



EESTI MAAÜLIKOOL  
Tehnikainstituut

Risto Liiv

## **PIDEVPROTSESSILISE MAHLAPRESSI ESKIISPROJEKT**

*Conceptual design of a continuous process juice extractor*

Bakalaureusetöö

Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendaja: Vanemlektor Kaarel Soots, *PhD*

Tartu 2021

# SISUKORD

SISSEJUHATUS .....	5
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE .....	7
1.1. Mahla kvaliteedinäitajad .....	7
1.2. Toorme parameetrid .....	8
1.2.1. Öunviljad.....	8
1.2.2. Marjad .....	8
1.2.3. Ohutegurid .....	9
1.3. Mahla pressimise tehnoloogia .....	10
1.3.1. Põhiprotsess .....	10
1.3.2. Abiprotsessid.....	11
1.3.3. Puhastamine ja desinfitseerimine.....	12
1.4. Pressimise seadmed .....	13
1.4.1. Tsüklilised ehk diskreetsed pressimise lahendused .....	13
1.4.2. Pidevprotsessilised pressimise lahendused .....	13
1.4.3. Lintpress.....	14
1.4.4. Kruvipress .....	15
1.5. Pidevprotsessiliste mahlapresside võrdlus .....	17
2. MATERJAL JA METOODIKA .....	19
2.1. Survejõu mõõtmise katse.....	19
2.2.1. Katse kirjeldus .....	20
2.2. Mahlapressi projektarvutused.....	21
2.2.1. Arvutusmetoodika kruvipressi parameetrite leidmiseks .....	21
2.2.2. Jõuülekanne arvutusmetoodika .....	28
2.2.3. Otsaklapi survevedru arvutusmetoodika .....	29
2.3. Lähte parameetrid mahlapressile .....	30
3. TULEMUSED .....	31
3.1. Survejõu mõõtmise tulemused .....	31
3.1.1. Katse käigus kogutud andmed ja nende analüüs.....	32
3.2. Mahlapressi projektarvutuste tulemused .....	34
3.3. Mahlapressi 3D – modelleerimine .....	35
KOKKUVÕTE .....	38
VIIDATUD ALLIKAD .....	40
LISAD .....	43
Lisa 1. Tabel 3.1. Pressimise katseandmed .....	44
Lisa 2. Tabel 3.2 Ostukomponentide loetelu .....	45
Lisa 3. Masinaehitusjoonised.....	46
Lisa 4. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta.....	58

## Lühikokkuvõte

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Risto Liiv		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Pidevprotsessilise mahlapressi eskiisprojekt			
Lehekülgi: 58	Jooniseid: 22	Tabeleid: 3	Lisaid: 4
Õppetool: Biomajandustehnoloogiate õppetool ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: Tehnika, tootmine ja tehnoloogia, T130 Juhendaja: Vanemlektor Kaarel Soots, PhD Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2021			
<p>Mahla valmistamine väiketootmise mastaabis kogub üha enam populaarsust, endised suuraiandid on asendunud väiketootjatega. Mahlapresside turul domineerivad peamiselt traditsioonilised lahendused, pidevprotsessilistest pressidest pakutakse peamiselt lintpresse. Teadaolevalt pole Eesti kõrgkoolides seni disainitud kruvipressi põhimõttel töötavat mahlapressi. Antud bakalaureusetöö eesmärgiks on koostada pidevprotsessilise mahlapressi mehaanilise osa eskiisprojekt. Töös koguti tehnoloogilist teavet, teostati projektarvutused ja rakendati 3D – modelleerimist arvutiprogrammis Solid Edge 2019. Töö tulemusel valmis ca 300 kg/h tootlikkusega kruvipressi tehnoloogial baseeruva pidevprotsessilise mahlapressi eskiisprojekt, mis võiks reaalse toote valmistamisel kasutust leida. Täiendavalt tuleks uurida pressitava massi hõõrdeomadusi ja rõhu jaotust presskambris, et vajadusel parendada presskruvi geomeetriat ja rõhu hoidmise ehk otsaklapi mehhanismi.</p>			
Märksõnad: kruvipress, jõukruvi, masinaehitus			

## Lühikokkuvõte inglise keeles

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Abstract Bachelor's Thesis	
Author: Risto Liiv		Curriculum: Engineering	
Title: Conceptual design of a continuous process juice extractor			
Pages: 58	Figures: 22	Tables: 3	Appendixes: 4
Department / Chair: Chair of Biosystems Engineering Field of research and (CERC S) code: Engineering, production and technology, T130 Supervisors: senior lecturer Kaarel Soots Place and date: Tartu 2021			
<p>The production of juice on the small-scale production is gaining more and more popularity, the former industrial fruit yards have been replaced by small-scale producers. The market for juicers is mainly dominated by traditional solutions, and belt presses are mainly offered from continuous process presses. It is known that in Estonian higher education institutions has not been designed a juicer based on the screw press. The aim of this bachelor's thesis is to compile a sketch project of the mechanical part of a continuous process juice extractor. Technological information was collected, project calculations were performed in Math Cad Prime 7 and 3D modeling was applied in the computer program Solid Edge 2019. As a result of the work, a sketch project of a continuous process juice extractor based on screw press technology with a capacity of approx. 300 kg / h was completed. The frictional properties of the pressed pulp and the pressure distribution in the press chamber should be further investigated in order to improve the machine. Perhaps more modern materials or better geometry of the press screw can reduce the power consumption and frictional losses.</p>			
Keywords: screw press, power screw, mechanical engineering			

## SISSEJUHATUS

Mahla valmistamine on olnud üsna levinud tegevus igal hilissuvel ja sügisel kui valmivad puuviljad ja marjad. Mahla valmistatakse peamiselt lihakviljade viljalihast rõhu toimel eraldamise teel ehk füüsikaliste meetoditega. Eesti oludes on peamiseks mahlatöösuse tooraineks õunviljad ja marjad [1]. Viljapuu- ja marjaaedade kasvuala kogupind on statistikaameti viimastel 2020 aasta andmetel 6344 hektarit ning eelmise aasta puuvilja ja marjasaak kokku 7038 tonni [2]. Õunu ja pirne korjati Eestis 2019 aastal 2552 hektariliselt kasvupinnalt 4255 tonni [2]. Põllumajanduslikke viljapuuaiandeid on kõigest 700 hektaril, et olukorda parandada on valdkonda hakatud toetama otsetoetusega (238 €/ha). Maaeluministri määruse „Keskkonnasõbraliku puuvilja- ja marjakasvatuse toetus“ kohaselt valdkonnale täiendavalt antava toetuse ühikumääraks ühe hektari maa kohta on 160 eurot kalendriaastas [21]. Lisaks professionaalidele on palju kodumajapidamisi (üle 70% ehk >1800 ha on koduaiad), kes sügisel osa oma saagist mahlaks teevad, sest mahl on suurepärase viisi puuviljade ja marjade toiteväärtuse säilitamiseks järgneva aastaks.

Mahlapress on mahla valmistamise tehnoloogiline masin, mille ülesandeks on inimese töö vähendamine viljalihast mahla eraldamisel. Traditsiooniliselt on kodukasutuses ning väiketootmises mahla pressitud pakk- ja korvpressiga. Masinad on oma ehituselt lihtsad ja töökindlad ning üldiselt pika kasutuseaga, kuid vajavad siiski üsna palju inimtööjõudu.

Antud bakalaureusetöö eesmärgiks on koostada pidevprotsessilise mahlapressi eskiisprojekt. Täpsemalt soovitakse jõuda mehaanilise lahenduseni, mis aitaks vähendada mahla pressimise töömahukust ja oleks seejuures võimalikult lihtsa konstruktsiooniga. Varasemast töökogemusest on autoril kokkupuuteid veetustamise seadmetega (lint- ja kruvipressid ning dekantertsentrifuug) veekäitluse valdkonnast. Kogemusele tuginedes otsustati lähemalt uurida lisaks traditsioonilistele mahla pressimise viisidele ka lintpresse, kruvipresse ja püreestajaid. Eesmärgi saavutamiseks püstitati järgmised ülesanded:

- 1) teostada kirjanduse analüüs;
- 2) mõõta mahla pressimiseks vajalik survejõud;
- 3) teostada mahlapressi projekteerimiseks projektarvutused;
- 4) koostada tähtsamate sõlmede masinaehituslikud joonised.

Töö koosneb sisuliselt kolmest osast: kirjanduse ülevaade, materjal ja meetoodika ning tulemused. Töö esimeses osas olevas kirjanduse ülevaates tuuakse välja mahla valmistamise tehnoloogiliste protsesside kirjeldused ja nendega kaasnevad ohutegurid. Tehakse ülevaade levinud pressimise seadmetest ning selgitatakse välja nende eelised ja puudused. Pikemalt peatutakse kruvipressi tööpõhimõtte selgitamisel, mis on aluseks järgnevatele projektarvutustele. Lisaks on põgusealt kirjeldatud peamisi mahla tooraineid ning mõõdetavad kvaliteedinäitajad.

Materjal ja meetoodika osas tuuakse välja vajalikud arvutusmeetodikad ning pressitava materjali mehaaniliste omaduste tundmaõppimiseks ja pressimiseks vajaliku survejõu välja selgitamiseks viidi läbi pressimise katse. Katse jaoks konstrueeriti mahlapressi imiteeriv rakis, milles purustatud puuviljamassi katseseadme abil kokku suruti. Katse tulemusel saadi teada mahla eraldamiseks vajalik survejõud ja ligikaudne massi mahuline kokkusurutavus. Katse andmeid analüüsiti ja kasutati hiljem projektarvutustes.

Projektarvutustes selgitati välja mahlapressi projekteerimiseks vajalikud parameetrid. Leiti soovitud tootlikkuse saavutamiseks vajalik võimsus ja sellest tulenevad masina parameetrid, jõuallikas ning ülekandemehhanism.

Saadud andmete põhjal valiti ostu ja standardsed tooted ning disainiti puuduolevad komponendid mahlapressi koostamiseks 3D – modelleerimise arvutiprogrammis Solid Edge 2019. Visuaalse pildi saamiseks skitseeriti kolmemõõtmelised mudelid kõigist masina koostudest, millest joonestati omakorda peamised koostejoonised, mis on toodud lõputöö lisa 3.

# 1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

## 1.1. Mahla kvaliteedinäitajad

Põllumajandusministri määruse (RT I, 11.11.2014, 9) järgi on mahl käärimisvõimeline, kuid kääritamata toode, millel on valmistamiseks kasutatud puuviljaliigile iseloomulik värv, lõhn ja maitse. Mahla saadakse üht või mitut liiki, värskete või füüsikaliste meetoditega säilitatud puuviljade söödavatest osadest, mis on veatud ja küpsed. Mahla lahustuva kuivaine sisaldust ei muudeta muul juhul kui ainult segamisel sama liiki puuvilja mahlaga. Mahla koostises ei tohiks üldjuhul olla seemnete ega koorte osakesi. Erinevate lisandite ja muudetud kuivainesisaldusega tooteid tuleks nimetada vastavalt mahlatooteiks: tõmmismahl, kontseentreeritud mahl, nektar ja mahlapulber. Töötlemisviisidest on mahla valmistamisel lubatud kasutada: mehaanilist ekstraheerimist, vesiekstraktsiooni ja tavapäraseid füüsikalisi töötlemisviise [12].

Kaarel Kilki toob oma pilootuuringus välja hulga õunamahla mõjutavaid tegureid ning järeldab nende põhjal, et enim mõjutavad mahla maitset läbi kuivaine ja orgaaniliste hapete sisalduse õunte sort ning kasvuaasta. Muu hulgas on välja toodud, et mahla maitset ja antioksüdatiivseid omadusi mõjutab ka pressimise tehnoloogia. Seejuures väidab autor, et pakk- ja vesipressi mahl on nii maitse kui antioksüdatiivsete omaduste poolest parem lintpressi tehnoloogia abil saadud mahlast [3].

Õunamahla kvaliteeti mõjutavad paljud tegurid erinevates valmistamise etappides, alustades õuna sordist ja kasvuaasta ilmastiku eripäradest, lõpetades mahla pressimise tehnoloogiaga [4, 6]. Mahla kvaliteedi hindamiseks kasutatakse erinevaid biokeemilisi analüüse, millega iseloomustatakse maitset, värvi ja toiteväärtust ning tervisele kasulikke omadusi [18]. Mahla pressimise seisukohalt võiksid huvi pakkuda järgmised näitajad:

- 1) lahustunud kuivainete sisaldus määratakse refraktomeeteriga Brix'i kraadides °Bx, mille ühik vastab 1g sahhasoosi(suhkru) sisaldusele 100g mahla kohta;
- 2) tihedus määratakse refraktomeetriga või hüdromeetriga(vedelikust)  $g/cm^3$ , 20 - 25°C juures, sõltuvalt kalibreeringust ning püknomeetrilise meetodiga(pulbist);
- 3) üldappesus ehk tiitritav happesus, määratakse viin- või õunhappearv mmol/l või g/l;

- 4) pH ehk vesinikioonide molaarse kontsentratsiooni mol/dm<sup>3</sup> pöördlogaritm, näitab kas lahuses rohkem vesinikioone H<sup>+</sup> või hüdroksiidioone OH<sup>-</sup>;
- 5) dünaamiline viskoossus määratakse Brookfield'i viskosimeetriga N·s/m<sup>2</sup> e. Pa·s;
- 6) hägusus määratakse enamasti fotomeetriga (nefelomeetriga). Seadmega mõõdetakse vedelikku läbiva kiirguse hajumist NTU ehk nefelomeetrilise hägususe ühikutes.

Mahepõllumajanduslikku tootmist ja mahepõllumajanduslike toodete märgistamist reguleerib Euroopa Liidu Nõukogu määrus (EÜ) nr 834/2007, 28. juuni 2007. Mahetoidus kasutada lubatud lisaaineid ja töötlemise abiaineid on loetletud määruse (EÜ) nr 889/2008 VIII lisa A ja B osades.

