



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TARTU KOLLEDŽ

SÄÄSTVA TEHNOLOOGIA ÕPPETOOL

JÕGEVA LINNA ÜHISVEEVÄRGI VEEHAARDE
PUURKAEV-PUMPLATE TÖÖ OPTIMEERIMISE
VÕIMALUSED

OPPORTUNITIES OF OPTIMIZATION FOR OPERATING MUNICIPAL
GROUNDWATER SUPPLY SYSTEM PUMPING STATIONS IN JÕGEVA TOWN

Magistritöö

Keskkonnatehnika spetsialiseerumisega materjalide taaskasutusele ja ettevõtte juhtimisele

Üliõpilane: Kert Alasoo

(allkiri)

Põhijuhendaja: Lauri Aim

(allkiri)

Kaasjuhendaja: Jüri Resev

(allkiri)

Tartu, 2014

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

..... (töö autori allkiri ja kuupäev)

Üliõpilase kood: 083380NAKI

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

..... (juhendaja allkiri ja kuupäev)

Kaitsmisele lubatud (kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees (allkiri)

ABSTRACT

Alasoo, K. Opportunities of optimization for operating municipal groundwater supply system pumping stations in Jõgeva town. Master's thesis, one volume. Volume: textual components, Tartu, 2014, 80 pages, 14 illustrations, 41 tables, 5 drawings on A3 paper, in Estonian.

The cost of electricity consumption is the main expense for waterworks. This leads water companies to making their systems more effective. The aim of this paper is to find optimization opportunities for operating municipal groundwater supply system pumping stations in Jõgeva town. The initial task was composed by Jõgeva Veevärk OÜ.

This paper is going to find effective solutions for pumping water from the Jõgeva water intake to the storage tank. Thereby, the existing system is widely investigated to find out all important parameters. Also the water consumption of Jõgeva and the water need for a fire situation were calculated.

After that the existing situation was analyzed. The analysis found that pumps in groundwater wells are oversized and a lack of capacity in the storage tank was identified. Next, the opportunities for minimizing electricity consumption were investigated. It was found that the existing situation doesn't allow pumping only in periods of lower electricity tariffs. At the moment the only saving opportunity is to exploit wells that have the lowest electricity consumption for pumping one m³ of water in prior.

The paper identified that a considerable amount of reactive power is used in groundwater pumping stations. The solution for that is using compensating mechanisms. Thereby the cost of reactive power will be reduced by 90%.

In the end the situation with perspective new secondary boost pumping station was analyzed. The minimal volume of perspective storage tanks was found. In addition, electricity saving methods with a larger storage tank was weighed. Unfortunately, there will be no effect on pumping with lower energy tariffs.

Keywords: municipal water supply system, optimization, groundwater well, pumping station, hydraulic calculation, pump efficiency, water consumption simulation.

SISUKORD

ABSTRACT	2
TÄHISED JA LÜHENDID	8
SISSEJUHATUS	9
1. VEEVARUSTUSSÜSTEEMI OPTIMEERIMINE	11
1.1 Veevarustussüsteemide täiustamise tasemed	11
1.2 Veevarustussüsteemi optimeerimise võimalused	12
2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED	14
3. MATERJAL JA METOODIKA.....	15
4. JÕGEVA LINNA VEEVARUSTUSÜSTEEM	17
4.1 Lühikirjeldus	17
4.2 Veehaare	17
4.2.1 Kirjeldus	17
4.2.2 Juhtimine	17
4.2.3 Puurkaevude tehnilised andmed	18
4.2.4 Veetõstetorud.....	19
4.2.5 Puurkaevude maksimaalne lubatud tootlikkus	19
4.2.6 Toruarmatuur ja muud kohttakistused.....	19
4.3 Toorveetoru.....	20
4.4 Ühisveevärgi varumahuti	20
4.5 II-astme pumpla	21
4.6 Reservpuurkaevpumpla	21
4.6.1 Kirjeldus	21
4.6.2 Juhtimine	21
4.7 Kaugjälgimine.....	21
4.8 Ühisveevärk	22
4.8.1 Veetorustikud	22
4.8.2 Registreerimata vesi	22
4.9 Jõgeva linna veetarbimine.....	23
4.9.1 Aastane veetarbimine	23
4.9.2 Keskmise ööpäevane veetarbimine	24
4.9.3 Arvutuslik maksimaalne ööpäevane veetarbimine	24
4.9.4 Arvutuslik maksimaalse veetarbimisega tunni veevajadus	25

4.9.5	Veetarbimise ebäühtlus.....	26
4.10	Tuletõrje veevarustus	27
4.10.1	Sissejuhatus	27
4.10.2	Samaaegsete tinglike tulekahjude arv.....	27
4.10.3	Kustutusvee normvooluhulk.....	28
4.11	II-astme pumpla vooluhulk.....	28
4.11.1	Sissejuhatus	28
4.11.2	II-astme pumpla maksimaalne tunni vooluhulk tavaolukorras.....	29
4.11.3	II-astme pumpla vooluhulga ebäühtlus tavaolukorras.....	29
4.11.4	II-astme pumpla vooluhulga ebäühtlus eriolukorras	30
4.12	Puurkaevude töö uurimine	31
4.12.1	Eesmärk	31
4.12.2	Mõõtmise metoodika	31
4.12.3	Tulemused	32
5.	VEEHAARDE PUURKAEV-PUMPLATE TÖÖ ANALÜÜS	34
5.1	Metoodika	34
5.2	Tööolukorra analüüs	34
5.2.1	Pumpade tööpunktid.....	34
5.2.2	Survekaod torustikes	35
5.2.3	Kohtsurvekadu.....	36
5.2.4	Manomeeter näit.....	37
5.3	Juhtimine.....	38
5.4	Tavaolukord	39
5.4.1	Varumahuti veetase	39
5.4.2	Arvutuslik elektrikulu.....	39
5.5	Eriolukord	40
5.5.1	Varumahuti veetase	40
5.6	Elektritarbimine	41
5.7	Tuvastatud probleemid	43
6.	VEEHAARDE PUURKAEV-PUMPLATE OPTIMEERIMINE.....	45
6.1	Sissejuhatus.....	45
6.2	Pumba võimsus ja kasutegur.....	45
6.3	Mittevajalike kohttakistuste eemaldamine.....	47
6.3.1	Sissejuhatus	47

6.3.2	Pumpade tööpunktid	47
6.3.3	Arvutuslik elektrikulu tavaolukorras	48
6.4	Pumpade ümberpaigutamine	49
6.4.1	Sissejuhatus	49
6.4.2	Puurkaevude veetasemed	49
6.4.3	umpade tööpunktid	51
6.5	Öötariifi ärakasutamine	51
6.5.1	Sissejuhatus	51
6.5.2	Võimalik juhtimisskeem	51
6.6	Tunnipõhine elektriarvestus	52
6.6.1	Sissejuhatus	52
6.6.2	Elektri börsihinna tunnipõhine muutus	52
6.6.3	Elektri koguhinna tunnipõhine muutus	53
6.6.4	Elektri koguhinna kordajad	53
6.6.5	Võimalik juhtimisskeem	54
6.7	Efektiivseima puurkaev-pumpla eeliskasutamine	54
6.8	Reaktiivenergia kompenseerimine	55
6.9	Pumpade väljavahetamine	56
6.9.1	Sissejuhatus	56
6.9.2	Vooluhulga määramine	56
6.9.3	Tõstekõrguse määramine	58
6.9.4	Pumpade dimensioneerimine	58
6.9.5	Pumpade tööpunktid	60
6.9.6	Võimalik juhtimine	60
6.9.7	Arvutuslik elektrikulu	61
6.9.8	Pumpade maksumus ja tasuvusaeg	61
6.9.9	Vee erikasutusloaga määratud lubatud veevõtu koguste muutmine	62
7.	PERSPEKTIIVNE II-ASTME PUMPLA	63
7.1	Sissejuhatus	63
7.2	Ühisveevärgi varumahuti maht	64
7.3	Puurkaev-pumplate töö analüüs ajalise juhtimisega	65
7.3.1	Pumpade parameetrid	65
7.3.2	Juhtimine	65
7.3.3	Arvutuslik elektrikulu	66

7.3.4	Mahuti veetase tavaolukorras	66
7.3.5	Mahuti veetase eriolukorras	67
7.4	Puurkaev-pumplate töö analüüs ajalise juhtimiseta.....	68
7.4.1	Pumpade parameetrid	68
7.4.2	Pumpade tööpunktid	69
7.4.3	Juhtimine	69
7.4.4	Arvutuslik elektrikulu.....	70
7.4.5	Mahuti veetase tavaolukorras	70
7.4.6	Mahuti veetase eriolukorras	71
7.5	Juhtimisviiside võrdlus	71
8.	TULEMUSED	72
8.1	Probleemid ja lahendused	72
8.2	Veehaarde puurkaevu pumpade parameetrid.....	73
8.3	Tasuvusajad	73
8.4	Perspektiivne II-astme pumpla	74
9.	ARUTELU	75
	KOKKUVÕTE	77
	KASUTATUD KIRJANDUS	78
	LISAD	80
	Lisa 1. Jõgeva linna ühisveevärgi veehaarde puurkaevude tehniliste andmete võrdlus..	81
	Lisa 2. Veehaarde tarbimiskoha elektrienergia tarbimine ja maksumus 2013. aastal....	82
	Lisa 3. Tunnipõhiselt II-astme pumpla poolt võrku pumbatav vesi ja selle alusel leitud tarbimiskordajad ööpäeva lõikes	83
	Lisa 4. Puurkaevupumba Calpeda 4SD 10-24 tehnilised andmed.....	84
	Lisa 5. Puurkaevupumba Hydro Pompe E90K24XS tehnilised andmed	86
	Lisa 6. Puurkaevupumba Saer NR-151D-12 tehnilised andmed.....	89
	Lisa 7. Tunnipõhist elektri koguhinda kajastavad kordajad	92

GRAAFILINE OSA

Joonis 1. Olemasoleva veevarustussüsteemi rajatiste paiknemine

Joonis 2. Olemasoleva veevarustussüsteemi skeem

Joonis 3. Perspektiivse veevarustussüsteemi rajatiste paiknemine

Joonis 4. Arvutusskeem 1 – olemasolev olukord

Joonis 5. Arvutusskeem 2 – perspektiivne olukord

TÄHISED JA LÜHENDID

JVV – Jõgeva veevärk OÜ

kvarh – kilo volt amper reaktiiv tund (reaktiivenergia ühik)

r/v teras – roostevaba teras

r/b – raudbetoon

SISSEJUHATUS

Käesolevas magistritöös käsitletakse Jõgeva linna ühisveevärgi veehaarde puurkaev-pumplate töö optimeerimist. Töö koostamise peamiseks aluseks on Jõgeva Veevärk OÜ poolt 2012. aasta jaanuaris püstitatud lähteülesanne Jõgeva linna veehaarde puurkaev-pumplate töö optimeerimiseks.

Nimetatud lähteülesanne esitati mitmele projekteerimisfirmale sh. ka Keskkond & Partnerid OÜ-le, kus töötab käesoleva töö autor. Projekteerimisfirmade hinnapakumised nimetatud töö tegemiseks osutusid JVV jaoks liiga kulukaks ning seetõttu ei mahtunud töö ettevõtte investeerimisplaani. Probleem püsis jätkuvalt ning probleemi lahendamine tundus huvitav, siis pakkus Keskkond & Partnerid OÜ 2013. aasta septembris JVV-le, et eelpool nimetatud töö võiks koostada nende töötaja oma magistritööna. JVV nõusolekul alustatigi probleemidele lahenduste otsimist.

Veevarustussüsteemid kulutavad hinnanguliselt 2-3% maailmas toodetud elektrist. [1] Elekter on vee-ettevõtetele peamiseks kuluallikaks. Elektri hinna tõusmine on pannud vee-ettevõtteid, s.h. JVV, suuremat tähelepanu pöörama oma süsteemide efektiivsusele. Käesolev magistritöö on tulevikus heaks abimaterjaliks uute säästlike mitme puurkaevuga veehaarete projekteerimisel ning olemasolevate mitme puurkaevuga veehaarete säästlikumaks muutmisel. Ühtlasi annab töö ülevaate võimalikest probleemidest, mis võivad tekkida mitme puurkaevuga veehaarde korral. Samuti leiab käesolevast tööst võimalikke probleeme, mis tekivad kaheastmelise veevarustussüsteemi korral.

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on leida võimalikud lahendused, mille abil vähendada kulutusi vee transportimisel Jõgeva linna veehaardest ühisveevärgi varumahutisse. Lahendused peavad tagama Jõgeva linna veetarbijate veevajaduse ning tulekahju toimumise ajal ka vajaliku vooluhulga hüdrantidele.

Töö koostamiseks vajalikud lähteandmed saadakse JVV käest ning kasutatakse ka avalikes andmebaasides olevaid andmeid. Lisaks sellele teostatakse puurkaev-pumplate töö uurimine. Töös tehtud arvutustes lähtutakse esimesel võimalusel Eesti standarditest (EVS). Hüdrauliliste mudelite koostamisel kasutatakse arvutusprogrammi *EPANET 2.0*.

Töö esimeses osas uuritakse veevarustussüsteemide optimeerimisega seotud probleeme ja võimalusi.

Teises osas esitatakse töö eesmärgid ja püstitatakse ülesanded.

Kolmandas osas tutvustatakse töö koostamise aluseks olevaid materjale ning töö koostamisel kasutatavaid meetodikaid.

Magistritöö neljandas osas antakse ülevaade Jõgeva linna veevarustussüsteemi rajatistest ning nende toimimisest. Samuti leitakse selles peatükis olulised lähteandmed: asula veevajadus, veetarbimise ebahühtlus ning tuletõrje veevajadus. Samuti uuritakse selles peatükis täpsemalt Jõgeva linna veehaarde puurkaev-pumplaid, et oleks võimalik kalibreerida koostatavat hüdraulilist mudelit.

Töö viiendas osas analüüsitakse olemasolevat puurkaev-pumplate tööd ning püütakse leida võimalike probleeme ning kitsaskohti, mille lahendamisel oleks võimalik saavutada rahaline sääst JVV-le. Samuti võrreldakse puurkaevude tootlikkusi tööolukorras puurkaevudele passi järgi määratud tootlikkustega. Ühtlasi analüüsitakse puurkaevude töötamist tulekahju olukorras.

Magistritöö kuuendas osas leitakse võimalikud lahendused töö viiendas osas tuvastatud probleemidele.

Töö seitsmendas osas analüüsitakse veehaarde puurkaev-pumplate tööd olukorras, kus Jõgeva linna ehitatakse uus II-astme pumpla koos uue ühisveevärgi varumahutiga. Selles osas leitakse ka vajalik varumahuti maht ning analüüsitakse veehaarde puurkaev-pumplate võimalikku tööd uue suurema varumahuti korral.

Töö kaheksandas osas tuuakse välja töö tulemused ning üheksandas osas arutletakse saadud tulemuste üle.

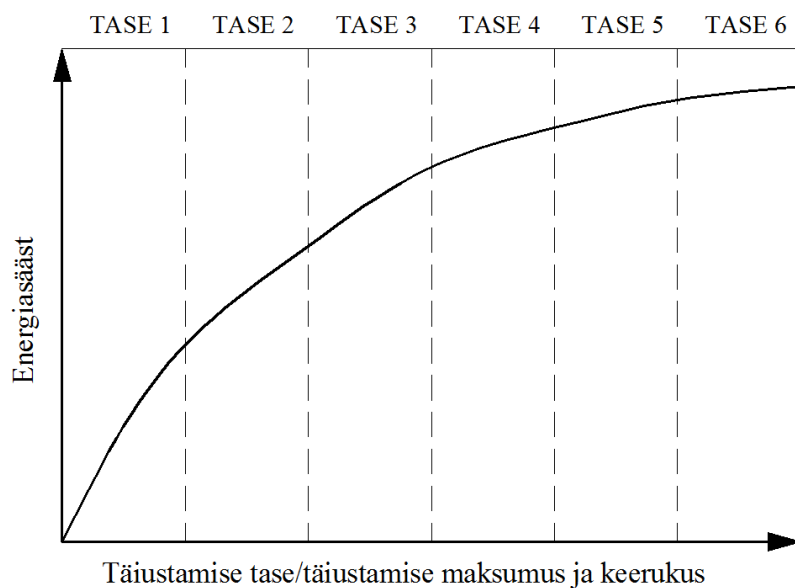
1. VEEVARUSTUSSÜSTEEMI OPTIMEERIMINE

Käesoleva peatüki koostamisel on kasutatud artiklit „Energy and hydraulic efficiency in conventional water supply systems“, mille on kirjutanud M. R. N. Vilanova ja J. A. P. Balestieri [1].

1.1 Veevarustussüsteemide täiustamise tasemed

Veevarustussüsteemide täiustamise võib tinglikult jaotada kuueks erinevaks täiustamise tasemeks. Alljärgnevalt on toodud loetelu, milliseid tegevusi nendel tasemetel silmas peetakse.

- Tase 1 – Veekadude vähendamine;
- Tase 2 – Elektribimise efektiivsemaks muutmine;
- Tase 3 – Elektritootmise efektiivsemaks muutmine. Elektritootmise ja tarbimise harmoneerimine. Lisaks sellele veel ka taastuvate energiaallikate kasutamine;
- Tase 4 – Tootmisprotsessi elukaare efektiivsemaks muutmine (sh. kemikaalikulu vähendamine ning seadmete hoolduse ja väljavahetamisega seotud kulu vähendamine);
- Tase 5 – Veevarustussüsteemi detsentraliseerimine, millega vähendatakse kulutusi vee transportimisel kaugesse piirkonnadesse;
- Tase 6 – Veetarbivate harimine ning säästlike veetarbimisseadmete kasutuselevõtt (nt. kahesüsteemne WC-pott, aereeritavad kraani ja dušitsikud jms).



Joonis 1.1 Veevarustussüsteemi täiustamise maksumuse ning sellest saadava energiasäästu vaheline seos erinevatel täiustamise tasemetel [1]

Veevarustussüsteemi täiustamise maksumuse ning sellest saadava energiasäästu vahelist seost erinevatel täiustamise tasemetel illustreerib joonis (Joonis 1.1). Esimesel tasemel on täiustamise maksumus suhteliselt madal ning täiustamisest saadav energiasääst suhteliselt suur. Liikudes järgmisele tasemele suureneb tehtava investeerigu maksumus ning väheneb sellest saadav energiasääst.

1.2 Veevarustussüsteemi optimeerimise võimalused

Veevarustussüsteemide optimeerimisel on mitmeid võimalusi. Üheks olulisemaks optimeerimise allikaks on veevarustussüsteemis oleva surve ja veekadude juhtimine. Üldjuhul on seos selline, et mida suurem on surve, seda suuremad on ka veekaod. Kuna ühe ühiku vee pumpamiseks kulub teatud hulk energiat, siis vähendades veekadusid, vähenevad ka kulutatud energiakogused. Lõpptulemusena tähendab see sama tulubaasi juures väiksemaid kulusid vee-ettevõtetele.

Veevarustussüsteemide optimeerimisel ei saa mööda vaadata ka pumpadest. Hinnanguliselt 30% pumpade poolt kasutatavat energiat on võimalik kokku hoida tõhusamate pumpade ning täpsema pumbavaliku korral. Võrgupumpade kasutamisel tuleb muutuva vooluhulga saamiseks kasutada muutuva kiirusega pumpasid. See tähendab, et pumbad tuleb varustada sagedusmuunduritega.

Suur kokkuhoiuvõimalus on ka varumahutite kasutamisel. See tähendab, et puurkaevudest pumbatakse vesi varumahutisse odava elektri hinnaga ajal ning kõrgema elektri hinnaga ajal jäetakse pumbad seisma. Ühtlasi aitab selline lahendus vähendada ka elektrivõrkude tipukoormusi.

Loomulikult on oluline ka optimaalne veevõrgu disain. Väiksema läbimõõduga torude kasutamine võib vähendada ehitismaksumust, kuid suurendab tulevikus tekkivaid eksploatatsioonikulusid. Suurema läbimõõduga torude kasutamisel tuleb aga kindlasti analüüsida, et vee viibeaeg torudes liiga pikas ei läheks ning seetõttu ei halveneks vee kvaliteet.

Veevarustussüsteemide energiaga varustamisel on võimalik kasutada ka taastuvaid energiaallikaid, näiteks tuule- ja päikeseenergiat. Tuulegeneraatorit on võimalik otse ühendada pumba võlliga, ilma et peaks tuulest vahepeal elektrit tootma. Samuti on võimalik ära kasutada maapinna reljeefist tulenevaid võimalusi potentsiaalse hüdroenergia

tootmiseks. Seda on võimalik teha näiteks rõhualandusventiilide asemel elektriturbiinide kasutamisega.

Lisaks on võimalik tõhusamaks muuta veevarustussüsteemide toimimist. See tähendab veevarustussüsteemis olevate probleemide likvideerimist. Esiteks tuleb välja selgitada probleemsed kohad. Seejärel tuleb koostada süsteemist hüdrauliline mudel. Pärast seda tuleb mudel kalibreerida ning seejärel on võimalik alustada probleemsete kohtade analüüsi ning optimeerimise lahenduste otsimisega.

2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

Käesoleva magistritöö eesmärk on leida võimalikud lahendused, mille abil vähendada kulutusi vee transportimisel Jõgeva linna veehaardest ühisveevärgi varumahutini.

Töö koostamisel püstitatakse järgmised ülesanded:

1. olemasoleva olukorra võimalikult täpne väljaselgitamine;
2. olemasolevast olukorrast hüdraulilise mudeli koostamine;
3. olemasoleva olukorra analüüsimine;
4. probleemide tuvastamine ja sõnastamine;
5. tuvastatud probleemidele lahenduste leidmine;
6. puurkaev-pumplatesse sobivate pumpade dimensioneerimine ning võimaliku juhtimisskeemi koostamine;
7. perspektiivse ühisveevärgi varumahuti mahu määramine;
8. perspektiivse varumahutiga veevarustussüsteemi korral veehaarde puurkaev-pumplatesse sobivate pumpade dimensioneerimine ning võimaliku juhtimisskeemi koostamine.

3. MATERJAL JA METOODIKA

JVV veevarustussüsteemide tehniliste andmete määramisel kasutatakse järgmisi allikaid:

- Keskkonnaregistri veebirakendust (<http://register.keskkonnainfo.ee/>);
- Jõgeva linna ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni arendamise kava aastateks 2010-2022;
- JVV poolt väljastatud andmed;
- kohapealse vaatluse teel kogutud andmed;
- puurkaevude uurimise teel kogutud andmeid.

Registreerimata vee osakaalud aastatel 2010-2012 võetakse JVV poolt koostatud majandusaasta aruannetest. Registreerimata vee osakaal 2013. aastal saadakse JVV raamatupidamisosakonnast.

Jõgeva linna veetarbimise leidmiseks kasutatakse JVV poolt väljastatud faktilisi andmeid 2013. aastal II-astme pumplast pumbatud veekoguste kohta ning standardit EVS 921:2014 Veevarustuse välisvõrk.

Jõgeva linna veetarbimise ebahütluse leidmiseks kasutatakse faktilisi andmeid II-astme pumplast pumbatud veekoguste kohta perioodil 1. august 2012 – 31. juuli 2013.

Tuletõrje veevajaduse leidmiseks kasutatakse standardit EVS 812-6:2012 Ehitise tuleohutus Osa 6: Tuletõrje veevarustus.

Veehaarde puurkaevude järjestuse väljaselgitamiseks uuritakse puurkaev-pumplaid tööolukorras, mille raames mõõdetakse ka puurkaevudes olevaid veetasemeid.

Veevarustussüsteemi analüüsimiseks koostatakse veevarustussüsteemi hüdrauliline mudel. Mudeli koostamiseks kasutatakse vabavaralist tarkvara *EPANET 2.0*. Programm seadistatakse selliselt, et hõõrdesurvekadude leidmisel kasutatakse Darcy-Weisbach valemit (3.1). Kusjuures hõõrdetakistusteguri leiab *EPANET 2.0* kasutaja poolt sisestatud ekvivalentkareduse järgi. Kohtsurvekadude leidmiseks kasutatakse Julius Weisbachi valemit (3.2). Kohttakistustegurite määramisel kasutatakse standardit EVS 835:2014 Hoone veevõrk.

Hõõrdesurvekao h_l (m) leidmiseks kasutatav Darcy-Weisbach valem: [2]

$$h_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} \quad (3.1)$$

kus: λ – hõõrdetakistustegur;

l – toru pikkus, m;

d – toru siseläbimõõt, m;

v^2 – keskkiirus elavlõikes, m^3/s ;

g – raskuskiirendus (~9,81), m/s^2 .

Kohtsurvekao h_k (m) leidmiseks kasutatav Julius Weisbachi valem: [2]

$$h_k = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (3.2)$$

kus: ζ – kohttakistustegur;

v^2 – keskkiirus elavlõikes, m^3/s ;

g – raskuskiirendus (~9,81), m/s^2 .

Töö graafilises osas olevate jooniste koostamisel kasutatakse joonestusprogrammi *AutoCad LT 2010*.

4. JÕGEVA LINNA VEEVARUSTUSÜSTEEM

4.1 Lühikirjeldus

Jõgeva linna ühisveevärgi vett saadakse Liivoja külas paiknevast veehaardest, kus on neli puurkaev-pumplat. Veehaardest pumbatakse vesi toorveetoru (DN200) kaudu Tähe tn II-astme pumpla kõrval paiknevasse ühisveevärgi varumahutisse (230 m³). Varumahutist pumpavad kolm võrgupumpa vee Jõgeva linna ühisveevõrku. Lisaks sellele kuulub veevarustussüsteemi ka Aia tn paiknev reservpuurkaevpumpla.

Olemasoleva veevarustussüsteemi rajatiste paiknemine on esitatud graafilises osas (Joonis 1). Olemasoleva veevarustussüsteemi skeem on esitatud graafilises osas (Joonis 2)

4.2 Veehaare

4.2.1 Kirjeldus

Jõgeva linna veehaare paikneb Jõgeva vallas Liivoja külas Veehaarde kinnistul (KÜ 24802:001:0286). Kinnistul paikneb neli puurkaev-pumplat. Puurkaevud on rajatud 1984. aastal ja on sügavusega 200 m. Puurkaev-pumplad paiknevad maa-alustes r/b kaevurõngastest šahtis ning on varustatud nõuetekohase päisega. Samuti on pumplates vajalik toruarmatuur ning iga pumpla väljund on varustatud ultraheli vooluhulgamõõturiga. Puurkaev-pumplad on rekonstrueeritud 2003. aastal.

Rekonstrueerimistöde käigus:

- paigaldati uued r/v terasest teenindusluugid;
- pumplasisene torustik ja toruarmatuur vahetati välja;
- puurkaevudesse paigaldati uued pumbad ning veetõstetorud;
- paigaldati uus elektripaigaldis.

2013. aasta augustis paigaldati puurkaev-pumplatesse ultraheli vooluhulgamõõturid ning 2014. aasta aprillis liideti puurkaev-pumplad kaugvalvesse.

4.2.2 Juhtimine

Puurkaev-pumplate juhtimine toimub II-astme pumpla juures oleva veemahuti veetasemete järgi. Kui veetase langeb alla määratud taseme, siis lülituvad puurkaev-pumplad töösse. Kui veetase tõuseb määratud tasemeni, siis lülituvad pumbad välja. Praegusel hetkel toimub juhtimine selliselt, et juhtimissüsteemis on määratud neli reeglit ning neid rakendatakse puurkaev-pumplatele roteeruvalt. See tähendab, et ühel päeval kasutatakse

reeglit R.1 puurkaevu PK.1 pumba ning järgmisel päeval juba näiteks puurkaevu PK.2 pumba juhtimiseks jne. Iga puurkaevu pumba juhtimiseks kasutatakse erinevat reeglit (st. et reeglit R.1 ei kasutata korraga kahe erineva puurkaevu pumba juhtimiseks). Selle eesmärgiks on kõikide puurkaevude ühtlane ekspluateerimine. Määratud reeglitele vastavad pumpade lülituspunktid sõltuvalt varumahuti veetasemest on toodud alljärgnevalt (Tabel 4.1). [3]

Tabel 4.1. Reeglitele vastavad pumpade lülituspunktid sõltuvalt mahuti veetasemest [3]

Reegel	Pump töösse (m)	Pump seisma (m)
R.1	3,30	3,50
R.2	3,20	3,40
R.3	3,00	3,20
R.4	3,20	3,50

4.2.3 Puurkaevude tehnilised andmed

Käesoleva magistritöö koostamise käigus tuvastati erinevus puurkaevude tehniliste andmete kohta Keskkonnaregistri veebirakenduses ning JVV omandis olevates andmetes. Peamine erinevus seisnes puurkaevude positsioneerimises maastikul. Nimelt on JVV andmete kohaselt veehaarde põhjapoolseima puurkaevu passi nr 5359. Keskkonnaregistri veebirakenduse järgi on puurkaev (passi nr 5359) aga hoopis veehaarde lõunapoolsem puurkaev. Samuti oli erinevusi puurkaevude hüdrogeoloogiliste parameetrite osas. [3], [4]

Keskkonnaregistri veebirakenduses olevad hüdrogeoloogilised parameetrid pärinevad 1984. aastal teostatud proovipumpamise ajal mõõdetud suurustusest. JVV poolt väljastatud andmed pärinevad aga 2003. aastal koostud lähteülesandest veehaarde puurkaev-pumplate rekonstrueerimiseks. Andmete võrdlemiseks koostatud tabel on esitatud lisa (Lisa 1). [3], [4]

Mõlemast allikast pärinevatest andmetest selgub, et puurkaevudel on erinevad tootlikkused ning eridebitid. Sellest tulenevalt on puurkaevude säästliku ekspluateerimise saavutamiseks vajalik välja selgitada puurkaevudes toimuvad reaalsed veetaseme muutused. See loob eeldused õigeks pumba valikuks ning väldib puurkaevude tegelikku tootlikust ületavat veevõttu. Seetõttu teostatakse käesoleva magistritöö raames puurkaevude töö uurimine. Puurkaevude töö uurimisest vt täpsemalt ptk 4.12.

4.2.4 Veetõstetorud

Kõikidesse puurkaev-pumplatesse on 2003. aastal paigaldatud r/v terasest veetõstetorud DN50. Torude andmed puurkaevude lõikes on toodud alljärgnevalt (Tabel 4.2).

Tabel 4.2. Veetõstetorude tehnilised näitajad [3],[5]

Välis-läbimõõt (mm)	Seina paksus (mm)	Sise-läbimõõt (mm)	Materjal	Ekvivalentkaredus (mm)
60,3	2,0	56,3	r/v teras	0,015

4.2.5 Puurkaevude maksimaalne lubatud tootlikkus

Lisaks puurkaevu passis märgitud maksimaalsele tootlikkusele ei tohi ületada ka Keskkonnaameti poolt väljastatud vee erikasutusloaga määratud lubatud veevõtu koguseid. Vastavalt hetkel kehtivale vee erikasutusloale nr L.VV/322862 on JVV-le veehaarde kinnistul paiknevate puurkaevude ekspluateerimisel määratud alljärgnevalt (Tabel 4.3) esitatud lubatud veevõtu kogused.

