



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

**KÜTTE- JA JAHUTUSSÜSTEEMIDE
RINGLUSPUMPADE PAINDLIKKUSTEENUSES
KASUTAMISE MÕJU HOONE ELEKTRI- JA
SOOJUSTARBIMISE PROFIILIDELE**

**THE IMPACT OF USAGE OF HEATING AND COOLING
SYSTEMS' SECONDARY PUMPS IN THE SMART GRID ON
BUILDING'S ELECTRICITY AND HEAT CONSUMPTION
PROFILES**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Sofia Vasman

Üliõpilaskood 177507EAKI

Juhendaja: Martin Thalfeldt, professor
Eduard Petlenkov, professor

Tallinn 2022

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

"18. " mai 2022

Autor: Sofia Vasman

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Sofia Vasman (autori nimi)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Kütte- ja jahutusüsteemide ringluspumpade paindlikkusteenuses kasutamise mõju hoone elektri- ja soojustarbimise profiilidele,
(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on Martin Thalfeldt ja Eduard Petlenkov,
(juhendaja nimi)

- 1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
 2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
 3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.
-

18.05.2022 (kuupäev)

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks

Ehituse ja arhitektuuri instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Sofia Vasman, 177507EAKI
Õppekava, peeriala: EAKI02/17, Hoonete sisekliima ja veetehnika
Juhendaja(d): Professor Martin Thalfeldt, 6202505
Professor Eduard Petlenkov, 6202104

Lõputöö teema:

(eesti keeles) *Kütte- ja jahutussüsteemide ringluspumpade paindlikkusteenuses kasutamise mõju hoone elektri- ja soojustarbimise profiilidele*

(inglise keeles) The impact of usage of heating and cooling systems' secondary pumps in the smart grid on building's electricity and heat consumption profiles

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Hinnata kütte- ja jahutussüsteemide ringluspumpade potentsiaali paindlikkusteenuses kasutamiseks.
2. CON õppehoone ringluspumpade näitel modelleerida nende juhtimise mõju hoone elektri- ja soojustarbimisele.
3. CON õppehoone ringluspumpade näitel arendada andmepõhine mudel hindamaks reaajas maksimaalset ringluspumba välja lülitamise aega.

Lõputöö etapid ja ajakava:

| Nr | Ülesande kirjeldus | Tähtaeg |
|----|--|----------|
| 1. | Teema ja valdkonnaga tutvumine | 15.02.22 |
| 2. | Kirjanduse ja valdkonna ülevaate (osaline) ja metoodika kirjeldamise esitamine - vahetähtaeg | 07.03.22 |
| 3. | Täielik kirjanduse ülevaade | 21.03.22 |
| 4. | Ringluspumpade potentsiaali hindamine | 21.03.22 |
| 5. | Kütte- ja jahutusüsteemide töö kirjeldamine tavaolukorras | 25.03.22 |
| 6. | Ringluspumpade juhtimisloogika paikapanemine ja programmi koostamine | 28.03.22 |
| 7. | Esmaste tulemuste vormistamine ja poster - vahetähtaeg | 10.04.22 |
| 8. | Põhjalik analüüs ja katsetused | 25.04.22 |
| 9. | Graafikute ja teksti parandamine ja vormistamine | 09.05.22 |

ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

| | | |
|----|---|----------|
| 9. | Töö esitamine juhendajale, töö lõpetamine ja printimine | 13.05.22 |
|----|---|----------|

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** 16.mai 2022.a

Üliõpilane: Sofia Vasman /allkirjastatud digitaalselt/ 00.... 2022. a
/allkiri/

Juhendaja: Martin Thalfeldt /allkirjastatud digitaalselt/ 00.... 2022. a
/allkiri/

Juhendaja: Eduard Petlenkov /allkirjastatud digitaalselt/ 00.... 2022. a
/allkiri/

Konsultant: ".....".....20....a
/allkiri/

Programmijuht: Martin Thalfeldt /allkirjastatud digitaalselt/ 00.... 2022. a
/allkiri/

SISUKORD

| | |
|---|----|
| LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU | 7 |
| SISSEJUHATUS | 8 |
| 1 KIRJUANDUSE ÜLEVAADE | 9 |
| 1.1 Energiaturu muutused ja tarkvõrgu loomine..... | 9 |
| 1.1.1 Tarkvõrgu struktuur..... | 10 |
| 1.2 Hoone paindlikkus | 13 |
| 1.2.1 Tarbija süsteemi nõudlusele reageerimisstrateegiad | 13 |
| 1.3 Sisekliima..... | 14 |
| 1.3.1 Sisekliima kui paindlikkuse tagamise võimalus..... | 15 |
| 2 MEETODID..... | 17 |
| 2.1 Hoonete ja süsteemide ülevaade | 17 |
| 2.1.1 Ruumide kütte- ja jahutuse ringluspumbad..... | 17 |
| 2.1.2 Automaatikasüsteemi ülevaade | 20 |
| 2.2 TalTech linnaku ringluspumpade paindlikkuspotentsiaal | 21 |
| 2.3 Mõõtmised CON õppehoones..... | 23 |
| 2.3.1 Hoone ja süsteemide modelleerimine..... | 28 |
| 2.4 Ringluspumpade juhtimisalgoritmid..... | 31 |
| 3 TULEMUSED | 33 |
| 3.1 TalTech linnaku ringluspumpade paindlikkuspotentsiaal | 33 |
| 3.2 Hoone ja süsteemide modelleerimine | 35 |
| 3.3 Ringluspumpade juhtimisalgoritmid..... | 36 |
| KOKKUVÕTE | 38 |
| CONCLUSION..... | 39 |
| KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU | 40 |
| LISAD..... | 42 |

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

| | |
|------------|---|
| ENTSO-E | European Network of Transmission System Operators for Electricity |
| DSR | Demand Side Response |
| P | elektrivõimsus, P |
| G | jõudlus m ³ /s, vooluhulk |
| Δp | rõhulang, surve, tõstekõrgus, Pa |
| t | temperatuur, °C |
| Q | (soojuslik) võimsus, W |

SISSEJUHATUS

Euroopa Liidu strateegia 2030. aasta keskkonna-, energia- ja kliimaeesmärkide saavutamise strateegia elluviimisel oli mõjutatud energiatootmise poliitika. Iga aastaga integreeritakse elektrivõrku rohkem taastuvenergiallikaid, samuti hakati kasutama neid lokaalset. ELi rohepöõrega samaaegselt on esinenud muutusi elektrivõrgu sekundaarpoolel või tarbijapoleel. Tarbijate arvu ja asustustiheduse suurenemine, süsteemide ja protsesside keerukus, elektritarbimise vahelduvad graafikud mõjutavad elektrivõrgu koormust. Elektrivõrk on sageli destabiliseeritud ebapiisava elektritootmise või mitteühtlase tarbimise pärast ning sellest on tekkinud vajadus energiavoogusid kontrollida ja juhtida. Niisuguse vajaduse lahenduseks on ühine integreeritud võrk, millest on loodud info- ja kommunikatsioonitehnoloogiate abil tarkvõrk.

Tarkvõrgu tasakaalu hoidmiseks on kasutusele võetud paindlikkusteenus, mille raames võrguhaldurite ning tarbijate omavahelisel suhtlusel on võimalik elektrienergia kokkuhoiu või ära müümisega seda tasakaalu säilitada. Paindlikkusteenuses osalemisel lisaks kontrollitud energiatarbimisele on ka majanduslik potentsiaal, kuna tarbijad võivad näiteks võrgu tippkoormuste hetketel raha teenida.

Ehitised ning elamud moodustavad suurt osa elektrienergia tarbijatest, tööstuslikke või majapidamisprotsesside jaoks on vaja elektrienergiat. Samuti ka siseruumi tingimuste ning inimeste soojuslikku komforti loomiseks ning hoidmiseks on tarvis elektrienergiat tarbida. Aga tänu hoone soojuslikule inertsile, konstruktsioonide massiivsusele ning sisekeskkonna parameetrite normväärtuste vahemikele on võimalik sisetingimusi kontrollivaid süsteeme mõneks ajaks seiskuma panna.

Töö raames uuritakse nende süsteemide – kütte- ning jahutussüsteemide – paindlikkuspotentsiaali erineva juhtimisloogika rakendamisel TalTech linnaku ringluspumpade näitel. Samuti arutatakse korraliku ringluspumpade juhtimisalgoritmi koostamiseks erinevate parameetrite sobivust.

Märksõnad: tarkvõrk, paindlikkusteenus, hooneautomaatika, ringluspumpad, juhtimisloogika, energia tarbimine

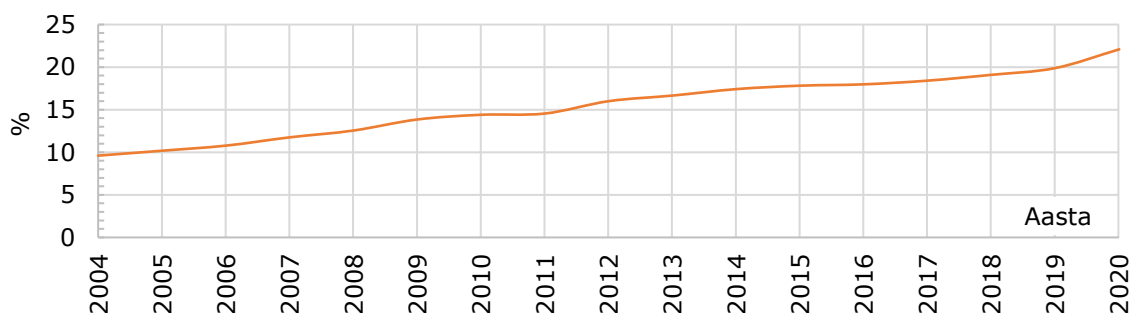
1 KIRJUANDUSE ÜLEVAADE

1.1 Energiaturu muutused ja tarkvõrgu loomine

Alates 1990. aastast olid Euroopa Liidu elektrienergia siseturu ühtlustamiseks vastu võetud erinevaid aspekte käsitlevad meetmed. Muutuste eesmärgiks oli ja siiani on luua toimiv turg, kus oleks tagatud siseturu läbipaistvus ja reguleerimine, tarbijakaitse ja energia varustuskindlus.

Uued meetmed on kirjeldatud mitme aasta tagant avaldatavates energiapakettide direktiivides ja määrustes, mida liikmesriikidel tuleb jälgida.

2021. aasta suvel avaldatud energiapaketi „Euroopa rohelise kokkuleppe elluviimine“ oli soov seadistada EL-i energiaeesmärgid nii, et Euroopa energia- ja kliimaeesmärgid oleksid kooskõlas. EL-i energiaturu ümberkujundamise üheks eesmärgiks on vähendada kasvuhoonegaaside heitkoguseid aastaks 2030 vähemalt 55% võrra, võrreldes 1990. aastaga. Eesmärkide saavutamiseks on võrku integreeritud ja kasutusele võetud erinevad taastuvenergiaallikad, mille osakaal elektrivõrgus kasvab pidevalt (Joonis 1.1).



Joonis 1.1. Taastuva energia osakaal (%) aasta summaarses EL energia tarbimises [T2020_RD330] [1]

Energiaturu teisel poolel ehk tarbija poolel on samuti esinenud muutusi. Tarbijate arv on kasvanud ja nende jaotus on igas piirkonnas erinev, erilaadsed on ka vajadused elektrienergia järgi. Tarbijate tiheduse, süsteemide suuruste ja vahelduvate kasutusgraafikute pärast on praegune elektritarbimine ebaühtlane.

Võrgu laiendamise, taastuvenergiaallikate kasutamisest põhjustatud ühtlusetu energiatootmise ning mitteühtlase tarbimise pärast on tekkinud vajadus energiavoogusid kontrollida ja juhtida. Niisuguse vajaduse lahenduseks on ühine integreeritud võrk, millest on loodud info- ja kommunikatsioonitehnoloogiate abil tarkvõrk[2][3], [4].

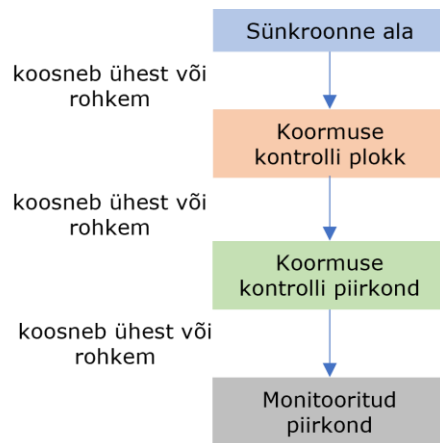
1.1.1 Tarkvõrgu struktuur

Laiendatud elektrivõrk või elektrisüsteem moodustab mitut riiki kaetavat elektrituru, millega ühiselt toimib ka tarkvõrk aidates andemete liikumisega osapoolte vahel ning tagades elektrienergia varustuskindlust. Alates aastast 2009 toimib EL-s organisatsioon European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E), mis koondab varem eraldi toimitavaid elektrisüsteemide süsteemihaldureid. Praegune elektrisüsteem võimaldab elektrienergia kauplemist üle Euroopat [4]. Järgmisena on toodud riikidevaheliste ühendusi illustreeriv kaardi osa (Joonis 1.2).



Joonis 1.2. ENTSO-E riikidevaheliste ühenduste kaardi osa [5]

Elektrienergia varustuskindlust on võimalik tagada ainult siis, kui energiavajadus ei ületa energiatootmist või teisi sõnadega - elektrivõrk ei ole ülekoormatud. Sellise tingimuse kontroll on nimetatud Koormuse kontrolliks (Load Frequency Control või LFC), kus sageduse kontroll on aktuaalne taastuenergiaallikate puhul. Kontrollimiseks on tarvis saada andmeid mitmelt osapooltelt ja kuna teenindatavad piirkonnad võivad olla üsna suured, tarkvõrgus on loodud n.ö hierarhia. Informatsiooni ahel on täiendatud igal hierarhia astmel, millel on kindlad kohustused informatsiooni edasiandmise või protseduuride täitmise osas. Tarkvõrgu hierarhia on toodud järgmisel joonisel (Joonis 1.3).



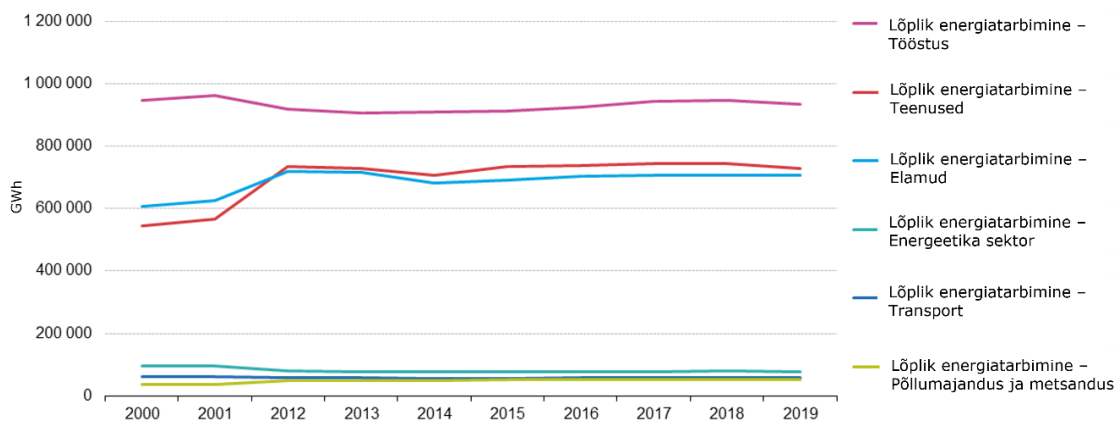
Joonis 1.3. Targvõrgu hierarhia

Tuleb märkida, et sellise jaotusega toimub infoliikumine mõlemas suunas ning kohustuste arv suureneb taseme tõstes. Monitooritud piirkonnas on kohustus arvutada elektri vahetust, jälgida tegelikku elektri vahetust ning jagada seda infot veebipõhiselt. Järgmistel tasemetel lisanduvad ka elektrivõrgu reguleerimise, tasakaalustamise ja kvaliteedi tagamise kohustused [6].

Elektrienergia varustuskindlus

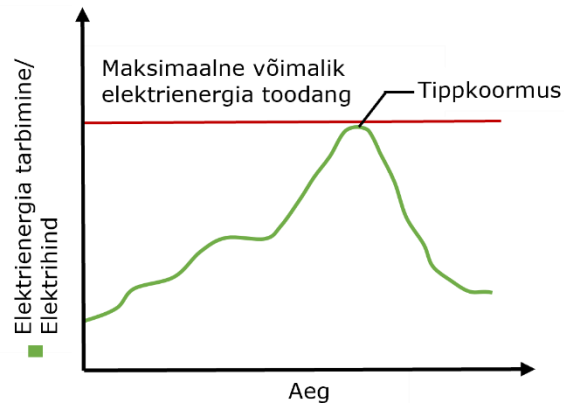
Elektrikatkestust võivad põhjustada näiteks kriitilised ilmastikutingimused või süsteemikomponentide rikked, kuigi ka võrgu ülekoormus. Ülekoormusi võib ennetada teades tarbijate elektrikasutusprofiile ning kasutades pidevalt kättesaadavate toorainete peal töötavaid energiatootjaid. Tänapäeval on teine variant sageli välistatud.

Võib öelda, et elektrienergiavajadust määrab tarbija tüüp. Järgmisel joonisel (Joonis 1.4) on väljatoodud erinevate sektorite elektritarbimine ja selle muutus aastate lõikes.



Joonis 1.4. Elektritarbimine (GWh) sektorite kaupa, EL, 2000-2019 [7]

Iga sektori energiatarbimine moodustab erilaadset profiili erineva kuju ning amplituudiga. Kui mitmete tarbijate tippkoormused ühel ajal kattuvad, siis tekitab võrgu ülekoormuse oht (Joonis 1.5). Sellisel juhul tuleb elektri tarbimisprofiili ühtlustada, et tagada elektrivõrgu tööjätku. Tarbimisprofiili ühtlustamine viidab sellele, et olukorra lahendus on tarbija poolel. Tarbimise juhtimist elektrivõrgu vajadusel nimetatakse nõudlusele reageerimiseks või DSR Demand-side response inglise keeles [8], [9].

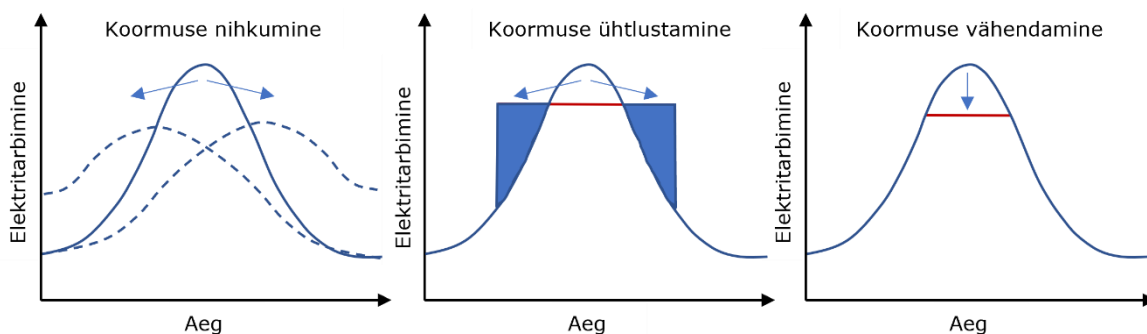


Joonis 1.5. Elektritarbimise profiili näide

On oluline märkida, et võrgu koormuse ja elektriinna kasv on omavahel seotud. Seega muutub elektri hind koormuse kontrolli võtmeks, kuna tarbijad keskenduvad sageli kuludele.

Nõudlusele reageerimine

Kriitiliselt suure tarbimise korral on mitu elektrivõrgu koormuse vähendamise võimalust (Joonis 1.6): koormuse nihkumine (Load Shifting), mis on sarnane koormuse ühtlustamisega (Valley Filling), ning koormuse vähendamine (Peak shaving).



Joonis 1.6. Koormuse kontrolli põhimõtted

Koormuse ühtlustamisel nihutatakse elektritarbimine teisele näiteks madalama elektri hinnaga ajaperioodile. Niiviisi kompenseeritakse kaotatud tootmise kulud või isegi teenitakse juurde. Koormuse ühtlustamist saavutatakse töö- või tarbimisgraafiku muutmise, seadmete

väljalülitamise ning lokaalsetele energiatootjatele üleminekuga. Sellega samuti vähendatakse tarbimise kulusid, kuid mitte tingimata kogukulusid, kuna protsesside muul ajal läbiviimiseks on sageli vaja lisavõimsust. Tipptundide koormuse vähendamisel vähendatakse tarbimist või samuti kasutatakse lokaalseid energiatootjaid [10], [11].

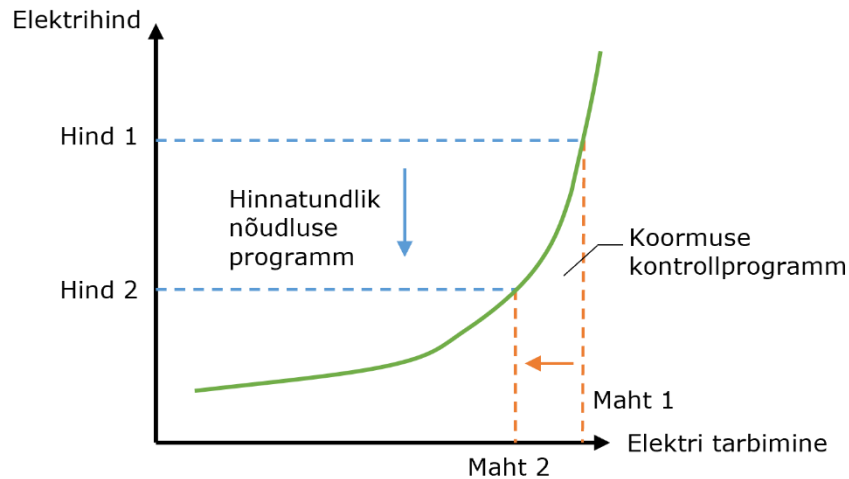
1.2 Hoone paindlikkus

Joonis 1.4 on näha, et kolme sektori puhul – tööstus, teenused ja elamud – on elektritarbimine märkimisväärselt suurem võrreldes teiste sektoritega, seega on nende mõju võrgu koormusele suurem. Peale tööstuslikke- ja majapidamisprotsesse on elektrienergiat vaja hoone funktsionaalsuse ülespidamiseks ning sobiva sisekeskkonna loomiseks. Paindlik hoone on viibijate vajaduste ja eelistustega kohanev interaktiivne hoone, mis samuti parandab viibijate mugavustunnet ning optimeerib energiatarbimist pideva hoone energiajuhtimissüsteemi, tarkvõrgu ja võrguhaldurite vahelise suhtluse kaudu. Tarkvõrku integreeritud paindliku hoone võime kohandada oma koormusprofiile pakub elektriturule paindlikkust, mille peamine eesmärk on võrgu koormuse vähenemine kriitilisel hetkel ning elektri tootmise ja tarbimise tasakaalu säilitamine.

