



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

## **KASUTAJALIIDESE DISAININÄIDETE ANALÜÜS JA STANDARDITE ÜLEVAADE**

### **ANALYSIS OF USER INTERFACE DESIGN EXAMPLES AND STANDARDS OVERVIEW**

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane:

Georgi Judajev

Üliõpilaskood:

185105EAAB

Juhendaja:

Taavi Möller, insener

## **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.

"....." ..... 2022

Autor: Georgi Judajev

/ digitaalselt allkirjastatud /

Töö vastab bakalaureusetöö esitatud nõuetele

"....." ..... 2022

Juhendaja: Taavi Möller

/ digitaalselt allkirjastatud /

Kaitsmisele lubatud

"....." ..... 2022

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

# LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

*Autor:* Georgi Judajev

*Lõputöö liik:* Bakalaureusetöö

*Töö pealkiri:* Kasutajaliidese disaininäidete analüüs ja standardite ülevaade

*Kuupäev:* 18.05.2022

*46 lk (lõputöö lehekülgede arv koos lisadega)*

*Ülikool:* Tallinna Tehnikaülikool

*Teaduskond:* Inseneriteaduskond

*Instituut:* Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

*Töö juhendajad:* insener Taavi Möller , emeriitdotsent Rein Paluoja

## *Sisu kirjeldus:*

Töö käigus oli vaja uurida peamised probleemid kasutajaliidese liidese loomisel. Omapoolsete võimaluste pakkumiseks on uuritud ka vajalikke standardeid liideste loomiseks. Seejärel tuginedes standarditele ja olulistele ettekirjutuse järgi on loodud Aveva Intouchi ja UniLogicu tarkvarade abil kaks prototüüpi. Selliste prototüüpide põhjal on tehtud võrdlus Unitronicsi kontrollerite ja scada süsteemide jaoks Aveva Intouchi abil liideste realiseerimise võimalusi. Need prototüübid saab kasutada ka selleks, et õpetada üliõpilased ainulaadseid liidese loomiseks, et vältida tulevikus katastroofilisi tagajäred.

*Märksõnad:* kasutajaliidese diasain, SCADA süsteem, kontroller, liidese standardid, süsteemide kaugjuhtimine

## ABSTRACT

*Author:* Georgi Judajev

*Type of the work:* Bachelor Thesis

*Title:* Analysis of user interface design examples and standards overview

*Date:* 18.05.2022

*46 pages (the number of thesis pages including appendices)*

*University:* Tallinn University of Technology

*School:* School of Engineering

*Department:* Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

*Supervisor(s) of the thesis:* Engineer Taavi Möller

*Consultant(s):* Rein Paluoja

*Abstract:*

In the course of the work, it was necessary to study the main problems in creating a user interface. In order to offer its own possibilities, the necessary standards for creating interfaces have also been studied. Then, based on the standards and essential precepts, two prototypes were created using Aveva Intouch and UniLogic software. Based on such prototypes, a comparison of the possibilities of implementing interfaces for Unitronic controllers and scada systems with Aveva Intouch has been made. These prototypes can also be used to teach students to create a unique interface to avoid future catastrophic consequences.

*Keywords:* Human-Machine Interface design, SCADA system, controller, interface standards, remote system control

# LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	<b>Kasutajaliidese disaininäidete analüüs ja standardite ülevaade</b>
Lõputöö teema inglise keeles:	<b>Analysis of user interface design examples and standards overview</b>
Üliõpilane:	<b>Georgi Judajev, 185105EAAB</b>
Eriala:	<b>Elektroenergeetika ja mehhatroonika</b>
Lõputöö liik:	<b>bakalaureusetöö</b>
Lõputöö juhendaja:	<b>Taavi Möller</b>
Lõputöö kaasjuhendaja: (ettevõtte, amet ja kontakt)	<b>Rein Paluoja</b>
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	<b>01.06.2023</b>
Lõputöö esitamise tähtaeg:	<b>18.05.2022</b>

---

Üliõpilane (allkiri)

---

Juhendaja (allkiri)

---

Õppekava juht (allkiri)

---

Kaasjuhendaja (allkiri)

## 1. Teema põhjendus

Paljud kasutajaliideseid ei vasta kaasaegsetele nõuetele ja sellest tulenevad vead operaatorite töös millel võivad olla katastroofilised tagajärjed. Sellepärast on vaja uurida, kui palju toetavad SCADA süsteemid ja PLC-de programmeerimise vahendid HMIde tegemise standardeid. Seda on vaja uurida ka selleks, et läbi viia kontrollierite programmeerimise, HMIde ja SCADA süsteemide õpetamist ülikoolis kaasaegsel tasemel. Lähtudes bakalaureuse töö piiratud mahust, piirduakse käesolevas töös WonderWare InTouchiga ja Unitronics UniStream kontrollieritega, sest need vahendid on ülikoolis olemas ja neid kasutatakse ka õppetöös.

## **2. Töö eesmärk**

Töö Eesmärgiks on saada uurimistöö tulemusena hinnangud, kui palju toetavad valitud vahendid HMI-de tegemise standardeid ja välja töötada 2 kuni 3 näiteprogrammi nende hinnangute kinnitamiseks mida siis saab kasutada edaspidises õppetöös.

## **3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:**

Tutvuda ja uurida standardeid, vastavat kirjandust ja soovitusi kaasaegsete HMIde tegemiseks. Eelkõige värvide kasutamist, andmete esitamist arvuliselt, graafiliselt ja trendidena, info paigutamist ekraanidele, navigatsiooni ekraanide hierarhias jne. Välja töötada programmide näited nende illustreerimiseks nii WonderWare InTouchi kui ka Unitronics UniStream kontrolleri jaoks. Süsteem võiks koosneda kahest paagist, millede vedelikud segatakse kokku kolmandasse. Tuleb hoida temperatuure ja kokkusegamise järel toimub ka kindla temperatuuri ja rõhu all mingi töötlus näiteks. Tuleb ka käima lasta segamise mootor kindlatel aegadel jne (koos graafikutega). Selle tulemusena valmib võrdlus ja hinnangud standardite poolt antud soovitude realiseermise võimaluste osas.

## **4. Lähteandmed**

Kasutan juhendaja ja ülikooli poolt antav kirjandust. Kasutan andmeside alastest õppeainetest saadud teoreetilisi teadmisi.

## **5. Uurimismeetodid**

1. Tutvumine standarditega, kirjandusega ja soovitustega kaasaegsete HMIde tegemiseks
2. Tutvumine WonderWare InTouchi ja Unitronics UniStream kontrolleri võimalustega HMIde tegemiseks
3. Näiteprogrammide programmeerimine
4. Võimaluste ja võrdluste analüüsi tegemine ja järelduste ja hinnangute andmine

## **6. Graafiline osa**

Vajalikud joonised ja skeemid lisan töö põhiosas ja vajadusel ka lisadesse.

## **7. Töö struktuur**

Sissejuhatus teema ja üleandetutvustamiseks:

1. Kaasaegsete HMIde tegemise standardid ja soovitused
2. SCADA süsteemid, näitena WonderWare InTouch
3. PLCd, näitena Unitronics UniStream kontrollid
4. Näiteprogrammid
5. Näidete põhjal tehtud analüüs, võrdlused ja hinnangud

Järeldused ja kokkuvõte

## **8. Kasutatud kirjanduse allikad**

Teaduspublikatsioone, European Agency for Safety and Health at Work, Rahvusvaheline kirjandus, Standardid.

## **9. Lõputöö konsultandid**

Rein Paluoja, emeriitdotsent.

## **10. Töö etapid ja ajakava**

17.10.21 -Kirjanduse läbitöötamine

24.10.21-Arvutuste/mõõtmiste/modelleerimise teostamine

31.10.21-Uuringu tulemuste kirjeldamine

14.03.22-Töö esimene versioon valmis

01.04.22-Juhendajale läbilugemiseks saatmine

05.05.22-Paranduste sisseviimine

10.05.22-Juhendajale teiseks läbilugemiseks saatmine

17.05.22-Töö lõplik versioon valmis

# SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE .....	3
ABSTRACT .....	4
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE .....	5
EESSÕNA .....	9
Lühendite ja tähiste loetelu .....	10
SISSEJUHATUS .....	11
1. TAUSTINFO KOGUMINE JA TEHNILISTE TINGIMUSTE KIRJELDAMINE.....	12
1.1 SCADA süsteem .....	12
1.2 Programmeeritav loogikakontroller.....	12
1.2.1 Juhtkontrolleri ja SCADA koostöö.....	13
1.3 SCADA süsteemi põhifunktsioonid .....	14
1.4 Kasutajaliides .....	19
1.4.1 HMI uurimise peamised ülesanded ja selle arendamiseks vajalikud kriteeriumid .....	20
2. KAASAEGSETE HMI STANDARTIDEGA TUTVUMINE .....	23
2.1 Andmete kujutamine ja disain.....	24
2.2 Värvide kasutamine.....	24
2.3 Järjepidevus, värskendused ja uued funktsioonid .....	25
3. PROGRAMMI KUJUNDAMINE HMI TÖÖ PROTSESSI JUHTIMISEKS .....	28
3.1 Tarkvarade võimaluste võrdlemine vastavalt standartidele .....	28
3.2 Prototüübide realiseerimine.....	38
KOKKUVÕTE .....	43
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	44



## EESSÕNA

Lõputöö käigus sain esialgse idee lõputöö kirjutamiseks lektoril energiatehnoloogia instituudist Igor Krupenskilt. Töö teema korrektsemaks koostamiseks pöördusin arvutisüsteemide instituudi emeriidotsenti Rein Paluoja poole. Tema abil on tehtud üks prototüüp, kasutades Unilogicu kontrollereid ning suurem töö osa on koostatud tema soovitude järgi. Edasi võtsin ühendust Klinkmanni firmaga, kust sain Aveva Intouch programmi demoversiooni, mille abil on valmis teine prototüüp. Samuti eriline tänu selle ettevõtte töötajale Urmas Pollile, kes võimaldas läbida lühikoolituse programmi kasutamiseks. Väikese osa võtsid ka arvutisüsteemide lektor Andres Rähni ja Utilitas firmast üks programmeerija Ilja Kretsin, kelle oskused Aveva Intouchis aitasid mulle ka lõputöö praktilise osa tegemisel.

## LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

HMI – Inimese-masina liides ( ingl k. *Human-Machine Interface, HMI* )

PLC – Programmitav loogikakontroller (ingl k. *Programmable Logic Controller, PLC* )

GUI – Graafiline kasutajaliides ( ingl k. *Graphical User Interface, GUI* )

ISA – Rahvusvaheline Automaatika Selts ( ingl k. *International Society of Automation, ISA* )

ANSI – Ameerika Riiklik Standardite Instituut ( ingl k. *American National Standards Institute , ANSI* )

RTU – Objekti sideseade ( ingl k. *Remote Terminal Unit, RTU* )

SCADA – Järelevalve kontroll ja andmete hankimine ( ingl k. *Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA* )

LAN – Kohtvõrk ( ingl k. *Local Area Network, LAN* )

WAN – Laivõrk ( ingl k. *Wide Area Network, WAN* )

HCI – Inimese masina liides (*ingl k. Human-computer interaction, HCI* )

KPI - Võtmenäitaja ( ingl k. *Key Performance Indicators, KPI* )

SONET - Sünkroonne optiline võrk ( *ingl k. Synchronous optical networking* )

IP – Interneti protokoll ( *ingl k. Internet Protocol* )

## SISSEJUHATUS

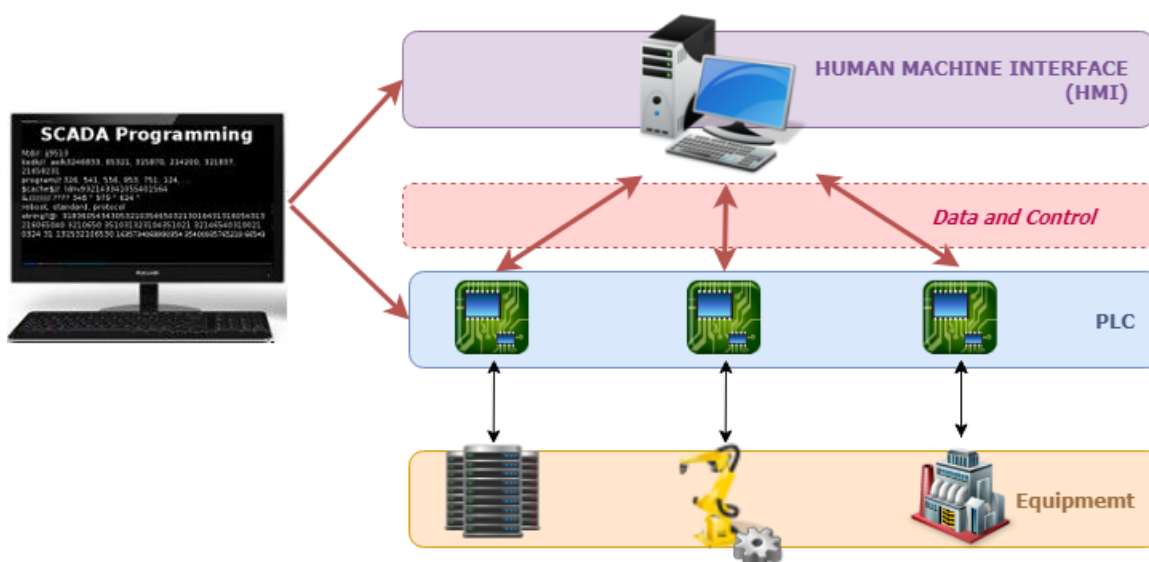
AS Eesti Gaas töötaja soovitas mul uurida SCADA süsteemi. Pärast Tallinna Tehnikaülikooli õppejõu Rein Paluojaga konsulteerimist otsustasin just seda suunda uurida. Selle töö peamine ülesanne on uurida seost inimese ja automatiseeritud juhtimissüsteemi vahel. See on väga aktuaalne ja oluline teema, arvestades et HMI-d kasutatakse pidevalt energeetikas, autotööstuses, nafta ja gaasi tootmises, toiduainete tootmises, keemia- ja farmaatsiatööstuses. Kõigi nende süsteemide maksimaalse efektiivsuse parandamiseks kasutatakse kaasaegseid HMI-sid, mille abil saab juhtida eri automatiseerimissüsteeme ning saada vajalikku teavet elementide tööseisundi kohta.

Kuna paljud kasutajaliidesed pole ajakohased, võivad sel olla katastroofilised tagajärjed. Sellepärast on vaja uurida, kui palju toetavad SCADA süsteemid ja PLC-de programmeerimise vahendid HMI-de tegemise standardeid. Seda on vaja uurida ka selleks, et õpetada kontrolleri programmeerimist, HMI-sid ja SCADA-süsteeme ülikoolis kaasaegsel tasemel. Näidete alusel tehakse vajalikud järeldused ja probleemide lahendamiseks pakutakse välja võimalused. Näidete loomine toimub nii programmi „Aveva Intouch HMI“ , kui ka PLC-kontrollerite Unitronics Unistream abil.

# 1. TAUSTAINFO KOGUMINE JA TEHNILISTE TINGIMUSTE KIRJELDAMINE

## 1.1 SCADA süsteem

SCADA on juhtimissüsteemi tarkvaraarhitektuuri kategooria, mis kasutab võrguandmeid, et pakkuda operaatoritele graafilist kasutajaliidest (Joonis 1). See võimaldab neil jälgida paljude seadmete toimivust ning anda protsessikäsked ja -sätteid spetsiaalselt ekraanilt, mobiilseadmest või mis tahes juhtimisvõrku ühendatud arvuti veebibrauseri kaudu. SCADA võimaldab operaatoritel parandada olukorrateadlikkust, visualiseerimise liikuvust igal ajal ja igal pool. Kuid automatiseeritud SCADA süsteemi loomiseks on vaja veel üht olulist komponenti – PLC-d [1].

