

Pužni konvejer za piljevinu

Horvat, Martina

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:439122>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-27**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering
and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Martina Horvat

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Matija Hoić, dipl. ing.

Student:

Martina Horvat

Zagreb, 2022.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se doc. dr. sc. Matiji Hoiću na pomoći i mentorstvu, te obitelji i prijateljima na pruženoj podršci tijekom studiranja i izrade diplomskog rada.

Martina Horvat



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarski

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 22 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 22 -	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Martina Horvat**

JMBAG: 0035201268

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Pužni konvejer za piljevinu**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Worm sawdust conveyor**

Opis zadatka:

Potrebno je konstruirati pužni konvejer za potrebe postrojenja za obradu drveta koji bi prenosio piljevinu iz dijela pogona za obradu drva do bunkera za pohranu piljevine.

Ciljano konstrukcijsko rješenje mora imati sljedeće karakteristike:

- 1) Kapacitet: $Q = 800 \text{ m}^3/\text{h}$;
- 2) Prijenos mase: horizontalan;
- 3) Duljina prijenosa: $L = 12 \text{ m}$;
- 4) Pogon: električni;
- 5) Ulaz mase: vertikalni;
- 6) Izlaz mase: horizontalan.

Rad treba sadržavati:

- 1) Uvodni pregled pužnih konvejera,
- 2) Opis razmatranih koncepcija rješenja te obrazloženje odabira rješenja,
- 3) Proračun mehanizma puža,
- 4) Proračun nosive konstrukcije,
- 5) Sklopni crtež transportne trake s potrebnim presjecima i detaljima,
- 6) Radioničku dokumentaciju prema dogovoru s mentorom.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

Datum predaje rada:

Predviđeni datumi obrane:

3. ožujka 2022.

5. svibnja 2022.

9. - 13. svibnja 2022.

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

Doc. dr. sc. Matija Hoić

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA	III
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	IV
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK	VIII
1. Uvodno razmatranje o pužnim konvejerima i preporučene forme rješenja	1
1.1. Dobavna transportna tehnika	1
1.1.1. <i>Neprekidna dobava</i>	1
1.2. Pužni konvejeri	3
1.2.2. <i>Horizontalni pužni konvejer</i>	5
2. Postojeća konstrukcijska rješenja i principi rada	11
2.1. Siirtoruuvi konvejeri s velikim pužem	11
2.3. Wildfellner pužni konvejer bez vratila	16
3. Koncepti	19
3.1. Koncept 1 - Konvejer s jednim velikim pužem	19
3.2. Koncept 2 - Konvejer s dvije pužnice	21
3.3. Koncept 3 - Konvejer sa četiri pužnice	24
4.1. Potrebni promjer i uspon puža, brzina vrtnje	27
4.2. Opterećenja i odabir ležajnih mjesta	28
4.2.1. <i>Opterećenja na vratilu</i>	28
4.2.2. <i>Odabir ležajnih mjesta</i>	30
4.2.3. <i>Odabir ležaja prednjeg kraja vratila</i>	32
4.2.4. <i>Odabir međuležaja i krajnjeg ležaja</i>	35
4.3. Potrebna snaga i odabir motor-reduktora	37
4.3.1. <i>Potrebna snaga elektromotora</i>	37
4.3.2. <i>Odabir motor-reduktora</i>	37
4.4. Proračuni zavora vratila puža	38
4.4.1. <i>Zavar spirale i vratila</i>	38
4.4.2. <i>Zavar cijevi i vratila elektromotora</i>	40
4.5. Provjera čvrstoće - pero	42
4.6. Proračun nosive konstrukcije	43
5. Zaključak	47
LITERATURA	49

POPIS SLIKA

Slika 1. Oblici neprekidne dobave: a) sipkog materijala, b) komadne robe, c) sipkog materijala u posudama [1].....	2
Slika 2. Standardni horizontalni pužni konvejer s jednim pužem [3]	3
Slika 3. Arhimedov vijak	4
Slika 4. Dijelovi pužnog konvejera [2].....	5
Slika 5. Razne izvedbe pužnice: a) kontinuirana, b) segmentna, c) nezavisni segmenti, d) posebna izvedba [2]	6
Slika 6. Primjeri uležištenja krajeva vratila [3].....	7
Slika 7. Klizni međuležaj [4]	8
Slika 8. Međuležaj na vratilu pužnice [4]	8
Slika 9. Neki od mogućih oblika korita [3]	9
Slika 10. Korito s dvostrukom stijenkom [6].....	9
Slika 11. Siitruuvi velika pužnica dimenzija $\varnothing 2075 \times 12125$ [5].....	11
Slika 12. BBM Ehrhardt primjer pužnog konvejera sa četiri pužnice [8]	14
Slika 13. BBM Ehrhardt primjer pužnog konvejera s dvije pužnice [8]	15
Slika 14. BBM Ehrhardt veliki pužni konvejer s jednom pužnicom [8]	15
Slika 15. Zavarivanje segmenata velike pužnice na osovinu [8]	16
Slika 16. Wildfellner pužnica [10]	17
Slika 17. Wildfellner konvejer [10].....	18
Slika 18. Koncept 1 – Konvejer s jednom velikom pužnicom.....	19
Slika 19. Presjek međuležaja	19
Slika 20. Zavarena izvedba pužnice [3].....	20
Slika 21. Koncept 2 - konvejer s dvije pužnice.....	21
Slika 22. Prikaz pogona i krajnjih radijalno.....	21
Slika 23. Presjek korita	22
Slika 24. Horizontalan izlaz materijala [3]	22
Slika 25. Koncept 3 - konvejer sa četiri pužnice.....	24
Slika 26. Prikaz pogona i krajnjih radijalno-aksijalnih ležaja kovejera sa četiri pužnice	24
Slika 27. Presjek pužnica i korita konvejera sa četiri pužnice	25
Slika 28. Raspored ležajnih mjesta na vratilu.....	30
Slika 29. Sile u osloncima vratila.....	31
Slika 30. Kutovi uspona puža [1]	38
Slika 31. Prikaz djelovanja sila na zavar	38
Slika 32. Opterećenja zavora spirale i vratila.....	39
Slika 33. Prikaz spoja osovine	40
Slika 34. Opterećenja zavora.....	40
Slika 35. Prikaz modela i nosive konstrukcije	43
Slika 36. Nosač sa četiri oslonca.....	45
Slika 37. Rezultati analize nosača u Abaqusu - pomaci	45
Slika 38. Pužni konvejer	48
Slika 39. Segment vratila sa zavarenom pužnicom.....	48

POPIS TABLICA

Tablica 1. Snaga potrebna za pogon pužnog konvejera [1].....	10
Tablica 2. Vrijednosti raznih izvedbi velikih Siirutroovi konvejera sa cijevi [5].....	12
Tablica 3. Vrijednosti raznih izvedbi velikih Siirutroovi	13
Tablica 4. Tehničke specifikacije Wildfellner konvejera [9].....	17
Tablica 5. Kriteriji vrednovanja koncepata.....	26
Tablica 6. Podaci o ležaju 2218K [16]	33
Tablica 7. Podaci o steznoj ljuski H318 [16].....	34
Tablica 8. Podaci o ležaju 1316 [16].....	36
Tablica 9. Podaci o odabranom profilu	44

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

N01-000

N01-300

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
A	m^2	Površina presjeka materijala
C	N	Dinamička nosivost ležaja
C_1	N	Dinamička opterećenost ležaja
d	m	Promjer vratila
D	m	Odabrani promjer pužnice
D_1	m	Promjer pužnice
E	—	Youngov modul elastičnosti
F_a	N	Maksimalna aksijalna sila na vratilu puža
F_A	N	Aksijalna sila
f_b	—	Pogonski faktor motora
F_n	N	Normalna sila
F_r	N	Radijalna sila
F_s	N	Smična sila
G_{EM}	N	Težina elektromotora
G_V	N	Težina vratila i pužnice
h	m	Uspón puža
H	m	Visina transporta
i	—	Prijenosni omjer
$I_{k,1}$	kom/s	Komadni protok
I_m	kg/s	Maseni protok
I_v	m^3/s	Volumenski protok, kapacitet
k	—	Faktor koji uzima u obzir sile inercije i dodatne otpore
l	mm	Duljina spirale jednog zavoja
L	m	Duljina prijenosa tereta
L_{10h}	h	Nazivni vijek trajanja ležaja
m	kg	Masa
M_n	Nm	Nazivna snaga elektromotora

M_{red}	Nm	Reducirani moment na vratilu
M_s	Nm	Moment savijanja
M_T	Nm	Moment torzije
n	min^{-1}	Brzina vrtnje
P	N	Snaga
P_{ef}	W	Efektivna snaga na vratilu
P_r	N	Ekvivalentno dinamičko opterećenje ležajnog mjesta
P_u	N	Granica opterećenja za zamor
P_V	W	Snaga na vratilu puža
r	m	Polumjer djelovanja sile trenja na puž
Q	m^3/s	Kapacitet, volumenski protok
q	N/m	Kontinuirano opterećenje
t	mm	Debljina stijenke cijevi vratila
t_e	s	Dobavni period komadne robe
T	Nm	Moment vrtnje na vratilu puža
T_{EM}	N	Moment elektromotora
W_t	mm^3	Torzijski moment otpora
w_{dop}	mm	Dopušteni progib
w_{max}	mm	Maksimalni progib
α_0		Faktor čvrstoće materijala vratila
α	°	Kut uspona puža
ε	—	EkspONENT vijeka trajanja
λ	—	Otpor povlačenju
η	—	Stupanj korisnosti
ρ	kg/m^3	Nasipna gustoća materijala
ρ'	°	Kut trenja
σ_{ekv}	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Ekvivalentno naprezanje
σ_{dop}	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Dopušteno naprezanje
σ_n	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Normalno naprezanje

σ_T	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Tlačno naprezanje
τ_{II}	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Smično naprezanje
τ_t	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Uvijanje
ψ	–	Koeficijent punjenja korita
ω	rad/s	Brzina vrtnje

SAŽETAK

Diplomski rad na temu razrade koncepta i konstrukcijskog rješenja pužnog konvejera za piljevinu, kapaciteta $800 \text{ m}^3/\text{h}$ i sa horizontalnim izlazom materijala, izrađen je u skladu sa proračunom, pripadajućom literaturom i primjerima postojećih rješenja konvejera za slične zahtjeve.

Uvodni dio sastoji se od općenitog razmatranja o pužnim konvejerima, analize nekih postojećih proizvoda, te vrednovanja i odabira najboljeg koncepta. Taj koncept ide u daljnju razradu: proračun, odabir standardnih komponenti te modeliranje u programskom paketu Solidworks.

Radu je uz proračun priložena tehnička dokumentacija u obliku sklopnog crteža konvejera sa svim bitnim presjecima i detaljima i radioničkog crteža zavarenog sklopa puža.

Ključne riječi: pužni konvejer, piljevina, kapacitet

SUMMARY

Based on developing the concept and designing a screw conveyor used for transporting sawdust, with the capacity of 800 m³/h and horizontal material output, this graduate thesis is made in accordance with the calculations, required literature and similar already existing solutions for conveyors used for that purpose.

The introduction consists of the general overview of screw conveyors, analysing some existing products, and evaluating and choosing the best concept. The chosen concept then undergoes further development and elaboration which includes: calculations, choosing the standard components and modelling the conveyor in Solidworks.

Technical documentation of the conveyor is attached at the end of the paper.

Key words: screw conveyor, sawdust, capacity

1. Uvodno razmatranje o pužnim konvejerima i preporučene forme rješenja

1.1. Dobavna transportna tehnika

Konvejeri su transportna sredstva neprekidne dobave.

Dobavna transportna tehnika se općenito dijeli na sredstva prekidne i neprekidne dobave, te ono što određuje neprekidnu dobavu jest prenosi li se materijal u neprekinutom toku.

To znači da se transportno sredstvo stalno pokreće, bilo kontinuirano, bilo u određenom taktu.

Sredstva neprekidne dobave, odnosno konvejeri, dijele se na:

- a. Mehanička prenosila s vlačnim elementima,
- b. Mehanička prenosila bez vlačnih elemenata,
- c. Pneumatska i hidraulička prenosila.

S druge strane, prekidna dobava odvija se u radnim ciklusima, koji mogu biti međusobno odvojeni stankama jednakog ili različitog trajanja.

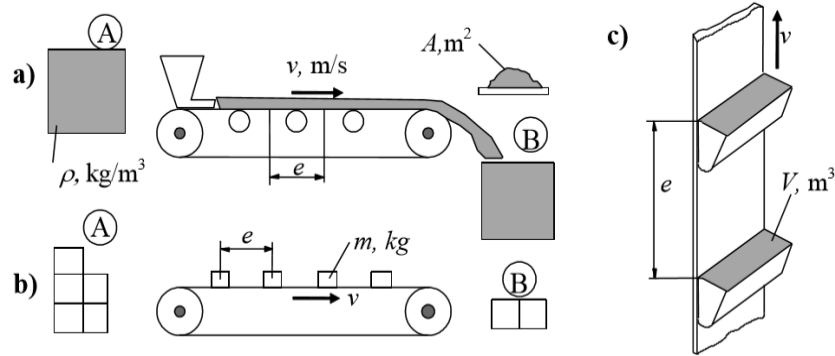
Sredstva prekidne dobave mogu se razvrstati na sljedeći način:

- a. Granici ili kranovi,
- b. Dizalice,
- c. Dizala ili liftovi,
- d. Manipulatori, industrijski roboti. [1]

1.1.1. Neprekidna dobava

Neprekidna dobava vrši se u pravilu neprekinutim tokom od mjesta zahvata (punjenja) do mjesta odlaganja (pražnjenja). Sredstva neprekidne dobave rade većinom dulje vrijeme bez prekida, s praktički nepromjenjivim opterećenjem i konstantnom brzinom. Sredstva neprekidne dobave prenose sipki ili komadni materijal duž unaprijed zadane transportne putanje, koja se ne mijenja u odnosu na nosivu konstrukciju. Stoga se takva sredstva nazivaju konvejerima ili prenosilima (jer prenose materijal po određenoj putanji), pri čemu oblik putanje može biti različit (horizontalna putanja, kosa, vertikalna, i sl.).

Kapacitet neprekidne dobave izražava se protokom transportiranog materijala i to kao volumenski protok (m^3/s , m^3/h), maseni protok (kg/s , t/h) ili komadni protok (kom./h , osoba/h). [1]



Slika 1. Oblici neprekidne dobave: a) sipkog materijala, b) komadne robe, c) sipkog materijala u posudama [1]

Volumen materijala na dužini e , slika 1.1-a. :

$$V = A \cdot e, \text{ m}^3 \quad (1.1.)$$

Pripadna masa materijala na dužini e :

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot A \cdot e, \text{ kg} \quad (1.2.)$$

gdje je A - površina presjeka materijala na traci, m^2 .

