

**TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL**  
**POLÜMEERMATERJALIDE INSTITUUT**  
**PUIDUTÖÖTLEMISE ÕPPETOOL**

# **RAAMSAAGIMINE. ÕPPEMATERJAL JA ANIMATSIOONID**

**Bakalaureusetöö**

**Karmo Kiiman**

Juhendaja: lektor Üllar Luga,  
Puidutöötlemise õppetool

Materjalitehnoloogia õppekava KAOB02/09

2014

Deklareerin, et käesolev bakalaureusetöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli bakalaureusekraadi taotlemiseks ja et selle alusel ei ole varem taotletud akadeemilist kraadi.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud või (avaldamata tööde korral) toodud autorlus välja põhitekstis.

.....

Karmo Kiiman

# SISUKORD

Sissejuhatus .....	5
1. Raamsaagimise varajane ajalugu .....	6
2. Veejõul töötavad raamsaekaatrid.....	9
2.1. Jõuallikad ja jõuülekanne.....	10
2.2. Saemasin ja sellega lõikamine .....	12
2.2.1. Sae kalle ja etteandesüsteem.....	13
3. 20. sajandi raamsaed.....	15
3.1. Saemasina raam .....	16
3.2. Väntmehhanism .....	17
3.3. Saeraam.....	18
3.4. Traditsiooniline saeraami juhtsüsteem.....	20
3.5. Muud juhtsüsteemid.....	21
3.5.1. Ristvõnkumise mehhanismid.....	22
3.6. Etteandesüsteemid. ....	23
3.6.1. Friksioonülekanne .....	26
3.6.2. Rihmvariaator .....	27
4. 21. sajandi raamsaed.....	28
4.1. Raamsaekaatrid .....	28
4.1.1. Logosol Laks 500 .....	28
4.1.2. Möhringer iFramesaw 700 .....	30
4.2. <i>Thin-cutting frame saws</i> .....	31
4.2.1. Ehitus.....	31
4.2.2. Lõikamine.....	32
Kokkuvõte .....	35

Summary.....	37
Kasutatud allikad .....	38
Lisa 1. Ledyard'i saeveski skeem [9] .....	41

## Sissejuhatus

Käsisaena mõistetakse raamsae all saelehte, mis on pingutatud ristkülikukujulise raami sisse. Saemasina korral on saelehed pingutatud raami sees, raamile antakse vertikaalsuunaline liikumine vāntmehhanismi abil. Raamsaagimist kasutatakse kivi- või puitmaterjalide lõikamiseks.

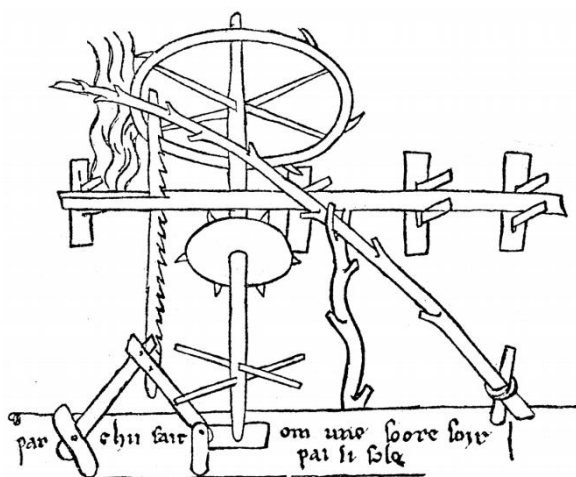
Antud bakalaureusetöö eesmärgiks on luua mudeleid erinevatest raamsaagimise mehhanismidest ning anda ülevaade raamsaagimise arengust ja kasutamisest läbi aegade. Teema valiti kuna raamsaagide areng kirjeldab hästi tööstusajaloo tähtsamaid murdepunkte ning annab hea võimaluse kirjeldada erinevaid mehaanilisi ülekande liike, mida kasutatakse puidutööstuse masinates. Olulised on just animatsioonid, sest üliõpilaste jaoks on olemas vähe kergesti mõistetavaid puidutööstusmasinate mehhanismide kirjeldusi. Samuti on töö tähtis seetõttu, et autorile teadaolevalt ei ole eesti ega inglise keeles olemas käsitlusi, kus oleks koondatud ühte kogumikku eri ajastute raamsaagimise tehnoloogiaid.

Käesolev töö on, vastavalt suurematele arengutele raamsaagimises, jagatud neljaks osaks, millest kahe kohta, kasutades arvutitarkvara Autodesk® Inventor® Professional, on koostatud animatsioonid. Esimeses osas käsitletakse raamsaagimise väga varajast ajalugu, teine osa keskendub veejõul töötavate ühe saega saeveskitele, kolmandas osas kirjeldatakse 20. sajandil levinud saekavaga, raamsaagimise seisukohast suure tootlikkusega, ühe- ja kahekorruselisi raamsaekaatreid, neljandas osas vaadeldakse tänapäeval kasutatavaid raamsaemasinaid.

# 1. Raamsaagimise varajane ajalugu

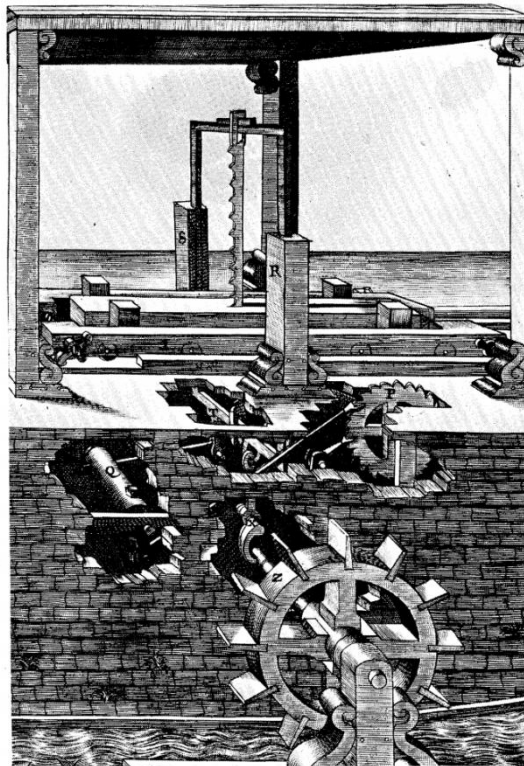
Kõige vanem arheoloogide poolt avastatud saeveski on pärit kolmandast sajandist eKr ja see asub vanadel Rooma aladel tänapäeva Türgi territooriumil. Seal asub esimene masin, mis kasutas vända ja kepsu mehhanismi. Esimene kirjalik allikas saeveskist on pärit neljandast sajandist eKr Rooma poedi Ausoniuse luuletusest Saksa jõe Moselle kohta. Luuletuses on kirjeldatud kriipivat kriiskavat heli, kui vesiveskis olev masin lõikab marmorit. [1] Täpsustuseks olgu mainitud, et kuni 18 sajandi lõpuni kõik saeveskites kasutusel olnud masinad olid raamsaed, sest esimesed ideed ketassaekaatritest tekkisid alles 18 sajandi lõpul [2] ja lintsaeakaatritest 19 sajandi alguses [3].

Raamsaemasinatest ei ole praktiliselt midagi kuulda kristliku ajaarvamise algusest kuni 13 sajandi lõpuni. Esimene tähelepanuväärne kirjalik viide on prantsuse leiutaja Villard de Honnecourt illustratsioon umbes aastast 1235 nukkmehhanismiga saeveskist. [4] Villard'i seade koosnes saeterast, mida tõmmati lõikamiseks alla vesiratta võllil asetsevate nukkidega. Tera liikus uuesti ülesse aga tänu puupostile, mis käitus vedruna (joonis 1.1.). Selle sae etteandemehhanismi hammasrattast käitis sama vesiratas, mis liigutas nukke lõikeriista langetamiseks. 16 sajandi alguseks oli märkimisväärne hulk selliseid nukkmehhanismiga käitavatest saeveskitest ümber ehitatud väntmehhanismi ajamiga masinateks. [5]



**Joonis 1.1.** Esimene kirjalik tõestus raamsaemasinast Euroopas. Prantsuse keelne tekst tähendab tõlgitult – sellega saad teha pikuti lõike läbi palgi [4]

Praegustel andmetel asus Euroopa esimene saeveski Saksamaal Augsburgi läheduses ja püstitati aastaks 1337. Kirjalikud allikad täheldavad veel saeveskeid Madeira saarel 1420. aastatel, Poolas Breslau linnas ca 1427 ja kahte saeveskit Saksa linna Erfurtille kuuluvates metsades 1490. aastal. 1558. aastast on pärit kujutis itaallase Agostino Ramelli avaldatud raamatust „Dell' Artificiose Machine”, mis kujutab prussi (joonis 1.2.), mis asetseb platvormil või vankril, mida juhatakse jäiga raami sisse fikseeritud sae poole. Prussi ümbritseb neli kandilist nõ klambrit, mille ülesandeks on kruustangide kombel pruss fikseerida. Lõikamine toimub raami, kuhu on kinnitatud saag, liigutamisega mööda sooni üles ja alla – analoogselt üles-alla liikuva lükandaknaga. Sae ehituslik sarnasus lükandaknaga ja väravaga on ka põhjus, miks selliseid saeveskeid tuntakse inglise keeles nimedega *sash-mill* (aknaraamveski) ja *gate-mill* (väravveski). [4]



**Joonis 1.2.** Eskiis saeveskist Agostino Ramelli raamatust „Dell' Artificiose Machine” [4]

16. sajandi Mandri-Euroopas olid veejõul töötavad saeveskid juba laialt levinud. Hoolimata saeveskite edust ja arvu kiirest kasvust Mandri-Euroopas, oldi Inglismaal tõsiselt vastu saeveskite rajamisele. Valitses arvamus, et saeveskite ehitamise ja kasutusele võtmisega jääksid nn käsiraamsaega palgilõikajad ilma võimalusest teenida endale elatist. Sellel põhjusel näiteks peeti vajalikuks aastal 1663 hüljata ühe hollandlase püstitatud saeveski Londoni lähistel.

Aastal 1700, kui mees nimega Houghton selgitas riigile saeveski eeliseid ja kasulikkust, väljendas ta kartust, et veskite püstitamine võib esile kutsuda rahva raevu. Tema kartused olid põhjendatud, sest kui aastal 1767 või 1768 üks rikas puiduärimees, inglise Kuningliku Kunstide Ühingu soovil ja toetusel, püstitas Limehouse'i lähedusse saeveski, organiseerus pahatahtlik rahvahulk ja lõhkus selle saeveski tükkideks. Kohalik krahvkond aga kompenseeris kahjud ja määras osadele korrarikkujatele karistuse. Pärast seda ehitati sama koha peale uus veski, mis töötas ilma selliste vahejuhtumiteta ning millest algas lõpuks ka Inglismaal laiem saeveskite püstitamine. [6]