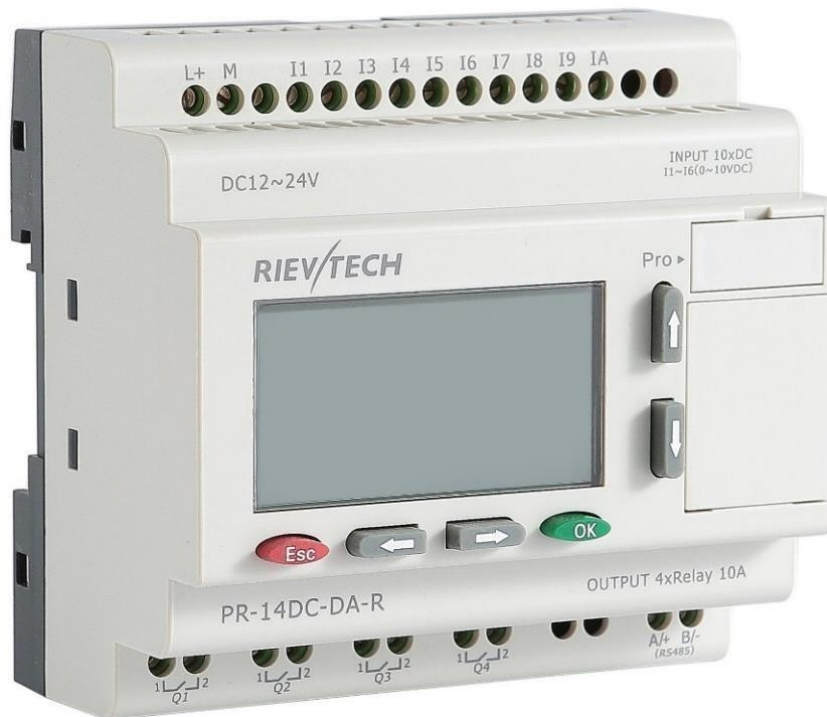


Joonis 1. SCADA süsteemi näide koos põhikomponentidega [3].

## 1.2 Programmeeritav loogikakontroller

Programmeeritav loogikakontroller (PLC) on digitaalne arvuti, mida kasutatakse tööstusautomaatikas mitmesuguste elektromehaaniliste protsesside automatiseerimiseks (Joonis 2). See võeti kasutusele suure energiatarbe kõrvaldamiseks, mis tuleneb releede kasutamisest tööstusprotsesside juhtimiseks. See koosneb programmeeritud mikroprotsessorist, mille programm kirjutatakse arvuti abil ja laaditakse seejärel kaabli abil alla PLC-sse. Programm on salvestatud PLC püsimällu [8].

PLC-de suurepärase külg on see, et nad saavad juhtida nii tootmisliini tohutuid osi kui ka tervet tootmisliini. Selle tehnoloogia abil saab oluliselt parandada mis tahes tootmisliini, kuid PLC suurim eelis on selle korratavus. See arvuti saab toimingut või protsessi korduvalt korrata, kogudes samal ajal olulist teavet. Kuigi PLC on füüsiline riistvara ja SCADA tarkvara, on nende kahe komponendi koostöö ühes süsteemis väga oluline [9].



Joonis 2. Tüüpiline PLC kontrolleri [17].

### 1.2.1 Juhtkontrolleri ja SCADA koostöö

Vaatamata erinevustele, on PLC ja SCADA seos väga oluline. Nii PLC kui ka SCADA tarkvara kasutatakse töötlemisettevõtetes ühes tööstuslikus kontekstis. See tähendab, et need tehnoloogiad on tegelikult partnerid tehase ohutuks ja tõhusaks tööks. SCADA-t saab käsitleda kui laia programmistruktuuri, mis toetab süsteemi, ja PLC on osa süsteemist, mida SCADA jälgib. PLC vajab oma funktsiooni juhtimiseks SCADA-t, kuid SCADA tugineb PLC-st andmetele vajaliku tööprotsessi lõpetamiseks [18].

Programmeeritav loogikakontroller võtab vastu teavet ühendatud sisendseadmetest ja anduritest. PLC saab oma sisendite ja väljundite põhjal hõlpsalt jälgida ja salvestada käitusaja andmeid, näiteks töötemperatuuri, masina jõudlust, masina rikke alarme, automaatseid käivitamis- ja seiskamisprotsesse ning palju muud. PLC on vastupidav ja paindlik protsesside juhtimise lahendus, mida saab kohandada enamiku rakenduste jaoks [9].

PLC ja SCADA vastastikune ühendamine on vajalik automatiseeritud süsteemi loomisel ning hooldusülesannete täpseks määratlemiseks. Näiteks kui seda kooslust kasutatakse turbiini juhtimiseks, saab PLC koguda andmeid, mis näitavad, et süsteem on liiga vibreeriv. PLC edastab need andmed tagasi SCADA tarkvarasse. SCADA rakendus analüüsib neid ja määratleb, milliseid muudatusi on vaja süsteemis teha. Kui muudatusi on vaja teha, saadetakse SCADA süsteemist need protsessi häälestamiseks PLC-sse tagasi [18].

Seetõttu pole SCADA ja PLC võrdlemine täiesti õige. Vastupidi, need süsteemid täiendavad teineteist. Kui mõista mõlema süsteemi funktsioone, siis on lihtne aru saada, kuidas nad koos töötavad, pakkumaks tööstuskeskkonnas paremat jõudlust [18].

### **1.3 SCADA süsteemi põhifunktsioonid**

SCADA töö paremaks mõistmiseks on vaja uurida ka selle süsteemi põhifunktsioone. SCADA süsteemid täidavad mitmeid funktsioone, et võimaldada kaugobjektide õiget haldamist. Allpool on kirjeldatud SCADA süsteemi põhifunktsioonid.

Jälgitavad süsteemid on enamasti palju keerukamad kui ainult üks seade, millel on üks ligipääs. Seega on SCADA süsteem reeglina seotud sadade või tuhandete anduritega. Mõned andurid mõõdavad süsteemi sisendit (näiteks paaki sisenevat vett) ja mõned andurid väljundit (näiteks klapi rõhku, kui vesi paagist välja lastakse). Mõni neist anduritest mõõdab lihtsaid sündmusi, mida saab tuvastada lihtsa sisse- või väljalülitiga, mida nimetatakse diskreetseks sisendiks (või digitaalsisendiks) [2].

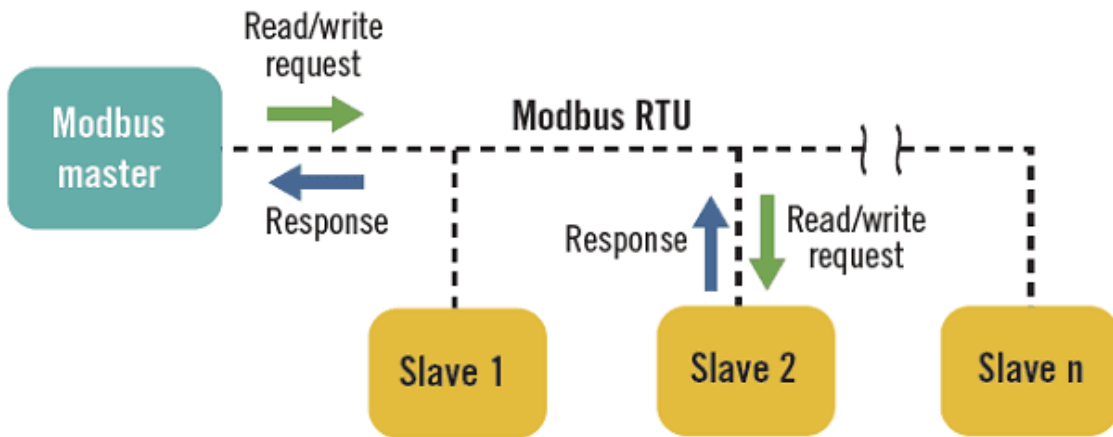
Näiteks liideselementide tootja lihtsas mudelis on valgusti lüliti diskreetne sisend. Reaalses elus kasutatakse digitaalseid sisendeid lihtsate tingimuste mõõtmiseks, näiteks seadmete sisse- või väljalülitamine, või kaitsealarmid, näiteks elektrikatkestus kriitilises kohas. Mõni andur mõõdab keerulisemaid olukordi, kus oluline on täpne mõõtmine.

Need on analoogandurid, mis suudavad tuvastada sisendpinge või -voolu pidevaid muutusi. Analoogandureid kasutatakse paagis olevate vedelike taseme, akude pingetaseme, temperatuuri ja muude tegurite jälgimiseks, mida saab mõõta pidevas sisendsignaalide vahemikus. Enamiku analoogtegurite jaoks on normaalne vahemik, mis on määratletud madala või kõrge tasemega [2].

Lihtsas tarkvarakomponentide tootja mudelis on võrk lihtsalt juhe, mis kulgeb lülitist valgusribani. Päriselus soovime, et saaksime keskusest juhtida mitut süsteemi, seega on vaja anduritelt kogutud andmete edastamiseks sidevõrku. Varased SCADA - võrgud vahetasid andmeid raadio-, modemi- või jadaliinide kaudu. Tänapäeval on suund SCADA andmete edastamisel üle Etherneti (kõige levinum kohtvõrgu (LAN) tehnoloogia tüüp ja sisaldab juhtmega ühendust Internetiga Etherneti kaablite kaudu) ja IP üle SONETi.

Turvalisuse huvides peaksid SCADA andmed olema salvestatud privaatsesse LANi / WANi, ilma et avatud Internetis tundlikke andmeid avaldata. SCADA-süsteemid kasutavad ainult andmesidelahendusi ja ei suhtle lihtsate elektriliste signaalide abil [2]. SCADA andmed on kodeeritud protokollivormingus, mis võimaldab seadmetel omavahel teavet vahetada. Osad vanemad SCADA -süsteemid sõltusid patenteeritud suletud protokollidest (mis tähendab, et seadmed pidid olema samalt tootjalt ja toetasid sama suletud võrku), nt vananenud protokoll, mis on välja töötatud ABB-s ja mille nimi RP-570. See on näide vananenud sideprotokollist, mida kasutati tööstuslikes keskkondades arvuti liidese ja alajaama juhtseadme vaheliseks suhtluseks. Kuid tänapäeval on suund avatud standardprotokollide ja protokollivahenduse poole, mis tähendab, et kasutada saab erinevate tootjate seadmeid, sest standardiseeritud andmesideprotokoll võimaldab neil üksteisega suhelda.

Üks selline avatud protokoll on Modbus. See on rakendustasandil võrguprotokoll, mida kasutatakse laialdaselt tööstuses seadmete vahel andmete vahetamiseks ning anduritest, releedest, kontrolleritest jne andmete edastamiseks (Joonis 3). Protokoll on rakendatud klient-server arhitektuuril [15].



Joonis 3. Standardne Modbusi võrgu arhitektuur [16].

Selle põhimõtte kohaselt on võrgus kliendiseade, mis saadab perioodiliselt serveriseadmetele nende parameetrite lugemiseks või üleskirjutamiseks päringuid. Lühidalt öeldes on see päringule vastamise protokoll [15].

Andurid ja juhtreleed on väga lihtsad elektriseadmed, mis ei suuda sideprotokolli iseseisvalt genereerida ega tõlgendada. Seega on andurite ja SCADA võrgu vahelise liidese loomiseks vajalik kaugtelemeetriline seade (RTU). RTU kodeerib andurite sisendandmed protokollivormingusse ja saadab need SCADA põhiseadmesse. RTU omakorda võtab juhtseadmelt protokollivormingus juhtimiskäsud ja edastab elektrilised signaalid vastavatele juhtimisreleedele[2].

Arukate otsuste tegemiseks ja kasulike andmete õigeaegseks edastamiseks sobivale isikule on vaja SCADA süsteemi. Juhul, kui juhtimisobjekt asub kaugel ja selleni kohalejõudmine võib võtta mitu tundi, siis süsteemi töö seisak pikeneb infoedastuse selle sama tundidesse ulatuva mittetoimimise aja võrra.



SCADA süsteem annab operaatoritele infot spetsiaalse arvuti kaudu, mida nimetatakse ka peajaamaks (ingl master station), HMIks (inimese ja masina liides) või HCIks (inimese ja arvuti liides). Peajaam saab andmeid seadmetelt, mis talle aruannet saadavad, mis süsteemis toimub. Seejärel tõlgib need andmed loetavas ja arusaadavas vormingus. Seetõttu nimetatakse süsteemi mõnikord ka ülalmainitud HMIks või HCIks [2].

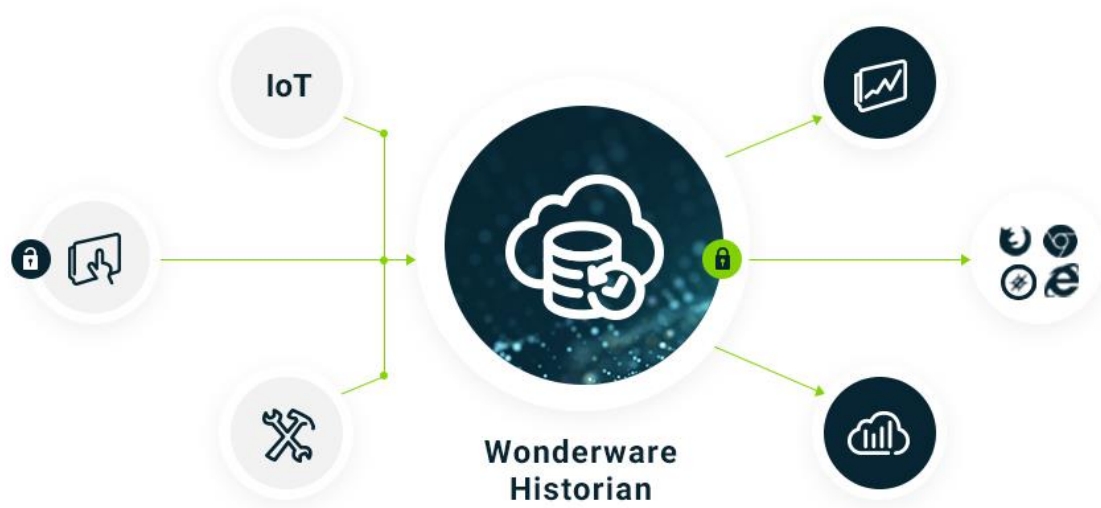
SCADA peajaamal on mitu funktsiooni. Kui RTU või mõne muu seadmega midagi juhtub, on ka see info näha peajaamas. Pidevalt jälgitakse kõiki andureid ja hoiatatakse operaatorit häire korral, st kui juhtimissüsteemi olekute väärtused on tavapärasest tööpiirkonnast väljaspool. Peajaam annab täieliku ülevaate kogu juhtimissüsteemist, lisaks üksikasjalikuma teabe vastavalt kasutaja päringutele. Samuti töödeldakse anduritelt saadud teabe põhjal andmeid – luuakse aruanne ja võetakse kokku ajaloolised suundumused.

Täiustatud SCADA peajaam võib süsteemihaldusse lisada palju tehisintelligentsi funktsionaalsust ja automatiseerimist, muutes töö palju lihtsamaks. Sellised funktsioonid nagu kasutajasõbralik graafiline liides, kaardid, andmete registreerimine, protokollivahendus ja veebibrauseri liides on hea SCADA peajaama komponendid. Õige SCADA lahendus otsimisel tasub tähelepanu pöörata ka tööriistadele, mis võimaldavad piisavalt detailset infot koguda ja saada üksikasjaliku häireteave seadmetest. Need funktsioonid võivad aidata vältida seadmete kahjustusi ja piirata võrgu seisakuid, säästes väärtuslikku raha ja aega [2].

