

Vibracijski transport rasutih tereta

Jambrišak, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:175835>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-20**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE

IVAN JAMBRIŠAK

VIBRACIJSKI TRANSPORT RASUTIH TERETA
ZAVRŠNI RAD

Karlovac, travanj 2018.

Ivan Jambrišak

VIBRACIJSKI TRANSPORT RASUTIH TERETA

ZAVRŠNI RAD

Veleučilište u Karlovcu

Strojarski odjel

Stručni studij mehatronike

Kolegij: Vibracije i dinamika strojeva

Mentor: dr.sc. Josip Hoster

Matični broj studenta: 0112612020

Karlovac, travanj 2018.

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

Zahvaljujem se dr.sc. Josipu Hosteru na stručnoj pomoći i savjetima prilikom izrade ovog rada.

Ivan Jambrišak

SAŽETAK

U ovom završnom radu opisan je transport rasutih materijala pomoću vibracija. U prvom dijelu rada objašnjen je pojam rasutih tereta, podjela, te način transporta istih. Navedena je podjela transportne tehnike te načini obavljanja transportnog postupka. Opisana je prekidna i neprekidna dobava. U drugom dijelu opisani su tipovi vibracijskih konvejera i njihova primjena.

Ključne riječi: Rasuti materijali, vibracije, Vibracijski konvejer

SUMMARY

This undergraduate thesis describes the transport of bulk materials by vibration. In the first part the term of bulk cargo, classification, and the way of transport is explained. The classification of the transport engineering is listed, as well as various ways that a certain transport process can be performed. The interrupted and continuous supplying process is described. The second part describes the types of vibration conveyors and their purpose.

Key words: Bulk materials, Vibrations, Vibratory Conveyor



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Trg J.J.Strossmayera 9

HR-47000, Karlovac, Croatia

Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510



Fax. +385 - (0)47 - 843 – 579

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni studij: MEHATRONIKE

Karlovac, 26.04.2018.

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: **Ivan Jambrišak**

Matični broj: 0112612020

Naslov: **Vibracijski transport rasutih tereta**

Opis zadatka:

U završnom radu potrebno je opisati princip rada vibracijskih transportera rasutih tereta. Za različite vrste rasutih tereta opisati utjecaj oblika transportne trake ili ploče na mogućnosti vibracijskog transporta. Opisati utjecaj unutarnjeg trenja u rasutom materijalu i njegovu abrazivnost na odabir transportnog sredstva. Opisati elastične i prigušne elemente u vibracijskim transportnim sredstvima. Opisati načine vibracijske uzbude na transportnom sredstvu. Analizirati mogućnosti prigušenja prenošenja vibracija na okolinu. Prikazati proračun snage pogonskog stroja za rad transportnog sredstva.

Zadatak izraditi i opremiti sukladno Pravilniku o završnom radu VUK-a.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

26.04.2018.

26.06.2018.

03.07.2018.

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

Dr.sc. Josip Hoster, dipl.ing.stroj. pred.

Marijan Brozović, dipl.ing.stroj. v.p.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. RASUTI TERETI	2
2.1. Podjela rasutih tereta	3
2.2. Svojstva sipkih materijala	4
3. TRANSPORTNA TEHNIKA	6
3.1. Prekidna dobava	6
3.2. Neprekidna dobava	7
3.3. Pojam vibracije	8
3.3.1. Parametri vibracija	9
3.4. Utjecaj svojstva nasutih materijala na efektivnost rada vibracijskih transportera	10
3.5. Vibracijski transport	13
4. VIBRACIJSKI KONVEJERI	14
4.1. Vrste vibracijskih konvejera	14
4.2. Mehanizmi uzbude	16
4.2.1. Klipna uzbuda	17
4.2.2. Uzbuda ekscentritetom	18
4.2.3. Uzbuda elektromagnetom	19
4.2.4. Pneumatska/hidraulična uzbuda	19
5. KRETANJE ČESTICA NA KONVEJERU	20
6. TIPOVI ELASTIČNIH ELEMENATA (OPRUGA)	22
7. PRIGUŠENJE VIBRACIJA NA PODLOGU	23
7.1. Nisko podešavanje	24
7.2. Načini izvršavanja niskog podešavanja	24
7.2.1. Direktno postavljanje stroja na konstrukcijski element	24
7.2.2. Postavljanje stroja na prigušivače	24
7.2.3. Postavljanje stroja na izoliranu bazu stroja	25
7.3. Izolacija vibracija kod konvejera	26
8. PRORAČUN VIBRACIJSKIH TRANSPORTERA	27
9. PRORAČUN SNAGE ZA POGON TRANSPORTERA	28
10. ZAKLJUČAK	30
LITERATURA	31

POPIS SLIKA

Slika 1. Podjela robe prema načinu transporta.....	2
Slika 2. Sitniji rasuti teret (pijesak)	3
Slika 3. Kut prirodnog nasipavanja – nasipni kut	5
Slika 4. Ciklusi prekidnog transporta	7
Slika 5. Kontinuirani transport sipkog tereta	7
Slika 6. Amplituda vibracijskog pomaka.....	9
Slika 7. Temeljne vibracijske veličine	9
Slika 8. dijagram odnosa brzine razmatranog materijala v_i prema brzini kretanja pijeska v_p	11
Slika 9. Zavisnost kapaciteta Q	12
Slika 10. Jednosmjerna metoda	15
Slika 11. Rotacijska metoda	15
Slika 12. Zatvoreni (obli) i otvoreni (pravokutni) tip konvejera	16
Slika 13. Mehanizmi uzbude vibracijskih konvejera	17
Slika 14. Princip rada konvejera sa klipnom uzbudom	18
Slika 15. Prikaz pogona posredne i direktne uzbude ekscentritetom	18
Slika 16. Vibracijski konvejer s elektromagnetskim vibracijskim pogonom	19
Slika 17. Pneumatski vibracijski konvejer	20
Slika 18. Gibanje čestica kod vibracijskih konvejera	20
Slika 19. Putanja čestice i ploče konvejera	21
Slika 20. Izvedbe elastičnih elemenata na konvejerima	22
Slika 21. Direktno postavljanje stroja na konstrukcijski element	24
Slika 22. Postavljanje stroja na prigušivač	25
Slika 23. Postavljanje stroja na izoliranu bazu stroja	25
Slika 24. Tipovi izolacije konvejera	26
Slika 25. Dijagram za koeficijent k_n	27
Slika 26. Presjek transportne trake.....	28

POPIS TABLICA

Tablica 1. Podjela sipkih materijala ovisno o veličini zrna.....	3
Tablica 2. Nasipni kut ϕ za lake materijale.....	5
Tablica 3. Nasipni kut ϕ za srednje i teške materijale	5
Tablica 4. Podjela strojeva ovisno o frekvencijama	23

POPIS OZNAKA

Oznaka	Mjerna jedinica	Opis
a	mm/s ²	vibracijsko ubrzanje
A	m ²	poprečni presijek materijala
b	m	stvarna širina trake
b ₁	m	aktivna širina trake
c	-	faktor povećanja vučne sile koja uzima u obzir sporedne otpore u pogonu transportera
d	mm	fazni pomak
e	mm	ekcentritet
f	Hz	frekvencija vibracija
G	t/h	teoretska masa transportiranog materijala za jedan sat
G _t	kg/m	masa pokretnih dijelova transportera
H	m	visina dizanja ili spuštanja tereta
i	-	kut između pravca sile i horizontalne ravnine
k	-	koeficijent smanjenja teoretskog kapaciteta zbog neravnomjernog nasipavanja
k ₂	-	koeficijent smanjenja teoretskog kapaciteta zbog nagiba transportera
K	-	koeficijent režima rada
Kz	-	koeficijent zrnatosti
L	m	dužina transportera
P _{bo}	W	snaga na osovini pogonskog bubnja
Q	t/h	učinak vibracijskih transportera

Q_s	m^3/h	učinak kontinuiranog transporta sipkog tereta
t	-	koeficijent trenja u ležajevima bubnjeva i valjaka
v	m/s	brzina premještanja
v_i	m/s	brzina kretanja razmatranog materijala
v_p	m/s	brzina kretanja pijeska
φ	$^\circ$	nasipni kut (kut unutrašnjeg trenja)
β	$^\circ$	nasipni kut u mirovanju
β_p	$^\circ$	nasipni kut pri kretanju
ψ	-	koeficijent popunjenosti poprečnog presijeka
μ	-	koeficijent trenja
ρ	t/m^3	nasipna gustoća slobodno nasutog materijala
ρ_s	t/m^3	nasipna gustoća zbijenog sipkog materijal