## **1.2. Toorme parameetrid**

### **1.2.1. Õunviljad**

Õunvili on lihakas *rüüsvili*, mille seemned paiknevad vilja keskel seemnekambrites. Tuntuimad neist, mida kasutatakse mahlade toormena on näiteks pihlakas, õun, pirn, ebaküdoonia. Enne mahlaks pressimist tuleks õunu järelvalmitada olenevalt sordist kaks kuni neli nädalat, see parandab mahla kuivaine ja orgaaniliste hapete suhet. Valminud õunad sisaldavad keskmiselt 85,6% vett, 13,8% süsivesikuid, 0,26% valku, 0,17% lipiide, 0,19% mineraalaineid jpm. Orgaanilistest hapetest on õuntes kõige enam õunhapet, mille sisaldus võib erinevatel sortidel jääda vahemikku 0,15 – 1,1%. Õunte pektiinisaldus on 0,25 – 0,75% ja tanniinisaldus umbes 0,5%. Õunakoortes on rohkesti pektiini, mida tööstuslikult eraldatakse toiduainetele lisatavate stabilisaatorite ja paksendajate valmistamiseks [1].

Õunte tekstuuriks ehk viljaliha tugevuseks hinnatakse 6,1 – 8,1 kg/cm<sup>2</sup>. Viljaliha tugevus mõõdetakse penetromeetriga viljale rakendatavat jõudu kg/cm<sup>2</sup> [18]. Pestud ja 98%’ni kuivatatud õunaraba sisaldab ca 62% kiudaineid, millest moodustab tselluloos ca 40%, ligniin 15%, pektiin ca 9% ja hemselluloos 4% [18].

### **1.2.2. Marjad**

Mari on mitmeseemneline lihakas vili, mille seemned paiknevad viljalihas; arenenud mitmest viljalehest moodustunud ülemise või alumise sigimikuga emakast. Botaanilise



ehituse poolest on ka *pomerantsvili* (apelsin, sidrun jt) tegelikult mari. Samuti on marjadeks veel näiteks banaanid, tomatid, kurgid, kõrvitsad ja paljud teised aedviljad, mida nende suuruse tõttu on raske marjade hulka liigitada. Eesti enimkasvatatavad marjad on punane, valge ja must sõstar ning karusmari. Musta sõstart peetakse neist kõige väärtuslikumaks, eelkõige kõrge C-vitamiini sisalduse poolest (181 mg). Musta sõstra marjad sisaldavad keskmiselt 82% vett, 15% süsivesikuid, 1,4% valku, 0,4% lipiide, 0,9% mineraalaineid [1].

### 1.2.3. Ohutegurid

Toiduainete tehnoloogialt eeldatakse, et tooteahelas on tagatud toiduohutus ja korraldatakse ka sellekohast järelevalvet, selleks tuleb välja töötada ning rakendada enesekontrolliplaani ehk HACCP süsteemi. Mis peaks sisaldama tootmise kriitiliste kontrollpunktide välja selgitamist ja neis esineda võivate ohutegurite nimetamist koos vajalike ettevaatusabinõudega [1]. Toiduohutusega seonduvat seadusandlust kohaldatakse juriidiliste isikute poolt toodetava toidu ja sööda kõigi tootmis-, töötlemis- ja turustustappide suhtes, enesekontrolliplaan peab olema Põllumajandus- ja Toiduametis kooskõlastatud. Toidualased õigusnormid, nõuded ja üldised põhimõtted tulenevad Toiduseadusest ning euroopa parlamendi ja nõukogu määrusest (EÜ) nr 178/2002 [10]. Lisaks on olemas määrused, mis kehtestavad puuviljadest ja marjadest valmistatud mahlatoodetele ning toiduga kokkupuutuvatele materjalidele kohaldatavad nõuded [11, 12]. Jookide tootmisel on põhilised keemilised ja bioloogilised ohutegurid, mis võivad tootesse sattuda tooraine või sellega kokku puutuvate materjalide kaudu.

Puuviljades omavad peamist toksikoloogilist riski hallituseente poolt tekitatud mükotoksiinid, neist levinuim on patuliin, seda leidub peamiselt õuntes ja õunatoodetes. Inimeste terviseriski vähendamiseks on paljudes riikides, sealhulgas ka Euroopa Liidus, seatud patuliini piirsisalduseks õunamahlas 50 µg/l. Nele Fuchs on oma lõputöös viidates (Garcia-Cela et al. 2012) kirjutanud: „Mõned mükotoksiinid põhjustavad allergiaid ja mõned omavad teratogeenset, kantserogeenset või mutageenset toimet“ [5].

Toidu käitlemisel tuleb kasutada toiduga kokkupuutumiseks ettenähtud materjale ja esemeid. Toidule kujutavad ohtu nii kokkupuutuvatest materjalidest massülekande kaudu erituvad ained kui ka toorme ja valmistoodangu kokkupuutel tekkiv ristsaastumine. Erinevatele materjaligruppidele ja ainetele on ette nähtud migratsiooni piirnõuded, kuid

üldiselt peab toitu erituv kogus olema ohutu, ega tohi muuta toidu koostist vastuvõetamatuks ega tohi halvendada toidu organoleptilisi omadusi. Teatud materjalidel, näiteks plastidel peavad olema vastavusdeklaratsioonid, milles on kinnitatud, et see vastab määruse (EÜ) nr 1935/2004 artiklis 3, 11 ning artiklites 15 ja 17 sätestatud nõuetele [11].

Lisaks on toiduainetööstuse seadmetele välja töötatud eraldi määrdeained ja tehnilised vedelikud, mille ohutusele viitab NSF sertifikaat. NSF omakorda garanteerib, et nimetatud materjalide tootmine ja toorained vastavad toiduohutuse standarditele [17].

### **1.3. Mahla pressimise tehnoloogia**

#### **1.3.1. Põhiprotsess**

Mahla valmistamisel füüsikaliste meetoditega on põhioperatsiooniks pressimine, millele eelnevad tooraine sorteerimine, pesemine, purustamine ja ensümaatilise töötlus. Purustusseadme abil peenestatud massi nimetatakse pulbiks. Pressimise protsessi käigus peaks massist eralduma maksimaalne kogus mahla, ilma üleliigse viljaliha ja kooses leiduvate fenooli osakesteta, mis põhjustaks mahla kibedust ning pruunistumist. Õunamassil on kalduvus õhuga kokkupuutes kiiresti oksüdeeruda, omandades pruunika värvuse. Oksüdatsiooni peetakse ebasoovitavaks, sest see võib rikkuda mahla värvuse. Selle vältimiseks tuleks mahl võimalikult kiiresti pulbist eraldada. Mahla eraldamise protsess on tavaliselt ühe- või kaheetapiline. Üheetapilise protsessi puhul purustatakse ja eraldatakse mahl ühe seadmega, näiteks kruvi- või rullpressis. Kaheetapilise protsessi käigus eelneb massi purustamine väiksemateks osadeks, millele järgneb pressimine. Paljudes maades on traditsiooniliselt levinud õunte mehhaaniline purustamine nugapurustiga ja pressimine pressiriidesesse mähitult pakkpressiga. Kaasaegses mahlatootmises on levinud ka pulbi töötlemine tsüto-, proteo- ja amülolüütiliste ensüümidega, et suurendada ekstraktiivainete eraldatavust viljalihaast. Traditsiooniliselt viiakse läbi ka viljade koristusjärgset järelvalmistust kontrollitud sisekliimaga laoruumides, kus jälgitakse nende hingamisaktiivsust ning vajadusel pidurdatakse ülevalmimise protsessi õhu etüleenisalduse vähendamise ja temperatuuri alandamisega [1, 9].

Pressimise alguses kasutatakse madalamat rõhku, see võimaldab voolukanalite tekkimist ja sisemise mahla eraldumist, seejärel rakendatakse kõrgemat rõhku kuni mahla vool lakkab.

Mahla väljatuleku ja vastupanu pressimisele määrab suuresti massi konsistents, sõltuvalt paljude faktorite koosmõjust, võib väljatulek 30 minutilise pressimise tulemusel ulatuda 65 – 70%’ni. Naturaalse mahla eraldamise protsessi saagikus on tavaliselt 600 – 700 L, pressijäägi ehk raba kogus on õuntel ca 300 – 400 kg tooraine tonni kohta. Kuna rabas on veel küllalt lahustunud suhkruid, siis kasutatakse ka järelpressimist, millele eelneb veega segamine difusiooni eesmärgil. Tavaliselt järgneb sellele veel mahla kontsentreerimine [9]. Üldiselt on mahla pressimise tehnoloogia puhul eelistatud väiksemad rõhud ja lühem pressimise aeg. Suur osa mahlast nõrgub välja juba enne täiendava rõhu lisamist, samas ei olegi otstarbekas mehaanilise pressimisega kogu vedelikku eraldada, sest see nõuab oluliselt rohkem energiat ja tugevamat pressi konstruktsiooni. Enamasti jääb pressitud raba ca 25 – 35%’se kuivainesisaldusega. Õunamassi tekstuur võib sorditi varieeruda seepärast on oluline säilitada ühtlase paksusega pulbi kihti pressimisel. Ühtlase õhukese kihina kantud pressitav pulp aitab vältida amorfse massi tekkimist, mis suurendaks vastupanu ja kahandaks mahla väljatulekut [9]. See seletab, miks lintpress on osutunud üsna levinud seadmeks tööstuslikus mastaabis mahla pressimisel.

### **1.3.2. Abiprotsessid**

Kvaliteetse mahla tootmisel on väga oluline roll viljade töötlemisele eelnevatel abiprotsessidel, sorteerimise käigus tuleb toorme hulgast eraldada haigusetunnustega viljad, pesemisega eemaldatakse mustus ja muu mittesoovitav ning purustamisega lõhutakse vilja kest. Tähelepanu tuleb pöörata eelkõige ohtlikele säilitushaigustele, nagu mädanikud ja hallitused, mis võivad produtseerida patuliini. Patuliin on hallitusseente poolt toodetud mükotoksiin, mis ei lagune ka pastöriseerimisel, see põhjustab intoksikatsiooni ja muid haigusnähtusid. Ohtlik hallitusseen ei ole sageli õuna peal märgatav, seetõttu tuleks kontrollida ka õuna südamikku, eriti avatud õiekarikaga sortidel, mis peab samuti olema hallitusevaba. Seega tuleks mahlaks pressitavast puuviljapartiist eraldada eelkõige seenhaiguste- aga ka kaltsiumipuuduse tunnustega viljad [4, 5]. Selleks, et vähendada tooraine saastatust, tuleks see üle pesta surveveega, pesuveele lisatakse ka aktiivset kloori. Kirjanduses on mainitud, et kahjustunud koe eraldamisega tervest koest ehk trimmimisega saab ühtlasi vähendada saastatust ning säästa jääkide arvelt [5].

Traditsiooniliselt peaks pressimisele eelnema ka saagist oluliselt suurendav purustamine kui kasutada pakk-, vesi- või lintpressi. Kruvipress suudab muljuda ja peenestada viljalihha välimise kesta ning eelnevat purustamist mõnede viljade puhul ei vajata (nt marjad).

Olenevalt mahla karakteristikust, kas soovitakse saada hägust või selget mahla, kasutatakse ka erinevaid klaaritamise ehk selitamise tehnoloogiaid. Selitamise tõhusamaks läbiviimiseks kasutatakse ensümaatilist solubiliseerimist ehk pektiinesteraasi toimel pektiini struktuuri nõrgestamist. Selitamise seadmetena leiavad kasutust selitusseparaatorid ja erinevad filtrid. Levinud on ka vääveldioksiidi (sulfiti) kasutamine looduslikest pärmidest tekkiva käärimise vältimiseks, mis lisaks mikroobide elutegevuse allasurumisele mõjub ka antiosküdandina. Lisaks tuleks mahla säilivuse parandamiseks kuumtöödelda ehk pastöriseerida, kuid selle tulemusel inaktiveeruvad ka paljud ensüümid [1].

### **1.3.3. Puhastamine ja desinfitseerimine**

Oluliste abiprotsessina tuleks nimetada ka seadmete puhastamist ja desinfitseerimist. Seadmete ja töövahendite hügieeni tagamisel on oluline teada, et puhastamisega peab alustama võimalikult kiiresti pärast pinna kasutamist. Pinnalekuivamine raskendab hilisemat puhastamist, suureneb puhastamisele kuluva aja, vee ning detergendi kulu, kuid saavutatav tulemus ei pruugi olla piisav. Vesi on puhastusprotsessis kesksel kohal, sest pesta saab ainult vesilahusega. Puhastamiseks tuleb esmalt seade suuremal või vähemal määral demonteerida, eemaldada lahtised jäägid harja või kaabitsaga ja loputada sooja veega (kuni 55°C). Põhipuhastuseks kasutatakse enamasti leeliselisi või happelisi pesulahuseid (detergendi sisaldusega 1 – 3%). Jookide tööstuses põhiliselt mineraalsest mustusest tingituna happelisi pesuaineid (pH 2 – 6) temperatuuril 35 ... 65°C. Pesulahuse toimeaeg on 10 – 15 minutit. Loputamiseks tuleb kasutada joogivee kvaliteedinõuetele vastavat vett, mille temperatuur on 35 – 40°C. Eelnevalt puhastatud pindu võib desinfitseerida füüsikaliste või keemiliste vahenditega. Desinfitseerimiseks kasutatakse peamiselt isopropüülalkohooli või vesinikperoksiidi ja peräädikhappe lahuseid. Mõnel juhul on vajalik ka pindade steriliseerimine kuuma vee või auruga. Puhastamise ja desinfitseerimise tulemusel peab olema saavutatud: füüsikaline-, keemiline-, bakterioloogiline ja steriilne puhtus [7, 13].

## **1.4. Pressimise seadmed**

### **1.4.1. Tsüklilised ehk diskreetsed pressimise lahendused**

Traditsiooniliselt on väiketootmises kasutatud mahla pressimisel pakk- ja korvpresse, sest enamasti ei sisalda need keerukaid mehhanisme, on oma ehituselt lihtsad ning töökindlad. Pakkpress on tsüklilise toimega seade, milles pressiriidesesse mähitud ja vaherestidega eraldatud pulbipadjad surutakse vertikaalsuunaliselt kokku. Selleks virnastatakse mahlakoguja kohale pressi rakise vahele sobiva suurusega pakk pulbipatju, millele avaldatakse pressplaadi ning vastava mehhanismi abil survet. Pulbipatjadest eraldunud mahl valgub paki all asuvasse mahlakogujasse, kust see liigub edasi kogumismahutisse [1].