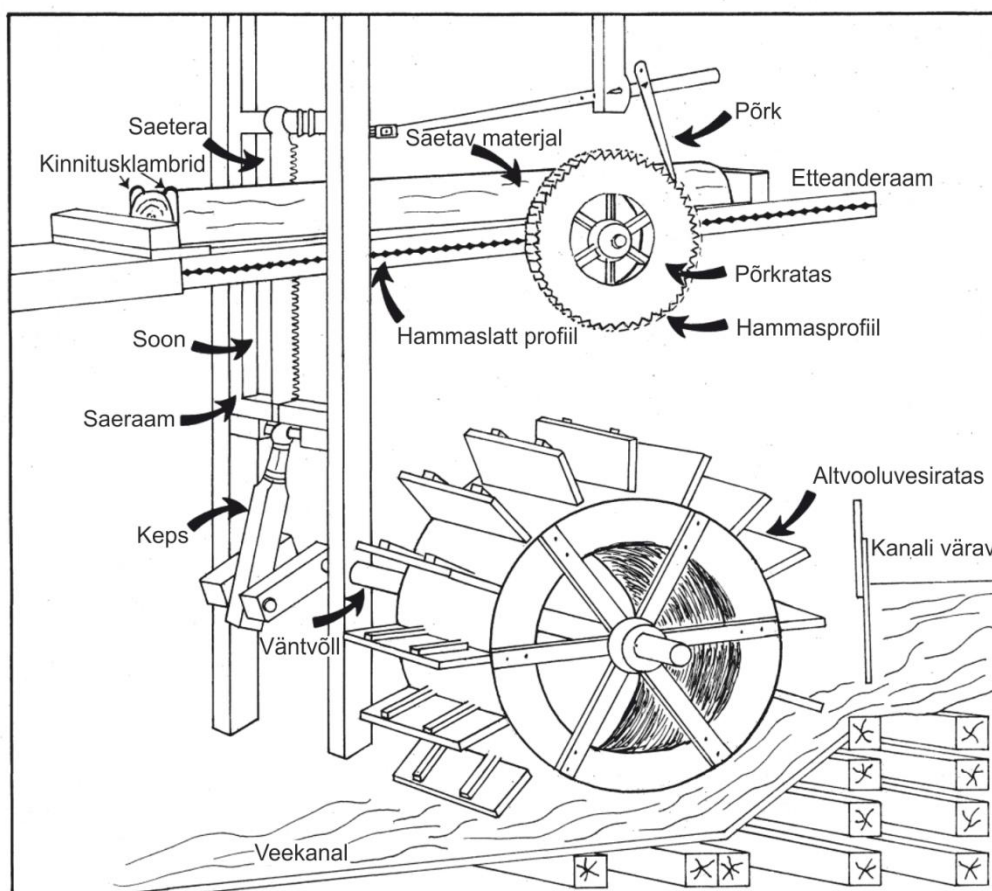
Ameerika esimesed saeveskid püstitati mitte kaua pärast esimeste kolonistide maabumist Virginia rannikule. Nõudlus laudade ja plankude järele oli suurem kui see, mida suutis pakkuda käsiraamsaega saagimine. Kahjuks pole võimalik täpselt öelda, kuhu ja millal esimene saeveski püstitati. Olemas on kaks kohta: Virginia ja Newfoundland ning kaks aastaarvu: 1610 ja 1620, kuid pole suudetud kindlaks määrata, milline saeveski püstitati esimesena. [4] Saekaatrite arvukus ja kasutuselevõtmine Ameerikas oli kiirem kui Inglismaal. Näiteks Uus-Inglismaal püstitati aastatel 1630 - 1840 ligikaudu 5500 saekaatrit. Enamus neist järgisid tehnoloogiat, mida kirjeldatakse lähemalt teises peatükis.

Saekaatritel oli kuni 19 sajandini samasugune ehitus, tööstusrevolutsiooni ajal toimusid aga märkimisväärsed muutused. 1800. aastatel olid põhimõtteliselt kõik saekaatrid kohaliku meistri poolt puidust tehtud saemehhanismi detailidega (va terasest saag, rauast keps ja veel mõned üksikud osad) raamsaevskid. Läbi 19. sajandi hakati aga üha rohkem detaile tootma rauast, mida sai osta vastavatelt saetarvikute edasimüüjatelt. Kõige suurem muutus oli ketassaagide kasutuselevõtt 1830. aastatel. 1900. aastaks olid Ameerikas ketassaed välja vahetanud pea kõik raamsaekaatrid. [7]



## 2. Veejõul töötavad raamsaekaatriid

Selles peatükis kirjeldatakse 16. sajandi teisest poolest kuni 20. sajandi alguseni Ameerikas enamlevinud raamsaekaatri tüübi ehitust, jälgides peamiselt üks-ühele Ameerika Ühendriikides Connecticuti osariigis asuvat Ledyard'i saekaatri ehitust. Esimene saeveski püstitati sinna juba 18. sajandi keskel. Selles töös kirjeldatav, aastatel 1966-1975 renoveeritud, saeveski ehitati sinna alles 1870. aastatel. [8]



**Joonis 2.1.** Lihtsustatud skeem veejõul töötavast saekaatrist[4]

Selline (joonis 2.1.) saemasin töötab järgnevalt: neljakandilise puust raami sisse on pingutatud saag, mis koos raamiga, mille paneb liikuma väntmehhanism, liigub üles ja alla järgmise vundamendi külge kinnitatud puidust raami sees. Lõigatav materjal asetatakse etteandevankrile, mida lõikamiseks juhitakse mööda veski põrandat sae suunas. Seejuures peab alus olema piisavalt kitsas, et mahtuda saevärava vahele.



**Joonis 2.2.** Etteanderaami edasivedav võll [9]

Alus liigub perioodiliselt pörkmehhanismi abil. Aluse alumisele poolele on kujundatud hammaslatilaadne profiil, mis hambub etteanderaami all oleva võlli ümber olevate hammastega (joonis 2.2.), andes võimaluse võlli pööramisel liigutada etteandevankrit. Võlli pööramiseks on võlli ühes otsas pörkratas, mida pöörab saeraamiga ühendatud hoobade süsteem. Raami tõustes libiseb pörk üle kindla arvu hammasrataste ja langedes tõmbab pörkratast sama arvu hammasrataste võrra edasi, misjärel ratas omakorda lükkab edasi etteanderaami. [6] Sellist etteannet nimetatakse etteandeks töökäigul. Teine etteande võimalus (selline variant on kujutatud joonisel 2.1.) on etteanne tühikäigul: raami allakäigul libiseb pörk üle kindla arvu hammasrataste ja raami tõustes lükkab ratast ja seega ka etteanderaami sama arvu hammasrataste võrra edasi.

## **2.1. Jõuallikad ja jõuülekanne**

Enne aurumasina leiutamist kasutati saemasinate jõuallikana peamiselt veejõudu. Voolava vee sirgjooneline kineetiline energia muudeti vesiratta ja hiljem ka hüdroturbiini abil pöörlevaks liikumiseks. Mõni allikas [10] väidab isegi, et kasutati ainult veejõudu, aga see ei ole tõene. Näiteks 16. sajandi lõpus leiutas hollandlane Cornelis Corneliszoon van Uitgeest tuule jõul töötava saemasina ning järgneva paarisaja aasta jooksul püstitati Hollandisse sadu selliseid saekaatreid [11].

Veejõul töötavate saemasinate jõuallikad võib jagada neljaks: altvoolu-, keskvoolu- ja pealtvooluvesiratasteks ning hüdroturbiinideks. Veejõud sõltub vooluhulgast ja -kiirusest. Veskeid käitatakse (suure vooluhulgaga kiirevoolulistelt) jõgedelt, looduslike veekogude korral sõltub aga lõikejõud ja üldse lõikamise võimalus veehulgast. Sellise sõltuvuse vähendamiseks paisutatakse jõgesid üles nn veskijärvedeks. Ledyard'i saeveski töötab ühe sellise veskijärve kaldal. Väga hea ülevaatlük joonis selle saeveski käitamisest, jõuülekandest ja saemasinast endast on toodud lisa 1. Järgnevalt kirjeldatakse sellel joonisel kujutatud saeveski töötamist.



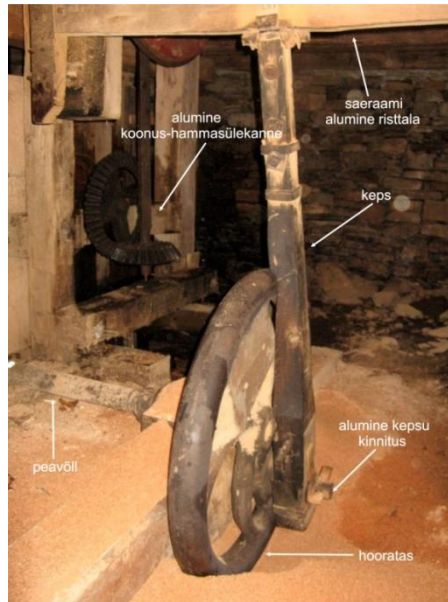
**Joonis 2.3.** Veskijärve ja lüüsikambri vahelise lüüsi avamine [9]



**Joonis 2.4.** Hoolduseks eemaldatud Ledyard'i saeveski turbiini rootor aastal 2013 [12]

Saemasina kasutamiseks tuleb avada veskijärve ja lüüsikambri vaheline lüüs (joonis 2.3.), seejärel vesi voolab mööda maa-alust kanalit lüüsikambrisse ja täidab selle veega. Turbiini tööle panemiseks tuleb avada lüüsikambri ja turbiini vaheline lüüs, misjärel vesi läbib horisontaalset turbiini, ajades turbiini rootorit (joonis 2.4.) ringi kiirusega umbes 100 pööret minutis. Saag käivitatakse ja peatatakse viimati mainitud lüüsi avamise ja sulgemisega. Pärast turbiini läbimist jookseb vesi mööda veski alla rajatud voolusäangi ja ühineb veskijärve ülevooluga. [9]

Vesi, voolates läbi turbiini, pöörab rootorilabasid, rootor omakorda ajab ringi vertikaalset võlli, mille otsa on kinnitatud horisontaalne koonushammasratas, mis hambub peavõlli otsas oleva vertikaalse koonushammasrattaga. Peavõlli teises otsas on massiivne hooratas, mille ülesandeks on tasakaalustada kepsu liikumisel tekkivaid jõudusid ja suurendada jõumomenti.



**Joonis 2.5.** Peavõlli otsa kinnitatud hooratas koos kepsuga, mille ülemine ots on kinnitatud saeraami alumise risttala külge [9]

Hooratta külge kinnitub kepsu üks ots, kepsu teine ots kinnitub puidust saeraami alumise risttala külge. Keps muundab hooratta pöörliikumise saeraami üles-alla liikumiseks. Saekäik on võrdne hooratta tsentri ja kepsu kinnituse kahekordse vahega (joonis 2.5.). Peavõllile on kinnitatud veel rihmaratas, mis käitab rihmülekanandel joonise 2.5. tagaplaanil asetsevat koonus-hammasülekanne, mille ülesandeks on jõuülekanne ülemisele koonus-hammasülekanndele etteanderaami tagurpidi liigutamiseks (vaata täpsemalt lisa 1.). [9]

## 2.2. Saemasin ja sellega lõikamine

Saag kinnitatakse kahe haaratsiga saeraami sisse. Ledyard'i saeveski saeraami mõõtmed on ca 1,9 m x 1,5 m, seega kasutatava lõikeriista pikkus on limiteeritud 1,9 meetriga. Saeraami vertikaalset liikumist juhivad kaks määrivat liugtoru, mis on kinnitatud kahe suure (ca 200 x 200 mm) külgposti külge. Saeraami ülemise ja alumise risttala otsad käituvad kui hõrdeklotsid külgpostide ja liugtorude vahel. Sellesama saeraami ülemise ja alumise risttala külge on kinnitatud ka haaratsid, mille ülesandeks on fikseerida saelehe otstes olevatest aukudest läbitorgatavaid metallpulki (joonis 2.6.). Need haaratsid annavad võimaluse saelehe pingutamiseks. Pinge on vajalik, et hoida ära saelehe nn laperdamist lõikamisel. Efektiivseks lõikamiseks tuleb saetera tihti eemaldada ja teritada. Sae tagasi asetamisel on tähtis jälgida, et see oleks paralleelne liugtorude ja saetava materjali etteandega.