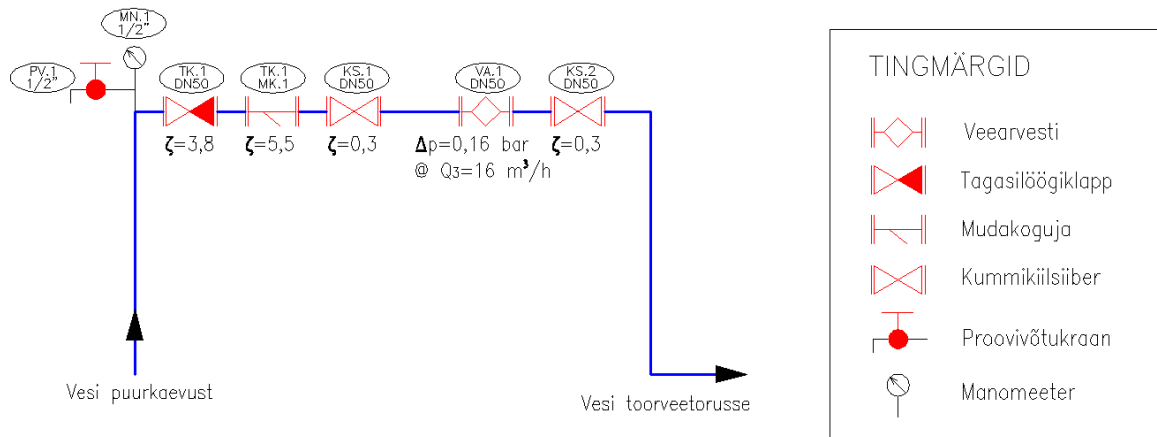
Tabel 4.3. Veehaarde puurkaevude lubatud veevõtu kogused vastavalt hetkel kehtivale vee erikasutusloale nr L.VV/322862 [6]

Pos nr	PK.1	PK.2	PK.3	PK.4	Kokku
Passi nr	5362	5361	5360	5359	
Lubatud veevõtt (m ³ /d)	279	279	186	186	930

4.2.6 Toruarmatuur ja muud kohttakistused

Veehaarde puurkaev-pumplates kasutusel olev toruarmatuuri paiknemise skeem on esitatud (Joonis 4.1). Puurkaevust väljuval torul paikneb manomeeter ning proovivõtakraan. Seejärel asub tagaslöögiklapp ning mudakoguja. Mudakoguja järel on kummikiilsiber, millele järgneb ultraheli vooluhulgamõõtur (*Kamstrup Multical 62*). Pärast vooluhulga mõõtjat paikneb samuti kummikiilsiber. Joonisel on toodud kasutatava toruarmatuuri kohttakistustegurid vastavalt standardile EVS 835:2014 Hoone Veevärk. Ultraheli vooluhulgamõõtjas tekkiv kohtsurvekadu nominaalsel vooluhulgal Q_3 on võetud vooluhulgamõõturi (*Kamstrup Multical 62*) tehniliste andmete lehelt.

Lisaks toruarmatuurile põhjustavad kohttakistusi torustikul paiknevad liitmikud. Jõgeva linna puurkaev-pumplates paikneb torul neli põlve DN50 90° ($\zeta=0,7$).



Joonis 4.1 Puurkaev-pumplates paikneva toruarmatuuri skeem [7], [8]

4.3 Toorveetoru

Kõikide pumplate väljundid on ühendatud malmist toorveetoriga, mis suundub II-astme pumpla kõrval paiknevasse ühisveevärgi varumahutisse. Toorveetoru on paigaldatud veehaarde ehituse ajal 1984. aastal. Käesolevaks hetkeks on toru 30 aastat vana. Toorveetoru tehnilised andmed on esitatud alljärgnevalt (Tabel 4.4). Malmтору ekvivalentkareduse määramisel on arvestatud, et toru on 30 aastat vana.

Tabel 4.4. Toorveetoru tehnilised näitajad [2], [9]

Välis- läbimõõt (mm)	Seina- paksus (mm)	Sise- läbimõõt (mm)	Materjal	Ekvivalent- karedus (mm)
222	11,0	200	malm	2

4.4 Ühisveevärgi varumahuti

Jõgeva linna ühisveevärgi varumahuti paikneb II-astme pumpla kõrval. Mahuti mõõtmed on 11500x5600x3580 mm. Tulenevalt mahuti konstruktsioonist on varumahuti maksimaalne sisemine maht 232 m³. Varumahuti on ehitatud raudbetoonist ning on kaetud muldega. Varumahuti veetasemed ning veetasemele vastav veemaht on toodud alljärgnevalt (Tabel 4.5). Kasutatavale maksimaalsele veetasemele vastav maht on 226 m³ ning minimaalsele veetasemele vastav maht on 94 m³. Seega on mahutis kasutatavat reguleerivat mahtu 134 m³.

Tabel 4.5. Varumahuti veetaseme kõrgusele vastav veemaht [3]

Veetase	Veetaseme kõrgus (mm)	Veetasemele vastav vee maht (m ³)	Kirjedus
Tase 1	3580	232	Mahuti maksimaalne veetase
Tase 2	3500	226	Mahuti kasutatav maksimaalne veetase
Tase 3	1450	94	II-astme pumpade töö blokeerimine
Tase 4	0	0	Mahuti minimaalne veetase

4.5 II-astme pumpla

II-astme pumpla paikneb Jõgeva linnas Tähe tn 11 kinnistul (KÜ 24901:004:0027). Pumplas paikneb kolm ühesugust võrgupumpa (*Pedrollo F 50-160 A*). Korraga töötab kaks pumpa ning kolmas on reservis. Pumpasid juhivad sagedusmuundurid läbi rõhuanduri. Kõikide pumpade väljundid on varustatud ultraheli vooluhulgamõõturiga (*Kamstrup Multical 62*).

4.6 Reservpuurkaevpumpla

4.6.1 Kirjeldus

Ühisveevärgi süsteemi kuuleb veel ka reservpuurkaevpumpla, mis paikneb Jõgeva linnas Aia tn 27a kinnistul (KÜ 24901:002:0042). Pumpla on rekonstrueeritud 2003. aastal. Rekonstrueerimistöode käigus korrastati pumplahoone, puurkaevule paigaldati uus päis ning välja vahetati pumplasisene torustik koos toruarmatuuriga. Samuti paigaldati sagedusmuundur ning UV-sterilisaator (*Bewades 240 W/EU/N*). [10]

4.6.2 Juhtimine

Reservpuurkaevpumpla juhtimine toimub käsitsi. Puurkaev-pumpla pannakse tööle siis, kui veehaarde puurkaev-pumplad ei suuda varumahutisse pumbata piisavalt veekogust - see tähendab, et veetase mahutis langeb kriitilisele piirile. Reservpuurkaevpumpla pumpab vee otse võrku ning pumplat juhib sagedusmuundur. [3]

4.7 Kaugjälgimine

Jõgeva linna veevarustussüsteemi rajatised on ühendatud kaugjälgimise süsteemi. See tähendab, et operaatoril on võimalik seadmete tööd jälgida ning juhtida JVV kontorist. Kaugjälgimissüsteemiga kuvatakse olulised näitajad operaatori arvutiekraanil.

Käesoleval hetkel on JVV kontorist võimalik saada veevarustussüsteemi kohta järgmist teavet:

- pumpade (puurkaevude ja II-astme pumpla) töötamine/mitte töötamine;
- pumpade (puurkaevude ja II-astme pumpla) hetkevooluhulk;
- pumbatud vee ajaloo vaatamine ja graafiline esitamine;
- varumahuti veetase;
- Sagedusmuunduriga juhitavate pumpade töösagedus;
- Rõhk II-astme pumpla ja reservpuurkaevpumpla väljundil.

Lisaks sellele oleks kaugjälgimise süsteem võimeline kuvama ka puurkaevudes olevat veetaset, kuid kuna puurkaevudes puuduvad hüdrostaatilised veetasemeandurid siis seda informatsiooni hetkel ei kuvata. Lisaks sellele pole kaugvalves toodud puurkaevude tähistused selliselt, nagu on need teada kõigile teistele JVV töötajatele. Seega tekitab selline tähistus segadusi. Tähistus tuleb viia vastavusse JVV-s kasutatavate tähistega.

4.8 Ühisveevärk

4.8.1 Veetorustikud

Jõgeva Veevärk OÜ bilansis oleva Jõgeva linna veevõrgu kogupikkus on ca 25 km. Veevõrk on tupikharudega ringvõrk. Veevõrgu ehitusel on kasutatud valdavalt malm- ja plastiktorusid. Torustiku nimiläbimõõt on vahemikus DN25 kuni DN200. [10]

4.8.2 Registreerimata vesi

Registreerimata vee osakaal näitab, mitu protsenti veevõrku pumbatud veest ei jõudnud tarbijateni.

Registreerimata vee osakaalu leidmiseks kasutatakse järgmist valemit: [11]

$$Q_{kadu,\%} = \frac{Q_{võrku} - Q_{mõõdetud}}{Q_{võrku}} \cdot 100\% \quad (4.1)$$

kus: $Q_{võrku}$ – võrku antud veekogus, m^3 ;

$Q_{mõõdetud}$ – tarbimispunktis mõõdetud veetarbimine, m^3 .

Registreerimata vesi koosneb järgmistest osadest: [11]

- lekke veetorustikus;
- mõõtmisvead;
- Registreerimata vee tarbimine (sh illegaalsed tarbijad, tuletõrjevesi, torustike läbipesu jms.).

Jõgeva linna ühisveevärgi registreerimata vee osakaal aastatel 2010-2013 on esitatud alljärgnevalt (Tabel 4.6). Registreerimata vee osakaal on iga aastaga järk-järgult vähenenud, kuid võimalusi veekadude vähendamiseks peaks olema veel. See tähendab, et tuleb jätkata vanade (st vanemad kui 41 aastat) torustike väljavahetamisega uute vastu.

Tabel 4.6 Registreerimata vee osakaal Jõgeva linna ühisveevärgis aastatel 2010-2013 [12], [13], [14]

Aasta	Registreerimata vee osakaal, % (valem 4.1)
2010	45,4
2011	42,6
2012	34,4
2013	28,5

4.9 Jõgeva linna veetarbimine

Järgnevalt leitakse Jõgeva linna veetarbimine ning selle ebäühtlus. Need on vajalikud edasises töös pumpade töö modelleerimisel. Jõgeva linna veetarbimise leidmiseks kasutatakse JVV poolt väljastatud faktilisi andmeid 2013. aastal II-astme pumplast pumbatud veekoguste kohta. Kasutades faktilisi andmeid ka ühisveevärgis oleva registreerimata vee osakaalu kohta, leitakse aastane veetarbimine. Aastase veetarbimise alusel leitakse keskmine ööpäevane veetarbimine. Pärast seda teostatakse arvutus vastavalt standardile EVS 921:2014 Veevarustuse välisvõrk ning leitakse arvutuslik maksimaalse tunni veetarbimine.

4.9.1 Aastane veetarbimine

Alljärgnevalt (Tabel 4.7) on toodud Jõgeva linna II-astme pumplast ühisveevõrku pumbatud veekogus, registreerimata vesi ning vee tarbimine 2013. aastal.

Tabel 4.7 II-astme pumplast pumbatud vesi, registreerimata vesi ning veetarbimine 2013. aastal [3][15]

Pumbatud vesi (m ³)	Registreerimata vesi 28,5% (m ³)	Veetarbimine (m ³)
223 918	63 817	160 101

Aastas kokku pumbati veevõrku 223 918 m³ vett. Vastavalt registreerimata vee osakaalule, milleks oli 2013. aastal 28,5%, esines ühisveevärgis registreerimata veekoguseid 63 817 m³ ulatuses. Sellest tulenevalt on veetarbimine 160 101 m³. [3], [15]

4.9.2 Keskmise ööpäevane veetarbimine

Keskmine ööpäevane veetarbimine $Q_{kd,f}$ (m³/d) faktiliste tarbimisandmete järgi:

$$Q_{kd,f} = \frac{Q_{y,f}}{365} \quad (4.2)$$

kus: $Q_{y,f}$ – faktilistel andmetel põhinev aastane veetarbimine, m³/a;

365 – päevade arv aastas.

Jõgeva linna keskmine ööpäevane veetarbimine leitakse valemiga (4.2):

$$Q_{kd,f} = \frac{160\,101}{365} = 439 \text{ m}^3/d$$

4.9.3 Arvutuslik maksimaalne ööpäevane veetarbimine

Maksimaalne arvutuslik ööpäevane veetarbimine $Q_{maxd,a}$ (m³/d) leitakse järgnevalt: [16]

$$Q_{maxd,a} = K_{maxd} \cdot Q_{kd,f} \quad (4.3)$$

kus: K_{maxd} – maksimaalse ööpäevase tarbimise ebahühtlustegur ($K_{maxd} = 1,1 \dots 1,2$);

$Q_{kd,f}$ – faktilistel andmetel põhinev keskmine ööpäevane veetarbimine, m³/d.

Jõgeva linna arvutuslik maksimaalne ööpäevane veetarbimine leitakse valemiga (4.3).

Arvutuses kasutatavaks maksimaalse ööpäevase tarbimise ebahühtlusteguriks valitakse ($K_{maxd} = 1,2$). Tegur valitakse selline, sest selliselt leitud tulemus kajastab paremini tegelikke olusid.

$$Q_{maxd,a} = 1,2 \cdot 439 = 527 \text{ m}^3/d$$

4.9.4 Arvutuslik maksimaalse veetarbimisega tunni veevajadus

Arvutusliku maksimaalse veetarbimisega tunni veevajadus $Q_{maxh,a}$ (m^3/h) leitakse järgnevalt: [16]

$$Q_{maxh,a} = K_{maxh} \cdot \frac{Q_{maxd,a}}{24} \quad (4.4)$$

kus: K_{maxh} – maksimaalse tunni tarbimistegur, vt valem (4.5);

$Q_{maxd,a}$ – arvutuslik maksimaalne ööpäevane veetarbimine, m^3/d .

Maksimaalse tunni tarbimistegur K_{maxh} leitakse järgnevalt: [16]

$$K_{maxh} = A_{max} \cdot B_{max} \quad (4.5)$$

kus: A_{max} – tegur, mis arvestab heakorra taset ($A_{max} = 1,2 \dots 1,4$);

B_{max} – elanike arvust sõltuv tegur (vt Tabel 4.9).

Tabel 4.8 B_{max} sõltuvus elanike arvust [16]

Elanike arv N	B_{max}
<100	4,50
150	4,00
200	3,50
300	3,00
500	2,50
750	2,20
1 000	2,00
1 500	1,80
2 500	1,60
4 000	1,50
6 000	1,40
1 000	1,30
20 000	1,20
500 000	1,15
100 000	1,10
300 000	1,05

Jõgeva linnas elab 5557 inimest (seisuga 1. jaanuar 2014). [17] Sellest tulenevalt $B_{max}=1,5$.

Jõgeva linna maksimaalse tunni tarbimistegur leitakse valemiga (4.5). Arvutuses kasutatavaks maksimaalse tunni tarbimisteguriks valitakse ($A_{max} = 1,1$). Tegur valitakse väiksem kui on toodud standardis EVS 921:2014, sest selliselt leitud maksimaalse tunni vooluhulk kajastab paremini tegelikke olusid.

$$K_{maxh} = 1,1 \cdot 1,5 = 1,65$$

Jõgeva linna arvutuslik maksimaalne tunni veetarbimine leitakse valemiga (4.4):

$$Q_{maxh,a} = 1,65 \cdot \frac{527}{24} = 36,2 \text{ m}^3/h$$

4.9.5 Veetarbimise ebäühtlus

Veetarbimine ei ole ühtlane, vaid muutub vastavalt kellajale. Öösiti on veetarbimine väiksem ning päevasel ajal veetarbimine suurem. Ebäühtlus oleneb asula suuruselt ning tarbijate profiilidest.

Käesolevas töös leitakse Jõgeva linna veetarbimise ebäühtlus tundide lõikes. Selle jaoks kasutatakse tunnipõhiseid II-astme pumplast pumbatud vee koguseid ühe aasta pikkusel perioodil. Perioodiks valitakse 1. august 2012 – 31. juuli 2013. Selline perioodi valik tuleneb JVV üleminekust uuele infosüsteemile ning seetõttu puuduvad 2013. aasta augustist alates tunnipõhised andmed II-astme pumplast pumbatud veekoguste kohta. [15]

Tunnipõhiseid pumbatud vee koguseid töödeldakse, eemaldades selliste ööpäevade andmed, kus tunnipõhine pumbatud vee kogus erines oluliselt teistest sama tunni kogustest teistel päevadel. Ebanormaalselt suured ühe tunni jooksul võrku pumbatud vee kogused võisid tuleneda näiteks veetorustiku avariist või tuletõrje hüdrantide katsetamisest. Normaalsest väiksemad võrku pumbatud vee kogused võisid tuleneda elektrikatkestustest või torutööde ajal torude sulgemistest.

Alles jäänud andmete põhjal leitakse iga tunni keskmine pumbatud vee kogus. Seejärel leitakse keskmiselt suurima pumbatud veekogusega tund, milleks oli ajavahemikul 8:00-9:00 pumbatud veekogus. Maksimaalse tunni pumbatud veekogus võetakse baasväärtuseks ning selle põhjal leitakse tarbimiskordajad kõikide teiste tundide jaoks.

Vaadeldava tunni tarbimiskordaja $K_{t,i}$ leitakse järgnevalt:

$$K_{t,i} = \frac{Q_{h,f,i}}{Q_{maxh,f,II-aste}} \quad (4.6)$$

kus: $Q_{h,f,II-aste}$ – faktilistel andmetel põhinev vaadeldava tunni vooluhulk II-astme pumplast; m^3/h ;

$Q_{maxh,f,II-aste}$ – faktilistel andmetel põhinev ööpäeva maksimaalse tunni vooluhulk II-astme pumplast; m^3/h .

Jõgeva linna veetarbimise ebaühtlust kirjeldavad tarbimiskordajad on leitud valemiga (4.6). Tarbimiskordajad erinevatel kellaaegadel on esitatud lisas (Lisa 3). Leitud kordajad sisestatakse *EPANET 2.0* koostatud mudelisse ning nende põhjal on koostatud Jõgeva linna II-astme pumplast pumbatava vooluhulga ebaühtluse graafik tavaolukorras maksimaalsel ööpäeval (vt ptk 4.11.3 Joonis 4.2).

4.10 Tuletõrje veevarustus

4.10.1 Sissejuhatus

Jõgeva Veevärk OÜ sõlmib Jõgeva Linnavalitsusega igal aastal lepingu tulekustutusvee võtmiseks ja tuletõrjehüdrantide hooldamiseks. [14]

Lepingus ei sätestata tulekahjude samaaegsust, kustutusvee normvooluhulka ega tulekahju normatiivset kestust. Seetõttu kasutatakse tulekustutusvee vajaduse määramiseks standardit EVS 812-6:2012 Ehitise tuleohutus Osa 6: Tuletõrje veevarustus.

4.10.2 Samaaegsete tinglike tulekahjude arv

Samaaegsete tulekahjude tinglik arv asulates sõltub elanike arvust. Alljärgnevalt (Tabel 4.9) on toodud samaaegsete tulekahjude tinglik arv sõltuvalt asula elanike arvust. [18]

Tabel 4.9 Samaaegsete tulekahjude tinglik arv sõltuvalt asula elanike arvust [18]

Elanike arv	Samaaegsete tulekahjude tinglik arv
kuni 30 000	1
üle 30 000	2

Jõgeva linnas elab 5557 inimest (seisuga 1. jaanuar 2014). [17] Sellest tulenevalt samaaegsete tulekahjude tinglik arv 1.

4.10.3 Kustutusvee normvooluhulk

Jõgeva linna kustutusvee normvooluhulga ning ühe tulekahju kestvuse leidmisel saab määravaks linnas paiknevate IV kasutusviisiga hoonete olemasolu. Ühe tulekahju normvooluhulga ning tulekahju arvestusliku kestvuse määramisel tuleb lähtuda ehitise tuletõkkeseptsiooni piirpindala suurusest ning ehitise kõrgusest. Kuni kaheksa-korruseliste IV kasutusviisiga hoonete ühe tulekahju normvooluhulk ning tulekahju arvestuslik kestvus on toodud alljärgnevalt (Tabel 4.10). [18]

Tabel 4.10 kuni 8-korruselise IV kasutusviisiga ehitiste ühe tulekahju normvooluhulk ning arvestuslik tulekahju kestvus sõltuvalt ehitise tuletõkkeseptsiooni piirpindalast [18]

IV kasutusviisiga ehitis kuni 8 korrust (põlemiskoormus üle 600 MJ/m ²)		
Ehitise tuletõkkeseptsiooni piirpindala	Ühe tulekahju normvooluhulk Q ₀ (l/s)	Arvestuslik tulekahju kestvus h
kuni 800 m ²	20	3
üle 800 m ² kuni 1 600 m ²	25	3
üle 1600 m ² kuni 2 400 m ²	30	3
ehitis kaitstud AKS-ga	30	2

Jõgeva linna ühegi IV kasutusviisiga hoone tuletõkkeseptsiooni piirpindala ei ületa 800 m². Sellest tulenevalt on ühe tulekahju normvooluhulgaks 20 l/s ehk 72 m³/h ja tulekahju arvestuslikuks kestvuseks 3 tundi. See omakorda tähendab, et ühisveevärgi varumahutis tuleb säilitada puutumatut kustutusveevaru 216 m³.

4.11 II-astme pumpla vooluhulk

4.11.1 Sissejuhatus

Järgnevalt leitakse II-astme pumpla vooluhulk kahe erineva ühisveevärgis aset leidva olukorra kohta – tavaolukord ja eriolukord. Tavaolukorrana käsitletakse asula maksimaalse ööpäeva tavapärasest veetarbimist vastavalt ptk 4.9.4 leitud maksimaalsele tunni vooluhulgale ning ptk 4.9.5 leitud ebäühtlust kirjeldavatele tarbimiskordajatele. Eriolukorrana käsitletakse olukorda, kus asula tavaolukorra veetarbimisele lisandub ptk 4.10 leitud tulekustutusvee vajadus.

4.11.2 II-astme pumpla maksimaalne tunni vooluhulk tavaolukorras

Tulenevalt registreerimata veest tuleb II-astme pumplast pumbata võrku rohkem vett kui tarbitakse. Seetõttu tuleb II-astme pumplast vajatava vooluhulga leidmiseks tarbimise andmeid suurendada registreerimata vee võrra.

Arvutuslik II-astme pumpla maksimaalne tunni vooluhulk tavaolukorras $Q_{maxh,a,II-aste,tava}$ (m^3/h) leitakse järgnevalt:

$$Q_{maxh,a,II-aste,tava} = \frac{Q_{maxh,a}}{100 - Q_{kadu,\%}} \cdot 100\% \quad (4.7)$$

kus: Q_{maxh} – arvutuslik asula maksimaalne tunni veetarbimine; m^3/h ;

$Q_{kadu,\%}$ – registreerimata vee osakaal, %.

Jõgeva linna II-astme pumpla maksimaalne tunni vooluhulk tavaolukorras leitakse valemiga (4.7).

$$Q_{maxh,a,II-aste,tava} = \frac{36,2}{100 - 28,5} \cdot 100\% = 49,9 \text{ m}^3/h$$

4.11.3 II-astme pumpla vooluhulga ebäühtlus tavaolukorras

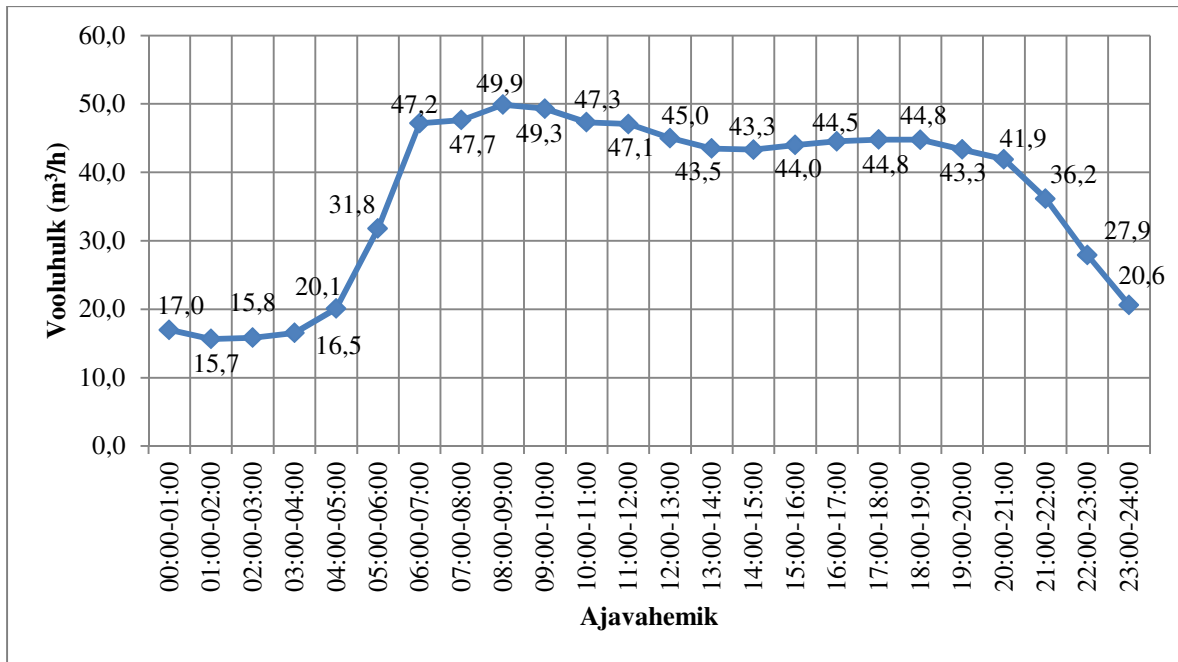
II-astme pumplast võrku pumbatavad vooluhulgad vaadeldaval tunnil $Q_{h,a,II-aste,i}$ (m^3/h) leitakse järgnevalt:

$$Q_{h,a,II-aste,i} = Q_{maxh,a,II-aste,tava} \cdot K_{t,i} \quad (4.8)$$

kus: $Q_{maxh,a,II-aste,tava}$ – II-astme pumpla arvutuslik maksimaalne tunni vooluhulk tavaolukorras; m^3/h ;

$K_{t,i}$ – tarbimise kordaja vaadeldaval tunnil.

Kasutades ptk 4.9.5 leitud ning lisas (Lisa 3.) toodud tarbimiskordajaid leitakse Jõgeva II-astme pumplast võrku pumbatavad vooluhulgad maksimaalsel arvutuslikul ööpäeval. Saadud tulemuste põhjal on koostatud II-astme pumplast võrku pumbatava vooluhulga ööpäevase ebäühtluse graafik (Joonis 4.2). Leitud vooluhulga ebäühtluse graafikut kasutatakse edaspidi modelleerimisel. Joonisel toodud vooluhulgad kirjeldavad varumahuti tühjenemist tavaolukorras maksimaalse ööpäeva jooksul.



Joonis 4.2 II-astme pumpla vooluhulkade ebäühtlus tavaolukorras maksimaalsel ööpäeval

4.11.4 II-astme pumpla vooluhulga ebäühtlus eriolukorras

Eriolukorras suureneb asula veevajadus kustutusvee normvooluhulga võrra. Suuremat vooluhulka vajatakse arvestusliku tulekahju kestvuse ulatuses.

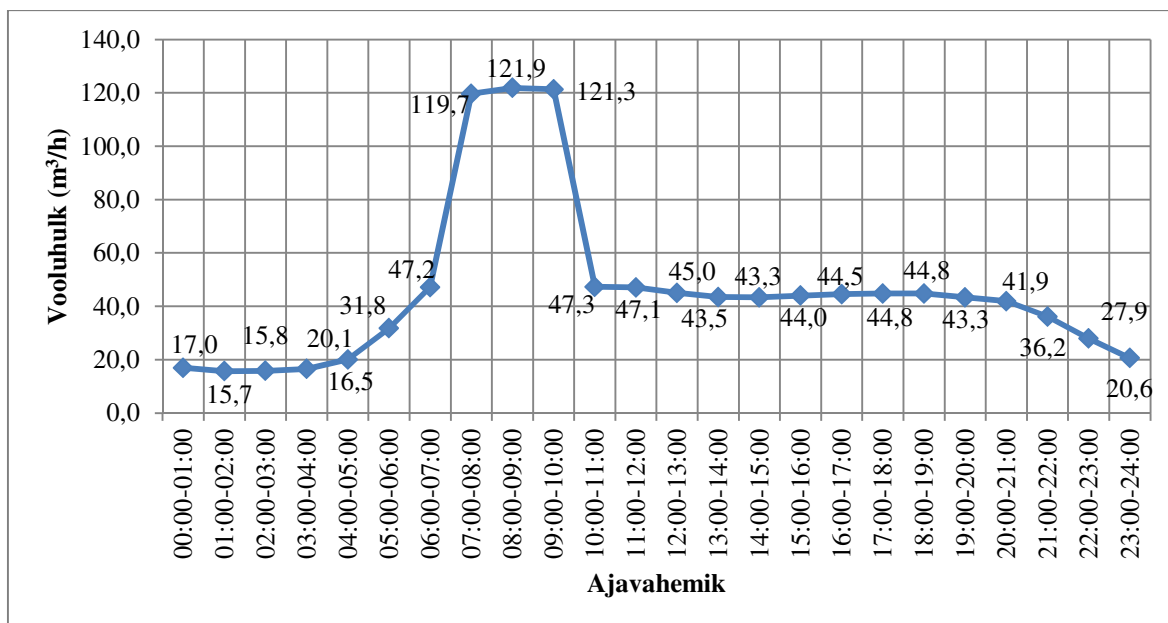
Arvutuslik vaadeldaval tunnil vajatav vooluhulk eriolukorras $Q_{h,a,II-aste,eri,i}$ (m^3/h) leitakse järgnevalt:

$$Q_{h,a,II-aste,eri,i} = Q_{maxh,a,II-aste,i,tava} + Q_{h,tuletõrje} \quad (4.9)$$

kus: $Q_{maxh,a,II-aste,i,tava}$ – vaadeldaval tunnil II-astme pumplast võetav arvutuslik vooluhulk tavaolukorras; m^3/h ;

$Q_{h,tuletõrje}$ – kustutusvee normvooluhulk; m^3/h .

Vastavalt ptk 4.10 on Jõgeva linna kustutusvee normvooluhulk $72 m^3/h$ ning tulekahju tinglikuks kestvuseks 3 tundi. Seega leitakse II-astme pumpla vooluhulga ebäühtlus valemiga (4.9). Eriolukorras vaadeldakse kõige kriitilisemat olukorda ehk seda, kui tulekahju peaks toimuma sellel ajal kui on kõige suurem veetarbimine ehk ajavahemikul 07:00-10:00. Saadud ebäühtluse graafik on esitatud alljärgnevalt (Joonis 4.3). Leitud vooluhulga ebäühtluse graafikut kasutatakse edaspidi modelleerimisel. Joonisel toodud vooluhulgad kirjeldavad varumahuti tühjenemist eriolukorras maksimaalse ööpäeva jooksul.



Joonis 4.3 II-astme pumpla vooluhulkade ebaühtlus eriolukorras maksimaalsel ööpäeval

4.12 Puurkaevude töö uurimine

4.12.1 Eesmärk

Tulenevalt ptk 4.2.3 tuvastatud erinevusele puurkaevude asetuses looduses, teostatakse puurkaevude töö uurimine. Uurimise käigus mõõdetakse veetaset puurkaevus nii töö kui ka seisu ajal. Samuti fikseeritakse puurkaevu pumba tootlikkus tööolukorras ning surve puurkaevu päises tööolukorras. Mõõtmise eesmärk on saada teada, kui palju langeb veetase puurkaevus tööolukorras. Samuti soovitakse teada, kui suurt vooluhulka annavad puurkaevu pumbad tööolukorras puurkaevus oleva veetaseme korral ning kui suur on puurkaev-pumplas ning toorveetorus tekkiv kogu vastusurve. Saadav informatsioon on oluline hiljem hüdraulilise mudeli koostamiseks ning selle kalibreerimiseks.