Teine levinud pressimise meetod on korvpressi kasutamine. Korvpress erineb pakkpressist peamiselt selle poolest, et õunamass pannakse paksemas kihis presskotiga (või ilma) silindrikujulisse puitlippidest või perforeeritud plekist valmistatud korvi, mille all asub mahlakoguja. Pressimine võib toimuda sarnaselt pakkpressile mehhaaniliselt vertikaalsuunas või vesipressi puhul korvi purustatud massi keskele asetatava elastse tööorgani (kummist ballooni) abil, mis vedeliku või gaasi rõhu toimel paisub raadiuse suunas ja surub massi vastu korvi seina. Mahl voolab mööda korvi seina alla kogujasse ja sealt edasi mahutisse [1].

Pressriie ja pakkpressi puidust vaherestid on heaks kasvulavaks toormega kaasa tulevale ja õhus levivale mikrofloorale nagu pärmseened, hallitused jms.

### **1.4.2. Pidevprotsessilised pressimise lahendused**

Tööstuslikuks tootmiseks rakendatakse enamasti lint- või ekspellerpresse, mis on integreeritud muude vajalike eel- ja järeltöötamise seadmetega. Puuviljade töötlemiseks kasutatakse lintpressi, kruvi- ehk ekspeller pressi peamiselt õli ja puuviljade pressimiseks ning rullpressi roosuhkru tootmiseks [1, 7, 9]. Õunamassi pressimisomaduste parendamiseks kasutatakse täiteaineid ehk pressi abi, milleks võib olla steriliseeritud riisi või kaera sõklad, valgendatud puitmass vms kiudmaterjal. Täiteaine kogus sõltub viljade küpsusest ning võib ulatuda 1 – 6% ni massi kogukaalust [8].

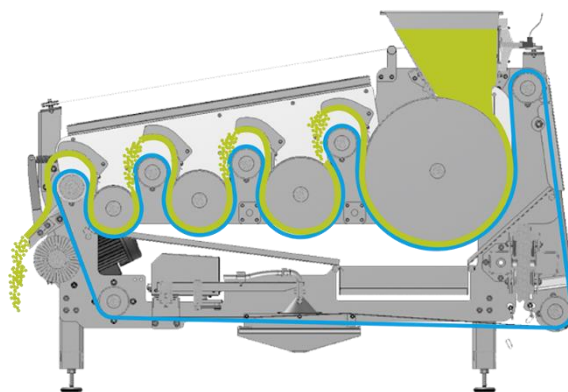
Kodukasutajale ja väiketootjale pakutavate pidevatoimeliste presside valik on üsna kesine. Peamiselt võib leida tsentrifuugi või kruvipressi põhimõttel töötavaid mahlapresse,

lintpresse kodukasutuseks üldiselt ei pakuta. Kuna väiksemate seadmete näol on tegemist köögiseadmetega, siis nende tootlikkuse kohta tootjad andmeid ei väljasta ja võib järeldada, et tõsisema aiapidaja vajadusi need ei rahulda. Valik muutub laiemaks kui vaadata seadmeid, mille tootlikkus on üle 300 kg/h, kuid siis tuleb arvestada ka enam kui paari tuhande eurose väljaminekuga.

Teatud mõttes alternatiivina eelnimetatutele võib vaadata ka püreestajaid, millega saab olenevalt sõela avade jämedusest ja vilja küpsusest ning muudest omadustest eraldada ka mahla. Selliste seadmete kasuks räägib ka nende universaalsus ja soetamismaksumus. Nende hind on pakutavatest soodsaim, jäädes paarituhande euro piiresse.

### 1.4.3. Lintpress

Lintpress koosneb ühest või mitmest erineva jämedusega tugi- ja pressirullidel liikuvast tihedast võrklindist, mille vahele suunatakse õhukese kihina puuviljamass. Eelnevalt purustatud pulbi kokku pressimine toimub kas kahe lindi või ühe lindi ja pressirulli vahel. Lintide pingutamiseks ja vastu rulle surumiseks kasutatakse pneumosilindreid ning suruõhku. Mahl nõrgub gravitatsiooni toimele läbi kanalite pressi allosas asuvasse kogumisvanni, kust see edasi mahutisse pumbatakse. Lintpress võimaldab väga head tootlikkust (kuni 40 t/h) ja mahla kvaliteedi omadusi hinnatakse kõrgelt [7]. Ühe lindiga lintpressi skeem on toodud joonisel 1.1.



**Joonis 1.1.** Lintpress Voran EBP500 skeem [25].

Lintpress vajab töötamiseks lisaks elektrienergiale ka suruõhku (pneumosüsteemide töös hoidmiseks) ja veeühendust lintide pesemiseks, mis on arvestatavaks lisakuluks. Samas on lintide pidev pesemine väga oluline, sest ilma surveveega läbipesuta linnid ummistuvad ja ei lase piisavalt mahla läbi, seeläbi kannatab nii masina tootlikkus kui ka mahla kvaliteet. Olenevalt pulbi fraktsioonidest tuleb puhastamiseks kasutada lisaks veele ka kraapereid ja harju. Sellest tulenevalt on soetamise- ja püsikulid suhteliselt kõrged. Eestis on esindatud Maurer Gép Kft ja Voran'i lintpressid.

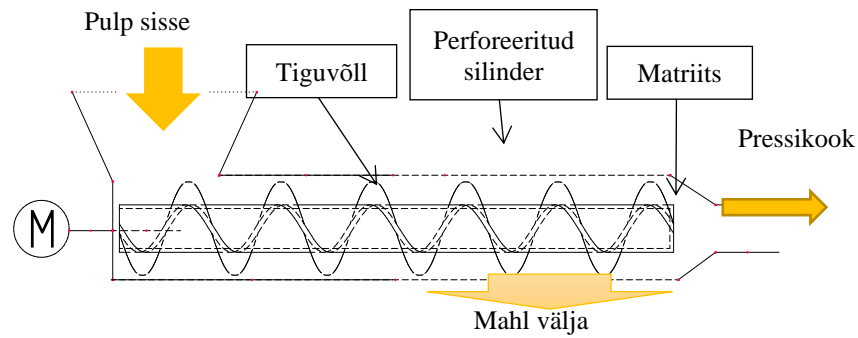
#### **1.4.4. Kruvipress**

Kruvisid kasutati materjalide teisaldamiseks juba rohkem kui 2000 aastat tagasi. Säilinud ajalooürikute andmeil kirjeldab esimesena kruvi veetõstukit Archimedes (287-212 eKr), kelle järgi seda vee tõstmise lahendust on nimetama hakatud. Archimedese kruvi on laiemas mõistes tigukonveier, mis koosneb silindrist või poolringikujulisest rennist ja selle sees asuvast pöörlevast kruvist ehk tiguvõllist. Umbes 1785 kasutas ameeriklane Oliver Evans esimeses automatiseeritud pidevprotsessilises jahuveskis katkematust lehtmetailist helikoidselt valtsitud sektsioone, mis olid paigutatud puust kesta sisse [16].

Kruvipress on oma ehituselt enamasti lihtsam ja töökindlam kui lintpress. Lisaks võimaldab pressimisel suuremat jõudu kasutada ning ei vaja töötamiseks tingimata eelpurustit ja pesuvett. See võimaldab väiksemaid masina mõõtmeid ja vähema arvu liikuvate osade tõttu on vähem töömahukas hooldada. Kruvipressi kasutatakse erinevates valdkondades alates setete veetustamisest kuni paberitööstuse protsesside ja õlide pressimiseni välja. Kruvipressi kasutamisel on teatavaks ohuks hõõrdumisega kaasnev temperatuuri tõus, mis ei pruugi mahla kvaliteediomadustele kasuks tulla. Kõrge temperatuur töötlemisel mõjutab mahla maitse- ja aroomiomadusi ning ei ole üldiselt soovitatav. Fruktoos ehk puuviljasuhkur karamelliseerub juba 110°C juures ja võib anda siidrile küpsetatud õuna maitse [1].

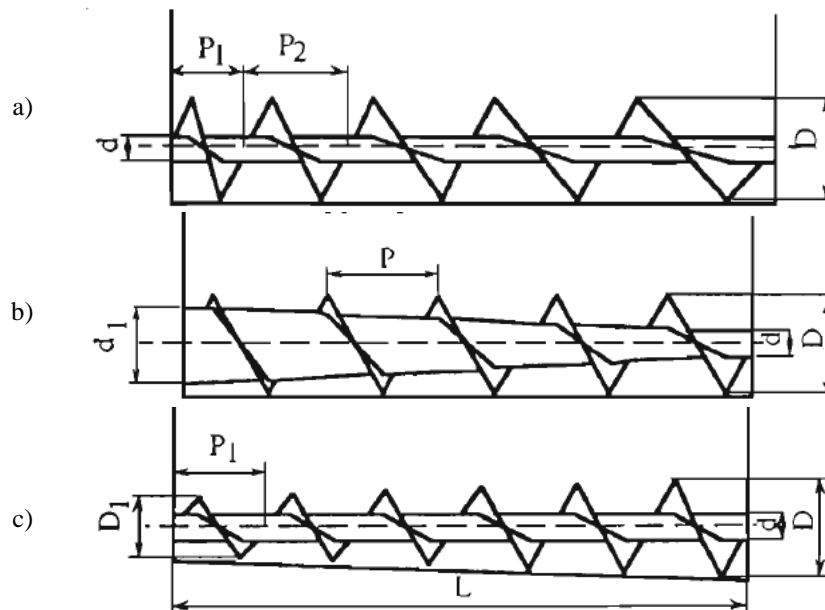
Kruvipressid ei ole Eestis väiketootjate seas kuigi populaarsed, hetkel on autorile teada ainult üks müüja (cidermill.eu), kes pakub 1000 kg/h jõudlusega kruvipressi GG GSP15. Samas kui Ameerika Ühendriikides ja Aasia maades on kruvipressid üsna levinud erinevate puu- ja köögiviljamahlade tootmisel.

Üldiselt koosneb kruvipressi töömasin (vt joonis 1.2) kolmest peamisest osast: tiguvõll või spiraal, silinder ehk presstoru ja matriits või rõhuklapp, mis piirab matrijali läbivoolu.



**Jooni 1.2** Kruvipressi lihtsustatud skeem.

Tiguvõll on kruvi- ehk ekspellerpressi peamiseks tööorganiks, mis lohistab materjali pikki pressi silindrit ja surub veetustatud jääkmaterjali läbi matriitsi. Sõltuvalt pressi väljuva ava läbilaskevõimest, pressitava materjali ja pindede vahelisest hõõrdumisest, kruvi pöörlemise kiirusest jms tekib materjali liikumisel vastusurve, mille toimele pressitav materjal kokku surutakse. Materjali liikumisel pressis pärivoolu, peab ta kruvi pinnal libisema, kui materjal kruvi pinnale nakkub, siis hakkab ta pöörlema koos kruviga ja teljesihilist liikumist ei toimu. Selleks, et puuviljamass libiseks kruvi pinnal ja nõ lohiseks pikki pressi silindrit, on silindri sisepinnal tihti vastavad sooned või vaheseinad, mis vähendavad libisemist (tangentsiaalselt liikumist). Tiguvõll võib olla kogu pikkuses ühe jämedusega või kooniline. Kruvi samm ehk heeliksi nurk võib samuti olla ühtlane või muutuv. Lisaks kasutatakse ka võlli pikkuses varieeruvat kruvi läbimõõtu [15]. Mõned näited on toodud joonisel 1.3.



**Joonis 1.3.** Kruvipressi tiguvõlli geometria lahendused: a) muutuva sammuga; b) muutuva võlli läbimõõduga; c) muutuva kruvi läbimõõduga [15].



Teiseks kruvipressi oluliseks komponendiks on pressi silinder ehk presstoru. Presstoru moodustab enamasti flantside vahel asetsev silindriline sõel (perforeeritud silinder), kuid kasutatakse ka varrastest või seibidest moodustatud silindreid (õli pressid). Tavaliselt ei ole kogu korpuse osa vedelikku läbilaskev, osal silindri pikkusest võib olla konveieri ehk sööturi funktsioon.

Kolmandaks komponendiks on pressi läbivoolu piirav osa, mis mõnel juhul on lahendatud lihtsalt aheneva või avarduva matriitsiga, aga on ka keerukamaid pressi rõhku reguleerivaid klapi mehhanisme. Matriits koosneb enamasti kolmest osast: silindriline-, kooniline- ja kalibreeriv osa.

## 1.5. Pidevprotsessiliste mahlapresside võrdlus

Tuginedes kirjanduslikele allikatele, masinatootjate avaldatud andmetele ning autori isiklikule kogemusele tuuakse järgnevalt välja lint- ja kruvipressi peamised eelised ja puudused. Euroopa masinaturul pakutakse väiketootjatele pidevprotsessilistest mahlapressidest peamisest lintpresse, Ameerikas ja Hiinas on valikus ka kruvipressid. Lintpresside tootjad Euroopas on näiteks Maurer Gep Kft.(Hungari), Voran Maschinen GmbH (Austria) ja Zumex HQ (Hispaania), millest Eestis on esindatud kaks esimest. Väikesema tootlikkusega kruvipresse toodavad näiteks Vincent Co (Ameerika Ühendriigid) ja Henan Tianzhong Machinery Co.(Hiina), mis autori teada Eestis ega Euroopas esindatud ei ole. Võrdluseks valiti nimetatud tootjate mahlapressid tootlikkusega 300 – 400 kg/h, masinate peamised iseloomustavad näitajad on välja toodud järgnevas tabelis 1.1 Mahlapresside infotabel [25, 27, 28, 29].