Hoone paindlikkus tuleneb mitmest allikast: lokaalne energiatootmine, konstruktsioonide soojusmahtuvus, energiasalvestusesüsteemid ning seadmete tööaja reguleerimine. Olenevalt hoonesiseseast olukorrast või nõudluse mahust võib paindlikkust pakkuda mitme või ühe allika kaudu [12].

1.2.1 Tarbija süsteemi nõudlusele reageerimisstrateegiad

Eristatakse kahte tüüpi nõudlusele reageerimisstrateegiat (Joonis 1.7): koormuse juhtimisprogrammid (incentive-based demand response programs) ja hinnatundlikud nõudluse programmid (price-based demand response programs). Programmi käivitamissignaali saadetakse võrgu primaarpoolelt. Tarbimise vähendamissignaali aktiveeritud koormuse juhtimisprogrammi raames makstakse osalejatele elektritarbimise vähendamise eest. Hinnatundlik programmi järgi antakse osalejatele ette kindlas ajaperioodis varieeruvad ja turu olukorra peegeldavaid elektrihinnad ning osalejatel on õigus elektritarbimist mitte muuta [13] [14].



Joonis 1.7. DSR programmide põhimõte

Kasu nõudlusele reageerimisest

Igal paindlikkuse osapoolel on oma kasu sõltumata primaar- või sekundaarpoolest. Nõudlusele reageerimise kõige olulisem eelis on suurenenud ressursitõhusus elektritootmises, mis on tingitud tihedamast seosest tarbijate poolt makstava elektrihinna ja nende poolt elektrile omistatava väärtuse vahel. Osalejate kasu on kokkuhoid elektrenergia tarbimise vähenemisest ja tasu paindlikkusteenuses osalemise eest. Turu üldine rahaline kasu tulenevalt nõudlusele reageerimisest on madalamad hulgimüügituru hinnad, mis leevendab suure nõudluse ajal vajadust kallimate elektrijaamade järgi, mille tulemuseks on madalamad tootmiskulud ning hinnad kõikide elektri hulgiostjate jaoks.

Lisaks rahalisele kasule on turu toimimise jaoks ka eeliseid. Nõudlusele reageerimine suurendab süsteemi töökindlust ning vähendab elektrikatkestuste tõenäosust ja nende tagajärke, mis põhjustavad klientidele rahalisi kulusid ja ebamugavusi. Nõudluse reageerimisega on samuti võimalik piirata tarnijate võimu tõsta elektrihindu oluliselt kõrgemale tootmiskuludest [14].

1.3 Sisekliima

Hoone piirdetarindid eralduvad sisekeskkonda väliskeskkonnast ja sõltuvalt hoone otstarbest on nõutud tagada kindlad tingimused hoone sees ja sobiva sisekliimaklassi piirides. Vajalikust sisekliimaklassist sõltuvad nõutud tingimusi loovate komponentide normväärtused. Nendest komponentidest koosnebki sisekliima: ruumi soojus-niiskuslik olukord, õhu puhtus, müra ning valgustus. Järgmisena on toodud sisekliima kvaliteedi kategooriad sõltuvalt hoone otstarbest (Tabel 1.1), mida võib samuti nimetada sisekliimaklassideks.

Tabel 1.1. Sisekliimaklassid sõltuvalt hoone kasutusest ja ootused nõuete täitmiseks [15]

| Kategooria | Ootuste tase | Kirjeldus |
|------------|---------------|--|
| I | Kõrge | Hoones viibivad inimesed vajavad erilist suhtumist (lapsed, eakad, puudega inimesed) |
| II | Keskmine | Tavaline projekteerimistase ja kasutus |
| III | Tagasihoidlik | Talutav sisekliima aga viibijate tööviljakus võib olla kehvasti mõjutatud |
| IV | Madal | On lubatud ruumides, kus viibitakse lühiajaliselt ning harva aasta lõikes |

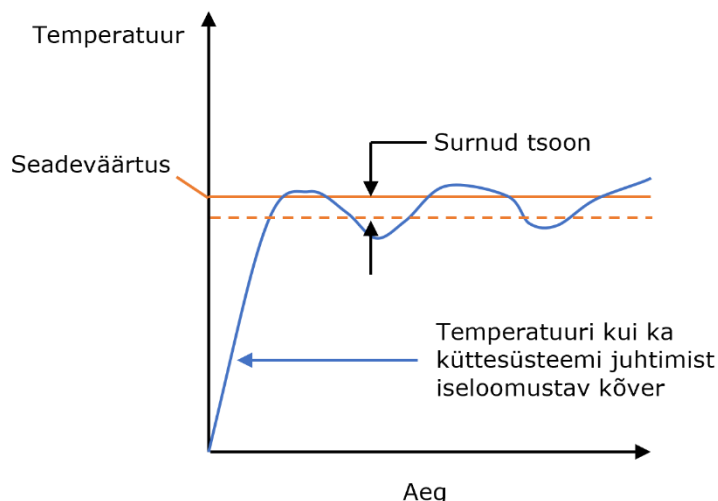
Tehnosüsteemidel on suur roll nende tingimuste loomisel ja hoidmisel. Aga kuna hoonet teenindavate tehnosüsteemide lahendused sõltuvad hoone konstruktiivist ning arhitektuurist, siis süsteemide edaspidine töö samuti sõltub konstruktsioonide ehitusfüüsikalistest omadustest.

1.3.1 Sisekliima kui paindlikkuse tagamise võimalus

Ruumi soojuslik olukord on üks sisekliima komponentidest, mille normväärtused on esitatud vahemikuna. Sobiva siseõhu temperatuuri vahemik (Tabel 1.2) lubab juhtida temperatuuri hoidvaid süsteeme väiksema täpsusega, v.a eriruumide puhul, kus hoitakse konstantset temperatuuri. Sellist lähenemist on juba kasutusele võetud tehnosüsteemide automaatika projekteerimisel. Temperatuuri või mõne muu parameetri kõrvalekallet seadeväärtuse suhtes ilma tehnosüsteemide reageerimiseta nimetatakse surnud tsooniks (Joonis 1.8) [16].

Tabel 1.2. Soovituslikud sise-operatiivtemperatuuri arvutuslikud väärtused mehaaniliste jahutussüsteemidega hoonetele talvel ja suvel [15]

| Ruumi tüüp | Kategooria | Operatiivne temperatuur, °C | |
|---|------------|-----------------------------|-------------------------|
| | | Minimaalne kütmisel | Maksimaalne jahutamisel |
| Klassiruum Aktiivsustase ca 1,2 met (istuv tegevus) | I | 21,0 | 25,0 |
| | II | 20,0 | 26,0 |
| | III | 19,0 | 27,0 |
| | IV | 17 | 28 |



Joonis 1.8. Surnud tsooni põhimõtet illustreeriv joonis

Hoone paindlikkuse üheks allikaks on konstruktsioonide soojusmahtuvus (lk 13), mille tõttu siseruumi temperatuuri muutused tehnosüsteemide seiskumise korral ilmuvad viivisega [17]. Sisekliima kui paindlikkuse tagamise potentsiaal kajastub võimaluses hoida ruumi õhutemperatuuri kindlas vahemikus, kui ka konstruktsioonide soojuslikus inertsis. Üheks paindlikkuse tagamise võimaluseks on tehnosüsteemide seiskumine nii kaua kui hoonesisene olukord seda lubab.

Hoone soojuserimahtuvus ja soojuslik ajakonstant

Tehnosüsteemide juhtimisalgoritmides paindlikkusteenuses osalemiseks võetakse kasutada eelmiste aastate logitud elektrisüsteemi, hoone kui ka väliskeskonna andmeid. Lisaks sellele tuleb lahendada sisekeskkonna dünaamika ennustamise ülesannet. Selleks on tarvis teada hoone konstruktsioonidega seotud parameetreid, näiteks hoone soojuslik ajakonstant (Võrrand 1.1), mis kirjeldab aega, mille jooksul sisetemperatuur langeb 63% võrra sise- ja välistemperatuuride vahest väljalülitatud küttesüsteemi korral [17].

$$\tau_b = \frac{\tau}{\ln \frac{t_1 - t_{v\bar{o}}}{t_2 - t_{v\bar{o}}}}$$

Võrrand 1.1

- kus τ on perioodi pikkus, h
 t_1 on esialgne siseõhutemperatuur, °C
 t_2 on siseõhutemperatuur jahtumise lõpus, °C
 $t_{v\bar{o}}$ on välisõhutemperatuur, °C

2 MEETODID

Töö tehakse järgmistes etappides:

1. Ülevaade TalTech linnaku ruumide kütte ja jahutuse ringluspumpade elektrivõimsustest
2. Ülevaade ringluspumpade juhtimisest ja nende paindlikkusteenuses rakendatavusest
3. CON õppehoones mõõtmisandmete kogunemine ja analüüs
4. Katsetused CON õppehoone ruumide kütte ja jahutuse ringluspumpadega
5. Ringluspumpade juhtimisalgoritmi põhimõtte arendamine
6. Tulevaste uuringute vajaduse kirjeldamine

2.1 Hoonete ja süsteemide ülevaade

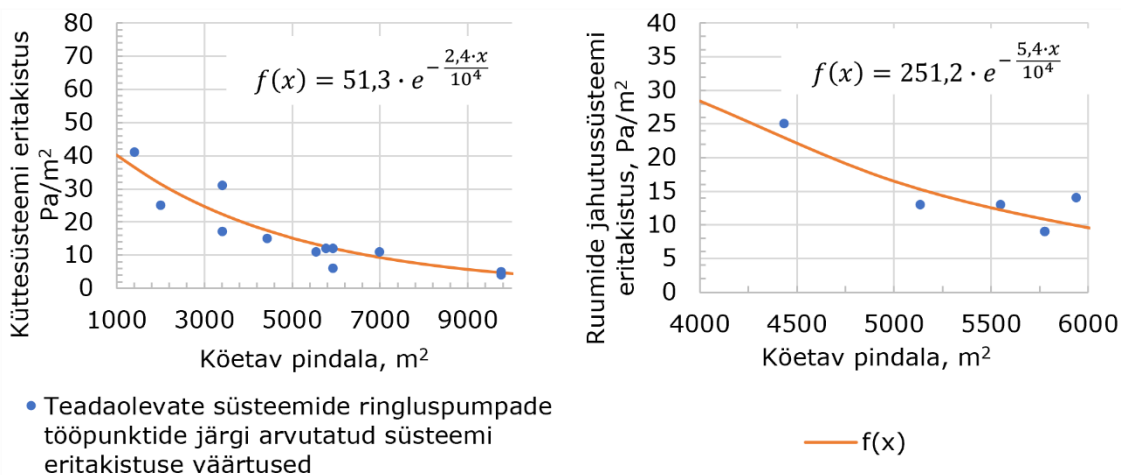
2.1.1 Ruumide kütte- ja jahutuse ringluspumbad

TalTech linnaku kütte- ja jahutuse ringluspumpade ülevaate koostamiseks olid läbi vaadatud ülilooli kinnisvaraosakonna poolt jagatud korpuste ehitusprojektid ning soosjus- ja külmasõlmede skeemid. Samad sõlmed olid võrreldud linnaku automaatikasüsteemiga keeruliste kohtade või ebakõlade selgitamiseks. Töö jaoks olid läbi vaadatud järgmiste korpuste ehitusprojektid: U01, STU, U02, U02B, U03, U03B, U04, U04B, U05, U05B, U06, U06A, NRG, LIB, SOC, SCI, MEK, CON; Ning valmis ülevaatlikus tabelis (Tabel 2.1) on kokku 48 ringluspumba: 20 radiaatorkütte- ja 4 põrandküttesüsteemide ning 16 ruumide jahutus- ja 8 ventilatsiooni jahutussüsteemide ringluspumpa.

Tabel 2.1. Väljavõte linnaku ringluspumpade ülevaatlikust tabelist (Lisa 4)

| Hoone | Otstarve | Pump | Süsteemi võimsus Q , kW | Vooluhulk G , l/s | Süsteemi takistus Δp , kPa | Pumba võimsus täiskoormusel $P_{täis}$, W |
|-------|---------------|---------------|---------------------------|---------------------|------------------------------------|--|
| CON | Radiaatorküte | MAGNA3 32-100 | 70 | 1,11 | 105 | 246 |

Kuna elektrivõimsuse määramiseks on tarvis teada pumba tööpunkti, oli vaja leida kõikide ringluspumpade jõudlused ning süsteemide takistused. Pumba jõudluse osas oli teada kas süsteemi vooluhulka G või süsteemivõimsust Q ning temperatuurigraafiku. Tundmatu süsteemitakistuse puhul oli otsustatud leida seost süsteemide eritakistuse ja köetava pindala vahel (Joonis 2.1), kuna süsteemi põhikomponentide takistused süsteemi suurenemisel jäävad praktiliselt samasugusteks, summaarse rõhulangu hõõrdekomponent aga muutub.



Joonis 2.1. Süsteemi eritakistus köetava pindala ühiku kohta (Pa/m²) ringluspumba esialgse elektrivõimsuse leidmiseks (vasakul – Küttesüsteem, paremal – Ruumide jahutussüsteem)

Tundmatu süsteemitakistustega hoone pindalad jäid Joonis 2.1 kajastatud köetava pindala suuruste vahemikkuse. Läbi teadaolevate eritakistuse punktide oli viidud funktsioon järgmise üldkujuga (Võrrand 2.1). Funktsiooni konstantide leidmiseks oli koostatud Python programmeerimiskeeles algoritm (Lisa 3 Süsteemide eritakistuste leidmine, graafik) ning kasutatud vähimruutude meetod. Lisaks funktsiooni mõlemast poolest oli võetud logaritm, et sellist kuju funktsiooni saaks vaadelda kui lineaarset [18].

$$f(x) = a \cdot e^{-b \cdot x}$$

Võrrand 2.1

kus x on köetava pindala suurus, m²

Ringluspumba elektrivõimsus süsteemikoormuse muutmisel

Ringluspumpasid dimensioneeritakse arvutuslikele tingimustele, mis tagavad nõutud süsteemide parameetreid kriitilisel olukorral, süsteemide koormus on aga aasta ulatuses erinevad. Vajaduste muutus mõjutab energiakandja kogust süsteemis, mis omajärjel mõjutab süsteemi hüdraulikat või takistust. Pumba surve sõltub süsteemi takistusest ja voluhulgast ning nende muutusel muutub ka ringluspumba tööpunkt ja elektrivõimsus.

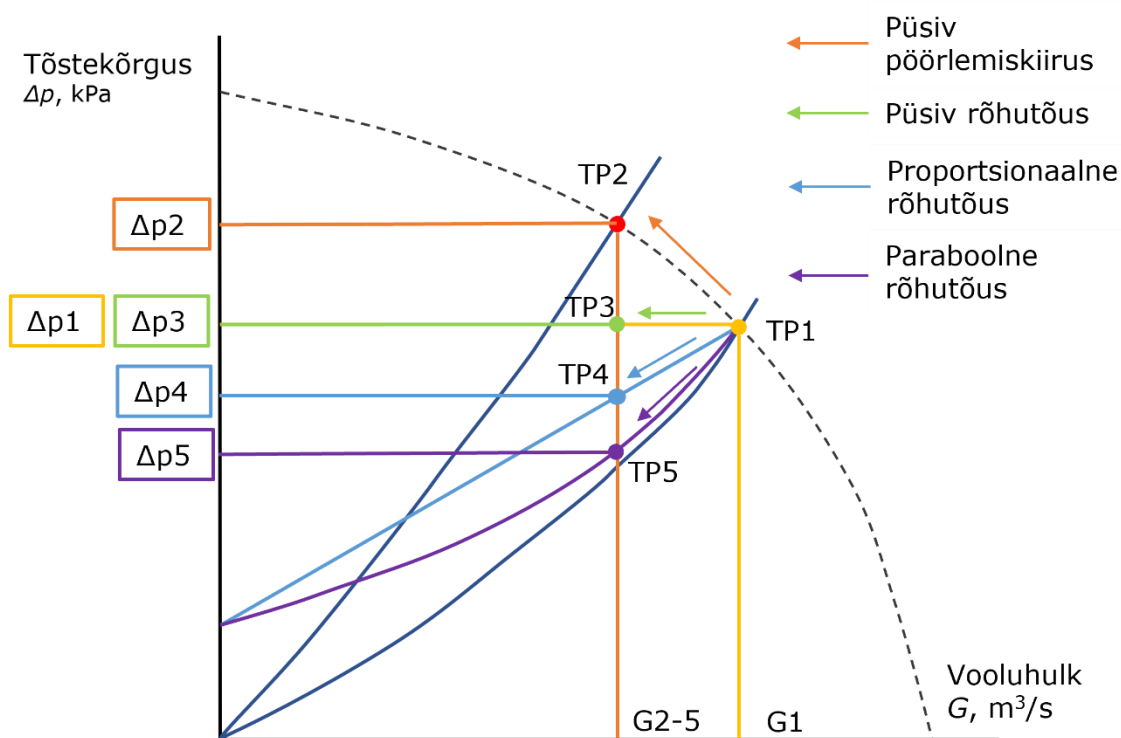
Elektrivõimsuse (P) seost jõudluse (G) ja survega (H) võib kirjeldada järgmise seose kaudu (Võrrand 2.2), [19]:

$$P = \frac{G \cdot \Delta p \cdot g \cdot \rho}{\eta_{pump}}, [kW]$$

Võrrand 2.2

- kus G on jõudlus, m^3/s ;
 Δp on pumba rõhutõus, mH_2O ;
 g on raskuskiirendus, $g = 9,81 m/s^2$;
 ρ on vedeliku tihedus, kg/dm^3
 n_{pump} on pumba kasutegur.

Pumba tööpunkti muutmisel muutub tema elektrivõimsus. Võib öelda, et elektrivõimsus sõltub pumba juhtimisrežiimist. Kokku on 4 juhtimisrežiim, millel on erinev mõju survekõrgusele: püsiva tööratte pöörlemiskiiruse, püsiva rõhu, proportsionaalse rõhu, ning paraboolse rõhutõusega (quadratic pressure) režiimid (Joonis 2.2), [20]. Lisaks on mõnel tootjal olemas ka automaatne või adaptiivne režiim, mis valib optimaalse tööpunkti arvestades süsteemikoormuse ja elektrivõimsuse vähenemise eesmärgiga.



Joonis 2.2. Ringluspumba tõsterõhu muutust illustreeriv joonis erinevate juhtimisrežiimide korral

Grundfos-i väljaandes „Pumping Control Methods and Their Impact on System Efficiency“ [20] elektritarbimise ja rakendatavate juhtimismeetodite seose näites (Tabel 2.2) on toodud välja, et juhtimisel paraboolse rõhutõuse režiimis väheneb võimsus kõige rohkem, kuid juhtimisel konstantse rõhu režiimis, sama vooluhulga juures, võimsuse vähenemine on samuti korralik.

Tabel 2.2. Töö võrdlus sama vooluhulga korral, koormus 30% võrreldes arvutusliku vooluhulgaga

| Juhtimis-meetod | Pöörlemiskiirus, rpm | Tõstekõrgus, kPa | η , % | Võimsus, kW | Vähenev, % |
|-----------------|----------------------|------------------|------------|-------------|------------|
|-----------------|----------------------|------------------|------------|-------------|------------|

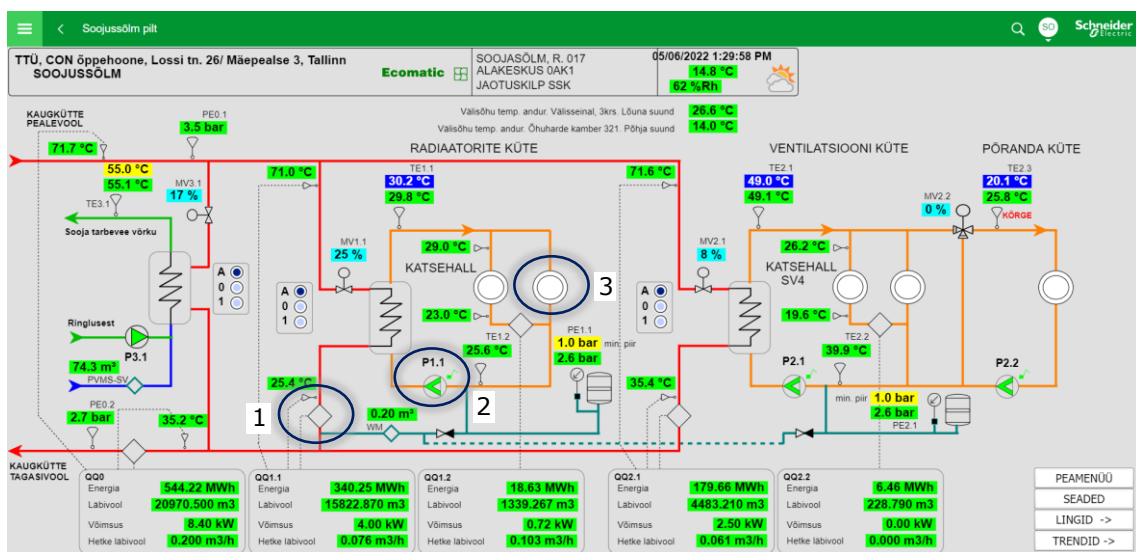
| | | | | | |
|-----------------------|------|-----|------|-----|-----|
| Reguleerimata | 3500 | 323 | 48,1 | 6,3 | - |
| Püsiv rõhk | 2657 | 176 | 57,2 | 2,9 | 54% |
| Proportsionaalne rõhk | 2165 | 117 | 63,9 | 1,7 | 73% |
| Paraboolne rõhk | 1994 | 98 | 66,5 | 1,4 | 77% |

Antud töös vaadeldi ringluspumpade elektritarbimist täis- ning osalisel koormusel (30%), et määrata potentsiaali vahemikku, teistsugusel koormusel töötavate pumpade korral. Elektrivõimsused eelnevalt nimetatud koormuste korral vaadeldi tootja lehel üle [21].