4.12.2 Mõõtmise meetodika

Käesoleva töö raames mõõdetavad veetasemed on indikatiivsed ning ei kvalifitseeru puurkaevu hüdrogeoloogiliste parameetritena. Hüdrogeoloogilisi parameetreid ei määrata, sest selle teostamine eeldaks proovipumpamisele kehtestatud nõuete täitmist, mida ei ole käesoleva töö autoril võimalik täita. Seda eelkõige seetõttu, et hüdrogeoloogiliste parameetrite määramiseks tehtava proovipumpamise ajal tuleb puurkaevu eksploateerimisel saavutada 1,3 korda suurem tootlikkus, kui on projektijärgne tootlikkus. Seda pole aga kahest puurkaevust võimalik saavutada. Samuti pole võimalik staatilise veetaseme määramiseks puurkaevusid pikemaks ajaks sulgeda. [19]

Mõõtmise käigus mõõdetakse puurkaevu staatiline veetase olukorras, kui puurkaevu pump seisab. Mõõtmist alustatakse alles siis, kui pumba seisuaeg on pikem kui üks tund. Dünaamiline veetase mõõdetakse sellises olukorras, kui puurkaevu pump töötab täisvõimsusel. Mõõtmist alustatakse siis, kui pumba tööaeg on olnud pikem kui üks tund. Ühe tunni pikkune ooteaeg enne mõõtma asumist on valitud, kuna töö autori hinnangul iseloomustab selliselt stabiliseerunud veetase kõige paremini tööolukorda.

Lisaks veetasemetele fikseeritakse pumba tootlikkus mõõdetud dünaamilise veetaseme korral ning puurkaevu päises oleva manomeetri näit pumba tööolukorras.

Puurkaevude veetasemete mõõtmiseks kasutatakse portatiivset põhjavee taseme mõõdikut *Englo SOND-1*. Seade koosneb trumliga käsivintsist, mõõteseadmest, veetaseme andurist, käsivintsi trumlile keritud isolatsioonkattega trossist ja käsivintsi toruja telje sees olevast elektroonikaskeemist. Seadme põhjavee taseme registreerimise täpsus on +/- 1 cm. Mõõtmise +/- 0.00 punktiks on puurkaevu päis.

Puurkaevu pumba tootlikus määratakse puurkaev-pumplates paiknevate ultraheli vooluhulgamõõturite abil (*Kamstrup Multical 62*). Puurkaev-pumplas ning toorveetorus tekkiv vastusurve määratakse puurkaev-pumplates paiknevate manomeetrite näitude abil. Manomeeter paikneb puurkaev-pumplates vahetult pärast veetõstetoru väljumist puurkaevust. See tähendab, et manomeetri järel paikneb muu vajalik toruarmatuur (kaks siibrit, tagasilöögiklapp, mudakoguja, veearvesti). Puurkaev-pumpla toruarmatuuri skeem vt ptk 4.2.6.

4.12.3 Tulemused

Puurkaevude veetasemete mõõtmised PK.1-st teostati 30.04.2014 ning PK.2, PK.3 ja PK.4-st teostati 6.05.2014. Mõõtmistulemused ning nende põhjal tehtud arvutuste tulemused on esitatud alljärgnevalt (Tabel 4.11). Lisaks mõõdetud parameetritele on leitakse arvutuslikult veel ka veetaseme alandus ning erideebit. Veetaseme alandus leitakse valemiga (4.10) ning erideebit leitakse valemiga (4.11).

Veetaseme alandus H_{va} (m) leitakse järgnevalt:

$$H_{va} = H_{dvt} - H_{svt} \quad (4.10)$$

kus: H_{dvt} – mõõdetud dünaamiline veetase, m;

H_{svt} – mõõdetud staatiline veetase, m.

Puurkaevu erideebit q_{PK} ($m^3/(h \cdot m)$) leitakse järgnevalt:

$$q_{PK} = \frac{Q_t}{H_{va}} \quad (4.11)$$

kus: Q_t – puurkaevu pumba tootlikkus tööolukorras, m^3/h ;

H_{va} – veetaseme alandus, m .

Mõõdetud tulemustest paistab eriliselt välja puurkaev PK.3, mille erideebit on 1,91 $m^3/(h \cdot m)$. Ülejäänud kolmel puurkaevul on erideebit küllaltki sarnane – vahemikus 0,54-0,63 $m^3/(h \cdot m)$. See tähendab, et kui puurkaevusid eksploateerida samadel tootlikustel, langeks puurkaevu PK.3 veetase kõige vähem. Lisaks sellele on olulised erinevused puurkaevu päise juurest mõõdetud rõhkudes.

Mõõdetud parameetrite põhjal otsustati, et töö koostamisel kasutatakse puurkaevu maksimaalse tootlikkuse näitajana ja puurkaevude asukoha määramisel Keskkonnaregistri veebirakenduses olevaid andmeid. Hüdraulilistes arvutustes kasutatakse puurkaevus oleva veetaseme andmetena töö autori poolt käesoleva töö raames mõõdetud veetasemeid ning nende alusel leitud erideebiteid.

Tabel 4.11 Puurkaevude mõõdetud parameetrid seisu- ja tööolukorras

Puurkaevu andmed				
Pos nr	PK.1	PK.2	PK.3	PK.4
Passi nr	5362	5361	5360	5359
Mõõdetud parameetrid pumba seisujal				
Staatiline veetase (m)*	22,0	20,0	19,0	16,4
Mõõdetud parameetrid tööolukorras				
Vooluhulk (m^3/h)	17,3	19,5	13,0	12,0
Dünaamiline veetase (m)*	53,1	56,0	25,8	35,5
Rõhk (bar)	3,3	1,1	0,5	3,0
Arvutuslikult leitud parameetrid (valem 4.10 ja 4.11)				
Veetaseme alandus (m)	31,1	36,0	6,8	19,1
Erideebit ($m^3/(h \cdot m)$)	0,56	0,54	1,91	0,63

*Mõõdetud staatiline- ja dünaamiline veetase ei kvalifitseeru puurkaevu hüdrogeoloogiliste parameetritena, sest mõõtmise ajal ei olnud täidetud kõiki proovipumpamisele kehtestatud nõudeid

5. VEEHAARDE PUURKAEV-PUMPLATE TÖÖ ANALÜÜS

5.1 Metoodika

Käesolevas peatükis analüüsitakse veehaarde puurkaev-pumplate tööd. Analüüsi teostamiseks koostatakse veevarustussüsteemi hüdrauliline mudel. Mudeli koostamiseks kasutatakse vabavaralist tarkvara *EPANET 2.0*. Mudelit kalibreeritakse vastavalt ptk 4.12.3 esitatud mõõtmistulemuste abil. Kalibreerimise eesmärgiks on saada mudeliga sama vooluhulk, nagu on mõõtmistulemustes. Seetõttu tekitatakse mudelisse selline kohtakistus, et saavutatakse mõõdetud vooluhulk.

Kõigepealt analüüsitakse puurkaev-pumplate tööolukorda nelja pumba koostöötamisel. Sellises olukorras leitakse puurkaevu pumpade tööpunktid, kasutegurid ning elektri erikulud. Pärast seda leitakse pumpade koostöötamisel tekkivad hõõrde- ja kohtsurvekaod.

Lisaks sellele analüüsitakse veel ka varumahuti veetaseme muutuseid kahes erinevas ühisveevärgis aset leidvas olukorras – tavaolukord ja eriolukord. II-astme pumplast pumbatava vooluhulga ebäühtlus nii tava- kui ka eriolukorras on leitud ptk 4.11. *EPANET 2.0* mudelist leitakse ka pumpade arvutuslikud elektrikulud tavaolukorras vastavalt ptk 5.6 leitud elektri koguhindade alusel. Eriolukorras elektrikulu ei leita, sest eriolukord esineb küllaltki harva ning see ei mõjuta märkimisväärselt aastast elektrikulu. Modelleeritakse 24 h pikkust perioodi ning varumahuti algtasemeks valitakse 3,40 m. Mudeli koostamise aluseks on arvutusskeem 1 (vt graafiline osa Joonis 4).

5.2 Tööolukorra analüüs

5.2.1 Pumpade tööpunktid

Kasutades *EPANET 2.0*-s koostatud mudelit, leitakse puurkaevu pumpade tööolukorra tootlikkused, kasutegurid ning elektri erikulud. Vastavalt puurkaevu pumpade kasutegurite graafikutele (vt Lisa 4, 5 ja 6) leitakse ka pumpade maksimaalsed võimalikud kasutegurid. Saadud tulemused on koodatud tabelisse (Tabel 5.1).

Mudeli koostamisel tuvastati ning ka ptk 4.12.3 mõõdetud vooluhulkadest selgus, et puurkaevu PK.3 pumba tootlikkus ületab pumba graafiku (vt Lisa 4) järgset maksimaalset tootlikkust. Pump töötab tootlikkusel 13 m³/h, kuid pumba graafik lõppeb ära tootlikkusel 12 m³/h. Selline pumba ekspluateerimine kahjustab nii pumba tööratust kui ka pumba ajamit. See tähendab, et pump on valesti dimensioneeritud ning vaja oleks suuremat

vastusurvet. Mudeli koostamiseks pikendati pumba Q-H graafikut ja kasuteguri graafikut kuni tootlikkuseni 13 m³/h ning leitud parameetrid sisetati *EPANET 2.0*.

Tabel 5.1 Puurkaevupumpade tööolukorra tootlikkused, kasutegurid ja elektri erikulud

Pos nr	PK.1	PK.2	PK.3	PK.4
Passi nr	5362	5361	5360	5359
Puurkaevu passijärgne tootlikus (m ³ /h)	10,8	13,0	17,3	25,6
Puurkaevu pump	Saer NR-151D/12	Saer NR-151D/12	Calpeda 4SD 10/24	Hydro Pompe E9024KS
Puurkaevu pumba tootlikus tööolukorras (m ³ /h)	17,4	19,7	13,0	12,0
Kasutegur tööolukorras (%)	62,0	64,7	35,3	66,3
Pumba max kasutegur (%)	67,5	67,5	61,0	67,0
Elektri erikulu (kWh/m ³)	0,40	0,37	0,29	0,32

Ülevalpool toodud tabelist (Tabel 5.1) selgub, et puurkaevust PK.1 ning PK.2 pumbatakse välja rohkem vett kui on puurkaevu passijärgne tootlikkus. Puurkaevu PK.4 pump töötab kõige parema kasuteguri juures. Ühtlasi töötab see pump ka kõige lähemal pumba maksimaalsele kasutegurile. Puurkaevude PK.1 ja PK.2 pumbad töötavad samuti küllaltki lähedal pumba maksimaalsele kasutegurile. Silma paistab puurkaevu PK.3 pump, mis töötab väga halva kasuteguri (35,3%) juures. Kui vaadata elektri erikulu, siis selgub, et kõige vähem kulub elektrit vee pumpamisel puurkaevust PK.3 ja seda vaatamata väga madalale kasutegurile. See on põhjustatud puurkaevu PK.3 kõrgest dünaamilisest veetasemest, mis omakorda on põhjustatud puurkaevu pumba väiksest vooluhulgast ning puurkaevu suurest erideebitist. Samuti puudub PK.3 puurkaev-pumplas kalibreerimisega tekitatud kohttakistus.

5.2.2 Survekaod torustikes

Alljärgnevalt (Tabel 5.2) tuuakse veehaarde puurkaev-pumplate tavaolukorras tekkivad hõrdesurvekaod veetõstetorudes ning toorveetorudes. Survekaod võetakse *EPANET 2.0*-s koostatud mudelist. Hõrdesurvekadude leidmise meetoodika on toodud ptk 3. Veetõstetorude ekvivalentkaredus on toodud ptk 4.2.4 ning toorveetoru ekvivalentkaredus

on toodud ptk 4.3. Tabelis on toodud survekaod maksimaalse vooluhulga juures ehk nelja pumba korraga töötamisel.

Tabel 5.2 Tavaolukorras torustikes tekkivad survekaod

Pos nr	Nimetus	Siseläbimõõt (mm)	Pikkus (m)	Vooluhulk (m ³ /h)	Survekadu (m)
VTT.1	Veetõstetoru	56,3	73	17,4	4,92
VTT.2	Veetõstetoru	56,3	61	19,7	5,16
VTT.3	Veetõstetoru	56,3	61	13,0	2,35
VTT.4	Veetõstetoru	56,3	67	12,0	2,23
TVT.1	Toorveetoru	200,0	100	17,4	0,03
TVT.2	Toorveetoru	200,0	100	37,1	0,11
TVT.3	Toorveetoru	200,0	100	50,1	0,20
TVT.4	Toorveetoru	200,0	1075	62,1	3,28

Tabelist on näha, et toorveetorus tekkivad survekaod on väga väiksed. Suuremad survekaod tekivad veetõstetorudes. Sellest võib järeldada, et isegi nelja puurkaev-pumpla korraga töötamisel, ei suurenda see toorveetorus tekkivat survekadu sedavõrd, et see avaldaks olulist mõju pumpade tootlikkusele või pumpade elektrikulule.

5.2.3 Kohtsurvekadu

Lisaks hõordesurvekaole tekivad torustikus veel ka kohtsurvekaod. Alljärgnevalt (Tabel 5.3) tuuakse puurkaev-pumplates tekkivad kohtsurvekaod. Kohtsurvekadude leidmiseks kasutatakse *EPANET 2.0-i*. Kohtsurvekadude leidmise meetodika on toodud ptk 3. Kohttakistusteguritena kasutatakse ptk 4.2.6 toodud väärtusi. Samuti on tabelis toodud survekadu, mis tekib vooluhulgamõõturis arvutusvooluhulgal. See leitakse valemiga (5.1) [7]

Lisaks eespool toodule leitakse veel ka kalibreerimisega tekitatud kohtsurvekadu. Selle eesmärk on panna puurkaev-pumplad tööle vastavalt ptk 4.12 leitud puurkaevu pumpade tegelikele jõudlustele. Kalibreerimisega tekitatud kohttakistuse kohttakistustegur on toodud graafilises osas joonisel 4.

Vooluhulgamõõturis tekkiv kohtsurvekadu Δp_a (m) arvutusvooluhulgal leitakse järgmiselt: [7]

$$\Delta p_a = \Delta p_{am} \frac{Q_a^2}{Q_{am}^2} \quad (5.1)$$

kus: Δp_{am} – vooluhulgamõõturi rõhukadu teadaoleval vooluhulgal, m;

Q_a – arvutusvooluhulk, m^3/h ;

Q_{am} – teada olev vooluhulk, m^3/h .

Tabel 5.3 Puurkaev-pumplates tavaolukorras tekkivad kohtsurvekaod

Pos nr	PK.1	PK.2	PK.3	PK.4
Passi nr	5362	5361	5360	5359
Vooluhulk (m^3/h)	17,4	19,7	0,0	12,0
Kohtsurvekadu toruarmatuurist (m)	2,3	2,9	0,0	1,1
Kohtsurvekadu vooluhulgamõõturist (m) (valem 5.1)	1,9	2,4	0,0	0,9
Kohtsurvekadu kalibreerimisest (m)	22,7	15,5	0,0	30,0
Kohtsurvekadu kokku (m)	26,8	20,8	0,0	31,9

Eespool toodud tabelist on (Tabel 5.3) näha, et nii toruarmatuurist kui ka vooluhulgamõõturist tekkivad kohtsurvekaod on väga väikesed. Enamuse tekkivast kohtsurvekaost põhjustab kalibreerimisega tekitatud kohtsurvekadu. Tabelist on näha, et puurkaev-pumplas PK.3 ei teki kalibreerimisest kohtsurvekadu. Seda kinnitab ka ptk 4.12.3 raames mõõdetud manomeetri näit 0,5 bar). Negatiivses võtmes kerkib esile puurkaev-pumpla PK.4, kus on kalibreerimisest tekkiv kohtsurvekadu 30 m ning seda juba vooluhulgal 12 m^3/h . Kui vooluhulka suurendada kuni puurkaevu passijärgse tootlikkuseni, suureneb oluliselt veel ka kalibreerimisest tekkiv kohtsurvekadu.

5.2.4 Manomeeter näit

Analüüsidest leitud koht- ja hõõrdesurvekadusid, on ptk 4.12 mõõdetud tegelikud surved puurkaevude PK.1 ja PK.4 päiste juures põhjendamatult suured. Seda näitavad ka kalibreerimisest tekkivad kohtsurvekaod. Manomeeter näitab puurkaev-pumplas tekkivat koht- ja hõõrdesurvekadu, toorveetorus tekkivat koht- ja hõõrdesurvekadu ning maapinna kõrguse erinevusest tulenevat vajalikku survet. Sellest tulenevalt peaks kõikides puurkaev-

pumplates olema manomeetri näidud peaaegu võrdsed. Manomeetri näidud peaksid jääma vahemikku 0,5-1,5 bar.

5.3 Juhtimine

Käesolevas peatükis leitakse analüüsis kasutatav puurkaev-pumplate juhtimise kombinatsioon. Puurkaev-pumplate juhtimise reeglid on täpsemalt toodud ptk 4.2.2. Kuna reeglid ei ole rakendatud kindlatele puurkaevudele, vaid roteerivad, siis tekiks modelleerimisel 16 erinevat võimalikku kombinatsiooni. Kõikide kombinatsioonide väljatoomine käesolevas töös ei ole aga mõistlik. Seetõttu tehakse siinkohal lihtsustus ning kasutatakse ainult ühte võimalikku kombinatsiooni. Kombinatsiooni valikul lähtutakse eespool toodud puurkaevu pumpade elektri erikulust (Tabel 5.1) ning kombinatsioon koostatakse selliselt, et analüüsiga saadav elektrikulu oleks minimaalne (st, et esimesena lülituvad töösse väiksema elektri erikuluga pumbad). Analüüsis kasutatav puurkaevude juhtimise kombinatsioon on esitatud alljärgnevalt (Tabel 5.4).

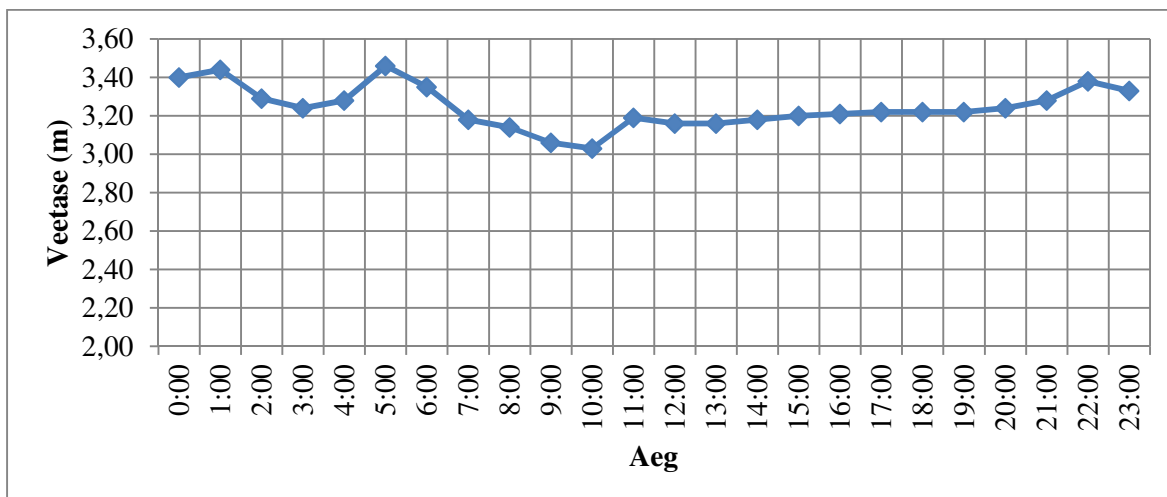
Tabel 5.4 Puurkaevude juhtimisel kasutatavad reeglid ning sellele vastavad pumpade lülituspunktid

Puurkaev	Rakendatav reegel	Pump töösse (m)	Pump seisma (m)
PK.1	R.3	3,00	3,20
PK.2	R.2	3,20	3,40
PK.3	R.1	3,30	3,50
PK.4	R.4	3,20	3,50

5.4 Tavaolukord

5.4.1 Varumahuti veetase

Alljärgnevalt (Joonis 5.1) on toodud ööpäevane veetaseme muutus varumahutis tavaolukorras.



Joonis 5.1 Ööpäevane veetaseme muutus varumahutis – tavaolukord

Jooniselt on näha, et tulenevalt veehaarde puurkaev-pumplate töö juhtimisele ei lange veetase varumahutis alla 3,00 m. Veetase püsib vahemikus 3,03-3,44 m. Minimaalne veetase on kell 10:00 tasemel 3,03 m ning sellele veetasemele vastav vee maht on 196 m³. Tulenevalt II-astme pumpade blokeerimisest tasemel 1,45 m (mahuga 94 m³) jääb puutumatuks veevaruks 102 m³, kuid see moodustab ainult poole vajalikust puutumast tuletõrje veevarust.

5.4.2 Arvutuslik elektrikulu

Alljärgnevalt (Tabel 5.5) on toodud puurkaevu pumpade arvutuslikud elektri erikulud ning kulud elektrienergiale maksimaalsel ööpäeval, mis on leitud *EPANET 2.0* abil.

Tabel 5.5 Arvutuslik elektrikulu tavaolukorras

Puurkaev	Pump	Tööaeg (h/d)	Pumbatud vesi (m ³)	Elektri erikulu (kWh/m ³)	Kulu päevas (€/d)
PK.1	Saer NR-151D/12	1,0	17,2	0,41	0,70
PK.2	Saer NR-151D/12	16,6	327,3	0,37	12,08
PK.3	Calpeda 4SD 10/24	23,1	300,9	0,29	8,29
PK.4	Hydro Pompe E9024S	20,8	250,2	0,32	7,71
Kokku:					28,78

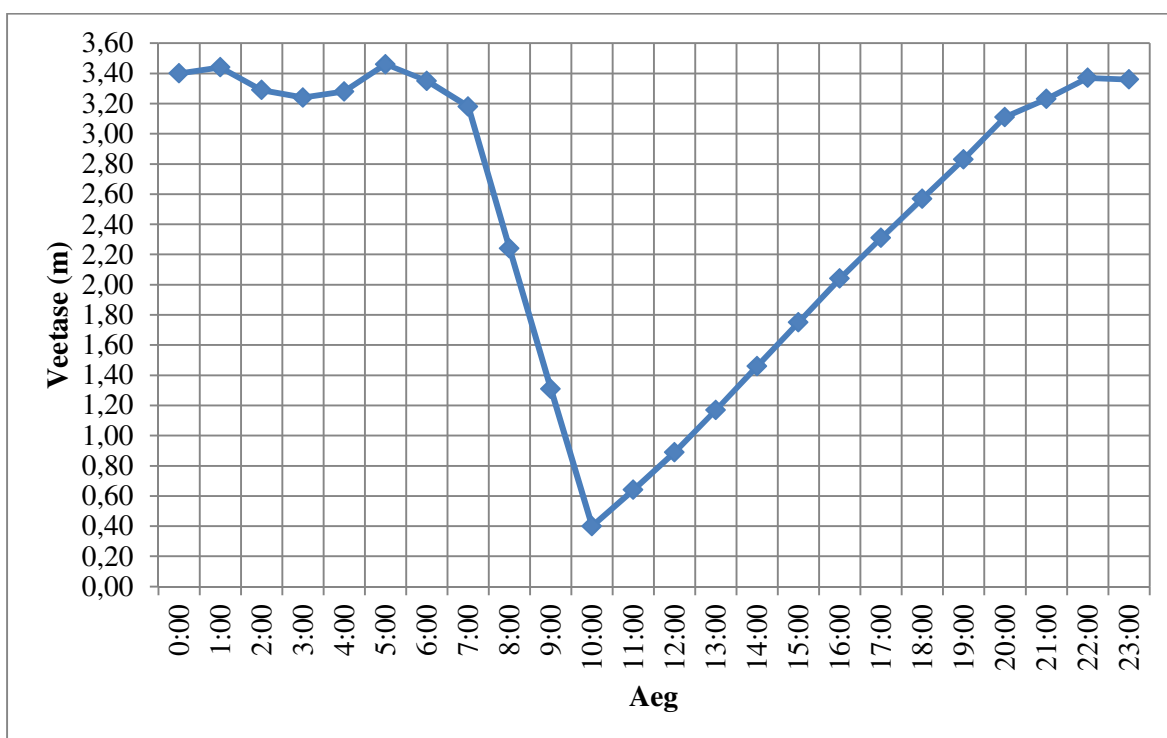
Eespool toodud tabelist selgub, et kõige enam ekspluateeritakse neid puurkaevusid, kust pumpamine on kõige väiksema erikuluga (PK.3 ja PK.4). Ning kõige kehvema elektri erikuluga puurkaevu peaaegu ei kasutatagi. Arvestades kehtivaid elektriga seotud kWh põhiseid hindasid, on arvutuslik kulu elektrile maksimaalsel ööpäeval 28,78 €.

Samuti on tabelist näha, et analüüsis kasutatud juhtimiskombinatsiooni korral, ületatakse puurkaevudele vee erikasutuslooga määratud pumbatava vee koguseid (vt ptk 4.2.5). Seetõttu ei ole kogu aeg võimalik sellist juhtimiskombinatsiooni kasutada ning operaator peab jälgima, et ei ületataks ka vee erikasutuslooga määratud lubatud pumbatava vee koguseid.

5.5 Eriolukord

5.5.1 Varumahuti veetase

Alljärgnevalt (Joonis 5.2) on toodud ööpäevane veetaseme muutus varumahutis eriolukorras.



Joonis 5.2 Ööpäevane veetaseme muutus varumahutis – eriolukord (tulekahju 07:00-10:00)

Jooniselt on näha, et tulenevalt tulekahju toimumisega ajavahemikul 07:00-10:00, langeb veetase varumahutis allapoole seadistatud pumpade blokeeringu taset, milleks on 1,45 m ning II-astme pumbad lülituvad välja. See tähendab seda, et veevarustussüsteem ei täida oma ülesandeid ehk ei taga tarbijatele vajalikku vooluhulka ega tuletõrje vett hüdrantidele.

Veetase sai langeda alla poole II-astme pumpade blokeeringu taset, sest mudelis ei kasutatud pumpade blokeerimist, et täpsemini näha, kui palju veetase varumahutis eriolukorras langeks.

5.6 Elektritarbimine

Elektrienergia jaguneb aktiivenergiaks ning reaktiivenergiaks. Aktiivenergia mõõtühik on kilovatt tund (kWh) ning reaktiivenergia mõõtühik on kilo volt amper reaktiiv tund (kvarh). Reaktiivenergia on vajalik elektrimootorite ja toiteplokkide tööks, seega on reaktiivenergia põhilisteks tarbijateks tööstusettevõtted, mille töös kasutatakse palju elektrimootoreid. Kodukliendilt peakaitsmega kuni 63 A reaktiivenergia eest eraldi tasu ei küsita. Äriklendil peakaitsmega üle 63 A tuleb tasuda ka tarbitud reaktiivenergia eest. [20]

Veehaardest varumahutisse vee transportimisega seotud elektrienergia tarbimine kuude lõikes koos maksumusega 2013. aastal on esitatud lisas (Lisa 2). Tabelis on toodud ka pumbatud vee kogused kuude lõikes. 2013. aastal pumbati veehaardest 222 933 m³ vett. Pumpamiseks kulus 104 146 kWh aktiivenergiat ning 108 919 kvarh reaktiivenergiat. Elektrienergiale kulus kokku koos käibemaksuga 12 963 €. Elektritarbimist mõõdetakse kahes erinevas hinnatariifis – päevatariif ja öötariif. Päevatariifil tarbitud elektrienergia moodustas 57,7% ning öötariifil tarbitud elektrienergia moodustas 42,3% tarbitud energiast. Elektri erikulu oli 0,47 kWh/m³. [21]

Elektri võrguteenust osutab JVV-le Elektrilevi OÜ ning veehaarde tarbimiskohas kasutatakse hinnapaketti „Võrk madalpinges alajaamas – VMA4“. Elektrienergiat ostetakse Eesti Energia AS-i käest hinnapaketi „Fikseeritud hinna ja börsihinnaga kogutarne (1 ajatsoon)“ alusel. Veehaarde tarbimiskoha elektrienergia tarbimisega seotud ühikhinnad on esitatud tabelis (Tabel 5.6). Tabelist on näha, et elektri edastamine on öötariifil odavam kui päeval, kuid elektri hind on nii öösel kui päeval sama hinnaga. Kuna elektri hind sõltub ka elektri börsihinnast ning on iga kuu mõnevõrra erinev, siis on tabelis (Tabel 5.6) toodud elektri keskmine hind 2013. aastal. [21]

Tabel 5.6 Veehaarde tarbimiskoha elektrienergia tarbimisega seotud ühikhinnad 2013. aastal [21]

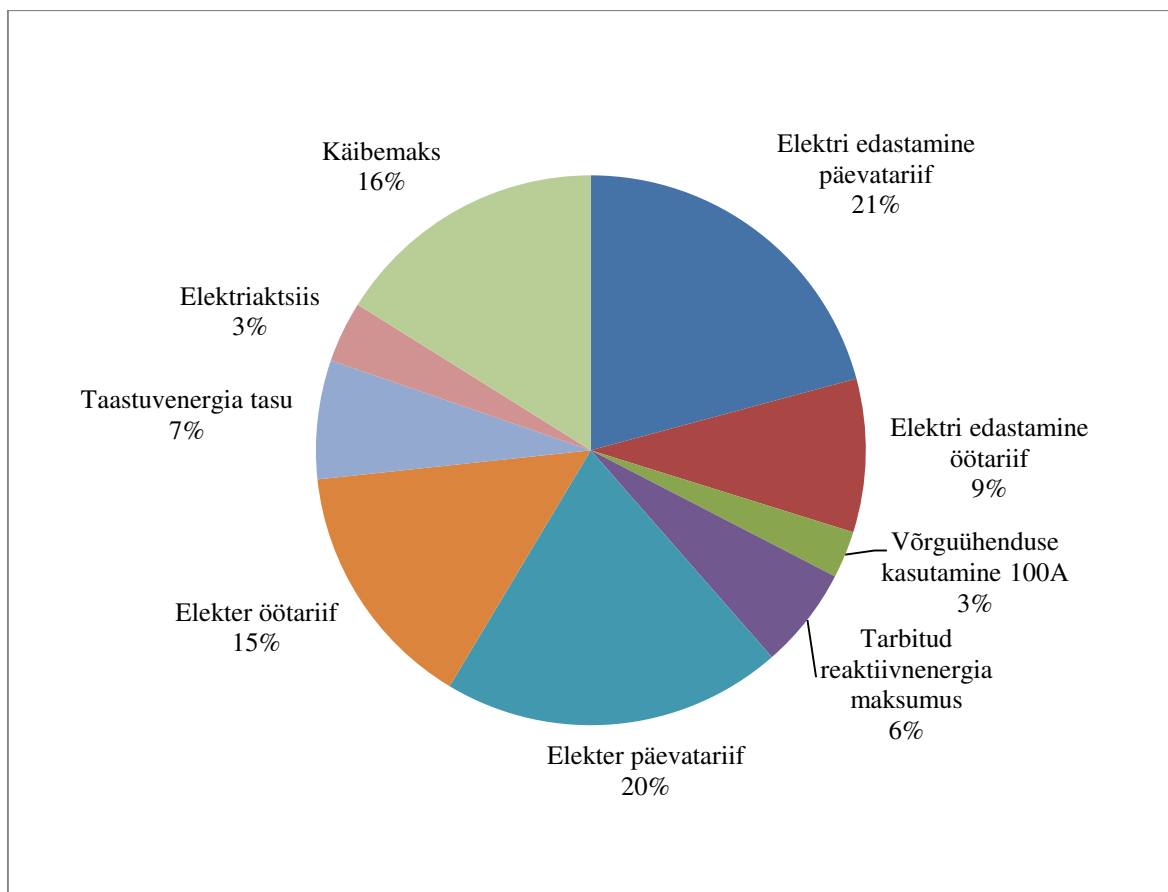
Kululiik	Ühikhind	Ühik	Märkused
Elektri edastamine päevatariif	0,04490	€/kWh	
Elektri edastamine öötariif	0,02650	€/kWh	
Võrguühenduse kasutamine 100A	0,30000	€/A	
Tarbitud reaktiivenergia maksumus	0,07100	€/kvarh	
Elekter päevatariif	0,04320	€/kWh	2013. aasta keskmine hind
Elekter öötariif	0,04320	€/kWh	2013. aasta keskmine hind
Taastuenergia tasu	0,00870	€/kWh	
Elektriaktsiis	0,00447	€/kWh	
Käibemaks	20	%	

Alljärgnevalt (Tabel 5.7) on leitud elektri koguhind päevatariifil ning elektri koguhind öötariifil. Siinkohal on arvesse võetud elektri edastamise, elektri, taastuenergia tasu ning elektriaktsiisi ühikhinnad. Leitud hind ei sisalda püsitasusid nagu võrguühenduse kasutamise tasu, tarbitud reaktiivenergia maksumust ning käibemaksu. Tabelist on näha, et öötariifi koguhind on praeguste lepingute juures 18,2% odavam, kui päevatariif.

