

TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL  
Infotehnoloogia teaduskond

Gleb Volodin 211888IABM

**Elektrienergia kulude vähendamine  
efektiivsema pumpade juhtimise süsteemi  
loomise läbi**

Magistritöö

Juhendaja: Avar Pentel

Magister

Tallinn 2023

## **Autorideklaratsioon**

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: Gleb Volodin

02.01.2024

## **Annotatsioon**

Antud magistritöö teema on „Elektrienergia kulude vähendamine efektiivsema pumpade juhtimise süsteemi loomise läbi“ ja on kirjutatud Viru Keemia Gruppi andmete ja probleemide põhjal.

Magistritöö probleem on see, et olemasolevad monitooringu süsteemid ei võimalda vaadelda ja uurida protsessi osadena, vaid pakutavad ainult üldist pilti. Magistritöö eesmärk on luua ettevõtte jaoks üldine pumpade monitooringu süsteem, mis aitab analüüsida pumpade tööd ja vähendada kulusid.

Autor on loonud uue monitooringu süsteemi, mis annab võimalusi kõikidele tootmisprotsessis osalejatele mugavalt uurida ja vaadata, mis tootmisprotsessides toimub ja tagab probleemsemates kohtades lisa informatsiooni operaatoritele, et tootmisprotsess oleks sujuv.

Monitooringu süsteemi loomisel autor vaatles erinevad teadusartiklid, et aru saada, milliste probleemidega on juba tegelenud teised spetsialistid ja vaadata, millised nõudmised olid pandud teistele süsteemidele. Samuti töö autor valis 4 tööriistade vahel ja lõppvaliku tegemiseks olid tehtud pilootprojektid kõikides valikus olevates tööriistades ning samuti oli hinnatud tööriistade maksumus.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 41 leheküljel, 5 peatükki, 34 joonist, 1 tabel.

## **Abstract**

The topic of this master's thesis is "Reducing electricity costs through the creation of an efficient pump control system" and is based on data and issues from Viru Keemia Grupp.

The problem of the master's thesis is that existing monitoring systems do not allow for observing and studying the process as parts, but only provide a general overview. The aim of the master's thesis is to create a comprehensive monitoring system for pumps that helps analyze pump operation and reduce costs for the company.

The author has developed a new monitoring system that provides opportunities for all participants in the production process to conveniently investigate and observe what is happening in the production processes and provides additional information to operators in problem areas to ensure a smooth production process.

In creating the monitoring system, the author reviewed various research articles to understand the problems that other specialists have already worked on and to see what requirements were placed on other systems. The author also selected from four tools and made pilot projects with all the available options to make the final selection, taking into account the cost of the tools.

The thesis is written in Estonian and includes 41 pages of text, 5 chapters, 34 figures and 1 table.

## **Lühendite ja mõistete sõnastik**

|       |   |
|-------|---|
| VKG   | Viru Keemia Grupp                                 |
| IEEE  | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| SCADA | Supervisory Control and Data Acquisition          |
| IFS   | Industrial and Financial Systems                  |
| BI    | Business Intelligence                             |

# SISUKORD

|  |    |
|--|----|
| SISSEJUHATUS   | 9  |
| 1. VARASEMA KIRJANDUSE ÜLEVAADE  | 11 |
| 2. METOODIKA   | 18 |
| 2.1. Uurimisobjekt   | 18 |
| 2.1.1 Hetkeseis  | 18 |
| 2.1.2 Hetkeseisu puudused  | 19 |
| 2.2. Erinevate tööriistade võrdlus   | 19 |
| 2.2.1 PI System  | 20 |
| 2.2.2 Wedge  | 25 |
| 2.2.3 Ureason  | 29 |
| 2.2.4 SeeQ   | 31 |
| 2.2.5 Tööriista valimine   | 34 |
| 2.3. Arendusprotsess   | 36 |
| 3. TULEMUSED   | 42 |
| 4. ANALÜÜS JA JÄRELDUSED   | 47 |
| 4.1. Tulemused   | 47 |
| 4.2. Alternatiivid   | 47 |
| 4.3. Edasised arendused  | 48 |
| 5. KOKKUVÕTE   | 49 |
| KASUTATUD KIRJANDUS  | 50 |
| Lisa 1 – Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks | 52 |

## Jooniste loetelu

|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| Joonis 1 VKG väärtusahel[2].....   | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Joonis 2. Suurandmete integreerimise kõrgtaseme arhitektuur[4].....  | 14                                  |
| Joonis 3. Osisoft PI System[5] .....   | 16                                  |
| Joonis 4. Automatiseerimistasemed protsesside juhtimiseks ja reguleerimiseks. [6].....   | 17                                  |
| Joonis 5. Hetkeseis .....  | 19                                  |
| Joonis 6. PI System infrastruktuur [7] .....   | 20                                  |
| Joonis 7. Andmete salvestamise algoritm.[8] .....  | 21                                  |
| Joonis 8. OPC Server liides .....  | 22                                  |
| Joonis 9. UFL liidese konfigureerimise näide.[10].....   | 23                                  |
| Joonis 10. PI-süsteemi komponendid[12] .....   | 24                                  |
| Joonis 11. Andmete visualiseerimine PI Visionis.[13] .....   | 25                                  |
| Joonis 12. Wedge Infrastruktuur[14] .....  | 25                                  |
| Joonis 13. Wedge visualisatsioon. [15] .....   | 26                                  |
| Joonis 14. Vasakul kattub analüüs kõigi andmetega mistahes ajavahemiku kohta; paremal, samale ajavahemikule on kasutaja analüüsisse kaasanud ainult ühe toote (klass 6). [17]..... | 27                                  |
| Joonis 15. Vigased andmed saab ühe hiireklõpsuga eemaldada.[16].....   | 27                                  |
| Joonis 16. Wedge loetleb juurerikke kandidaadid, mis korreleeruvad kõige tugevamalt sihtmõõtmega ja protsessi viivitusega.[18].....  | 29                                  |
| Joonis 17. Ureason ühenduste võimalused. [19] .....  | 30                                  |
| Joonis 18. Ureason rakenduse analüüsi põhjal saab luua töökorralduse koos selgitusega [19] .....   | 31                                  |
| Joonis 19. SeeQ Infrastruktuur. [21] .....   | 32                                  |
| Joonis 20. SeeQ Workbench [22] .....   | 32                                  |
| Joonis 21. SeeQ Organizer [23] .....   | 33                                  |
| Joonis 22. SeeQ Data Lab [24].....   | 34                                  |
| Joonis 23. Näide piloot projektist SeeQ baasil .....   | 35                                  |
| Joonis 24. Uus automatiseerimise struktuur .....   | 37                                  |
| Joonis 25. Bufferingu seadistamine. ....   | 39                                  |
| Joonis 26. MQTT protokolliga konfigureerimine. ....  | 39                                  |
| Joonis 27. MQTT protokolliga saadud andmete struktuur. ....  | 40                                  |
| Joonis 28. Olemasolev VKG Energia monitooringu süsteem. ....   | 40                                  |
| Joonis 29. Olemasolev VKG OILi monitooringu süsteem. ....  | 41                                  |
| Joonis 30. Andmete saamise, archiveerimise, töötlemise ja visualiseerimise skeem .....   | 42                                  |
| Joonis 31. Loodud monitooringu aken pumba jaoks. ....  | 43                                  |
| Joonis 32. Rõhu langetamine ja elektrienergia tarbimise muutmise sageduse muutmata. ....   | 44                                  |
| Joonis 33. Python Jupyteris loodud lineaarse regressiooni mudel. ....  | 45                                  |
| Joonis 34. Visualisatsioon, mis annab operaatorile protsessi ülevaade. ....  | 46                                  |

## Tabelite loetelu

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| Tabel 1. Tööriistade võrdlus ..... | 35 |
|------------------------------------|----|



## SISSEJUHATUS

Tänapäevases maailmas kõik tööstus protsessid vajavad digitaliseerimist ja automatiseerimist. Seoses sellega kasvab vajadus aru saada, kuidas erinevad protsessid tootmises toimivad ja kuidas saab neid paremaks muuta. Tööstusettevõtetal on suur hulk erinevaid seadmeid ja selleks, et juhtida protsessi mõistlikult on vaja teada, mis protsessis toimus, toimub praegu ja mis võib toimuda lähitulevikus. Selleks et antud eesmärk oleks täidetud on vaja saada andmed, arhiveerida neid ja õigesti esitada ning visualiseerida tööstus protsessis osalejatele - nii inseneridele kui ka operaatoritele ja juhtidele, et nemad saaksid teha otsused, mis puudutavad nii protsessi otse kui ka tööstuse tuleviku arenguperspektiive.

Antud töö vaatleb pumpade töö monitooringu ning pumpade elektrienergia kulude vähendamise küsimusi. Pumpad on olemas peaaegu igas ettevõttes alates veeteenuseid pakutavatest ettevõtetest ja lõpetades tuumaenergeetika ettevõtetega. Pumpade töö peale kuulub suur hulk elektrienergiast, mida tarbib ettevõtte. Kui ettevõttel on olemas infosüsteem, mille abil saab monitoorida pumpade tööd, analüüsida ning leida võimalusi, kuidas vähendada elektrienergia tarbimise kulusid - saab muuta protsessid efektiivsemaks ning vähendada kulusid.

Praegu ettevõtete probleem on see, et monitooringu ja analüüsi võimalused on nõrgad. Insenerid ja opereerimisjuhid ei saa aru, mis täpselt protsessides toimub, kas saab protsessi optimeerida ning kus on see võimalus.

Töö autor töötab Viru Keemia Gruppis ja antud töö oli tehtud ja koostatud Viru Keemia Gruppi andmete peal, mis olid kogutud otse tootmisprotsessist. Lõputöö autor tänab VKG tehnikajuhti Bert Lõukest koostöö ja toe eest lõputöö praktilise osa läbiviimisel ja teoreetilise osa kirjutamisel. Samuti lõputöö autor avaldab suurt tänu enda juhendajale – Avar Pentelile toe eest lõputöö lõppversiooni kujundamisel.

Viru Keemia Grupp on Eesti suurtööstusettevõtte ning suurim põlevkiviõli tootja nii Eestis kui ka maailmas[1], mis koosneb paljudest tütarettevõtetest (Joonis 1).



Joonis 1. VKG väärtusahel[2]

VKG Kaevandused – tegeleb põlevkivi kaevandamisega ja põlevkivi tarnega läbi konveieri, mille pikkus on 12,5 km Ojamaast Kohtla-Järveni.

VKG OIL – tegeleb keemiliste protsesside põlevkiviga ja lõpp toodete müümisega. VKG OILi lõpptoode on fenool kemikaalid, kütused, bituumen ja teised keemilistes protsessides tekkivad produktid. Üks produktidest on põlevkivi gaasid, mida kasutab VKG Energia.

VKG Energia – tegeleb elektri- ja soojusenergia tootmisega, kasutades toorainena põlevkivi gaasi ja vett, mis muutub auruks katlates ja edasi saadud aur kasutatakse turbiinides elektri tootmiseks. VKG Energia kasutab vett ise ja samuti pumpab vett VKG OILi jaoks, mida kasutatakse erinevates tootmisprotsessides. Pumbad mis pumpavad vett VKG Energia ja VKG OILi vahel on antud lõputöö uuringu objektid, kust saadakse andmed ja neid andmeid autor kasutab analüütikas ja visualiseerimiseks.

Lõputöö eesmärk on luua ettevõtte jaoks üldine pumpade monitooringu süsteem, mis aitab analüüsida pumpade tööd ja vähendada kulud.

# 1. VARASEMA KIRJANDUSE ÜLEVAADE

Teemakohased teaduslikud artiklid olid leitud IEEE otsingumootori abil. Esialgu olid leitud artiklid, mis on seotud süsteemiga, milline on lõputöö tuumik, et aru saada, millised on antud süsteemi võimalused, mis on juba tehtud ja millised on järeldused. Otsingumootorise olid sisestatud süsteemi nimetus (PI System) ja ilmunud artiklite seas olid leitud just need, millised aitasid laiendada silmaringi süsteemi võimekusest. Peale seda oli vaja leida artiklid selle kohta, kuidas olemasolevat informatsiooni paremini töödelda ja analüüsida. Selleks, et artiklid leida olid kasutatud järgmised võtmesõnad: „Data Science“, „Industry“, „Oil and Gas“, „Analytics“, „Manufacturing“, „Monitoring“. Ilmunud artiklite vahel olid leitud just need, kus on kirjeldatud analüüsimise ja visualiseerimise protsessid ja tulemused. Samuti oli kasulik leida, milline arhitektuur oli loodud analüüsides teostamise jaoks.

Kõigepealt oli leitud miks teised autorid tegelevad selle probleemiga ja mis on selle probleemi aktuaalsus.

Suurandmete analüüs on üks kriitilisi komponente nafta ja gaasi tööstuses. Selle fookuses on suure andmemahu haldamine ja töötlemine töö parandamiseks tõhusust, tõhustada otsuste tegemist ja maandada riske töökohal. Täiustatud seismiline töötlemine andmed annavad tööstusele ka parema arusaama suurandmete -rakendustest. Samas tööstus ikka on uute tehnoloogiate kasutusele võtmisel ettevaatlik. [3]

Andmehaldussüsteem on vajalik nende massiivsete andmete korraldamiseks jagamiseks ja koostöömiseks. Järjest kasvavad andmekogused nõuavad ka edasijõudnumaid ressursse andmete salvestamiseks ja kättesaadavuse tagamiseks. Mitmekülgne ja mitme aegne andmete kogu mitmetest anduritest esitab samuti väljakutseid andmehaldusele. Praktikud peavad määratlema, kuidas korraldada ja kaardistada mitmemõõtmelised andmed ühe mõõtmeliseks andmemassiiviks traadita ülekandeks. Metaandmete ja indekseerimise tõhus käsitlemine on teised väljakutsed. Sobiva arvutus platvormi valimine mõjutab suurandme tehnoloogiate kasutegurit. Eriti algfaasis väldivad organisatsioonid peamiselt kohapealsete süsteemidega seotud potentsiaalseid keerukusi ja olulisi investeeringuid. Viimastel aastatel on välja töötatud mitmesuguseid tehnoloogiaid suurandmete analüütika jaoks. Need tööriistad, raamistikud ja algoritmid saab liigitada kolme peamisse valdkonda, sealhulgas andmesalvestus, andmete töötlemine ja masinõpe. Esimesed kaks valdkonda keskenduvad massiivsete andmehulkade haldamisele, juurdepääsule ja töötlemisele. Masinõpet kasutatakse kasuliku teabe ja teadmiste eraldamiseks töödeldud andmetest tulevikuks kasutamiseks. [3]

Artiklid aitavad ka tõsta nõudmised, millistele peab loodud süsteem vastama ja töö tegemise protsessi.

Elektrisüsteemide mastaabi laienemisega ja laialdaselt kasutatavate arenenud infotehnoloogiate abil suurenevad dramaatiliselt erineva resolutsiooniga andmete ja teabe kogused ning kategooriad. Elektrisüsteemides esinevad uued nähtused ja probleemid tuleb ära tunda ja analüüsida. Seetõttu on andmete kaevandamine ja analüütika elektrienergia tööstuse jaoks äärmiselt olulised. Siiski on mitu laialt levinud väljakutset, nagu mitmesuguste süsteemide ristintegreerimiseta infokildude rohkus, ülemaailmse andmekirjelduse ja andmemudelite puudumine ning isegi ebapiisavate ühiste rakenduste ja teenuste olemasolu. Need takistavad tõhusat andmete kaevandamist, raiskavad väärtuslikku teavet ja takistavad suurandmete keskkonnas edasijõudnud andmeanalüütikat elektrienergia ettevõtetes. Samal ajal avaldavad need väljakutsed ka negatiivset mõju pidevalt kasvavale äritegevusele ja keerukale elektrienergia ettevõtete juhtimisele. Andmete ja mudelite paindlikuks haldamiseks ning rakenduste lihtsaks pakkumiseks võib innovaatilisel platvormil olla neli omadust: 1) Skaleeritavus: Kuigi andmete arv ja mitmekesisus suurenevad pidevalt, suudab platvorm töödelda kasvavat andmemahutu ja laieneda vastavalt kasvule. 2) Reaalajas: Platvormis integreeritakse suured kogused kõrge resolutsiooniga reaalajas tekkivaid andmeid. Seetõttu kasutab platvorm reaalajas andmebaasi töökoormuste haldamiseks ja võimaldab juurdepääsu ajaloolistele ja praegustele andmetele. 3) Teenusekeskne: Triviaalsete detailide peitmiseks on kasutajate jaoks oluline teenuste kapseldamise rakendamine. Platvormis muutuvad kolmandate osapoolte rakenduste või süsteemide arvukad adapterid ja liidesed ühiseks teenuseks platvormis kasutades standardseid protokolle. Lõppkasutajatele pakub platvorm paindlikke ja kergeid tööriistu andmete päringu, visualiseerimise ja analüüsi jaoks. 4) Kõrge usaldusväärsus: Platvorm on ettevõtte IT-süsteemide oluline osa ning pakub teenuseid erinevatele osakondadele läbi ettevõtte võrgu. Kuna süsteem võib koosneda suurest hulgast riistvara komponentidest, on osalised rikkeid vältimatud. Seetõttu on platvormi kujundus mõeldud kasutama koormuse tasakaalustajatega klaster seadmeid, et osaliste rikete korral tagada sujuv toimimine ilma teenusekatkestusteta. Selleks, et lahendada väljakutsed, pakutakse allpool ühte praktilist lähenemisviisi:[4]

1) Andmete integreerimine ühtlustatud liideste kaudu: Ühtlustatud liidesed toetavad platvormi ühendamist erinevate andmeallikatega. Mõned liidesed võimaldavad ajaloo taastamist, teised aga lihtsalt juurdepääsu kolmandate osapoolte ajaloo salvestustele. Need andmeallikad põimuvad platvormiga ühtselt sõltumata allikast, protokollist või müüjast. Liideste teenus võimaldab puhvrit mitmele serverile, intelligentset andmete vähendamist, ühe PI-sildi määratlust ning