Lisada saab täielikult arvutipõhise SCADA põhikontrolli, mis kontrollib kogu protsessi, et olla kursis, mis juhtub süsteemis. See võib olla juhtimissüsteem, mis reageerib sisenditele mujal süsteemis. Kui masinad, mis toodavad juhtimisseadiste osi, ebaõnnestuvad, see võib automaatselt aeglustada või peatada. Piisavalt keeruka põhiseadme olemasolul saavad need juhtimisseadised töötada täielikult automaatselt, ilma inimese sekkumiseta. Muidugi on endiselt võimalik automatjuhtimine peajaamast käsitsi keelata. Reaalsuses reguleerivad SCADA süsteemid automaatselt igasuguseid tootmisprotsesse [2].

Näitena võib tuua olukorra, kui rõhk gaasijuhtmes on liiga kõrge, saab juhtkontrolleriga ühenduses olevast SCADA süsteemist õhusventiili automaatselt avada. See tähendab, et SCADA abil saab probleemi kaugemalt jälgides ennetada ning teavitada sellest dispetšerit, sõltumata tema asukohast. Loomulikult võib süsteem vigade tõttu valesti töötada ning vale teavet saata, seega on olemas automaatne väljalülitamine. Kuid see süsteem hoiab õnnetuse ära tõenäolisemalt kui inimene, keda mõjutab suur hulk tegureid, näiteks väsimus. Teise näitena saab elektritoodangut reguleerida vastavalt elektrivõrgu vajadustele. SCADA süsteem suudab reguleeritavat süsteemi häälestada vastavalt mitmele sisendsignaalile [13].

Selles töös kasutatakse tarkvara Aveva InTouch HMI, mis on inimese ja masina liidesena populaarne olnud üle 25 aasta. Selles tarkvaralahenduses on erinevaid lisarakendusi, näiteks Aveva System Platform, mis annab võimalusi juhtida protsessi mis tahes seadmel liidese kaudu. Rakendusel Aveva Historian on kõik ülaltoodud funktsioonid ja lisaks paljud muud (Joonis 4): andmete kogumine erinevatest allikatest (vasakul) ja erinevate kommunikatsiooni draiverite abil erinevatest kontrolleritest. Paremal pool tähendavad need ikoonid seda, et Historiani andmeid saab kasutada aruannete või statistika koostamiseks, trende vaadata ja analüüsida erinevate kliendilahendustega.



Joonis 4. Aveva Historian protsesside andmebaasi server ja andmete kogumise allikas [12].

Aveva Historian on suure jõudlusega reaalajas andmebaas, mis sobib kasutamiseks erinevas suuruses tööstusettevõttes [13]. Historian tähistab hoidlat ajalooliste sündmuste ja muu info säilitamiseks. Aveva Historian võimaldab kogu protsessi andmed salvestada ja kasutada ainult neid, mida on vaja konkreetse probleemi lahendamiseks [14].

Kuid Historian pakub palju rohkem võimalusi:

- andmete kõrge kvaliteet, kiirus ja maht, andmed salvestatud kronoloogilises järjekorras, mis garanteerib tootmisoperatsioonide täieliku registreerimise;
- kronoloogiliste andmete teisendamine informatsiooniks, mis annab rohkem teavet kiireks ja täpseks otsustamiseks;
- skaleerimine mis tahes tööstus-, tootmis- ja infrastruktuursete operatsioonide alla;
- teabe ühendamine erinevatest tööstussüsteemidest ja HMIst / SCADAst, mitte ainult InTouchist.

## 1.4 Kasutajaliides

SCADA süsteemid vajavad oleku ja häirete edastamiseks inimese ja masina liidest (HMI). Inimese ja -masina liides on kasutajaliides või infopaneel, mis ühendab inimese masina, süsteemi või seadmega. Kuigi seda terminit saab tehniliselt rakendada igas ekraanis, mis võimaldab kasutajal seadmega suhelda, kasutatakse HMI-d kõige sagedamini tööstusliku protsessi kontekstis. HMI ja graafiline kasutajaliides (GUI) on sarnased, kuid mitte sünonüümid. Graafilisi kasutajaliideseid kasutatakse HMI-des sageli visualiseerimiseks [5].

Tööstuslikus keskkonnas saab HMI-d kasutada

- visuaalsete andmete kuvamiseks;
- tootmisaja ja trendide jälgimiseks;
- KPI jälgimiseks;
- masina sisendite ja väljundite jälgimiseks.

Sarnaselt sellega, kuidas inimene suhtleb kliimaseadmega oma kodu temperatuuri kontrollimiseks, võib tootmistehase operaator kasutada igal ajal HMI-d tööstusliku veepaagi seadmete juhtimiseks ja temperatuuri kontrollimiseks või määratud pumpa objekti töötamise kontrollimiseks [5]. HMI-sid on mitmesugusel kujul, alates masinasse sisseehitatud ekraanidest kuni arvutimonitoride ja tahvelarvutiteni. Olenemata lähedusest on nende eesmärk anda ülevaade seadmete ja protsesside toimimisest.

### **1.4.1 HMI uurimise peamised ülesanded ja selle arendamiseks vajalikud kriteeriumid**

Probleem on selles, et paljud tootjad eelistavad liideseid kujundada ettevõtete, mitte lõppkasutajate soove arvestades. See tähendab, et eri ettevõtete liidestel on erinevad graafilised skeemid ja lõpptarbija ei ole lihtne HMIga suhelda. Seetõttu HMI kasutamine ei ole lihtne ja kasutajal suur võimalike riskide arv.

Väitekirja peamine eesmärk on leida kõrge kasutatavusega liidese kujundamise protsess. Eesmärk on leida, kuidas see peaks kasutatavates seadmetes välja nägema ja kuidas hõlbustada lõpptarbija HMI-ga suhtlemist ilma HMI struktuurist eelnevalt teadmata.

Alljärgnevalt on toodud eesmärgid HMI mudelite esialgse loomise etapis

1. Kõrge kasutatavusega aineliideste (HMI) kirjanduse põhjalik uurimine.
2. Installida sobiv tarkvara ja seadistada prototüübi testimisseadmed.
3. Töötada erinevate moodulitena välja HMI prototüüp.
4. Teha prototüübil ülesannetena mitu sobivustesti.
5. Ühendada tulemusi läbi viidud erinevate katsete alusel. Analüüsida, miks ja kuidas mõned on ebaõnnestunud või õnnestunud.
6. Hinnata erinevaid lahendusi ja protsessi sarnaste ülesannete elluviimiseks ja edasiseks arendamiseks.

Masinaid kasutatakse erinevatel põhjustel ja neid juhivad alati nii juhtimissüsteem kui ka tarkvara, mis annab kogu elektroonikale teada, mida tuleb teha. Kui inimene teeb midagi masinaga, peavad masin ja inimene saama kuidagi suhelda. Sageli toimub see liidese kaudu, millel on eelnevalt määratud funktsioonid, mis on inimesele valmis kasutamiseks [1].

Selle liidese graafilise osa abil saab inimene masinale öelda, mida ja kuidas teha. Selle loomiseks tuleb kaaluda ja uurida palju mitmeid aspekte ning selgitada, mis peaks olema juhtimissüsteemide HMI väljatöötamisel prioriteedid [2].

Kaasaegses ühiskonnas on lugematu arv masinaid, millega inimesed suhtlevad. Tööstusmaailm toodab tohutul hulgal erinevaid tooteid, mida inimesed kasutavad või tarbivad, ja selle eest hoolitsevad peamiselt inimeste juhitud masinad. Masinad ei väsi ja võivad olla inimestest tõhusamad ja täpsemad. Paljud inimesed suhtlevad masinatega igapäevaselt. Oluline on, kuidas see suhtlus toimub, ja seda tuleb masinate ning inimeste vaheliste liideste loomisel arvesse võtta [3].

Ohutus on kõige olulisem punkt ja jääb alati nii. Masinaga suhtlevat inimest tuleb kaitsta igasuguse kahju eest. Kui ohutus on tagatud, siis järgmiseks on oluline kasutusmugavus. Masina kasutamisel soovib operaator, et töö oleks võimalikult tõhus ja lihtne. Seda pole alati lihtne rakendada, kui pöörata tähelepanu ka turvalisusele. Kui inimese ja masina liidesel on kõrge kasutatavustegur, on operaatoril parem psühholoogiline mõtlemine ja tal on lihtsam töötada. Need on peamised punktid, millele selles töös tähelepanu pööratakse [4].

Varasemad uuringud on näidanud halvasti kavandatud HMIde ja katastroofide vahelist seost. Seega on selge, et kasutusemugavus on väga tähtis. Kõrgsurvesüsteemidega töötamisel peavad olema mitmed asjad ohutud. See on oluline, et anda kasutajale asjakohast teavet, kas masin on töökorras või mitte [5].

Samal ajal on oluline, et kuvatakse ainult vajalik teave, sest kasutaja ei pea alati kõike toimuvat teadma. Kasutajale edastatud teave peab olema selge ja täpne ning sellele tuleb alati anda õige prioriteet. Samuti on väga oluline, et liideseid oleks lihtne mõista. Operatsioonisüsteemide kasutamisel teavad operaatorid täpselt, mida nad teevad, pakkudes masinale hõlpsasti arusaadavaid juhiseid [6].

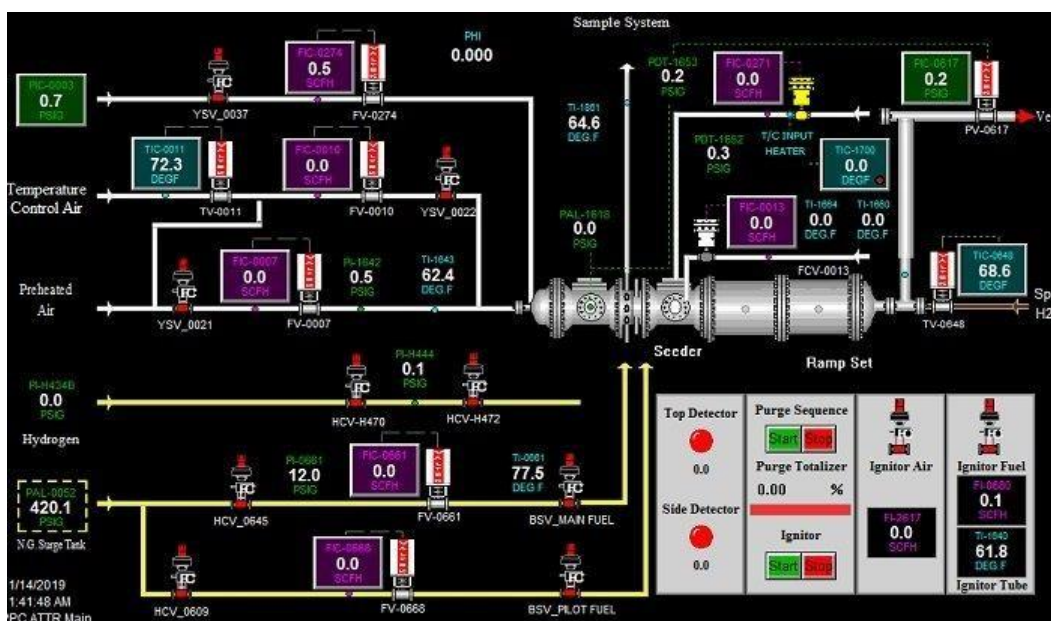
Kasutatavus on üks valdkond, mis on otseselt seotud hea operaatorliidese disainiga. Õige ja hästi tehtud kasutatavuse korral muutub HMI operaatorile kiiremini õpitvaks. Kui operaator kasutab masinat õigesti ja tõhusalt, on rikke tõenäosus väiksem. Aegajalt väljavahetatavad osad võivad pikema aja jooksul efektiivsemalt töötada, kuna tekib vähem probleeme ja operaator kasutab masinat tõhusamalt [7].

Selletemalisi aruandeid on varem kirjutatud ja sageli pakutakse konkreetseid juhiseid, mida uue HMI või graafilise liidese väljatöötamisel järgida. Inimese ja masina liidese võib jagada mitmeks alaks. Seda tüüpi HMI olulisi valdkondi on üksikasjalikult kirjeldatud järgmistes alapeatükkides [6].

## 2. KAASAEGSETE HMI STANDARDITEGA TUTVUMINE

Personaalarvutit kasutatakse automatiseerimisel graafilise kasutajaliidesena (GUI) juba üle 30 aasta. Selle aja jooksul on liideste loomisel toimunud palju muudatusi tehnoloogiates, terminoloogias ja standardites. Protsessi- ja automatiseerimistööstuses on graafiline kasutajaliides, paremini tuntud kui inimese ja masina liides (HMI), aastate jooksul arenenud. Algusaastatel oli HMI standardeid ja juhendeid väga vähe [3].

Standardid mängivad olulist rolli disainiprintsiipide rakendamisel, kuid nende rakendamine on samuti piiratud. Esiteks tähendab tehnoloogia arengutempo, et õigusaktid, standardid ja suunised on alati mingil määral maha jäänud. Teiseks on HMIga seotud standardite ja juhiste teadlikkus suhteliselt väike. See võib olla seotud standardites sisalduva tohutu hulga teabega [6].



Joonis 5. Algne HMI ekraan, enne ISA-101 juhiste rakendamist [3].

Üks esimesi organisatsioone, kes standardid välja töötas, oli ISA. 1980-ndate kesksaigaks oli ISA integreerinud mõned graafikajuhised erinevatesse standarditesse ning ka teised organisatsioonid järgisid seda, töötades välja oma juhised ja standardid.

ISA 1980. aastatel välja töötatud ja välja antud standardid põhinesid tolle aja tehnoloogiatel. 2000. aastate alguseks ilmnis, et need standardid vajavad ajakohastamist. 2006. aastal moodustati komitee, töötamaks protsesside juhtimise ja automatiseerimise rakendustes välja ajakohastatud standardite komplekt HMI rakendamiseks, kasutamiseks ja haldamiseks. 2015. aasta juulis oli kinnitati HMI ANSI / ISA-101.01-2015 standardid, süsteemis protsesside automatiseerimiseks [3].

Vajadus ISA-101ks tulenes erinevate tööstusharude kogemustest ja tagasisidest paljude „halbade“ HMIde kasutamisel ja rakendamisel. HMI halvas kujunduses süüdistatakse tavaliselt mitmeid põhielemente. Andmeid oli palju ja see hakkas operaatorit ning graafilisi kuvareid üle koormama. Ekraani eraldusvõime on pidevalt paranenud ning animatsiooni ja värvide liigkasutamine on juhtimisruumi ekraane risustanud kogu maailmas. Operaatoritel oli nii palju häiresignaale, millel polnud prioriteeti ja eesmärki. Kahjuks on halva disainil tõttu juhtunud suuremaid õnnetusi ja katastroofe, näiteks üks sellistest juhtumitest juhtus 1992. aastal Airbus A32 lennukiga Strasbourgis. Peamiseks õnnetuse põhjuseks oli vale lennunurga valik ning maale lähenemise süsteemi (GPWS) puudumine lennukis. Seejärel tehti liideses muudatused, et ei tekiks segadust nõutavate nurkade vahel, ning lisati maapinnale lähenemise süsteem [19].

Teine juhtum oli Texas, kui halvasti kavandatud liidese ja ebatäpse teabe tõttu plahvatas naftatöötlemistehas [20]. Muidugi oli sellistel juhtudel oma osa inimfaktoril, kuid olulist rolli mängisid ka valesti disainitud liidesed.