2.1.2 Automaatikasüsteemi ülevaade

Hoone tehnosüsteemid peavad olema valmis reageerima dünaamilisele sisekeskkonnale. Niisuguse võimaluse tagamise lahenduseks on korralikult läbimõeldud ning seadistatud automaatikasüsteem. Tehnosüsteemide elemendid integreeritakse automaatikasüsteemi läbi erinevate andurite. Nende andurite kaudu võib automaatikasüsteem kontrollida ja seadistada süsteemide töörežiimi, ning juhtida süsteemide elemente. Sobiva töörežiimi tagamiseks reguleeritakse süsteemid lähtudes kindlatest seadeväärtustest ning nende seostest juhtimisloogikas.

Alloleval pildil (Joonis 2.3) on toodud linnaku automaatikasüsteemi tarkvara kuvatõmmis koos soojussõlme skeemiga. Skeemil on välja toodud peamised süsteemide töid kirjeldavad parameetrid nagu temperatuurigraafik ja reguleeriventilide asend. Skeemilt on samuti näha, et küttesüsteemide ringluspumbad on automaatselt juhitavad. Ringluspumpade juhtimiseks on seadistatud süsteemitüübi sõltuvalt ülemine või alumine piirväärtus ning selleks piirväärtuseks on kindel välisõhu temperatuur. Reguleeriventilide asend on reguleeritud hoonesisese olukorraga ruumi andurite kaudu.



Joonis 2.3. CON õppehoone soojussõlme skeem automaatikasüsteemi tarkvaras. Ringiga tähistatud elementide parameetrid olid kasutatud osa 2.3 mõõtmistes

Andmete salvestamine on võimalik ainult sellisel juhul, kui soovitud andmed on logitud. Näiteks ringluspumpade võimsused ei ole eraldi väljundina logitud ning sellepärast ei olnud võimalik ringluspumpade töökoormuse suurust arvestada.

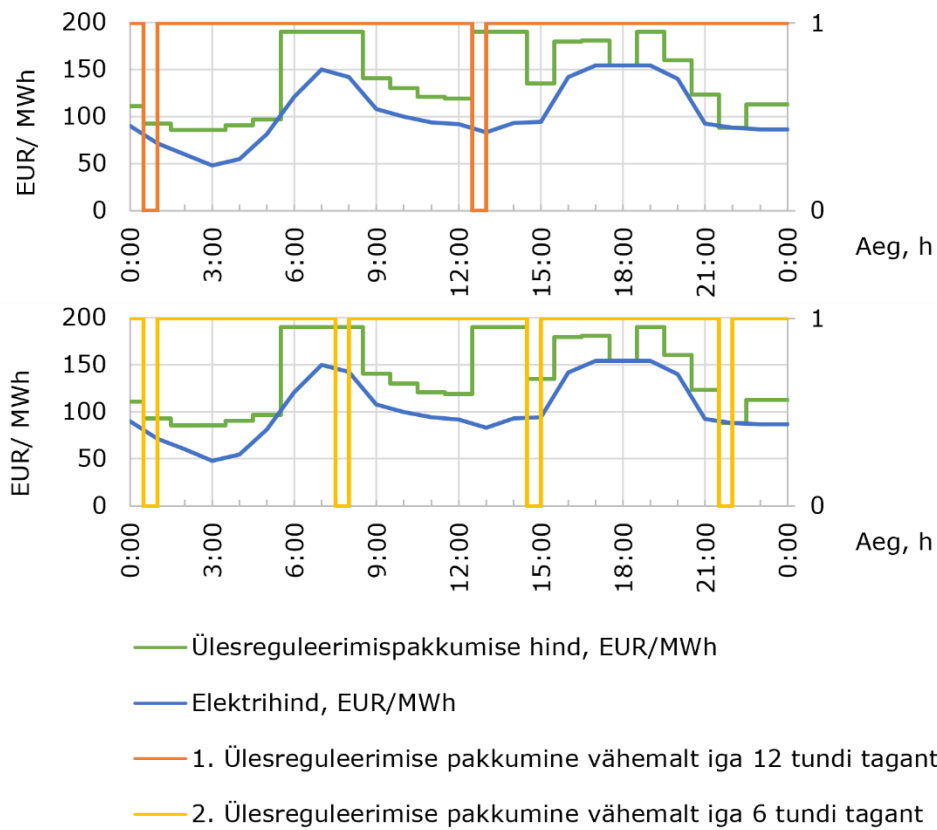
2.2 TalTech linnaku ringluspumpade paindlikkuspotentsiaal

Kauplumisel paindlikkusturul on omad igale kauplemispiirkonnale ENTSO-E poolt loodud reeglid. Elektrituru balansi hoidmiseks on kaks tüüpi reguleerimisühemõtet: allareguleerimine ning ülesreguleerimine. Allareguleerimisel müüvad süsteemihaldurid elektrienergiat väiksema energiatarbimise või prognoositust suurema energiatoodangu tõttu. Ülesreguleerimisel ostavad võrguettevõtjad energiat juurde kas suurema energiatarbimise või prognoositust väiksema energiatoodangu tõttu. Kauplemine toimub täistundide kaupa. Turuosalised võivad esitada paindlikkuspakkumisi kuni 45 minutit enne paindlikkusperioodi (60 minutit) algust. Paindlikkuspakkumised tuleb aktiveerida 15 minuti jooksul alates aktiveerimissignaali andmisest ja pakkumise täisvõimsus peab olema tagatud kuni paindlikkusperioodi lõpuni [22].

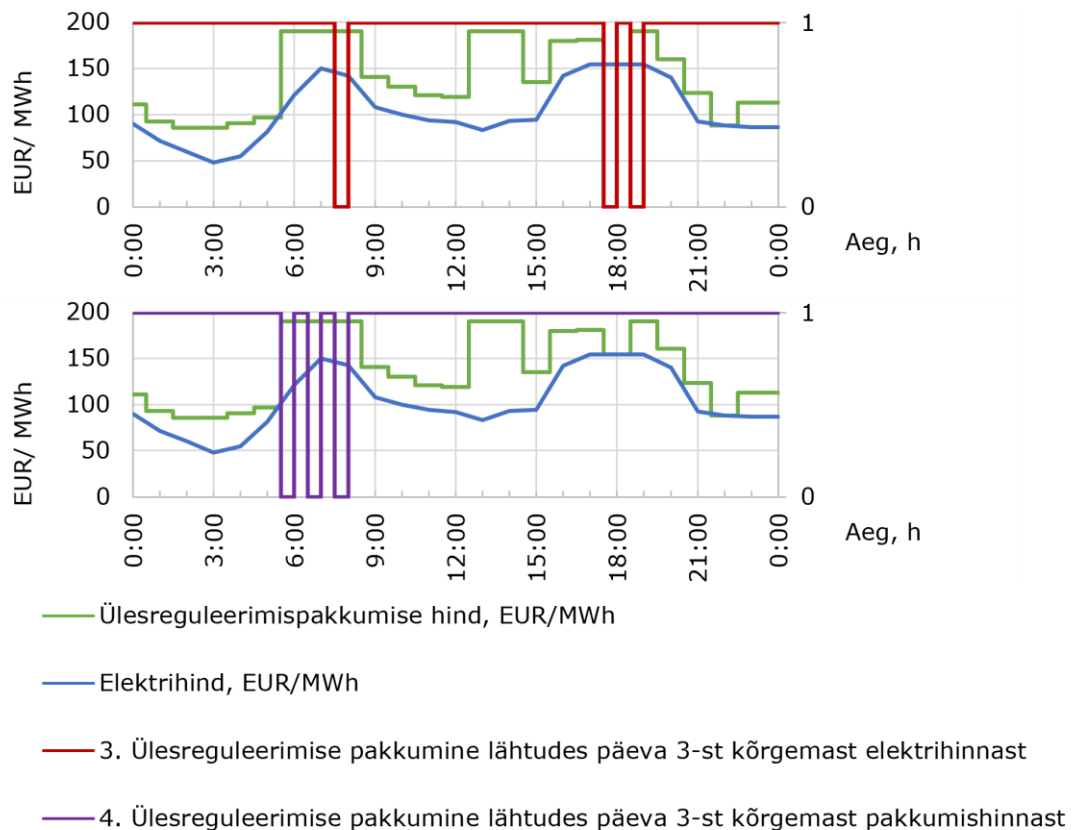
Kasutatud juhtimisühemõtted

Paindlikkuspakkumise potentsiaali hindamiseks piiratakse selle töö raames mitute pooletunniliste ülesreguleerimispakkumistega päevas terve eelmise 2021. aasta ulatuses. Paindlikkuspotentsiaali hindamise loogikas (Lisa 1 Ringluspumpade juhtimisühemõtted ning andmed potentsiaali analüüsiks) arvestatakse ringluspumpade välisõhu temperatuuri [23] järgse tööloa, nõudlusele reageerimise vajaduse (Estonia Upward, MWh [24]), paindlikkuspakkumise hindade (Estonia Upward, EUR/MWh [25]) ning elektrihindadega (NordPool-i poolt antud ligipääs arhiveeritud andmetele, tunnikeskmine hind, EUR/MWh [26]). Arvutused tehakse kahe ringluspumpade koormuse jaoks: arvutuslik ja osaline (30%) koormus. Loogika ülesehitamiseks kasutatakse Python programmeerimiskeelt ja andmete töötamise lihtsustamiseks loodud raamatukogusid (Lisa 1 Ringluspumpade juhtimisühemõtted ning andmed potentsiaali analüüsiks).

Juhtimisühemõttete koostamisel lähtuti konsultandi arvamuse kui ka nõudlusele reageerimisstrateegiatest. Konsultandi arvamusel ühes juhtimisloogikas tasub vaadata kindla ajavahemiku tagant pakutud paindlikkuse potentsiaali (Joonis 2.4), teises loogikas oli aga lähtutud hinnatundlikust reageerimisstrateegiast (Joonis 2.5).



Joonis 2.4. Konsultandi poolt soovitatud juhtimis põhimõtete visualiseerimine. Esimese (oranž) ning teise (kollane) loogika puhul pakutakse paindlikkust vähemalt iga 12 ja 6 tunni tagant. Pumba olek: sees 1, väljas 0.



Joonis 2.5. Hinnatundliku juhtimispõhimõtte visualiseerimine. Kolmandas loogikas lähtutakse päeva kolmest kõrgemast elektrihinnast (punane), neljandas (lilla) – päeva kolmest suuremast paindlikkuspakkumise hinnast. Pumba olek: sees 1, väljas 0.

2.3 Mõõtmised CON õppehoones

Ehituse Mäemaja on TalTechi uus A energiatõhususklassi õppehoone, milles nüüd asuvad erinevad ehitusinstituudi laborid ning õppeklassid. Kuna CON õppehoone on üsna vähe aega kasutuses olnud, on alati mõtet seal katseid teha ning hoone toimimist uurida. Mõõtmiste eesmärgiks oli uurida siseruumi olukorra muutust, taastumisega ja süsteemi soojustarbimise muutust süsteemide ringluspumpade seiskumise korral. Ringluspumpade väljalülitamises on rahaline potentsiaal aga sisetingimuste taastumiseks vajalikku soojusenergia kogus võib seda potentsiaali negatiivselt mõjutada.

CON õppehoone tehnosüsteemid on automaatselt juhitavad. Hoone automaatikasüsteemi haldav tarkvara võimaldab jälgida ja logida süsteemide käitumist peegeldavaid andmeid. Andmete kogunemine ja töötlemine on automaatikasüsteemi olemasolul lihtsustatud v.a kahe parameetri puhul: õhutemperatuur ruumides ja ringluspumpade hetkvõimsus. Vaikimisi ei olnud siseõhu temperatuuri salvestatud, viimaste katsete jaoks oli küsitud neid logima panna.

Katse raames ei vaadeldud põrandkütte ning ventilatsiooni kütte- jahutussüsteemide andmeid. Jahutusüsteemi dünaamikat ei vaadeldud ilmastiku tõttu.

Mõõteseadmed



Alloleval pildil (**Error! Reference source not found.**) on eelnevalt toodud soojussõlme (Joonis 2.3) ruum.



Joonis 2.6. CON õppehoone soojussõlm ning katsete jaoks juhitud ringluspump

Tabelis Tabel 2.3 on toodud elementide spetsifikatsioonid.

Tabel 2.3. Mõõteseadmete spetsifikatsioon

| Mõõtesead | Kamstrup MULTICAL 403 [27] | Danfoss TWA |
|---------------|---|---|
| Kirjeldus | Soojusarvesti | Radiaatortermostaadi ajam |
| |  |  |
| Mõõtepiirkond | 2 °C ... 180 °C | 0 ... 60 °C |
| Mõõtetäpsus | < ± 5 % (vooluhulga sensor) | Reageerimisaeg ~3 minutit |
| Resolutsioon | 0,xxx MWh | - |

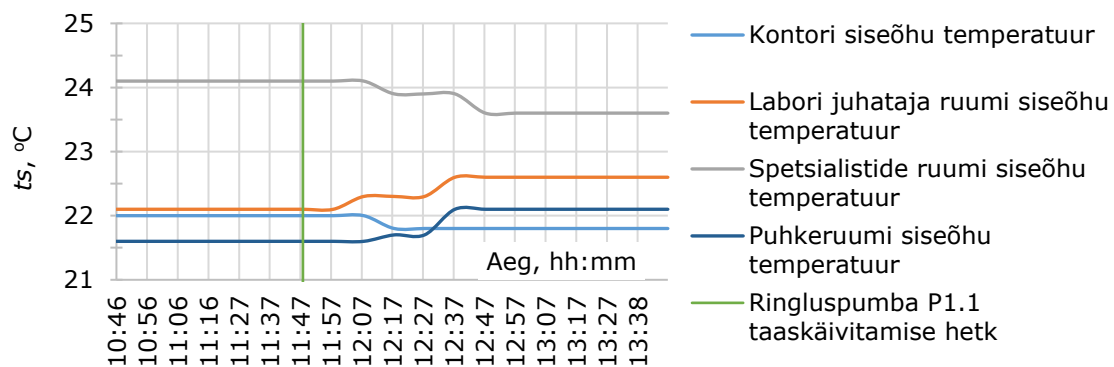
Esimene katse küttesüsteemiga

Esimese katse eesmärgiks oli hinnata siseõhu temperatuuri taastumisaega ning pikema kui 1 tunnise paindlikkuse pakkumisvõimalust. Katse ajaks oli kaudselt välja lülitatud

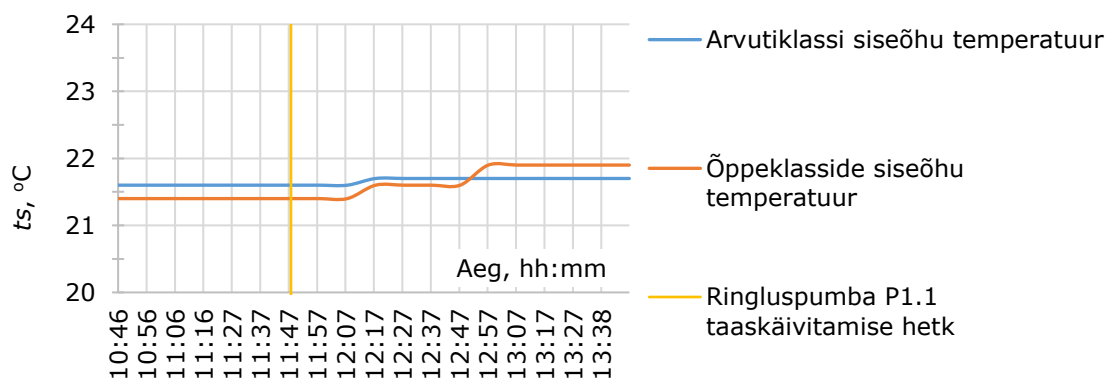
küttesüsteemi ringluspump P1.1 (Joonis 2.6). Vaadeldavasse süsteemi kuuluvad CON õppehoone katsehalli kiirgusküte ja muu hoone kiirgus- ja radiaatorküte.

Katse toimus 09.03.2022 ajavahemikus 10:46 kuni 11:38, välisõhu temperatuur ringluspumba seiskumise hetkel $-3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, taaskäivitamise hetkel $-2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ringluspump oli välja lülitatud kell 10:47 ning taaskäivitatud kell 11:47. Siseõhu temperatuur (t_s , $^{\circ}\text{C}$) oli jälgitud 10-se minutilise sammuga. Lisaks oli logitud süsteemi soojustarbimine ($Q_{1.1}$, kW) 3-minutilise sammuga.

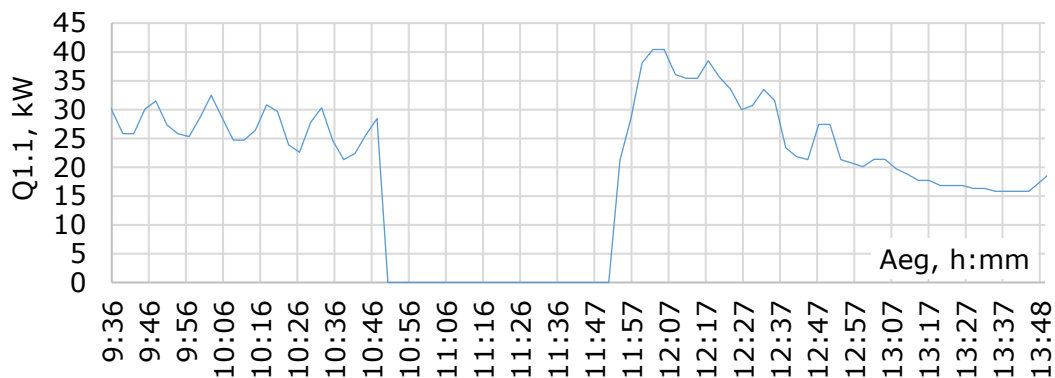
Järgmisena on toodud katse tulemused graafilisel kujul (Joonised ...)



Joonis 2.7. Siseõhu temperatuuri muutus CON hoone 3.korruse õpperuumides esimesel katsel



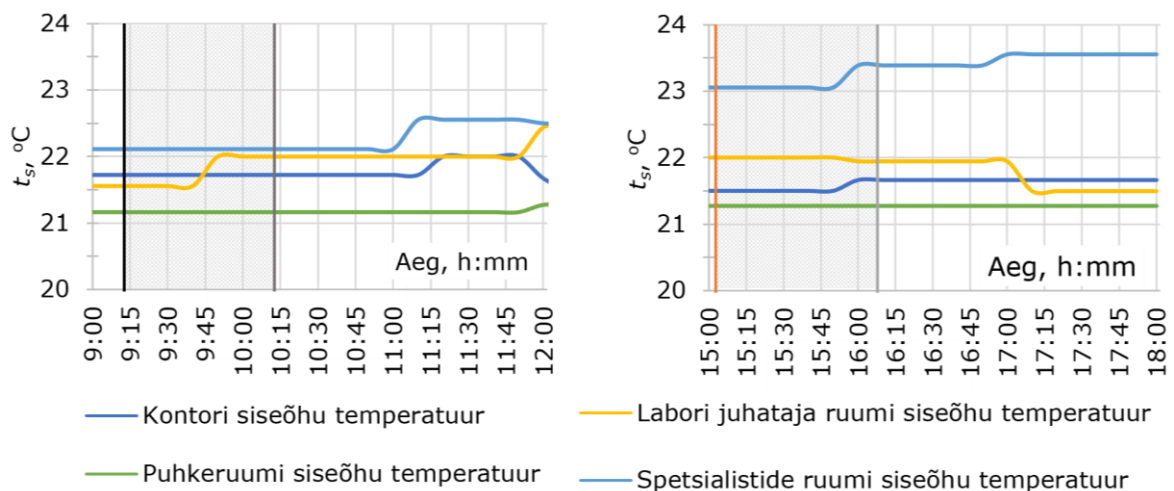
Joonis 2.8. Siseõhu temperatuuri muutus CON hoone 3.korruse õpperuumides esimesel katsel



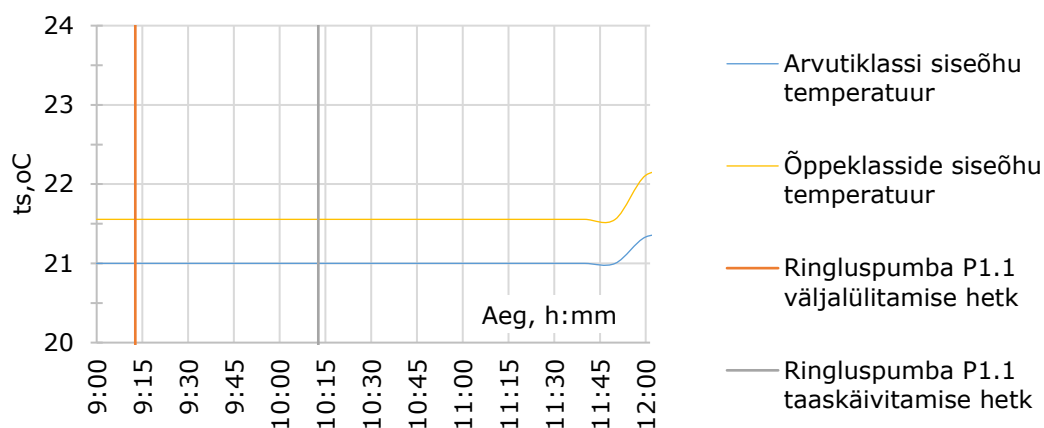
Joonis 2.9. Süsteemi soojustarbimise profiil esimese katse ajal

Teine ja kolmas katse küttesüsteemiga

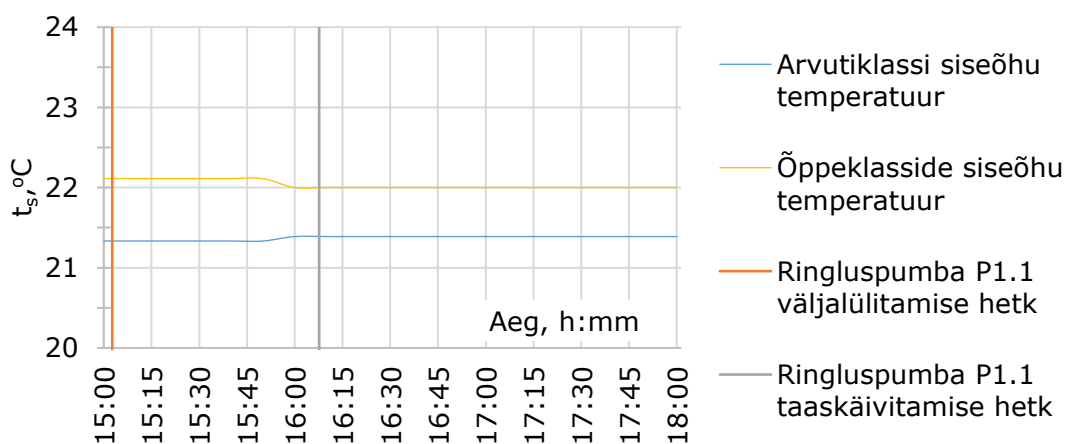
Kahe järgmise katse eesmärk oli vaadata süsteemi soojustarbimise dünaamikat ringluspumba mitmekordisel seiskumisel, mis on paindlikkusteenuses osalemisele lähedane olukord. Katse toimus 14.04.2022 järgmistes ajavahemikes 9:15 - 10:15, 15:00 - 16:10. Välisõhu temperatuur ringluspumba seiskumise hetketel oli vastavalt +4,1 °C ning +4,5 °C. Siseõhu temperatuur (t_{sr} , °C) oli seekord automaatikasüsteemi kaudu logitud 10-minutilise sammuga. Lisaks oli logitud süsteemi soojustarbimine ($Q1.1$, kW) 3-minutilise sammuga.