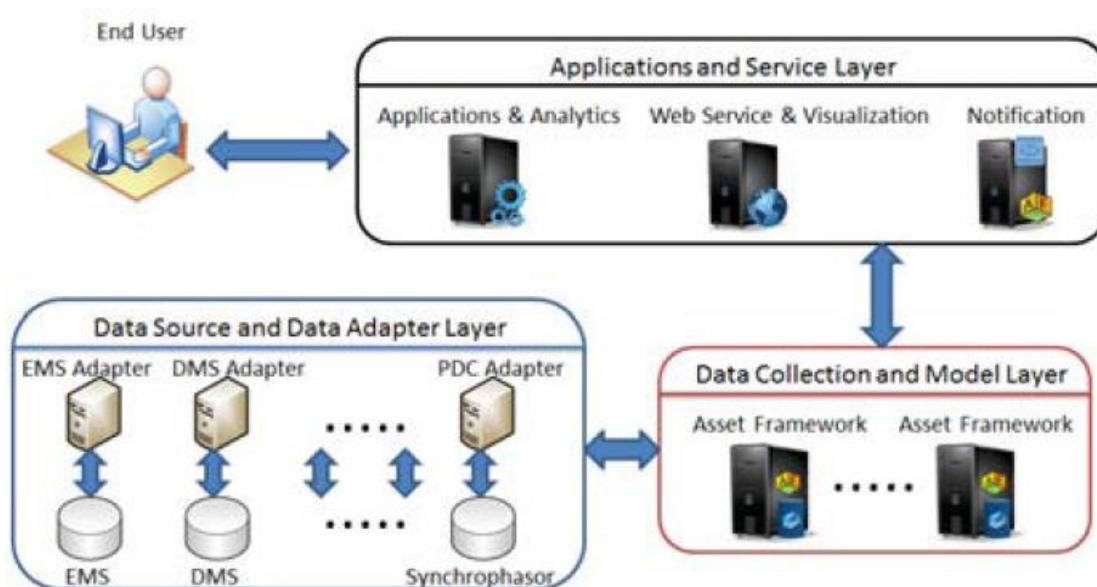
punktipõhist turvalisust. Liideseteenuse puhul on saadaval ka andmete dubleerimine ja automaatne sünkroniseerimine. [4]

2) Arhiveerimine andmekogumis kihina ja andmepõhise mudeli loomine: Andmed salvestatakse kohe platvormi arhiveerimise serveritesse ja tehakse kasutajatele reaalajas kättesaadavaks. Samal ajal suudab hierarhiline andmemudelite loomine luua vara või protsesside järjepideva esinduse ning seostada andmed sobiva kontekstiga, pakkudes teavet seotud andmete kohta. Mudel võib pakkuda kasutajatele lihtsamat viisi vajaliku teabe leidmiseks.[4]

3) Rakenduste ja teenuste pakkumine lõppkasutajatele: Andmete ja mudelite kasutamise tõkete vähendamiseks pakub platvorm populaarseid tööriistu, näiteks Microsoft Office Exceli ja mobiiltelefoni, et lõppkasutajad saaksid töötada andmetega lihtsamalt ning rakendada analüütikat, mitte raisata aega andmete kogumisele.[4]

4) Varundusstrateegia: Platvormil on topelt struktuuriga varundus disain ja kaks gruppi süsteeme, mis tagavad töö käigus usaldusväarsuse.[4]

Selle andme platvormi ja andmepõhise analüütika lõppeesmärk on kasu saamine lõppkasutajatele, sealhulgas süsteemioperaatoritele, vooluringi analüütikutele, hooldustehnikutele jne. Ühise andme repositooriumi abil saaksid kõik lõppkasutajad kasutada puhtamaid, lihtsamaid ja nutikamaid andmeid, isegi luua ise kohandatud teenuseid ja visualiseeringuid, mitte ainult tugineda IT-professionaalidele teenuste kasutuselevõtmisel. Samal ajal, kuna andmed on pärit globaalsest mudelist, on võimalik tugevdada varahaldust, parandada olukorra teadlikkust, vähendada sunnitud katkestusi, pikendada seadmete eluiga jne. Tugeva andmeplatvormi omadused on, et ühine andmete hoidla saab pakkuda andmesideteenust kõrge turvalisusega ja lõppkasutajad saavad andmeid töödelda ilma tooreid andmeid rikkumata ja manipuleerimata.[4]



Joonis 2. Suurandmete integreerimise kõrgtaseme arhitektuur[4]

Pärast erinevate andmeallikate kogumist rakendatakse järgmised sammud andmete eeltötluse jaoks. [4]

- Erandite tuvastamine: Kasutades lihtsat deadband-algoritmi, kasutab erandite samm mõningaid statistilisi väärtusi, et otsustada, kas edastada teatud väärtus arhiivi. Selle eesmärk on vähendada võrguliiklust ja salvestusmälud. [4]
- Kokku surumine: See samm tagab, et arhiiv salvestab piisavalt andmeid, et täpselt taastada algne signaal. Eesmärk on mitte ainult säästa salvestusruumi, vaid ka eemaldada müra ja parandada süsteemi jõudlust lõppkasutajatele, kompromiteerimata andmete potentsiaalseid väärtusi. [4]
- Väljapaistvate väärtuste sõeluuring: Väljaspool ootamatute andurite talitlushäireid või suhtlus vigasid on segunenud mõned väljaspool tavapäraseid signaale. See samm tagab hea andmekvaliteedi andmete arhiivi toitmiseks. [4]

Struktuursete ajalooliste ja reaajas andmete integreerimisega ühisesse andmete hoidlasse pakutakse ühtset andmeallika liidest. Lisaks pakub platvorm erinevaid analüüsitööriistu, alates sisseehitatud matemaatika- ja statistikaraamatukogudega lihtsate arvutuste tegemisest kuni kõrgtasemel programmeerimiskeele arendusliidesteni, nagu C#, Visual Basic ja Matlab. Kasutades neid võimsaid tööriistu, kasutatakse massiivsete andmete kaevandamist ajalooliste sündmuste mustrite leidmiseks empiirilise teabe saamiseks tulevaseks prognoosivaks varahalduseks, sisendite pakkumiseks otsustamiseks tüüpilistest stsenaariumidest jne. [4]

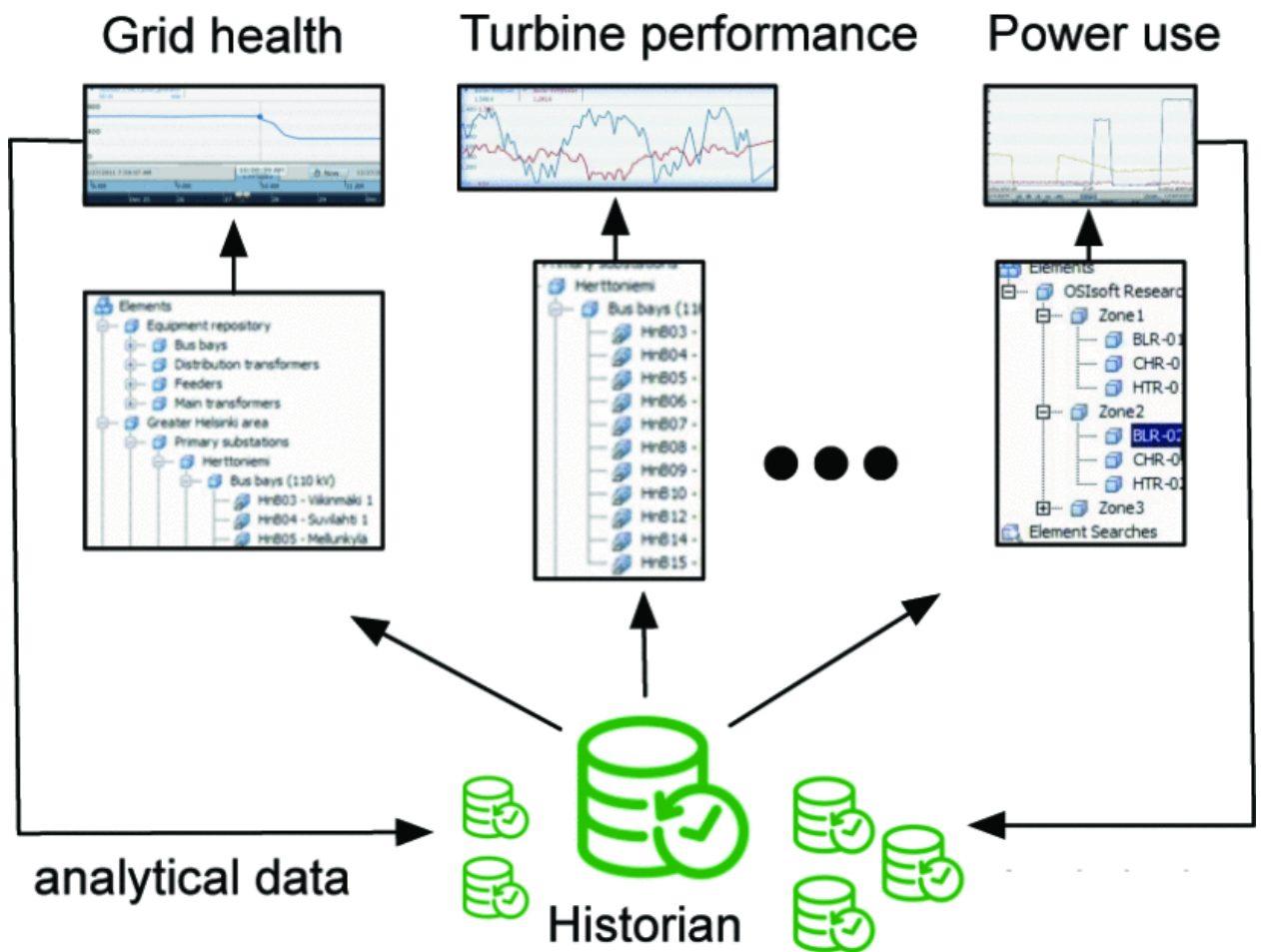
Lõputöö põhitarkvara tööriist on tööstus maailmas päris populaarne ja leitud artiklid toetasid autori tööriista valimisel.

OSIsoft PI süsteem on välja töötatud reaajas operatiivandmete kogumiseks, töötlemiseks, analüüsimiseks ja salvestamiseks. Süsteemi sihtturgude hulka kuuluvad nafta ja gaas, keemia ja petrokeemia, materjalid, kaevandused, metallid ja metallurgia, energiatootmine ja kommunaalteenused, paberitööstus, farmaatsiatööstus, toiduained ja eluteadused, kriitilised rajatised, andmekeskused ja IT. Kõigil neil turgudel on digitaalsed kaksikud loomulikud: need võivad modelleerida naftaplatforme, tootmiseseadmeid, kaevandamise masinaid, turbiine jne. [5]

PI süsteemi paigaldust saab kujutada mitmesse kihti, nagu on kujutatud joonisel. Alusena on PI andmearhiiv andmehoidla, spetsialiseeritud andmebaas, mis kogub ja salvestab aegriade andmevooge, nagu temperatuuri lugemine andurilt. Kuigi paljud andmebaaside perekonnad suudavad säilitada ajatempliga väärtusi, toovad andmehoidlad kriitilise infrastruktuuri jaoks vajaliku tõhususe, usaldusväärsuse ja semantika. Andmevood tuvastatakse ainult nime järgi. [5]

Andmehoidla peal paikneb varade andmebaas, PI Asset Framework (AF), kus andmehoidla andmevood saab korraldada hierarhilistesse varade mudelitesse. See võimaldab organisatsiooni varade ja/või seadmete järjepidevate esinduste määratlemist ning nende esinduste kasutamist kriitilise ja tegevusliku teabe saamiseks analüüside käigus. Klassilaadne tüübisüsteem võimaldab mõningast polümorfismi varade vahel, võimaldades operatsiooni arvutuste ja kuvade korduvkasutust sarnaste seadmete puhul. [5]

Kasutajad tarbivad mudeli andmeid kliendi rakenduste kaudu, nagu näiteks PI Vision operatiivsete armatuurlaudade jaoks ning PI DataLink tabel põhiseks andmeanalüüsiks Microsoft Excelis või nende valitud spetsialiseeritud andmeanalüüsi keskkondades. Kasutajate eesmärgid võivad hõlmata elektrivõrgu ennustavat hooldust, tuuliku jõudluse hindamist ja seadmete energiatarbimise arvutamist. Analüüsi tulemused võivad tagasi täita PI süsteemi infrastruktuuri.[5]



Joonis 3. Osisoft PI System[5]

Enamiku uute tehnoloogiliste protsesside juhtimissüsteemide aluseks on SCADA-süsteemid, telemeetrilised süsteemid, mis on loodud andmete kogumiseks ja edastamiseks erinevate tootmise automatiseerimise tasemete vahel ning pakuvad ülevaatlikku kontrolli, andmete kogumist ja esitamist visuaalses, suundumusi näitavas vormis. SCADA-süsteem tähendab ka riistvara-tarkvara kompleksi, mis tagab omavahel ühendatud üksuste töö kogutud, kuvatud, salvestatud ja töödeldud teabega, võimaldades reaalajas süsteemide juhtimist ja jälgimist sidet siduvate alamsüsteemide ja sidekanalitega. Üha enam tootmisorganisatsioon lisab SCADA süsteemi ühe olulisema osana tehnilistesse spetsifikatsioonidesse automatiseeritud protsessijuhtimissüsteemide, elektrienergia automatiseeritud juhtimis- ja arvestussüsteemide, andme- ja automatiseerimissüsteemide jälgimis- ja arvestussüsteemide kujundamisel. [6]

Joonis näitab nafta transportimise ja töötlemise vooluahelat pumbajaamas koos integreeritud SCADA süsteemiga. Tehnoloogia areng, eriti elektrooniliste arvutite valdkonnas tootmisprotsesside automatiseerimises, on märkimisväärselt parandanud juhtimise kvaliteeti, mis kahtlemata on positiivselt mõjutanud toodete kvaliteeti ja mahtu. Info hulga suurenemine erinevatelt objektidelt paigaldatud erinevatest anduritest ja mitmete parameetrite jälgimise keerukus analoogkontrollpaneelidel on olnud SCADA süsteemide loomise ja arendamise

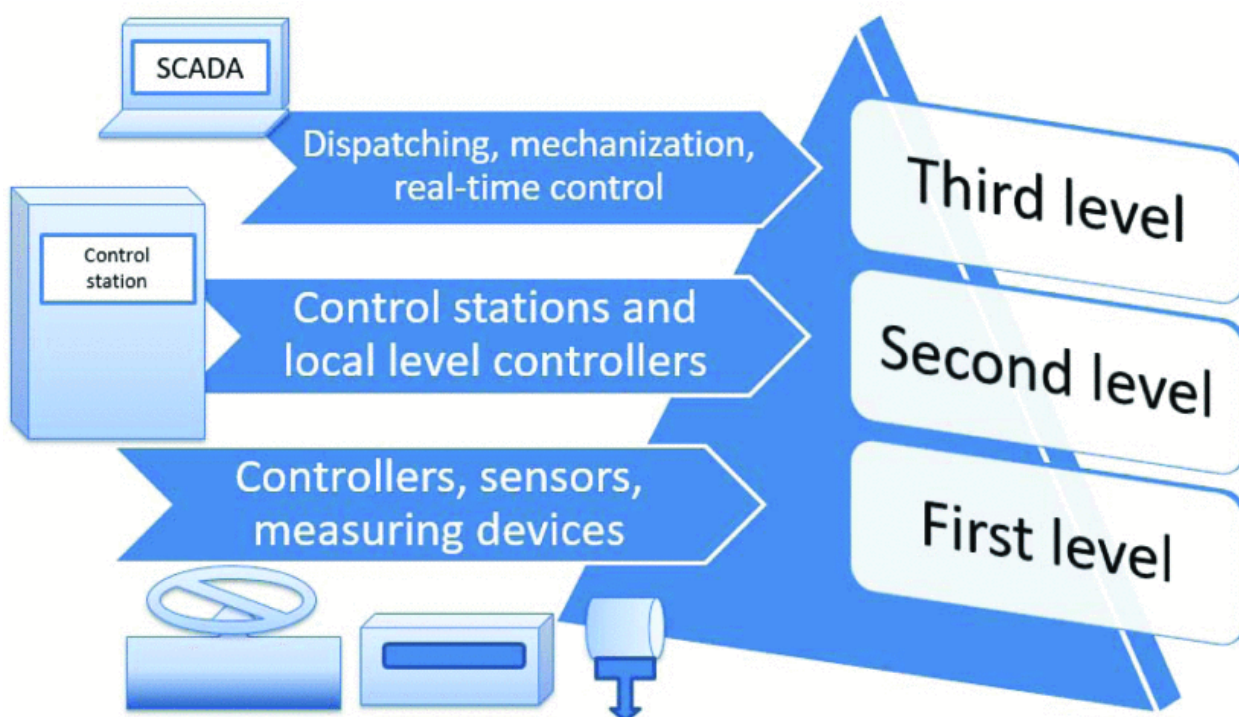


ajendiks. SCADA-tüüpi dispetšeri süsteemid ja mehhaniseerimise süsteemid mängivad kaasaegsetes tootmisettevõtetes üht olulisemat rolli, mille peamised ülesanded hõlmavad[6]:

- reaalajas saabuva andmete dekodeerimine ja andmete saamine erinevatelt kaug objektidelt ja juhtimispunktidelt[6];
- saadud teabe salvestamine pikaajalise kodeerimise, dekodeerimise ja arhiveerimisvõimalusega ühes töötlemiskeskuses[6];
- igapäevane juurdepääs salvestatud teabele[6];
- võime teha kohandusi parameetritele ja objektide juhtimine SCADA kaudu juhitud objektidest saadavate andmete põhjal. [6]

Tavaliselt eristatakse üldises hierarhias kolme automaatika tasandit transpordi ja nafta ettevalmistus skeemide tehnoloogiliste protsesside juhtimiseks ja reguleerimiseks. [6]

Esimesel tasandil on andurid, kontrollid ja abimeetmete mõõte- ja infosüsteemid. Teisel tasandil asuvad juhtimispunktid, mis kontrollivad kohalike taseme süsteeme, saades teavet esimese taseme seadmetelt. Kolmas tase koosneb nafta rafineerimise tehnoloogilise protsessi haldamise, mehhaniseerimise ja reaalajas kontrolli süsteemidest. [6]



Joonis 4. Automatiseerimistasemed protsesside juhtimiseks ja reguleerimiseks. [6]