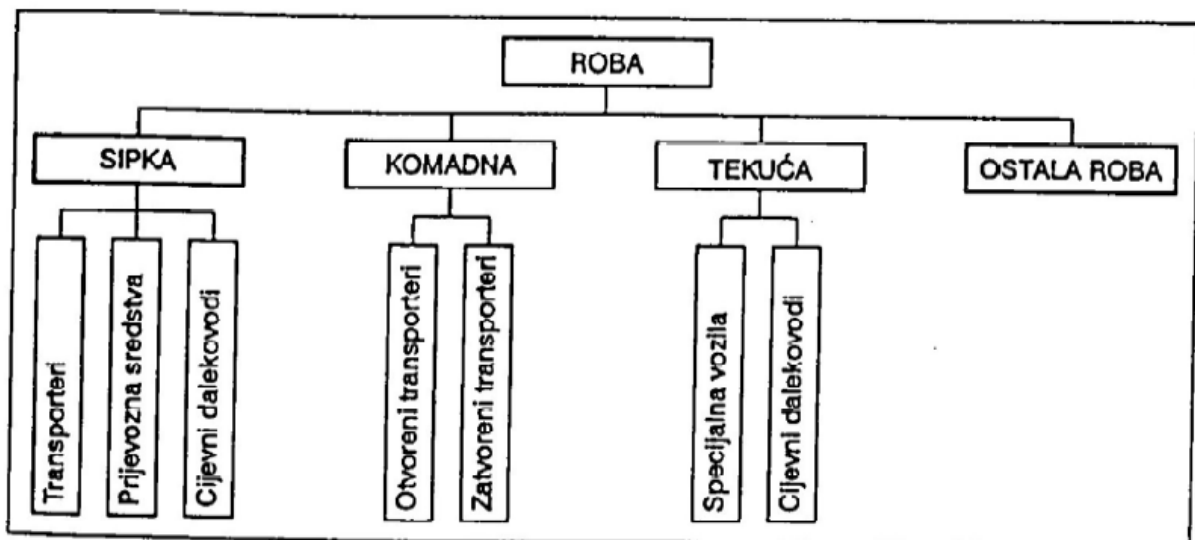
1. UVOD

Vibracijski strojevi u bilo kakvom obliku koriste se u posljednjih 100 godina. Korištenje ručnih sita za odvajanje različitih veličina materijala seže daleko u povijest. Međutim, vibrirajuće gibanje tradicionalno se smatra više štetnim nego korisnim. U studenom 1940. je dokazano koliko snaga vibracija zapravo može biti razorna. Nekontrolirana vibracija uništila je most Tacoma Narrows u državi Washington. Tijekom oluje brzina vjetra dosegla je razinu na kojoj je most vibrao frekvencijom koja odgovara prirodnoj frekvenciji strukture. Amplituda vibracija se povećavala sve dok se struktura nije urušila. Inženjeri su od tada naučili riješavati i kontrolirati vibracije. Početkom ovog stoljeća ostvaren je potencijal korištenja vibracija za transport i doziranje. Vibracijski transporteri danas su učinkoviti i pouzdani uređaji koji služe za prijenos i kontrolu protoka materijala. Oni služe za prenošenje različitih materijala do relativno kratkih udaljenosti. Ova vrsta transportera može biti dizajnirana za rukovanje gotovo bilo kojim materijalom. Također su prikladni za transport materijala s većim komadima ili grumenima. Vibracijski transporteri se naširoko koriste u industriji, od farmaceutske obrade do pražnjenja rasutih tereta iz silosa.

2. RASUTI TERETI

Naziv materijal je opći pojam koji podrazumijeva bilo koju vrstu, bilo koji artefakt: sirovinu, gotovi proizvod, poluproizvod, strugotinu, rezervni dio, alat, napravu, paletu i dr., koji se pojavljuje u procesima stvaranja nove vrijednosti (ekonomisti koriste i termin: roba). Općenito, svi materijali mogu se razvrstati u grupe:

- kruti
- sipki (rasuti) materijal (DIN ISO 3435)
- komadni materijal (čvrste forme, pojedinačno rukovanje; DIN ISO 3569)
- tekućine
- plinovi



Slika 1. Podjela robe prema načinu transporta[15]

2.1. Podjela rasutih tereta

Rasuti tereti su nepakirani materijali koji se zbog svojih karakteristika krcaju u rasutom stanju (slika 2.). Takvi materijali poprimaju oblik posude u kojima se nalaze i prema horizontali poprimaju određeni kut koji se naziva nasipni kut. U skupinu rasutih tereta spadaju:

- Krupniji rasuti tereti (ugljen, rude i kamen u gromadama)
- Sitniji rasuti tereti (ugljena prašina, koks, sumpor, cement, sol, šećer, pijesak, šljunak i drugo)
- Žitarice (pšenica, ječam, raž, kukuruz, soja)



Slika 2. Sitniji rasuti teret (pijesak) [1]

Prema VDI 2393, sipki materijal se razvrstava u 10 grupa, ovisno o veličini zrna, što možemo vidjeti u tablici 1.

Opaska: U ukupnoj masi mora biti najmanje 60% zrna odgovarajuće veličine.

Tablica 1. Podjela sipkih materijala ovisno o veličini zrna

Veličina zrna(definirana ekvivalentnim promjerom), mm									
<0,4	0,4-1	1-3	3-10	10-25	25-50	50-75	75-150	150-300	>300

2.2. Svojstva sipkih materijala

Zrnatost materijala predstavlja veličinu čestica sipkog materijala. **Koeficijent zrnatosti** je pokazatelj jednolikosti sastava sipkoga materijala. Ovaj koeficijent se izračuna iz odnosa najveće i najmanje veličine čestice materijala. Veličina čestice ima linearnu dimenziju (aproksimacija ekvivalentnim promjerom – promjer kugle jednakoga volumena).

Koeficijent zrnatosti se razlikuje za:

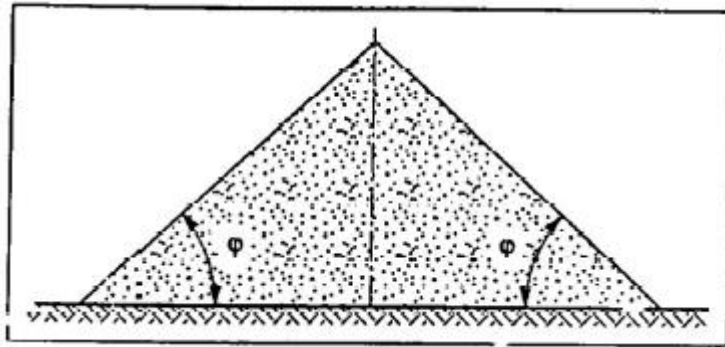
- sortirani materijal $K_z \leq 2,5$
- nesortirani materijal..... $K_z > 2,5$

Mjera zrnatosti (a , mm) je veličina čestice. Kod sortiranoga materijala jednaka je prosječnoj vrijednost veličine najveće i najmanje čestice, a kod nesortiranoga materijala mjera zrnatosti je određena udjelom najvećih čestica. Ako je udio velikih čestica ($(0,8-1) \cdot a_{max}$) veći od 10% ukupne mase uzorka, mjera zrnatosti sipkoga materijala je veličina najvećih čestica, ako je taj udio manji od 10% ukupne mase uzorka, mjera zrnatosti je $0,8 \cdot a_{max}$.

Nasipna gustoća predstavlja masu nasipanog sipkog materijala po jedinici volumena (kg/m^3). Razlikuju se nasipne gustoće slobodno nasutoga sipkog materijala (ρ) i zbijenog (stlačenoga) sipkog materijala (ρ_s). Materijali prema nasipnoj gustoći mogu se podjeliti na:

- laki materijali s gustoćom $\rho < 1 \text{ t/m}^3$
- srednje laki materijali s $\rho = 1 - 2 \text{ t/m}^3$
- teški materijali s $\rho > 2 \text{ t/m}^3$

Nasipni kut je kut kojega čini brid stošca slobodno nasutog materijala s vodoravnom podlogom, a ovisi o zrnatosti, adheziji, kutu unutrašnjeg trenja materijala i dr. Pri tome se razlikuje nasipni kut u mirovanju (β) i nasipni kut pri kretanju (β_p). -nasipni kut (kut unutrašnjeg trenja). Nasipni kut povezan je sa koeficijentom trenja μ odnosom: $\mu = \tan$



Slika 3. Kut prirodnog nasipavanja – nasipni kut [15]

Tablica 2. Nasipni kut ϕ za lake materijale [15]

Redni broj	Materijal	Gustoća materijala [ρ] = t/m ³	Nasipni kut [ϕ] = °	
			Mirovanje	Pokret
1.	Kameni ugljen	0,80 – 0,85	45	30
2.	Koks	0,36 – 0,53	50	35
3.	Aluminij (sitni)	0,70 – 0,80	45	35
4.	Pšenično brašno	0,45 – 0,66	65	50
5.	Žito	0,65 – 0,83	35	25
6.	Kuku	0,70 – 0,75	35	28

Tablica 3. Nasipni kut ϕ za srednje i teške materijale [15]

Redni broj	Materijal	Gustoća materijala [ρ] = t/m ³	Nasipni kut [ϕ] = °	
			Mirovanje	Pokret
1.	Suha zemlja	1,20 – 1,40	45	30
2.	Suhi pijesak	1,40 – 1,65	45	30
3.	Šljunak	1,50 – 1,90	45	30
4.	Cement	1,00 – 1,30	50	35
5.	Sol	1,00 – 1,70	50	30
6.	Željezna ruda	2,10 – 2,40	50	30

Trenje materijala na podlogu utječe na izbor transportnih sredstava i kut nagiba pri transportu, a povezano je s nasipnim kutem.

Abrazivnost sipkog materijala utječe na izbor konstrukcijskih materijala transportnih uređaja i brzinu transportiranja.

Abrazivno djelovanje rasutog materijala uglavnom ovisi o tvrdoći, obliku materijala i trenju klizanja materijala po traci. Prema stupnju abrazivnosti mogu se sipki materijali podijeliti u sljedeće skupine:

- malo abrazivni poput brašna, pšenice, maka i sl.
- srednje abrazivni poput cementa, piljevine, krupne soli i sl.
- jako abrazivni materijali poput šljunka, mljevenog kamena, koksa i sl.