**Tabel 1.1** Mahlapresside infotabel

	<b>Maurer MKSP 300</b>	<b>Voran EBP350</b>	<b>Tian Zhong TZ-0.5</b>	<b>Vincent CP-6</b>
Tootlikkus, kg/h	300	300	350	300
Mass, kg	200	350	500	450
Jalajälg, m <sup>2</sup>	1.1628	1.2513	0.85	n/a
Võimsus, kW	0.55	0,5	3	1,5
Efektiivsus, %	75	75	70 - 75	70 - 85
Pesuvesi, L/h	500	120	-	-
Suruõhk, L/h	50	-	-	-
Hind, €	15000	16668	al 3000	33500

Mahlapresse iseloomustavatest andmetest hakkab esimese erinevusena silma nimivõimsus, mis kruvipressidel on ca 3 – 6 korda kõrgem. Suur võimsuse erinevus võib olla petlik, sest lintpressidele tuleb lisada vähemasti purustusseadme tarbitav võimsus. Kruvipress võib mõnel juhul (pehmemate viljadega) töötada ka ilma eelpurustita. Teiseks peamiseks erinevuseks on masina hind, mis Hiina tootja hinda arvestamata on taaskord kruvipressi kahjuks. Lintpresside kasuks räägib veel ka väiksem mass, mis võimaldab pressi hõlpsamini teisaldada ja arendada näiteks mobiilseks pressiks, millega erinevates asukohtades töötada. Kuigi kruvipresside puhul ei olnud teada pesuvee ega suruõhu kulu, siis ilmselt päris ilma pesuta nad siiski kaua ei tööta ja mõningase veekuluga peab kindlasti arvestama. Efektiivsuse ehk mahla väljatuleku osa on kõik tootjad andnud sarnased andmed, samas Vincent lubab teatud viljade puhul pressimisel koos abimaterjaliga kuni 85% väljatulekut. Lintpressi kahjuks võib välja tuua filterlintide välja venimise ja ummistumise, seega tuleb need arvestada kuluosade hulka, mille maksumus ei ole enamasti väike. Samuti võib negatiivseks omaduseks pidada suhteliselt suurt pesuvee kulu, mida tuleks kindlasti optimeerida vee taaskasutamisega, sest puhas vesi on samuti piiratud ressurss.

Kuna turul pakutavatest seadmetest esineb kõige vähem kruvipressi tüüpi mahlapresse ja kättesaadav informatsioon on vähene, siis nimetatud masina parameetrite välja selgitamiseks tehakse läbi arvutused ruutkeermega kruvipressi näitel.

## 2. MATERJAL JA METOODIKA

### 2.1. Survejõu mõõtmise katse

Puuviljamassi kokkusurutavuse ja selleks vajaliku rõhu välja selgitamiseks viidi Eesti Maaülikooli mõõtelaboris läbi pressimise katse. Katses kasutati kolme sorti puuvilja: Ploom (tume); Pirn (Conference) ja Õun (Jonagored). Puuviljade purustamiseks oli võimalik kasutada kahte erinevat riivi, kahe- ja kaheksamillimeetrise lõikeavaga. Tulemusi analüüsiti MS Excel'i keskkonnas tuntud kirjeldava statistika meetoditega ning saadud andmeid kasutati edasiste arvutuste ja järelduste tegemisel.

Katse eesmärgiks oli puuviljamassi (edaspidi katsekeha) kokkusurumine ohutuse mõttes mõistliku pingeni, fikseerida selleks vajaminev jõud ja kolvi siirde ulatus ning määrata katsekeha massiive ning kuivus. Mõistlikuks pingeks võeti enamlevinud mahlapressidel (vesi- ja lintpress) kasutavad pressimise rõhud, mis on ca 3 – 6 bar'i ülerõhku. Kokku sooritati üheksa arvestatavat kordust ning lisaks mõned proovikatsed seadme ja tingimustega tutvumiseks. Eelnevalt valmistati katse läbiviimiseks sobiv rakis, milles erineva konsistentsiga katsekehi Instron 5969 katseseadme abil kokku suruti (vt joonis 2.1. Mahla pressimise katse).



Joonis 2.1. Mahla pressimise katse.

Instron 5969 on Eesti Maaülikooli mõõtelaboris asuv universaalne staatilise toimega katseseade, millega saab läbi viia erinevaid tõmbe ja survekatseid jõuga kuni 50 kN. Katsetuse tarbeks valmistatud rakise konstrueerimisel lähtuti materjalide kättesaadavusest, mõõtmete optimaalsusest mõõteseadme suhtes ning materjal omadustest, vältimaks ootamatut purunemist. Rakis koosneb kolmest põhilisest detailist: osaliselt perforeeritud pinnaga silinder, sõel ja kolb koos kolvivarrega. Silindri valmistamiseks kasutati PN6 surveklassiga PE100 plastikust survetoru, välisläbimõõduga 110 mm ja seinapaksusega 4,2 mm ning sama paksusega PE100 lehtmaterjali (silindri põhi). Silindri põhja ja külpinna alumisse ossa perforeeriti 3,5 mm avad ning vooderdati spetsiaalse tööstusliku polüpropüleenist 28% avatud pinnaga filterlindiga. Pressimiseks kasutati 6,5 mm paksusest II-klassi FK vineerist valmistatud kolmekihilist kolbi läbimõõduga 95 mm. Paindetugevus 9 – 30 mm paksusel FK vineeril on 35 MPa [19]. Kihid liideti PVA liimi ja kruvide abil kokku selliselt, et vineeri tugevussuunad ei kattuks. Kolvi ühendamiseks katseseadmega kasutati tsingitud 8.8 tugevusklassi M10 keermelatti ja sobivaid M10 8.8 Zn mutreid.

### **2.2.1. Katse kirjeldus**

Vahetult enne pressimise katse kordust valmistati nn köögikombaini riiviga ette ca 300 g puuviljamassi, mis kaaluti enne ja pärast kokku pressimist ning millest ca 60 g pakendati iga korduse lõpus õhukindlasse minigrupp kotti. Pakendatud proovidest võeti hiljem ca 10 g kogused, millest määrati ahjumeetodiga katsekeha kuivus. Kaalumiseks kasutati poekaalu CAS AP-1 (täpsus 2g) ja täppiskaalu Kern EG ( $e=0,01g$  ja  $d=0,001g$ ). Seejuures täppiskaalu kasutati veetustatud materjali kuivuse määramisel.

Vee- ja kuivainesisaldus määratakse niiskuse täielikul aurustamisel uuritavast ainest. Proov kuivatatakse kõrgel temperatuuril ( $105^{\circ}C$ ) konstantse massini. Pärast kuivatamist saadud kuivjäägi kogus kaalutakse ja määratakse veesisaldus. Kuivatamise meetodil määratakse üheaegselt nii vee- kui ka kuivainesisaldus uuritavas proovis. Aine kuivab ehk kuivatusõhk seob veeauru, kui veeauru osarõhk keha piiril on suurem kui ümbritsevas kuivatusõhus. Eristatakse keemiliselt, füüsikalis-keemiliselt ja füüsikaliselt seotud vett [1].

Kuivainesisaldus arvutatakse proovi lõpp- ja algkaalutise suhtarvuna, millest omakorda tuletatakse veesisaldus. Tahke materjali suhtelist niiskust väljendatakse niiske materjali massi suhtes valemiga [1]:

$$W = \frac{m_n}{m} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

kus  $W$  on materjali suhteline niiskus %;

$m_n$  – vee(niiskuse) mass kg;

$m$  – niiske materjali mass kg.

Või kuivaine massi suhtes (absoluutne) [1]:

$$W_k = \frac{m_n}{m_k} \cdot 100\%, \quad (2.2)$$

kus  $W_k$  on materjali suhteline niiskus %;

$m_k$  – materjali kuivaine mass kg.

Pressimise saagikus ehk efektiivsus väljendub pressimise saagikuses, mis on leitav valemiga:

$$E_p = \frac{m_v}{m_s} \cdot 100\% \quad (2.3)$$

kus  $E_p$  – pressimise efektiivsus %;

$m_v$  – mahla mass peale pressimist kg;

$m_s$  – pulbi mass enne pressimist kg.

Oluline on vahet teha toorme ja mahla kuivaine sisaldusel, antud töö raames mõeldakse kuivaine all toorme ehk pressitava massi kuivainesisaldust, mis on määravaks pressimise tehnoloogia valikul.

## 2.2. Mahlapressi projektarvutused

### 2.2.1. Arvutusmetoodika kruvipressi parameetrite leidmiseks

Lihtsustatud mudeli kohaselt käsitletakse pressitavat materjali Newtoni vedelikuna, mis voolab laminaarselt, ei libise silindri pinnal tangentsiaalselt, ega vaju kruvi ja silindri vahelt läbi [7, 14, 15]. Tegelikuses ei ole pressitav materjal muidugi kogu pressimise tsükli vältel ühesugune, muutudes veetustamise käigus poolvedelast olekust pooltahkeks, see teeb kruvipressi töö parameetrite ja võimsustarbe matemaatiliselt kirjeldamise üsna keeruliseks ülesandeks. Seetõttu on levinud arvutusvalemid pigem lihtsad ja sisaldavad palju konkreetse seadme arvutuste jaoks empiirilisel määratud konstante [14]. Üsna raske on ette ennustada

kui palju materjal mingil hetkel koos kruviga tangentsiaalselt kaasa pöörleb või pikki silindrit edasi lohiseb, selleks lisatakse kruvisööturi tootlikkuse arvutusse vastav koefitsent.

Mahuefektiivsus on kruvisööturi tegeliku ja teoreetilise jõudluse suhe ühe kruvi pöörde kohta. Selle leidmiseks on erinevaid teooriaid, mida uuris Yu Yongqin Wollongong'i ülikoolis [15]. Aeglaste pööretega kruvisööturi mahuefektiivsuse arvutamiseks kasutatakse kruvi geometriast ja materjali ning sööturi heeliksi pinna vahelisest hõõrdetegurist tulenevat seost, mida aitab mõista joonis 2.2, kus on näidatud kruvi pinnal liikuva elemendi kiiruste ja nihete suunad ning nurgad, nurkade vahel kehtib seos  $\alpha + \beta = 90^\circ - \varphi_f$  [15].

$$\mu \cdot \eta_v = \frac{V_{con}}{\pi P(R_o^2 - R_c^2)} = \frac{\tan(\beta)}{\tan(\alpha) + \tan(\beta)} \quad (2.4)$$

kus  $V_{con}$  on tegelik teisaldatud maht  $\text{m}^3$ ;

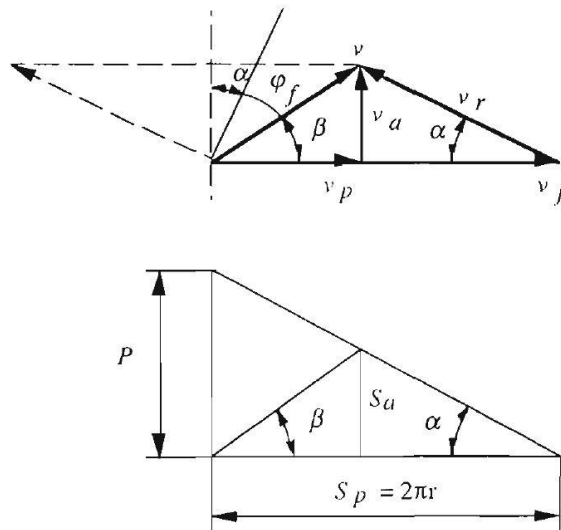
$\eta_v$  – mahuefektiivsus (ühikuta suurus);

$\mu$  – hõõrdetegur (ühikuta suurus);

$P$  – heeliksi samm (ingl *pitch*) m;

$R_o$  – heeliksi välimine raadius m;

$R_c$  – heeliksi sisemine raadius m.



**Joonis 2.2.** Kruvi pinnal liikuva elemendi kiiruste ja nihete suunad ning nurgad [15].

Kokkusurumise tegur ühe kruvi pöörde kohta [14, 15]:

$$\varepsilon = \frac{V_i - V_f}{V_i} \quad (2.5)$$

kus  $\varepsilon$  on kokkusurumise tegur (ühikuta suurus);

- $V_i$  – materjali algne maht  $m^3$ ;  
 $V_f$  – maht peale kokkusurumist  $m^3$ .

Enamasti leitakse kruvisõõturit läbiv teoreetiline kogus ehk tootlikkus valemiga [14]:

$$Q_{te} = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot (s - \delta) \cdot (1 - \varepsilon) \cdot n \cdot k \cdot 60 \quad (2.6)$$

kus  $Q_{te}$  on teoreetiline tootlikkus  $m^3/h$ ;

- $D$  – tiguõõlli välimine ja sisemine läbimõõt  $m$ ;  
 $d$  – tiguõõlli sisemine läbimõõt  $m$ ;  
 $s$  – kruvi samm  $m$ ;  
 $\delta$  – heeliksi seina paksus  $m$ ;  
 $n$  – kruvi pöördesagedus  $p/min$ ;  
 $\varepsilon$  – kokkusurumise tegur (ühikuta suurus);  
 $k$  – tegur, mis arvestab tagasivajumist ja ebaühtlast täituvust.

Heeliksi kruvi tõusunurk:

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{s}{\pi \cdot D} \quad (2.7)$$

kus  $\varphi$  on jõukruvi tõusunurk  $^\circ$  (kaadi) [17, 23];

- $s$  – kruvi samm  $m$ ;  
 $D$  – kruvi läbimõõt  $m$ .

Hõõrdetegur ehk liugehõõrdetegur näitab hõõrdejõu ja keha toereaktsiooni suhet, kehtib võrdus [17]:

$$\mu = \tan(\varphi_f) = \frac{F_h}{N} \rightarrow \varphi_f = \tan^{-1} \left( \frac{F_h}{N} \right) \quad (2.8)$$

kus  $\mu$  on hõõrdetegur (ühikuta suurus);

- $\varphi_f$  – hõõrdenurk;  
 $F_h$  – hõõrdejõud;  
 $N$  – normaaljõud ehk liugpinnaga risti mõjuv reaktsioonijõud.

