EESTI MAAÜLIKOOL
Metsanduse ja inseneeria instituut

Mauri Rein Lehikoinen

VESIOINA ENERGIAKASUTUS – HÜDRAULIKA ÕPPEVAHEND

WATER RAM ENERGY MANAGEMENT – EDUCATIVE DEVICE FOR HYDRAULICS

Bakalaureusetöö

Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendajad:
nooremprofessor Marten Madissoo, *PhD*
lektor Mart Hovi, *MSc*
õpetaja Külli Hovi, *MSc*

Tartu 2023

www.emu.ee
Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Mauri Rein Lehikoinen		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Vesioina energiakasutus – hüdraulika õppevahend			
Lehekülgi: 54	Jooniseid: 13	Tabeleid: 14	Lisasid: 3
Õppetool: Energiakasutus ETIS: 4. Loodusteadused ja tehnika; 4.17 Energeetikaalased uuringud CERCS: 5. TEHNIKATEADUSED; T210 Masinaehitus, hüdraulika, vaakumtehnoloogia, vibratsioonakustiline tehnoloogia Juhendajad: nooremprofessor Marten Madissoo, *PhD*, lektor Mart Hovi, *MSc*, õpetaja Külli Hovi, *MSc* Kaitsmiskoht ja -aasta: Eesti Maaülikool, 2023			
Antud bakalaureusetöö eesmärgiks on valmistada vesioina õppevahend ja seda katsetada, lisaks koostada laboratoorsete tööde juhendid. Töö teoreetilises osas on kirjeldatud hüdroenergia kasutusalasid ja sellega seonduvaid direktiive, hüdropumpade ajalugu, näited ning vesioina ajalugu, tööpõhimõtet ja omadusi. Praktilises osas on kirjeldatakse õppevahendi valmistamise protsessi ja kasutatud töövahendeid. Katselises osas on kajastatud mõõtetulemused ning nendele tuginevad arvutused ja analüüs. Õppevahend paigaldati Tehnikamaja katlalabori juurde. Arvutuslikus osas selgusid valmistatud vesioina kaudne kasutegur, pumpamise võimsus ja pumbatava vee suhe süsteemi sisse voolava veega. Süsteemi on võimalik muuta tõhusamaks, mille tulemusena seadme parameetrid paranevad. Koostatud laboratoorsete tööde juhendeid on võimalik tulevikus kasutada hüdraulikaga seotud õppeainete laborites. Vesioina puhul on vaja teostada edasisi katseid, et kinnistada selle toimimise põhimõtteid.			
Märksõnad: vesioinas, hüdropump, taastuvenergia, potentsiaalne ja kineetiline energia, õppevahend			

Tartu 2023

www.emu.ee
Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Mauri Rein Lehikoinen		Curriculum: Tehnika ja tehnoloogia	
Title: Water Ram Energy Management – Educative Device for Hydraulics			
Pages: 54	Figures: 13	Tables: 14	Appendixes: 3
Chair: Energy Application Engineering ETIS: 4. Natural Sciences and Engineering; 4.17 Energetic Research CERCS: 5. TECHNOLOGICAL SCIENCES; T210 Mechanical engineering, hydraulics, vacuum technology, vibration acoustic engineering Supervisors: junior professor Marten Madissoo, *PhD*, lecturer Mart Hovi, *MSc*, teacher Külli Hovi, *MSc* Place and date: Estonian University of Life Sciences, 2023			
The aim of this bachelor's thesis is to assemble a hydraulic ram as an educative device and test it, in addition instructions for laboratory are prepared. In the theoretical part of the thesis, the areas of use of hydropower and realted directives, the history of hydraulic pumps, its examples and the history of the hydraulic ram, working principle and characteristics are described. The practical part describes the process of making the educative device and the tools used in the process. In the experimental part, the measurement results, the calculations and analysis based on them are reported. The educative device was installed near the Institute of Technology (Tehnikamaja) boiler laboratory room. In the calculation part of the thesis, the indirect efficiency of the assembled hydraulic pump, the pumping power and the ratio of the pumped water to the water flowing into the system were revealed. It is possible to make the system more efficient, as a result of which the parameters of the device are improved. The prepared laboratory instructions can be used in the laboratories of hydraulics-related subjects in the future. Further experiments are needed for the hydraulic ram to confirm the principles of its operation.			
Keywords: hydraulic ram, hydraulic pump, renewable energy, potential and kinetic energy, educative device			

Tartu 2023

SISUKORD

SISSEJUHATUS 6

1. HÜDRAULILINE TAASTUVENERGIA 7

1.1 Sissejuhatus 7

1.2 Hüdroenergia rakenduste näited 7

1.3 Hüdroenergia Eestis 8

1.4 Direktiivid 9

2. HÜDROPUMBAD 11

2.1 Hüdropumpade ajalugu 11

2.2 Hüdropumpade liikide näited 12

3. VESIOINAS 14

3.1 Vesioina ajalugu 14

3.2 Vesioina tööpõhimõte 15

3.3 Eelised ja puudused 17

3.4 Vesioina uuringud 17

4. ÕPPEVAHEND – VESIOINAS 19

4.1 Sissejuhatus 19

4.2 Õppevahendi komponentide loetelu ja skeem 19

4.3 Töövahendid 21

4.4 Õppevahendi valmistamine 22

4.5 Katsed vesioinaga 24

4.5.1 Esimene katse 24

4.5.2 Teine katse 25

4.5.3 Kolmas katse 26

4.5.4 Neljas katse 27
4.5.5 Viies katse 29
4.5.6 Kuues katse 30
4.5.7 Katsete võrdlus 31
4.6 ARVUTUSED 32
4.6.1 Töösagedus 32
4.6.2 Pumbatud vee protsent 33
4.6.3 Potentsiaalne energia 34
4.6.4 Kaudne kasutegur 36
4.6.5 Vooluhulk 38
4.6.6 Pumpamise võimsus 39
4.6.7 Hüdrauliline löök 41
KOKKUVÕTE 45
KASUTATUD KIRJANDUS 46
SUMMARY 48
LISAD 49
Lisa 1. Õppevahendi laboratoorse töö juhend 1. 50
Lisa 2. Õppevahendi laboratoorse töö juhend 2. 52
Lisa 3. Lihtlitsents lõputöö salvestamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta 54

SISSEJUHATUS

Hüdraulika on tehnoloogiaharu, mis kasutab vedelike, nagu vee või õli, omadusi jõu edastamiseks ja kontrollimiseks. Õppimaks hüdraulikasüsteemide toimimist sügavamalt, on oluline praktiline kogemus ja interaktiivsed õppevahendid.

Vesioinas on üks näide õppevahenditest, mis võimaldab reaalselt näidata hüdrauliliste põhimõtete toimimist praktilisel ja visuaalsel viisil. See hõlmab vee kasutamist energiamuundurina, et luua jõudu ja liikumist hüdraulilistes süsteemides.

Töös antakse ülevaade hüdroenergia, hüdropumpade ja vesioina ajaloo kohta. Samas uuritakse ka praktilist õppevahendit, mis on välja töötatud vesioina demonstreerimiseks hüdraulikasüsteemis.

Bakalaureusetöö eesmärk on valmistada vesioina prototüüp, analüüsida selle tõhusust ja praktilist rakendatavust hüdraulika õppevahendina ning uurida vesioina ja hüdrotehnoloogiate olemust. Töös kajastatakse ka õppevahendi katsetulemusi ning teostatakse analüüs, et hinnata vesioina efektiivsust ja selle potentsiaali hüdraulika õppevahendina. Töö keskendub järgmistele teemadele: hüdrauliline taastuvenergia ja selle rakenduste näited, hüdropumpade ajalugu ja pumpade näited, vesioina ajalugu ja tööpõhimõte koos eeliste ja puudustega, õppevahendi valmistamine ja katsetamine, laboratoorsete tööde näited.

Tänuavaldused lähevad juhendajatele Mart Hovi, Külli Hovi ja Marten Madissoo, kes olid suureks toeks õppevahendi valmistamisel ning töö teemade suunamisel.

1. HÜDRAULILINE TAASTUVENERGIA

1.1 Sissejuhatus

Taastuvenergia valdkonnas on pikemat aega üheks suuremaks eesmärgiks olnud energia tootmine hüdraulilise võimsuse abil. Energia saamiseks kasutatakse ära vedelike, enamasti vee, potentsiaalset ja kineetilist energiat. Hüdroenergia kasutuselevõtt toetab taastuvenergia põhimõtteid ja aitab kaasa säästlikule ja keskkonnasõbralikule energiakasutusele.

Taastuvenergia on üha olulisemaks muutunud, kuna me püüame vähendada fossiilkütuste kasutamist ja neist tekkivat keskkonnamõju. Hüdraulika, mis ühendab endas vedelike jõudude ja omaduste kasutamist, pakub mitmeid võimalusi taastuvenergia tootmiseks. Enamlevinud hüdroenergia tootmise viisideks on hüdroelektrijaamade, hüdroakumulatsioonijaamade, laineenergia tehnoloogiate, loodeteelektrijaamade ja veealuste turbiinide kasutamine.

1.2 Hüdroenergia rakenduste näited

Hüdroelektrijaamad on oluline komponent maailma energiatootmises ning on puhtad ja taastuvad energiaallikad. Need jaamad muundavad vee looduslikku liikumisenergiat elektrienergiaks. Voolav vesi suunatakse paisude või tammide kaudu turbiinidele, mis käivitavad elektrigeneraatoreid. Vee voogu ja turbiinidele langeva vee kõrgust muutes saab reguleerida elektrienergia tootmist vastavalt vajadusele. Kuna hüdroelektrijaamad kasutavad vee liikumise energiat, ei teki nende töötamisel süsinikdioksiidi ega muude saasteainete kahjulikke heitmeid. See muudab nad oluliseks võitluses kliimamuutuste vastu ning vähendab oluliselt õhusaaste negatiivset mõju. Lisaks sellele on veevarud taastuv looduslik ressurss, mida on võimalik pidevalt kasutada, erinevalt fossiilkütustest, mille varud on piiratud. Hüdroelektrijaamade kasutamine aitab kaasa ka veeregulatsioonile ja üleujutuste kontrollile. Paisjärved, mida hüdroelektrijaamad loovad, suudavad hoida suuri veekoguseid

ning vajadusel reguleerida veevoogu ja veetasemeid. See aitab vältida üleujutusi ja tagab veeressursi stabiilsuse, mis on eriti oluline kuivema kliimaga piirkondades. Lisaks sellele võib hüdroelektrijaamade rajamine luua uusi töökohti ja edendada majanduslikku arengut kohalikul tasandil. [1]

Hüdroakumulatsioonijaamad, mida tuntakse ka kui pumpelektrijaama, pumphüdroelektrijaama, pumpejõujaama, hüdropumpejaama nime all, on oluline osa hüdroelektrijaamade süsteemist. Need jaamad võimaldavad energia salvestamist ja tasakaalustamist, et vastata elektrienergia nõudluse muutustele ning maksimeerida elektrienergia tõhusust ja kasutegurit. Akumulatsioonijaamade tööpõhimõte põhineb kahe veehoidla süsteemil - üks ülemisel kõrgemal tasandil ja teine madalamal tasandil. Kui elektri tarbimine ei ole kõrge, pumbatakse vesi alumisest hoidlast ülemisse. Selle protsessi käigus toimub elektrienergia muundamine potentsiaalseks energiaks. Kui elektrinõudlus suureneb, lastakse vesi ülemisest hoidlast tagasi madalamasse hoidlasse, kasutades selle protsessi käigus turbiine elektrienergia tootmiseks. Vett ülemisest hoidlast alla lastes käitub hüdropumpjaam justkui tavalise hüdroelektrijaamana. See jaam võimaldab energiat salvestada ja taaskasutada vastavalt vajadusele. Akumulatsioonijaamade eeliseks on nende võime tasakaalustada muutuvat elektrinõudlust ja -tootmist. Need jaamad suudavad kiiresti reageerida elektrivõrgu nõudluse muutustele, pakkudes kiiret energiavarustust, kui seda vajatakse, ja energia salvestamist, kui seda ei ole vaja. See aitab tasakaalustada võrgu koormust ja parandada elektrisüsteemi stabiilsust. [2]

1.3 Hüdroenergia Eestis

Eestis on juba alates 13. sajandist kasutatud vee kineetilisest energiat. Alguses kasutasid seda vesiveskid, mis aitasid jahvatada vilja ja täita teisi tööülesandeid. Aja jooksul tehnoloogia arenes ning hüdroenergia hakkas pakkuma ka elektritootmise võimalusi. Eestis on hüdroenergia potentsiaali kasutamisel piirangud, kuna meie väikeveekogude arv ja suurus ei võimalda seda oluliselt suurendada. Lisaks on hüdroenergia lokaalse mõjuga ning selle kasutamine mõjutaks oluliselt meie maastikku, jaama rajamine toob kaasa maastiku tasasuse rikkumise, sest selleks tuleks rajada tammid ja paisud ning suunata veekogud kunstlikesse vooluvooditesse. See omakorda toob kaasa olulisi ökoloogilisi kahjustusi valgaladele.

