



FPP

UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za pomorstvo in promet

NOTRANJI TRANSPORT IN SKLADIŠČENJE TRANSPORTNE NAPRAVE

Zbirka vaj

Vivien Lorenčič

Portorož, Ljubljana 2024



FPP

UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za pomorstvo in promet

Vivien Lorenčič

NOTRANJI TRANSPORT IN SKLADIŠČENJE:
TRANSPORTNE NAPRAVE
Zbirka vaj

Portorož, Ljubljana 2024

Notranji transport in skladiščenje: transportne naprave: zbirka vaj

Avtorica: dr. Vivien Lorenčič

Recenzent: doc. dr. Sebastjan Škerlič

Lektoriranje: Barbara Ambrožič

Tehnična ureditev: Aleš Majer

Založnik: Založba Univerze v Ljubljani

Za založnika: prof. dr. Gregor Majdič, rektor Univerze v Ljubljani

Izdajatelj: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za pomorstvo in promet

Za izdajatelja: prof. dr. Peter Vidmar, dekan Fakultete za pomorstvo in promet
Univerze v Ljubljani

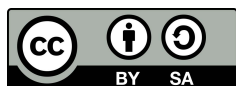
Portorož, Ljubljana, 2024

Publikacija je brezplačna.

Prva e-izdaja.

Publikacija je v digitalni obliki prosto dostopna na: <https://ebooks.uni-lj.si>

DOI: 10.70587/9789612974213



To delo je ponujeno pod licenco Creative Commons Priznanje avtorstva-Deljenje pod enakimi pogoji 4.0 Mednarodna licenca (izjema so fotografije). / This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (except photographs).

Katalogni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v
Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani

COBISS.SI-ID 211260163

ISBN 978-961-297-421-3 (PDF)

Predgovor

Danes sta v gospodarstvu učinkovit notranji transport in skladiščenje ključna dejavnika za doseganje konkurenčne prednosti. Sposobnost podjetja, da hitro in učinkovito premika surovine, polizdelke in končne izdelke znotraj svojih obratov, neposredno vpliva na njegovo produktivnost, stroške in sposobnost izpolnjevanja zahtev kupcev. V tem študijskem gradivu, namenjenem študentom študijske smeri Tehnologije prometa in logistike na Fakulteti za pomorstvo in promet Univerze v Ljubljani, se bomo osredotočili na temeljna načela in prakse notranjega transporta ter skladiščenja, pri čemer bomo podrobno obravnavali različne vrste transportnih naprav, ki so na voljo v industriji.

Podrobno bomo obravnavali različne vrste transportnih naprav, ki se uporabljajo v proizvodnji. Med temi napravami so tekoči trakovi, dvigala, viličarji, pnevmatski transportni sistemi in številne druge naprave. Vsaka od teh naprav ima svoje prednosti in omejitve, ki jih bomo analizirali v kontekstu različnih računskih primerov in delovnih okolij. Poleg tehničnih specifikacij in delovanja posameznih naprav bomo raziskali tudi njihove zmogljivosti, predvsem v kontekstu, koliko ton tovora lahko določena transportna naprava pretovori v danem časovnem obdobju. Poudarek bo na eksploatacijskih značilnostih naprav, ne toliko na njihovem tehničnem vidiku. V vsakem poglavju bodo predstavljeni primeri, ki ponazarjajo, kako podjetja uspešno uvajajo in uporabljajo različne transportne naprave za izboljšanje svojih notranjih logističnih procesov. S temi primeri bomo pokazali, kako lahko teoretično znanje uporabimo za praktične rešitve.

Cilj tega študijskega gradiva oz. zbirke vaj je zagotoviti celovito razumevanje transportnih naprav v notranjem transportu in skladiščenju, ki so ključne za učinkovito delovanje logističnih sistemov v industriji. Zasnovano je tako, da študentom ponudi trdna teoretična izhodišča ter praktična znanja in veščine, ki jih bodo potrebovali v svojih poklicnih karierah.

Določene fotografije v tej zbirki vaj so pridobljene iz drugih virov, za kar sem prejela dovoljenje Tehniške založbe Slovenije. Vsaka fotografija je ustrezno označena z navedbo vira.

Kazalo vsebine

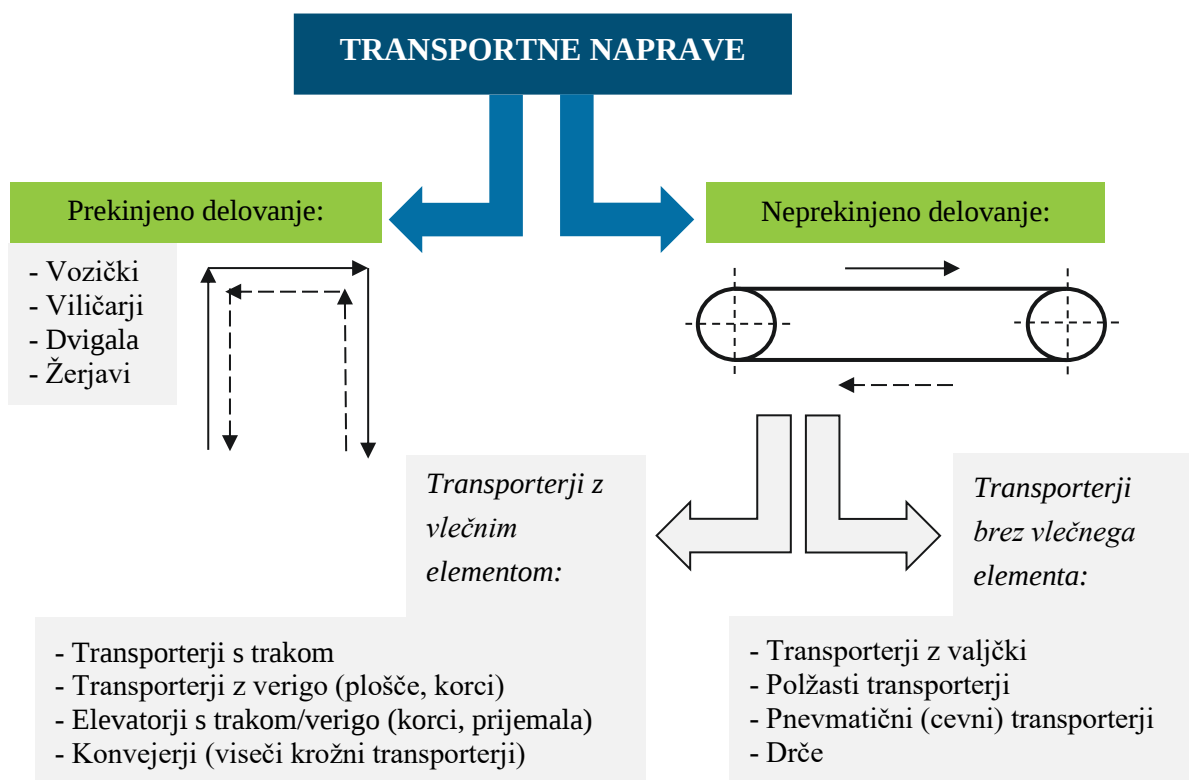
Predgovor.....	4
Kazalo vsebine.....	5
1 Transportne naprave v notranjem transportu in skladiščenju	6
2 Viličarji.....	7
2.1 Tehnološke kapacitete viličarja	15
2.2 Stabilnost viličarja	17
3 Dvigala.....	21
3.1 Dvigala za majhne višine dviganja	22
3.2 Dvigala za velike višine dviganja	28
4 Transporterji	31
4.1 Tračni transporterji	32
4.2 Členkasti (ploščni) transporterji	38
4.3 Viseči krožni transporterji - konvejerji.....	43
4.4 Vertikalni transporterji - elevatorji	48
4.5 Polžasti transporterji	53
4.6 Pnevmatični (cevni) transporterji	57
4.7 Valjčni transporterji	62
4.8 Drče.....	68
5 Literatura in viri.....	70
Seznam slik.....	71
Seznam tabel.....	73
Seznam formul.....	73

1 TRANSPORTNE NAPRAVE V NOTRANJEM TRANSPORTU IN SKLADIŠČENJU

Transportne naprave v notranjem transportu in skladiščenju se uporabljajo za premikanje različnih vrst tovorov znotraj proizvodnih in logističnih objektov, kot so tovarne, skladišča, distribucijski centri itd. Te naprave zagotavljajo optimizacijo delovnih procesov, zmanjšanje ročnega dela, povečanje varnosti in izboljšanje produktivnosti.

Transportne naprave v notranjem transportu in skladiščenju lahko delimo glede na naslednje tehnične in funkcionalne značilnosti:

- delovanje (prekinjeno, neprekinjeno),
- mobilnost (vezane na tla, proste),
- lega v prostoru (stacionarne, gibljive v določeni smeri, prosto gibljive),
- pogon (lasten, brez),
- smer gibanja (horizontalno, vertikalno, poševno, v vse smeri).



Slika 1: Transportne naprave v notranjem transportu in skladiščenju

Transport se lahko izvaja z različnimi napravami, ki delujejo prekinjeno ali neprekinjeno, odvisno od potreb in zahtev proizvodnih in logističnih procesov (slika 1). Ključne značilnosti transportnih naprav vključujejo način delovanja, mobilnost, lego v prostoru, pogon in smer gibanja.

Transportne naprave s prekinjenim delovanjem vključujejo dvigala, žerjave, viličarje in vozičke. Te naprave se običajno uporabljajo za prenos tovora v serijah ali v določenih intervalih, med katerimi se naprava ustavi, ko tovor doseže vmesno ali končno točko. Takšen način delovanja omogoča natančno pozicioniranje tovora, kar je ključno v procesih, kjer je potrebna večja fleksibilnost in natančnost. Uporabljajo se za prenos tovora na kratke razdalje ali pri postopkih, kjer je potrebno

pogosto ustavljanje in spreminjanje smeri, kot npr. pri nalaganju in razkladanju tovora, montažnih linijah ali v skladiščih.

Transportne naprave z neprekinjenim delovanjem vključujejo tračne transporterje, verižne transporterje, polžaste transporterje, elevatorje in viseče krožne konvejerje z neprekinjeno verigo. Te naprave omogočajo neprekinjeno premikanje večjih količin tovora na dolge razdalje brez ustavljanja. Namenjene so za stalni pretok materiala, kar povečuje učinkovitost in zmanjšuje potrebo po ročnem delu. Idealne so za masovno proizvodnjo in logistične operacije, kjer je potrebno neprekinjeno premikanje materialov, kot so tekoče montažne linije, premikanje surovin v proizvodnji ali transport izdelkov v velikih distribucijskih centrih.

Lega v prostoru vključuje horizontalne naprave, kot so tračni transporterji, ki premikajo tovor po vodoravni ravnini; vertikalne naprave, kot so elevatorji, ki premikajo tovor navpično; in poševne naprave, kot so poševni tračni transporterji, nagnjeni pod kotom za premikanje tovora po nagnjenih površinah.

Pogon naprav je lahko lasten, kot pri električnih viličarjih in AGV-jih (avtomatsko vodeni vozički), ali brez lastnega pogona, kot pri ročnih vozičkih in gravitacijskih transporterjih.

Smer gibanja naprav je lahko horizontalna (tračni transporterji), vertikalna (elevatorji), poševna (poševni transporterji) ali v vse smeri (AGV-ji).

2 VILIČARJI

Viličarji predstavljajo najbolj razširjeno in univerzalno transportno sredstvo v notranjem transportu, namenjeno dvigovanju, premikanju in spuščanju različnih vrst tovora na kratke do srednje razdalje. Vsak viličar je opremljen z dvema vilicama, ki se lahko dvignejo in spustijo, kar omogoča učinkovit prenos tovora.

Viličarji se uporabljajo za notranji transport kosovnega materiala znotraj skladišča ter za prenos materiala do in od skladišča. Zaradi njihove raznovrstne uporabe so viličarji razdeljeni po naslednjih ključnih merilih:

- Pogon: viličarji se lahko poganjajo z različnimi viri energije.
- Namestitev vilic: vilice viličarja se lahko namestijo na različne načine glede na njihovo širino in dolžino, to omogoča prilagoditev za dvig različnih vrst tovora, vključno s standardnimi, ozkimi in širokimi vilicami.
- Izvedba dvižnega mehanizma: viličarji lahko imajo različne vrste dvižnih mehanizmov.
- Število in razporeditev koles: glede na specifične potrebe in delovne pogoje se viličarji razlikujejo po številu in razporeditvi koles, kar vpliva na njihovo stabilnost, manevriranje in zmogljivost na različnih terenih.
- Položaj voznika pri upravljanju viličarja: vozniki viličarjev lahko sedijo ali stojijo, lahko so obrnjeni čelno ali bočno na vilice, zasnova je prilagojena ergonomiji in varnosti voznika med delovanjem viličarja.
- Namen uporabe: za natovarjanje, raztovarjanje, komisioniranje, transport itd.

A. Delitev po pogonu

- Ročni vozički in viličarji brez lastnega pogona so namenjeni premikanju manjših tovorov na kratke razdalje (slika 2). Poganjajo jih delavci, ki ročno premikajo viličar in dvigujejo tovor ročno ali z ročnim dvigalom.



Slika 2: Ročni viličar

Vir: <https://tinyurl.com/mt2526cw>

- Viličarji z elektro motorji z akumulatorji ali električnim kablom se uporabljajo za premikanje težjih bremen na kratkih do srednjih razdaljah (slika 3). Poganja jih elektromotor, napajan z akumulatorjem ali preko električnega kabla. Primerni so za uporabo v zaprtih prostorih zaradi čistejšega delovanja in nižjih emisij.



Slika 3: Viličarja z elektromotorjem

Vir: <https://tinyurl.com/mw7n4u4u>

- Viličarji z notranjim zgorevanjem so namenjeni premikanju težkih bremen na odprtih območjih skladišča (slika 4). Poganjajo jih motorji z notranjim zgorevanjem, kot so bencinski, dizelski ali plinski motorji. Ti viličarji so bolj primerni za delo na prostem zaradi večje moči, hitrosti in dolgega dosega.



Slika 4: Viličar z motorjem z notranjim zgorevanjem

Vir: <https://tinyurl.com/bdcsusc3>

- Viličarji na hibridni pogon –kombinirajo elektromotor za vožnjo in motor z notranjim zgorevanjem za poganjanje hidravličnega sistema za dviganje in dodatne funkcije (slika 5). Uporabljajo se za premikanje težjih bremen v zaprtih skladiščih, kjer je potrebna kombinacija moči in učinkovitosti.



Slika 5: Viličar na hibridni pogon

Vir: <https://tinyurl.com/4dbamc38>

Pri izbiri viličarja je pomembno upoštevati delovne pogoje, kot so notranje ali zunanje okolje, vrsta tovora, razdalja premikov in zahteve po okoljski učinkovitosti. V zaprtih prostorih se pogosto uporabljajo viličarji z elektromotornim pogonom zaradi nižjega hrupa, manjših emisij in večje natančnosti pri manevriranju, medtem ko so za zunanje operacije bolj primerni viličarji z notranjim zgorevanjem zaradi večje moči in hitrosti.

B. Delitev po namestitvi vilic

- Bočna izvedba viličarja ima vilice nameščene na stranskih delih viličarja (slika 6). To omogoča, da viličar lahko bočno vstopa v police ali regale ter dviguje ali spušča tovor bočno. Bočna izvedba viličarja je pogosto uporabljena v situacijah, kjer je omejen prostor za manevriranje ali kjer je potrebno natančno pozicioniranje v ozkih hodnikih.



Slika 6: Bočna izvedba viličarja

Vir: <https://tinyurl.com/36ds9zbh>

- Čelna izvedba viličarja ima vilice nameščene na sprednjem delu viličarja, kar omogoča dvigovanje in premikanje tovora naprej in nazaj (slika 7). Ta izvedba viličarja je najbolj pogosta in se uporablja za splošne namene v skladiščih, kjer ni omejitev glede prostora za manevriranje.

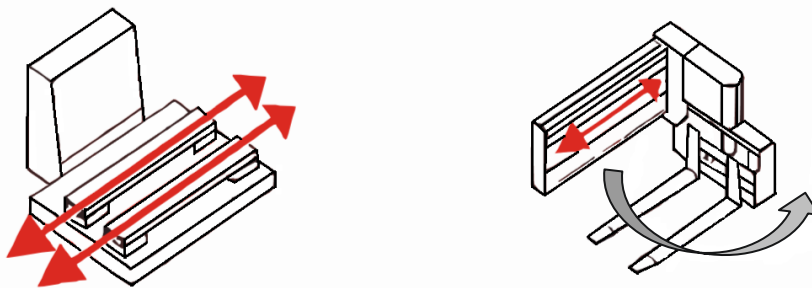


Slika 7: Čelna izvedba viličarja

Vir: <https://tinyurl.com/ycyyceen>

C. Delitev po izvedbi dvižnega mehanizma

- Viličarji imajo dvižni mehanizem stalno na istem mestu, vilice se dvigajo in spuščajo navpično, brez dodatnih možnosti premikanja ali obračanja dvižnega mehanizma v drugo smer. Ta izvedba je primerna za osnovne operacije dvigovanja in spuščanja tovora v vertikalni smeri.
- Viličarji lahko dvižni mehanizem izvlečejo ali pa tudi vrtijo (vrtljive vilice, prečni pomik vilic) kot to prikazuje slika 8. Vrtljive vilice omogočajo, da se tovor lahko obrača ali premika v različne smeri brez premikanja celotnega viličarja. Prečni pomik vilic omogoča, da se vilice premikajo bočno, kar je koristno pri natančnem pozicioniranju tovora ali pri manipulaciji v ozkih prostorih. Nekateri omogočajo tudi razširitev dolžine vilic, kar povečuje fleksibilnost pri manipulaciji z različno dolgimi tovari, saj se lahko vilice prilagajajo glede na specifične dimenzije tovora brez potrebe po zamenjavi vilic.



Slika 8: Izvlečne in vrtljive vilice

- Viličarji s potisnim teleskopom omogočajo hitrejša in enostavnejša natovarjanje ali raztovarjanje tovora na več različnih lokacijah. Najpogosteje se uporabljajo v regalnih skladiščih (slika 9).



Slika 9: Viličar s potisnim teleskopom

Vir: <https://tinyurl.com/yck8y62r>

D. Delitev po številu in razporeditvi koles

- Tri ali štirikolesni viličarji so najbolj pogosta izvedba viličarja (slika 10). Trikolesni viličarji imajo eno kolo spredaj in dve kolesi zadaj, medtem ko imajo štirikolesni viličarji po dve kolesi na vsaki strani. Ta razporeditev koles zagotavlja dobro stabilnost in manevriranje v različnih skladiščnih pogojih.



Slika 10: Trikolesni viličar

Vir: <https://tinyurl.com/2khtkyzk>

- 4-potni viličarji imajo kolesa nameščena na vsakem vogalu viličarja, kar omogoča izjemno okretnost in sposobnost obračanja na mestu (slika 11). To je posebej koristno v ozkih hodnikih ali pri manipulaciji s tovorom na omejenih prostorih.



Slika 11: 4-potni viličar

Vir: <https://tinyurl.com/y729m6nc>

E. Delitev po položaju voznika pri upravljanju viličarja

- Voznik sedi obrnjen v smeri vožnje, kjer takšna postavitev omogoča, da voznik bolje nadzoruje premikanje viličarja naprej (slika 12).



Slika 12: Voznik sedi obrnjen v smeri vožnje

Vir: <https://tinyurl.com/mw7n4u4u>

- Voznik je obrnjen prečno na smer vožnje, kar omogoča boljši pregled nad območjem okoli viličarja in je koristno pri manevriranju v ozkih prostorih ali pri delu z dolgimi tovari (slika 13).



Slika 13: Voznik sedi prečno obrnjen na smer vožnje

Vir: <https://warehousewiz.com/blogs/news/types-of-forklifts>

- Voznik se lahko zasuče v smeri vožnje ali prečno na smer vožnje, kar omogoča večjo prilagodljivost pri delu v različnih delovnih pogojih (slika 14).



Slika 14: Voznik se lahko zasuče

Vir: <https://www.linde-vilicar.si/si/O-nas/Tehnologija-in-novosti/Drehbarer-Fahrerarbeitsplatz-und-Drehkabine.htm>

- Voznik stoji na viličarju med vožnjo, ki se najpogosteje uporablja za komisioniranje (slika 15).



Slika 15: Voznik stoji na viličarju

Vir: <https://tinyurl.com/2c8v2kra>

- Voznik hodi poleg viličarja, s katerim opravlja transportno nalogo (slika 16). Sem spadajo tudi viličarji, ki jih lahko daljinsko upravljamo (AVG-ji).



Slika 16: Voznik hodi poleg viličarja

Vir: <https://tinyurl.com/mt2526cw>

F. Delitev po namenu uporabe

- Za prevoz na krajše razdalje in dviganje palet do višine 1 m, ki se pogosto uporabljajo za osnovno manipulacijo z lažjimi bremenami in manjšimi paletami.

- Za prevoz na krajše razdalje in dviganje palet do višine 5 m, ki se pogosto uporabljajo za prevoz tovora na krajše razdalje znotaj skladišča. Omogočajo boljše dostopanje do višjih polic in povečujejo zmogljivost pri manipulaciji z večjimi tovarnimi enotami.
- Za prevoz na daljše razdalje in dviganje palet do višine 5 m, ki se pogosto uporabljajo za prevoz tovora na daljše razdalje znotraj skladišča, saj omogočajo tudi večjo hitrost in stabilnost pri premikanju tovora.
- Za delo med regali tako imenovani regalni viličarji, ki omogočajo natančno manevriranje in dvigovanje tovora med ozkimi regali ter so pogosto opremljeni s posebnimi funkcijami za varno delo na višinah.
- Za izvajanje komisioniranja tako imenovani komisionirni viličarji, ki so namenjeni izvajanju natančnih operacij dviganja, spuščanja in premikanja posameznih enot tovora ali palet (slika 17). Uporabljajo se za hitro in učinkovito zbiranje naročil ter pripravo blaga za odpremo.



Slika 17: Komisionirni viličar

Vir: <https://tinyurl.com/2p8c2cxa>

Na viličarje je mogoče pritrditi različne priključke, ki povečajo njihovo uporabnost, prilagodljivost in fleksibilnost, s čimer se še dodatno poveča univerzalnost viličarjev. Med najpogostejše priključke spadajo:

- hidravlične klešče za prenos sodov (slika 18).



Slika 18: Priključek hidravlične klešče

Vir: <https://tinyurl.com/8m4wrcj2>

- plug za pluzenje snega (slika 19).



Slika 19: Priključek plug

Vir: <https://tinyurl.com/n5bvjybv>

2.1 Tehnološke kapacitete viličarja

Pri odločanju o nabavi viličarja je ključno upoštevati več dejavnikov, kot sta nosilnost viličarja in razdalja, na kateri se bo prevažalo blago. Poleg tega je nujno, da znamo izračunati čas natovarjanja in število ciklov viličarja, saj ti podatki neposredno vplivajo na učinkovitost dela in na potrebo po številu viličarjev. Izračunavanje ciklov viličarja in časa natovarjanja omogoča natančno normiranje dela viličarjev in viličaristov, kar pripomore k optimizaciji delovnega procesa, zmanjšanju stroškov in povečanju produktivnosti. Za izračun števila ciklov C viličarja v eni uri uporabljamo enačbo:

$$C = \frac{60}{T_1}, \quad (1)$$

kjer je:

T_1 – čas enega cikla v minutah.

Primer 2.1. Izračunajte, koliko ciklov opravi viličar v eni uri, če potrebuje za prevoz palete iz enega konca skladišča do drugega konca skladišča in nazaj 8 min 45 sekund.

Rešitev.

8 min 45 sekund spremenimo v minute = $(60 \text{ min} \cdot 45 \text{ s} / 3600 \text{ s} = 0,75 \text{ min})$

Torej 8,75 min. Izračun po enačbi (1): $C = 60 \text{ min} / 8,75 \text{ min} = 6,85 \text{ ciklov} = 6 \text{ ciklov} / \text{h}$

Ta izračun nam omogoča oceno delovne obremenitve viličarja glede na njegovo zmogljivost in potrebe po transportu v specifičnem skladiščnem okolju.



Potrebno število viličarjev N za prevoz določene mase blaga Q v tonah, na paletah, kjer je na vsaki paleti q blaga v tonah v delovnem času D , se izračuna po enačbi:

$$N = \frac{Q}{(C \cdot D \cdot q)}, \quad (2)$$

kjer je:

N – število viličarjev,

Q – masa blaga, ki jo je treba prepeljati [t],

- C – število ciklov viličarja v eni uri,
- D – čas delovne izmene [h],
- q – masa blaga na paleti [t].

Primer 2.2. Izračunajte, koliko viličarjev potrebujemo za pretovor $Q = 90$ t blaga, na paletah, kjer je na vsaki paleti $q = 0,8$ t blaga, na voljo imamo $D = 6$ ur.