Volumenski protok materijala, slika 1.1-a.:

$$I_v = \frac{dV}{dt} = A \cdot \frac{de}{dt} = A \cdot v, \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (1.3.)$$

odnosno za dobavu u posudama, slika 1.1-c. :

$$I_v = v \cdot \frac{V}{e}, \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (1.4.)$$

Maseni protok:

$$I_m = \frac{dm}{dt} = A \cdot v \cdot \rho = I_v \cdot \rho, \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (1.5.)$$

odnosno za dobavu komadnog materijala na rastojanju e , slika 1.1-b. :

$$I_m = \frac{m}{e} \cdot v, \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (1.6.)$$

gdje je:

V – volumen materijala na traci [m^3],

m – masa materijala [kg],

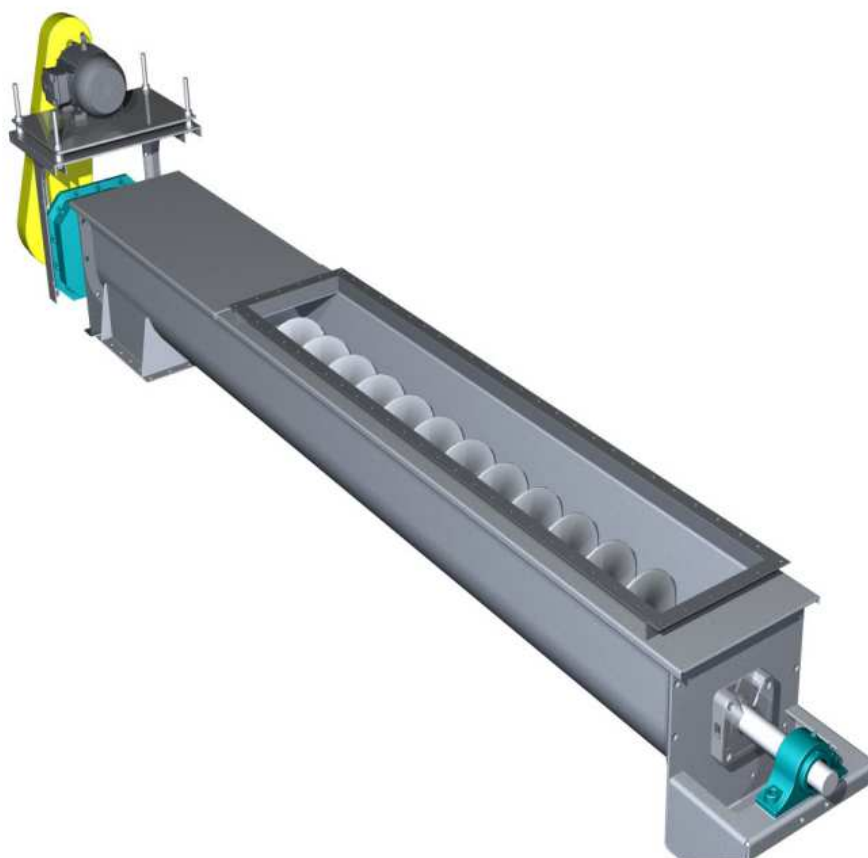
ρ – nasipna gustoća materijala [kg/m^3],

I_v – volumenski protok [m^3/s],

I_m – maseni protok [kg/s].

1.2. Pužni konvejeri

Pužni konvejeri se koriste za transport rasutog, zrnatog, te rjeđe, glomaznog rasutog tereta, na duljinama do 40 m horizontalno i visinama do 30 m vertikalno u raznim industrijama. [2] Materijal se transportira u koritu pomoću ugrađenog rotirajućeg puža. Konvejer standardne izvedbe (DIN15261) transportira materijal horizontalno, odnosno do nagiba od 25° ili pak vertikalno. Neke posebne izvedbe rade pod svakim nagibom. [1] Ti tipovi pužnog konvejera imaju zajedničke određene karakteristike, ali se u nekima razlikuju, pogotovo što se tiče principa rada. Neke od prednosti pužnih konvejera su jednostavna konstrukcija, lako održavanje, male dimenzije i jednostavan istovar materijala. Nedostaci su: visoka potrošnja energije, trljanje i drobljenje materijala, brzo trošenje puža i vratila, te velika osjetljivost na preopterećenja što može dovesti do nakupljanja materijala po vratilu i kod ležajeva. [2]



Slika 2. Standardni horizontalni pužni konvejer s jednim pužem [3]

1.2.1. Arhimedov vijak

Prvi pužni konvejer bio je Arhimedov vijak, koji je izumljen otprilike 250. godine prije Krista. Arhimedov vijak je pumpa ili crpka za vodu u obliku lima svinutog poput zavoja vijka. Pri okretanju se voda u toj cijevi diže od njezina donjega kraja prema gornjemu i curi kroz otvor zadnjeg zavoja. Arhimedov vijak se često tijekom povijesti upotrebljavao za premještanje vode u kanale za natapanje. To je jedan od izuma koji se pripisuje grčkom misliocu Arhimedu iz 3. st. pr. Kr., iako postoji i druga teorija po kojoj su za ovaj izum zaslužni stanovnici Babilona, te postoji pretpostavka da su se čuveni vrtovi Babilona natapali uz pomoć ovog tipa sisaljke.



Slika 3. Arhimedov vijak

Stroj je jednostavne konstrukcije, sastoji se od vijka smještenog unutar cijevi. Vijak se okreće pogonjen vjetrenjačom ili snagom čovjeka ili stoke. Okretanjem vijka, tekućina se giba po obodu vijka prema gore sve dok ne dođe do vrha, gdje se izliva iz cijevi prema krajnjem odredištu. Poželjno je da između vijka i cijevi bude što manja zračnost, kako bi se smanjila propuštanja iz višeg u niži nivo. Gubici su također manji ako je veća brzina okretanja vijka.

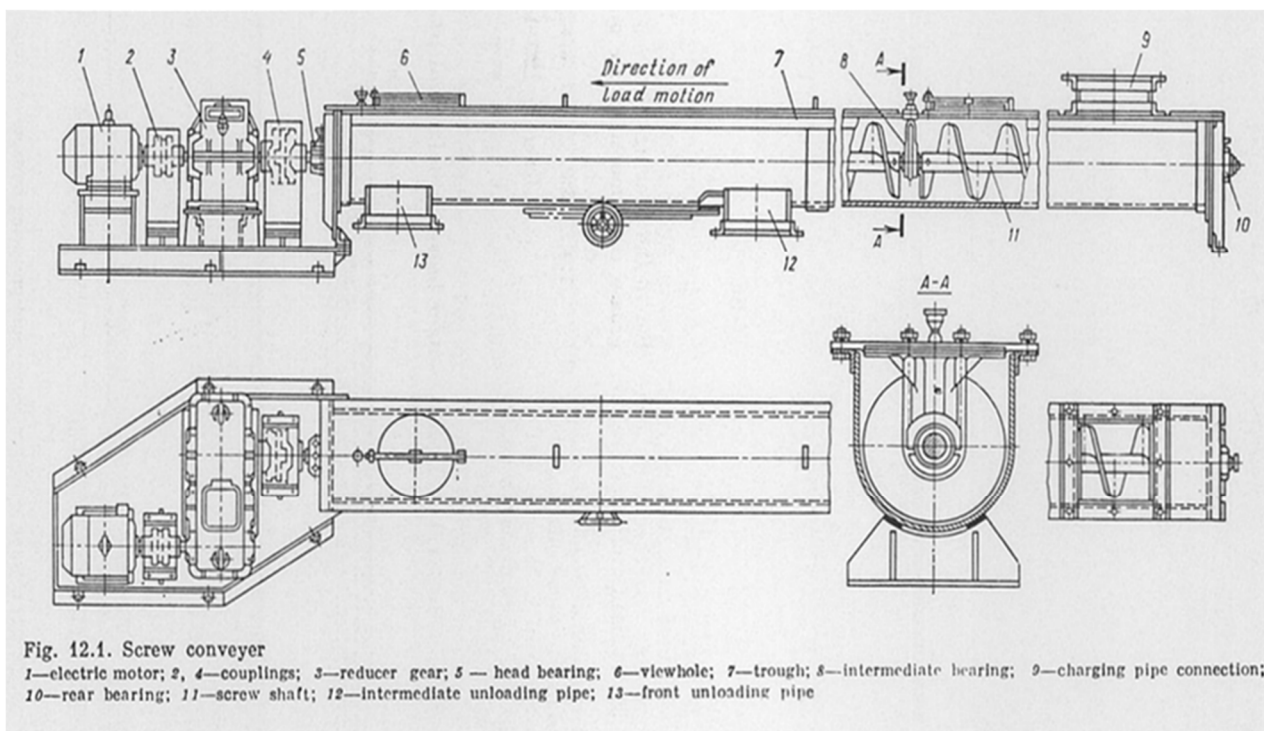
Izvedba Arhimedovog vijka može biti na dva načina: kod prve izvedbe se vijak okreće unutar cijevi koja je statična, a kod druge se vijak i cilindar okreću zajedno, te ne postoji relativno gibanje između vijka i cijevi. Povijesni izvori govore o upotrebi drugog sustava u starom vijeku u Grčkoj i Rimu.

Danas se Arhimedov vijak upotrebljava za navodnjavanje, ali i za isušivanje. Česta je upotreba i u kanalizacijskim sustavima jer je vijak skoro neosjetljiv na krute nečistoće i mijenjanje količina koje prebacuje. Također, Arhimedov vijak je česta pojava u pokretnim trakama, u ribogojilištima i transportu žitarica. [7]

1.2.2. Horizontalni pužni konvejer

Horizontalni pužni transporter sastoji se od pužnice (vijka) ugrađene na uležišteno vratilo, korita sa polucilindričnim dnom, te pogona (elektromotor sa reduktorom) koji rotira vratilo s pužem.

Materijal se puni u korito preko jednog ili više otvora na poklopcu korita, te kako se pužnica rotira, materijal putuje uzduž vratila, istim principom kao što bi se matica pomicala po navojnom vretenu. Rotacija materijala zajedno sa pužem je onemogućena gravitacijom i trenjem po koritu. Teret se na kraju konvejera istovaruje kroz otvor, tipično na dnu korita. [2]

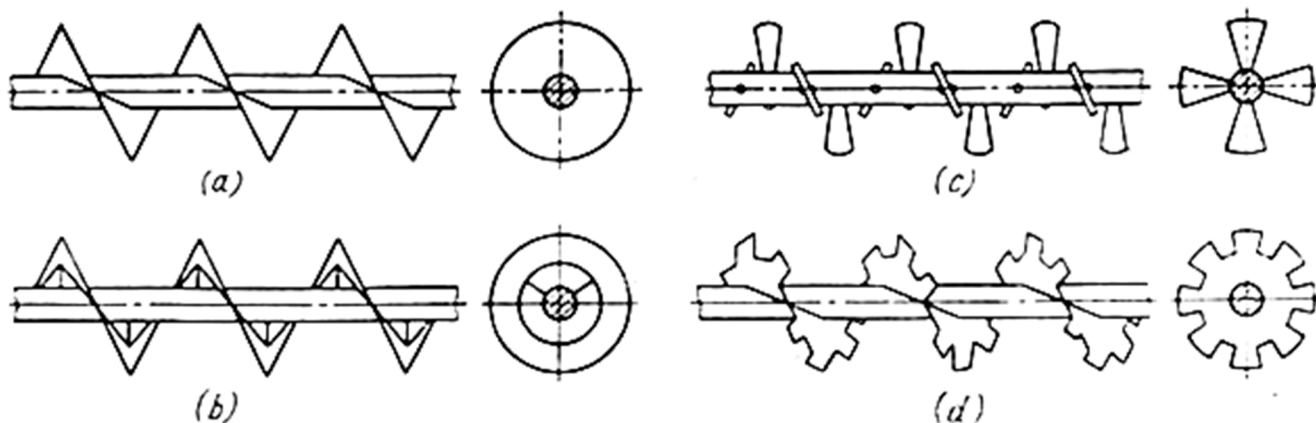


Slika 4. Dijelovi pužnog konvejera [2]

1.2.2.1. Pužnica (vijak)

Pužnica se izrađuje od čeličnog lima (1,5 do 1 mm) hladno izvaljanog u neprekidnu traku ili je izvedena zavarivanjem pojedinih segmenata. Želi li se postići miješanje materijala, puž se izvodi od nezavisnih segmenata.

Za ljepljiv materijal, kao što je melasa, vrući katran, asfalt ili pak za grudasti materijal daje se prednost pužu iz trake. Za transport prehrambenih artikala, kozmetičkog praha, vlažnog pluta ili drugih materijala koji se mogu onečistiti u dodiru s čelikom, puž se izrađuje od nehrđajućeg čelika, bronce, aluminija i drugih sličnih materijala. Ti materijali znatno povisuju cijenu konvejera. Za pepeo, rudače, pelet i slično, puž se izvodi u segmentima od lijevanog željeza. [1]



Slika 5. Razne izvedbe pužnice: a) kontinuirana, b) segmentna, c) nezavisni segmenti, d) posebna izvedba [2]

Puž je redovito jednovojan u horizontalnoj izvedbi, dok je pri nedozirnom punjenju ili kod strmih ili okomitih puževa na početnom dijelu dvovojan ili izveden sa znatno manjim usponom. Može biti desnovojan ili lijevovojan. [1]

1.2.2.2. Vratilo i ležajevi

Vratila služe za okretanje pužnice i time prijenos materijala, te su uležištena na krajevima i pogonjena elektromotorom. To su najčešće cijevi dužine 3 m. Duljina se može povećati i do 6-7 m. [1]

Na većim duljinama konvejera, vratilo se izrađuje od više sekcija radi lakše montaže. [2]

Osim sekcija, na većim duljinama se koriste i međuležajevi. Razmak ležajeva je 2,5 do 3,5 m.

Uporni ležaj smješta se na strani pražnjenja kako bi vratilo bilo napregnuto na vlak, a ne na tlak, odnosno izvijanje. [1]

Ležaji su klizni ili sve češće kotrljajući. [1] Mogu biti od metala ili bronce.