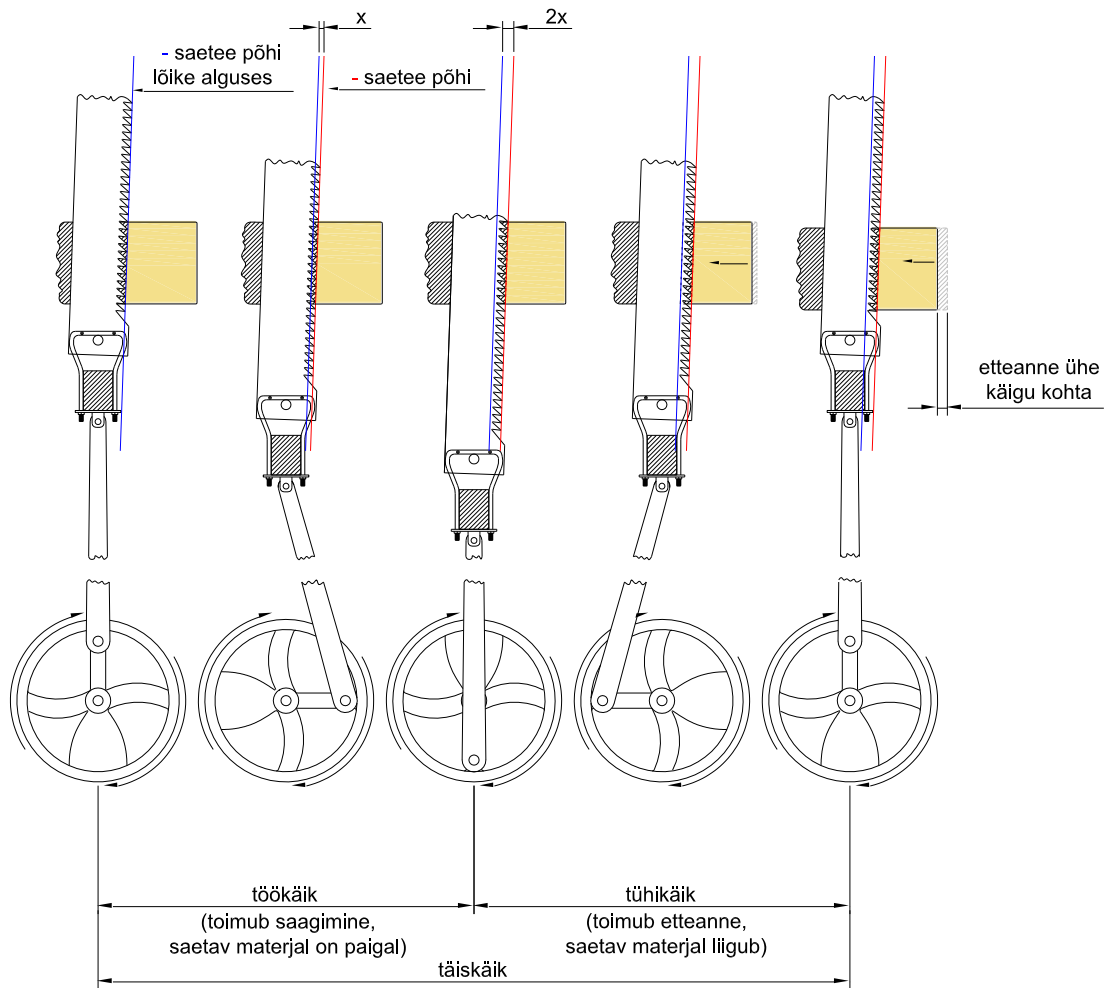


**Joonis 2.6.** Saehaarats [9]

Saag lõikab ainult allakäigul, tekitades saetee laiusega ca 7 mm. Kui veskijärv on täis, siis on saag võimeline tegema umbes 100 käiku minutis. Materjali etteannet reguleeritakse (alates 30 cm/min) vastavalt veeoludele, lõigatavale materjalile ja sae teravusele. Saeraami käik on ca 60 cm, saelehe pikkus on ca 180 cm – seega saab saega lõigata kuni 120 cm diameetriga materjali. Saeraami käigust suurema läbimõõduga materjali korral peab jälgima, et saelehel oleks sügavad hambavahed ja tera seadistatud nii, et saepuru saaks väljuda saeteepõhja ja tera vahelt. [9] Ledyard'i saeveski tüüpi veskid suutsid maksimaalselt teha kuni 120 täiskäiku minutis ja lõigata ca 900 kuni 1500 jooksvat meetrit materjali päevas [13].

### **2.2.1. Sae kalle ja etteandesüsteem**

Saetava materjali saagimine toimub saeraami allakäigul ning materjali etteanne toimub saeraami üleskäigul. Etteanne on reguleeritav vahemikus 1,2 – 3,2 cm väntvõlli pöörde kohta. Selleks kinnitatakse saag ülemise ja alumise haaratsi vahele väikese ettekaldega  $0,4^{\circ} - 1,0^{\circ}$ , mis on võrdne saelehe ülemise hambatipu ca 1,2 – 3,2 cm liigutamisega etteandega vastassuunas võrreldes tera esialgse vertikaalteljega. [9] Kalle on mõeldud selleks, et saag saaks liikuda ilma tagatahk ees lõikamata tagasi ülemisse asendisse ja vabastada samaaegselt tee materjali etteandeks. Tühikäigul etteandega raamsae lõikamisprotsessi on kujutatud joonisel 2.7.



**Joonis 2.7.** Raamsaagimine tühikäigul etteandega

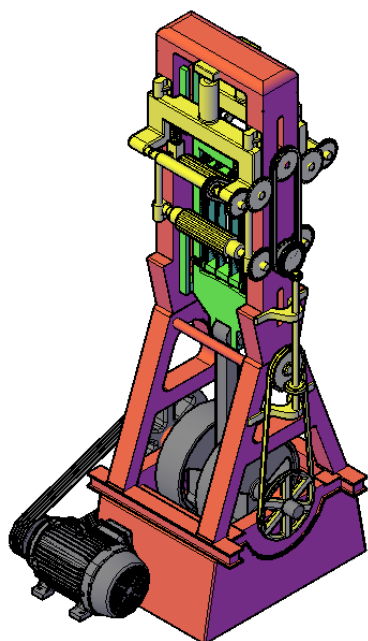
Sellisel etteandel on hammaste löiketrajektorid paralleelsed sirged. Kasutusel on ka etteanne töökäigul, sel juhul pole saekalle vajalik, sest palk liigub samaaegselt lõikamisega ning seetõttu ei ole vaja sael palgile tühikäigul teed vabastada. Töökäiguga etteandel tekivad hammaste löiketrajektorid, mis on vertikaalse sirgega nurga all olevad paralleelsed sirged.

### 3. 20. sajandi raamsaed

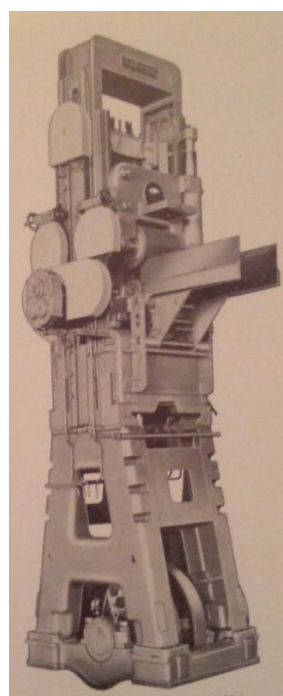
20. sajand oli raamsaagimise jaoks väga mitmekesine. Kasutusel olid tuule- ja veejõul töötavad, nii vanemad valdavalt puidust valmistatud ühe saega saekaatrid, kui ka uuemad, juba peamiselt metallist saeveskid. Viimaseid käsitleti põhjalikult eelmises peatükis. Vaheetapina olid töös ka aurumootoriga saeveskid. Selles peatükis käsitletakse peamiselt elektrimootoriga raamsaekaatreid, mis sajandi lõpuks saavutasid lõikevõimsuse ligikaudu 30 m<sup>3</sup> saematerjali tunnis. [14]

Sellise raamsae põhiosad on: vântmehhanism sae käitamiseks, saeraam koos juhtsüsteemiga, etteandevaltsid etteandemehhanismiga ja saemasina enda raam (joonis 3.1.). Neid osasid kirjeldatakse järgnevatel alapeatükkides täpsemalt.

Kirjeldused järgivad peamiselt 20. sajandi keskpaiga firmade Karhula (joonis 3.2.) ja Söderhamni kahekorruselisi raamsaekaatreid, mille põhjal on koostatud ka animatsioonis kasutatud 3D mudel.



**Joonis 3.1.** Raamsaekaatri põhiosad: mehhanism sae käitamiseks (hall), saeraam koos juhtsüsteemiga (roheline), etteandevaltsid etteandemehhanismiga (kollane) ja saemasina enda raam (punane)

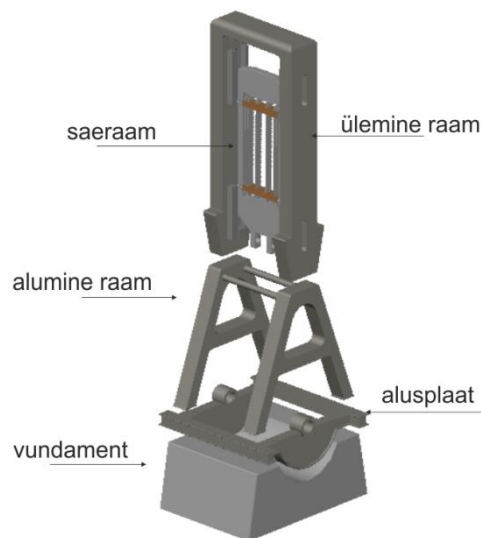


**Joonis 3.2.** Karhula kahekorruline raamsaekaater [15]

### 3.1. Saemasina raam

Tinglikult võib saemasina nn enda raami alla lugeda: vundamenti, alusplaadi, alumise raami ja ülemise raami (joonis 3.3.).

Vundamenti ülesanne on toetada ülejäänud sae raskust ja absorbeerida jõude ja vibratsioone, mis tekivad sae töötamisel. Kusjuures vundament on tavaliselt pikisuunas natukene pikem kui ristisuunas, sest hoorataste ja kepsu liikumisel tekkivad jõud on pikisuunas suuremad. Vundamenti peale kinnitatakse alusplaat. Alusplaadi ülesandeks on hoida alumist raami laiast vajumast, absorbeerida ja vundamendile üle kanda sae raskust ja saagimisel tekkivad inertsijõud. Alusplaadi külge kinnitub ka peavõll koos laagrite ja laagripukkidega.



**Joonis 3.3.** Saeraam ja saemasina raam

Alusplaadi peale omakorda kinnitub alumine raam, kusjuures see detail on iseloomulik kahekorruselistele raamsaekaatriitele. Alumise raami ülesandeks on pikendada vahet saeraami ja hoorataste küljes oleva kepsu alumise kinnituse vahel, siis saab keps olla pikem, toetada ülemise raami ja saeraami raskust ning ühtlasi olla kinnituskohaks etteandesüsteemi mõningatele detailidele. Pikem keps on parem, sest sama saekäigu juures on pikema kepsu korral kepsule mõjuvad horisontaalsuunalised jõud väiksemad. Alumise raami külge kinnitub ülemine raam, mis on kinnituskohaks saeraami juhtsüsteemile ja etteandesüsteemile.

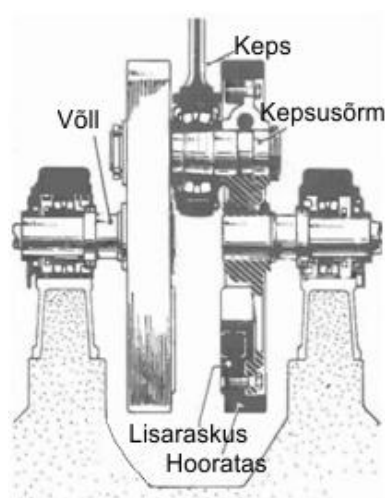


## 3.2. Vântmehhanism

Vântmehhanism on vajalik selleks, et muuta pöördliikumine üles-alla liikumiseks. Vântmehhanismi detailid peavad olema väga tugevad, et vastu pidada jõududele kuni 150 000 Newtonit [16].

Vântmehhanismi moodustavad tavaliselt kaks eraldi võllidele kinnituvat hooratast, mille vahele kinnitub keps sõrmega nagu kujutatud joonisel 3.4. Kepsu teine ots kinnitub saeraami alumise risttala külge. Vântmehhanismi käitatakse ühe hoorattaga samal võllil asetseva rihmaratta abil elektrimootoriga.

Levinud on ka kahe kepsuga mudelid, sellisel juhul asetsevad hoorattad väljaspool alusplaati. Kepsude alumised otsad kinnituvad hoorataste välimistele külgedele ja ülemised saeraami ülemise risttala külge. Sellistel juhtudel võib rihmarattas asetseda kahe hooratta vahel seespool alusplaati.



**Joonis 3.4.** Vântvõlli moodustumine ja kinnitumine alusplaadile [16]

Vântmehhanismis toimivad jõud on äärmiselt suured ja mõjutavad paljudest erinevatest teguritest (näiteks saeraami mass, mis muutub erinevate saelehtede ja -kavade kasutamisel).

Jõud jagunevad üldjoontes vertikaal- ja horisontaalsuunalisteks jõududeks. Vertikaalsuunalised jõud tekivad peamiselt ülemise kepsu otsa ning saeraami üles-alla liikumisest. Horisontaalsuunalised jõud tekivad, sest hooratta pöörlemisel teatud ajahetkedel liiguvad hooratta vasturaskus ja alumine kepsuühendus horisontaalsuunas.

Nende jõudude väärtused on väga suured, detailide üles-alla liikumisel mõjub kepsule inertsjõud 20 000 Newtonit. Kepsu mõjutatavad jõud sõltuvad saeraami kaalust (koos saelehtedega 250-400 kg), kepsu enda kaalust (250 kg) ning vāntvōlli pōōrete arvust. [16]

Sae eluea pikendamiseks on mõttekas neid jõudusid balansseerida. Tasakaalustamisel tulebki eelkōōige jālghida jõudusid, mis mõjuvad kepsule, tājsemalt kepsu alumisele laagrile. Vāntvōll iseenesest on juba sellel pōōhjusel varustatud hooratastega. Paremaks tasakaalustamiseks kasutatakse lisaks hooratastele veel lisaraskusi. Seda tehes tekivad aga uued soovimatud horisontaalsuunalised jõud. Keeruline ülesanne on leida nende jõudude vahel vahekord, mis on optimaalne konkreetsele masinale. Hoolimata sellest, et ideaalne tasakaal on saavutamatu, aitab tasakaalustamine siiski jaotada vertikaal- ja horisontaalsuunas toimivaid jõudusid ūhtlasemalt. [16]

### 3.3. Saeraam

Saeraam koosneb neljast osast: ūks ūlemine risttala, alumine risttala ja kaks kūlgposti. Alumise risttala kūljes on nn kōōrvad, mis moodustavad kinnituse, mille kūlge kinnitatakse sōōrme abil keps. Raami massi minimaliseerimiseks kasutatakse kūlgpostidena torusid.