Näiteks takistaksid tammi rajamisega kaasnevad muutused kalade liikumist nende kudemis- või toitumisaladele, millel on negatiivne mõju valgalade ökosüsteemidele. [3]

Hüdroenergia kasutamisel on mõju Eesti elusorganismide mitmekesisusele ja ökosüsteemidele. Hüdroenergia eelisteks on see, et tegemist on keskkonnasõbraliku alternatiivina fossiilkütustele, kuna see ei tekita süsinikuheitmeid ega õhusaastet. Samuti on hüdroenergia suurima potentsiaaliga taastuvenergia ressurss maailmas. Positiivseks mõjuks elusorganismidele võib olla hüdroelektrijaamad rajamisega tekkivad veekogud, mis pakuvad uusi elupaiku paljudele liikidele, sealhulgas kaladele ja lindudele. Lisaks võivad need tõsta veetemperatuuri, mis soodustab mõnede liikide kasvu ja paljunemist. Negatiivse mõjuga keskkonnale on see, et hüdroelektrijaamade ehitamine võib põhjustada ökosüsteemide häiringuid, näiteks jõgede ja ojade vooluhulkade muutusi ning üleujutusi, mis võivad mõjutada kalaliike ja nende rännet. Sel juhul hüdroenergia kasutamine võib põhjustada elupaikade kadumist ja muutusi veekogude ökoloogilistes protsessides. Hüdroenergia kasutamisel tuleb tasakaalustada energiatootmise vajadusi keskkonna kaitsega ning tuleks teadusuuringute ja keskkonnamõjude hindamise abil leida parimaid viise hüdroenergia kasutamiseks, mis vähendaksid negatiivseid mõjusid Eesti elusloodusele. [4]

1.4 Direktiivid

Taastuvenergia direktiiv (2009/28/EÜ) on Euroopa Liidu direktiiv, mis kehtestab ühtsed eesmärgid ja raamistikud taastuvenergia kasutamise edendamiseks liikmesriikides. Direktiivi eesmärk on suurendada taastuvenergia osakaalu kogu energiatarbimises, vähendada kasvuhoonegaase ning tagada energiavarustuse kindlus ja mitmekesistamine. Hüdroenergia on üks oluline taastuvenergia allikas, millega saaks direktiivi järgida. Taastuvenergia direktiiv tunnustab hüdroenergia rolli energiamajanduses ning seab sellele spetsiifilisi eesmärke ja nõudeid. Direktiivi kohaselt peaksid liikmesriigid edendama hüdroenergia arengut, sealhulgas väikese ja suure võimsusega hüdroelektrijaamade rajamist ning olemasolevate hüdroenergiaressursside tõhusamat kasutamist. Taastuvenergia direktiivis sätestatakse ka taastuvenergia toetuste skeemid ja süsteemid. Direktiiv paneb paika toetuste süsteemi, et soodustada hüdroenergia kasutamist. Need toetused võivad hõlmata tootmise toetamist, garanteeritud hinnaga ostulepinguid, maksusoodustusi või muid finantseeringuid. Lisaks sellele seab direktiiv eesmärgid taastuvenergia kasutamise

suurendamiseks erinevates sektorites, nagu elektrienergia, soojusenergia ja transpordisektor. [5]

Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv 2000/60/EÜ, tuntud ka kui vee raamdirektiiv (*Water Framework Directive, WFD*), on üks olulisemaid Euroopa Liidu direktiive, mis käsitleb veekeskkonna kaitset ja säästvat kasutamist. Direktiivi eesmärk on saavutada hea ökoloogiline seisund kõigile Euroopa Liidu pindvetele, sealhulgas jõgedele, järvedele, rannikumeredele ja põhjavetele. Vee raamdirektiiv võtab arvesse ka hüdroenergia arendamise ja kasutamise aspekte ning seab nõuded, mis mõjutavad hüdroenergia rajatiste planeerimist, ehitamist ja käitamist. Direktiivi rakendamine aitab tagada, et hüdroenergia areng toimuks jätkusuutlikul viisil, arvestades veekeskkonna seisundit, elustikku ja ökosüsteemide toimimist. Üks vee raamdirektiivi peamisi põhimõtteid on integreeritud veemajandus, mis hõlmab kõiki veega seotud aspekte, sealhulgas veekasutust, veekvaliteeti ja veekogude seisundit. See tähendab, et hüdroenergia arendamisel tuleb võtta arvesse veekogude ökoloogilisi vajadusi ning tagada nende säilimine või parandamine. Direktiivi kohaselt peavad liikmesriigid koostama ja rakendama jõgede ja järvede, rannikumerede ning põhjaveekogumitele kava, mille eesmärk on saavutada hea ökoloogiline seisund. Kavas tuleb hinnata ka hüdroenergia rajatiste mõju veekeskkonnale ning võtta meetmeid nende mõjude leevendamiseks. Samuti peavad liikmesriigid seadma veekasutusele keskkonnaalased piirangud, et tagada veekogude ökoloogilised funktsioonid ja vee kvaliteet. Vee raamdirektiiv käsitleb ka vee erikasutusi, sealhulgas hüdroenergia tootmist. Direktiivi raames tuleb võtta arvesse hüdroenergia rajatiste mõju veekogude ökosüsteemidele, lindudele, kaladele ja teistele elusorganismidele. [6]

2. HÜDROPUMBAD

2.1 Hüdropumpade ajalugu

Hüdropumpade ajalugu on ulatuslik ning sellel on olnud märkimisväärne mõju mehaaniliste süsteemide arengule ja toimimisele läbi sajandite. Esimesed märgid hüdraulikaseadmete kasutamisest pärinevad iidsesse Egiptusesse ja Mesopotaamiasse. Need tsivilisatsioonid kasutasid hüdraulikat juba tuhandeid aastaid tagasi, ehitades keerukaid veevarustussüsteeme ja kasutades vesirattaid jõuallikana. Nendel varastel süsteemidel polnud küll veel tänapäevaseid hüdropumpasid, kuid need olid olulised sammud hüdraulika arengus. Keskajal taasavastati hüdraulika ning seda kasutati peamiselt veskitel ja muudel vesijõu kasutamiseks loodud seadmetel. Veski vesiratas kasutas veejõudu jahu jahvatamiseks ning sellega kaasnes ka lihtne hüdropumba kontseptsioon. See oli oluline samm hüdropumpade arengus, mis hakkasid tähtsust omama tööstusliku arengu kontekstis. Industriaalrevolutsioon, mis sai alguse 18. sajandil Suurbritannias ja levis seejärel kogu maailmas, oli murranguline ajajärk hüdraulikasüsteemide arengus. Masinad ja tehased muutusid üha keerukamaks ning vajasid võimsaid jõuülekandesüsteeme ja tõhusat energiakasutust. Hüdropumpadest sai olulised komponendid, mis võimaldasid jõudu ja energiat tõhusalt edasi kanda. Tänu edusammudele 19. ja 20. sajadil metallitööstuses ja masinaehituses hakati tootma täpsemaid ja vastupidavamaid hüdropumpasid. Need uued pumbad võimaldasid suuremat võimsust, kõrgemat efektiivsust ja paremat kontrolli vedeliku liikumise üle. 20. sajandil muutusid hüdropumbad ja hüdraulikasüsteemid laialdaselt kasutatavaks mitmesugustes tööstusharudes, mis ulatusid autotööstusest lennunduseni ning ehitusest masinaehituseni. Hüdraulikasüsteemide kasutamine võimaldas tõhusat jõuülekannet ja kontrolli keerukates masinasüsteemides ning aitas kaasa tootlikkuse ja tõhususe suurenemisele erinevates valdkondades. Autotööstuses hakkasid hüdraulikasüsteemid võimendama pidurisüsteeme, vedrustust ja roolisüsteeme, tagades suurema ohutuse ja juhitavuse. Hüdraulikasüsteemid muutusid vältimatuteks lennunduses, kus need tagavad lennukite juhtimissüsteemide tõhususe ja täpsuse. Ehitussektoris kasutati

hüdraulikasüsteeme rasketehnika nagu ekskavaatorite, kraanade ja tõstukite toimimiseks, võimaldades suurt tõstejõudu ja täpsust. Lisaks leidsid hüdraulikasüsteemid kasutust põllumajandusmasinates, tootmisliinidel, mere- ja laevandustööstuses ning paljudes teistes valdkondades. Üks oluline läbimurre oli hüdropumpade hüdrauliliste komponentide, nagu ventiilid, silindrid ja juhtimisseadmed, täiustamine. See võimaldas suuremat jõudlust, täpsemat kontrolli ja paremat energiatõhusust hüdraulikasüsteemides. Tänapäeval on hüdropumbad ja hüdraulikasüsteemid veelgi täiustunud ning neil on oluline roll paljudes olulistes rakendustes. Nad pakuvad suurt jõudu, täpsust, vastupidavust ja kontrolli masinate ja süsteemide toimimisel. Lisaks on kaasaegsed hüdraulikasüsteemid sageli varustatud elektrooniliste juhtimissüsteemidega, mis võimaldavad täpsemat jõuülekannet. Hüdropumpade ajalugu on seega pikk ja mitmekesine ning nende areng on olnud oluline samm mehaaniliste süsteemide efektiivsuse ja tõhususe suunas. Tänu järjepidevale tehnoloogilisele innovatsioonile on hüdropumbad muutunud oluliseks tööriistaks paljudes tööstusharudes, aidates kaasa tootlikkuse kasvule ja edendades tehnoloogilist arengut üle maailma. [7]

2.2 Hüdropumpade liikide näited

Pump on seade, mis võimaldab vedelikel, nagu vesi, liikuda mööda torustikku altpoolt kõrgemale tasemele. Pumbad liigitatakse vastavalt nende kasutusalale, pumbatavale vedelikule (vesi, õli, hape, pulp, reovesi jne), energiaallikale (elekter, aur, tuul jne), ehitusele ja tööpõhimõttele. Tööpõhimõtte järgi võib pumbad jaotada kaheks suureks rühmaks: dünaamilised pumbad ja mahtpumbad. Dünaamilistesse pumpadesse kuuluvad labapumbad, jugapumbad, õhktõstukid ja vesioinad. Labapumbad liigitatakse omakorda tsentrifugaal-, keeris-, diagonaal- ja propellerpumpadeks, mis on kõik aksiaalpumpade tüübid. Mahtpumpade hulka kuuluvad kolbpumbad, tiibpumbad, membraanpumbad, vibropumbad ja rootorpumbad, mille tööorgan liigub edasi-tagasi ning pöörleva tööorganiga näiteks hammasrataspumbad, kruvipumbad, siiberpumbad, voolikupumbad. Veetõstukid võib samuti liigitada mahtpumpade hulka.

Üks suur dünaamiliste pumpade liigitus on tsentrifugaalpumbad. Tsentrifugaalpumbad leiavad mitmekülgset kasutust erinevatel eesmärkidel. Hüdropumpade näol on seda liiki pumbad kasutusel näiteks vee ringluse tagamiseks ja kaevudes veevarustuse jaoks.

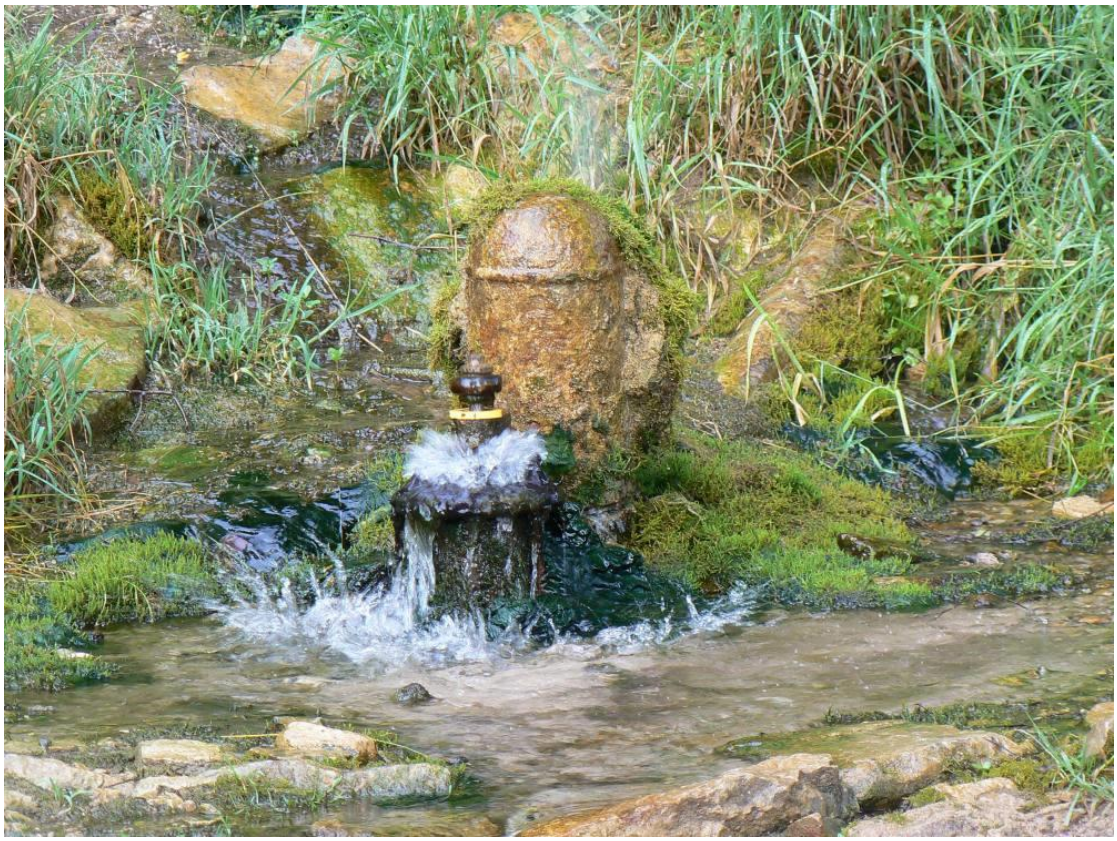
Tsentrifugaalpumba konstruktsioon põhineb lihtsal põhimõttel: kiiresti pöörlev tööratas tekitab tsentrifugaaljõu, mis paneb vee liikuma ratta keskelt äärte poole ning surub selle tööratast ümbritsevasse spiraalkambrisse. Tööratta keskel tekib vaakum, ning veepinnal asuva õhurõhu toimel siseneb vesi imitorusse. Seejärel liigub vesi spiraalkambrist difuusorisse, kus voolukiirus väheneb ja rõhk tõuseb. Difuusorist suundub vesi läbi siibri survetorusse. Konstruktsioon on odav, töökindel ja lihtne ning voolu suur kiirus võimaldab pumba otse ühendada asünkroonmootoriga. Tsentrifugaalpump tagab stabiilse vedelikuvoolu ning seda saab lihtsalt drosseldada ilma pumpa kahjustamata. Sellel konstruktsioonil on kõrge efektiivsus ja see sobib puhta vedeliku käitlemiseks. Ebapuhta vedeliku käitlemiseks, näiteks heitveepumpadel, on tiivik spetsiaalselt konstrueeritud, et vältida võõrkehade kinnijäämist pumpa.