Tabel 5.7 Elektri koguhind 2013. aastal

Nimetus	Hind	Ühik
Elektri koguhind (päevatariif)	0,1013	€/kWh
Elektri koguhind (öötariif)	0,0829	€/kWh

Veehaarde tarbimiskoha elektrienergia tarbimisega seotud kulude struktuur 2013. aastal on esitatud alljärgnevalt (Joonis 5.3). Jooniselt on näha elektritarbimisega seotud kulude osatähtsus koguarvest. Jooniselt tuleb välja, et tarbitud reaktiivenergia moodustas 2013. aastal 6% kogu elektritarbimisega seotud kuludest, mis teeb kokku 773,32 €. [21]



Joonis 5.3 Veehaarde tarbimiskoha elektrienergia kulude struktuur 2013. aastal.[21]

5.7 Tuvastatud probleemid

Vastavalt eelpool toodud analüüsile on veehaarde puurkaev-pumplate probleemid järgmised:

- Töö koostamise alguses oli segadus puurkaevude järjestuses veehaarde kinnistul ning puurkaevude tehnilistes andmetes. Selle lahendamiseks teostati puurkaevude veetasemete mõõtmise ning otsustati, et lähtutakse Keskkonnaregistri veebirakenduses olevatest andmetest puurkaevude järjestuse ning tehniliste andmete osas.
- Puurkaevus PK.1 olev pump oli töö koostamise alguses 55 m sügavusel mõõdetuna puurkaevu päisest. Tulenevalt mõõdetud dünaamilisest veetasemest, milleks oli 53,1 m (mõõdetuna puurkaevu päisest), asus puurkaevu pump väga lähedal dünaamilisele veetasemele. Sellest tulenevalt võis puurkaevu pump mingitel juhtudel hakata õhku kaasa haarama. Probleemi lahendas JVV juba käesoleva töö koostamise ajal pumba paigaldamisega 18 m võrra sügavamale.
- Puurkaevude PK.1 ja PK.2 pump ületavad tööolukorras puurkaevude passidejärgseid tootlikkusi.

- Puurkaevu PK.4 ekspluateritakse oluliselt madalamal tootlikkusel, kui on puurkaevu passijärgne tootlikkus.
- Puurkaevu PK.3 pumba tööpunkt asub väljaspool pumbagraafikut. Tööpunkt asub graafiku paremas servas ehk tegelik vastusurve on liiga väike.
- Puurkaevudel on erinevad erideebitid.
- Varumahutis on reguleerivat mahtu 134 m^3 . Varumahutis ei ole vajalikku puutumatut tuletõrje veevaru 216 m^3 . Samuti ei taga varumahuti piisavat varu veetarbimise ebaühtluse tagamiseks ning ka avariilukordadeks. Vajalik varumahuti maht peaks olema vähemalt 497 m^3 .
- Veehaarde pumbad ei suuda tagada eriolukorras varumahutisse piisavalt suurt vooluhulka. Sellest tulenevalt langeb veetase varumahutis allapoole lubatud piiri.
- Puurkaev-pumplates PK.1 ja PK.4 mõõdetud manomeetri näidud on liiga suured. Arvatavasti on torulõigul pärast manomeetrit kuni toorveetoruni mittevajalik kohttakistus. Kalibreerimisega tekitatud kohtsurvekadusid analüüsides paistab, et ka puurkaev-pumplas PK.2 on mittevajalik kohttakistus.
- Reaktiivenergia tarbimine moodustab 6% kogu elektrikulust.
- Vee pumpamisel puurkaevudest varumahutisse kasutatakse liiga vähe odavama hinnaga öötariifi elektrit. Töös uuritakse võimalusi suuremaks öötariifiga elektrihinna kasutamiseks.
- Veevarustussüsteemi kaugvalve ei ole lõpuni välja arendatud. Puudub võimalus jälgida puurkaevudes olevat veetaset. Samuti on puurkaevude tähistamine kaugvalves vastuoluline ja segadust tekitav.

Töö järgmistes osades püütakse leida lahendused tuvastatud probleemidele.

6. VEEHAARDE PUURKAEV-PUMPLATE OPTIMEERIMINE

6.1 Sissejuhatus

Käesolevas peatükis leitakse võimalikud lahendused Jõgeva linna veehaarde puurkaev-pumplate töö optimeerimiseks. Kõigepealt uuritakse, millised on pumba võimsuse ja kasuteguri vahelised seosed ning milliseid võimalusi see Jõgeva linna ühisveevärgi puurkaev-pumplate optimeerimisel võiks luua. Seejärel analüüsitakse olukorda, kui puurkaev-pumplates õnnestub vähendada teadmata ja mittevajalikke kohttakistusi ehk kalibreerimisega tekitatud kohttakistusi. Samuti kaalutakse võimalusi pumpade ümberpaigutamiseks, et vähendada puurkaevude passijärgsete tootlikkuste ületamist.

Lisaks sellele kaalutakse võimalusi odavama hinnaga elektritariifide suuremaks kasutamiseks. Nii praeguse kahetariifse elektriarvestuse korral, kui ka lähitulevikus rakenduva tunnipõhise elektriarvestuse tingimustes. Samuti uuritakse võimalusi reaktiivenergia eest makstavate summade vähendamiseks. Peatüki lõpus dimensioneeritakse puurkaev-pumplatesse sobivad pumbad ning leitakse dimensioneeritud pumpadega saadav energiasääst.

6.2 Pumba võimsus ja kasutegur

Alljärgnevalt toodud valemities (6.1), (6.2) ja (6.3) on näidatud seosed, millest sõltub vedeliku pumpamisel vajatav võimus. Valemid on toodud olukorra näitlikustamiseks. Neid valemiteid kasutab EPANET 2.0 kasutab neid pumba elektrikulu leidmisel. Pumba kasulik võimsus sõltub vedeliku tihedusest, vooluhulgast ning tõstekõrgusest. Seega pumba kasuliku võimsuse vähendamiseks tuleb vähendada vedeliku tihedust, vooluhulka või tõstekõrgust. Pumba võimus sõltub pumba täiskasutegurist. See tähendab, et pumba võimsuse vähendamiseks tuleb suurendada kasutegurit. Pumba ajami võimusus sõltub ajami kasutegurist. Seega ajami võimuse vähendamiseks tuleb suurendada ajami kasutegurit.

Pumba kasulik võimsus P_k (kW) leitakse järgnevalt: [2]

$$P_k = \frac{\rho g Q H}{1000} \quad (6.1)$$

kus: ρ – vedeliku tihedus, kg/m^3 ;

g – raskuskiirendus ($\sim 9,81$), m/s^2 ;

Q – vooluhulk, m^3/s ;

H – tõstekõrgus, m .

Pumba võimsus P (kW) leitakse järgnevalt: [2]

$$P = \frac{P_k}{\eta} \quad (6.2)$$

kus: P_k – pumba kasulik võimsus, kW ;

η – pumba täiskasutegur.

Pumba ajami võimsus P_a (kW) leitakse järgnevalt: [2]

$$P_a = \frac{P}{\eta_a} \quad (6.3)$$

kus: P – pumba võimsus, kW ;

η_a – ajami kasutegur.

Vastavalt käesoleva töö eesmärkidele on Jõgeva linna veehaarde puurkaev-pumplates vaja vähendada kõiki eespool valemitega leitavaid võimusi, sest sellega väheneks pumpade elektritarve.

Pumpade kasuliku võimsuse vähendamisel ei ole võimalik vähendada vedeliku tihedust, sest pumbatavaks aineks on joogivesi. Põhimõtteliselt ei ole võimalik vähendada ka vooluhulka, sest selle dikteerivad veetarbijad. Ühtlasi ei anna ainult elektritarbimise seisukohast säästu väiksema vooluhulgaga pump, kui ta peab töötama ajaliselt kauem võrreldes suurema vooluhulgaga pumbaga. Vähendada on võimalik aga pumba vajalikku tõstekõrgust. Nagu eelpoolt toodud analüüsist selgub (vt ptk 5), tekitab enamuse Jõgeva linna veehaarde puurkaevude pumpade vajalikust tõstekõrgusest dünaamiline veetase puurkaevus. Hõõrdesurvekaod toruveetorus ning kohtsurvekaod puurkaev-pumplates moodustavad juba palju väiksema osa. Vähendades aga puurkaevu pumba tootlikust, tõuseks dünaamiline veetase puurkaevus ning lisaks sellele väheneksid ka hõõrde- ning kohtsurvekaod torustikus. See võimaldaks kasutada madalama tõstekõrgusega pumpasid, mille kasulik võimsus oleks väiksem kui suurema tõstekõrgusega pumpadel.

Samuti on Jõgeval hetkel probleeme puurkaev-pumplates tekkivate ebanormaalsete kohtsurvekadudega, mis nõuavad pumpadelt suuremat tõstekõrgust ning seeläbi suurendavad vajalikku võimsust.

Pumba võimsust on võimalik vähendada, kasutades maksimaalse kasuteguriga pumpa, mis tööolukorras töötaks ka maksimaalse kasuteguriga. See tähendab, et pump tuleb õigesti dimensioneerida, sest vastasel korral pole kõrgest kasutegurist kasu, kui pump tegelikult selle kasuteguriga ei tööta. Ning viimaseks peab ka pumba pöörlemiseks kasutatava ajami

kasutegur olema maksimaalne. See tähendab, et pumba valimisel tuleb tähelepanu pöörata ka ajami kasutegurile.

6.3 Mittevajalike kohttakistuste eemaldamine

6.3.1 Sissejuhatus

Vastavalt ptk 5.2.4 analüüsitud manomeetri näitudest ja kalibreerimisega tekitatud kohttakistuste kohttakistusteguritest selgub, et kahes puurkaev-pumplas (PK.1 ja PK.4) on suure tõenäosusega teadmata ning mittevajalikud kohttakistused, mis põhjustavad suurt survekadu. See omakorda suurendab aga puurkaevu pumpade elektri erikulu. Käesolevas peatükis leitakse, kui palju väheneb pumpade elektri erikulu ja pumpamise kogukulu päevas, kui nimetatud teadmata kohttakistused õnnestub vähemalt osaliselt eemaldada.

Analüüs teostatakse *EPANET 2.0* abil, kus puurkaev-pumplas PK.1 ja PK.4 muudetakse kalibreerimisega tekitatud kohttakistuste kohttakistustegurid. Teguritele antakse samad väärtused nagu on puurkaev-pumplal PK.2 ehk kalibreerimisega tekitatud kohttakistuse kohttakistusteguriks määratakse ($\zeta=63$). Kohttakistustegurit ($\zeta=0$) ei määrata, sest tegemist on eeldusliku olukorraga ning pole teada, kuidas õnnestub mittevajalikud kohttakistused eemaldada. Seega annab suurema kohttakistusteguri kasutamine ka suurema elektrikulu ning väiksema säästu, mis on mõeldud kompenseerima võimalikke arvutuse ebatäpsusi, tingituna vajadusest jälgida ka vee erikasutuslooga määratud lubatud veevõtu koguseid.

6.3.2 Pumpade tööpunktid

Alljärgnevalt (Tabel 6.1) on toodud puurkaevu pumpade tööolukorra tootlikkused, kasutegurid ning elektri erikulud pärast kalibreerimisega tekitatud kohttakistuse kohttakistusteguri vähendamist.

Tabel 6.1 Puurkaevu pumpade tööolukorra tootlikkused, kasutegurid ja elektri erikulud

Pos nr	PK.1	PK.2	PK.3	PK.4
Passi nr	5362	5361	5360	5359
Puurkaevu passijärgne tootlikus (m³/h)	10,8	13,0	17,3	25,6
Puurkaevu pump	Saer NR-151D/12	Saer NR-151D/12	Calpeda 4SD 10/24	Hydro Pompe E9024KS
Puurkaevu pumba tootlikus tööolukorras (m³/h)	19,4	19,7	13,0	14,8
Kasutegur tööolukorras (%)	64,0	64,5	35,3	61,5
Pumba max kasutegur (%)	67,5	67,5	61,0	67,0
Elektri erikulu (kWh/m³)	0,38	0,37	0,29	0,28

Kohttakistustegurid vähendati puurkaevudes PK.1 ning PK.4. Väiksema vastusurve tõttu suurenes nende puurkaev-pumplate tootlikkus ning vähenes elektri erikulu võrreldes olukorraga, kus mudelis kasutati algseid kalibreerimisega määratud kohttakistustegurid (vt Tabel 5.1). Selle tulemusena vähenes elektri erikulu puurkaevust PK.1 pumpamisel 0,03 kWh/m³ võrra ning puurkaevust PK.4 0,04 kWh/m³ võrra. Samuti suurenesid väiksema vastusurve tõttu ka nende pumpade tootlikkused.

6.3.3 Arvutuslik elektrikulu tavaolukorras

Alljärgnevalt (Tabel 6.2) on toodud puurkaevu pumpade elektrikulu pärast kalibreerimisega määratud kohttakistusteguri vähendamist.

Tabel 6.2 Puurkaevu pumpade elektrikulu pärast kalibreerimisega määratud kohttakistusteguri vähendamist

Puurkaev	Pump	Tööaeg (h/d)	Pumbatud vesi (m³)	Elektri erikulu (kWh/m³)	Kulu päevas (€/d)
PK.1	Saer NR-151D/12	0,0	0,0	0,00	0,00
PK.2	Saer NR-151D/12	15,8	311,8	0,37	11,38
PK.3	Calpeda 4SD 10/24	22,7	295,2	0,29	8,17
PK.4	Hydro Pompe E9024S	20,0	295,7	0,28	8,03
Kokku:					27,58

Arvutuslikult leitud elektrikulu maksimaalsel ööpäeval on 27,58 €/d. Esialgsete kalibreerimisega määratud kohtkivistegurite kasutamisel oli elektrikulu 28,78 €/d. See tähendab, et elektrikulu vähenes 1,2 €/d võrra ehk 4,2%. Kui lähtuda 2013. aasta elektrikulude andmetest (vt Lisa 2) siis kulub elektrile aastas koos km-ga 12 962,68 € ning kui sellest maha võtta käibemaks, reaktiivenergia maksumus ning võrguühenduse kasutamise tasu, siis on kWh põhiseks kuluks 11 829,35 €. Kui nüüd arvestada, et sellest suudetakse kokku hoida 4,2% oleks aastaseks säästuks 497,83 €.

6.4 Pumpade ümberpaigutamine

6.4.1 Sissejuhatus

Käesoleval hetkel ületatakse puurkaevude eksploateerimisel kahest puurkaevust puurkaevude passidejärgne tootlikkus (vt ptk 5.2.1). Samal ajal võetakse kahest puurkaevust vähem vett kui on lubatud puurkaevu passis. Seetõttu võiks selle probleemi üheks lahenduseks olla puurkaevudes olevate pumpade ümberpaigutamine. Tegemist oleks nn „säästulahendusega“, sest sellisel juhul pole vaja hankida uusi pumpasid, vaid kasutatakse olemasolevaid. Võimalikku ümberpaigutamist teostatakse vastavalt puurkaevudes kasutatavatele pumpade graafikutele (vt Lisa 4, 5 ja 6). Paigutamine seisneb selles, et puurkaevu PK.3 pump (Calpeda 4SD-10-24) tuleks tõsta puurkaevu PK.1, puurkaevu PK.4 pump (Hydro Pompe E90K24XS) tuleks tõsta puurkaevu PK.2 ning puurkaevude PK.1 ning PK.2 asuvad pumbad (Saer NR-151D-12) tuleksid tõsta puurkaevudesse PK.3 ja PK.4. Pärast pumpade ümberpaigutamist on puurkaevudes kasutatavad pumbad toodud alljärgnevalt (Tabel 6.3).

Tabel 6.3 Pumpade paigutus puurkaevudes pärast pumpade ümberpaigutamist

Pos nr	PK.1	PK.2	PK.3	PK.4
Passi nr	5362	5361	5360	5359
Puurkaevu pump	Calpeda 4SD 10/24	Hydro Pompe E9024S	Saer NR-151D/12	Saer NR-151D/12

6.4.2 Puurkaevude veetasemed

Puurkaevudes kasutatavad pumbad ei ole ühesuguste parameetritega, samuti ei ole puurkaevud samade parameetritega. Seetõttu muutuvad pärast pumpade ümberpaigutamist puurkaevudes ka tööolukordades pumpade poolt saavutatavad vooluhulgad. Ning sellest omakorda muutuvad ka puurkaevude tööolukorra veetasemed. Uute tööolukordade veetasemete leidmisel kasutatakse lähendusmeetodit. Lähendusmeetodil kasutatakse

olemasoleva olukorra mudelit pärast mittevajalike kohttakistuste vähendamist. See tähendab, et ka kalibreerimiseks määratud kohttakistuste kohttakistustegureid on vähendatud vastavalt ptk 6.3 toodule.

Mudelil muudetakse pumpade paiknemine puurkaevudes vastavalt tabelis (Tabel 6.3) toodule. Seejärel leitakse pumpade vooluhulgad esialgsete puurkaevudes olevate veetasemete korral. Pärast seda leitakse erideebitit kasutades uus dünaamiline veetase puurkaevus. Saadud parandused sisestatakse mudelisse ning selle abil leitakse uued pumpade vooluhulgad. Protsessi jätkatakse, kuni veetasemete parandus muudab vooluhulka vähem kui 0,1 m³/h. Lähendusmeetodil leitud arvutuslikud puurkaevude parameetrid on toodud alljärgnevalt (Tabel 6.4).

Tabel 6.4 Pumpade ümberpaigutamisel leitud dünaamilised veetasemed

Puurkaevu andmed				
Pos nr	PK.1	PK.2	PK.3	PK.4
Passi nr	5362	5361	5360	5359
Lähteandmed				
Staatiline veetase (m)	22,0	20,0	19,0	16,4
Vooluhulk (m ³ /h)	11,3	14,1	29,8	14,3
Erideebit (m ³ /h·m)	0,6	0,5	1,9	0,6
Arvutuslikult leitud parameetrid				
Veetaseme alandus (m)	20,3	26,0	15,6	22,8
Dünaamiline veetase (m)	42,3	46,0	34,6	39,2

6.4.3 Pumpade tööpunktid

Alljärgnevalt (Tabel 6.5) on toodud pumpade ümberpaigutamisel leitud puurkaevu pumpade tööpunktid.

Tabel 6.5 Puurkaevu pumpade tööpunktile vastavad tootlikkused ja kasutegurid

Pos nr	PK.1	PK.2	PK.3	PK.4
Passi nr	5362	5361	5360	5359
Puurkaevu passijärgne tootlikus (m ³ /h)	10,8	13,0	17,3	25,6
Puurkaevu pump	Calpeda 4SD 10/24	Hydro Pompe E9024KS	Saer NR-151D/12	Saer NR-151D/12
Puurkaevu pumba tootlikus tööolukorras	11,4	14,1	29,7	20,9
Kasutegur tööolukorras (%)	48,6	63,2	62,8	65,6
Pumba max kasutegur (%)	61,0	67,0	67,5	67,5
Elektri erikulu (kWh/m ³)	0,34	0,29	0,27	0,36

Siiski ei saavutata pumpade ümberpaigutamisega kõikides puurkaevudes väiksemat tootlikkust, kui on puurkaevu passis ette nähtud. Seetõttu lahendusena seda käsitleda ei saa.

6.5 Öötariifi ärakasutamine

6.5.1 Sissejuhatus

Hetkel kehtiva regulatsiooni järgi kehtib päevatariif esmaspäevast reedeni suveajal 8:00–24:00 ning talveajal 7:00–23:00. Öötariif kehtib esmaspäevast reedeni suveajal 24:00–8:00 ja talveajal 23:00–7:00. Samuti kehtib öötariif kõikidel laupäevadel ja pühapäevadel 24 h. Argipäevadele langevatel riiklikel pühadel kehtivad samad tariifid, mis tavalistel argipäevadel. [22]

6.5.2 Võimalik juhtimisskeem

Tulenevalt odavamast hinnast öötariifi ajal oleks kõige otstarbekam, kui puurkaevu pumbad töötaksid öötariifi ajal ning seisaksid päevatariifi ajal. Jõgeva linna praegune ühisveevärgi varumahu on aga liiga väike, et sellist juhtimist rakendada. Üks võimalik

optimeerimise lahendus oleks veehaarde puurkaev-pumplad seadistada selliselt, et tund aega enne päevatariifi algust pumbatakse mahuti maksimaalselt täis.

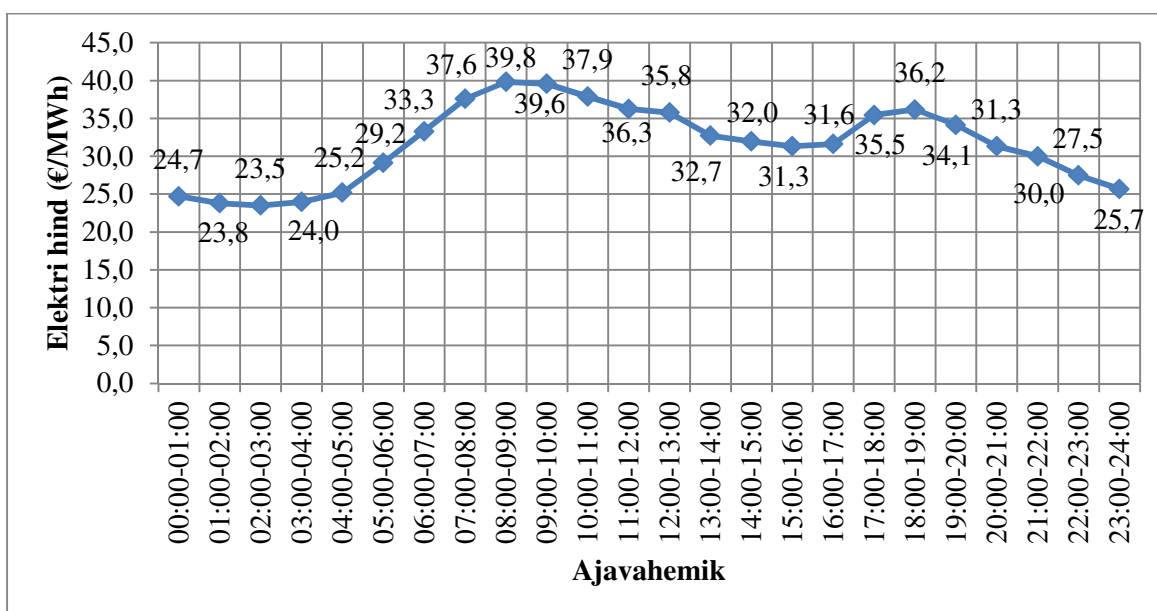
6.6 Tunnipõhine elektriarvestus

6.6.1 Sissejuhatus

2017. aastaks on kõik Eestis olevad elektriarvestid välja vahetatud kaugloetavate arvestite vastu. See tähendab seda, et praeguse kahetariifse arvestuse asemel hakkab kehtima tunnipõhine elektriarvestus. Käesolevas peatükis uuritakse, kuidas oleks võimalik JVV-I ära kasutada tunnipõhist elektriarvestust. [23]

6.6.2 Elektri börsihinna tunnipõhine muutus

Tunnipõhise elektriarvestuse ära kasutamiseks on esmalt uuritud, kuidas muutub elektri hind börsil tunnipõhiselt Eesti hinnapiirkonnas. Nimetatud hind näitab ainult elektri hinda ja ei sisalda elektri võrguteenuste tasusid ega riiklikke makse. Elektri hinna ööpäevase muutumise väljaselgitamiseks on kasutatud elektri tunnipõhiseid börsihindasid kahe kuu pikkusel perioodil (1.03.2014-31.04.2014). Kasutatud andmete alusel on leitud tundide keskmised hinnad vaadeldaval perioodil. Elektri keskmine börsihind tunnipõhiselt Eesti hinnapiirkonnas perioodil 1.03.2014-31.04.2014 on esitatud alljärgnevalt (Joonis 6.1).

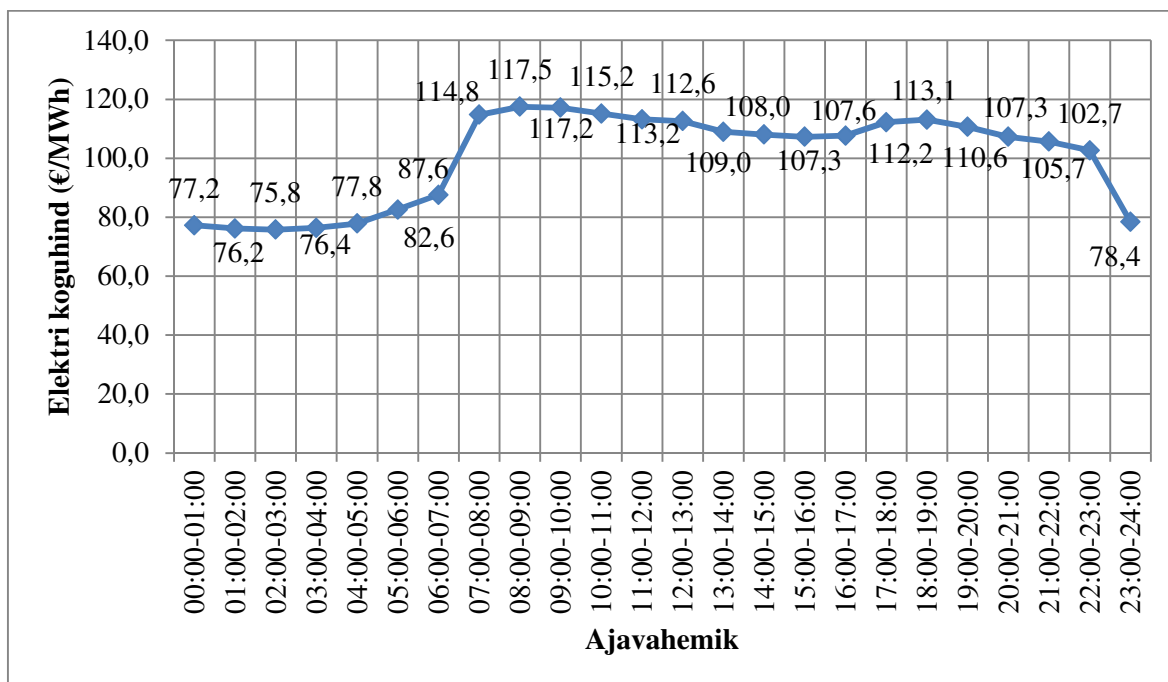


Joonis 6.1 Elektri keskmine börsihind tunnipõhiselt Eesti hinnapiirkonnas [24]

Jooniselt on näha, et ööpäevase elektri hinna graafikul on kaks tippu. Need on hommikune tipp ajavahemikul 8:00-9:00 ning õhtune tipp ajavahemikul 18:00-19:00. Kõige madalam oli elektri keskmine hind ajavahemikul 02:00-03:00. [24]

6.6.3 Elektri koguhinna tunnipõhine muutus

Elektri koguhinna tunnipõhise muutuse leidmiseks lisatakse ptk 6.6.2 leitud tunnipõhistele elektri börsihindadele ptk 5.6 toodud võrguteenuse tasud ja riiklikud maksud. Arvestamata jäetakse võrguühenduse kasutamise tasu, sest see ei sõltu elektritarbimisest, vaid liitumispunkti peakaitsme suuruselt (ampripõhine tasu). Võrguteenuse hindade ajalisel määramisel arvestatakse, et kehtib talveaeg ning seega kehtib päevatariif kell 07:00-23:00 ning öötariif 23:00-07:00. Saadud tulemuste põhjal on koostatud elektri koguhinna tunnipõhise muutuse graafik, mis on toodud alljärgnevalt (Joonis 6.2). Jooniselt on näha, et võrreldes ainult elektri börsihinna tunnipõhist muutust kajastava graafikuga, on selle päevased tipud oluliselt laugemad. Ning rohkem tuleb esile öisel ajal oleva elektri odavus. Leitud elektri koguhindade põhjal selgub, et öine miinimum on ligi 35% võrra odavam, kui päevane maksimum.



Joonis 6.2 Elektri koguhinna muutus tunnipõhiselt [21], [24]

6.6.4 Elektri koguhinna kordajad

Elektri koguhinna muutumist kajastavad kordajad leitakse sarnaselt ptk 4.9.5 leitud veetarbimise ebahütlust kajastavate kordajatega. Leitud kordajad sisestatakse EPANET 2.0 koostatud mudelisse, et leida arvutuslikku elektritarbimist.

Vaadeldava tunni elektri koguhinna kordaja $K_{e,i}$ leitakse järgnevalt:

$$K_{e,i} = \frac{P_{e,i}}{P_{e,max}} \quad (6.4)$$

kus: $P_{e,i}$ – elektri koguhind vaadeldaval tunnil, €/MWh;

$P_{e,max}$ – elektri koguhinna maksimaalne tunnihind, €/MWh.

Elektri koguhinna ebaühtlust kirjeldavad kordajad on leitud valemiga (6.4). Hinnakordajad erinevatel kellaaegadel on esitatud lisas (Lisa 7).

6.6.5 Võimalik juhtimisskeem

Vastavalt tunnipõhisele elektri koguhinna graafikule (Joonis 6.2) oleks otstarbeks ajavahemikus 07:00-11:00 ning 16:00-20:00 veehaarde pumbad seisata. Jõgeva linna praegune ühisveevärgi varumahuti on aga liiga väike, et sellist juhtimist rakendada. Antud lahenduse rakendamist võiks kaaluda perspektiivse II-astme pumpla korral.

6.7 Efektiivseima puurkaev-pumpla eeliskasutamine

Tulenevalt sellest, et praegusel hetkel ei võimalda varumahuti suurus hinnatariifide erinevust ära kasutada ning ka puurkaevu pumpade ümberpaigutamist lahendusena käsitleda ei saa, on antud olukorras otstarbekas ekspluateerida puurkaevu, kust vee pumpamise elektri erikulu on kõige väiksem. Elektri erikulu on kombinatsioon puurkaevu pumba kasutegurist ning puurkaevu dünaamilisest veetasemest. Praeguse pumpade paigutuse korral ning pärast mittevajalike kohttakistuste likvideerimist leitud pumpade elektri erikulu on toodud (Tabel 6.1). Sellest lähtuvalt on kõige efektiivsem pumpamine puurkaevudest PK.3 ja PK.4. Seega on pärast mittevajalike kohttakistuste eemaldamist otstarbeks ekspluateerida maksimaalselt just puurkaevusid PK.3 ning PK.4. See tähendab, et puurkaevude juhtimise reeglid tuleb seadistada selliselt, et esimeses järjekorras lähevad tööle puurkaevude PK.3 ja PK.4 pumbad ning kui nendest ei piisa varumahuti veetaseme hoidmiseks, siis lülituvad töösse ka puurkaevude PK.1 ja PK.2 pumbad. Sellist juhtimist kirjeldab näiteks ptk 5.3 toodud juhtimise kombinatsioon.

6.8 Reaktiivenergia kompenseerimine

JVV veehaarde tarbimispunktis on arvestatav reaktiivenergia tarbimine. Seetõttu tuleks seal kasutada reaktiivenergia kompenseerimisseadmeid. Need seadmed paigaldatakse liitumiskilbi ja tarbimiskoha vahele. Seadmete dimensioneerimiseks tuleb liitumispunktis teostada mõõtmised. Pärast seda on võimalik valida seadmed ning teostada nende paigaldamine. Seadmete paigaldamise tasuvusaeg jääb üldjuhul 1-2 aasta vahele. Kusjuures seadmete eluiga on vähemalt 15 aastat.

