

Aleksandr Sukonko

KAABLIJUHENDITE KOOSTAMISE AUTOMATISEERIMINE ETTEVÕTTE X NÄITEL

LÕPUTÖÖ

Tehnoloogia ja ringmajanduse instituut

Tootmine ja tootmiskorraldus

Juhendaja: Anna Truver, *MSc*

Tallinn 2024

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Aleksandr Sukonko

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Kaablijuhendite koostamise automatiseerimine ettevõtte X näitel

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada ja teha üldsusele kättesaadavaks Tallinna Tehnikakõrgkooli digiarhiivi DSpace kaudu.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi.

Autorideklaratsioon

Mina, Aleksandr Sukonko

tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja ja iseenda varasematele teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

(allkirjastatud digitaalselt)

Juhendaja Anna Truver

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele.

(allkirjastatud digitaalselt)

Lõputöö on kaitsmisele lubatud instituudi direktori korraldusega.

(allkirjastatud digitaalselt)

(kuupäevad digiallkirjades)

SISUKORD

LÜHENDID	5
SISSEJUHATUS	6
1. TEOREETILISED ALUSED	7
1.1. Projekt.....	7
1.1.1. Arendusprojekt	7
1.2. Kaizen	8
1.2.1. PDCA	9
1.3. Kvaliteet	9
1.4. Digitaalse dokumendi töövoog	10
2. ETTEVÕTTE TUTVUSTUS	12
2.1. Ettevõtte struktuur.....	13
3. KAABLITE KOOSTAMINE	14
3.1. Protsessiskeem	15
3.2. Kaablite koostamise etappide aeg	15
3.3. Tootmisliini ülevaade	16
3.4. Tootmisliini digitaliseerimine.....	17
4. KAABLIJUHEND	18
4.1. Kaablijuhendi koostamine, kontrollimine ja kinnitamine	18
4.2. Kaablijuhendi probleem.....	19
5. KAABLIJUHENDI KOOSTAMISE AUTOMATISEERIMINE.....	20
5.1. Tarkvara valik.....	20
5.1.1. <i>RapidHarness</i>	20
5.1.2. <i>Excel</i>	21
5.2. Kaablijuhendite koostamise tarkvara valik	23
5.2.1. <i>Word vs Excel</i>	23
5.3. Kaablijuhendi automatiseerimine.....	23
5.3.1. VBA projekt	24
5.3.2. Kaablijuhendi mall ja lisandmoodul	25
5.3.3. Kaablijuhendi lehehaldur	26
5.3.4. Kaablijuhendi lehekülg	28
5.3.5. Kaabli visualiseerimine	28
6. PARENDATUD KAABLIJUHEND	30
6.1. Kaablijuhendi koostamise eelised <i>Excel</i> 'is	30
6.2. Juurutatud kaablijuhendi tulemused	31
KOKKUVÕTE	33
SUMMARY.....	34

VIIDATUD ALLIKAD.....	35
LISAD	37
Lisa 1. Asendiplaan.....	38
Lisa 2. .xlsm fail (VBA)	39
Lisa 3. .xlam fail (VBA)	40
Lisa 4. Kaablijuhendi sisend.....	41
Lisa 5. Kaablijuhend (lk. 1/2).....	42
Lisa 6. Kaablijuhend (lk. 2/2).....	43

LÜHENDID

VKE – väikese ja keskmise suurusega ettevõtja

CIO – *Chief Information Officer*

PDF – *Portable Document Format*

PDCA – *Plan-Do-Check-Act*

PQR – *Potential Quality Risk Reporting*

ISO – *International Organization for Standardization*

ECM – *Enterprise content management*

SMT – *Surface Mount Technology* (Pinnapealsed tehnoloogia)

THT – *Through Hole Technology* (Läbi augu tehnoloogia)

NPI – *New Product Introduction* (Uue toote tutvustus)

ERP – *Enterprise Resource Planning* (Ettevõtte ressursside planeerimine)

VBA – *Visual Basic for Application*

.xlsm – Exceli Macro-Enabled töövihik (kood)

.xlam – Exceli lisandmoodul

SISSEJUHATUS

Tootmisliini tootlikkuse tõstmine on palju uuritud teema Eestis, mis mõjutab oluliselt meie majandust ja tööstust. Tootlikkuse suurendamine on vajalik, et tagada ettevõtete konkurentsivõime nii kohalikul kui ka rahvusvahelisel turul.

Valitud teema on aktuaalne, sest juhendite koostamise automatiseerimine tootmisettevõttes võib aidata suurendada efektiivsust, vähendada kulusid ja tagada standardite järgimist. See on oluline samm kaasaegse ja konkurentsivõimelise tootmisprotsessi saavutamisel.