3. TRANSPORTNA TEHNIKA

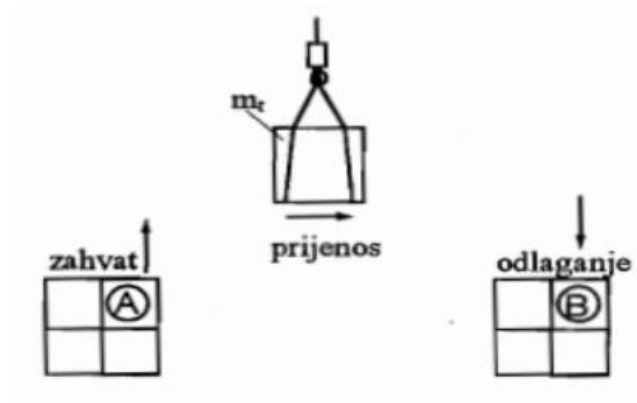
Transportna tehnika predstavlja tehniku za prijenos ljudi i tereta. Dijeli se na tehniku unutrašnjeg transporta (dobavnu tehniku) koja se koristi u tvornicama, na gradilištima, u bolnicama, željezničkim kolodvorima i lukama, te na prometnu tehniku (vanjski transport) koja uključuje cestovni, željeznički i zračni promet. Pod dobavnom tehnikom podrazumijeva se premještanje robe u proizvoljnom smjeru i na ograničenim udaljenostima, transport ljudi te proučavanje dobavnih sredstava i metoda njihove uporabe. Prema transportnom postupku dobavnu tehniku možemo podijeliti na prekidnu i neprekidnu.

3.1. Prekidna dobava

Kod prekidnog transporta (dobave) radni ciklus se sastoji od skupa uzastopnih operacija u prenošenju tereta (Slika 4.).

U sredstva prekidnog transporta spadaju:

- granici (tri ili više pogonskih mehanizama)
- dizalice (jednostavni mehanizmi i naprave za dizanje).
- dizala ili liftovi (vertikalni ili kosi transport)
- manipulatori i industrijski roboti (tri ili više upravljivih osi)
- industrijska vozila (podna i pružna vozila u unutrašnjem transportu)



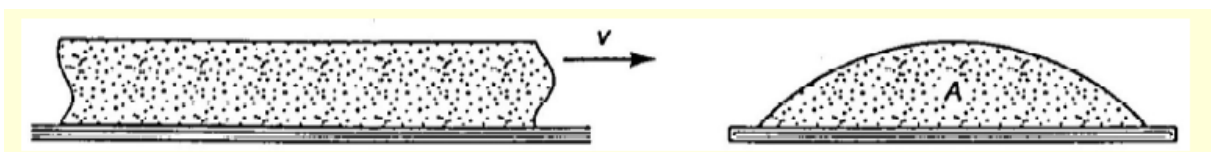
Slika 4. Ciklusi prekidnog transporta [2]

3.2. Nепrekidna dobava

Budući da je kod neprekidnog transporta (dobave) prijenos materijala u neprekinutom toku, bilo kontinuirano, bilo u određenom taktu, sredstva neprekidne dobave dijele se na:

- mehanička prenosila s vlačnim elementima (radni i povratni dio trase, trakasti konvejeri i elevatori)
- mehanička prenosila bez vlačnih elemenata (nemaju povratni dio trase, pužni, vibracijski, gravitacijski konvejeri)
- pneumatska i hidraulička prenosila (transport u stranom mediju)

Primjer. Kontinuirani transport sipkog tereta na traci (slika. 5)



Slika 5. Kontinuirani transport sipkog tereta [2]

Učinak $Q_s = 3600 \cdot A \cdot v \cdot \rho$ (t/h)

A – poprečni presjek materijala (m²)

v – brzina premještanja (m/s)

ρ – gustoća materijala (t/m³); ili

Učinak $Q_s=3600 \cdot A \cdot v$ (m^3/h)

A – poprečni presjek materijala (m^2)

v – brzina premještanja (m/s)

Teoretski geometrijski poprečni presjek nikada nije u stvarnosti do kraja iskorišten.

Zato se koristi koeficijent popunjenosti poprečnog presjeka $\Psi = A_s/A$

Učinak je tada:

$Q_s=3600 \cdot \Psi \cdot A \cdot v \cdot \rho$ (t/h)

ili

$Q_s=3600 \cdot \Psi \cdot A \cdot v$ (m^3/h)

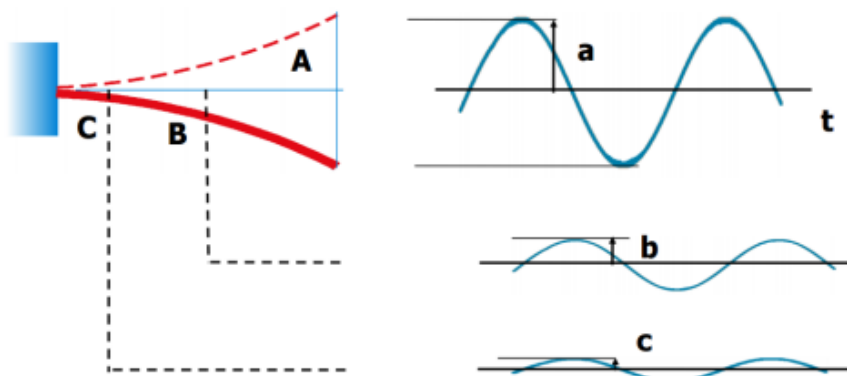
3.3. Pojam vibracije

Vibracije se definiraju kao mehaničke oscilacije, odnosno varijacije amplitude u vremenu neke veličine u odnosu na dogovorenu referencu uz napomenu da se amplituda mijenja tako da je naizmjenično veća, odnosno manja od te reference.

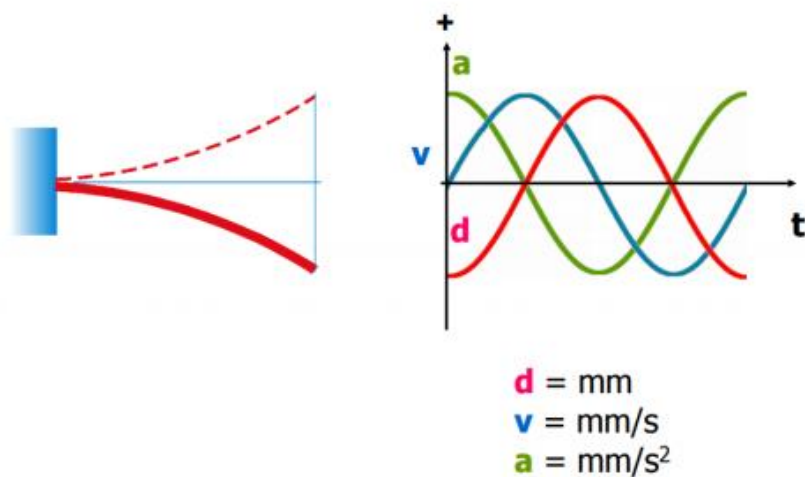
Ta veličina je kvantitativni opis gibanja nekog mehaničkog sustava . Vibracije su svakodnevna pojava budući da su rezultat dinamičkih sila strojeva s pomičnim dijelovima čije se djelovanje širi na strukture vezane uz strojeve (primjer – vibracije u zgradi od prolaska vlaka obližnjom prugom). Različiti dijelovi stroja u pravilu vibriraju različitim amplitudama i frekvencijama. Vibracije mogu izazvati trošenje i zamor materijala, te u konačnici, kvar i uništenje strojeva.

3.3.1. Parametri vibracija

Parametri vibracija koji se direktno mogu mjeriti su ubrzanje, brzina i pomak, dok se ostale karakteristike vibracija, npr. frekvencija i prigušenje, mogu dobiti analizom navednih veličina. Metode mjerenja vibracija mogu se podijeliti na kontaktne i beskontaktne. Kontaktne metode su bazirane na promjeni električnih ili magnetnih osobina nekog tijela uslijed njegovog kretanja izazvanog vibracijama. Beskontaktne metode se baziraju na primjeni interferencije laserskih zraka za mjerenje brzine vibracija.