Rešitev.

Izračun po enačbi (2): $N = Q / (C \cdot D \cdot q) = 90 / (6 \cdot 6 \cdot 0,8) = 3,125 = 4$ viličarji

Ta izračun nam pomaga določiti ustrezno število viličarjev glede na specifične zahteve in delovne pogoje v skladišču.



Čas, ki ga potrebuje viličar za prenos ene palete iz skladišča na prevozno sredstvo, se izračuna kot seštevek naslednjih časov: čas dvigovanja in poravnavanja blaga na tovorno sredstvo, čas nalaganja palete na viličar, čas prazne vožnje viličarja in čas vožnje obremenjenega viličarja.

Hitrost praznega viličarja je povprečno 6 m/s, polnega pa 3 m/s, to so seveda povprečne hitrosti, ki so odvisne od viličarista, vrste viličarja in kvalitete transportnih poti.

Primer 2.3. Koliko časa je potrebnega za naložitev tovornjaka s 30 paletami, če je čas, ki ga potrebuje viličar za prenos ene palete 120 sekund?

Rešitev.

Izračun kot $T_n = T \cdot n = 120 \text{ s} / 60 \text{ s} \cdot 30 \text{ palet} = 2 \text{ min} \cdot 30 = 60 \text{ minut}$

Točno določanje časa za naložitev tovornjaka je ključno za učinkovito upravljanje logističnih operacij, saj omogoča načrtovanje časovnih okvirov odprem vozil in optimizacijo procesov v skladiščnem okolju.



Naloga 2.1. Izračunajte potrebno število viličarjev za natovarjanje vozili s skupaj $Q = 69$ t blaga na evropaletah, kjer je na vsaki paleti $q = 0,8$ t blaga. Prav tako izračunajte čas za naložitev tovornih vozil z n paletami, pri čemer čas enega cikla viličarja znaša 10 minut, delovna izmena pa traja 4 ure.

Rešitev.

Za natovarjanje tovornih vozil potrebujemo 4 viličarje in 3,63 ure, da naložimo ves tovor.



Naloga 2.2. V podjetju se pripravlja transport večjega števila palet s tovorom na vlačilce s polpriklopnikom. Natovoriti moramo vozila s skupaj $Q = 72$ t tovora, ki je razporejen na evropalette. Vsaka paleta nosi $q = 0,9$ t tovora. Izračunajte potrebno število viličarjev, če čas enega cikla viličarja za nakladanje ene palete znaša 8 minut, delovna izmena pa traja 6 ur. Izračunajte predviden čas za nakladanje vseh tovornih vozil, če moramo natovoriti $n = 80$ palet.



Rešitev.

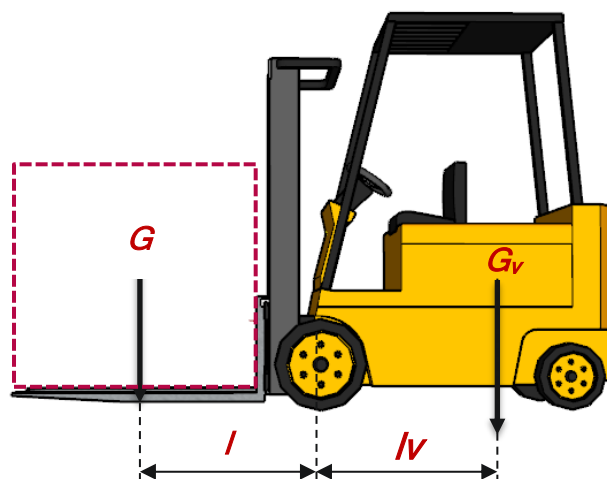
Čas delovne izmene tj. 360 min je večji od 320 min, ki ga potrebujemo za naložitev vseh vozil, kar pomeni, da bomo uspeli z 2 viličarjema opraviti delo v eni delovni izmeni.

2.2 Stabilnost viličarja

Da bi preprečili prevrnitev žerjavov, avtodvigal, viličarjev in podobnih naprav, je ključnega pomena ohranjanje stabilnega ravnotežja med prenosom tovora. Prevračanje tovora se lahko prepreči, če je moment sil, ki bi povzročile prevrnitev (M_p), manjši od momenta sil, ki delujejo v nasprotni smeri in preprečujejo prevrnitev (M_s): $M_p < M_s$. Za določitev stabilnosti je najprej treba identificirati os, okoli katere bi lahko prišlo do prevrnitve, nato pa izračunati tako imenovani prevrtni moment M_p ter stabilnostni moment M_s na to os. Razmerje med stabilnostnim in prevrtnim momentom je znan kot koeficient varnosti proti prevrnitvi (S_d), ki mora biti večji od 1,15, kar je teoretični minimalni zahtevani pogoj za preprečitev prevrnitve. Koeficient varnosti proti prevrnitvi se izračuna kot:

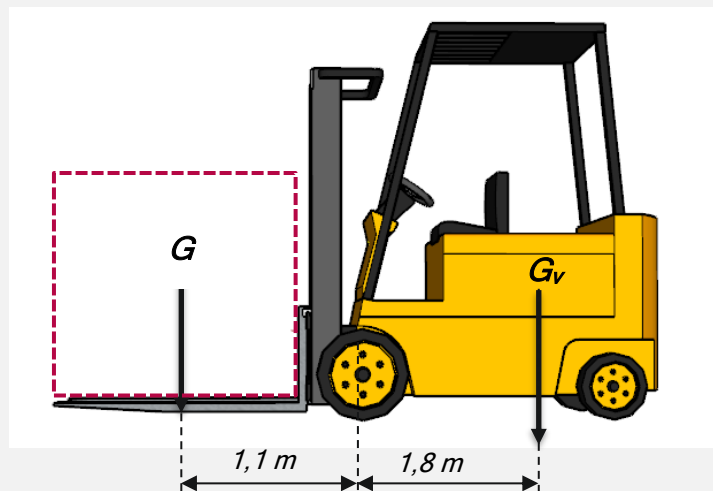
$$S_d = M_s / M_p. \quad (3)$$

Nazivna nosilnost viličarjev je določena za tovor, ki ima težišče približno na polovici dolžine vilic viličarja (slika 20). Kjer je G nosilnost viličarja [N], G_v je teža viličarja [N], l je dolžina od prednje osi koles do polovice dolžine vilic, l_v je dolžina od težišča viličarja do osi prednjega kolesa.



Slika 20: Težišče in nosilnost viličarja

Primer 2.4. Izračunajte koeficient varnosti proti prevrnitvi (S_d), če ima viličar težo $G_v = 2,1$ kN in transportira zaboj teže $G = 1,8$ kN. Ali se bo viličar prevrnil? Če je odgovor DA, kam?



Rešitev.

V primeru pretežkega tovora bi se viličar prevrnil naprej, okoli točke, kjer se prednje kolo dotika tal. V tej točki moramo izračunati momente sil.

Enačba za moment: $M = F \cdot r$

$$M_p = G \cdot 1,1 \text{ m} = 1,8 \text{ kN} \cdot 1,1 \text{ m} = 1800 \cdot 1,2 = 1980 \text{ Nm}$$

$$M_s = G_v \cdot 1,8 \text{ m} = 2,1 \text{ kN} \cdot 1,8 \text{ m} = 2100 \cdot 1,8 = 3780 \text{ Nm}$$

$$\text{Uporabimo enačbo (5): } S_d = M_s / M_p = 3780 / 1980 = 1,91$$

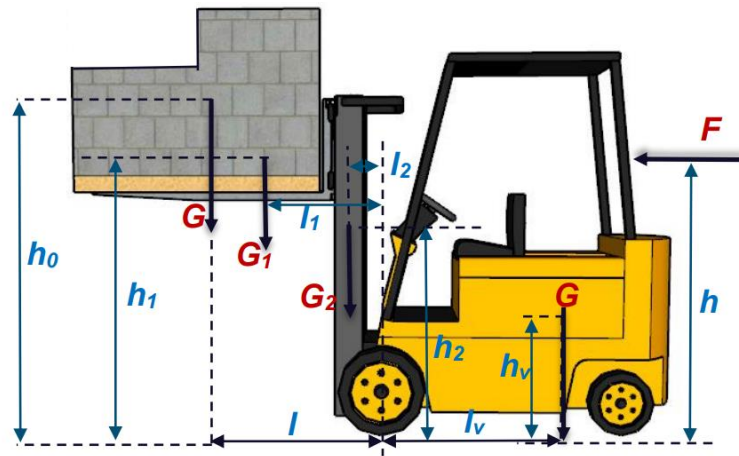
Ker je izračunan koeficient varnosti S_d (1,91) večji od minimalno zahtevanega koeficienta varnosti (1,15), pomeni, da viličar ni v nevarnosti prevrnitve. Ne pride do prevrnitve viličarja, ker je $S_d > 1,15$.

Da bi izboljšali razumevanje stabilnosti viličarja, je ključno upoštevati različne dejavnike, ki lahko vplivajo nanjo, kot so vztrajnostne sile pri zaviranju in vožnji vzvratno ter vpliv vetra (slika 21). Koeficient varnosti proti prevrnitvi S_d v najobčutljivejšem položaju tovora se izračuna po naslednji enačbi:

$$S_d = \frac{G_v \cdot l_v - G_l \cdot l_l - G_2 \cdot l_v - F \cdot h - M_p}{G \cdot l}, \quad (4)$$

kjer je:

- G_v – teža viličarja [N],
- G – nosilnost viličarja [N],
- G_2 – teža dvižnega mehanizma [N],
- G_l – teža tovora [N],
- h_v – višina težišča viličarja [m],
- h – višina delovanja sil [m],
- h_o – višina težišča nosilnosti viličarja [m],
- h_2 – višina težišča dvižnega mehanizma viličarja [m],
- h_l – višina težišča tovora [m],
- l – dolžina od polovica dolžine vilic do osi prednjega kolesa [m],
- l_v – dolžina od težišča viličarja do osi prednjega kolesa [m],
- l_l – dolžina od težišča tovora do osi prednjega kolesa [m],
- l_2 – dolžina od težišča dvižnega mehanizma viličarja do osi prednjega kolesa [m],
- F – vztrajnostna sila (npr. sila vetra) [N].



Slika 21: Sile, ki vplivajo na stabilnost viličarja

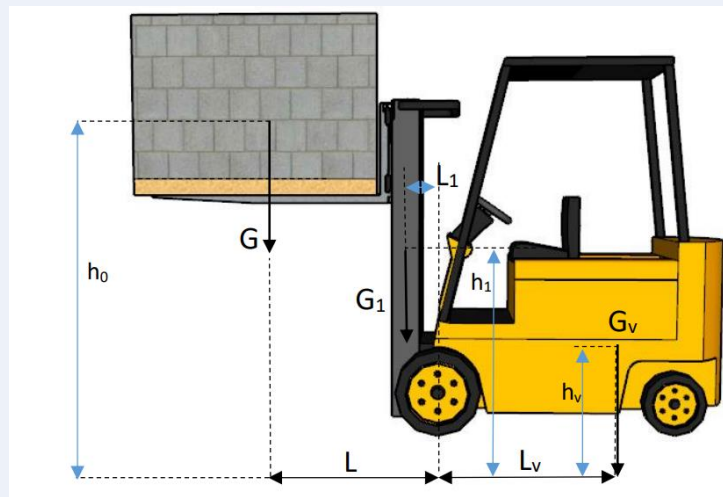
Prevrnitveni moment M_p izračunamo po enačbi:

$$M_p = \frac{(G \cdot h_0 + G_1 \cdot h_1 + G_2 \cdot h_2 + G_v \cdot h_v) \cdot v}{g \cdot 3,6 \cdot t}, \quad (5)$$

kjer je:

- v – hitrost vozila [m/s] – (v 1. ali 2. prestavi je hitrost običajno do 3 km/h),
- t – čas premika naprej in nazaj (običajno 2 do 3 s).

Naloga 2.3. Viličar v regalnem skladišču polno naložen miruje. Izračunajte koeficient varnosti proti prevrnitvi (S_d), če ima viličar težo $G_v = 1,3$ kN in transportira zaboj teže $G = 1400$ N, teža dviznega mehanizma je $G_1 = 340$ N. Podani so še naslednji podatki na sliki 22: $L = 1,6$ m; $L_1 = 0,25$ m; $L_v = 1,4$ m; $h_0 = 2,1$ m; $h_1 = 1,5$ m in $h_v = 0,5$ m. Ali se bo viličar prevrnil? Če je odgovor DA, kam?



Slika 22: Skica viličarja in sil za primer izračuna S_d

Rešitev.

Izračunani koeficient varnosti proti prevrnitvi $S_d = 1,277$, torej je večji od 1,15, kar pomeni, da ne more priti do prevrnitve viličarja.

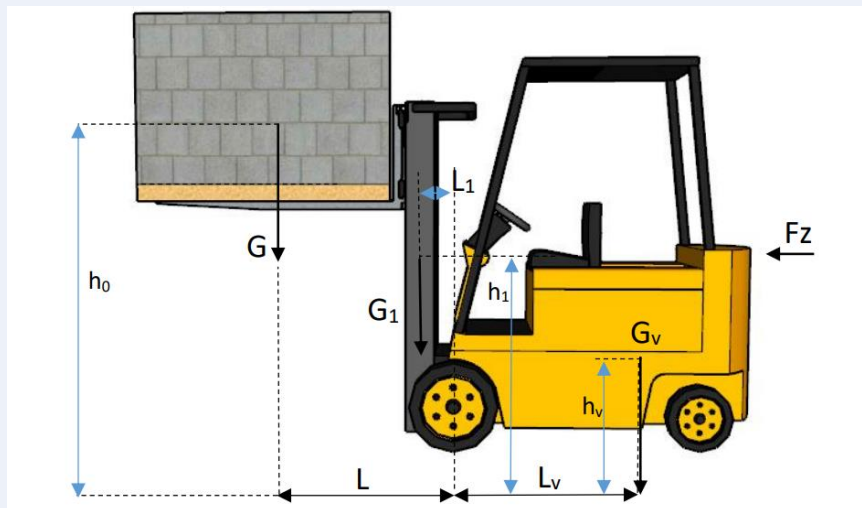
Naloga 2.4. Izračunajte koeficient varnosti proti prevrnitvi (S_d), če je teža viličarja $G_v = 6$ kN, teža zaboja $G = 1,7$ kN, $G_1 = 2,2$ kN, $G_2 = 3$ kN; sila zračnega upora $F_z = 500$ N na višini $1,75$ m in hitrost viličarja 3 km/h. Podani so še naslednji podatki na podlagi slike 21: $v = 3$ km/h = $0,83$ m/s; $t = 2$ s; $h_o = 2,1$ m; $h_1 = 1,9$ m; $h_2 = 1,6$ m; $h_v = 0,75$ m; $l_1 = 0,75$ m; $l_2 = 0,5$ m; $l = 1,5$ m; $l_v = 1,8$ m.



Rešitev.

Izračunani koeficient varnosti proti prevrnitvi $S_d = 0,84$, torej je manjši od $1,15$, kar pomeni, da lahko pride do prevrnitve viličarja.

Naloga 2.5. Viličar pred vhodom v skladišče polno naložen miruje. Izračunajte koeficient varnosti proti prevrnitvi (S_d), če ima viličar težo $G_v = 1,8$ kN in transportira zaboj teže $G = 1200$ N, teža dviznega mehanizma je $G_1 = 400$ N. Na viličarja deluje zračni upor $F_z = 500$ N na višini h_1 . Podani so še naslednji podatki na sliki 23: $L = 1,2$ m; $L_1 = 0,3$ m; $L_v = 1,6$ m; $h_o = 2$ m; $h_1 = 1,7$ m in $h_v = 0,6$ m. Ali se bo viličar prevrnil? Če je odgovor DA, kam?



Slika 23: Skica viličarja in sil za primer izračuna S_d

Rešitev.

Izračunani koeficient varnosti proti prevrnitvi $S_d = 1,19$, torej je večji od $1,15$, kar pomeni, da ne more priti do prevrnitve viličarja.

3 DVGALA

Dvigala so ključni del notranjega transporta v različnih industrijskih in komercialnih okoljih. Gre za naprave, ki so namenjene premikanju tovora ali različnih bremen po vertikalni osi. Prva in osnovna delitev dvigal temelji na podatku višine dviganja, in sicer:

- dvigala za majhne višine dviganja,
- dvigala za velike višine dviganja.

Dvigala se nadalje delijo glede na kapaciteto dviganja, velikost bremena in s tem povezano silo, ki jo mora dvigalo premagovati.

A. Dvigala za majhne višine dviganja

So kompaktna, enostavna za premikanje (prenosljiva) in se uporabljajo za premikanje težkih bremen na relativno nizke višine. Glede na vrsto mehanizma dviga jih delimo na:

- Vijačna dvigala temeljijo na vijačnem mehanizmu, kjer se vrtenje vijaka pretvori v linearno gibanje, kar omogoča dviganje bremen. So enostavna za uporabo, omogočajo natančen nadzor nad dviganjem in spuščanjem, ne potrebujejo zunanjih virov energije (ročni pogon).
- Hidravlična dvigala delujejo na osnovi hidravličnega tlaka, kjer tekočina pod tlakom premika bat. Omogoča dviganje zelo težkih bremen z minimalnim naporom, so robustna in zanesljiva. Uporabljajo se v avtomobilskih servisih (npr. hidravlične dvižne mize), gradbeništvu, skladiščih in proizvodnih linijah.
- Pnevmatška dvigala uporabljajo stisnjen zrak za dviganje bremen. So hitra in zanesljiva, ter omogočajo natančno kontrolo dviganja in spuščanja. Najpogosteje se uporabljajo v avtomobilski industriji.

B. Dvigala za velike višine dviganja

So namenjena dviganju tovora na večje višine in vključujejo različne tehnične rešitve, ki omogočajo varno in učinkovito delovanje. Ta dvigala so ključna v industrijskih, gradbenih in skladiščnih okoljih, kjer je potrebno dviganje težkih bremen na velike višine. Glede na vrsto mehanizma dviga jih delimo na:

- Električna dvigala poganja elektromotor. So energetske učinkovite in lahko vključujejo avtomatizirane sisteme za natančno pozicioniranje.
- Verižna in jeklena vrvna dvigala uporabljajo verige ali jeklene vrvi za dviganje bremen. Verižna dvigala so bolj primerna za težka bremena, medtem ko jeklena vrvna dvigala omogočajo večjo višino dviganja.
- Stropna in mostna dvigala omogočajo premikanje težkih tovorov po celotnem prostoru, tako vertikalno kot horizontalno. So zelo prilagodljiva in se lahko uporabljajo za različne naloge v notranjem transportnem procesu in skladiščenju blaga.

3.1 Dvigala za majhne višine dviganja

Majhna dvigala so nepogrešljiva orodja v številnih industrijskih, servisnih in skladiščnih dejavnostih, kjer je potrebno hitro, učinkovito in varno dviganje tovora na relativno nizke višine. Skupne značilnosti vseh dvigal za majhne višine dviganja so naslednje:

- Višina dviganja bremena: Ta dvigala so zasnovana za dviganje bremen na sorazmerno majhno višino (razdaljo).
- Sile zaradi težkih tovorov: Kljub temu da je višina dviganja omejena, so bremena, ki jih ta dvigala premikajo, pogosto zelo težka. Zaradi tega pri dviganju nastajajo velike sile, kar zahteva robustno konstrukcijo dvigala.
- Neposredni oprijem bremena: Elementi dvigala so zasnovani tako, da neposredno oprimejo breme. To omogoča boljši nadzor in stabilnost med dviganjem, saj je breme neposredno povezano z dvigalom.
- Položaj dvigala: Dvigalo je običajno nameščeno neposredno pod bremenom, kar omogoča boljšo podporo in ravnotežje med dviganjem. Dvigalo je lahko prenosno, kar pomeni, da ga je mogoče premikati po potrebi, ali pa je stabilno, kadar je stalno nameščeno na določenem mestu.
- Pogon dvigala: Pogon je lahko ročni, kjer operater dvigalo upravlja z ročno močjo, ali pa strojni, kjer mehanizem poganja motor. Ne glede na vrsto pogona so dvigala zasnovana tako, da z minimalnim vložkom pogonske sile premagujejo velike sile, kar omogoča učinkovito dviganje težkih tovorov.
- Učinkovitost dvigala: S premišljeno konstrukcijo in pravilno izbiro materialov ter mehanizmov lahko ta dvigala, kljub omejenemu pogonu, učinkovito dvigajo zelo težka bremena, kar je ključno za njihovo uporabo v praksi.

A. Vijačna dvigala

Vijačno dvigalo ima dva glavna elementa: vijačno vreteno, ki se vrti v matici, in omogoča premikanje bremena po vertikalni osi. Vijačno vreteno je dolg vijak z navoji, ki se vrtijo okoli svoje osi v matici. Matica je komponenta z notranjim navojem, ki se prilega navoju vretena.

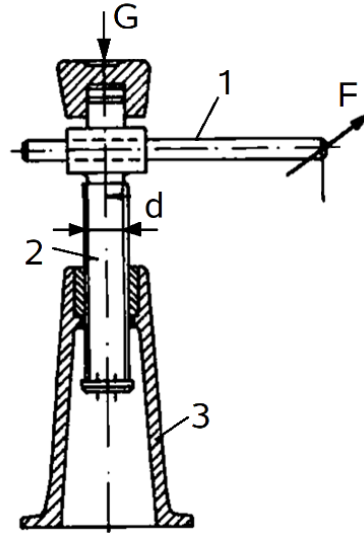


Slika 24: Primer ročnega (levo) in električnega (desno) vijačnega dvigala

Vir: <https://tinyurl.com/2tmjhxcp>

Splošni sestav vijalnega dvigala je predstavljen na sliki 25, kjer je:

- 1 – ročica,
- 2 – vijčno vreteno,
- 3 – okovje,
- G – teža tovora [N],
- F – sila na ročici dvigalka [N],
- d – premer vijaka z navoji [mm].



Slika 25: Splošni sestav vijalnega dvigala

Vir: (Isaković in Klopčar, 1992)

Za dviganje določenega bremena moramo uporabiti vijčno dvigalo s primerno zmogljivostjo, to pa lahko izračunamo s pomočjo enačbe za delo. Delo za vrtenje ročice je enako delu dvigovanja bremena, kar izračunamo po enačbi:

$$F \cdot 2 \cdot \pi \cdot l = G \cdot P \quad F \cdot 2 \cdot \pi \cdot l = G \cdot d_2 \cdot \tan \gamma$$

$$F = G \cdot \frac{d_2}{2 \cdot l} \cdot \tan(\gamma + \rho) \quad [\text{N}], \quad (6)$$

kjer je:

- F – sila na ročici dvigalka [N],
- l – dolžina ročice [mm],
- G – teža tovora [N],
- P – korak navoja [mm],
- γ – kot vzpona navoja,
- ρ – torni kot pri vrtenju (trenje),
- d_2 – srednji premer navoja [mm].

Čim večji je vzpon vijaka, tem višje se dvigne breme pri enem obratu vijaka. Velikost vzpona vijaka določa kot vzpona navoja γ :

$$\tan(\gamma) = \left(\frac{P}{\pi \cdot d_2} \right). \quad (7)$$

Da se vijak sam od sebe ne bo odvil, mora biti kot $\gamma \leq \rho_0$, pri čemer je ρ_0 torni kot pri mirovanju. Primer vijaka je samozaporen, če je pri tornem koeficientu $\mu = 0,1$ in $\rho_0 = 5,8^\circ$ kot vzpona navoja $\gamma \leq 5,8^\circ$.

Primer 3.1. Izračunaj kota vzpona navoja (γ) in tornega kota ρ_0 , če z ročno dvigalko dvignemo breme težko $G = 17,5$ kN. Izračunati moramo tudi potrebno dolžino ročice l , če jo bomo vrteli s silo $F = 125$ N. Vijačno dvigalo je izvedeno s trapeznim navojem premera $d = 24$ mm, srednjim premerom navoja $d_2 = 21,5$ mm in korakom navoja $P = 5$ mm, kjer je torni kot enak tornemu koeficientu $\mu = 0,1$.

Rešitev.

$$\tan(\gamma) = \left(\frac{P}{\pi \cdot d_2}\right) \quad \text{Dobimo: } \gamma = \cot\left(\frac{5}{\pi \cdot 21,5}\right) = 0,074 \quad \text{Kot vzpona navoja } \gamma = 4,2^\circ$$

$$\text{Torni kot } \tan(\rho_0) = 5,7^\circ$$

Iz enačbe (6) $F = G \cdot \frac{d_2}{2 \cdot l} \cdot \tan(\gamma + \rho)$ lahko izračunamo dolžino ročice l :

$$l = \frac{d_2 \cdot G \cdot \tan(\gamma + \rho)}{2 \cdot F} = \frac{21,5 \cdot 17500 \cdot \tan(4,2 + 5,7)}{2 \cdot 125} = 262,66 \text{ mm}.$$



Naloga 3.1. V skladišču je potrebno premakniti težko breme s pomočjo ročnega vijačnega dvigala. Breme ima maso $m = 1500$ kg. Vijačno dvigalo ima premer navoja $d_2 = 25$ mm, korak navoja $P = 5$ mm, dolžina ročice $l = 0,5$ m. Izračunajte silo na ročici dvigalke in število obratov ročice n , potrebnih za dvigovanje bremena za $h = 1$ meter v višino.