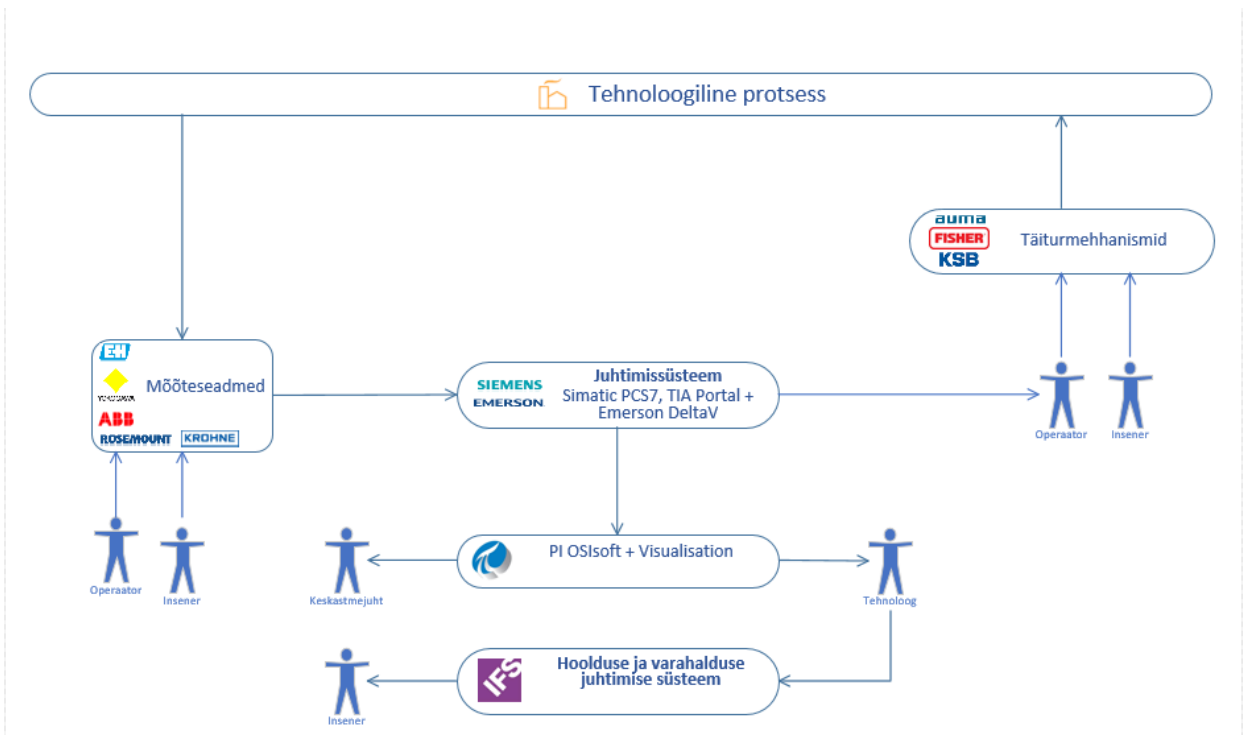
## **2. METOODIKA**

### **2.1. Uurimisobjekt**

Enne töö algust oli tehtud olemasolevate infrastruktuuri ja süsteemide kaardistamine, et aru saada, millised osad saab ja võib muuta ning modifitseerida ja millised osad võib muutmata jätta. Peale VKG kontsernis olemasolevate infotehnoloogia ja automaatika süsteemide uurimist oli koostatud ja kaardistatud hetkeseisu skeem (Joonis 5). Lisaks hetkeolukorrale toimusid koosolekud ja arutelud tootmisinseneride ja juhtidega, et mõista hetke suurimat puudujääki ettevõttes, eriti seoses monitooringuga ja analüütikaga. Selgus, et pumbad on sellises seisus, kus küll nad töötavad, aga täpselt kuidas, on raske mõista. Pumbad pärinevad tootjatelt ja neil on oma tehnilise dokumentatsiooni järgi oma loetelu tüüpidest ja töörežiimidest. Kuid kuna need ei ole tehtud otse sellele tootmisele tarbeks, siis kogemuse põhjal sai selgeks, et tehnilise dokumentatsiooni alusel antud pumpadele mõeldud režiimid ei sobi alati. Optimeeritud ja efektiivsema toimimise jaoks sobiva töörežiimi on vaja kindlaks teha loodava monitooringu- ja analüüsisüsteemi abil.

#### **2.1.1 Hetkeseis**

Kaardistatud hetkeseisu skeemis (Joonis 5) on näha, et tehnoloogilises protsessi on integreeritud täiturmehhanismid ning mõõteseadmed, mis on ühendatud erinevatesse juhtimissüsteemidesse (SCADA). Juhtimissüsteemi abil jälgivad ja juhivad operaatorid ning insenerid protsesse. Juhtimissüsteemist liiguvad andmed Pi System'i, kus toimub protsesside visualiseerimine, ning kus keskastmejuhid ja tehnoloogid saavad tootmisprotsesse monitoorida ning teha esimesi kõige lihtsamaid analüüse. Saadud andmete ja läbiviidud analüüside põhjal saavad tehnoloogid koostada raportid ning määrata ülesandeid inseneridele hoolduse ja varahalduse juhtimissüsteemis (IFS).



Joonis 5. Hetkeseis

## 2.1.2 Hetkeseisu puudused

Peale olemasoleva süsteemi uurimist olid leitud järgmised nõrkused:

- Olemasolevas juhtimissüsteemis mõõdetav info hulk lähtub protsessi juhtimise vajadustest, mitte süsteemi optimaalse opereerimise seisukohast
- Mõõteinfo kvaliteet jätab soovida – seadmete sobivus, paigaldus ning hoolduse automatiseeritus madal
- Protsessi juhtimises inimese osalus suur, kus dubleeritakse tegevustega automaatikatööd
- PI System'i kasutatakse ainult üldpildi saamiseks ja tihti SCADAde dubleerimiseks, mis ei anna nii tootmis protsessis osalejatele kui ka juht koosseisule vaadet tootmise jaoks olulistele seadmetele
- PI System'i analüütika moduli kasutamine on nõrk

## 2.2. Erinevate tööriistade võrdlus

Kui oli määratletud projekti eesmärk - luua ettevõtte jaoks üldine pumpade monitooringu süsteem, mis aitab analüüsida pumpade tööd ja vähendada kulud, oli vaja otsustada, milliseid

tööriistu saab ja võib kasutada antud projekti raames. Valik oli järgmiste analüütika tööriistade vahel:

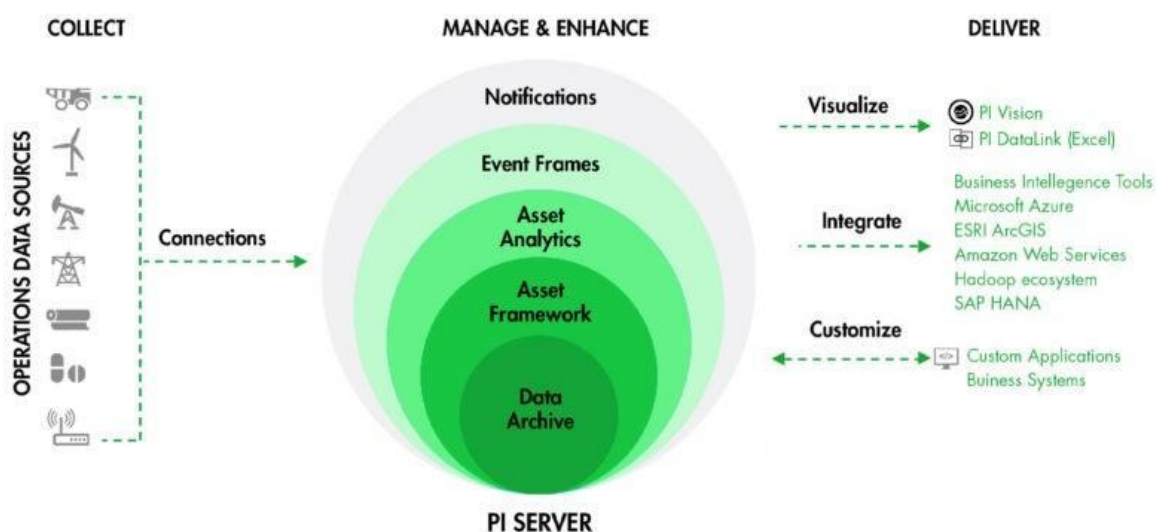
- PI System
- Wedge
- Ureason
- SeeQ

Erinevate süsteemide võrdlus oli tehtud eesmärgiga vastata küsimustele:

- Kas on turul süsteeme, mis aitavad saavutada eesmärki paremini ja kiiremini kui kasutusel olevad süsteemid?
- Kas kasutusel olevaid süsteeme kasutatakse täis- või osalise funktsionaalsusega?

### 2.2.1 PI System

PI System on erinevate rakenduste kogum, mis annab võimaluse koguda, arhiveerida, visualiseerida ja analüüsida andmed (Joonis 6).



Joonis 6. PI System infrastruktuur [7]

PI System tuumikus on PI Server, kuhu kogutakse ja kus hoitakse kõik andmed, mis tulevad tootmisprotsessist. PI Server kujutab endast NoSQL andmebaasi. Olenevalt klassist salvestatakse andmed etteantud algoritmi järgi:

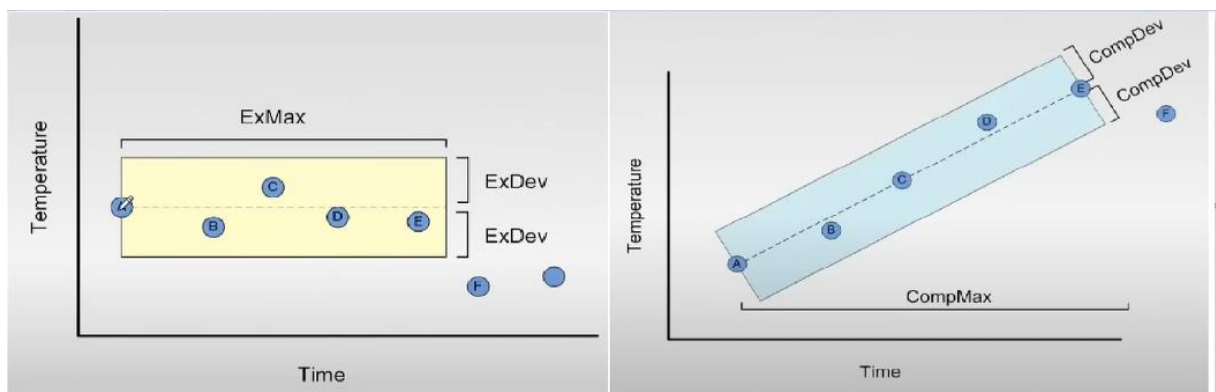
- 1 s

- 5 s
- 1 min
- 1 tund

Andmed jagunevad omakorda tihendatud andmeteks (näiteks kulu on 1 tonn/tund, kui tihendus parameeter on 0,1 ja järgmine väärtus on 1,05, siis väärtust ei fikseerita) ja mitte tihendatud andmeteks (fikseeritakse iga väärtus ülaltoodud ajavahemike järel).

On olemas teatud ajavahemik, mille jooksul PI-sse tulevad andmed, kuid andmete salvestamise sagedus võib erineda andmete saabumise sagedusest. Näiteks, andmed peavad olema salvestatud sagedusega 1 min, kuid need on edastatud iga 5 sekundi järel. Sel juhul PI võrdleb sissetulevaid andmeid ja salvestab andmed, mis jäävad väljapoole kehtivuspiire, kui selliseid andmeid pole, siis salvestatakse järgmisel salvestamise ajal olevad andmed. (Joonis 7)

Andmete salvestamiseks on 2 algoritmi: tihendamise ja ilma tihendamiseta.



Joonis 7. Andmete salvestamise algoritm.[8]

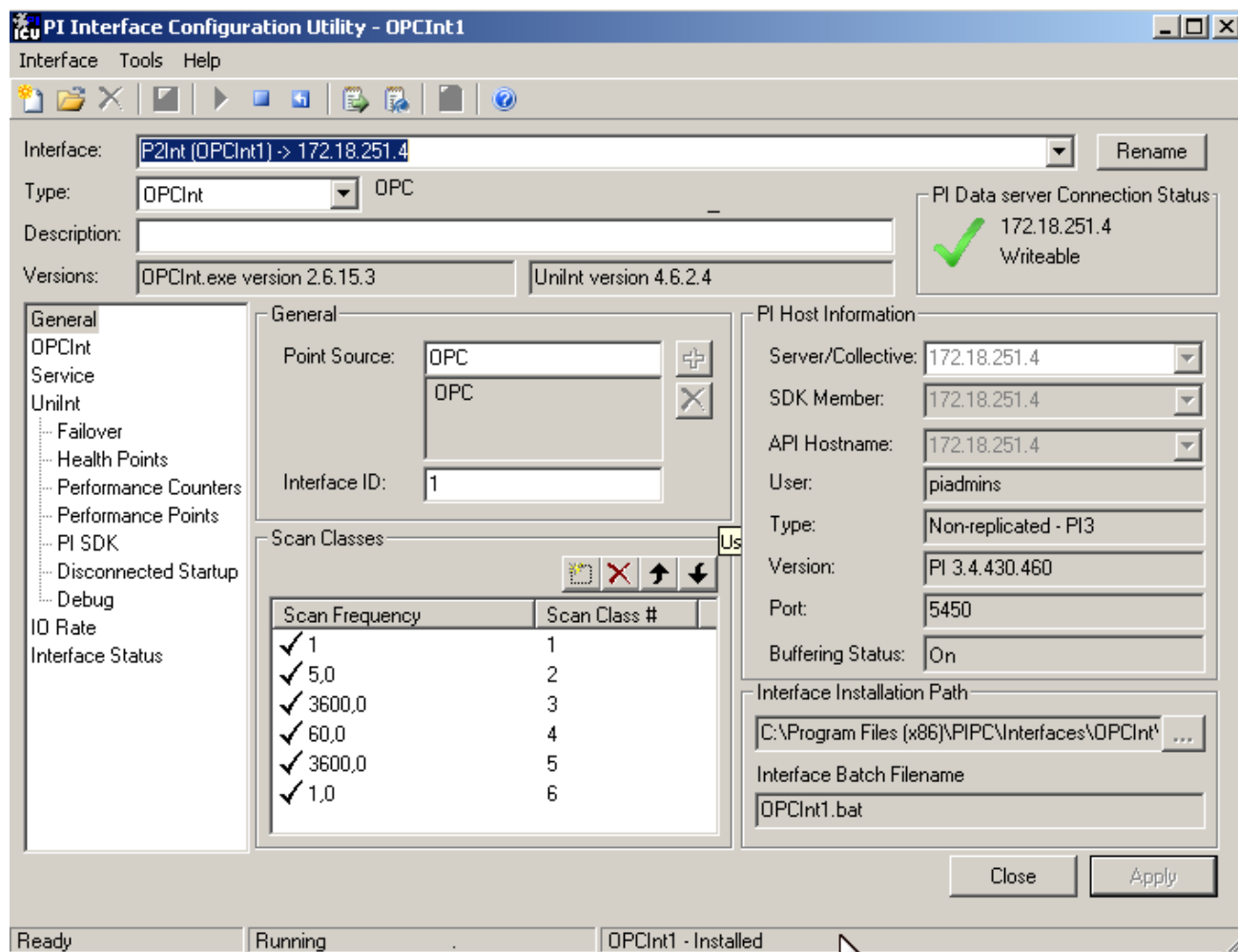
Mõõteandmed on jagatud klassidesse vastavalt andmete salvestuse sagedusele ja muutuse dünaamikale.

Mõõteandmete põhiklassid:

- Dünaamika järgi
- Kriitilisuse järgi
- Sageduse järgi

Selleks et andmed jõuaksid PI Serverisse on vaja esiteks aru saada, kust ja mis moel on võimalik andmed saada. VKG kontsernis on kasutusel järgnevad võimalused andmete saamiseks automaatika vahenditest:

1. OPC Server liides (Joonis 8)



Joonis 8. OPC Server liides

PI liides OPC DA jaoks on OSIsoft'i klientrakendus, mis suhtleb OPC serveri ja andmearhiivi vahel. PI liides OPC DA kogub reaalajas andmeid OPC serverist ja kirjutab väärtused PI punktidesse (tagidesse).[9]

## 2. OLEDB liides

Annab võimaluse saada andmed olemasolevatest andmebaasidest.

## 3. UFL liides (Joonis 9)

```

[FIELD]
FIELD(1).NAME = "Tag"
FIELD(1).Type = "String"
FIELD(2).NAME = "Timestamp"
FIELD(2).Type = "DateTime"
FIELD(2).FORMAT = "yyyy-MM-dd hh:mm:ss"
FIELD(3).NAME = "Value"
FIELD(3).Type = "Number"
FIELD(4).NAME = "Status"
FIELD(4).Type = "Number"
FIELD(5).NAME = "Qflag"
FIELD(5).Type = "Number"
FIELD(6).NAME = "Annotation"
FIELD(6).Type = "String"
FIELD(7).NAME = "Result"
FIELD(7).Type = "Number"

[MSG]
MSG(1).Name = "Message1"

[Message1]
Message1.Filter = C1=="-"

Result = StoreInPI(Tag,, Timestamp, Value, Status, Qflag, Annotation)

If( Result <> 0) Then

    StoreInPI("UFL_Error_Tag",, NOW(), Result,,)

EndIf

```

Joonis 9. UFL liidese konfigureerimise näide.[10]

Annab võimaluse koguda andmed .txt ja .csv failidest

#### 4. MQTT Adapter

PI Adapter for MQTT on andmete kogumise komponent, mis edastab aegriidade andmeid PI Serveritesse. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) on sõnumside protokoll, mis on loodud masin-masin (M2M)/Asjade Interneti (IoT) suhtluse jaoks. Adapter saab ühendada mis tahes seadme, mis kasutab MQTT protokolliga suhtlemiseks piiratud võimalustega seadmete ja serveri rakenduste vahel andmevahetuseks.[11]

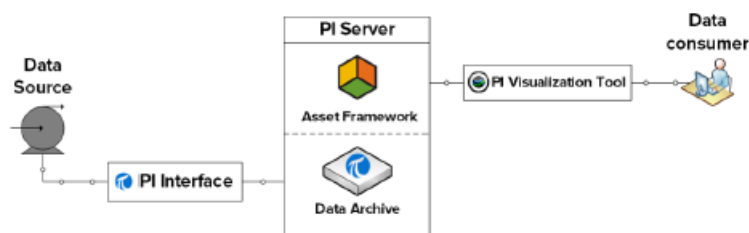
#### 5. MODBUS liides

Annab võimaluse koguda andmed MODBUS protokolliga abil.

Kui andmed on kogutud edasi saab hallata neid PI Systemi poolt loodud rakenduses, mille nimi on PI Asset Framework (PI AF). PI AF on ühtne hoidla vara kesksete mudelite, hierarhiate, objektide ja seadmete jaoks. See integreerib, kontekstualiseerib, täiustab, viitab ja analüüsib

edasi andmeid mitmest allikast, sealhulgas ühest või mitmest PI andmearhiivist ning mitte-PI allikatest, nagu välised relatsioonilised andmebaasid (Joonis 10).[12]

PI AF annab võimaluse struktureerida andmed ja luua andmete arhiveerimise arhitektuuri, samuti antud rakendus annab võimaluse teha andmetega erinevad toimingud, näiteks koostada valemid ja teha teated. Samuti siin saab kasutada ennustus valemid, mis olid saadud analüüsi jooksul, näiteks Pythonis või Ris.