Slika 6. Amplituda vibracijskog pomaka [17]



Slika 7. Temeljne vibracijske veličine [17]

Na slici 7. prikazane su neke od temeljnih vibracijskih veličina [4], a to su :

d – Fazni pomak

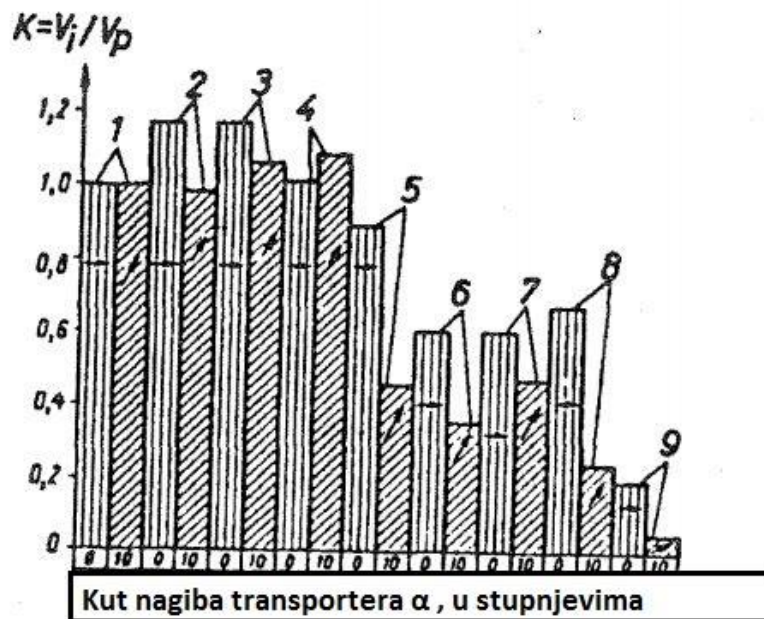
v – Vibracijska brzina

a – Vibracijsko ubrzanje

3.4. Utjecaj svojstva nasutih materijala na efektivnost rada vibracijskih transportera

Za razliku od drugih tipova transportera, efektivnost rada vibracijskih transportera (kapacitet, brzina transporta, visina sloja transportiranog materijala itd.) znatno zavisi o svojstvima (uglavnom od granuliranog sastava - krupnoće čestica) transportiranog materijala.

Pri jednakim vibracijskim parametrima, istim transporterom, mogu se transportirati različiti nasipni materijali, koji se mogu premještati različitim brzinama; također i visina sloja materijala može biti različita, te se ako i ostvaruju različiti kapaciteti (Slika 8.). Ovo važno svojstvo vibracijskih transportera pri njihovoj primjeni obavezno mora se uzeti u obzir.

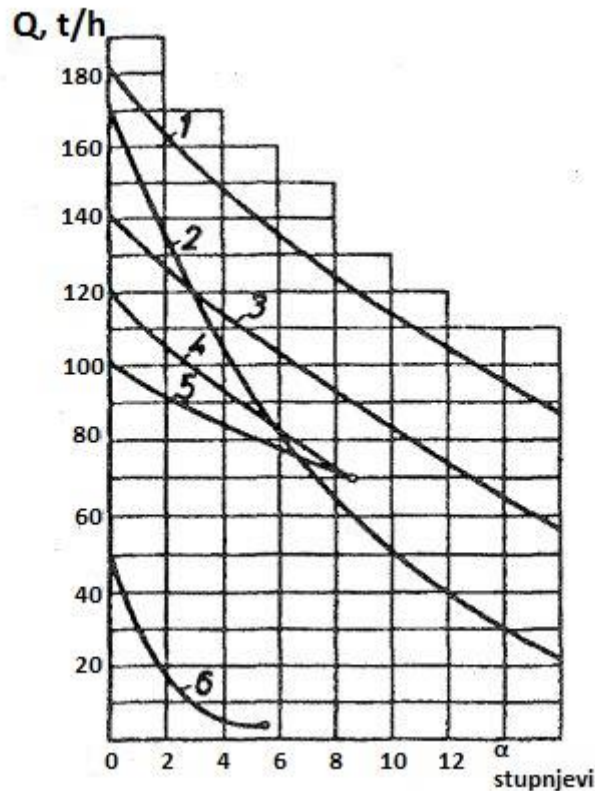


Slika 8. Dijagram odnosa brzine razmatranog materijala v_i prema brzini kretanja pijeska v_p , pri horizontalnom transportu ($\alpha=0^\circ$) i pri transportu kosim vibracijskim transporterom ($\alpha=10^\circ$); amplituda osciliranja $a=3,5$ mm i frekvencija 1000 min^{-1} ; 1 – pijesak, 2 – sitnokomadna ruda, 3 – sitnokomadna zgura, 4 – komadni ugljen, 5 – fosforno brašno, 6 – apatit, 7 – dolomit u prahu, 8 – šamot u prahu, 9 – cement [15]

U procesu vibracijskog transporta rasutih materijala, kada se čestice ovoga materijala bacaju uvis, nastaje tanak zračni sloj i stvara se povećani otpor zraka uslijed mikro leta čestica materijala. Ovim se objašnjava mala efektivnost koja se postiže prilikom transporta praškastih, fino nasutih materijala, metodom vibracija. Važno je pitanje i izbora optimalnog režima vibracija, kao i konstrukcije vibracijskog transportera koja bi osigurala efektivno transportiranje rasutih materijala.

Povećanjem amplitude osciliranja, efektivnost transporta rasutih materijala se povećava, te se zbog toga njihovo prenošenje ostvaruje primjenom vibracijskih transportera sa ekscentar pobudom (amplitude osciliranja 12 – 15 mm; frekvencije $500 - 400 \text{ min}^{-1}$). Kod transportera sa elektromagnetnom i vibropobudom je mala amplituda (0,5 – 1,2 mm) i velika frekvencija (3000 min^{-1}) osciliranja, pa je transportiranje praškastih materijala praktički nesvrhovito.

Kod kosih transporterera, kod kojih se materijal prenosi naviše, brzina premještanja i kapacitet Q smanjuju se približno za 3 – 5 %, za svaki stupanj povećanja nagiba (Slika 9.), te se zbog toga, kao po pravilu, vibracijski transporteri ne izvode za kuteve nagiba veće od 10° .



Slika 9. Eksperimentalno dobivena zavisnost kapaciteta Q vibracijskog transporterera (presijeka cijevi 310 mm, amplitude osciliranja 12,5 mm, frekvencije 600 min^{-1} , koeficijenta režima rada $K=2,52$) od kuta nagiba transporterera, pri transportu; 1-zgure iz visokih peći (dimenzije komada 0-35mm); 2-pijeska prirodne vlažnosti; 3-koksa od škrljaca (dimenzije komada 0-30mm); 4-suhog cementnog klinkera (dimenzije komada 0-10mm); 5-drobljeni „tucanik“, kamena sitnež (dimenzije 0-300mm); 6-suhi cement [15]

Kod praškastih materijala, npr. cementa, a također i nesortiranih materijala s velikom količinom (više od 60%) praškastih čestica, kut nagiba transporterera pri transportu naviše obično ne prelazi 5° , te se kod većih kuteva praktično obustavlja transportiranje.

Pri prenošenju materijala naniže (pri spuštanju praktično pod kutem od 10°) znatno se lakše transportiraju sve vrste tereta.

Zbog toga je poželjno, ukoliko je moguće, transportirati praškaste materijale koso, naniže, pod kutem od 10° – 50°.

Neznatna vlažnost (približno do 10%) materijala koji ne posjeduju ljepljiva svojstva i viskoznost (npr. čisti pijesak, strugotina i drveni opiljci) ne ometa premještanje ovih materijala, čak u posebnim slučajevima doprinosi povećanju brzina; međutim, sa povećanjem vlažnosti u nekim slučajevima efektivnost transportiranja materijala veoma se smanjuje. Ljepljivi, vlažni vezivni materijali, npr. glina, transportiraju se veoma slabo. Postoje neki pokušaji oblaganja oluka transportera iznutra, različitim plastičnim masama i gumom, u cilju povećanja efektivnosti transportiranja materijala koji posjeduju ljepljiva svojstva, međutim nisu postignuti pozitivni rezultati.

3.5. Vibracijski transport

Vibracijsko kretanje je jedno od najučinkovitijih metoda prijenosa rasutih materijala. Vibracijski transporteri imaju široku primjenu u mnogim tehnološkim procesima koji uključuju transport, te obradu i doziranje rasutih materijala, na primjer u industriji kemijskih i sintetičkih materijala, preradi hrane, transportu pijeska i šljunka, kod proizvodnje papira, šećera, u rafinerijama itd. Osim transporta, vibracije se mogu koristiti za prosijavanje i odvajanje materijala. Neke od glavnih prednosti vibracijskih transportera su njihova jednostavna konstrukcija i to što su prikladni za obradu vrućih i abrazivnih materijala. Često se koriste u prehrambenoj industriji jer se lako mogu držati u skladu s higijenskim standardima pomoću korita od nehrđajućeg čelika. Neki od nedostataka vibracijskih transportera su njihov bučni rad, prijenos vibracija na njihovu okolinu i ograničena transportna udaljenost. Također, granulirani materijal može biti oštećen kada se podvrgava ekstremnim ubrzanjima okomito na podlogu transportera.

4. VIBRACIJSKI KONVEJERI

Vibracijski konvejeri se sastoje od otvorenog žlijeba ili zatvorene cijevi omotane oko središnjeg cilindra oslonjenog na neku bazu ili ovješenu s gornje strane, koji oscilira uslijed vibracijske pobude i tako u uzastopnim kretnjama pomiče materijal.