Saagide kinnitamiseks kasutatakse joonisel 3.5. kujutatud haaratseid, nende haaratsite raami kūlge kinnitamiseks on ūlemisel ja alumisel talal nn pilu, kuhu saab haaratsid sisestada.

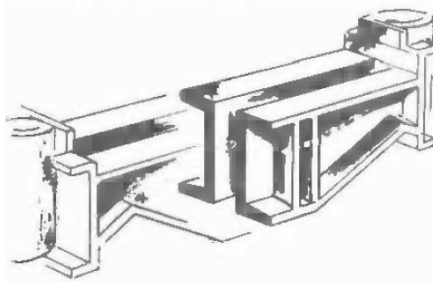


**Joonis 3.5.** Saeterade alumine (vasakul) ja ūlemine (paremal) haarats [17]

Saeraam peab olema vāga tugev. Oletame, et saekavas on nāiteks 7 saelehte, seejuures igat saelehte pingutatakse jõuga 70 000 kuni 90 000 N, siis mõjub saeraamile tōmbepinge 490 000

- 630 000 N. Lisaks mõjutab saeraami külge kinnitatud kepsu liikumine raami vahelduvalt painde- ja survepingega, mille väärtus jääb vahemikku 15 000 kuni 20 000 N. [16]

Risttalad on valmistatud kahest U-profiilterasest identsest poolest (joonis 3.6.), mis on keskkohast tugevdatud ribidega. U-profiil on valitud, kuna see on otstarbekas nii tootmise kui ka pingetaluvuse seisukohalt.



**Joonis 3.6.** Saeraami alumine risttala [16]

Saelehtede raami külge kinnitamiseks kasutatakse eelmainitud haaratseid, need on mõeldud ainult saelehtede pikisuunaliseks fikseerimiseks. Saelehed koos haaratsitega võivad vabalt saeraami risttalades olevates piludes koos saelehtedega ristisuunaliselt liikuda, mis on vajalik saeraami kergemaks muutmiseks. Saelehtede ristisuunaliseks fikseerimiseks ja lehtede vahede kalibreerimiseks kasutatakse vahetükke ja pingutusmehhanisme nagu kujutatud joonisel 3.7. Vahetükid valmistatakse tavaliselt puidust, kuid on kasutusel ka näiteks metallist vahetükid. Pingutusmehhanismi tööpõhimõte on lihtne, külgpostide külge on kinnitatud metallplaadid, mille külge on omakorda kinnitatud veel ühed metallplaadid nagu kujutatud joonisel 3.7. Saelehtede vahele asetatakse vahede kalibreerimiseks vahetükid ning seejärel mutreid üksteisest eemale keerates vähendatakse sisemiste metallplaatide vahet, mis fikseerivad sedasi vahetükid.

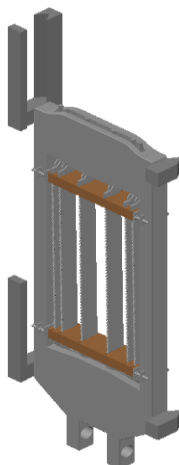


**Joonis 3.7.** Konstruktsioon saelehtede ristisuunaliseks fikseerimiseks ja lehtede vahede kalibreerimiseks [18]

Saeraami neljas välisnurgas asetsevad nn kõrvad liugklotside paigaldamiseks ja kinnitamiseks. Liugklotside ülesanne on juhtida saeraami mööda juhikuid. Liugklotside pind on kaetud madala hõõrde teguri ja kulumusega vahetatavate hõõrdeplaatidega, nagu näiteks alumiiniumplaadid, millel on eriline bakeliidist kate. [16] Liugklotsid on etteande poolt sileda pinnaga ja teiselt poolt v-kujulised, selleks et elimineerida saeraami ristisuunaline libisemine.

### 3.4. Traditsiooniline saeraami juhtsüsteem

Kõige enam levinud ja lihtsaimal juhul on ülemise raami sisekülgedele poltidega kinnitatud neli juhikut, kaks ülemist ja kaks alumist. Nende ülesandeks on piirata saeraami liikumist horisontaalsuunas ja juhtida seda vertikaalsuunas. Juhikud on valmistatud malmist ning juhtpinnad on poleeritud [16]. Saeraami liikumine toimub saeraami nelja nurka kinnitatud liugklotside abil (joonis 3.8.).



**Joonis 3.8.** Saeraam koos juhtsüsteemiga

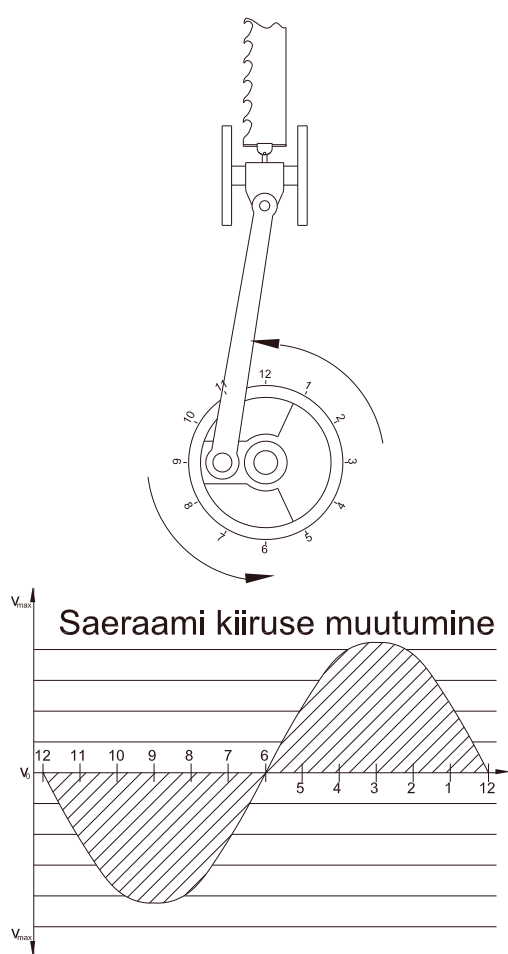
Kasutatakse kahe profiiliga juhikuid sileda profiiliga sisseande poolel ja nn v-juhikud, mille libisemispinnad on v-kujulised väljaande poolel. Esimesed juhikud valmistatakse alati selliselt, et juhikute vahe oleks reguleeritav, selleks et kompenseerida juhikute ja hõõrdeklotside kulumist.

Juhikud on varustatud sundõlitusega, kusjuures õlituse kiirus on proportsionaalne raamsae kiirusega. See saavutatakse õlipumba ja raamsae käitamisega samalt võllilt.

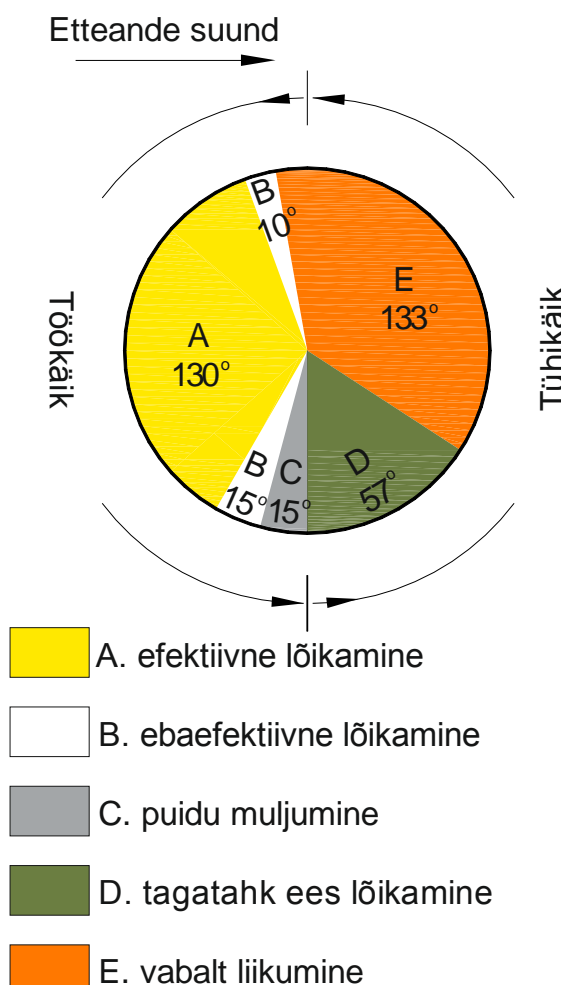
Kuna alumised juhikud asuvad kepsu ülemisele ühendusele lähemal, mõjuvad neile suuremad jõud, sest nad absorbeerivad teatud kepsu liikumishetkedel tekkivaid horisontaaljõude. Ülekuumenemise vältimiseks on alumised juhikud varustatud jahutussüsteemiga.

### 3.5. Muud juhtsüsteemid

Tavaliselt toimub raamsaagimisel palgi lõikamine horisontaalsuunalisel pideval etteandel ja saeraami liikumisel vertikaalselt mööda juhikuid üles-alla [19]. Saeraami täiskäigu moodustab üks töökäik allasuunas ja üks tühikäik tagasi ülesse, kusjuures lõikamine toimub ainult sae allakäigul. Saelehtedele antakse väikene kalle, selleks et vältida tühikäigul tagasi ülesse liikudes saehammaste tagatahkude hõõrdumist vastu saetee põhja. Sellest hoolimata toimub tühikäigu alguses saehammaste hõõrdumine vastu saetee põhja. Lisaks muutub saeraami kiirus igal käigul nullist kuni maksimumini ning seetõttu suureneb töökäigu alguses ja lõpus ettenihe hamba kohta mitu korda ning lõikamise tingimused on eriti ebasoodsad. Täpsemalt on lõikamistingimuste muutumist kirjeldatud joonistel 3.9. ja 3.10. Selleks, et vältida ebasoodsaid lõikamistingimusi on välja töötatud erinevaid ristvõnkumise mehhanisme – saeraami ei liigutata mitte ainult vertikaalsuunaliselt, vaid samaaegselt ka horisontaalsuunaliselt.



**Joonis 3.9.** Saeraami kiiruse muutumine sõltuvalt alumise kepsusõrme liikumisest



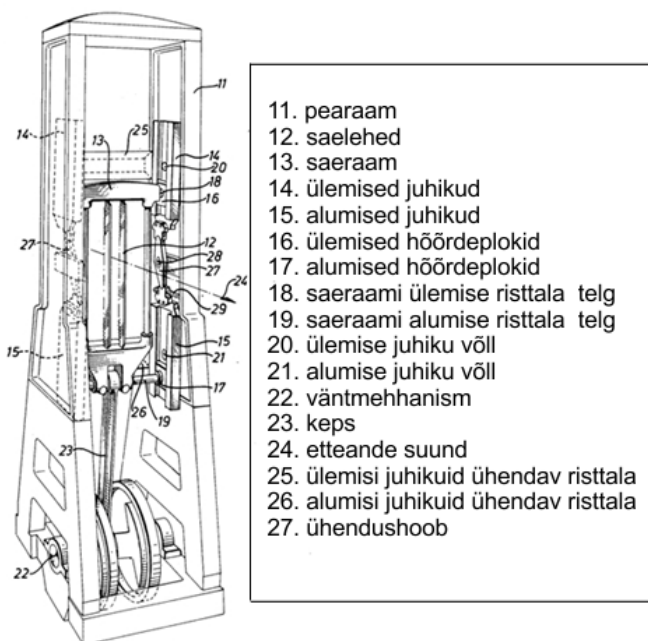
**Joonis 3.10.** Lõiketingimuste muutumine sõltuvalt alumise kepsusõrme pöördliikumisele

### 3.5.1. Ristvõnkumise mehhanismid

Üks võimalus ebasoodsate löiketingimuste vältimiseks on kaheksakujuline löiketrajektor. Selleks tuleb kujundada ristvõnkumismehhanismiga saag nagu joonisel 3.11. Joonisel olev saag koosneb pearaamist (11), mis seisab vundamendil mille külge kinnitatakse ülejäänud detailid. Need detailid on: saeraam (13) paralleelsete vertikaalsete saelehtedega (12), vänt (22) kepsuga (23). Ülemised (14) ja alumised juhikuid (15), mis määravad sirged, mida mööda liiguvad ülemised (18) ja alumised (19) hõõrdeplokid. Praeguseks loetletud detailid annavad saeraamile võimaluse vertikaalsuunaliseks liikumiseks juhikute suhtes.