Joonis 10. PI-süsteemi komponendid[12]

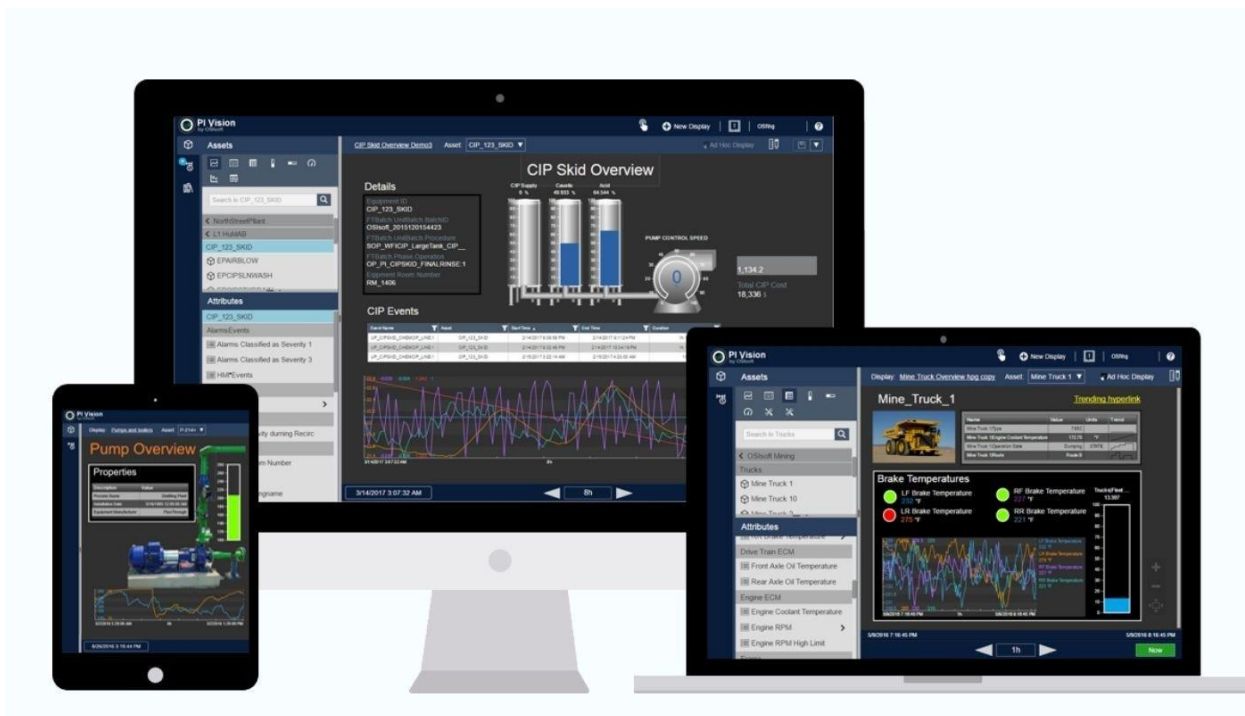
Kui andmed on struktureeritud PI AFis, edasi saab töötada nendega, kasutades järgnevad PI AF võimalused:

- Asset Analytics – PI Asset Framework (PI AF) funktsioon, mida kasutatakse analüüside loomiseks ja haldamiseks. Analüüsid loevad PI AF atribuutide väärtusi, teostavad arvutusi ning kirjutavad tulemused teistesse atribuutidesse või loovad Event Frames.[12]
- Event Frames – aitavad jäädvustada, jälgida, võrrelda või analüüsida olulisi protsessi- või ärilisi sündmusi ning nendega seotud andmeid kindlaksmääratud aja jooksul. Event Frames kujutavad endast sündmusi protsessis, millest on vaja teada saada, näiteks varade seisak, protsessi kõrvalekalded, seadme käivitamine või sulgemine, keskkonna kõrvalekalded, tootejälgimise partiid, tootmispartiid või operaatori vahetused.[12]
- Notifications – PI süsteem saab saata teavitusi kasutajatele või süsteemidele oluliste sündmuste toimumisel. Määratlete tingimused, mis määravad need sündmused, ning määratlete teavitused nende jaoks, sealhulgas saajad ja tegevused, mida teha, kui saaja pole saadaval. Toimimise käigus tuvastab PI süsteem määratud sündmused ja genereerib ning saadab nende kohta automaatselt teavitused.[12]

Andmete visualiseerimiseks on olemas tööriist – PI Vision (Joonis 11). PI Vision on väga sarnane Grafanaga, aga töötab PI System infrastruktuuris ja annab rohkem võimaluse andmete visualiseerimiseks ja graafikute kuvamiseks. Kasutajaid saab eraldada omavahel ja luua erinevad visualisatsioonid (mnemoskeemid) erinevatele kasutajate gruppidele eraldi. Näiteks,



tootmisinseneridele on vaja teada, mis toimub just tema protsessis, aga kasutajale juhtkonnast on vaja näha terve kontserni üldist pilti.



Joonis 11. Andmete visualiseerimine PI Visionis.[13]

Selleks, et valmistada andmed analüüsiks PI System pakub kasutada lisatööriista MS Excelis, mille nimi on PI DataLink. Antud tööriist annab võimaluse saada andmed andmebaasist ja töötada nendega. Saab valida nii ajavahemiku kui ka ajasammu, millistes piirides on vaja andmed näha.

Kui on vaja edastada andmed eraldi, näiteks BI tarkvarasse, saab paigaldada liidese, mis hakkab andmed edastama.

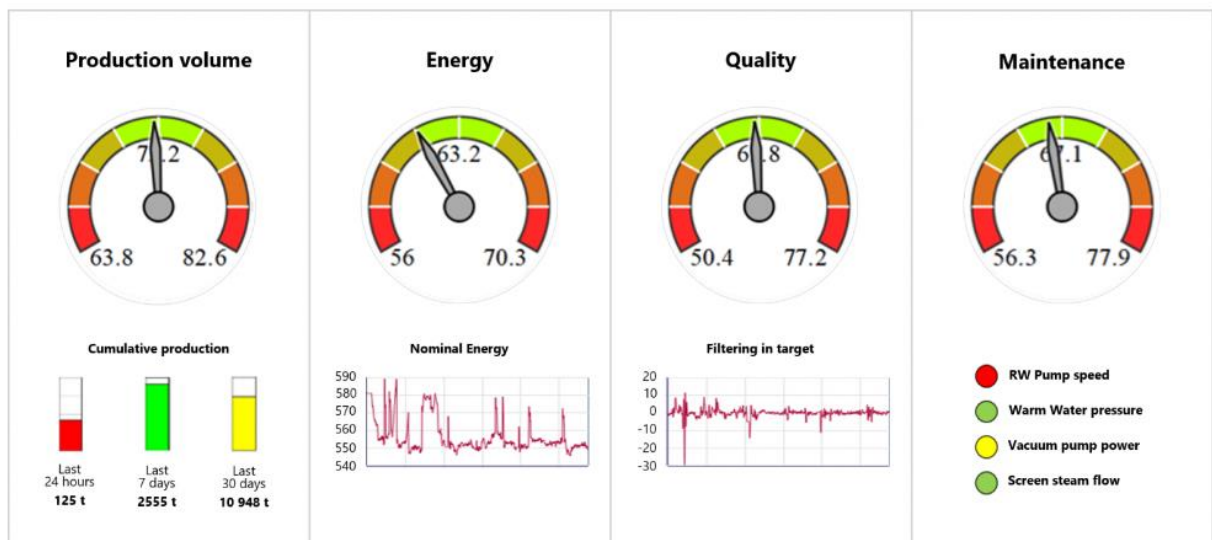
### 2.2.2 Wedge

Wedge on võimas andmeanalüüsi tarkvara, mis võimaldab tööstusettevõttele lihtsasti parandada tehase tõhusust (Joonis 12). [14]



Joonis 12. Wedge Infrastruktuur[14]

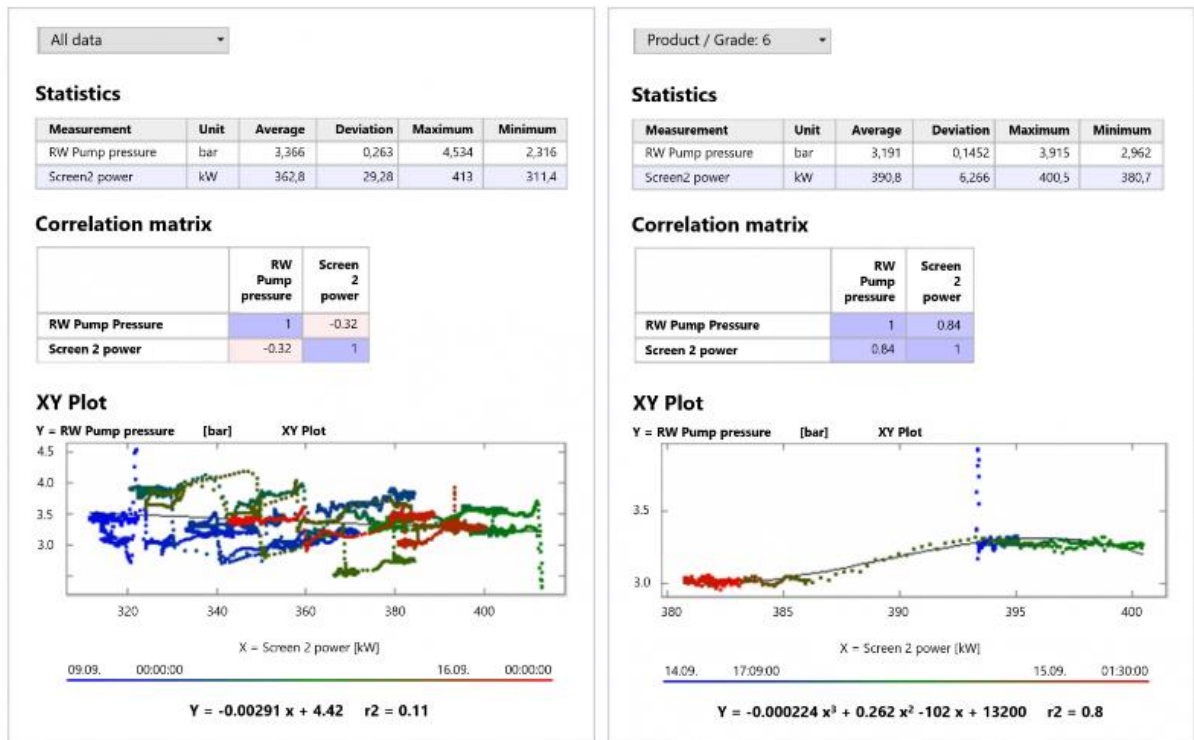
Wedge töötleb kogu protsessiandmeid mitmest allikast analüüsimiseks ja diagnoosimiseks. See avastab ja pakub välja võimalikud protsessi sündmuste algpõhjused ja tagajärjed enne, kui need kasvavad suurimateks probleemideks (Joonis 13).[14]



Joonis 13. Wedge visualisatsioon. [15]

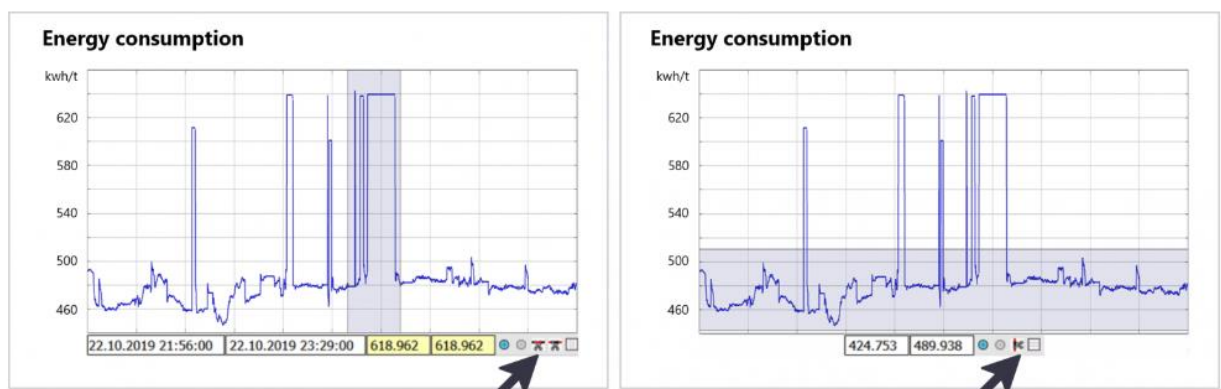
Wedge toob kõik protsessi- ja kvaliteediandmed ühte tööriista. Andmed säilitavad alati täieliku ajaloo, täiendatuna praeguste veebiandmetega. Tänu sellele lähenemisviisile saab kasutaja igal ajal lihtsalt alustada protsessi analüüsimist ja diagnoosimist ulatusliku andmekogujaga. Puuduvad pimedad kohad: analüüsid hõlmavad kõiki andmeid. Wedge saab ühenduda mis tahes

protsessi ajaloo, automatiseerimissüsteemide ja muude andmeallikatega (Joonis 14).[15]



Joonis 14. Vasakul kattub analüüs kõigi andmetega mistahes ajavahemiku kohta; paremal, samale ajavahemikule on kasutaja analüüsisse kaasanud ainult ühe toote (klass 6). [17]

Analüüs mustade ja keskendamata toorete andmete põhjal ei oma mingit väärtust. Wedge'i keerukas tööriistakomplekt andmete puhastamiseks ja täpsustamiseks võimaldab kasutajal kompenseerida protsessi viivitusi, keskenduda vajalikule analüüsile ning eemaldada valeandmed sekunditega (Joonis 15).[16]



Joonis 15. Vigased andmed saab ühe hiireklõpsuga eemaldada.[16]

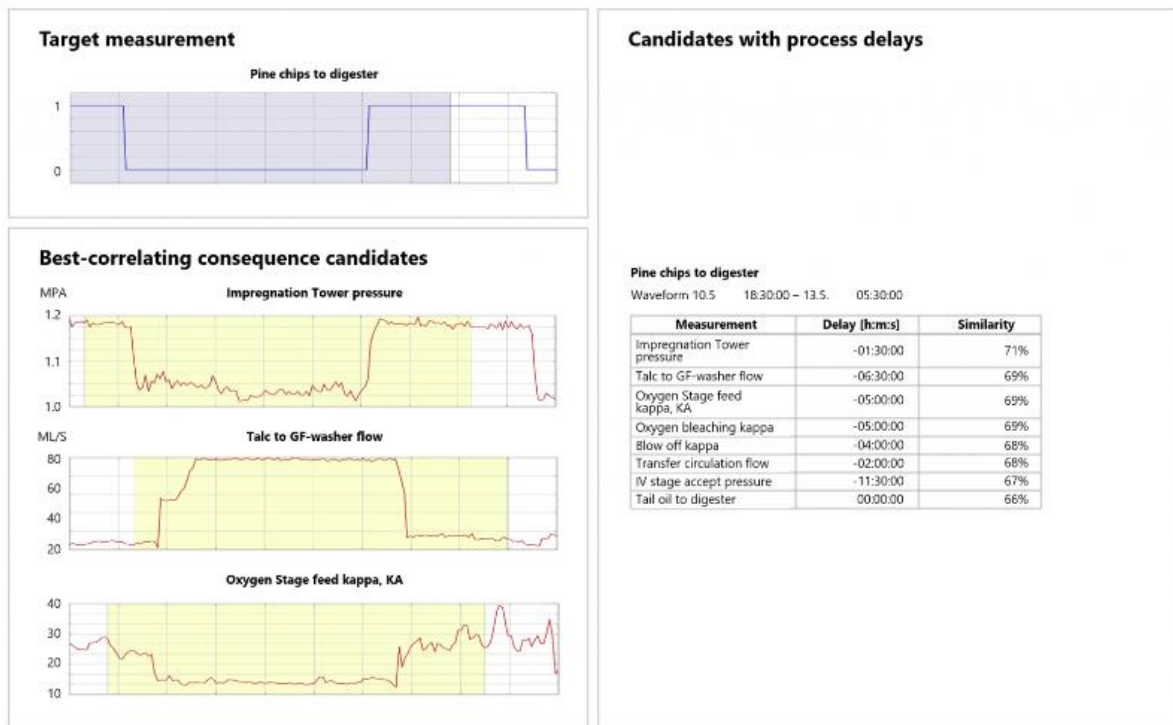
Tööriistakomplekt hõlmab muuhulgas järgmisi meetodeid:

- Statistika
- Korrelatsioonimaatriksid

- X-Y graafikud / hajuvusgraafik
- Histogrammid
- Partii analüüs / võrdlus kullastandardiga
- Sagedusanalüüs
- Parimate tavade (võrdlus viiteaja jms) kasutamine

Wedge toetab sujuvat iteratiivset töövoogu: kasutaja alustab mõne olulise mõõtmisega, seejärel lohistab ja laseb teisi mõõtmisi analüüsi vaadetesse ning eemaldab need, mis osutuvad ebaoluliseks. Ajatelge saab muuta ja kõik vaated värskendatakse kohe. Andmeid saab ka reaajas puhastada ning kõik tulemused arvutatakse ümber, et kajastada muudatusi. Kõik see muudab protsessianalüüsi lihtsaks ja kiireks. [17]

Wedge'is saab kasutaja lihtsalt uurida põhjus-tagajärg suhteid protsessis, valides sihtmõõtmise ja küsides tööriistalt sarnaselt käituvaid mõõtmisi. Tulemuste põhjal saab kasutaja jätkata põhjalikuma analüüsiga. Protsessi häirete korral on oluline kiiresti kindlaks teha juurpõhjus (Joonis 16). Wedge'iga saab kasutaja läbi viia ad hoc analüüsi, valides siht mõõtmise ja küsides tööriistalt "miks?". Sageli võivad protsessi viivitused tekitada väljakutse juurpõhjuse leidmisel. Wedge'iga ei pea kasutaja aga muretsema protsessi viivituste pärast, kuna muster-tuvastamise tööriist suudab neid automaatselt kompenseerida. Lisaks saab mustrituvastust kasutada protsessimuutuse tagajärgede uurimiseks. See on äärmiselt hea viis protsessi käitumise paremaks mõistmiseks. Wedge loetleb parimad korrelatsioonis olevad tagajärje kandidaadid siht mõõtmise ja protsessi viivituse suhtes.[18]