Töö autor uuris reaktiivenergia kompenseerimisseadmete paigaldamist JVV veehaarde kinnistu tarbimispunkti OÜ Elektroskandia Baltics käest. Nende esindaja oli seisukohal, et reaktiivenergia kompenseerimisseadmete paigaldamine veehaarde liitumispunkti on kindlasti otstarbekas. Täpsema seadmete maksumuse saab määrata alles pärast mõõtmiste teostamist, kuid esialgse hinnangu kohaselt võiks arvestada sellega, et pärast kompenseerimisseadmete paigaldamist väheneb reaktiivenergia tarbimine ca 90% ning seadmete maksumus kokku on ca 1100 €+km.

Tulenevalt tehtud hinnangulistest eeldustest on võimalik leida reaktiivenergia kompenseerimisseadmete paigaldamise tasuvusaeg. See näitab, kui palju aega kulub, investeeringu tegemiseks tehtud kulutuse tagasiteenimiseks investeeringust saadavast kokkuhoiust. Tasuvusaeg leitakse järgmise valemiga.

$$Tasuvusaeg = \frac{\text{Investeeringu kogusumma}}{\text{Investeeringuga saavutatav kokkuhoid aastas}} \quad (6.5)$$

Veehaarde kinnistule paigaldatavate reaktiivenergia kompenseerimisseadmete tasuvusaeg leitakse valemiga (6.5). Investeeringuga aastas kokkuhoitava summa leidmise aluseks on lisas (Lisa 2) toodud tarbitud reaktiivenergia eest makstud summa 2013. aastal.

$$Tasuvusaeg = \frac{1100}{773,32 \cdot 0,90} = 1,58 \text{ aastat}$$

Reaktiivenergia kompenseerimiseks mõeldud seadmete dimensioneerimine ei kuulu käesoleva töö mahtu. See võib olla mõne tulevase ja vastava eriala uurimistöö teemaks. Samuti võib probleemi lahendamiseks ühendust võtta reaktiivenergia kompenseerimise seadmeid pakkuvate ettevõtetega.

Reaktiivenergia kompenseerimise seadmed pakuvad näiteks järgmised ettevõtted:

- OÜ Elektroskandia Baltics;
- Inseneribüroo Mainor Fredi OÜ;
- Finetrek OÜ;
- AS Elrato.

6.9 Pumpade väljavahetamine

6.9.1 Sissejuhatus

Käesolevas peatükis leitakse veehaarde puurkaevudesse sobivate pumpade parameetrid. Saadav info on vajalik tulevikus, kui asutakse kasutusea lõppu jõudnud pumpasid välja vahetama. Samuti uuritakse õige pumbavalikuga saadavat elektrienergia säästu. Pumpade parameetrite leidmisel arvestatakse, et puurkaev-pumplates suudetakse mittevajalikke kohtakistusi vähendada. See tähendab, et mudelis kasutatakse ptk 6.3 toodud vähendatud kalibreerimisega määratud kohtakistustegurite väärtusi.

6.9.2 Vooluhulga määramine

Järgnevalt leitakse Jõgeva linna veehaarde puurkaevu pumpade vooluhulgad ning tõstekõrgused. Dimensioneerimine teostatakse vastavalt standardile EVS 921:2014 Veevarustuse välisvõrk ning arvestatakse ka puurkaevude maksimaalseid passijärgseid tootlikkusi.

Asula maksimaalne ööpäevane veevajadus II-astme pumplast $Q_{maxd,a,II-aste}$

(m^3/d) leitakse järgnevalt:

$$Q_{maxd,a,II-aste} = \frac{Q_{maxd,a}}{100 - Q_{kadu,\%}} \cdot 100 \quad (6.6)$$

kus: $Q_{maxd,a}$ – arvutuslik asula maksimaalne ööpäevane veetarbimine, m^3/h ;

$Q_{kadu,\%}$ – registreerimata vee osakaal, %.

Jõgeva linna maksimaalne ööpäevane veevajadus II-astme pumplast leitakse valemiga (6.6):

$$Q_{maxd,a,II-aste} = \frac{527}{100 - 28,5} \cdot 100 = 726 \text{ m}^3/d$$

Puurkaevu pumpade minimaalne koguvooluhulk tunnis $Q_{PK,min}(m^3/h)$ leitakse järgnevalt:

$$Q_{PK,min} = \frac{Q_{max,a,II-aste}}{T_{PK,max}} \quad (6.7)$$

kus: $Q_{max,a,II-aste}$ – maksimaalne ööpäevane veevajadus II-astme pumplast; m^3/d ;
 $T_{PK,max}$ – pumpade maksimaalne töötamine ööpäevas, h .

Jõgeva linna puurkaevu pumpade minimaalne koguvooluhulk leitakse valemiga (6.7)

$$Q_{PK,min} = \frac{727}{24} = 30,3 \text{ m}^3/h$$

Puurkaevu pumpade maksimaalne tootlikkus sõltuvalt puurkaevude passijärgsest tootlikkusest $Q_{PK,max}(m^3/h)$ leitakse järgnevalt:

$$Q_{PK,max} = Q_{PK.1,max} + Q_{PK.2,max} + \dots + Q_{PK.N,max} \quad (6.8)$$

kus: $Q_{PK.N,max}$ – puurkaevu passijärgne maksimaalne tootlikkus, m^3/h .

Jõgeva linna puurkaevu pumpade tootlikkus sõltuvalt puurkaevude passijärgsest maksimaalsest tootlikkusest leitakse valemiga (6.8)

$$Q_{PK,max} = 10,8 + 13,0 + 17,3 + 25,6 = 66,6 \text{ m}^3/h$$

Puurkaevu pumpade tööaeg $T_{PK,max}(h)$ sõltuvalt puurkaevude maksimaalsest tootlikkusest leitakse järgmiselt:

$$T_{PK,max} = \frac{Q_{max,d,II-aste}}{Q_{PK,max}} \quad (6.9)$$

kus: $Q_{max,d,II-aste}$ – maksimaalne ööpäevane veevajadus II-astme pumplast, m^3/d ;

$Q_{PK,max}$ – puurkaevu pumpade maksimaalne tootlikkus sõltuvalt puurkaevude maksimaalsest passijärgsest tootlikkusest, m^3/h .

Jõgeva linna puurkaevu pumpade tööaeg sõltuvalt puurkaevude passijärgsest maksimaalsest tootlikkusest leitakse valemiga (6.9)

$$T_{PK,max} = \frac{727}{66,6} = 10,9 \text{ h}$$

Kui puurkaevu pumpade tootlikkuse määramisel lähtuda puurkaevude passijärgsetest maksimaalsetest tootlikkustest, siis oleks puurkaevu pumpade tööaeg 10,9 h päevas. See võimaldaks piisavalt suure varumahuti korral hästi ära kasutada elektri hinna ööpäevastest muutustest saadavat kasu.

Puurkaevu pumpade tootlikkused valitakse lähtuvalt puurkaevude maksimaalsetest passijärgsetest tootlikkustest. Seega valitakse puurkaevu pumpade tootlikkused alljärgnevalt (Tabel 6.6)

Tabel 6.6 Valitud pumpade tootlikkused

Pos nr	PK.1	PK.2	PK.3	PK.4
Passi nr	5362	5361	5360	5359
Tootlikkus (m ³ /h)	10	12	16	20

6.9.3 Tõstekõrguse määramine

Vajalik tõstekõrgus leitakse *EPANET 2.0* abil. Kuid kõigepealt tuleb leida valitud tootlikkustele vastavad dünaamilised veetasemed. Veetasemed leitakse kasutades ptk 4.12.3 leitud arvutuslikke erideebiteid. Leitud veetasemed on toodud alljärgnevalt (Tabel 6.7).

Tabel 6.7 Valitud pumba tootlikkusele vastavad dünaamilised veetasemed

Puurkaevu andmed				
Pos nr	PK.1	PK.2	PK.3	PK.4
Passi nr	5362	5361	5360	5359
Lähteandmed				
Staatiline veetase (m)	22,0	20,0	19,0	16,4
Vooluhulk (m ³ /h)	10,0	12,0	16,0	20
Erideebit (m ³ /h·m)	0,6	0,5	1,9	0,6
Arvutuslikult leitud parameetrid				
Veetaseme alandus (m)	18,0	22,2	8,4	31,8
Dünaamiline veetase (m)	40,0	42,2	27,4	48,2

Saadud veetasemed ning pumpade vooluhulgad on sisestatud *EPANET 2.0* koostatud mudelisse ning sealt on leitud pumpade vajalikud tõstekõrgused. Leitud tõstekõrgused on toodud alljärgnevalt ptk 6.9.4.

6.9.4 Pumpade dimensioneerimine

Puurkaevudesse sobivate pumpade parameetrid on toodud alljärgnevalt (Tabel 6.8).

Tabel 6.8 Puurkaevu pumpade parameetrid

Pos nr	PK.1	PK.2	PK.3	PK.4
Passi nr	5362	5361	5360	5359
Tootlikkus (m ³ /h)	10	12	16	20
Tõstekõrgus (m)	55	60	40	80

Puurkaevu pumpade maksimaalne tootlikkus kokku $Q_{PK,kokku}$ (m^3/h) sõltuvalt valitud pumpade tootlikkusest leitakse järgnevalt:

$$Q_{PK,kokku} = Q_{PK.1} + Q_{PK.2} + \dots + Q_{PK.N} \quad (6.10)$$

kus: $Q_{PK.N}$ – valitud pumba tootlikus tootlikkus, m^3/h .

Jõgeva linna puurkaevu pumpade maksimaalne tootlikkus kokku sõltuvalt valitud pumpade maksimaalsest tootlikkusest leitakse valemiga (6.10)

$$Q_{PK,max} = 10 + 12 + 16 + 20 = 58 \text{ m}^3/h$$

Puurkaevu pumpade tööaeg T_{PK} (h) sõltuvalt valitud pumpade tootlikkusest leitakse järgnevalt:

$$T_{PK} = \frac{Q_{max,d,II-aste}}{Q_{PK,max}} \quad (6.11)$$

kus: $Q_{max,d,II-aste}$ – maksimaalne ööpäevane veevajadus II-astme pumplast, m^3/d ;

$Q_{PK,max}$ – puurkaevu pumpade maksimaalne tootlikkus sõltuvalt puurkaevude maksimaalsest passijärgsest tootlikkusest, m^3/h .

Jõgeva linna puurkaevu pumpade tööaeg sõltuvalt valitud pumpade tootlikkusest leitakse valemiga (6.11)

$$T_{PK,max} = \frac{727}{58} = 12,5 \text{ h}$$

Selline tööaeg loob head eeldused puurkaevude optimaalsete töörežiimide väljatöötamiseks.

6.9.5 Pumpade tööpunktid

Alljärgnevalt (Tabel 6.9) on toodud puurkaevu pumpade tootlikkused, kasutegurid ning elektri erikulud. Pumpade kasuteguriks on töö koostaja poolt määratud 65%.

Tabel 6.9 Puurkaevu pumpade tootlikkused, kasutegurid ning elektri erikulud

Pos nr	PK.1	PK.2	PK.3	PK.4
Passi nr	5362	5361	5360	5359
Puurkaevu passijärgne tootlikus (m ³ /h)	10,8	13,0	17,3	25,6
Puurkaevu pumba tootlikus tööolukorras (m ³ /h)	10,0	12,0	16,0	20,0
Kasutegur tööolukorras (%)	65,0	65,0	65,0	65,0
Elektri erikulu (kWh/m ³)	0,23	0,25	0,17	0,34

Tabelist on näha, et kõige väiksem elektri erikulu on puurkaevust PK.3 pumpamisel, sellele järgnevad puurkaev PK.1 ning puurkaev PK.2. Kõige suurem on elektri erikulu pumpamisel puurkaevust PK.4.

6.9.6 Võimalik juhtimine

Alljärgnevalt (Tabel 6.10) on toodud pumpade võimalik juhtimiskombinatsioon uute valitud pumpade korral. Kombinatsiooni koostamise aluseks on tabelis (Tabel 6.9) toodud elektri erikulu.

Tabel 6.10 Pumpade võimalik juhtimisskeem uute valitud pumpade korral

Puurkaev	Rakendatav reegel	Pump töösse (m)	Pump seisma (m)
PK.1	R.1	3,20	3,50
PK.2	R.2	3,00	3,40
PK.3	R.3	3,30	3,50
PK.4	R.4	2,90	3,10

Tabelist on näha, et puurkaevu PK.4 pump lülitub töösse kõige viimasena ehk siis kui kolm esimest pumpa pole suutnud varumahutisse piisavalt vett tagada.

6.9.7 Arvutuslik elektrikulu

Alljärgnevalt (Tabel 6.11) on toodud uute valitud puurkaevu pumpade parameetrite kohta leitud arvutuslik elektrikulu ptk 6.9.6 toodud juhtimisskeemi alusel. Arvutuslik elektrikulu on leitud *EPANET 2.0* abil. Pumpade kasuteguriks on määratud 65%.

Tabel 6.11 Elektrikulu uute valitud pumpade korral

Puurkaev	Pump	Tööaeg (h/d)	Pumbatud vesi (m ³)	Elektri erikulu (kWh/m ³)	Kulu päevas (€/d)
PK.1	Q= 10 m ³ /h; H=60 m	18,6	186,3	0,23	4,21
PK.2	Q= 12 m ³ /h; H=60 m	17,4	208,3	0,25	5,22
PK.3	Q= 16 m ³ /h; H=40 m	23,6	377,6	0,17	5,96
PK.4	Q= 20 m ³ /h; H=80 m	6,6	131,5	0,34	4,30
Kokku:					19,69

Elektri erikulu on kõige väiksem puurkaevus PK.3 asuval pumbal ning kõige suurem puurkaevus PK.4 asuval pumbal. Arvutus on tehtud samades tingimustes nagu ptk 5.4.2 leitud elektrikulu, seega on tulemused võrreldavad. Pärast mittevajalike kohttakistuste eemaldamist, maksab olemasolevate pumpadega pumpamine 27,58 €/d ning käesolevas töös dimensioneeritud pumpadega 19,69 €/d. Seega väheneks pärast pumpade väljavahetamist kulutused elektrile 28,6%. Kui lähtuda 2013. aasta elektrikulude andmetest (vt Lisa 2) siis kulub elektrile aastas koos km-ga 12 962,68 € ning kui sellest maha võtta käibemaks, reaktiivenergia maksumus ning võrguühenduse kasutamise tasu, siis on kWh põhiseks kuluks 11 829,35 €. Kui nüüd arvestada, et sellest suudetakse kokku hoida 28,6%, oleks aastaseks säästuks 3 383,19 €.

6.9.8 Pumpade maksumus ja tasuvusaeg

Alljärgnevalt (Tabel 6.12) on toodud käesolevas töös dimensioneeritud puurkaevu pumpade hinnad vastavalt *KSB Finland Oy* poolt (28.05.2014) koostatud hinnapakkumisele. Vastavalt hinnapakkumisele on nelja pumba maksumuseks 7472,24 € ning kui pumba vahetamise hinnanguliseks kuluks arvestada 250 € ühe puurkaevu kohta, siis oleks pumpade väljavahetamisega seotud kulu kokku 8472,24 €. Arvestades, et pumpade väljavahetamisega säästetakse arvutuslikult 3383,19 € aastas, siis on pumpade väljavahetamise tasuvusajaks 2,5 aastat.

Tabel 6.12 Dimensioneeritud pumpade maksumused [25]

Pos nr	Pumba parameetrid	Maksumus (€)
PK.1	Q= 10 m ³ /h; H=60 m	1548,20
PK.2	Q= 12 m ³ /h; H=60 m	1634,00
PK.3	Q= 16 m ³ /h; H=40 m	1406,20
PK.4	Q= 20 m ³ /h; H=80 m	2883,84
Kokku:		7472,24

*Hinnad on käibemaksuta

6.9.9 Vee erikasutusloaga määratud lubatud veevõtu koguste muutmine

Vastavalt eespool (Tabel 6.12) leitud elektri erikulule erinevatest puurkaevudest pumpamisel ning praegusel hetkel vee erikasutusloaga määratud lubatud veevõtukogustest (vt Tabel 4.3), oleks pärast puurkaevu pumpade väljavahetamist otstarbekas muuta puurkaevudest lubatud veevõtu kogused. Soovitatav vee erikasutuslooga taotletav lubatud veevõtu kogus on esitatud alljärgnevalt (Tabel 6.13).

Tabel 6.13 Soovitatav vee erikasutuslooga esitatav lubatud veevõtu kogus puurkaevude lõikes

Pos nr	PK.1	PK.2	PK.3	PK.4	Kokku
Passi nr	5362	5361	5360	5359	
Kehtiva vee erikasutusloaga lubatud võetav veekogus (m³/d)	279	279	186	186	930
Soovitatav vee erikasutusloaks esitatav võetav veekogus (m³/d)	200	210	380	140	930

7. PERSPEKTIIVNE II-ASTME PUMPLA

7.1 Sissejuhatus

Jõgeva linna olemasolev II-astme pumpla paikneb hetkel Tähe tänaval. Olemasolev II-astme pumpla on amortiseerunud ning selle juurde kuuluv ühisveevärgi varumahuti on liiga väike. JVV-l on lähiaastatel kavas uue II-astme pumpla rajamine Piiri tänavale koos uute ühisveevärgi varumahutitega ($2 \times 500 \text{ m}^3$). Perspektiivse veevarustussüsteemi rajatiste paiknemine on esitatud graafilises osas (Joonis 3).

Käesolevas peatükis leitakse perspektiivse II-astme pumpla juurde rajatava varumahuti minimaalne maht ning võrreldakse seda JVV planeeritud mahutitega. Lisaks sellele analüüsitakse puurkaev-pumplate tööd perspektiivses olukorras kahe võimaliku juhtimisviisi korral – puurkaev-pumplate töö ajalise juhtimisega ning puurkaev-pumpla töö ajalise juhtimiseta. Analüüsi koostamise eesmärgiks on saada teada, kas JVV oleks võimalik ära kasutada tunnipõhisest elektrihinna muutusest tulenevaid kokkuhoiu võimalusi.

Analüüsi teostamiseks koostatakse hüdrauliline mudel. Modelleerimise aluseks on arvutusskeem 2 – perspektiivne olukord (vt graafiline osa Joonis 5). Modelleerimist teostakse maksimaalse ööpäeva jooksul. Modelleerimisel arvestatakse, et mahuti põhja pindala on 150 m^2 ning sisemine kõrgus 3,40 m. Sõltuvalt sellest on mahuti maksimaalne maht 510 m^3 . Modelleerimise alghetkel on mahuti veetase 2,80 m.

Arvutusliku elektrikulu leidmisel kasutatakse tunnipõhist arvestust, sest juba 2017. aastal minnakse üle tunnipõhisele elektriarvestusele ning uue II-astme pumpla valmimine oluliselt enne seda pole reaalne. Arvutusliku elektrikulu leidmise aluseks on ptk 6.6.3 leitud tunnipõhine elektrihinna graafik ning pumpade kasuteguriks on määratakse 65%. Modelleerimisel arvestatakse, et kahes puurkaev-pumplas eksisteerivad mittevajalikud kohtakistused on suudetud likvideerida.

Veetaset varumahutis nii ajalise juhtimisega kui ka ajalise juhtimiseta modelleeritakse kahes erinevas olukorras – eriolukord ja tavaolukord. Tava- ja eriolukorra määratlus vt ptk 4.11.

7.2 Ühisveevärgi varumahuti maht

Üldjuhul on ühisveevärgi varumahuti ülesandeks tagada reguleeriv maht veetarbimise ebahütluse tasandamiseks. Samuti tuleb tagada puutumatu tuletõrje veevaru. Lisaks nendele tuleb hoida veel ka avarii veevaru olukordadeks, kui esineb katkestusi varumahuti täitmisel. [16]

Ühisveevärgi varumahuti kogumaht V (m^3) leitakse järgnevalt: [16]

$$V = A + B + C \quad (7.1)$$

kus: A – tuletõrje veevaru, m^3 ;

B – reguleeriv maht (25% maksimaalsest ööpäevasest veevajadusest), m^3 ;

C – avariimaht (25% $A+B$ -st), m^3 .

Jõgeva linna perspektiivse II-astme pumpla ühisveevärgi varumahuti vajalik suurus leitakse valemiga (7.1).

$$V = 216 + 0,25 \cdot 727 + 0,25 \cdot (216 + 727) = 497 \text{ m}^3$$

Käesolevas punktis leitud veemahuti maht on leitud arvestades hetkel kehtivat standardit tuletõrjevee vajaduse osas (EVS 812-6:2012). Samuti on arvestatud praegust asula veevajadust. Veemahutid rajatakse üldjuhul raudbetoonist ning sellisel juhul arvestatakse mahutite elueaks 50 aastat. See tähendab, et Jõgeva linna uue veemahuti mahu määramisel tuleks arvestada võimalikku asula veevajaduse suurenemist ning võimalikku tuletõrje normide muutumist. Samuti on juba olemasolevate raudbetoonmahutite kõrvale hiljem täiendavate mahutite ehitamine küllaltki keeruline. Sellest tulenevalt tuleks käesolevas töös leitud veemahuti mahu suurus, lähtudes eespoolt toodud aspektidest, läbi mõelda.

Lisaks sellele peab varumahuteid olema võimalik ka hooldada. Hooldustööde ajal ei tohi aga halveneda asula veevarustuse varustuskindlus ning väheneda puutumatu tuletõrje veevaru. Sellest tulenevalt on JVV plaan rajada kaks mahutit suurusega 500 m^3 igati mõistlik ja põhjendatud. Lisaks sellele on võimalik kahe 500 m^3 mahuti kasutamisel suurendada reguleeritava mahu osakaalu, mis võimaldab päevasel ajal pikemaks ajaks puurkaevu pumpade seisma jätmist.

7.3 Puurkaev-pumplate töö analüüs ajalise juhtimisega

7.3.1 Pumpade parameetrid

Uue II-astme pumpla rajamisega muutub toorveetoru pikkus 685 m võrra lühemaks. Kuid arvestades toorveetorus tekkivat survekadu, ei muuda see oluliselt vajalikke puurkaevu pumpade parameetreid. Seetõttu lähtutakse ptk 6.9.4 leitud optimaalsetest veehaarde puurkaevu pumpade parameetritest. Samuti jäävad samaks nii puurkaevu pumpade tööpunktid kui ka elektri erikulud.

7.3.2 Juhtimine

Alljärgnevalt (Tabel 7.1 ja Tabel 7.2) on toodud üks pumpade võimalik juhtimiskombinatsioon puurkaev-pumplate ajalisel juhtimisel. Kombinatsiooni koostamise aluseks on tabelis (Tabel 6.9) toodud pumpade elektri erikulu ning tunnipõhise elektri koguhinna graafik (Joonis 6.2).

Tabel 7.1 Pumpade juhtimine sõltuvalt mahuti veetasemest

Puurkaev	Rakendatav reegel	Pump töösse (m)	Pump seisma (m)
PK.1	R.1	2,50	3,30
PK.2	R.2	2,40	3,30
PK.3	R.3	2,60	3,30
PK.4	R.4	2,40	3,30

Tabel 7.2 Pumpade juhtimine sõltuvalt kellajast

Puurkaev	Rakendatav reegel	Pump töösse (m)	Pump seisma (m)
PK.1	R.5	04:00	07:00
PK.1	R.6	11:00	17:00
PK.2	R.7	04:00	07:00
PK.2	R.8	11:00	17:00
PK.3	R.9	03:00	07:00
PK.3	R.10	11:00	17:00
PK.4	R.11	11:00	17:00

Juhtimiskombinatsioon koosneb 11 reeglist ning jaguneb veetasemete põhiseks juhtimiseks ning kellaja põhiseks juhtimiseks. Peamiselt toimub juhtimine ikkagi kellaja järgi, seda täiendab veel veetasemete põhine juhtimine. Selle eesmärgiks on mahuti täitumisel pumbad välja lülitada ning mahuti veetaseme langemisel allapoole soovitatavat piiri pumbad sisse lülitada. Seda on võib-olla vaja näiteks tulekahju olukorras kui veetase hakkab kiiresti langema, aga ajalisel juhitud pumbad on parasjagu välja lülitatud.

7.3.3 Arvutuslik elektrikulu

Alljärgnevalt (Tabel 7.3) on toodud arvutuslik elektrikulu vastavalt ptk 7.3.2 välja töötatud ajapõhisele juhtimiskombinatsioonile. Arvutuslik elektrikulu on leitud *EPANET 2.0* abil.

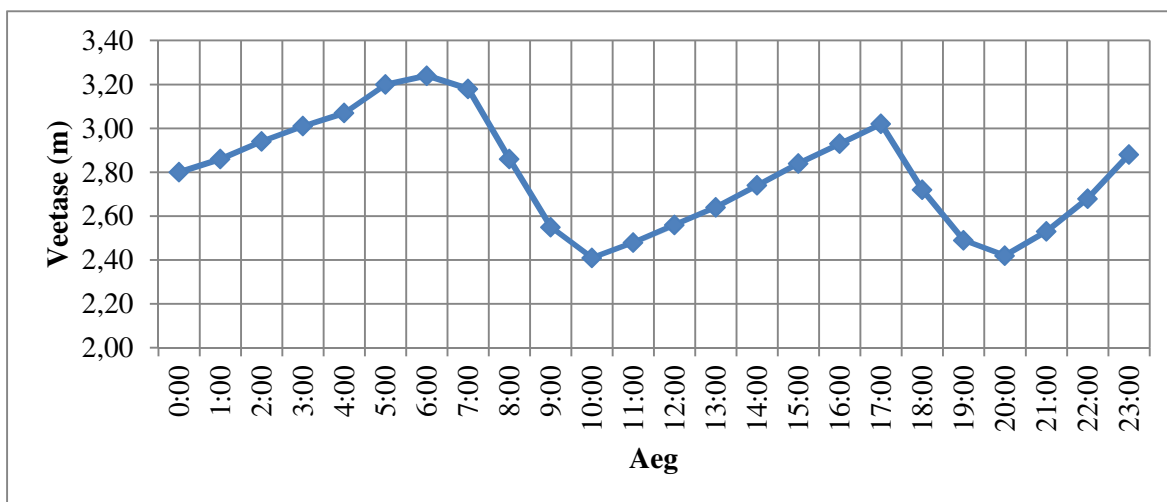
Tabel 7.3 Elektrikulu puurkaev-pumplate ajalisel juhtimisel

Puurkaev	Pump	Tööaeg (h/d)	Pumbatud vesi (m ³)	Elektri erikulu (kWh/m ³)	Kulu päevas (€/d)
PK.1	Q= 10 m ³ /h; H=60 m	18,0	180,4	0,23	4,17
PK.2	Q= 12 m ³ /h; H=60 m	14,4	177,3	0,25	4,45
PK.3	Q= 16 m ³ /h; H=40 m	19,6	312,8	0,17	5,24
PK.4	Q= 20 m ³ /h; H=80 m	11,3	226,9	0,34	8,08
Kokku:					21,94

Ajalise juhtimisel on puurkaev-pumplate arvutuslik elektrikulu maksimaalsel ööpäeval 21,94 €/d.

7.3.4 Mahuti veetase tavaolukorras

Alljärgnevalt (Joonis 7.1) on toodud perspektiivse varumahuti veetaseme muutus tavaolukorras vastavalt ptk 7.3.2 toodud ajalise juhtimise juhtimiskombinatsioonile.

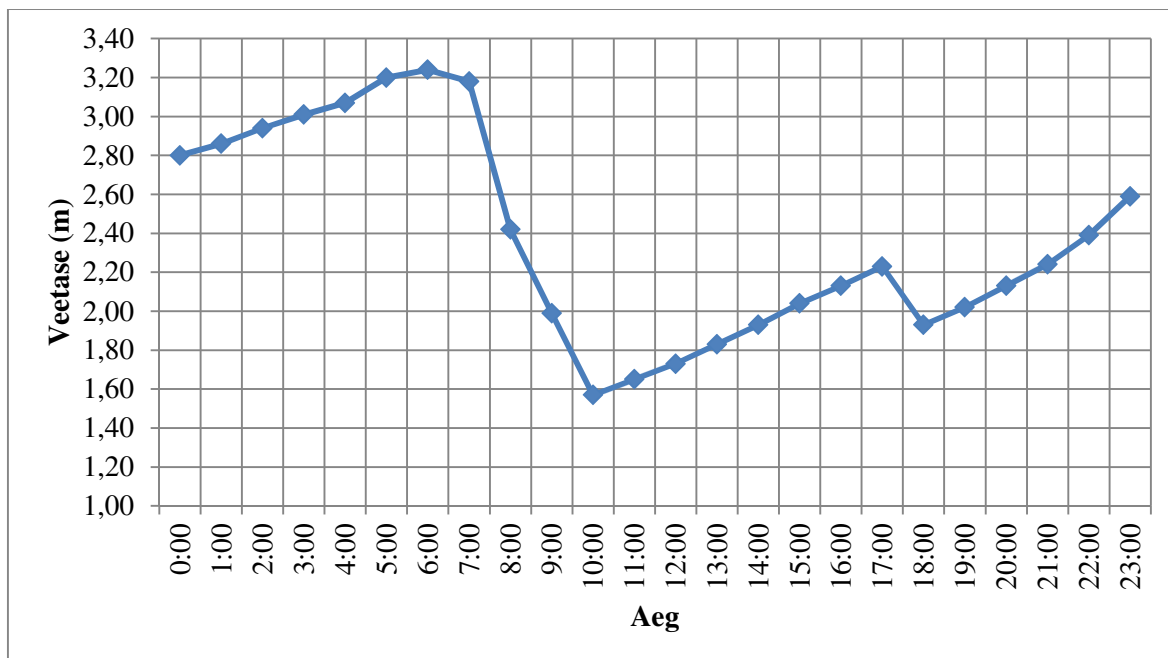


Joonis 7.1 Ööpäevane veetaseme muutus varumahutis - tavaolukord

Veetaseme muutusest on hästi näha, et odava elektri hinnaga perioodidel pumbatakse varumahuti peaaegu maksimaalselt täis ning kallima hinnaga perioodil veetase mahutis langeb (st, et veehaarde pumbad ei tööta). Veetase mahutis ei lange alla 2,4 m ehk mahutis on puutumatu veevaru 360 m³.

7.3.5 Mahuti veetase eriolukorras

Alljärgnevalt (Joonis 7.2) on toodud perspektiivse varumahuti veetaseme muutus eriolukorras tulekahju toimumisega kõige suurema tarbimisega perioodil ehk ajavahemikul 07:00-10:00.