## **2.1 Andmete kujutamine ja disain**

Sõltuvalt kontekstist on suur hulk standardeid, mis kehtivad ka HMIle. Rahvusvahelised standardid ISO 924110 ja ISO 1340711 hõlmavad arvutite ja muude interaktiivsete süsteemide kasutamist ning illustreerivad efektiivse HMI loomiseks vajalikku interdistsiplinaarset lähenemisviisi. Need standardid ühendavad teadmisi tarkvaratehnika, tööteaduse ja kognitiivse ergonoomika valdkondadest [4].

UNE-EN 9241 on oluline ekraanidega töötamiseks ja andmete kuvamiseks, kuna arvestada tuleb mitmete küsimustega, mis võivad negatiivselt mõjutada infokuvadega töötava inimese füüsilisi ja vaimseid võimeid. Võimalikud füüsilised häired on näiteks luude- ja lihaskonna probleemid, nägemis- ja silmaprobleemid, väsimus jm [10].

ISO 9241-110: 2006 kehtestab ergonoomilise disaini põhimõtted, mis on formuleeritud üldiselt (st esitatakse viideteta kasutusjuhtumitele, rakendustele, keskkondadele või tehnoloogiatele), ning pakub raamistikku nende põhimõtete rakendamiseks interaktiivsete süsteemide analüüsimisel, kujundamisel ja hindamisel. Kuigi ISO 9241-110: 2006 on rakendatav igat tüüpi interaktiivsetes süsteemides, ei hõlma see iga kasutuskonteksti eripära (nt turvakriitilised süsteemid ja koostöö). See on mõeldud kasutajaliidese tööriistade ja stiiljuhendite arendajatele; kasutajaliidese disaineritele, kes rakendavad arendamise ajal juhiseid; ning arendajatele, kes rakendavad juhiseid süsteemi funktsionaalsuse kujundamisel ja juurutamisel [4].

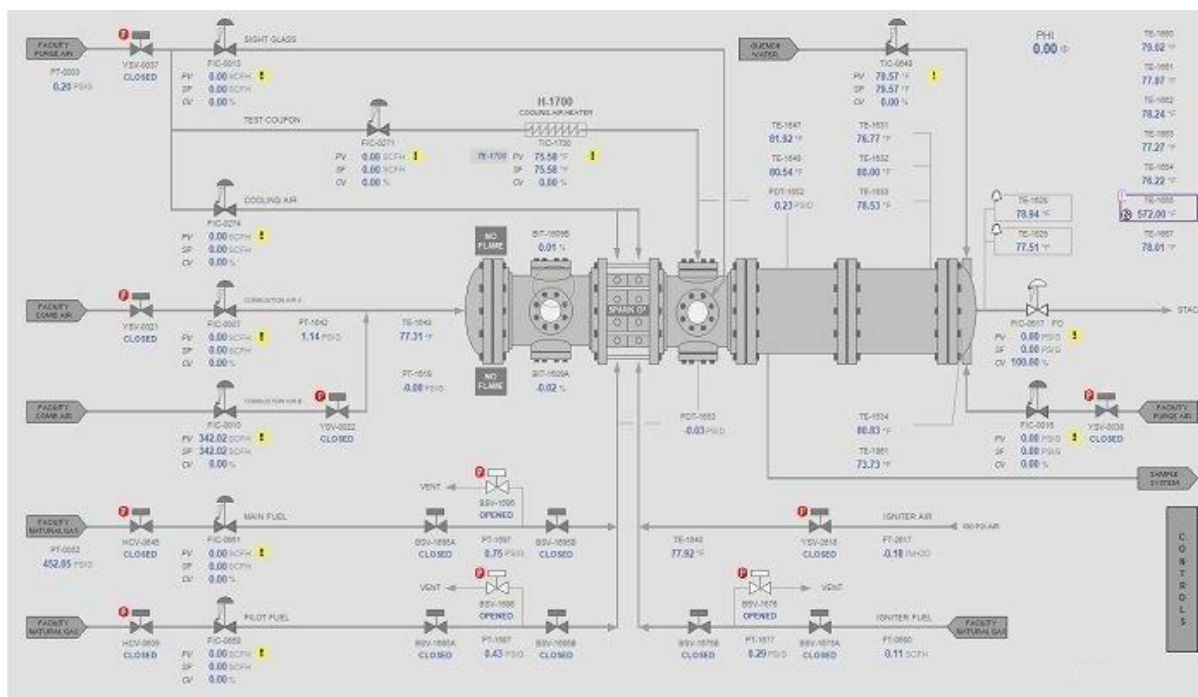
Kui ISO 9241 hõlmab ergonoomilisi nõudeid, siis ISO 13407 käsitleb interaktiivsete süsteemide projekteerimisprotsessi. Pakkudes juhiseid toote kogu elutsükli kohta, annab see põhjenduse disainiprotsessi rakendamiseks, mis on orienteeritud inimestele. See sisaldab ka linke asjakohastele standarditele ning annab nõu planeerimis- ja juhtimisküsimustes [6].



## 2.2 Värvide kasutamine

Värvi kasutamine või selle puudumine on vaid üks väike aspekt ISA 101 standardis, kuid sageli on see aspekt standardiga kõige enam seotud. Varastel ekraanidel protsesside juhtimise ja automatiseerimise rakenduste kasutati värvi protsesside juhtimise ja automatiseerimise rakendustes mitmel eesmärgil ja alati ei olnud selge, mida konkreetne värv operaatorile või kasutajale tähendas [3].

Värvi abil tähistati seadmete ja ventiilide seisukorda, samuti kasutati värvi protsessiinde ja anumate sisu jaoks ning häirete kujutamiseks. Tavaliselt jäeti disaineri või tellija otsustada, mida teatud värvi tähendab. Värvi kasutus ei ole tööstusharudes universaalne. See tekitas tööstustes segadust ning vaja oli standardit. ISA 101 soovib graafiliste objektide jaoks ühevärvilist lahendust, mille abil ekraanid tunduvad esmapilgul pehmeks (Joonis 6) [3].



Joonis 6. Muudetud HMI ekraan, kasutades ISA-101 juhised [3].

Üks populaarsemaid värvilahendusi, mida paljud ISA 101 stiilis graafika kujundamisel kasutavad, põhineb enamiku taustaobjektide ja juhtnuppude jaoks kontrastsel halltoonil. Esialgu on operaatoritel uue stiiliga raske kohaneda, kuna neil on vana stiiliga palju kogemusi. Kuid uue süsteemi õppimisel ja igal korduval kasutamisel muutuvad arvamused kiiresti.

## 2.3 Järjepidevus, värskendused ja uued funktsioonid

ISA 101 standard rõhutab järjepidevust ja soovib enne esimese graafilise kuva loomist välja töötada stiiljuhendi. See peaks sisaldama üksikasjalikke instruktsioone HMI loomiseks ja hooldamiseks. Operaatorite intuiitse ja prognoositava liidese loomise puhul on oluline järjepidevus. Mõned peamised omadused, mida on stiiljuhendis vaja arvestada, et aidata operaatoril ja kasutajatel uues süsteemis kõik muudatused sisestada, pakkuda neile värskendusi ja uusi funktsioone, mis muudavad nende töö lihtsamaks ja produktiivsemaks, on

- kujutise tasemed
- kuvari makett ja šabloonid
- navigeerimisekraan
- dünaamiliste ja staatiliste sümbolite standardid
- dünaamilised ja staatilised tekstistandardid
- paneeli ja hüpikakende standardid
- alarmi funktsioonid ja korraldus
- andmete logimine
- ajaloolised suundumused
- turvalisus

See võib ajendada operaatorit looma uut HMIid. Enne täiendamist võib paremaks mõistmiseks istuda koos operaatoritega maha ja kaasata nad projekteerimisprotsessi ning uurida, mis neile olemasolevas süsteemis meeldib ja mis mitte. Parandada tuleks vana süsteemi vead - see aitab uut süsteemi paremaks muuta, isegi kui sama oleks saanud teha vanas süsteemis [3].

Muutustega võib olla keeruline kohaneda, kuid halvad muutused on veelgi keerulisemad. Et aidata operaatoril ja kasutajatel oma HMIis tehtud muudatusi aktsepteerida, tasub veenduda, et see, mis neil üle jääb, on neile kasulik, ja selgitada muudatuste põhjuseid. Neile tuleb selgitada, et muudatused on HMI tööd teinud parem palju paremaks, kuid ära tuleks kuulata ka nende tagasiside. Ära ei tohi ka unustada uue süsteemi tõhususe hindamist ja vajadusel neid korrigeerida [3].

### **3. PROGRAMMI KUJUNDAMINE HMI TÖÖ PROTSESSI JUHTIMISEKS**

#### **3.1 Tarkvarade võimaluste võrdlemine vastavalt standarditele**

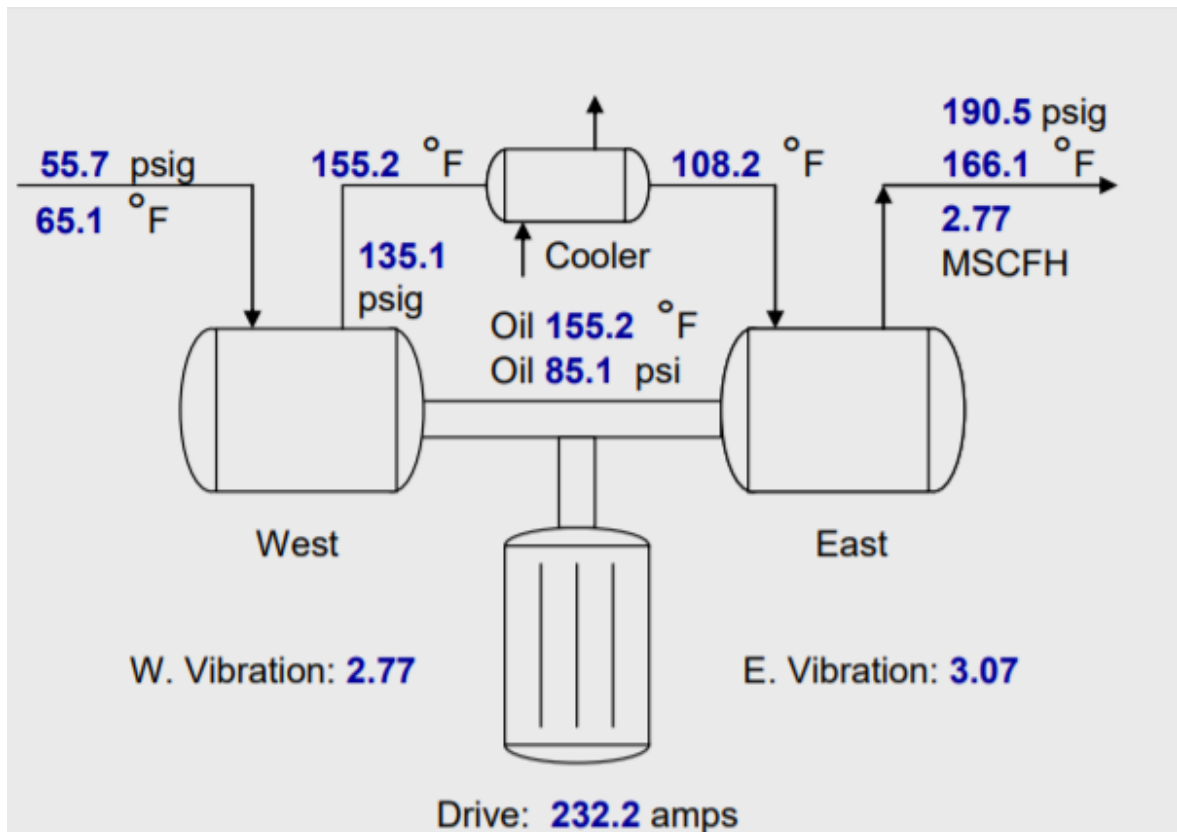
Käesolevas peatükis võrreldakse HMI koostamise võimalusi loogikakontrolleriga juhitavale süsteemile (Unitronics) ja SCADA programmi (Aveva InTouch) alusel ning vastavust standardites kirjeldatule, samuti HMI- (ISA-101) ja hädaabisignaalide (ISA-18) loomise komitee liikme antud juhenditega. Võrdlus põhineb töö autori arvates ühtedel olulisematel kasutajaliidese disaini loomise põhipunktidel ning need on järgmised:

1. info kujundamine;
2. elementide analoogsed alternatiivid;
3. häireseisundite kuvamine;
4. õige ja vale värvikasutus;
5. trendid;
6. protsessi hierarhia kuvamine;

Esimene punkt on info kujundamine, mis on kõige olulisem tegur kvaliteetse HMI ehitamisel. Kui info on valesti esitatud, siis pole vahet, mis värvi või stiili elemente kasutatakse, kuna info jääb ikka arusaamatuks. Kasutaja ei pea mitte ainult nägema ekraanil kõigist teatud valikult olulisemaid andmeid, vaid ka kohe aru saama, millist infot ekraanil kuvatakse. Eelnevalt loetletud punktide alusel tehakse detailsem analüüs.

Teiseks oluliseks teemaks on analoogelementide kasutamine. Kui info kuvamiseks on vaja kasutada analoogelemente, on palju mugavam kasutada InTouchi programmi, kuna analoogelementide, näiteks diagrammid või graafikud, valik on suurem ning detailirohkem. Samuti on seal erinevaid valikuid indikaatorite kuvamiseks.

Allpool on toodud kaks näidet, kus on näha erinevus tavapärase skemaatilise joonise ja analoogprotsessi kujutamisel:

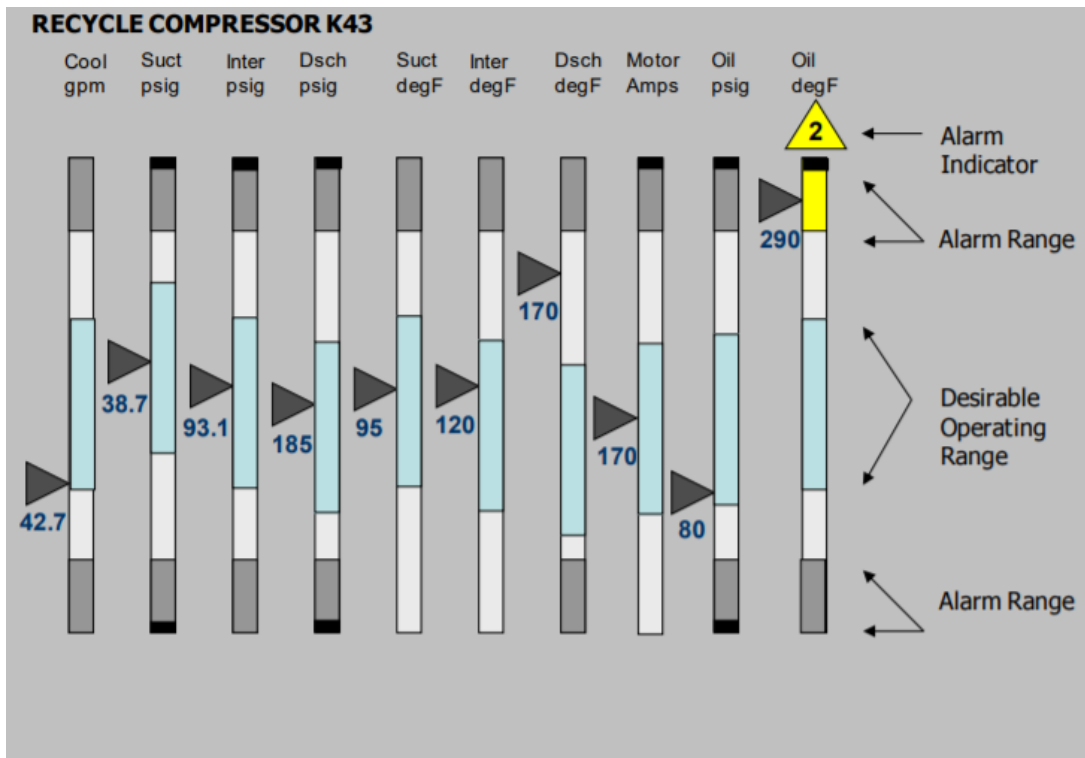


Joonis 7. Kompressori skemaatiline joonis [21].