Osnovni projektni parametri konvejera su:

- dobavni protok materijala, [t/h], [m³/h] ili [kom./h];
- geometrijski parametri, tj. shema trase s osnovnim dimenzijama;
- brzina transportiranja, [m/s];
- pogonski parametri, s kojima se definiraju uvjeti rada kao: broj radnih sati na dan, klimatski uvjeti i utjecaj okoline, itd.;
- vrsta i svojstva transportiranog materijala;
- način prihvaćanja i odlaganja materijala

4.1. Vrste vibracijskih konvejera

Vibracijske konvejere možemo podijeliti u dvije tehnike:

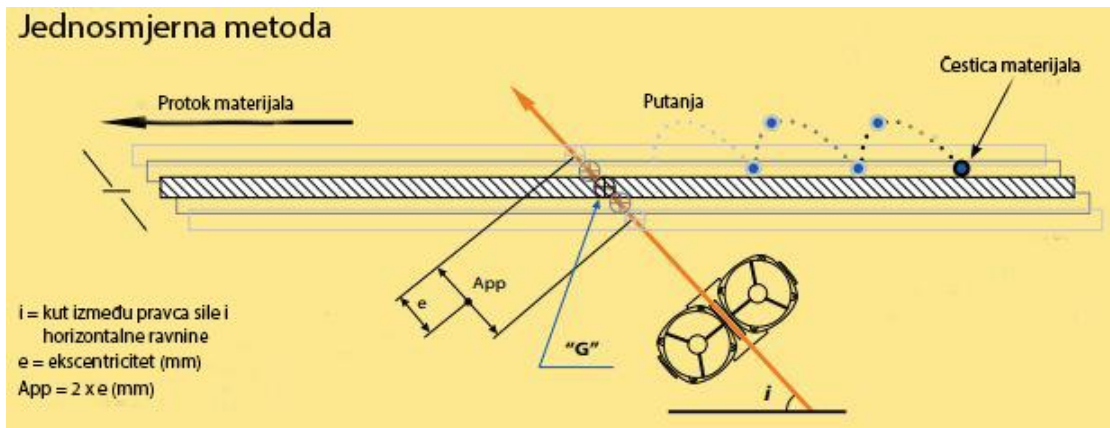
- slobodno oscilirajući sistemi
- oscilirajući sistemi blizu rezonantnog područja

Slobodno oscilirajući se dijele prema dva principa rada:

a) Jednosmjerna metoda (Slika 10.)

-uzbudna sila usmjerena je u jednom smjeru

-princip rada se zasniva na tome da dva ekscentra daju resultantnu centrifugalnu silu koja djeluje u jednom smjeru, te inducira gibanje čestica u smjeru te centrifugalne sile

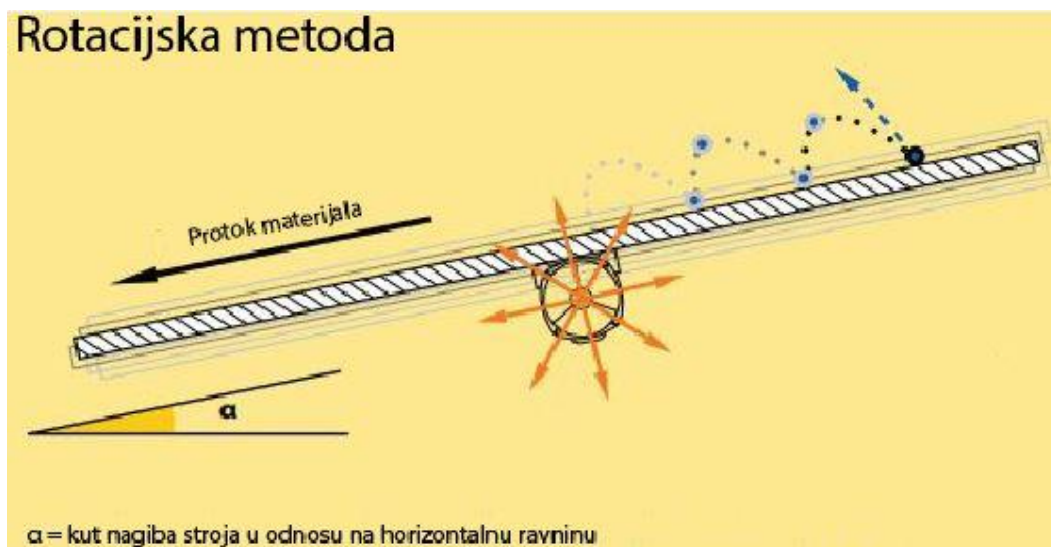


Slika 10. Jednosmjerna metoda [3]

b) rotacijska metoda (slika 11.)

-uzbudna sila je usmjerena u svim smjerovima (360°), u rotacionom režimu. Ovisno o materijalu koji se transportira, ploča konvejera je pod određenim kutem.

-jedan ekscentar rotira u svim smjerovima te tjera čestice da se kreću, a kosina pomaže česticama da klize niz ploču.



Slika 11. Rotacijska metoda [3]

Postoje otvoreni i zatvoreni vibracijski konvejeri, konvejeri sa pravokutnim i oblim otvorom na kraju (Slika 12.). Treba napomenuti da postoje i specijalni oblici otvora na kraju konvejera. Da bi se izbjeglo stvaranje prašine i inhaliranje iste kad je operater u blizini stroja koristimo zatvoreni tip. To je izuzetno opasno kod transporta pijeska, cemeta i stakla.



Slika 12. Zatvoreni (obli) i otvoreni (pravokutni) tip konvejera [4]

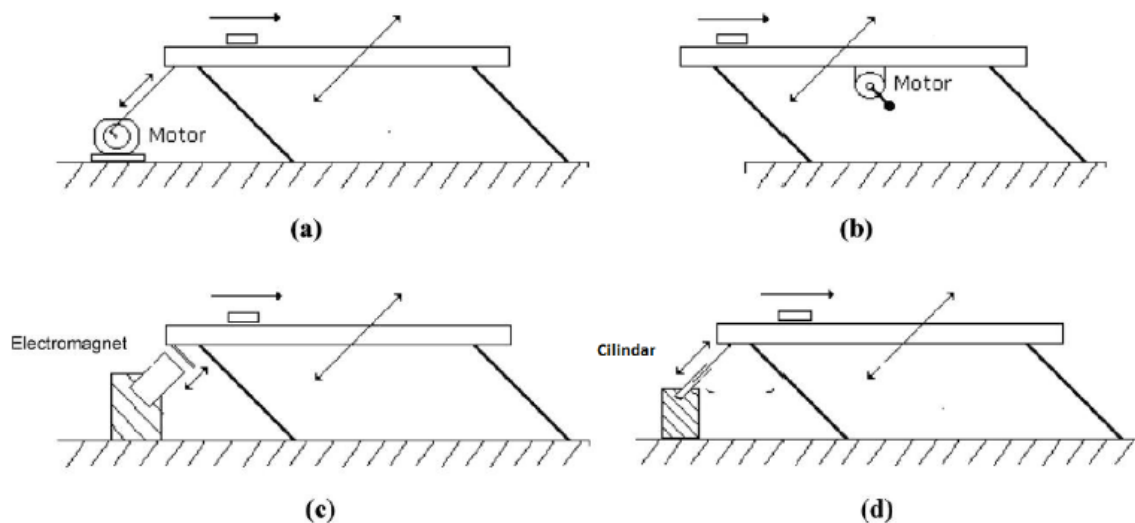
4.2. Mehanizmi uzbude

Kod vibracijskih konvejera postoje četiri osnovna tipa mehanizma uzbude koji su prikazani na slici 13. Potrebno je reći da konvejer sa piezoelektričnom uzbudom još nije doživio komercijalnu upotrebu, ali je u razvoju. Princip rada ovog konvejera će također biti opisan u nastavku.

Konvejeri s klipnom i ekscentar uzbudom još se nazivaju i konvejeri sirove snage („brute force feeders / screeners“).

Tipovi uzbude su kod ovih tipova uređaja:

- a) klipna uzbuda
- b) uzbuda ekscentrom
- c) uzbuda elektromagnetom
- d) pneumatska/hidraulična uzbuda

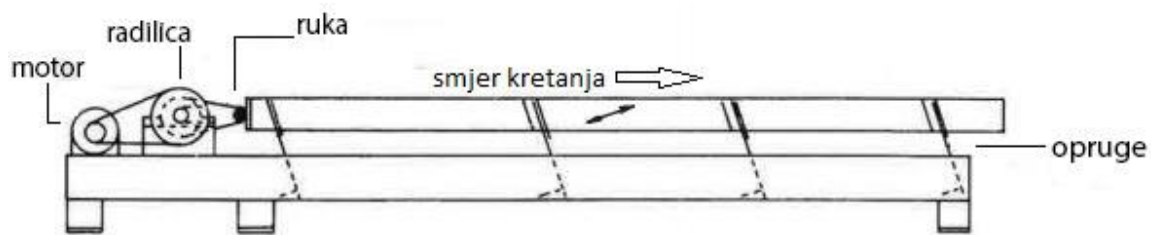


Slika 13. Mehhanizmi uzbude vibracijskih konvejera [5]

4.2.1. Klipna uzbuda

Iako su u samim počecima bili izrazito popularni, danas su relativno rijetki u proizvodnji. Ovakav tip konvejera se naziva i „brute force“ konvejer (Slika 14). Konvejeri s klipnom uzbudom su dobri za tipove proizvodnje gdje se ne mora mijenjati amplituda ili kut uzbude. Sama konstrukcija ovakvih uređaja je relativno jednostavna, a radi grube konstrukcije relativno ih je jednostavno i održavati.

Uzbuda se generira kod ovakvih uređaja uglavnom posredno preko remenice te prenosi na radilicu koja preko ruke prenosi uzbudnu silu na ploču konvejera. Amplituda vibracija se uglavnom podešava promjenom duljine ručice, a frekvencija s frekvencijskim pretvaračem na motoru. Treba napomenuti da se amplituda vibracija na ovim uređajima rijetko mjenja.