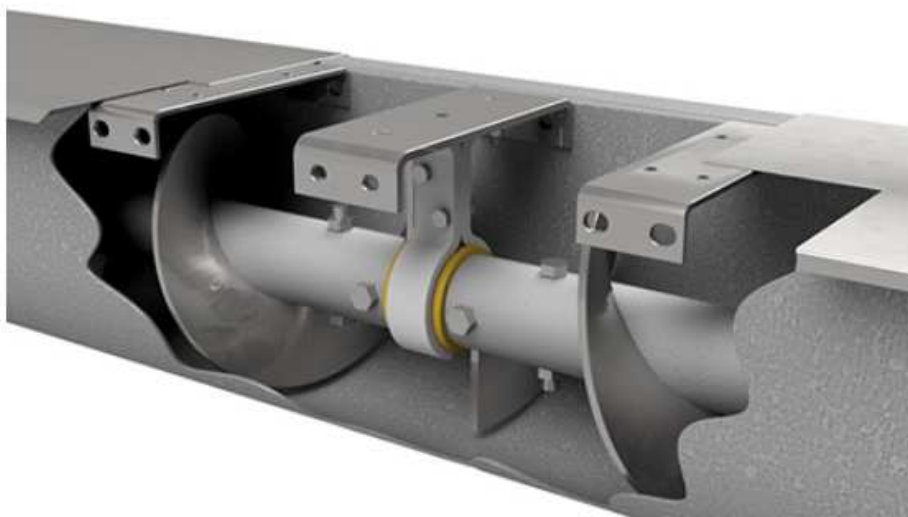
Na slici 6. prikazane su tipične izvedbe uležištenja na krajevima vratila.



Slika 6. Primjeri uležištenja krajeva vratila [3]

Za pozicioniranje međuležaja koriste se razna kućišta i ovjesi koji su postavljeni unutar korita.

Na slikama 7. i 8. je prikazane su tipične izvedbe vratila poduprtog međuležajem.



Slika 7. Klizni meduležaj [4]

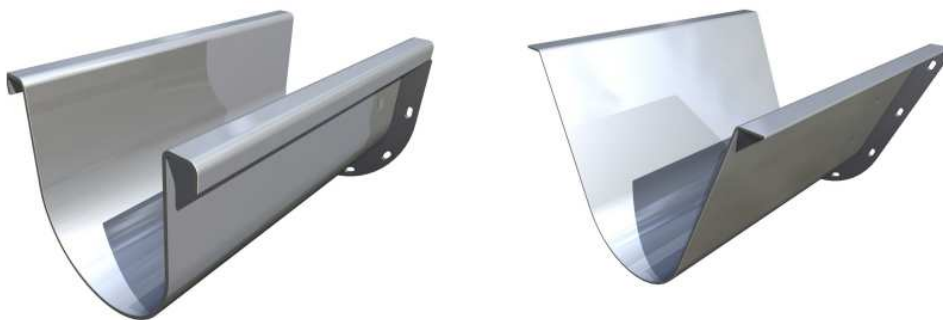


Slika 8. Meduležaj na vratilu pužnice [4]

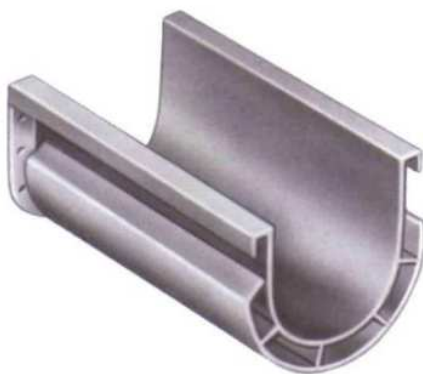
1.2.2.3. Korito

Korito se najčešće izrađuje u obliku slova U. Želi li se izbjeći brzo trošenje korita, ono se izrađuje u pravokutnom obliku kako bi dno bilo stalno zaštićeno slojem materijala. Oba oblika mogu biti otvorena ili se zatvaraju poklopcem koji se lako skida u svrhu čišćenja. Za potrebe grijanja i hlađenja materijala, korita se izrađuju i s dvostrukim stijenama, među kojima teče sredstvo za zagrijavanje ili hlađenje. [1] Većina konvejera ispušta teret kroz otvor na dnu korita, odnosno vertikalno, no postoje razne izvedbe, kao primjerice horizontalan izlaz. Za pravilno usmjeravanje i tok materijala, potrebni su i primjereni odvodni otvori i vrata.

Korito se izrađuje od lima debljine 1,5 do 8 mm. Osim lima, u obzir dolaze svi materijali navedeni kod pužnice. [1]



Slika 9. Neki od mogućih oblika korita [3]



Slika 10. Korito s dvostrukom stijenkom [6]

1.2.2.4. Pogon konvejera

U tablici 1. su navedene snage u kW potrebne za pogon pužnog konvejera u odnosu prema kapacitetu te daljini transportiranja do 30 m. Nasipna gustoća materijala je 1 t/m^3 . [1]

Promjer puža mm	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 000
$n_{\max}$ [1/min]	(140)	(125)	(112)	(100)	(90)	(80)	(71)	(63)	(50)	(40)	(32)
$n_{\max}$ [rad/s]	14	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
l_v [m ³ /h]	0,8	1,6	3,2	6,3	13	22	40	63	89	126	180
n [1/min]	(112)	(100)	(90)	(80)	(71)	(63)	(56)	(50)	(40)	(32)	(25)
n [rad/s]	11	10	9	8	7	6	5,3	5	4	3	2,4
l_v [m ³ /h]	0,6	1,3	2,5	5	10	18	32	50	71	100	140
P [kW]	0,3	0,5	0,8	1,3	2	3,5	5	7,5	10	13	16
$n_{\min}$ [1/min]	(90)	(80)	(71)	(63)	(56)	(50)	(45)	(40)	(32)	(25)	(20)
$n_{\min}$ [rad/s]	9	8	7	6	5,3	5	4,3	4	3	2,4	2
l_v [m ³ /h]	0,5	1	2	4	8	14	25	40	57	79	111

Tablica 1. Snaga potrebna za pogon pužnog konvejera [1]

Za potrebe ovog zadatka biti će potrebne puno veće dimenzije pužnice te time i samog konvejera, s obzirom na to da je zadani kapacitet $800 \text{ m}^3/\text{h}$.

U sljedećem poglavlju prikazana su neka od postojećih rješenja i primjera konstrukcija za transport velikih kapaciteta peleta i sličnih materijala.

2. Postojeća konstrukcijska rješenja i principi rada

2.1. Siirtoruuvi konvejeri s velikim pužem



Slika 11. Siirtoruuvi velika pužnica dimenzija $\varnothing 2075 \times 12125$ [5]

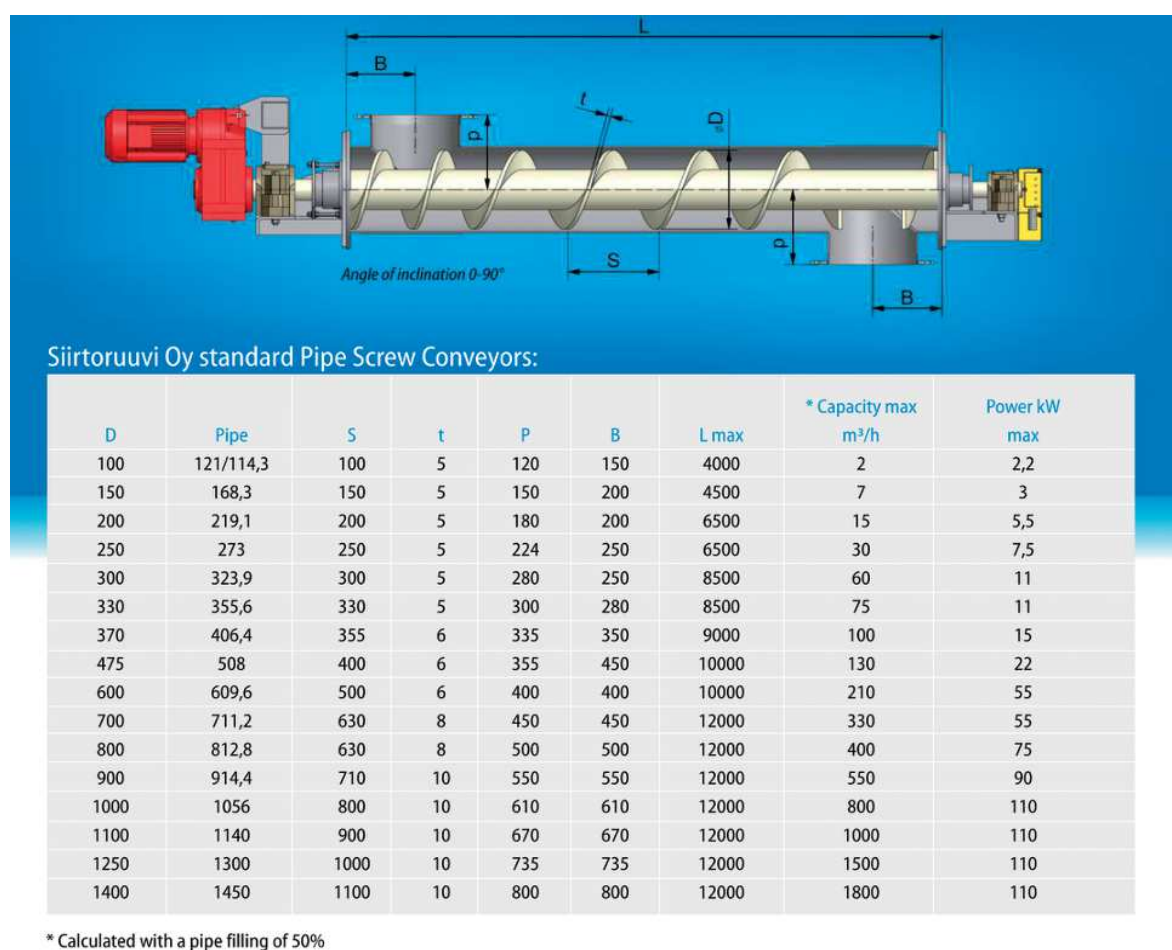
Siirtoruuvi Ltd je osnovan 1977. godine u Finskoj te je od 2012. dio Lehtosen Konepaja grupacije. Projektiraju, proizvode i prodaju pužne transportere raznim industrijama. Jedan od značajnijih proizvoda im je tzv. velik pužni konvejer za mlin za celulozu. Na slici 11 prikazana je pužnica tog konvejera.

Masa konvejera iznosi 9300 kg, dimenzija je $\varnothing 2075 \times 12125$ mm, te je cijev vratila izrađena od materijala EN 1.4162 (vrsta nehrđajućeg čelika). [5]

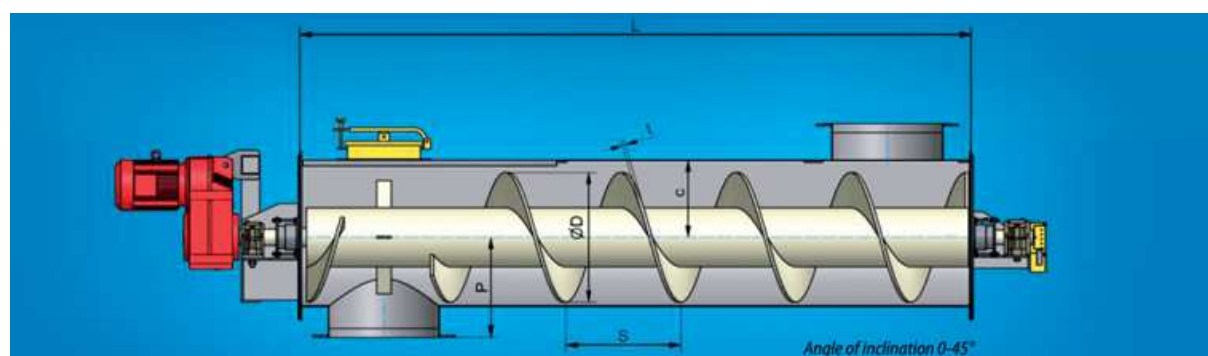
Konvejer je velikih dimenzija jer je ciljano izrađen da pomoću jedne pužnice podupire velike kapacitete.

U tablicama 2. i 3. prikazane su sve moguće izvedbe konvejera sa jednom pužnicom za velike kapacitete. Proizvodi im se dijele na konvejere sa pužnicom smještenom u standardnom koritu te konvejere sa pužnicom smještenom u cijevi. Transporteri sa cijevi podnose veće kapacitete, ali su transporteri s koritom pogodniji za održavanje jer je lakše maknuti poklopac na vrhu i pristupiti unutrašnjosti. Vrijednosti su izračunate sa napunjenosti korita od 50%.

Moguće izvedbe pogona navedenih transportera iz ove serije su: reduktor direktno spojen na vratilo sa elektromotorom i remenskim prijenosom, motor-reduktor sa spojnicom ili lančanim prijenosom te motor-reduktor spojen na vratilo. [5]



Tablica 2. Vrijednosti raznih izvedbi velikih Siirtoruvi konvejera sa cijevi [5]



Siirtoruuvi Oy standard Trough Screw Conveyors:

D	S	t	c	P	L max	* Capacity max m ³ /h	Power kW max
160	160	5	105	150	4500	7	3
200	200	5	125	180	6500	13	5,5
250	250	5	150	224	6500	25	7,5
300	300	5	167	280	8500	60	11
400	355	5	220	335	9000	100	15
500	400	6	280		10000	150	22
600	500	8	325		10000	260	30
800	630	8	450		12000	600	45
1000	800	10	560		12000	800	55
1250	1000	10	710		12000	1100	75

* Calculated with a pipe filling of 50%

Tablica 3. Vrijednosti raznih izvedbi velikih Siirutroovi

2.2. BBM Ehrhardt GmbH pužni konvejeri

BBM Ehrhardt GmbH pužni konvejeri u svojoj osnovnoj verziji sadrže zatvoreno korito sa unutrašnjim komponentama i vanjskim valjkastim ležajevima. Mogu se priključiti na bilo kakav željeni pogon. Dostupne su i verzije konvejera pogodne za visoke tlakove. Kapacitet njihovih pužnih konvejera varira od nekoliko litara po satu sve do $1400 \text{ m}^3/\text{h}$ i po potrebi i više. Duljine konstrukcija ovise o specifikacijama i potrebama kupca, ali su uglavnom dostupne do 14 m. Verzije pužnih konvejera bez centralne osovine mogu biti duge i do 30 m.

Konvejeri dolaze u raznim izvedbama, a neke od njih su:

- pužni konvejeri sa standardnim koritom,
 - pužni konvejeri s V-koritom,
 - pužni konvejeri sa cijevi za transport pod određenim kutom,
 - konvejeri s dvije pužnice,
 - konvejeri s više pužnica,
 - bezosovinski konvejeri,
 - dozirajući pužni konvejeri
- i ostale izvedbe. [8]

Na sljedećim slikama prikazani su neki od proizvoda.