Kui kasutajat puudub väljaõpe ja tal puudub selle kompressoriga töötamise kogemus, ei oska ta näiteks öelda, kas see töötab hetkel maksimaalse efektiivsusega või hakkab hoopis seisma jääma.

Iga numbri võrdlemine õpitud lubatud väärtusega on keeruline kognitiivne protsess. Operaatorid peavad jälgima vahel isegi sadu mõõtmisi. Seega sõltuvad tulemused operaatori kogemustest ja mälust, samuti sellest, kui palju mittetavapäraseid situatsioone on selle kompressoriga järele proovitud. Rohkemate numbrite lisamine sellisele ekraanile ei aita operaatoril olukorda paremini mõista.

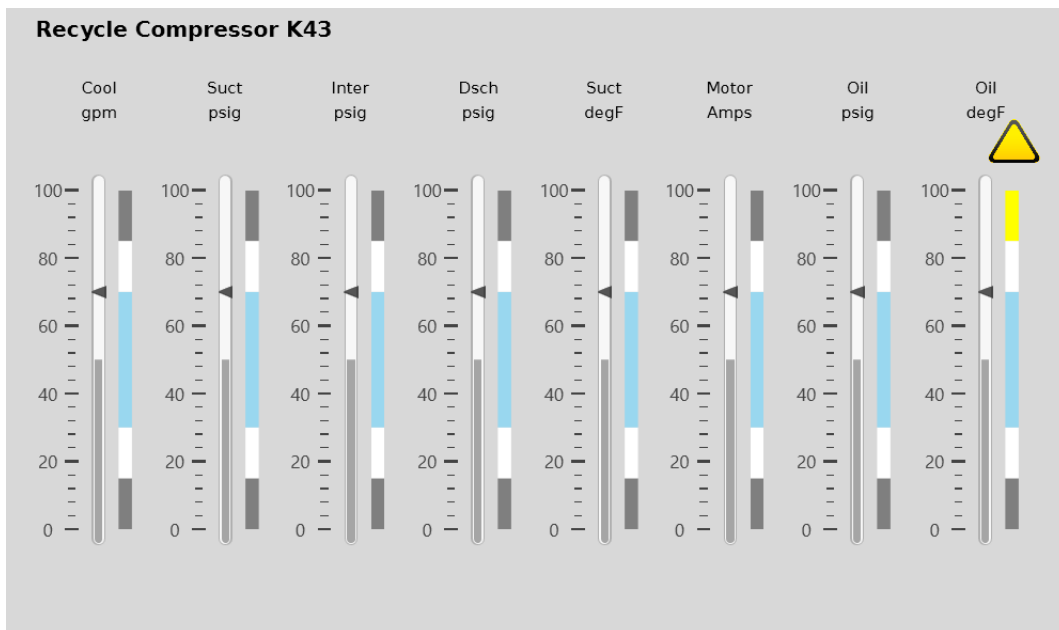
Arusaadavuse parendamiseks saab need väärtused esitada analoogindikaatorite kujul, nagu on toodud joonisel 8.



Joonis 8. Analoogse kompressori kujutamine vastavalt standarditele [21].

See on analoogdiagrammi lihtsaim versioon, mille abil saab hõlpsalt iga elemendi seisundi kohta järeldusi teha.

Sellise lihtsa kujunduse loomiseks ei ole vaja kasutada Aveva InTouchi, seda prototüüpi saab hõlpsasti luua ka UniLogicu kontrolleri visualiseerimisrakendusega (Joonis 9):



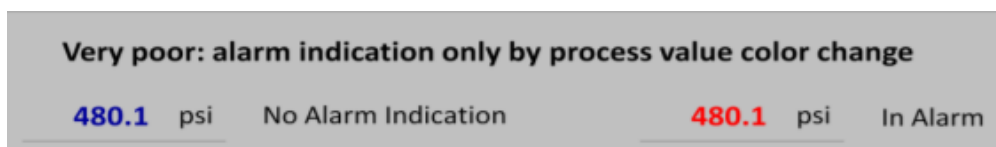
Joonis 9. Kontrollerite jaoks loodud analoogse kompressori seisundi kujutamine.

Elementide analoogne kujutamine on võimas tööriist, sest inimesed mõistavad analoogkujutisi intuiitiivselt. Inimestel on arenenud struktuuriskeeme arusaamise oskus.

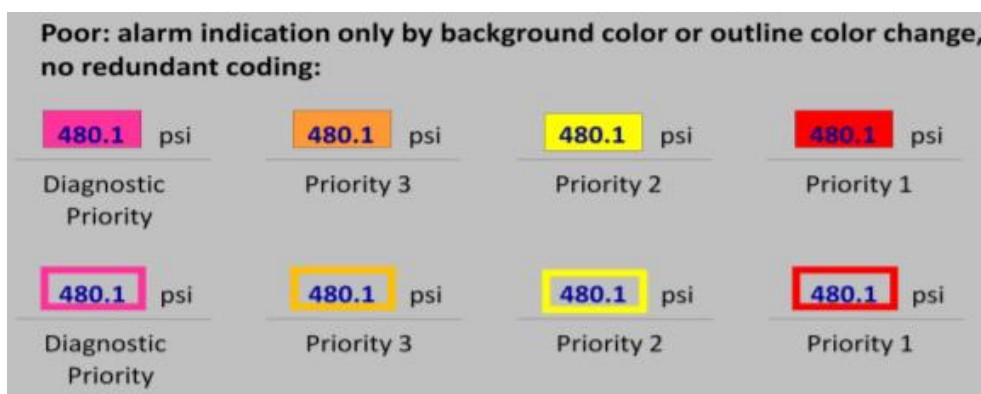
Operaatorid saavad ekraanile õigesti projekteeritud analoogindikaatorite abil määrata, kas mõned väärtused asuvad normaalses vahemikus või kui lähedal on need häirevahemikule, ning näha ka väärtusi, mille korral toimuvad süsteemi blokeerimise toimingud. Lubatud väärtused on sisse ehitatud HMIsse, mis lihtsustavad õppimist ja koosseisuväliste situatsioonide leidmist - seda isegi enne häire tekkimist, mis on väga oluline. Väga oluline on ka häirete õigesti kuvamine, prioriteetideks on värv, vorm (kuju) ja tekst.

Mõlemas programmis on võimalik kuvada häireteavet vastavalt soovitudele ja üldistele standarditele, kuid palju olulisem on ise õigesti luua hädaolukordade kuvamise struktuur, kuna mõlemas programmis on piisavalt erinevaid elemente ja värve. Selleks on allpool näited headest ja halbade avariisituatsioonide diasainistruktuuridest.

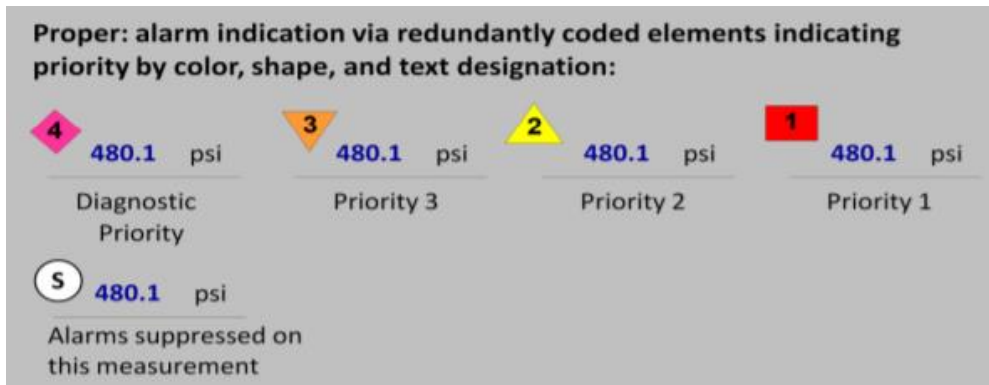
Kui väärtus tähendab häireseisundi kehtestamist, ilmub selle kõrvale eraldi häireindikaator (vt joonis 10). Indikaator vilgub kuni häire kinnitamiseni (üks väheseid õigeid animatsiooni kasutusviise) ja lõpetab vilkumise pärast kinnitamist, kuid jääb endiselt nähtavale seni, kuni häire tingimus on aktiivne. Perifeerse nägemisega inimesed ei märka värvimuutusi hästi, kuid liikumine või näiteks vilkumine on kergesti tuvastatav. Seega on häired graafikul hõlpsasti esile tõstetud ja kohe tuvastatavad:



Joonis 10. Esimene variant. Väga halb: häire kuvamine ainult väärtuse värvi muutmisega [21].

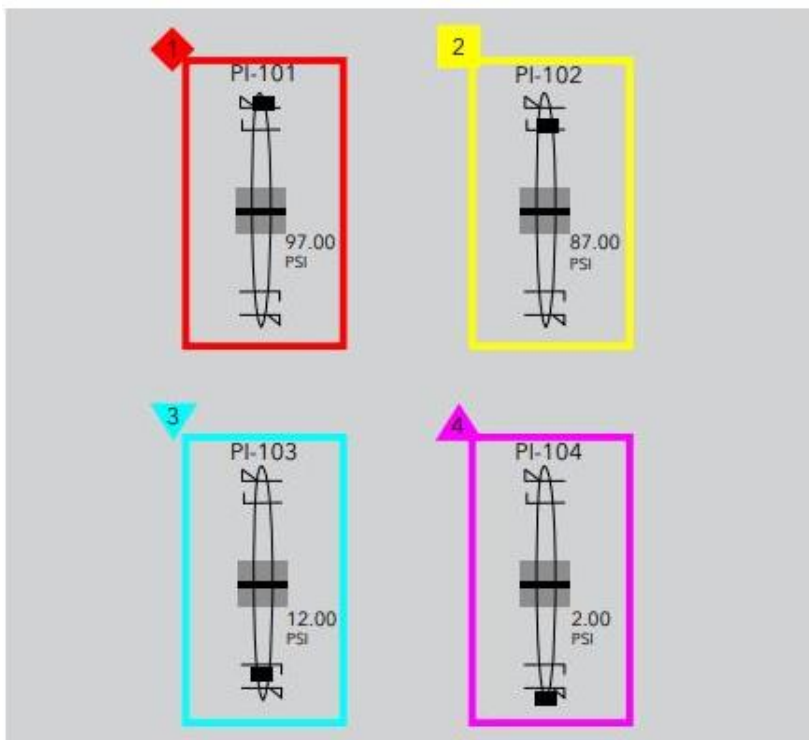


Joonis 11. Teine variant. Halb: häire kuvamine ainult taustavärvi järgi või kontuuri värvi muutmisega [21].



Joonis 12. Kolmas variant. Hea: häire kuvamine elementide abil, mis näitavad prioriteeti värvi, kuju ja teksti tähistusega [21].

Seda kolmekordset häirerežiimi saab hõlpsasti rakendada ka Aveva InTouchis (Joonis 13). Värv näitab selgelt häiretaset, mis aitab operaatoril ebatavalised olukorrad kiiresti tuvastada ja teha parandusi õiges prioriteetide järjekorras:

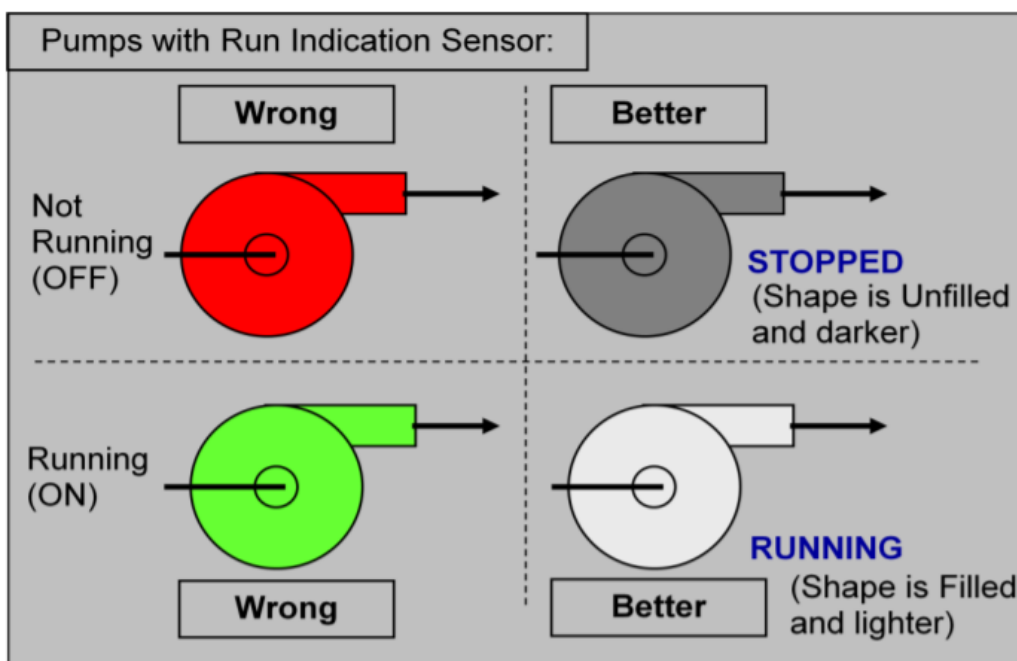


Joonis 13. Kolmekordset tähistatud avarii värvirežiim [22].

Osaliselt eelmise lõigu infot kasutades tuleks selles lõigus rõhku panna õigele värvikasutusele. Olen kindel, et isegi kõige lihtsamates HMI loomise programmides, rääkimata neist, mida töö käigus ise kasutan, võib elementide värvi muuta.

Värvi tuleb kasutada järjepidevalt. Inimestel, eriti meestel, on levinud erinevate värvide tuvastamise puudujääke (punane-roheline, valge-sinine, roheline-kollane). Sel põhjusel on värvide kasutamisel lihtne põhimõte, et erinevat värvi ei kasutata olulise seisundi või staatuse ainsa eristava tunnusena. Enamik kasutajaliideste graafikat üle maailma rikub seda põhimõtet. Eredaid värve kasutatakse peamiselt ebatavalistele olukordadele tähelepanu tõmbamiseks. Kui on valitud häirevärvid, nagu erkpunane ja kollane, kasutatakse neid ainult häirete oleku ja funktsionaalsuse kuvamiseks, mitte kunagi millekski muuks. Seega on näiteks energietikas erkroheline kasutamine sisselülitamiseks ja erkpunase kasutamine väljalülitamiseks vale.