Rešitev.

Sila, ki je potrebna na ročici, je 23,43 N, pri čemer moramo za dvig 1 m narediti 200 obratov ročice.

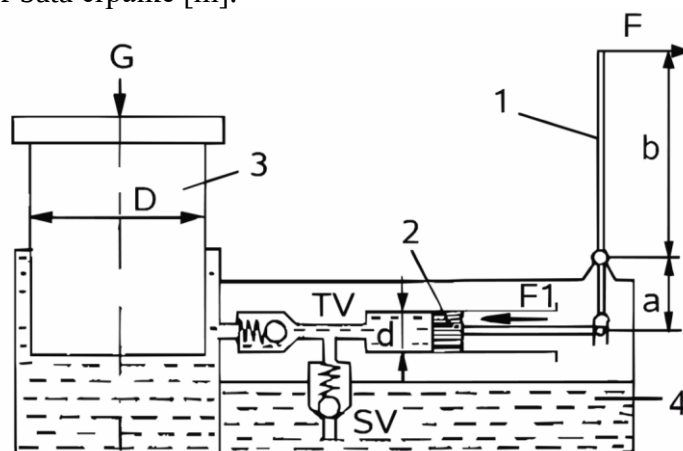


B. Hidravlična dvigala

Hidravlično dvigalo uporabljamo za dviganje težkih bremen, sestavljeno je iz rezervoarja, batne črpalke, ročice in valja z dvižnim batom. Dva primera hidravličnega dvigala sta prikazana na sliki 27. Hidravlično dvigalo z relativno majhno silo na majhnem batu generira veliko silo na velikem batu, kar omogoča dvigovanje težkih bremen. Princip delovanja temelji na Pascalovem zakonu, ki pravi, da se tlak v tekočini enakomerno prenaša v vse smeri, kar omogoča uporabo hidravlične sile za premagovanje velikih obremenitev. Sila, potrebna za dvigovanje bremena, je enaka razmerju med površinama majhnega in velikega bata. Na primer, če je površina velikega bata A_1 desetkrat večja od površine majhnega bata A_2 , bo sila, ki deluje na breme, desetkrat večja od sile, ki jo uporabnik izvaja na majhnem batu. Pri sesalnem gibu (ko se bat črpalke premika v desno na sliki 26) je sesalni ventil (SV) odprt, kar omogoča, da tekočina teče iz rezervoarja v valj črpalke. V tem trenutku je tlačni ventil (TV) zaprt. Med tlačnim gibom (ko se bat črpalke premika v levo na sliki 26) se tlačni ventil (TV) odpre, medtem ko se sesalni ventil (SV) zapre. To omogoča, da tekočina vstopi v valj dvižnega bata, kjer potisne bat navzgor. Ta proces se ponavlja, dokler bat z bremenom ne doseže zahtevane višine. Za spuščanje dvižnega bata je treba odpreti poseben ventil, skozi katerega tekočina iz valja teče nazaj v rezervoar. Splošni sestav hidravličnega dvigala je predstavljen na sliki 26, kjer je:

- 1 – ročica,
- 2 – batna črpalka,

- 3 – dvizni bat,
- 4 – rezervoar,
- F_1 – sila na bat črpalke [N],
- G – teža tovora [N],
- D – premer dviznega bata [m],
- d – premer bata črpalke [m].



Slika 26: Splošni sestav hidravličnega dvigala

Vir: (Isaković in Klopčar, 1992)



Slika 27: Primera hidravličnega dvigala

Vir: <https://tinyurl.com/2w5vyvz5>

Tlak tekočine v batni črpalki izračunamo po enačbi:

$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{4 \cdot F_1}{\pi \cdot d^2} \quad [\text{N/mm}^2], \quad (8)$$

kjer je:

- F_1 – sila na bat črpalke [N],
- d – premer bata črpalke [m].

Z enakim tlakom deluje tekočina po Pascalovem zakonu na dvizni bat, kar zapišemo z enačbo:

$$p = \frac{G}{A} = \frac{4 \cdot G}{\pi \cdot D^2} \quad [\text{N/mm}^2], \quad (9)$$

kjer je:

- G – teža tovora [N],
 D – premer dvižnega bata [m].

Silo F_1 na bat izračunamo po enačbi:

$$F_1 = G \cdot \frac{d^2}{D^2} \quad [\text{N}]. \quad (10)$$

Silo F na ročici izračunamo po enačbi (z upoštevanjem izkoristka dvigala):

$$F = G \cdot \frac{d^2}{D^2} \cdot \frac{a}{b} \cdot \left(\frac{1}{\eta} \right) \quad [\text{N}], \quad (11)$$

kjer je:

- F – sila na ročico [N],
 a/b – razmerje ročice,
 η – izkoristek dvigala (od 0,7 do 0,8).

Primer 3.2. Izračunajte, kolikšna je teža tovora na hidravličnem dvigalu, ki ga dvigujemo s silo na ročici $F = 180$ N, pri čemer je premer bata črpalke $d = 100$ mm, premer dvižnega bata je $D = 220$ mm, razmerje ročice $a/b = 0,4$ in izkoristek dvigala $\eta = 0,65$.

Rešitev.

Razmerje $a/b = 0,4$ pomeni $b = 1/a = 1/0,4 = 2,5$

Iz enačbe (11) izrazimo G :

$$G = \frac{F \cdot b \cdot D^2 \cdot \eta}{a \cdot d^2} = \frac{180 \cdot 2,5 \cdot (0,22)^2 \cdot 0,65}{0,4 \cdot 0,1^2} = 3539,25 \text{ N}.$$



Naloga 3.2. V skladišču uporabljamo hidravlično dvigalo za premikanje težkih tovorov med različnimi nivoji regalov. Dvigalo ima premer bata črpalke $d = 50$ mm, premer dvižnega bata $D = 200$ mm, razmerje ročic a/b je 0,4 in sila na bat $F_1 = 250$ N ter izkoristek dvigala $\eta = 80$ %. V skladišču moramo dvigniti paleto teže $m = 1200$ kg. Ali je dvigalo dovolj zmogljivo, da dvigne paleto?

Rešitev.

Potrebna sila na ročici F za dvig palete G je 367,875 N. Ker je sila na ročici $F_1 = 250$ N tj. $F_1 < F$ tj. potrebna sila za dvig, hidravlično dvigalo ne bo zmožno dvigniti palete.

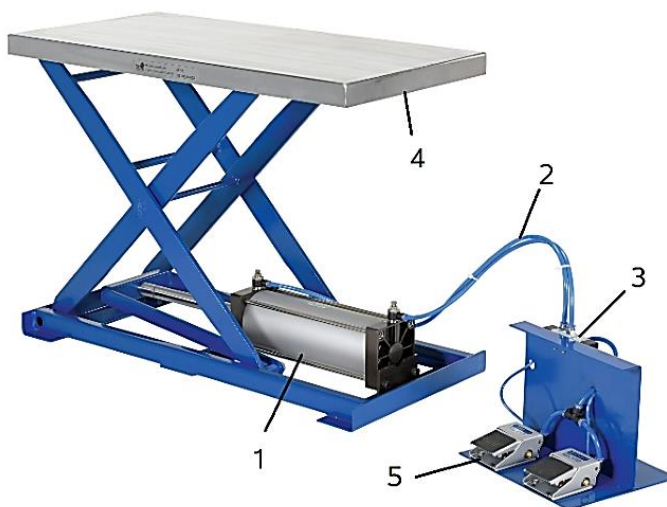


C. Pnevmatika dvigala

Pnevmatika dvigala so ključni elementi v sistemih notranjega transporta, saj omogočajo učinkovito in varno premikanje bremen z uporabo stisnjenega zraka. Dva primera sta predstavljena na sliki 29. Pnevmatika dvigala delujejo na osnovi uporabe stisnjenega zraka, ki se vodi skozi cevi do cilindrov, kjer premika bate. Premikanje batov posledično dviguje ali spušča breme. Glavni elementi pnevmatskega dvigala vključujejo kompresor, ki proizvaja stisnjen zrak, cevovode, ki stisnjen zrak sprostitjo v cilinder, in pretvarjajo energijo stisnjenega zraka v mehansko gibanje, kar povzroči premikanje bata in omogoča dviganje ali spuščanje bremena. Imajo tudi regulatorje in ventile, ki

nadzorujejo pretok zraka in s tem gibanje dvigala, ter varnostne ventile, ki preprečujejo čezmeren pritisk in zagotavljajo varno delovanje sistema. Lahko imajo nožne stopalke za dviganje in spuščanje dvižne mize. Pnevmatika so primerna za različna okolja in aplikacije, vključno s skladišči, proizvodnimi linijami in delavnicami. V skladiščih se uporabljajo za dviganje in premikanje težkih palet, škatel ali drugih bremen z ene lokacije na drugo znotraj skladišča. Uporabljajo se tudi za hitro in učinkovito nakladanje in razkladanje tovora iz transportnih vozil. Splošni sestav pnevmatskega dvigala je predstavljen na sliki 28, kjer je:

- 1 – cilinder in bat,
- 2 – cevovod (zrak),
- 3 – zračni kompresor,
- 4 – dvižna miza,
- 5 – nožne stopalke.



Slika 28: Splošni sestav pnevmatskega dvigala

Vir: <https://tinyurl.com/7c6ynunt>



Slika 29: Dva primera pnevmatskega dvigala (tudi z roko)

Vir: <https://tinyurl.com/3zvx3wav>

3.2 Dvigala za velike višine dviganja

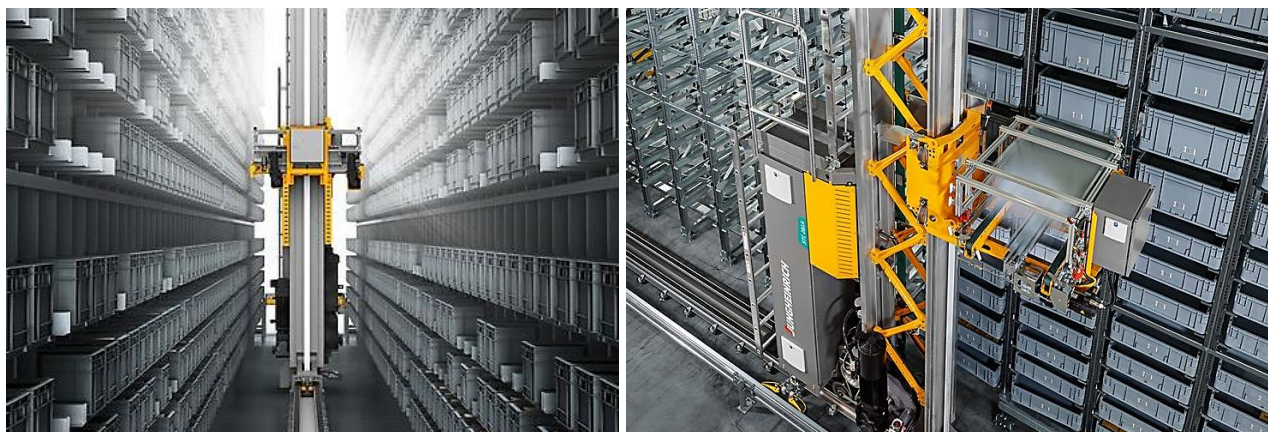
Velika dvigala se v industriji in skladiščnih dejavnostih uporabljajo tam, kjer so učinkovita, varna in zanesljiva pri premikanju težkih tovorov na velike višine. Skupne značilnosti vseh dvigal za velike višine dviganja so naslednje:

- Višina dviganja bremena: Ta dvigala so zasnovana za dviganje bremen na velike višine, kar pomeni, da lahko premikajo tovore na višje nivoje, na primer pri industrijskih delovnih procesih.
- Majhne sile zaradi lažjih bremen: Čeprav so bremena, ki jih ta dvigala premikajo, običajno lahka, se pri dviganju ustvarjajo le relativno majhne sile. Zaradi tega so dvigala bolj primerna za naloge, kjer teža tovara ni glavna omejitev, ampak je poudarek na višini dviganja.
- Uporaba pripomočkov za dviganje: Ta dvigala običajno uporabljajo različne pripomočke za dviganje in pritrditev bremen. Med najpogostejše uporabljenimi so vrvi, verige, kavliji, grabeži, klešče in elektromagneti. Ti pripomočki omogočajo varno in učinkovito pritrditev ter dviganje bremen na različne višine.
- Položaj dvigala: Dvigala so običajno nameščena nad bremenom, kar omogoča boljši nadzor in stabilnost pri dviganju. Ta konfiguracija je posebej pomembna pri dvigovanju na velike višine, saj zmanjšuje tveganje za nihanje ali padanje bremena.
- Prenosljivost in stabilnost: Dvigala za velike višine dviganja so lahko prenosna ali fiksna. Prenosna dvigala so zasnovana za uporabo na različnih lokacijah, medtem ko so fiksna dvigala stalno nameščena in namenjena za dolgotrajno uporabo na enem mestu.
- Vrsta pogona: Prenosna dvigala in dvigala, ki premikajo lažja bremena, običajno uporabljajo ročni pogon. Ta način pogona je primeren, kjer so potrebne sile za dvigovanje razmeroma majhne. Po drugi strani pa dvigala, namenjena za premikanje težjih bremen, uporabljajo strojni pogon, saj so potrebne sile za dviganje bistveno večje.
- Učinkovitost delovanja: Kljub temu da so bremena običajno lahka, lahko dvigala z učinkovitim mehanizmom dvigajo na velike višine z relativno majhnim vložkom moči. To pomeni, da lahko z majhnimi silami premagajo zahtevne naloge, povezane z dviganjem na velike višine.

A. Električna (regalna) dvigala

Dvigala za velike višine so specializirane naprave, namenjene učinkovitemu skladiščenju in premeščanju tovara na zelo visokih regalih (slika 30). Regalno dvigalo s posebnimi vilicami vlega ali jemlje skladiščne enote iz regalov. Takšna dvigala so nepogrešljiva v velikih skladiščih, distribucijskih centrih in proizvodnih obratih, kjer je prostor optimiziran z uporabo visokih regalov za maksimiranje skladiščnih kapacitet. Nekatera dvigala lahko dosežejo višino več kot 30 metrov. Električna regalna dvigala imajo visoko nosilnost, kar omogoča dviganje težkih palet in drugih tovorov. Nosilnost se lahko giblje od nekaj sto kilogramov do več ton, odvisno od modela in konfiguracije. Številna električna regalna dvigala so del avtomatiziranih skladiščnih sistemov (AS/RS - Automated Storage and Retrieval Systems). Ta dvigala lahko delujejo popolnoma avtomatizirano, kar povečuje učinkovitost in zmanjšuje potrebo po ročnem delu. Takšna dvigala

imajo številne prednosti, kot so: maksimalna izraba prostora skladišča, manjše število delavcev, avtomatizacija pretoka blaga, večja varnost, večje hitrosti, večja natančnost in zanesljivost itd.

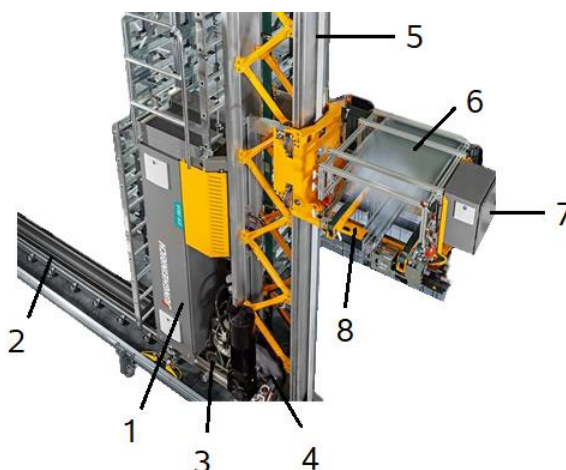


Slika 30: Primer električnega (regalnega) dvigala

Vir: <https://tinyurl.com/mpzr9yen>

Splošni sestavni elementi električnega regalnega dvigala (slika 31):

- 1 – nosilna konstrukcija,
- 2 – tirnica,
- 3 – pogonska kolesa,
- 4 – elektromotor (pogon),
- 5 – dvigalni stolp,
- 6 – dvigalna ploščad,
- 7 – nadzorna plošča (krmilni sistem),
- 8 – vilice.



Slika 31: Splošni sestav električnega regalnega dvigala

Vir: <https://tinyurl.com/mpzr9yen>

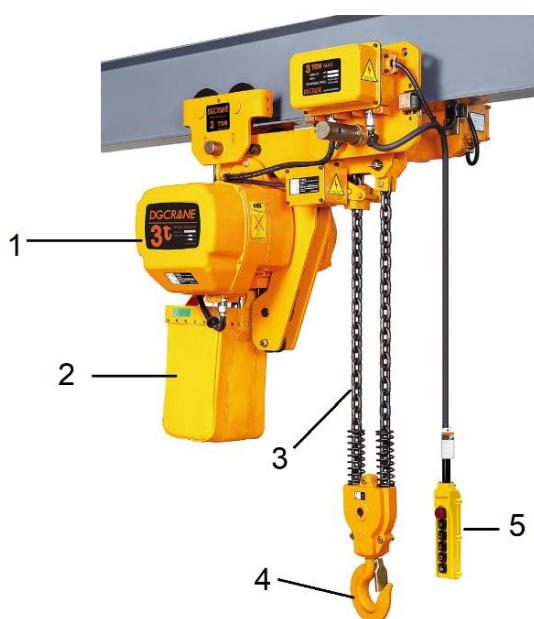
B. Verižna in jeklena vrvna dvigala

Takšna dvigala se uporabljajo za premeščanje tovora na velikih višinah, kjer se tovor premika s pomočjo kabine na vodilih v verikalni smeri v dvižnem jašku. Dva primera tj. verižnega in jeklenega vrvnega dvigala prikazuje slika 33. Za pogon najpogosteje uporabljajo elektromotor, lahko tudi v kombinaciji z hidravliko. Strojnica z elektromotorjem je običajno na vrhu dvigala, tovor pa je skupaj s kabino pripet na jekleno vrv ali verigo. Vrv se navija na boben, ki se vrti in s tem dviga ali spušča

breme. Pogosto se uporabljajo za dviganje težkih predmetov, kot so stroji, kovinski deli in velike palete, kontejneri oziroma tam, kjer je potrebna velika moč in natančnost dvigovanja. Izbira verižnih in jeklenih vrvnih dvigal je odvisna od specifičnih potreb skladišča, kot so nosilnost, višina dvigovanja in razdalja premikanja bremena. Obe vrsti dvigal ponujata visoko zmogljivost, natančnost in vzdržljivost, kar prispeva k izboljšani produktivnosti in varnosti v skladiščnem okolju.

Splošni sestavni elementi verižnega dvigala so prikazani na sliki 32, kjer je:

- 1 – elektromotor,
- 2 – vrečka za verigo,
- 3 – veriga,
- 4 – kavelj,
- 5 – daljinec za upravljanje dvigala.



Slika 32: Splošni sestav verižnega dvigala



Slika 33: Primer jeklenega vrvnega dvigala in verižnega dvigala

Vir: <https://tinyurl.com/2p8ynf7z>

C. Stropna in mostna dvigala

Stropna in mostna dvigala sta ključni napravi v notranjem transportu, še posebej v velikih skladiščih, proizvodnih obratih in logističnih centrih, kjer se težek tovor premika na velikih višinah in razdaljah. Izbira med mostnim in stropnim dvigalom je odvisna od specifičnih potreb prostora, razpoložljivosti talnega prostora in vrste tovora, ki ga je potrebno premikati. Mostna dvigala so nameščena na dveh vzporednih tirnicah, ki sta nameščeni na nasprotnih straneh prostora. Dvigalo se premika po teh tirnicah in lahko dviguje ter premika bremena po celotnem območju pod mostom (slika 34) v vse tri smeri (levo-desno, naprej-nazaj, gor-dol), kar omogoča natančno pozicioniranje bremena. Stropna dvigala so nameščena na stropu ali na nosilcih, pritrjenih na strop. Dvigalo se lahko premika v treh smereh (levo-desno, naprej-nazaj, gor-dol), kar omogoča natančno pozicioniranje bremena. Dvigalo se premika vzdolž stropnih tirnic in lahko dviguje ter premika bremena po celotnem območju pod tirnicami. Primerna so za uporabo v različnih industrijskih okoljih, vključno s skladišči, proizvodnimi obrati, ladjedelnicami itd.

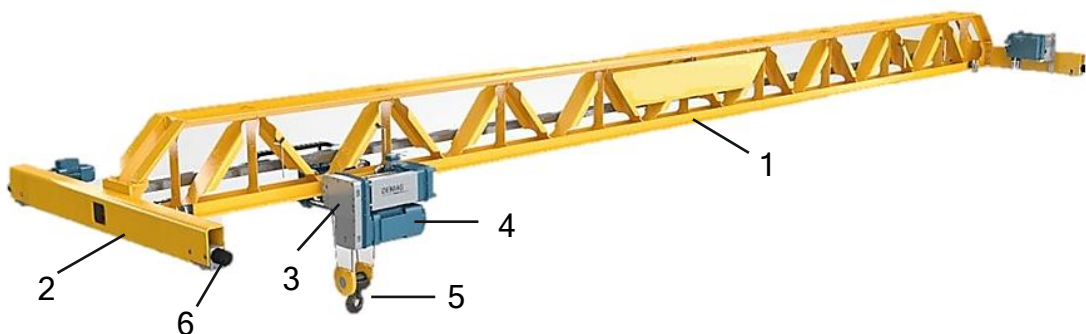


Slika 34: Primera mostnega dvigala

Vir: <https://www.me-jan.com/standardna-mostna-dvigala/>

Splošni sestavni elementi mostnega dvigala so prikazani na sliki 35, kjer je:

- 1 – most,
- 2 – nosilec,
- 3 – voziček (premik levo-desno),
- 4 – elektromotor (pogon),
- 5 – kavelj (prijemala),
- 6 – kolesa za premikanje dvigala (naprej-nazaj).



Slika 35: Splošni sestav mostnega dvigala

Vir: <https://www.me-jan.com/standardna-mostna-dvigala/>

4 TRANSPORTERJI

Transporterji so naprave za neprekinjeno prenašanje oz. prevažanje materiala. Glavna značilnost transporterjev je v tem, da poteka transport materiala po določeni poti, naklada in razklada pa se med obratovanjem naprave (neprekinjeno delovanje).

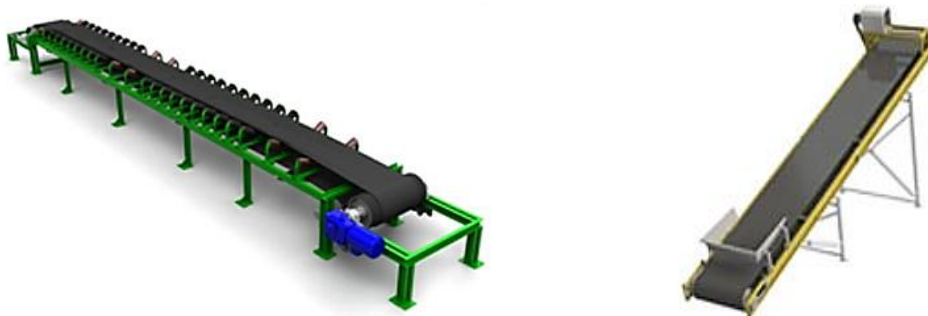
Uspešnost proizvodnega procesa je v veliki meri odvisna od dobre organizacije transporta. V notranjem transportu je treba transportirati tovor oz. material od enega delovnega mesta do drugega vse do končne odpreme. Vso to dejavnost lahko razdelimo na:

- zunanji transport (dovoz in odvoz izdelkov oz. materiala v skladišče s tovornjaki, z vagoni preko železnice itd.) in
- notranji transport (prevoz materiala, surovin, polizdelkov, izdelkov itd. od delovnega mesta do delovnega mesta s transporterji, z viličarji, z žerjavi itd.).