Slika 14. Princip rada konvejera sa klipnom uzbudom [2]

4.2.2. Uzbuda ekscentritetom

Uz elektromagnetsku, ovaj tip uzbude je najčešći tip uzbude kod vibracijskih konvejera. Također ih nazivamo „brute force“ konvejerima. Koriste se dva tipa ovakvih konvejera: s posrednom i direktnom uzbudom (Slika 15.). U zadnje vrijeme se iz praktičnih razloga uglavnom koristi direktna uzbuda koja se sastoji od elektromotora s ekscentritetom već namotan na elektromotor. Treba napomenuti da su uređaji s direktnom uzbudom u pravilu kompaktne izvedbe, te je relativno jednostavno korigirati ekscentritet na takvom tipu uređaja.

Kod direktne uzbude uglavnom se koriste dva ekscentar elektromotora, kako bi sila na oba boka uređaja bila jednaka. Jedan motor se koristi ako je potrebno izdvojiti neželjene čestice, poput recimo sitnih komadića ugljena od krupnih komadića.

Posredna uzbuda se koristi uglavnom kod uređaja gdje su potrebne velike sile i amplitude vibracija te su takvi uređaji u većini slučajeva rađeni na zahtjev kupca.



Slika 15. Prikaz pogona posredne i direktne uzbude ekscentritetom [6]

4.2.3. Uzbuda elektromagnetom

Vibracijski konvejeri s elektromagnetskim vibracijskim pogonom (Slika 16.) omogućuju lagani protok čestica materijala. Imaju primjenu u raznim proizvodnim industrijama (hrana, cement, farmaceutske tvrtke, itd.). Ovakvi strojevi su vrlo popularni zbog svoje visoke učinkovitosti i jednostavnog održavanja.

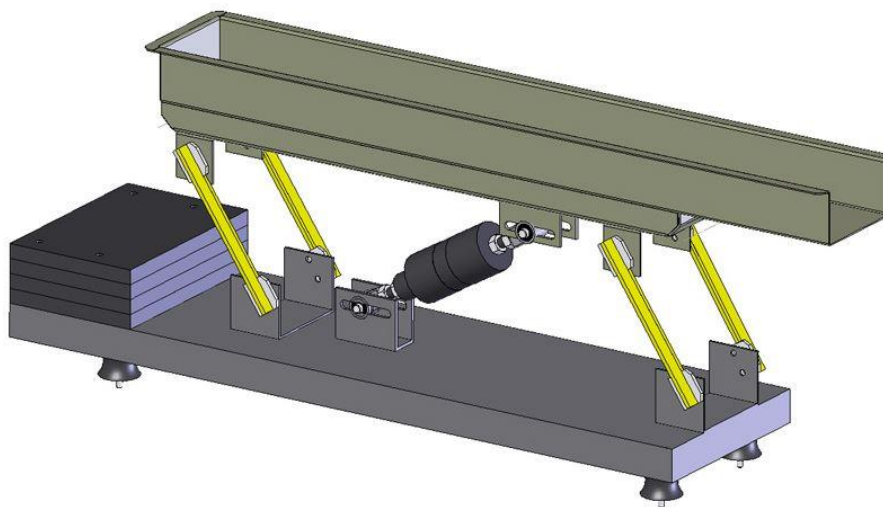
Pri upotrebi relativno je jednostavno mijenjati amplitudu i frekvenciju uzbude, dok problem predstavlja količina materijala na ploči. Pri većim količinama materijala na ploči ovakav tip uređaja gubi drastično na efikasnosti, a moguće je smanjenje amplitude do 10 puta!



Slika 16. Vibracijski konvejer s elektromagnetskim vibracijskim pogonom [7]

4.2.4. Pneumatska/hidraulična uzbuda

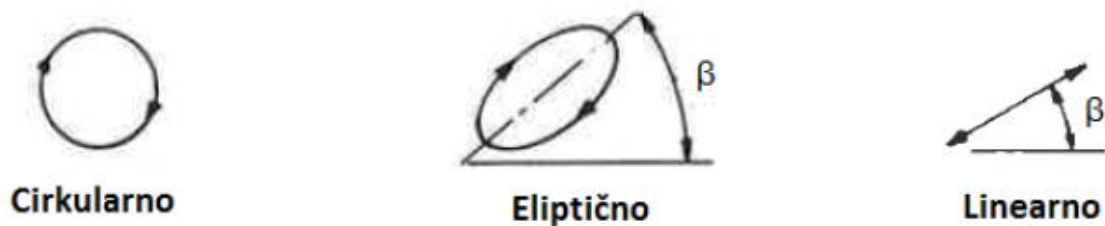
Pneumatski/hidraulični vibracijski konvejeri imaju jednu jedinstvenu prednost, a to je jednostavno podešavanje kuta nagiba ploče. Kao takvi su idealni za izdvajanje materijala, ali se često koriste i za doziranje. Pogon ovakvih uređaja je pneumatski/hidraulični cilindar (Slika 17.).



Slika 17. Pneumatski vibracijski konvejer [8]

5. KRETANJE ČESTICA NA KONVEJERU

Vibracijsko kretanje može biti izazvano različitim uređajima. Različiti uređaji stvaraju različito gibanje. Za razliku od standardnih tračnih konvejera, vibro konvejeri mogu osim transporta, izdvajati nepoželjne čestice, usitnjavati materijal te ga pravilno dozirati. Tri osnovna tipa gibanja prikazana su na slici 18.



Slika 18. Gibanje čestica kod vibracijskih konvejera [9]

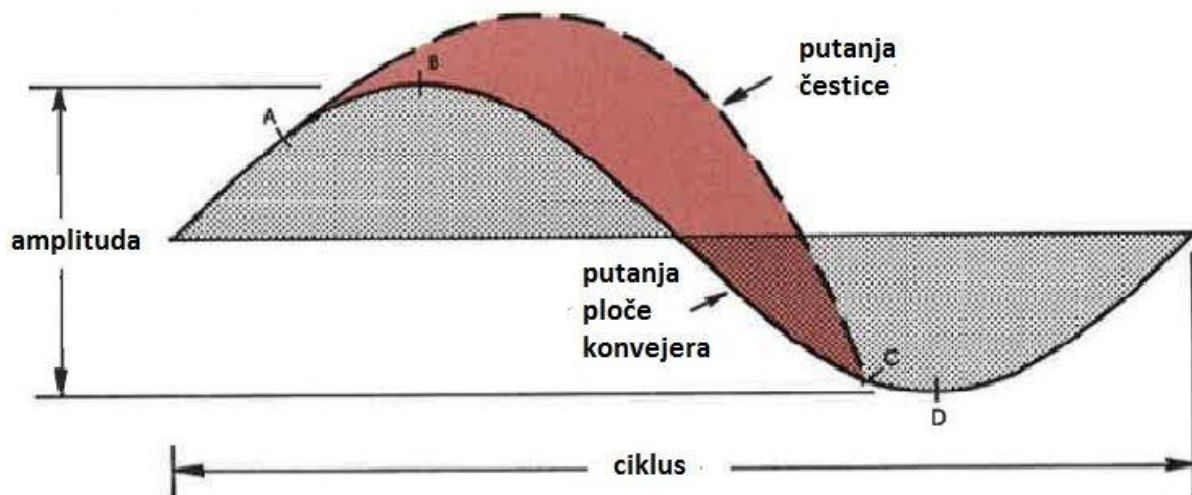
(1) Cirkularno: Cirkularna vibracija pruža kretanje materijala gore-dolje po površini konvejera. Ova vrsta gibanja nije izrazito učinkovita za transport krutih tvari. Cirkularno gibanje je idealno za uređaje kao što su pročišćivači i sita.

(2) Eliptično: Ova vrsta gibanja je slična kružnom, osim što je ukupna sila usmjerena i djeluje pod određenim kutom.

(3) Linearno: Linearno ili jednosmjerno vibracijsko gibanje idealno je za prenošenje krutih tvari. Noseća površina ne mora biti spuštена; materijal se može prenijeti bez pomoći gravitacije.

Materijal i transportna brzina definiraju kakav uređaj treba biti. Recimo jako sitan materijal nije prikladno transportirati na otvorenom tipu konvejera, jer postoji velika vjerojatnost da će se te čestice raspršiti prostorom u kojem je postavljen konvejer.

Gibanje čestice je definirano kosim hicem te se u pravilu čestica giba po ploči konvejera poput projektila, što se može vidjeti na slici 19. Čestica kreće s putanjom iz startnog položaja 0 i nastavlja sa putanjom do točke A. Nakon što u točki B postigne svoju maksimalnu amplitudu čestica pada u točku C gdje se nakratko smiri do početka novog ciklusa. Na slici je prikazana uzbuda pod 45° , što znači da je tip putanje linearan.