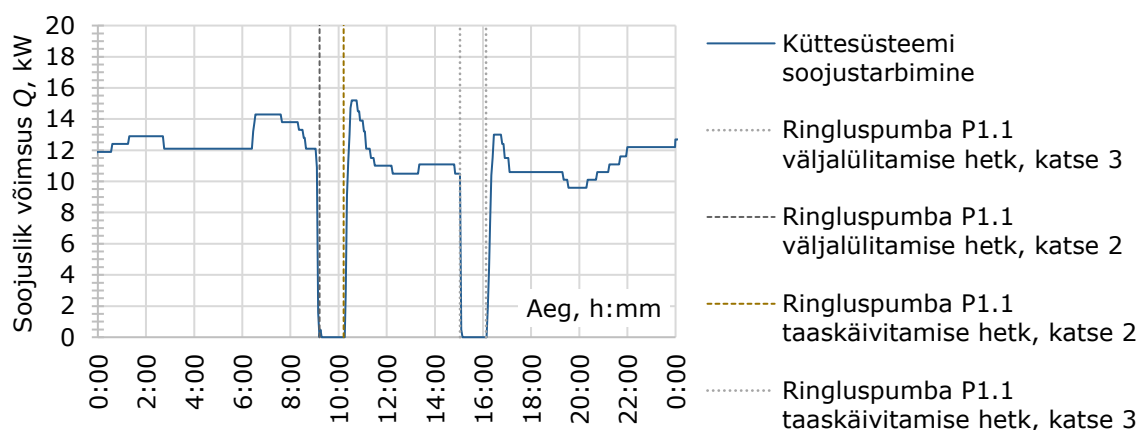
Joonis 2.10. Siseõhu temperatuuri muutus CON õppehoone 3. korruse töötajate ruumides teisel (9:15 - 10:15) ning kolmandal (15:00-16:00) katsel. Pumba olek hall alas - väljas



Joonis 2.11 Siseõhu temperatuuri muutus CON õppehoone 3.korruse õpperuumides tseisel katsel



Joonis 2.12. Siseõhu temperatuuri muutus CON hoone 3.korruse õpperuumides kolmandal katsel

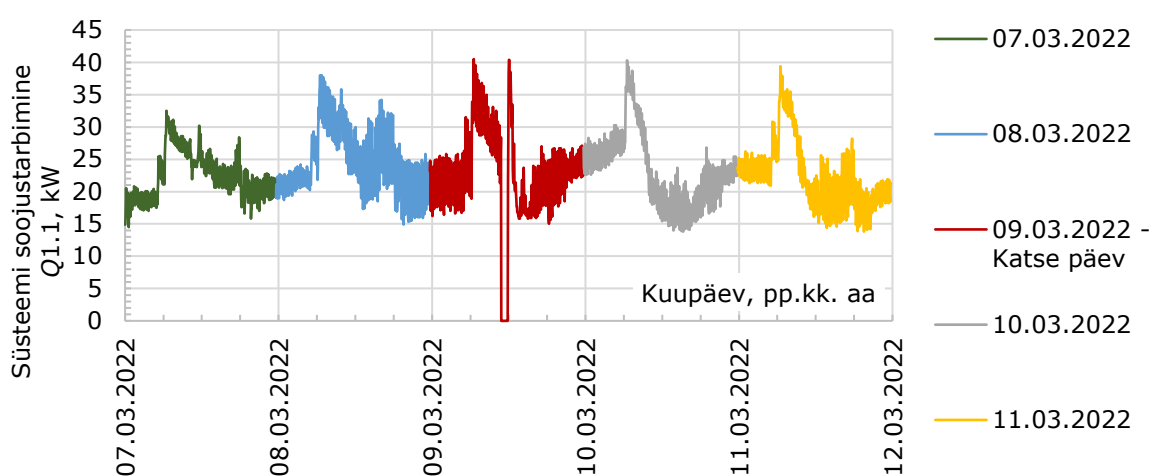


Joonis 2.13. CON õppehoone vaadeldava küttesüsteemi soojustarbimine teise ja kolmanda katse päeval

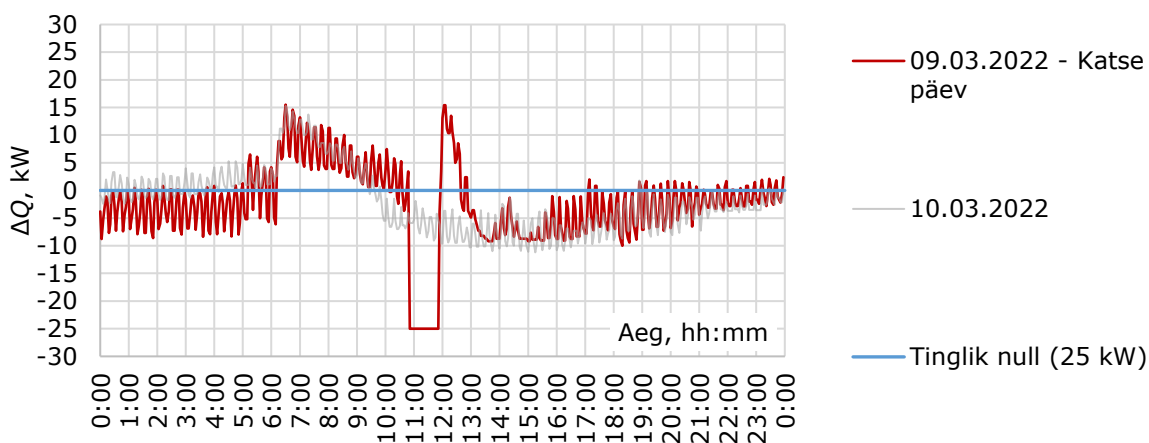
2.3.1 Hoone ja süsteemide modelleerimine

Süsteemide energiatarbimine näitab hoone kasutust ja dünaamikat. Energiatarbimise matemaatiline mudel on funktsioon mis kirjeldab tarbimisprofile ning sama mudelit võib kasutada tarbimise ennustamiseks.

Töö raames olid valitud kahe nädala argipäevade soojusenergia tarbimise profiilid nii, et päevade hulgas oleks ka katsepäev näidatud (Joonis 2.14, Joonis 2.16). Päeva profiilide sarnasuse visualiseerimiseks olid kõik soojustarbimise näidud ümbertõstetud tingliku nulli suhtes (Joonis 2.15, Joonis 2.17).

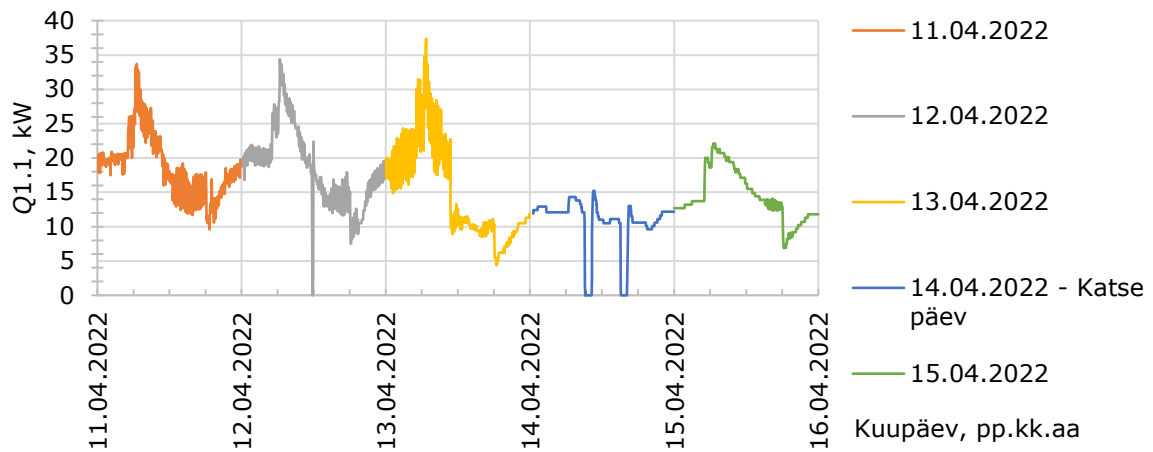


Joonis 2.14. CON õppehoone soojustarbimise profiil esimese katse nädala argipäevadel

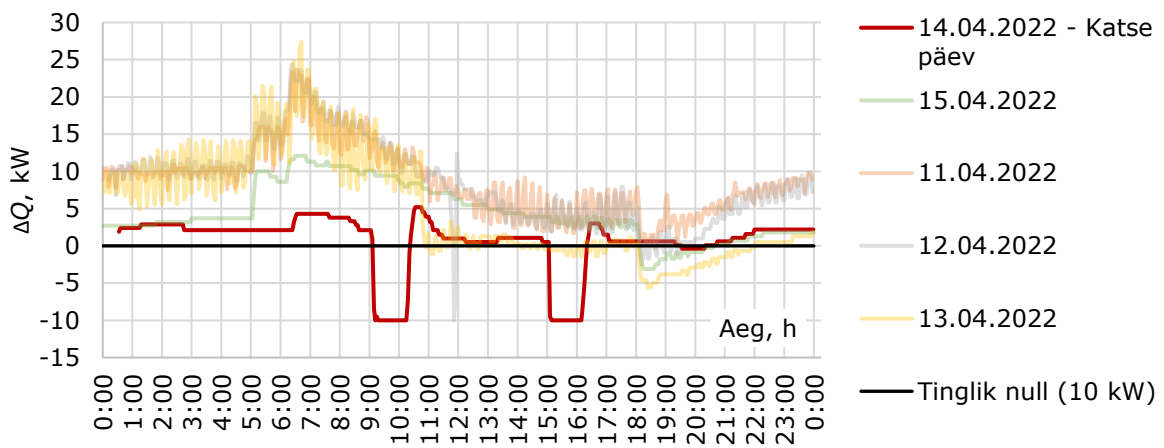


Joonis 2.15. CON õppehoone esimese katse nädala sarnase soojustarbimisega päevade koond profiil

Katsete vahelisel ajal toimus süsteemi töö ümberseadistamine või kalibreerimine ja kahe viimase katse graafikud (Joonis 2.16, Joonis 2.17) on väiksema „müraga“.

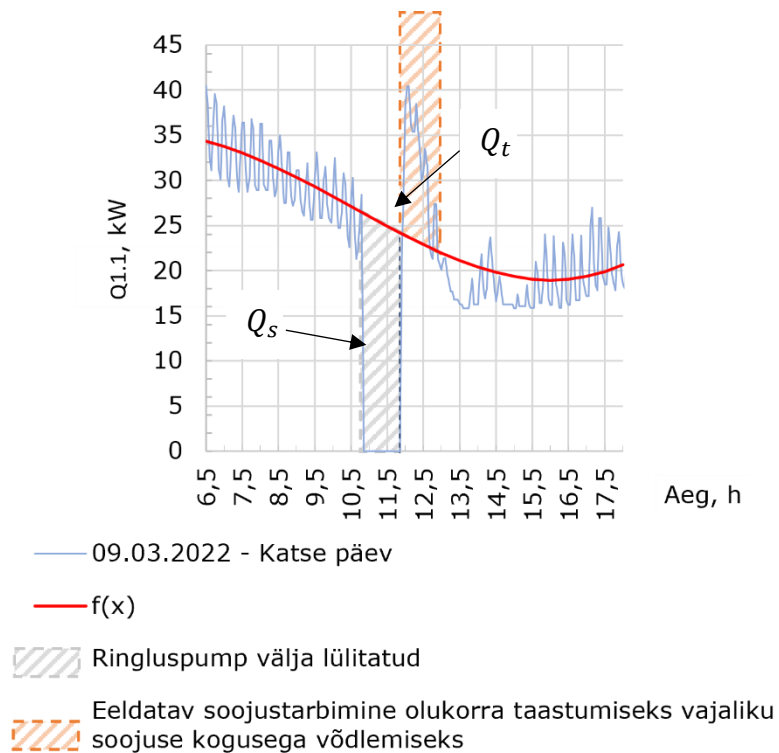


Joonis 2.16. CON õppehoone soojustarbimise profiil teise ja kolmanda katse ajal



Joonis 2.17. CON õppehoone teise ja kolmanda katse nädala soojustarbimise profiilide sarnasuste graafik

Soojustarbimise profiili mudeliks on logitud soojustarbimise põhjal moodustatud kolmandat järku polünoom (Võrrand 2.3). Polünoomi konstantide leidmiseks oli kirjutatud Python skript (Lisa 2 Matemaatilise mudeli konstantide leidmine).



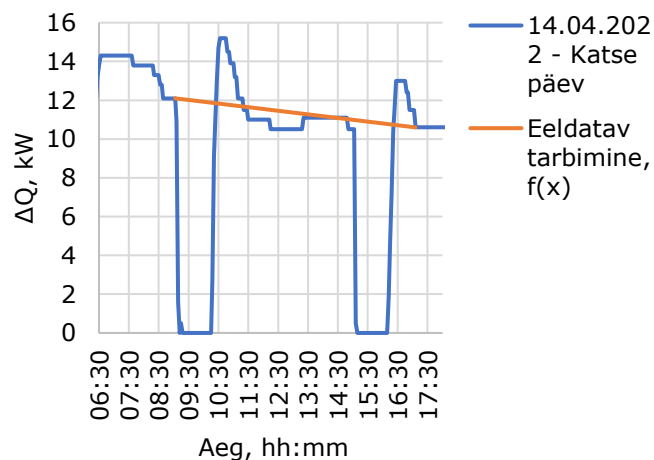
Joonis 2.18

$$f(x) = 0,024 \cdot x^3 - 0,77 \cdot x^2 + 5,992 \cdot x + 21,687$$

Võrrand 2.3

Enne pumba väljalülitamise otsuse tegemist on tarvis hinnata säästetud soojust Q_s ja olukorra taastumiseks vajalikku soojust Q_t , selle juures on oluline $Q_s < Q_t$.

Teise ning kolmanda katse päeva soojustarbimise profiil (Joonis 2.19) on suhteliselt konstante, seega eeldatava tarbimise leidmiseks on võimalik koostada lineaarset funktsiooni (Võrrand 2.4).



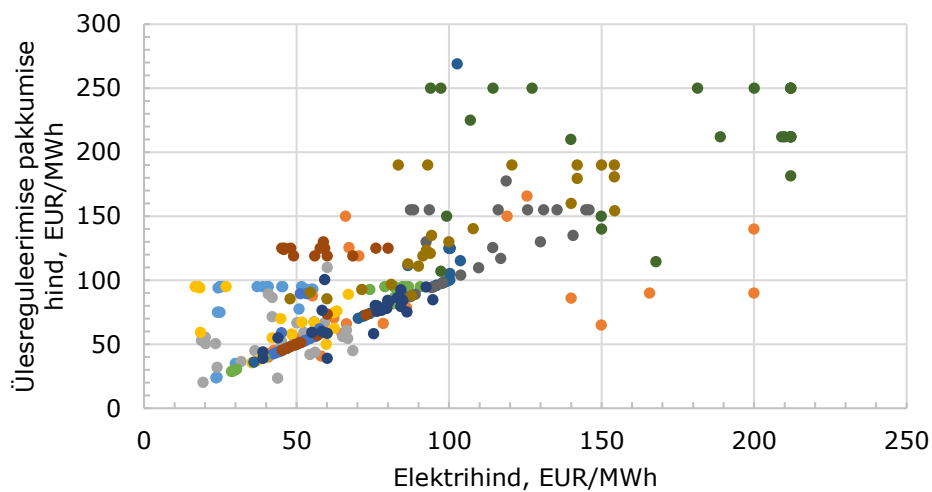
Joonis 2.19. CON õppehoone teise ja kolmanda katse nädala päeva profiil

$$f(x) = -4,472 \cdot x + 13,786$$

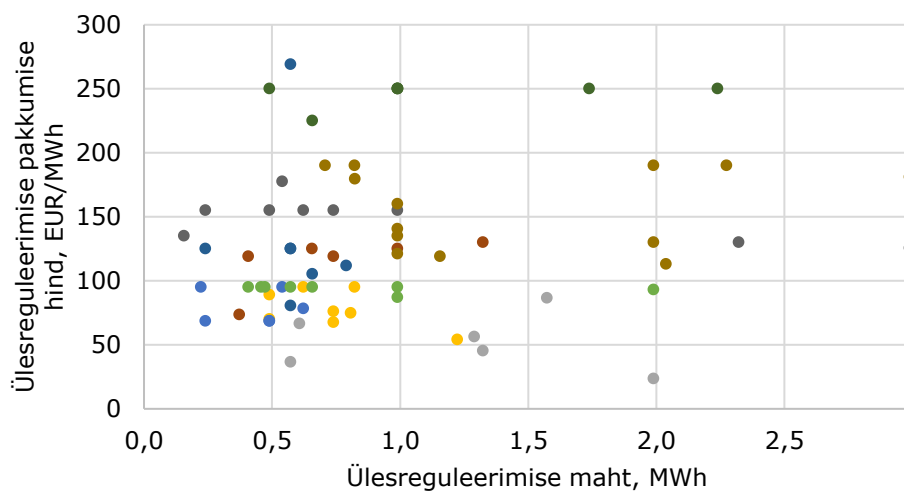
Võrrand 2.4

2.4 Ringluspumpade juhtimisalgoritmid

Paindlikkusteenuses osalemiseks ringluspumpade juhtimisalgoritmi koostamise jaoks on tarvis valida nõudlusele reageerimise strateegiat. All esitatud joonistel on näidatud elektrituru andmed ja korrelatsioonid, millest lähtudes võib valida DSR strateegiat ja juhtivat turu näitu juhtimisalgoritmi jaoks. Hinnatundliku reageerimisstrateegia kasutamisel on võimalik lähtuda kas elektri hinnast või pakkumise hinnast (Joonis 2.20). Koormuse kontrolli strateegias on võimalik lähtuda ülesreguleerimise küsitud mahust (Joonis 2.21).



Joonis 2.20. Elektri hinna ja ülesreguleerimise pakkumise hinna korrelatsioon



Joonis 2.21. Ülesreguleerimise mahu (MWh) ja ülesreguleerimise pakkumise hinna (EUR/MWh) seos

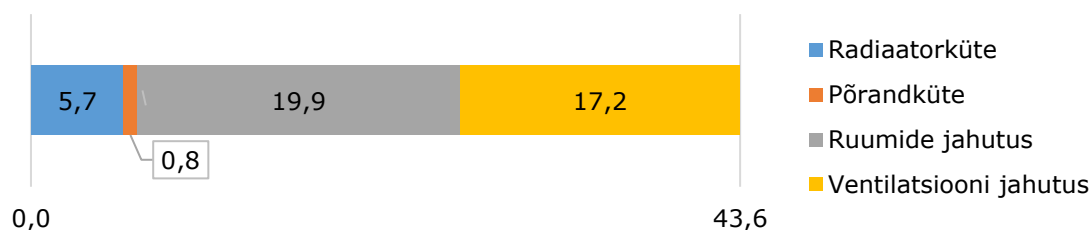
Juhtimisalgoritmi arendusel tuleb arvestada maksimaalse majandusliku kasuga, peale pakkumiste ja elektrihindade hindamist on vaja arvestada ringluspumpade hetkvõimsustega, kuna suurema ülesreguleerimise mahu puhul on suurem tõenäosus seda võimsust müüa. Lisaks optimaalse pakkumise esitamise aja leidmisele on tarvis hinnata millal ning kauaks võib ringluspumpasid sisse ja välja lülitada, kuna paindlikkust võib pakkuda mitu tundi järjest.

Sisekeskkonna dünaamika seiskunud süsteemide korral sõltub hoone konstruktsioonide massiivsusest ning soojuslähivusest, seega iga hoone puhul rakendatav juhtimisalgoritm võib olla teisest erinev. Selle kõrvale jahutusüsteemide ringluspumpade juhtimisalgoritm võib küttesüsteemide juhtimisalgoritmist erineda, kuna jahutussüsteemide projekteerimisel on oluline arvestada konstruktsioonide soojusliku inertsile, seda võib samuti kasutada ringluspumpade juhtimisalgoritmi arendamisel.

3 TULEMUSED

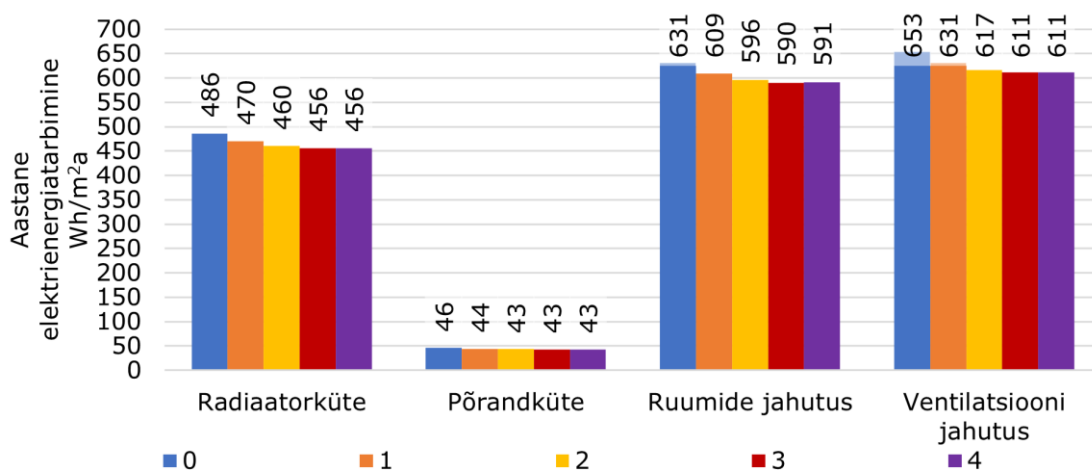
3.1 TalTech linnaku ringluspumpade paindlikkuspotentsiaal

Ülevaade algandmete kogunemisest selgus, et linnaku summaarne arvutuslik ringluspumpade elektrivõimsus (Joonis 3.1) $P = 43,6$ kW, millest märkimisväärset osa moodustavad jahutusüsteemide ringluspumpad kuigi neid on samapalju kui küttesüsteemide ringluspumpasid.