Tootmisettevõtte X põhitegevuseks on elektrooniliste seadmete tootmine, aga tegeletakse ka metallist toodete tootmise ja töötlemisega ning kaablite koostamisega elektroonikasüsteemidele. Tänapäeval on Pärnu tehases viis peamist tootmisvaldkonda: elektroonikaosakond, mehaanikaosakond, galvaanikaosakond, integreerimine ja kaabliosakond. Antud töö raames keskendume kaabli tootmisliinile, mis asub integreerimisosakonnas.

Varasemalt on tootmisettevõttes kaablijuhendi koostamine teostatud *Word*'is. Antud kaablijuhend ei vasta nõutud kvaliteedistandarditele. Selle töö raames uurib autor võimalust üle minna *Word*'lt *Excel*'ile, mis võimaldab kaablijuhendi kiiret ja täpset genereerimist vastavalt konkreetsetele kaabli spetsifikatsioonidele.

Lõputöö eesmärk on uurida kaablijuhendi koostamise automatiseerimist.

Eesmärgi saavutamiseks olid püstitatud järgmised ülesanded:

- uurida kuidas tootmisliinil koostatakse kaabel;
- uurida kuidas tootmisliinil koostatakse kaablijuhendid;
- töötada välja tööriist, mis võimaldab kaablijuhendi koostamist automatiseerida.

Lõputöö koosneb kolmest osast. Esimeses osas antakse ülevaade kaablite koostamisest ja varem kasutuses oleva kaablijuhendist. Teises osas kirjeldatakse kaablijuhendi automatiseerimist. Kolmandas osas esitatakse ülevaade parendatud kaablijuhendist ning analüüsitakse tulemus.

1. TEOREETILISED ALUSED

1.1. Projekt

„Projekti definitsioon ütleb, et projektiks nimetatakse konkreetse eesmärgi tähtaegseks saavutamiseks kavandatud tegevuste kogumit, mille elluviimisel on rahalised piirangud [1].“ Seetõttu on kõikidel neil juhtudel, mil kindla aja jooksul peab jõudma kindlaksmääratud tulemuseni, võimalik ja samas ka soovitatav kasutada projektijuhtimise meetodeid [1].

Projekti mõisted on määratletud väga mitmeti. Siinkohal tooks ära kaks definitsiooni, mis avavad ehk kõige paremini projektide olemuse [1]:

1. Projekti all mõistetakse tegevuste kogumit, mis on kavandatud kindla eesmärgi tähtaegseks saavutamiseks arvestades rahalisi piiranguid;
2. Projekt nimetatakse ühekordseks ettevõtmiseks, mis tavaliselt ületab valdkondade piire ja mis on nii oluline, kriitiline või vajalik, et seda ei ole võimalik tavalise juhtimisega nõuetekohaselt teostada, ning mille käsitlemiseks on vaja spetsiaalset organisatsiooni.

Kõikidel projektidel on kindlad tunnused, mis võimaldavad otsustada, kas tegemist on projektiga või mitte. Projekti iseloomustavad [1]:

- keerukas planeerimine ja juhtimine;
- riskirohkus;
- ajaline piiritletus;
- uudsus;
- konfliktsus;
- ühekordus;
- interdistsiplinaarsus;
- olulisus.

Võttes arvesse käivitamisfaasi pikkust ja seal tekkivaid probleeme, võib projekte jaotada järgmiselt [1]:

- arendusprojektideks;
- teostusprojektideks.

1.1.1. Arendusprojekt

„Arendusprojektide eesmärgid ei ole alati konkreetsed, vaid sageli hoopis nägemuslikud [1].“ Kui ettevõtte otsustab käivitada ettevõttesisese arendusprojekti, peab ta sageli alustama projektiga lahendatava probleemi määratlemist. Arendusprojektide puhul ei ole alati teada ka nende eesmärkide saavutamiseks vajalikud tegevused. Selliste projektide

puhul on väga raske kindlaks määrata ühe või teise tegevuse kestust. Kõige kriitilisem on arenguprojektide lõppeesmärgi määratlemine ja saavutamine. Sellele järgneb tulemuste saavutamise aeg ja kulud. Arendusprojektid on sageli ettevõttesisesed ja nende käivitamisetapp on üldiselt pikk [1].