Juhikud (14) ja (15) on võimelised pöörlema ümber horisontaalvõllide (20) ja (21) ning seega ka liikuma horisontaalsuunaliselt, seetõttu peavad saeraami küljes asetsevad hõõrdeplokid (16) ja (17) olema võimelised pöörlema ümber horisontaalsete telgede (18) ja (19).

Selleks, et ülemised ja alumised juhikud (14) ja (15) oleksid igal ajahetkel paralleelsed ja pöörduksid samaaegselt aga erisuunaliselt, on äärmised juhikud omavahel ühendatud kahe ühendushoovaga (27), mis on võimelised pöörlema ümber raami külge kinnitatud võlli (28). Selleks, et saeraam (13) saelehtedega (12) oleks kindlalt risti saetava materjaliga, on ülemised juhikud omavahel jäigalt ühendatud risttalaga (25); analoogselt on omavahel seotud ka alumised juhikud (15) risttalaga (26). [19] Joonisel kujutatud vedrud (29) ei oma löiketrajektoris mingit märkimisväärset rolli, nende ülesandeks on muuta võnkeliikumine lihtsalt sujuvamaks.



Joonis 3.11. Kaheksakujulise löiketrajektoriga raamsaag [19]

Ülalkirjeldatud konstruktsioon tagab raamsae kaheksakujulise lõiketrajektoori ja seega vähendab ka saehammaste asjatut kulutamist ning võimaldab kasutada märkimisväärselt õhemaid saage kui traditsioonilistes raamsaekaatrikes. Lisaks võimaldab selline lõiketrajektoor parandada lõigatava pinna kvaliteeti hoides lõigatavate laastude paksuse konstantse. Kokkuvõttes suurendab selline konstruktsioon masina ja saagide eluiga ning ka lõigatava pinna kvaliteeti.

Eelkirjeldatud tehnoloogia patenteeris Kockum Industri Aktiebolag aastal 1975, autorile teadaolevalt pole selliseid raamsaage aga tootmisesse jõudnud. Spekuleerida võiks, et sellise kaheksakujulise lõiketrajektooriga sae kõrge hind ja tõenäoliselt madal töökindlus kaaluks üle eelmainitud plussid.

### **3.6. Etteandesüsteemid.**

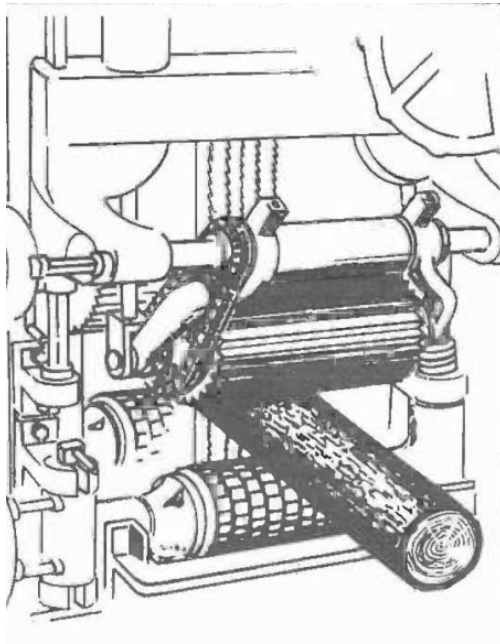
Eelnevas peatükis 2. on kirjeldatud, kuidas vee- ja tuulejõul töötavate veskite etteanne on tõukeline. Selles peatükis 3. käsitletavat saekaatriid võivad sekundis teha ligi viis täiskäiku. Tõukelist etteannet kasutades tuleks seega suhteliselt rasket palki sekundi jooksul viis korda peatada ja seejärel uuesti liikuma panna, kusjuures tuleks see liikumine hoida täpses kooskõlas saeraami üles-alla liikumisega. Nende asjaolude tõttu on tõukeline etteanne tänapäevastes suure tootlikkusega raamsaekaatrikes väljastatud.

Etteandesüsteemi ülesandeks on palgi läbiviimine saeväravast, seejuures laskmata palgil liikuda koos saagidega üles ja alla ning takistades ka palgi liikumist külgsuundades. Etteandesüsteem peab töötama sujuvalt ja etteande kiirus peab olema reguleeritav, selleks et saaks toimuda optimaalne puidu lõikamine. [19]

Etteandesüsteem (joonis 3.12.) koosneb: alumistest etteandevaltsidest, mis on fikseeritud raami külge ja ülemistest etteandevaltsidest, mis peavad olema vastavalt palgi läbimõõdule vertikaalsuunas liigutatavad ning võimelised järgima palgi ebatasasusi ja süsteemist, mis neid valtse käitab.

Jõuallikaks valtside ringiajamisel võidakse kasutada sama mootorit, millega käitatakse vāntmehhanismi või eraldi mootorit.

Etteandevaltside raami ülesandeks on toetada ja fikseerida ülemisi ja alumisi valtse ning tekitada nende vahel surve. Etteandevaltside raam koosneb kahest ülemisest ja kahest alumisest toetuseks ja fikseerimiseks mõeldud raamist.



**Joonis 3.12.** Sisseande poolelt kujutatud etteandesüsteem [16]

Nii etteande kui ka väljaande valtside raamid on kinnitatud vertikaalsetele juhttorudele. Väntmehhanismi käitamise ja etteandesüsteemi poolel asetsevad torud on erinevad. Selleks, et oleks tagatud juurdepääs saeraamile saagide vahetamiseks nõ avanevad valtsid koos raamidega väntmehhanismi käitamise poolele, olles võimelised pöörlema ümber sealpoolse juhttoru – seda juhul, kui avatakse lukustusmehhanism vastaspoolel ja valtside toetusraamid ei ole enam sealpoolse juhttoruga seotud.

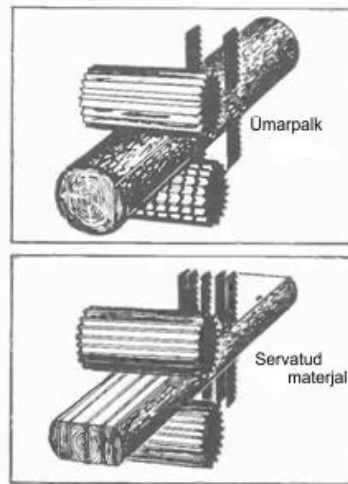
Ülemised raamid on valatud ja koosnevad:

- vertikaalsuunalised augud väntmehhanismi käitamise poolsete juhttorude jaoks
- vertikaalsuunalised uurded, mille üks pool on avatud ülemise raami poole ja uurde põhi on poolringikujulise profiiliga
- mõlemas ülemises raamis kaks vertikaalset ja kaks horisontaalset auku ülemiste rullikute vertikaal- ja diagonaalkinnituste jaoks

Ülemisi valtse saab koos raamiga üles-alla liigutada. Selleks kasutatakse erinevaid mehhanisme. Vanematel masinatel käitub väntmehhanismi käitamise poolne juhttoru hammaslatina, mida mööda saab toetusraami üles-alla juhtida, keerates käsiratast, mis asetseb tavaliselt raami kohal. Uuematel masinatel toimub see hüdro- või pneumosilindriga juhtpuldist.



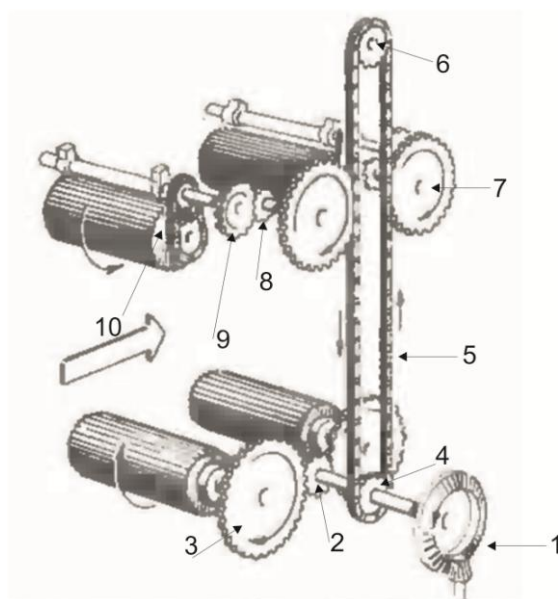
Raamsaega saetakse tüüpiliselt kahte sorti palke – ümarpalk ja palke, mis on kahest küljest servatud (joonis 3.13.). Vastavalt saetavale materjalile kasutatakse ka erineva profiiliga valtse.



**Joonis 3.13.** Raamsaekaatriks saetav erinev materjal [16]

Selles peatükis kirjeldatavate raamsaagide puhul, nagu eelnevalt mainitud, kasutatakse pidevat etteannet. See tähendab, et palki antakse ette nii terade ülesse ja kui ka alla liikumisel.

Etteande jõuülekanne võib tulla vāntmehhanismi kāitavast mootorist vōi eraldi mootorilt. Etteande kāitamisel samalt mootorilt kui vāntmehhanism kasutatakse kiiruse muutmiseks friktsioonūlekannet. Eraldi mootori korral kasutatakse kiiruse muutmiseks variaatorūlekannet ja sajandi teisel poolel ka sagedusmuundurit mootori pōõrete arvu muutmiseks, seda kāesolevas tōõs aga lāhemalt ei vaadelda.



**Joonis 3.14.** Raamsaekaatri etteandesüsteemi jõuülekanne osa [16]

Olenemata mootorist ja etteande kiiruse muutmise süsteemist on ülejäänud ülekande osa analoogne (joonis 3.14.). Hammasrataste paari (1) üks väiksem hammasratas kannab pöördliikumise üle horisontaalvõllile, millel asetsevad kettülekande (5) alumine ketiratas (4) ja hammasratas (2), mis hambub hammasratastega (3), need hammasrattad (3) ajavad ringi alumisi rullikuid. Alumine ketiratas (4) koos ülemise ketirattaga (6) aitab kanda liikumise üle ülemistele etteandevaltsidele. Ülekanne toimub ketirataste (7) abiga, mis haakuvad kettülekande keti (5) välispoolega. Ketirattad (7) omakorda asetsevad samal võllil silinderhammasrataste paaride väiksemate hammasratastega (8), need hammasratta paarid kannavad pöördliikumise üle kettülekandele (10). Kettülekande suuremad ketirattad asetsevad samal võllil kui ülemised rullikud ja ajavad neid ringi.

### 3.6.1. Friksioonülekanne

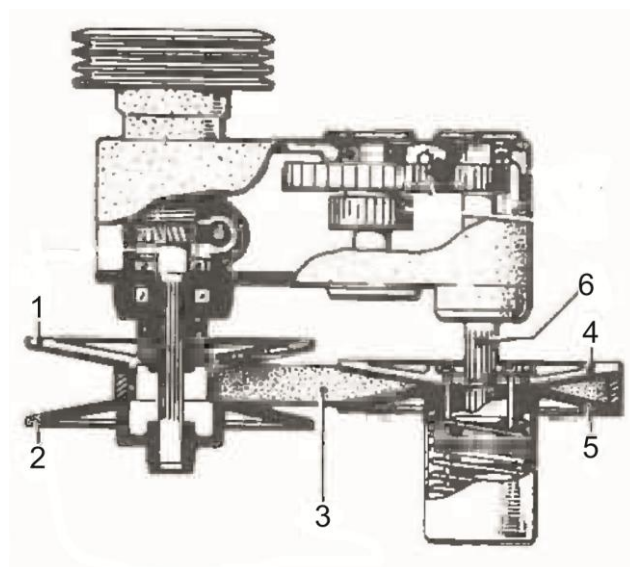
Friksioonülekande ülesandeks on kanda peavõlli ringliikumine üle võllile, millel asetseb joonisel 3.14. kujutatud väiksem koonushammasratas ning võimaldada muuta etteande kiirust. Friksioonülekanne koosneb hõõrdkettast ja hõõdrattast (joonis 3.15.). Hõõrdketast aetakse ringi rihmülekandega, mille alumine rihmaratas asetseb peavõllil ja ülemine rihmaratas on hõõrdketas ise. Hõõdratas on võllil vertikaalsuunas liigutatav. Ülekanne on seda aeglasem, mida lähemal on hõõdratas hõõrdketta tsentrile.