4.1 Tračni transporterji

Tračni transporterji s trakom se uporabljajo za prenos kosovnega in sipkega materiala, npr. cementa, rude, peska, žit itd. Najpogosteje se uporabljajo v rudarstvu, metalurgiji, gradbeništvu, na deponijah premoga, v tovarnah z veliko serijsko proizvodnjo, na terminalih za razsuti tovor ipd. Tračni transporterji so zelo priljubljeni zaradi svoje vsestranskosti in zmožnosti premikanja različnih vrst tovara vključno z majhnimi, srednje velikimi in težkimi predmeti. Poleg tega so tračni transporterji zelo učinkoviti pri prenosu velikih količin tovara na dolge razdalje ter omogočajo hitro in zanesljivo prenašanje tovara, kar zmanjšuje potrebo po ročnem delu. Dva primera tračnih transporterjev prikazuje slika 36. Nekaj karakteristik tračnih transporterjev:

- Hitrost traku pri kosovnem materialu je od 0,5 do 1,5 m/s, pri sipkem materialu od 1 do 6 m/s.
- Normalna dolžina transporterja je do 500 m, manj pogosto tudi do 5000m. Dolžina traku je omejena z močjo motorja. Širina traku je od 0,2 do 2 m, v premogovnikih do 3,2 m.
- Zmogljivost tračnih transporterjev lahko dosega več 100 t/h, tudi do 1000 t/h.
- Tračni transporterji so vodoravni ali nagnjeni. V splošnem naj nagib ne bi bil večji od 20° do 30°. Seveda je dopustni nagib odvisen od vrste materiala, ki ga prenašamo. Za večje nagibe lahko uporabimo trak z rebri (gumijaste prečke).

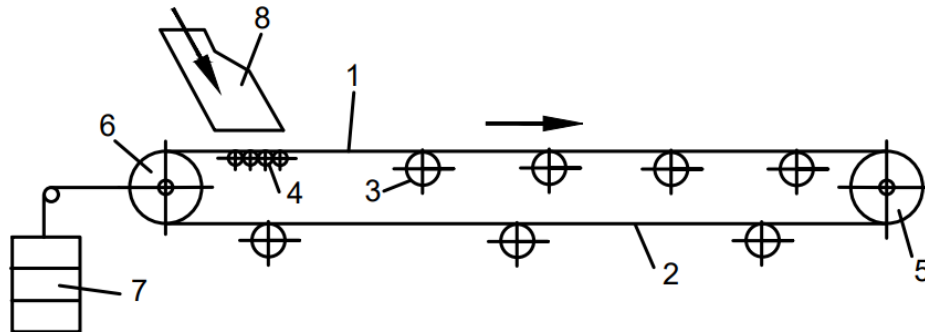


Slika 36: Vodoravni in nagnjeni tračni transporter

Vir: <https://www.transporteri.com/proizvodi/trakasti-transporteri>

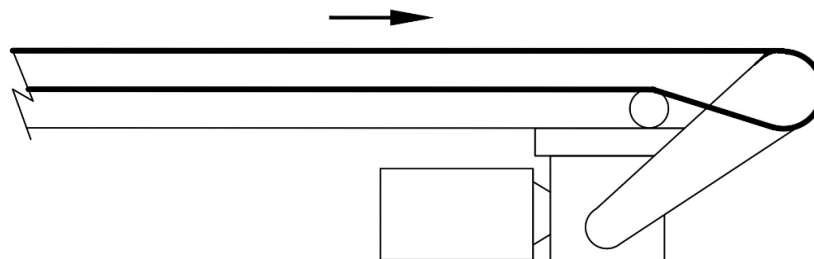
Splošni sestav tračnega transporterja prikazuje slika 37, kjer je:

- 1 – brezkončni trak, delovni del,
- 2 – jalovi del,
- 3 – nosilni podporni valj,
- 4 – podporni valji pod nakladalno napravo,
- 5 – pogonski boben,
- 6 – napenjalni boben,
- 7 – napenjalne uteži,
- 8 – nakladalna naprava (dodajanje materiala).



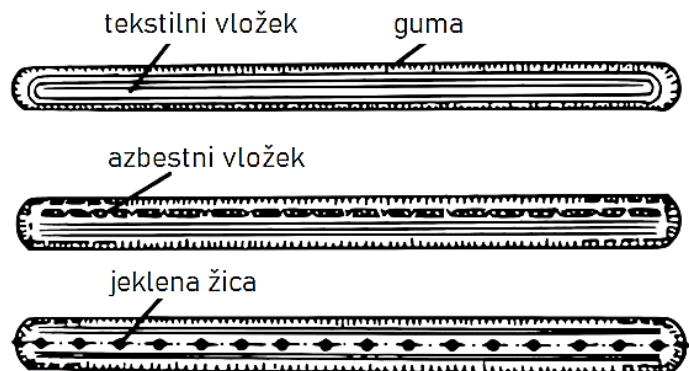
Slika 37: Skica splošne sestave tračnega transporterja

Pogonski boben je na enem koncu transportnega traku in je povezan z motorjem (slika 38). Odgovoren je za prenos pogonske sile na trak, zaradi česar se ta premika in prenaša tovor. Na pogonski boben je napeljan jermen, ki prenaša pogonsko silo z motorja na transportni trak. Napenjalni boben pa se uporablja za ohranjanje pravilne napetosti traku. Omogoča, da jermen ostane na mestu in ne zdrsne med delovanjem sistema.



Slika 38: Skica pogonskega bobna in jermenice

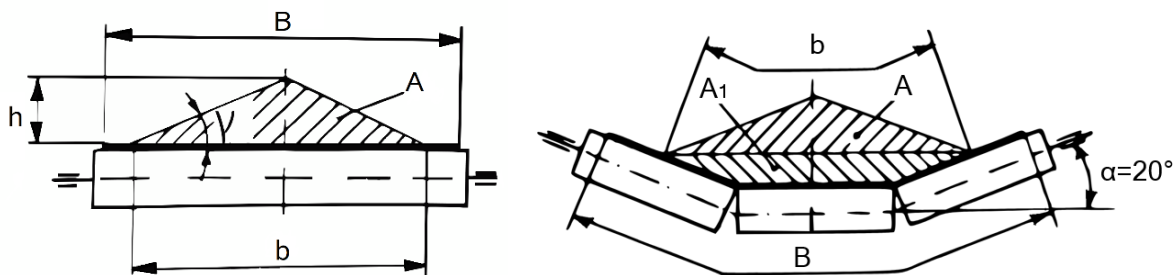
Najpomembnejši in pogosto najdražji del transporterja je trak. Trak je lahko narejen iz tekstilnih vložkov, ki so prepognjeni oz. zalepljeni skupaj. Vložki so iz bombažnih ali iz sintetičnih vlaken, njihova naloga je, da prevzamejo natezne obremenitve. Taki trakovi se uporabljajo pri temperaturah od -20 do +60 °C. Za višje temperature (do 100 °C) ima trak azbestni vložek. V rabi je tudi gumijasti trak, ki je armiran z jekleno žico s premerom od 1,2 do 4 mm. Različne izvedbe trakov prikazuje slika 39.



Slika 39: Tri različne izvedbe trakov za tračni transporter

Vir: (Isaković in Klopčar, 1992)

Pri majhnih zmogljivostih transporterja je trak raven, podprt z vodoravnim podpornim valjem (slika 40 levo). Pri večjih zmogljivostih pa uporabljamo koritasti trak s trodelno vijačno podporo (slika 40 desno). Običajno so to trije enako dolgi valji. Oba stranska valja trodelne valjčne podpore sta postavljena pod kotom 20° (lahko tudi pod kotom 35° ali 45°).



Slika 40: Vodoravni podporni valji in trodelni podporni valji

Vir: (Isaković in Klopčar, 1992)

Kjer je:

- b – širina na traku nasutega materiala [m],
- h – višina na traku nasutega materiala [m],
- B – širina traku [m],
- A – polnilni prerez [m²] imenujemo prerez na traku nasutega materiala,
- γ – kot v trikotniku polnilnega prereza (kot materiala v mirovanju) [°],
- β – nasipni kot materiala pri gibanju materiala po traku [°].

Za ravni trak (slika levo) je polnilni prerez [m²] izračunan z enačbo:

$$A = \frac{b \cdot h}{2} . \quad (12)$$

Za koritast transporter (tri valji slika desno) je polnilni prerez izračunan po enačbi:

$$A + A_1 = 2 \cdot A . \quad (13)$$

Kjer se b in h izračunata kot:

$$b = 0,8 \cdot B \quad h = (b / 2) \cdot \tan(\gamma) \quad \gamma = \beta / 2 . \quad (14)$$

Nasipni kot pri gibanju transporterja je odvisen od vrste materiala, ki se transportira. V tabeli 1 je prikazan nasipni kot za nekatere vrste materiala.

Tabela 1: Nasipni kot v odvisnosti od transportiranega materiala

Vrsta materiala	Nasipni kot β
zrnati material	25°
premog, koks	30°
ruda, prod	35°

Količina transportiranega materiala je odvisna od širine traku, njegove hitrosti, nasipnega kota materiala in oblike prereza oziroma od postavitve valjčkov. Pri transportu sipkega materiala je zmogljivost (kapaciteta) tračnega transporterja določena z formulo:

$$Q = 3,6 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot A \cdot v \cdot \rho, \quad [\text{t/h}] \quad (15)$$

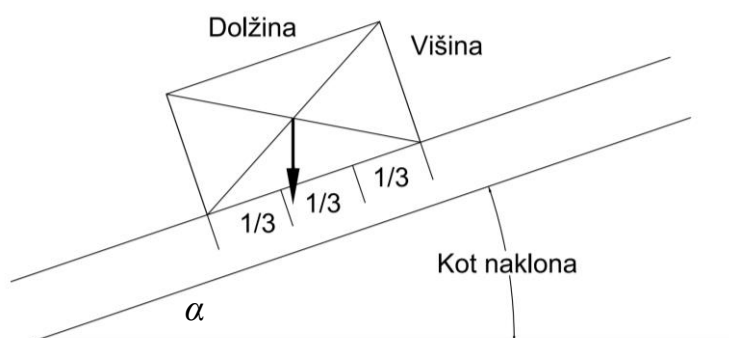
kjer je:

- A – polnilni prerez nasutega materiala [m^2],
- v – hitrost premikanja traku [m/s],
- ρ – specifična masa materiala [t/m^3],
- K_1 – koeficient stopnje neenakomernosti dodajanja materiala (od 0,8 do 1),
- K_2 – koeficient naklona transporterja, podan v tabeli 2.

Tabela 2: Koeficient naklona transporterja K_2

Naklon transporterja α	2°	4°	6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°	20°
Koeficient K_2	1	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,85	0,81

Pri naklonih in spustih tračnega transporterja je ključno, da naklon ni večji, kot ga lahko izdelek varno prenese, ne da bi pri tem prišlo do zdrsa ali prevrnitve. Čeprav se mnjenja med proizvajalci glede varnih naklonov razlikujejo, se je izkazalo, da je največ 22-stopinjski naklon splošno sprejeta praksa za transport večine izdelkov. Pri določanju največjega dovoljenega naklona je treba upoštevati razmerje med višino in dolžino izdelka ter njegovo težišče. Pomembno je tudi, da je površina transporterja primerna za preprečevanje zdrsa. Pravilo je, da je kot nagiba takšen, da navpična črta, speljana skozi težišče izdelka, pade v srednjo tretjino njegove dolžine. V praksi to pomeni, da mora biti transporter ustrezno dimenzioniran in prilagojen specifičnim značilnostim izdelkov, ki jih prenaša, kot je prikazano na sliki 41. Poleg tega je priporočljivo uporabiti dodatne varnostne elemente, kot so bočne ograje ali zadrževalni sistemi, ki preprečujejo premike izdelkov izven predvidene poti.

**Slika 41:** Razmerje med težiščem izdelka in kotom nagiba tračnega transporterja

Pri transportu kosovnega materiala je zmogljivost (kapaciteta Q) tračnega transporterja določena z enačbo:

$$Q = 3600 \cdot (n / L) \cdot v \quad [\text{kos/h}]$$

ali

$$Q = 3600 \cdot (G / v) \cdot L \quad [\text{t/h}], \quad (16)$$

kjer je:

- n – število predmetov na traku [kos/m],
- L – dolžina traku od osi do osi bobna [m],
- v – hitrost traku [m/s]. Običajno je hitrost traku od 0,25 do 4,5 m/s,
- G – masa enega kosa predmeta na traku.

Moč transporterja, ki je potrebna za transport materiala, se izračuna po enačbi:

$$P = (F_0 \cdot v) / 1000, \quad [\text{kW}] \quad (17)$$

kjer je:

- F_0 – obodna sila na pogonskem bobnu [N],
- v – hitrost traku [m/s].

Obodno silo F_0 dobimo kot vsoto vseh sil:

- sile za horizontalno gibanje zaradi obremenitve traku,
- sile za vrtenje bobnov in valjev,
- sile komponente teže, če je trak nagnjen.

Obodna sila F_0 je izražena z enačbo:

$$F_0 = c \cdot f \cdot L \cdot \left(G_t + \frac{9,81 \cdot Q}{3,6 \cdot v} \right) \pm \frac{9,81 \cdot Q \cdot H}{3,6 \cdot v}, \quad [\text{N}] \quad (18)$$

kjer je:

- f – koeficient glavnih uporov zaradi trenja v ležajih bobnov in valjev ter zaradi notranjega trenja v traku (od 0,0015 do 0,03),
- L – dolžina transportnega traku od osi do osi bobna [m],
- G_t – teža gibljivih delov transporterja (teža traku, bobnov in valjev), ki se računa na 1 m dolžine traku [N/m],
- Q – kapaciteta transporterja [t/h],
- H – transportna višina [m],
- c – koeficient dodatnih uporov, ki je odvisen od dolžine L traku in je podan v tabeli.

V enačbi nastopa sila F_0 s predznakom + pri dvigovanju bremena in predznakom – pri spuščanju bremena.

Tabela 3: Koeficient dodatnih uporov c v odvisnosti od dolžine transporterja L [m]

L	c	L	c	L	c	L	c	L	c	L	c	L	c
do 4	9	8	5,1	20	3,2	50	2,2	125	1,64	320	1,29	800	1,12
4	7,6	10	4,5	25	2,9	63	2	160	1,53	400	1,23	1000	1,10
5	6,6	12,5	4	32	2,6	80	1,85	200	1,45	500	1,19	1250	1,08
6	5,9	16	3,6	40	2,4	100	1,74	250	1,37	630	1,15		

Moč pogonskega motorja ob upoštevanju izkoristka transporterja se izračuna po enačbi:

$$P = (F_0 \cdot v) / (1000 \cdot \eta), \quad [\text{kW}] \quad (19)$$

kjer je:

η – izkoristek transporterja (motorja) [%].

Pogonski mehanizem tračnih transporterjev je sestavljen iz elektromotorja, reduktorja in pogonskega bobna.

Naloga 4.1. Določite potrebno moč elektromotorja za pogon tračnega transporterja za vodoravni transport $Q = 420 \text{ t/h}$ proda, če je izkoristek tračnega transporterja $\eta = 0,82$. Podani so naslednji podatki: dolžina transportnega traku od osi do osi bobna $L = 250 \text{ m}$; hitrost traku $v = 1,2 \text{ m/s}$; teža gibljivih delov transporterja $Gt = 645 \text{ N/m}$.

Rešitev.

Obodna sila F_0 je $16427,16 \text{ N}$ in moč elektromotorja P je $24,04 \text{ kW}$.



Določite potrebno moč elektromotorja za pogon tračnega transporterja iz prejšnje naloge (Naloga 4.1.), če gre za transport proda na višino $H = 8 \text{ m}$.

Obodna sila F_0 je 24057 N in moč elektromotorja P je $35,2 \text{ kW}$.

Naloga 4.2. Določite potrebno moč elektromotorja in potrebno hitrost traku tračnega transporterja, da bi v eni uri opravili prenos $Q = 400 \text{ t}$ proda, ki ima specifično maso $\rho = 1,8 \text{ t/m}^3$, na višino $H = 10 \text{ m}$, če je izkoristek transporterja $\eta = 0,81$. Drugi podatki transporterja so: $L = 63 \text{ m}$, teža gibljivih delov transporterja $Gt = 700 \text{ N/m}$, širina traku $B = 800 \text{ mm}$. Kolikšen je kot naklona tračnega transporterja?

Rešitev.

Kot naklona tračnega transporterja izračunamo z enačbo: $\sin(\alpha) = H/L$. Torej je $\sin(\alpha) = 10/63$ in dobimo $\alpha = 9,13^\circ$. Potrebna hitrost traku tračnega transporterja je $2,02 \text{ km/h}$ in potrebna moč elektromotorja $20,37 \text{ kW}$ ob izračunani $F_0 = 29467,78 \text{ N}$.



Naloga 4.3. Tračni transporter je namenjen natovarjanju tovora (premoga), katerega zahtevana zmogljivost transporterja Q je 1000 t/h. Dolžina tračnega transporterja mora biti $L = 366$ m, širina traku $B = 1200$ mm. Določite, kolikšna je dejanska zmogljivost transporterja Q_{dej} in efektivno širino traku b . Podani so še naslednji podatki: nasipna gostota transportiranega materiala 800 t/m³, hitrost transporterja 2,6 m/s, idealizirani prerez materiala na traku 0,161 m² in koeficient korelacije naklona transporterja 0,85. Glede na dejansko izračunano zmogljivost transporterja izračunajte višino nasutega materiala, če je nasipni kot premoga na premikajočem se traku 30°.



Rešitev.

Dejanska zmogljivost transporterja $Q_{dej} = 1024,73$ t/h, pri čemer je efektivna širina traku $b = 1,08$ m in višina nasutega materiala $h = 0,144$ m.

4.2 Členkasti (ploščni) transporterji

Členkasti ali ploščni transporterji so posebna oblika verižnega transporterja (ang. redler conveyors). Nekaj primerov členkastega transporterja prikazuje slika 42. Ti se uporabljajo za prenos kosovnega materiala, kot so palete, deske, prehrabne izdelke itd., včasih tudi za razsuti tovor, kot so rude, kamenje itd. Členkasti transporterji se uporabljajo za zvezno in kontinuirano delovanje v vodoravni smeri ali pod kotom (posebna izvedba členkastega transporterja so tekoče stopnice za transport oseb). Premik tovora tako poteka v horizontalni smeri vzdolž po premikajoči se verigi in ploščah. Ploščni transporter se lahko tudi nekoliko zvija, zato lahko transport poteka tudi v rahlih zavojih (kot pri tračnih transporterjih). Prav tako pa omogoča transport pod večjim nagibnim kotom (tudi do 60°), s čimer lahko včasih nadomesti elevator. Veriga je vlečni element, ki je veliko bolj odporen proti okolijskim vplivom kot trak, zato je primerna za delo v prašnem in umazanem okolju.

Nosilni element so plošče (členki), ki tvorijo progo, po katerih se transportira tovor. Plošče so lahko iz kovinskih ali iz plastičnih členkov (odvisno od transportiranega materiala), pri čemer lahko prenesejo tudi do 750°C. Ti členki so lahko razmaknjeni ali pa se prilegajo drug na drugega.

Nekaj karakteristik tračnih transporterjev:

- Zmogljivost členkastih transporterjev lahko doseže tudi več kot 2000 t/h. Z uporabo več pogonov pa je lahko dolžina transporterja tudi do 2000 m.
- Pomanjkljivost členkastih transporterjev je večja teža in občutljivost elementov transporterja.
- Kapaciteta transporterja 100-150 t/h se uporablja za dolžine transportnih poti 50-60 m.

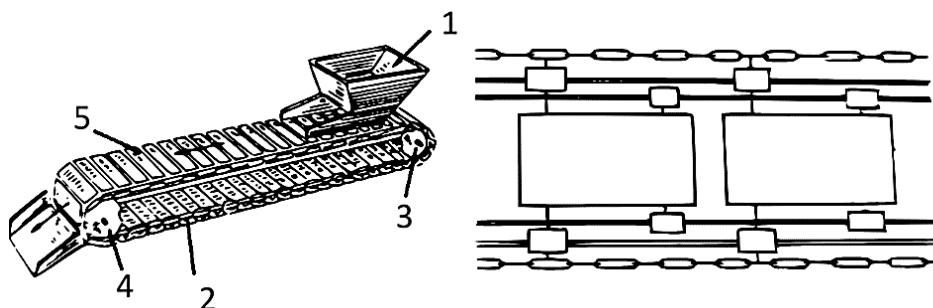


Slika 42: Primeri členkastih transporterjev

Vir: <https://www.transporteri.com/proizvodi/plocasti-transporteri>

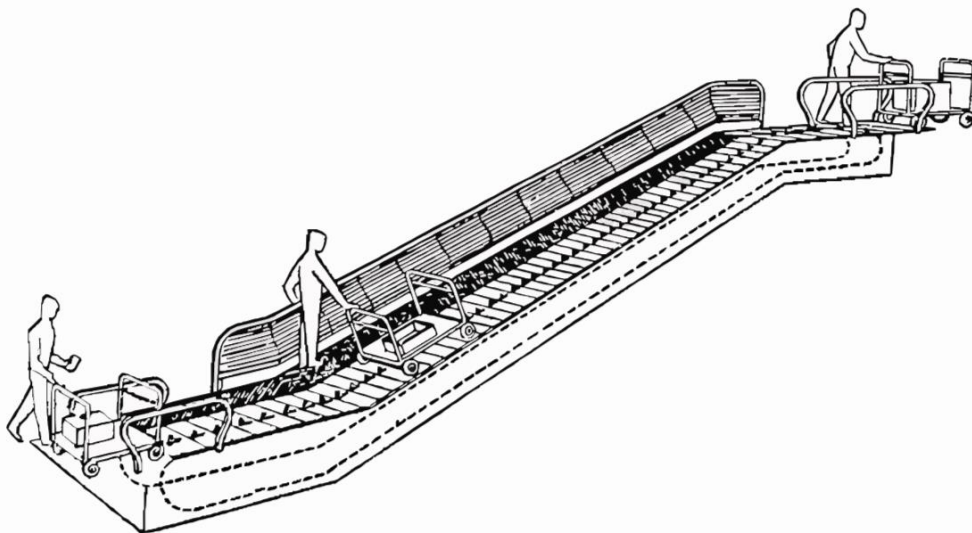
Splošni sestav členkastega transporterja za tovor je prikazan na sliki 43, kjer je:

- 1 – koš za dodajanje materiala,
- 2 – veriga,
- 3, 4 – verižni zobnik,
- 5 – plošča.



Slika 43: Splošni sestav členkastega transporterja

Vir: (Isaković in Klopčar, 1992)

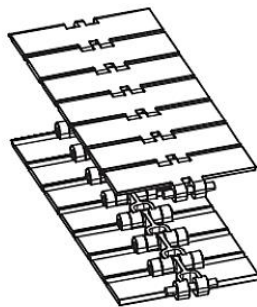


Slika 44: Členkasti transporter za komisioniranje

Vir: (Kovač, 1973)

Namizni členkasti transporterji, se pogosto uporabljajo v proizvodnji in pakirni industriji. Namenjeni so premikanju izdelkov ali materialov po proizvodni liniji, najpogosteje za transport predmetov, kot so steklenice, škatle in manjše komponente. Površina je običajno gladka, kar zagotavlja stabilno premikanje izdelkov. Za uporabo transporterja pri prenosu izdelkov po naklonu pa lahko dodamo na členke gumjasti vložek. Poznamo tri vrste izvedb namiznih členkastih transporterjev:

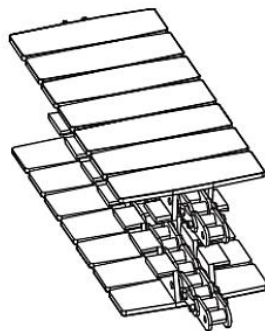
- Plošča je sestavni del verige, kot to prikazuje slika 45. Pri tej izvedbi je vsaka posamezna plošča hkrati del verige. To pomeni, da plošče in členki verige sestavljajo en sam kos, kar zagotavlja bolj gladko premikanje in enakomerno porazdelitev obremenitve.



Slika 45: Členkasti transporter, kjer je plošča sestavni element transporterja

Vir: (McGuire, 2009; McGuire, 2023)

- Zgornja plošča je pritrjena na verigo, kot to prikazuje slika 46. Pri tej izvedbi je zgornja plošča pritrjena na ločeno verigo, ki teče pod ploščami. Ta zasnova omogoča večjo prilagodljivost pri prilagajanju zgornje površine transporterja različnim vrstam izdelkov, hkrati pa omogoča lažje vzdrževanje in zamenjavo posameznih plošč ali verige.



Slika 46: Členkasti trasporter, kjer je plošča pritrjena na verigo

Vir: (McGuire, 2009; McGuire, 2023)

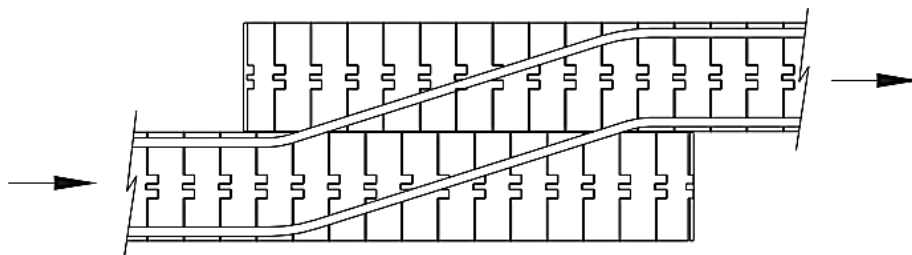
- Multiflex, ki uporablja kroglični sklep je prikazan na sliki 47. Vključuje uporabo krogličnih sklepov, ki omogočajo veliko večjo prilagodljivost v smeri premikanja. Takšni transporterji so idealni za kompleksne postavitve, kjer je potrebna visoka stopnja prilagodljivosti, saj omogočajo premikanje izdelkov v več smeri, vključno z zavoji, vzponi in spusti.