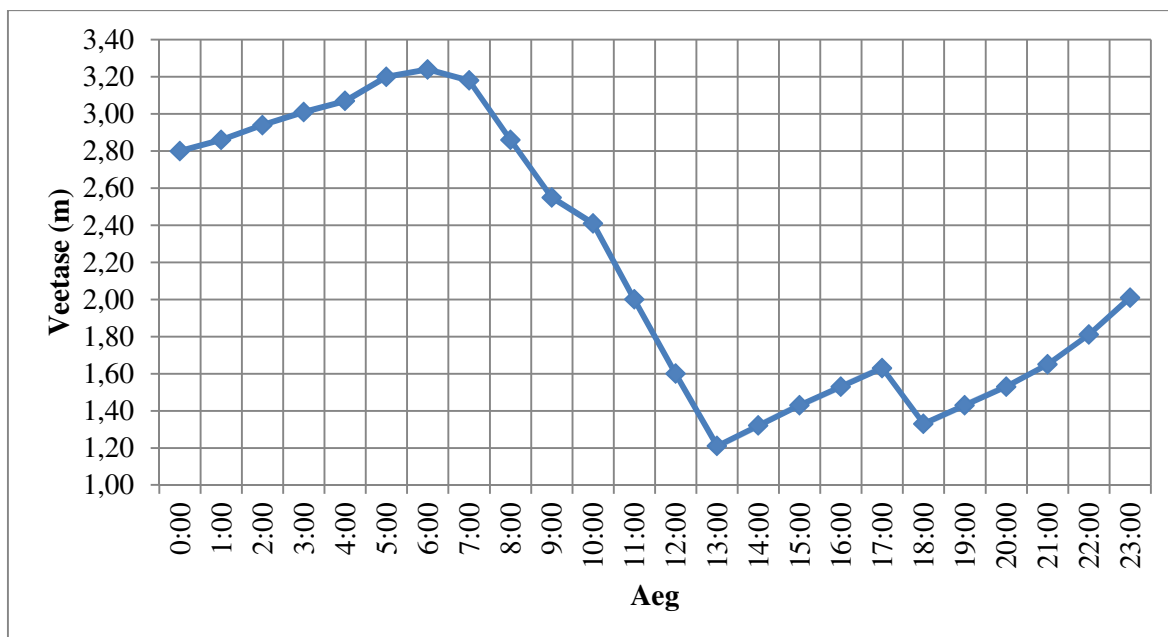


Joonis 7.2 Ööpäevane veetaseme muutus varumahutis – eriolukord (tulekahju kell 07:00-10:00)

Jooniselt on näha, et tulekahju toimumise ajal toimub varumahuti veetaseme järsk langus. Tulekahju toimumise lõpuks on veetase 1,57 m. Sellele veetasemele vastav maht on 226 m^3 . See tähendab seda, et varumahutis säilib vajalik avariimaht juhuks, kui peaks tekkima katkestusi varumahuti täitmisel.

Alljärgnevalt (Joonis 7.3) on toodud perspektiivse varumahuti veetaseme muutus eriolukorras tulekahju toimumisega kõige madalama veetasemega olukorras ehk ajavahemikul 10:00-13:00.

Jooniselt on näha, et tulekahju toimumise ajal toimub varumahuti veetaseme järsk langus. Tulekahju toimumise lõpuks on veetase 1,21 m. Sellele veetasemele vastav maht on 182 m^3 . See tähendab seda, et varumahutis säilib avariimaht juhuks, kui peaks tekkima katkestusi varumahuti täitmisel. Siiski langeb veetase mahutis madalamale võrreldes olukorraga, kui tulekahju toimub ajavahemikul 07:00-10:00.



Joonis 7.3 Ööpäevane veetaseme muutus varumahutis – eriolukord (tulekahju kell 10:00-13:00)

7.4 Puurkaev-pumplate töö analüüs ajalise juhtimiseta

7.4.1 Pumpade parameetrid

Erinevalt ptk 7.3 analüüsis kasutatud puurkaev-pumplate parameetritele vähendatakse puurkaev-pumplate tööl ajalise juhtimiseta puurkaevu PK.4 pumba jõudlust $10 \text{ m}^3/\text{h}$ võrra. Selle eesmärgiks on vähendada pumba tööolukorras puurkaevus tekkivat veetaseme langust ning sellega vähendada pumba vajalikku tõstekõrgust ning elektri erikulu. Ülejäänud pumpade parameetrid jäävad samaks, nagu on leitud ptk 6.9.4. Ülejäänud pumpade vooluhulkasid ei vähendata, sest varustamiskindluse tagamiseks peab kolme pumba koostöös olema minimaalne vooluhulk $30,3 \text{ m}^3$ (vt ptk 6.9.2). See tähendab, et ühe pumba rikke korral suudavad kolm pumba tagada vajaliku vooluhulga varumahutisse.

Puurkaevu PK.4 dünaamiline veetase ning pumba vajalik tõstekõrgus leitakse sarnaselt ptk 6.4.2 toodule. Ajalise juhtimiseta analüüsi korral puurkaev-pumplates kasutatavate pumpade parameetrid on toodud alljärgnevalt (Tabel 7.4).

Tabel 7.4 Ajalise juhtimiseta analüüsi korral puurkaev-pumplates kasutatavate pumpade parameetrid

Pos nr	PK.1	PK.2	PK.3	PK.4
Passi nr	5362	5361	5360	5359
Tootlikkus (m ³ /h)	10	12	16	10
Tõstekõrgus (m)	55	60	40	45

7.4.2 Pumpade tööpunktid

Alljärgnevalt (Tabel 7.5) on toodud puurkaevu pumpade tööolukorra tootlikkused, kasutegurid ning elektri erikulud pärast kalibreerimisega määratud kohttakistusteguri vähendamist.

Tabel 7.5 Puurkaevu pumpade tootlikkused, kasutegurid ning elektri erikulud

Pos nr	PK.1	PK.2	PK.3	PK.4
Passi nr	5362	5361	5360	5359
Puurkaevu passijärgne tootlikus (m ³ /h)	10,8	13,0	17,3	25,6
Puurkaevu pumba tootlikus tööolukorras (m ³ /h)	10,0	12,0	16,0	10,0
Kasutegur tööolukorras (%)	65,0	65,0	65,0	65,0
Elektri erikulu (kWh/m ³)	0,23	0,24	0,17	0,19

Ülevalpool toodud tabelist (Tabel 7.5) selgub, et parima elektri erikuluga on pumpamine puurkaevust PK.3. Sellele järgneb PK.4 ning PK.1 ja PK.2 on juba suurema elektri erikuluga.

7.4.3 Juhtimine

Puurkaev-pumplate juhtimine on toodud alljärgnevalt (Tabel 7.6). Kombinatsiooni koostamise aluseks on tabelis (Tabel 7.5) toodud pumpade elektri erikulud.

Tabel 7.6 Pumpade juhtimine sõltuvalt mahuti veetasemest

Puurkaev	Rakendatav reegel	Pump töösse (m)	Pump seisma (m)
PK.1	R.1	2,80	3,10
PK.2	R.2	2,80	3,10
PK.3	R.3	3,00	3,40
PK.4	R.4	2,90	3,30

Tabelist on näha, et puurkaevu PK.1 ja PK.2 pumbad lülituvad töösse kõige viimasena ehk siis, kui PK.3 ja PK.4 pumbad pole suutnud varumahutisse piisavalt vett tagada.

7.4.4 Arvutuslik elektrikulu

Alljärgnevalt (Tabel 7.7) on toodud uute valitud puurkaevu pumpade parameetrite kohta leitud arvutuslik elektrikulu ptk 7.4.3 toodud juhtimiskombinatsiooni alusel. Arvutuslik elektrikulu on leitud *EPANET 2.0* abil.

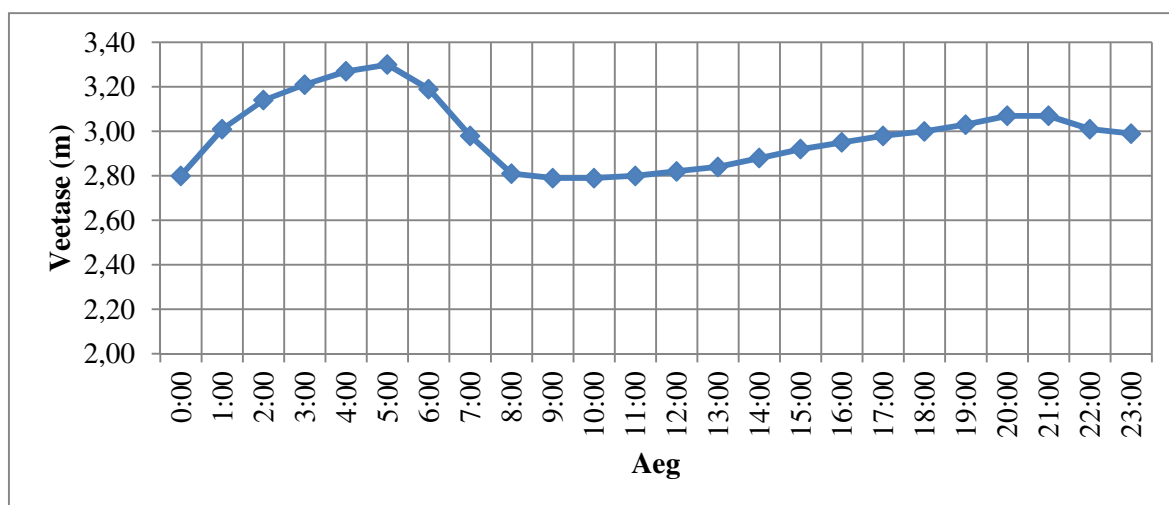
Tabel 7.7 Elektrikulu uute valitud pumpade korral

Puurkaev	Pump	Tööaeg (h/d)	Pumbatud vesi (m ³)	Elektri erikulu (kWh/m ³)	Kulu päevas (€/d)
PK.1	Q= 10 m ³ /h; H=60 m	14,7	161,5	0,23	4,09
PK.2	Q= 12 m ³ /h; H=60 m	14,7	180,6	0,25	4,84
PK.3	Q= 16 m ³ /h; H=40 m	24,0	384,0	0,17	6,52
PK.4	Q= 10 m ³ /h; H=63 m	21,3	202,5	0,19	4,06
Kokku:					19,51

Ajalise juhtimiseta on puurkaev-pumplate arvutuslik elektrikulu maksimaalsel ööpäeval 19,51 €/d.

7.4.5 Mahuti veetase tavaolukorras

Alljärgnevalt (Joonis 7.4) on toodud perspektiivse varumahuti veetaseme muutus tavaolukorras vastavalt ptk 7.4.3 toodud juhtimisskeemile. Veetase mahutis ei lange alla 2,4 m ehk mahutis on puutumatu veevaru 360 m³.

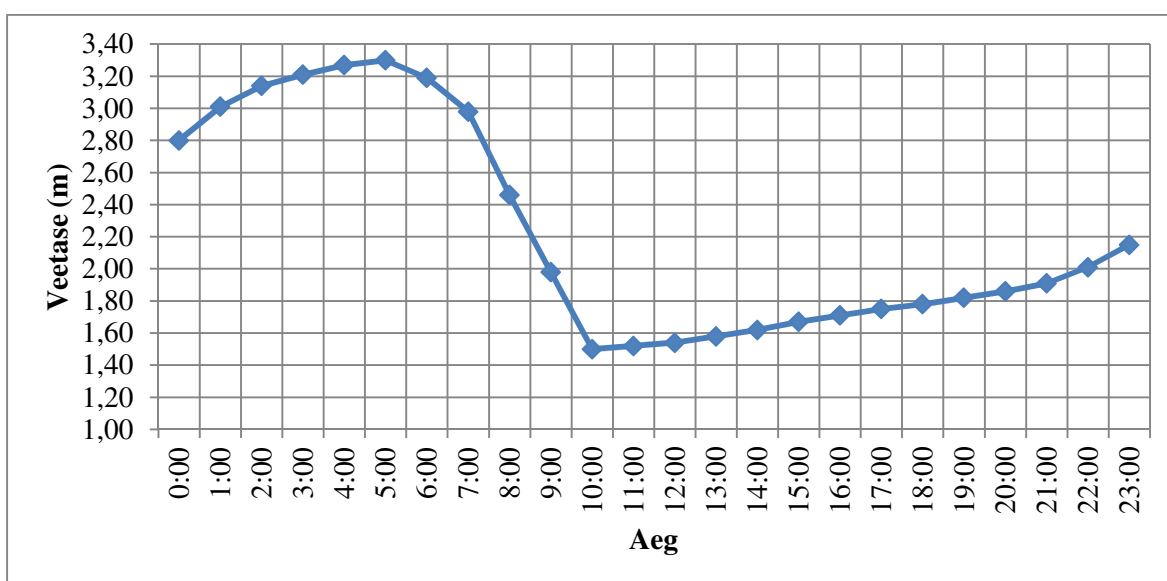


Joonis 7.4 Ööpäevane veetaseme muutus varumahutis - tavaolukord

Jooniselt on näha, et tulenevalt veehaarde puurkaev-pumplate töö juhtimisest, ei lange veetase varumahutis alla 2,79 m. Veetase püsib vahemikus 2,79-3,30 m. Minimaalne veetase on kell 10:00 tasemel 2,79 m ning sellele veetasemele vastav veemaht on 418 m³. See tähendab, mahutis on puutumatu veevaru 418 m³.

7.4.6 Mahuti veetase eriolukorras

Alljärgnevalt (Joonis 7.5) on toodud perspektiivse varumahuti veetaseme muutus eriolukorras.



Joonis 7.5 Ööpäevane veetaseme muutus varumahutis – eriolukord (tulekahju 07:00-10:00)

Jooniselt on näha, et tulekahju toimumise ajal toimub varumahuti veetaseme järsk langus. Tulekahju toimumise lõpuks on veetase 1,37 m. Sellele veetasemele vastav maht on 206 m³. See tähendab seda, et varumahutis säilib vajalik avariimaht juhuks, kui peaks tekkima katkestusi varumahuti täitmisel.

7.5 Juhtimisviiside võrdlus

Eelpool on toodud kaks võimalikku puurkaev-pumplate juhtimisviisi, mida on võimalik rakendada pärast uue II-astme pumpla ja uue varumahuti valmimist. Töös on leitud elektrikulu mõlema juhtimisviisi korral (vt Tabel 7.3 ja Tabel 7.7). Ajalise juhtimisega oleks päevane elektrikulu 21,94 € ning ajalise juhtimiseta 19,51 €. See tähendab, et ajalise juhtimiseta juhtimisviisi korral on elektrikulu 11,6% protsenti väiksem kui ajalise juhtimisega juhtimisviisi korral. Seetõttu on soovitatav kasutada väiksema voluluhulgaga pumпасid ja ajalise juhtimiseta juhtimisviisi.

8. TULEMUSED

8.1 Probleemid ja lahendused

Alljärgnevalt (Tabel 8.1) on toodud lahendused töö käigus tuvastatud probleemidele.

Tabel 8.1 Tuvastatud probleemid ja võimalikud lahendused

Jrk	Probleem	Lahendus
1	2	3
1	Erinevused puurkaevude kohta käivates andmetes.	Lähtutakse Keskkonnaregistri veebirakenduses olevates andmetest ning puurkaevude uurimise ajal tehtud mõõtmistest
2	Puurkaevus PK.1 olev pump on väga lähedal puurkaevu dünaamilisele veetasemele.	Töö koostamise ajal paigaldati puurkaevu pump 18 m võrra sügavamale.
3	Puurkaevu PK.1 ja PK.2 pumbad ületavad puurkaevude passidejärgseid tootlikkusi.	Olemasolevate puurkaevu pumpade ümberpaigutamine ei ole lahenduseks. Tuleb valida ning hankida uued pumbad.
4	Puurkaevu PK.4 ekspuateeritakse oluliselt madalamal tootlikkusel kui puurkaevu passijärgne tootlikkus.	Puurkaevu PK.4 tuleks valida ning hankida uus pump.
5	Puurkaevu PK.3 pumba tööpunkt asub väljaspool pumbagraafikut	Puurkaevu PK.3 tuleks valida ning hankida uus pump. Võimalik on ka vooluhulga drosseldamine, et vältida pumba kahjustamist.
6	Puurkaevudel on erinevad erideebitid.	Esimeses järjekorras tuleks ekspuateerida puurkaevu PK.3
7	Varumahuti liiga väike, et tagada tuletõrje veevajadust	Vaja on suuremat varumahutit
8	Varumahuti liiga väike, et oleks võimalik kasutada elektri ööpäevasest hinnamuutustest tulenevaid võimalusi	Vaja on suurema varumahutit
9	Puurkaev-pumplates PK.1, PK.2 ja PK.4 on mittevajalikud kohttakistused	Toruarmatuur (tagasilöögikapp, mudafilter, siibrid) tuleb üle kontrollida, et seal ei oleks mittevajalikke kohttakistusi. Samuti võib probleem olla torus. Kui takistused leitakse, siis tuleb need likvideerida.
10	Reaktiivenergia tarbimine	Reaktiivenergia kompenseerimisseadmete paigaldamisega on võimalik vähendada reaktiivenergia tarbimist 90% võrra ehk rahaline sääst oleks ca 770 € aastas.

1	2	3
11	Kaugvalve pole lõpuni välja arendatud	Kaugvalve tuleks lõpuni välja arendada - puurkaevudesse paigaldada hüdrostaatilised veetaseme andurid ning likvideerida vastuolud puurkaevude tähistamisel. Samuti võiks kaugvalve kaudu olla võimalik jälgida puurkaev-pumplas olevat survet.

8.2 Veehaarde puurkaevu pumpade parameetrid

Alljärgnevalt (Tabel 8.2) on toodud töö käigus leitud veehaarde puurkaevudesse sobivate pumpade parameetrid. Puurkaevu pumpade väljavahetamisega väheneb elektrile kuluv summa 28,8%. 2013. aasta tegelike kulude põhjal tähendaks see kulude kokkuhoidu 3 406,85 € ulatuses. Puurkaevu pumpade parameetrid on leitud eeldusel, et puurkaev-pumplates suudetakse osaliselt likvideerida mittevajalikke kohttakistusi. See tähendab, et kui nende likvideerimine õnnestub suuremas mahus või ei õnnestu üldse, siis tuleb pumpade parameetrid enne pumba valikut üle täpsustada.

Tabel 8.2 Veehaarde puurkaevu pumpade parameetrid

Pos nr	PK.1	PK.2	PK.3	PK.4
Passi nr	5362	5361	5360	5359
Tootlikkus (m ³ /h)	10	12	16	20
Tõstekõrgus (m)	55	60	40	80

8.3 Tasuvusajad

Alljärgnevalt (Tabel 8.3) on toodud käesolevas töös leitud võimalike optimeerimise võimaluste investeeringu maksumus, investeeringust saadav kokkuhoid ning tasuvusaeg. Tasuvusaeg on leitud valemiga (6.5).

Tabel 8.3 Optimeerimisvõimaluste maksumus, saavutatav kokkuhoid ning lihttasuvusaeg

Lahendus	Maksumus (€)	Kokkuhoid (€/a)	Tasuvusaeg (a)
Mittevajalike kohttakistuste eemaldamine	?	497,83	-
Puurkaevu pumpade väljavahetamine	8472,24	3383,19	2,5
Reaktiivenergia kompenseerimisseadmete paigaldamine	1100,00	695,99	1,6

Eespool toodud tabelist selgub, et reaktiivenergia kompenseerimisseadmete paigaldamise tasuvusaeg on kõige väiksem. Üllatuslikult pole väga pikk ka pumpade väljavahetamise tasuvusaeg. Mittevajalike kohttakistuste eemaldamise tasuvusaega pole leitud, sest väga

keeruline on hinnata selle töö maksumust, kuid kokkuhoitav summa ca 500 €/a peaks olema kindlasti huvipakkuv. Mittevajalike kohtakistuste eemaldamine tuleb teostada igal juhul, sest see on ka kõikide teiste võimalike lahenduste arvutuste eelduseks.

8.4 Perspektiivne II-astme pumpla

Käesolevas töös leiti, et vajalik ühisveevärgi varumahuti minimaalne kasulik maht peaks olema vähemalt 497 m³. Samuti leiti, et veehaarde pumpade juhtimisel on ajalise juhtimiseta süsteem kasulikum kui ajalise juhtimisega süsteem.

9. ARUTELU

Käesoleva töö koostamise käigus teostati puurkaevude kontrollmõõtmised ja jõuti järeldusele, et puurkaevude andmetena kasutakse Keskkonnaregistri veebirakenduses olevaid andmeid.

Erinevused puurkaevu päiste juures mõõdetud rõhkudes ei tohiks olla nii suured. Hüdraulilise mudeli kohaselt peaksid nimetatud rõhud tööolukorras olema kõikide veehaarde puurkaevude päiste juures peaaegu võrdsed ehk vahemikus 0,5-1,5 bar, kuid puurkaevu PK.1 juures oli mõõdetud rõhu suuruseks 3,3 bar ning puurkaevu PK.4 juures 3,0 bar.

Veehaarde praegust tööd analüüsid selgus, et kahe puurkaevu (PK.1 ja PK.2) pumpade tootlikkused tööolukorras ületavad puurkaevude passidejärgseid maksimaalseid tootlikkusi. Töö koostamise käigus analüüsiti võimalust, kas pumpade ümberpaigutamisega oleks võimalik nimetatud vastuolu likvideerida, kuid kahjuks ületaks ka pärast ümberpaigutamist pumpade tootlikkused puurkaevude passidejärgseid tootlikkusi, kuigi puurkaevude PK.1 ja PK.2 osas väheneks tootlikkuse ületamine oluliselt. Samal ajal ületaks aga puurkaevu PK.3 paigaldatava pumba tootlikkus oluliselt passijärgsest tootlikkusest. Sellest lähtuvalt ei ole pumpade ümberpaigutamisel suurt mõtet. Puurkaevudes PK.1 ja PK.2 asuvat pumba võiks kasutada ainult puurkaevus PK.4.

Käesoleval hetkel töötab puurkaevu PK.3 pump väljaspool pumba graafikut. Sellest tulenevalt on pumbal väga madal kasutegur. Kuna pump ei ületa puurkaevu passijärgset tootlikkust, siis ole pumba välja vahetamisega kiiret. Pumba töötamine sellises piirkonnas ei ole soovitud ning see võib põhjustada töörotta kahjustumist. Seetõttu tuleks pumba vooluhulk drosseldada alla 12 m³/h.

Puurkaevu PK.3 erideebit on kõige suurem, seetõttu tuleks seda puurkaevu ekspluateerida esimeses järjekorras, sest pumpamine sellest puurkaevust on kõige odavam. Elektri erikulu on isegi praeguse halva kasuteguri juures kõige väiksem. Siiski tuleks jälgida, et ei ületataks puurkaevu passijärgset tootlikkust.

Ühisveevärgi varumahuti väikse mahu tõttu ei suudeta hoida ühe normvooluhulgal toimuva tulekahju jaoks vajalikku puutumatut veevaru. Käesoleval hetkel suudetakse hoida puutumatut veevaru 102 m³ vajaliku 216 m³ asemel. Seega ei vasta praegune süsteem hetkel kehtivatele normidele.

Tulenevalt väikesest varumahutist, ei ole võimalik ära kasutada ka elektri kokkuhoiu nimel odavamalt öötariifi. Sama probleem on ka 2017. aastast rakenduva tunnipõhise elektriarvestusega. Väike varumahuti ei võimalda kallima tariifiga tundidel veehaarde pumпасid välja lülitada.

Reaktiivenergia tarbimisega seotud kulused on võimalik vähendada 90%. Rahaliselt tähendaks see umbes 770 € aastas. Reaktiivenergia kompenseerimisseadmeid tasub kaaluda ka teistel JVV rajatistel (sh. reoveepuhasti ja II-astme pumpla).

Olemasolevate puurkaevu pumpade väljavahetamine käesolevas töös dimensioneeritud pumpade vastu maksab 8472 €. Selline tegevus peaks tooma kulude kokkuhoiu 3 407 € ulatuses. See tähendab, et tasuvusaeg sellel tegevusel on 2,5 aastat. Töös leitud puurkaevu pumpade parameetrid on leitud eeldusel, et puurkaev-pumplates suudetakse likvideerida mittevajalikud kohtakistused.

Perspektiivse II-astme pumpla juurde rajatava uue varumahuti suurus peaks olema minimaalselt 497 m³. Töö käigus modelleeriti perspektiivse varumahuti elektrikulu ja veetasemeid juhul, kui mahuti kasulikuks mahuks valida 510 m³. Töös leiti, et mahuti suurusega 510 m³ võimaldab kasutada puurkaevu pumpadel ajalist juhtimist, kuid Jõgeva linna veehaarde puhul sellest rahalist kasu ei teki võrreldes samades tingimustes toimiva ajalise juhtimiseta süsteemi korral. Selle põhjustab peamiselt see, et ajalise juhtimise korral on vaja suurema jõudlusega pumпасid, mis viivad puurkaevude dünaamilise veetaseme sügavamale ning see põhjustab suuremat elektri erikulu. Ajalise juhtimiseta süsteemi korral töötavad pumباد kogu aeg ning see võimaldab kasutada väiksema voluhulgaga pumпасid, mille kasutamisel on dünaamiline veetase puurkaevudes kõrgemal ning sellest tulenevalt on vaja pumpadel arendada väiksemat tõstekõrgust.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli leida võimalikud lahendused, mille abil vähendada kulutusi vee transportimisel Jõgeva linna veehaardest ühisveevärgi varumahutisse. Optimeerimisel lähtuti sellest, et võimalikud lahendused peavad tagama Jõgeva linna veetarbijate veevajaduse ning tulekahju toimumise ajal vajaliku vooluhulga hüdrantidele.

Töös analüüsiti olemasolevate puurkaev-pumplate tööd ning leiti, et puurkaevude pumbad on valesti dimensioneeritud. Sellest tulenevalt ületavad kahe puurkaevu pumba tootlikkused puurkaevu passijärgset tootlikkust ning ühe pumba tööpunkt asub väljaspool pumba graafikut.

Samuti analüüsiti ühisveevärgi varumahuti toimimist. Modelleerimise käigus tuvastati, et praeguse veehaarde puurkaevude juhtimise skeemi korral, on tavaolukorras mahuti puutumatu veevaru 102 m^3 . Töös leiti, et tavaolukorras täidab varumahuti oma ülesanded, kuid normidele vastava tulekahju korral ei ole mahutist võimalik saada kogu tulekahju tingliku kestvuse ajal vajalikku vett hüdrantidele.

Töös uuriti võimalusi puurkaev-pumplate elektrikulu vähendamiseks. Tulenevalt väikesest varumahutist, pole odavama tariifiga elektri kasutamine võimalik. Säästa on võimalik sellega, et eelistatult pumbata vett puurkaevust, kust pumpamine on kõige kasulikum ehk elektri erikulu ühe m^3 vee pumpamiseks on kõige väiksem.

Lisaks sellele leiti, et veehaarde tarbimiskohas tarbitakse lisaks aktiivenergiat veel ka reaktiivenergiat, mille tarbimist on võimalik lihtsate vahenditega kompenseerida.

Töös leiti ka perspektiivse II-astme pumpla rajamisel rajatava ühisveevärgi varumahuti vajalik minimaalne maht. Lisaks uuriti võimalikke energiasäästuvõimalusi tulenevalt suuremast varumahutist, kuid selgus, et pumpade töötamisel odavama tariifiga perioodil ei teki kokkuhoidu elektrile kuluvas summas, vaid hoopis vastupidi. Kulutused on sellisel juhul isegi suuremad. Suurem mahuti võimaldab aga vähendada puurkaevu pumpade jõudlusi piirini, kus nad on võimelised pideva töö korral tagama maksimaalse ööpäeva veevajaduse. See tähendab, et tiptundide veevajadus võetakse reguleeriva mahu arvelt. Pumpade jõudluse vähendamisel tõusevad dünaamilised veetasemed puurkaevudes ning see vähendab pumpade elektrikulu.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] M. R. N. Vilanova ja J. A. P. Balestieri, „Energy and hydraulic efficiency in conventional water supply systems,“ ScienceDirect, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113007739>. [Kasutatud 31. 03. 2014].
- [2] H. Haldre, T. Koppel, A. Maastik ja L. Paal, Hüdralika ja pumbad, Tartu: Greif, 1995.
- [3] A. Mõisavald, Jõgeva Veevärk OÜ tehnikajuht, *Suuliselt ning kirjateel edastatud informatsioon*, 2014.
- [4] Keskkonnaministeerium, „Keskkonnaregisteri veebirakendus,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://register.keskkonnainfo.ee/envreg/main#HTTPQwbRu5t0hdMzEZM-6EF7zalkYIelrAF>. [Kasutatud 26. 02. 2014].
- [5] „The Engineering ToolBox,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.engineeringtoolbox.com/major-loss-ducts-tubes-d_459.html. [Kasutatud 3. 03. 2014].
- [6] Jõgeva Veevärk OÜ, „Taotlus vee erikasutusloa muutmiseks,“ Jõgeva, 17.04.2014.
- [7] Eesti Standardikeskus, „EVS 835:2014 Hoone veevärk,“ 2014.
- [8] Kamstrup A/S, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://kamstrup.com/media/21721/file.pdf>. [Kasutatud 17. 05. 2014].
- [9] Справочник по специальным работам - Монтаж систем внешнего водоснабжения и канализации, Москва, 1965.
- [10] Jõgeva Veevärk OÜ; Sweco Projekt AS, „Jõgeva linna ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni arendamise kava aastateks 2010-2022,“ Jõgeva, 2010.
- [11] T. Koppel, „Rakvere Vesi,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.rakvesi.ee/public/files/Veekadude%20analyysi%20meetodid.pdf>. [Kasutatud 13. 03. 2014].
- [12] Jõgeva Veevärk OÜ, „Majandusaasta aruanne,“ Jõgeva, 2010.
- [13] Jõgeva Veevärk OÜ, „Majandusaasta aruanne,“ Jõgeva, 2011.
- [14] Jõgeva Veevärk OÜ, „Majandusaasta aruanne,“ Jõgeva, 2012.
- [15] Jõgeva Veevärk OÜ, „II-astme pumpla veemõõtjanäidud 2012-2013“.

- [16] Eesti Standardikeskus, „EVS 921:2014 Veevarustuse välisvõrk,“ 2014.
- [17] Jõgeva Linnavalitsus, „Jõgeva linna kodulehekül,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://jogeva.kovtp.ee/et/uldinfo>. [Kasutatud 13. 03. 2014].
- [18] Eesti Standardikeskus, „EVS 812-6:2012 Ehitise tuleohutus. Osa 6 - Tuletõrje veevarustus,“ 2012.
- [19] Keskkonnaministri määrus nr 37, „Nõuded puurkaevu ja puuraugu projekti ja konstruktsiooni ning likvideerimise ja rekonstrueerimise projekti kohta, puurkaevu ja puuraugu projekteerimise, rajamise, kasutusele võtmise, likvideerimise ja konserveerimise kord ning puurkaevu või puuraugu ...,“ Vastu võetud 29. 07. 2010. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.riigiteataja.ee/akt/115092011005?leiaKehtiv>. [Kasutatud 25. 05. 2014].
- [20] Elektrilevi OÜ, „Reaktiivenergia,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.elektrilevi.ee/reaktiivenergia>. [Kasutatud 4. 03. 2014].
- [21] Jõgeva veevõrk OÜ, „Elektritarbimisandmed,“ 2013.
- [22] Elektrilevi OÜ, „Öötariif,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.elektrilevi.ee/korduvad-kysimused?faqSearch=%C3%B6%C3%B6tariif>. [Kasutatud 5. 05. 2014].
- [23] Elektrilevi OÜ, „Kauglugemine,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.elektrilevi.ee/et/kauglugemine>. [Kasutatud 4. 05. 2014].
- [24] Nord Pool Spot, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/Elspot/Area-Prices/ALL1/Hourly/>. [Kasutatud 18. 05. 2014].
- [25] KSB Finland Oy, „Puurkaevu pumpade hinnapakumine,“ 27.05.2014.
- [26] Keskkond & Partnerid OÜ, „Jõgeva linna veevõrgu hüdrauliline mudel ja kanalisatsioonitorustke võrguarvutus,“ Tartu, 2010.
- [27] Maa-amet, „Maa ameti geoportaal,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://xgis.maaamet.ee/xGIS/XGis?app_id=UU82&user_id=at&bbox=337484.126984127,6375000,767515.873015873,6635000&LANG=1. [Kasutatud 1. 05. 2014].