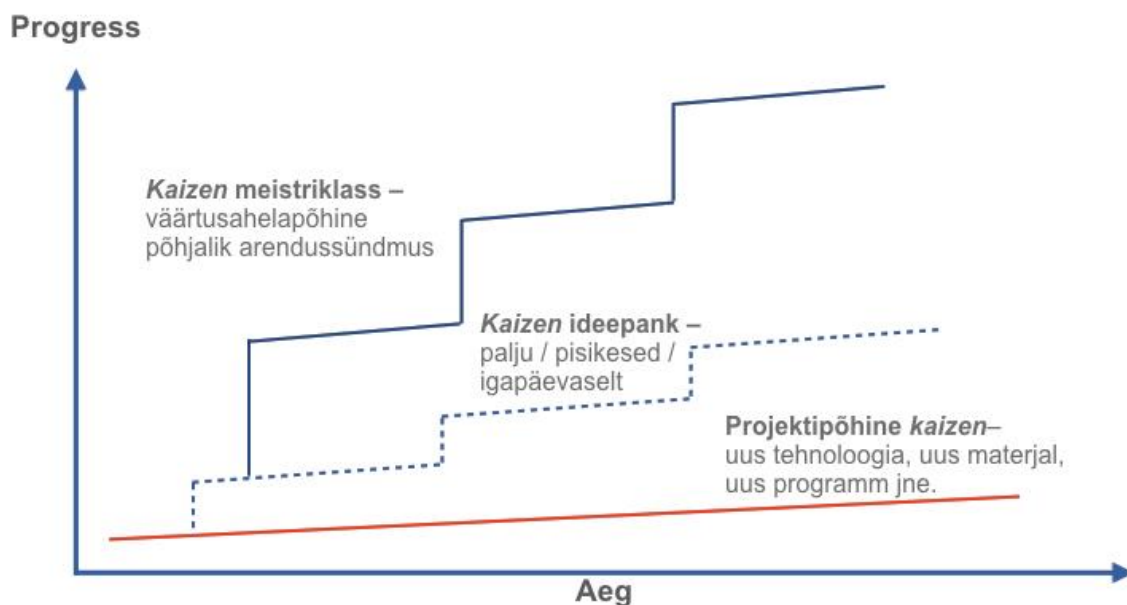
1.2. Kaizen

„Kaizen ehk pidev parendamine“, kus kaasatud kõik ettevõtte töötajad, et luua rohkem väärtust väiksema raiskamisega.

Mõned *Kaizen*'i eesmärgid:

- toodete, teenuste või protsesside parendamine;
- ressursside efektiivne kasutamine;
- kvaliteedi parandamine;
- tootlikkuse suurendamine;
- standardiseeritud töö.

Ettevõtetes on võimalik leida kolme liiki *Kaizen*'i initsiatiive (Joonis 1). Töös keskendutakse projektipõhisele pidevale arendamisele, mida kasutatakse näiteks juhul, kui on vaja juurutada programmi. Tavaliselt tagavad need arengud stabiilse, kuid võib-olla veidi tagasihoidlikuma arengu.



Joonis 1. *Kaizen*'i initsiatiivid [2]

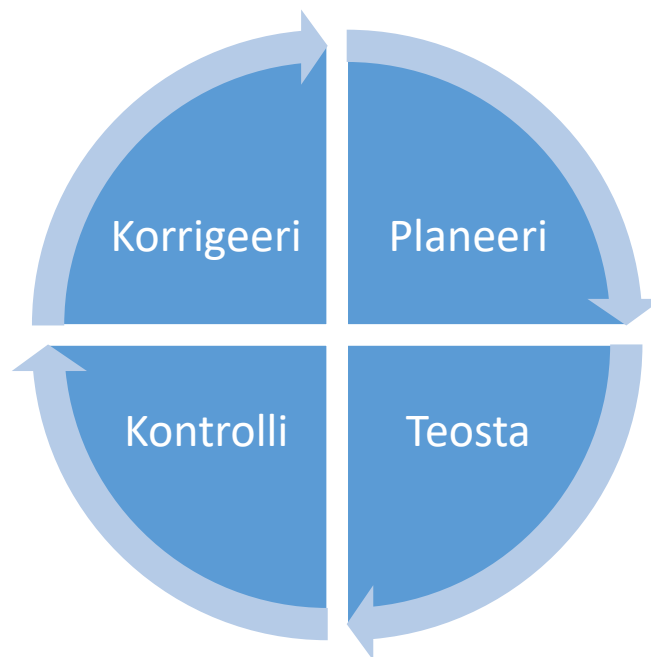
Kaizen'i puhul on üks kõige iseloomulikumaid tunnuseid suure arenguefekti saavutamine väikeste arenduste kaudu, mis kogunevad aja jooksul [2].