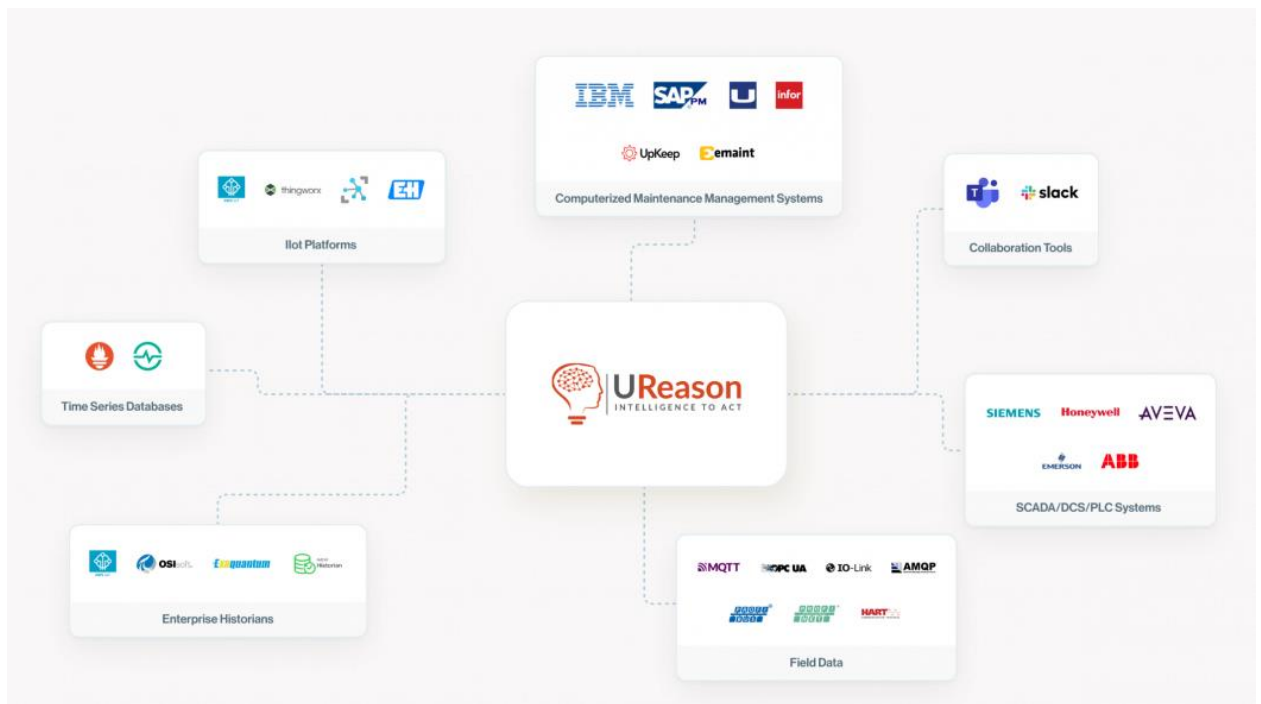


Joonis 16. Wedge loetleb juurerikke kandidaadid, mis korreleeruvad kõige tugevamalt sihtmõõtmega ja protsessi viivitusega.[18]

### 2.2.3 Ureason

Ureason aitab integreerida seisundi põhise jälgimist ja ennustavat hooldust, et vähendada planeerimata seisakuid ja kulusid ning tagada protsesside sujuv töö, kasutades masina andmeid ja masinõppe tehnoloogiat. [19]

Ureason võimaldab ühenduda erinevat tüüpi andmeallikatega. Näiteks reaalaajas andmevoogudega erinevate võrgutüüpide ja edastusprotokollide, andurite, ajalooide ja erinevate süsteemide kaudu (Joonis 17). [19]

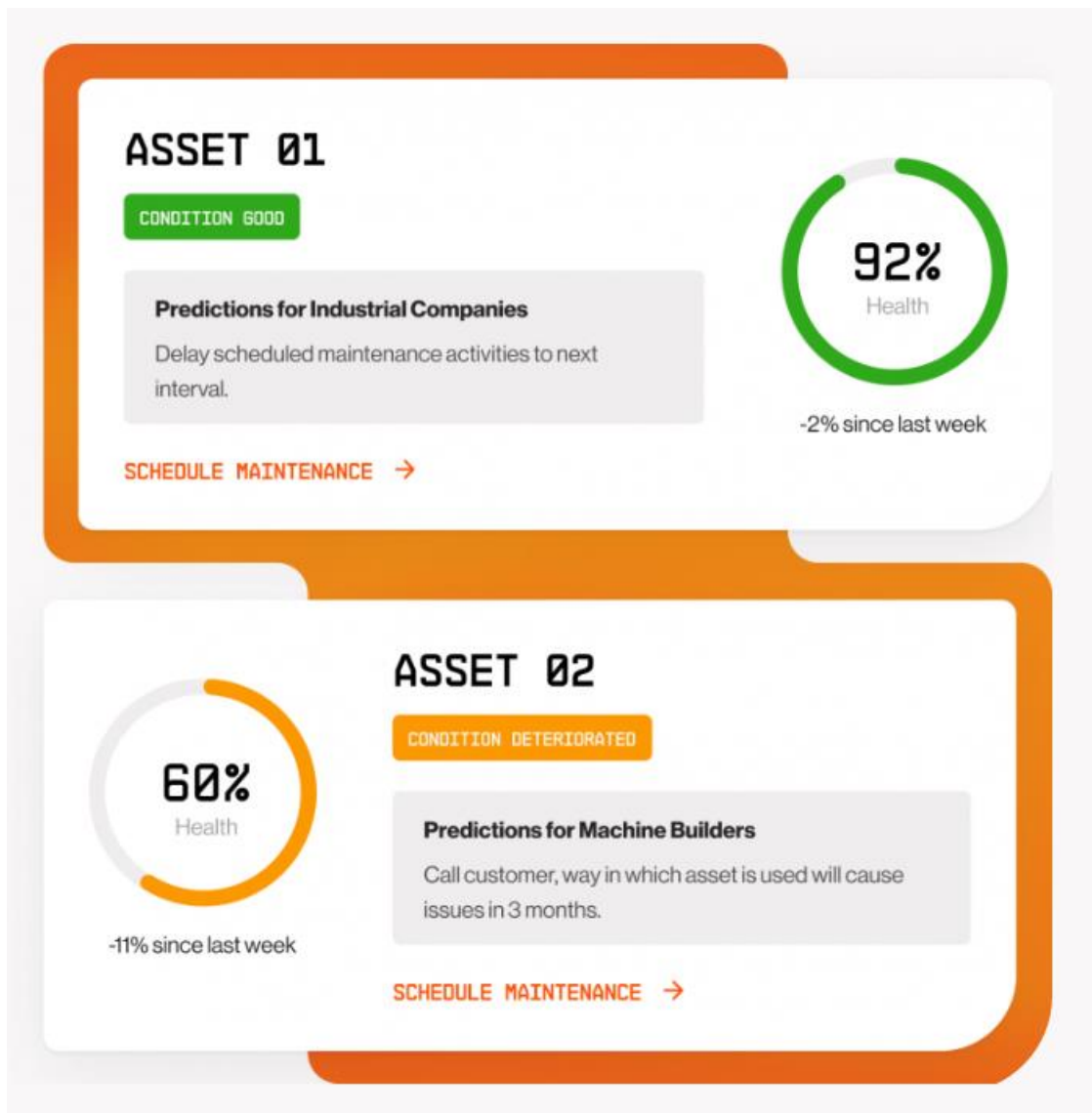


Joonis 17. Ureason ühenduste võimalused. [19]

Töötlemise reeglid aitavad teha arvutusi, teha otsuseid, värskendada muutujaid, kuulata hoiatusi ja palju muud. Töötlemise reeglid võimaldavad saada rohkem teadmisi masina andmetest. Rakendusse saab integreerida eelnevalt õpetatud mudeleid, nagu skriptid ja masinõppe mudelid.[19]

Sõltuvalt vajadustest pakub Ureason rakendusi erinevaid väljundeid:

- Juhtpaneelid aitavad jälgida KPI-sid, vara omaduste väärtusi, hoiatusi ja jälgida protsesside ja varade tervist, kõik reaajas, kasutades konfigureeritavaid ja interaktiivseid graafilisi komponente. Ureason juhtpaneelid on kõrgelt konfigureeritavad ja kohaldatavad, et täita konkreetseid teabe vajadusi. Juhtpaneelid võimaldavad luua ekraane lõppkasutajatele, pakkudes ülevaadet jõudluse jälgimiseks. [19]
- Ureason rakendustes saab luua reaajas hoiatusi. Need kiired teavitused saab kasutada hooldus personalile hoiatamiseks ja teabe kiireks liikumiseks. Uued hoiatused saab genereerida reeglite ja avaldiste põhjal. Nende tulemusi saab kasutada Ureason loogikas hooldusvoogu optimeerimiseks. Hoiatused saab kuvada lõppkasutajale sisseehitatud hoiatuste ülevaate kaudu (Joonis 18). [19]

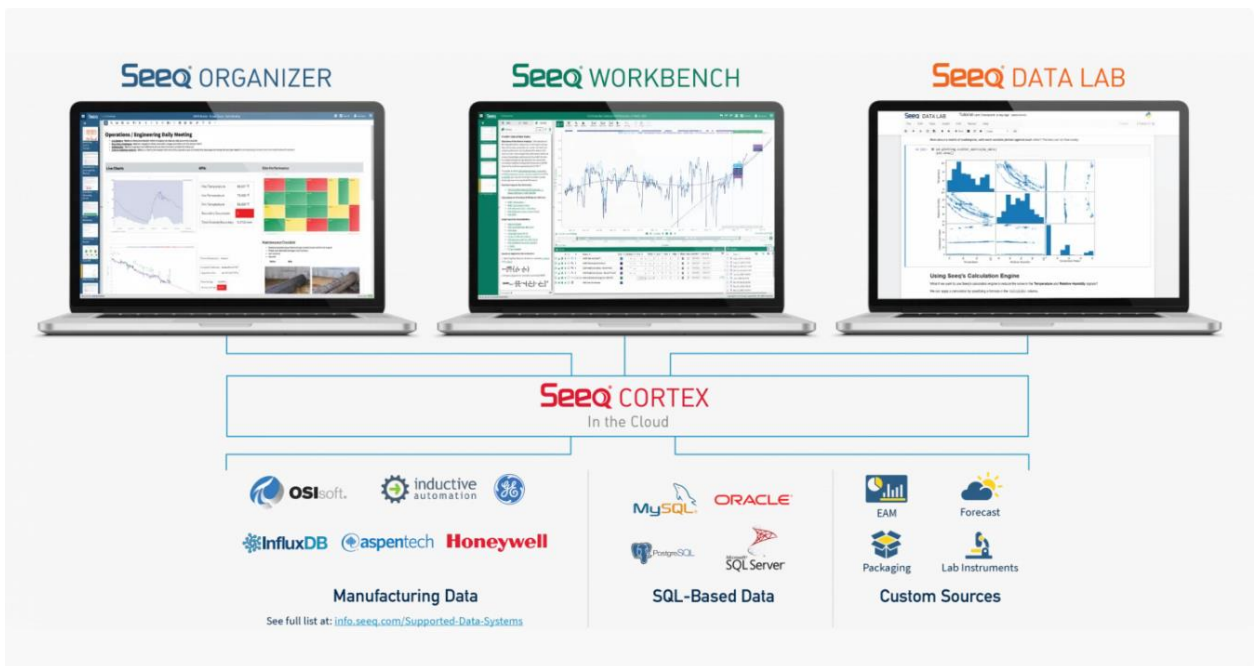


Joonis 18. Ureason rakenduse analüüsi põhjal saab luua töökorralduse koos selgitusega [19]

#### 2.2.4 SeeQ

SeeQ võimaldab otsida andmeid, lisada konteksti, puhastada, modelleerida, leida mustreid, määrata piiranguid, jälgida varasid, teha reaalajas koostööd. Olenemata sellest, milline on protsessi ajalooarhiiv või operatiivsete andmete süsteem, saab SeeQ sellega ühenduse luua (Joonis 19).[20]





Joonis 19. SeeQ Infrastruktuur. [21]

SeeQ kujutab endast järgmiste rakenduste kogumi:

- SeeQ Workbench on brauseri põhine rakendus, mis võimaldab uurida ja saada sisendit protsessiandmetest. SeeQ Workbench võimaldab avastada ja visualiseerida ajareasolutsiooniga andmeid, talletada teadmisi ning kasutada lihtsasti kasutatavaid tööriistapaneele, mis hõlmavad tavapäraseid analüütikafunktsioone, nagu signaalide otsimine, andmete puhastamine, piirangute määratlemine ja ennustav analüüs (Joonis 20). [21]

### Application

- Browser-based application
- Google-like search
- Tools for common functions
- Save and collaborate

### Time Series Analytics

- Diagnostics analytics
- Monitoring and alerts
- Predictive analytics

## SeeQ WORKBENCH

### Visualizations

- Advanced trending
- Bar charts and tables
- Scatterplots
- Treemaps

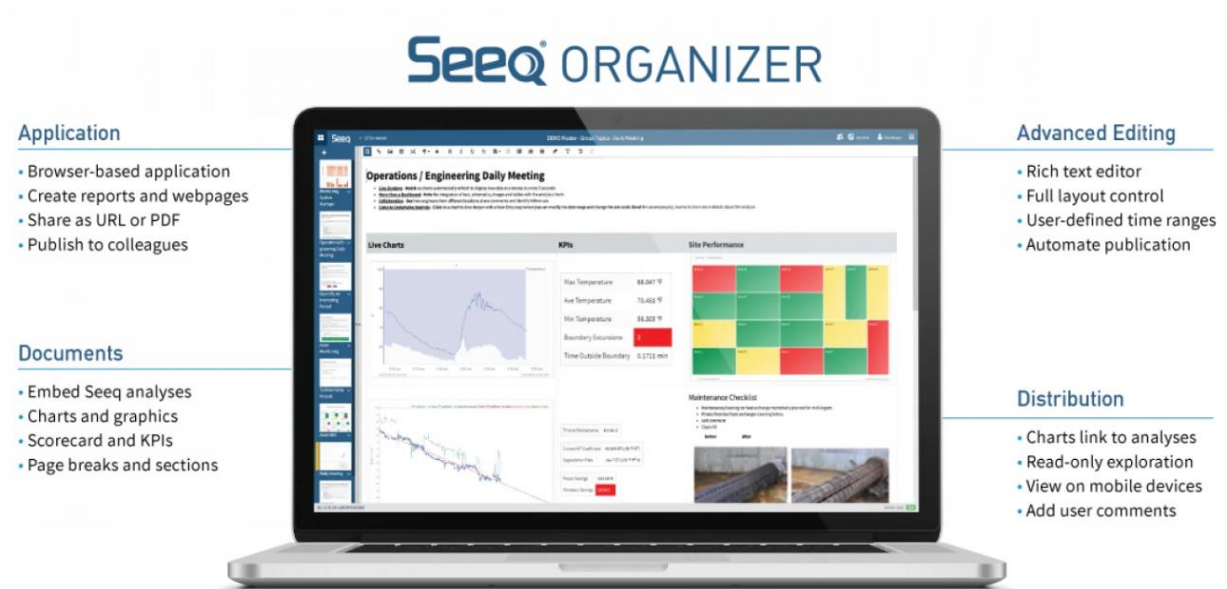
### Advanced Analytics

- Data cleansing
- Pattern recognition
- Scalable calculations
- Machine learning

Joonis 20. SeeQ Workbench [22]

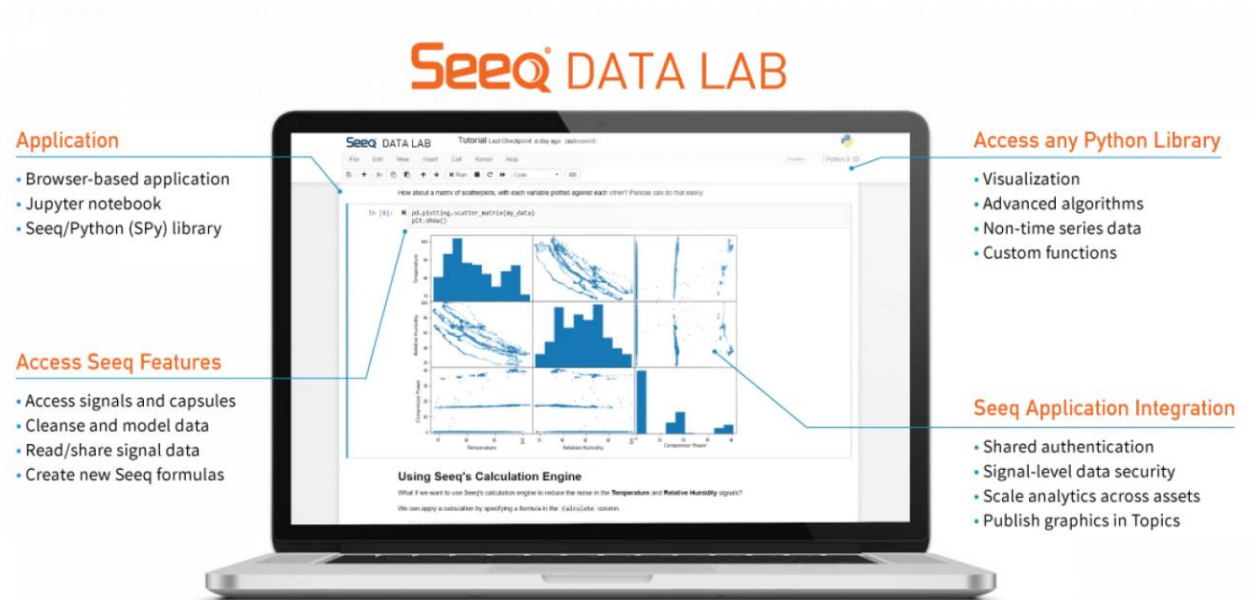


- SeeQ Organizer on brauseri põhine rakendus, mis võimaldab analüüse ja visualiseeringuid koguda aruannetesse, esitlustesse ja koosolekute päevakordadesse ning loodud dokumente saab vaadata ainult lugemise režiimis. Organizeri paneelid on dünaamilised, kuna need on otseselt seotud aluseks olevate andmetega ning need on ajaliselt seotud, mis võimaldab neid defineerida vastavalt partii, vahetuse, päeva jne järgi (Joonis 21). [21]



Joonis 21. SeeQ Organizer [23]

- SeeQ Data Lab põhineb Jupyter Notebook'idel ja SeeQ Pythoni teegil nimega SPy, mis võimaldab protsessi inseneridel oma SeeQ analüütikat laiendada Pythoni masinõppe, graafika ja ajastamise teekide ning andme teadlastel pääseda juurde SeeQ funktsionaalsusele andmeühenduse, puhastamise, modelleerimise ja muude funktsioonide jaoks (Joonis 22). [21]



Joonis 22. SeeQ Data Lab [24]