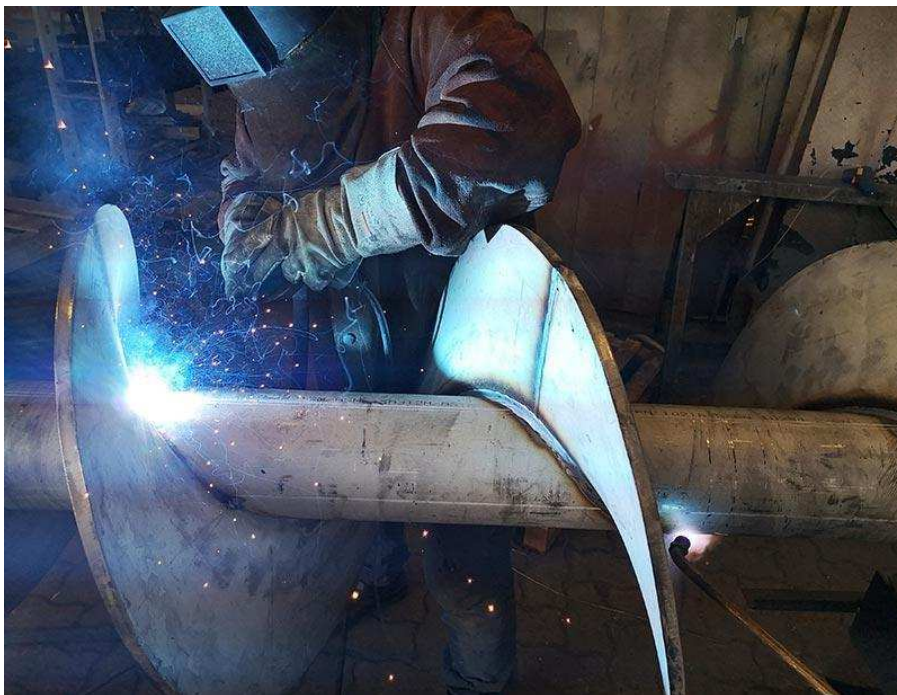
Slika 12. BBM Ehrhardt primjer pužnog konvejera sa četiri pužnice [8]



Slika 13. BBM Ehrhardt primjer pužnog konvejera s dvije pužnice [8]



Slika 14. BBM Ehrhardt veliki pužni konvejer s jednom pužnicom [8]



Slika 15. Zavarivanje segmenata velike pužnice na osovinu [8]

2.3. Wildfellner pužni konvejer bez vratila

Wildfellner je tvrtka koja izrađuje pužne konvejere bez vratila. Princip rada transportera sa pužnim vijkom bez vratila u osnovi je isti kao i kod normalnog pužnog konvejera, odnosno rotirajućeg vijčanog vretena koji pokreće maticu da se kreće duž njenog aksijalnog smjera - tijelo vijka je ekvivalentno osovini vijka, a materijal je ekvivalentan matici. Kada se spiralno tijelo neprekidno okreće, materijal se također kontinuirano prenosi. Spiralno tijelo transportera vijčanog svrdla bez vratila je načinjeno od debelog lima, a njega pokreće pogonsko krajnje vrtilo, bez vratila u sredini. Spiralno tijelo je u dodiru (klizanje) s donjom oblogom unutarnjeg zida kućišta .

Glavne karakteristike takvog konvejera su lako održavanje, mogućnost postizanja velikih kapaciteta, koji su 1,5 puta veći od kapaciteta pužnih transportera s vrtilom istog promjera pužnice, veliki moment i manja potrošnja energije, te mogućnost velikih duljina transportiranja – do 60 m.



Slika 16. Wildfellner pužnica [10]

Wildfellner pužni konvejeri predviđeni su za transport rasutog tereta kao što su drvena sječka, piljevina, pelet i ostale usitnjene biomase, različitih tipova recikliranog materijala, prahova, granulata i slično. Njihovi transporterji mogu prenositi i mokar i suhi teret. Za suhi teret, odnosno teret koji je naveden na početku, najpogodniji su njihovi modeli konvejera sa fleksibilnom pužnicom - tip SL(N). Pužnice su napravljene od čelika ili nehrđajućeg čelika, te takvi konvejeri prenose materijal do 40-50 m duljine. Maksimalnog su kapaciteta do 600 m³/h.

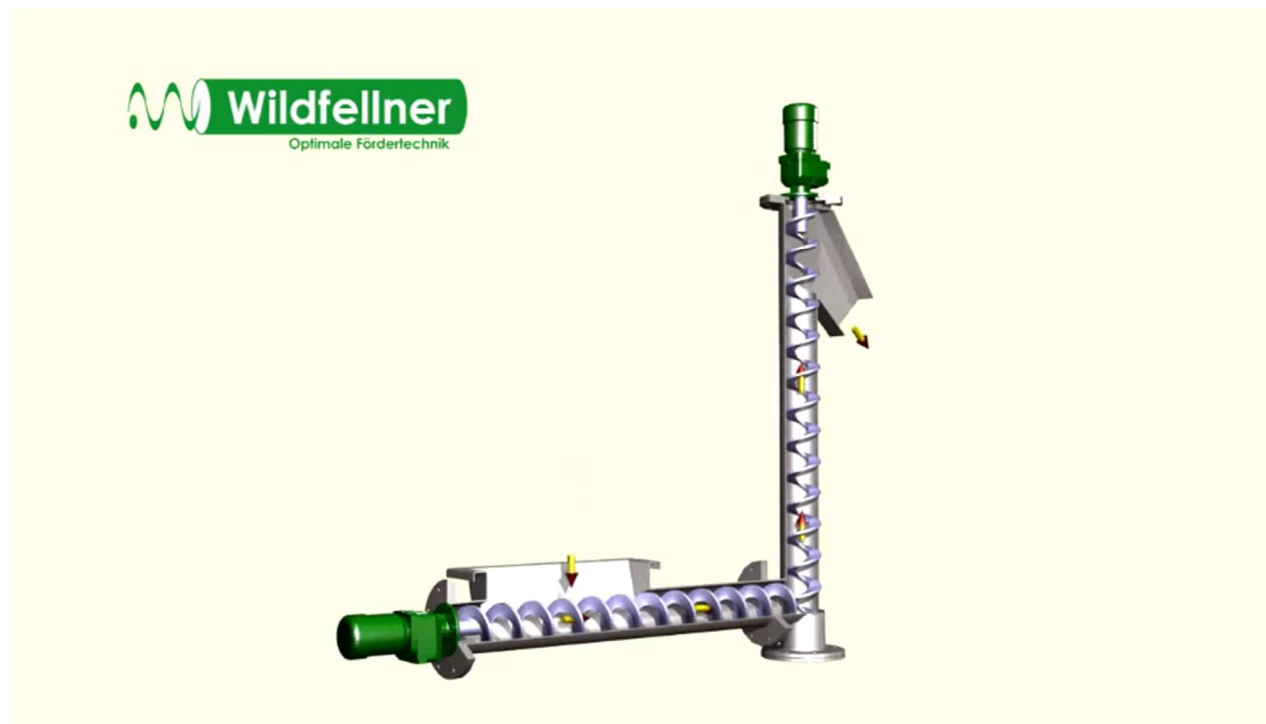
Navedene materijale je također moguće prenositi i krutom pužnicom – tip RL (N).

Konvejeri su koritasti i cijevni, te mogu biti horizontalni i vertikalni. [9]

U tablici 4. prikazani su odnosi kapaciteta, snaga i dimenzija konvejera tipa RL(N).

Type	max. Length (')	approx. capacity m ³ /h (')	motor power (')	grainlength (')
RL(N) 80-120	20-30	2-7	0.37-1.5 kW	<50 mm
RL(N) 120-150	20-30	4-15	0.75-4 kW	<80 mm
RL(N) 150-200	20-30	5-25	1.5-5.5 kW	<120 mm
RL(N) 200-280	20-30	10-40	1.5-5.5 kW	<150 mm
RL(N) 280-350	15-30	25-125	3-15 kW	<200 mm
RL(N) 350-500	15	50-220	4-18.5 kW	<250-300 mm
RL(N) 500-700	10-15	150-600	4-22 kW	<300-400 mm

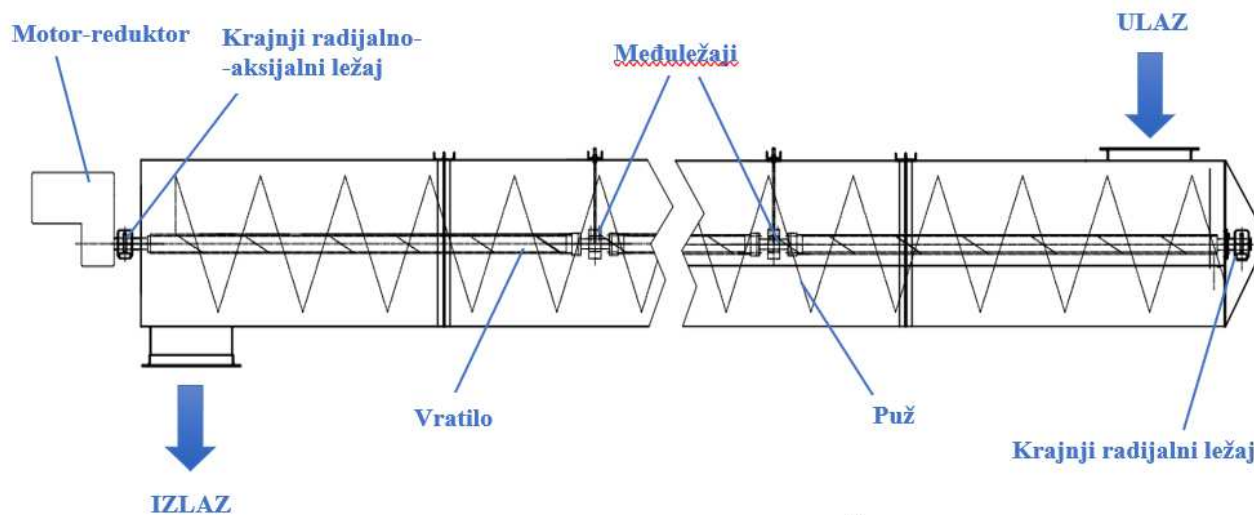
Tablica 4. Tehničke specifikacije Wildfellner konvejera [9]



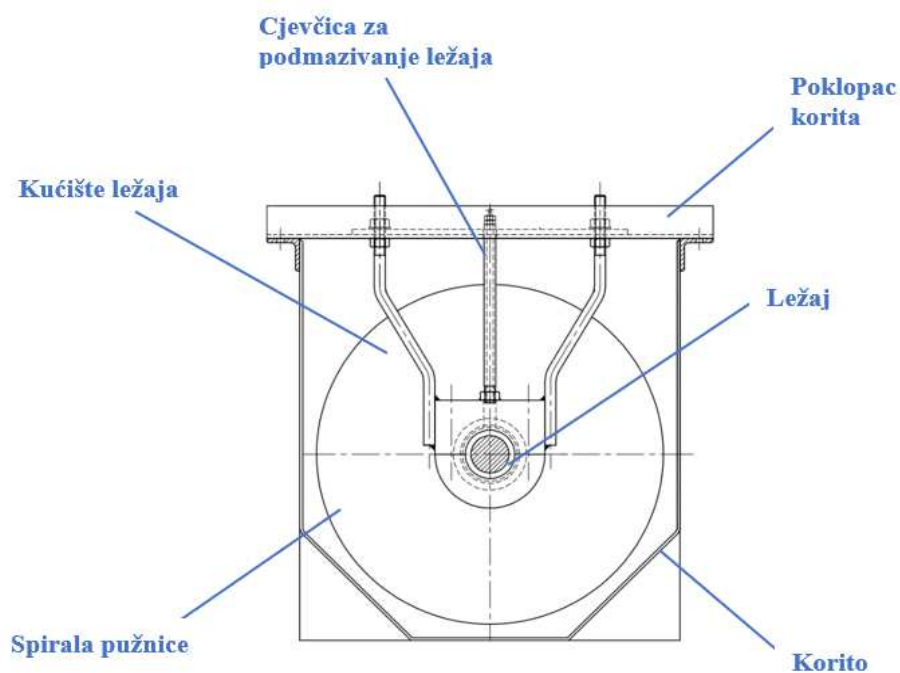
Slika 17. Wildfellner konvejer [10]

3. Koncepti

3.1. Koncept 1 - Konvejer s jednim velikim pužem



Slika 18. Koncept 1 – Konvejer s jednom velikom pužnicom



Slika 19. Presjek međuležaja

Kao rješenje za zadane parametre ($Q = 800 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$, $L = 12 \text{ m}$), u ovom konceptu zamišljen je pužni konvejer koji sadrži jednu veliku pužnicu u koritu sa ravnim dnom.

Promjer pužnice je okvirno od $D = 1200 \text{ mm}$ za brzinu vrtnje $n = 20 \text{ min}^{-1}$, do $D = 900 \text{ mm}$ za $n = 50 \text{ min}^{-1}$. Popunjenost korita iznosi 45 %.

Iako je u zadatku zadan vertikalni ulaz i horizontalni izlaz, za potrebe ovog koncepta sa jednom pužnicom, odnosno za velike dimenzije i kapacitet, puno je jednostavnije ispuštati teret kroz otvor na dnu korita.

Zbog velike duljine transportera, odnosno duljine prijenosa tereta, te time i vratila koje okreće pužnicu, osim krajnjim ležajevima, vratilo je poduprto i sa dva međuležaja koji su jednako razmaknuti od krajeva (slika 18). Međuležajevi su pričvršćeni na poklopac korita konvejera vijčanim spojem preko svog kućišta (slika 19).

Samo korito, kao što je već spomenuto, ima ravno dno, a podijeljeno je na tri dijela koji su povezani vijčanim spojem, radi lakše montaže.