Slika 47: Členkasti trasporter s krogličnim sklepom

Vir: (McGuire, 2009; McGuire, 2023)

Pogosta praksa v proizvodnih linijah je uporaba vzporednih izvedb ali stranski prenos izdelkov na drug transporter, kjer sta dva ali več členkastih transporterjev nameščena vzporedno. To omogoča hkratno premikanje več linij izdelkov. Stranski prenos vključuje premikanje izdelkov iz enega transporterja na drugega, ki teče vzporedno ali pod kotom. Ta izveba je učinkovita pri preusmerjanju izdelkov na različne dele proizvodne linije, pri spreminjanju hitrosti prenosa ali za razdeljevanje izdelkov na različne proizvodne faze. Stranski prenos omogoča večjo prilagodljivost in neprekinjenost proizvodnega procesa.



Slika 48: Vzporedna izvedba členkastih transporterjev

Vir: (McGuire, 2009; McGuire, 2023)

Pri transportu kosovnega materiala je zmogljivost (kapaciteta) členkastega transporterja določena z enačbo (enako kot za tračni transporter):

$$Q = 3600 \cdot (i / L) \cdot v, \quad [\text{kos/h}] \quad (20)$$

kjer je:

- i – število predmetov na traku na razdalji L metrov,
- L – dolžina členkastega transporterja od osi do osi zobnika [m],
- v – hitrost transportiranega materiala [m/s]. Običajno je hitrost transporterja od 0,25 do 4,5 m/s.

Potrebna širina členkastega transporterja za sipki tovor glede na velikost kep (zrn) razsutega materiala:

$$B \geq (1,7 \text{ do } 2,7) \cdot a_{\max} + 200 \text{ mm}, \quad [\text{kos/h}] \quad (21)$$

kjer je:

- $a_{\max}$ – velikost največjih grud (zrn) [mm], večja vrednost se vzame za klasificirani (sortirani) material.

Pri transportu sipkega materiala je zmogljivost (kapaciteta) členkastega transporterja določena z enačbo:

$$Q = A \cdot k \cdot v \cdot \rho \cdot 3600, \quad [\text{t/h}] \quad (22)$$

kjer je:

- A – polnilni (prečni) prerez transportiranega materiala [m²] tj. $A = B \cdot h/2$ (za korito, kjer je B širina korita, h višina korita),
- ρ – specifična masa materiala [t/m³],
- v – hitrost premikanja materiala po transporterju [m/s],
- k – koeficient nagiba transporterja.

Naklon (kot nagiba) členkastega transporterja α , ki je lahko $\alpha \leq 30^\circ$, se izračuna s pomočjo enačbe za izračun koeficienta nagiba transporterja k :

$$k = \frac{100 - \alpha}{100}. \quad (23)$$

Moč členkastega transporterja, ki je potrebna za transport materiala, se izračuna po enačbi:

$$P = F \cdot \left(\frac{f \cdot L \cdot (Gj \cdot v + Q)}{367} + \frac{Q \cdot H}{367} \right), \quad [\text{kW}] \quad (24)$$

kjer je:

- F – upor zobnika (po kateri “teče” veriga), ki je običajno okoli 1,1 [N],
- f – koeficient uporov, ki pri ravnem členkastem (verižnem) transporterju znaša od 0,174 do 0,22,
- v – hitrost traku [m/s],
- L – dolžina členkastega transportnega od osi do osi zobnika [m],
- Gj – jalova teža (teža verige, zobnikov itd.) [N],
- Q – zmogljivost (kapaciteta) transporterja [t/h],
- H – transportna višina [m].

Naloga 4.4. Koliko kosov na tekoči meter lahko naložimo na členkasti transporter, če v eni uri transportiramo $Q = 85$ kos/h? Transporter dela s polno hitrostjo $v = 1$ km/h na dolžini tračnega transporterja $L = 40$ m.

Rešitev.

Na tekoči meter traku lahko naložimo 3,37 kosov.



Naloga 4.5. Določite naklon členkastega transporterja α in dolžino tračnega transporterja L za prenos $Q = 550$ t premoga v eni uri, ki ima specifično maso $1,5$ t/m³ na višino $H = 5$ m, če je jalova teža delov $G_j = 600$ N. Drugi podatki transporterja so: $k = 0,75$; $A = 0,25$ m²; $P = 42$ kW; $v = 0,22$ m/s.

Rešitev.

Naklon trnasporterja α je 25° in dolžina L je 75 m.



Naloga 4.6. Členkasti transporter je namenjen prenosu večjih poštnih pošilk v skladišču Pošte Slovenije, ki običajno dela $Q = 27$ kos/h na dolžini $L = 70$ m, pri čemer dela s hitrostjo $v_1 = 0,15$ m/s. Koliko kosov tovora i je na transporterju po tekočem metru? Zaradi povečanega obsega dela v mesecu decembru bo transporter delal s 30 % povečano storilnostjo. Izračunajte najmanj kolikšna mora biti zmogljivost transporterja Q , da bo zadostovala storilnosti dela v mesecu decembru. Ali bi lahko pošta delo s povečanim obsegom opravila z istim transporterjem, če bi povečali hitrost traku na $v_2 = 0,35$ m/s?

Rešitev.

Da, $Q_{dej,v2} > Q_{zmog}$. To pomeni, da bi lahko z istim transporterjem naredili povečan obseg dela s povečanjem hitrosti transporterja v mesecu decembru: $Q_{zmog} = 35,1$ kos/h in $Q_{dej,v2} = 63$ kos/h.



4.3 Viseči krožni transporterji - konvejerji

Viseči krožni transporterji se uporabljajo skoraj povsod v industriji s serijsko proizvodnjo, kjer so proizvodi takšni, da se lahko obešajo. Na sliki 50 sta prikazana dva primera konvejerjev. Povezujejo lahko delovna mesta in obrate po vsej tovarni. Uporabljajo se v lakirnicah, sušilnicah, montažnih linijah itd. Spadajo v skupino verižnih transporterjev in spadajo med najpomembnejše transportne naprave za prenos kosovnega tovora v notranjem transportu.

Transportna proga transporterja je speljana po zaključni zanki pod stropom in je lahko dolga več sto metrov. Vlečni in hkrati nosilni element je največkrat veriga (včasih tudi jeklena vrv), ki je obešena na kotalnih elementih, ti pa se kotalijo po progi.

Kapaciteta transporterja je odvisna od hitrosti premikanja, gostote vpenjalnih mest in nosilnosti nosilnih elementov. Pri daljši dolžini proge transporterja lahko viseči krožni transporter služi tudi kot začasno skladišče. Dolžina transporterja lahko presega tudi 2000 metrov. Hitrost transporterja je običajno do 0,4 m/s, se pa lahko po potrebi trenutno spreminja (računalniško usklajevanje), masni

pretok tovora pa tudi 200-300 t/h. Nakladanje/razkladanje tovora se opravi med gibanjem na poljubnem mestu in se lahko izvede avtomatično ali ročno (manualno). Nosilci tovora so lahko različnih oblik: obešala, vozički, posode itd.

Delitev visečih krožnih transporterjev glede na način gibanja:

- krožni transporter z eno progo (veriga in obešalo na eni progi),
- krožni transporter z dvojno progo (veriga in obešalo na ločeni progi).

Delitev visečih krožnih transporterjev glede na položaj transportne proge in vrste vlečenega elementa:

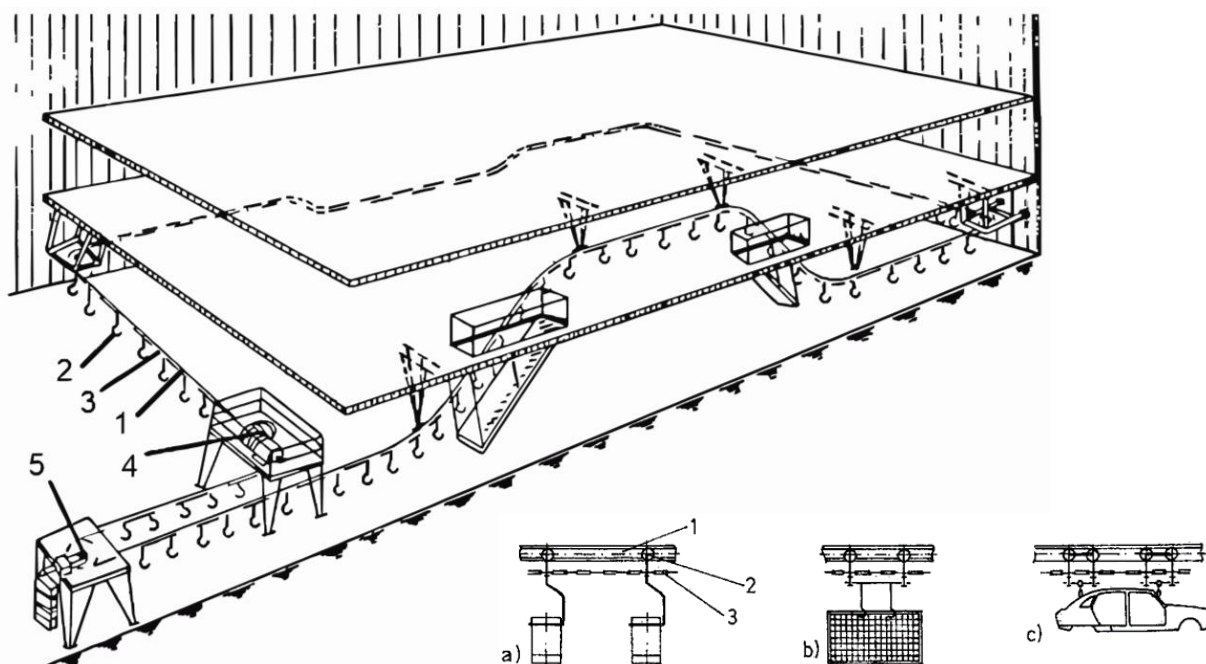
- talni (pritlični),
- zračni konvejerji,
- žičnice (za prevoz ljudi).

Prednosti uporabe konvejerjev se kažejo predvsem v možnosti uporabe pri zapletenih poteh (veliko zavojev, vzponov, padcev), možnostih sprotnega opravljanja tehnoloških postopkov (čiščenje, peskanje, barvanje, sušenje, montaža), nizki porabi energije in poceni vzdrževanju. Z majhnimi stroški se lahko njegova pot spremeni, skrajša, podaljša ali razdeli na več enot-prog. Prav tako razmik tovora kot tudi sam tovor je mogoče preprosto menjati. Prednost konvejerjev je tudi, da puščajo talno površino prosto, kar omogoča boljšo izrabo prostora.

Med glavne pomanjkljivosti uporabe konvejerjev pa spadata glasno obratovanje in nihajoča bremena med delovanjem transporterja.

Splošni sestav visečega krožnega transporterja je prikazan na sliki 49, kjer je:

- 1 – transportna proga,
- 2 – kolo z obešalom,
- 3 – vlečni element (veriga),
- 4 – pogon,
- 5 – napenjalna naprava.



Slika 49: Splošni sestav visečega krožnega transporterja z različnimi obešali (a,b in c)

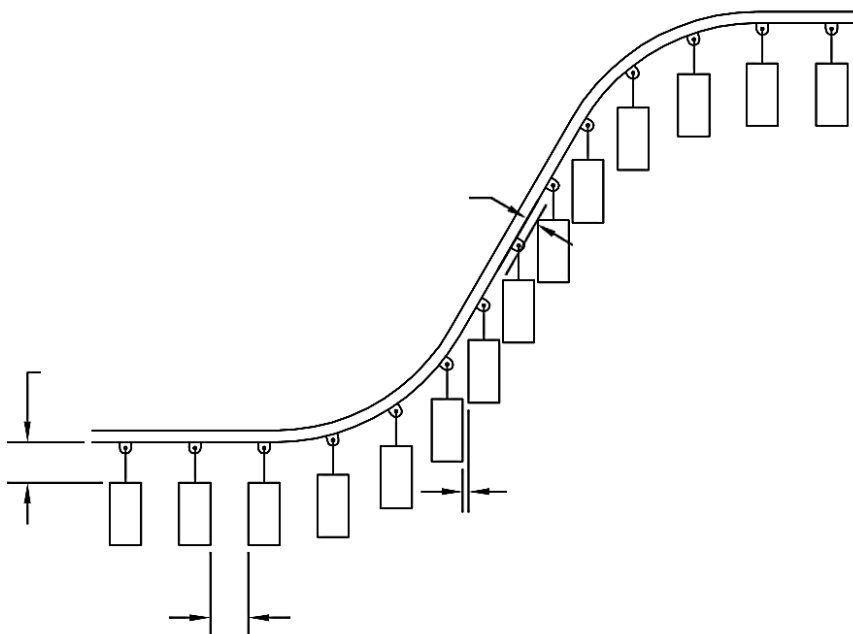
Vir: (Isaković in Klopčar, 1992)



Slika 50: Primera visečih krožnih transporterjev – konvejerjev

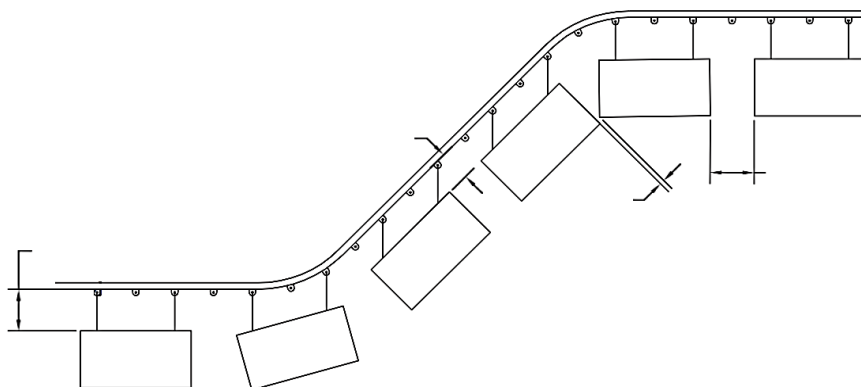
Vir: <https://www.lesk-s.si/lakirnice/transportni-trakovi>

Zaradi velikih obremenitev sistema vzpon visečega krožnega transporterja običajno ne presega 30 – 40° naklona. Sliki 51 in 52 prikazujeta izvedbo vzpona visečega krožnega transporterja (konvejerja).



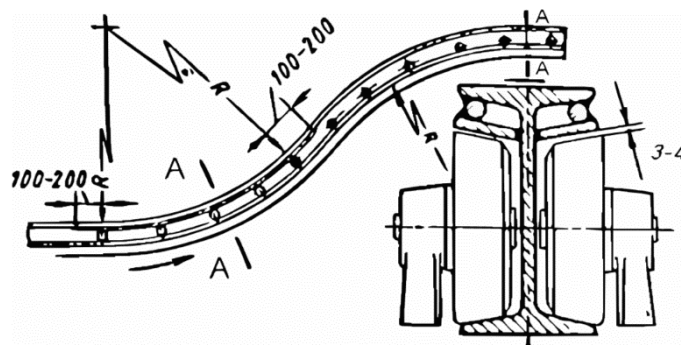
Slika 51: Izvedba visečega krožnega transporterja z vzponom – enotočkovno vpetje

Vir: (McGuire, 2009; McGuire, 2023)



Slika 52: Izvedba visečega krožnega transporterja z vzponom - dvotočkovno vpetje

Vir: (McGuire, 2009; McGuire, 2023)

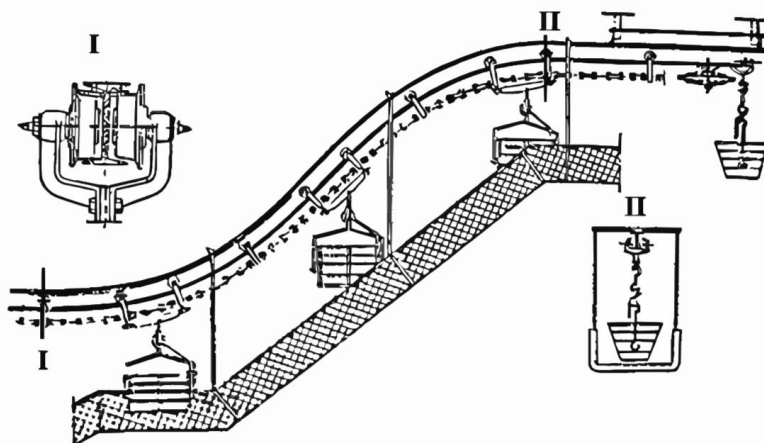


Slika 53: Vzpon visečega krožnega transporterja

Vir: (Kovač, 1973)

Polmer R mora imeti določen minimum, ki je odvisen od koraka verige, obremenitve in pogojev delovanja (slika 53). Najmanjši R se giblje od 1,2 do 6 m za korak od 200 do 1000 mm. Lahke izvedbe se povzpnejo ali spustijo pod kotom 90° .

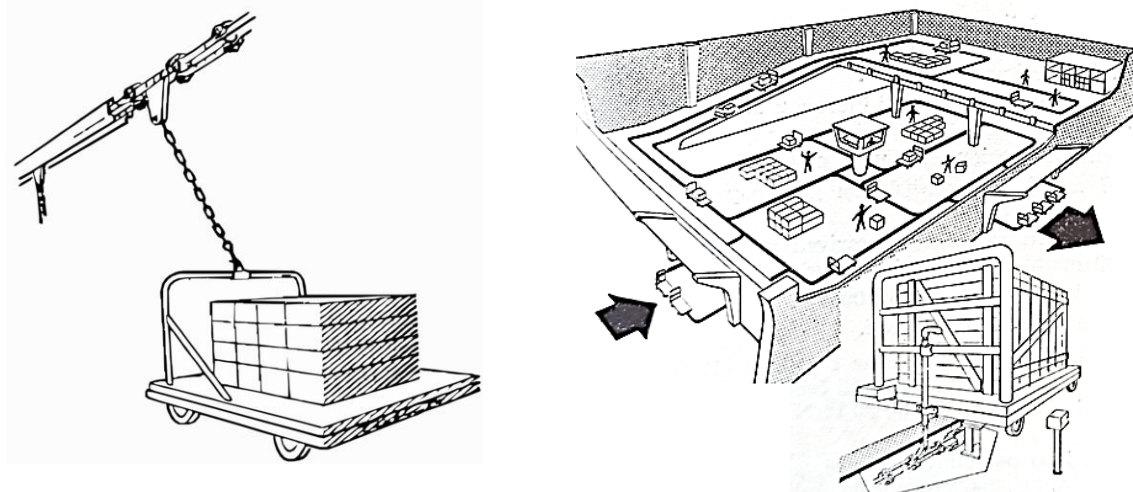
Osebe, ki dela pod konvejerji, mora biti zaščiteno pred kapljanjem olja in pred padajočimi bremeni oz. tovorom z npr. jekleno mrežo, ograjo, kot je to prikazano na sliki 54.



Slika 54: Izvedba varnostne ograje pred padajočimi bremeni

Vir: (Kovač, 1973)

Prikaz visečega krožnega transporterja (talni ali pritlični) prikazuje slika 55.



Slika 55: Talni viseči krožni transporter

Vir: (Kovač, 1973)

Viseči vlečni transporterji se uporabljajo za vleko vozičkov po določeni poti. Vlečni element (veriga) je vzporeden s tlemi, običajno na višini od 2,5 – 2,7 metra. Uporabljajo se predvsem v skladiščnih prostorih in na železniških postajah. Vozički, ki se uporabljajo za transport, so običajno široki 1 m in dolgi 1,5 m, njihova nosilnost pa je od 2 do 20 kN. Kadar imamo težje tovore, se lahko vozički gibljejo tudi po tleh. Ti konvejerji so v skladiščih načrtovani kot krožni sistem. Hitrost takšnega konvejerja je med 0,015 – 0,035 m/s.

Pri transportu kosovnega materiala je zmogljivost (kapaciteta Q) visečega krožnega transporterja določena z enačbo:

$$Q = 3600 \cdot (v / l) , \quad [\text{kos/h}] \quad (25)$$

kjer je:

- v – hitrost transporterja [m/s],
- l – razdalja med obešali [m].

Zmogljivost (kapaciteta) visečega krožnega transporterja za masno zmogljivost Q kosov:

$$Q = 3,6 \cdot (m_k \cdot v / l) , \quad [\text{t/h}] \quad (26)$$

kjer je:

- m_k – masa enega kosa [kg],
- v – hitrost transporterja od 0,15 do 0,5 [m/s],
- l – razdalja med obešali ali mizami s kosi [m].

Zmogljivost visečega krožnega transporterja za masno zmogljivost sipkega materiala:

$$Q = 3,6 \cdot (i / l) \cdot v \cdot \rho \cdot \varphi , \quad [\text{t/h}] \quad (27)$$

kjer je:

- i – litraža posode [liter],
- ρ – nasipna gostota [t/m^3],
- φ – faktor polnitve (od 0,65 do 0,8),
- l – razdalja med posodami [m].

Moč pogonskega motorja visečega krožnega transporterja se izračuna po enačbi:

$$P = \frac{F \cdot v}{1000 \cdot \eta} , \quad [\text{kW}] \quad (28)$$

kjer je:

- v – hitrost transporterja [m/s],
- F – vlečna sila v verigi [N],
- η – izkoristek transporterja (gonila).

Vlečna sila F v verigi je približno enaka 5 – 8 % teže gibajočih se mas. Takrat je izkoristek $\eta = 0,65$. Hitrost transporterja je običajno do 0,4 m/s.

Naloga 4.7. Izračunajte maso posameznega kosa, če je masna zmogljivost visečega vlečnega transporterja $Q = 80 \text{ t/h}$, razdalja med obešali $l = 0,8 \text{ m}$, izkoristek transporterja $\eta = 0,75$ in hitrost transporterja $v = 0,5 \text{ m/s}$. Izračunajte vlečno silo v verigi F , če je moč motorja transporterja $P = 23 \text{ kW}$.



Rešitev.

Masa posameznega kosa na trnapsorterju je lahko $35,56 \text{ kg}$, vlečna sila trnapsorterja pa $F = 34500 \text{ N}$.

Naloga 4.8. Kolikšna je nasipna gostota materiala ρ , transportiranega v posodah za $i = 15$ litrov z visečim krožnim transporterjem, ki ima faktor polnitve $\varphi = 0,80$, razdalja med posodami je $l = 45 \text{ cm}$ in hitrost transportne verige $v = 0,3 \text{ m/s}$? Obrat v eni uri transportira 65 ton sipkega materiala.



Rešitev.

Gre za transport tovora s specifično gostoto $\rho = 2,25 \text{ t/m}^3$. Torej gre najverjetneje za transport rudnine, kamenine ali druge snovi s takšno gostoto.

4.4 Vertikalni transporterji - elevatorji

Elevatorji so naprave za kontinuiran navpični oz. vertikalni (90°) ali skoraj navpični oz. poševni transport pod kotom 70° do 75° , in sicer sipkega materiala, npr. žita, premoga, peska, zemlje itd., ali kosovnega materiala, npr. zabojev, opeke itd., torej za tovor, za katerega tračni transporterji niso primerni. Elevatorji predstavljajo običajno člen transportnega sistema in opravljajo predvsem dvižno delo (redko kot samostojna transportna naprava).

Elevatorji so najbolj ekonomični transporterji za vertikalni transport sipkega materiala in drobnozrnatega materiala. Vzrok je v tem, da je pri investicijah zelo pomembna potrebna pogonska moč. Tako na primer za vertikalni transport 100 ton žita specifične mase $0,75 \text{ t/m}^3$ na višino 40 m potrebuje (primerjava):

- elevator pri hitrosti 4 m/s pogonski motor moči 17 kW ,
- verižni členkasti (redlerjev) transporter pri hitrosti $0,7 \text{ m/s}$ pogonski motor moči 46 kW ,
- pnevmatski transporter pri hitrosti 25 m/s pogonski motor moči 170 kW .