Mahtpumpade puhul on üheks näiteks kolbpumbad. Kolbpump on mehaaniline seade, mis kasutab kolvi liikumist vedeliku pumpamiseks. See on laialdaselt kasutatav tööstuslikul alal ning pakub mitmeid eeliseid oma lihtsa ja tõhusa konstruktsiooni tõttu. Kolbpumba põhikomponendid hõlmavad kolvi, silindrit, tihendeid, sisselaske- ja väljalaskeklappe ning ajamimehhanismi. Kolvi ja silindri vaheline ruum moodustab pumpamiskambri, mida kasutatakse vedeliku või gaasi imemiseks ja väljapumpamiseks. Kolvi liikumine toimub tavaliselt ajamimehhanismi, näiteks mootori või käepideme abil. Pumpamise tsükkel koosneb tavalisest järgnevast: esialgu liigub kolb tagasi, põhjustades töökambris hõrendust, mis tõmbab vedeliku kambrisse, järgmisena liigub kolb ettepoole, põhjustades surve suurenemist kambris ja sulgedes sisselaskeklapi ja avades väljalaskeklapi, mille kaudu vesi üles pumbatakse, seejärel kolb liigub tagasi ja väljalaskeklapp taas avaneb. Kolbpumbad on mitmekülgsed ja neid saab kasutada erinevates rakendustes, sealhulgas vee- ja reoveepuhastuses, keemia- ja naftatööstuses ning autotööstuses. Need pakuvad suurt survetugevust ja võimaldavad reguleerida pumpamiskiirust vastavalt vajadustele. [8]

3. VESIOINAS

3.1 Vesioina ajalugu

Vesioinaste ajalugu ulatub tagasi aastasse 1772, mil John Whitehurst Suurbritanniast, leiutas esimese käsitsi juhitava hüdraulilise rammu eelkäija, mida ta nimetatas "pulsatsioonimootoriks". Ta paigaldas selle esimese variandi Oultonis, Cheshire'is, kus see suutis vett tõsta kõrgusele 4,9 meetrit. 1783. aastal paigaldas ta teise sellise Iirimaale. Ehkki selle leiutise kohta pole täpseid üksikasju teada ja Whitehurst seda ei patenteerinud, on teada, et sellel oli õhkmahuti. Esimese isetöötava pumba leiutas prantslane Joseph Michel Montgolfier aastal 1796. Ta kasutas pumpa vee tõstmise eesmärgil oma paberivabrikus.



Joonis 1. Vesioinas looduses [10].

Tema sõber Matthew Boulton esitas Montgolfieri nimel 1797. aastal sellele patendi. Montgolfieri pojad said aastal 1816 patendi vesioina täiustatud versioonile. Samal aastal omandas Josiah Easton, Somerset'ist pärit insener, kes oli hiljuti Londonisse kolinud, Montgolfieri ja Whitehursti disaini ning asutas oma firma. Eastoni firma, mille hiljem päris tema poeg James, kasvas 19. sajandil üheks Suurbritannia olulisemaks inseneritööstuse tootjaks. Neil oli suur tehas Erithis, Kentis, ja nad spetsialiseerusid veega varustamise ja kanalisatsioonisüsteemidele kogu maailmas. Eastonid olid edukad, tarnides vesioinaid suurtele mõisatele, taludele ja külades asuvatele veega varustamise süsteemidele. Mõned nende paigaldused on säilinud isegi aastani 2004. Kuigi firma suleti 1909. aastal, jätkas James R Easton vesioina äri. Ameerika Ühendriikides anti esimene rammu patent välja aastal 1809 Joseph Cerneau'le ja Stephen S. Hallet'ile. Huvi vesioinaste vastu Ameerika Ühendriikides tõusis 19. sajandi lõpus, sellest tulenevalt anti välja rohkem patente ja kodumaised ettevõtted hakkasid vesioinaid tootma ja müüma. Siiski hakkas huvi rammude vastu vähenema 19. sajandi lõpus, kui elekter ja elektrilised pumbad muutusid laialdaselt kättesaadavaks. 20. sajandil on vesioinaste vastu huvi taas kasvanud tänu jätkusuutlike tehnoloogiate vajadusele arenguriikides ja energiasäästu vajadusele arenenud riikides. Näiteks Filipiinidel asuv *AID Foundation International* on välja töötanud vesioinad, mis on lihtsasti hooldatavad ja mida kasutatakse väikeküladesveeprobleemide lahendamiseks. [9]

3.2 Vesioina tööpõhimõte

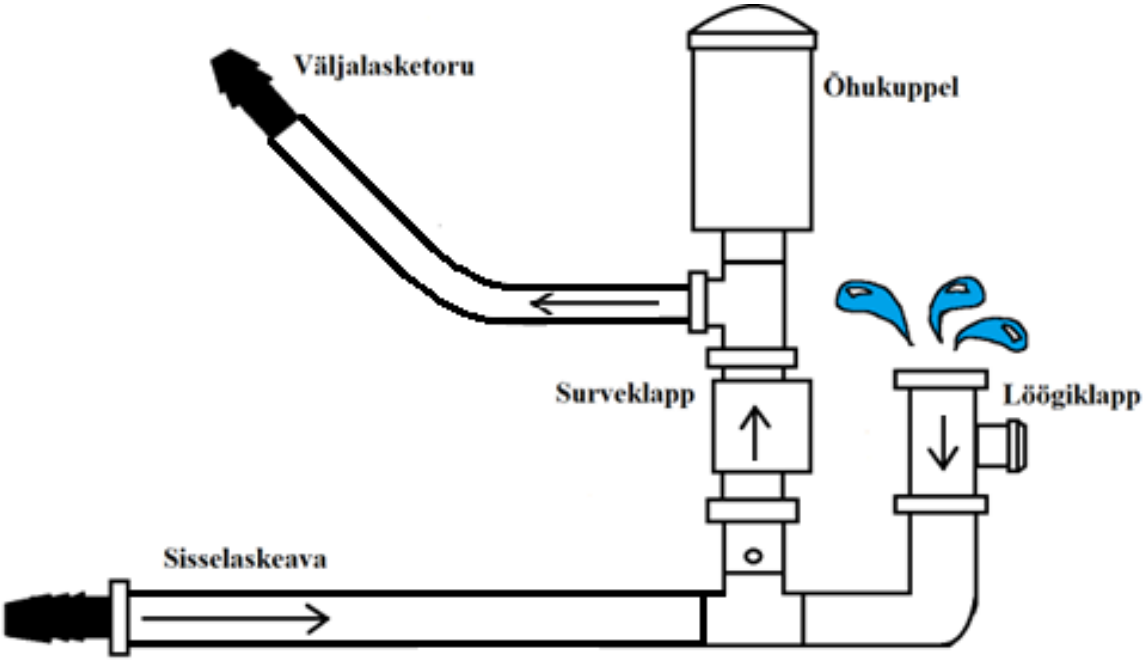
Vesioinas on hüdrodünaamiline seade, mis võimaldab vedeliku (nt vee) tõstmist veevoolu surve abil. See töötab ilma elektri või muu välise energialähteta ning kasutab ära voolava vedeliku (allikavesi, jõevesi, juga jne) kineetilist energiat. Vesioina tööpõhimõtte kirjeldus on järgmine:

1. Vesi voolab sisselaskeavasse, surveklapp on suletud ja löögiklapp avatud.
2. Vesi hakkab voolama läbi löögiklapi, hakates voolusurvega klappi sulgema.
3. Veevool sulgeb löögiklapi, mille järel tekib hüdrauliline löök.
4. Hüdraulilise löögi tagajärjel avaneb surveklapi klapp, mille järel vesi voolab õhukuplisse.
5. Hüdraulilise löögi mõju lakkamisel sulgub surveklapp selle klapi peal oleva surve tõttu.

6. Õhukuplisse voolanud vesi tekitav õhu kokku surumisel vasturõhku õhukuplis, mille tulemusena suunatakse vesi väljalasketorusse. Samal ajal on löögiklapp taas avatud olekusse läinud ja vesi hakkab voolama läbi selle klapi.

See tsükkel kordub kuni löögiklapi abil sisselaskeavast voolav vesi enam hüdraulilist lööki ei tekita. [11]

Vesioina tööpõhimõtet on kujutatud ka joonisel 2, kus on välja toodud selle seadme põhiliste osade nimetused ja nende asetus selles hüdroseadmes. Nooled klappide peal tähistavad tagasivooluklappide voolusuunda, mis suunas klapp avatuks jääb. Juhul kui vesi voolab piisavalt suure jõuga läbi klapi noolega vastupidises suunas, siis klapp sulgub.



Joonis 2. Vesioina skeem (autori pilt).

Vesioinas on kasulik valik nendes kohtades, kus elektrivarustus pole saadaval või pole majanduslikult tasuv. See on ka keskkonnasõbralik alternatiiv elektritoitel töötavatele pumpadele. Siiski peab arvestama, et vesioina tootlikkus on väiksem kui elektrilisel pumpadel, kuid see sobib hästi kohtadesse, kus on vaja vett ilma elektrita pumbata .

3.3 Eelised ja puudused

Vesioinas võib olla üks odavamaid ja keskkonnasõbralikumaid meetodeid vee pumpamiseks. Selle eeliseks on see, et see ei vaja elektrit ega kütust, mis muudab selle atraktiivseks piirkondades, kus on piiratud juurdepääs elektrile. Keskkonnasõbralik on seade just seetõttu, et ta ei kasuta välist energiaallikat, mille tootmisel võib olla keskkonnale kahjulik mõju. Samuti on vesioinas tavaliselt väikese suurusega ja seega ruumisäästlik, kuna see ei vaja suurt seadmete hulka. Sellel seadmel on vähe liikuvaid osi, mis tähendab seda, et süsteemi ei ole vaja niivõrd tihti hooldada kui sellele alternatiivseid pumpasid. Süsteemi kokkupanekuks vajalike komponentide hankimine ei ole väga kulukas, seega vesioina valmistamine ei lähe palju maksma. Vesioina kokkupanekuks on vaja ainult teadmisi, kuidas erinevaid komponente üksteisega ühendada ja kuidas nende paigutus süsteemis peab olema, seega seadme kokkupanek ja paigaldamine on olemuselt üsna lihtne.