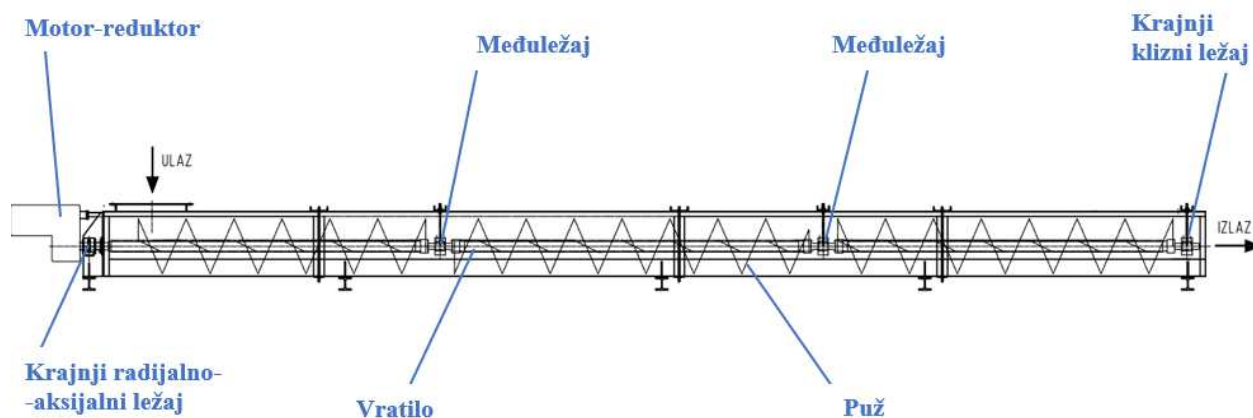
Vratilo je pogonjeno nasadnim motor-reduktorom.

Puž ima kontinuirani korak, te je izveden zavarivanjem pojedinih segmenata lima, kao što je prikazano na slici 20.

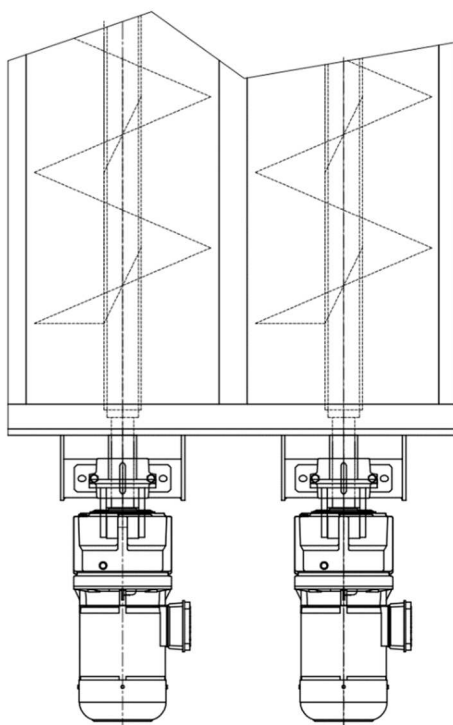


Slika 20. Zavarena izvedba pužnice [3]

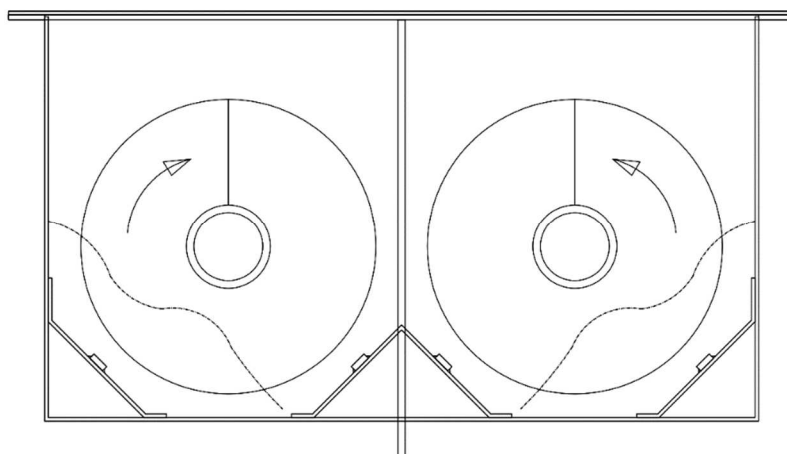
3.2. Koncept 2 - Konvejer s dvije pužnice



Slika 21. Koncept 2 - konvejer s dvije pužnice



Slika 22. Prikaz pogona i krajnjih radijalno-aksijalnih ležaja



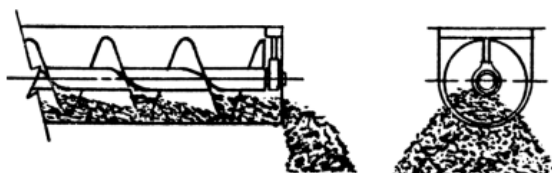
Slika 23. Presjek korita

Pužni konvejer sastoji se od dvije pužnice, dva vratila i dva zasebna pogona.

Time su pužnice rasterećene što se tiče kapaciteta, te svaka podnosi $400 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$.

Promjer svake pužnice je okvirno od $D = 980 \text{ mm}$ za brzinu vrtnje $n = 20 \text{ min}^{-1}$, do $D = 720 \text{ mm}$ za $n = 50 \text{ min}^{-1}$.

Da bi se postigao horizontalan izlaz materijala iz konvejera, kraj korita je otvoren (slika 24), te je umjesto klasičnim uležištenjem poduprt ovješnim kranjim ležajem koji je izveden isto kao i međuležajevi iz koncepata 1 i 2 (slika 19).



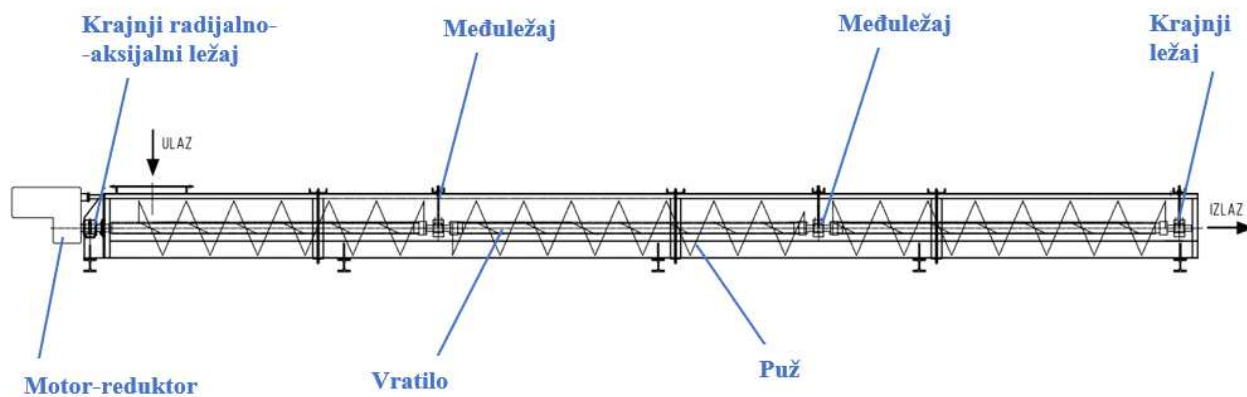
Slika 24. Horizontalan izlaz materijala [3]

Korita također imaju ravno dno, te su podijeljena na četiri dijela koji su povezani vijčanim spojem. Vratila su pogonjena nasadnim motor-reduktorima (slika 22).

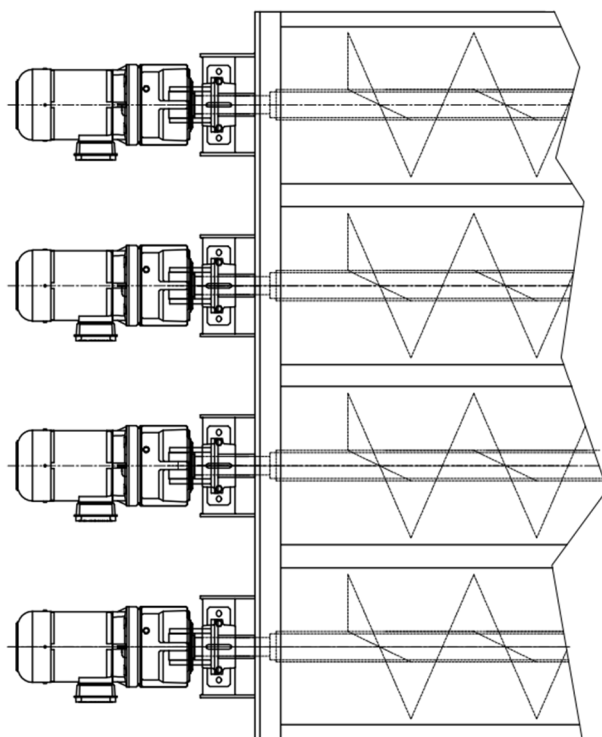
Pužnice zajedno djeluju na način da je jedna lijevovojna, a druga desnovojna te se vrte jedna prema drugoj i tako efikasno transportiraju teret. Na slici 23 prikazan je presjek materijala tijekom prijenosa.

Puž je izveden zavarivanjem segmenata (slika 20).

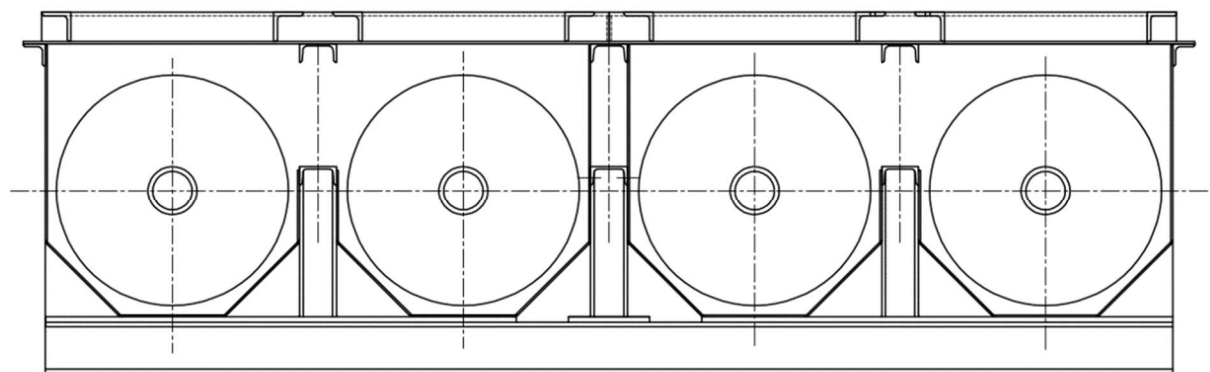
3.3. Koncept 3 - Konvejer sa četiri pužnice



Slika 25. Koncept 3 - konvejer sa četiri pužnice



Slika 26. Prikaz pogona i krajnjih radijalno-aksijalnih ležaja konvejera sa četiri pužnice



Slika 27. Presjek pužnica i korita konvejera sa četiri pužnice

Pužni konvejer u ovom konceptu sastoji se od četiri vijka, četiri vratila i četiri zasebna pogona. Svaka pužnica ima kapacitet $200 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$.

Promjer pužnice je okvirno od $D = 780 \text{ mm}$ za brzinu vrtnje $n = 20 \text{ min}^{-1}$, do $D = 570 \text{ mm}$ za $n = 50 \text{ min}^{-1}$.

Da bi se postigao horizontalan izlaz materijala iz konvejera, kraj korita je otvoren kao u konceptu 2, te je umjesto klasičnim uležištenjem poduprt ovješnim krajnjim ležajem. Prihvat međuležaja i krajnjeg ležaja izveden je na isti način kao u konceptima 1 i 2.

Također, korito ima ravno dno (slika 27), te je podijeljeno na četiri dijela koji su povezani vijčanim spojem. Vratila su pogonjena nasadnim motor-reduktorima (slika 26)

Puž je izveden zavarivanjem segmenata (slika 20).

Svi opisani koncepti predviđeni su za kontinuirano doziranje materijala.

3.4. Odabir koncepta za daljnju konstrukcijsku razradu

Nakon pregleda postojećih rješenja i uvida u trenutno stanje na tržištu, te nakon osmišljanja koncepta temeljenih na tim proizvodima i zahtjevima zadatka, potrebno je vrednovati kako pojedini koncept zadovoljava bitne kriterije za optimalni učinak i izvedbu stroja. Kriteriji se određuju na osnovi zadanih ograničenja u tekstu zadatka te osnovnih funkcija stroja.

Vrednovanje će se provesti tako da se svakom kriteriju pridruži težinski faktor 1-10, a konceptima se dodjeljuju ocjene 1-5 po kriterijima.

KRITERIJI	Težinski faktor	Koncept 1	Koncept 2	Koncept 3
Jednostavnost izrade stroja	8	2	3	3
Kompaktnost stroja	8	3	4	4
Zahtijevani kapacitet	10	5	5	5
Montaža/demontaža	9	3	3	4
Cijena	6	2	3	3
Potrošnja energije	7	2	4	4
Održavanje	7	3	4	4
Protok materijala	9	3	3	4
Horizontalan izlaz materijala	10	1	5	5
Suma ocjena		201	284	302

Tablica 5. Kriteriji vrednovanja koncepta

Iz sume ocjena vidljivo je da je rješenje iz koncepta 3 (4 pužnice) uvjerljivo bolje te je on izabran za daljnju razradu.

4. Proračun glavnih komponenti sustava odabranog koncepta

4.1. Potrebni promjer i uspon puža, brzina vrtnje

U zadatku su zadana dva bitna podatka za proračun i dimenzioniranje pužnice:

$Q = 800 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ - sveukupni kapacitet sustava

$L = 12 \text{ m}$ - duljina prijenosa tereta

S obzirom da je odabran koncept sa sustavom sa četiri pužnice, zadani kapacitet se za jednu pužnicu dijeli sa četiri.

Kapacitet puža jednak je [1]:

$$Q = \frac{D_1^2 \cdot \Pi}{4} \cdot \psi \cdot h \cdot n \cdot 60 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \quad (4.1.)$$

Iz tog izraza slijedi:

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\psi \cdot h \cdot n \cdot 60 \cdot \Pi}} \quad (4.2.)$$

gdje je:

$$Q = \frac{800}{4} = 200 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} - \text{kapacitet jednog puža} \quad (4.3.)$$

$D_1 [\text{m}]$ –promjer pužnice

$$h = (0,8 \dots 1,0) D_1 = D_1 - \text{uspon puža} \quad (4.4.)$$

$n = 16 \text{ do } 180 \text{ min}^{-1}$ – brzina vrtnje

$\psi = 0,45$ – odabrani koeficijent punjenja korita

Sređivanjem izraza (4.2.) dobijemo:

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\psi \cdot D_1 \cdot n \cdot 60 \cdot \Pi}} \quad (4.5.)$$

$$D_1 = \sqrt[3]{\frac{Q}{47 \cdot n \cdot 0,45}} \quad (4.6.)$$

Najpogodniju brzinu vrtnje i promjer odabrat ćemo iteracijom izraza (4.6.)

$$\text{Za } n = 25 \text{ min}^{-1} \rightarrow D_1 = 0,723202 \text{ m} = 723,2 \text{ mm} \quad (4.7.)$$

$$\text{Za } n = 30 \text{ min}^{-1} \rightarrow D_1 = 0,680559 \text{ m} = 680,65 \text{ mm} \quad (4.8.)$$

$$\text{Za } n = 35 \text{ min}^{-1} \rightarrow D_1 = 0,64647 \text{ m} = 646,47 \text{ mm} \quad (4.9.)$$

$$\text{Za } n = 40 \text{ min}^{-1} \rightarrow D_1 = 0,618329 \text{ m} = 618,33 \text{ mm} \quad (4.10.)$$

$$\text{Za } n = 50 \text{ min}^{-1} \rightarrow D_1 = 0,574006 \text{ m} = 574 \text{ mm} \quad (4.11.)$$

Odabrana brzina vrtnje je $n = 40 \text{ min}^{-1}$, a promjer pužnice prema tome iznosi

$$D_1 = 618,33 \text{ mm}.$$

Odabrani standardni promjer pužnice je $D = 630 \text{ mm}$, te je uspon puža $h = D_1 = 630 \text{ mm}$.

