



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

SUURE TÕUSUNURGAGA PUISTEMATERJALI KÄITLEMISSEADME

PROJEKTEERIMINE

DESIGNING A BULK MATERIAL HANDLING DEVICE WITH A STEEP RISE ANGLE

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Kaspar Adam Laht

Üliõpilaskood: 176801

Juhendaja: Toivo Tähemaa

Tallinn
2019

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“.....” 2019 a.

Töö autor

allkiri

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 2019 a.

Juhendaja

allkiri

Kaitsmisele lubatud

.....

“.....” 2019a.

.....

allkiri

TTÜ inseneriteaduskond

MSc LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

2019. aasta kevadsemester

Üliõpilane: Kaspar Adam Laht, 176801MATM

Õppekava: MATM02/15 – Tootearendus ja tootmistehnika

Eriala: Tootearendus ja tootmistehnika

Juhendaja: Dotsent, Toivo Tähemaa

MAGISTRITÖÖ TEEMA:

SUURE TÕUSUNURGAGA PUISTEMATERJALI KÄITLEMISSEADME PROJEKTEERIMINE.

DESIGNING A BULK MATERIAL HANDLING DEVICE WITH A STEEP RISE ANGLE.

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Tehnilise kirjelduse määramine	29.03.2019
2.	Valikus olevate variantide analüüs	08.04.2019
3.	Parima lahenduse leidmine	22.04.2019
4.	Valituks osutunud seadme projekteerimine	01.05.2019

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:

Töö eesmärgiks on tutvuda erinevate materjalide transportimis viisidega, leida sobilikud variandid, arvutada ja analüüsida väljapakutud lahenduste tugevused ja puudused ning lõpuni projekteerida parim lahendus

Töö keel: eesti keel

Kaitsmistootlus esitada hiljemalt:

Üliõpilane Kaspar Adam Laht

/allkiri/..... kuupäev.....

Töö esitamise tähtaeg:

Juhendaja Toivo Tähemaa

/allkiri/..... kuupäev.....

Eessõna	5
1. Sissejuhatus.....	6
2. Olemasolevate kirjeldus mis on turul pakutavad.....	8
2.1 Lintkonveier.....	9
2.2 Kruvikonveier	10
2.3 Kraapkonveier	11
2.4 Rullkonveier.....	12
2.5 Vibrokonveier	12
2.6 Pneumokonveier	13
2.7 Hüdrokonveier.....	14
2.8 Torukonveier	14
2.9 Koppkonveier	15
3. Konveierite võrdlus.....	16
4 Valikus olevad variandid mida saaks toota	18
4.1 Lintkonveieri arvutus.....	20
4.2 Kettelevaatori arvutus.....	27
4.3 Lintelevaatori arvutus	34
4.4 Kruvikonveieri arvutus	39
5. Valiku tegemine	41
6. Projekteerimine	42
7.Tugevusarvutus.....	45
Kokkuvõte	49
Summary	50
Kasutatud kirjandus	51
Lisa.....	52
Graafiline osa.....	54

Eessõna

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on leida kui mitte parim, siis optimaalseim lahendus püstitatud probleemile, milleks on materjali transportimiseks suure tõusunurgaga situatsiooniks, kus traditsiooniline lintkonveier jääb liiga väikse tõusuks, ning kruvi ja kraap/kopp konveierid muutuvad liiga raskeks ning kulukaks. Madalates kohtades(kuni 2-3m) pole probleemi, seal saab tõsta ära väikese kruvikonveieri või siis traditsiooniline lintkonveier on ka mõistliku pikkusega sellel kõrgusel veel. Probleemid tekivad, kui on vaja tõusta materjali transpordiga üle 5 m, kuni 10 m sest see on see koskkoht, kuhu eelpool mainitud variandid enam tavaliste parameetritega ei sobi, ning pole soovi teha ka galeriisid või kraap/elevaator.

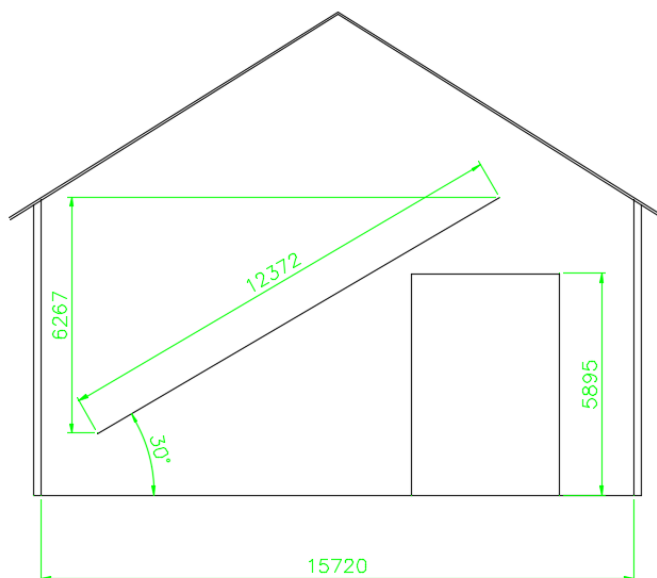
1. Sissejuhatus

Antud töö eesmärk, on leida sobilik lahendus, kuidas transportida hakkepuitu soovitud trassil.

Leitud lahendus on planeeritud töötama peamiselt katlamajades, kuna keskkonnanõuete alusel, on hetkel üks kõige eelistatuim kütus hakkepuit[22], ning see on võrdlemisi soodne ja kättesaadav[23] ning selle käitlemine on lihtne, sellega ei kaasne suuri ohte ja puudub riknevustähtaeg.

Konveiersüsteemi käsitletakse selles töös, kui alates transporditava materjali laost kätte saamisest kuni ettenähtud seadme sisendini viiva rennini välja, ainult transpordi jaoks vajalikest seadmetest, selle käitlemiseks üldsüsteem, koos abiseadmetega, antud töös arvesse ei võeta.

Leitud lahendus peab olema lihtne, ei tohi sisaldada eriseadmeid, mida saab tarnida ainult ühelt pakkujalt või tööde teostajalt, või muid piiravaid konstruktsioone. Lahendusvariant peab olema kergesti ja mittestatsionaarselt hooldatav, seadme detailide hulk võiks olla võimalikult väikene ning võimalusel olla omavahel vahetatavad, et varuosade tarnimisega ei oleks probleeme.



Sele 1.1 skits

Lahendus on mõeldud pigem vanade vedelkütuste, või põlevkivi/kivisöe katlamajade üle viimiseks hakkepuidule, või hakkepuidu alternatiivi lisamise võimaluse lisamisega kasutatava kütuse kõrvale. Sihtgrupiks on keskmise ja suure tootlikkusega katlamajad, eratarbijad ja väiketarbijad jäävad välja.

Antud teema on väga aktuaalne, sest riigihangete süsteemist leiab pea kümneid hankeid, kus soovitakse kas projekte või teostust, hakkepuidu katlamajadele.

Ning kuna vandes katlamajades on mõõtmed piiratud, suhtelised mõõtmed Sele 1.1, siis pole võimalust teha pikka ja väikese tõusunurgaga konveierit, ning samuti on katlamajadel kõrgus piiratud, ehk vertikaalsete süsteemide jaoks on samuti piiravad tingimused.

Materjali tüübist, on puistematerjalidel varisemisnurk väga tähtis, selle järgi tehakse enamus puistematerjalide arvutusi, sest puistematerjal nii ladustamise kui ka transpordi korral tuleb arvesse võtta materjali varisemisnurka. Arvutuslikus mõttes on tõusunurk tootlikkuse vastu, sest sõltuvalt selle nurga suurenemisest mahub materjali aina vähem konveierile, ning enamus viisidega, ei saagi materjali suurema tõusunurgaga, kui tema enda varisemisnurk transportida.

2. Olemasolevate kirjeldus mis on turul pakutavad

Alustuseks võrdleme konveiereid, ning leiame millised sobivad meie ülesandega, ning kuna ladustamise viis pole ette antud, või selle valikul pole piiranguid, siis saab vaadata ladustamise viisi teisejärgulisena, sõltuvana optimaalsemast konveieri valikust, mitte vastupidi.

Konveierid on ühed materjali käitlemiseks kasutatavad seadmed.

Liigitus:

Materjali järgi:

- Tükk detailid
- Puistematerjal

Asukoha järgi:

- Laes ripuvad
- Maapealsed
- Maasisesed[17]

Tööpõhimõtte(tüübi) järgi:

- Lint
- Kruvi
- Kraap
- Rull
- Vibro
- Pneumo
- Hüdro
- Toru
- Kopp

Kindlasti on konveieri tüüpe palju rohkem, kuid siinkohal on välja toodud enamlevinud, ning erinevate tootjate poolt pakutavad(mitte spetsialiseerunud) konveiereid.

Üleval nimetatud konveieritest kasutame võrdluseks järgnevas

2.1 Lintkonveier

Kõige tüüpilisem konveieri liik, lintkonveieritega saab transportida praktiliselt igat tüüpi materjali, ning ka tükktoteid.

Tööpõhimõtteks on materjali kandmine lindipeal algpunktist lõppu, materjali transportimise käigus ei mõjutata, materjal jõuab sihtkohta sellisel kujul, nagu ta peale laadimisest on lindile jäänud.

Lintkonveier nõuab, et materjal jõuaks juba liikuva voona konveierile, täis laetud konveieri puhul on konveieri käivitamine raskendatud.

Kuna on kõige levinum konveieri tüüp, siis leidub palju kirjandust projekteerimise, mahtude ja võimsuste arvutamisteks, on olemas kehtivad standardid, ka eestikeelsed.

Kasutusel on standard DIN 22101

Tavaliste lintkonveierite plussideks on:

- Universaalsus, väiksed nõuded materjalile
- Suur tootlikkus ja konveieri pikkus(61 miili)[1]
- Lihtne ehitus tagab kiire ja mugava hoolduse ja remondi
- Reversiivne võimalus
- Materjali mitmest kohast väljavõtu võimalus

Miinusteks:

- Palju liikuvaid osasid(rullikud, trumlid)
- Konveier saab liikuda ainult sirgjooneliselt
- Kõige kallim osa, lint, on kuluosa
- Suurim tõste nurk on 20-30 kraadi
- Tolmukaitse on raske

Lisaks tavalisele siledale konveierlindile, on olemas veel ribitatud lindiga, kül- ja vaheseintega lindiga, kinnitatavate koppadega ja ka toruja lindiga konveiereid, nii torujaks keeratud silelint, kui ka eri tüüpi lukustusviisiga linte(*sicon*)[21] neist kahest viimasest on torukonveierite punkti all juttu.

Kuid ülevalpool nimetatud konveierite puhul on tegemist ikkagi erijuhtudel kasutatavate konveieritega, ning neil ei pruugi olla siledalindilise konveieri miinuseid, kuid see eest pole enam universaalsed ja lihtsa ehitusega, ning erilahendustega konveierite hind on tunduvalt kallim tavalisest lintkonveierist nende omaduste tõttu.

2.2 Kruvikonveier

Horisontaalse kruvikonveieri tööpõhimõte on kruvi abil materjali edasilükkamise piiratud torus. Kuna edasi lükkavaks jõuks on kruvi, siis on vajalik, et materjal oleks suhteliselt peene, ning ei tohi olla kleepuv nii kruvi kui ka iseenda külge. Transportimise käigus toimub materjali segunemine, on olemas ka kruvikonveieri variante, kus tahtlikult on lisatud lisalabasid, et materjali veelrohkem segada. Kasutatakse väiksema fraktsiooniga materjalide transportimiseks, kasutatakse enamasti töötlevas tööstuses ja põllumajanduses.[19]

Vertikaalse kruvikonveier töötab erineval tööpõhimõttel võrreldes horisontaalse kruvikonveieriga, kasutades tsentrifugaaljõudu, et hoida materjal renni seinade vastu, et seda kruvi abil üles lükata.