Slika 19. Putanja čestice i ploče konvejera [9]

6. TIPOVI ELASTIČNIH ELEMENATA (OPRUGA)

Opruge su konstrukcijski elementi koji svrsishodnim oblikovanjem i upotrebom viskoelastičnih materijala mogu mehanički rad elastičnom deformacijom pretvoriti u potencijalnu energiju i obratno, potencijalnu energiju vraćanjem u prvobitni oblik pretvoriti u mehanički rad. Opruge, dakle, koriste jedno od osnovnih svojstava materijala: elastičnost. Iako se opružna funkcija može ostvariti i na druge načine, najčešće su u upotrebi mehaničke opruge. Elastični element je osnova svakog vibracijskog uređaja. Kod ovakvih uređaja se uglavnom dva tipa opruga: lisne i standardne spiralne opruge. Prednosti spiralnih opruga u odnosu na lisne je mogućnost velikog pomaka. Primjerice pri istim volumenima, spiralna opruga može sačuvati više potencijalne energije od lisne. U pravilu lisne opruge su teže od bilo kojeg drugog oblika opruga. Iako je spiralna opruga jeftinija, izvedba uležištenja je u pravilu skuplja od lisne, stoga se kod vibracijskih konvejera vrlo često pribjegava izvedbi konvejera s lisnim oprugama. Treba napomenuti da je kod izvedbi vibracijskih konvejera sa spiralnim oprugama potreban pivot kako bi definirao smjer kretanja opruge i kako ploča konvejera jednostavno ne bi potonula. Također postoje izvedbe konvejera koji su obješeni na čelično užadi i gdje cijeli konvejer funkcionira poput fizikalnog njihala. Sve tri izvedbe prikazane su na slici 20.



a) konvejer sa lisnim oprugama



b) konvejer sa spiralnim oprugama



c) konvejer sa užadi

Slika 20. Izvedbe elastičnih elemenata na konvejerima [10]

7. PRIGUŠENJE VIBRACIJA NA PODLOGU

Vibracije nastale oscilatornim ili translacijskim gibanjem su slične po svome nastanku i efektima koje izazivaju, te tako podvrgavaju i istim protumjerama zaštite, dok su protumjere drugačije kod vibracija nastalih isprekidavajućim djelovanjima strojeva s udarajućim dijelovima. Prioritetna protumjera od vibracija strojeva bi uvijek trebala biti u samom dizajnu stroja, što manja nebalansiranost, korištenje kvalitetnih materijala, preuzimanje udara okvira i slično, što uvelike smanjuje dinamičke utjecaje. Za termin izoliranje vibracija se podrazumijeva podešavanje frekvencija stroja i konstrukcije, čije se frekvencije ne smiju preklapati kako ne bi uzrokovali rezonanciju. Za izoliranje konstrukcija od djelovanja vibracija od strojeva razlikuju se aktivna i pasiva izolacija. Obje vrste izolacije sprječavaju širenje vibracija od stroja u svoju okolinu. Pasivna izolacija koristi pasivne mjere zaštite, poput opruga i gumenih podloga, a aktivna izolacija koristi napredne prigušivače sa sensorima koji se koriste za vrlo precizne strojeve, poput strojeva za proizvodnju čipova. [12]

Za određivanje protumjere izolacije vibracija od strojeva s rotirajućim ili oscilirajućim dijelovima na konstrukciju, strojevi se dijele u 3 grupe, ovisno o operativnoj frekvenciji stroja kao što je vidljivo u tablici 4.

Tablica 4. Podjela strojeva ovisno o frekvencijama[12]

GRUPA 1 (niske do srednje operativne frekvencije)	$1 \leq nb \leq 600$ [okr. po min] $0,02 \leq fb \leq 10$ [Hz]	pumpe, kompresori, tkalački strojevi, rotacijske preše...
GRUPA 2 (srednje do visoke operativne frekvencije)	$300 \leq nb$ ≤ 900 [okr. po min] $5 \leq fb \leq 15$ [Hz]	veliki dizel motori, ventilacijski sustavi, tkalački strojevi...
GRUPA 3 (visoke operativne frekvencije)	$nb > 900$ [okr. po min] $fb > 15$ [Hz]	turbine, mali dizel motori, centrifugalni separatori, vibratori...

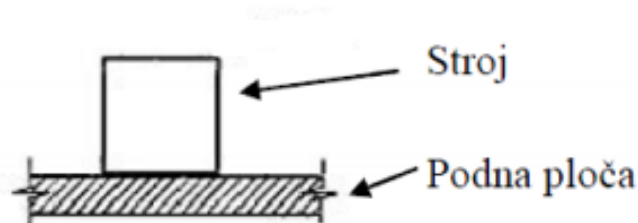
7.1. Nisko podešavanje

Nisko podešavanje znatno smanjuje reakcijske sile, ali rezultira "mekanim temeljima" već pod statičkim opterećenjem. Ovaj način podešavanja frekvencija najbolje odgovara strojevima iz grupe 3 (visoke operative frekvencije) [12].

7.2. Načini izvršavanja niskog podešavanja

7.2.1. Direktno postavljanje stroja na konstrukcijski element

Pošto se krutost konstrukcije ili konstrukcijskog elementa ne može smanjiti po želji, ovaj način podešavanja je najpogodniji za strojeve iz grupe 3 (visoke operative frekvencije), dok se za frekvenciju konstrukcijskog elementa na koji je se postavlja stroj preporučava ispod 2 – 3 Hz [13]. Ako bi konstrukcije ili konstrukcijski elementi bili dovoljno mekani za prihvatanje dinamičkih utjecaja od rada stroja bez gubitka nosivosti, tada bi amplitude pomaka konstrukcije bile toliko velike da bi štetile proizvodnji i osoblju koje rukuje strojem [14].

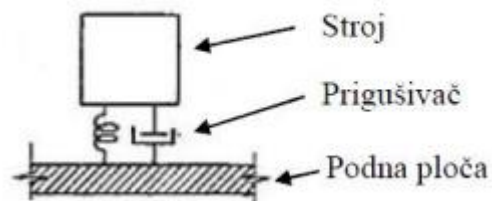


Slika 21. Direktno postavljanje stroja na konstrukcijski element [12]

7.2.2. Postavljanje stroja na prigušivače

Za ovu varijantu prigušenja potrebno je da okvir stroja bude dovoljno čvrst kako bi se uravnotežile razlike u pomacima pojedine točke o koju je stroj oslonjen. Uglavnom proizvođač stroja dizajnira prigušenja, kako bi se u slučaju neispravnosti prigušenja mogla lagano zamijeniti ili modificirati.

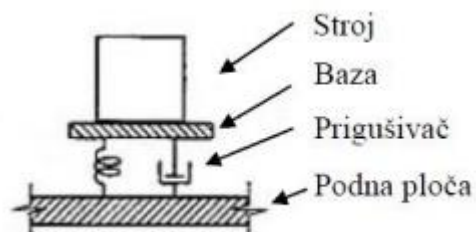
Prigušivači se mogu pričvrstiti tako da je jedan kraj vezan za stroj, a drugi slobodno oslonjen o bazu ili može biti pričvršćen i na stroj i na bazu. Prednost slobodnog oslanjanja prigušivača o bazu je dopuštanje nejednakosti prilikom izvedbe baze stroja, dok prednost kod fiksiranja prigušivača o stroj i bazu omogućuje podešavanje visine oslonca i primanje horizontalne komponente dinamičkog djelovanja.



Slika 22. Postavljanje stroja na prigušivač [12]

7.2.3. Postavljanje stroja na izoliranu bazu stroja

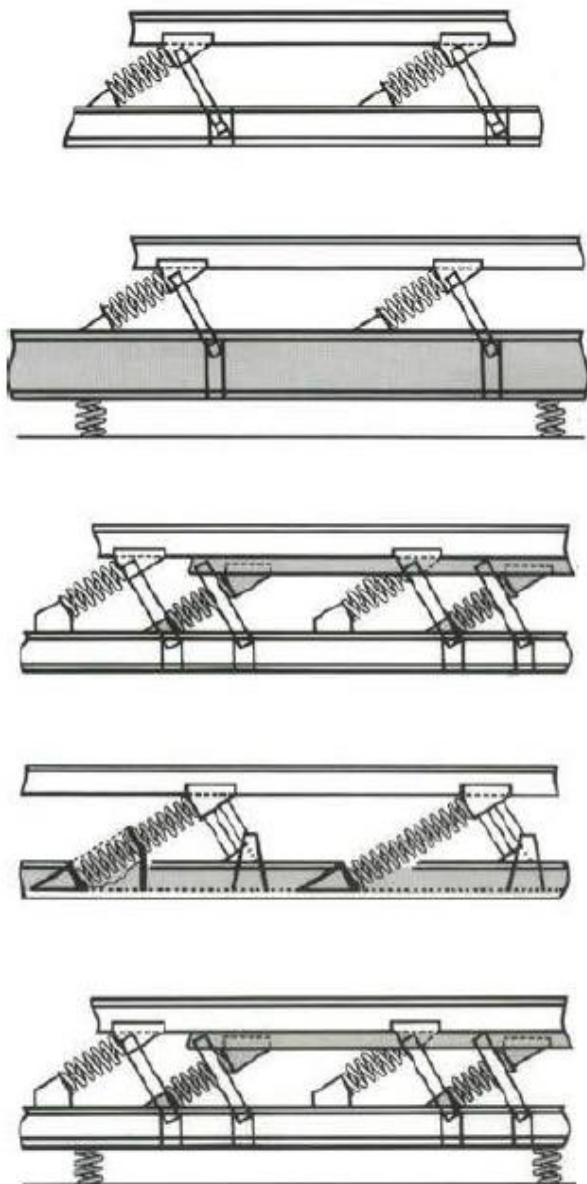
Ova vrsta izolacije koristi se za strojeve koji proizvode velika dinamička opterećenja, imaju veliku ekscentričnost mase, gdje krutost prigušivača iz druge grupe ne bi bila dovoljna, nesimetrične strojeve, te za strojeve s malom masom, jer bi onda bila potrebna iznimno mekana opruga za nisko podešavanje. Zbog dodatne mase izolacijske baze, koriste se opruge veće krutosti nego što bi se koristile kada bi se direktno postavljale na stroj, kako bi se smanjila amplituda pomaka. Masa izolacijske baze trebala bi biti najmanje jednaka masi stroja, te bi trebala imati dovoljnu krutost. Ovaj način izoliranja je jako povoljno rješenje što se tiče izolacijskih karakteristika, ali je relativno skupo rješenje.