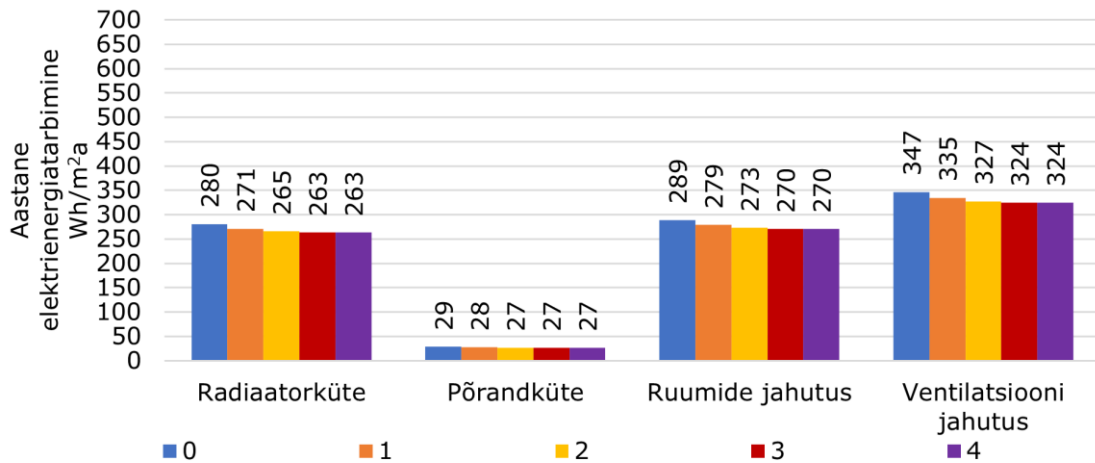


Joonis 3.1. Ülikooli linnaku ringluspumpade summaarne arvutuslik elektrivõimsus (kW) ning jaotus süsteemitüüpide kaupa

Erinevate juhtimis põhimõtete rakendamisel saadud tulemustest on näha, et paindlikkuse pakkumise kordsus mõjutab elektritarbimise vähenemist. Juhtimis põhimõtete 2, 3 ning 4 korral olid ringluspumpad välja lülitatud 3 korda päevas ning sellisel juhul oli tarbimine võrreldes põhimõtte 1 korral.



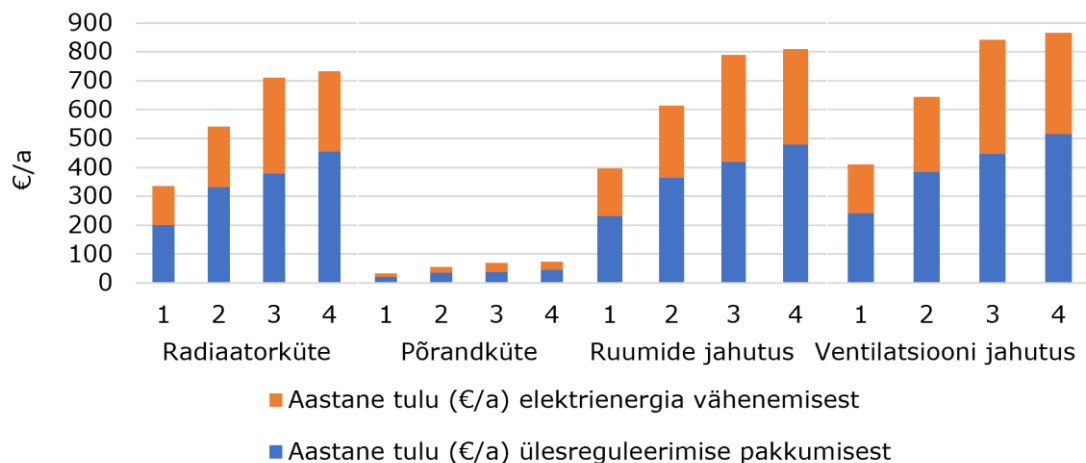
Joonis 3.2. Arvutuslikudel parameetritel töötavate ringluspumpade summaarne elektritarbimine ülikooli linnaku köetava pindala ühiku kohta ($\text{Wh}/\text{m}^2\text{a}$) 2021. aastal erinevate juhtimis põhimõtete (Joonis 2.4, Joonis 2.5) korral; 0 - tavajuhtimine



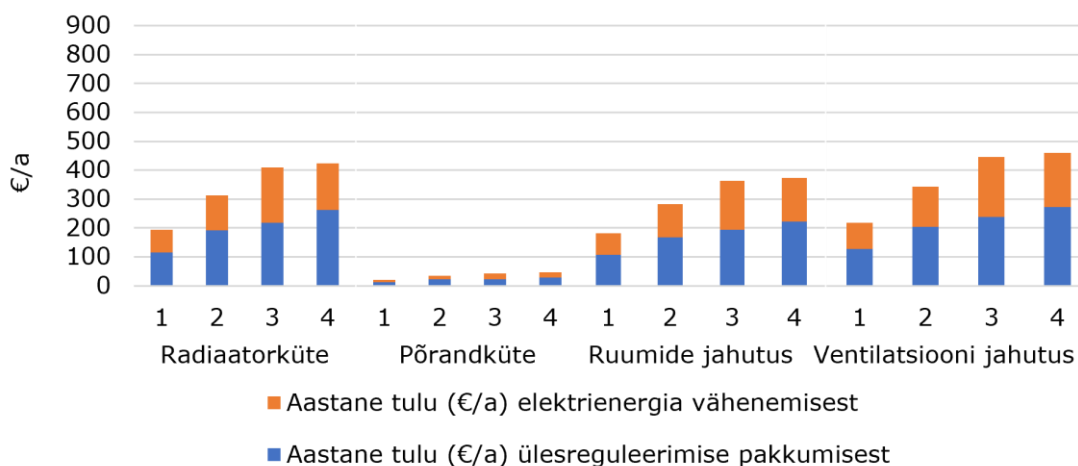
Joonis 3.3. Osalisel koormusel (30%) töötavate ringluspumpade summaarne aastane elektritarbimine ülikooli linnaku köetava pindala ühiku kohta (Wh/m²a) 2021. aastal erinevate juhtimispehhiimõtetel (Joonis 2.4, Joonis 2.5) korral; 0 – tavajuhtimine

Ringluspumpade osalise koormuse arvestamisest on näha, et aastase elektritarbimise vahemiku alumise piiri väärtus - ehk elektritarbimise väärtus osalisel koormusel - on täiskoormusel töötavate pumpade aastasest elektritarbimise väärtustest ligikaudselt kaks korda madalam.

Joonistel Joonis 3.4 ja Joonis 3.5 on näidatud summaarse aastase tulu muutus sõltuvalt juhtimispehhiimõtetest. Joonistelt on näha, et hinnatundlik reageerimisstrateegia on suurima majandusliku kasu saavutamiseks kõige optimaalsem. Suurema tulu sai pehhiimõtte 4 rakendamisel – paindlikkuse pakkumine suurima ülesreguleerimise hinna järgi.



Joonis 3.4. Summaarne 2021.a tulu (€/a) erinevate juhtimispehhiimõtetel ja arvutuslikkudel tingimustel töötavate ringluspumpade korral



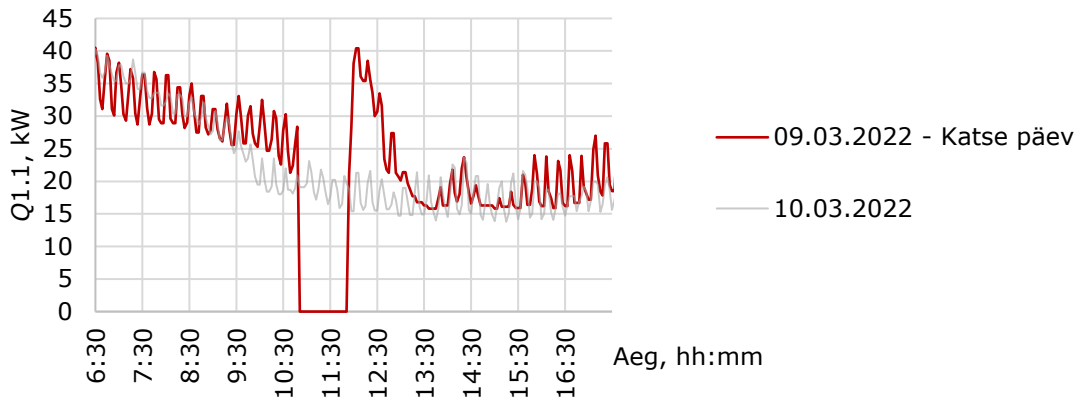
Joonis 3.5. Summaarne 2021.a tulu (€/a) erinevate juhtimisühimõtetel ja osalisel koormusel töötavate ringluspumpade korral

Tulemustest on näha, et suurim majanduslik paindlikkusteenuses osalemise potentsiaal on hinnatundliku reageerimisstrateegia rakendamisel. Põrandkütte ringluspumpade juhtimine ei toonud kaasa märkimisväärseid elektrienergiatarbimise muutusi ega majandusliku kasu. Samuti on selge, et tuleb lähemalt vaadata jahutusüsteemide ringluspumpade juhtimist pumpade suurema võimsuse pärast.

3.2 Hoone ja süsteemide modelleerimine

Katsed CON õppehoones näitasid, et küttesüsteemi puuduva soojustarbimise korral siseõhu temperatuur ei lange, mis viidab hea tarindite lahendusele. Süsteemi soojustarbimise võnkuv profiil viidab süsteemi ebaefektiivsele juhtimisele. Seega lisa energiakokkuhoiu potentsiaal võib olla süsteemi juhtimise ümberseadistamisel.

Esimese katse päeva ja järgmise päeva profiilid on üsna sarnased (Joonis 3.6), seega saab soojusenergia vähenemist vaadata lahutades järgmise päeva soojuse tarbimisest katsepäeva soojuse tarbimist.



Joonis 3.6. Soojustarbimise profiilide sarnasus

$Q_{1.1_{09.03.2022}} = 2,26 \text{ MW}$ – süsteemi soojustarbimine katse päeval, ajavahemik 6:30-17:30

$Q_{1.1_{10.03.2022}} = 2,62 \text{ MW}$ - süsteemi soojustarbimine järgmisel päeval, ajavahemik 6:30-17:30

$$Q_{1.1_{09.03.2022}} < Q_{1.1_{10.03.2022}}$$

Süsteemi väiksem soojustarbimine katse päeval kinnitab, et ringluspumba väljalülitamisel oli energia kokkuhoid.

Teise ning kolmanda katse läbiviimiseks oli kogemata valitud lühendatud tööpäev ning selgus, et eelnevalt toimus küttesüsteemi kalibreerimine, kuna saadud soojustarbimise profiil oli nädala teiste päevade profiilide võrreldes teistsugune ning üldine soojuse tarbimine oli madal. Jooniselt (Joonis 2.19) on näha, et kokkuhoitud energia kogus on mõlemal juhul süsteemitöö taastamiseks vajaliku energia kogusest suurem, eeldatava soojustarbimise suhtes.

3.3 Ringluspumpade juhtimisalgoritmid

Paindlikkusteenuses osalemisel on tarvis enda osalemise soovist ning pakutavast elektrienergia mahust võrguhaldurit teavitada. Etteteatamise eelduseks on eelnev turu vajaduste analüüs, seega ringluspumpade juhtimisalgoritm peab arvestama turu prognoositud vajadustega. Maksimaalse majandusliku kasu saavutamiseks on mõistlik eelistada hinnatudlikku reageerimisstrateegiat ning lähtuda ülesreguleerimise pakkumiste hindadest. Joonis 2.20 on näha, et pakkumiste hinnad on üldiselt kõrgem võrreldes elektrihindadega, eriti siis, kui taastuvate energiaallikatega energia tootmine ei ole võimalik või toodetud energiast ei jagu.

Matemaatilist mudelit on võimalik rakendada süsteemi dünaamika ennustamiseks, kuna mitteeleamute kasutus on tsükliline ning tavaolukorras on iga nädal sarnane.

Energiatarbimise profiilide sarnasust võivad mõjutada väliskeskkonna tingimused nagu välisõhu temperatuuri muutus või pilvisus, hoone hõivatusaeg ning hoones viibijate arv või harjumused, mis omajärgi mõjutab sisekeskkonda. Seega energiatarbimise ennustamiseks on tarvis teada hoone kasutusaega, hõivatust, väliskeskkonna tulevase andmeid ning sisekeskkonna üldise olukorda. Nende andmete olemasolul võib hinnata ringluspumpade sisse ja välja lülitamise aega sobivust.

KOKKUVÕTE

Euroopa Liidu rohepööre ning kasvava elektrienergia ebahühtlase tarbimisega sageli esineb olukord, kui elektrivõrk on ülekoormatud ning selle töö on ohustatud. Elektritarbimise ning tootmise tasakaalu hoidmine on elektrivõrgu töökindluse tagamise võimalus. Tasakaalu hoidmiseks on võimalik lühiajaks elektritarbimisest loobuda ning seega ühtlustada või vähendada elektrivõrgu koormust.

Ehitiste ning elamute elektritarbimine on märkimisväärne ning tarbimise profiilid on ebahühtlased. Tänu hoone soojuslikule inertsile, konstruktsioonide massiivsusele ja sisekeskkonna parameetrite normväärtuste vahemikele on võimalik sisetingimusi kontrollivaid süsteeme mõneks ajaks seiskuma panna ning seega vähendada elektrienergia tarbimist ja ühtlustada elektrivõrgu koormuse profiili.

Ringluspumpade paindlikkusteenuses kasutamise juures on oluline teada ringluspumba hetkvõimsuse suurust süsteemi osalise koormuse režiimis toimimisel. Selle juures on tarvis meeles pidada ringluspumba juhtimisloogikate tõstekõrguse muutmise põhimõtet süsteemi vooluhulga muutmisel, sest ringluspumba elektritarve sõltub pumba tööpunkti.

Paindlikkusteenuses osalemine toob kaasa majanduslikku kasu ja energiatarbimise vähendamist õige reageerimisstrateegia ning ringluspumpade juhtimisalgoritmi rakendamisel. Ringluspumpade juhtimisalgoritm peab arvestama elektrituru prognooside ja hoone energiatarbimisega. Hoone energiatarbimist on võimalik ennustada kasutades süsteemide dünaamikat kirjeldatavaid matemaatilisi mudeleid ning arvestades hoone kasutusaega, hõivatust, väliskeskkonna tulevase andmeid ning sisekeskkonna üldise olukorda.

Lisaks sellele on võimalik energia tarbimise vähendamise eesmärgi saavutamiseks parandada tehnosüsteemide automaatikat. CON õppehoone näitel süsteemi soojustarbimise vähendamisel siseõhu temperatuur ei muutunud, mis viidab süsteemi ebatõhusele juhtimisele. Tasub ka uurida jahutusüsteemide ringluspumpade potentsiaali, kuna nende summaarse elektrivõimsuse osakaal terve TalTech linnaku ringluspumpade summaarsest elektrivõimsusest on suur.

CONCLUSION

The green revolution in the EU and the growing uneven consumption of electricity often lead to a situation in which the electricity grid is overloaded and its' operation is at risk. Maintaining a balance between electricity consumption and production is the way to ensure reliability of the grid. In order to maintain the balance, it is possible to cut electricity consumption for a short period of time and thus harmonize or reduce the load of the grid.

Electricity consumption in households and buildings shares a significant part of entire energy consumption, in addition their energy consumption profiles are varying. Due to the thermal mass of the building envelope and structures and the ranges of standard values of the indoor environment parameters, it is possible to stop indoor climate systems for a while and thus reduce electricity consumption and harmonize the load profile of the grid.

When using secondary pumps in a smart grid, it is important to know its' power when operating in a partial load mode. In doing so, it is necessary to keep in mind the principle of how the head changes at flow reduction in each pump controlling mode, as the electrical power of a pump depends on the operation point of the pump.

Participation in the flexibility service for the smart grid will lead to economic benefits and a reduction in energy consumption through the implementation of the right response strategy and circulation pump control algorithm. The control algorithm for secondary pumps must consider electricity market forecasts and the energy consumption of the building. The energy consumption of a building can be predicted using mathematical models that describe the dynamics of the systems and considering the service life of the building, occupancy, future data on the external environment and the general condition of the indoor environment.

In addition, it is possible to improve the automation of technical systems to achieve the goal of reducing energy consumption. In the example of the CON building, the reduction of the heat consumption did not change the indoor air temperature, which indicates inefficient control of the system. It is also worth investigating the potential of circulation pumps of cooling systems, as their share of total electrical power in the total electrical power of circulation pumps on TalTech site is high.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] “Statistics | Eurostat.”
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/t2020_rd330/default/line?lang=en
(accessed May 11, 2022).
- [2] “ENERGIA SISETURG”, Accessed: Mar. 03, 2022. [Online]. Available:
www.europarl.europa.eu/factsheets/et
- [3] L. Morales and J. Hanly, “European power markets—A journey towards efficiency,”
Energy Policy, vol. 116, pp. 78–85, May 2018, doi: 10.1016/J.ENPOL.2018.01.061.
- [4] “Tarkvõrgu arendamine | Elering.” <https://elering.ee/tarkvorgu-arendamine> (accessed
May 09, 2022).
- [5] “Grid Map.” <https://www.entsoe.eu/data/map/> (accessed May 11, 2022).
- [6] Elering AS, AS “Augstsprieguma tīkls,” and LITGRID AB, “Baltic Load-Frequency
Control block concept document.” 2020. Accessed: Mar. 03, 2022. [Online].
Available: https://elering.ee/sites/default/files/2020-09/Baltic%20Load-Frequency%20Control%20concept%20document_0.pdf
- [7] “Electricity and heat statistics - Statistics Explained.”
https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_and_heat_statistics (accessed May 11, 2022).
- [8] S. Carter *et al.*, *DEMAND-SIDE RESPONSE AS SOURCE FOR FLEXIBILITY
TARBIMISE JUHTIMINE ELEKTRI-SÜSTEEMI PAINDLIKKUSE TAGAJANA*, no.
11. 2015.
- [9] European Network of Transmission System Operators for Electricity, “Demand Side
Response Policy Paper,” 2014.
- [10] Katie Malone, “Electrical Load Management,” 2010. Accessed: May 15, 2022.
[Online]. Available: <http://large.stanford.edu/courses/2010/ph240/malone1/>
- [11] “Demand side opportunities | energy.gov.au.”
<https://www.energy.gov.au/business/energy-management-business/large-energy-users/energy-procurement/demand-side-opportunities> (accessed May 14, 2022).
- [12] F. Mofidi and H. Akbari, “Intelligent buildings: An overview,” *Energy and Buildings*,
vol. 223, p. 110192, Sep. 2020, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2020.110192.
- [13] P. Palensky and D. Dietrich, “Demand side management: Demand response, intelligent
energy systems, and smart loads,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 7,
no. 3, pp. 381–388, Aug. 2011, doi: 10.1109/TII.2011.2158841.
- [14] Department of Energy, “Benefits of Demand Response in Electricity Markets and
Recommendations for Achieving Them,” 2006.
- [15] CEN, “CEN/TR 16798-2:2019 Energy performance of buildings - Ventilation for
buildings - Part 2: Interpretation of the requirements in EN 16798-1 - Indoor
environmental input parameters for design and assessment of energy performance of
buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics
(Module M1-6),” 2019. [Online]. Available: <https://www.evs.ee/et/cen-tr-16798-2-2019>
- [16] HVAC&R Nation, “SPACE TEMPERATURE SET POINT AND CONTROL
BANDS,” 2015, p. 1. [Online]. Available: www.hvacnation.com.au
- [17] Teet-Andrus Kõiv and Aivar Rant, “Hoonete küte,” 2013.
<https://www.digar.ee/arhiiv/nlib-digar:388794>
- [18] “Least Square Regression for Nonlinear Functions — Python Numerical Methods.”
<https://pythonnumericalmethods.berkeley.edu/notebooks/chapter16.05-Least-Square-Regression-for-Nonlinear-Functions.html> (accessed May 07, 2022).