On leitud, et näiteks puidujäätmete hõõrdetegur pressimisel sõltub niiskusesisaldusest ja normaalrõhust, rõhu suurenedes hõõrdetegur väheneb ning niiskusel on hõõrdumist soodustav mõju [20]. Lisaks uuriti erinevate materjalide vaheliste hõõrdetegurite kohta käsiraamatutest ning Adolfo Eschenwaldi poolt kohvi viljadega läbi viidud hõõrdeteguri katse tulemusi [17, 22]. Selgus, et vesi kui teatud mõttes lubrikant vähendab hõõrdumist kuid samas võimaldab ka osakeste vahelist pindpinevusjõudu ja adhesiooni. Käsiraamatutes on välja toodud puidu ja metalli vaheliseks liugehõõrdeteguriks 0,3...0,6 (pehme puit 0,25...0,4) ja määratult 0,1...0,2.

Mehaanika õpikutest ja käsiraamatutest võib leida võrratuse jõukruvi tõusunurga ja hõõrdenurga vahel, mille järgi otsustakse, kas kruvipaar on isepidurduv või mitte. Isepidurduvuse tingimus on  $\varphi_f \geq \varphi$  ehk kruvipaari hõõrdenurk peaks olema suurem või võrdne keerme tõusunurgaga. Standard kruvi sammu ja diameetri suhe on 1:1 või lühikese sammu puhul kuni pool diameetrist [15]. Antud seos võiks kehtida ka kruvipressi puhul, väiksem heeliksi tõusunurk peaks võimaldama kruvi abil tõsta suuremat raskust. Kuid praktikas ei saa pressitava materjali omadustest tulenevalt nii väikest kruvi tõusunurka kasutada, sest materjal nõ ummistaks kruvi ära ja hakkaks koos kruviga kaasa pöörlema.

Jõukruvi pööramiseks vajalik pöördemoment, arvestades hõõrdumist kruvi pinnal [23]:

$$T = \frac{F \cdot D_m (\mu \cdot \pi \cdot D_m + s)}{2(\pi \cdot D_m - \mu \cdot s)} \quad (2.9)$$

kus  $T$  on pöördemoment N·m;

$s$  – kruvi samm m;

$D_m$  – kruvi keskmine läbimõõt m;

$F$  – tõstetav koormus N;

$\mu$  – hõõrdetegur.

Pöördemoment kruvi teljesihilise tugirõnga suhtes leitakse valemiga [23]:

$$T = \mu \cdot F \cdot \frac{d}{2} \quad (2.10)$$

kus  $T$  on pöördemoment N·m;

$\mu$  – hõõrdetegur;

$F$  – tõstetav koormus N;

$d$  – hõõrdepinna läbimõõt m.

Liugpindade vahelise hõõrde ületamiseks vajaminev pöördemoment avaldub valemist [23]:

$$T = \mu \cdot W \cdot r \quad (2.11)$$

kus  $T$  on pöördemoment N·m;

$\mu$  – hõõrdetegur;

$W$  – koormus hõõrde pinnale N;

$r$  – silindri raadius m.

Pinge ehk ristlõike pinnaühikule taandatud koormus [23]:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.12)$$

kus  $\sigma$  on pinge Pa;

$F$  – koormus N;



$A$  – pinnauhik  $m^2$ .

Efektiivvõimsus ehk ajaühiku jooksul tehtav töö [23]:

$$P = \frac{T \cdot n}{9,554} \quad (2.13)$$

kus  $P$  on efektiivvõimsus W;

$T$  – pöördemoment N·m;

$n$  – pöörlemissagedus p/min.

Materjali pressimiseks vajalik võimsus  $P_p$  moodustub järgnevatest komponentidest [14]:

$$P_p = \frac{P_{tr} + P_{pr} + P_{hr} + P_{vl}}{\mu_m} \quad (2.14)$$

kus  $P_{tr}$  on materjali transpordiks vajalik võimsus W;

$P_{pr}$  – materjali pressimise võimsus W;

$P_{hr}$  – võimsus pindade vahelise hõõrdumise ületamiseks W;

$P_{vl}$  – võimsus veetustatud massi matriitsist läbi surumiseks W;

$\mu_m$  – kogu pressi mehaaniline kasutegur.

Pressitava massi lineaarsest koormusest tulenev raskusjõud leitakse valemiga [14]:

$$F_r = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot \rho \cdot L \cdot g \quad (2.15)$$

kus  $F_r$  on massi raskusjõud N;

$\rho$  – materjali tihedus  $kg/m^3$ ;

$L$  – pressikruvi pikkus m;

$g$  – raskuskiirendus  $9,81 m/s^2$ ;

$D$  – heeliksi välimine ja sisemine diameeter m.

$d$  – heeliksi välimine ja sisemine diameeter m.

Pressikruvi poolt tekitatav resultant pinget avaldub seosest [14]:

$$\sigma = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{3} = \frac{(1 + 2 + \beta) \cdot p}{3} \quad (2.16)$$

kus  $\sigma$  on resultant pinget Pa;

$p$  – pressimise rõhk Pa;

$\beta$  – külgsurvet arvestav koefitsient.

Tegelikult ei ole pressimise rõhk ilmselt kogu kruvi ulatuses konstantne ja kasvab alles pressikambri lõpuosas maksimaalseks [14]. Ilmselt juhtub see siis kui suurem osa vedelikku on massist eraldunud ja mass muutub tihkemaks ning hõõrdumine pindadega suuremaks.

Materjali transpordiks vajalik võimsus leiti valemiga:

$$P_{tr} = F_r \cdot v = \frac{F_r \cdot s \cdot n}{60} \quad (2.17)$$

kus  $P_{tr}$  on materjali transpordiks vajalik võimsus W [14];

- $F_r$  – materjali massi raskusjõud N;
- $v$  – teljesihiline liikumise kiirus m/s;
- $s$  – kruvi samm m;
- $n$  – kruvi pöördesagedus p/min.

Materjali kokku pressimiseks vajalik võimsus leiti valemiga:

$$P_{pr} = \frac{L_{pr} \cdot n}{60} = \frac{(1 + 2 + \beta) \cdot p \cdot \varepsilon \cdot V_i \cdot n}{3 \cdot 60} \quad (2.18)$$

kus  $P_{pr}$  on materjali pressimise võimsus W [14];

- $L_{pr}$  – pressimise töö J;
- $n$  – kruvi pöördesagedus p/min;
- $p$  – pressimise rõhk Pa;
- $\varepsilon$  – kokkusurumise tegur;
- $V_i$  – materjali algne maht m<sup>3</sup>;
- $\beta$  – külgsurvet arvestav koefitsient.

Antud arvutusmetoodika arvestab asjaoluga, et kruvi poolt tekitatav survejõud ja pinge massiühikule mõjub peamiselt telgsuunas ning säilib ka vedeliku hüdrostaatiline tasakaal [14].

Kruvi survepinna ja pressitava massi vahelise hõõrdumise ületamiseks vajalik võimsus arvutatakse kruvi hõõrdemomendi kaudu [14]:

$$dM_{hk} = r \cdot dF_h = \mu \cdot p \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{r^3}{3} \Big|_{R_1}^{R_2} \rightarrow M_{hk} = \mu \cdot p \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{R_2^3 - R_1^3}{3} \quad (2.19)$$

kus  $M_{hk}$  on hõõrdejõu moment heeliksi pinnal N·m;

- $\mu$  – hõõrdetegur;
- $p$  – pressimise rõhk Pa;
- $R_2$  – välimine raadius m;
- $R_1$  – sisemine raadius m.

Täiendav võimsuskadu tekib ilmselt ka pressitava massi ja pressi silindri vahelisest hõõrdumisest, mis arvutati silindriliste pindade vahelise hõõrdemomendi kaudu:

$$M_{hs} = \mu \cdot r \cdot F_r \quad (2.20)$$

kus  $M_{hs}$  on hõõrdejõu moment pressi silindri sisepinnal N·m [23];

- $\mu$  – hõõrdetegur;

- $r$  – silindri sisepinna raadius m;  
 $F_r$  – materjali massi raskusjõud N.

Massi matriitsi avast läbi surumiseks vajalik võimsus avaldub valemist:

$$P_{vl} = F_{pr} \cdot \frac{Q_{te}}{A_m} \quad (2.21)$$

kus  $P_{vl}$  on võimsus veetustatud massi matriitsist läbi surumiseks W;

- $Q_{te}$  – teoreetiline tootlikkus m<sup>3</sup>/h;  
 $F_{pr}$  – maksimaalne pressimisjõud N;  
 $A_m$  – matriitsi ava ristlõige m<sup>2</sup> [14].

Pressi läbimise aeg leiti pressi jõudluse ja massi koguse kaudu:

$$t' = t \cdot m_p = \frac{3600}{Q_p} \cdot V_{pr} \cdot \rho \quad (2.22)$$

kus  $t'$  on aeg pressi läbimiseks s;

- $Q_p$  – pressi teoreetiline tootlikkus kg/h;  
 $V_{pr}$  – massi kogus pressis m<sup>3</sup>;  
 $\rho$  – materjali tihedus kg/m<sup>3</sup>.

Mahlale üle kantav soojus tekib peamiselt massi ja presskrivi ning silindri vahelise hõõrdumise tulemusel. Hõõrdumise energia arvutati valemiga:

$$E_h = t' \cdot (P_{hk} + P_{hs}) = t' \cdot \frac{(M_{hk} + M_{hs}) \cdot n}{9,554} \quad (2.23)$$

kus  $E_h$  on hõõrdumise energia J;

- $t'$  – aeg pressi läbimiseks s;  
 $M_{hk}$  – hõõrdejõu moment heeliksi pinnal N·m;  
 $M_{hs}$  – hõõrdejõu moment pressi silindri sisepinnal N·m;  
 $n$  – kruvi pöördesagedus p/min.

Temperatuuri muutus avaldati valemist:

$$\Delta t = \frac{E_h}{m_p \cdot C_m} \quad (2.24)$$

kus  $\Delta t$  on materjali temperatuuri muutus kraadides [23];

- $E_h$  – hõõrdumise energia J;  
 $m_p$  – pressitava materjali mass kg;  
 $C_m$  – materjali soojusmahtuvus J/kg·K.

Matemaatiliste arvutuste lihtsustamiseks kasutati arvutitarkvara Mathcad Prime 7, mille abil eeltoodud valemeid kasutades selgitati välja soovitud tootlikkusega kruvisööturi para-

meetrid. Mahlapressi võimsuse arvutus tehti võrdluseks läbi kahel meetodil. Esimesel juhul kasutati mehaanika käsiraamatutest leitavaid jõukruvi valemeid (1.11, 1.12, 1.13). Teisel juhul kasutati Bukaresti Polütehnilise Ülikooli teadlaste poolt avaldatud artiklis *Calculus Elements for Mechanical Presses in Oil Industry* kirjeldatud meetodikat (1.14 – 1.21) [14].

### 2.2.2. Jõuülekande arvutusmeetodika

Masina mõõtmete kompaktsust ja kaalujaotust silmas pidades võiks mootori võimsuse ülekandmiseks kasutada rihmülekannet. Kiilrihmade parameetrid on leitavad erinevate tootjate tehnilisest juhenditest. Antud juhul kasutati Mitsuboshi kiilrihma kataloogist pärinevat infot. Rihma valimiseks peab eelnevalt olema teada ülekantav võimsus, ülekande suhe, rihmaratsete vaheline kaugus ja väiksema ratta pöörlemissagedus ning masina töötingimused.

Ülekande elementidele mõjuv võimsus leitakse valemiga:

$$P_d = P_t \cdot K_s \quad (2.25)$$

kus  $P_d$  on ülekande disainvõimsus kW;

$P_t$  – ülekantav võimsus kW;

$K_s$  – ülekande dünaamikat arvestav tegur.

Dünaamikategur kombineeritakse rihma tootja kataloogist leitavate vastavate väärtuste põhjal. Disainvõimsuse ja rihmaratta pöörlemissageduse alusel valitakse rihma tüüp, vähimaks soovituslikuks väiksema rihmaratta pöörlemissageduseks on 100 p/min. Rihma tüübi järgi leitakse tabelist väiksema rihmaratta arvutusläbimõõt, mis sõltub rihma painderaadiusest. Valitud väikese rihmaratta läbimõõdu ja ülekandearvu järgi leitakse ka teise rihmaratta läbimõõt. Kui tegeliku läbimõõdud erinevad arvutuslikest, siis kontrollitakse arvutuslikult ka tegelikku ülekandearvu, mis ei tohiks erineda etteantust üle 5%.

Seejärel leitakse arvutuslik rihma tegelik pikkus, mis on leitav valemiga:

$$l_{teg} = 2 \cdot C + \frac{\pi \cdot (D_{teg} + d_{teg})}{2} + \frac{(D_{teg} + d_{teg})^2}{4 \cdot C} \quad (2.26)$$

kus  $l_{teg}$  on rihma tegelik pikkus mm;

$C$  – rihmaratsete vaheline kaugus mm;

$d_{teg}$  – väiksema rihmaratta läbimõõt mm;

$D_{teg}$  – suurema rihmaratta läbimõõt mm.

Rihmade arvu leidmiseks tuleb esmalt rihmatootja kataloogist leida väikese rihmaratta läbimõõtu ja kiirust arvestav võimsuse ülekandetegur  $P_s$  ning ülekandearvu arvestav võimsuse ülekandetegur  $P_a$ . Samuti tuleb tabelitest leida veel haardenurga tegur  $K\theta$  ja rihma pikkustegur  $K_l$ . Vajalik rihmade arv leitakse valemiga:

$$n_b = \frac{P_d}{P_c} = \frac{P_d}{(P_s + P_a) \cdot K\theta \cdot K_l} \quad (2.27)$$

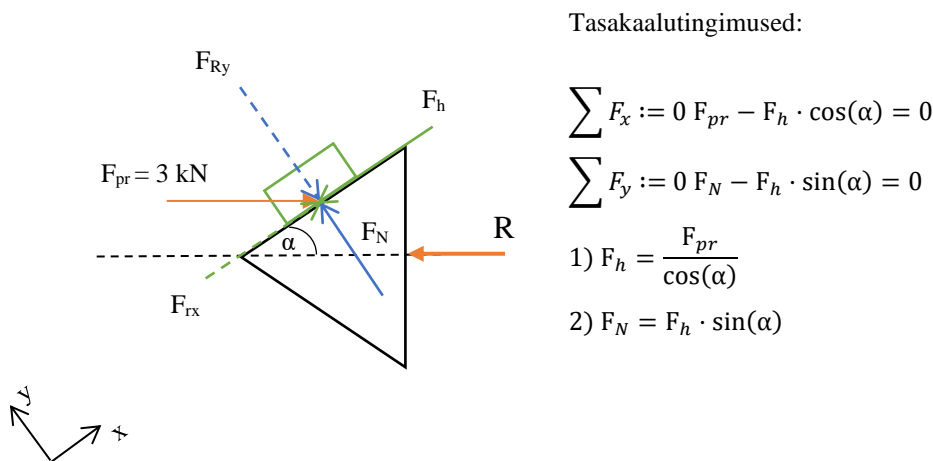
kus  $n_b$  on rihmade arv tk;

$P_d$  – ülekande disainvõimsus kW;

$P_c$  – korrigeeritud hinnanguline võimsus kW.