Joonis 3.15. Näide friksioonülekandest lumepuhuril [20]

### 3.6.2. Rihmvariaator

Rihmvariaatoriga ülekannet on kujutatud joonisel 3.16. Ülekannet käitatakse hooratta kaudu rihmülekanandel. Hoorattaga koos samal võllil pöörleb fikseeritud ketas (1). Samal võllil pöörleb veel ketas (2), mida saab võlli telje suunas edasi-tagasi liigutada. Nende kahe ketta vahel asetseb v-rihm (3), mille teine ots jookseb ketaste (4) ja (5) vahel, mis asetsevad võllil (6). Sisemine ketas (4) on fikseeritud, välimist ketast (5) surutakse aga vedruga vastu ketast (4). See on vajalik rihma automaatseks pingutamiseks. Võlli (6) teises otsas on silinderhammasratate paari väiksem hammasratas. Silinderhammasratate paar kannab pöördliikumise üle võllile, millel asetseb eelpoolmainitud ülejäänud ülekande osa ketiratas (detail nr. 4 joonis 3.14.) ja alumisi rullikuid ringi ajava silinderhammasratate kolmiku keskmine hammasratas. Etteande kiirus muutub, kui liigutada ketast (2) ketta (1) suhtes. Seda tehes muutub diameeter, millel jookseb rihm (3). Rihma pikkus ja võllide kaugus on muutumatud, seega kettad (4) ja (5) reguleerivad omavahelist vahekaugust automaatselt tänu eelmainitud vedrule ketaste (2) ja (1) vahekauguse muutudes. Vahe vähendamise korral suureneb diameeter, millel jookseb rihm (3) ketaste (2) ja (1) vahel ja väheneb diameeter, millel jookseb rihm ketaste (4) ja (5) vahel. Seega suureneb etteande kiirus ketaste (1) ja (2) vahe vähendamisel ja suureneb vahe suurendamisel.



Joonis 0.1. Skeem raamsaekaatri rihmvariaatorist [16]

## 4. 21. sajandi raamsaed

Käesoleva sajandi kiire tehnikaarenguga on kaasa läinud ka raamsaekaatrite tootjad. Saeraami kalle, etteande kiirus jms on elektrooniliselt kontrollitav, saekaatrid registreerivad automaatselt tööprotsessi andmed. Materjalide ja tehnoloogia arenguga on saavutatud maksimaalne etteande- ja väntvõlli pöörlemiskiirus. Saetud materjali paksuse kõikumine on viidud kümnendikmillimeetrite tasemele. Kahjuks ei ole eelnevalt kirjeldatu saadaval ühe masinana. Toimunud on jagunemine – jätkatud on traditsiooniliste raamsaekaatrite tootmist, kuid juurde on tulnud ka eriti õhukese materjali lõikamise jaoks mõeldud *thin-cutting frame saw*'d. Järgnevalt käsitletakse neid kahte eraldi.

### 4.1. Raamsaekaatrid

Tänapäevaks on raamsaekaatrite osatähtsus saematerjali valmistamises vähenenud. Sakslased on aga näiteks aastal 2001. välja arvutanud, et kuupmeetri ümarpuidu lõikamine maksab raamsaagimise tehnoloogiaga 38-60 eurot ja lintsaetehnoloogiaga 60 ja rohkem eurot [21]. Seega tänapäeval ei ole raamsaekaatrite kasutamine, tootmine ja arendamine täiesti põhjendamatu.

Tänapäeva raamsaekaatri tootjad jagunevad üldjoontes kaheks. Ühed püüavad toota saekaatreid, mis on mõeldud väiketootjatele, teised püüavad toota saekaatreid, mis oleksid konkureerivad suurtootmises kasutatavate lintsaagidega. Põhiehituselt on nad analoogsed eelnevas peatükis kirjeldatuga. Järgnevalt vaatleme neid kahte suunda raamsaagide tootmises kahe masina põhjal. Rootsi firma Logosol väikeraamsaekaatri Laks 500 ja suurtootmisesse mõeldud raamsaag saksa tootjalt Möhringer raamsaekaater iFramesaw 700 koos Multi-BV 2.0 süsteemiga.

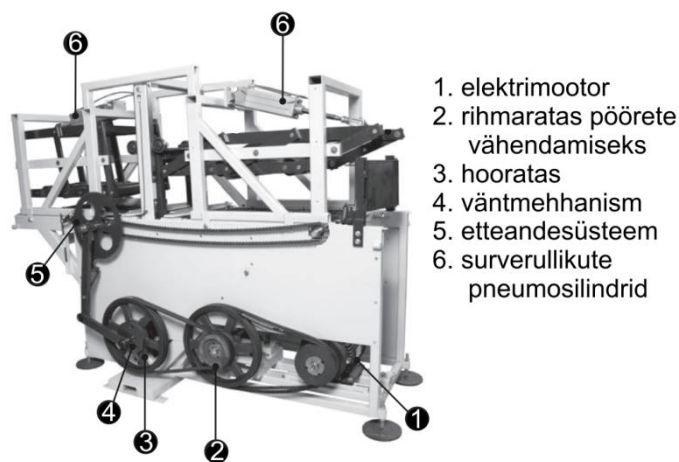
#### 4.1.1. Logosol Laks 500

Laks saekaatri eelisteks on kõrge töövõime odava hinnaga, sae lihtne ehitus ja kõrge töökindlus. Esimene Laks saekaater ehitati aastal 1990 [22]. Järgneva 20 aasta jooksul on saagi pidevalt efektiivsemaks muudetud. Edu aluseks on see, et sae arendamiseks pole mitte juurde lisatud rohkesti tehnoloogiat ja tarkasid funktsioone, vaid tehtud väikeseid korrekture saeraami kaldes, etteande- ja käitamissüsteemis. [23] Selle tulemusena on praegune Laks raamsaekaater oma efektiivsuse ja lihtsusega turul suhteliselt ainulaadne.

Saemasina tuumaks on kuni 20 lehte mahutav saeraam, mida liigutatakse vântmehhanismiga üles ja alla ning mille liikumist ühtlustab vastukaaluks olev tasakaalustatud hooratas. Saekaatreid käitatakse 11 kW kolmefaasiliselt mootorilt. Saekaatri kasutamiseks tagasihoidliku või puuduva elektritoitevõrguga kasutajate jaoks on välja arendatud saemasinast efektiivne sisepõlemismootorilt töötav variant. Ühe liitri bensiiniga saab lõigata ca 500 jooksvat meetrit materjali. Saemasin on töötades raamsae kohta äärmiselt vaikne, näha on, et saeraam, vântmehhanism ja etteandemehhanism töötavad ideaalselt kooskõlastatult. [23]

Laks saepingi kõige suuremaks miinuseks on see, et masin üksinda ei ole terviklik saemasin. Laks raamsaega saab lõigata ainult eelnevalt kahelt poolt servatud palkmaterjali. Selle miinuse kaalub aga ülesse saetud materjali pinna parem kvaliteet võrreldes lintsaekaatritega (+/- 0,5 mm). [24]

Kõvasulamplaatidega saehammastega saelehed vajavad teritamist umbes pärast 8-10 tundi tööd või umbes 100 prussi, selleks tuleb terad raamist eemaldada ja teritada teritusseadmega, mille saab raamsaepingiga tasuta kaasa. Saagide eemaldamine, teritamine ja tagasipanemine võtab aega vähem kui 20 minutit. [23]



**Joonis 4.1.** Logosol Laks saekaater ilma kaitsmeteta [25]

Laks saekaater (joonis 4.1.) on mõeldud peamiselt väikese ja keskmise suurusega saematerjali tootjatele. Huvitav näide, kuidas saab Laks saekaatrit kasutada suuremamahulisemas tootmises, on pärit 2005. aastast Tansaania mahajäetud saekaatri taaskäivitamisest. Saekaatri taaskäivitamiseks osteti üks lintsaag palkide servamiseks ja kaheksa Laks raamsaekaatrit. Idee oli, et üks lintsaag suudab toita seitset raamsaagi ning üks raamsaagidest saab kogu aeg olla

hoolduses. Plaan oli edukas – kogu investeering teenis ennast tasa kaheksa kuuga aastase tootmismahuga 30 000 kuupmeetrit. [26]

Laks raamsaemasina hind jääb vahemikku 25 kuni 33 tuhat eurot, vastavalt mootori võimsusele ja saetava materjali kõrgusele. Etteandekiirus on 0,5 – 1,0 m/min, mis lubab tunnis lõigata kuni 3,4 m<sup>3</sup> materjali. [23]

#### 4.1.2. Möhringer iFramesaw 700

Möhringeril on üle 125 aasta raamsaagide tootmise, projekteerimise ja kasutamise kogemusi. Nende arvates on raamsaagimine ennast läbi aegade tõestanud kui täpne, kõrge tootlikkusega ja ka universaalne tehnoloogia ümarpuidu lõikamiseks – seda eriti väikese- ja keskmise suurusega saeveskites. Samas on raamsaekaatrid tänu automaatsele etteandesüsteemile huvi pakkuvad ka suurtes saekaatrites kvaliteetset puitu nõudvas mööbli- ja parketitootmises. [27]



**Joonis 4.2.** Multi-BV 2.0 süsteem (vasakul), Möhringeri iFramesaw (paremal) [28]

Möhringeri iFramesaw 700't (joonis 4.2.) kirjeldab: suur saevärv (750x750 mm), raamsaagide kohta suur etteandekiirus kuni 24 m/min, automaatne etteandekiiruse reguleerimine vastavalt muutuvatele parameetritele (etteannet käitab sagedusmuunduriga mootor), elektrooniliselt kontrollitav saekalde muutmise võimalus jm. Pealaagrid on disainitud eluaegseks tööks, saeraamile on mõrade vastu antud 20 aastane garantii.

Lisaks on võimalik paigaldada saele elektrooniliselt kontrollitav saekava muutmise süsteem – Multi-BV 2.0. Selle süsteemi korral jagatakse saekava neljaks plokiks (joonis 4.2.), nii üksikute saeteradega keskmisi plokkke ja ka saekavaga äärmisi plokkke on võimalik tsentri suhtes liigutada. Kaks poolt peavad liikuma aga peegelpildina, et vältida saeraami ebaühtlast koormamist. [28]

Sellist tehnoloogiat tutvustati esmakordselt 2013. aasta mais LIGNA messil, Möhringer suutis järgmise kolme kuuga müüa selliseid agregate rohkem kui 20. See näitab selgelt, et raamsaekaatrid on saetööstuses tänapäevani konkurentsivõimelised. [29]

## 4.2. Thin-cutting frame saws

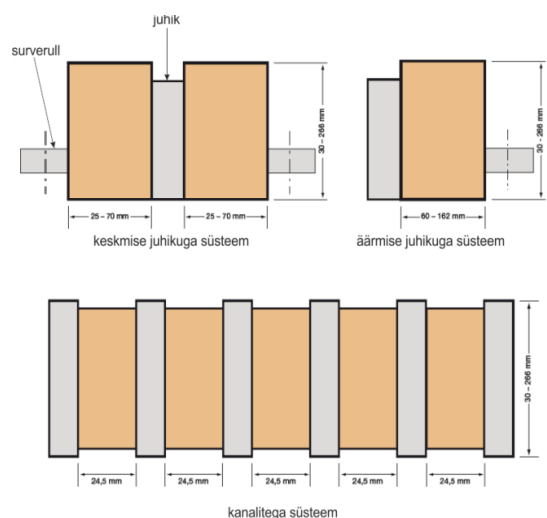
Terminile „*thin-cutting frame saw*” ei ole eesti keeles kasutatavat vastet. Käesolevas peatükis nimetatakse neid edaspidi peenlõikamise raamsaagideks. Esimene seda tüüpi saemasin toodeti Wintersteiger’i poolt aastal 1950 [30]. Peenlõikamise raamsaed on mõeldud prussist (tavaliselt ristlõikega kuni 150 x 250 mm) õhukese puitmaterjali (saespooni) lõikamiseks. Suudetakse lõigata materjali minimaalse paksusega 1,5 mm. Saemasinaid kasutatakse näiteks puitparketi, akende, uste, treppide, pliatsite, muusikainstrumentide, mööbli, lamineeritud ja mitmekihiliste põrandalaudade tootmises. [31] Praegu on maailmas ainult kolm arvestatavat peenlõikamise raamsaagide tootjat: Austria Wintersteiger, Tšehhi Neva ja ameeriklaste Mamuth, viimased kaks on mõlemad Ogden Group’i koosseisus. Järgnevalt vaadeldakse nende tootjate masinate põhjal peenlõikamise raamsaagide ehitust, tehnilisi spetsifikatsioone ja tehnoloogilisi iseärasusi

### 4.2.1. Ehitus

Põhiehitus on sama, mis raamsaekaatritel: etteanderullikud, saeraam ja vāntmehhanism. Peenlõikamise raamsaage eristavad tavalistest raamsaekaatritest erinevate horisontaalsuunaliste suunamissüsteemide olemasolu, saagide õhkpuhastussüsteem ja lisadena veel saadaval olevad kaks servahöövliit materjali ülemise ja alumise serva freesimiseks ning etteandemagasin. [32]



**Joonis 4.3.** Avatav masina konstruktsioon kiireks ja mugavaks saeraami vahetuseks [30]



**Joonis 4.4.** Materjali suunamissüsteemid Wintersteiger’i saemasina Notum näitel [30]

Masin on kiireks hoolduseks keskelt avatav (joonis 4.1.). Saeraam on kergesti eemaldatav ning saeraami vahetuseks kulub ainult paar minutit [32]. Horisontaalsuunalistest suunamissüsteemidest on kasutusel: äärmise juhikuga, keskmise juhikuga ja kanalite süsteem. Neid on kujutatud joonisel 4.2. Õhku puhastussüsteemiks nimetatakse põhimõtteliselt õhujugasid, mis on suunatud vertikaalselt ülevalt alla saetee põhja ning mille ülesandeks on saetee ja saehammaste puhastamine saepurust jms. See tagab pikema saagide eluea ja parema lõikepinna. Kaks servahöövlit eemaldavad etteandevaltsidest materjalile tekkida võivad jäljed ja tagavad materjali servade paralleelsuse.