- [19] “M A S I N A M E H A A N I K A J A A J A M I D.”
<http://www.ene.ttu.ee/elektriamid/oppeinfo/AAR5420/pump32.html> (accessed May 12, 2022).
- [20] R. Robinson, “Pumping Control Methods and Their Impact on System Efficiency.”
- [21] “Grundfos Estonia | The full range supplier of pumps and pump solutions. As a renowned pump manufacturer, Grundfos delivers efficient, reliable, and sustainable solutions all over the globe. Step into our world.” <https://www.grundfos.com/ee> (accessed May 16, 2022).
- [22] ENTSO-E, “Rules on Balancing,” Jan. 01, 2022.
<https://transparency.entsoe.eu/balancing-domain/r2/rulesOnBalancing/show?name=&defaultValue=true&viewType=TABLE&areaType=MBA&atch=false&dateTime.dateTime=01.01.2022+00:00|UTC|YEAR&dateTime.endDate=01.01.2022+00:00|UTC|YEAR&biddingZone.values=CTY|10Y1001A1001A39I!MBA|10Y1001A1001A39I> (accessed May 16, 2022).
- [23] “Ajalooldised ilmaandmed | Keskkonnaagentuur.”
<https://www.ilmateenistus.ee/kliima/ajalooldised-ilmaandmed/>
- [24] “Normal activations - mFRR - BTB.” <https://baltic.transparency-dashboard.eu/node/36>
- [25] “Balancing energy prices - BTB.” <https://baltic.transparency-dashboard.eu/node/41>
- [26] “Data downloads | Nord Pool.” <https://www.nordpoolgroup.com/en/Market-data1/data-downloads/historical-market-data2/>
- [27] Kamstrup A/S, “Technical description MULTICAL 403.” [Online]. Available: <https://www.kamstrup.com/en-en/heat-solutions/meters-devices/meters/multical-403/documents>

LISAD

Lisa 1 Ringluspumpade juhtimispõhimõtted ning andmed potentsiaali analüüsiks

```
import pandas as pd
import openpyxl
import heapq

xl=pd.ExcelFile('C:/Users/37258/Documents/ttu/l6putoo/ringp/ringp.xlsx')
v6=pd.read_excel(xl,'python v6',header=None)
hindnp=pd.read_excel(xl,'python hindnp',header=None)
on_off=pd.read_excel(xl,'python on off',header=None)
teenida=pd.read_excel(xl,'python teenida',header=None)
andmed=pd.read_excel(xl,'andmed',header=None)

def addColumnsToIndexes(i,j,pos):
    rowsToMove=pos//24
    colsToMove=pos-24*rowsToMove
    if j+colsToMove>23:
        rowsToMove+=1
        colsToMove-=24
    return (i+rowsToMove,j+colsToMove)

def getNLargestAndIndexes(n,list):
    largestIndexList=heapq.nlargest(n,zip(list,range(len(list))))
    largest = [i[0] for i in largestIndexList]
    indexes = [i[1] for i in largestIndexList]
    return (largest, indexes)

pump=[]
tootunnid=[]
tarbitud=[]
makstud=[]
maht_12=[]
teenitud_12_loend=[]
maht_6=[]
teenitud_6_loend=[]
```

```

saastetud_suurem_hind=[]
teenitud_suurem_hind=[]
sobib_h3max_sum=[]
maht_h3max_sum=[]
sobib_p3max_sum=[]
maht_p3max_sum=[]
vahenemine_12_sum=[]
vahenemine_6_sum=[]
teenitud_h3max_sum=[]
vahenemine_p3min_sum=[]
for x in range(len(andmed)):
    count=0
    sum_raha=0
    sum_makstud=0
    sobib=0
    teenitud=0
    sum_teenitud_12=0
    sum_teenitud_6=0
    suuremate_hindade_summa=0
    makstud_suurema_hinna_jargi=0
    suuremate_pakkumiste_summa=0
    teenitud_pakkumistest=0
    sobib_12=0
    sobib_6=0
    sobib_h3max=0
    sobib_p3max=0
    vahenemine_12=0
    vahenemine_6=0
    teenitud_h3max=0
    vahenemine_p3min=0
    if andmed.iloc[x,0]=='kyte':
        for i in range(len(v6)):
            hindadeLargest, hindadeIndex=getNLargestAndIndexes(3,hindnp.iloc[i])
            for j in hindadeIndex:
                if v6.iloc[i,j]<andmed.iloc[x,3]:
                    suuremate_hindade_summa+=hindnp.iloc[i,j]
                    sobib_h3max+=1
                    teenitud_h3max+=teenida.iloc[i,j]

```

```

pakkumineLargest, pakkumineIndex=getNLargestAndIndexes(3,teenida.iloc[i])
for j in pakkumineIndex:
    if v6.iloc[i,j]<andmed.iloc[x,3]:
        suuremate_pakkumiste_summa+=teenida.iloc[i,j]
        sobib_p3max+=1
        vahenemine_p3min+=hindnp.iloc[i,j]
for j in range(len(v6.columns)):
    if v6.iloc[i,j]<andmed.iloc[x,3]:
        count+=1
        sum_ raha+=hindnp.iloc[i,j]
i=0
j=0
sobib_12=0
while i<len(on_off):
    while j < len(on_off.columns):
        if v6.iloc[i,j]<andmed.iloc[x,3] and on_off.iloc[i, j] != 0:
            sobib_12+=1
            sum_teenitud_12+=teenida.iloc[i,j]
            vahenemine_12+=hindnp.iloc[i,j]
            i, j = addColumnsToIndexes(i, j, 12)
        else:
            i, j = addColumnsToIndexes(i, j, 1)
    if i >= len(on_off):
        break
i=0
j=0
sobib_6=0
while i<len(on_off):
    while j < len(on_off.columns):
        if v6.iloc[i,j]<andmed.iloc[x,3] and on_off.iloc[i, j] != 0:
            sobib_6+=1
            sum_teenitud_6+=teenida.iloc[i,j]
            vahenemine_6+=hindnp.iloc[i,j]
            i, j = addColumnsToIndexes(i, j, 6)
        else:
            i, j = addColumnsToIndexes(i, j, 1)
    if i >= len(on_off):
        break

```

```

elif andmed.iloc[x,0]=='jahutus':
    for i in range(len(v6)):
        hindadeLargest, hindadeIndex=getNLargestAndIndexes(3,hindnp.iloc[i])
        for j in hindadeIndex:
            if v6.iloc[i,j]>andmed.iloc[x,3]:
                suuremate_hindade_summa+=hindnp.iloc[i,j]
                sobib_h3max+=1
                teenitud_h3max+=teenida.iloc[i,j]
        pakkumineLargest, pakkumineIndex=getNLargestAndIndexes(3,teenida.iloc[i])
        for j in pakkumineIndex:
            if v6.iloc[i,j]>andmed.iloc[x,3]:
                suuremate_pakkumiste_summa+=teenida.iloc[i,j]
                sobib_p3max+=1
                vahenemine_p3min+=hindnp.iloc[i,j]
        for j in range(len(v6.columns)):
            if v6.iloc[i,j]>andmed.iloc[x,3]:
                count+=1
                sum_rahha+=hindnp.iloc[i,j]
i=0
j=0
sobib_12=0
while i<len(on_off):
    while j < len(on_off.columns):
        if v6.iloc[i,j]>andmed.iloc[x,3] and on_off.iloc[i, j] != 0:
            sobib_12+=1
            sum_teenitud_12+=teenida.iloc[i,j]
            vahenemine_12+=hindnp.iloc[i,j]
            i, j = addColumnsToIndexes(i, j, 12)
        else:
            i, j = addColumnsToIndexes(i, j, 1)
    if i >= len(on_off):
        break
i=0
j=0
sobib_6=0
while i<len(on_off):
    while j < len(on_off.columns):
        if v6.iloc[i,j]>andmed.iloc[x,3] and on_off.iloc[i, j] != 0:

```

```

        sobib_6+=1
        sum_teenitud_6+=teenida.iloc[i,j]
        vahenemine_6+=hindnp.iloc[i,j]
        i, j = addColumnsToIndexes(i, j, 6)
    else:
        i, j = addColumnsToIndexes(i, j, 1)
    if i >= len(on_off):
        break

sum_makstud=sum_raha*andmed.iloc[x,2]/1000000
teenitud_12=sum_teenitud_12*andmed.iloc[x,2]/1000000
teenitud_6=sum_teenitud_6*andmed.iloc[x,2]/1000000
pump.append(andmed.iloc[x,1])
tootunnid.append(count)
tarbitud.append(count*andmed.iloc[x,2]/1000000)
makstud.append(sum_makstud)
maht_12.append(0.5*sobib_12)
teenitud_12_loend.append(0.5*teenitud_12)
maht_6.append(0.5*sobib_6)
teenitud_6_loend.append(0.5*teenitud_6)

makstud_suurema_hinna_jargi=suuremate_hindade_summa*andmed.iloc[x,2]/1000000
saastetud_suurem_hind.append(0.5*makstud_suurema_hinna_jargi)
teenitud_pakkumistest=suuremate_pakkumiste_summa*andmed.iloc[x,2]/1000000
teenitud_suurem_hind.append(0.5*teenitud_pakkumistest)
sobib_h3max_sum.append(0.5*sobib_h3max)
sobib_p3max_sum.append(0.5*sobib_p3max)
teenitud_h3max_sum.append(0.5*teenitud_h3max*andmed.iloc[x,2]/1000000)

vahenemine_p3min_sum.append(0.5*vahenemine_p3min*andmed.iloc[x,2]/1000000)
vahenemine_12_sum.append(0.5*vahenemine_12*andmed.iloc[x,2]/1000000)
vahenemine_6_sum.append(0.5*(vahenemine_6*andmed.iloc[x,2]/1000000))
df=pd.DataFrame({'Pump':pump,
                 'Pumba summaarsed töötunnid 2021.a sõltuvalt välisõhutemperatuurist,
                 h':tootunnid,
                 'Tarbitud elektrienergia, MWh/a':tarbitud,
                 'NordPool-i järgne summaarne elektrienergiatasu dimensioneeritud
                 parameetritel töötavate pumpade eest, €/a':makstud,

```

```

'Summaarsed tunnid, millal sai paindlikkust pakkuda vähemalt iga 12 tundi
tagant, h':maht_12,
'Summaarne elektrienergia vähenemine kui pakkuda paindlikkust vähemalt
iga 12 tundi tagant':vahenemine_12_sum,
'Summaarne pakkumiste hind (iga 12 tundi tagant), €':teenitud_12_loend,
'Summaarsed tunnid, millal sai paindlikkust pakkuda vähemalt iga 6 tundi
tagant, h':maht_6,
'Summaarne elektrienergia vähenemine kui pakkuda paindlikkust vähemalt
iga 6 tundi tagant':vahenemine_6_sum,
'Summaarne pakkumiste hind (iga 6 tundi tagant), €':teenitud_6_loend,
'Summaarsed töötunnid kui lähtuda päeva 3st kõrgemast
hinnas':sobib_h3max_sum,
'Säästud':saastatud_suurem_hind,
'Teenitud kui valjalylitamine toimub NP hindade jargi':teenitud_h3max_sum,
'Summaarsed töötuniid kui lähtuda päeva 3st kõrgemast
hinnapakumisest':sobib_p3max_sum,
'Sääst kui lähtuda pakkumiste hindadest':vahenemine_p3min_sum,
'Teenitud':teenitud_suurem_hind})
print(df)
df.to_csv('C:/Users/37258/Documents/ttu/l6putoo/ringp/valmis_tabel_100.csv',index=F
alse,sep='_')

```

Lisa 2 Matemaatilise mudeli konstantide leidmine

```
import numpy as np
from scipy import optimize
import matplotlib.pyplot as plt

aeg_file=open("C:/Users/37258/Documents/ttu/l6putoo/kaitumise mudel/1 katse 630
1800 aeg.txt","r")
delta_file=open("C:/Users/37258/Documents/ttu/l6putoo/kaitumise mudel/1 katse 630
1800 delta.txt","r")

aeg=[]
delta=[]
for i in aeg_file:
    aeg.append(float(i))
for d in delta_file:
    delta.append(float(d))
aeg_file.close()
delta_file.close()

print(len(aeg))
print(len(delta))

x=np.array(aeg)
y=np.array(delta)

plt.style.use('seaborn-poster')
plt.figure(figsize=(12,8))

const= np.polyfit(x,y,3)
plt.plot(x,y, '.')
plt.plot(x, np.polyval(const,x))

plt.tight_layout()
plt.show()
print(const)
```


Lisa 3 Süsteemide eritakistuste leidmine, graafik

```
import numpy as np
from scipy import optimize
import matplotlib.pyplot as plt

plt.style.use('seaborn-poster')
x=[5135.5, 5777, 5777, 5550, 5940, 4434]
y=[13, 9, 9, 13, 14, 25]

plt.figure(figsize=(10,8))
plt.plot(x,y,'b')
plt.xlabel('x')
plt.ylabel('y')
plt.show()

A = np.vstack([x, np.ones(len(x))]).T
beta, log_alpha = np.linalg.lstsq(A, np.log(y), rcond = None)[0]
alpha = np.exp(log_alpha)
print(f'alpha={alpha}, beta={beta}')

plt.figure(figsize = (10,8))
plt.plot(x, y, 'b.')
plt.plot(x, alpha*np.exp(beta*x), 'r')
plt.xlabel('x')
plt.ylabel('y')
plt.show()
```

| Süsteemi tüüp | Hoone | Otstarve | Pump | Süsteemi võimsus Q , kW | Vooluhulk G , l/s | Süsteemi takistus Δp , kPa |
|---------------|-------|------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------|------------------------------------|
| küte | CON | Radiaatorküte | MAGNA3 32-100 | 70 | 1,11 | 105 |
| küte | CON | Põrandküte | MAGNA 3 25-60 | 8 | 0,36 | 55 |
| küte | U02 | Radiaatorküte | Magna 40-120 F | 157 | 1,50 | 76 |
| küte | U02 | Radiaatorküte | Magna 40-120 F | 199 | 1,89 | 76 |
| küte | U01 | Põrandküte | Magna 50-120 F | 153 | 2,44 | 77 |
| jahutus | U02 | Ruumide jahutus | Magna3 25-100 | -202 | 1,02 | 65 |
| küte | U02B | Radiaatorküte | Magna 25-60 | 55 | 0,67 | 49 |
| küte | U03 | Radiaatorküte | Magna1 50-120 F280 | 415 | 4,94 | 74 |
| jahutus | U03 | Ruumide jahutus | P1, nt TP 80-110/4 | -220 | 10,50 | 82 |
| jahutus | U03 | Ruumide jahutus | P01, nt TP 80-110/4 | -220 | 10,50 | 82 |
| küte | U03B | Radiaatorküte | UPS 32-120 F | 65 | 0,78 | 54 |
| küte | U04 | Radiaatorküte | Magna 40-120 | 202 | 2,46 | 69 |
| jahutus | U04 | Ruumide jahutus | Magna 50-120 | -70 | 3,33 | 50 |
| jahutus | U04 | Ruumide jahutus | Magna 50-120 | -49 | 3,89 | 50 |
| küte | U04B | Radiaatorküte | UP 32-80 | 101 | 1,21 | 57 |
| küte | U05 | Radiaatorküte | Magna 50-120F | 326 | 3,96 | 60 |
| jahutus | U05 | Ruumide jahutus | TP 80-110/4 | -264 | 12,62 | 70 |
| jahutus | U05 | Ventilatsiooni jahutus | TP 80-140/2 | -288 | 13,71 | 90 |
| küte | U05B | Radiaatorküte | UPS 32-120 /2F | 100 | 1,19 | 71 |
| küte | U06A | Radiaatorküte | P2, UPS 32-120 F | 141 | 1,68 | 75 |
| küte | U06 | Radiaatorküte | Magna 25-100 | 110 | 1,33 | 38 |
| küte | U06 | Radiaatorküte | Magna 25-100 | 160 | 1,94 | 46 |
| küte | U06 | Radiaatorküte | Magna 25-100 | 135 | 1,64 | 38 |
| küte | U06 | Põrandküte | P4.2, nt MAGNA 50-120 F | 220 | 3,50 | 46 |
| jahutus | U06 | Ruumide jahutus | TPE 65-180 | -282 | 13,50 | 50 |
| jahutus | U06 | Ruumide jahutus | Magna 32-120 | -58 | 2,80 | 35 |
| jahutus | U06 | Ventilatsiooni jahutus | UPS 65-120 | -138 | 6,60 | 60 |
| küte | STU | Radiaatorküte | Magna 25-100 | 97 | 1,20 | 50 |
| jahutus | STU | Ruumide jahutus | TP 65-120/2 | -131 | 6,20 | 80 |
| küte | NRG | Radiaatorküte | Magna UDE 32-120/F | 140 | 1,12 | 70 |
| küte | NRG | Põrandküte | P04 | 5 | 0,24 | 30 |
| jahutus | NRG | Ventilatsiooni jahutus | P3+P3A | -335 | 16,00 | 80 |
| jahutus | NRG | Ruumide jahutus | P4 | -140 | 11,10 | 80 |
| küte | LIB | Radiaatorküte | MAGNA 40-120 F | 185 | 2,17 | 55 |
| jahutus | LIB | Ventilatsiooni jahutus | TP 100-110/4 | -418 | 20,99 | 70 |
| jahutus | LIB | Ruumide jahutus | TPE 125-110/4 | -454 | 22,65 | 60 |
| küte | SOC | Radiaatorküte | Magna 32-120 | 350 | 4,20 | 60 |
| jahutus | SOC | Ventilatsiooni jahutus | nt TPE 125-95 | -692 | 33,00 | 80 |
| jahutus | SOC | Ruumide jahutus | nt MAGNA1 25-120 | -32 | 1,50 | 70 |
| jahutus | SOC | Ruumide jahutus | nt TPE3 80-180 | -126 | 15,00 | 80 |
| küte | SCI | Radiaatorküte | nt MAGNA3 40-120 | 230 | 3,65 | 70 |
| jahutus | SCI | Ventilatsiooni jahutus | nt TPE 100-110/4 | -500 | 29,50 | 80 |
| jahutus | SCI | Ruumide jahutus | nt TPE3 80-180 | -350 | 16,70 | 80 |
| küte | MEK | Radiaatorküte | nt MAGNA3 32-120 | 90 | 1,08 | 65 |
| jahutus | MEK | Ruumide jahutus | nt TPE2 40-200 | -120 | 6,11 | 110 |
| jahutus | MEK | Ventilatsiooni jahutus | nt TPE3 50-240 | -90 | 11,94 | 100 |
| jahutus | CON | Ruumide jahutus | TPE3 32-200-S | -42 | 4,10 | 125 |
| jahutus | CON | Ventilatsiooni jahutus | TPE3 50-200-S | -212 | 8,80 | 130 |

| Pump | Pumba võimsus täiskoormusel $P_{täis}$, W | Pumba võimsus 30% koormusel P_{30} , W | Alumine temperatuuripiir, t°C | Ülemine temperatuuripiir, t°C | Pumba summaarsed töötunnid 2021.a sõltuvalt välisõhutamperatuurist, h/a | Tarbitud elektrienergia $P_{täis}$ koormusel, MWh/a |
|-------------------------|--|--|-------------------------------|-------------------------------|---|---|
| MAGNA3 32-100 | 246 | 135 | | 20 | 7894 | 1,94 |
| MAGNA 3 25-60 | 45 | 30 | | 20 | 7894 | 0,35 |
| Magna 40-120 F | 270 | 202 | | 14 | 6615 | 1,78 |
| Magna 40-120 F | 305 | 210 | | 14 | 6615 | 2,01 |
| Magna 50-120 F | 385 | 280 | | 5 | 3925 | 1,51 |
| Magna3 25-100 | 153 | 65 | 5,9 | | 4526 | 0,69 |
| Magna 25-60 | 81 | 50 | | 18 | 7551 | 0,61 |
| Magna1 50-120 F280 | 608 | 520 | | 16 | 7135 | 4,33 |
| P1, nt TP 80-110/4 | 1940 | 1010 | 12 | | 2617 | 5,07 |
| P01, nt TP 80-110/4 | 1940 | 1010 | 12 | | 2617 | 5,07 |
| UPS 32-120 F | 263 | 170 | | 14 | 6615 | 1,73 |
| Magna 40-120 | 445 | 195 | | 19 | 7732 | 3,44 |
| Magna 50-120 | 790 | 175 | 17 | | 1369 | 1,08 |
| Magna 50-120 | 790 | 180 | 17 | | 1369 | 1,08 |
| UP 32-80 | 251 | 184 | | 17 | 7369 | 1,84 |
| Magna 50-120F | 400 | 225 | | 14 | 6615 | 2,64 |
| TP 80-110/4 | 2200 | 1145 | 14 | | 2119 | 4,66 |
| TP 80-140/2 | 2200 | 1135 | 14 | | 2119 | 4,66 |
| UPS 32-120 /2F | 340 | 180 | | 14 | 6615 | 2,24 |
| P2, UPS 32-120 F | 325 | 193 | | 14 | 6615 | 2,14 |
| Magna 25-100 | 100 | 50 | | 15 | 6888 | 0,68 |
| Magna 25-100 | 177 | 70 | | 15 | 6888 | 1,21 |
| Magna 25-100 | 123 | 55 | | 15 | 6888 | 0,84 |
| P4.2, nt MAGNA 50-120 F | 280 | 160 | | 5 | 3925 | 1,09 |
| TPE 65-180 | 2200 | 280 | 12 | | 2617 | 5,75 |
| Magna 32-120 | 345 | 95 | 12 | | 2617 | 0,90 |
| UPS 65-120 | 1150 | 830 | 12 | | 2617 | 3,00 |
| Magna 25-100 | 113 | 65 | | 18 | 7551 | 0,85 |
| TP 65-120/2 | 1100 | 600 | 16 | | 1588 | 1,74 |
| Magna UDE 32-120/F | 250 | 165 | | 15 | 6888 | 1,72 |
| P04 | 120 | 60 | | 15 | 6888 | 0,82 |
| P3+P3A | 1990 | 885 | 15 | | 1853 | 3,68 |
| P4 | 1430 | 535 | 15 | | 1853 | 2,64 |
| MAGNA 40-120 F | 450 | 156 | | 15 | 6888 | 3,09 |
| TP 100-110/4 | 2450 | 1745 | 14 | | 2119 | 5,19 |
| TPE 125-110/4 | 1860 | 1385 | 14 | | 2119 | 3,94 |
| Magna 32-120 | 425 | 205 | | 19 | 7732 | 3,28 |
| nt TPE 125-95 | 3200 | 1905 | 13 | | 2353 | 7,52 |
| nt MAGNA1 25-120 | 180 | 95 | 15 | | 1853 | 0,33 |
| nt TPE3 80-180 | 1560 | 730 | 15 | | 1853 | 2,89 |
| nt MAGNA3 40-120 | 400 | 200 | | 14 | 6615 | 2,64 |
| nt TPE 100-110/4 | 2925 | 1320 | 6 | | 4491 | 13,13 |
| nt TPE3 80-180 | 1810 | 735 | 6 | | 4491 | 8,12 |
| nt MAGNA3 32-120 | 125 | 68 | | 18 | 7551 | 0,94 |
| nt TPE2 40-200 | 885 | 425 | 14 | | 2119 | 1,87 |
| nt TPE3 50-240 | 1790 | 640 | 14 | | 2119 | 3,79 |
| TPE3 32-200-S | 690 | 425 | -17 | | 8731 | 6,02 |
| TPE3 50-200-S | 1455 | 785 | -17 | | 8731 | 12,70 |