Vesioina puudused hõlmavad aga madalat tõstmiskõrgust ja vooluhulka, mis muudab selle sobimatuks suurte veevajadustega piirkondades. Vesioinas vajab optimaalseks töötamiseks pidevat veevoolu, mis võib tekitada kuivades kliimades probleeme antud seadme kasutusele võtmisel. Seadme töötamiseks peab sissevool olema pumbast vähemalt 91 cm kõrgemal, seega on nõutud kõrguste vahe. Samuti võivad vesioinad nõuda liikuvate osade sagedast hooldust ja remonti, aga see pruugi iga vesioinaga nii olla kui valida vastupidavad komponendid liikuvateks osadeks. Täiendav puudus on ka see, et vee kvaliteet ja süsteemis tekkiv rõhk võivad mõjutada vesioina tõhusust. Mõnel juhul võib seadme paigaldamiseks vaja spetsiaalset koolitust või spetsialisti, mis võib suurendada seadmete maksumust ja paigaldamise aega. Pumbatava vedeliku osas on piiranguks, et vesioinaga saab pumbata ainult vett, tihedamate vedelike pumpamisega süsteem hakkama ei saa. [12] [13]

3.4 Vesioina uuringud

Artiklis „*Development and Testing of Hydraulic Ram Pump (Hydram): Experiments and Simulations*“ kirjeldatakse vesioina kasutamist väiksemates mastaapides vee pumpamiseks. Autorid tegid eksperimendi, et uurida vesioina efektiivsust sõltuvalt vee kõrgusest ja sissevooluava läbimõõdust. Katses kasutati kahte erineva kõrgusega veeallikat, erineva

diameetriga torusid ja erinevaid jäätmeklappe, mõõtes veevoolu suuruseid ja rõhke. Tulemuste analüüs näitas, et vesioina efektiivsus sõltub reservuaaris asuva vee kõrgusest ja torude läbimõõdust. Mida kõrgem vee allikas ja väiksem ava läbimõõt, seda suurem oli vesioina efektiivsus. Autorid tegid ka arvutusi vee voolukiiruse, dünaamilise rõhu ja energia kohta, et mõista vesioina tööpõhimõtteid. Kokkuvõttes võib öelda, et eksperiment näitas, et vesioinad võivad olla tõhusad väiksemates mastaapides vee pumpamiseks, kuid nende efektiivsus sõltub mitmest tegurist, nagu vee kõrgus ja sissevooluava läbimõõt. Arvutused aitasid mõista vesioina tööpõhimõtteid ja efektiivsust ning võivad olla kasulikud sarnaste eksperimentide tulemuste analüüsimisel. [14]

Artiklis „*Performance Testing of a Hydraulic Ram Pumping (Hydram)*“ kirjeldatakse katseid, mille eesmärk on uurida vesioina tõhusust veepumba süsteemina. Katsetes kasutati erinevaid töövõtteid, sealhulgas rõhu ja voolukiiruse mõõtmist, samuti jälgiti veepumba süsteemi tõhusust erinevate kiiruste ja töötingimuste juures. Tulemused näitavad, et vesioinas võib olla tõhus alternatiiv elektrilisele või diiselmootoriga pumbale. Lisaks tõi autor välja mitmeid tegureid, mis võivad mõjutada vesioina tõhusust, sealhulgas rõhu, voolu ja töökiiruse suhet ning vee sisselaskesüsteemi parameetrid. Kokkuvõtlikult võib öelda, et antud katsete tulemused kinnitavad, et vesioinas on tõhus veevarustuse alternatiiv, eriti piirkondades, kus puudub elektrivarustus. [15]

4. ÕPPEVAHEND – VESIOINAS

4.1 Sissejuhatus

Lõputöö väljundiks valmistati vesioina näol õppevahend hüdraulika põhimõtete paremaks mõistmiseks ning katsete ja mõõtmiste teostamiseks. Tegemist on huvitava ja praktilise õppevahendiga, mis aitab õpilastel paremini mõista hüdraulika valdkonna põhimõtteid ning demonstreerida vee jõudude energiakasutust. Tudengitele saab seda õppevahendit tutvustada ka kui ühte taastuvenergia kasutamise võimalusena, kuna katseseade ei vaja välist energiat ega tekita saasteainet. Vesioinas on olemuselt selline seade, mis kasutab ära vee kineetilist energiat ja vee liikumisel tekkivat dünaamilist lööki, selleks, et pumbata vett välise energiaallikata kõrgemale sissevooluallikast. Õppevahendi põhiline eesmärk on anda õpilastele praktiline kogemus, mille käigus nad saavad katsetada ja uurida vee jõudude käitumist vesioinas, samas on võimalik hõlpsasti katseseadme erinevaid komponente lahti võtta ja juurde lisada, mille tulemusena seadme parameetrid muutuvad.

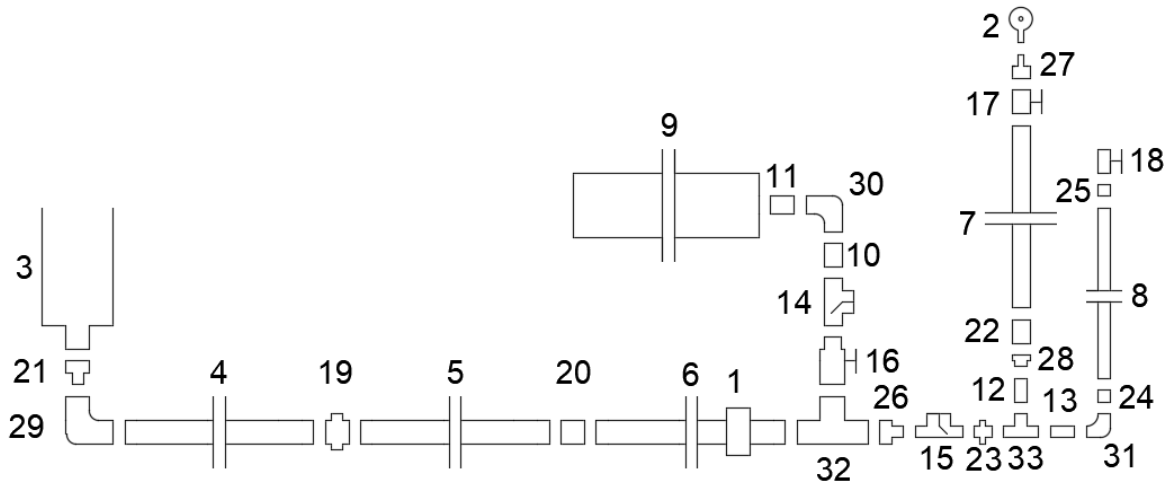
Vesioina õppevahendi tavapäraseks toimimiseks on peamiselt vajalikud komponendid järgmised: ülemine veemahuti, sissevoolutoru, kaks tagasivooluklappi, õhukuppel ja väljalasketoru koos väljalaske voolikuga. Ülemise mahuti eesmärk on varustada sissevoolutoru veega, tagasivooluklappe on kaks, üks neist on normaalolekus lahti ja veevoolu olemasolul hakkab vesi seda sulgema. Klapi sulgumisel tekitab see dünaamilist rõhku, mille tulemusena voolab vesi läbi teise klapi, mis on normaalolekus suletud. Teine klapp hoiab vett seadmes õhukupli ja väljalasketoru poolel ning väldib vee tagasivoolu.

4.2 Õppevahendi komponentide loetelu ja skeem

Vesioina valmistamisel kasutati palju erinevaid torusid, liitmike ja teisi vajalikke komponente. Selleks, et saada ülevaade õppevahendi komponentidest, on koostatud nende loetelu tabeli kujul (tabel 1) ja komponentide paigutuse põhimõtte joonis (joonis 3).

Tabel 1. Vesioina lõpliku varinadi komponendid.

Number	Komponendi nimetus	Kogus
1	½ tolline toruklamber	1
2	¼ tollise keermega manomeeter	1
3	5 liitrine kanister	1
4	1 tolline 140 cm toru	1
5	1 tolline 130 cm toru	1
6	1 tolline 420 cm toru	1
7	¾ tolline 90 cm toru	1
8	4 meetrine voolik	1
9	äravoolu plastiktoru	1
10; 11	¾ tolline torujupp	2
12; 13	½ tolline torujupp	2
14	¾ tolline tagasivooluklapp	1
15	½ tolline tagasivooluklapp	1
16	1 toll - ¾ toll ventiil	1
17	¾ tolline ventiil	1
18	½ tolline ventiil	1
19; 20	1 tolline metallist liitmik	2
21	1 tolline plastikliitmik	1
22	¾ tolline liitmik	1
23; 24; 25	½ tolline liitmik	3
26	1 toll - ½ toll liitmik	1
27	¾ toll - ¼ toll liitmik	1
28	½ toll - ¾ toll liitmik	1
29	1 tolline põlv	1
30	¾ tolline põlv	1
31	½ tolline põlv	1
32	1 tolline kolmik	1
33	½ tolline kolmik	1



Joonis 3. Õppevahendi joonis koos numeratsiooniga (autori pilt).

Komponentide põhimõtte joonis on koostatud autori poolt kasutades Autodesk tarkvara. Joonis annab hea ülevaate õppevahendi erinevate komponentide paigutusest terviklikus süsteemis. Erinevate detailide numeratsioon on puhtalt autori loogika põhjal paika pandud, aluseks on võetud joonise detailide nimetusi seletav komponentide tabel, kus on ka nende kogused kirjas. Joonisel 3 on arvestatud torude ja muude detailide erinevate suurustega, joonisel kujutatud komponentide sümbolid on illustratiivsed ning on mõeldud puhtalt vesioina ehituse selgitamiseks.

4.3 Töövahendid

Õppevahendi valmistamisel kasutati järgnevaid vahendeid: toru keerme lõikaja ja keermestusõli, toruteip, takk, taku salv, kaks torutangi ja lööktrell Metabo SBE 1010 Plus. Keermestamiseks kasutati selle jaoks mõeldud keerme lõikajat, mida on kujutatud joonisel 2. Keermestamise jooksul õlitati toru spetsiaalse Rothenbergeri poolt toodetud keermestusõliga. Torude pakkimine teostati erinevatel juhtudel toruteibiga (joonis 4), lisaks kasutati mõnel juhul ka takku ja Unipaki salvi.

Joonis 4. Toru keerme lõikaja ja keermestusõli ning kasutatud toruteip (autori pilt).

Torutangide abil sai süsteemi erinevad komponendid üksteise külge ühendada. Lööktrelliga puuriti toruklambri jaoks betooni sisse auk.

4.4 Õppevahendi valmistamine

Enne vesioina valmistamist oli võimalik tutvuda varasemalt valmistatud seadmetega erinevatel veebilehtedel. Vesioinastega tutvudes sai selgust, milliseid erinevaid seadmeid on varem tehtud ning millist tüüpi lahendus oleks kõige sobivam õppevahendi raames. Arvesse tuleb võtta võimalus õppevahendit kõige selgemini mõista ning lihtsus seadet lahti võtta ja tagasi kokku panna. Selleks kasutati vesioina ehitamisel erinevaid torusid ja liideseid. Juhendajal oli võimalik kokku koguda palju erinevaid vajalikke komponente seadme kokkupanekuks. Esialgu sai läbi mõeldud kuidas vesioinas toimima peaks ja kuidas selle toimimiseks erinevad osad ühendama peaks. Õppevahendi valmistamise käigus tuli seadet korduvalt muuta, et vesioinas hakkaks ootuspäraselt töötama ja vett üles pumpama. Vesioina õppevahend kinnitati Tehnikamaja katlalabori juurde seina külge. Sissevoolutoru otsa kinnitati 5 liitrine kanister. Õhupaagina kasutati süsteemis 90 cm pikkusega, ¾ tollise suurusega toru, mille otsa kinnitati ka ettevõtte *Watts Industries* poolt toodetud manomeeter. Löögiklappi läbiva vee suunamiseks alumisse veepaaki on seadmele paigaldatud jämedam plastiktoru. Lõplik variant vesioina õppevahendist on näha joonistel 5 ja 6. Sissevoolutoru pikkuseks kujunes lõpuks 690 cm, viimaste katsetuste ajaks lisati sinna juurde 600 cm toru.

Sissevoolutoru diameeter on 1 toll. Õppevahendi kokku panemine oli edukas, kuna vesioinas saadi tööle ning sellega oli võimalik viia läbi katseid. Vesioina valmistamise käigus omandati uusi teadmisi hüdraulika kohta ja praktiseeriti varaseimaid oskusi.

Joonis 5. Õppevahend lähedalt (autori pilt).

Joonis 6. Õppevahend kaugelt (autori pilt).

4.5 Katsed vesioinaga

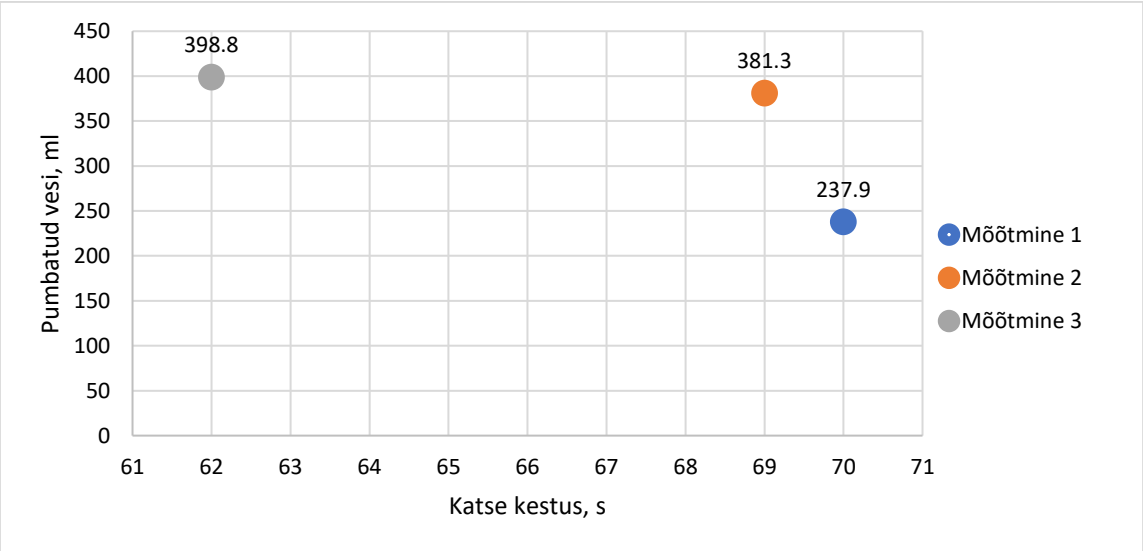
Katsete teostamisel kasutati järgmisi vahendeid: katlalabori kaal, tühi 5 liitrine kanister, stopper. Tühja kanistrisse pumbatud vett kaaluti kaaluga ja stopperiga mõõdeti katse kestust.

4.5.1 Esimene katse

Esimese katse mõõtmiste ajal oli süsteemi läbiva vee tagasivooluklapp 45 kraadise nurga all. Sissevoolu vee hulk on katse alguses 5 liitrit ja veepaagi kõrgus on vesioinast 130 cm, vett pumbatakse nii kaua, kuni sissevoolu kanister on tühi. Vett pumbatakse vesioinast 170 cm kõrgusele ehk sissevoolu paagist 40 cm kõrgemale. Sissevoolutoru on 690 cm pikk. Selle katse mõõtetulemused on kajastatud tabelis 2.