Kasutatud standard VDI 2330

Kruvikonveierite plussideks on:

- Kinnine ehitus
- 1 liikuv detail
- Reversi võimalus
- Väike ruumi vajadus
- Sööturi võimalus
- Vertikaalse kruviga on võimalik tõsta otse üles
- Materjali mitmest kohast väljavõtu võimalus

Miinusteks:

- Sobib ainult teratud materjalidele
- Konveieri pikkuse piirang
- Suure hõõrdumise tõttu suur kulumine
- Materjali purustamine
- Horisontaalse kruvi tootlikkus langeb märgatavalt tõstenurga tõusuga
- Konveieri trassi pole kuidagi võimalik muuta

2.3 Kraapkonveier

Kraapkonveier lükkab mööda renni kraapidega materjali edasi. Kraapkonveierit

Kraapkonveierite plussideks on:

- Suur tugevus
- Suur tõusunurk
- Konveieri tootlikkust saab suurendada konveieri kiirusega
- Sööturi võimalus

Miinusteks:

- Konstruktsiooni suur kaal
- Suure hõõrdumise tõttu suur kulumine
- Materjali purustamine
- Konveier saab liikuda ainult sirgjooneliselt

2.4 Rullkonveier

Koosneb paljudest rullikutest, millest osad, või kõik on vedavad. Sorteerimis või väljavõtu liin korral on lisatud ka muu suunalise veoga rullikud, mis liigutavad tooteid liinil. On mõeldud peamiselt tükktoodete või transpordikonteinerite transpordiks ja nende sorteerimiseks või jaotamiseks liinide vahel.

Rullkonveierite plussideks on:

- Kiire toodete transport
- Võimalik tooteid suunata erinevate liinide vahel
- Konveier on modulaarne, saab moodustada palju erinevaid liikumis trajektoore

Miinusteks:

- Sobib ainult tükktoodetele
- Väga palju liikuvaid osasid ja elektroonikat
- Vajab kasutamise ajal kvalifitseeritud tööjõudu
- Muudatuste tegemine väga kulukas
- Kasutatav ainult sisetingimustes

2.5 Vibrokonveier

Vibrokonveier ei suuda sellist tootlikkust, nagu ülejäänud konveierid, kuid annab välja väga täpse kiirusega materjali, sobib kasutamiseks enne tehnoloogilisi seadmeid, näiteks sõelad või sorteerimisliini, kasutatakse tavaliselt tükktoodete transportimisel.

Vibrokonveierite plussideks on:

- Konveieri robustsus
- Puuduvad otseselt kuluvad detailid
- Võrreldes teiste viisidega delikaatne materjali käitlemine
- Piiratud konveieri pikkus
- Temperatuuri taluvus

Miinusteks:

- Saab transportida ainult tahkeid materjale
- Konveier saab liikuda ainult sirgjooneliselt

2.6 Pneumokonveier

Pneumokonveierid kasutavad suruõhku või vaakumit, et liigutada materjali või transpordi kapsleid.

Vaakum torudes kasutatakse kapsleid, mille abil transporditakse kas tükktoteid, või siis materjali.

Suruõhu torukonveieriga saab

Pneumokonveierite plussideks on:

- Kiirus
- Trassi paindlikkus
- Liini on kiire ja lihtne ümber ehitada/suunata
- Tolmuvaba

Miinusteks:

- Vajab spetsiaalseid seadmeid
- Ainult kindlate materjalide transportimiseks
- Isegi väikesed lekkes mõjutavad konveieri tööd märgatavalt
- Hermeetiline – 1 sisend – 1 väljund

2.7 Hüdronkonveier

Hüdronkonveierit kasutatakse eelkõige tuhaärastuses, kus on vaja transportida üleliigne materjal kaugemale ära, ning seda ei ole vaja peale transportimist kohe vaja edasi kasutada, kuna transporditav läga peab settima ja selle kuivendus võtab aega. [18] Pikimad

Hüdronkonveierite plussideks on:

- Odavus
- Konveieri pikkus(300 km) [4]
- Trassi paindlikkus

Miinusteks:

- Materjal peab olema vees lahustuv
- Ei tohi reageerida veega
- Materjali lõplik kättesaamine on aeglane

2.8 Torukonveier

Torukonveier ei ole tööpõhimõtte järgi rakendatav konveierite liigitus, vaid konveieri kuju järgi, seetõttu tuleb alati üle täpsustada, millist torukonveieri tüüpi antud olukorras mõeldakse. Torukonveieriteks võib nimetada lintkonveierite variante, kus lint on toruja kujuga mille sees transporditakse materjali. Samuti nimetatakse kraapkonveiereid, millel on toruja kujuga renn, ning mille sees tõmmatakse keti külge kinnitatud ketastega materjali toru mööda edasi. Enamus hüdro- ja pneumokonveiereid liigitub kuju järgi torukonveieriteks, kuid kuna nende konveierite ainuke võimalik konstruktsioon on toru, siis on need on üheselt mõistetavad enda tööpõhimõtte järgi, ning neid ei käsitleta antud lõputöös torukonveieritena.

Torukonveierite plussideks on:

- Kiire ja lihtne paigaldus
- Konveieri trass on paindlik

Miinusteks:

- Nõuab eriteadmisi
- Ainult kindlate materjalide transportimiseks

2.9 Koppkonveier

Koppkonveier samuti ei ole tööpõhimõtte järgi rakendatav liigitus, vaid selleks kasutatava lisaseadme – kopa, kasutamise järgi, ning neid kutsutakse ka elevaator konveieriteks. Koppkonveierid põhinevad tavaliselt kas kraap- või lintkonveierite põhjal. Lintelevaator on konstrueeritud, kui lintkonveier, kuid selle asemel, et materjal paikneks lindi peal, on lindile lisatud kopad, mille sisse siis materjal kogutakse, ning mille abil saavutatakse kuni vertikaalse transportimise võimalus. Lintelevaatoritele tuleb materjal peale laadida sarnaselt lintkonveieriga, pealt poolt, ühtlase voona. Kettelevaatorid põhinevad kraapkonveieritel, millel on keti või kettide külge kinnitatud kopad, see on väga robustne variant, ning kettelevaator saab materjali ise materjali täitmiskolust kätte. Ning sarnaselt lintelevaatorile, annab koppade kasutamine siin võimaluse transportida materjali kuni vertikaalse asendini, ning erinevalt lintelevaatorist, jääb kettelevaatorile alles sööturi omadus.

Koppkonveierite plussideks on:

- Suur tootlikkus
- Sööturi võimalus
- Suur tõusunurk
- Konveieri tootlikkust saab suurendada konveieri kiirusega

Miinusteks:

- Palju liikuvaid osasid
- Suur kaal
- Konveier saab liikuda ainult sirgjooneliselt

3. Konveierite võrdlus

Allpool, tabelis 1 on kokkuvõtte konveierite omadustest tüübi järgi:

Tabel 1. Konveierite võrdlus

Konveieri tüüp	Lint-konveier	Kruvi-konveier	Kraap-konveier	Rull-konveier	Vibro-konveier	Pneumo-konveier	Hüdro-konveier	Toru-konveier	Kopp-konveier
Materjali nõuded	Vähene	Vähene	Vähene	Nõudlik	Keskmine	Nõudlik	Väga nõudlik	Keskmine	Vähene
Tootlikkus	Suur	Keskmine	Väike	Väike	Väike	Keskmine	Suur	Keskmine	Suur
Pikkus [m]	<60000	>10	<20	<500	>35 [2]	<5000 [3]	<300000	<20	<200
Tõusunurk	>20° 35°*	>20° ja 90°	>20°	>20°	>20°	0-90°	0-90°	0-90° >35°**	0-90°
Keerukus	Lihtne	Lihtne	Lihtne	Lihtne	Lihtne	Keeruline	Keeruline	Väga keeruline	Lihtne
Kaal	Keskmine	Suur	Suur	Väike	Keskmine	Keskmine	Väike	Keskmine	Keskmine
Kuluosad	Keskmine	Vähe	Palju	Palju	Vähe	Vähe	Vähe	Keskmine	Keskmine
Trajektoor	Keskmine	Väike	Väike	Paindlik	Keskmine	Paindlik	Väike	Keskmine	Keskmine
Ohutus	Keskmine	Väga väike	Suur	Väike	Väga väike	Väike	Väike	Väike	Keskmine

*ribitatud lindiga [20]

**sicon konveier [21]

Kuna meie ülesandes transporditakse puiduhaket, mis iseenesest pole väga raskesti käsitletav materjal, kuid sellegi poolest, pole tegu tükktoodetega, mis välistab rullkonveieri. Samuti materjali omadustest tingituna, ei ole seda lihtne pneumo- ja hüdrokonveieriga transportida, kuna väikese tükisuurusega haket on keeruline ja ebaefektiivne peumokonveieriga transportida, ning hüdrokonveieriga transportides, märgub puit, ning ei ole kasutatav enam ome esialgsel eesmärgil, ehk kütteks.

Keerukuse tõttu jääb välja lisaks pneumo- ja hüdrokonveierile ka torukonveier, kuna antud tehnoloogia keerukus ja spetsiifilisus ei tasu nii lühikese ja lihtsa trassi peal ära.

Tootlikkuse tõttu jäävad välja vibro- ja kraapkonveier, sest vibrokonveier on üldse väga tundlik, materjali tõusule, ning rääkimata vajatud pikkusega vibrokonveier, või lausa mitu konveierit, antud juhul, ei suudaks ettenähtud tootlikkust tagada. Kraapkonveier, oleks väiksema tõusu ja lühema pikkuse korral konkurents, kuid kuna tõusunurga suurenemisega väheneb ka transporditava materjali osakaal, nagu hiljem elevaatorite juures selgub, ning kuna niigi kraapides on lükatava materjali kadu suur, siis meie ülesandes ettenähtud parameetrite puhul, muutuks kraapkonveier liiga massiivseks, mis on antud töö kontekstis vastupidine soovitud tulemusele.

4 Valikus olevad variandid mida saaks toota

Eelnevalt, tabelis 1, selgub, et antud töö eesmärkidega sobivad lintkonveier, kruvikonveier ja koppkonveier.

Kui esimese kahe variandi puhul on selge, millist tüüpi konveierit täpselt on silmas peetud, siis koppkonveieri puhul on võimalik erinevad tõlgendused. Sellest tingituna, on plaanis võrrelda kahte koppkonveieri tüüpi, ühel juhul kettelevaatorit, millel on valitud kopad ühendatud kettide külge, mis veavad koppasid ringi, ning teisel juhul lintelevaatorit, kus lintkonveieri lindi külge kinnitatakse kopad, või ongi spetsiaalne lint, kuhu on vulkaniseeritud juba kopalaadsed seinad, mis töötavad koppadena, kuid lintelevaatori lõplik lahendus, selgub antud peatükis.