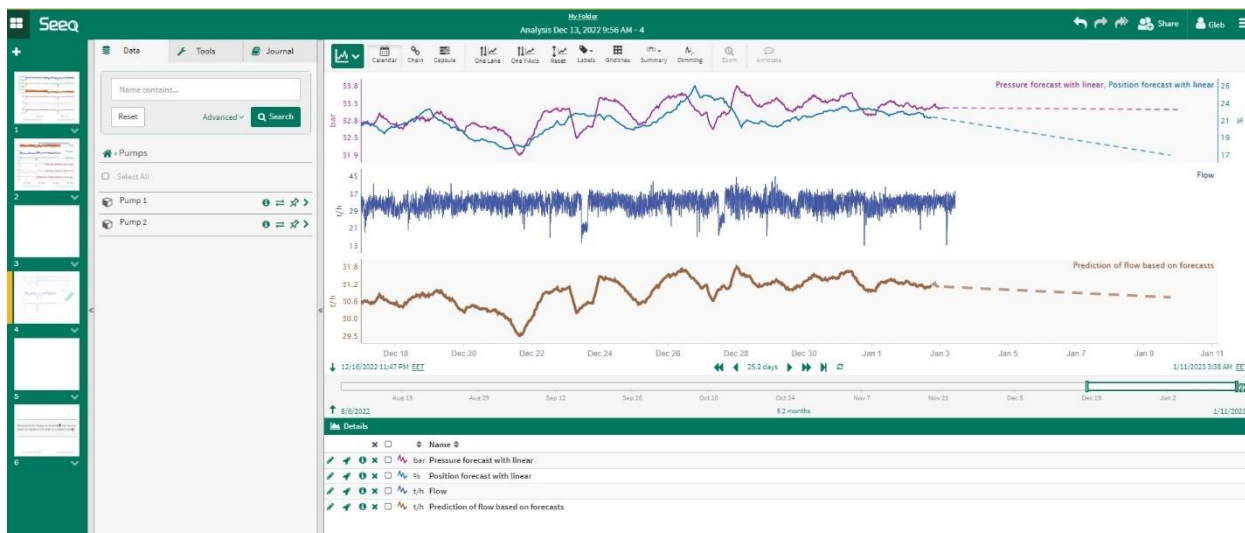
- SeeQ Cortex on SeeQ Workbench'i, Organizeri ja Data Labi rakenduse tagaosaks ning see toimib kõige paremini (toe, kasutajakogemuse ja hinnakujunduse seisukohast) SaaS (Tarkvara kui Teenus) rakendusena Amazon Web Services (AWS) või Microsoft Azure'is. SeeQ Cortex on ka Seeq IT-tugiteenuste keskuseks andmete, turvalisuse, kasutaja halduse ja muude funktsioonide osas. [21]

Kasutajad saavad SeeQ Workbench'i kohandada "Lisandmoodulite" abil, et pääseda juurde kohandatud tööriistadele, kuva paneelidele ja funktsioonidele ning SeeQ toetab juurdepääsu Pythoni teekidele Data Labis. Kogu Seeq funktsionaalsus on kättesaadav REST API kaudu, millel on SDK-d C#, Python, MatLab ja Java ja andme eksportimisvõimalused hõlmavad Excelit, PowerPointi ning OData klienti (Tableau, PowerBI jne). [21]

### 2.2.5 Tööriista valimine

Projekti alguses tehti lühikesed pilootprojektid kõikides eespool nimetatud tarkvarades, eesmärgiga mõista, milline tarkvara sobib kõige paremini projekti läbiviimiseks.

Pilootprojekti raames kasutati VKG Energia tehnoloogias kasutatavaid pumpe. Lisaks olemasolevatele anduritele paigaldati pumpadele täiendavad andurid, mis kasutavad MQTT protokolliga andmete edastamiseks. Esimeses etapis tehti analüüsid kõikides tarkvarades, et mõista, kuidas pumpad praegu töötavad, ning kas on võimalik nende tööd optimeerida. Selgus, et rõhu taset saab muuta, muutmata samas pumpade tööd, kuid see vähendab pumpade elektrienergia tarbimist. Inseneride ja operaatoritega koos viidi läbi katsed, kus katsetati erinevaid pumpade töörežiime. Pärast seda saadud andmed analüüsiti valitud tarkvarades (Joonis 23).



Joonis 23. Näide piloot projektist SeeQ baasil

Tööriistade võrdlemiseks koostati tabel, kus olid järgmised hindamiskriteeriumid (Tabel 1):

- Hind: Ärisaladuse tõttu ei saa lõputöö autor siin konkreetseid summasid nimetada, kuid 1 punkti sai kõige soodsam hind ja 4 punkti sai kõige kallim hind.
- Kasutajasõbralikkus: 1 punkti sai tööriist, mida VKG kasutajad tunnustasid kõige mugavamana, ja 4 punkti sai tööriist, mille kasutusele võtmisel on vaja kõige rohkem juurde õppida.
- Liidestamis võimalused: 1 punkti sai tööriist, mis on kõige mugavam liidestamise poole pealt ja saab liidestada kõikide teiste kontsernis olevate süsteemidega ning andmebaasidega.
- Aeg: 1 punkti sai tööriist, mille integreerimine olemasolevatesse süsteemidesse võtab kõige vähem aega.
- Funktsionaalsus: 1 punkti sai tööriist, mis pakub kõige laiemat funktsionaalsust, ja 4 punkti sai tööriist, mis pakub kõige nõrgemat funktsionaalsust.
- Tugi: 1 punkti sai tööriist, mille kompetents on olemas kontsernis või mille tugi on kõige kiiremini kättesaadav ja mugavam kasutada, ning 4 punkti sai tööriist, mille tugi oli tagasihoidlik ja abi saamiseks oli vaja palju aega kulutada. punkti sai tööriist,

Tabel 1. Tööriistade võrdlus

|                     | SeeQ | Wedge | Ureason | PI System |
|---------------------|------|-------|---------|-----------|
| Hind                | 2    | 3     | 4       | 1         |
| Kasutaja sõbralikus | 2    | 4     | 3       | 1         |

|                        |   |   |   |   |
|------------------------|---|---|---|---|
| Liidestamis võimalused | 2 | 4 | 3 | 1 |
| Aeg                    | 2 | 3 | 4 | 1 |
| Funktsionaalsus        | 1 | 2 | 4 | 3 |
| Tugi                   | 3 | 4 | 2 | 1 |

Tulemusena oli valitud PI System, mille peamised eelised on eelnev kasutamine kontsernis, mis tähendab, et süsteemi liidestamisel ei teki lisakulusid ja säilib aeg. Siiski on PI System'i suurem nõrkus funktsionaalsuses. See tähendab, et antud tööriist saab küll katta kõik hetkel olevad vajadused, kuid tuleviku perspektiivis peavad spetsialistid läbi mõtlema, kuidas tuua süsteemi lisa funktsionaalsusi – kas arendada neid ise või tellida lisaarendusi välispartneritelt.

Teises kohas jäeti SeeQ, mille eeliseks on väga lai funktsionaalsus, võimaldades teha kõikvõimalikke andmeteanduse ja masinõppe projekte. Kuid SeeQ kaotab PI System'i ressursi poole pealt – nõuab märkimisväärseid investeeringuid nii rahaliselt kui ka tööaja mõttes. Lisaks ei olnud SeeQ tugi kõige parem ja kiirem.

Wedge on hea tööriist, kuid ei sobinud antud projekti läbiviimiseks, kuna mitte-IT inimestele on seda väga raske kasutada ja ilma toeta ning lisakoolituseta on Wedge'i kasutamine võimatu.

Ureason oli vale valik, kuna põhifunktsionaalsus on suunatud pigem töökorralduste automatiseerimisele, mis ei olnud projekti peaesmärkides. Samas kasutajad kinnitasid, et Ureasoni tugi reageerib kohaselt ja dokumentatsioon on väga hästi kirjutatud.

### **2.3. Arendusprotsess**

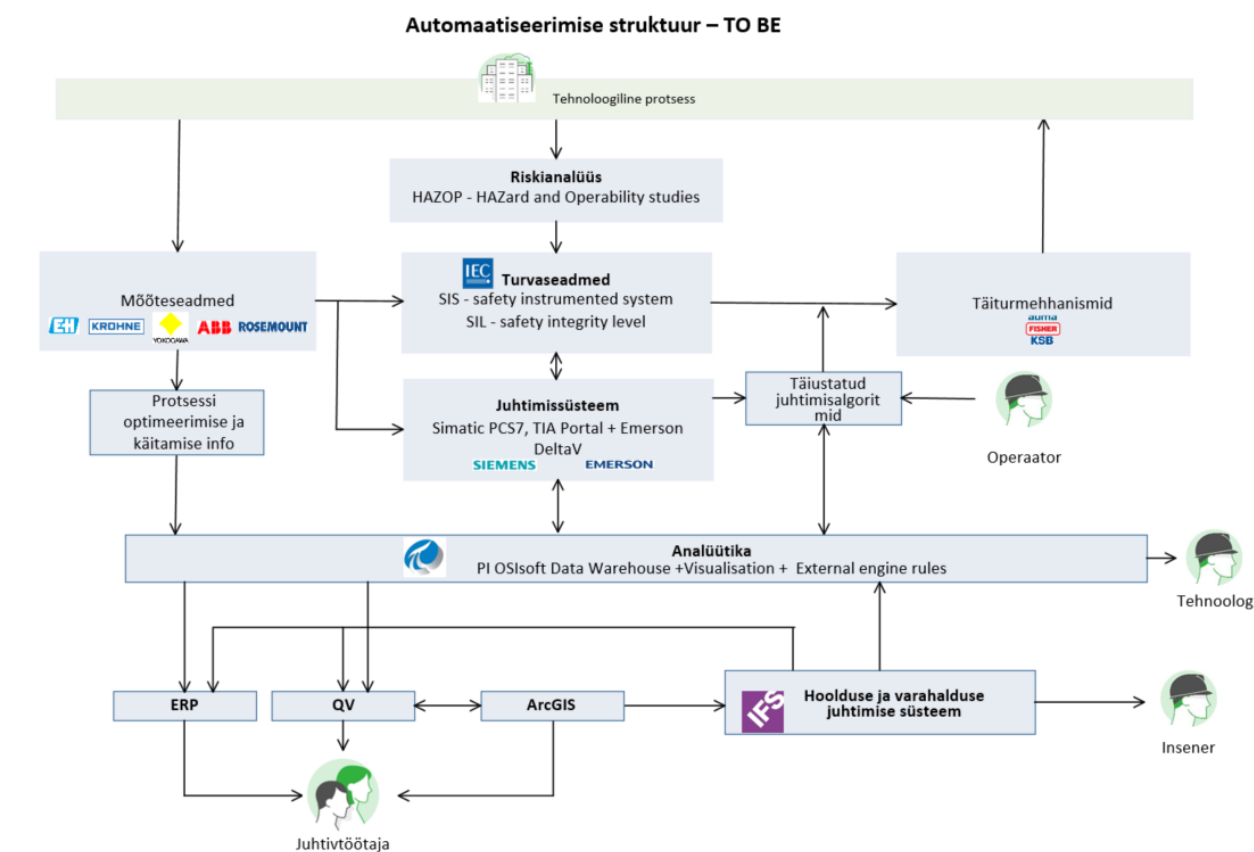
Enne arendusprotsessi algust oli vaja mõelda välja uus automatiseerimisestruktuur, kuna vana struktuur ei võimaldanud seatud eesmärke täita. Uues automatiseerimisestruktuuris (Joonis 24) on näha, et esimese sammuna tehnoloogilises protsessis tuleb läbi viia riskianalüüsid, et mõista, millised protsessid vajavad muutmist ja optimeerimist eelisjärjekorras.

Uues struktuuris on turvaseadmed hoolikalt kaalutud, võimaldades rikke, inimvea või avarii korral ohutult peatada tootmisprotsessid. Juhtimissüsteemi tasemel on lisatud võimalus kasutada täiustatud juhtimisalgoritme, mis tähendab, et loodava monitooringüsteemi abil saadud andmed

ja tulemused saab algoritmidega integreerida juhtimissüsteemidesse. See vähendab operaatorite sekkumist protsessi ja vähendab inimvea tekkimise võimalust.

Mõõteseadmete osas on tekkimas võimalus saada osa andmeid otse monitooringsüsteemi (pilootprojekti oli see tehtud MQTT protokolliga abil uutes andurites). Need andurid on võimalik kasutada projektipõhiselt ja saab muuta nende asukoht erinevate seadmete vahel. Uus monitooringsüsteem peab võimaldama tehnoloogidel läbi viia kõik vajalikud analüüsid, katsetada erinevaid algoritme ning koostöös IT- ja automaatika valdkonna spetsialistidega vajadusel täiendada SCADA süsteemide algoritme.

Tuleviku perspektiivis peab hoolduse ja varahalduse juhtimissüsteem olema integreeritud monitooringsüsteemiga ning automaatselt genereerima töökorraldusi inseneridele ja mehaanikutele. Lisaks sellele muutub PI System tootmisandmete andmelaoks, mille andmeid saavad kasutada teised kontsernis olevad infosüsteemid. See aitab juhtivkoosseisul kujundada paremat ülevaadet.



Joonis 24. Uus automatiseerimise struktuur

Peale tuleviku süsteemi kaardistamist olid pandud järgmised peamised eesmärgid:

- Kasutatavad mõõteseadmed, täiturseadmed, kontrollid ja SCADAd on standardiseeritud ning selle kohta on olemas juhenddokumentatsioon kasutamiseks üle kontserni
- Seadmete efektiivse töö ja hoolduse vajaduse diagnostikaks kasutatakse PI Systemiga ning IFSga integreeritud programme
- Protsessi analüüsiks kasutatakse spetsiaalseid analüüsi tööriistu

Autori eest olid püstitatud järgmised eesmärgid:

- Muuta olemasolev monitooringu süsteem kasutajasõbralikuks
- Võimaldada lõppkasutajatele töötada andmetega iseseisvalt
- Luua süsteem, mida on võimalik skaleerida tervele kontsernile

Protsessi inseneridelt oli saadud põhiparameetrid, mis peavad olla uues monitooringu süsteemis.

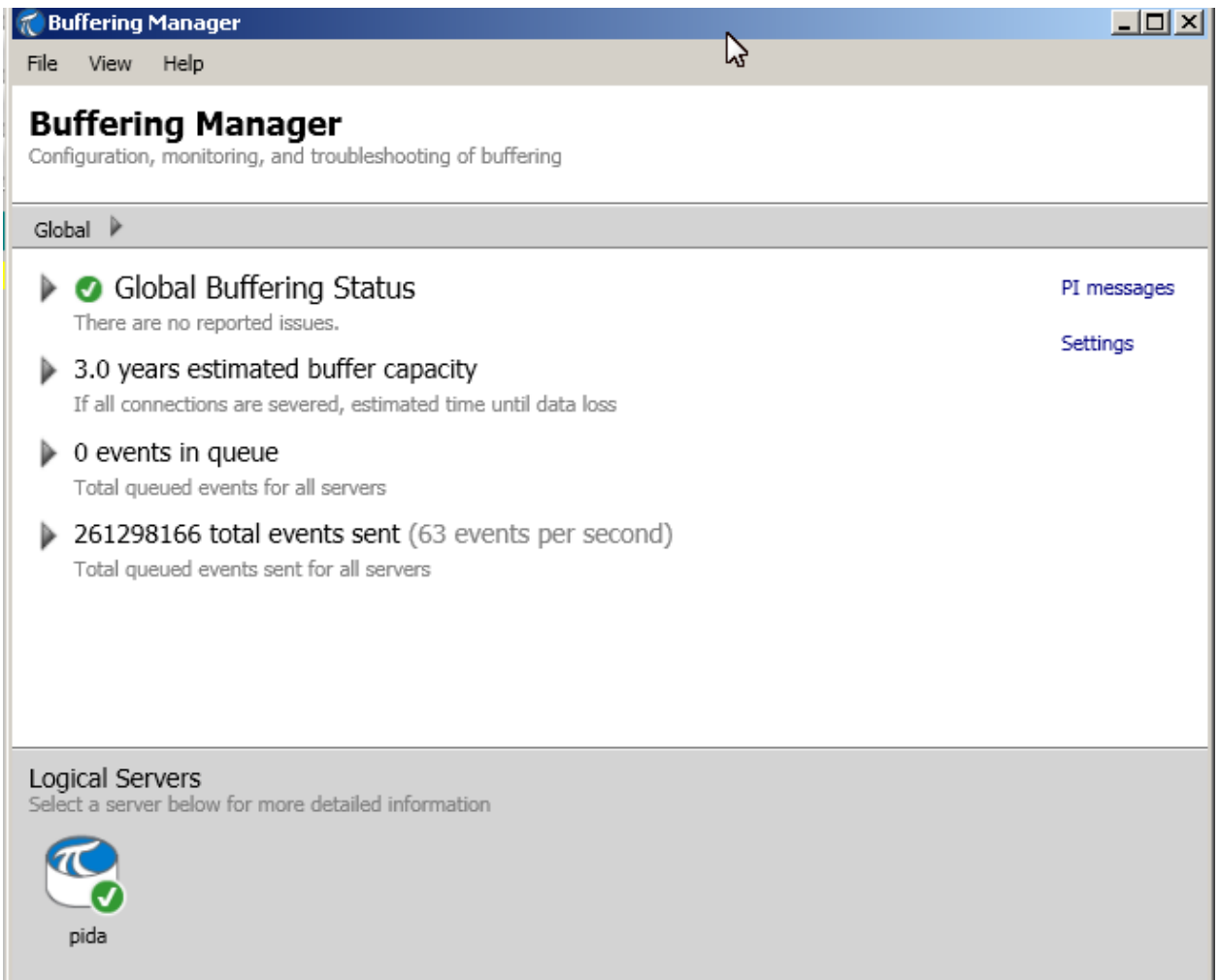
Need on:

- Rõhud
- Voolud
- Vibratsioonid
- Vee tasemed
- Ventiiilide avamise protsent
- Tihedus
- Võimsus
- Seadme tööaeg

Esimene probleem seisnes andmetes – kuidas tõsta andmete kvaliteedi ja lisada süsteemi vajalikud, aga puuduvad andmed.