4.2. Opterećenja i odabir ležajnih mjesta

4.2.1. Opterećenja na vratilu

Vratilo čini cijev ($\emptyset 133$), te je odabran materijal RSt 37-2 (S235JR, Č0361):

$$d = \emptyset 133 \text{ mm}$$

$$t = 10 \text{ mm}$$

$$m = 39,05 \text{ kg/m}$$

Prema standardu, otprilike je određena i težina same pužnice.

$$D = 630 \text{ mm}$$

$$m = 60 \text{ kg/m}$$

Vratilo je opterećeno vlastitom težinom i težinom pužnice kao kontinuirano opterećenje te težinom elektromotora:

$$q_V = 99,04 \cdot 9,81 = 9715,8 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$G_{EM} = 1500 \text{ N}$$

Također, maksimalna aksijalna sila na vratilu puža jednaka je [1]:

$$F_a = \frac{T}{r \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \rho')} \quad (4.12.)$$

gdje je: $T = \frac{P \cdot \eta}{\omega}$ [Nm] - moment vrtnje na vratilu puža, (4.13.)

$$r = (0,5 \text{ do } 0,8) \frac{D_1}{2} = 0,8 \cdot \frac{0,630}{2} = 0,252 \text{ m}, \quad (4.14.)$$

$$\alpha = 17,66^\circ - \text{kut uspona puža},$$

$$\rho' = 5,71^\circ - \text{kut trenja},$$

$$\omega = 2\pi n = \frac{2\pi \cdot 40}{60} = 4,1888 \text{ rad/s} - \text{brzina vrtnje}. \quad (4.15.)$$

Kut uspona puža dobije se iz izraza [1]:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{D_1 \cdot \pi} = \frac{1}{\pi} \quad (4.16.)$$

$$\alpha = 17,66^\circ \quad (4.17.)$$

Kut trenja dobije se iz izraza:

$$\operatorname{tg} \rho' = \mu = 0,1 \quad (4.18.)$$

$$\rho' = 5,71^\circ \quad (4.19.)$$

Za računanje momenta (izraz 4.13.) potrebno je poznavati snagu na vratilu puža.

Ona se dobiva iz izraza [1]:

$$P_V = I_m \cdot g (\lambda \cdot L + H) \cdot 1,17 = T\omega = 13,888 \cdot 9,81 \cdot 1,85 \cdot 12 \cdot 1,17 = 3538,96 \text{ W} \quad (4.20.)$$

gdje je: $I_m = \rho \cdot Q = 250 \cdot 200 = 50000 \text{ kg/h} = 13,888 \text{ kg/s}$ (4.21.)
 – maseni protok

$$\rho = 250 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] - \text{nasipna gustoća materijala (piljevina)}$$

$$\lambda = 1,85 - \text{faktor otpora povlačenja, prema [1]}$$

$$L = 12 \text{ m} - \text{duljina transporta}$$

$$H = 0 \text{ m} - \text{visina transporta}$$

Prema tome, moment na vratilu iznosi:

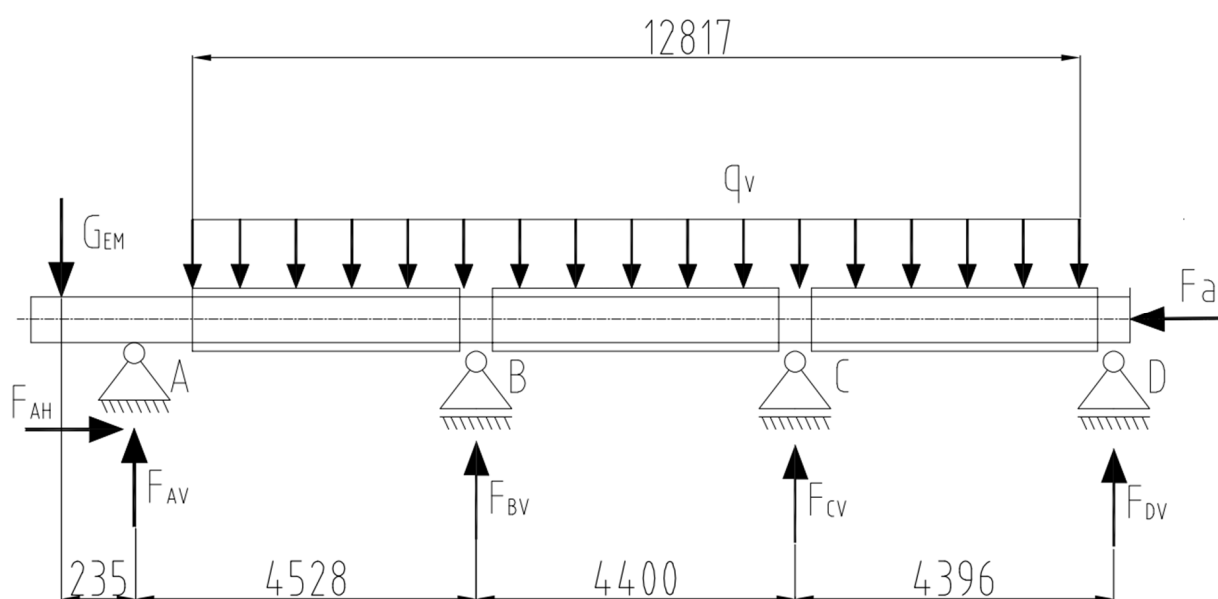
$$T = \frac{P_V}{\omega} = \frac{3538,96}{4,1888} = 844,86 \text{ Nm}, \quad (4.22.)$$

a maksimalna aksijalna sila iznosi:

$$F_a = \frac{844,86}{0,252 \cdot \tan(17,66^\circ + 5,71^\circ)} = 651,54 \text{ N}. \quad (4.23.)$$

4.2.2. Odabir ležajnih mjesta

Na slici 28 prikazan je predviđeni raspored ležajnih mjesta na vratilu te sile koje ga opterećuju.



Slika 28. Raspored ležajnih mjesta na vratilu

Vratilo ima četiri oslonca, što znači da je statički neodređeno. Prvi ležaj je kruti, te su međuležajevi i krajnji ležaj slobodni. Vratilo opterećuje kontinuirano opterećenje koje čine vlastita težina vratila i težina spirale. Također je na početku opterećeno težinom elektromotora te aksijalnom silom na vratilo.

Opterećenja:

$$q_V = 9715,8 \text{ N/m}$$

$$G_{EM} = 1500 \text{ N}$$

$$F_a = 651,54 \text{ N.}$$

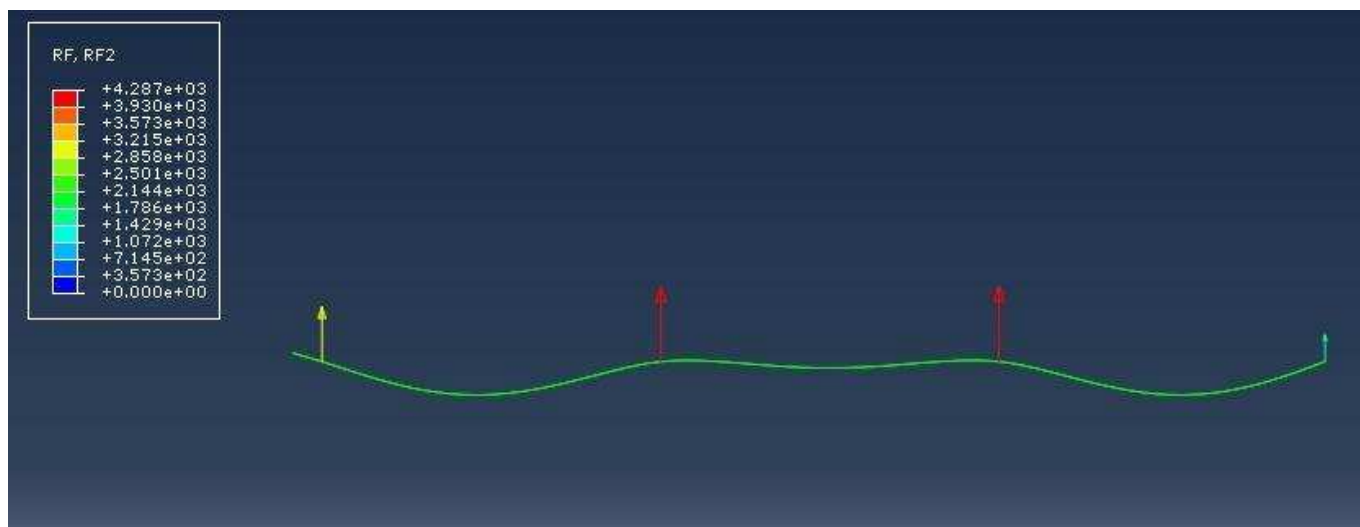
Sile u osloncima izračunate su pomoću programskog paketa Abaqus, te iznose:

$$F_A = 3085,25 \text{ N} \quad (4.24.)$$

$$F_B = 4224,27 \text{ N} \quad (4.25.)$$

$$F_C = 4287,24 \text{ N} \quad (4.26.)$$

$$F_A = 1512,58 \text{ N} \quad (4.27.)$$



Slika 29. Sile u osloncima vratila

4.2.3. Odabir ležaja prednjeg kraja vratila

Ležaj će biti odabran prema opterećenju čvrstog ležajnog mjesta A. Za zahtijevani nazivni vijek trajanja ležaja i poznato opterećenje, proračunava se dinamička opterećenost C_1 prema izrazu:

$$C_1 = P \left(\frac{60 \cdot n_m \cdot L_{10h}}{10^6} \right)^{\frac{1}{\varepsilon}} \quad (4.28.)$$

te se odabire ležaj iz kataloga proizvođača uz uvjet: $C_1 < C$. [12]

gdje je:

C_1 – dinamička opterećenost ležaja

C – dinamička nosivost odabranog ležaja

$L_{10h} = 500\,000$ h – nazivni vijek trajanja u satima za rad u industriji prema [5]

$\varepsilon = 3$ –eksponent vijeka trajanja (za ležajeve s teorijskim dodirom u točki)

$n_m = 40 \text{ min}^{-1}$

$P_r = F_r = F_A = 3085,25 \text{ N}$ –ekvivalentno dinamičko opterećenje

Dinamička opterećenost ležaja iznosi:

$$C_1 = 3085,25 \cdot \left(\frac{60 \cdot 40 \cdot 500\,000}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 32785,67 \text{ N} \quad (4.29.)$$

Odabire se kuglični ležaj u sklopu sa steznom ljuskom i kućištem:

SKF SNL 518-615 + **2218 K** + H318

koji zadovoljava uvjet:

$$C_1 = 32785,67 \text{ N} < C = 70200 \text{ N}.$$





ASSOCIATED PRODUCTS

Housing	SNL 518-615
Bearing (basic designation)	2218 K
Adapter sleeve	H 318
Locating ring	2 x FRB 12.5/160



2218 K

- Popular item

Self-aligning ball bearings

CALCULATION DATA

Basic dynamic load rating	C	70.2 kN
Basic static load rating	C_0	28.5 kN
Fatigue load limit	P_u	1.32 kN
Reference speed		7 500 r/min
Limiting speed		5 300 r/min
Permissible angular misalignment	α	2.5 °
Calculation factor	k_r	0.04
Calculation factor	e	0.27
Calculation factor	Y_0	2.5
Calculation factor	Y_1	2.3
Calculation factor	Y_2	3.6

Tablica 6. Podaci o ležaju 2218K [16]

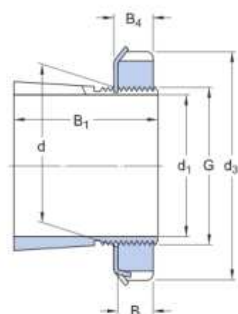


H 318

- Popular item

Adapter sleeves for metric shafts

Technical specification



DIMENSIONS

d_1	80 mm	Bore diameter
d	90 mm	Outside diameter small taper
d_3	120 mm	Outside diameter lock nut
B_1	65 mm	Width
B	16 mm	Width lock nut
B_4	18 mm	Width lock nut including lock washer
G	M 90x2	Thread
	1:12	External taper

Tablica 7. Podaci o steznoj ljuski H318 [16]

4.2.4. Odabir međuležaja i krajnjeg ležaja

Međuležajevi će biti odabrani prema opterećenju slobodnog ležajnog mjesta C. Za zahtijevani nazivni vijek trajanja ležaja i poznato opterećenje, proračunava se dinamička opterećenost C_1 prema izrazu:

$$C_1 = P \left(\frac{60 \cdot n_m \cdot L_{10h}}{10^6} \right)^{\frac{1}{\varepsilon}} \quad (4.30.)$$

te se odabire ležaj iz kataloga proizvođača uz uvjet: $C_1 < C$. [12]

gdje je:

C_1 – dinamička opterećenost ležaja

C – dinamička nosivost odabranog ležaja

$L_{10h} = 500\,000$ h – nazivni vijek trajanja u satima za rad u industriji prema [5]

$\varepsilon = 3$ –eksponent vijeka trajanja (za ležajeve s teorijskim dodirom u točki)

$n_m = 40 \text{ min}^{-1}$

$P_r = F_r = F_A = 4287,24 \text{ N}$ –ekvivalentno dinamičko opterećenje

Dinamička opterećenost ležaja iznosi:

$$C_1 = 4287,24 \cdot \left(\frac{60 \cdot 40 \cdot 500\,000}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 45558,72 \text{ N} \quad (4.31.)$$

Odabire se kuglični ležaj SKF 1316 koji zadovoljava uvjet:

$$C_1 = 45558,72 \text{ N} < C = 88400 \text{ N}.$$



1316

- Popular item

Self-aligning ball bearings

CALCULATION DATA

Basic dynamic load rating	C	88.4 kN
Basic static load rating	C ₀	33.5 kN
Fatigue load limit	P _u	1.5 kN
Reference speed		7 500 r/min
Limiting speed		5 300 r/min
Permissible angular misalignment	α	3 °
Calculation factor	k _r	0.045
Calculation factor	e	0.22
Calculation factor	Y ₀	2.8
Calculation factor	Y ₁	2.9
Calculation factor	Y ₂	4.5

Tablica 8. Podaci o ležaju 1316 [16]

4.3. Potrebna snaga i odabir motor-reduktora

4.3.1. Potrebna snaga elektromotora

Potrebna snaga elektromotora računa se iz izraza:

$$P = k \cdot \frac{P_{ef}}{\eta} = 1,5 \cdot \frac{3538,96}{0,85} = 6245,22 \text{ W} = 6,245 \text{ kW} \quad (4.32.)$$

gdje je:

$P_{ef} = P_V = 3538,96 \text{ W}$ – efektivna snaga na vratilu

$k = 1,5$ – faktor koji uzima u obzir sile inercije i dodatne otpore

$\eta = 0,85$ – stupanj korisnosti prijenosa

4.3.2. Odabir motor-reduktora

Potreban okretaja motor-reduktora: $n = 40 \text{ min}^{-1} = 0,6667 \text{ s}^{-1}$

Potreban moment:

$$T_{EM} = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2\pi n} = \frac{6245,22}{2\pi \cdot 0,66667} = 1490,9 \text{ Nm}$$

Odabran je nasadni motor-reduktor tvrtke Nord – model SK 5282 AGB – 132MP/4 TF.