Lõplik valik tehakse antud konveierite vahel:

- Lintkonveier
- Kruvikonveier
- Lintelevaator
- Kettelevaator

Kõik eelpool mainitud konveierid vastavad töös ettenähtud nõuetele, nendega on võimalik hakkepuitu transportida, antud tõusunurga(30°) saavutamise vajaliku tootlikkuse juures on nendega võimalik, ning need on enam-vähem üldlevinud konveierid, ehk nende detailid, või muud osad, ei ole piiratud väheste pakkujatega, kellel on tehnoloogiliste lahendustele ainuõigus.

Antud konveierite jaoks tehakse esialgsed arvutused, mis mõõtmega antud konveier tuleks, ning samuti vajaliku mootorivõimsuse leidmine konveieritele.

Lähteandmed sobivate konveierite arvutamiseks:

Massitootlikkus: 100 t/h

Materjali puistekaal: 400kg/m³

Mahutootlikkus: 250 m³/h

Pikkus: 12m

Kõrgus: 7m

Tõstenurk: 30°

Hakkepuidu varisemisnurk: 43°[7]

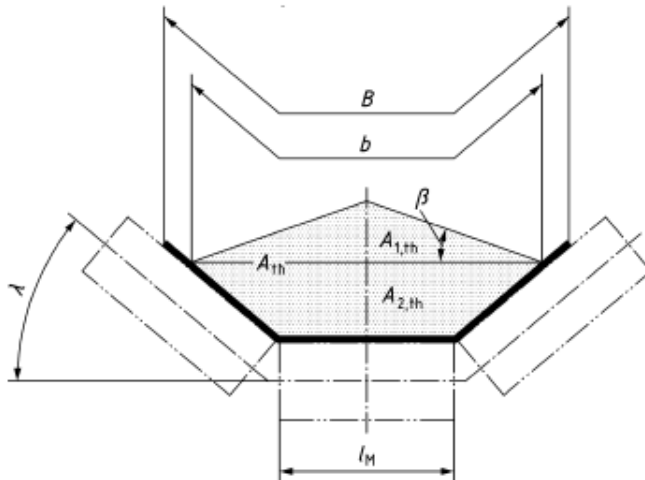
Hakkepuidu nurk lindil: 30°[8]

4.1 Lintkonveieri arvutus

Arvutame antud andmete põhjal lintelevaatorile vajaliku lindi suuruse ja muud parameetrid:

Arvutame DIN 22101 järgi sobiliku lintkonveieri parameetrid.

Lintkonveieril kasutame kolme rullikuga varianti, mis annab suurima tootlikkuse.



Sele 4.1. Kolme rullikuga lintkonveieri rullikute skeem. [DIN 22101]

Rullikute kaldenurk $\lambda = 45^\circ$

Kõige kitsam lint, mis suudab tagada vajaliku tootlikkuse, on 650 mm.

Lindi kasulik laius:

$$b = 0,9 \cdot B - 50 \text{ mm} \quad (4.1)$$

Kus,

b = Lindi kasulik laius

B = Valitud Lindi laius

$$b = 0,9 \cdot 650 - 50 = 535 \text{ mm}$$

Valime vastavalt sobilikule lindile standard pikkuses rullikud.

650 mm lindile on kolme rullikuga süsteemil ettenähtud $l_M = 315$ mm pikkused rullikud. [9]

Rullikute diameetri leidmiseks arvutame koormuse rullikutele:

$$F_T = \left(\frac{Q}{3,6 \cdot v} + G \right) \cdot a \cdot 10 \quad (4.2)$$

Kus,

F_T = Koormus rulliku paarile, N

Q = Massitootlikkus, t/h

v = Lindi kiirus, m/s

G = Lindi kaal, esialgselt võtame 15kg/m

a = Rullikute vahekaugus, esialgselt võtame 1,5 m

$$F_T = \frac{100}{3,6 \cdot 2} \cdot 20 \cdot 1,5 \cdot 10 = 433 \text{ N}$$

Leiame koormuse keskmisele rullikule:

$$F_Q = e \cdot c \cdot F_T \quad (4.3)$$

Kus,

F_Q = Koormus keskmisele rullikule, N

e = kujufaktor, tabel 1, 0,70 . [9]

c = tükifaktor, tabel 2, 1,0 . [9]

$$F_Q = 433 \cdot 0,7 \cdot 1 = 303 \text{ N}$$

Rulliku diameetri valime diagrammilt 1 [9]

Rullik tuleb valida nii, et pöörlemiskiirus jääks 300...600 1/min vahele.

Sobilikud rullikud oleksid vahemikus 76 mm kuni 133 mm, kuid kuna 108 mm ja 133 mm on enim kasutatavad, ning nendel on pakkuda ka erinevates mõõtudes võlle.

Seega valime 108 mm läbimõõduga rulliku.

Kuna rullikutele mõjuvad jõud ei ületa 6000 N, siis sobivad 20 mm läbimõõduga võlliga rullikud.

Arvutame vähendusfaktori:

$$\phi_{St1} = \sqrt{\frac{\cos^2 \delta_{max} - \cos^2 \beta_{dyn}}{1 - \cos^2 \beta_{dyn}}} \quad (4.4)$$

Kus,

ϕ_{st1} = Vähendusfaktor osalise ristlõike jaoks

β_{dyn} = Hakkepuidu nurk liikuvall lindil, °

δ_{max} = Konveieri tõusunurk, °

$$\phi_{St1} = \sqrt{\frac{\cos^2 30 - \cos^2 20}{1 - \cos^2 20}} = 0 \quad (4.5)$$

$$A_{1,th} = [l_M + (b - l_M) \cdot \cos \lambda]^2 \cdot \frac{\tan \beta}{4} \quad (4.6)$$

Kus,

$A_{1,th}$ = Teoreetiline ülemine ristlõike pindala, mm²

l_m = Valitud rulliku pikkus, mm

β = Materjali nurk ristlõikes, °

$$A_{1,th} = [315 + (535 - 315) \cdot \cos 45]^2 \cdot \frac{\tan 30}{4} = 0,019 \text{ mm}^2$$

$$A_{2,th} = \left[l_M + \frac{b-l_M}{2} \cdot \cos \lambda \right] \cdot \frac{b-l_M}{2} \cdot \sin \lambda \quad (4.7)$$

Kus,

$A_{2,th}$ = Teoreetiline alumine ristlõike pindala, mm²

$$A_{2,th} = \left[315 + \frac{535-315}{2} \cdot \cos 45 \right] \cdot \frac{535-315}{2} \cdot \sin 45 = 0,035 \text{ mm}^2$$

$$A_{th} = A_{1,th} + A_{2,th} \quad (4.8)$$

Kus,

A_{th} = Teoreetiline ristlõike pindala, mm²

$$A_{th} = 0,019 + 0,035 = 0,054 \text{ mm}^2$$

$$\phi_{St} = 1 - \frac{A_{1,th}}{A_{th}} \cdot (1 - \phi_{St1}) \quad (4.9)$$

Kus,

ϕ_{st} = Vähendusfaktor kogu ristlõike jaoks

$$\phi_{St} = 1 - \frac{0,019}{0,054} \cdot (1 - \phi_{St1}) \quad (4.10)$$

$$\phi = \phi_{Betr} \cdot \phi_{St} \quad (4.11)$$

Kus,

ϕ - Täituvus koefitsient

ϕ_{Betr} - Täituvus koefitsient sõltuvalt konveieri tingimustest = 1

$$\phi = 1 \cdot 0,66 = 0,66$$

$$I_{V,th} = A_{th} \cdot v \quad (4.12)$$

Kus,

$I_{V,th}$ - Teoreetiline mahutootlikkus, m^3/s

v – Lindi kiirus, 2 m/s

$$I_{V,th} = 0,054 \cdot 2 = 0,108 \text{ m}^3/s$$

Arvutame vajaliku lintkonveieri tootlikkuse:

$$I_{m,N} = \phi * \rho \cdot I_{V,th} \quad (4.13)$$

Kus,

$I_{m,N}$ – Konveieri massitootlikkus

ρ – materjali puistekaal

$$I_{m,N} = 0,66 \cdot 400 \cdot 0,108 = 28,5 \text{ kg/s}$$

$$\text{Teisendus: } I_{m,N} = \frac{28,5 \text{ kg} \cdot 3600}{1000} = 102 \text{ t/h}$$

Valitud lindi laius sobib antud ülesande jaoks.

Järgmiseks, arvutame antud lintkonveieri jaoks hinnangulise vajaliku mootori võimuse.

Leiame vajaliku ületatava jõu:

$$F_W = F_H + F_N + F_{St} \quad (4.14)$$

Kus,

F_W = Konveieri vastujõud

F_H = vajaliku ületatava hõõrdejõu konveieril

F_N = Lokaalsed takistused konveieril

F_{St} = Materjali tõstmiseks kuluv jõud

Arvutame vajaliku ületatava hõõrdejõu konveieril:

$$F_H = l_I \cdot f_I \cdot g \cdot [m'_{R,I} + (m'_G + m'_{L,I}) \cdot \cos\delta_i] \quad (4.15)$$

Kus,

F_H = Konveieri hõõrdejõud, N

l_I = konveieri pikkus, m

f_I = hõõrde koefitsient, 0,04, DIN 22101 põhjal.

g = raskuskiirendus, 9,81

$m'_{R,I}$ = rullikute liikuvate osade kaal ($3 \cdot 2,9 + 7,1 = 15,2$ kg/m)

m'_G = lindi kaal, kg

$m'_{L,I}$ = materjali lineaarkoormus, kg/m

Arvutame lintkonveieri lineaarkoormuse:

$$m'_{L,N} = \varphi \cdot \rho \cdot A_{th} \quad (4.16)$$

$$m'_{L,N} = 0,66 \cdot 400 \cdot 0,054 = 14,256$$

$$F_H = 12,4 \cdot 0,04 \cdot 9,81 \cdot [15,2 + (2 \cdot 15 + 14,256)] = 289 \text{ N}$$

Arvutame lokaalsed takistused konveieril:

$$F_n = F_{Auf} + F_{Sh} + F_{Gr} \quad (4.17)$$

Kus,

F_{Auf} = Takistus materjali kiirendamisel, N

F_{Sh} = Takistus materjali laadimisalal, ~250N, [16]

F_{Gr} = Lindipuhastite takistus, N

Takistus materjali kiirendamisel:

$$F_{Auf} = I_m \cdot (v - v_0) \quad (4.18)$$

Kus,

v_0 = Materjali algkiirus

$$F_{Auf} = 28 \cdot (2 - 0) = 56 \text{ N}$$

Lindipuhastite takistus:

$$F_{Gr} = \mu_4 \cdot \rho_{Gr} \cdot A_{Gr} \cdot n \quad (4.19)$$

Kus,

μ_4 = hõõrdetegur, 0,03...0,1 N7mm², DIN 22101

ρ_{Gr} = kontaktsurve, 0,7, DIN 22101

n = puhastite arv

A_{Gr} = Kokkupuute pindala

$$A_{Gr} = B \cdot 10 \text{ mm} = 800 \cdot 10 = 8000 \text{ mm}^2$$

$$F_{Gr} = 0,1 \cdot 0,7 \cdot 8000 \cdot 2 = 1120 \text{ N}$$

$$F_N = 56 + 250 + 1120 = 1426 \text{ N}$$

Leiame materjali tõstmiseks kuluv jõud:

$$F_{St,i} = h_i \cdot g \cdot (m'_G + m'_{L,i}) \quad (4.20)$$

Kus,

h_i = konveieri kõrgus. 6,3m

$$F_{St,i} = 6,3 \cdot 9,81 \cdot (15 + 14,256) = 1808N$$

$$F_W = 289 + 1426 + 1808 = 3523N$$

Leiame vajaliku mootori võimsuse:

$$P_W = F_W \cdot v \tag{4.21}$$

Kus,

P_w = konveieri vajalik võimsus

$$P_W = 3523 \cdot 2 = 7000W$$

Mootori nõutav võimsus:

$$P_M = \frac{P_{W,max}}{\eta_{ges}} \tag{4.22}$$

Kus,

η_{ges} = ülekande efektiivsus, rihmülekanne, 0,90 [10]

$$P_M = \frac{7000}{0,9} = 7780W$$

Valime mootor 11kW (7,5 sobiks samuti napilt)