## **4.2.2. Lõikamine**

Saagimise protsess algab saeraami üles-alla liigutamisega väntmehhanismi abiga. Väntmehhanism töötab analoogselt eelnevates peatükkides kirjeldatuga. Pöörete arv on tõstetud tänu väiksemale saeraami massile ja edasiarendatud juhtimissüsteemidele 400 pöördest 550 pöördeni minutis. [30,33] Erinevalt raamsaekaatrite pidevast etteandest toimub peensaagimise raamsaagidel etteanne ainult töökäigul (saetera alla liikumisel). Etteande samaaegseks ajastamiseks saetera allaliikumise kasutatakse servokontroller-etteannet või etteande käitamist väntmehhanismiga samalt võllilt. Järgnevalt vaatleme saagimise lõikeprotsessi täiustamist peensaagimise raamsaagidel kahe mudeli põhjal: Wintersteiger DSG Sonic ja Neva Orbit Plus.

### **4.2.2.1. Wintersteiger DSG Sonic**

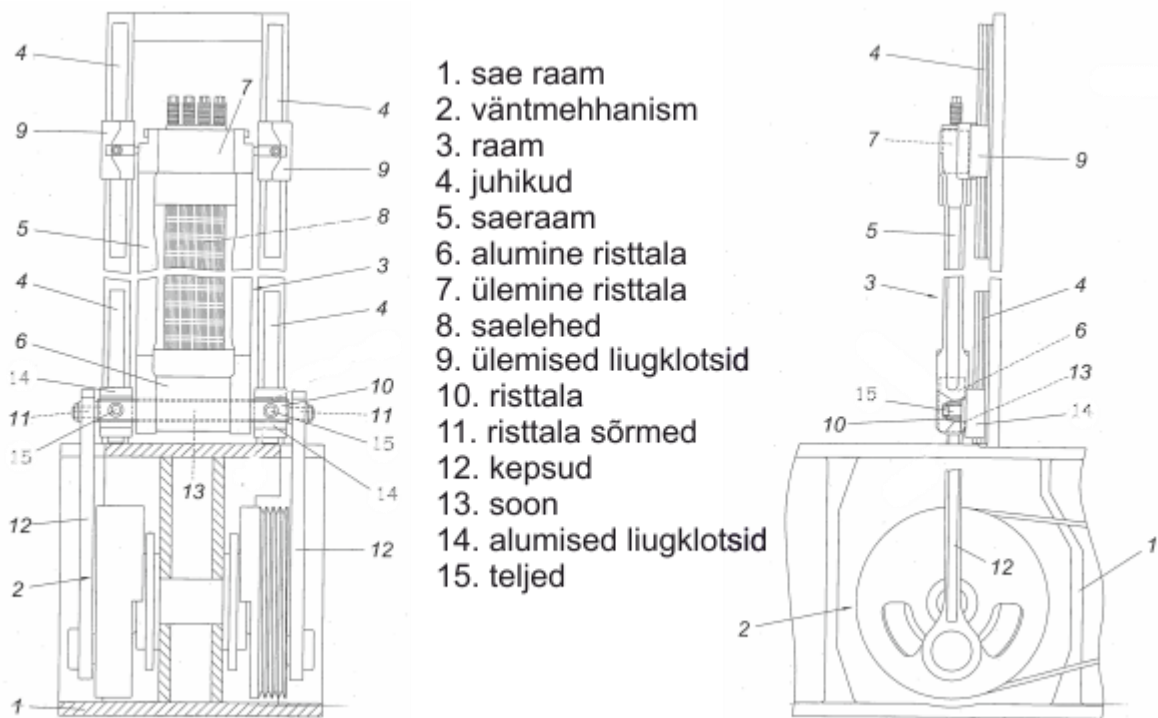
Selle sae eeliseks on (autorile teadaolevalt) kõige kõrgem pöörete arv, mis kunagi raamsaagimisel kasutatud – 550 pööret minutis. See tähendab, et saeraam liigub sekundis ca üheksa korda üles ja alla. See on saavutatud järgnevalt kirjeldatud ehitusega (joonis 4.3.).

Saag koosneb sae raamist (1), millele kinnitub väntmehhanism (2) raami (3) üles-alla liigutamiseks. Raam (3), mis on liigutatav mööda külgmisi juhikuid (4), koosneb kahe risttalaga (6), (7) saeraamist (5), mis on omavahel ühendatud kahe pikema püsttalaga, mille külge kinnitatakse saelehed. Saeraam (5) on lihtsasti eemaldatavalt kinnitatud kahe ülemise liugklotsi külge risttala (7) juures. Saeraami (5) alumine ots kinnitub risttala (10) peale, mille otstes on kinnitatud sõrmed (11) väntmehhanismi (2) kepsude (12) kinnitamiseks. Risttala (10) sobitub saeraami (5) alumises risttallas (6) olevasse soonde (13) ning kinnitatakse pingutades risttala (10) kinnituskruvidega risttallas (6) asetseva soone põhja poole.



Risttala (10) on kinnitatud otstest alumiste liugklotside (14) külge ja vāntmehhanismi kaitades liigub mōōda juhikuid (4) koos saeraamiga (5) ūles ja alla. Vāltimaks risttala (10) ūles-alla liigutamisel elastsetel deformatsioonidel tekkivate jōumomentide ūlekannet alumistele liugklotsidele ei ole ūhendus risttala (10) ja liugklotside (15) vahel jāk. Risttala (10) ūhendatakse liugklotside (14) telgedega (15), mis on risti nii juhikute (4), liugklotside (14) kui ka risttala (10) endaga.

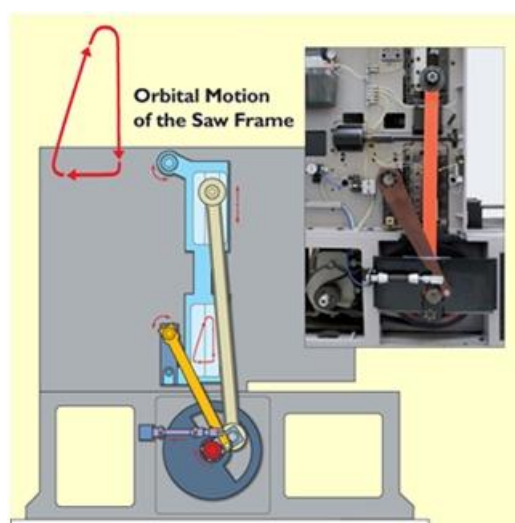
Sellise risttala (10) ja liugklotside (14) ūhendusviisi korral on saeraami (5) juhikud praktiliselt vabad jōududest, mis avaldavad negatiivset mōju tāpsusele, millega juhatakse saeraami ūles ja alla. Vōrreldes raamsaega, mille kepsud kinnituvad saeraami (vōi ūlemiste juhikute) külge, vāhendab eelnev ehitus jōudusid, mis mōjuvad saeraami (5) ūlemist (7) ja alumist (6) risttala ūhendavatele pikematele risttaladele. Seega on saavutatud eeldused saeraami kāigusageduse tōstmiseks. Samuti annab selline ehitus vōimaluse saeraami kiireks eemaldamiseks, vaja on ainult vabastada saeraami (5) ja liugklotside (9) ning saeraami (5) ja risttala (10) vahelised kinnitused. [34]



**Joonis 4.5.** Konstruktsioon, mis tagab raamsae vastupidavuse 550 pōördele minutis [34]

#### 4.2.2.2. Neva Orbit Pluss

Selle sae eeliseks on ristvõnkumismehhanismi kasutamine, see tähendab, et lisaks saeraami vertikaalsuunalisele liikumisele toimub ka raami horisontaalsuunaline liikumine. Neva nimetab sellist liikumist *the orbit system*'iks (joonis 4.4.). Saeraami allaliikumisel on liikumine täiesti lineaarne. Jõudes saeraami liikumisel kõige alumisse punkti (nn alumine surnud punkt) liigub saeraam saetee põhjast eemale ning seejärel liigub tagasi saeraami kõige ülemisse punkti (nn ülemine surnud punkt), seejuures kordagi saetee põhjaga kokku puutumata. Seejärel jällegi puitu lõigates täiesti lineaarselt alla liikudes.



**Joonis 4.6.** Neva orbit system [35]

Sellisel saeraami liikumisel on mitmeid eeliseid võrreldes traditsiooniliste raamsaagidega. Lihtsalt üles-alla liikuvate teradega saagimisel tekib palju ebavajalikku kuumust, sest toimub hõõrdumine saetee põhjas oleva saepuru ja saehammaste vahel. Traditsiooniline tehnoloogia ei lase saepurul ja –laastudel sae tühikäigul tera ja saetee põhja vahelt lahkuda. Seda eriti siis, kui saekäik on väiksem kui saetava materjali läbimõõt (sel juhul on mõned saehambad kogu lõikamise ajal saetees). Hammaste kuumenemine vähendab saelehtede elastsust ja kiirendab saehammaste nürinemist. [36] Saeraami üleskäigul *orbit* süsteemiga eemalduvad saehambad saetee põhjast ning laastud ja saepuru saavad saetee põhjast väljuda, tänu millele kuumenevad saehambad vähem. Selle tulemusena on *orbit* süsteemiga lõigates saeterade eluiga pikem ja saab kasutada ka õhemaid saage. [35]

## Kokkuvõte

Töö eesmärgiks oli raamsaemasinate ja nende saagimisprotsessi tutvustamine. Selleks uuriti põhjalikult olemasolevaid kirjandusallikaid ning seejärel koostati põhjalik kokkuvõte raamsaagide tähtsamatest arengutest ja iseärasustest läbi aegade.

Raamsaagimise masinaid hakati kasutama juba Vana-Rooma riigi ajal. Teadaolevalt oli just raamsaekaater esimene masin, mis kasutas vântmehhanismi. Järgmised tõendid saeveskite kohta Euroopas on pärit, pärast Vana-Rooma riigi lagunemist, alles 13. sajandist. 16. sajandiks olid veejõul töötavad saeveskid Mandri-Euroopas juba laialt levinud. Ameerika esimesed saeveskid püstitati varsti pärast esimeste kolonistide maabumist Virginia rannikule ja alates 1630. aastatest toimus seal laiaulatuslik raamsaeveskite püstitamine. Konservatiivsel Inglismaal läks saemasinate kasutuselevõtt aeglasemalt, raamsaeveskid hakkasid laialdaselt levima alles 18. sajandi lõpus ja 19. sajandi alguses.

17. sajandist 19. sajandi lõpuni oli enimkasutatav veejõul töötav ühe saega raamsaekaater. Sellise saemasina korral asetseb saetav materjal etteandevankril ja vankri liigutamine sae suunas toimub perioodiliselt pörkmehhanismi abil. Pörkmehhanismi käitatakse saeraami ülemise risttala külge kinnitatud hoobade süsteemi abiga. Lõikamine toimub seejuures ainult saeraami allakäigul. Materjali juhitakse sae poole, kas siis sae töökäigul või tühikäigul. Esimest juhtu nimetatakse tõukeliseks etteandeks töökäigul ja teist tõukeliseks etteandeks tühikäigul. Selliste saeveskite saeraam suutis teha kuni 120 täiskäiku minutis ja lõigata ca 900 kuni 1500 jooksvat meetrit materjali päevas.