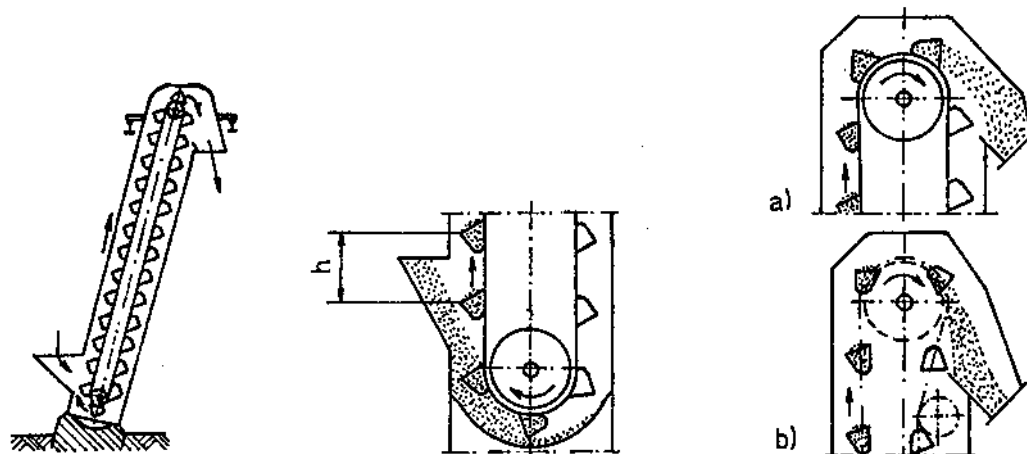
Uporaba elevatorjev

Za sipki material uporabljajo za transport korce (tudi s prekucnimi posodami), ki so pritrjeni na vlečni element, ki je lahko gumijasti ali tekstilni transportni trak. Pri transportu na višino nad 45 m pa so korci pritrjeni na verige. Za transport kosovnega materiala se uporabljajo elevatorji s prijemali (s platoji, z obešali).

Prednosti uporabe elevatorjev so velika zmogljivost, transport v zaprtem prostoru (ni prašenja), velike višine dviganja, enostavna samonosilna konstrukcija.

Med največje pomanjkljivosti uporabe elevatorjev štejemo: občutljivost na preobremenitve (pri zajemalnem načinu polnjenja), sunkovite obremenitve pri polnjenju korcev, slab odvzem transportiranega materiala pri zajemanju z nizko hitrostjo, nevarnost eksplozije v zaprtem ohišju (premogov prah, sladkor itd.).

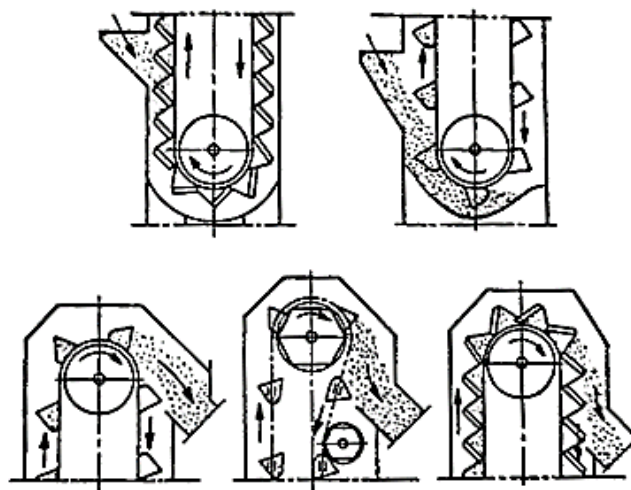
Slika 56 prikazuje izvedbe elevatorja za sipki material, kjer se korci polnijo z zajemanjem ali vsipavanjem, praznijo pa zaradi centrifugalne sile (a) ali zaradi gravitacijske sile teže (b).



Slika 56: Izvedbe polnjenja in praznjenja elevatorja za sipki material

Vir: (Isaković in Klopčar, 1992)

Poznamo različne izvedbe elevatorjev glede na to, ali gre za polnjenje (a–vsipavanje; b–zajemanje) ali praznjenje (c–centrifugalna sila; d–sila teže prosto; e–sila teže z vodili), kot to prikazuje slika 57.



Slika 57: Izvedbe elevatorja glede na način polnjenja in praznjenja

Vir: (Friščić, 2004)

Pri polnjenju:

- z vsipavanjem je maksimalna hitrost korcev do 1 m/s in se uporablja pri grobozrnatem materialu (rude);
- z zajemanjem, ki je primerno za prašne materiale, je hitrost manjša od 1 m/s.

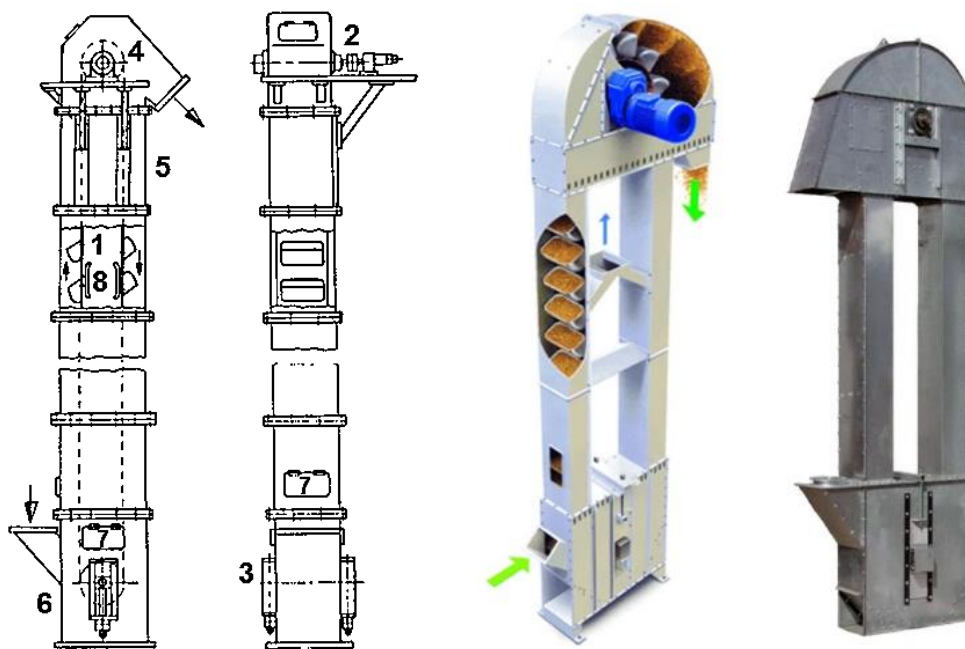
Nekaj osnovnih karakteristik elevatorjev za transport sipkega materiala:

- Kapaciteta elevatorja za sipki material je do 400 t/h, zelo redko do 1000 t/h.

- Za elevatorje zmogljivosti nad 80 t/h se uporablja verižna vleka.
- Pri hitrostih $v < 1,3$ m/s se uporabi verižna vleka in pri $v < 3,5$ m/s tračna vleka za drobno zrnat material.
- Višina transportiranja: $H < 120$ m za verižno in $H < 30$ m za tračno vleko.

Splošni sestav elevatorja s korci za sipki tovor je prikazan na sliki 58, kjer je:

- 1 – trak s korci,
- 2 – pogonska naprava,
- 3 – napenjalna naprava,
- 4 – praznilna odprtina,
- 5 – ohišje elevatorja,
- 6 – vznožje elevatorja s polnilno odprtino,
- 7 – pokrov kontrolne odprtine,
- 8 – vodilo vlečnega elementa.

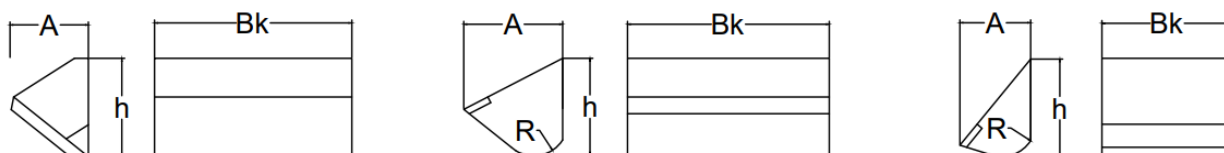


Slika 58: Splošni sestav vertikalnega transporterja (elevatorja)

Vir: <https://www.transporteri.com/en/site-map/articles/79-articles>

Korci elevatorja so izdelani iz pločevine, litin (jeklo, ali aluminij) ali iz plastičnih materialov. Oblika korca je odvisna od transportiranega materiala in načina polnitve/praznjenja:

- globoki korec za suhi, lahko drseči in drobno zrnati material,
- plitki korec za težko tekoči in lepljivi material,
- koničast korec z bočnimi vodili: elevatorji z manjšimi hitrostmi, kjer je gravitacijsko praznjenje.



Slika 59: Tri oblike korcev za razsuti tovor

Zmogljivost elevatorja za sipki material izračunamo z enačbo:

$$Q = \frac{V \cdot \psi \cdot \rho}{h} \cdot v \cdot 3,6, \quad [\text{t/h}] \quad (29)$$

kjer je:

- V – volumen korca [m^3],
- ψ – polnilni koeficient (običajno med 0,4 in 0,85),
- ρ – gostota materiala [t/m^3],
- h – razdalja med korci [m],
- v – hitrost traku ali verige [m/s], ki je običajno med 0,4 in 2 m/s.

Pri zahtevani zmogljivosti določimo potrebni volumen korcev V z enačbo:

$$V = \frac{Q \cdot h}{\rho \cdot v \cdot 3,6 \cdot \psi}. \quad [\text{m}^3] \quad (30)$$

Pri zahtevani zmogljivosti določimo potrebno razdaljo med korci h z enačbo:

$$h = \frac{\rho \cdot v \cdot 3,6 \cdot \psi}{Q}. \quad [\text{m}] \quad (31)$$

Pogonska naprava je praviloma locirana na vrhu elevatorja. Moč pogonskega motorja elevatorja se izračuna po enačbi:

$$P = \frac{F \cdot v}{1000 \cdot \eta}, \quad [\text{kW}] \quad (32)$$

kjer je:

- v – hitrost transporterja [m/s],
- F – vlečna sila v verigi [N],
- η – izkoristek transporterja.

Vlečna sila F v verigi se izračuna po enačbi:

$$F = G \cdot i, \quad [\text{N}] \quad G = V \cdot \psi \cdot \rho \cdot g \quad [\text{N}] \quad (33)$$

kjer je:

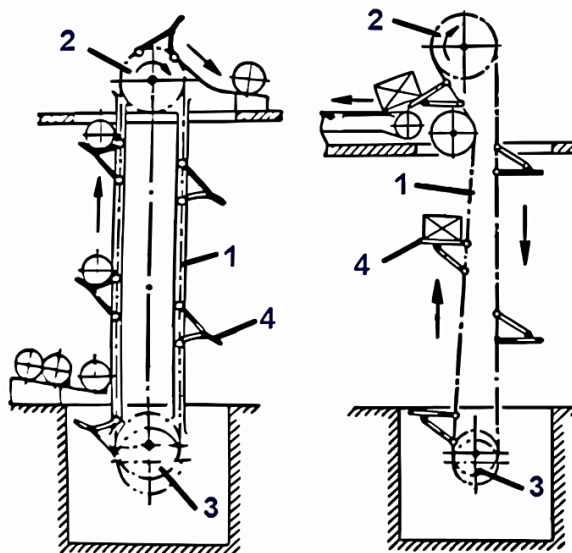
- G – teža materiala v korcu [N],
- i – število korcev na dvizni veji.

Elevatorji za transport kosovnega tovora imajo na traku ali na verigah pritrjene prijemala - platoje, na katerih se kosovni tovor transportira. Obstajajo različne izvedbe navpičnega transporta tovora.

- Konzolni elevator (konzole različnih oblik – za sode, zaboje, hlode itd.)
 - Uporablja se za transport kosovnega tovora do 100 kg.
 - Natovarjajo se ročno ali avtomatsko (lahko tudi kombinirano).
 - Hitrost premikanja je približno 0,2 m/s.

Splošni sestav konzolnega elevatorja za kosovni tovor je prikazan na sliki 60, kjer je:

- 1 – vlečna veriga,
- 2 – pogonski verižnik,
- 3 – napenjalni verižnik,
- 4 – konzola.



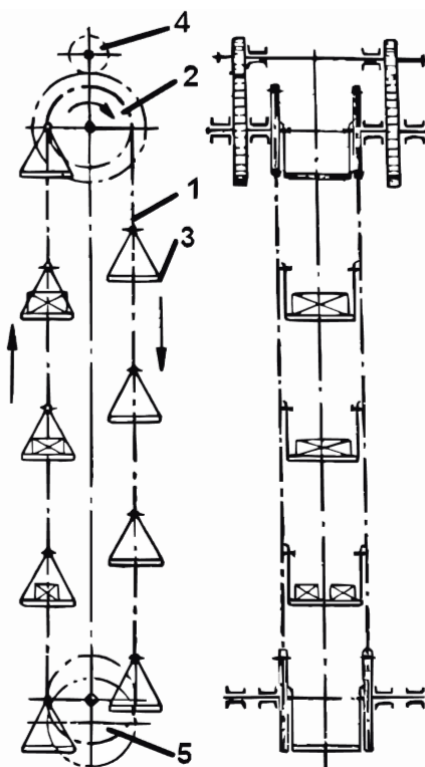
Slika 60: Konzolni elevator za kosovni tovar

Vir: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Elevator>

- Elevator z obešali (eno ali dve vlečni verigi - lažji predmeti, npr. v bolnišnicah, poštah, restavracijah itd.).
 - Uporablja se za transport kosovnega tovora do 15 kg (ponekod tudi do 1000 kg – dve verigi).
 - Natovarjajo se ročno ali avtomatsko (lahko tudi kombinirano).
 - Hitrost premikanja je približno 0,1 m/s.
 - Sestavljen je iz ene ali dveh verig.

Splošni sestav elevatorja z obešli za kosovni tovar je prikazan na sliki 61, kjer je:

- 1 – vlečna veriga,
- 2 – pogonski verižnik,
- 3 – obešalo,
- 4 – pogonska naprava,
- 5 – napenjalni verižnik.



Slika 61: Elevator z obešali za kosovni tovar

Vir: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Elevator>

Zmogljivost elevatorja za kosovni material izračunamo z enačbo:

$$Q = \frac{3600}{t_1} = \frac{3600 \cdot v}{h}, \quad [\text{kos/h}] \quad (34)$$

kjer je:

- v – hitrost traku ali verige [m/s],
- h – razdalja med prijemali [m],
- t_1 – časovni presledki med prijemali [s].

Naloga 4.9. Določite potrebno hitrost verige v in moč pogonskega elektromotorja P korčnega elevatorja za prenos $Q = 100$ t/h žita specifične gostote materiala $\rho = 0,75$ t/m³ na višino $H = 40$ m pri povprečni polnitvi korca $\psi = 60$ %, če so korci prostornine $V = 17$ litrov, in je med njimi na verigi razmik $h = 320$ mm. Izkoristek motorja $\eta = 85$ %.



Rešitev.

Hitrost verige korčnega elevatorja $v = 1,16$ m/s, pri čimer je $i = 125$ korcev na eni dvizni veji. Pogonska moč motorja mora biti $P = 12,8$ kW.

Naloga 4.10. Kolikšna je izkoriščenost elektromotorja, ki dela z močjo $P = 11$ kW, če je na dvizni veji $i = 64$ korcev na razdalji $h = 410$ mm, transporter dela s hitrostjo $v = 0,8$ m/s, sila v verigi $F = 9,15$ kN? Kolikšen je polnilni koeficient korca ψ , če ima transportiran material gostoto $\rho = 1,48$ t/m³, litraža korca pa $V = 13$ litrov?



Rešitev.

Izkoristek elektromotorja $\eta = 66,5$ %.

4.5 Polžasti transporterji

Polžasti ali vijaki transporterji so sestavljeni iz vijaka ali polža, ki se vrti v cevi in tako z naklonom navojnice potiska material v želeno smer. Poganja ga običajno elektromotor preko reduktorja in zobniškega gonila. Dva primera polžastega transporterja prikazuje slika 62.

Polžasti transporterji se najpogosteje uporabljajo za transport sipkega materiala, npr. mlete rude, koksa, peska, žita itd. Uporabljajo se tudi v kemični industriji za transport nevarnih snovi. Veliko se uporabljajo za transport na kratkih transportnih poteh in za doziranje materialov visoke viskoznosti npr. masti in medu v prehranski industriji.

Transport opravlja polž, ki se vrti v koritu in potiska material vzdolž vijačnice. Z vsakim obratom vijaka se material premakne naprej za en korak vijaka. Transportirana količina je odvisna od koraka vijaka, njegove hitrosti vrtenja in premera cevi. Transportne poti so dolge le nekaj metrov, mogoče pa je z njim transportirati tudi po vertikali. Lahko jih namestimo na tla ali na steno. Vijak in vijačna cev sta podvržena relativno veliki obrabi.

Vijak, tako imenovani polž, je sestavljen iz gredi, na kateri je privarjena pločevina (debela 3 do 6 mm) v obliki vijačnih zavojev. Obstajajo številne izvedbe vijaka, kot to prikazuje slika 56. Premer polža je 100, 150, 230, 250, 300, 350, 400, 450, 500 mm in več. Dolžina polža je od 1 do 10 m, največ pa do 40 m.

Prednosti uporabe polžastega transporterja so: transport materiala v zaprtem prostoru – ni prašenja; možnost izdelave polžnega dna za praznjenje zalogovnikov; enostavna konstrukcija; enostavno vzdrževanje; transport materiala v različnih smereh; zavzamejo malo prostora; lahko jih namestimo na steno ali tla (vodoravni in navpični transport).

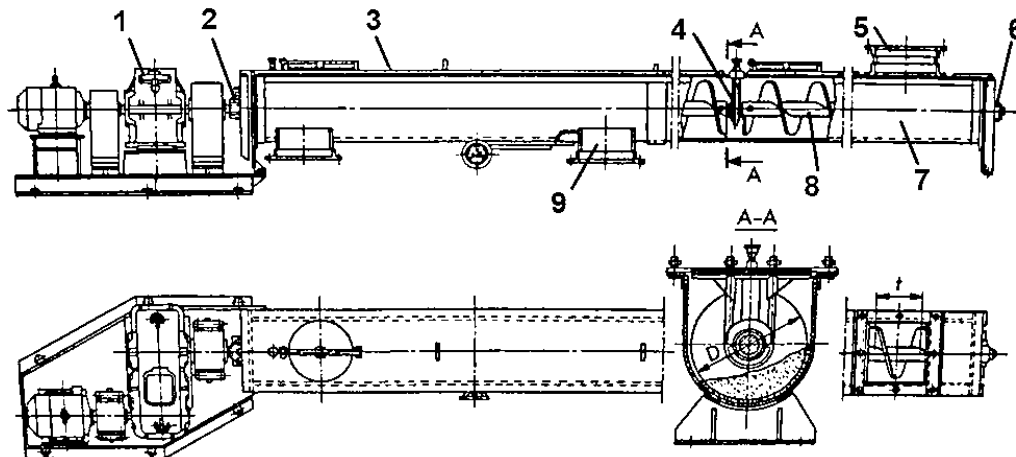


Slika 62: Primeri polžastega transporterja

Vir: <https://www.screwconveyorparts.com/wp-content/uploads/2018/04/KWS-MFG-Screw-Conveyor-Engineering-Guide-SCP.pdf>

Splošni sestav polžastega transporterja prikazuje slika 63, kjer je:

- 1 – pogonski mehanizem,
- 2,6 – zunanji ležaji,
- 3 – pokrov korita,
- 4 – vmesni ležaj,
- 5 – vstopna odprtina,
- 7 – korito transporterja,
- 8 – polž (vijačnica),
- 9 – izstopna odprtina.

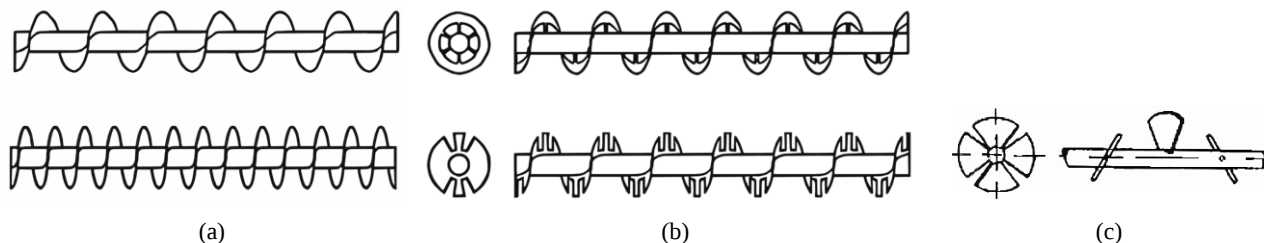


Slika 63: Splošni sestav polžastega transporterja

Vir: (Friščić, 2004)

Izvedba polža je lahko različnih oblik:

- polni polž (za transport in sprotno drobljenje prašnih in drobnozrnatih materialov) na sliki 64, primer (a);
- tračni polž (za grudasti in lepljivi material – katran, asfalt) na sliki 64, primer (b);
- segmentni polž (za sprotno mešanje v kemični industriji – paste) na sliki 64, primer (c).



Slika 64: Različne izvedbe polža

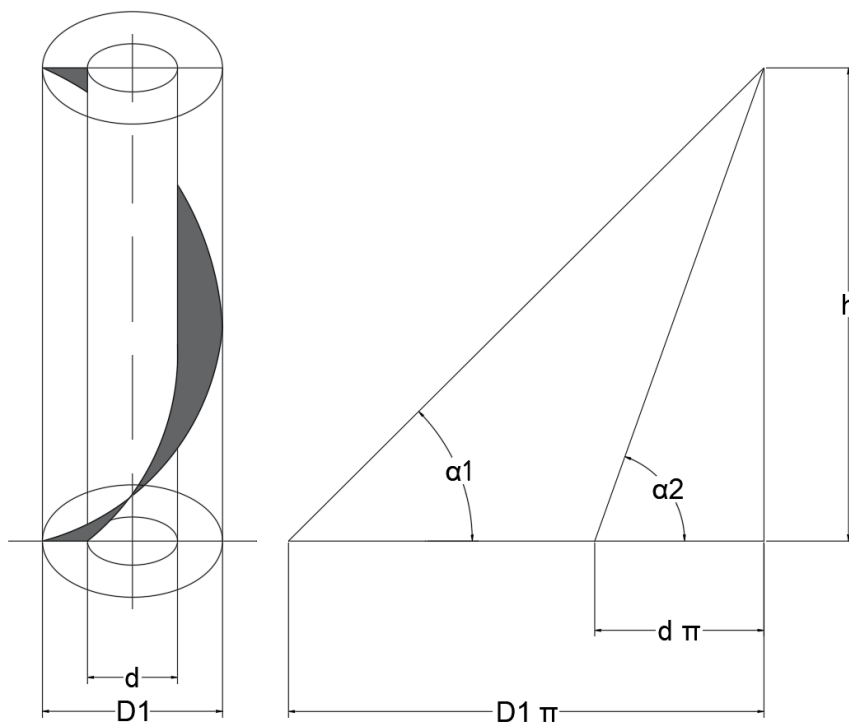
Vir: (McGuire, 2009; McGuire, 2023)

Spirale polža (slika 65) so pod kotom α , ki zapira tangento na polž, na kateri koli točki s prečnim prerezom polža, in se izračuna kot:

$$\tan(\alpha) = \frac{h}{D \cdot \pi} \quad \text{in} \quad h = \tan(\alpha) \cdot D \cdot \pi, \quad (35)$$

kjer je:

- h – vzpon (korak) polža [m],
 D – premer polža [m].



Slika 65: Spirala polža in kot vzpona

Zmogljivost polžastega transporterja se izračuna po enačbi:

$$Q = \frac{\psi \cdot A \cdot h \cdot \rho \cdot n \cdot 60}{1000}, \quad [\text{t/h}] \quad (36)$$

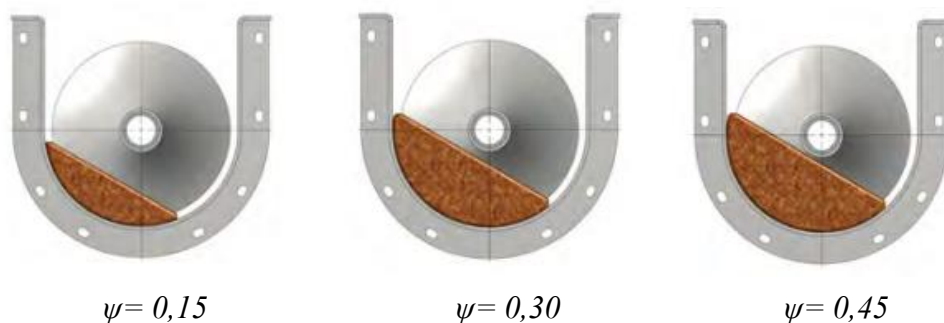
kjer je:

- h – vzpon (korak) polža (od 0,8 do 1) · D [m],
- n – število vrtljajev polža od 15 do 1500 vrt./min (manjše vrednosti za večje premere polža),
- ρ – gostota materiala [kg/m³],
- A – površina prereza materiala v koritu [m²],
- ψ – polnilni koeficient (od 0,15 do 0,45).