Tabel 2. Esimese katse mõõtetulemused.

Mõõtmise nr	Aeg (s)	Pumbatud vesi (ml)	Süsteemi läbinud vesi (ml)
1	70	237,9	4762,1
2	69	381,3	4618,7
3	62	398,8	4601,2



Joonis 7. Esimese katse mõõtetulemused.

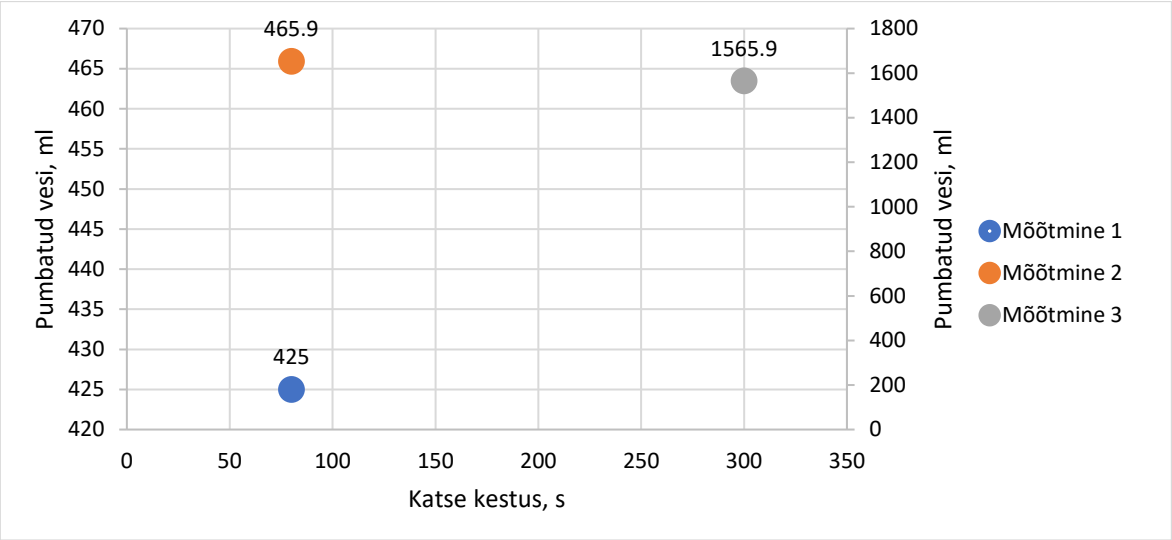
Katsete jooksul tehtud mõõtetulemused on diagrammil näha joonisel 7. Parim pumpamise tulemus saadi kolmanda mõõtmisega, kus kulus kõige vähem aega kõige suurema hulga vee pumpamiseks. Selle mõõtmise puhul pumbati 62 sekundi jooksul 398,8 ml vett ülemisse kanistrisse, kõige vähem pumbati esimese mõõtmisega ja samas kulus ka selle katsega kõige rohkem aega 5 liitrise kanistri tühjenemiseks.

4.5.2 Teine katse

Järgnevate katsete ajal on süsteemi läbiva vee tagasivooluklapp püstises asendis ehk 90 kraadise nurga all. Süsteemi äravoolu lai toru asendati selle katse jaoks peenikese valge toruga, mille tulemusena ei puutu seda tagasivooluklappi läbiv vesi kokku õhuga enne alumise veemahuti ava. Sissevoolu vee hulk on katse alguses 5 liitrit ja veepaagi kõrgus on vesioinast 130 cm, vett pumbatakse esimese kahe mõõtmise puhul nii kaua, kuni sissevoolu kanister on tühi, kolmanda mõõtmise puhul lastakse vesioinal 5 minutit pumbata. Vesioinas pumpab vett 170 cm kõrgusele ehk sissevoolu paagist 40 cm kõrgemale. Sissevoolutoru on 690 cm pikk. Selle katse mõõtetulemused on kajastatud tabelis 3.

Tabel 3. Teise katse mõõtetulemused.

Mõõtmise nr	**Aeg (s)**	**Pumbatud vesi (ml)**	**Süsteemi läbinud vesi (ml)**
1	80	425,0	4575,0
2	80	465,9	4534,1
3	300	1565,9	-



Joonis 8. Teise katse mõõtetulemused.

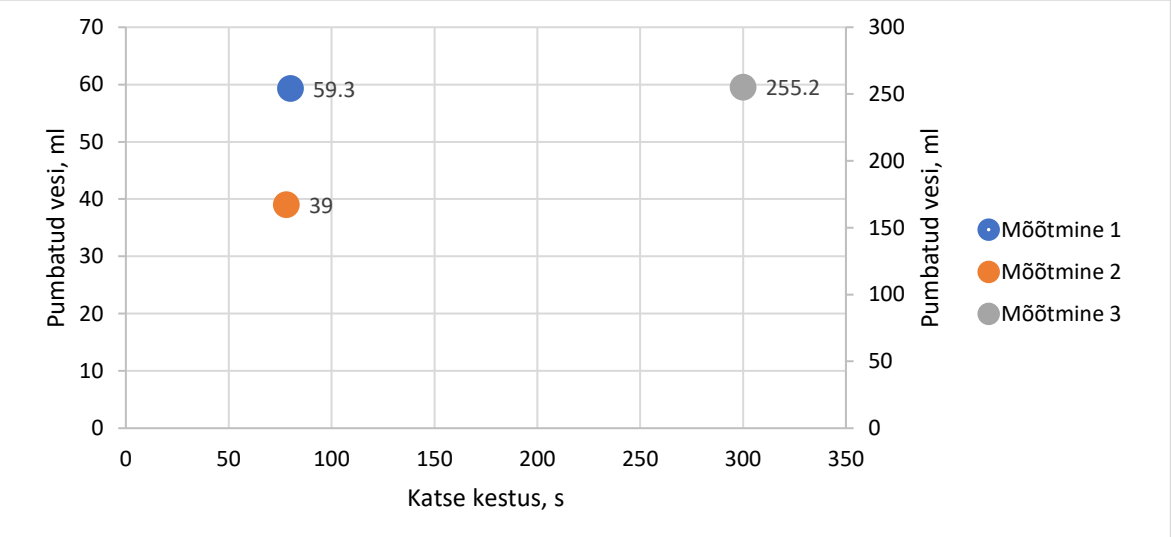
Teise katse diagrammi mõõtetulemustest on näha joonisel 8. Selles katses kaasati ka 5 minuti pikkune mõõtmine, mille pumbatud vee hulk on kuvatud diagrammi sekundaarteljel. Katse mõlemad mõõtmised olid sama pika kestusega, aga teise mõõtmise puhul pumbati rohkem vett üles, nimelt 465,9 ml. Kui võtta arvesse et 80 sekundiga pumbati keskmiselt 445,45 ml, siis saab eeldada et 300 sekundiga peaks süsteem pumpama 1670,44 ml. Antud katses pumpas vesioinas selle ajaga 1565,9 ml, mis on väga lähedal eeldatava tulemusega. Üldiselt saab järeldada, et püstises asendis löögiklapp tõstab vesioina pumpamise võimet, antud katses pumbatakse rohkem vett üles ja sissevoolu kanister tühjeneb aeglasemalt.

4.5.3 Kolmas katse

Süsteemi äravoolus on taaskord lai toru. Sissevoolu vee hulk on katse alguses 5 liitrit ja veepaagi kõrgus on vesioinast 130 cm, vett pumbatakse esimese kahe mõõtmise puhul nii kaua, kuni sissevoolu kanister on tühi, kolmanda mõõtmise puhul lastakse vesioinal 5 minutit pumbata. Seekord pumbatakse vesi 270 cm kõrgusele vesioinast ehk sissevoolu paagist 140 cm kõrgemale. Katses pumbatakse vett ühe meetri jagu kõrgemale kui varasemates katsetes. Sissevoolutoru on 690 cm pikk. Kolmanda katse mõõtetulemused on kajastatud tabelis 4 ja diagramm joonisel 9.

Tabel 4. Kolmanda katse mõõtetulemused.

Mõõtmise nr	Aeg (s)	Pumbatud vesi (ml)	Süsteemi läbinud vesi (ml)
1	80	59,3	4940,7
2	78	39,0	4961,0
3	300	255,2	-



Joonis 9. Kolmanda katse mõõtetulemused.

Selle katse käigus suudeti 5 liitrist kõige rohkem pumbata üles kõigest 59,3 ml, aega kulus selleks 80 sekundit. Kahe esimese mõõtmise keskmine pumbatud vee hulk on 49,15 ml, sellest saaks eeldada, et 300 sekundi jooksul peaks seade pumpama 186,65 ml. Viimase mõõtmise tulemuseks saadi aga 255,2 ml, mis tähendab, et pumbati oodatust rohkem vett. Siin võib põhjuseks olla see, et vee pumpamiseks nii kõrgele on vaja koguda õhupaaki rohkem rõhku sujuvaks pumpamiseks ja see võtab kauem aega.

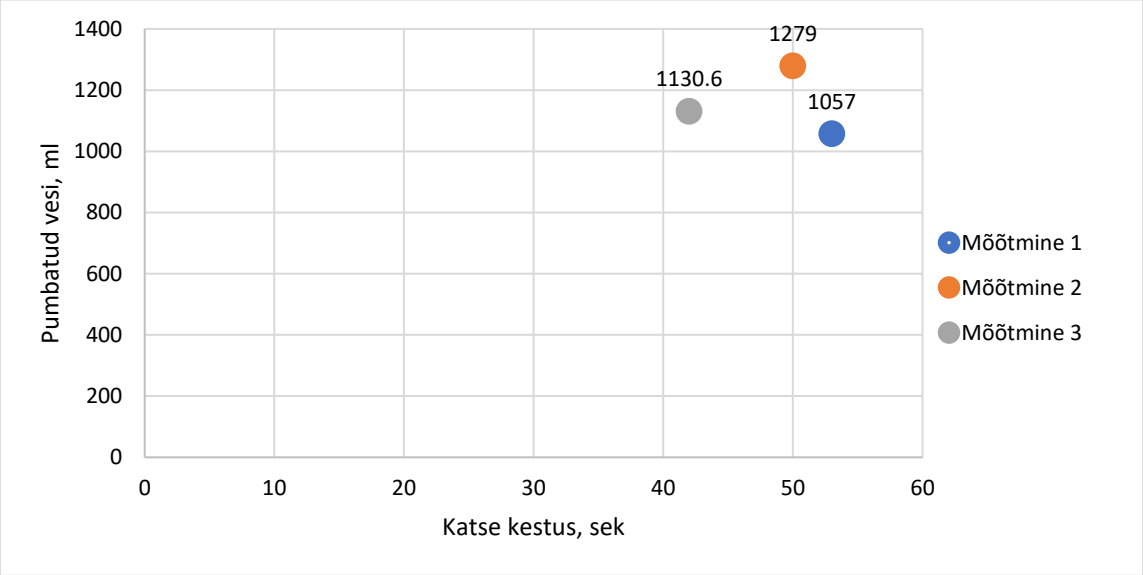
4.5.4 Neljas katse

Järgnevate katsete puhul taheti selgitada seda, kas pikema sissevoolutoru korral muutuvad mõõtetulemused. Selleks lisati sissevoolule juurde 600 cm pikkune toru. Toru lisamisel tõusis ka sissevoolutoru kaldenurk. Nüüd on sissevoolutoru pikkuseks 1290 cm. Järgnevate

katsete käigus on paagi kõrguseks 230 cm ja vesioina kõrguseks ikka 90 cm, nende vahe on 140 cm. Vett pumbatakse vesioinast 170 cm kõrgusele ehk sissevoolu paagist 30 cm kõrgemale. Sissevoolu paagist lastakse süsteemi 4,15 liitrit vett. Katse mõõtetulemused on kajastatud tabelis 5 ja diagramm joonisel 10.

Tabel 5. Neljanda katse mõõtetulemused.

Mõõtmise nr	**Aeg (s)**	**Pumbatud vesi (ml)**	**Süsteemi läbinud vesi (ml)**
1	53	1057,0	3093,0
2	50	1279,0	2871,0
3	42	1130,6	3019,4



Joonis 10. Neljanda katse mõõtetulemused.

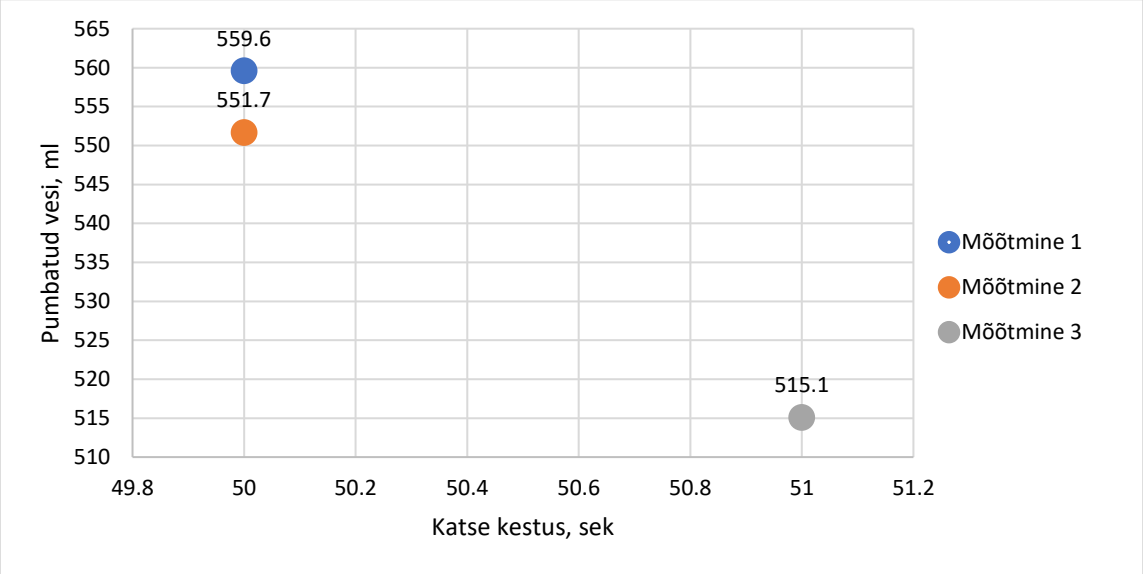
Sissevoolule 6 meetrise toru lisamine tõstis mõõtetulemusi märkimisväärselt. Kõige rohkem suutis vesioinas pumbata 1279 ml ja seda kõigest 50 sekundiga. Isegi kõige väiksem kogus pumbatud vett oli 1057 ml, see mõõtmine võttis ka kõige kauem aega. Kõige vähem aega, 42 sekundit, kulus viimasele mõõtmisele, mille käigus pumbati 1130,6 ml vett üles.