Lisa 1. Jõgeva linna ühisveevärgi veehaarde puurkaevude tehniliste andmete võrdlus

Pos nr	PK.1	PK.2	PK.3	PK.4
Registrikood	PRK008616	PRK008615	PRK008614	PRK008613
Passi nr	5362	5361	5360	5359
Puurimise aasta	1984	1984	1984	1984
Puurkaevu sügavus (m)	200	200	200	200
Keskkonnaregister				
Staatiline veetase (m)	-	-	-	-
Puurkaevu tootlikus (m³/h)	10,8	13,0	17,3	25,6
Veetaseme alandus (m)	53,5	43,0	44,0	26,5
Dünaamiline veetase (m)	-	-	-	-
Erideebit (l/s·m)	0,20	0,30	0,39	0,96
Jõgeva Veevärk				
Staatiline veetase (m)	11,0	11,0	11,0	11,0
Puurkaevu tootlikus (m³/h)	16,0	15,0	25,0	25,0
Veetaseme alandus - arvutuslik (m)	50,0	41,0	41,0	26,0
Dünaamiline veetase (m)	61,0	52,0	52,0	37,0
Erideebit (l/s·m)	0,32	0,37	0,61	0,96

Lisa 2. Veehaarde tarbimiskoha elektrienergiaga tarbimine ja maksumus 2013. aastal

Periood	Aktiivenergia tarbimine				Reaktiivenergia		Võrguteenuse maksumus				Elektri maksumus		Riiklikud maksud			Maksumus kokku (€)
	Pumbatud vesi (m ³)	Päevatariif (kWh)	Öötariif (kWh)	Kokku (kWh)	Tarbimine (kvarh)	Võrku edastamine (kvarh)	Elektri edastamine päevatariif (€)	Elektri edastamine öötariif (€)	Võrguühenduse kasutamine 100A (€)	Tarbitud reaktiivenergia maksumus (€)	Elekter päevatariif (€)	Elekter öötariif (€)	Taastuvenergia tasu (€)	Elektriaktsiis (€)	Käibemaks (€)	
Jaanuar	18873	5163	3535	8698	7985	16	231,82	93,68	30,00	56,69	219,43	150,24	75,67	38,88	179,28	1075,69
Veebruar	18984	4681	3520	8201	7654	13	210,18	93,28	30,00	54,34	194,73	146,43	71,35	36,66	160,06	997,03
Märts	22509	5067	4453	9520	8807	13	227,51	118,00	30,00	62,53	222,44	195,49	82,82	42,55	187,76	1169,11
Aprill	20594	5199	3690	8889	8949	11	233,44	97,79	30,00	63,54	222,52	157,93	77,33	39,73	176,51	1098,78
Mai	19292	4998	3251	8249	8366	15	224,41	86,15	30,00	59,40	202,42	131,67	71,77	36,87	161,16	1003,85
Juuni	16694	4217	3617	7834	8023	15	189,34	95,85	30,00	56,96	201,57	172,89	68,16	35,02	162,96	1012,75
Juuli	19303	5323	3763	9086	10161	8	239,00	99,72	30,00	72,14	223,03	157,67	79,05	40,61	180,12	1121,35
August	17967	5148	3825	8973	10135	9	231,15	101,36	30,00	71,96	226,00	167,92	78,07	40,11	181,29	1127,84
September	17403	4881	3657	8538	9569	9	219,16	96,91	30,00	67,94	222,57	166,76	74,28	38,16	175,52	1091,31
Oktoober	16325	5297	3230	8527	9623	12	237,84	85,60	30,00	68,32	240,48	146,64	74,18	38,12	176,61	1097,79
November	16804	4927	3316	8243	9178	12	221,22	87,87	30,00	65,16	213,83	143,91	71,71	36,85	166,74	1037,31
Detsember	18185	5181	4207	9388	10469	8	232,63	111,49	30,00	74,33	207,76	168,70	81,68	41,96	181,32	1129,86
Kokku	222933	60082	44064	104146	108919	141	2697,68	1167,70	360,00	773,32	2596,79	1906,25	906,07	465,53	2089,34	12962,68

Elektritarbimisandmete põhjal leitud näitajad

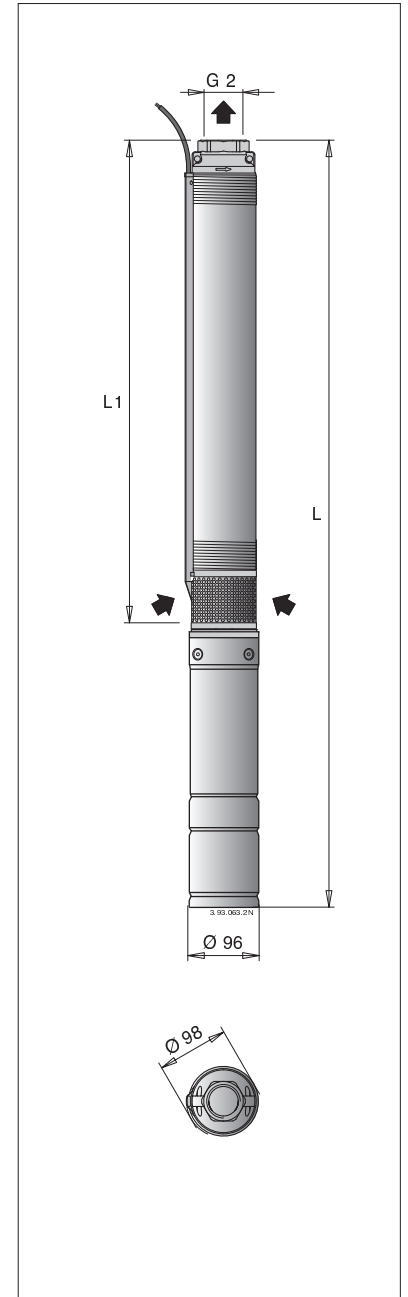
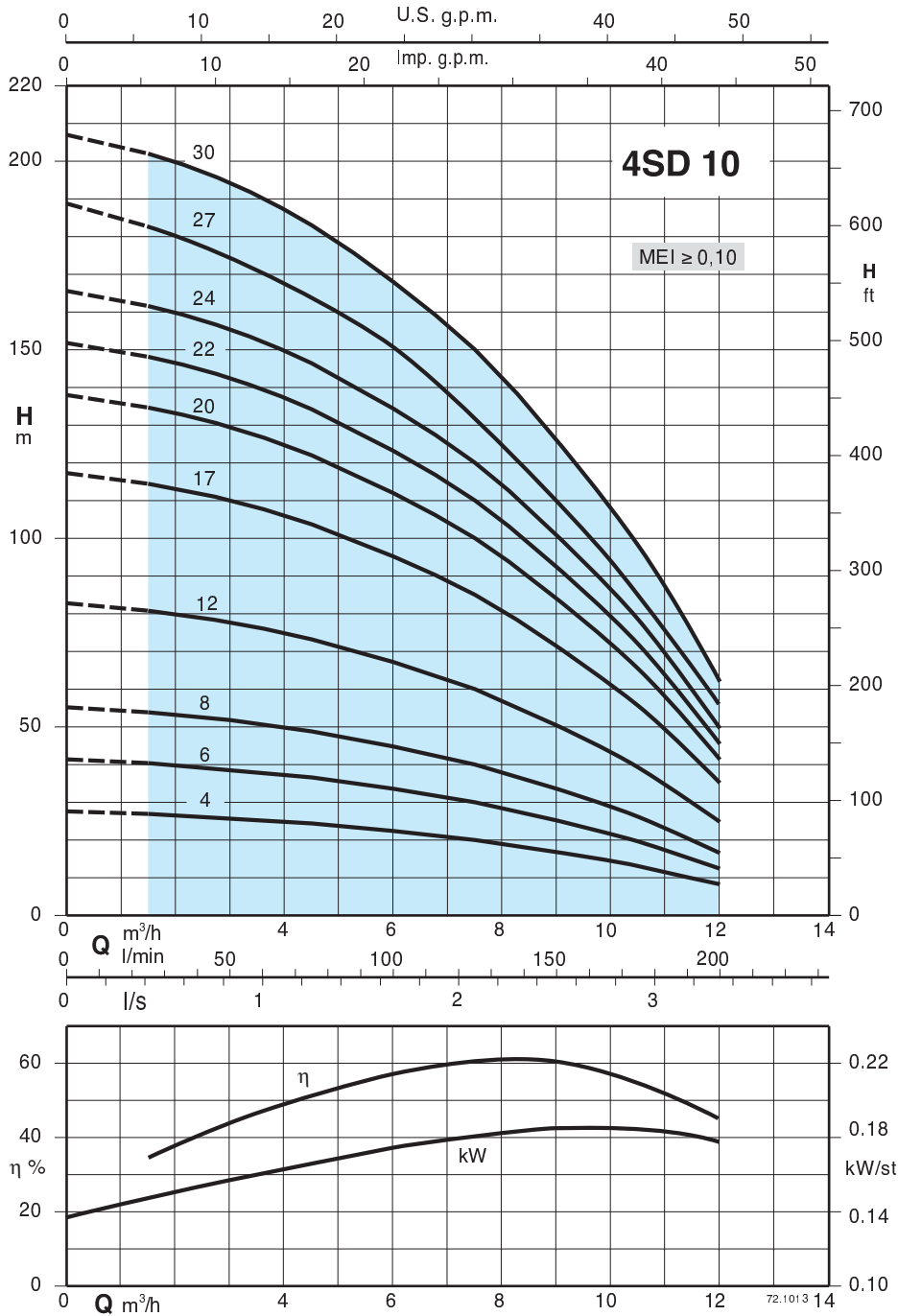
Päevatariifi osakaal	57,7 %
Öötariifi osakaal	42,3 %
Pumbatud vesi päevas	610,8 m ³ /d
Elektrikulu päevas	164,6 kWh/d
Elektri erikulu	0,47 kWh/m ³

Lisa 3. Tunnipõhiselt II-astme pumpla poolt võrku pumbatav vesi ja selle alusel leitud tarbimiskordjad ööpäeva lõikes

Ajavahemik	Keskmine pumbatud vesi (m³)	Tarbimise kordaja
00:00-01:00	12,1	0,34
01:00-02:00	11,1	0,31
02:00-03:00	11,3	0,32
03:00-04:00	11,8	0,33
04:00-05:00	14,3	0,40
05:00-06:00	22,6	0,64
06:00-07:00	33,5	0,95
07:00-08:00	33,9	0,95
08:00-09:00	35,5	1,00
09:00-10:00	35,1	0,99
10:00-11:00	33,6	0,95
11:00-12:00	33,5	0,94
12:00-13:00	32,0	0,90
13:00-14:00	30,9	0,87
14:00-15:00	30,8	0,87
15:00-16:00	31,3	0,88
16:00-17:00	31,7	0,89
17:00-18:00	31,9	0,90
18:00-19:00	31,8	0,90
19:00-20:00	30,8	0,87
20:00-21:00	29,8	0,84
21:00-22:00	25,7	0,72
22:00-23:00	19,9	0,56
23:00-24:00	14,7	0,41

Lisa 4. Puurkaevupumba Calpeda 4SD 10-24 tehnilised andmed

Characteristic curves, performance $n \approx 2900$ rpm, dimensions and weights



3~ 400 V (380-415) 50 Hz A	1~ 230V A	* 450 Vc μ F	P ₁ kW	P ₂ kW	HP	n \approx 2900 rpm												
						Q m ³ /h	H m											
							1,5	2,4	3	3,6	4,8	6	7,2	8,4	9,6	10,8	12	
4SD 10/4EC	2	4SDM 10/4EC	5,6	35	1,22	0,75	1	27	26	26	25	24	23	20	18	15	12	8
4SD 10/6EC	2,9	4SDM 10/6EC	8,4	40	1,82	1,1	1,5	40	39	39	38	36	34	31	27	23	18	12
4SD 10/8EC	4,2	4SDM 10/8EC	11,2	60	2,33	1,5	2	54	53	52	51	48	45	41	36	30	25	16
4SD 10/12EC	5,5	4SDM 10/12EC	14,7	70	3,27	2,2	3	81	79	78	76	72	67	61	54	46	37	25
4SD 10/17EC	7,4					3	4	114	112	111	108	102	95	87	76	65	52	35
4SD 10/20EC	9,4					4	5,5	134	132	130	127	120	112	102	90	76	61	41
4SD 10/22EC	9,4					4	5,5	148	145	143	139	132	123	112	99	84	67	45
4SD 10/24EC	9,4					4	5,5	162	158	156	152	144	134	122	108	91	74	50
4SD 10/27EC	13					5,5	7,5	182	178	176	171	162	151	138	122	103	83	56
4SD 10/30EC	13					5,5	7,5	202	198	195	190	180	168	153	135	114	92	62

L1 mm	4SD		4SDM	
	L mm	kg	L mm	kg
409	771	11,6	811	14,1
515	917	13,4	962	16,7
621	1068	15,7	1088	18,6
833	1235	25,9	1350	22,7
1098	1579	28		
1312	1858	36		
1418	1964	36,8		
1524	2070	37,6		
1683	2329	41,1		
1842	2488	42,1		

P₁: Max. power input P₂: Rated motor power output * Only for single-phase motor 230 V - 50 Hz (on request)

Tolerances according to UNI EN ISO 9906:2012

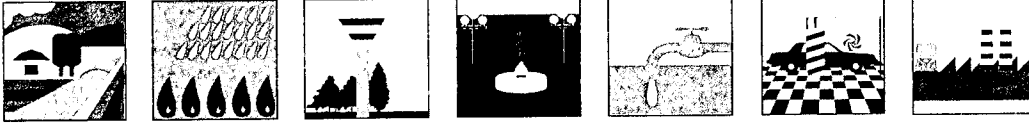
Lisa 5. Puurkaevupumba Hydro Pompe E90K24XS tehnilised andmed

4"



HYDRO POMPE WS

SERIE E90 KXS



CARATTERISTICHE IDRAULICHE A 2 POLI 50Hz.
HYDRAULICS CHARACTERISTICS AT 2 POLES/50Hz
CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES À 2 PÔLES/50Hz
CARACTERISTICAS HIDRAULICAS A 2 POLOS/50Hz

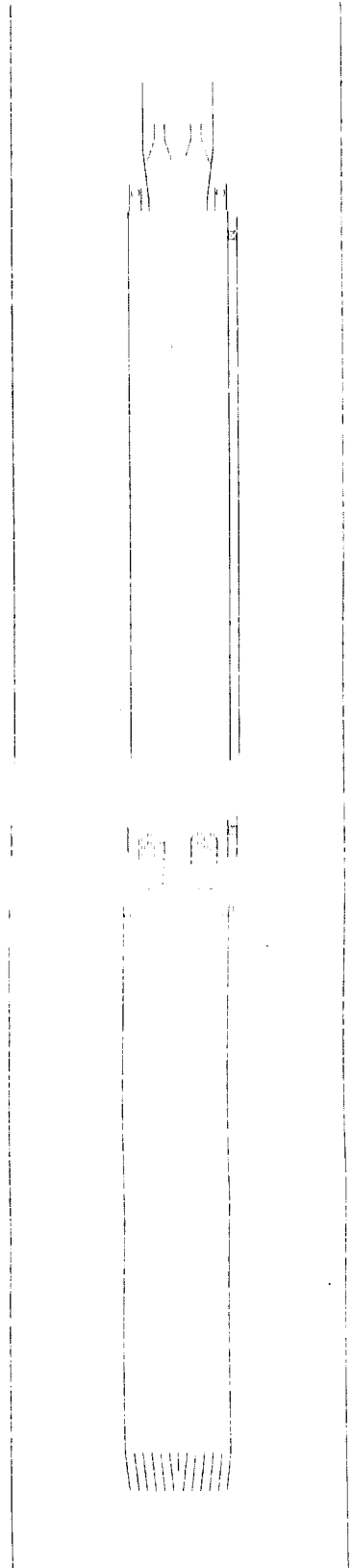
Tipo Type Type Tipo	Motore Motor Moteur Motor		Trifase Three-phase Triphasé Trifásico		Monofase Single-phase Monophasé Monofásico		Portata - Capacity - Débit - Caudal										
			V	V	A	V	l/min	155	170	186	207	227	238	248	258	269	310
			V	V	A	V	m/h	9,3	10,2	11,2	12,4	13,6	14,3	14,9	15,5	16,1	18,6
			220	380	220	450	l/s	2,58	2,84	3,1	3,44	3,79	3,96	4,13	4,30	4,48	5,17
			Kw	Hp	0		Campo di utilizzo consigliato Advised application field Champs d'application conseillé Campo de empleo aconsejado										
E90K05XS	1,1	1,5	3,8	2,7	7,9	40	25	19	18	17	16	15	14	13	12	10	7
E90K07XS	1,5	2	5,3	3,7	11	50	34	26	25	24	22	21	20	18	17	14	10
E90K11XS	2,2	3	8,3	5,9	17,3	80	54	41	39	37	35	33	31	28	26	22	15
E90K14XS	3	4	10,6	7,5			69	52	50	47	44	42	39	36	33	28	19
E90K18XS	4	5,5	14,4	10,2			94	70	68	64	60	57	53	49	45	38	26
E90K24XS	5,5	7,5	18,1	12,9			118	89	85	81	76	72	67	62	57	48	33
E90K25XS	5,5	7,5	18,9	13,4			133	93	89	85	79	75	70	65	60	50	34
E90K30XS	7,5	10	22,7	16,1			160	111	107	102	95	89	84	78	72	60	41

PERDITE DI CARICO IN MT. PER 100 METRI DI TUBAZIONE NUOVA IN ACCIAIO
LOSS OF HEAD IN MT FOR 100 METERS OF NEW STEEL PIPE
PERTE DE CHARGE EN MT. POUR 100 MÈTRES DE TUBULURE NOUVELLE EN ACIER
PERDIDA DE CARGO EN MT. POR 100 METROS DE TUBACION NUEVA EN ACERO

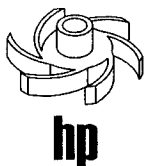
Utilizzare i seguenti coefficienti moltiplicativi
 Use the following multiplicative coefficients
 Utiliser les coefficients multiplicatif suivants
 Utilizar los siguientes coeficientes multiplicativos

0,7 per tubi in PVC	1,3 poco incrostatati	1,8 molto incrostatati
0,7 for pipes in PVC	1,3 little incrustated	1,8 very incrustated
0,7 pour tubes en PVC	1,3 peu incrusté	1,8 très incrustés
0,7 para tubos en PVC	1,3 poco incrustados	1,8 muy incrustados

l/min	l/sec	m/h	1,5"	2"	2,5"	3"	3,5"	4"
150	2,50	9	40	50	65	80	90	100
165	2,75	9,9	14,2	4,9	1,2	0,4		
			17,6	6	1,5	0,5		
180	3	10,8	20	7,1	1,8	0,6	0,4	
210	3,50	12,6	30,2	9,7	2,4	0,8	0,5	
240	4	14,4	35	12,7	3,1	1	0,7	
270	4,50	16,2	40	14	3,9	1,3	0,9	0,4
300	5	18	51	17,3	4,9	1,6	1	0,5
330	5,50	19,8		21	6	2	1,3	0,6



4"



**HYDRO POMPE
WS**

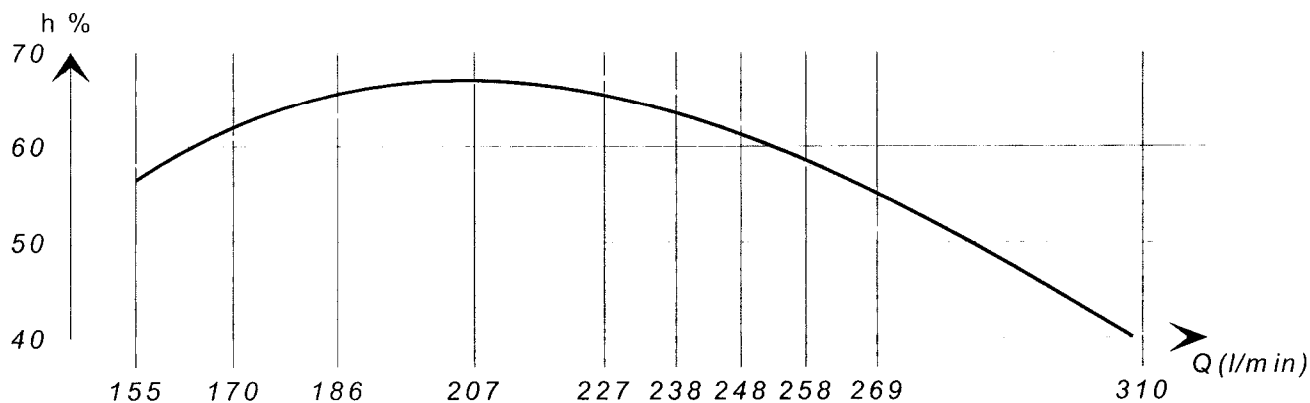
**CARATTERISTICHE DI
FUNZIONAMENTO A 2POLI/50Hz**

**CHARACTERISTICS OF
WORKING AT 2 POLES/50Hz**

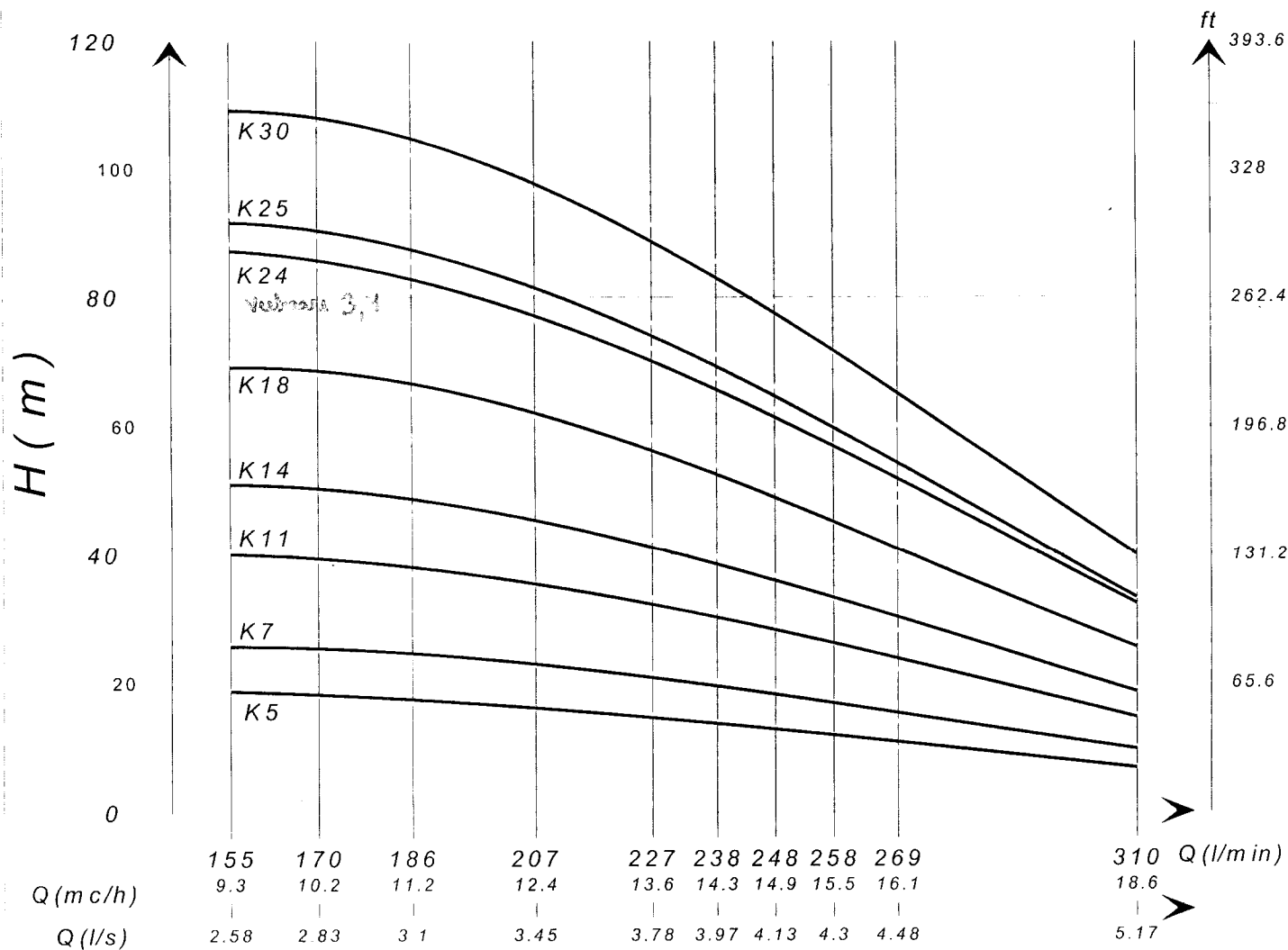
SERIE E90 KXS

**CARACTERISTIQUES DE
FONCTIONNEMENT À 2
PÔLES/50Hz**

**CARACTERISTICAS DE
FUNCIONAMIENTO A 2
POLOS/50Hz**



Q (Imp gpm)	34.1	37.4	40.9	45.5	49.9	52.4	54.6	56.8	59.2	68.2
Q (US gpm)	40.9	44.9	49.1	54.6	59.9	62.8	65.5	68.1	71	81.8

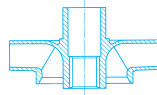


Lisa 6. Puurkaevupumba Saer NR-151D-12 tehnilised andmed

6"

SAER[®]
ELETTROPOMPE

NR-151D

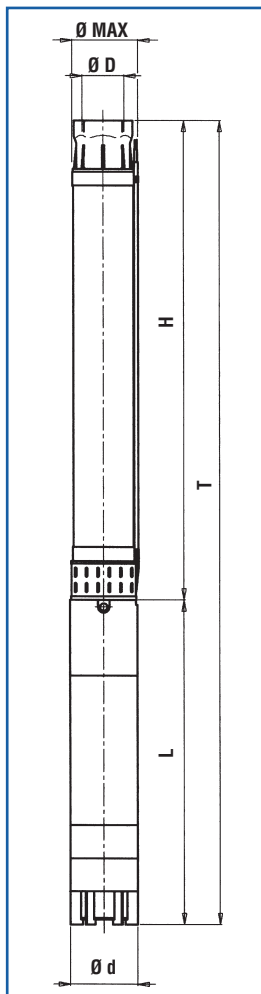

 $\cong 2900 \text{ l/min}$

CARATTERISTICHE IDRAULICHE

HYDRAULIC FEATURES

CARACTERISTICAS HIDRAULICAS / CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES / HYDRAULISCHE EIGENSCHAFTEN / CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS

Tipo Type	Motore Motor		In(A) 3~ 400V	U.S.g.p.m.												
	kW	HP		0	62	70	79	88	97	106	114	123	132	141	150	
				Q												
				m ³ /h												
				l/min												
NR-151D/3*	2,2	3	6,3	29	24	23,5	23	22	21	20,5	19,5	17,5	15,5	12,5	9,5	
NR-151D/4*	3	4	7,8	38,5	32	31,5	31	29,5	29	27,5	26	23,5	20,5	17	13	
NR-151D/5*	4	5,5	10,5	48,5	40	39,5	38,5	37	36	34,5	32,5	29,5	25,5	21,5	16,5	
NR-151D/7*	5,5	7,5	12,2	68	56	55	53	52	50	48	45,5	41	35,5	30	23	
NR-151D/10*	7,5	10	16,3	97	81	80	77	75	72	69	65	59	51	43	33	
NR-151D/12*	9,2	12,5	19,9	116	97	94	91	88	85	83	78	70	61	51	40	
NR-151D/15*	11	15	25	145	121	119	114	110	107	102	96	88	77	65	50	
NR-151D/17*	13	17,5	27,7	165	137	133	129	125	120	116	109	101	89	73	56	
NR-151D/20	15	20	31	194	162	158	153	148	143	138	130	118	102	86	66	
NR-151D/22	18,5	25	38	213	178	174	168	163	157	151	142	130	113	95	73	
NR-151D/25	18,5	25	40,5	242	202	198	191	185	179	171	161	148	128	107	83	
NR-151D/27	22	30	44,5	262	219	213	206	199	192	184	174	159	138	116	89	
NR-151D/30	22	30	45,5	290	241	236	228	221	213	205	194	177	153	129	99	
Livello minimo di battente alla griglia di aspirazione (m) • Min. hydrostatic head level to the suction grid (m) • Nivel de sumergencia min. de rejilla de aspiración (m) • Niveau minimum de profondeur à la grille d'aspiration (m) • Mindest Überflutung über dem Saugsieb (m) • Nivel mínimo de batente a la grejla de aspiración (m)				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	



* Funzionamento in orizzontale possibile, previa sostituzione delle bocche in gomma con bocche in bronzo e accoppiamento con motore di uguale potenza o dimensioni superiori. Si raccomanda la corretta posa dei supporti onde evitare che l'elettropompa lavori a sbalzo. • Horizontal operation is possible only by replacing the rubber bushings with bronze bushings and with a coupling to a motor of the same power or oversized. We recommend the correct positioning of the supports in order to ensure that the pump works properly. • Funcionamiento posible en posición horizontal bajo sustitución de los casquillos de goma por bronce y acoplamiento con un motor de igual potencia o dimensiones superiores. Se recomienda la correcta puesta en funcionamiento, para evitar que la bomba trabaje en voladizo. • Fonctionnement en position horizontale possible en remplaçant les bagues en caoutchouc avec bagues en bronze et accouplement avec un moteur de la même puissance ou dimensions supérieures. On conseille la correcte installation, avec les supports nécessaires, pour éviter que l'électropompe travaille par sauts. • Horizontalbetrieb möglich wegen Ersetzung von Gummi-Buchse mit Bronze-Buchse und wegen Kupplung mit selbe oder überdimensionierte Motorleistung. Achtung machen auf die korrekte Installation mit richtige Lager, zu vermeiden Trebarbeit der Pumpe. • Possibilidade de trabalho em posicionamento horizontal, previa substituição dos casquilhos de borracha para casquilhos em cobre e acoplado a motor de potencia igual ou dimensões maior. Aconselha-se colocar correctamente os soportes correspondentes para que a bomba trabalhe adequadamente. • Potencia nominale motore • Rated power of motor • Potencia nominal del motor • Puissance nominale moteur • Nennleistung des Motor • Potência nominal do motor. • Per pompe con giranti stampate in ottone declassare (Q) e (H) del 5%. • For pumps with impellers in pressed brass decrease (Q) and (H) of 5%. • Para bombas con impulsores prensados en latón rebajar (Q) y (H) el 5%. • Pour pompes avec turbines estampées en laiton déclasser (Q) et (H) de 5%. • Für Pumpen mit Messingpress Laufrädern, (Q) und (H) von 5% vermindern. • Para bombas com turbina em latão estampado deduzir (Q) e (H) 5%.

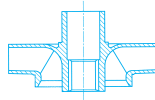
DIMENSIONI E PESI

DIMENSIONS AND WEIGHT

DIMENSIONES Y PESOS / DIMENSIONS ET POIDS / ABMESSUNGEN UND GEWICHTE / DIMENSÕES E PESO

TIPO / TYPE		L + H						Kg			
T	H	T (mm)	H (mm)	L (mm)	Ø Max (mm)	Ø D "G	Ø d (mm)	L	NEMA	H	T
NR-151D/3	NP-151D/3	1104	532	572	145	2" 1/2	95	4" CL 95	NEMA 1.18.388	11,9	30
NR-151D/4	NP-151D/4	1116	583	533	145	2" 1/2	95	4" CL 95	NEMA 1.18.388	12,7	29
NR-151D/5	NP-151D/5	1246	633	613	145	2" 1/2	95	4" CL 95	NEMA 1.18.388	13,5	33,6
NR-151D/7	NP-151D/7	1286	734	552	150	2" 1/2	144	6" MS 152	NEMA 1.18.413	15,1	59,1
NR-151D/10	NP-151D/10	1481	886	595	150	2" 1/2	144	6" MS 152	NEMA 1.18.413	17,5	66,5
NR-151D/12	NP-151D/12	1689	1054	635	150	2" 1/2	144	6" MS 152	NEMA 1.18.413	19,1	73,1
NR-151D/15	NP-151D/15	1890	1205	685	150	2" 1/2	144	6" MS 152	NEMA 1.18.413	21,5	81,5
NR-151D/17	NP-151D/17	2031	1306	725	150	2" 1/2	144	6" MS 152	NEMA 1.18.413	23,1	85,1
NR-151D/20	NP-151D/20	2233	1458	775	150	2" 1/2	144	6" MS 152	NEMA 1.18.413	25,5	90,5
NR-151D/22	NP-151D/22	2434	1559	875	150	2" 1/2	144	6" MS 152	NEMA 1.18.413	27,1	108,1
NR-151D/25	NP-151D/25	2585	1710	875	150	2" 1/2	144	6" MS 152	NEMA 1.18.413	29,5	110,5
NR-151D/27	NP-151D/27	2776	1811	965	150	2" 1/2	144	6" MS 152	NEMA 1.18.413	31,1	122,1
NR-151D/30	NP-151D/30	2928	1963	965	150	2" 1/2	144	6" MS 152	NEMA 1.18.413	33,5	124,5

≈ 2900 l/min



NR-151D

Moltiplicare il rendimento per il coefficiente corrispondente al vostro numero di stadi.