4.2 Kettelevaatori arvutus

Arvutame kettelevaatorile vajaliku kopa suuruse:

$$I_{VN} = \phi \cdot V_B \cdot \frac{v}{C} \quad (4.23)$$

Kus,

I_{VN} - Arvutatud mahutootlikkus

ϕ - Täituvus koefitsient

V_B - Kopa teoreetiline täituvus, 0,6 [5]

v – Konveieri kiirus

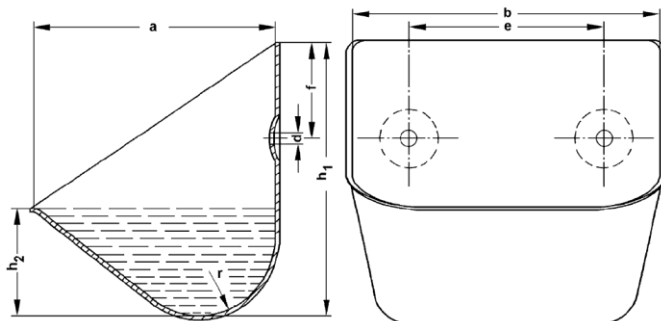
C – Koppade vahekaugus

Täituvus Lintlevaatorite ettenähtud kiirus on kuni 2,5m/s, antud juhul valime 2 m/s.

Soovituslik koefitsient soovitatakse valida 0,75..0,9 vahel, antud juhul valime 0,75.

koppade vahekaugus on 2...3 kopa enda projektsiooni pikkust,[5] valime vahekauguseks 2 kopa pikkust, või kuni 0,5m.

Kopa suurused valime DIN 15234 pakutavate koppade seast.



Sele 4.2 Keskmise sügavusega standard mõõdus(DIN 15234) kopp. [11]

Kõige väiksem kopp, mis suudab tagada vajaliku tootlikkuse, on 630x280x4[6].

$$I_{VN} = 0,75 \cdot 0,6 \cdot \frac{2}{0,5} = 0,0705 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Teisendus: } I_{VN} = 0,0705 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 3600 = 253,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

Antud kopa massiks on 17,6 kg.

Kinnitamiseks kasutame 700x50x6 mm liistu, mis kinnitatakse ketile.

Keti arvutus:

Tegemist ei ole suurendava ega vähendava ülekandega, vaid otse 1:1 ülekandega, ehk nii vedav kui ka veetav ketiratas on täpselt samade parameetritega.

Kuna arvutustes vajatakse juba alguses esialgset sobilikku keti sammu, ning sellele vastavat ketiratta suurust, siis eelnevalt põhiarvutusele, on esmaste hinnanguliste arvutustega leitud sobiliku keti parameetrid, mille järgi saab leida vajaliku keti tüübi ning ketirattad.

Esmastel arvutustel leiti, et keti samm peaks tulema 60 mm lähedale. Sellest tulenevalt valitakse standard sammuga 63,5mm kett, ning sellele vastav ketiratas, mille põhjal teostatakse sobiva keti arvutus.

Kuna tegemist on suure pöörlemissagedusega ketiga, siis tuleb valida minimaalne hammasratta hammaste arv 19...23. [12]

Valime hammaste arvuks: $z = 19$ [12].

$$K = k_d \cdot k_a \cdot k_n \cdot k_r \cdot k_m \quad (4.24)$$

Kus,

k_d – dünaamikategur, [12],

k_a – telgede vahe mõju arvestav tegur, [12],

k_n – keti kaldenurka arvestav tegur, [12],

k_r – keti pingutusreguleerimist arvestav tegur, [12],

k_m – määrimist arvestav tegur, [12].

$$K = 1,25 * 1,25 * 1,25 * 1,25 * 1,3 = 3,2$$

Pöördemomendi leidmiseks otsime 63,5 mm sammuga ja 19 hambaga ketiratta diameetri.

Sobiliku ketiratta diameetriks on 385,79 mm[13].

Pöördemomendi leidmise jaoks, võtame kasutatavaks mootoriks 11kW mootori.

Kasutame valemit (4.21), et leida vedava ketiratta maksimaalse pöördemomendi:

$$F_{max} = \frac{11000}{2} = 5500N$$

$$T = F * r \quad (4.25)$$

Kus,

r = ketiratta raadius

$$T = 5500 \cdot 0,38579 = 2121N$$

Kuna kasutame rihmülekanne keti õige kiiruse saavutamiseks, arvutame vedava ketiratta pöördemomendi:

$$T_{max} = T \cdot n \quad (4.26)$$

Kus,

n = ülekande efektiivsus, rihmülekanne, 0,90 [10]

$$T_{max} = 2121 * 0,9 = 1908Nm$$

Arvutame ketiratta pöörlemiskiiruse:

$$\omega_{rad} = v/r \quad (4.27)$$

$$r = \frac{0,38579}{2} = 192,985$$

$$\omega_{rad} = \frac{2}{0,192895} = 10,3rad/s$$

$$n = 60/2\pi \cdot \omega_{rad,s} \quad (4.28)$$

$$n = \frac{60}{2\pi} \cdot 10,3 = 99 \text{ rpm}$$

Arvutame keti sammu:

$$t \geq 2,8 \cdot \sqrt[3]{\frac{KT_K}{z_1 \rho}} \quad (4.29)$$

Kus,

p – keskmine erisurve

Valime $p = 25 \text{ MPa}$, Lisa, Tabel 1. Kuna $z_1 \neq 17$ siis

$$p = p_{alg} * 1 + 0,01(z_I - 17) = 25 * [1 + 0,01(19 - 17)] = 25,5$$

Leiame keti sammu:

$$\sqrt[3]{\frac{3,2 * 1908}{19 * 25,5 * 106}} * 2,8 = 0,0639 \text{ m} = 65 \text{ mm}$$

Antud konveieri puhul, sobib valida 63,5 mm 40B1 kett, ning sellele vastav 19 hambaga ketiratas.[13]

Arvutame keti kiiruse:

$$v = \frac{z_1 * t * n_M}{60 * 10^3} \quad (4.30)$$

Kus,

v = keti kiirus,

t = keti samm, 63,5 mm [13]

n_M = ketiratta pöörlemiskiirus,

$$v = 19 * 63,5 * \frac{99}{60000} = 1,99 \text{ m/s}$$

Arvutame ringjõu:

$$F_R = \frac{T_K \omega}{v} = \frac{T_K \pi n_M}{30v} \quad (4.31)$$

$$F_R = \frac{1908 * \pi * 99}{30 * 1,99} = 9940 \text{ N}$$

Arvutame rullides tekkiva surve:

$$p = \frac{KF_R}{A} = \frac{KF_R}{bd} \quad (4.32)$$

Kus,

b = rulli Laius, 38,1 mm,[13]

d = rulli läbimõõt, 39,37 mm, [13]

$$p = 3,2 * \frac{9940}{38,1 * 39,77} = 20,99$$

Kuna p on väiksem, kui p_{alg} siis antud kett sobib.

Jõud ketis:

Läbipaindest:

$$F_f = 9,81 \cdot k_f \cdot q \cdot a \quad (4.33)$$

Kus,

k_f – ülekanne asendit arvestatav tegur, 1, [12]

a – telgede vahe (valime $a \approx 950$ mm).

q = keti mass, 16,4 kg, [13]

$$F_f = 9,81 \cdot 1 \cdot 16,4 \cdot 2000 = 321768 \text{ N}$$

Tsendrifugaaljõust:

$$F_t = qv^2 \quad (4.34)$$

$$F_t = 16,4 \cdot 1,99^2 = 65 \text{ N}$$

Keti tugevuse varutegur

$$S = \frac{F_{kr}}{F_R F_t F_f} \quad (4.35)$$

Kus,

F_{kr} = keti kriitiline koormus, 355kN, [13],

$$S = \frac{355000}{9940} + 65 + 321768 = 1,07$$

Varutegur on suurem kui 1, kuid tuleb arvesse võtta, et kasutatakse kahte ketti kummaski kopa ääres, et tegelikult on varutegur ketile enam kui 2 kordne.

LAYOUT G

Chain rolling and material carried



$$P_B = 9.81 \times W_c \times L \times \mu_{s1} \text{ (N)}$$

$$C_p = 9.81 \times \mu_{s2} [(W_c \times L) + W] + P_B \text{ (N)}$$

$$K = \frac{C_p \times V}{1000} \text{ (kW)}$$

Sele 4.3 Kettelevaatori asendist tulenevad valemid.

Järgmiseks, arvutame antud kettelevaatori jaoks hinnangulise vajaliku mootori võimuse.[14]

$$W_c = 2 \cdot 16,4 + \frac{17,6+8}{0,5} = 84 \text{ kg/m}$$

Kus 8kg on kinnitusplaadid

$$P_b = 9,81 \cdot 84 \cdot 12,4 \cdot 0,15 = 1533N$$

Leiame teoreetilise massitootlikkuse:

$$I_{m,Th} = \rho \cdot I_{V,th} \tag{4.36}$$

$$I_{m,Th} = 0,0705 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 28,2 \text{ kg/s}$$

$$W = \frac{I_{m,Th}}{v} \tag{4.37}$$

$$W = \frac{28,2}{2} = 14,1 \text{ kg/m}$$

$$C_p = 9,81 \cdot 0,15 \cdot ((84 \cdot 12,4) + 14,1) + 1533 = 3086N$$

Leiame vajaliku mootori võimsuse:

$$P_W = F_W \cdot v \tag{4.38}$$

Kus,

P_W = konveieri vajalik võimsus

$$P_W = 3086 \cdot 2 = 6172W$$

Mootori nõutav võimsus:

$$P_M = \frac{P_{W,max}}{\eta_{ges}} \quad (4.39)$$

Kus,

η_{ges} = ülekande efektiivsus, rihmülekanne, 0,90 [10]

$$P_M = \frac{6172}{0,9} = 6858W$$

Valime mootor 11kW (7,5 sobiks samuti napilt)

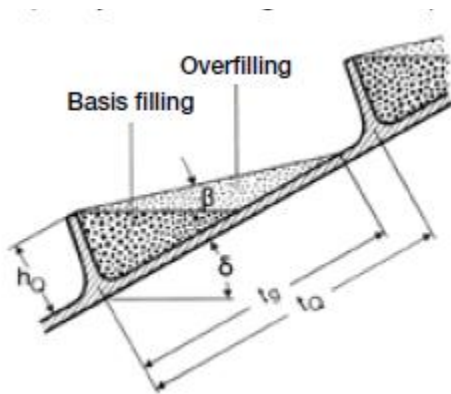
4.3 Lintelevaatori arvutus

Lintelevaatorit saab teha kas täpselt samasuguse kopaga, nagu eelnevalt on tehtud kettelevaator, või siis kasutada spetsiaalset taskute või koppadega/profileeritud linti.

Kuna eelnevalt on koppadega variant läbi tehtud, ning ainuke erinevus oleks koppade kinnitamine lindi peale, erinevalt kettide külge kinnitamisest eespool.