Prerez materiala v koritu se izračuna po enačbi:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \psi \quad [\text{m}^2] \quad (37)$$

Pri izračunu zmogljivosti transporterja je treba prerez materiala v koritu A pomnožiti s polnilnim koeficientom ψ . Slika 66 prikazuje tri primere obremenitve korita tj. polnilne koeficiente.



Slika 66: Spirala polža in kot vzpona

Najpogosteje se uporabljajo polžni transporterji zmogljivosti do 100 t/h, zelo redko do 500 t/h, pri povprečni hitrosti vrtenja $n = 0,3$ do $2,3$ 1/s, kar daje povprečno hitrost materiala v koritu do 0,5 m/s.

Moč pogonskega motorja polžastega transporterja se izračuna z enačbo:

$$P = \frac{Q \cdot g}{3,6 \cdot 1000 \cdot \eta} \cdot (L \cdot w_o \pm H) \quad [\text{kW}] \quad (38)$$

kjer je:

- Q – kapaciteta transporterja [t/h],
- g – gravitacijski pospešek [m/s²],
- L – dolžina transporterja [m],
- w_o – koeficient upora odvisen od vrste materiala,
- H – višina dviganja materiala [m],
- η – izkoristek transporterja (od 0,8 do 0,85).

Koeficient upora w_o je odvisen od vrste materiala, kot to prikazuje tabela 4.

Tabela 4: Koeficient upora w_o v odvisnosti od vrste materiala

Material	w_o
cement, žito	1,85
ruda, premog	2,15
pesek, koks, pepel, žindra	3

Naloga 4.11. Določite, kolikšna je zmogljivost Q in moč pogonskega motorja P polžastega transporterja za vodoravni transport peska ($\rho = 1700 \text{ kg/m}^3$, $w_o = 3$) na razdalji $L = 20 \text{ m}$, če je premer polža $D = 250 \text{ mm}$, število vrtljajev polža $n = 90 \text{ vrt/min}$, izkoristek motorja $\eta = 0,85$ in polnilni koeficient $\psi = 0,3$. Koliko časa bi natovarjali tovornjak za prevoz peska z nosilnostjo $q = 21 \text{ t}$ oziroma 35 m^3 , če se polni direktno iz polžastega transporterja?



Rešitev.

Zmogljivost polžastega trnasporteja Q je $34,425 \text{ m}^3/\text{h}$ ob moči motorja P je $6,62 \text{ kW}$. Za natovarjanje tovornjaka bi potrebovali $1,0167 \text{ h}$ oziroma 1 h in 1 min .

Naloga 4.12. Določite kot α spirale polža, če je polnilni koeficient $\psi = 0,15$ pri prenosu premoga, ki ima gostoto $\rho = 1270 \text{ kg/m}^3$, in je prerez materiala v koritu $A = 0,08 \text{ m}^2$.



Rešitev.

Kot spirale polža α je 16° , pri čemer je premer polža $D = 477 \text{ mm}$ in $h = 0,43 \text{ m}$.

4.6 Pnevmatični (cevni) transporterji

Pnevmatične transporterje uporabljamo za transport prahastega in drobnozrnatega materiala, pomešanega z zrakom, npr. žito, cement, apno, premog v prahu itd. Transport se opravi po ceveh (cevovodu). Slika 67 prikazuje dva primera pnevmatičnega transporterja.

Glede na izvedbo ločimo:

- sesalni sistem,
- tlačni sistem in
- kombinirani sistem.

Zmogljivost pnevmatičnih transporterjev je 100 do 500 t/h pri višini dobave 30 metrov in tlačni razliki v cevovodu $0,05 \text{ MPa}$. Premer cevovoda je običajno od 60 do 250 mm , transportira se material do premera 20 mm . Uporabljajo se za transport na razdalji do 300 metrov.

Prednosti pnevmatičnih transporterjev:

- neprekinjeni transport trdnih materialov z majhnimi delci, pa tudi za občasno prenašanje večjih količin zrnatih materialov iz cistern, železniških vozil in tovornih ladij do silosov;
- fleksibilnost pri zasnovi popolne uporabe prostora;
- različne črpalke za prevoz trdnih snovi, razdelilnik pretoka in sprejemnik so zelo podobne delovanju tekočinskih naprav, zato je večina pnevmatičnega transporterja enostavno doseči avtomatizacijo z delovanjem centralne konzole;
- nevarnost požara in eksplozije pnevmatskega transporterja majhna;
- dobro oblikovan pnevmatski transportni sistem je pogosto čist in ne onesnažuje okolja. Vakuumske in tlačne naprave pa so popolnoma zaprte.

Slabosti pnevmatičnih transporterjev:

- visoka poraba energije (tj. 5 do 10-krat večja od mehanskih transporterjev);
- močna obraba posameznih elementov, predvsem pa kolen cevovodov in vrtljivih delov;
- transport lepljivih in mokrih materialov ni mogoč.



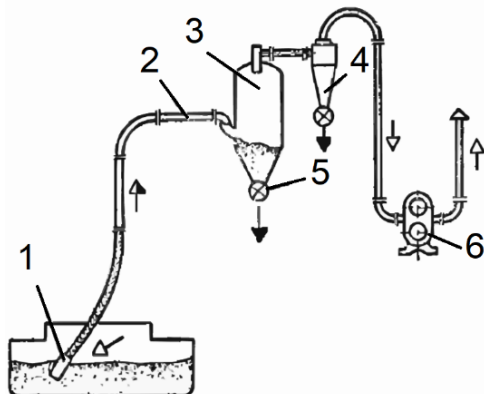
Slika 67: Primera pnevmatičnega (cevnega) transporterja

Vir: <https://bulksinside.com/bulk-solids-handling/pneumatic-conveying/what-is-pneumatic-conveying-system/>

Splošni sestav treh izvedb pnevmatičnega transporterja prikazujejo slike 68, 70 in 71, kjer je:

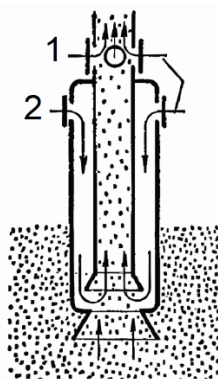
- 1 – sesalna šoba,
- 2 – sesalni vod,
- 3 – ciklon (ločilnik prahu),
- 4 – zračni filter,
- 5 – ventil za izpust materiala iz filtra,
- 6 – ventilator ali vakuumska črpalka,
- 7 – kompresor,
- 8 – podajalnik (mešalnik) materiala,
- 9 – izstopni filter zraka,
- 10 – ločilnik zraka in materiala.

Sesalni sistem (slika 68) se uporablja za transport na razdalji do 350 m. Sesalni sistem ima na koncu naprave vakuumske črpalke, ki ustvarja podtlak v celotnem sistemu, zato je možen odvzem materiala na različnih mestih in odlaganje na enem mestu. Odvzem materiala se opravi s pomočjo sesalne šobe (slika 69) in vstopi v ciklon (slika 72), kjer se zaradi nenadnega zmanjšanja hitrosti zraka material loči in pade na dno. Iz ciklona prehaja zrak skozi zračni filter in s pomočjo ventilatorja ali vakuumske črpalke v atmosfero.



Slika 68: Sesalni sistem pnevmatičnega transporterja

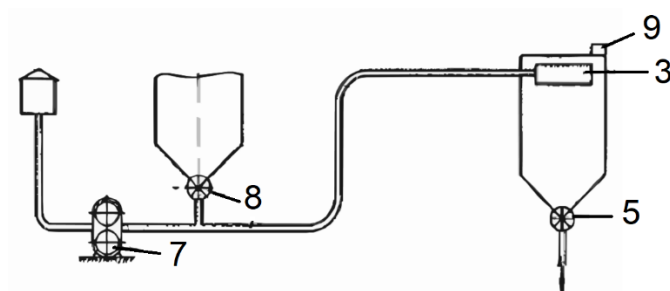
Vir: https://hr.wikipedia.org/wiki/Pneumatsko_prenosilo



Slika 69: Sesalna šoba

Vir: https://hr.wikipedia.org/wiki/Pneumatsko_prenosilo

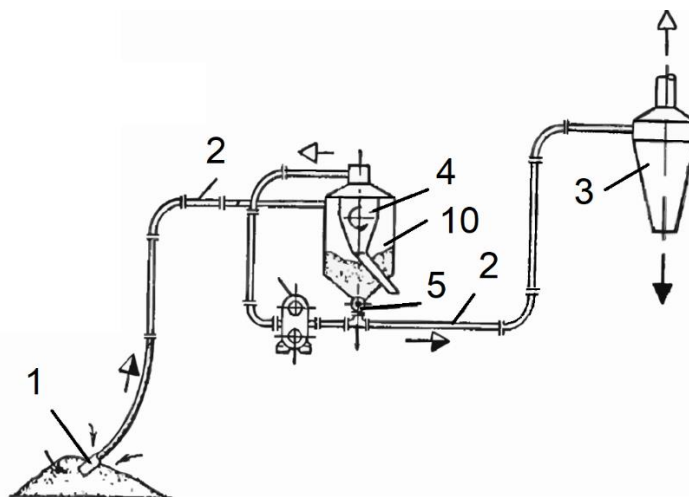
Tlačni sistem (slika 70) obratuje z večjo tlačno razliko, zato so ti transporterji primerni za transport na večje razdalje do 2000 metrov in za težje materiale, kot so cement, ruda, žindra, pesek. Kompresor v sistem dovaja zrak po cevi prek zbiralnika in izločevalnika vlage do mešalnika, kjer se mešata material in zrak. Od tod naprej se prenaša material do želenega mesta v ciklon, kjer se ločuje od zraka in pada na dno. Zrak odteka iz ciklona skozi filter v atmosfero.



Slika 70: Tlačni sistem pnevmatičnega transporterja

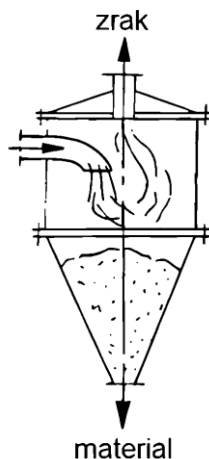
Vir: https://hr.wikipedia.org/wiki/Pneumatsko_prenosilo

Kombinirani sistem (slika 71) se uporablja tam, kjer je potrebno odvozovati in odlagati material na več različnih mest. Pogosto se uporabljajo centrifugalni ventilatorji, tako da zmes zraka in materiala prehaja iz sesalnega dela v tlačni del cevovoda. Pogosto se uporabljajo kot odsesovalne naprave na mestih, kjer se ustvarja prah (mlini, kemična in lesna industrija).



Slika 71: Kombinirani sistem pnevmatičnega transporterja

Vir: https://hr.wikipedia.org/wiki/Pneumatsko_prenosilo



Slika 72: Shematski prikaz ciklon

Vir: https://hr.wikipedia.org/wiki/Pneumatsko_prenosilo

Posebna skupina pnevmatičnih (cevnih) transporterjev za prenos kosovnega materiala je zračna pošta. Material se transportira v kalibriranih posodah po ceveh od mesta do mesta ali preko središčne postaje kot zbirališča in delilnega središča. Naprave so večinoma sesalne s hitrostjo dobave 5 do 14 m/s na razdalji 500 m. Ta vrsta transporta se največ uporablja na poštah, v bankah in bolnišnicah.

Osnovni parameter pnevmatskega transporterja je hitrost pretoka zraka v cevovodu, ki je odvisna od količine zraka in premera cevi. Pretok transporterja mora biti takšen, da metiral ne zaostaja ali se zbira na nobeni točki cevovoda.

Zrak povzroča pritisk sile na delček materiala, ki se izračuna kot:

$$F_s = 0,5 \cdot c \cdot \rho_z \cdot A \cdot (v_u - v)^2, \quad [\text{N}] \quad (39)$$

kjer je:

- F_s – pritisk sile na delček materiala, ki se transportira [N],
- c – koeficient upora, odvisen od oblike materiala in stanja njegove površine (npr. pšenica od 0,8 do 1,2 in cement in apno od 1 do 2),
- ρ_z – gostota zraka ($1,226 \text{ kg/m}^3$),
- A – čelna površina materiala [m^2],
- v_u – hitrost zraka [m/s],
- v – hitrost transportiranega materiala [m/s].

Gostota zraka ima pri pnevmatičnih transporterjih pomembno vlogo. Moramo vedeti, da gostota $\rho_z = 1,226 \text{ kg/m}^3$ velja pri tlaku $p = 0,103 \text{ MN/m}^2$ in temperaturi 15°C . Zato moramo pri pnevmatskem transporterju vzeti v obzir spremembe tlaka in temperature.

Glede na maso transportiranega delčka materiala in pritisk sile F_s so možne tri variante:

- $F_s > G$ material se giblje v smeri zraka,
- $F_s < G$ material pada,
- $F_s = G$ material lebdi.

Za delovanje pnevmatskega transporterja je potrebna zadostna koncentracija mešanice, to je razmerje med količino materiala in zraka, ki preide skozi cevovod v neki časovni enoti. Kvantitativna (količinska) koncentracija mešanice μ daje količino materiala na 1 t zraka:

$$\mu = Q / Q_u, \quad (40)$$

kjer je:

- Q – zmogljivost naprave [t/h],
- Qu – pretok zraka [t/h],
- μ – koncentracija mešanice.

Volumenska koncentracija mešanice δ daje volumen materiala za 1 m³ zraka po enačbi:

$$\delta = (Qu \cdot \rho) / (Q \cdot \rho_z). \quad (41)$$

Količinska koncentracija mešanice $\mu = 10$ do 20 se uporablja pri srednjetlačnih napravah. Vrednost pada s povečanjem transportne poti. Lažji materiali imajo manjše vrednosti. Tako se na primer $\mu = 20$ do 50 uporablja pri majhnem kosovnem premogu, kjer je $\delta = 120$ do 200.

Sledi potrebna količina pretoka zraka Qu ali volumenski pretok zraka Vu :

$$Qu = \frac{Q \cdot 1000}{\mu} \quad [\text{kg/h}] \quad Vu = \frac{Qu}{\rho_z \cdot 1000}, \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (42)$$

kjer je:

- Q – zmogljivost naprave [t/h],
- Qu – pretok zraka [t/h],
- μ – koncentracija mešanice,
- ρ_z – gostota zraka (1,226 kg/m³).

Volumen (pretok) zraka Vu se lahko izrazi in izračuna tudi po enačbi:

$$Vu = 3600 \cdot \frac{D^2 \cdot \pi \cdot v_s}{4}, \quad [\text{m}^3] \quad (43)$$

kjer je:

- v_s – srednja hitrost gibanja materiala [m/s],
- D – premer cevi [m].

Ko se material transportira vodoravno in poševno, se zahtevana hitrost izračuna kot:

$$v_s = n \cdot v_{ul}, \quad [\text{m/s}] \quad (44)$$

kjer je:

- v_{ul} – hitrost zraka [m/s],
- n – koeficient, ki je odvisen od hitrosti lebdenja in transportne razdalje. Pri čemer moramo upoštevati, da je n od 1,8 do 2 za vodoravni transport, n je enak 2,2 za en zavo in vzpon, in n je od 2,4 do 2,6 za dva zavoja in vzpona.

Premer cevovoda D se izračuna po enačbi:

$$D = \sqrt{\frac{Vu \cdot 4}{3600 \cdot \pi \cdot v_s}}, \quad [\text{m}] \quad (45)$$

kjer je:

- Vu – pretok (volumen) zraka za mešanico [m³/h],
- v_s – srednja hitrost gibanja materiala [m/s].

Naloga 4.13. S pomočjo cevnega transporterja transportiramo pšenico z gostoto $\rho = 1320 \text{ kg/m}^3$. Izračunajte, kolikšno količino m^3 pšenice V_u pretovorite v 1 uri, če je premer transportne cevi $D = 90 \text{ mm}$ in hitrost pretoka tovora $v_s = 8 \text{ m/s}$. Izračunajte, koliko časa bi potrebovali za pretovor 8 vagonov serije Z, natovorjenih s pšenico, če je posamezni vagon naložen s $q = 85 \text{ m}^3$.



Rešitev.

V eni uri pretovorimo $V_u = 183,125 \text{ m}^3/\text{h}$ pšenice, za natovarjanje vagonov pa bomo potrebovali $T = 3,713 \text{ h}$ oziroma 3 h in 42 min.

Naloga 4.14. S pomočjo cevnega transporterja transportiramo $Q = 350 \text{ t}$ pšenice z gostoto $\rho = 1320 \text{ kg/m}^3$. Kvantitativna (količinska) koncentracija mešanice znaša $\mu = 20$. Kolikšen je količinski pretok zraka Q_u in kolikšen je volumenski pretok zraka V_u transporterja? Izračunajte, kakšna je srednja hitrost gibanja materiala v_s v cevi premera $D = 0,15 \text{ m}$.



Rešitev.

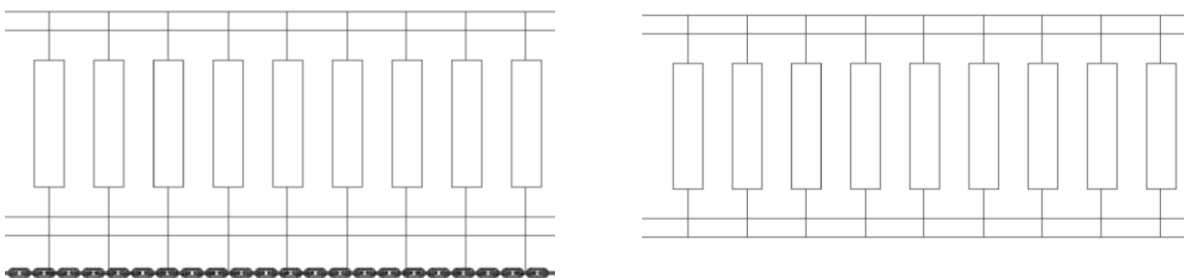
Količinski pretok zraka $Q_u = 17,5 \text{ t/h}$ in volumenski pretok zraka $V_u = 14,27 \text{ m}^3/\text{h}$. Srednja hitrost gibanja materiala $v_s = 0,20 \text{ m/s}$.

4.7 Valjni transporterji

Transporterji z valjčki se uporabljajo za transport kosovnega materiala (plošče, cevi, profili, zaboji, paketi itd.). Gre za moderni transportni pristop v sistemih transportno-skladiščne logistične funkcije. Predstavljajo transportno rešitev med obdelovalnimi točkami pri proizvodnih linijah. Dva primera valjčnih transporterov prikazuje slika 77.

Proga (transportna pot) je sestavljena iz vrtljivih valjev premera 25 do 100 mm in dolga 100 do 1400 mm. Hitrost transporterja je običajno približno 0,3 m/s.

Razmik med valji je od 60 do 600 mm, odvisno od dolžine najkrajšega predmeta; predmet morajo nositi vsaj trije valji. Valji so lahko gnani z verigo ali pa se prosto vrtijo in je treba predmet pomikati z roko (slika 73). Lahko pa uporabimo tudi dinamično komponento sile teže predmeta, če progo nagnemo. Takšnim valjčnim transporterjem pravimo tudi gravitacijski transporterji.



Slika 73: Valji, gnani z verigo, (levo) in valji, prosto vrtljivi (desno)

Prednosti uporabe valjčnih transporterjev se kažejo predvsem v enostavni konstrukciji, majhni porabi energije, fleksibilnosti transportne linije (ravne proge, krivine, kretnice, obračalne mize, vzponi itd.) in posebne izvedbe transporterja (proga na kolesih in krogelna miza, kot to prikazujeta sliki 74 in 75).



Slika 74: Valjčni transporter na kolesih

Vir: <https://www.conveyxcorp.com/products/gravity-roller-flex-conveyor/>

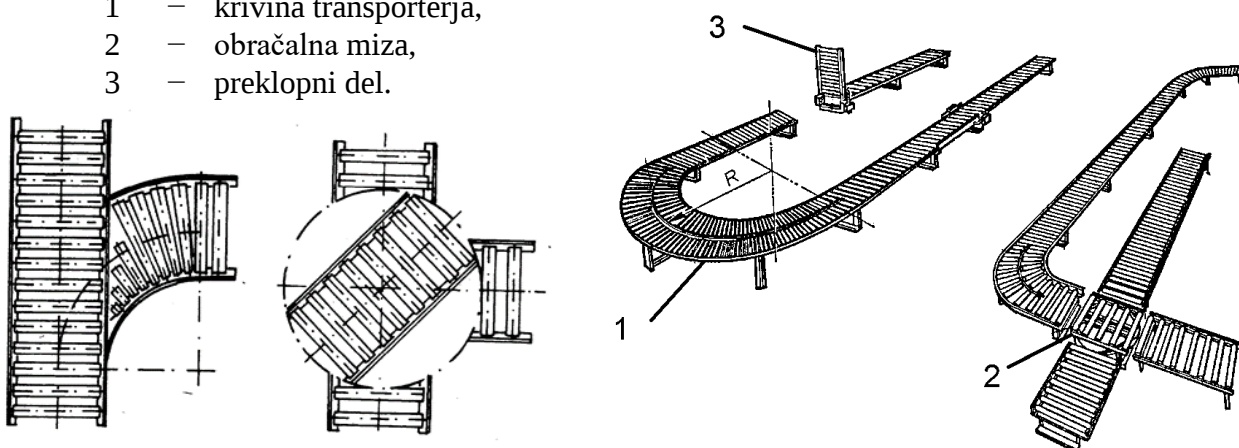


Slika 75: Krogelna miza za sortiranje – del valjčnega transporterja

Vir: (Kovač, 1973)

Splošni sestav valjčnega transporterja je prikazan na sliki 76, kjer je:

- 1 – krivina transporterja,
- 2 – obračalna miza,
- 3 – preklopni del.



Slika 76: Splošni sestav valjčnega transporterja

Vir: https://meh.mas.bg.ac.rs/wp-content/uploads/2020/03/P9_Valjkasti-transporteri-2017.pdf

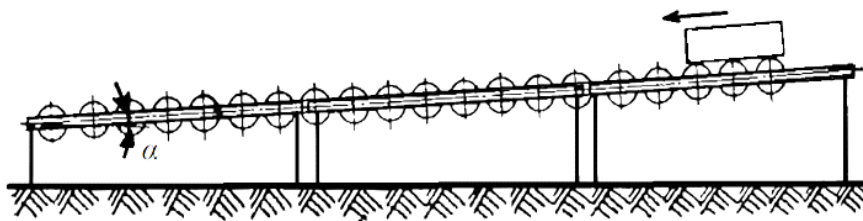


Slika 77: Primera valjčnega transporterja

Vir: <https://www.mm-intercom.si/aktualno/izdelava-transportnih-linij-po-meri/>

Dva primera izvedbe gravitacijskega valjčnega transporterja:

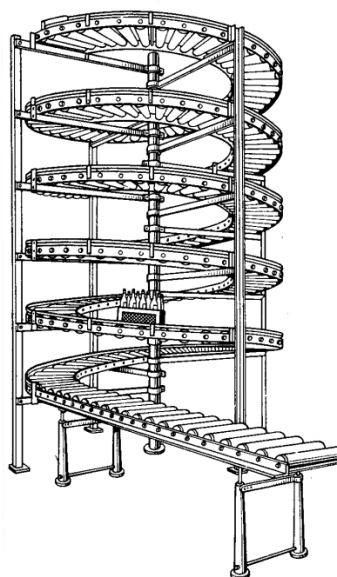
- podna proga nagnjena pod kotom 1° do 4° , kjer izkoriščamo dinamiko komponente teže predmeta prikazuje slika 78;



Slika 78: Podna proga valjčnega transporterja

Vir: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Kotrlja%C4%8Da>

- gravitacijska vijačna proga za spuščanje kosovnega materiala na omejenem prostoru prikazuje slika 79.