Podaci o elektromotoru, prema [14]:

$P = 7,5 \text{ kW}$

$n = 41 \text{ min}^{-1}$

$M_n = 1739 \text{ Nm}$

$i = 35,46$

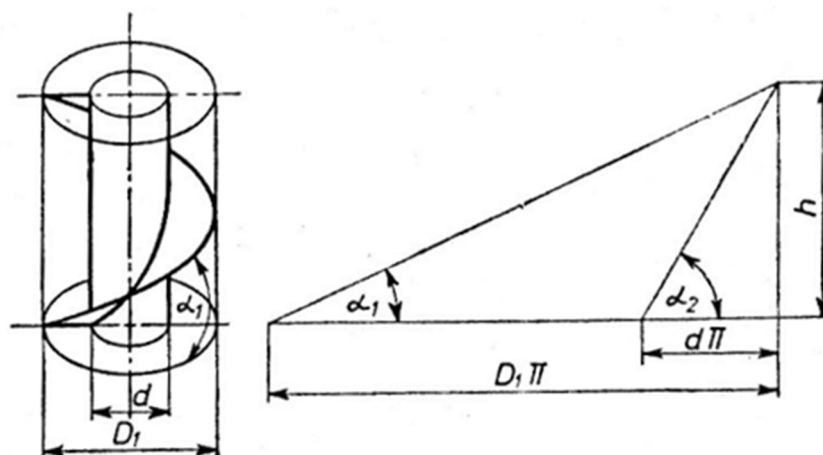
$f_B = 1,6$ – pogonski faktor

$(f_B = \frac{M_{max}}{M_n})$

4.4. Proračuni zavora vratila puža

4.4.1. Zavar spirale i vratila

Ako se spirala razvuče u ravnu plohu, dobije se pravokutni trokut gdje su katete jednake opsegu i koraku spirale za jedan voj. Duljina spirale za jedan voj je onda hipotenuza koja se dobiva iz Pitagorina teorema, a duljina spirale je jednaka duljini zavora.



Slika 30. Kutovi uspona puža [1]

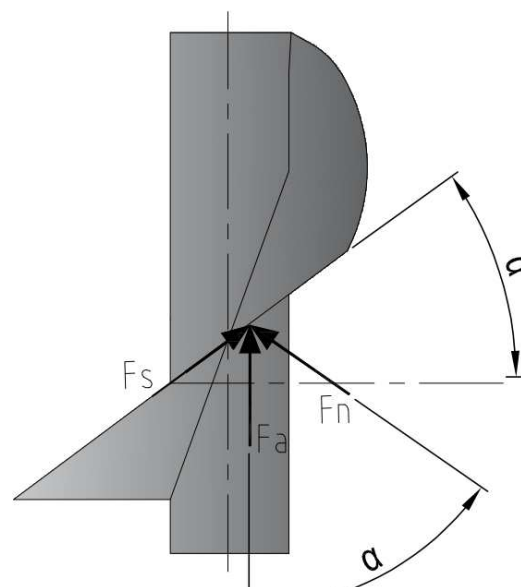
Duljina spirale za jedan voj, odnosno duljina zavora, dobije se iz izraza:

$$l = \sqrt{(D_1 \pi)^2 + h^2} = \sqrt{(630 \cdot \pi)^2 + 630^2} = 2077,05 \text{ mm} \quad (4.33.)$$

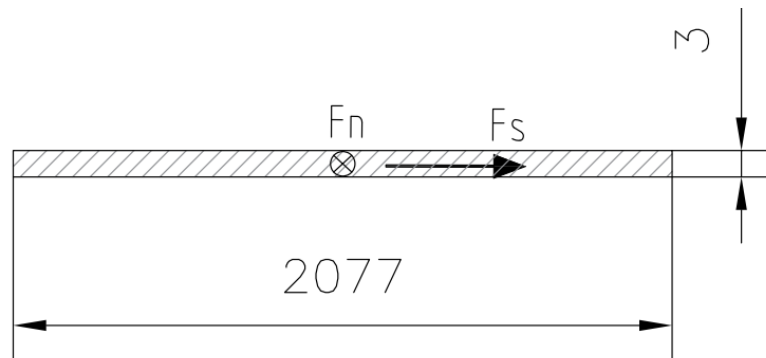
Odabrana debljina zavora je 3 mm.

Sila koja djeluje na vijak se rastavlja na normalno i smično djelovanje preko kuta uspona, te se iz tih sila potom mogu izračunati normalno i smično naprezanje zavora.

Ekvivalentno naprezanje slijedi iz Pitagorinog teorema.



Slika 31. Prikaz djelovanja sila na zavar spirale i vratila



Slika 32. Opterećenja zavaru spirale i vratila

Opterećenja:

$$F_a = 651,54 \text{ N}$$

$$F_n = F_a \cdot \cos \alpha = 651,54 \cdot \cos (17,66) = 242,42 \text{ N} \quad (4.34.)$$

$$F_s = F_a \cdot \sin \alpha = 651,54 \cdot \sin (17,66) = 604,76 \text{ N} \quad (4.35.)$$

Površina zavaru:

$$A = l \cdot a = 2077 \cdot 3 = 6231 \text{ mm}^2 \quad (4.36.)$$

Naprezanja:

Normalno naprezanje:

$$\sigma_n = \frac{F_n}{A} = \frac{242,42}{6231} = 0,04 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (4.37.)$$

Smik:

$$\tau_{II} = \frac{F_s}{A} = \frac{604,76}{6231} = 0,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (4.38.)$$

Ekvivalentno naprezanje iznosi:

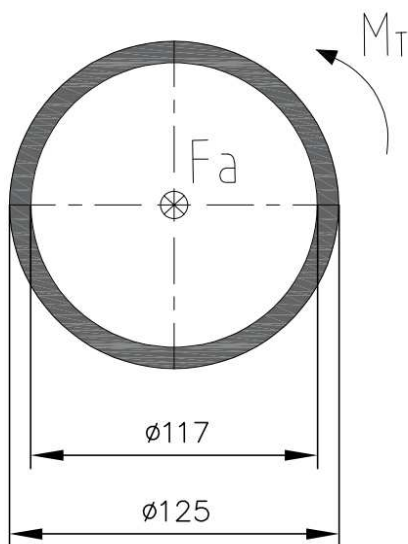
$$\sigma_{ekv} = \sqrt{\sigma_n^2 + \tau_{II}^2} = \sqrt{0,04^2 + 0,1^2} = 0,1077 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (4.39.)$$

$$\sigma_{ekv} = 0,11 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \ll \sigma_{dop} = 140 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

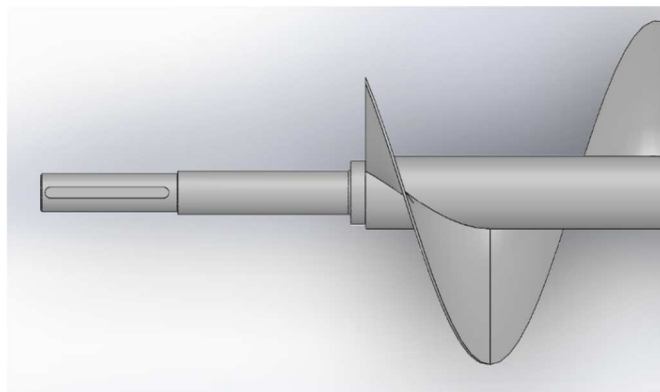
Uvjet je zadovoljen.

4.4.2. Zavar cijevi i vratila elektromotora

Odabran je kutni zavar debljine $a = 4$ mm za spoj vratila elektromotora i cijevi ($\varnothing 133$). Na slici je prikazan poprečni presjek zavora kojeg opterećuju aksijalna sila na vratilo i moment uvijanja.



Slika 34. Opterećenja zavora osovine i vratila elektromotora



Slika 33. Prikaz spoja osovine i rukavca za elektromotor

Geometrijske karakteristike presjeka:

Površina zavora:

$$A = (D^2 - d^2) \frac{\pi}{4} = (125^2 - 117^2) \frac{\pi}{4} = 1520,53 \text{ mm}^2 \quad (4.40.)$$

Torzijski moment otpora:

$$W_t = (D^3 - d^3) \frac{\pi}{16 \cdot D} = (125^3 - 117^3) \frac{\pi}{16 \cdot D} = 89145,68 \text{ mm}^3 \quad (4.41.)$$

Opterećenja:

$$F_a = 651,54 \text{ N}$$

$$M_T = 1739 \text{ Nm}$$

Naprezanja:

Tlak:

$$\sigma_T = \frac{F_a}{A} = \frac{651,54}{1520,53} = 0,4175 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (4.42.)$$

Uvijanje:

$$\tau_t = \frac{M_T}{W_t} = \frac{1739}{89145,68} = 19,51 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (4.43.)$$

Ekvivalentno naprezanje iznosi:

$$\sigma_{ekv} = \sqrt{\sigma_T^2 + 3(\tau_{II} + \tau_t)^2} = \sqrt{0,4175^2 + 3 \cdot 19,51^2} = 33,79 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (4.44.)$$

$$\sigma_{ekv} = 33,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \sigma_{dop} = 140 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Uvjet je zadovoljen.

4.5. Provjera čvrstoće - pero

Motor-reduktor je spojen na vratilo preko pera 20x12.

Izraz za reducirani moment na vratilu prema HMH teoriji glasi:

$$M_{red} = \sqrt{M_S^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot M_T)^2} \quad (4.45.)$$

gdje je:

$$M_S = 0$$

$$M_T = 1738 \text{ Nm}$$

$$\alpha_0 = 0,754$$

Reducirani moment iznosi:

$$M_{red} = \sqrt{0 + 0,75 \cdot (0,754 \cdot 1739)^2} = 1135,54 \text{ Nm} \quad (4.46.)$$

Reducirano naprezanje potom iznosi:

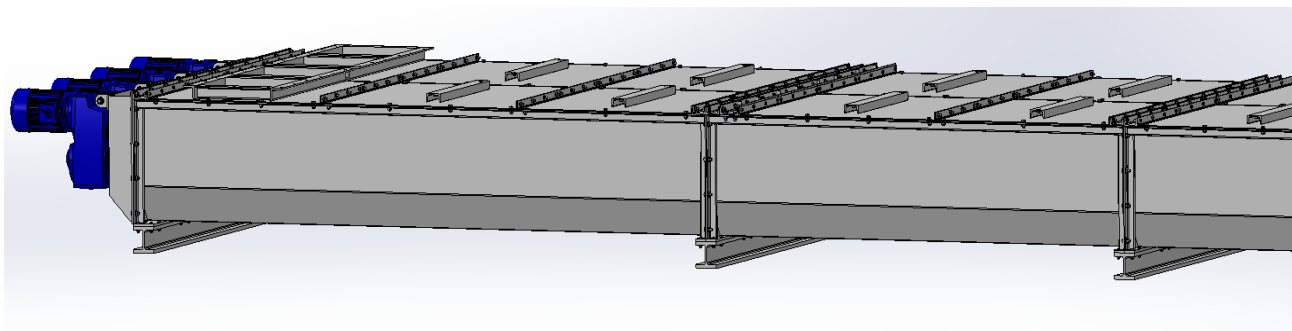
$$\sigma_{red} = \frac{M_{red}}{W} = \frac{M_{red}}{0,1 \cdot d^3} = \frac{1135,54 \cdot 10^3}{0,1 \cdot 70^3} = 33,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (4.47.)$$

$$\sigma_{red} = 33,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \sigma_{dop} = 140 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Uvjet je zadovoljen.

4.6. Proračun nosive konstrukcije

Nosiva konstrukcija je jednostavna i sastoji se od pet HE140M profila koji su spojeni na ploče korita, kao što je prikazano na slici 35.