4.5.5 Viies katse

Katsetingimused muutusid pumpamise kõrguse osas, nende mõõtmiste käigus pumbatakse vett 1 meetri jagu kõrgemale kui eelmises katses. Vett pumbatakse vesioinast 270 cm ja sissevoolu paagist 130 cm kõrgusele. Sissevoolutoru pikkus on 1290 cm. Viienda katse mõõtetulemused leiab tabelist 6 ja jooniselt 11.

Tabel 6. Viienda katse mõõtetulemused.

Mõõtmise nr	Aeg (s)	Pumbatud vesi (ml)	Süsteemi läbinud vesi (ml)
1	50	559,6	3590,4
2	50	551,7	3598,3
3	51	515,1	3634,9



Joonis 11. Viienda katse mõõtetulemused.

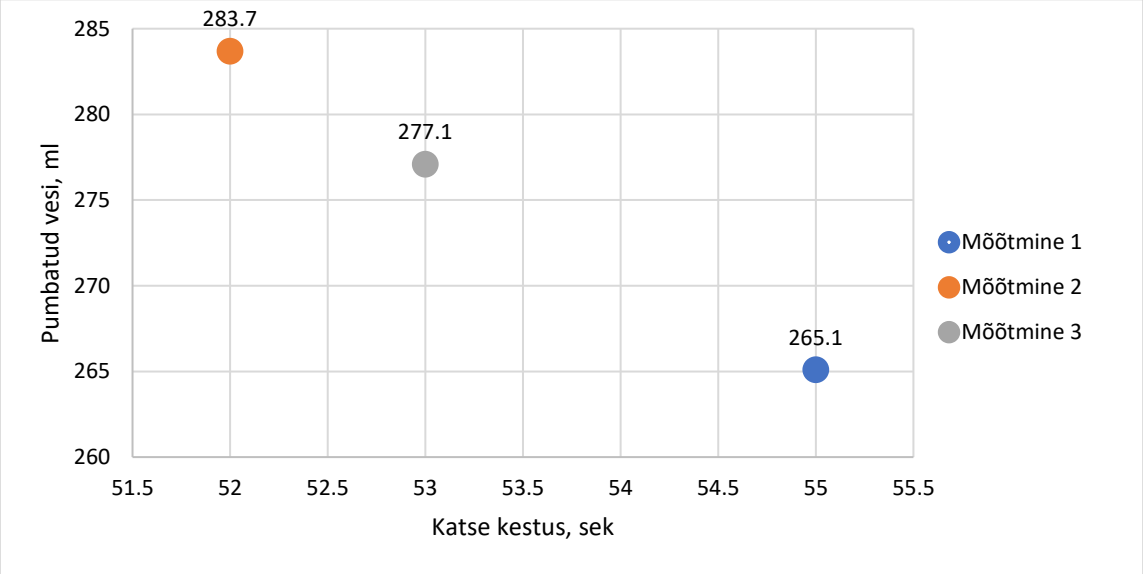
Pumbates meetri jagu kõrgemale, kukkusid ka mõõtetulemused umbes poole jagu. kõige rohkem suutis seade pumbata 559,6 ml ja seda 50 sekundiga. Kõige väiksem mõõtetulemus saadi kolmanda mõõtmisega, pumbati 515,1 ml ja aega kulus 51 sekundit.

4.5.6 Kuues katse

Kuuenda ehk viimase katse puhul tõsteti pumpamise kõrgust veelgi 1 meetri jagu. Selle katse puhul on pumpamise kõrguseks vesioinast 370 cm, sissevoolu paagist 230 cm. Sissevoolutoru pikkus on 1290 cm. Viimase katse mõõtetulemused on kajastatud tabelis 7 ja joonisel 12.

Tabel 7. Kuuenda katse mõõtetulemused.

Mõõtmise nr	Aeg (s)	Pumbatud vesi (ml)	Süsteemi läbinud vesi (ml)
1	55	265,1	3884,9
2	52	283,7	3866,3
3	53	277,1	3872,9



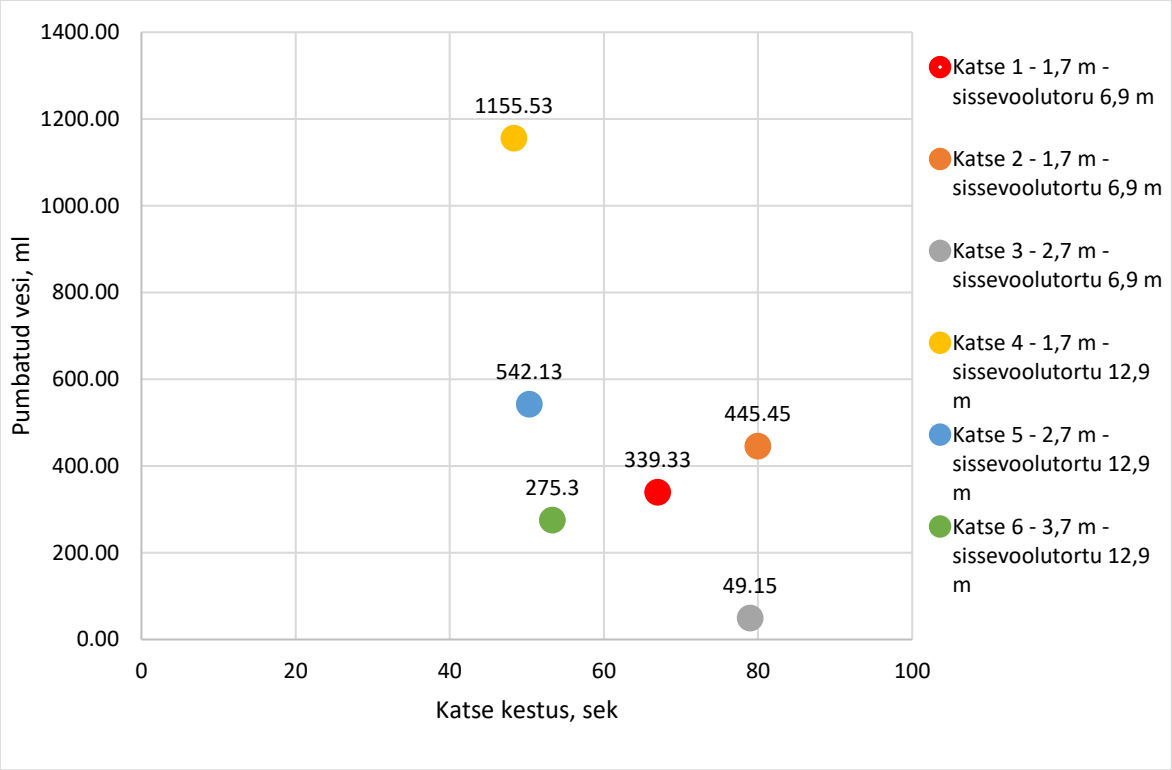
Joonis 12. Kuuenda katse mõõtetulemused.

Kuuenda katse puhul pumbati kõige rohkem 283,7 ml, selle mõõtmise puhul kulus ka mõõtmise tegemiseks kõige vähem aega. Vastupidiselt kulus kõige rohkem aega ja pumbati kõige vähem esimese mõõtmisega, vastavalt 55 sekundit ja 265,1 ml.

Katsed sai teostatud koostöös juhendajaga ja pumbatud vee kaalu mõõtmiseks kasutati katlalaboris olevat kaalu, vee kaalust teisendati pumbatud vee hulk milliliitrites. Lühema sissevoolutoruga katsete mõõtetulemused olid oodatust natuke väiksemad, aga kuna katsetuste käigus tehti esimesed mõõtmised selle vesioinaga, siis ei saagi mingit kindlat tulemust oodata. Sissevoolutoru pikendamine oli mõõtetulemustele suure mõjuga, vett pumbati üle kahe korra rohkem kui lühema toruga. Sellest saab järeldada, et pikem sissevoolutoru annab suurema dünaamilise löögi, mille tulemusena tekib vesioinas suurem rõhk ja pumpamise võime suurenemine.

4.5.7 Katsete võrdlus

Katsetulemustest parema ülevaate saamiseks on koostatud diagramm, kus on näidatud kõikide katsete keskmised tulemused. Diagramm on kujutatud joonisel 13.



Joonis 13. Katsete keskmiste mõõtetulemuste võrdlus.

Diagrammilt saab lugeda et kõige rohkem vett suutis vesioinas pumbata neljanda katsega 1,7 meetri kõrgusele, juhul kui sissevoolutoru pikkuseks on 12,9 m. Seda tehti ka kõige kiirema ajaga. Kõige vähem pumbati katsega 3, kus pumbati vett 2,7 m kõrgusele. Pikema sissevoolutoruga süsteemi puhul toimus pumpamise protsess kõige kiiremini, seda võis mõjutada asjaolu, et nende katsetuste puhul lasti süsteemi vähem vett kui kolme esimese katsega. Aga selgelt on näha seda, et pikem sissevoolutoru andis märkimisväärselt suuremad mõõtmistulemused.

4.6 ARVUTUSED

4.6.1 Töösagedus

Vesioina süsteem koosneb lisaks sisselasketorule ja väljalasketorule veel kolmest komponendist, mille puhul saab teha mõõtmisi. Surveklapi ja löögiklapi juures on võimalik mõõtmistena teostada nende klappide töösagedused. Vesioina pumpamise sageduse arvutamiseks otsustati kasutada rõhu muutumist katse ajal. Kuna löögiklapi sulgumine ja rõhu muutus õhupaagis toimusid sünkroonis, siis autor ei leidnud, et oleks vaja eraldi kahte sagedust leida. Süsteemi töösagedust saab arvutada kasutades valemit:

$$f = \frac{N}{T}, \qquad (1)$$

kus f – sagedus (Hz);

N – löökide arv;

T – aja kestus (s).

Töösageduse arvutamiseks mõõdeti stopperiga kui kaua aega kulub, et süsteemi õhupaagis toimuks kümme rõhumuutust. Rõhu muutumist sai lugeda manomeetri pealt. Pumpamise kõrgus töösagedust märkimisvääselt ei muutnud. Mõõtmise järgselt saadi järgnevad tulemused:

N = 10

T = 6 s

Mõõdetud andmete ja valemi 1 abil saab välja arvutada vesioina töösageduse katsete jooksul:

$$f = \frac{10}{6} = 1.67\ (Hz)$$

Saadud arvutustulemusest saab lugeda, et vesioinas teeb pumbates 1,67 lööki sekundis ehk tema töösagedus on 1,67 Hz.

4.6.2 Pumbatud vee protsent

Lisaks on võimalik välja arvutada süsteemi läbiva vee ja pumbatud vee suhet ja nende abil saab arvutada, mitu protsenti esialgsest sissevoolu veest üles pumbatud saab. Seda väärtust on võimalik arvutada järgmise valemiga:

$$\% = \frac{m_2}{m_1} \cdot 100\%, \qquad (2)$$

kus % – pumbatud vee protsent;

m_2 – pumbatud vee mass (kg);

m_1 – sissevoolu mahuti vee mass (kg)

Sissevoolu vee mass on esimeses kolmes katses pidevalt 5 kg ja viimases kolmes katses 4,15 kg. Üles pumbatud vee protsent on kajastatud järgnevas tabelis 8.

Tabel 8. Pumbatud vee protsent sissevoolu vee suhtes.

Katse nr	Mõõtmise nr	Pumbatud vesi m_2 (kg)	Pumbatud vesi sissevoolu suhtes (%)
1	1	0,2379	4,76
	2	0,3813	7,63
	3	0,3988	7,98
2	1	0,4250	8,50
	2	0,4659	9,32
3	1	0,0593	1,19
	2	0,0390	0,78
4	1	1,0570	25,47
	2	1,2790	30,8102
	3	1,1306	27,24
5	1	0,5596	13,48
	2	0,5517	13,29
	3	0,5151	12,41
6	1	0,2651	6,39
	2	0,2837	6,84
	3	0,2771	6,68

Tabelis kajastatud suurim pumbatud vee protsent sissevoolu suhtes on pikema sissevoolutoruga vesioinal. Sel juhul pumbati süsteemi sisestatud veest lausa 30,82% üles. Kõige rohkem vett läks läbi süsteemi kolmanda katsetuse teise mõõtmise käigus, siis pumbati kõigest 0,78% veest üles. Kokkuvõtvalt pumbati erinevatele kõrgustele lühikese toruga keskmiselt 5,74% sissevoolu veest üles ja pikema toruga keskmiselt 15,85%.