### 2.2.3. Otsaklapi survevedru arvutusmetoodika

Otsaklappi, mis piirab materjali läbivoolu ja mille konstruktsioon võimaldab translatoorset liikumist, mõjutavad välisjõud ehk koormus. Ühelt poolt presskruvi poolt materjali kaudu ülekanduvad jõud, teiselt poolt vedru pinge, mis surub otsaklappi vastu matriitsi. Tuleb teostada jõudude analüüs ja leida teljesuunaline resultantjõud, millega tasakaalustatakse presskruvi poolt tekitatud jõudu. Selleks koostati otsaklapi jõudiagramm ja tasakaaluvõrrandid (joonis 2.2.), mille järgi arvutati vedrule vajalik resultantjõud.



**Joonis 2.2.** Otsaklapi jõudiagramm ja tasakaaluvõrrandid.

Resultantjõud survevedrule arvutati valemiga:

$$R = \mu \cdot F_h \cdot \cos(\alpha) \quad (2.18)$$

kus  $\mu$  on hõõrdetegur;

$\alpha$  – otsaklapi tõusunurk ° (kaadi).

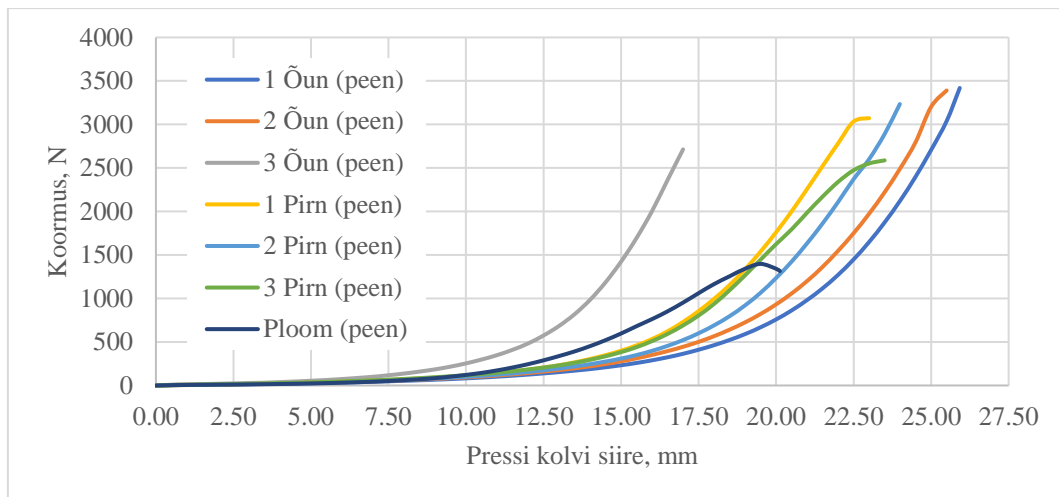
### 2.3. Lähteparameetrid mahlapressile

Sobilik mahlapress peaks olema pideva või poolpideva protsessiga, vähese energiatarbe ja ruumivajadusega, lihtsasti puhastatav ning madalate hoolduskuludega. Samas peab masin vastama kirjanduse ülevaates välja toodud seadme-, toidu- ja keskkonnaohutuse nõuetele. Tooraineks peavad sobima õunviljad ja marjad läbimõõduga kuni 70 mm, veesisaldusega keskmiselt 80% ning viljaliha tugevusega kuni 10 kg/cm<sup>2</sup>. Masin peab suutma veetustada ca 300 kg toorainet tunnis (erikaal 845 kg/m<sup>3</sup>) ning töötamiseks vajama ühte operaatorit. Seejuures ei tohiks põhjustada mahla ülemäärast soojenemist ega hõõrdumisest tingitud peenosakesi, mis halvendaks mahla kvaliteeti. Energiavarustuseks peaks piisama standardsest kolmefaasilisest 230V võrguühendusest ja võimsus võiks jääda alla 1,5 kW. Masin koos teenindava inventariga peaks mahtuma töötama keskmise garaaži suurusele pinnale (ca 22 m<sup>2</sup>).

## 3. TULEMUSED

### 3.1. Survejõu mõõtmise tulemused

Riiviga purustatud katsekeha laotati ühtlase kihina rakise sõelale ja mõõdeti kihi esialgne kõrgus sõela pinnast. Selleks, et katsed oleksid tehtud võimalikult võrdsetes tingimustes, kalibreeriti katseseadme jõuandur ehk määrati mõõtmise alguspunkt. Selleks lähendati kolbi katsekehale kuni jõuandur näitas 5 N, seejärel nulliti jõu ja siirde anduri hetkenäit ning käivitati katseseade, sellest punktist algas iga korduse mõõtmine. Instron 5969 juhtprogramm võimaldab pressimise parameetrimäärata kokkusurumise kiirust, milleks valiti 5 mm/min. Selline massi kokkusurumise kiirus peaks tagama piisava aja vedeliku eraldumiseks katsekehast ning võimaldab ohu ilmnemisel piisavalt operatiivselt tsüklit peatada. Prooviks tehti ka paar katset automaatrežiimis jõuga 1000 N ja kiirusega 10 mm/min, kuid antud jõud oli selgelt ebapiisav. Seetõttu otsustati kasutada suuremat pressimise jõudu ja ohutuse huvides ka väiksemat töökiirust, pressimise tsüklit lõpetati käsitsi kui mõõdetud jõud ületas 3,5 kN või siirde ulatus oli üle 2/3 algsest kõrgusest. Katse käigus kaldus eesmärk pigem õunale ja pirnile omaste pressimise parameetrite välja selgitamisele, sest üsna katse alguses selgus, et kaasa võetud riivid ei ole ploomi viljaliha purustamiseks optimaalse ava läbimõõduga. Ploomi puhul oli näha, et 2 mm riivi ava on liiga peen, sest purustamisel tekkis sisuliselt püree ning taolist massi oli võimatu antud rakises kokku pressida. Katsekeha pressimisel hakkas mass ca 0,2 N/mm<sup>2</sup> pinge juures pressi kolvi kõrvalt tagasi vajuma ja pressimise jõud langema. Jämedama 8 mm riiviga saadud katsekeha kokku pressimisel oli tulemus sarnane jämeda õunamassi pressimisele. Mõõtmise tulemused peene purustuse kohta on välja toodud jõu-siirde graafikul joonisel 3.1.



**Joonis 3.1.** Pressimise jõu ja kolvi siirde graafik.

Õunamassi katsekeha (vt joonis 3.2.) prooviti pressida samuti kahes versioonis: 8 mm ja 2 mm riivi avaga purustatult. Kuna jämeda fraktsiooniga massist ei eraldunud visuaalsel vaatlusel kuigi palju mahla, siis otsustati aja kokkuhoiu mõttes edaspidi jämedast riivist üldse loobuda ning pirni puhul kasutatigi ainult peenemat 2 mm avaga riivi.



**Joonis 3.2.** Õunamassi katsekeha pärast pressimist.

### 3.1.1. Katse käigus kogutud andmed ja nende analüüs

Katseseadmega ühendatud arvutiprogramm registreeris kolme muutuja: katse aja  $s$ ; kolvi siirde  $mm$  ja mõõdetud survejõu  $N$  tulemused. Katse käigus tekkis CSV failidena ca 1,33 MB andmeid, mis imporditi MS Excel tabelitöötamise keskkonda (vt Lisa 1, Tabel 3.1. Pressimise katseandmed). Esmalt redigeeriti andmeseeriad selliselt, et ei oleks tühje välju ja kõik oleks sobivas formaadis. Seejärel tehti iga katse korduse kohta esialgne kirjeldav statistika (*descriptive statistics*). Sellest nähtus, et kuigi katse pikkusi üritati manuaalselt



hoida sarnastena, siis andmeseeria pikkused tulid üsna erinevad, mis raskendab andmete võrdlemist. Lisaks selgus veel erinevaid puudusi, mis raskendasid hilisemat andmete võrdlemist, kuid mida katset ette valmistades ei osanud kahjuks ette näha. Sellest hoolimata õnnestus mõningad seosed katsete vahel siiski tõestada. Korrelatsiooni analüüs erinevate mõõtmisseeriade vahel näitas, et korrelatsioonikordaja on tugev lähenedes ühele (0,979 – 0,999), samuti oli üsna tugev positiivne korrelatsioon (0,808 – 0,858) ka kolvi siirde ja pressimise jõu vahel. Kaalutud kogused olid küll üsna võrdsed (standardhälve 6,1 g ehk 2%), kuid joonlauaga mõõdetud algekõrgust võib pidada ainult ligilähedaseks hinnanguks.

Pressimise andmetest sai välja lugeda maksimaalsed pressimise jõud, mille põhjal arvutati (valemi 1.6 järgi) maksimaalsed pinged ehk pressimise rõhud erinevate katsekehade puhul. Selgus, et maksimaalne pressimise jõud oli 3419 N ja sellele vastav rõhk katsekehale pressi kolvi poolt 483 kPa ehk 4,83 bar'i ning keskmine rõhk 4,34 bar'i. Üle kõigi korduste oli rõhk keskmisest kõrgem 62,5%<sup>1</sup> ja peene eelpurustuse puhul 66,7%<sup>1</sup> juhtudest. Lisaks arvutati iga korduse pressimise jõu muutus vastava siirde muutuse kohta ehk  $\Delta F/\Delta s$  ning leiti katse gruppe kirjeldavad regressioonimudelid. Pea 98% tõenäosusega võib väita, et kolvi siirde ja pressimisjõu kasvu vahel eksisteerib eksponentsiaalne sõltuvus. Seega teatud kokkusurutavusest edasi minna pole mõistlik, sest pressimiseks vajalik jõud suureneb kiiresti. Kahjuks ei õnnestunud katse käigus eriti täpselt mõõta katsekeha mahu muutust. Seega ei saa täpselt öelda kui palju muutus pressitava massi kihi kõrgus, selleks oleks pidanud nullpunktiks seadma rakise põhja. Küll aga saab katse põhjal öelda kui suur oli massiive ja vastava saagise tekitamiseks vajalik jõud antud konsistentsi korral. Samuti saab välja tuua mahu muutuse teatud survejõudude vahemikus, 5 N – 3,5 kN.

Lähtuvalt katse tulemustest ja kirjandusest kogutud andmetest, peaks pressitava õunamassi maht mehaanilise jõu toimele vähenema ca kolm korda, sest pressimise abil saab eralda ainult füüsikaliselt seotud vett ja sedagi osaliselt. Empiiriliste katsetega on kindlaks tehtud, et reaalne mahla saagis on keskmiselt 65% õunte massist [6]. Nagu selgub katseandmetest, jõuti sarnase tulemuseni ka pressimise katse käigus ning selleks läks vaja ca 3 kN koormust. Seega näiteks 1 kg õunamassi pressimisel saame valemi (1.1) teisenduse abil eeldatavaks mahla koguseks  $m_v = 0,65$  kg ehk 0,62 L (õunamahla tihedus 1,05 kg/cm<sup>3</sup>).

Erinevatel pressi tüüpidel võib tulemus mõningal määral varieeruda, kuid üldiselt ei õnnestu ühekordse pressimisega kogu mahla kätte saada ja kasutatakse kahte või enam etappi, mille vahel võidakse massi veega lahjendada, et rohkem ekstraktiivaineid nõ välja pesta [18].

### 3.2. Mahlapressi projektarvutuste tulemused

Kõigepealt leiti valemit (2.6) kasutades soovitud tootlikkusele vastavad presskruvi läbimõõdud. Võlli läbimõõduks saadi  $d = 38$  mm ja heeliksi välimiseks läbimõõduks  $D = 98$  mm. Krugi sammuks võeti  $s = 60$  mm ja heeliksi seinapaksuseks  $\delta = 3$  mm. Presskruvi kogupikkuseks valiti  $L = 500$  mm, millest  $l_p = 300$  mm hõlmab presskambri ja  $l_s = 200$  mm sööturi osa. Antud konfiguratsioon moodustab kogu kruvile 8,333 ja pressi osale 5 heeliksi keerdu. Pressimise maksimaalseks jõuks valiti  $F_{pr} = 3000$  N, mis osutus katse andmetel piisavaks. Katse andmete põhjal ja valemit (2.5) kasutades arvutati kokkusurutavuse tegur  $\varepsilon = 0,686$ . Hõõrdeteguriks valiti  $\mu = 0,4$  ning presskruvi pöörlemissageduseks  $n = 60$  p/min.

Esimest võimsuse arvutamise meetodikat rakendades saadi: valemi (2.9) järgi presskruvi pöördemomendiks  $T = 78,24$  N·m; massi ja korpuse vahel tekkivaks pöördemomendiks saadi (2.11) järgi  $T = 0,52$  N·m; massi ja otsaklapi vahel tekkivaks pöördemomendiks valemi (2.10) järgi  $T = 40,8$  N·m. Mis annab kogu pöördemomendiks ca  $T = 120$  N·m ja vastavalt valemile (2.13) tarbitavaks efektiivvõimsuseks  $P = 0,8$  kW ning arvestades ka masina mehhaanilist kasutegurit  $\mu_m = 0,8$ , saadakse kogu tarbitavaks võimsuseks  $P = 0,94$  kW ja pöördemomendiks  $T = 149$  N·m.