Multiply efficiency by the coefficient corresponding the number of stages.

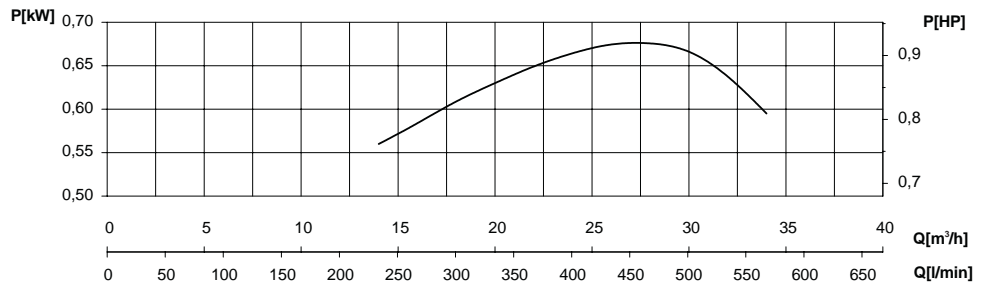
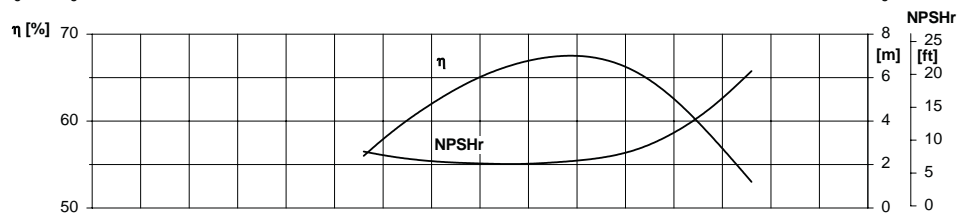
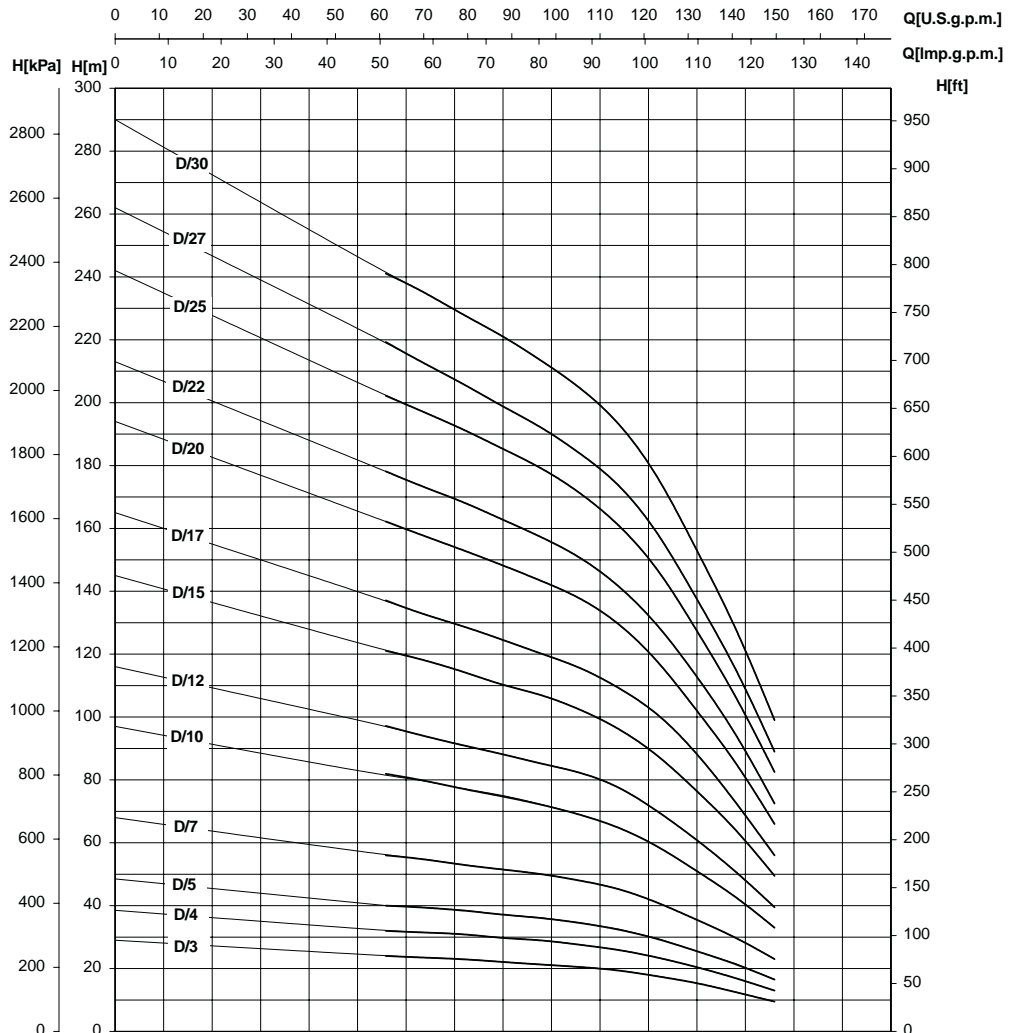
Multiplicar el rendimiento por el coeficiente correspondiente a Su numero de etapas.

Multiplier le rendement par le coefficient correspondant à votre nombre d'étages.

Das Wirkungsrad mit dem der Stufenzahl entsprechenden Koeffizient multiplizieren.

Multiplicar la eficiencia por el coeficiente igual as os numeros dos estagios.

Numero di stadi Number of stage Numero de etapas Nombre d'étages Stufenzahl Numero de estagios	<4	4-6	>6
Coefficienti Coefficient Coeficiente Facteur Koeffizient Coeficiente	0,96	0,98	1

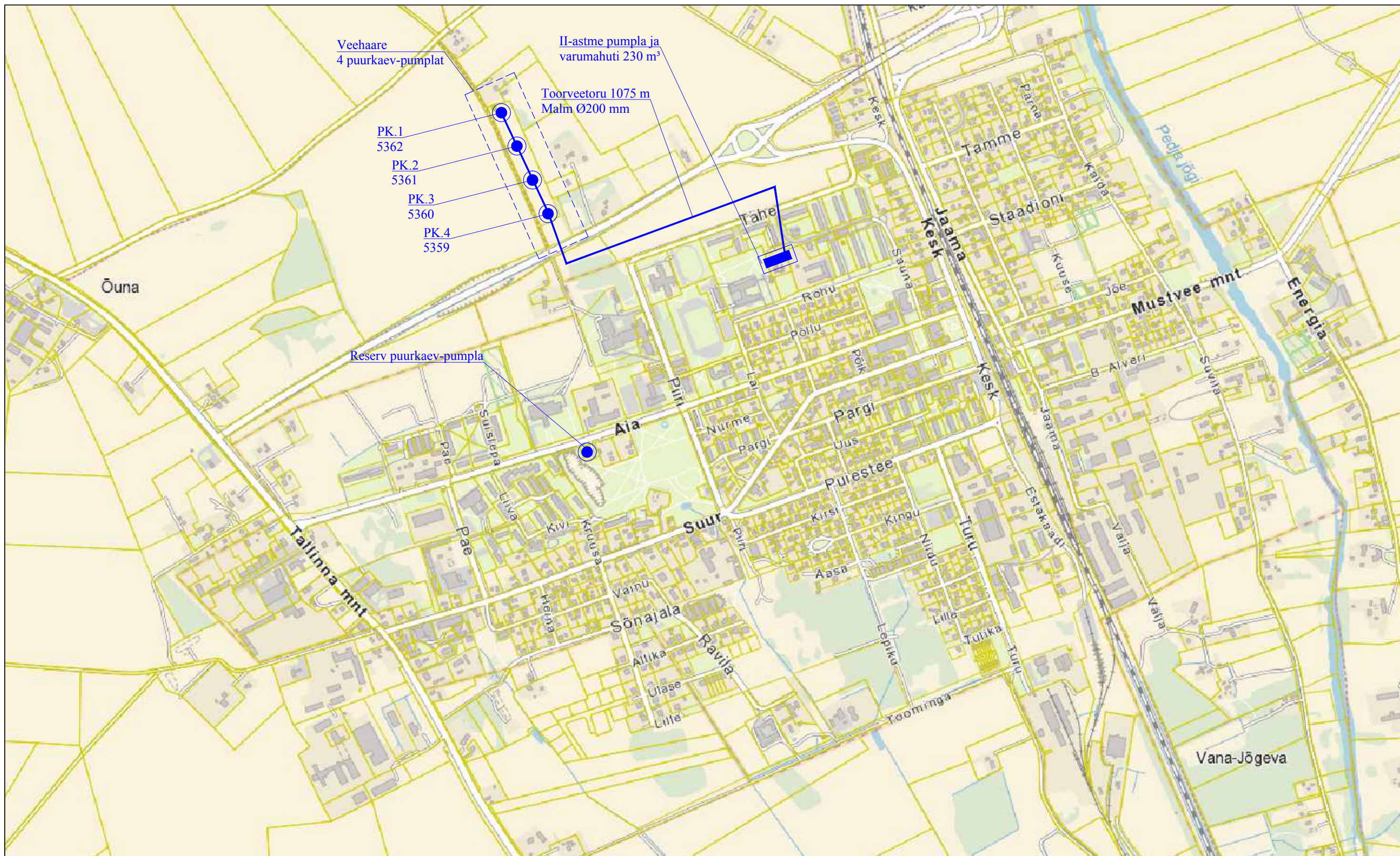


- Potenza assorbita per stadio
- Absorbed power for each single stage
- Potencia absorbida por cada etapa
- Puissance absorbée par chaque étage
- Leistungsaufnahme für jede Stufe
- Potência cada estadio

Le curve di prestazione sono basate su valori di viscosità cinematica = 1 mm²/s e densità pari a 1000 kg/m³. Tolleranza e curve secondo UNI EN ISO 9906 - Appendice A • The performance curves are based on the kinematic viscosity values = 1 mm²/s and density equal to 1000 kg/m³. Tolerance and curves according to UNI EN ISO 9906 - Attachment A • Las curvas de rendimiento se refieren a valores de viscosidad cinemática = 1 mm²/s y densidad de 1000 Kg/m³. Tolerancia de las curvas de acuerdo con UNI EN ISO 9906 - Parrafo A • Les courbes de performances sont basées sur des valeurs de viscosité cinématique égale à 1 mm²/s et une densité égale à 1000 kg/m³. Tolérance et courbes conformes aux normes UNI EN ISO 9906 - Annexe A • Die Leistungskurven beruhen auf einer kinematischen Zähflüssigkeit von 1 mm²/s und einer Dichte von 1000 kg/m³. Abweichung und Kurven gemäß UNI EN ISO 9906 - Anhang A • As curvas de rendimento referem-se a valores de viscosidade = 1 mm²/s e densidade igual a 1000 kg/m³. Tolerância das curvas de acordo com UNI EN ISO 9906 - Parágrafo A.

Lisa 7. Tunnipõhist elektri koguhinda kajastavad kordajad

Ajavahemik	Keskmine elektri börsihind (€/MWh)	Elektri edastamine (€/MWh)	Riiklikud maksud (€/MWh)	Kokku koos käibemaksuga (€/MWh)	Elektri hinna kordaja
00:00-01:00	24,7	26,5	13,2	77,2	0,66
01:00-02:00	23,8	26,5	13,2	76,2	0,65
02:00-03:00	23,5	26,5	13,2	75,8	0,65
03:00-04:00	24,0	26,5	13,2	76,4	0,65
04:00-05:00	25,2	26,5	13,2	77,8	0,66
05:00-06:00	29,2	26,5	13,2	82,6	0,70
06:00-07:00	33,3	26,5	13,2	87,6	0,75
07:00-08:00	37,6	44,9	13,2	114,8	0,98
08:00-09:00	39,8	44,9	13,2	117,5	1,00
09:00-10:00	39,6	44,9	13,2	117,2	1,00
10:00-11:00	37,9	44,9	13,2	115,2	0,98
11:00-12:00	36,3	44,9	13,2	113,2	0,96
12:00-13:00	35,8	44,9	13,2	112,6	0,96
13:00-14:00	32,7	44,9	13,2	109,0	0,93
14:00-15:00	32,0	44,9	13,2	108,0	0,92
15:00-16:00	31,3	44,9	13,2	107,3	0,91
16:00-17:00	31,6	44,9	13,2	107,6	0,92
17:00-18:00	35,5	44,9	13,2	112,2	0,96
18:00-19:00	36,2	44,9	13,2	113,1	0,96
19:00-20:00	34,1	44,9	13,2	110,6	0,94
20:00-21:00	31,3	44,9	13,2	107,3	0,91
21:00-22:00	30,0	44,9	13,2	105,7	0,90
22:00-23:00	27,5	44,9	13,2	102,7	0,87
23:00-24:00	25,7	26,5	13,2	78,4	0,67



MÄRKUSED:

1. Joonise koostamisel on kasutatud maa-ameti aluskaarti.
2. Toorveetoru asukoha määramisel on kasutatud Keskkond & Partnerid OÜ poolt koostatud tööd "Jõgeva linna veevõrgu hüdrauline mudel ja kanalisatsiooniorustike võrguarvutus" (Töö nr. 014/2010).

1918
TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
 TARTU KOLLEDŽ

Koostaja: **Kert Alasoo**

Põhijuhendaja: **Lauri Aim**

Kaasjuhendaja: **Jüri Resev**

Säästva tehnoloogia õppetool

Töö pealkiri: **Jõgeva linna ühisveevõrgi veehaarde puurkaev-pumplate töö optimeerimise võimalused**

Töö liik: **Magistritöö**

Joonis: **Olemasoleva veevarustussüsteemi rajatiste paiknemine**

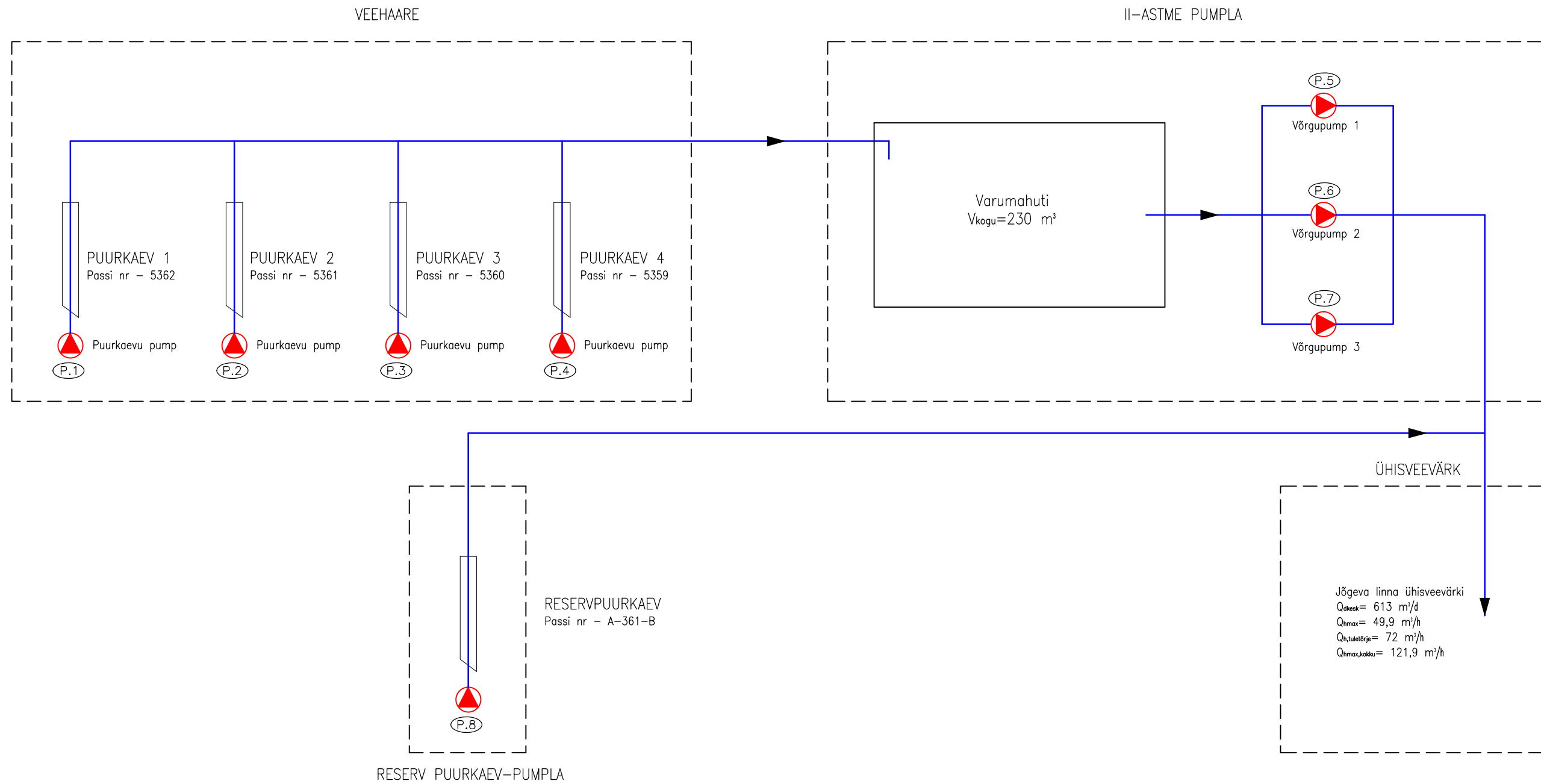
Fail: **Asendiskeem.dwg**


Möötkava: **1:10 000**

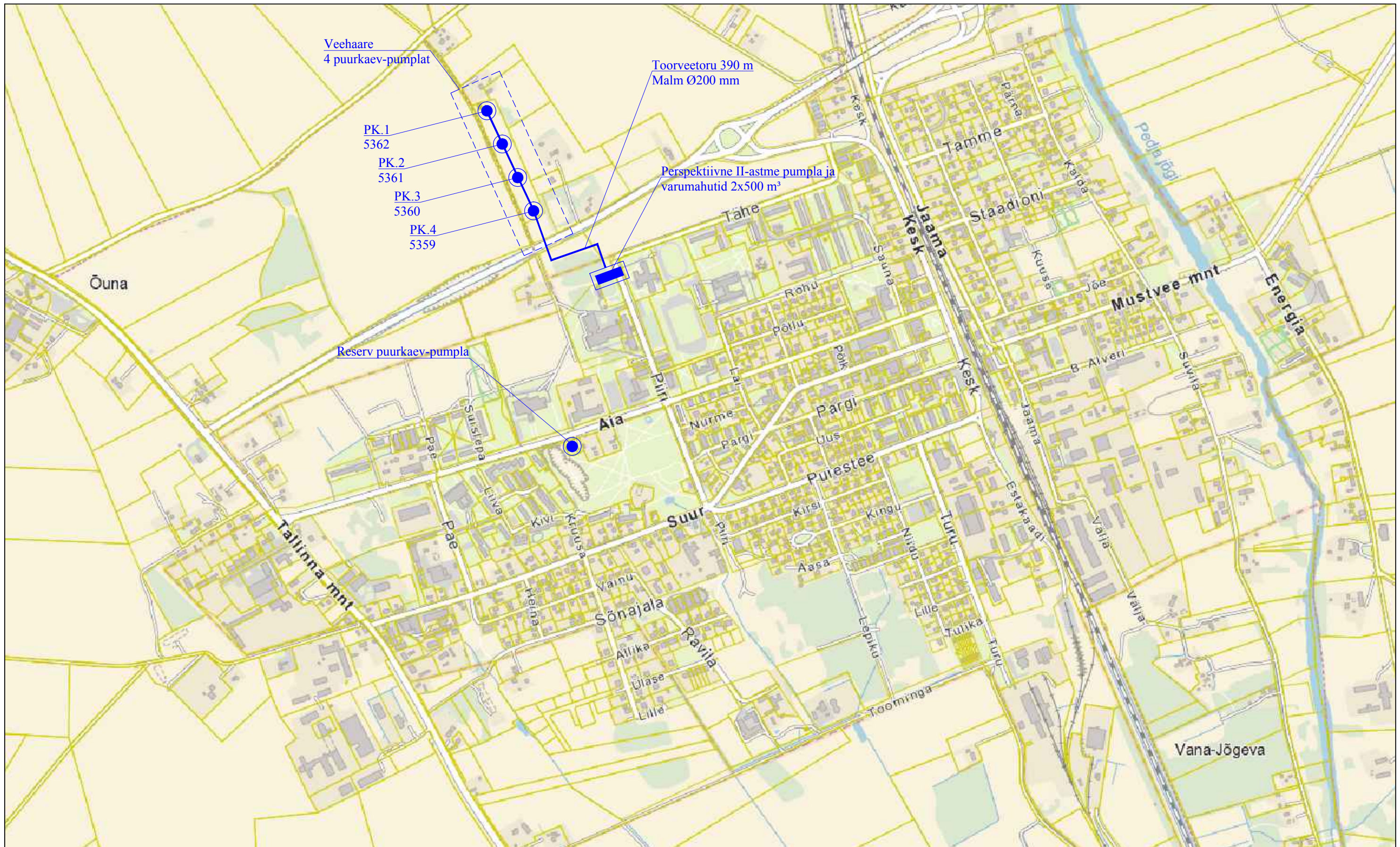
Kuupäev: **29.05.2014**

Joonis: **1**

OLEMASOLEVA VEEVARUSTUSSÜSTEEMI SKEEM




	Töö pealkiri: Jõgeva linna ühisveevärgi veehaarde puurkaev-pumplate töö optimeerimise võimalused			
	Koostaja: Kert Alasoo		Töö liik: Magistritöö	
Põhijuhendaja: Lauri Aim		Joonis: Olemasoleva veevarustussüsteemi skeem		
Kaasjuhendaja: Jüri Resev		Fail: Arvutuskeem.dwg	Möötkava: -	Kuupäev: 01.06.2014
Säästva tehnoloogia õppetool				Joonis: 2



MÄRKUSED:

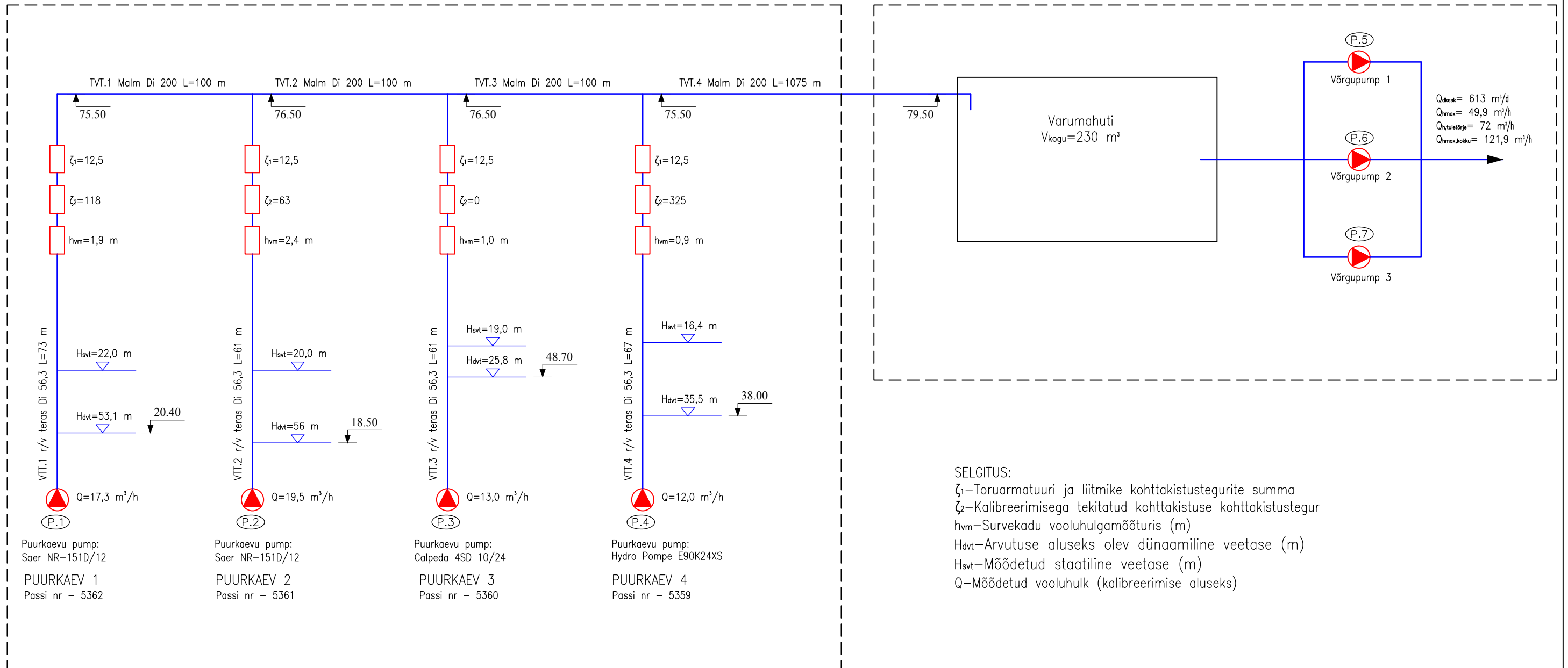
- Joonise koostamisel on kasutatud maa-ameti aluskaarti.
- Toorveetoru asukoha määramisel on kasutatud Keskkond & Partnerid OÜ poolt koostatud tööd "Jõgeva linna veevõrgu hüdrauline mudel ja kanalisatsiooniorustike võrguarvutus" (Töö nr. 014/2010).

 <p>1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TARTU KOLLEDŽ</p>	Töö pealkiri: Jõgeva linna ühisveevõrgi veehaarde puurkaev-pumplate töö optimeerimise võimalused		
	Töö liik: Magistritöö		
Koostaja: Kert Alasoo	Joonis: Perspektiivse veevarustussüsteemi rajatiste paiknemine		
Põhjuhendaja: Lauri Aim	Fail: Asendiskeem.dwg		
Kaasjuhendaja: Jüri Resev	Möötkava: 1:10 000	Kuupäev: 29.05.2014	Joonis: 3
Säästva tehnoloogia õppetool			

ARVUTUSSKEEM 1 - OLEMASOLEV OLUKORD

VEEHAARE

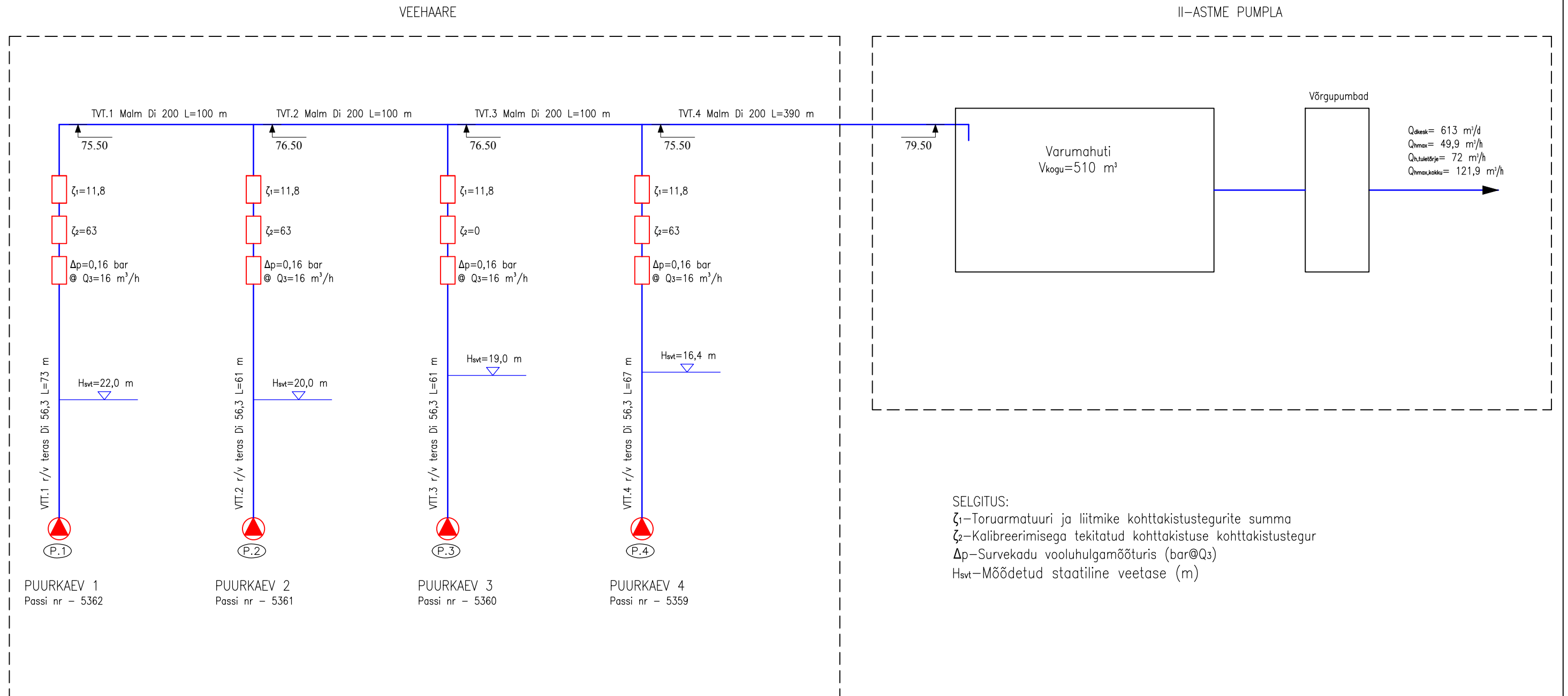
II-ASTME PUMPLA



SELGITUS:
 ζ_1 —Toruarmatuuri ja liitmike kohttakistustegurite summa
 ζ_2 —Kalibreerimisega tekitatud kohttakistuse kohttakistustegur
 h_{vm} —Survekadu vooluhulgamõõduris (m)
 H_{dvt} —Arvutuse aluseks olev dünaamiline veetase (m)
 H_{svt} —Mõõdetud staatiline veetase (m)
 Q —Mõõdetud vooluhulk (kalibreerimise aluseks)

<p>1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TARTU KOLLEDŽ</p>	Töö pealkiri: Jõgeva linna ühisveevärgi veehaarde puurkaev-pumplate töö optimeerimise võimalused				
	Koostaja: Kert Alasoo		Töö liik: Magistritöö		
	Põhijuhendaja: Lauri Aim		Joonis: Arvutusskeem 1 - olemasolev olukord		
Kaasjuhendaja: Jüri Resev		Fail: Arvutusskeem.dwg	Möötkava: -	Kuupäev: 01.06.2014	Joonis: 4
Säästva tehnoloogia õppetool					

ARVUTUSSKEEM 2 - PERSPEKTIIVNE OLUKORD



1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TARTU KOLLEDŽ	Töö pealkiri: Jõgeva linna ühisveevärgi veehaarde puurkaev-pumplate töö optimeerimise võimalused			
Koostaja: Kert Alasoo	Töö liik: Magistritöö			
Põhijuhendaja: Lauri Aim	Joonis: Arvutusskeem 2 - perspektiivne olukord			
Kaasjuhendaja: Jüri Resev	Fail: Arvutusskeem.dwg	Möötkava: -	Kuupäev: 01.06.2014	Joonis: 5
Säästva tehnoloogia õppetool				