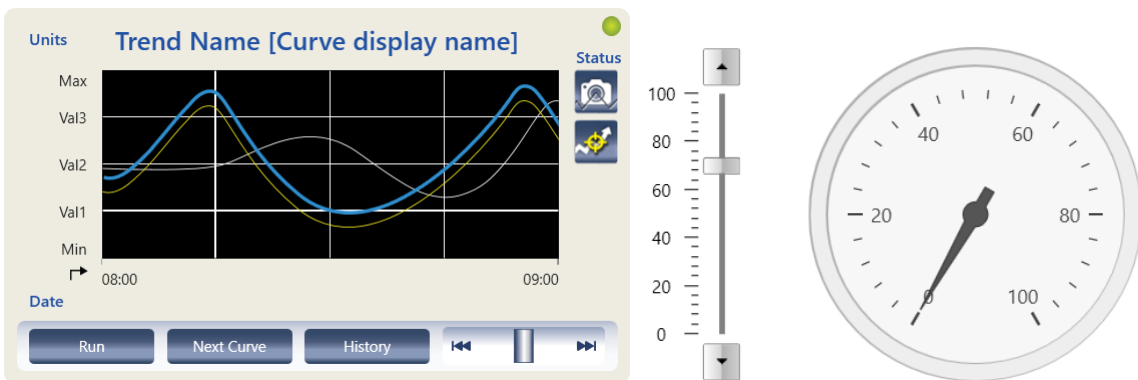
Õigesti tuleb kasutada objekti heledust tausta suhtes. See näitab objekti olekut ja selle kõrval olevat lisasõna. Kui objektid on eredamad kui taust – sisselülitatud. Taustast tumedamad elemendid – väljalülitatud (Joonis 14).



Joonis 14. Värvide õige kasutamise näide [21].

Viies punkt on trendide kasutamine. Diagrammid ehk jooned, näitavad selgelt punktide liikumissuuna muutust graafikul (joonis 15). See on lihtne mehhanism, mis on sisse ehitatud nii HMI kui ka töö autori kasutatavasse SCADA programmidesse. Millegipärast sageli seda funktsiooni ei kasutata, sest inseneride arvates saavad operaatorid väärtust sekundiga muuta. See on tegelikult vale suhtumine ja selle eksimuse tõttu kannatab situatsiooni informeeritus. Kuid protsessi muudatuse kuvamise jaoks trendigraafikute kasutamine koos muude variatsioonidega on InTouchis palju laiem ja mugavam. Selle jaoks on allpool toodud näited, kus on näha InTouchi programmi erinevat funktsionaalsust.





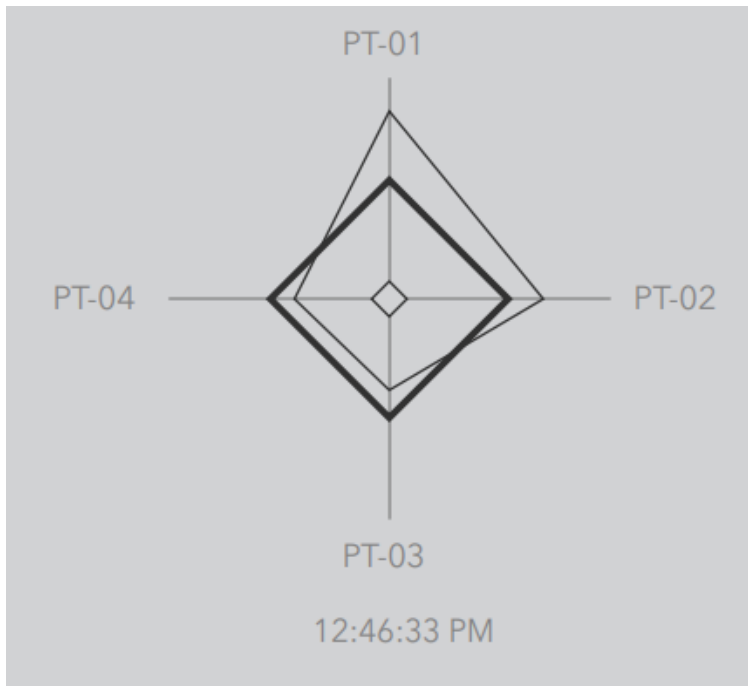
Joonis 15. Põhi trendide kujutamine UniLogicu programmis.

UniLogic võimaldab muuta diagrammivaadet ja lisada teatud põhielemente, kuid InTouchis on suur valik samade trendide ja diagrammide täiendamisvariante, mis võimaldab andmeid detailsemalt analüüsida.



Joonis 16. Erinevad võimalused teabe kuvamiseks trendide abil [22].

Näiteks üks edasijõudnud trend on "polaartäht" - andmed kuvatakse kahel teljel neljas suunas, moodustades visuaalse hulknurga. Kuna väärtused muutuvad mööda joonte pikkust, tunnevad operaatorid ära hulknurga muutuva kuju, mis aitab kiiresti reageerida ebanormaalsetele protsessi ngimustele.



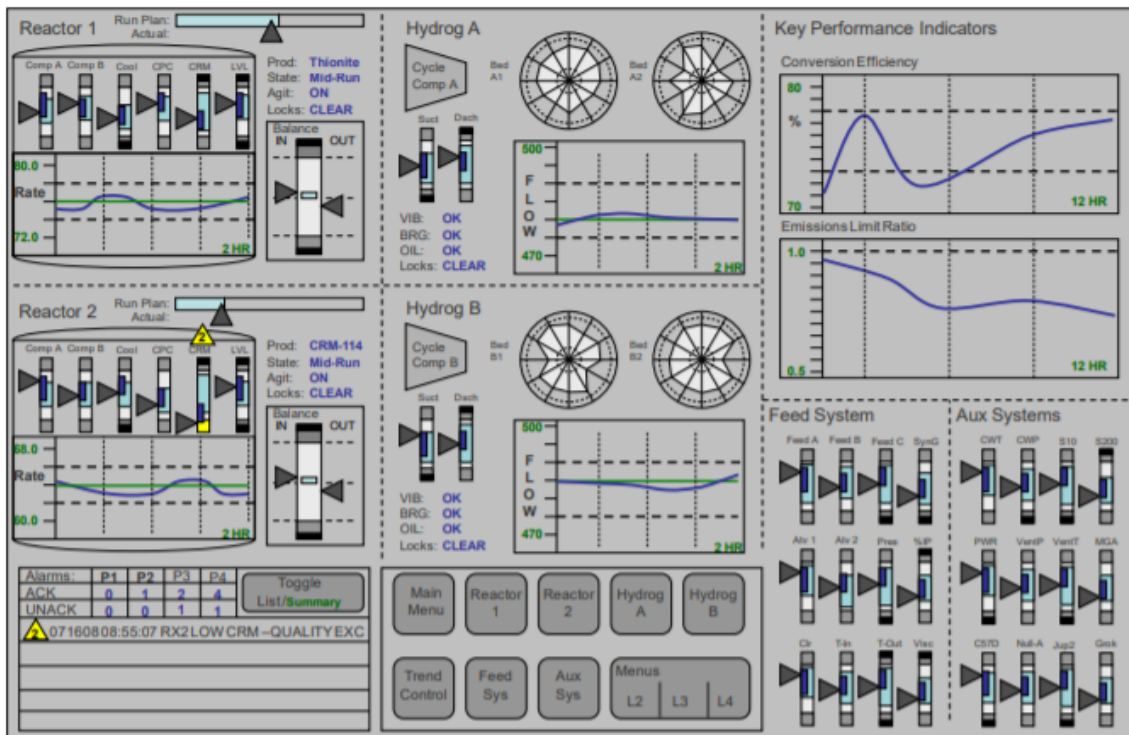
Joonis 17. Polaartäht (polügoon) [22].

Viimane punkt, mis mängib olulist rolli kvaliteetse HMI koostamisel, ning millest mina lähtusin oma prototüüpide loomisel, on sündmuste hierarhia. See tähendab, et protsessi detailid peavad avanema järk-järgult. Minu esimesel juhul (UniLogic) on 3-4 eraldi projekteeritud ekraani, millel on konkreetne protsessi kirjeldus. Sellisel juhul võimaldab UniLogic luua lihtsaid ekraane, mis suudavad anda põhiinfot. Teisel juhul InTouch programmi abil saab enamik infot kuvada ühel ekraanil ja jagada kindlateks tsoonideks, kus on selgelt näidatud vajalikud andmed, nagu näiteks joonistel 18 ja 19. Standardid soovitavad protsessi jälgimiseks teha mitu eraldi ekraani, mida saab teha ka InTouchi programmis. Selline hierarhia tundub mulle kõige kvaliteetsem ja mugavam.

Allpool on joonised sellest, kuidas saab õige hierarhiaga HMI-d üles ehitada.

#### 1. tase – tööülevaade

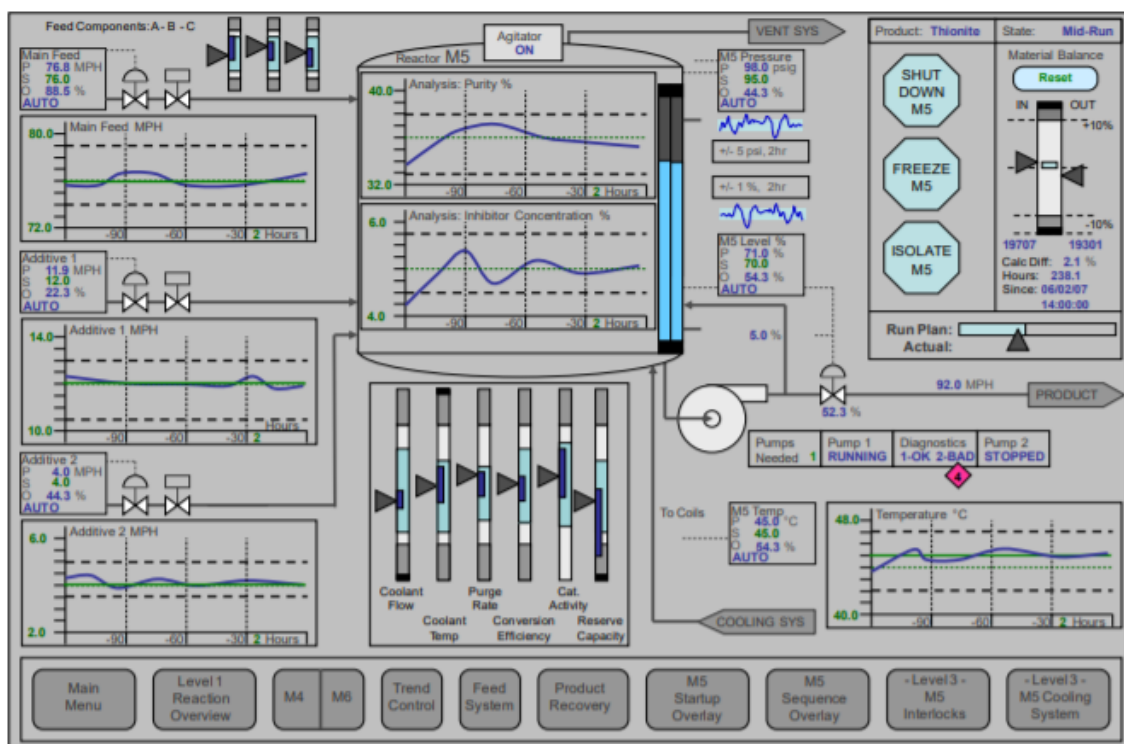
See on üks ekraan, mis näitab täielikku protsessi pilti. Esimene ekraan annab selget teavet protsessi sooritamise kohta. Sellel ekraanil puudub protsessi juhtimise võimalus.



Joonis 18. Esimest tüüpi ekraan [21].

## 2. tase – juhtseade

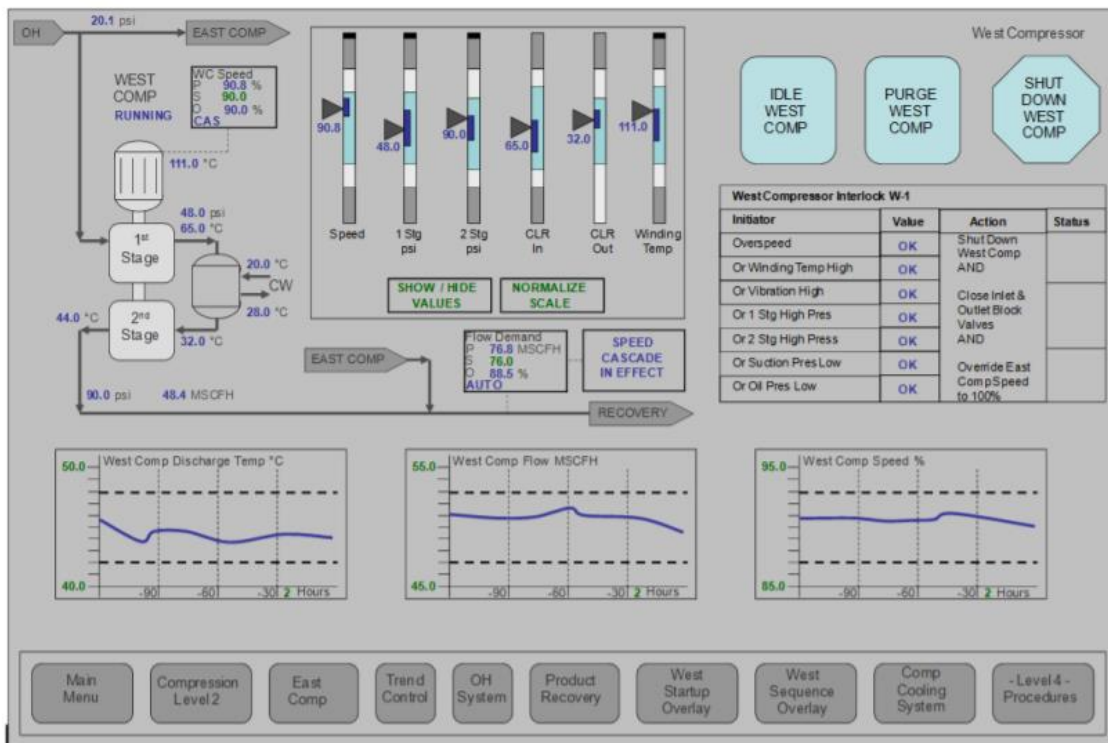
Iga operatsioon koosneb väikestest seksioonioperatsioonidest. Teine ekraan on loodud nii, et see sisaldab kogu teavet ja juhtseadiseid, mis on vajalikud enamiku operatori ülesannete täitmiseks ühel ekraanil.



Joonis 19. Teist tüüpi ekraan [21].

### 3. tase – detailid

Kolmas ekraan sisaldab kõiki üksikasju ühe seadme kohta. Seda kasutatakse probleemide üksikasjalikuks diagnostikaks. See näitab kõiki instrumente, blokeeringu seisundit ja muid üksikasju.



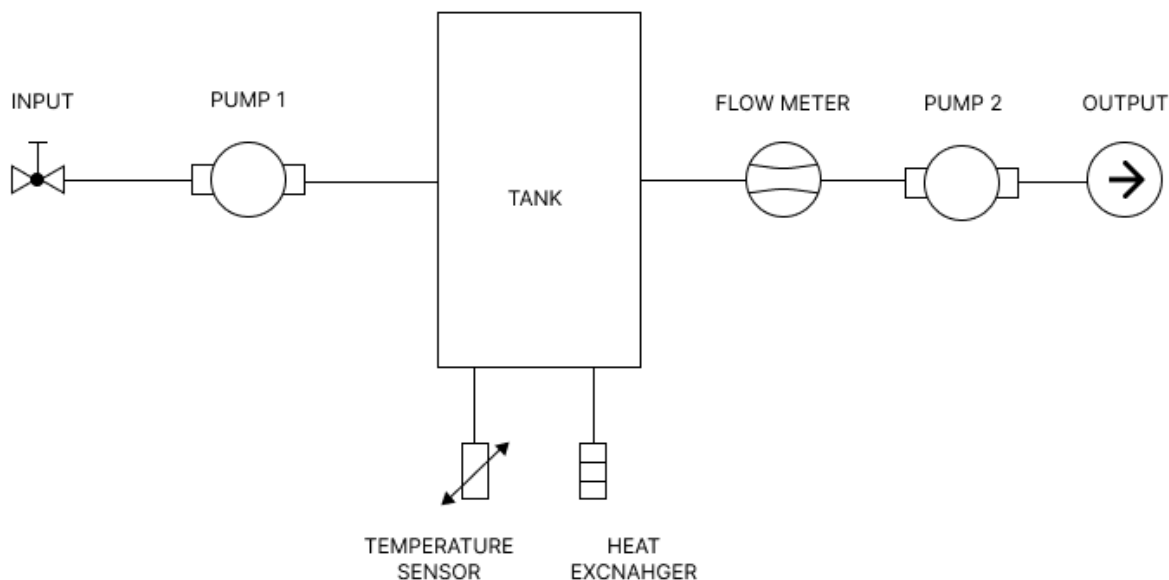
Joonis 20. Kolmandat tüüpi ekraan [21].