Slika 23. Postavljanje stroja na izoliranu bazu stroja[12]

7.3. Izolacija vibracija kod konvejera

Vibracijski konvejeri na podlogu prenose vibracije koje se ne mogu zanemariti i kao takve zahtjevaju pozornost. Ako je operater u neposrednoj blizini uređaja, poželjno je da te vibracije budu minimalne. Na slici 24. su prikazane neke od varijanti izolacije konvejera:



a) montirano na podlogu - cijela reakcija sustava se prenosi na podlogu

b) izoliran - sustav je izoliran sa elastičnom podlogom. Zavisno o vrsti opruge reducira prijenos sile na podlogu za 80 do 90 %

c) balansiran – sustav ima protutež koji je u protufazi sa pločom konvejera. Reakcija na podlogu je reducirana za 90%

d) temeljno uzbuđeno uravnoteženje i izolacija - bazna ploča je u protufazi sa pločom konvejera. Reakcija na podlogu je reducirana za 95%

e) kombinacija balansiranog i izoliranog prigušenja. Ova kombinacija reducira reakciju na podlogu do 98%

Slika 24. Tipovi izolacije konvejera [11]

8. PRORAČUN VIBRACIJSKIH TRANSPORTERA

Učinak vibracijskih transportera ovisi o brzini kretanja materijala v_v .

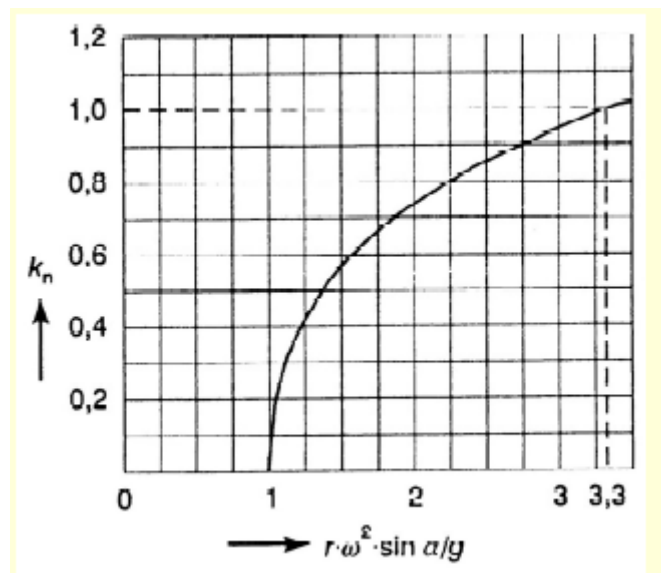
$$Q=3600 \cdot b \cdot h \cdot \Psi \cdot \rho \cdot v_v \text{ [t/h]}$$

Brzina kretanja materijala iznosi:

$$v_v = \frac{g \cdot k_n^2}{2 \cdot f \cdot \tan \alpha} \text{ (m/s)}$$

f – frekvencija vibracija [Hz]

Koeficijent k_n ovisi o odnosu: $(a_{\max} \cdot \sin \alpha)/g$ i može se dobiti iz slike:



Slika 25. Dijagram za koeficijent k_n [15]

Da bi došlo do odvajanja materijala od žlijeba mora okomita komponenta ubrzanja biti veća od gravitacije: $\frac{a_{\max} \cdot \sin \alpha}{g} > 1$ odnosno $\frac{r \cdot \omega^2 \cdot \sin \alpha}{g} > 1$, jer je centripetalno (normalno) ubrzanje $a = r \cdot \omega^2$

9. PRORAČUN SNAGE ZA POGON TRANSPORTERA

1) Presjek materijala nasutog na traku:

$$A = \frac{1}{k_1 \cdot k_2} \cdot \frac{Q}{3600 \cdot \rho \cdot v} \quad [\text{m}^2]$$

A – presjek materijala nasutog na traku [m²]

k₁ - koeficijent smanjenja teoretskog kapaciteta zbog neravnomyjnog nasipavanja

k₂ - koeficijent smanjenja teoretskog kapaciteta zbog nagiba transportera

Q – satni kapacitet [t/h]

v - brzina gibanja trake [m/s]

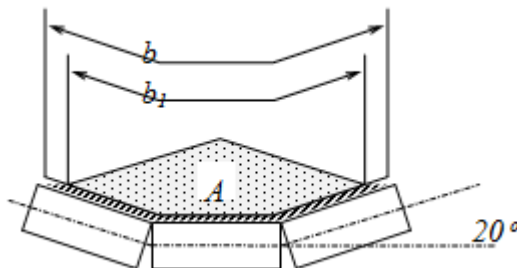
ρ - nasipna gustoća transportiranog materijala [kg/m³]

2) Aktivna širina trake:

$$b_1 = \sqrt{\frac{A \cdot 3600}{f}} \quad [\text{m}]$$

b₁ – aktivna širina trake [m]

f - faktor oblika trake, tj. presjeka materijala



Slika 26. Presjek transportne trake [16]

3) Stvarna širina trake:

$$b = \frac{b_1 + 0,05}{0,9} \quad [\text{m}]$$

b – stvarna širina trake [m]

4) Snaga za pogon transporterera:

$$P_{bo} = F_{bo} \cdot v \quad [\text{W}]$$

P_{bo} - snaga na osovini pogonskog bubnja [W]

F_{bo} - vučna sila na obodu pogonskog bubnja [N]

$$F_{bo} = g \cdot \left[c \cdot t \cdot L \cdot \left(G_t + \frac{G}{3,6 \cdot v} \right) \pm \frac{G \cdot H}{3,6 \cdot v} \right] \quad [\text{N}]$$

c - faktor povećanja vučne sile koja uzima u obzir sporedne otpore u pogonu transporterera

t - koeficijent trenja u ležajevima bubnjeva i valjaka

L – dužina transporterera [m]

G_t – masa pokretnih dijelova transporterera [kg/m]

G - teoretska masa transportiranog materijala za jedan sat [t/h]

H – visina dizanja ili spuštanja tereta [m]

10. ZAKLJUČAK

Iako često mogu biti glavni i vrlo ozbiljan problem, vibracije također mogu biti i korisne. Postoji dosta uređaja koji svoju osnovnu funkciju zasnivaju upravo na vibracijama, kao na primjer sita, vibracijski konvejeri za transport sitnih komada, ultrazvučne kade za čišćenje, razbijači kamena, maljevi, nabijači, itd.

Vibracijski konvejeri primjenjuju se za transport sipkog i komadnog materijala, a najčešće kao uređaji za povezivanje radnih mjesta u proizvodnji ili kao dijelovi raznih postrojenja. U posebnim slučajevima se koriste i za ravnomjerno i kontinuirano doziranje materijala na druge uređaje.

U radu je prikazana podjela vibracijskih konvejera, te njihova primjena. Moguća su 4 tipa mehanizma uzbude kod takvih konvejera. Konvejeri sa klipnom uzbudom (koji su danas relativno rijetki u proizvodnji), sa pneumatskom ili hidrauličnom uzbudom, uzbuda elektromagnetom, te uzbuda ekscentritetom koja je uz uzbudu elektromagnetom najčešći tip uzbude. Vrlo je važno kod svakog od tih konvejera prigušiti vibracije na podlogu, te spriječiti širenje vibracija od stroja na svoju okolinu. To će se postići niskim podešavanjem, što je detaljno opisano u radu.

LITERATURA

- [1] <http://www.islandblockmfg.com/bulk-material/>
- [2] Mechanical Conveyors: Selection and Operation, Mohammad E. Fayed Skocir
- [3] Generalni katalog italvibras 2000
- [4] <https://vibrotech.ca>
- [5] Piezoelectric Driving of Vibration Conveyors: An Experimental Assessment
- [6] Renold Ajax vibratory conveyors
- [7] <https://www.cyrus-germany.com/en/products/product/show/vibrating-trough-conveyor-with-electromagnetic-drive.html>
- [8] <https://www.eralki.com/en/equipments/vibrating-conveyors/>
- [9] Kinergy Driven Vibrating Conveyors
- [10] <https://www.generalkinematics.com/>
- [11] POSI FLOW Vibrating conveyors
- [12] H. Bachmann, W. Ammann, Vibrations in structures, Induced by Man and Machines, International Association for Bridge and Structural Engineering, IABSE – AIPC – JVBH. Zürich, Switzerland, 1987.
- [13] H. Bachmann, W. Ammann, F. Deischl, Vibration problems in structures, Practical guidelines, Basel, Boston, Berlin, Birkhäuser, 1995.
- [14] G. Gazetas, Analysis of machine foundation vibrations: state of the art, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York, USA, 1983.
- [15] Dundović, Č. Prekrcajna sredstva prekidnoga transporta. Rijeka : Pomorski fakultet : Glosa, 2005.
- [16] T. Gregorović, D. Bognolo, M. Kršulja : Proračun i odabir parametara transportne trake, Zbornik Veleučilišta u Rijeci, 2014.
- [17] Vajzović Fahir., " MJERENJE VIBRACIJA ", Završni rad, Univerzitet u Zenici, 2011/2012.