Koppade lisamine annab juurde rohkem kaalu, kui külgseintega lindi enda kogukaal.

Seetõttu lintelevaatori puhul kasutame koppade asemel hoopis seintega linti, mida on kujutatud allpool.



Sele 4.4 Lintelevaatori ristlõige[15]

Leiame materjali pikkuse lindil:

$$t_g = \frac{h_Q}{\tan(\delta - \beta)} \quad (4.40)$$

Kus,

t_g = materjali pikkus lindil

h_Q = horisontaalsete seinte kõrgus

δ ja β on eelnevalt antud (30 ja 20 kraadi)

$$t_g = \frac{65}{\tan(30 - 20)} = 372 \text{ mm}$$

Leiame teoreetilise mahutootlikkuse:

$$Q_{Vth} = \frac{h_Q \cdot b_{eff} \cdot t_g}{2 \cdot t_Q} \cdot v \cdot 3600 \quad (4.41)$$

Kus,

Q_{Vth} = teoreetiline mahutootlikkus

b_{eff} = materjali mahutav lindi laius

t_Q = seinte samm, 200 mm [15]

materjali mahutav lindi Laius:

$$b_{eff} = B - 2 \cdot b_f \cdot (b_r - 10) \quad (4.42)$$

Kus,

b = materjali mahutav lindi laius

B = Valitud Lindi laius

b_f = külkseinte laius

b_r = äärmiste rullikute laius

$$b_{eff} = 800 - 2 \cdot 60 - 2 \cdot (55 - 10) = 590 \text{ mm}$$

$$Q_{Vth} = \frac{65 \cdot 590 \cdot 372}{200 \cdot 2} \cdot 3600 \cdot 2 = 256 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Meile sobib lint laiusega 800mm, äärte seinte kõrgus 65 ja horisontaalsete seinte kõrgus 65.

Lindi enda kaal on 15kg/m kuid lisada tuleb veel külkseinte mass, 2*1,5 kg/m ning lisaks iga horisontaalse seina mass, 0,7 kg, [15].

Lindi kogukaal:

$$m'_G = 15 + 2 \cdot 1,5 + 0,7 / 0,2 = 21,5 \text{ kg/m}$$

Rullikuteks on kõik 950 mm, 108 mm läbimõõduga rullikuga ning 20 mm läbimõõduga võlliga.[9]

Lisaks on vaja lintelevaatoril külgmisi lindihoidmis rullikuid. [9]

Valime 108 mm läbimõõduga rullikud, mille pikkus on 100mm, kuid lindiga kontaktis olev ala on 55 mm.

Järgmiseks, arvutame antud lintkonveieri jaoks hinnangulise vajaliku mootori võimuse, mis sarnaneb eespool, lintkonveierile leitud viisil.

Leiame vajaliku ületatava jõu:

$$F_W = F_H + F_N + F_{St} \quad (4.43)$$

Kus,

F_W = Konveieri vastujõud

F_H = Vajaliku ületatava hõõrdejõu konveieril

F_N = Lokaalsed takistused konveieril

F_{St} = Materjali tõstmiseks kuluv jõud

Arvutame vajaliku ületatava hõõrdejõu konveieril:

$$F_H = l_I \cdot f_I \cdot g \cdot [m'_{R,I} + (m'_G + m'_{L,I}) \cdot \cos\delta_i] \quad (4.44)$$

Kus,

F_H = Konveieri hõõrdejõud

l_I = konveieri pikkus

f_I = hõõrde koefitsient, 0,04, DIN 22101 põhjal.

g = raskuskiirendus, 9,81

$m'_{R,I}$ = rullikute liikuvate osade kaal (7,1 + 6 = 13,1 kg/m)[9]

m'_G = lindi kaal

$m'_{L,I}$ = materjali lineaarkoormus

Arvutame lintkonveieri lineaarkoormuse:

$$m'_{L,N} = \varphi \cdot \rho \cdot A_{th} \quad (4.45)$$

$$m'_{L,N} = 0,66 \cdot 400 \cdot 0,054 = 14,256$$

$$F_H = 12,4 \cdot 0,04 \cdot 9,81 \cdot [13,1 + (2 \cdot 21,5 + 14,256)] = 342 \text{ N}$$

Arvutame lokaalsed takistused konveieril:

$$F_N = F_{Auf} + F_{Sh} + F_e \quad (4.46)$$

Kus,

F_{Auf} = Takistus materjali kiirendamisel

F_{Sh} = Takistus materjali laadimisalal, ~250N, [16]

F_e = Takistus lindi jäikusest

Takistus materjali kiirendamisel:

$$F_{Auf} = I_m \cdot (v - v_0), \quad (4.47)$$

$$F_{Auf} = 28 \cdot (2 - 0) = 56 \text{ N}$$

$$F_e = l_l \cdot \varphi_e \quad (4.48)$$

Kus,

φ_e = lindi jäikusest tulenev tegur, 80, [16]

$$F_e = 12,4 \cdot 80 = 992 \text{ N}$$

$$F_N = 56 + 342 + 992 = 1390 \text{ N}$$

Leiame Materjali tõstmiseks kuluv jõud:

$$F_{St,i} = h_i \cdot g \cdot (m'_G + m'_{L,i}) \quad (4.49)$$

Kus,

h_i = konveieri kõrgus. 6,3m

$$F_{St,i} = 6,3 \cdot 9,81 \cdot (21,5 + 13,1) = 2138 \text{ N}$$

$$F_W = 1390 + 2138 = 3528 \text{ N}$$

Leiame vajaliku mootori võimsuse:

$$P_W = F_W \cdot v \quad (4.50)$$

Kus,

P_w = konveieri vajalik võimsus

$$P_w = 3528 \cdot 2 = 7056W$$

Mootori nõutav võimsus:

$$P_M = \frac{P_{w,max}}{\eta_{ges}} \quad (4.51)$$

Kus,

η_{ges} = ülekande efektiivsus, rihmülekanne, 0,90 [10]

$$P_M = \frac{7056}{0,9} = 7840W \text{ Mootor 1 aste suurem, ehk 11kW (7,5 sobiks napilt)}$$

4.4 Kruvikonveieri arvutus

Arvutame sobiva kruvikonveieri diameetri ning mud parameetrid.

Arvutamiseks kasutame VDI 2330 standardit.

Vajalik mahutootlikkus:

$$l_v = 250 \text{ m}^3/h$$

$$\text{Teisendus: } l_v = 250 \cdot 3600 = 0,069 \text{ m}^3/s$$

Leiame kruvikonveieri täituvusteguri:

$$\phi_1 = \frac{-A_0 + \sqrt{A_0^2 + \frac{16 \cdot (A_7 + A_{10} \cdot \beta^{-A_{11}}) \cdot l_v}{\pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot S \cdot n}}}{2 \cdot (A_7 + A_{10} \cdot \beta^{-A_{11}})} \quad (4.52)$$

Kus,

ϕ_1 = täituvustegur

$A_0 \dots A_{11}$ = Arvutus tegurid, VDI

D = kruvi diameeter

D = kruvi toru diameeter

S = kruvi samm

n = kruvi pöörlemiskiirus

Sobiliku diameetri ja sellele vastavad kiirused, leiame VDI diagrammidelt, mis on Lisa 1

$$\phi_1 = \frac{-0,88 + \sqrt{0,88^2 + \frac{16 \cdot (0,0996 + 40400 \cdot 30 \cdot 3,872) \cdot 250}{\pi \cdot (0,5^2 - 0,1413^2) \cdot 0,4 \cdot 4,17}}}{2 \cdot (0,0996 + 40400 \cdot 20^{-3,872})} = 0,252 \quad (4.53)$$

Täituvustegur väheneb 1% võrra iga 1 kraadi kohta, mis on väikse kui 60 kraadine tõus

$$60 - 30 = 30$$

$$\phi = \phi_1 \cdot \left(\frac{1-30}{100}\right) = 0,176$$

Leiame telgkiiruse:

$$v_{ax} = S \cdot n \cdot [A_0 + (A_7 + A_{10} \cdot \beta^{-A_{11}}) \cdot \phi] \quad (4.54)$$

Kus,

v_{ax} = kruvi telgkiirus.

$$v_{ax} = 0,4 \cdot 4,17 \cdot [0,873 + (0,0996 + 40400 \cdot 20^{-3,872}) \cdot 0,176] = 1,504 \text{ m/s}$$

Leiame hõõrdeteguri:

$$\lambda = B_1 + B_2 \cdot \beta - B_3 \cdot \phi + B_4 \cdot \mu_i + B_5 \cdot \rho + B_6 \cdot \mu_s - (B_7 + B_8 \cdot \beta - B_9 \cdot \phi) \cdot n + (B_{10} + B_{11} \cdot \beta - B_{12} \cdot \phi) \cdot n^2 \quad (4.55)$$

Kus,

λ = hõõrdetegur

$B_0 \dots B_{12}$ = Hõõrde abitegurid, VDI

μ_i = Materjali sisehõõrdetegur, 0,577, [8]

μ_s = Materjali hõõrdetegur kruviga, 0,4, [8]

$$\lambda = 9,522 + 0,09319 \cdot 30 - 11,38 \cdot 0,176 + 1,92 \cdot 0,577 + 0,002 \cdot 400 + 1,1 \cdot 0,4 - (2,63 + 0,0499 \cdot 30 - 3,339 \cdot 0,176) \cdot 4,17 + (0,3465 + 0,049 \cdot 30 - 0,3832 \cdot 0,176) \cdot 4,17^2 = 5,66$$

Leiame vajaliku mootori võimsuse:

$$P_W = I_v \cdot \rho \cdot g \cdot \left(\lambda \cdot \frac{D}{S} \cdot L + H \right) \quad (4.56)$$

Kus,

P_F = Vajalik mootori võimsus

$$P_W = 0,069 \cdot 400 \cdot 9,81 \cdot \left(5,66 \cdot \frac{0,5}{0,4} \cdot 12,4 + 6,3 \right) = 25,4 \text{ kW}$$

Mootori nõutav võimsus:

$$P_M = \frac{P_{W,max}}{\eta_{ges}} \quad (4.57)$$

$$P_M = \frac{25400}{0,9} = 28222 \text{ W} = 28,2 \text{ kW}$$

Mootoriks valime 30 kW mootori

5. Valiku tegemine

Esmased arvutused tehti nelja sobiliku konveiersüsteemi jaoks, lintkonveier, lintelevaator, kettelevaator ja kruvikonveier.

Allpool on toodud valikvariantide võrdlustabel, kus mida väiksem arv näitab paremat tulemust.

Tabel 2. Valikvariantide võrdlemine.