Selliseid keerukamaid HMI struktuure kasutatakse juba suurtes ettevõtetes, kus kõik tuleb kvaliteetselt struktureerida. Tavainimesele võib see tekitada raskusi arusaamisega, kuid tegelikult on kõik üsna lihtne ja selge.

## 3.2 Prototüüpide realiseerimine

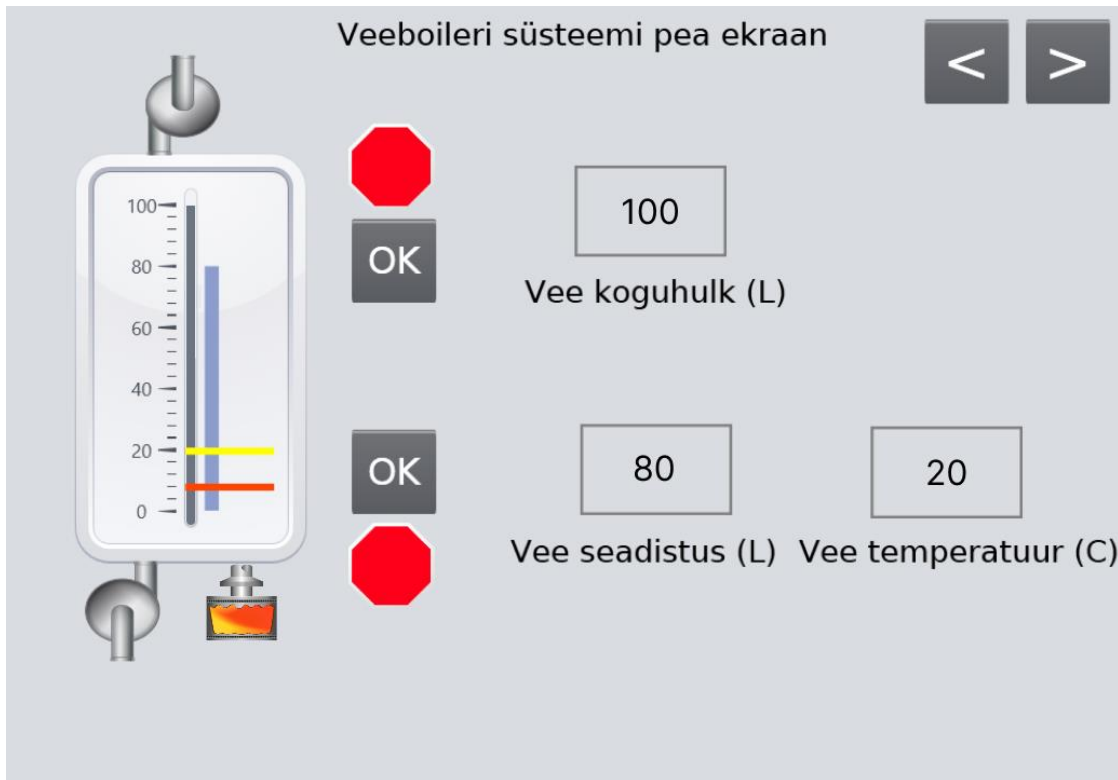
Pärast kõikide standardite ja soovitude üksikasjalikku võrdlemist ning analüüsi on loodud kaks HMI näidet, mida võib ülikooli UniLogicu kontrollritel ja SCADA InTouchi programmis rakendada ning mida saab kasutada lühikursuse demoversioonina kaasaegsemate tehnoloogiate õpetamiseks.

Prototüüpide loomiseks kasutatakse näitena veeboileri lihtsustatud mudelit (Joonis 21). Alusel on 100 liitri line paak, millel on kaks pumpa. Nende abil täidetakse ja tühjendatakse veepaaki. Lisaks on paigaldatud vee temperatuuriandur ja kütteelement. On ehitatud ka kulumõõtur, et teada vee kasutatud kogust.



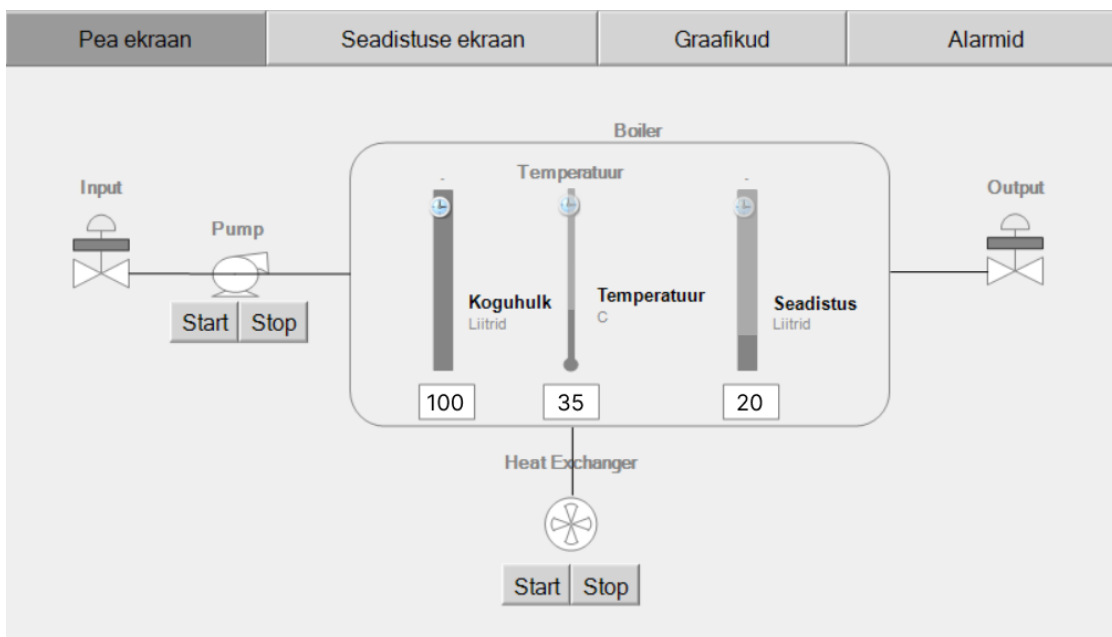
Joonis 21. Süsteemi skeem.

Võttes arvesse UniLogicu programmi võimalusi, püüame luua prototüübi, mis vastaks standarditele ja oleks võimalikult selge igale kasutajale. Mõned detailid spetsiaalselt tehtud teistsuguseks, et näidata olulisi komponente, mis mõnikord tähelepanuta jäävad. Esiteks on näidatud erinevust põhiekraanidel, mis on loodud ainult protsessi jälgimiseks ja millel pole liigseid andmeid (Joonis 22).



Joonis 22. UniLogicu programmi pea ekraan võimaldab ainult jälgida protsessi eest.

Täpselt sama ekraani saab luua ka Aveva InTouchi programmis, kuid võimaldab sellel on väga ulatuslik sümbolkogu, animatsioonide kasutamist minimeerida ja protsessi mõistmiseks lihtsamaid elemente kasutada (Joonis 23):

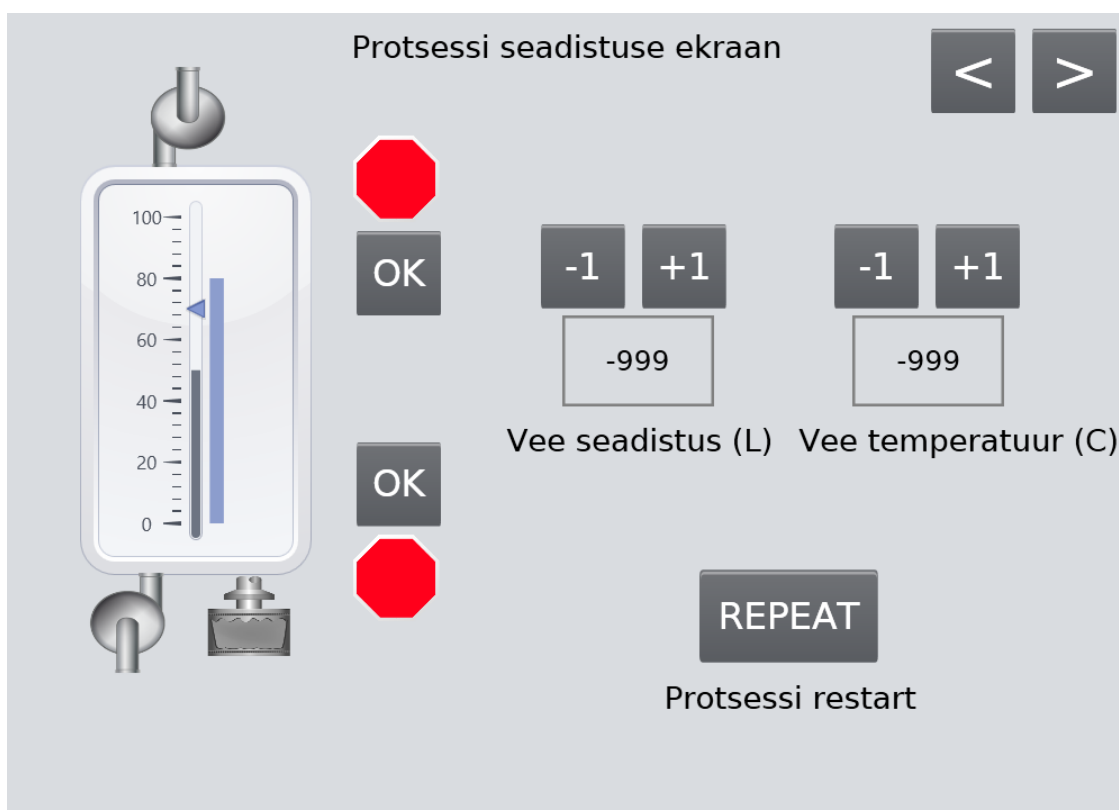


Joonis 23. Peaekraani minimalistlik disain Aveva programmis.

Kõigepealt on pööratud tähelepanu elementide välimusele. UniLogicu programmis on hea sümbolkogu ja tulemus tundub, nagu vaataks multifilmi, kui näen sarnast prototüüpi, mis tähendab, et see näeb välja nagu lastele sobiv protsessi jälgimiseks. Kuid seda ongi taodeldud, sest loodud prototüüp on väga selge, vaatamata ekraani lihtsale välimusele.

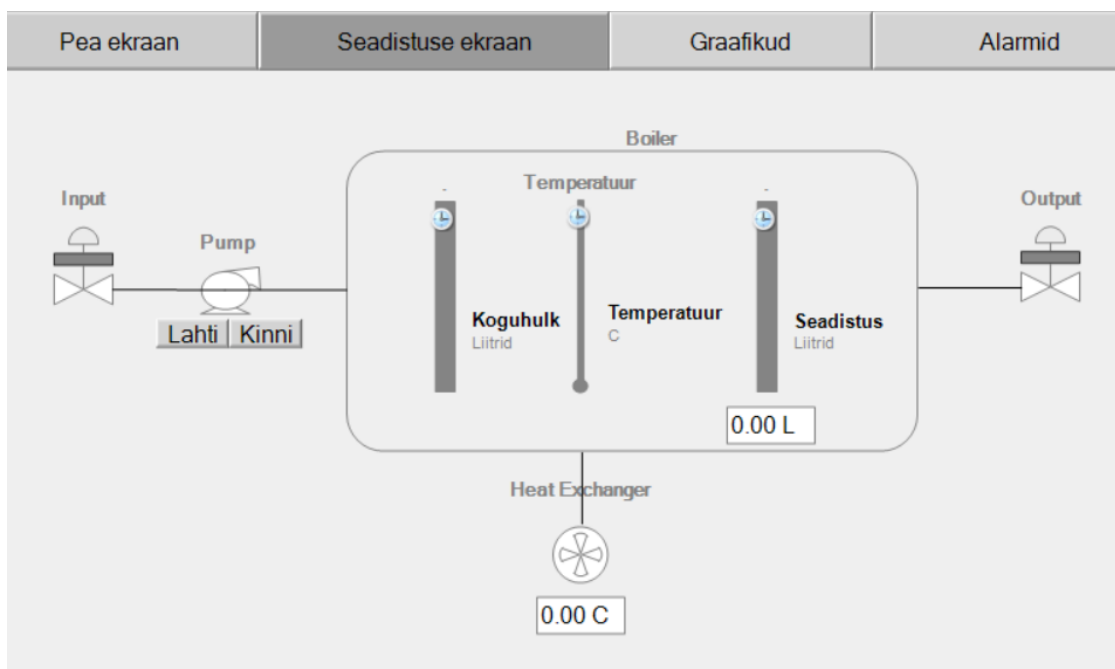
Järgmine teema on nuppude kasutamine ekraanide vahetamiseks. Esimese variandi puhul kasutati nooli ja teisel juhul on nupud oma nimedega, mis lihtsustab liidese kasutamist. See on nõnda jäetud teadlikult erinevuse näitamiseks, kuna mõne projekti puhul sai täheldatud sama erinevust. See lahendus hajutab küll elemendid mitme ekraani peale, ning need pole korraga nähtaval, kuid teemade järgi on võimalik hädaolukorras kohe reageerida sellele, millise ekraani peale on vaja hullema tagajärje vältimiseks ümber lülitada.

Järgmine punkt, millele tähelepanu pöörasin, oli protsessi seadistamise mugavus. Esimesel juhul pean soovitud veekoguse või temperatuuri valimiseks nuppu käsitsi vajutama (Joonis 24).



Joonis 24. Protsessi seadistamine käsitsi UniLogicu programmis.

Teisel juhul on võimalik kohe sisestada konkreetse muutuja vajalik väärtus, mis ühtlasi kiirendab tööprotsessi (Joonis 25).