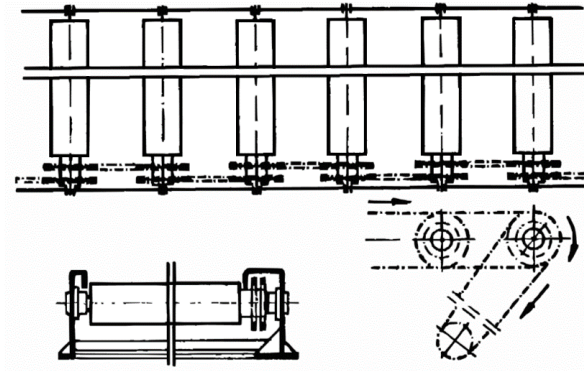


Slika 79: Gravitacijski (valjčni) transporter

Vir: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Kotrlja%C4%8Da>

Valji na gnanem valjčnem transporterju so lahko gnani:

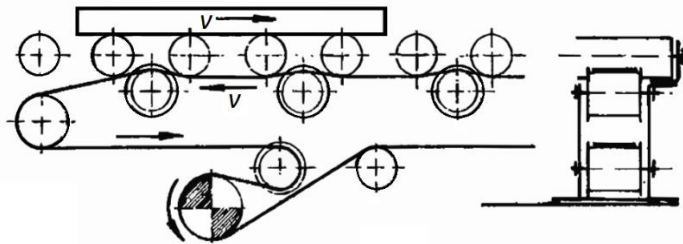
- z verigo, kjer se pogon prenaša z valja na valj, kot to prikazuje slika 80;



Slika 80: Valji z verigo (pogon iz valja na valj)

Vir: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Kotrlja%C4%8Da>

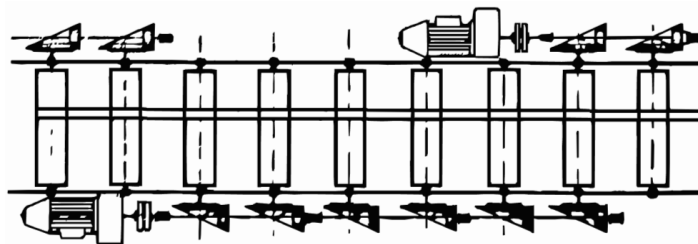
- s tornim pogonom s pomočjo transportnega traku, na katerega pritiskajo nosilni valji; pogosto jih vgrajujejo med gravitacijske proge za dvig materiala na potrebno višino za nadaljevanje transporta s prosto valjčno progo (slika 81). Trak je lahko ploščat, kot pri tipičnih tračnih transporterjih, lahko pa je tudi okrogel, klinast ali ozek ploščati trak;



Slika 81: Torni pogon s pomočjo transportnega traku

Vir: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Kotrlja%C4%8Da>

- s skupinskim pogonom s pomočjo stožčastih zobnikov oziroma ima vsak valj lasten pogon, kot to prikazuje slika 82;



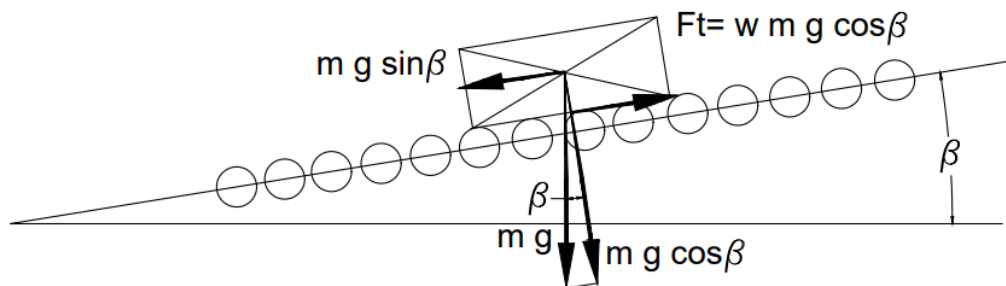
Slika 82: Pogon s pomočjo stožčastih zobnikov (vsak valj ima svoj pogon)

Vir: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Kotrlja%C4%8Da>

- z elektromotornim pogonom pri težkih progah v valjarnah.

Če podrobneje pogledamo izvedbo podne proge, nagnjene pod kotom (od 1° do 4°), je gibanje tovora posledica:

- potiskanja (vleke) posameznih kosov ali sklopov,
- gibanja pod vplivom lastne teže.



Slika 83: Skica gibanja tovora pod vplivom lastne teže na naklonu

Pogoji transporta, določeni z enačbo:

$$m \cdot g \cdot \sin(\beta) > w \cdot m \cdot g \cdot \cos(\beta) \quad \text{in} \quad \tan(\beta) > w, \quad (46)$$

kjer je:

- w – koeficient upora,
- $\tan(\beta)$ – nagibni kot valjčne proge.

Koeficient upora w se spreminja na opazovani sekciji transporterja v odvisnosti od trenutne obremenjenosti proge:

- neobremenjeni del proge:

$$w_0 = \mu \cdot d / D, \quad (47)$$

kjer je:

- μ – koeficient ležajnega trenja,
- d – srednji premer kotalnega ležaja [mm],
- D – premer valjčka [mm].

- obremenjeni del proge:

$$w = (2 \cdot f + \mu \cdot d) / D, \quad (48)$$

kjer je:

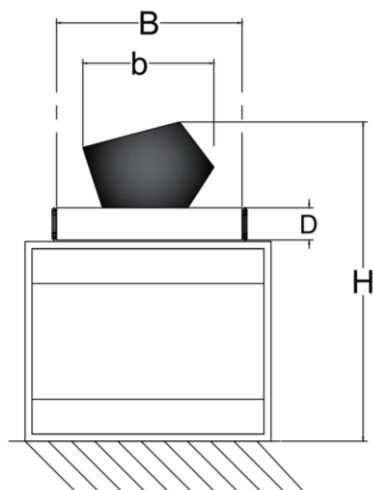
- f – ročica kotalnega trenja=1.

Širina valjčnega transporterja (slika 84) se izračuna z enačbo:

$$B = b + (100 \text{ do } 150 \text{ mm}), \quad (49)$$

kjer je:

- b – širina materiala [mm],
- B – širina valjev (valjčne) proge [mm],
- H – skupna višina valjčnega transporterja in materiala [mm],
- D_p – višina valjačnega transportetja skupaj s transportiranim tovorom [mm].



Slika 84: Dimenzije valjčnega transporterja

Zmogljivost valjčnega transporterja z negnanimi valjčki:

$$Q_{kom} = \frac{3600 \cdot v}{a} = \frac{3600}{t_l} \quad [\text{kos/h}]$$

ali

$$Q_t = \frac{3,6 \cdot G_k \cdot v}{a}, \quad [\text{kN/h}] \quad (50)$$

kjer je:

- Q_t – zmogljivost transporterja [kos/h],
- Q_{kom} – zmogljivost transporterja [kN/h],
- v – širina valjev (valjčne) proge [mm],
- a – skupna višina valjčnega transporterja in materiala [mm],
- t_l – časovni presledek med kosoma [s],
- G_k – teža transportiranega materiala [N].

Moč pogonskega motorja valjčnega transporterja se izračuna z enačbo:

$$P = \frac{F_k \cdot v}{\eta}, \quad [\text{kW}] \quad (51)$$

kjer je:

- F_k – zmogljivost transporterja [kos/h],
- v – hitrost transportiranja [m/s],
- η – izkoristek transporterja (od 0,8 do 0,85).

Naloga 4.15. S pomočjo negnanega valjčnega transporterja transportiramo kartonaste škatle mase $m = 18 \text{ kg}$ in širine $b = 40 \text{ cm}$. Kolikšna mora biti širina valjčnega transporterja B , da lahko opravimo transport? Kolikšna mora biti razdalja med transportiranimi škatlami a , če je maksimalna zmogljivost transporterja $Q = 1200 \text{ kom/h}$ in hitrost transportiranja $v = 0,3 \text{ m/s}$?



Rešitev.

Razdalja med transportiranimi škatlami mora biti vsaj $a = 0,9 \text{ metra}$.

Naloga 4.16. Določite, kakšna je lahko razdalja med posameznimi kosi a na transporterju in kakšna mora biti širina B valjčnega transporterja za transport $Q = 275 \text{ kN/h}$ pri hitrosti transportiranega materiala $v = 0,3 \text{ m/s}$. Posamezni kos ima težo $m = 4,5 \text{ kg}$ in dimenzije $0,8 \text{ m} \times 0,8 \text{ m} \times 1,1 \text{ m}$ (dolžina, širina, višina).

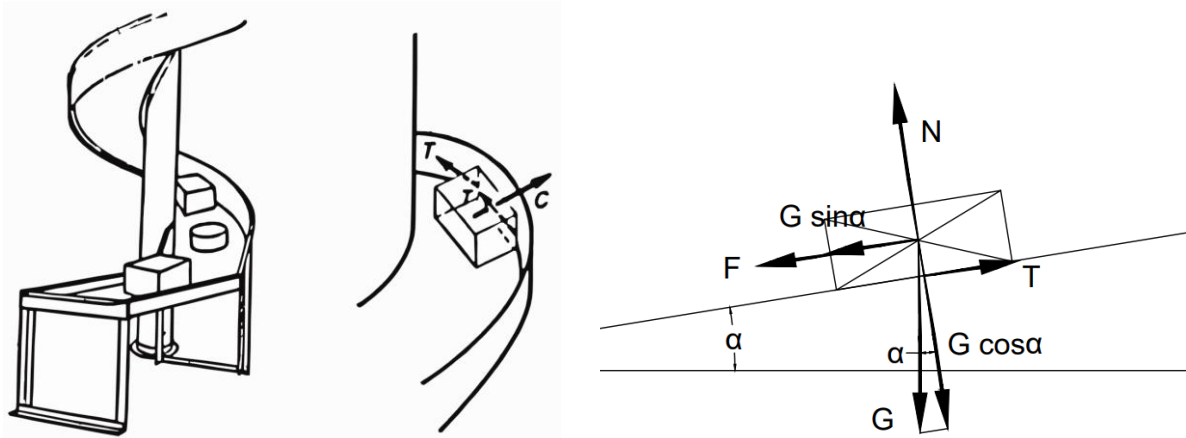


Rešitev.

Razdalja med posameznimi kosi mora biti $a = 0,177 \text{ m}$ in $B = 0,9 \text{ m}$.

4.8 Drče

Najenostavnejši predstavnik naprav z neprekinjenim delovanjem je drča (slika 86). Izdelana je iz lesa, pločevine ali plastike. Drče uporabljamo za transport kosovnega in drobnozrnatega materiala. Lahko so ravne ali spiralne (slika 85).



Slika 85: Shematski prikaz drče (klančine)

Vir: (Kovač, 1973)

Za raznovrstno blago na določenem delu drče (oz. na klancu) je težko nadzorovati hitrost, zato drče niso primerne za krhke (lomljive) materiale. Če je naklon nastavljen za lažje materiale, bo hitrost prevelika za težke materiale. Poleg tega se koeficienti trenja bistveno razlikujejo za različne materiale in za različne atmosferske razmere. Obstajajo drče s počasi premikajočim se materialom.

Hitrost materiala na koncu drče:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot H \cdot (1 - \mu \cdot \cot(\alpha))} , \quad [\text{m/s}] \quad (52)$$

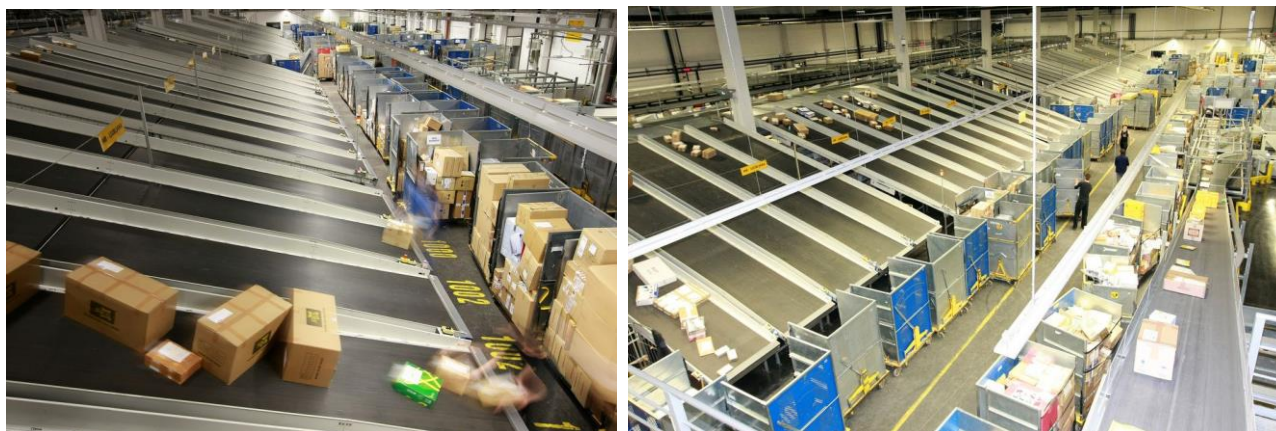
kjer je:

H – višina spusta [m],
 μ – koeficient trenja.

Koeficient trenja za nekatere materiale:

$\mu = 0,15$ do $0,25$ kovina po kovini,
 $\mu = 0,2$ do $0,6$ les po kovini,
 $\mu = 0,25$ do $0,5$ les po lesu.

Hitrost različnih materialov v spiralnih drčah je zelo enotna zaradi delovanja centrifugalne sile, ki pritisne material na ograjo drče. Težji material bo zaradi večje centrifugalne sile močneje zaviral. Naklon spiralne drče na zunanem robu je enak naklonu ravne drsalke. Zmogljivost drče je nad 500 t/h s povprečno hitrostjo delovanja od 1 do 1,5 m/s. Prednosti uporabe drče so: poceni nakup in uporaba, prihranek prostora, poceni vzdrževanje in popravila.



Slika 86: Dva primera drč

Vir: <https://old.delo.si/gospodarstvo/podjetja/piosta-slovenije-dostavi-skoraj-600-000-paketov-na-mesec.html>

Naloga 4.17. Na pošto dnevno prihajajo paketi z različno vsebino, ki je lahko tudi krhka (lomljiva). Za distribucijo paketov, ki so v kartonasti embalaži, uporabljajo znotraj skladišča drče iz kovine. Izračunajte, s kolikšno hitrostjo prileti karton teže 4 kg na konec drče, če je višina spusta 3 m, kot naklona $\alpha = 30^\circ$, koeficient trenja med kartonom in kovino pa je 0,6. Določeno je, da sila udarca kartona v drugi karton na koncu klančine ne sme biti večji od 40N. Ali je naklon klančine glede na hitrost paketov ustrezen?



Rešitev.

Ker je največja dovoljena sila udarca 40 N, izračunana sila 32,14 N ne presega tega limita, torej je hitrost ustrezna glede na podane omejitve. Naklon $\alpha = 35^\circ$ ustreza, ker pri tem kotu izračunana hitrost ne povzroči preseganja največje dovoljene sile udarca.

5 LITERATURA IN VIRI

Tiskane in elektronske knjige:

1. Friščić Franjo. *Transportna sredstva: dvigala in prenašala*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije, 2004.
2. Isaković Sabina, Klopčar Fedor. *Transportne naprave*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije, 1992.
3. Kovač Branko (ur.). *Praktičar 3: strojarstvo 2*. Zagreb: Šolska knjiga, 1973.
4. McGuire M. Patrick. *Conveyors: application, aelection, and integration*. 2. izdaja. CRC Press, 2023.
5. McGuire M. Patrick. *Conveyors: application, selection, and integration*. 1. izdaja. CRC Press, 2009.
6. Rak Gregor. *Logistika notranjega transporta in skladiščenja*. Ljubljana: Zavod IRC, 2011.

Ostali elektronski viri:

7. <https://www.transporteri.com/proizvodi/trakasti-transporteri>
8. <https://www.transporteri.com/proizvodi/plocasti-transporteri>
9. <https://www.lesk-s.si/lakirnice/transportni-trakovi>
10. <https://www.transporteri.com/en/site-map/articles/79-articles>
11. <https://www.screwconveyorparts.com/wp-content/uploads/2018/04/KWS-MFG-Screw-Conveyor-Engineering-Guide-SCP.pdf>
12. <https://bulkinside.com/bulk-solids-handling/pneumatic-conveying/what-is-pneumatic-conveying-system/>
13. <https://www.mm-intercom.si/aktualno/izdelava-transportnih-linij-po-meri/>

Seznam slik:

Slika 1: Transportne naprave v notranjem transportu in skladiščenju	6
Slika 2: Ročni viličar.....	8
Slika 3: Viličarja z elektromotorjem	8
Slika 4: Viličar z motorjem z notranjim zgorevanjem.....	8
Slika 5: Viličar na hibridni pogon.....	9
Slika 6: Bočna izvedba viličarja.....	9
Slika 7: Čelna izvedba viličarja	10
Slika 8: Izvlečne in vrtljive vilice	10
Slika 9: Viličar s potisnim teleskopom	11
Slika 10: Trikolesni viličar.....	11
Slika 11: 4-potni viličar.....	11
Slika 12: Voznik sedi obrnjen v smeri vožnje	12
Slika 13: Voznik sedi prečno obrnjen na smer vožnje.....	12
Slika 14: Voznik se lahko zasuče.....	13
Slika 15: Voznik stoji na viličarju.....	13
Slika 16: Voznik hodi poleg viličarja	13
Slika 17: Komisionirni viličar.....	14
Slika 18: Priključek hidravlične klešče	14
Slika 19: Priključek plug.....	15
Slika 20: Težišče in nosilnost viličarja	17
Slika 21: Sile, ki vplivajo na stabilnost viličarja.....	19
Slika 22: Skica viličarja in sil za primer izračuna S_d	19
Slika 23: Skica viličarja in sil za primer izračuna S_d	20
Slika 24: Primer ročnega (levo) in električnega (desno) vijačnega dvigala	22
Slika 25: Splošni sestav vijačnega dvigala	23
Slika 26: Splošni sestav hidravličnega dvigala	25
Slika 27: Primera hidravličnega dvigala	25
Slika 28: Splošni sestav pnevmatskega dvigala	27
Slika 29: Dva primera pnevmatskega dvigala (tudi z roko).....	27
Slika 30: Primer električnega (regalnega) dvigala	29
Slika 31: Splošni sestav električnega regalnega dvigala.....	29
Slika 32: Splošni sestav verižnega dvigala	30
Slika 33: Primer jeklenega vrvnega dvigala in verižnega dvigala	30
Slika 34: Primera mostnega dvigala.....	31
Slika 35: Splošni sestav mostnega dvigala	31
Slika 36: Vodoravni in nagnjeni tračni transporter.....	32
Slika 37: Skica splošne sestave tračnega transporterja	33
Slika 38: Skica pogonskega bobna in jermenice.....	33
Slika 39: Tri različne izvedbe trakov za tračni transporter	34
Slika 40: Vodoravni podporni valji in trodelni podporni valji.....	34
Slika 41: Razmerje med težiščem izdelka in kotom nagiba tračnega transporterja	35

Slika 42: Primeri členkastih transporterjev	39
Slika 43: Splošni sestav členkastega transporterja.....	39
Slika 44: Členkasti transporter za komisioniranje	40
Slika 45: Členkasti transporter, kjer je plošča sestavni element transporterja	40
Slika 46: Členkasti transporter, kjer je plošča pritrjena na verigo	41
Slika 47: Členkasti transporter s krogličnim sklepom	41
Slika 48: Vzoredna izvedba členkastih transporterjev	41
Slika 49: Splošni sestav visečega krožnega transporterja z različnimi obešali (a,b in c)	44
Slika 50: Primera visečih krožnih transporterjev – konvejerjev	45
Slika 51: Izvedba visečega krožnega transporterja z vzponom – enotočkovno vpetje.....	45
Slika 52: Izvedba visečega krožnega transporterja z vzponom - dvotočkovno vpetje	45
Slika 53: Vzpon visečega krožnega transporterja	46
Slika 54: Izvedba varnostne ograje pred padajočimi bremenimi	46
Slika 55: Talni viseči krožni transporter	46
Slika 56: Izvedbe polnjenja in praznjenja elevatorja za sipki material.....	49
Slika 57: Izvedbe elevatorja glede na način polnjenja in praznjenja	49
Slika 58: Splošni sestav vertikalnega transporterja (elevatorja)	50
Slika 59: Tri oblike korcev za razsuti tovor	50
Slika 60: Konzolni elevator za kosovni tovor	52
Slika 61: Elevator z obešali za kosovni tovor	52
Slika 62: Primeri polžastega transporterja	54
Slika 63: Splošni sestav polžastega transporterja	54
Slika 64: Različne izvedbe polža	55
Slika 65: Spirala polža in kot vzpona.....	55
Slika 66: Spirala polža in kot vzpona.....	56
Slika 67: Primera pnevmatičnega (cevnega) transporterja	58
Slika 68: Sesalni sistem pnevmatičnega transporterja	58
Slika 69: Sesalna šoba.....	59
Slika 70: Tlačni sistem pnevmatičnega transporterja	59
Slika 71: Kombinirani sistem pnevmatičnega transporterja	59
Slika 72: Shematski prikaz ciklon.....	60
Slika 73: Valji, gnani z verigo, (levo) in valji, prosto vrtljivi (desno).....	62
Slika 74: Valjni transporter na kolesih	63
Slika 75: Krogelna miza za sortiranje – del valjčnega transporterja	63
Slika 76: Splošni sestav valjčnega transporterja	63
Slika 77: Primera valjčnega transporterja	64
Slika 78: Podna proga valjčnega transporterja.....	64
Slika 79: Gravitacijski (valjni) transporter	64
Slika 80: Valji z verigo (pogon iz valja na valj)	65
Slika 81: Torni pogon s pomočjo transportnega traku	65
Slika 82: Pogon s pomočjo stožčastih zobnikov (vsak valj ima svoj pogon)	65
Slika 83: Skica gibanja tovora pod vplivom lastne teže na naklonu.....	66
Slika 84: Dimenzije valjčnega transporterja	67

Slika 85: Shematski prikaz drče (klančine).....	68
Slika 86: Dva primera drč	69

Seznam tabel:

Tabela 1: Nasipni kot v odvisnosti od transportiranega materiala	35
Tabela 2: Koeficient naklona transporterja K_2	35
Tabela 3: Koeficient dodatnih uporov c v odvisnosti od dolžine transporterja L [m].....	36
Tabela 4: Koeficient upora w_o v odvisnosti od vrste materiala	56

Seznam formul:

Formula 1: Izračun števila ciklov C viličarja.....	15
Formula 2: Potrebno število viličarjev N za prevoz mase blaga Q	15
Formula 3: Koeficient varnosti proti prevrnitvi viličarja.....	17
Formula 4: Koeficient varnosti proti prevrnitvi S_d v najobčutljivejšem položaju tovora	18
Formula 5: Prevrnitveni moment M_p za izračun stabilnosti viličarja.....	19
Formula 6: Delo za vrtenje ročice na vijačnem dvigalu	23
Formula 7: Kot vzpona navoja γ	23
Formula 8: Tlak tekočine v batni črpalki	25
Formula 9: Pascalov zakon	25
Formula 10: Sila na bat	26
Formula 11: Sila na ročici	26
Formula 12: Polnilni prerez za ravni tračni transporter	34
Formula 13: Polnilni prerez za koritast tračni transporter	34
Formula 14: Širina in višina na traku nastutega materiala	34
Formula 15: Zmogljivost tračnega transporterja za sipki material	35
Formula 16: Zmogljivost tračnega transporterja za kosovni tovor	36
Formula 17: Moč pogonskega motorja tračnega transporterja	36
Formula 18: Obodna sila F_0	36
Formula 19: Moč pogonskega motorja tračnega transporterja ob danem izkoristku.....	37
Formula 20: Zmogljivost členkastega transporterja za kosovni tovor	42
Formula 21: Potrebna širina členkastega transporterja za sipki tovor	42
Formula 22: Zmogljivost členkastega transporterja za sipki material	42
Formula 23: Koeficienta nagiba transporterja k	42
Formula 24: Moč členkastega transporterja	42
Formula 25: Zmogljivost visečega krožnega transporterja za kosovni tovor	47
Formula 26: Zmogljivost visečega krožnega transporterja za masno zmogljivost	47
Formula 27: Zmogljivost visečega krožnega transporterja za masno zmogljivost sipkega materiala	47
Formula 28: Moč pogonskega motorja visečega krožnega transporterja.....	47
Formula 29: Zmogljivost elevatorja za sipki material	51
Formula 30: Volumen korcev V	51
Formula 31: Razdalja med korci h	51

Formula 32: Moč pogonskega motorja elevatorja	51
Formula 33: Vlečna sila F v verigi	51
Formula 34: Zmogljivost elevatorja za kosovni material	53
Formula 35: Kot spirale polža.....	55
Formula 36: Zmogljivost polžastega transporterja	55
Formula 37: Prerez materiala v koritu	56
Formula 38: Moč pogonskega motorja polžastega transporterja	56
Formula 39: Pritisk sile na delček materiala	60
Formula 40: Kvantitativna (količinska) koncentracija mešanice μ	60
Formula 41: Volumenska koncentracija mešanice δ	61
Formula 42: Količina pretoka zraka Qu	61
Formula 43: Volumen (pretok) zraka Vu	61
Formula 44: Srednja hitrost transportiranega materiala.....	61
Formula 45: Premer cevovoda D	61
Formula 46: Pogoji transporta – gibanje pod vplivom lastne teže.....	66
Formula 47: Koeficient upora w neobremenjeni del proge.....	66
Formula 48: Koeficient upora w obremenjeni del proge	66
Formula 49: Širina valjčnega transporterja	66
Formula 50: Zmogljivost valjčnega transporterja z negnanimi valjčki	67
Formula 51: Moč pogonskega motorja valjčnega transporterja.....	67
Formula 52: Hitrost materiala na koncu drče.....	68