Konveieri tüüp	Lintkonveier	Lintelevaator	Kettelevaator	Kruvikonveier
Vajalik võimsus	7,8kW	7,8kW	6,9kW	28,2kW
Keerukus	4	4	2	2
Detailide rohkus	4	4	2	1
Hooldusvajadus	4	4	3	1
Tolmukindlus	4	3	3	1
Jooksev mass	3	2	3	4
Materjali vastuvõttlikkus	1	2	3	4
Tõusunurga probleemid	Kriitilised	Suurenevad vähesel määral	Puuduvad	Vähenevad
Kokku	19	19	16	13

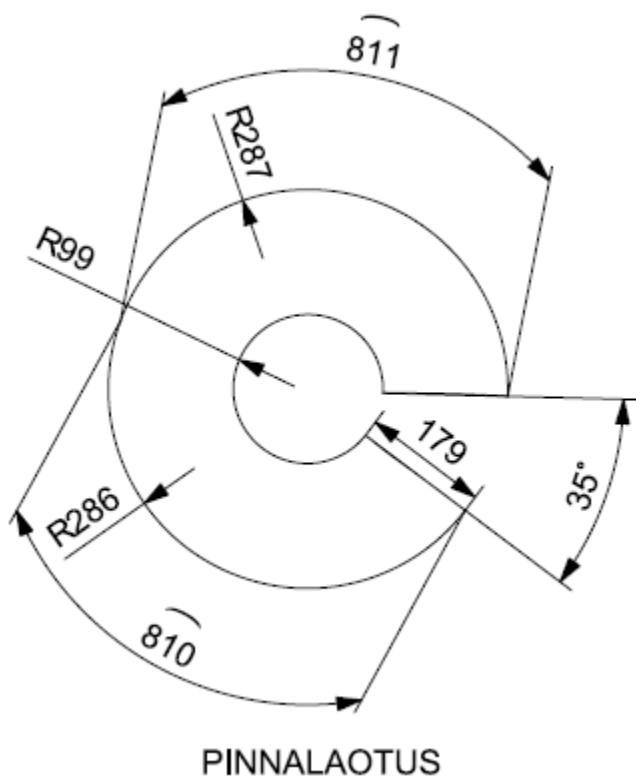
Selgub, et kuigi, kruvikonveier vajab suurima võimsusega mootorit, siis kruvikonveieri kasuks räägib tõusunurga suurenemisega paranev tootlikkus, ning üleüldine edukus suure tõusunurgaga materjali transportides toime tulla, ning kuna kruvikonveieril on kordades vähem detaile, kui teistel variantidel, sellest tuleneb väheste detailide arv, ning ainult loetud kuludetaili olemasolu, ning suutlikkus sellise kõrge tõusunurgaga toime tulla.

6. Projekteerimine

Eelnevalt on juba kruvi diameeter ja mootori võimused leitud, mistõttu seda üle arvutama ei pea.

Kuid aga, kruvi torule tuleb teostada tugevusarvutus, mis on järgmises peatükis, mille põhjal saab valida kruvikonveieri ühe põhilisema parameetri, kurvi toru diameetri. Antud juhul sobib DN 125, 141,3 mm välisläbimõõduga, ning 6,6 mm seinapaksusega toruprofiil.

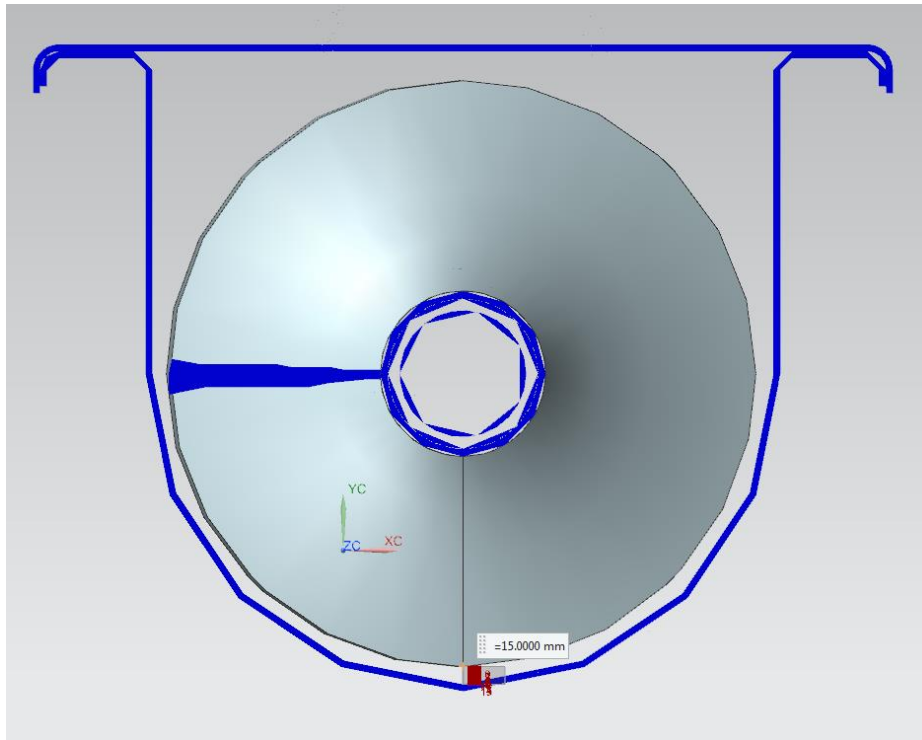
Arvutuses leidsime, et vajalik kruvi diameeter on 500 mm. Kruvi keevitatakse kokku kruvi seksioonidest, seksiooni pinnalaotus on ~574 mm läbimõõduga, Sele 6.1, mis peale painutust annab soovitud, 500 mm kruvi. Kruvi sammuks 400 mm, üks seksioon on täpselt ühe kruvisammu pikkune.



Sele 6.1 Kruvi seksiooni pinnalaotus.

Järgmiseks detailiks tuli renni koostamine, iseenesest on see ainult painutatud plaat, kuid kuna kruvi toru läbipaine tuleb silmas pidada. Renni ja kruvi vahele tuleb jätta piisav (vähemalt 2x deformatsioon) vahe, et ära hoida olukorda, kus kruvi puutuks kokku renniga, mis võib põhjustada kruvi kinni kiilumise või siis selle märgatavalt suure kulumise.

Kruvi ja renni vaheliseks kauguseks valiti ~15mm, Sele 6.2, mis peaks olema enam kui piisav, et hoiduda kruvi ja renni kokkupuutumisest igas olukorras. Samuti on jäetud vahe piisavalt väike, et transportitav materjal ei voolaks tagasi, ega ka ei tohiks materjal kruvi ja renni vahele kinni jääda ning õnneks antud juhul ei mõjuta materjali väikene purustamine materjali kasutamise otstarvet.



Sele 6.2. Kruvi ja renni vaheline kaugus 15mm

Esmasel toruprofiili arvutusel leiti, et üle 12 m sildega olukorral, on kruvi läbipaine ekstreemselt suur, siis tuleb kruvi keskele panna lisaks hoidmis laager. Selle jaoks jääb keskele, kruvi seksioonide vahele ~140 mm vaba ala, kuhu kinnitub hoidelaager.

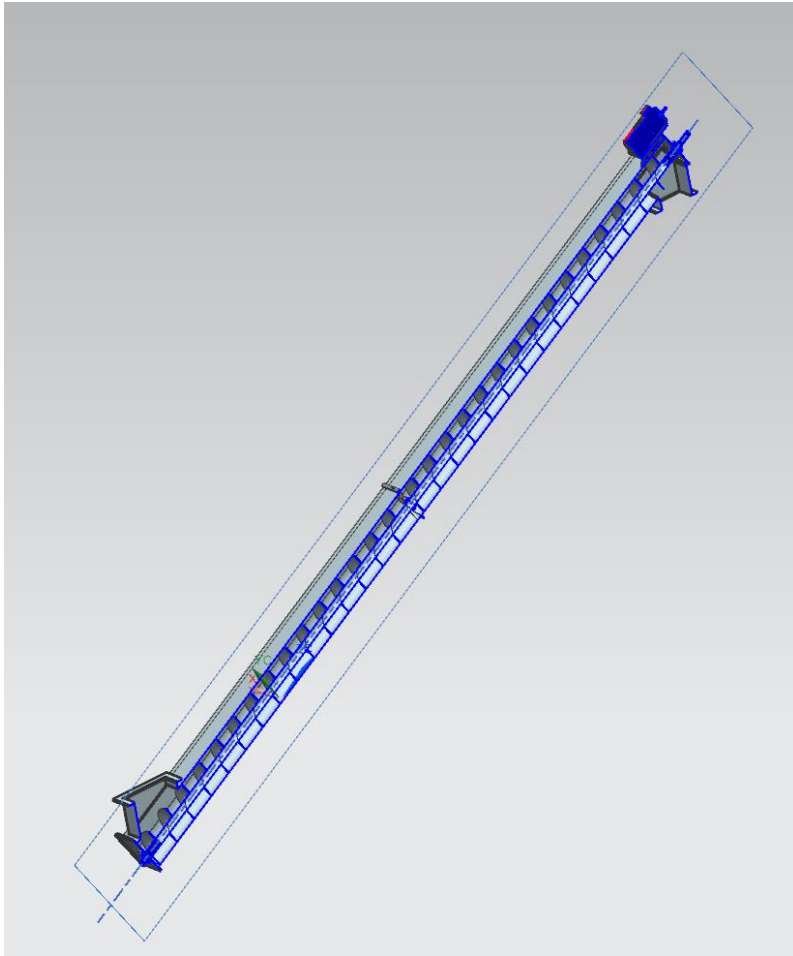
Toruprofiili otstesse sisestatakse võllid, toru profiili poole pealt on võllid toru siseläbimõõduga, ning need keevitatakse ka toru külge paika. Väljaulatuv osa on aga 90 mm läbimõõduga, ning asetseb laagritesse, mis on kinnitatud külgplaatide külge.

Laagrid tuleb valida flants kinnitusega, et neid saaks külgplaatide külge kinnitada, ning kuna kruvi asetseb nurga all, siis peab valitud laagrid suutma vastu võtta ka telje suunalist jõudu, mis võrdub kruvi enda massiga, 680 kg.

Rennile lisati katted, ning ülemise otsa külge lisati mootor, ning mootori kinnitamiseks mootori alusplaat, mille alla lisati tugevdusribid.

Viimasena projekteeriti sisse ja välja laadimis avad, mõlemad asetsevad kruvi suhtes 30° , Sele 6.3, nagu ettenähtud, pealelaadimine peab kindlasti olema vertikaalne, ning lisatakse ka mahuandurid, millega saab tagasisidet, kas konveier on piisavalt koormatud, ning tuvastada ummistuse teket.

Konveierist väljavõtt võib ka olude sunnil teha muu nurga all, kuid siis tuleb arvutada, kas tekkinud lehter on materjali jaoks sobiv, ning materjal jookseb lehtrit mööda ilusti eest ära.



Sele 6.3. Projekteeritud kruvikonveier

7. Tugevusarvutus

Kuna kruvikonveieril väga vähe detaile, ning konveieri põhiosa moodustab renn, mille sees asetseb transportitav materjal, ning ainukesed kaks tingimust rennile on, suure kõvadusega materjalid transportides, kesta vähemalt eksploatatsiooni aja lõpuni. Ning teiseks, kuna ainult materjal toetub rennile, siis peab olema piisava tugevusega, et materjali ning renni omakaalu koormusele vastu pidada.

Teine detail, mis moodustab konveieri põhiosa, on kruvi ise, ning kruvile on rohkem nõudmisi, kui rennile.

Kruvi toru peab vastu pidama väändele, ning staatilised deformatsioonid peavad jääma lubatud piiridesse, $< 6\text{mm}$ [15].