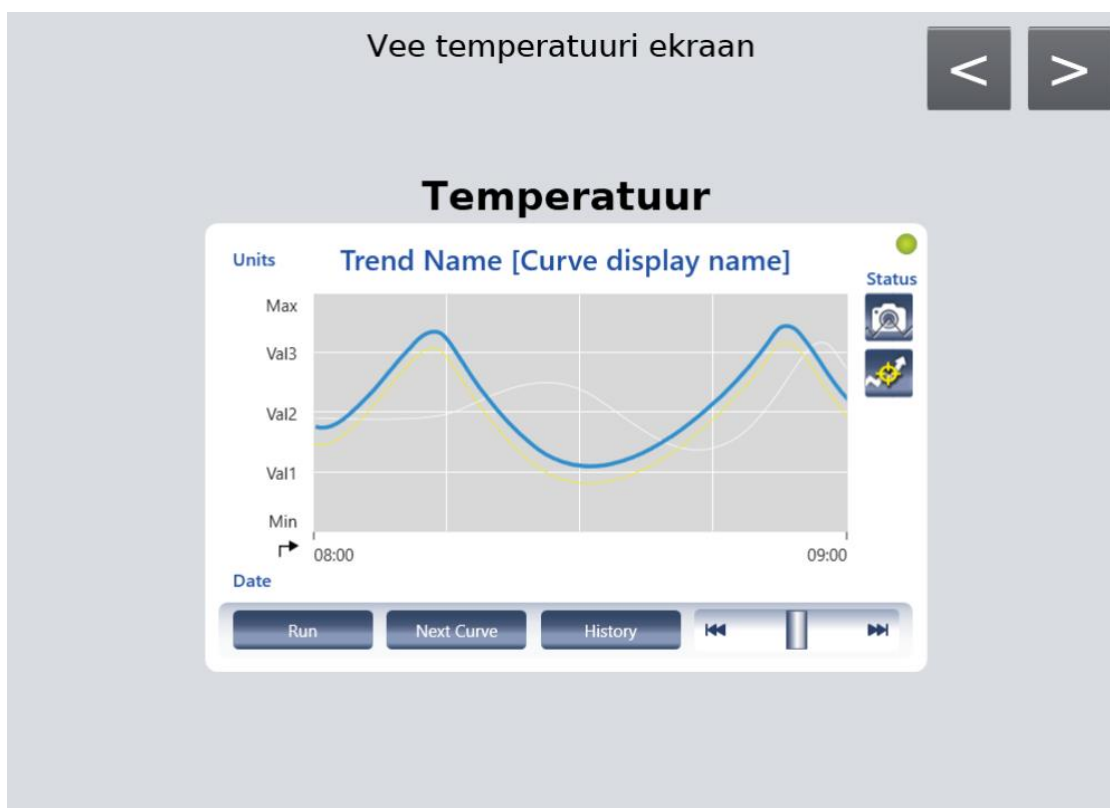
Joonis 25. Lihtsustatud ekraan protsessi seadistamiseks Aveva programmis.

Vähetähtsam pole ka õigete värvide kasutamine. UniLogicu abil on võimalik sundida elementi vilkuma või lisada sellele ettekirjutusmärk, mis näitab elemendi olekut. See võib omakorda mõjutada ekraani küllastust ja võtta lisaruumi. Kuid Avevas on võimalik sundida elementi oma värvi muutma sõltuvalt tema olekust selleks, et ei kasuta liigsed elemente, mis vabastab ekraani ja võimaldab sellest maksimumi võtta. Mis puudutab graafikuid, siis siin on tarkvarade võimaluste vahel suur erinevus. Lisaks sellele, et UniLogicu programmis on väike valik erinevat tüüpi graafikuid, võimaldab see mahutada ekraanile ainult ühe graafiku, vähemalt sellel kontrollerial, mida töö autor kasutas. Kahe graafiku asukoht vähendab elemendi suurust ja muudab informatsiooni tajumise väga keerulisemaks (Joonis 26, 27).



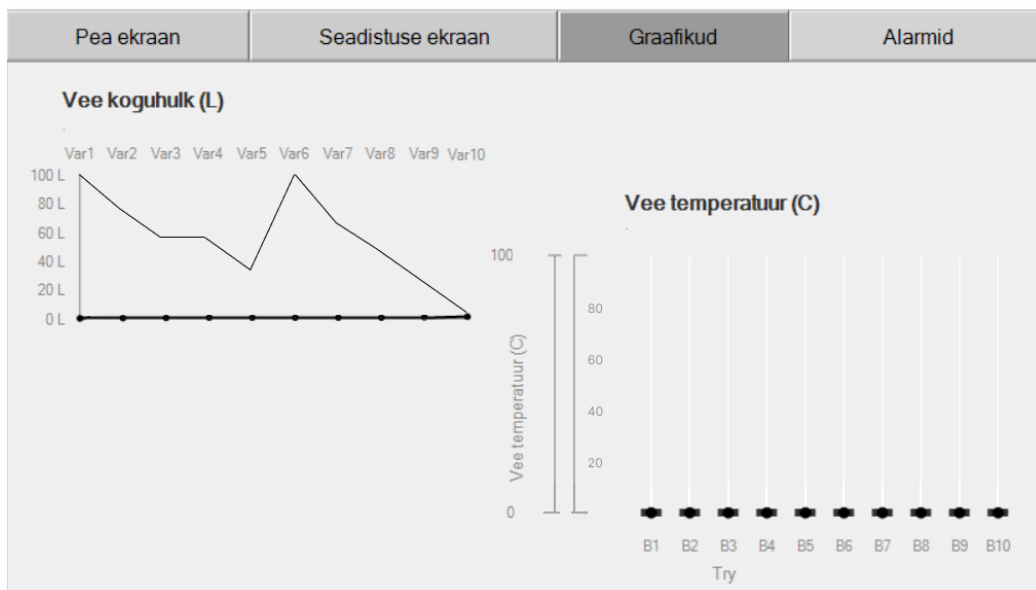


Joonis 26. Ühe graafiku paigaldamine UniLogicu programmis.



Joonis 27. Ühe graafiku paigaldamine UniLogicu programmis.

Intouchis on võimalik ühele ekraanile paigutada tohtul hulgal diagramme ja graafikuid ilma, et selleks peaks kasutama täiendavaid lisaekraane (Joonis 28).



Joonis 28. InTouchil on rohkem vaba ruumi graafikute paigutamiseks ühel ekraanil.

Viimane punkt, millele töös tähelepanu pöörditi, on ajalooliste sündmuste ja hädaolukordade jälgimine. Siin erinevate tarkvarade puhul suuri erinevusi ei leitud, kuna mõlemal juhul on ekraanil eraldi osad, kus on näha konkreetse sündmuse kohta vajalikku teavet (Joonis 29). Autori arvates on protsessi kaugjälgimise võimalus siiski Aveva rakenduses mugavam. Mõnikord võivad operaatorid olla kontrollieritist või arvutist kaugel, mis võib ohtlikku olukorda veelgi süvendada, kui nad õigel ajal ei reageeri. Samas saab InTouchi integreerida mis tahes seadmesse, isegi mobiiltelefoni, mis on mugavam kaugjuurdepääsuks ja häirete vaatamiseks.

Time /	State	Class	Type	Priority	Name
04/17/2022 04:05:24 PM	UNACK	Value	HIHI	1	Alarm1
04/17/2022 04:05:24 PM	UNACK	Value	HI	250	Alarm2
04/17/2022 04:05:24 PM	UNACK	Value	LO	500	Alarm3
04/17/2022 04:05:24 PM	UNACK	Value	LOLO	750	Alarm4
04/17/2022 04:05:24 PM	ACK	Dev	Minor	1	Alarm5
04/17/2022 04:05:24 PM	ACK	Dev	Major	250	Alarm6
04/17/2022 04:05:24 PM	ACK	ROC	1	500	Alarm7
04/17/2022 04:05:24 PM	ACK	Custom	1	750	Alarm8

Joonis 29. Aveva programmis sündmuste jälgimise ekraan.

## KOKKUVÕTE

Lõputöö käigus oli ülesandeks uurida, kui palju võimaldavad SCADA süsteemid ja PLC-de programmeerimise vahendid järgida HMIde disainimisel standardeid. Kuna paljud kasutajaliidesed ei ole ajakohased ja sellest tulenevad vead operaatorite töös, võivad kaasa tuua rasked tagajärjed.

Eelkõige värvide kasutamist, andmete esitamist arvuliselt, graafiliselt ja trendidena, info paigutamist ekraanidele, navigatsiooni ekraanide hierarhias jne. Seda oli vaja uurida ka selleks, et parendada kontrollerite programmeerimise, HMIde ja SCADA süsteemide õpetamist ülikoolis kaasaegsel tasemel. Lähtudes bakalaureuse töö piiratud mahust, piirduakse käesolevas töös WonderWare InTouch tarkvaraga ja Unitronics UniStream kontrolleritega, sest need vahendid on ülikoolis olemas ja neid kasutatakse ka õppetöös.

Selleks on loodud Unitronics Unistream kontrollerite programmide näited ja kasutajaliides Aveva Intouch programmis, mille tulemusena on tehtud HMI loomise võimaluste analüüs ja võrdlus, standardites toodud soovitusena.

Pärast tehtud praktilist tööd pakuti välja oma prototüübid HMI loomiseks. Eelpool kirjutatud punktides juhendades selgitati välja mõlema HMI rakendamise võimaluse tugevad ja nõrgad küljed. HMI loomisel on loomulikult efektiivsem Aveva Intouch tarkvara, mille võimaluste spekter on Unitronicsi kontrolleritega kaasa olevast tarkvarast palju laiem ja parem. Eelkõige: sümboliteek, graafikute lai valik mis tahes energieetikaga seotud protsesside statistika avaldamiseks, eriolukordade üksikasjalik jälgimine, integreerimine erinevat tüüpi liidestega ja võimalus rakendada väga uuenduslikku liidest. Autor soovib rakendada Unistream kontrollerite programmeerimise koolitust ja liideste loomist Aveva Intouchi abiga. Kui kasutada Aveva Intouchi põhidemoversiooni, saab HMI loomisel väga häid praktilisi kogemusi ja lisateadmisi omandada. Koos kontrollerite uurimisega annab see väga häid põhioskusi ja kogemusi, mida saab tulevikus rakendada professionaalsete ja kvaliteetsete liideste loomisel, et vältida katastroofilisi tagajärjed.

## **SUMMARY**

In the course of the thesis, the task was to investigate the extent to which SCADA systems and PLC programming tools support HMI standards. As many user interfaces are out of date and the resulting errors in the operation of the operators can have bad consequences.

In particular, the use of colors, the presentation of data numerically, graphically and in trends, the placement of information on screens, in the hierarchy of navigation screens, etc. It also needed to be studied in order to teach the programming of controllers, HMIs and SCADA systems at a modern level at the university. Due to the limited scope of the bachelor's thesis, this work is limited to WonderWare InTouch software and Unitronics UniStream controllers, as these tools are available at the university and are also used in teaching.

To this end, examples of Unitronics Unistream controller programs and a user interface have been created in the Aveva Intouch program, which has resulted in an analysis and comparison of the possibilities for creating an HMI according to standards.

After practical work, I proposed my own prototypes to create an HMI. Based on the points written above, the strengths and weaknesses of both HMI implementation options were identified. In my opinion, the Aveva Intouch software has the greatest efficiency in creating an HMI, with a much wider and better range of capabilities than Unitronics controllers. In particular: a library of symbols, a wide range of graphs for publishing statistics on energy-related processes, detailed monitoring of emergencies, integration with different types of interfaces and the possibility to implement a highly innovative interface. It is recommended to implement Unistream controller programming training and create interfaces with the help of Aveva Intouch. With the basic demo version of Aveva Intouch, you can gain very good practical experience and additional knowledge when creating an HMI. Together with the study of controllers, it provides excellent basic skills and experience that can be applied in the future to create professional and high-quality interfaces to avoid catastrophic consequences.

## KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Everything You Need to Know about HMI/SCADA [Võrgumaterjal] Saadaval: <https://www.ge.com/digital/blog/everything-you-need-know-about-hmi-scada> [Kasutatud 18 Aprill 2021].
- [2] SCADA: Data Presentation and Control [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.dpstele.com/scada/system-data-presentation-control.php>. [Kasutatud 18 Aprill 2021].
- [3] Going Gray: A New HMI Standard [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://control.com/technical-articles/going-gray/>. [Kasutatud 18 Aprill 2021].
- [4] ISO 9241-110:2006 [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.iso.org/standard/38009.html>. [Kasutatud 18 Aprill 2021].
- [5] What is HMI? [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.inductiveautomation.com/resources/article/what-is-hmi>. [Kasutatud 18 Aprill 2021].
- [6] The human machine interface as an emerging risk [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://osha.europa.eu/en/publications/human-machine-interface-emerging-risk>. [Kasutatud 18 Aprill 2021].
- [7] What's a PLC (Programmable Logic Controller)? [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.automate.org/editorials/what-s-a-plc-programmable-logic-controller>. [Kasutatud 18 Aprill 2021].
- [8] Explaining HMI,SCADA, and PLCs, What They Do,and How They Work Together [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.dosupply.com/tech/2019/02/04/explaining-hmi-scada-and-plcs-what-they-do-and-how-they-work-together/>. [Kasutatud 18 Aprill 2021].
- [9] The Role of Programmable Logic Controllers in a SCADA System [Võrgumaterejal]. Saadaval: <https://htt.io/the-role-of-programmable-logic-controllers-in-a-scada-system/>. [Kasutatud 18 Aprill 2021].
- [10] HMI/SCADA standards in the design of data center interfaces [Võrgumaterjal].Saadaval: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0012-73532015000500023](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532015000500023). [Kasutatud 18 Aprill 2021].
- [11] How Do SCADA System Work? [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.dpstele.com/scada/how-systems-work.php>. [Kasutatud 10 Oktoober 2021].

- [12] Aveva Historian formerly Wonderware [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://wonderwarewest.com/products/hmi-scada-monitor-control-software/historian/>. [Kasutatud 10 Oktoober 2021].
- [13] Wonderware InTouch [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://wonderware.ru/hmi-scada/intouch/>. [Kasutatud 10 Oktoober 2021].
- [14] Какие преимущества дает добавление Historian к системе InTouch? [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://wonderware.ru/pdf/Wonderware\\_AppSolution\\_WhatHistorianAddsToInTouch\\_ru\\_0213.pdf](https://wonderware.ru/pdf/Wonderware_AppSolution_WhatHistorianAddsToInTouch_ru_0213.pdf). [Kasutatud 10 Oktoober 2021].
- [15] Modbus: простыми словами [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://mcs.mail.ru/blog/modbus-dlya-m2m-vzaimodejstviya>. [Kasutatud 10 Oktoober 2021].
- [16] Introduction to Modbus [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.controlglobal.com/articles/2019/introduction-to-modbus/>. [Kasutatud 10 Oktoober 2021].
- [17] Programmeeritud loogikakontroller [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.yumoelectric.com/Programmable-logic-controller-Micro-PLC-PR12-AC-R-RIEVTECH-Mini-PLC-with-Non-expandable-pd40403571.html>. [Kasutatud 4 Detsember 2021].
- [18] The Role of Programmable Logic Controllers in a SCADA System [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://htt.io/the-role-of-programmable-logic-controllers-in-a-scada-system/>. [Kasutatud 4 Detsember 2021].
- [19] Air Inter Flight 148 [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://en.wikipedia.org/wiki/Air\\_Inter\\_Flight\\_148](https://en.wikipedia.org/wiki/Air_Inter_Flight_148). [Kasutatud 4 Detsember 2021].
- [20] Texas City Incident Human Factor Aspects [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.hse.gov.uk/chemicals/workshop/human-factors-09/texas-city-incident.pdf>. [Kasutatud 4 Detsember 2021].
- [21] A High Performance HMI [Võrgumaterjal]. Saadaval: [http://isawaterwastewater.com/wp-content/uploads/2012/07/WWAC2012-invited\\_BillHollified\\_HighPerformanceHMIs\\_paper.pdf](http://isawaterwastewater.com/wp-content/uploads/2012/07/WWAC2012-invited_BillHollified_HighPerformanceHMIs_paper.pdf). [Kasutatud 3 Märts 2022].
- [22] Aveva Intouch HMI formerly Wonderware [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://www.aveva.com/content/dam/aveva/documents/datasheets/Datasheet\\_AVEVA\\_InTouchHMI2020\\_EN.pdf](https://www.aveva.com/content/dam/aveva/documents/datasheets/Datasheet_AVEVA_InTouchHMI2020_EN.pdf). [Kasutatud 3 Märts 2022].