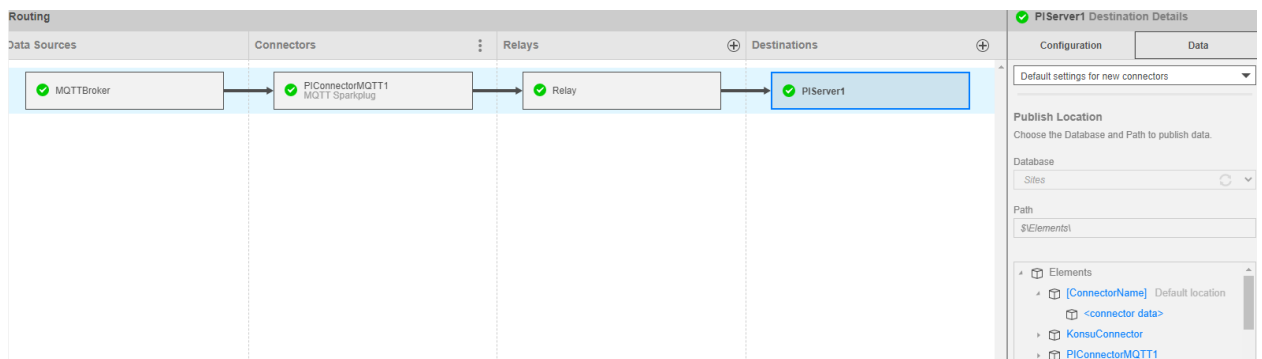
VKG Energia ja VKG OIL operaatorite pultides juba eksisteerisid SCADA süsteemid vajalike andmetega ja tekkis vajadus saada need andmed PI Systemisse. Kuna PI System võimaldab saada andmed SCADAst läbi OPC serveri kasutades liidese, oli vaja teha koostööd automaatika inseneridega ja võrguspetsialistidega, et paigaldada liidesed ja saada andmed PI Serverisse.

Liideste konfigureerimisel oli pööratud suurt tähelepanu andmete korrektsusele. Kogemuse järgi oli otsustatud, et andmete salvestamise vahe 5 sekundit on täiesti piisav, kuna lühema perioodi jooksul võivad tekkida vigased andmed. Samuti liideste paigaldamisel oli rakendatud ka puhverdamist (Joonis 25), mis tagab seda, et side katkestamisel andmed ei kao, vaid salvestatakse kohapeal ja side taastamisel terve andmete pakett jõuab PI serverisse.



Joonis 25. Bufferingu seadistamine.

Kuna olemasolevates SCADA süsteemides puudus osa vajalikest andmetest oli otsustatud koostöös automaatikainseneridega saada andmed uutest anduritest kasutades MQTT protokoll (Joonis 26).



Joonis 26. MQTT protokollini konfigureerimine.

Andmete struktureerimiseks oli kasutatud PI Asset Framework (PI AF) (Joonis 27).

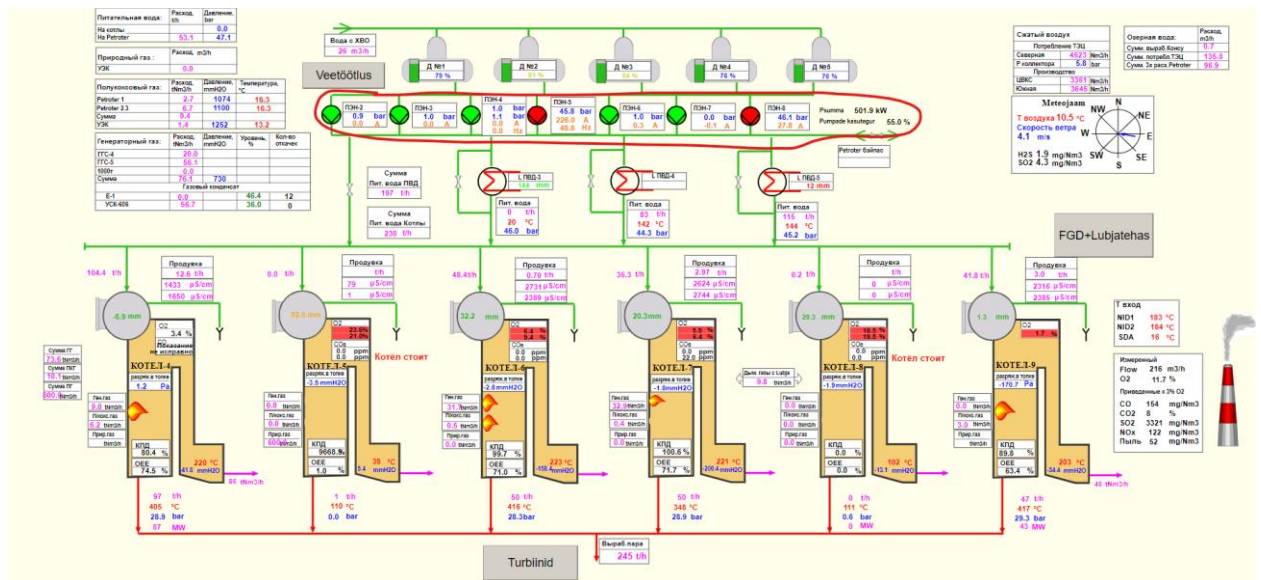
| Filter                              | Name                        | Value   |
|-------------------------------------|-----------------------------|---|
| Category: <None>                    |                             |   |
| <input type="checkbox"/>            | Active power %              | Excluded  |
| <input type="checkbox"/>            | Active power in kW          | Excluded  |
| <input type="checkbox"/>            | Motor current               | 125,3   |
| <input type="checkbox"/>            | Motor current 0.1 A         | Excluded  |
| <input type="checkbox"/>            | Motor power                 | 66,75   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Motor power %               | 89  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Motor power kW              | 68,25   |
| <input type="checkbox"/>            | Motor torque %              | Excluded  |
| <input type="checkbox"/>            | Output frequency            | 48,2  |
| <input type="checkbox"/>            | Output speed                | 1446  |
| <input type="checkbox"/>            | Power consumed by the drive | 6,9   |
| <input type="checkbox"/>            | Power consumption           | Excluded  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Status                      | PI Point not found 'PIConnectorMQTT1.MQTTBroker/spBv1.0/IOT205... |
| <input type="checkbox"/>            | Total drive operating time  | 49240   |
| <input type="checkbox"/>            | Total motor operating time  | 1446  |

Joonis 27. MQTT protokolliga saadud andmete struktuur.

Peale andmete kogumise protsessi oli alustatud visualiseerimise akna loomise protsess.

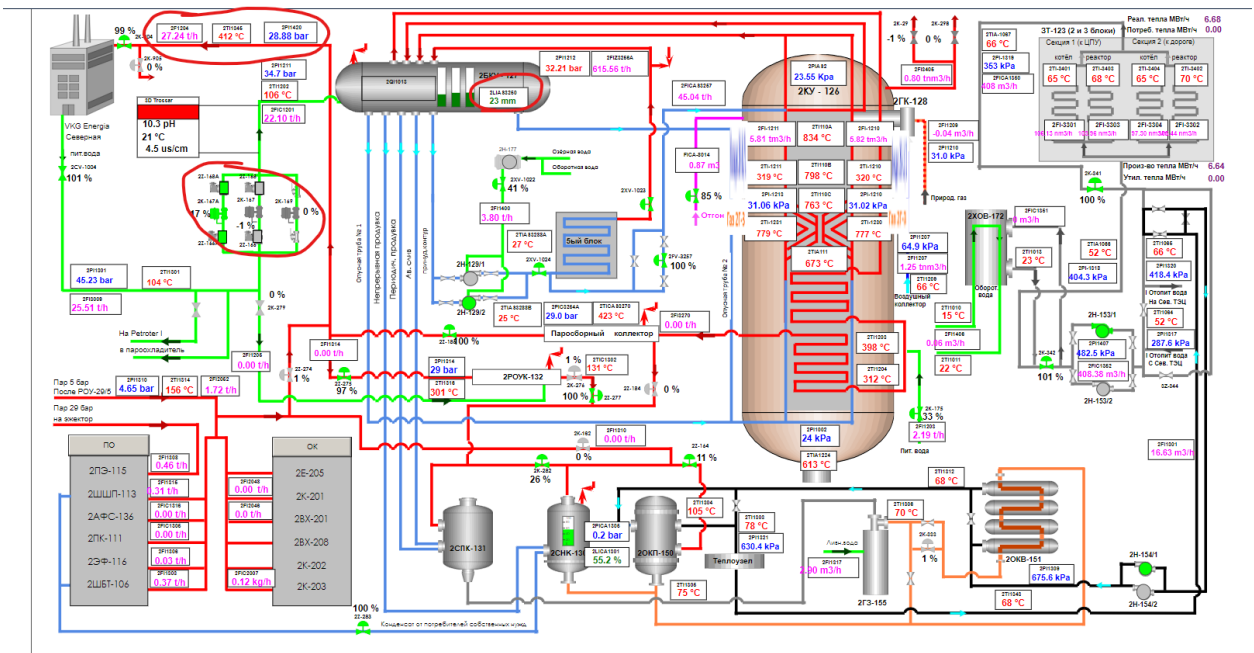
Olemasolevas süsteemis olid järgmised peamised puudused (Joonis 28, Joonis 29):

- Info skeemidel oli liiga üldine
- Info skeemidel on üleliigne, kui vaadelda ainult vajalikud protsessid ja seadmed
- Info tihti asub skeemidel laiali ja kui kasutajal on vaja analüüsida konkreetset protsessi, ta ei sa koordineeritult seda teha
- Kasutajate võimalus koostada aruandeid ja graafikuid enda jaoks on piiratud
- Kasutajad ei saa vajalikku informatsiooni kohe analüüsida



Joonis 28. Olemasolev VKG Energia monitoringu süsteem.



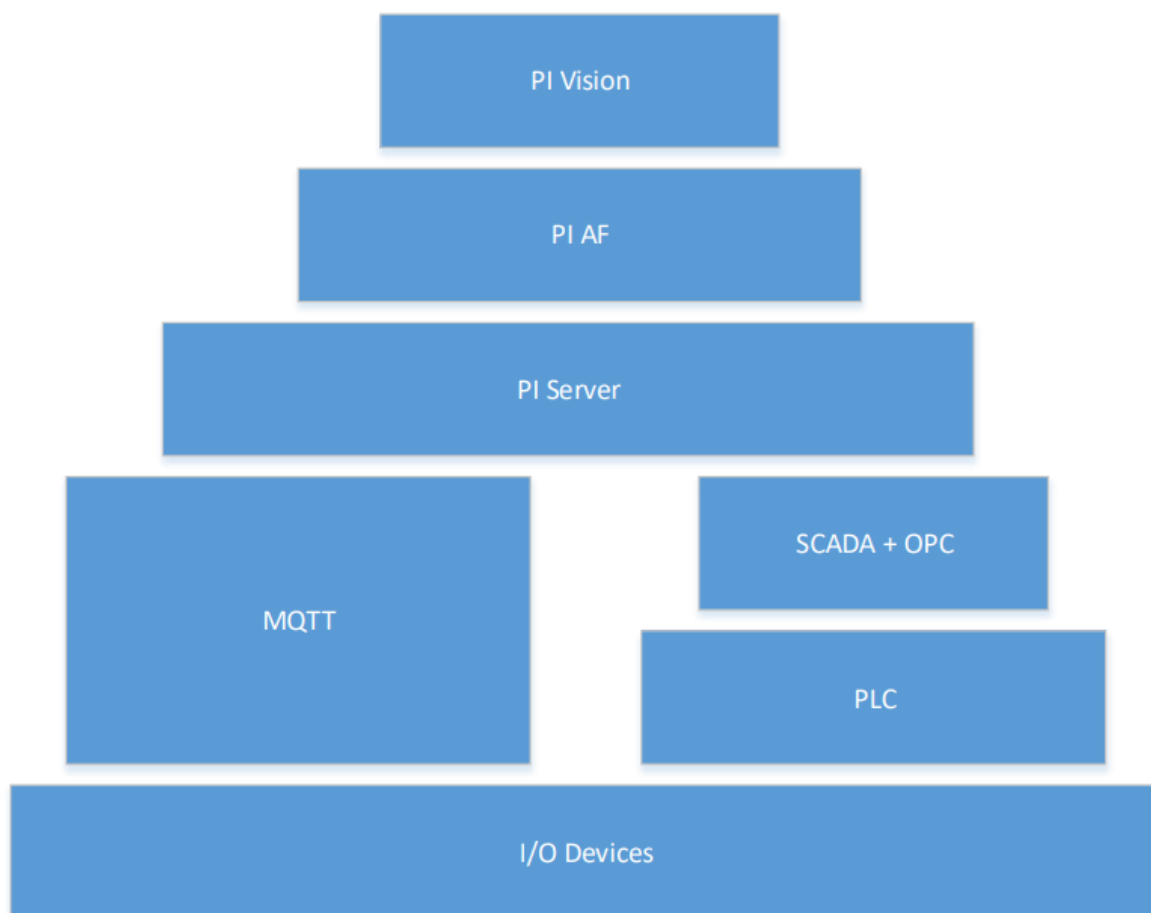


Joonis 29. Olemasolev VKG OILi monitooringu süsteem.

Peale kasutajate soovide saamist autor alustas uue monitooringu skeemi loomist, kuna projekti põhi objektiks on pumbad, autor alustas tööd just nendega.

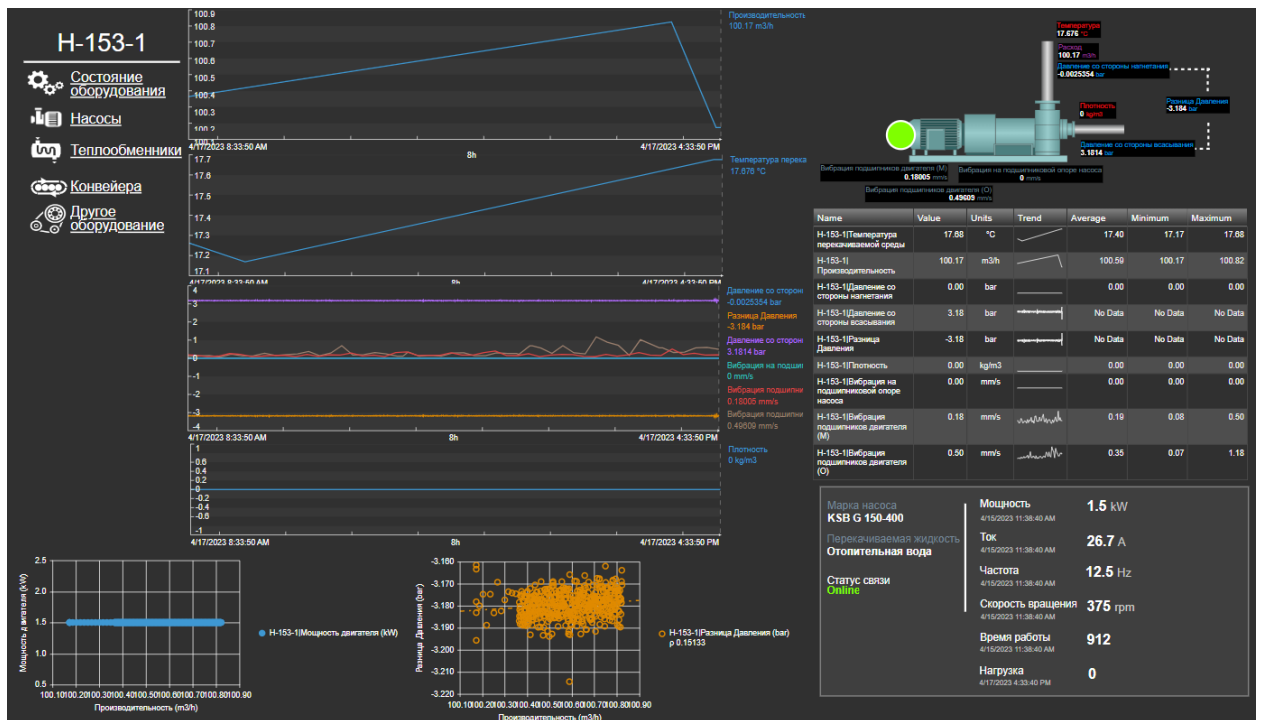
### 3. TULEMUSED

Oma töö struktureerimiseks koostas autor andmete saamise, arhiveerimise, töötlemise ja visualiseerimise skeemi (Joonis 30). See võimaldas visuaalselt ja mugavalt dokumenteerida oma tööd ning võimaldas kolleegidel mõista, kuidas kogu protsess toimub.



*Joonis 30. Andmete saamise, arhiveerimise, töötlemise ja visualiseerimise skeem*

Pärast vajalike akende loomist (Joonis 31) alustati katseperioodi. Katsetused viidi läbi VKG Energia pumpades, mis pumpavad vett VKG OILi ja VKG Energia vahel, eesmärgiga uurida, kas on võimalik optimeerida elektrienergia kulusid.

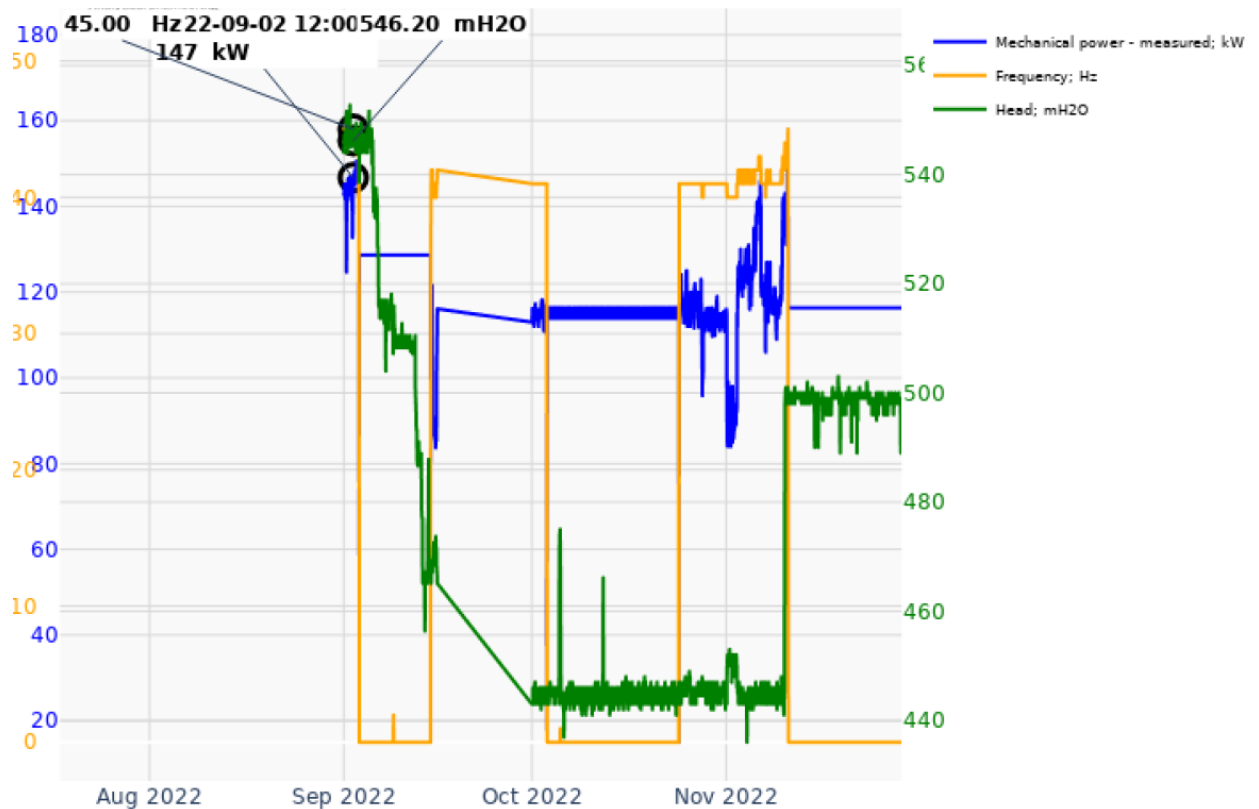


Joonis 31. Loodud monitoringu aken pumba jaoks.