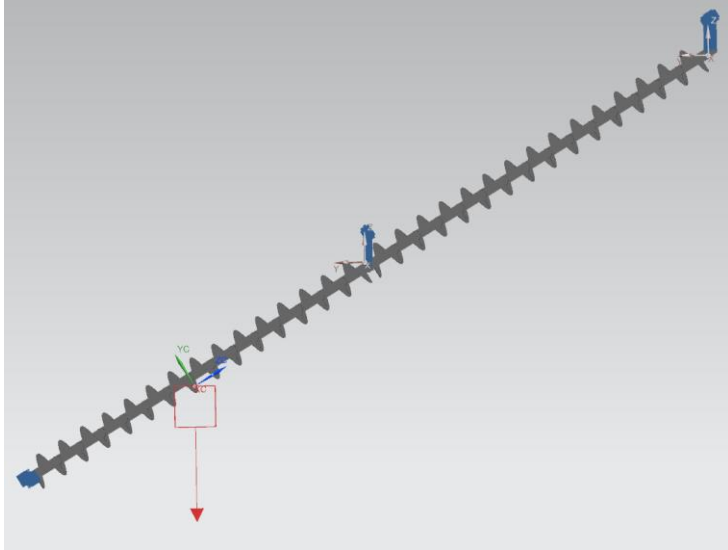
Kuna kruvi ei toetu renni peale, siis on väga tähtis, et deformatsioonid ei ületaks etteantud väärtus, muidu vastasel juhul vajuks kruvi renni peale, mis võib renni tugevust mõjutada, ning samuti hakkab antud juhul kruvi renni vastu hõõruma, mis vähendab renni eluiga märgatavalt.

Lisaks käsitsi tugevusarvutusele, mis on välja toodud lisa 2, kontrollime ka projekteeritud kruvi toru läbipainde ja tekkivad staatilised pinged arvutusmudeliga. Tuleb silmas pidada, et käsitsi arvutades, arvutati tugevus ainult toruprofiilile, kuid arvuti simulatsioonis, lisab tugevust ka keevitatud kruvi torule.

Antud arvutuses on kõik detailid juba eelnevalt kombineeritud üheks detailiks, sellega kõrvaldame vajaduse eraldi välja modelleerida ja arvutada kruvi keevisliited, ning võllide istud.

Kruvi suhtes on kõik kinnitusviisid ja mõjuvad jõud suunaga $\beta = 30^\circ$, et simuleerida võimalikult täpselt reaalselt olukorda.

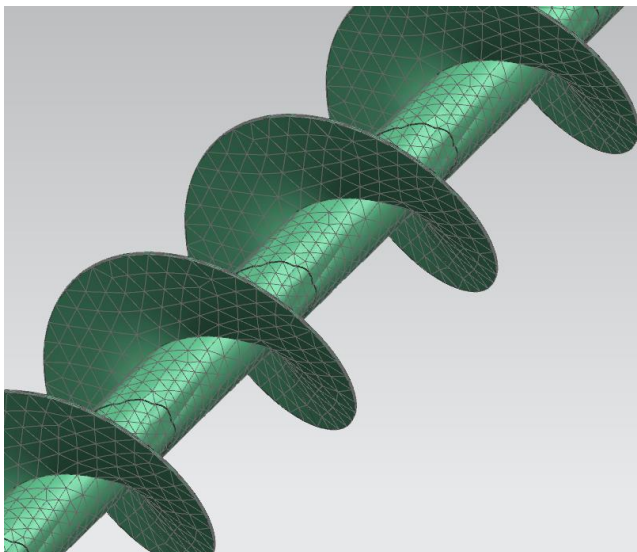
Materjali omadused võeti tavalise konstruktsiooniterase S235 järgi.



Sele 7.1. Piirtingimused

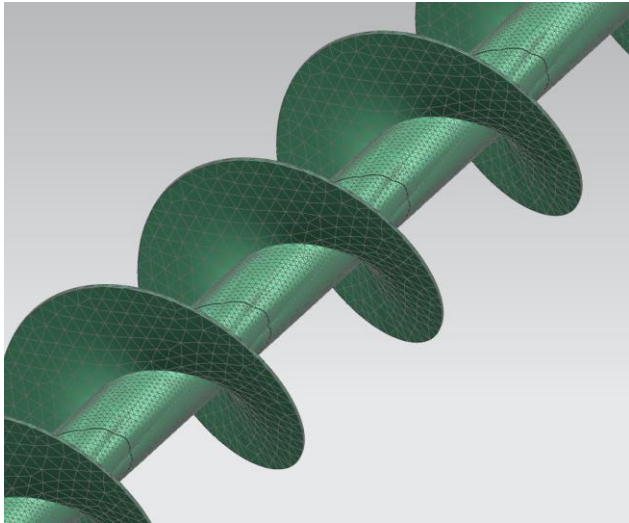
Kruvi FEM arvutuse korral tehtud kinnitusviis on näidatud Sele 8.1'l.

Alumise võllil on kõik vabadusastmed kinni, et toetada kruvi, ning takistada kruvi liikumast või pöörlemast kontrollimatult kuhugile suunda. Ülemine võll on ainult toetatud, ehk kõik vabadusastmed on lahti, väljaarvatud liikumine alla suunas, ning samuti ka keskelt, kus asub vahetoepuks, on ainult liikumine alla keelatud. Kogu kruvile mõjub raskusjõud, ning lisaks, et simuleerida ebaühtlast jõudude jaotust kruvile, on lisatud lisajõud 450N/kg .



Sele 7.2. algne automaatne soovitatud mesh

Esiatselt, soovitas kasutatav CAD programm, Siemens NX, mesh'i tihedusega 41 mm, kontrollimaks, et määratud jõud, ning piirtingimused käituvad, nii, nagu loodetult, jooksutati arvutus esmalt algse tihedusega meshiga, ning algne tulemus tuli 1,7mm deformatsiooni, ning ühtegi ebakõla tulemustes ei leitud.

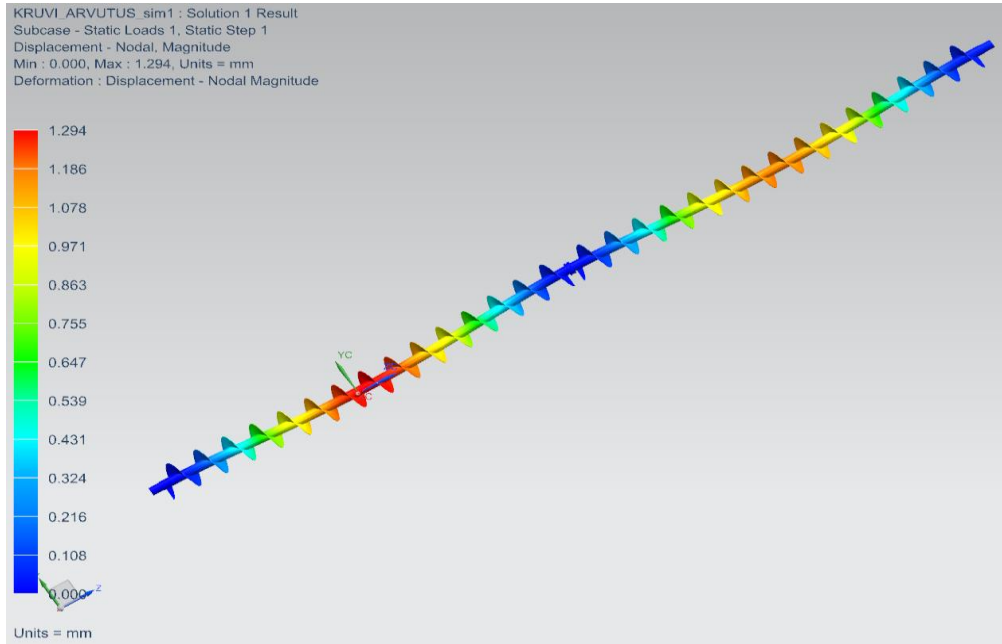


Sele 7.3. Detailsem mesh, lõpliku arvutuse jaoks

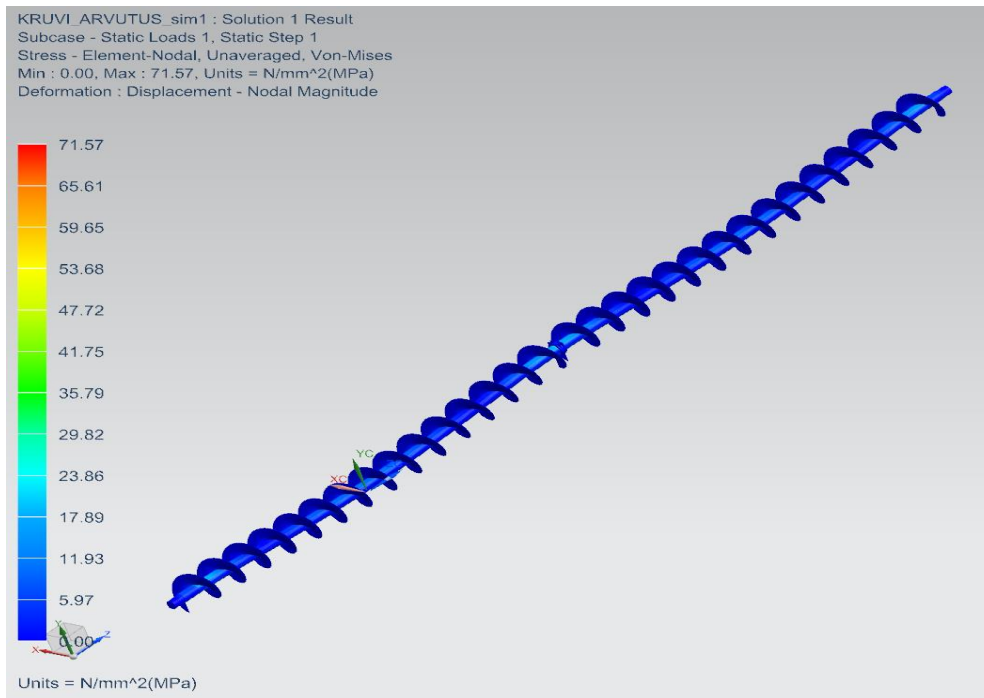
Peale edukat esimest arvutust, muudeti mesh'i suurust detailsemaks. Kruvidel vähendati võrgusilma suurus 15mm'ni ja peamiselt arvutataval detailil, toru profiilil, vähendati kuni 2mm suuruseni võrgusilma suurus. Ning kõikides plaatdetailides, ning toruprofiili seinas, loodi minimaalselt 3 kihti.

Lõpliku arvutuse tulemusena, leiti, et antud kruvile mõjuvad staatilised jõud, deformeerivad kruvi 1,3 mm, mis on kujutatud Sele 8.4 peal, ning mis on peaaegu kaks korda vähem, kui käsitsi arvutatud, kuid see tuleneb faktist, et käsitsi arvutades, leitakse ainult toruprofiili tugevus, simulatsioonis aga lisavad keevitatud kruvi sektsioonid torule tugevust, ning aitavad jõudude tööle kaasa.

Kuigi staatilised pinged torus, ei näita tegelikke pinges töötavas kruvis, on ka staatilised pinged ära näidatud Sele 8,5 peal.



Sele 7.4. Krugi deformatsioon



Sele 7.5. Staatilised pinged

Kokkuvõte

Magistritöö teema arenes välja isiklikust huvist ka muude materjalide käitlemiseseadmete vastu, kui lintkonveierid, ning asjaolust, et aina rohkem on hakatud huvi tundma hakkepuidu kütusena kasutamisest ja ümberehitustööde võimalustest vanade vedelkütuste, või põlevkivi/kivisöe katlamajade juures. Sellest tulenevalt on vaja leida olemasolevate hoonete mõõtmetest tingituna suure tõusunurgaga materjali käitlemise seade mis oleks piisava tootlikkusega, et ära toita keskmise ja suure tootlikkusega katlamajad.