4.6.3 Potentsiaalne energia

Töö katselise osa läbiviimisel on vaja selgeks teha uurimise all olevad parameetrid, mida katse käigus mõõtma ja hiljem analüüsima hakatakse. Katsed koosnevad mitmest erinevast komponendist, kus on võimalik mõõta erinevaid väärtusi. Veemahutite puhul on võimalik

kaaluda nendes asuva vee massi, mahutite kõrgust maapinnast ja nendes mahutites oleva vee potentsiaalseid energiaid. Vee masse ja kõrguseid on võimalik mõõta kaaluga ja mõõdulindiga ning potentsiaalset energiat on võimalik nendest tulenevalt arvutada järgneva valemiga:

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h \quad (3)$$

kus E_{pot} – potentsiaalne energia (J);

m – mass (kg);

g – raskuskiirendus (m/s^2);

h – kõrguste vahe (m).

Katsetuste puhul on andmed järgmised:

$m_1 = 5$ kg
$g = 9{,}81$ m/s^2
$h_1 = 1{,}3$ m

$m_2 = 4{,}15$ kg
$g = 9{,}81$ m/s^2
$h_2 = 1{,}4$ m

Sissevoolu kanistris oleva vee potentsiaalse energiat vesioina suhtes saab arvutada kasutades valemit 3:

$$E_{pot1} = 5 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}3 = 63{,}77\ (J)$$

$$E_{pot2} = 4{,}15 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}4 = 57{,}00\ (J)$$

Antud valemist saab järeldada, et mida suurem hulk vett võimalikult kõrgele panna, seda suurem on ka selle vee esialgne potentsiaalne energia.

4.6.4 Kaudne kasutegur

Vesioina abil veemahutisse tagasi üles pumbatud vee massi ja selle mahuti kõrguse abil on võimalik ka salvestatud vee potentsiaalne energia välja arvutada ja andmete abil analüüsida mõlema mahuti potentsiaalsete energiate vahet ning seega ka energiakadu. Potentsiaalsete energiate abil on võimalik arvutada välja ka süsteemi kaudne kasutegur, kasutades antud valemit:

$$\eta = \frac{E_{pot3}}{E_{pot(1;2)}} \cdot 100\%, \qquad (4)$$

kus η – kasutegur (%);

E_{pot3} – salvestatud potentsiaalne energia (J);

$E_{pot(1;2)}$ – esialgne potentsiaalne energia (J).

Kasutades valemit 3, saab välja arvutada iga katsetuse käigus üles pumbatud vee potentsiaalse energia ja valemi 4 abil kaudse kasuteguri. Kõrguste vaheks on salvestatud vee puhul võetud vesioina ja pumpamise kõrguste vahe. Saadud arvutustulemused on kajastatud tabelis 9. Valem 4 on sarnane D'Aubuissoni valemiga, kus kasutatakse arvutustes potentsiaalsete energiate asemel vee massi ja kõrgust [12].

Tabel 9. Katsete käigus saadud vesioina kaudne kasutegur.

Katse nr	Mõõtmise nr	Salvestatud vesi m (kg)	Kõrguste vahe h (m)	Potentsiaalne energia E_{pot3} (J)	Kaudne kasutegur η (%)
1	1	0,2379	1,7	3,968	6,22
	2	0,3813	1,7	6,356	9,97
	3	0,3988	1,7	6,651	10,43
2	1	0,4250	1,7	7,088	11,12
	2	0,4659	1,7	7,770	12,18
3	1	0,0593	2,7	1,571	2,46
	2	0,0390	2,7	1,033	1,62
4	1	1,0570	1,7	17,628	30,93
	2	1,2790	1,7	21,330	37,42
	3	1,1306	1,7	18,855	33,08
5	1	0,5596	2,7	14,822	26,00
	2	0,5517	2,7	14,613	25,64
	3	0,5151	2,7	13,644	23,94
6	1	0,2651	3,7	9,622	16,88
	2	0,2837	3,7	10,298	18,07
	3	0,2771	3,7	10,058	17,65

Arvutuste tabelist on näha, et suurima kaudse kasuteguriga on lühema sissevoolutoruga vesioinas juhul, kui pumbata vett püstise löökklapiga 1,7 meetri kõrgusele, siis oli suurim näitaja väärtusega 12,18%. Pikema sissevoolutoruga oli 1,7 meetri kõrgusele pumbates suurim näitaja umbes kolm korda suurem ehk 37,42%. Mida kõrgemale vesioinas lühiajaliselt pumpama peab, seda väiksemaks muutub seadme kaudne kasutegur. Samuti on tabelist näha, et 45 kraadise nurga all oleva löökklapiga süsteemi kaudne kasutegur on madalam kui püstises asendis klapiga. Keskmine kaudne kasutegur lühema toruga 1,7 m kõrgusele pumbates on 9,98% ja 2,7 m kõrgusele pumbates 2,04%. Pikema sissevoolutoruga 1,7 m kõrgusele pumbates 33,81%, 2,7 m kõrgusele pumbates 25,19% ja 3,7 m kõrgusele pumbates oli see väärtus 17,53%.

4.6.5 Vooluhulk

Mahuteid ja vesioinast ühendavad omavahel voolutorud, mida kasutame vee suunamiseks vesioina sisselasketorusse ja väljalasketorust salvestusmahutisse. Vesioinasse suunduva voolutoru teoreetilise keskmise vooluhulga saab arvutada, kasutades esialgses mahutis oleva vee massi ja katse kestvust, järgmise valemiga:

$$Q = \frac{m}{t}, \qquad (5)$$

kus Q – vooluhulk (kg/s);

m – sissevoolu mahuti vee mass (kg);

t – katse kestus.

Esimese kolme katse puhul kasutati 5 liitrist mahutit, mille täitmisel on mahutis oleva vee massiks 5 kg. Järgmise kolme katse puhul on vee massiks 4,15 kg. Kasutades massi ja katse kestust, saab arvutada vooluhulga valemi 5 abil. Arvutuste tulemused on kirjas järgnevas tabelis 10.

Tabel 10. Sissevoolutorus oleva vee vooluhulk.

Katse nr	Mõõtmise nr	Katse kestus t (s)	Vooluhulk Q (kg/s)
1	1	70	0,0714
	2	69	0,0725
	3	62	0,0807
2	1	80	0,0625
	2	80	0,0625
3	1	80	0,0625
	2	78	0,0641
4	1	53	0,0783
	2	50	0,0830
	3	42	0,0988

Katse nr	Mõõtmise nr	Katse kestus t (s)	Vooluhulk Q (kg/s)
5	1	50	0,0830
	2	50	0,0830
	3	51	0,0814
6	1	55	0,0755
	2	52	0,0798
	3	53	0,0783

Vooluhulkade tabelist on näha, et kõige suuremad vooluhulgad lühemas sissevoolutorus oli esimese katse puhul. Selles võis rolli mängida asjaolu, et löögiklapi asend oli 45 kraadise nurga all ja vesi läbis sel juhul süsteemi hõlpsamini kui püstises asendis löögiklapiga süsteemist. Püstises asendis klapiga katsete 2 ja 3 puhul on lühikese sissevoolutoru vooluhulgad samad või väga sarnased. Pikema sissevoolutoruga katsete puhul oli kiireim vooluhulk 0,0988 kg/s, sel juhul pumbati 170 cm kõrgusele. Keskmine vooluhulk lühema toruga on 0,068 kg/s ja pikema sissevoolutoruga oli see väärtus 0,0823 kg/s.

4.6.6 Pumpamise võimsus

Vesioina pumpamise võimsust on samuti võimalik välja arvutada. Selleks on vaja eelnevalt välja arvutada väljalasketorust voolava vee vooluhulk. Selle arvutamiseks saab kasutada juba varem kasutatud valemit 5. Välja arvutatud pumbatud vee vooluhulgad on kirja pandud tabelisse 11.

Tabel 11. Pumbatud vee vooluhulk.

Katse nr	Mõõtmise nr	Katse kestus t (s)	Pumbatud vesi m (kg)	Vooluhulk Q_2 (kg/s)
1	1	70	0,2379	0,00340
	2	69	0,3813	0,00553
	3	62	0,3988	0,00643
2	1	80	0,4250	0,00531

Katse nr	Mõõtmise nr	Katse kestus t (s)	Pumbatud vesi m (kg)	Vooluhulk Q_2 (kg/s)
2	2	80	0,4659	0,00582
3	1	80	0,0593	0,000741
	2	78	0,0390	0,000500
4	1	53	1,0570	0,0199
	2	50	1,2790	0,0256
	3	42	1,1306	0,0269
5	1	50	0,5596	0,0112
	2	50	0,5517	0,0110
	3	51	0,5151	0,0101
6	1	55	0,2651	0,00482
	2	52	0,2837	0,00546
	3	53	0,2771	0,00523

Võttes arvutustesse juurde kõrguste vahe, vee tiheduse ja raskuskiirenduse, saab pumpamise võimsust arvutada järgmise valemiga:

$$P = Q_2 \cdot h \cdot \rho \cdot g, \quad (6)$$

kus P – võimsus (W);

Q_2 – väljalasketoru vooluhulk (kg/s);

h – kõrguste vahe (m);

ρ – vee tihedus (kg/m^3);

g – raskuskiirendus (m/s^2).

Kasutades saadud voolamise kiiruseid, arvutati välja iga mõõtmise puhul vesioina pumpamise võimsused. Kõrguste vaheks on võetud vesioina ja pumpamise kõrguse vahe. Saadud tulemused on kirja pandud tabelisse 12.

Tabel 12. Vesioina pumpamise võimsus.

Katse nr	Mõõtmise nr	Kõrguste vahe h (m)	Pumpamise võimsus P (W)
1	1	1,7	56,53
	2	1,7	91,95
	3	1,7	106,91
2	1	1,7	88,29
	2	1,7	96,77
3	1	2,7	19,57
	2	2,7	13,20
4	1	1,7	331,60
	2	1,7	425,32
	3	1,7	447,58
5	1	2,7	295,55
	2	2,7	291,38
	3	2,7	266,72
6	1	3,7	174,43
	2	3,7	197,43
	3	3,7	189,20

Saadud arvutustulemustest on näha, et vesioinal oli suurem pumpamisvõimus madalamale kõrgusele pumbates, 2,7 meetri kõrgusele pumbates kukkus võimsuse näitaja märkimisväärselt. Suurimaks võimsuseks saadi lühema sissevoolutoru puhul 106,911 W ja pikema toru puhul 447,58 W. Keskmine pumpamise võimsus lühema toruga 1,7 m kõrgusele pumbates on 88,09 W ja 2,7 m kõrgusele pumbates 16,39 W. Pikema sissevoolutoruga 1,7 m kõrgusele pumbates 401,5 W, 2,7 m kõrgusele pumbates 284,55 W ja 3,7 m kõrgusele pumbates oli see väärtus 187,02 W.

4.6.7 Hüdrauliline löök

Hüdraulilise löögina tuntakse olukorda, kus vedeliku rõhk torustikus järsult suureneb. Hüdrauliline löök tekib voolava vedeliku inertsist. Kui vedeliku voolutee äkki suletakse,

püüab vedelik oma inertsijõu tõttu jätkata liikumist ning avaldab vastupanule survet, mille tagajärjel tekib süsteemis rõhu järsk tõus. See nähtus on eriti ohtlik pikkade transporditorustike puhul, kus liikuva vedeliku mass võib ulatuda kümnetesse või isegi sadadesse tonnidesse. [16]

Rõhu muutust hüdraulilise löögi korral on võimalik arvutada järgmise valemiga:

$$\Delta p = C \cdot \rho \cdot \Delta v, \quad (7)$$

kus Δp – hüdraulilisest löögist tingitud rõhu muutus (Pa);

C – rõhulaine levinemiskiirus vedelikus (m/s);

ρ – vedeliku tihedus (kg/m^3);

Δv – vedeliku voolu kiiruse muutus (m/s).

Vedeliku voolu kiiruse muutuseks saab lugeda voolu kiiruse sissevoolutorus, kuna hüdraulilise löögi korral voolu kiirus on 0 m/s. Voolu kiirust 1 tollises sissevoolutorus saab arvutada järgmise valemiga:

$$v = \frac{Q}{\pi \cdot r^2}, \quad (8)$$

kus v – voolu kiirus (m/s);

Q – vooluhulk (m^3/s);

r – toru raadius.

Enne kiiruse arvutamist tuleb vooluhulk esitada kujul m^3/s, need väärtused saab teisendada varasemast vooluhulga tabelist, kus on selle väärtus kujul kg/s, ja jagades seal arvutatud tulemused 1000-ga. Sissevoolutoru raadius on pidevalt 0,5 tolli ehk 0,0127 meetrit. Välja arvutatud voolu kiirused on kirjas tabelis 13.

Tabel 13. Voolu kiirus sissevoolutorus.

Katse nr	Mõõtmise nr	Vooluhulk Q (m^3/s)	Voolu kiirus v (m/s)
1	1	0,0000714	0,141
	2	0,0000725	0,143
	3	0,0000807	0,159
2	1	0,0000625	0,123
	2	0,0000625	0,123
3	1	0,0000625	0,123
	2	0,0000641	0,127
4	1	0,0000783	0,155
	2	0,0000830	0,164
	3	0,0000988	0,195
5	1	0,0000830	0,164
	2	0,0000830	0,164
	3	0,0000814	0,161
6	1	0,0000755	0,149
	2	0,0000798	0,158
	3	0,0000783	0,155

Rõhulaine levinemiskiirus vees on konstant ja selle väärtus on raudtorus keskmiselt 1200 m/s. Rõhu muutuste arvutustulemused on järgnevas tabelis 14.