20. sajandil jätkus ka eelnevalt kirjeldatud raamsaekaatri tüübi kasutamine, kuigi paljud detailid, mis varem valmistati puust, olid asendatud metalliga. 19. sajandi tööstusrevolutsiooniga arenesid välja aga täiesti metallist valmistatud saekaatriid, mida käitati juba aurumasinalt. Viimased olid eellasteks 20. sajandil laialt kasutatud ühe- ja kahekorruseliste raamsaekaatriitele, mille jõuallikaks olid elektrimootorid. Sellised saemasinad kasutasid peamiselt pidevat etteannet – materjali antakse ette nii saeraami üleskui ka allakäigul. Sellised saed suutsid sajandi lõpu poole lõigata kuni 30 m<sup>3</sup> materjali tunnis.

21. sajandil jätkub ühe- ja kahekorruseliste raamsaekaatriite tootmine. Suurtootmistesse mõeldud raamsaekaatriite etteandekiirus on viidud juba 24 meetrini minutis. Sae kalle, etteandekiirus ja saekava on muudetud elektrooniliselt kontrollitavaks. Väiketootjatele on

saadaval vastupidavad lihtsalt käitatavad odavad (25 000 – 33 000 €) raamsaemasinad. Eraldi on hakatud tootma saage eriti täpselt (+/- 0,1 mm) eriti õhukese (alates 1,5 mm-st) saematerjali lõikamiseks, sellist masinat tuntakse inglise keeles nime all *thin cutting frame saw*.

Läbi töö on käsitletud ka raamsaagimise tehnoloogia kitsaskohti ja võimalusi nende vältimiseks. Põhiline probleemi sisu seisneb raamsaagimise olemuses – saeraami üles-alla liikumisel on raami kiirus kõige ülemises ja alumises asendis null, seejuures toimub saagimine ainult allakäigul. See tähendab, et ideaalis tahetakse saavutada olukord, kus saag on saetava materjaliga kontaktis ainult raami allakäigul ja materjali etteandekiirus on konstantse laastu paksuse saamiseks võrdne saeraami allaliikumise kiirusega.

Saehammaste kontakti vältimiseks saetava materjaliga tühikäigul on antud saele (juba veejõul töötavate saemasinate kasutamise algusest alates) väike kalle. See ei ole aga probleemi lõplik lahendus. Hoolimata sellest, et enamuse aja üleskäigust liiguvad saehambad saetee põhjast eemale, toimub kõige alumisest asendist tõustes siiski mingi ajahetkeni saehammaste tagatahkude hõõre vastu saetee põhja. 20. ja 21. sajandil on viimati mainitud probleemi lahendamiseks mõeldud välja erinevaid ristvõnkumismehhanisme. Ristvõnkumismehhanismide kasutamisega kaasnevad aga uued probleemid ja piirangud. Sellest hoolimata on suutnud Neva lõpuks ristvõnkumismehhanismi idee muuta turustatavaks raamsaemasinaks Orbit plus.

Raamsaagide tähtsamate arengute järgi valiti kaks saetüüpi eri ajastutest ja koostati nende kohta 3D mudelid, kasutades selleks arvutitarkvara Autodesk® Inventor® Professional. Seejärel mudelid animeeriti ja salvestati videofailidena. Kahjuks on antud animatsioonid suhteliselt tagasihoidliku kvaliteediga, sest animatsioonide salvestamiseks kõrgema kvaliteediga kulub väga palju aega või oleks vaja äärmiselt kõrge arvutusvõimusega arvutit. Näiteks kulub ühe minuti pikkuse resolutsiooniga 640x480 animatsiooni salvestamiseks nn keskmise üliõpilase arvutiga umbes kümme tundi. Jätmaks siiski vabaduse ligi pääseda mõistliku kvaliteediga mudelitele on need lisatud ka .dxf faili formeeringus dwg-viewer'is tutvumiseks.

Töö käigus tuli välja, et raamsaagimise (ja üldiselt saemasinate) täpsemaks ja üksikasjalikumaks kirjeldamiseks oleks inglise keelest otstarbekam vene ja saksa keele oskus. Edukaks animeerimiseks oleks aga vajalik kõrge arvutusvõimsusega arvuti.

## Summary

A saw frame is a sawing tool type which consists of a saw blade held under tension within a rectangular frame. A frame saw is a machine in which one or multiple blades are held inside a frame and this is driven up and down by a crankshaft. The aim of this thesis “Frame Sawing. Study Material and Animations” was to provide a detailed overview of frame sawing throughout times and provide three easily comprehensible animations of the frame sawing technology.

Therefore a thorough study was done to gather all the possible information available. On the basis of the found data, the development of the frame sawing technology was divided into four parts: the early history, water-powered sawmills, frame saws of the 20<sup>th</sup> and the frame saws of the 21<sup>th</sup> Century. For two of these aforementioned animations were created using computer software Autodesk® Inventor® Professional.

The first known sawmill is a Roman water-powered sawmill for stone sawing at Hierapolis dating back to the third century AD. This is also the earliest machine which is known to use a crankshaft. A sawmill illustration from ca 1235 by Villard de Honnecourt is considered to be the starting point of sawmilling era in medieval Europe. Sawmills were widespread sawing technology facilities in Europe in 16<sup>th</sup> century.

The majority of sawmills from the times of the medieval Europe till the beginning of the 19<sup>th</sup> century essentially used a single technology – there was a straight saw blade mounted in a wooden sash, which was driven up and down by a wooden waterwheel by a crankshaft. Through the 19<sup>th</sup> century industrial revolution more and more wooden parts were been replaced by the iron counterparts till sawmill completely made of iron was constructed. Furthermore the single blade was replaced with multiple ones and the water-power was replaced by a steam engine and a sash gang was constructed. This was followed by another power source exchange from steam to electricity in the early 20<sup>th</sup> century. Therefore an early concept of modern sash gang was introduced.

This kind of sawmills have a feed rate up to 24 m/min in the 21<sup>th</sup> century. Present times have also brought a new kind of frame saw machines for economical precise cutting (+/- 0.1 mm) of thin slats (with thickness over 1.5 mm), so called thin cutting frame saws.

The overview of the frame sawing technology during centuries is given and two animations and 3D models of frame sawing machines are developed in this work. The work is aimed to be considered as an additional study material for students of woodworking and as basics of frame sawing technology for public further reading.

## Kasutatud allikad

1. Sawmill early history. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 24. mai 2014. a.] <http://www.logdebarker.com/news/78.html>.
2. Circular saw. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 24. mai 2014. a.] [http://en.wikipedia.org/wiki/Circular\\_saw](http://en.wikipedia.org/wiki/Circular_saw).
3. Bandsaw. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 24. mai 2014. a.] [http://en.wikipedia.org/wiki/Band\\_saw](http://en.wikipedia.org/wiki/Band_saw).
4. Rosholt, Malcolm. The Wisconsin Logging Book, 1839-1939. Amherst : Palmer Publications Inc, 1980. p. 300.
5. Lucas, Adam. Wind, Water, Work: Ancient And Medieval Milling Technology. Leiden : Brill Academic Publishers, 2005. p. 460.
6. Edward Smedly, Hugh James Rose, Henry John Rose, [ed.]. Encyclopedia Metropolitana. London : Fellowes, 1845. p. 1024. Vol. VIII.
7. Sawmills in New England 1600-1900: A Brief Overview. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 25. mai 2014. a.] <http://www.ledyardsawmill.org/history/early-sawmills-in-new-england>.
8. History of the Ledyard Sawmill. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 26. mai 2014. a.] <http://www.ledyardsawmill.org/history/sawmill-history>.
9. How the Sawmill Works. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 3. mai 2014. a.] <http://www.ledyardsawmill.org/operate-a-sawmill/how-mill-works>.
10. Sash Sawmill. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 26. mai 2014. a.] <http://randolphhistory.wordpress.com/2009/04/17/sash-sawmill/>.
11. Forgotten History – wind powered sawmills. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 26. mai 2014. a.] <http://calculating.wordpress.com/2012/06/06/forgotten-history-wind-powered-sawmills/>.
12. Tyler Turbine Water Wheel. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 26. mai 2014. a.] <http://www.ledyardsawmill.org/historic-technology/tyler-water-wheel-turbine>.

13. Hickman, Nollie. Mississippi Harvest: Lumbering in the Longleaf Pine Belt, 1840-1915. Mississippi City : Univ. Press of Mississippi, 2009. p. 329.
14. Walker, John C.F. Primary Wood Processing: Principles and Practice. 2nd Editon. Dordrecht : Springer, 2006. p. 606.
15. Fronius, K. Gatter Nebenmaschinen Schnitt- und Restholz-behandlung. Stuttgart : DRW-Verlag, 1991. p. 327.
16. Frame Saw Manual. FAO Forestry Paper. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1982. p. 105.
17. <http://www.strojirnaloucna.cz/>. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 12. mai 2014. a.] <http://s3files.core77.com/blog/images/2014/01/0framesaw-002.jpg>.
18. <http://www.strojirnaloucna.cz/>. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 12. mai 2014. a.] [http://www.strojirnaloucna.cz/grafika/drevarske\\_technologie/76o.jpg](http://www.strojirnaloucna.cz/grafika/drevarske_technologie/76o.jpg).
19. Hjalmar, Johansson Tage. Gang saw with improved cutting action. 3921489 United States of America, April 05, 1974.
20. <http://img198.imageshack.us>. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 24. mai 2014. a.] <http://img198.imageshack.us/img198/7015/frictiondisc.jpg>.
21. Wood Structure and Properties '06. Stanislav Kurjatko, Jozef Kúdela, Rastislav Lagaña, [ed.]. Zvolen : Arbora Publishers, 2006. 5th IUFRO Symposium. p. 522.
22. Näsström, Janne. Sawmill review - Logosol Laks Frame Saw. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 20. aprill 2014. a.] <http://www.sawmillmag.com/app/home/index>.
23. Traditional sawing using new technique. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 20. aprill 2014. a.] <http://www.logosol.co.uk/industrial-machines/frame-saw/>.
24. Squaring Logs for the Frame Saw. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 1. juuni 2014. a.] <http://www.woodworkingproject.com/news/squaring-logs-frame-saw>.
25. Logosol user manual: Logosol Laks 330, 500, 500 plus. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 29. mai 2014. a.] [http://www.logosol.co.uk/cms2/downloads/en\\_UK\\_LAKS\\_manual\\_ENG.pdf](http://www.logosol.co.uk/cms2/downloads/en_UK_LAKS_manual_ENG.pdf).

26. Laks in Tanzania saved the forest. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 1. juuni 2014. a.] <http://www.woodworkingproject.com/news/laks-tanzania-saved-forest>.
27. Frame saw technology. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 1. juuni 2014. a.] <http://www.moehringer.com/en/products/framesaw>.
28. iFramesaw framesaw technology. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 1. juuni 2014. a.] <http://www.moehringer.com/sites/default/files/images/dateianhang/Framesaw.pdf>.
29. Mult-BV 2.0 enjoys a real success. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 1. juuni 2014. a.] <http://www.moehringer.com/en/news/2013/multi-bv2.0>.
30. Thin-cutting frame saws. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 4. aprill 2014. a.] <http://www.wintersteiger.com/en/Woodtech/Machines/New-Machines/Thin-cutting-frame-saws/216-DSG-Notum>.
31. Thin Cutting Frame Saws - Applications Range. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 4. aprill 2014. a.] [http://www.neva.cz/framesaw\\_ref.htm#top](http://www.neva.cz/framesaw_ref.htm#top).
32. Mansabdar, Shantikumar. SOLID WOOD PROCESSING - Frame Saw. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 25. aprill 2014. a.] [http://www.thewoodportal.com/columns/2010/solid-wood-processing-frame-saw?page=0,0&quicktabs\\_1=0](http://www.thewoodportal.com/columns/2010/solid-wood-processing-frame-saw?page=0,0&quicktabs_1=0).
33. Orbit Thin Cutting Frame Saw. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 1. juuni 2014. a.] <http://www.ogden-group.com/products-page/thin-cutting-frame-saws/orbit-thin-cutting-frame-saw/>.
34. Mayr, Reinhold. Frame Saw. 20080134855 United States of America, June 12, 2008.
35. Thin Cutting Frame Saw - ORBIT Plus. [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 1. juuni 2014. a.] <http://www.neva.cz/>.
36. Kral Vaclav, Müller Vaclav. Gang saw for wood. EP20030466018, July 21, 2004.



# Lisa 1. Ledyard'i saeveski skeem [9]