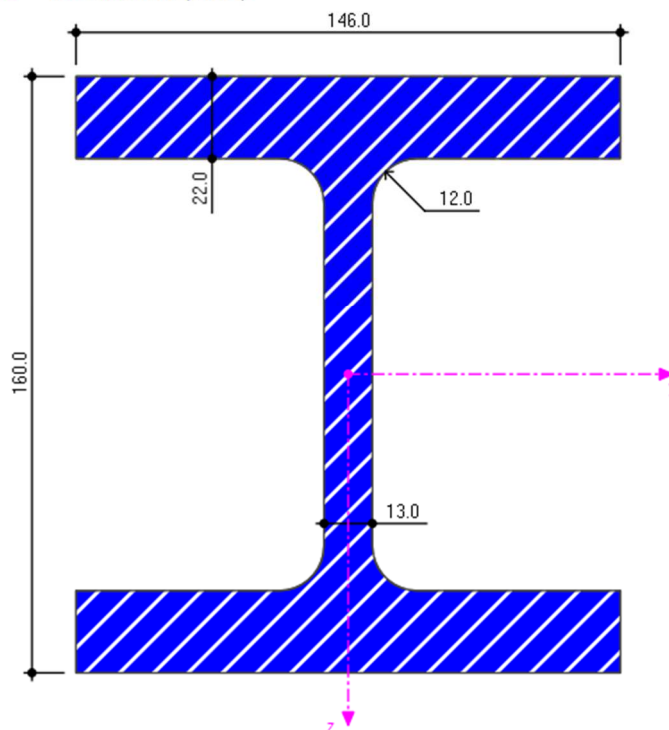


Slika 35. Prikaz modela i nosive konstrukcije

HE 140 M



- EN 10365:2017
- ArcelorMittal (2018)



Sectional Area			
Sectional area	A	80.60	cm ²
Bending			
Area moment of inertia about y-axis	I_y	3291.00	cm ⁴
Area moment of inertia about z-axis	I_z	1144.00	cm ⁴
Polar area moment of inertia	I_p	4435.00	cm ⁴
Radius of gyration about y-axis	i_y	63.9	mm
Radius of gyration about z-axis	i_z	37.7	mm
Polar radius of gyration	i_p	74.2	mm
Statical moment of area about y-axis	$S_y^{\max}$	246.90	cm ³
Statical moment of area about z-axis	$S_z^{\max}$	58.46	cm ³
Elastic section modulus about y-axis	W_y	411.40	cm ³
Elastic section modulus about z-axis	W_z	156.80	cm ³

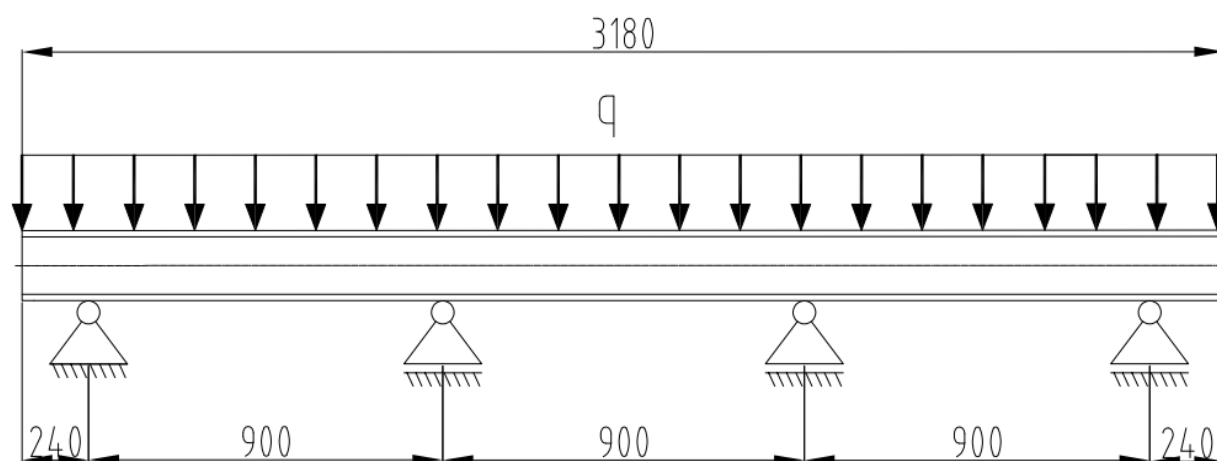
Tablica 9. Podaci o odabranom profilu

Konstrukcija je proračunata pomoću programskog paketa Abaqus. Za analizu je odabran prvi od pet nosača (od strane motor-reduktora). Opterećenje je kontinuirano po cijeloj gredi, koje je otprilike određeno podjelom mase konvejera koju preuzima svaki nosač.

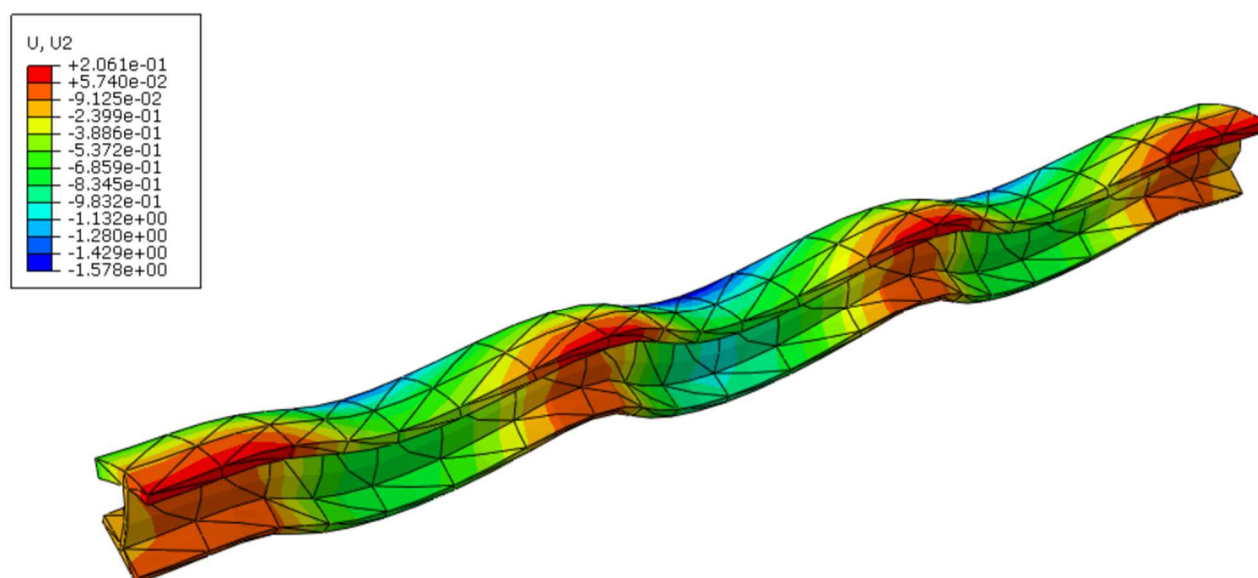
Masa konvejera koju preuzima prvi nosač obuhvaća prvu polovicu prvog korita i pripadajućih osovina, te elektromotore i prednje ploče.

Kontinuirano opterećenje tako iznosi: $q = 8710,2 \text{ N/m}$.

Nakon nekoliko iteracija u programu, određeno je da svaki nosač ima po četiri jednako raspoređenih oslonaca, kao što je prikazano na slici 36.



Slika 36. Nosač sa četiri oslonca



Slika 37. Rezultati analize nosača u Abaqusu - pomaci

Maksimalni progib iznosi: $|w_{max}| = 1,578 \text{ mm}$.

Dopušteni progib za taj slučaj računa se prema [17], te iznosi:

$$w_{dop} = \frac{5 \cdot q \cdot l^3}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{1325 \cdot 3180^4}{384 \cdot 210000 \cdot 32910000} = 1,678 \text{ mm} \quad (4.48.)$$

$$|w_{max}| = 1,578 \text{ mm} < w_{dop} = 1,678 \text{ mm}$$

Uvjet je zadovoljen.

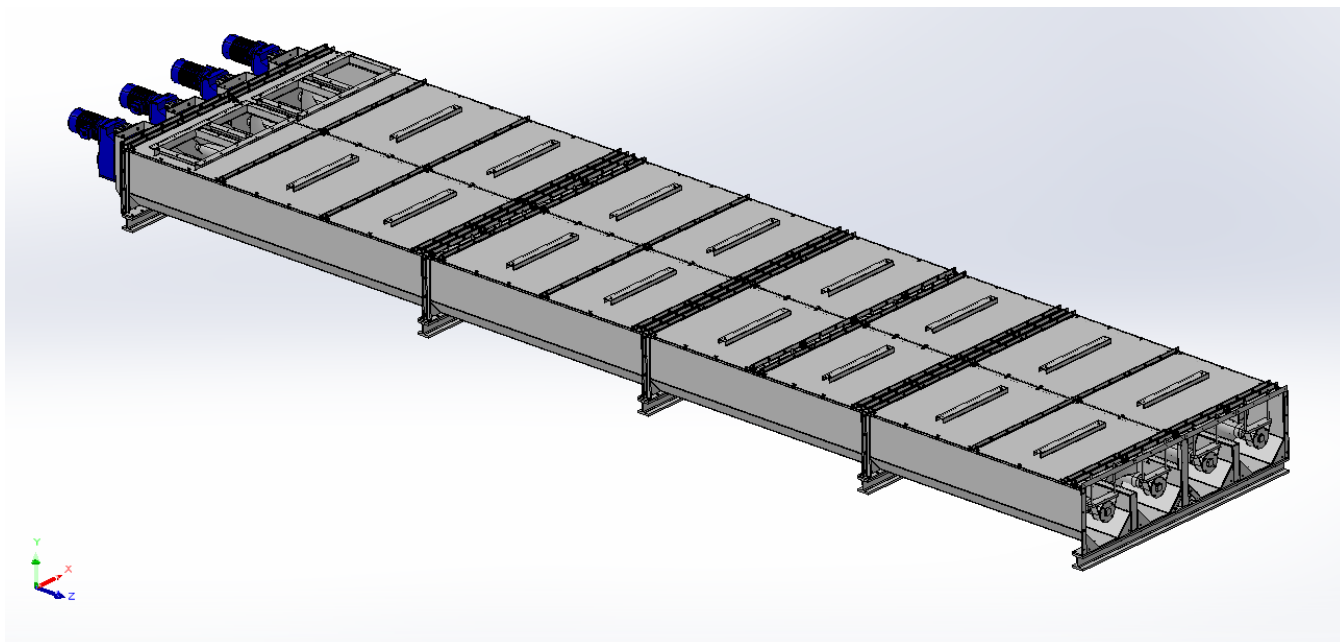
5. Zaključak

Konvejeri i ostatak transportne tehnike bitan su čimbenik u suvremenoj industriji. Koriste se za prijenos materijala iz jednog procesa u drugi u suradnji s različitom prijevoznom i strojnom opremom. Gotovo sve industrije ih koriste, od rudarstva, metalurgije i automobilske industrije do prehrambene, tekstilne i drugih, te je konvejer smatran dijelom opreme koji generalno ne stvara probleme i ima dug vijek trajanja.

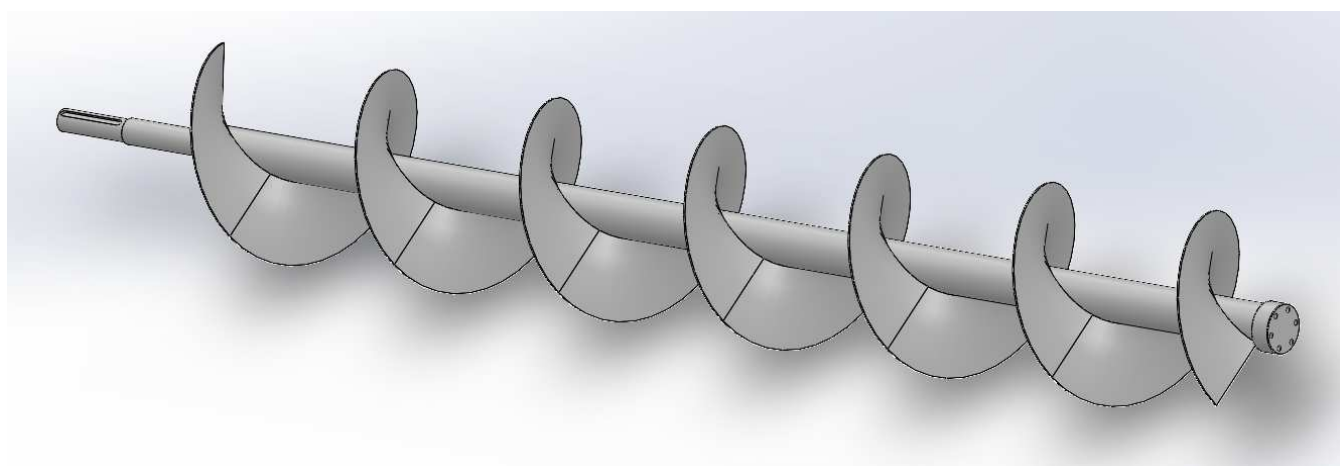
Pužni konvejeri su strojevi koji su u velikoj mjeri standardizirani te se na temelju tih standarda dalje prilagođavaju dodatnim zahtjevima kupaca. Pretežito služe za transport rasutog tereta različitih granulacija i vrsta materijala.

Ovaj zadatak je ipak malo specifičniji zbog zahtjeva velikog kapaciteta ($800 \text{ m}^3/\text{h}$), što nije tipično za ovu vrstu transportera. Ipak, postoji nekoliko primjera na europskom tržištu, a neki od njih podnose i puno veće kapacitete (do $1400 \text{ m}^3/\text{h}$).

Moguće je riješiti zadatak sa konvejerom sa jednom velikom pužnicom, ali trebaju se uzeti u obzir i ostali kriteriji, kao što su jednostavnost izrade dijelova i montaže, potrošnja energije, te neometani protok materijala. Svi ti ostali zahtjevi mogu biti zadovoljeni na način da se kapacitet podijeli na više puževa. Moguće su izvedbe sa dva, tri, četiri i više puževa, no u konceptima su u obzir uzeti konvejeri sa dva i četiri. Oba koncepta su blizu što se tiče zadovoljavanja većine kriterija, no kada bismo sve zaokružili, konvejer sa četiri pužnice je najbliže nekom optimalnom rješenju.



Slika 38. Pužni konvejer



Slika 39. Segment vratila sa zavarenom pužnicom

LITERATURA

- [1] Mađarević, B., nadopune i izmjene Ščap, D.:Praktičar, 3.dio, Školska knjiga, Zagreb, 1972.
- [2] A.O. Spivakovsky, V.K. Dyachkov: Conveying Machines Volume II, Mir Publishers, Moscow, 1985.
- [3] ANSI/CEMA Standard No. 350, Fifth Edition: Screw Conveyors for Bulk Materials, Conveyor Equipment Manufacturers Association, 2019.
- [4] <https://www.kwsmfg.com/>
- [5] <https://www.siirtoruuvi.com/>
- [6] Screw Conveyor Corporation Catalog and Engineering Manual
- [7] www.wikipedia.org
- [8] <https://www.bbm-ehrhhardt.de/en/products/conveyor-systems/screw-conveyors/>
- [9] <https://www.wildfellner.at/>
- [10] <https://www.youtube.com/watch?v=UgL8qWK7040>
- [11] Decker, K.H: Elementi strojeva, Tehnička knjiga Zagreb, 2006.
- [12] Krešimir Vučković: Valjni i klizni ležajevi, podloge uz predavanja
- [13] Krešimir Vučković: Remenski prijenos, podloge uz predavanja
- [14] Nord katalog za odabir motor-reduktora, <https://www.nord.com/us/products/gear-drives/geared-motors.jsp>
- [16] SKF katalog za odabir ležajeva, <https://www.skf.com/group>