Tabel 14. Rõhu muutus dünaamilisel löögil.

Katse nr	Mõõtmise nr	Voolu kiirus v (m/s)	Rõhu muutus Δp (Pa)
1	1	0,141	168669,9
	2	0,143	171268,4
	3	0,159	190639,5
2	1	0,123	147645,2
	2	0,123	147645,2
3	1	0,123	147645,2
	2	0,127	151424,9

Katse nr	Mõõtmise nr	Voolu kiirus v (m/s)	Rõhu muutus Δp (Pa)
4	1	0,155	184969,9
	2	0,164	196072,8
	3	0,195	233397,5
5	1	0,164	196072,8
	2	0,164	196072,8
	3	0,161	192293,1
6	1	0,149	178355,4
	2	0,158	188513,4
	3	0,155	184969,9

Tabelist on näha suuremat rõhku dünaamilise löögi korral katsete 4, 5 ja 6 korral, kus kasutati pikemat sissevoolutoru. Lühema sissevoolutoruga on rõhu muutuse keskmine väärtus on 160705,5 Pa ehk umbes 1,61 bari. Pikema sissevoolutoruga on sama väärtus 194524,2 Pa ehk umbes 1,95 bari. Pumbatava vee kogus ja rõhumuutus on mõlemad suuremad pikema sissevoolutoruga, seega saab järeldada, et suurema rõhumuutusega suudab vesioinas rohkem vett üles pumbata.

KOKKUVÕTE

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli valmistada vesioina õppevahend, läbi viia selle katsetused ning hinnata selle seadme rakendatavust õppevahendina. Seatud eesmärgid said täidetud ja õppevahendit on võimalik edaspidi korduvalt katsetada. Töö raames koostati ka laboratoorsete tööde juhendid, mille põhjal saab seadmega teostada erinevaid mõõtmisi ja teha analüüse. Vesioina valmistamisel muudeti süsteemi erinevaid osi korduvalt, et saada parim pumpamise tulemus. Katsetuste mõõtmisi korrati, et tagada nende usaldusväärsus.

Töö alguses anti ülevaade hüdroenergia kui taastuvenergia allika, hüdropumpade ajaloo ning vesioina ajaloo ja tööpõhimõtte kohta. Katsete mõõtetulemuste põhjal tehti erinevaid arvutusi, et kirjeldada antud õppevahendi parameetreid.

Töö käigus valmistatud õppevahend aitab õpilastel süvendada oma teadmisi hüdraulika valdkonnas ning paremini mõista selle tehnoloogia aluseid. Vesioinas võimaldab õpilastel praktiliselt kogeda ja katsetada vee energia kasutamist vesioinas. Katseseadet on võimalik täiendada ja muuta vastavalt vajadusele, mille tulemusena õppevahendi parameetreid muutuvad. Töö aitab õpilastel ja teistel huvigruppidel paremini mõista vesioina kui hüdraulika õppevahendi töötamise põhimõtteid ning katseseadet on võimalik edaspidi kasutada hüdraulikaga seotud katsete läbiviimiseks. Koostatud laboratoorsete tööde juhendeid on võimalik tulevikus siduda mõne hüdraulikat puudutava õppeainega.

KASUTATUD KIRJANDUS

[1] U.S. Energy Information Administration. Hydropower explained. [veebileht] https://www.eia.gov/energyexplained/hydropower/ (23.05.2023)

[2] International Hydropower Association. Pumped Hydro. [veebileht] https://www.hydropower.org/factsheets/pumped-storage (23.05.2023)

[3] Kliimamuutused. Hüdroenergia. [veebileht] https://www.kliimamuutused.ee/lahendused/taastuvenergia/hudroenergia (20.05.2023)

[4] Loodusveeb. Hüdroenergia mõjud elurikkusele. [veebileht] https://loodusveeb.ee/et/themes/energeetika-ja-elurikkus/hudroenergia-mojud-elurikkusele#1 (20.05.2023)

[5] Euroopa Liidu Teataja. Euroopa Liidu Parlamendi ja nõukogu direktiiv 2009/28/EÜ. [veebileht] https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:et:PDF (21.05.2023)

[6] Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv 2000/60/EÜ. [veebileht] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:02000L0060-20141120&from=EN (21.05.2023)

[7] Hard Chrome Specialists. The History of Hydraulics. [veebileht] https://hcsplating.com/resources/hydraulic-systems-guide/history-of-hydraulics/ (24.05.2023)

[8] **Aleksander Maastik, Heiti Haldre, Tiit Koppel, Leopold Paal**. (1995). Hüdraulika ja pumbad. Tartu: OÜ Greif. 467 lk.

[9] Hydraulic ram. [veebileht] https://www.doc-developpement-durable.org/file/eau/pompes/belier-hydraulique/Hydraulic%20ram_Wikipedia-En.pdf (27.05.2023)

[10] **Zosma**. (2011). Vesioinas. [veebileht] https://et.m.wikipedia.org/wiki/Fail:Vesioinas.jpg (28.01.2023)

[11] Renewable World. Hydraulic Ram Pumps (Hydram). [veebileht] https://renewable-world.org/our-approach-to-renewable-energy/technologies/hydraulic-ram-pumps-hydram/#:~:text=This%20process%20works%20on%20a,fraction%20of%20the%20water%20flow. (28.01.2023)

[12] **Jake Miller**. (2017). Making a Difference, No Power Needed. [veebileht] https://www.aft.com/support/product-tips/making-a-difference-no-power-needed (28.01.2023)

[13] BrightHub Engineering. Hydraulic Ram Pumps – How They Work and are Used. [veebileht] https://www.brighthubengineering.com/hydraulics-civil-engineering/44729-learn-about-hydraulic-ram-pumps/?utm_content=expand_article (20.05.2023)

[14] **Fatihhi Szali Januddi**. (2018). Development and Testing of Hydraulic Ram Pump (Hydram): Experiments and Simulations. [veebileht] https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/440/1/012032/pdf (28.01.2023)

[15] **Phyoe Min Than, Cho Cho Khaing, Aye Mya Thandar**. (2019). Performance Testing of a Hydraulic Ram Pumping (Hydram). [veebileht] https://www.irejournals.com/formatedpaper/1701493.pdf (28.01.2023)

[16] **Rein Soots**. (2005). Hüdraulika ja hüdroseadmed. Tallinn: Tallinna Tehnikakõrgkool. 100 lk.

Water Ram Energy Management – Educative Device for Hydraulics

SUMMARY

The aim of this bachelor's thesis was to build a hydraulic ram teaching tool, conduct its tests and evaluate the applicability of this device as a educative device. The set goals were met, and the learning tool can be repeatedly tested in the future. As part of the work laboratory instructions were also prepared, based on which various measurements and analyzes can be made with the device. During the build of the hydraulic ram, various parts of the system were repeatedly modified to obtain the best pumping results. Test measurements were repeated to ensure the reliability of them.

At the beginning of the thesis, an overview was given about hydropower as a source of renewable energy, the history of hydraulic pumps and the history and working principle of the hydraulic ram. Based on the measurement results of the experiments, various calculations were made to describe the parameters of the educative device.

The educative device made during the thesis helps students better understand the field of hydraulics and its basics. A hydraulic ram allows students to practically experience and test the use of water energy in a hydraulic ram. The educative device can be modified to change the parameters of the pump. The thesis helps students and other interested groups to better understand the working principles of the hydraulic ram and the device can be used in the future to conduct further experiments related to hydraulics. The prepared laboratory instructions can be used in subjects related to hydraulics.

LISAD

Lisa 1. Õppevahendi laboratoorse töö juhend 1.

Labor 1: Vesioina katsetused

Kuupäev: _____

Nimi: _____

Rühm: _____

Sissejuhatus

Hüdraulika on oluline valdkond inseneriteaduses, mis hõlmab endas vedelike liikumist ja nende erinevate jõudude põhimõtteid. Selle labortöö käigus kasutame vesioinast, mis on praktiline õppevahend, et süvendada arusaamist hüdraulika tööpõhimõtetest ja uurida pumpamissüsteeme. Laboris teeme erinevaid katseid ja mõõtmisi, et uurida vesioina toimimist vee pumpamise eesmärgil.

Eesmärgid:

- Tutvuda vesioina erinevate komponentidega ja selgeks teha nende eesmärk.
- Mõista vesioina tööpõhimõtteid ja süsteemi töötamist.
- Teostada praktilisi katsetusi vesioinaga, mõõta seadme parameetreid ja analüüsida tulemusi.

Vajalikud materjalid:

- Vesioina õppevahend
- Manomeeter (vajadusel paigaldada seadme külge)
- Tühi kanister
- Mõõdulint
- Kaal
- Kirjutusvahend

Labori tegevused:

1. Tutvuge vesioinaga ja selle komponentidega, selgitage järgmiste komponentide eesmärgid õppevahendi süsteemis:
   Sissevoolutoru: _____
   Löögiklapp: _____
   Surveklapp: _____
   Õhukuppel: _____
   Väljavoolu voolik: _____

2. Koostage vesioina tööpõhimõtte skeem, näidake nooltega ja nummerdage vee liikumise etappe süsteemis (skeem sisaldab eelnevalt mainitud komponente):

3. Teostada vesioina katsetused viiel erineval pumpamise kõrgusel, panna tabelisse kirja saadud mõõtetulemused ja teha järeldus:

Pumpamise kõrgus	**1. katse kestus (s)**	**Pumbatud vesi (ml)**	**2. katse kestus (s)**	**Pumbatud vesi (ml)**	**3. katse kestus (s)**	**Pumbatud vesi (ml)**

Järeldused: _____

_____

_____

Lisa 2. Õppevahendi laboratoorse töö juhend 2.

Labor 2: Vesioina muutmine

Kuupäev: _____

Nimi: _____

Rühm: _____

Sissejuhatus

Vesioina detailide mõistmine ja analüüsimine annavad põhjalikku teadmist nende toimimisest. Käesolev laboratoorne töö keskendub vesioina detailide muutmise mõjule ja sellest tulenevate mõõtetulemuste analüüsimisele. Laboris uurime, kuidas erinevate vesioina komponentide lisamine ja eemaldamine mõjutab rõhku, vooluhulka ja pumpamissüsteemi tõhusust.

Eesmärgid:

- Mõista vesioina erinevate detailide mõju pumpamissüsteemile ja mõõtetulemustele.
- Selgitada kuidas komponentide muutmine mõjutab rõhku, vooluhulka ja süsteemi tõhusust.
- Analüüsida saadud mõõtetulemusi teha järeldusi.

Vajalikud materjalid:

- Vesioina õppevahend
- Manomeeter (vajadusel paigaldada seadme külge)
- Tühi kanister
- Mõõdulint
- Kaal
- Kirjutusvahend

Labori tegevused:

1. Eemaldage süsteemi küljest õhupaak ja tehke katsed, mõõtetulemused kanda tabelisse. Pumbata vett 1 m, 1,5 m ja 2 m kõrgusele sissevoolupaagist.

Pumpamise kõrgus	**1. katse kestus (s)**	**Pumbatud vesi (ml)**	**2. katse kestus (s)**	**Pumbatud vesi (ml)**	**3. katse kestus (s)**	**Pumbatud vesi (ml)**
1 meeter						
1,5 meetrit						
2 meetrit						

2. Muutke kahe tagasivooluklapi üksteise vahelist kaugust suuremaks ja tehke katsed, mõõtetulemused kanda tabelisse. Pumbata vett 1 m, 1,5 m ja 2 m kõrgusele sissevoolupaagist.

   Tagasivooluklappide vahe (cm): _____

Pumpamise kõrgus	**1. katse kestus (s)**	**Pumbatud vesi (ml)**	**2. katse kestus (s)**	**Pumbatud vesi (ml)**	**3. katse kestus (s)**	**Pumbatud vesi (ml)**
1 meeter						
1,5 meetrit						
2 meetrit						

3. Lisage süsteemile juurde üks tagasivooluklapp, mis käitub teise löögiklapina (paigutada kahe olemasoleva klapi vahele). Kolmeklapilise vesioinaga tehke katsed, mõõtetulemused kanda tabelisse. Pumbata vett 1 m, 1,5 m ja 2 m kõrgusele sissevoolupaagist.

Pumpamise kõrgus	**1. katse kestus (s)**	**Pumbatud vesi (ml)**	**2. katse kestus (s)**	**Pumbatud vesi (ml)**	**3. katse kestus (s)**	**Pumbatud vesi (ml)**
1 meeter						
1,5 meetrit						
2 meetrit						

Järeldused: _____

_____

_____

Lisa 3. Lihtlitsents lõputöö salvestamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Mauri Rein Lehikoinen,

sünniaeg 09.03.2000,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö „Vesioina energiakasutus – hüdraulika õppevahend“,

mille juhendajad on Marten Madissoo, Mart Hovi ja Külli Hovi,

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, _____

(*kuupäev*)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta.

Luban lõputöö kaitsmisele.

_____	_____
(*juhendaja nimi ja allkiri*)	(*kuupäev*)
_____	_____
(*juhendaja nimi ja allkiri*)	(*kuupäev*)
_____	_____
(*juhendaja nimi ja allkiri*)	(*kuupäev*)