Töö käigus leiti neli sobilikku konveierit, ja teostati nende jaoks esmased arvutused, et leida põhi parameetrid ja saada rohkem teadmisi antud tüüpi konveieritest, et oleks võimalik hinnata ja leida kõige sobivam konveier püsitatud eesmärkide jaoks. Arvutuste käigus kasutati eelnevat kogemust lintkonveierite projekteerimises, ning saadi uusi teadmisi teiste viiside projekteerimises, eriti kopp- ja kruvikonveierite arvutamises. Eelneva vähese kogemuse põhjal, eeldati alguses suuremat edu koppkonveieritele ning enne valik variantide analüüsimist ei eeldatud kruvikonveieri sobivustki antud ülesandele, aga töö käigus, leides arvutades parameetreid ja konveierite omaduste võrdlemisel selgus, et kruvikonveier võib olla ka sobilik antud ülesande jaoks. Ning peale põhjalikumate arvutamisi, ning hindamismaatriksi koostamist, leiti, et kõige sobilikum materjali käitlemise sead antud tingimustes on kruvikonveier. Otsuse järgselt leiti viimased vajalikud parameetrid, ning lõpptulemusena projekteeriti edukalt lõpuni kruvikonveier, mis vastab töökäigus esitatud nõuetele.

Summary

The subject of this Master's Thesis developed out from personal interest in bulk material handling equipment other than belt conveyors, and also the growing interest in using wood chips as fuel and also rebuilding options for old fossilfuel or oil shale/coal boiler plants. As a result, due to the size of the existing buildings, it is necessary to find a material handling device with a steep rise angle, with sufficient productivity to feed medium and high-productivity boilers.

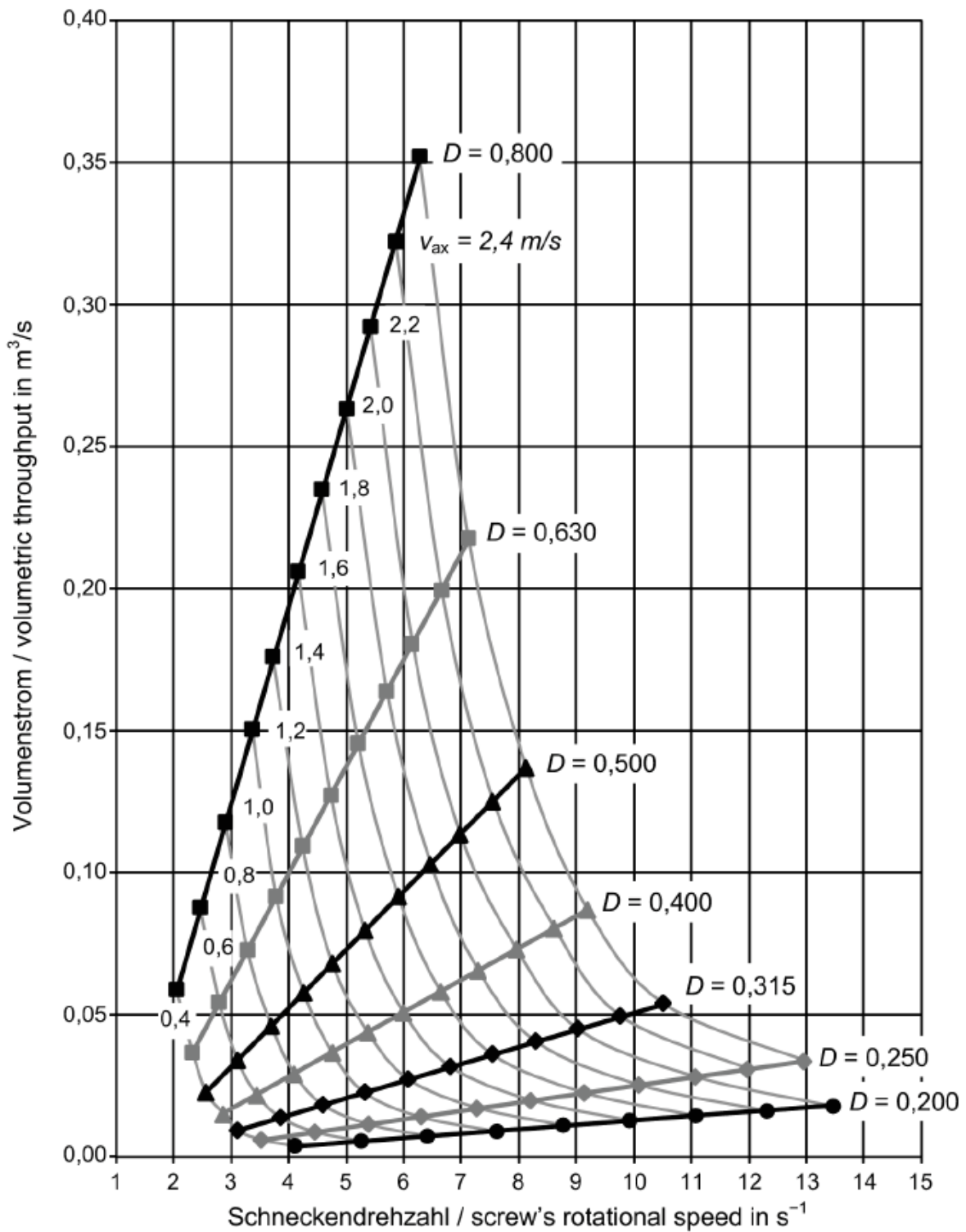
Four suitable conveyors were found in the course of the work, and primary calculations were performed for them to find the main parameters of the conveyors and also to gain more knowledge on the topic in order to be able to assess and find the most suitable conveyor for the retained goals.

In the course of the calculations, previous experience in the design of belt conveyors was used and new knowledge was obtained in the design of conveyors, especially in the calculation of bucket and screw conveyors. Based on previous limited experience, a higher success for conveyor belts was assumed at the start, and before a preliminary choice was made, the screw conveyor was not expected to fit the task, but during the work, when calculating the parameters and comparing it with the other conveyor properties, it was found, that the screw conveyor could also be suitable for this task. And, after more thorough calculations and the preparation of the evaluation matrix, it was found that the most suitable material handling device in the given conditions is a screw conveyor. Following the decision, the last required parameters were found, and the screw conveyor, which meets all the set requirements of the thesis, was successfully designed.

Kasutatud kirjandus

1. <https://www.neatorama.com/2014/04/23/The-Worlds-Longest-Conveyor-Belt-is-61-Miles-Long/>
2. <http://inspectionssystem.com.au/wp-content/uploads/2013/06/marathon-vibratory-conveyor-brochure-en.pdf>
3. <http://www.claudiuspeters.com/en-GB/news/355/longest-pneumatic-conveying-line-worldwide>
4. <https://www.pumpindustry.com.au/worlds-longest-single-pump-station-slurry-pipeline/>
5. https://www.complianceonline.com/images/supportpages/500633/sample_Belt%20Bucket%20Elevator%20Design.pdf
6. <https://www.bechtel-wuppertal.com/en/elevator-parts/elevator-buckets/plate-steel-din/>
7. https://www.tba.nl/resources/press+section/publications/ptti_kimwu_analysingbiomassoperations.
8. C.R.Woodcock, J. S. Mason, Bulk Solids Handling. London, Chapman & Hall, 1987.
9. [http://www.roxon.sandvik.com/sandvik/1182/Internet/SandvikMsHandling/Roxon/FI05019.nsf/LookPortal/Portal62E328175D0E9113C22570C50037741E/\\$file/2-eng.pdf](http://www.roxon.sandvik.com/sandvik/1182/Internet/SandvikMsHandling/Roxon/FI05019.nsf/LookPortal/Portal62E328175D0E9113C22570C50037741E/$file/2-eng.pdf)
10. Herranen, H.; Karjust, K.; Kers, J.; Krustok, J.; Kulu, P.; Käerdi, H.; Laansoo, A.; Lend, H.; Otto, T.; Põdra, P.; Riives, J.; Saarna, M.; Sergejev, F.; Tiidemann, T.; Veinthal, R. [tõlkijad] (2012). Mehaanikainseneri käsiraamat. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, 2012.
11. <https://www.hedfeld.com/en/produkte/elevator-buckets/medium-deep-bucketsdin-15233/>
12. http://data.vk.edu.ee/KAUGOPE/Kaugope_RDER_4.kursus/MASINAEHITUS-Projekt/LOENGUD/4%20Ylekanne/Kettylekanne.pdf
13. <https://wippermann.s3.amazonaws.com/dokumente/en/product-catalogs/main-catalogue-wippermann-cat-2015-en.pdf>
14. https://www.renold.com/upload/renoldswitzerland/conveyor_chain_-_designer_guide.pdf
15. R. Alles, W. Ernst, W. S. W. Lubrich, Contitech Conveyor Belt System Design, Service Manual Edition. Hannover, ContiTech Transportbandsysteme GmbH, 1995.
16. Enefit Solutions, lintkonveierite arvutuste excelid.
17. <https://people.engr.ncsu.edu/kay/mhetax/TransEq/Conv/index.htm>
18. https://en.wikipedia.org/wiki/Slurry_transport
19. <https://www.screw-conveyors.com/>
20. <http://www.savatech.eu/conveyor-belts/chevron-conveyor-belts.html>
21. <https://contitech.de/getmedia/ceea3769-6b32-4853-917d-bd7c8f1fbce7/CBG6238-En-Sicon-Enclosed-Belt-Conveyor-System.aspx>
22. <https://www.pollumajandus.ee/uudised/2018/10/01/janar-eelmaa-hakkepuidu-noudlus-kasvab>
23. <https://www.aripaev.ee/sisuturundus/2016/08/30/hakkepuidu-aurukatlamaja-aitab-saasta-sadu-tuhandeid-eurosid-aastas>

Lisa



Lisa 1. VDI 2330-3 diagramm, kruvikonveieri diameetri ja kiiruse leidmiseks

Materjali tihedus	ρ	7850	kg/m ³	
Kruvi plaadi paksus		0,004	m	
Kruvi plaadi kaal		5,672991672	kg	
Kruvi plaadi jooksevkaal		14,18247918	kg/m	
toruprofiili diameeter		141,3	mm	DN125
Toruprofiili kaal		22	kg/m	
torukaal jooksvalt	ρ	36,18247918	kg/m	
Kruvi kaal kokku		213,4766272	kg	
I ₃	205379000	cm ³		
E	21000000	cm ⁴		
γ F	2532,7735	N		
I	635	cm ⁴		
läbipaine toetatud 2	f ₂	0,507923323	cm	
		5,079233235	mm	
Võlli arvutus				
Kruvi pöörlemiskiirus	n	334,92	1/min	
nurkkiirus		35,07295174	rad/s	
Pöördemoment	M	855,36	Nm	
lubatud väändepinge	T _t	120	Mpa	
Minimaalne diameeter	D _{min}	302,5217158	mm	varutegur 2,5
Valitud diameeter	D __	90	mm	
polaarvastupanumoment	W _p	143138,8153	mm ³	
Arvutatud väändepinge	T _t	5,975737597	MPa	
Seina paksus	B _s	6	mm	
lõikepindade arv	m	1	tk	
Summaarne tinglik muljumispind	A _{cs}	1080	mm ²	
Keskmine muljumispinge	Q _{cs}	16,41612481	Mpa	
Lõikepinge	T _{_l}	2,786887904	Mpa	

Lisa 2. Käsitsi kruvi tugevusarvutus.

Graafiline osa