| Aasta 2021 ülevaade | | | | |
|-------------------------|--|--|---|---|
| Pump | Arvutuslik koormus | | Osaline koormus, 30% | |
| | Summaarne aastane erielektri-võimsus $P_{a,t}$, Wh/m ² | Elektrienergia tasu aastal 2021 arvutuslikkudel tingimustel $P_{täis}$ töötavate ringluspumpade eest (NordPool-i tunnihinnad), €/a | Tarbitud elektrienergia P_{30} koormusel, MWh/a | Summaarne aastane erielektri-võimsus $P_{a,30}$, Wh/m ² |
| MAGNA3 32-100 | 23,6 | 169,56 | 1,06 | 12,9 |
| MAGNA 3 25-60 | 4,3 | 31,02 | 0,23 | 2,8 |
| Magna 40-120 F | 21,7 | 157,61 | 1,33 | 16,2 |
| Magna 40-120 F | 24,5 | 178,04 | 1,38 | 16,8 |
| Magna 50-120 F | 18,4 | 135,60 | 1,09 | 13,3 |
| Magna3 25-100 | 8,4 | 58,76 | 0,29 | 3,5 |
| Magna 25-60 | 7,4 | 53,58 | 0,37 | 4,5 |
| Magna1 50-120 F280 | 52,7 | 381,65 | 3,71 | 45,1 |
| P1, nt TP 80-110/4 | 61,7 | 420,90 | 2,64 | 32,1 |
| P01, nt TP 80-110/4 | 61,7 | 420,90 | 2,64 | 32,1 |
| UPS 32-120 F | 21,1 | 153,52 | 1,12 | 13,6 |
| Magna 40-120 | 41,9 | 300,79 | 1,50 | 18,3 |
| Magna 50-120 | 13,1 | 87,54 | 0,23 | 2,8 |
| Magna 50-120 | 13,1 | 87,54 | 0,24 | 2,9 |
| UP 32-80 | 22,4 | 162,46 | 1,35 | 16,4 |
| Magna 50-120F | 32,1 | 233,49 | 1,48 | 18,0 |
| TP 80-110/4 | 56,7 | 381,79 | 2,42 | 29,4 |
| TP 80-140/2 | 56,7 | 381,79 | 2,40 | 29,2 |
| UPS 32-120 /2F | 27,3 | 198,47 | 1,19 | 14,5 |
| P2, UPS 32-120 F | 26,0 | 189,71 | 1,27 | 15,5 |
| Magna 25-100 | 8,3 | 60,67 | 0,34 | 4,1 |
| Magna 25-100 | 14,7 | 107,39 | 0,48 | 5,8 |
| Magna 25-100 | 10,2 | 74,63 | 0,37 | 4,5 |
| P4.2, nt MAGNA 50-120 F | 13,3 | 98,62 | 0,62 | 7,5 |
| TPE 65-180 | 70,0 | 477,31 | 0,73 | 8,9 |
| Magna 32-120 | 11,0 | 74,85 | 0,24 | 2,9 |
| UPS 65-120 | 36,5 | 249,50 | 2,17 | 26,4 |
| Magna 25-100 | 10,3 | 74,75 | 0,49 | 6,0 |
| TP 65-120/2 | 21,2 | 141,42 | 0,95 | 11,6 |
| Magna UDE 32-120/F | 20,9 | 151,68 | 1,13 | 13,8 |
| P04 | 10,0 | 72,81 | 0,41 | 5,0 |
| P3+P3A | 44,8 | 301,56 | 1,63 | 19,8 |
| P4 | 32,1 | 216,70 | 0,99 | 12,0 |
| MAGNA 40-120 F | 37,6 | 273,03 | 1,07 | 13,0 |
| TP 100-110/4 | 63,2 | 425,18 | 3,69 | 44,9 |
| TPE 125-110/4 | 47,9 | 322,79 | 2,93 | 35,7 |
| Magna 32-120 | 39,9 | 287,27 | 1,58 | 19,2 |
| nt TPE 125-95 | 91,5 | 621,09 | 4,48 | 54,5 |
| nt MAGNA1 25-120 | 4,0 | 27,28 | 0,17 | 2,1 |
| nt TPE3 80-180 | 35,2 | 236,40 | 1,35 | 16,4 |
| nt MAGNA3 40-120 | 32,1 | 233,49 | 1,32 | 16,1 |
| nt TPE 100-110/4 | 159,8 | 1114,90 | 5,92 | 72,0 |
| nt TPE3 80-180 | 98,8 | 689,90 | 3,30 | 40,2 |
| nt MAGNA3 32-120 | 11,4 | 82,68 | 0,51 | 6,2 |
| nt TPE2 40-200 | 22,8 | 153,58 | 0,90 | 11,0 |
| nt TPE3 50-240 | 46,1 | 310,64 | 1,35 | 16,4 |
| TPE3 32-200-S | 73,3 | 520,59 | 3,71 | 45,1 |
| TPE3 50-200-S | 154,5 | 1097,77 | 6,85 | 83,4 |

| Pump | Elektrienergia tasu aastal 2021 osalisel koormusel P_{30} töötavate ringluspumpade eest (NordPool-i tunnihinnad), €/a | Summaarsed väljalülitamise tunnid pakkudes paindlikkust vähemalt iga 12 tundi tagant, h/a | Ülesreguleerimise p | | |
|-------------------------|---|---|--------------------------------|--|--|
| | | | Arvutuslik koormus | | |
| | | | Tarbitud elektrienergia, MWh/a | Summaarne aastane erielektri-võimsus P_a , Wh/m ² | Summaarne elektrienergia vähenemine, €/a |
| MAGNA3 32-100 | 93,04 | 257,5 | 1,88 | 22,8 | 6,35 |
| MAGNA 3 25-60 | 20,67 | 257,5 | 0,34 | 4,1 | 1,16 |
| Magna 40-120 F | 117,91 | 216,0 | 1,72 | 21,0 | 6,08 |
| Magna 40-120 F | 122,58 | 216,0 | 1,94 | 23,7 | 6,87 |
| Magna 50-120 F | 98,61 | 132,0 | 1,46 | 17,8 | 5,34 |
| Magna3 25-100 | 24,96 | 153,5 | 0,67 | 8,1 | 2,16 |
| Magna 25-60 | 33,07 | 246,5 | 0,59 | 7,2 | 2,03 |
| Magna1 50-120 F280 | 326,41 | 232,0 | 4,19 | 51,0 | 14,49 |
| P1, nt TP 80-110/4 | 219,12 | 91,5 | 4,89 | 59,5 | 15,99 |
| P01, nt TP 80-110/4 | 219,12 | 91,5 | 4,89 | 59,5 | 15,99 |
| UPS 32-120 F | 99,23 | 216,0 | 1,67 | 20,4 | 5,93 |
| Magna 40-120 | 131,80 | 253,0 | 3,33 | 40,5 | 11,39 |
| Magna 50-120 | 19,39 | 53,5 | 1,04 | 12,6 | 3,59 |
| Magna 50-120 | 19,94 | 53,5 | 1,04 | 12,6 | 3,59 |
| UP 32-80 | 119,09 | 240,0 | 1,78 | 21,7 | 6,16 |
| Magna 50-120F | 131,34 | 216,0 | 2,55 | 31,1 | 9,01 |
| TP 80-110/4 | 198,70 | 77,5 | 4,49 | 54,6 | 15,03 |
| TP 80-140/2 | 196,96 | 77,5 | 4,49 | 54,6 | 15,03 |
| UPS 32-120 /2F | 105,07 | 216,0 | 2,17 | 26,4 | 7,66 |
| P2, UPS 32-120 F | 112,66 | 216,0 | 2,07 | 25,2 | 7,32 |
| Magna 25-100 | 30,33 | 225,5 | 0,66 | 8,0 | 2,31 |
| Magna 25-100 | 42,47 | 225,5 | 1,17 | 14,2 | 4,10 |
| Magna 25-100 | 33,37 | 225,5 | 0,81 | 9,9 | 2,85 |
| P4.2, nt MAGNA 50-120 F | 56,35 | 132,0 | 1,05 | 12,8 | 3,88 |
| TPE 65-180 | 60,74 | 91,5 | 5,55 | 67,5 | 18,13 |
| Magna 32-120 | 20,61 | 91,5 | 0,87 | 10,6 | 2,84 |
| UPS 65-120 | 180,07 | 91,5 | 2,89 | 35,2 | 9,48 |
| Magna 25-100 | 42,99 | 246,5 | 0,82 | 10,0 | 2,84 |
| TP 65-120/2 | 77,13 | 59,5 | 1,67 | 20,4 | 5,63 |
| Magna UDE 32-120/F | 100,11 | 225,5 | 1,66 | 20,2 | 5,79 |
| P04 | 36,40 | 225,5 | 0,79 | 9,6 | 2,78 |
| P3+P3A | 134,11 | 68,0 | 3,54 | 43,1 | 11,72 |
| P4 | 81,07 | 68,0 | 2,54 | 30,9 | 8,42 |
| MAGNA 40-120 F | 94,65 | 225,5 | 2,99 | 36,4 | 10,43 |
| TP 100-110/4 | 302,83 | 77,5 | 5,00 | 60,8 | 16,73 |
| TPE 125-110/4 | 240,35 | 77,5 | 3,80 | 46,2 | 12,70 |
| Magna 32-120 | 138,56 | 253,0 | 3,17 | 38,6 | 10,88 |
| nt TPE 125-95 | 369,74 | 83,5 | 7,25 | 88,3 | 23,49 |
| nt MAGNA1 25-120 | 14,39 | 68,0 | 0,32 | 3,9 | 1,06 |
| nt TPE3 80-180 | 110,62 | 68,0 | 2,78 | 33,9 | 9,19 |
| nt MAGNA3 40-120 | 116,74 | 216,0 | 2,55 | 31,1 | 9,01 |
| nt TPE 100-110/4 | 503,13 | 151,5 | 12,69 | 154,4 | 41,05 |
| nt TPE3 80-180 | 280,15 | 151,5 | 7,85 | 95,5 | 25,40 |
| nt MAGNA3 32-120 | 44,97 | 246,5 | 0,91 | 11,1 | 3,14 |
| nt TPE2 40-200 | 73,75 | 77,5 | 1,80 | 21,9 | 6,04 |
| nt TPE3 50-240 | 111,06 | 77,5 | 3,65 | 44,4 | 12,23 |
| TPE3 32-200-S | 320,65 | 276,0 | 5,83 | 70,9 | 18,90 |
| TPE3 50-200-S | 592,26 | 276,0 | 12,30 | 149,7 | 39,86 |

| akkumine vähemalt iga 12 tundi tagant | | | | | |
|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|--|--------------------------------|
| Pump | Osaline koormus, 30% | | | | |
| | Summaarne pakkumiste hind, €/a | Tarbitud elektrienergia, MWh/a | Summaarne aastane erielektri-võimsus P_a , Wh/m ² | Summaarne elektrienergia vähenemine, €/a | Summaarne pakkumiste hind, €/a |
| MAGNA3 32-100 | 9,46 | 1,03 | 12,5 | 3,48 | 5,19 |
| MAGNA 3 25-60 | 1,73 | 0,22 | 2,7 | 0,77 | 1,15 |
| Magna 40-120 F | 9,04 | 1,29 | 15,7 | 4,55 | 6,76 |
| Magna 40-120 F | 10,21 | 1,33 | 16,2 | 4,73 | 7,03 |
| Magna 50-120 F | 8,25 | 1,05 | 12,8 | 3,88 | 6,00 |
| Magna3 25-100 | 3,07 | 0,28 | 3,4 | 0,92 | 1,30 |
| Magna 25-60 | 3,02 | 0,36 | 4,4 | 1,25 | 1,86 |
| Magna1 50-120 F280 | 21,61 | 3,59 | 43,7 | 12,39 | 18,48 |
| P1, nt TP 80-110/4 | 21,84 | 2,55 | 31,0 | 8,32 | 11,37 |
| P01, nt TP 80-110/4 | 21,84 | 2,55 | 31,0 | 8,32 | 11,37 |
| UPS 32-120 F | 8,80 | 1,08 | 13,2 | 3,83 | 5,69 |
| Magna 40-120 | 16,92 | 1,45 | 17,7 | 4,99 | 7,41 |
| Magna 50-120 | 5,01 | 0,22 | 2,7 | 0,79 | 1,11 |
| Magna 50-120 | 5,01 | 0,23 | 2,8 | 0,81 | 1,14 |
| UP 32-80 | 9,18 | 1,31 | 15,9 | 4,52 | 6,73 |
| Magna 50-120F | 13,39 | 1,43 | 17,4 | 5,07 | 7,53 |
| TP 80-110/4 | 21,11 | 2,33 | 28,4 | 7,82 | 10,99 |
| TP 80-140/2 | 21,11 | 2,31 | 28,1 | 7,75 | 10,89 |
| UPS 32-120 /2F | 11,38 | 1,15 | 14,0 | 4,05 | 6,02 |
| P2, UPS 32-120 F | 10,88 | 1,23 | 14,9 | 4,35 | 6,46 |
| Magna 25-100 | 3,46 | 0,33 | 4,0 | 1,15 | 1,73 |
| Magna 25-100 | 6,13 | 0,46 | 5,6 | 1,62 | 2,42 |
| Magna 25-100 | 4,26 | 0,36 | 4,4 | 1,27 | 1,90 |
| P4.2, nt MAGNA 50-120 F | 6,00 | 0,60 | 7,3 | 2,22 | 3,43 |
| TPE 65-180 | 24,77 | 0,70 | 8,6 | 2,30 | 3,15 |
| Magna 32-120 | 3,88 | 0,23 | 2,8 | 0,78 | 1,06 |
| UPS 65-120 | 12,95 | 2,09 | 25,5 | 6,84 | 9,34 |
| Magna 25-100 | 4,21 | 0,47 | 5,8 | 1,63 | 2,42 |
| TP 65-120/2 | 7,90 | 0,91 | 11,1 | 3,07 | 4,31 |
| Magna UDE 32-120/F | 8,66 | 1,09 | 13,3 | 3,82 | 5,71 |
| P04 | 4,15 | 0,40 | 4,8 | 1,39 | 2,07 |
| P3+P3A | 16,53 | 1,57 | 19,1 | 5,21 | 7,35 |
| P4 | 11,88 | 0,95 | 11,6 | 3,15 | 4,44 |
| MAGNA 40-120 F | 15,59 | 1,03 | 12,6 | 3,61 | 5,40 |
| TP 100-110/4 | 23,51 | 3,55 | 43,3 | 11,92 | 16,74 |
| TPE 125-110/4 | 17,85 | 2,82 | 34,3 | 9,46 | 13,29 |
| Magna 32-120 | 16,16 | 1,53 | 18,6 | 5,25 | 7,79 |
| nt TPE 125-95 | 32,51 | 4,32 | 52,6 | 13,98 | 19,35 |
| nt MAGNA1 25-120 | 1,49 | 0,16 | 2,0 | 0,55 | 0,78 |
| nt TPE3 80-180 | 12,96 | 1,30 | 15,8 | 4,30 | 6,06 |
| nt MAGNA3 40-120 | 13,39 | 1,28 | 15,5 | 4,50 | 6,69 |
| nt TPE 100-110/4 | 57,97 | 5,72 | 69,6 | 18,52 | 26,16 |
| nt TPE3 80-180 | 35,87 | 3,19 | 38,8 | 10,31 | 14,56 |
| nt MAGNA3 32-120 | 4,66 | 0,49 | 6,0 | 1,70 | 2,53 |
| nt TPE2 40-200 | 8,49 | 0,87 | 10,6 | 2,90 | 4,07 |
| nt TPE3 50-240 | 17,18 | 1,30 | 15,8 | 4,37 | 6,14 |
| TPE3 32-200-S | 27,86 | 3,59 | 43,7 | 11,64 | 17,16 |
| TPE3 50-200-S | 58,76 | 6,63 | 80,7 | 21,50 | 31,70 |

| Pump | Ülesreguleerimise pakkumine vähemal | | | | |
|--------------------------------|--|--|--|--------------------------------|-------|
| | Summaarsed väljalülitamise tunnid pakkudes paindlikkust vähemalt iga 6 tundi tagant, h/a | Arvutuslik koormus | | | |
| Tarbitud elektrienergia, MWh/a | | Summaarne aastane erielektri-võimsus P_a , Wh/m ² | Summaarne elektrienergia vähenemine, €/a | Summaarne pakkumiste hind, €/a | |
| MAGNA3 32-100 | 421,5 | 1,84 | 22,3 | 10,01 | 15,66 |
| MAGNA 3 25-60 | 421,5 | 0,33 | 4,0 | 1,83 | 2,86 |
| Magna 40-120 F | 350,0 | 1,69 | 20,5 | 9,39 | 14,89 |
| Magna 40-120 F | 350,0 | 1,90 | 23,2 | 10,61 | 16,83 |
| Magna 50-120 F | 219,0 | 1,43 | 17,3 | 8,68 | 14,23 |
| Magna3 25-100 | 245,5 | 0,65 | 7,9 | 3,28 | 4,81 |
| Magna 25-60 | 401,5 | 0,58 | 7,0 | 3,18 | 4,99 |
| Magna1 50-120 F280 | 381,5 | 4,10 | 49,9 | 22,86 | 35,96 |
| P1, nt TP 80-110/4 | 146,5 | 4,79 | 58,2 | 24,19 | 34,45 |
| P01, nt TP 80-110/4 | 146,5 | 4,79 | 58,2 | 24,19 | 34,45 |
| UPS 32-120 F | 350,0 | 1,64 | 19,9 | 9,15 | 14,51 |
| Magna 40-120 | 411,5 | 3,26 | 39,6 | 17,82 | 27,85 |
| Magna 50-120 | 82,5 | 1,01 | 12,3 | 5,26 | 7,69 |
| Magna 50-120 | 82,5 | 1,01 | 12,3 | 5,26 | 7,69 |
| UP 32-80 | 394,5 | 1,74 | 21,2 | 9,74 | 15,27 |
| Magna 50-120F | 350,0 | 2,50 | 30,4 | 13,92 | 22,07 |
| TP 80-110/4 | 123,0 | 4,39 | 53,4 | 22,64 | 32,85 |
| TP 80-140/2 | 123,0 | 4,39 | 53,4 | 22,64 | 32,85 |
| UPS 32-120 /2F | 350,0 | 2,12 | 25,8 | 11,83 | 18,76 |
| P2, UPS 32-120 F | 350,0 | 2,03 | 24,7 | 11,31 | 17,93 |
| Magna 25-100 | 368,0 | 0,64 | 7,8 | 3,62 | 5,72 |
| Magna 25-100 | 368,0 | 1,14 | 13,9 | 6,42 | 10,13 |
| Magna 25-100 | 368,0 | 0,79 | 9,7 | 4,46 | 7,03 |
| P4.2, nt MAGNA 50-120 F | 219,0 | 1,03 | 12,5 | 6,31 | 10,35 |
| TPE 65-180 | 146,5 | 5,43 | 66,0 | 27,43 | 39,07 |
| Magna 32-120 | 146,5 | 0,85 | 10,3 | 4,30 | 6,12 |
| UPS 65-120 | 146,5 | 2,83 | 34,5 | 14,34 | 20,42 |
| Magna 25-100 | 401,5 | 0,80 | 9,8 | 4,44 | 6,96 |
| TP 65-120/2 | 92,0 | 1,64 | 19,9 | 8,28 | 12,12 |
| Magna UDE 32-120/F | 368,0 | 1,63 | 19,8 | 9,07 | 14,30 |
| P04 | 368,0 | 0,78 | 9,4 | 4,35 | 6,86 |
| P3+P3A | 105,5 | 3,47 | 42,2 | 17,46 | 25,35 |
| P4 | 105,5 | 2,49 | 30,3 | 12,54 | 18,22 |
| MAGNA 40-120 F | 368,0 | 2,92 | 35,6 | 16,32 | 25,75 |
| TP 100-110/4 | 123,0 | 4,89 | 59,5 | 25,21 | 36,58 |
| TPE 125-110/4 | 123,0 | 3,71 | 45,2 | 19,14 | 27,77 |
| Magna 32-120 | 411,5 | 3,11 | 37,8 | 17,02 | 26,60 |
| nt TPE 125-95 | 134,5 | 7,09 | 86,3 | 36,46 | 52,09 |
| nt MAGNA1 25-120 | 105,5 | 0,31 | 3,8 | 1,57 | 2,29 |
| nt TPE3 80-180 | 105,5 | 2,73 | 33,2 | 13,69 | 19,87 |
| nt MAGNA3 40-120 | 350,0 | 2,50 | 30,4 | 13,92 | 22,07 |
| nt TPE 100-110/4 | 243,0 | 12,42 | 151,1 | 62,50 | 91,28 |
| nt TPE3 80-180 | 243,0 | 7,68 | 93,5 | 38,67 | 56,48 |
| nt MAGNA3 32-120 | 401,5 | 0,89 | 10,8 | 4,91 | 7,70 |
| nt TPE2 40-200 | 123,0 | 1,76 | 21,4 | 9,10 | 13,21 |
| nt TPE3 50-240 | 123,0 | 3,57 | 43,4 | 18,42 | 26,73 |
| TPE3 32-200-S | 460,0 | 5,70 | 69,4 | 30,22 | 46,59 |
| TPE3 50-200-S | 460,0 | 12,03 | 146,4 | 63,72 | 98,24 |