Teise meetodika järgi arvutati eraldi välja kõik valemis (2.14) toodud võimsuse komponendid ja saadi koguvõimsuseks  $P_p = 1,1$  kW ning pöördemomendiks  $T_p = 177$  N·m. Seejuures kulus valemite (2.17, 2.18 ja 2.21) järgi materjali transportimisele ja kokku pressimisele ning matriitsi avast läbi surumisele  $P_{tr} + P_{pr} = 0,639$  kW jagu võimsust.

Hõõrdumise ületamiseks vajab antud parameetritega kruvipress valemite (2.19 ja 2.20) järgi hinnanguliselt  $P_h = 0,25$  kW võimsust, mis on otseselt sõltuv hõõrdetegurist. Kuna hõõrdumise tingimused ei olnud antud juhul täpselt teada, siis ilmset võib tegelik hõõrdetegur antud juhul olla ka väiksem, sest vedelik (mahl) peaks soodustama libisemist ja hõõrdejõud jääb väiksemaks.

Projekteerimise tingimusena oli välja toodud, et pressimise protsess ei tohiks oluliselt tõsta mahla temperatuuri. Sellest tulenevalt arvutati ka potentsiaalne temperatuuri muutus pressi läbimise aja kohta, selleks kasutati valemiteid (2.22, 2.23 ja 2.24) ning teades mahla soojusmahtuvust ( $C_m = 3918$  J/kg·K), saadi järgnevad tulemused [24]. Pressi läbimise ajaks 2,6 kg (pressitäis) massi kohta saadi  $t' = 28$  s, mille jooksul antakse mahlale hõõrdumise

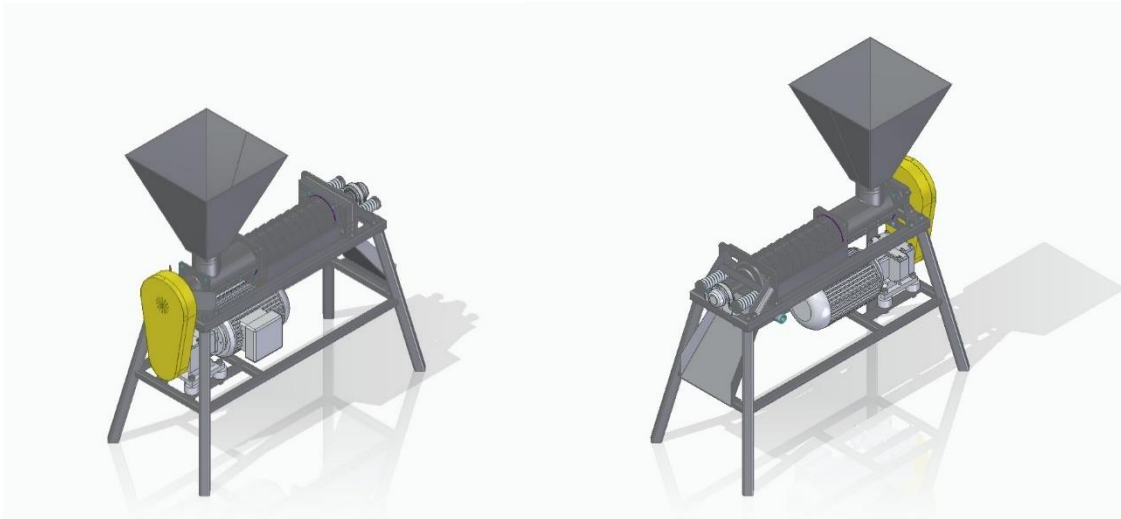
tulemusel  $E_h = 6959$  J energiat, mis omakorda tõstab mahla temperatuuri  $\Delta t = 0,7$  kraadi. Kuna roostevaba terase soojusmahtuvus on oluliselt väiksem ( $C_{ss} = 490$  J/kg·K) siis arvatati valemi (2.24) abil ka presskruvi soojenemine, mis andis tulemuseks  $\Delta t = 3$  kraadi. Täpsema tulemuse saamiseks tuleks teha lisaks soojusülekande arvutused. Hetkel piisab teadmisest, et pressi korpus võib aja jooksul mahla soojendama hakata, kui samal ajal eraldub soojust ka ümbritsevasse keskkonda, siis ei tohiks see veel mahla kvaliteeti mõjutama hakata.

Otsaklapi resultantjõuks saadi punktis 2.2.3. kirjeldatud meetodiga tõusunurga  $\alpha = 35^\circ$  ja hõõrdeteguri  $\mu = 0,4$  juures  $R = 1800$  N. Resultantjõud jaotati kahe 900 N survevedru peale.

Järgnevalt arvatati valemeid (2.25, 2.26 ja 2.27) kasutades rihmülekande parameetrid ja valiti kiilrihm Mitsuboshi tootekataloogist. Antud parameetritele vastas SPA profiiliga kitsas kiilrihm. Väiksema rihmaratta läbimõõduks andis tootja kataloog  $d_{teg} = 90$  mm. Kuna vähim lubatud pöörlemissagedus antud rihmatüübi väiksemale rihmarattale on 100 p/min ja pressi kruvi pöörlemine peaks jääma 60 p/min, siis ülekandearvuks antud juhul on  $i = 1.7$ . Suurema rihmaratta läbimõõduks saadi  $D_{teg} = 150$  mm, mis on samuti standardne mõõt. Masina telgede vahekauguseks on  $C = 200$  mm, valemit (2.26) kasutades saadi veorihma arvutuslikuks pikkuseks 781 mm, saadud pikkusele vastab tootja kataloogist rihm SPA 800. Valemit (2.27) kasutades leiti vajalik rihmade arv, mis andis tulemuseks  $n_b = 1,5$  ehk siis antud koormusele ülekandmiseks tuleb paigaldada kaks SPA 800 rihma.

### 3.3. Mahlapressi 3D – modelleerimine

Mahlapressi disainimiseks kasutati 3D – modelleerimise arvutiprogrammi Solid Edge 2019, kus skitseeriti pressi peamised komponendid, millest hiljem valmistati koostejoonised. Lisaks simuleeriti kriitiliste komponentide, nagu otsaklapi mehhanism ja telglaagri korpus jms vastupidavust koormusolukorrale, et veenduda disaini tugevuses. Rihmarataste ja survevedru disainimiseks kasutati Solid Edge'i laiendusi *Pulleys Designer* ja *Compression Spring Designer*, mahlapressi 3D – mudel on näidatud joonisel 3.3.



**Joonis 3.3.** Mahlapressi 3D – mudel.

Disaini lahenduses lähtuti põhimõttest, et standardseid komponente ei ole otstarbekas ise kavandada ja tuleb kasutada võimalikult palju ostukomponente ning standardseid materjale. Lisas 2. tabelis 3.2. on toodud ostukomponentide ja standardsete materjalide loetelu.

Presstoruks valiti Hebei YUBO Filtration Equipment Co.,Ltd poolt spetsiaalselt kruvipresside jaoks toodetav roostevabast terasest silindriline varbsõel. Sõelad on saadaval erineva ava laiusega 0,05...3,0 mm ja koosnevad kolmnurkse ehk V-profiiliga varrastest. Sõel on isepuhastuv, sest varraste vaheline ava on tänu kolmnurksele profiilile väljapoole laienev [26]. Varbsõel liidetakse flantsidega keevisliite abil, mis omakorda muu konstruktsiooniga liidetakse ISO 4762 M8 A2 poltliidete abil.

Mahlapressi jõuallikaks valiti Mädler GmbH poolt pakutav 3-faasiline 230/400V mootorreduktor, millel on 1,5 kW võimsust ja väljundvõlli pöörlemissagedus 101 p/min. Valikul olid oluliseks kriteeriumiks väikesed gabariidid ja mass, mis antud juhul on 27,5 kg. Alternatiivina võiks kasutada ka SEW Eurodrive R47DRN90L4 mootorreduktorit, kuid selle mass on 8,5 kg suurem.

Presskrivi kandvaks laagriks valiti lukustuskruidedega SKF YAR205 koos SYWK505Y toiduainetetööstusele sobiva laagrikorpusega ning telgkoormuse vastuvõtmiseks koonusrull-laager SKF 32205 B. Telglaager paigaldatakse võllile SKF tooteinfo järgi istuga h6/H7. Vastavalt rihmülekande arvutustele valitakse rihmaratasteks SKF PHP 2SPA90TB ja PHP 2SPA150TB, millele tuleb lisada koonuspuksid 1610-20 ja 2012-25. Veorihmadeks valiti Mitsuboshi SPA 800 kiilrihmad, mida tuli arvutuse järgi kaks tükki.

Otsaklapi mehhanism konstrueeriti liuguri põhimõttel. Juhtsiinideks on kaks presskruvi võlliga paralleelset varrast, mis on keermega reguleeritavalt kinnitatud raami külge. Varrastel liiguvad teljesihiliselt nii otsaklappi tugi kui survevedrud. Raam koosneb roostevabast ümardatud nurkadega L-profiilist ehk nurkrauast 30x20x3, mis on keevisliidetega ühendatud. Otsaklapi tugi valmistatakse 40x40x2 U-profiilist, mille külge keevisliidetakse juhtpuksi pesad. Pronksist juhtpuksi ja pesa liide projekteeritakse garanteeritud pinguga. Otsaklapi ja võlli vaheliseks liugpinnaks valiti polüamiid (PA-66) liuglaager istuga h6/H7. Otsaklapi mehhanismi hajutatud vaade on näidatud joonisel 3.4.



**Joonis 3.4.** Otsaklapi mehhanismi hajutatud vaade.

Presskruvi valmistatakse neljast komponendist: õõnesvõllist (ümartoru 38x2,0); valtsimise teel toodetud spiraalkruvist (toormaterjaliks latt 30x2); löiketöötuse teel toodetud võllitappidest, millest ühel on liistusoon prismaliistu paigaldamiseks. Kruvi komponendid liidetakse keevisliitega.

Liistud valitakse standardtabelist lähtudes, kus nähakse ette võlli läbimõõdule 22...30 mm liistu ristlõikeks 8x7 mm, liistu pikkus on tavaliselt rummu pikkusest kuni 10 mm lühem.

Mahlapressi raami projekteerimine jäeti ajalistel kaalutlustel antud tööst välja ja on mahlapressi koostu joonisele lisatud illustratiivse tähendusega. Raami materjaliks võiks olla roostevaba nelikanttoru läbilõikega 30x30 ja seinapaksusega 2 mm. Materjali oleks sobilik, hea löiketöödeldavuse ja suhteliselt väikese massi tõttu, eeliseks on ka sümmeetrilised profiili küljed. Komponendid võiks ilmselt ühendada keevisliite abil.

## KOKKUVÕTE

Bakalaureusetöö eesmärgiks oli koostada mahlapressi mehaanilise osa eskiisprojekt. Selleks uuriti mahlatootmise ja masinaehituse valdkonnapõhist teavet, mille hulgas oli erinevaid artikleid, õpikuid ja käsiraamatuid ning masinatootjate veebilehekülgi. Selgus, et mahla pressimine hakkab Eestis taas aktuaalseks muutuma, sest on tekkinud üsna palju erinevaid väiketootjaid, kes huvituvad jookide tootmisest. Samas selgus, et masinaturul on peamiseks väiketootja valikuks lintpressid ja alternatiivset lahendust on raske leida. Teataval määral jõuti selgusele ka teema sissejuhatuses püstitatud küsimusele, miks kruvipress sajaneid tuntud tööriistana lintpressile müügiartiklite poolest Eestis alla jääb. Tootmises on oluline ökonoomsus, seetõttu peavad seadmed olema optimaalse tootlikkuse ja võimsusega. Oluline on kindlasti ka seadme soetamismaksumus. Kui üks seade suudab sama töö ära teha pea poole väiksema energiakuluga ja maksab pole vähem kui teine, siis pole valiku langetamiseks rohkem argumente ilmselt vajagi. Kruvipress on üldiselt robustne ja universaalne töömasin, sellega saab tihendada ning veetustada erinevat bioloogilist materjali, kuid sobib ilmselt peamiselt masstootmiseks.

Kvaliteetse mahla saamiseks peavad pressimise parameetrid olema üsna kontrollitud, väiketootja ei taha tavaliselt peale pressimist kulutada aega ja täiendavaid vahendeid mahla selitamisele. Mida peenemad on osakesed, seda raskem on neid vedelikust eraldada, selleks on vaja mahla täiendavalt tsentrifuugida ehk separeerida või filtreerida. Neid seadmeid väiketootja tavaliselt erinevalt suurtööstustest ei oma ning see loob eelise filterpressidele.

Antud bakalaureusetöö eesmärgiks oli koostada pidevprotsessilise mahlapressi mehhaanilise osa eskiisprojekt, mida kruvipress kahtlemata on. Tehnoloogia valik polnud küll uudne, kuid uus võib vahel olla ka hästi unustatud vana. Töö käigus tehtud pressimise katse mis näitas, et 2 mm fraktsiooniga puuvilja pulbist mahla eraldamiseks on vaja ca 3 kN survejõudu. Selle jõu tekitamiseks vajab 98 mm läbimõõdu ja 32,5 ° tõusunurgaga 60 p/min töötav jõukruvi teoreetiliselt 590 W võimsust ja 94 N·m pöördemomenti. Samas ilmnes, et seejuures tuleb arvestada tuleb ka ca 300 W võimsuskaoga, mis kulub hõõrdumise ületamiseks ja tekitab seeläbi soojust. See seletab, miks töö esimeses osas toodud mahlapresside võrdluses oli kruvipressi võimsus lintpresside omast oluliselt suurem. Tootlikkuse osas peaks suhteliselt

kompaktne masin suutma eesmärgiks seatud 300 kg/h toorainet kokku pressida. Seega võib ilmselt öelda, et kruvipressi tehnoloogial põhineva mahlapressi mõte ei ole halb. Sellega tasuks kindlasti edasi tegeleda, sest kui õnnestub vähendada hõõrdumisele kuluva energia hulka, siis väheneb ka masina puuduseks olev võimsustarve. Selleks võiks presskrugi valmistamisel kasutada roostevaba terase asemel näiteks tänapäevaseid plastmaterjale. Kuid vaatamata sellele sai kogutud hulgaliselt väärt teavet ja võib lugeda töö kordaläinuks. Võib-olla tunneb keegi veel seda tööd lugedes, et tahaks hakata tegelema just mahlapressi arendamisega.