Tootmisprotsesside osalejad katsetasid puumasid erinevates režiimides kolme kuu jooksul, ja kogu info oli kogutud PI System'i. Pärast katsetamisperioodi lõppu alustati andmete ettevalmistamist järgnevaks analüüsiks. Andmed saadi PI Serverist, kasutades PI DataLink'i, mis võimaldas katsetada erinevaid ajapiire. Lõpptulemusena, pärast katseid ja isikliku kogemuse arvesse võtmist, koguti andmed ajavahemikus 01.09.2022 kuni 01.12.2022 minutipõhise sammuga. Kogu andmemaht oli 13 tundi ja 786601 objekti.

Andmete analüüs viidi läbi Python Jupyter keskkonnas, mis võimaldab kasutada kõiki Python programmeerimiskeele raamistikke andmete analüüsimiseks. Lisaks võimaldab see andmeid kiiresti visualiseerida, näiteks graafikute abil.

Andmete uurimise käigus selgus, et langetades rõhku pumpades 45 mmH<sub>2</sub>O-lt 32 mmH<sub>2</sub>O-le, sagedus ei muutu ja protsessi see ei mõjuta. Samas väheneb elektrienergia tarbimine 30 kW võrra, langedes 147 kW-lt 117 kW-le (Joonis 32). See tagab elektrienergia kokkuhoiu keskmises hinnas 18,38 senti/kWh[25] ehk umbes 4000 eurot kuus. Kuna selliseid pumpasid on kontsernis seitse, tähendab see kokkuhoiu umbes 28 000 eurot kuus ja 336 000 eurot aastas



Joonis 32. Rõhu langetamine ja elektrienergia tarbimise muutmine sageduse muutmata.

Tootmisprotsessis on ammu tekkinud probleem, et pumba reguleerimisel operaatori poolt ei pruugi vesi alati olla piisav protsessi jaoks. See omakorda teeb protsessi terviklikkuse kriitiliseks, kuna kui operaator ei märka antud probleemi õigeaegselt, võivad erinevad seadmed rikkuda. Hooldus- ja remonditööd võivad terve protsessi peatada ja nõuda täiendavaid investeeringuid.

Samadest andmetest läbi viidi analüüs Python Jupyter abil, kuidas protsessiandmed korreleeruvad veetasemega (Joonis 33). Lineaarse regressiooni abil saadi algoritm, mis ei ole väga täpne ega võimalda täpset veetaseme väärtuse ennustamist lähitulevikus. Siiski võimaldab saadud algoritm prognoosida, kas veetase tõuseb või langeb lähitulevikus.

Lineaarse regressiooni valem:

$$Y = X\beta + \varepsilon = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \dots + \beta_nX_n + \varepsilon$$

, kus

Y – sõltuv muutuja

X – sõltumatu muutuja

$\beta$  - tundmatu parameeter

$\beta_0$  – konstant

n – parameetrite arv

$\Sigma$  - mudeli viga

```
In [25]: model = LinearRegression()  
         model.fit(X_train, y_train)
```

```
Out[25]: LinearRegression()
```

```
In [26]: model.score(X_train, y_train)
```

```
Out[26]: 0.25355729572452046
```

```
In [27]: model.score(X_test, y_test)
```

```
Out[27]: 0.25468151384192317
```

```
In [28]: model.intercept_
```

```
Out[28]: 68.3095697606248
```

```
In [29]: model.coef_
```

```
Out[29]: array([ 0.13929462, 14.23015147,  0.68051519, -1.08740971,  
                -1.0419492, -0.29180611, -1.60451475, -13.99193437,  
                0.58733857, -13.989534  ])
```

```
In [30]: y_pred = model.predict(X_test)
```

```
In [32]: pd.DataFrame({'2LIAS3250':y_test, '2LIAS3250_pred':y_pred}).head()
```

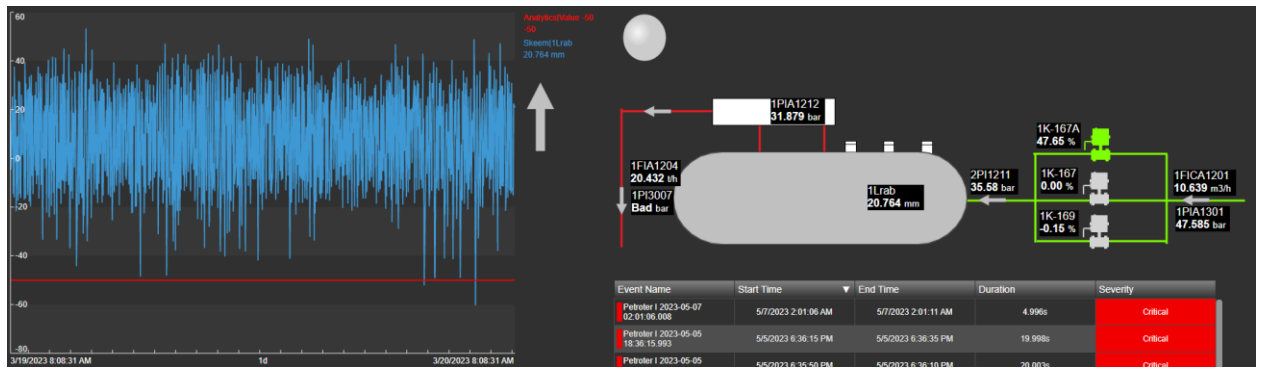
```
Out[32]:
```

|  | 2LIAS3250 | 2LIAS3250_pred |
|--|-----------|----------------|
|  | 6827      | 3.737558       |
|  | 310699    | 25.394407      |
|  | 591749    | 17.345018      |
|  | 437337    | 20.042852      |
|  | 739971    | 9.147209       |

Joonis 33. Python Jupyteris loodud lineaarse regressiooni mudel.

Pythonis saadud valemit kasutati PI AF-is algoritmi loomiseks, võimaldades ennustada, kuidas väärtus hakkab muutuma.

Saadud tulemusel visualiseeriti antud protsessi skeem, kust operaator saab jälgida, mis toimub protsessis praegu ja lähitulevikus (Joonis ). Antud protsessi monitooringu skeem aitab operaatoril teha otsuseid protsessi mõjutamiseks ning tagab kindluse plaaniväliste peatuste ja remonditööde osas.



Joonis 34. Visualisatsioon, mis annab operaatorile protsessi ülevaade.

## **4. ANALÜÜS JA JÄRELDUSED**

### **4.1. Tulemused**

Autori eesmärgiks projekti alguses oli luua ettevõtte jaoks üldine pumpade monitooringu süsteem, mis aitaks analüüsida pumpade tööd ja vähendada kulusid. Lisaks sellele olid seadistatud järgmised täiendavad eesmärgid:

- Muuta olemasolev monitooringu süsteem kasutajasõbralikuks.
- Võimaldada lõppkasutajatel iseseisvalt töötada andmetega.
- Luua süsteem, mida on võimalik laiendada tervele kontsernile.

Samuti tekkis töö käigus vajadus lahendada pikaajaline probleem, mis on seotud vee taseme kiire reguleerimisega, kust võivad tuleneda lisakulud ettevõttele.

Tulemusena on loodud pumpade monitooringu süsteem, mille tuumikus kasutatakse PI System tarkvara. See tarkvara kogub andmeid nii anduritest, juhtimissüsteemidest kui ka teistest infosüsteemidest. Loodud süsteem võimaldab andmeid visualiseerida monitooringu jaoks ning analüüsida neid. Analüüsi saavad teha kasutajad ilma IT teadmisteta. Lisaks on võimalus analüüsi käigus saadud andmeid kasutada algoritmide koostamisel, mis võimaldavad tööprotsesse optimeerida ja muuta need ohutumaks.

Loodud monitooringu süsteem juba näitas esimesed tulemused, mis aitab ettevõttele säästa aastas sajad tuhanded eurod nii elektrienergia tarbimise pealt kui ka planeerimata tootmisprotsesside peatamistest ja seadmete ebavajalikest remonditöödest ja hooldusest.

Süsteemi laiendamine tervele kontsernile ei ole keeruline. Baasfunktsionaalsus on juba kasutusel, ja täiendava monitooringu ning analüüsimise võimaluste lisamine sõltub inseneride ja juhtide vajadustest, olemasolevatest andmetest ning lisaandurite paigaldamise võimalustest.

Projekti käigus olid korraldatud ja läbiviidud koolitused ning olid koostatud juhendmaterjalid, et õpetada tootmisprotsessis töötajatele, kuidas kasutada monitooringu süsteemi.

### **4.2. Alternatiivid**

Alternatiivina võiks kasutada nii „metoodika“ lõikes toodud tarkvarasid (Wedge, Ureason, SeeQ) kui ka Grafana. Siiski pakub PI System mitmeid peamisi eeliseid:

- PI Systemi hind oli soodsam võrreldes teiste tarkvaradega.
- PI System tagab ka andmete arhiveerimise.
- PI System omab liideseid, mis võimaldavad otse saada andmeid tootmisprotsessist.

Võrreldes PI Systemiga tundis autor, et SeeQ pakub lihtsamat tarkvara analüüsi, mis ei nõua kasutajatelt sügavaid teadmisi. Autori hinnangul võib visualiseerimiseks kasutada ka Grafana tarkvara, kui ettevõtte majanduslik olukord ei võimalda „metoodika“ lõikes toodud tarkvarade kasutamist. Siiski tuleb Grafana puhul arvestada andmete saamise ja arhiveerimise võimalike probleemidega

Samas, kui keskendume mitte ainult tootmisandmetele, vaid haaramele kõik võimalikud andmed, mis tekivad ka teistes infosüsteemides, võiksime seda projekti vaadelda andmelao seisukohast. Sellisel juhul võiks kaaluda andmelao kasutusele võtmist. Näiteks Microsoft Azure'i toode Fabric pakub võimalust koguda andmeid ühte kohta, töödelda neid, luua vajalikud mudelid, jagada andmed erinevateks tasemeteks ning lõpuks visualiseerida andmed, kasutades BI tarkvara.

### **4.3. Edasised arendused**

Loodud monitooringusüsteemi on kindlasti võimalik edasi arendada. Peamised arenguperspektiivid hõlmavad järgmist:

- IFS-ga ühendamise eesmärgiga automatiseerida töökäskude loomine, tagamaks seadmete õigeaegne hooldus.
- Aruandluse loomine, kasutades kas iseseisvalt loodud tarkvara või BI tarkvara.
- Monitooringu laiendamine pumpadest ka teistele kontsernis olevatele pöörlevatele masinatele, näiteks konveierid, ventilaatorid ja teised.
- Loodud lineaarse regressiooni mudeli täiustamine, kas lisades teisi parameetreid või katsetades teisi algoritme



## 5. KOKKUVÕTE

Viru Keemia Grupi tehastes on üle 100 erinevaid pumpasid, mis tarbivad u 90% elektrienergiast ettevõttes. Samuti pumpasid kasutatakse tihti väga tähtsates ja ettevõtte jaoks kriitilistes kohtades, kus kogu aeg peab olema tagatud korralik monitooring pumpade töö üle.

Antud töö pidi lahendama järgmist probleemi – olemasolevad monitooringu süsteemid ei võimalda vaadelda ja uurida protsess osadena, vaid pakutavad ainult üldist pilti. Töö kirjutamise jooksul oli peetud palju koosolekuid ja koostatud palju esialgseid variante visualisatsioonidest, et kõikide protsessis osalejatele alatest operaatoritest ja lõpetades VKG juhtkonnaga, oleks mugav ja kasulik uut monitooringu süsteemi kasutada.

Selleks, et lahendada probleemi, töö autor vaatles nii erinevaid artikleid, et aru saada, mis on juba maailmas tehtud, et vaadelda ja analüüsida tootmisprotsesse, kui ka ise katsetas ja viis läbi pilootprojektid erinevate tööriistade abil (Wedge, Ureason, SeeQ, PI System), eesmärgiga valida kõige sobilikum kontserni jaoks.

Töö tulemusena on loodud uus monitooringu süsteem. Loodud süsteem on juba kasutusel VKG kontserni tütarettevõtetes. Süsteem aitab operaatoritel ja protsesside inseneridel analüüsida tootmisprotsessi ja leida võimalused, kuidas muuta protsessid efektiivsemaks. Esimesed tulemused juba on olemas:

1. Süsteem aitab säästa päris suure summa pumpade elektrienergia tarbimisest
2. Süsteem tagab operaatorile otsustamise aega, et tootmisprotsess oleks sujuv

Antud töö arengu perspektiivid on:

- Varahaldus süsteemiga ühendamine;
- Aruandluse automatiseerimine ja digitaliseerimine;
- Uute seadmete lisamine.

# KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Viru Keemia Grupp. [Võrgumaterjal]. Leitav: <https://www.vkg.ee/> [Kasutatud 07.05.2023].
- [2] Viru Keemia Grupp. [Võrgumaterjal]. Leitav: <https://www.vkg.ee/tehnoloogia/> [Kasutatud 07.05.2023].
- [3] TRUNG NGUYEN, RAYMOND G. GOSINE, AND PETER WARRIAN „A Systematic Review of Big Data Analytics for Oil and Gas Industry 4.0“
- [4] Hesien Liu, Jiahui Guo, Wenpeng Yu, Lin Zhu, Yilu Liu, Tao Xia, Rui Sun, R. Matthew Gardner, „The Design and Implementation of the Enterprise Level Data Platform and Big Data Driven Applications and Analytics“
- [5] Evgeny Kharlamov; Francisco Martin-Recuerda; Brandon Perry; David Cameron; Roar Fjellheim; Arild Waaler „Towards Semantically Enhanced Digital Twins“
- [6] Artur Sagdatullin „Functioning and Development of a Real-Time Information System for the Oil Treatment Technological Process Control“
- [7] Agidens, Agidens as integrator of OSIsoft's PI System. [Võrgumaterjal]. <https://www.agidens.com/en-gb/markets/life-sciences/process-solutions-automation/automation/osisoft-pi-system-integrator> [Kasutatud 18.04.2023].
- [8] OSIsoft: Exception and Compression Quick Summary. [Võrgumaterjal]. <https://www.youtube.com/embed/6scv3oQ7Kk?wmode=transparent&ga=2.184321062.122055593.1683469518-1632767199.1677590248> [Kasutatud 18.04.2023].
- [9] AVEVA, PI Interface for OPC DA. [Võrgumaterjal]. <https://docs.aveva.com/en-US/bundle/pi-interface-for-opc-da/page/1011307.html#:~:text=PI%20Interface%20for%20OPC%20DA%20is%20an%20OSIsoft%20client%20application,Archive%20to%20the%20OPC%20server>. [Kasutatud 07.05.2023].
- [10] AVEVA, PI Interface for Universal File and Stream Loading UFL. [Võrgumaterjal]. <https://docs.aveva.com/bundle/pi-interface-for-universal-file-and-stream-loading-ufl/page/1012158.html> [Kasutatud 07.05.2023].
- [11] AVEVA, PI Adapter for MQTT. [Võrgumaterjal]. [https://docs.aveva.com/en-US/bundle/pi-adapter-mqtt/page/index.html#:~:text=PI%20Adapter%20for%20MQTT%20is,of%20Things%20\(IOT\)%20communication](https://docs.aveva.com/en-US/bundle/pi-adapter-mqtt/page/index.html#:~:text=PI%20Adapter%20for%20MQTT%20is,of%20Things%20(IOT)%20communication). [Kasutatud 07.05.2023].
- [12] AVEVA [Tehniline dokumentatsioon] „Building PI System Assets and Analytics with AF PI Server 2018 SP3 Patch 3“
- [13] Skylabs, PI Processbook To PI Vision Migration. [Võrgumaterjal]. <https://skylabs.incentrik.com/learning-center/pi-processbook-to-pi-vision-migration> [Kasutatud 18.04.2023].
- [14] Wedge. [Võrgumaterjal]. <https://wedge.trimble.com/features/> [Kasutatud 07.05.2023].
- [15] Wedge. [Võrgumaterjal]. <https://wedge.trimble.com/features/visualize/> [Kasutatud 07.05.2023].
- [16] Wedge. [Võrgumaterjal]. <https://wedge.trimble.com/features/cleanse/> [Kasutatud 07.05.2023].
- [17] Wedge. [Võrgumaterjal]. <https://wedge.trimble.com/features/analyze/> [Kasutatud 07.05.2023].
- [18] Wedge. [Võrgumaterjal]. <https://wedge.trimble.com/features/diagnose/> [Kasutatud 07.05.2023].
- [19] Ureason. [Võrgumaterjal]. <https://www.ureason.com/apm-studio/> [Kasutatud 07.05.2023].
- [20] SeeQ. [Võrgumaterjal]. <https://www.seeq.com/> [Kasutatud 07.05.2023].
- [21] SeeQ. [Võrgumaterjal]. <https://www.seeq.com/product/seeq-architecture> [Kasutatud 07.05.2023].
- [22] SeeQ. [Võrgumaterjal]. <https://www.seeq.com/product/workbench> [Kasutatud 07.05.2023].
- [23] SeeQ. [Võrgumaterjal]. <https://www.seeq.com/product/organizer> [Kasutatud 07.05.2023].
- [24] SeeQ. [Võrgumaterjal]. <https://www.seeq.com/product/seeq-data-lab> [Kasutatud 07.05.2023].

[25] 220 Energia, Viimase 12 kuu kaalutud keskmised börsihinnad. [Võrgumaterjal].  
<https://www.220energia.ee/eraklient-elekter/viimase-12-kuu-kaalutud-keskmised-borsihinnad> [Kasutatud  
18.04.2023].

## **Lisa 1 – Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Gleb Volodin

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Elektrienergia kulude vähendamine efektiivsema pumpade juhtimise süsteemi loomise läbi“, mille juhendaja on Avar Pentel
  - 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.

02.01.2024