| t iga 6 tundi tagant | | | | | |
|-------------------------|--------------------------------|--|--|--------------------------------|--|
| Osaline koormus, 30% | | | | | |
| Pump | Tarbitud elektrienergia, MWh/a | Summaarne aastane erielektri-võimsus P_a , Wh/m ² | Summaarne elektrienergia vähenemine, €/a | Summaarne pakkumiste hind, €/a | Summaarsed väljalülitamise tunnid pakkudes paindlikkust 3 korda päevas elektri hinnast lähtudes, h/a |
| MAGNA3 32-100 | 1,00 | 12,2 | 5,49 | 8,59 | 490,0 |
| MAGNA 3 25-60 | 0,22 | 2,6 | 1,22 | 1,91 | 490,0 |
| Magna 40-120 F | 1,26 | 15,3 | 7,03 | 11,14 | 405,5 |
| Magna 40-120 F | 1,31 | 15,9 | 7,30 | 11,58 | 405,5 |
| Magna 50-120 F | 1,03 | 12,5 | 6,31 | 10,35 | 237,5 |
| Magna3 25-100 | 0,27 | 3,3 | 1,39 | 2,04 | 285,5 |
| Magna 25-60 | 0,35 | 4,3 | 1,96 | 3,08 | 470,5 |
| Magna1 50-120 F280 | 3,51 | 42,7 | 19,55 | 30,75 | 442,5 |
| P1, nt TP 80-110/4 | 2,49 | 30,3 | 12,59 | 17,93 | 169,0 |
| P01, nt TP 80-110/4 | 2,49 | 30,3 | 12,59 | 17,93 | 169,0 |
| UPS 32-120 F | 1,06 | 12,9 | 5,91 | 9,38 | 405,5 |
| Magna 40-120 | 1,42 | 17,3 | 7,81 | 12,20 | 480,5 |
| Magna 50-120 | 0,22 | 2,6 | 1,16 | 1,70 | 85,5 |
| Magna 50-120 | 0,23 | 2,7 | 1,19 | 1,75 | 85,5 |
| UP 32-80 | 1,28 | 15,5 | 7,14 | 11,19 | 461,0 |
| Magna 50-120F | 1,40 | 17,1 | 7,83 | 12,41 | 405,5 |
| TP 80-110/4 | 2,28 | 27,7 | 11,78 | 17,09 | 139,5 |
| TP 80-140/2 | 2,26 | 27,5 | 11,68 | 16,94 | 139,5 |
| UPS 32-120 /2F | 1,13 | 13,7 | 6,26 | 9,93 | 405,5 |
| P2, UPS 32-120 F | 1,20 | 14,6 | 6,71 | 10,65 | 405,5 |
| Magna 25-100 | 0,32 | 3,9 | 1,81 | 2,86 | 427,5 |
| Magna 25-100 | 0,45 | 5,5 | 2,54 | 4,00 | 427,5 |
| Magna 25-100 | 0,35 | 4,3 | 1,99 | 3,14 | 427,5 |
| P4.2, nt MAGNA 50-120 F | 0,58 | 7,1 | 3,60 | 5,91 | 237,5 |
| TPE 65-180 | 0,69 | 8,4 | 3,49 | 4,97 | 169,0 |
| Magna 32-120 | 0,23 | 2,8 | 1,18 | 1,68 | 169,0 |
| UPS 65-120 | 2,05 | 24,9 | 10,35 | 14,74 | 169,0 |
| Magna 25-100 | 0,46 | 5,6 | 2,55 | 4,00 | 470,5 |
| TP 65-120/2 | 0,89 | 10,9 | 4,51 | 6,61 | 103,0 |
| Magna UDE 32-120/F | 1,07 | 13,0 | 5,98 | 9,44 | 427,5 |
| P04 | 0,39 | 4,7 | 2,17 | 3,43 | 427,5 |
| P3+P3A | 1,54 | 18,7 | 7,76 | 11,27 | 118,5 |
| P4 | 0,93 | 11,4 | 4,69 | 6,81 | 118,5 |
| MAGNA 40-120 F | 1,01 | 12,3 | 5,66 | 8,92 | 427,5 |
| TP 100-110/4 | 3,48 | 42,3 | 17,96 | 26,05 | 139,5 |
| TPE 125-110/4 | 2,76 | 33,6 | 14,25 | 20,68 | 139,5 |
| Magna 32-120 | 1,50 | 18,2 | 8,21 | 12,83 | 480,5 |
| nt TPE 125-95 | 4,22 | 51,4 | 21,70 | 31,01 | 155,0 |
| nt MAGNA1 25-120 | 0,16 | 1,9 | 0,83 | 1,21 | 118,5 |
| nt TPE3 80-180 | 1,27 | 15,5 | 6,40 | 9,30 | 118,5 |
| nt MAGNA3 40-120 | 1,25 | 15,2 | 6,96 | 11,03 | 405,5 |
| nt TPE 100-110/4 | 5,60 | 68,1 | 28,20 | 41,19 | 285,0 |
| nt TPE3 80-180 | 3,12 | 38,0 | 15,70 | 22,93 | 285,0 |
| nt MAGNA3 32-120 | 0,48 | 5,9 | 2,67 | 4,19 | 470,5 |
| nt TPE2 40-200 | 0,85 | 10,3 | 4,37 | 6,34 | 139,5 |
| nt TPE3 50-240 | 1,27 | 15,5 | 6,58 | 9,55 | 139,5 |
| TPE3 32-200-S | 3,51 | 42,8 | 18,61 | 28,69 | 545,5 |
| TPE3 50-200-S | 6,49 | 79,0 | 34,38 | 53,00 | 545,5 |

| Ülesreguleermise pakkumine lähtudes päeva 3-st kõrgemast elektr | | | | | |
|---|--------------------------------|--|--|--------------------------------|--------------------------------|
| Arvutuslik koormus | | | | | |
| Pump | Tarbitud elektrienergia, MWh/a | Summaarne aastane erielektri-võimsus P_a , Wh/m2 | Summaarne elektrienergia vähenemine, €/a | Summaarne pakkumiste hind, €/a | Tarbitud elektrienergia, MWh/a |
| MAGNA3 32-100 | 1,82 | 22,1 | 15,74 | 17,99 | 0,99 |
| MAGNA 3 25-60 | 0,33 | 4,0 | 2,87 | 3,29 | 0,22 |
| Magna 40-120 F | 1,67 | 20,3 | 14,83 | 16,93 | 1,25 |
| Magna 40-120 F | 1,89 | 23,0 | 16,76 | 19,13 | 1,29 |
| Magna 50-120 F | 1,42 | 17,3 | 12,88 | 14,88 | 1,02 |
| Magna3 25-100 | 0,65 | 7,9 | 5,20 | 5,88 | 0,27 |
| Magna 25-60 | 0,57 | 7,0 | 5,01 | 5,74 | 0,35 |
| Magna1 50-120 F280 | 4,06 | 49,4 | 35,99 | 41,19 | 3,48 |
| P1, nt TP 80-110/4 | 4,74 | 57,7 | 35,43 | 40,04 | 2,47 |
| P01, nt TP 80-110/4 | 4,74 | 57,7 | 35,43 | 40,04 | 2,47 |
| UPS 32-120 F | 1,62 | 19,8 | 14,45 | 16,50 | 1,05 |
| Magna 40-120 | 3,23 | 39,3 | 28,05 | 32,11 | 1,41 |
| Magna 50-120 | 1,01 | 12,3 | 7,08 | 7,83 | 0,22 |
| Magna 50-120 | 1,01 | 12,3 | 7,08 | 7,83 | 0,22 |
| UP 32-80 | 1,72 | 21,0 | 15,31 | 17,54 | 1,27 |
| Magna 50-120F | 2,48 | 30,2 | 21,98 | 25,09 | 1,39 |
| TP 80-110/4 | 4,35 | 53,0 | 32,48 | 36,90 | 2,26 |
| TP 80-140/2 | 4,35 | 53,0 | 32,48 | 36,90 | 2,24 |
| UPS 32-120 /2F | 2,10 | 25,6 | 18,68 | 21,33 | 1,12 |
| P2, UPS 32-120 F | 2,01 | 24,4 | 17,86 | 20,38 | 1,19 |
| Magna 25-100 | 0,64 | 7,8 | 5,74 | 6,56 | 0,32 |
| Magna 25-100 | 1,13 | 13,8 | 10,17 | 11,62 | 0,45 |
| Magna 25-100 | 0,79 | 9,6 | 7,07 | 8,07 | 0,35 |
| P4.2, nt MAGNA 50-120 F | 1,02 | 12,5 | 9,37 | 10,82 | 0,58 |
| TPE 65-180 | 5,38 | 65,4 | 40,17 | 45,41 | 0,68 |
| Magna 32-120 | 0,84 | 10,2 | 6,30 | 7,12 | 0,22 |
| UPS 65-120 | 2,81 | 34,1 | 21,00 | 23,73 | 2,03 |
| Magna 25-100 | 0,80 | 9,7 | 7,00 | 8,01 | 0,46 |
| TP 65-120/2 | 1,63 | 19,8 | 11,72 | 13,09 | 0,89 |
| Magna UDE 32-120/F | 1,61 | 19,6 | 14,37 | 16,41 | 1,06 |
| P04 | 0,77 | 9,4 | 6,89 | 7,87 | 0,38 |
| P3+P3A | 3,44 | 41,9 | 24,70 | 27,94 | 1,53 |
| P4 | 2,47 | 30,1 | 17,75 | 20,08 | 0,93 |
| MAGNA 40-120 F | 2,90 | 35,3 | 25,87 | 29,54 | 1,00 |
| TP 100-110/4 | 4,85 | 59,0 | 36,18 | 41,09 | 3,45 |
| TPE 125-110/4 | 3,68 | 44,8 | 27,46 | 31,19 | 2,74 |
| Magna 32-120 | 3,08 | 37,4 | 26,79 | 30,67 | 1,48 |
| nt TPE 125-95 | 7,02 | 85,5 | 53,16 | 60,31 | 4,18 |
| nt MAGNA1 25-120 | 0,31 | 3,8 | 2,23 | 2,52 | 0,16 |
| nt TPE3 80-180 | 2,71 | 32,9 | 19,36 | 21,90 | 1,26 |
| nt MAGNA3 40-120 | 2,48 | 30,2 | 21,98 | 25,09 | 1,24 |
| nt TPE 100-110/4 | 12,30 | 149,6 | 99,31 | 112,24 | 5,54 |
| nt TPE3 80-180 | 7,60 | 92,5 | 61,45 | 69,45 | 3,09 |
| nt MAGNA3 32-120 | 0,88 | 10,7 | 7,74 | 8,87 | 0,48 |
| nt TPE2 40-200 | 1,75 | 21,3 | 13,06 | 14,84 | 0,84 |
| nt TPE3 50-240 | 3,54 | 43,1 | 26,43 | 30,02 | 1,26 |
| TPE3 32-200-S | 5,64 | 68,7 | 47,96 | 54,61 | 3,48 |
| TPE3 50-200-S | 11,91 | 144,9 | 101,13 | 115,16 | 6,42 |

| ihinnast | | | | | |
|-------------------------|--|--|--------------------------------|---|--------------------------------|
| Osaline koormus, 30% | | | | | |
| Pump | Summaarne aastane erielektri-võimsus P_a , Wh/m ² | Summaarne elektrienergia vähenemine, €/a | Summaarne pakkumiste hind, €/a | Summaarsed väljalülitamise tunnid pakkudes paindlikkust 3 korda päevaspakkumise hinnast lähtudes, h/a | Tarbitud elektrienergia, MWh/a |
| MAGNA3 32-100 | 12,1 | 8,63 | 9,87 | 497,5 | 1,82 |
| MAGNA 3 25-60 | 2,6 | 1,91 | 2,19 | 497,5 | 0,33 |
| Magna 40-120 F | 15,2 | 11,10 | 12,67 | 405,0 | 1,67 |
| Magna 40-120 F | 15,8 | 11,54 | 13,17 | 405,0 | 1,89 |
| Magna 50-120 F | 12,5 | 9,37 | 10,82 | 245,0 | 1,42 |
| Magna3 25-100 | 3,3 | 2,21 | 2,49 | 285,5 | 0,65 |
| Magna 25-60 | 4,2 | 3,09 | 3,54 | 477,0 | 0,57 |
| Magna1 50-120 F280 | 42,3 | 30,78 | 35,23 | 447,0 | 4,06 |
| P1, nt TP 80-110/4 | 30,0 | 18,44 | 20,84 | 164,0 | 4,75 |
| P01, nt TP 80-110/4 | 30,0 | 18,44 | 20,84 | 164,0 | 4,75 |
| UPS 32-120 F | 12,8 | 9,34 | 10,66 | 405,0 | 1,62 |
| Magna 40-120 | 17,1 | 12,29 | 14,07 | 486,5 | 3,22 |
| Magna 50-120 | 2,6 | 1,56 | 1,73 | 83,0 | 1,01 |
| Magna 50-120 | 2,7 | 1,61 | 1,78 | 83,0 | 1,01 |
| UP 32-80 | 15,4 | 11,22 | 12,85 | 462,5 | 1,72 |
| Magna 50-120F | 16,9 | 12,36 | 14,11 | 405,0 | 2,48 |
| TP 80-110/4 | 27,5 | 16,90 | 19,20 | 140,5 | 4,35 |
| TP 80-140/2 | 27,3 | 16,76 | 19,03 | 140,5 | 4,35 |
| UPS 32-120 /2F | 13,6 | 9,89 | 11,29 | 405,0 | 2,10 |
| P2, UPS 32-120 F | 14,5 | 10,60 | 12,10 | 405,0 | 2,01 |
| Magna 25-100 | 3,9 | 2,87 | 3,28 | 425,0 | 0,64 |
| Magna 25-100 | 5,5 | 4,02 | 4,59 | 425,0 | 1,13 |
| Magna 25-100 | 4,2 | 3,16 | 3,61 | 425,0 | 0,79 |
| P4.2, nt MAGNA 50-120 F | 7,1 | 5,35 | 6,18 | 245,0 | 1,02 |
| TPE 65-180 | 8,3 | 5,11 | 5,77 | 164,0 | 5,39 |
| Magna 32-120 | 2,7 | 1,73 | 1,96 | 164,0 | 0,84 |
| UPS 65-120 | 24,7 | 15,15 | 17,13 | 164,0 | 2,81 |
| Magna 25-100 | 5,6 | 4,02 | 4,61 | 477,0 | 0,80 |
| TP 65-120/2 | 10,8 | 6,39 | 7,14 | 98,0 | 1,63 |
| Magna UDE 32-120/F | 12,9 | 9,48 | 10,83 | 425,0 | 1,61 |
| P04 | 4,7 | 3,44 | 3,93 | 425,0 | 0,77 |
| P3+P3A | 18,6 | 10,98 | 12,42 | 121,5 | 3,44 |
| P4 | 11,3 | 6,64 | 7,51 | 121,5 | 2,47 |
| MAGNA 40-120 F | 12,2 | 8,96 | 10,24 | 425,0 | 2,90 |
| TP 100-110/4 | 41,9 | 25,76 | 29,26 | 140,5 | 4,85 |
| TPE 125-110/4 | 33,3 | 20,45 | 23,23 | 140,5 | 3,68 |
| Magna 32-120 | 18,0 | 12,92 | 14,79 | 486,5 | 3,07 |
| nt TPE 125-95 | 50,9 | 31,65 | 35,90 | 150,5 | 7,04 |
| nt MAGNA1 25-120 | 1,9 | 1,17 | 1,33 | 121,5 | 0,31 |
| nt TPE3 80-180 | 15,4 | 9,06 | 10,25 | 121,5 | 2,70 |
| nt MAGNA3 40-120 | 15,1 | 10,99 | 12,54 | 405,0 | 2,48 |
| nt TPE 100-110/4 | 67,5 | 44,81 | 50,65 | 285,0 | 12,30 |
| nt TPE3 80-180 | 37,6 | 24,95 | 28,20 | 285,0 | 7,60 |
| nt MAGNA3 32-120 | 5,8 | 4,21 | 4,82 | 477,0 | 0,88 |
| nt TPE2 40-200 | 10,2 | 6,27 | 7,12 | 140,5 | 1,75 |
| nt TPE3 50-240 | 15,3 | 9,45 | 10,73 | 140,5 | 3,54 |
| TPE3 32-200-S | 42,3 | 29,54 | 33,63 | 546,5 | 5,64 |
| TPE3 50-200-S | 78,1 | 54,56 | 62,13 | 546,5 | 11,90 |

Ülesreguleermise pakkumine lähtudes päeva 3-st kõrgemast ülesreguleerimispakkumise hinnast

| Pump | Arvutuslik koormus | | | Osaline ko | |
|-------------------------|--|--|--------------------------------|--------------------------------|--|
| | Summaarne aastane erielektri-võimsus P_a , Wh/m2 | Summaarne elektrienergia vähenemine, €/a | Summaarne pakkumiste hind, €/a | Tarbitud elektrienergia, MWh/a | Summaarne aastane erielektri-võimsus P_a , Wh/m2 |
| MAGNA3 32-100 | 22,1 | 13,53 | 21,69 | 0,99 | 12,1 |
| MAGNA 3 25-60 | 4,0 | 2,47 | 3,96 | 0,22 | 2,6 |
| Magna 40-120 F | 20,3 | 12,38 | 20,33 | 1,25 | 15,2 |
| Magna 40-120 F | 23,0 | 13,98 | 22,97 | 1,29 | 15,8 |
| Magna 50-120 F | 17,2 | 10,71 | 19,02 | 1,02 | 12,4 |
| Magna3 25-100 | 7,9 | 4,65 | 6,64 | 0,27 | 3,3 |
| Magna 25-60 | 7,0 | 4,29 | 6,92 | 0,35 | 4,2 |
| Magna1 50-120 F280 | 49,4 | 30,50 | 49,56 | 3,48 | 42,3 |
| P1, nt TP 80-110/4 | 57,8 | 31,60 | 44,60 | 2,47 | 30,1 |
| P01, nt TP 80-110/4 | 57,8 | 31,60 | 44,60 | 2,47 | 30,1 |
| UPS 32-120 F | 19,8 | 12,06 | 19,80 | 1,05 | 12,8 |
| Magna 40-120 | 39,2 | 23,99 | 38,61 | 1,41 | 17,1 |
| Magna 50-120 | 12,3 | 6,22 | 8,72 | 0,22 | 2,6 |
| Magna 50-120 | 12,3 | 6,22 | 8,72 | 0,23 | 2,7 |
| UP 32-80 | 21,0 | 12,96 | 20,99 | 1,26 | 15,4 |
| Magna 50-120F | 30,2 | 18,34 | 30,12 | 1,39 | 16,9 |
| TP 80-110/4 | 52,9 | 29,97 | 42,49 | 2,26 | 27,5 |
| TP 80-140/2 | 52,9 | 29,97 | 42,49 | 2,24 | 27,3 |
| UPS 32-120 /2F | 25,6 | 15,59 | 25,60 | 1,12 | 13,6 |
| P2, UPS 32-120 F | 24,4 | 14,90 | 24,47 | 1,19 | 14,5 |
| Magna 25-100 | 7,8 | 4,79 | 7,82 | 0,32 | 3,9 |
| Magna 25-100 | 13,8 | 8,48 | 13,84 | 0,45 | 5,5 |
| Magna 25-100 | 9,6 | 5,89 | 9,62 | 0,35 | 4,2 |
| P4.2, nt MAGNA 50-120 F | 12,4 | 7,79 | 13,83 | 0,58 | 7,1 |
| TPE 65-180 | 65,6 | 35,84 | 50,58 | 0,68 | 8,3 |
| Magna 32-120 | 10,3 | 5,62 | 7,93 | 0,22 | 2,7 |
| UPS 65-120 | 34,2 | 18,73 | 26,44 | 2,03 | 24,7 |
| Magna 25-100 | 9,7 | 5,98 | 9,66 | 0,46 | 5,6 |
| TP 65-120/2 | 19,9 | 10,26 | 14,45 | 0,89 | 10,8 |
| Magna UDE 32-120/F | 19,6 | 11,98 | 19,55 | 1,06 | 12,9 |
| P04 | 9,4 | 5,75 | 9,38 | 0,38 | 4,7 |
| P3+P3A | 41,8 | 23,20 | 33,05 | 1,52 | 18,5 |
| P4 | 30,0 | 16,67 | 23,75 | 0,92 | 11,3 |
| MAGNA 40-120 F | 35,3 | 21,57 | 35,20 | 1,00 | 12,2 |
| TP 100-110/4 | 59,0 | 33,38 | 47,31 | 3,44 | 41,9 |
| TPE 125-110/4 | 44,8 | 25,34 | 35,92 | 2,74 | 33,3 |
| Magna 32-120 | 37,4 | 22,91 | 36,87 | 1,48 | 18,0 |
| nt TPE 125-95 | 85,6 | 47,13 | 66,87 | 4,19 | 51,0 |
| nt MAGNA1 25-120 | 3,7 | 2,09 | 2,99 | 0,16 | 1,9 |
| nt TPE3 80-180 | 32,9 | 18,18 | 25,91 | 1,26 | 15,3 |
| nt MAGNA3 40-120 | 30,2 | 18,34 | 30,12 | 1,24 | 15,1 |
| nt TPE 100-110/4 | 149,6 | 88,82 | 126,86 | 5,54 | 67,5 |
| nt TPE3 80-180 | 92,5 | 54,96 | 78,50 | 3,09 | 37,6 |
| nt MAGNA3 32-120 | 10,7 | 6,62 | 10,68 | 0,48 | 5,8 |
| nt TPE2 40-200 | 21,2 | 12,05 | 17,09 | 0,84 | 10,2 |
| nt TPE3 50-240 | 43,1 | 24,39 | 34,57 | 1,26 | 15,3 |
| TPE3 32-200-S | 68,7 | 40,90 | 64,85 | 3,48 | 42,3 |
| TPE3 50-200-S | 144,9 | 86,25 | 136,75 | 6,42 | 78,1 |

| ormus, 30% | | |
|-------------------------|--|--------------------------------|
| Pump | Summaarne elektrienergia vähenemine, €/a | Summaarne pakkumiste hind, €/a |
| MAGNA3 32-100 | 7,42 | 11,90 |
| MAGNA 3 25-60 | 1,65 | 2,64 |
| Magna 40-120 F | 9,26 | 15,21 |
| Magna 40-120 F | 9,63 | 15,81 |
| Magna 50-120 F | 7,79 | 13,83 |
| Magna3 25-100 | 1,97 | 2,82 |
| Magna 25-60 | 2,64 | 4,27 |
| Magna1 50-120 F280 | 26,08 | 42,38 |
| P1, nt TP 80-110/4 | 16,45 | 23,22 |
| P01, nt TP 80-110/4 | 16,45 | 23,22 |
| UPS 32-120 F | 7,79 | 12,80 |
| Magna 40-120 | 10,51 | 16,91 |
| Magna 50-120 | 1,37 | 1,93 |
| Magna 50-120 | 1,41 | 1,98 |
| UP 32-80 | 9,50 | 15,39 |
| Magna 50-120F | 10,31 | 16,94 |
| TP 80-110/4 | 15,60 | 22,11 |
| TP 80-140/2 | 15,46 | 21,92 |
| UPS 32-120 /2F | 8,25 | 13,55 |
| P2, UPS 32-120 F | 8,85 | 14,53 |
| Magna 25-100 | 2,39 | 3,91 |
| Magna 25-100 | 3,35 | 5,47 |
| Magna 25-100 | 2,63 | 4,30 |
| P4.2, nt MAGNA 50-120 F | 4,45 | 7,90 |
| TPE 65-180 | 4,56 | 6,43 |
| Magna 32-120 | 1,54 | 2,18 |
| UPS 65-120 | 13,52 | 19,08 |
| Magna 25-100 | 3,44 | 5,55 |
| TP 65-120/2 | 5,59 | 7,88 |
| Magna UDE 32-120/F | 7,91 | 12,90 |
| P04 | 2,87 | 4,69 |
| P3+P3A | 10,31 | 14,70 |
| P4 | 6,23 | 8,88 |
| MAGNA 40-120 F | 7,48 | 12,20 |
| TP 100-110/4 | 23,77 | 33,70 |
| TPE 125-110/4 | 18,87 | 26,74 |
| Magna 32-120 | 11,05 | 17,78 |
| nt TPE 125-95 | 28,06 | 39,81 |
| nt MAGNA1 25-120 | 1,10 | 1,57 |
| nt TPE3 80-180 | 8,51 | 12,12 |
| nt MAGNA3 40-120 | 9,17 | 15,06 |
| nt TPE 100-110/4 | 40,08 | 57,25 |
| nt TPE3 80-180 | 22,31 | 31,87 |
| nt MAGNA3 32-120 | 3,60 | 5,81 |
| nt TPE2 40-200 | 5,79 | 8,20 |
| nt TPE3 50-240 | 8,72 | 12,36 |
| TPE3 32-200-S | 25,19 | 39,94 |
| TPE3 50-200-S | 46,53 | 73,78 |