## VIIDATUD ALLIKAD

1. V. Tatar, Toiduainete tehnoloogia kõrgkooliõpik, Tartu: Eesti Maaülikool, 2017, lk 136 – 139, kl 189 – 194, lk 542 – 545.
2. Statistikaameti andmebaas, Viljapuu- ja marjaaiad. [Võrgumaterjal] Saadaval: <http://andmebaas.stat.ee/Index.aspx?lang=et&DataSetCode=PM028>. [Kasutatud 30.03.2020]
3. K. Kilki, Õunamahla kvaliteet ja meeldivus Eesti tarbijale – pilootuuring, Tartu: Eesti Maaülikool, 2018, lk 12 – 16.
4. U. Moor, Õunamahla kvaliteeti mõjutavad tegurid – infopäev, Tartu, 2016.
5. N. Fuchs, Mükotoksiin patuliini esinemine õuntes ja õunamahlas ning seda mõjutavad tegurid, Tartu: Eesti Maaülikool, 2015, lk 8, 12.
6. K. Wilczynski, Z. Kobus, D. Dziki, Effect of Press Construction on Yield and Quality of Apple Juice, Poland, 2019, . [Võrgumaterjal] Saadaval: [https://www.researchgate.net/publication/334170719\\_Effect\\_of\\_Press\\_Construction\\_on\\_Yield\\_and\\_Quality\\_of\\_Apple\\_Juice](https://www.researchgate.net/publication/334170719_Effect_of_Press_Construction_on_Yield_and_Quality_of_Apple_Juice). [Kasutatud 30.03.2020]
7. P. J. Fellows, Food Processing Technology : Principles and Practice, Elsevier Science & Technology, 2009. [Võrgumaterjal] Saadaval: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/nlibee-ebooks/detail.action?docID=1639821>. [Kasutatud 30.03.2020]
8. A. S. Grandison, J. G. Brennan, Food Processing Handbook, John Wiley & Sons, Incorporated, 2011. [Võrgumaterjal] Saadaval: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/nlibee-ebooks/detail.action?docID=693851>. [Kasutatud 30.03.2020]
9. Y. H. Hui, Handbook of Plant-Based Fermented Food and Beverage Technology, CRC Press LLC, 2012. [Võrgumaterjal] Saadaval: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/nlibee-ebooks/detail.action?docID=911993>. [Kasutatud 30.03.2020]
10. Toiduseadus. RT I, 08.01.2020, 8. [Võrgumaterjal] Saadaval: <https://www.riigiteataja.ee/akt/119012011022?leiaKehtiv>. [Kasutatud 30.03.2020]
11. Toiduga kokkupuutuvaid materjale käsitlevad õigusaktid. [Võrgumaterjal] Saadaval: [https://ec.europa.eu/food/safety/chemical\\_safety/food\\_contact\\_materials/evaluation\\_est\\_en](https://ec.europa.eu/food/safety/chemical_safety/food_contact_materials/evaluation_est_en). [Kasutatud 30.03.2020]
12. Mahlatoodete koostis- ja kvaliteedinõuded ning toidualase teabe esitamise nõuded. RT I, 11.11.2014, 9. [Võrgumaterjal] Saadaval: <https://www.riigiteataja.ee/akt/111112014009>. [Kasutatud 30.03.2020]
13. V. Tatar, Toidutööstuse seadmete, töövahendite ja pindade puhastamise ning desinfitseerimise juhend, Tallinn: Eesti Põllumajandus-Kaubanduskoda, 2018.



14. Biris Sorin-Stefan, et al, Calculus Elements for Mechanical Presses in Oil Industry, 2013 . [Võrgumaterjal] Saadaval: <https://www.intechopen.com/books/food-industry/calculus-elements-for-mechanical-presses-in-oil-industry> . [Kasutatud 30.03.2021]
15. Yu, Yongqin, Theoretical modelling and experimental investigation of the performance of screw feeders, Doctor of Philosophy thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Wollongong, 1997. [Võrgumaterjal] Saadaval: <https://ro.uow.edu.au/theses/1601> . [Kasutatud 30.04.2020]
16. Archimedes' screw, . [Võrgumaterjal] Saadaval: [https://en.wikipedia.org/wiki/Archimedes%27\\_screw](https://en.wikipedia.org/wiki/Archimedes%27_screw)
17. Roger L. Timings, Newnes Mechanical Engineer's Pocket Book, 2006. [Võrgumaterjal] Saadaval: <https://www.sciencedirect.com/book/9780750609197/newnes-mechanical-engineers-pocket-book>. [Kasutatud 30.06.2020]
18. Nirmal K. Sinha, Handbook of Fruits and Fruit Processing, 2012. [Võrgumaterjal] Saadaval: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118352533>. [Kasutatud 30.06.2020]
19. Firma Violent Investment OÜ, Vineeri sortide ja tüüpide kirjeldus. [Võrgumaterjal] Saadaval: <https://violent.ee/est/uudised/uudised/vineeri-sortide-ja-tuupide-kirjeldus/> . [Kasutatud 30.06.2020]
20. V. Veinla, T. Piir, M. Siitas, Puidujäätmete kihi alla pressimise takistus, Agraarteadus, 2004. [Võrgumaterjal] Saadaval: [http://agrt.emu.ee/pdf/2004\\_1\\_veinla.pdf](http://agrt.emu.ee/pdf/2004_1_veinla.pdf) . [Kasutatud 30.06.2020]
21. PRIA, Keskkonnasõbraliku puuvilja- ja marjakasvatuse toetus, 2019. [Võrgumaterjal] Saadaval: <https://www.pria.ee/toetused/keskkonnasobraliku-puuvilja-ja-marjakasvatuse-toetus-2019>. [Kasutatud 30.07.2020]
22. A. Eschenwald, C. W. Hall, Coefficient of Friction, Angle of Repose, Specific Gravity, and Bulk Density of Coffee Fruits and Coffee Beans, The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico, 45(1), 19-25, 1961. [Võrgumaterjal] Saadaval: <https://doi.org/10.46429/jaupr.v45i1.12108> [Kasutatud 30.03.2021]
23. Peter R. N. Childs, Mechanical Design Second edition, Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004. [Võrgumaterjal] Saadaval: <https://doi.org/10.1016/C2016-0-05252-X> [Kasutatud 30.04.2021]
24. V. Mykhailyk, N. Lebovka, Specific heat of apple at different moisture contents and temperatures, Journal of Food Engineering, 2014. [Võrgumaterjal] Saadaval: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877413004767> [Kasutatud 30.04.2021]
25. Masinatootja Voran Maschinen GmbH veebileht. [Võrgumaterjal] Saadaval: <https://www.voran.at/en/product-overview/produkt/belt-press-ebp350/>. [Kasutatud 05.05.2021]

26. Hebei YUBO Filtration Equipment Co.,Ltd veebileht [Võrgumaterjal] Saadaval:  
[https://www.uboscreen.com/Wedge\\_wire\\_screen/stainless-steel-wedge-wire-screw-press-screen-for-equipment-2205-1.htm](https://www.uboscreen.com/Wedge_wire_screen/stainless-steel-wedge-wire-screw-press-screen-for-equipment-2205-1.htm) [Kasutatud 05.05.2021]
27. Masinatootja Maurer Gep Kft. [Võrgumaterjal] Saadaval:  
<https://machinery.maurergep.eu/product/mksp-300-beltpress/>. [Kasutatud 05.05.2021]
28. Masinatootja Vincent Co. veebileht [Võrgumaterjal] Saadaval:  
<https://vincentcorp.com/content/cp-series-presses/>. [Kasutatud 05.05.2021]
29. Masinatootja Tianzhong Machinery Co. veebileht [Võrgumaterjal] Saadaval:  
<https://www.dewatermachine.com/products/Stainless-Steel-Screw-Fruit-Juice-Pressing-Machine.html>. [Kasutatud 05.05.2021]

**LISAD**

**Lisa 1. Tabel 3.1. Pressimise katseandmed**

#	Nimetus	Purustus	Massiive, g	Saagis, %	OD, %	Aeg, s	Ext., mm	$\epsilon$	Load, N	$\sigma$ , N/mm <sup>2</sup>
1	Õun	jäme	-98,0	31,6	21,56	631,0	52,59	0,71	3079,0	0,43529
2	Õun	jäme	-94,0	30,3	18,31	636,3	53,03	0,72	3057,1	0,43221
3	Õun	peen	-176,0	68,8	26,01	300,5	25,04	0,73	3419,1	0,48338
4	Õun	peen	-195,0	67,5	28,98	298,0	24,83	0,72	3390,4	0,47932
5	Õun	peen	-194,0	65,1	25,35	201,2	16,77	0,68	2713,8	0,38367
6	Pirn	peen	-145,0	50,9	21,90	258,7	21,56	0,63	3072,0	0,43432
7	Pirn	peen	-170,0	55,2	22,04	277,6	23,13	0,68	3234,1	0,45723
8	Pirn	peen	-158,0	52,3	22,75	280,6	23,38	0,68	2599,5	0,36751
9	Ploom	peen	-184,0	69,7	23,16	233,0	19,41	0,71	1397,4	0,19755
<b>Keskmine:</b>		<b>jäme</b>	<b>-96,0</b>	<b>31,0</b>	<b>19,94</b>	<b>633,7</b>	<b>52,81</b>	<b>0,72</b>	<b>3068,0</b>	<b>0,43375</b>
		<b>peen</b>	<b>-174,6</b>	<b>61,3</b>	<b>24,31</b>	<b>264,2</b>	<b>22,02</b>	<b>0,69</b>	<b>2832,3</b>	<b>0,40042</b>
Maksimum:			195,0	69,7	28,98	636,3	53,03	0,73	3419,1	0,48338
Miinimum:			94,0	30,3	18,31	201,2	16,77	0,63	1397,4	0,19755

**Korrelatsiooni analüüs:** Ebaolulised korrelatsioonikordajad on vahemikus [-0,62:0,62].

	Massiive, g	Saagis	OD, %	Aeg, s	Ext., mm	$\epsilon$	Load, N
Massiive, g	1						
Saagis	<b>-0,969</b>	1					
OD, %	<b>-0,805</b>	<b>0,798</b>	1				
Aeg, s	<b>0,910</b>	<b>-0,877</b>	-0,583	1			
Ext., mm	<b>0,910</b>	<b>-0,877</b>	-0,583	<b>1,000</b>	1		
$\epsilon$	0,091	0,027	0,174	0,436	0,436	1	
Load, N	0,197	-0,248	0,159	0,277	0,277	0,043	1

**Lisa 2. Tabel 3.2 Ostukomponentide loetelu**

Nimetus	Ühik	Materjal	Kirjeldus
Mootorreduktor, Mädler HR/I	27,5 kg	Alumiinium	võimsus 1,5 kw, n <sub>2</sub> 100 p/min
SYWK 25 YTH	0,32 kg	Komposiit	toidutööstusele
SKF_32205 B	0,19 kg	Teras GCr15	koonusrull laager
Silindriline v-profiil varbsõel YUBO	2,0 kg	AISI 304	pilu 0,05 – 3,0 mm
Topendnöör 5x10	n/a	VT5 PTFE	võllitihend
Liugpaager (PA 66)	0,012 kg	Nailon-66 (PA-66)	otsaklapi liuglaager
PHP 2SPA90TB	0,7 kg	Teras G3000	rihmaratas d90
PHP 2SPA150TB	2,1 kg	Teras G3000	rihmaratas d150
1610-20	0,2 kg	Teras GG20	rihmaratta puks
2012-25	0,3 kg	Teras GG20	rihmaratta puks
Pronkspuks 10x14x20	0,013 kg	Sulam (Cu+Sn)	liuguri puks
Survededru	n/a	FDC	900 n
Nelikanttoru 20x20x2	7,2 kg/m	AISI 304	vaheraam
Nelikanttoru 30x30x2	11,1 kg/m	AISI 304	põhiraam ja jalad
Ümartoru 38x2,0	0,18 kg/m	AISI 304	presskrugi võll
Ümarteras D38	8,9 kg/m	AISI 304	võlli otsad
Latt 30x3	4,61 kg/m	AISI 304	presskrugi heeliks
Nurkraud 30x30x3	4,14 kg/m	AISI 304	kinnitused
Leht 1,0 mm	8 kg/m <sup>2</sup>	AISI 304	katted
Leht 1,5 mm	12,25 kg/m <sup>2</sup>	AISI 304	sööturi korpus
Leht 3,0 mm	24 kg/m <sup>2</sup>	AISI 304	laagrikorpuse kinnitus
ISO 7380		AISI 304	M4x6
ISO 4762		AISI 304	M5x12
ISO 4762		AISI 304	M6x12
ISO 4762		AISI 304	M6x16
ISO 4762		AISI 304	M8x16
ISO 4762		AISI 304	M8x25
ISO 4762		AISI 304	M10x25
ISO 4762		AISI 304	M10x45
ISO 4762		AISI 304	M10x50
ISO 4032		AISI 304	M10 (mutter)
ISO 8675		AISI 304	M10x1.0

### **Lisa 3. Masinaehitusjoonised**

**Lisa 4. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Risto Liiv,

*(autori nimi)*

sünniaeg 04.05.1981,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö

Pidevprotsessilise mahlapressi eskiisprojekt,

*(lõputöö pealkiri)*

mille juhendaja(d) on vanemlektor Kaarel Soots, PhD,

*(juhendaja(te) nimi)*

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor \_\_\_\_\_

*(allkiri)*

Tartu, 02.06.2021

*(kuupäev)*

---

**Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_  
*(juhendaja nimi ja allkiri)*

\_\_\_\_\_  
*(kuupäev)*