1.2.1. PDCA

PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) tsükkel on võimas meetod pidevaks parendamiseks [3].

PDCA tsükli neli etappi [3]:

1. Planeeri (*Plan*) – praeguse olukorra analüüs;
2. Teosta (*Do*) – rakenda tegevused;
3. Kontrolli (*Check*) – mõõda tulemust;
4. Korrigeeeri (*Act*) – rakenda lahendus või alusta uuesti PDCA tsükli.



Joonis 2. PDCA tsükkel [3]

PDCA tsükkel aitab paremaid tulemusi saavutada ja probleeme likvideerida ning parendusettepanekuid ellu viia [3].

1.3. Kvaliteet

„Kvaliteet ladina keeles *qualitas*, mis tähendab omadus, laad, headus [4].“

Terminit kvaliteet on kasutatud pika aja jooksul peamiselt tööstuses. Kvaliteetseks peeti ainult neid tooteid ja materjale, mis vastasid kindlaksmääratud nõuetele. Kvaliteedi mõiste muutus koos ISO 9000 seeria kvaliteedijuhtimissüsteemi standardite tulekuga. Esialgu peeti oluliseks määratleda ainult toodete kvaliteet, kuid hiljem hakati seda mõistet kohaldama ka teenuste suhtes [4].

Toodete kvaliteeti kontrollitakse nõuetele vastavuse tagamiseks. Iga toote kohta on olemas oma nõuded või kriteeriumid, mida saab leida tootestandarditest. Eesmärk on tagada toote omadused ja mõõtmed [4].

Kvaliteedi tagamine tähendab kvaliteediprobleemide vältimist. Ettevõtted rakendavad kvaliteedijuhtimissüsteemi, mille vastavust hinnatakse ja kontrollitakse korrapäraselt. Kuna kvaliteedikulud hõlmavad nii ennetus ja hindamiskulusid kui ka sisemisi ja väliseid rikkeid, on eriti oluline, et kvaliteetsed tooted oleksid valmistatud alates esimesest partiist [5].

1.4. Digitaalse dokumendi töövoog

Dokumendihalduse ja digiteerimise tähendus viitab peamiselt meetoditele ja protsessidele, mida kasutatakse dokumentide töövoogude loomiseks ettevõttes, mis tuginevad ainult digitaalsetele vahenditele. See hõlmab tavaliselt pilvetehnoloogiat ja automatiseerimist, et parandada dokumendiga seotud protsesside tõhusust [6].

Digitaalne dokumenditööprotsess on olnud VKE-de (väikese ja keskmise suurusega ettevõtja) eesmärk juba mitu aastat. Selle põhjused on muutunud üha selgemaks, sest organisatsioonid on hakanud nägema oma tööprotsesside digitaalsest ümberkujundamisest saadavat kasu. Praegu on olemas terve rida digitaalseid lahendusi ja tehnoloogiaid, mida CIO-d (*Chief Information Officer*) püüavad oma strateegiatesse lisada, et kasutada ära digiteerimisest tulenevat konkurentsieelist. Kuigi tööprotsesside digitaalne ümberkujundamine ei tähenda ainult paberipõhiste protsesside asendamist, ei ole kahtlust, et aegunud tööprotsessidele kuluv aeg ja raha on ettevõtete jaoks peamine liikumapanev tegur [6].

Dokumendihaldus ja digiteerimine viitab samadele protsessidele, mis moodustavad digitaalse dokumenditöövoo. Dokumendihalduse ja digiteerimise all võib mõista lahendust, mida organisatsioonid kasutavad dokumentide - olgu need siis PDF (*Portable Document Format*) või paberfailid – salvestamiseks, jälgimiseks ja säilitamiseks [6].

Kui rääkida digitaalsetest dokumenditööprotsessidest, võib mõelda dokumendihaldusele ja digiteerimisele kui selle põhikomponendile [6].

Digitaalse dokumenditöö halva kvaliteedi põhjused [6]:

- Andmesilod. Andmesilod on andmerühmad, mis on ülejäänud ettevõttest sisuliselt ära lõigatud, sest need asuvad eraldiseisvates digitaalsetes kohtades. Siin on vaid mõned näited andmesilode probleemidest, mis tekivad kehva digitaaldokumentide töövoogu tõttu:

- Andmeanalüüs: Silod tähendavad, et teave on salvestatud eri kohtades, sageli ebajärjekindlates failivormingutes. See muudab äriotsuste tegemiseks vajaliku analüüsi palju keerulisemaks;
- Juurdepääs: Õiguste ja juurdepääsu probleemid on silode puhul tavalised. Lõpptulemus on see, et töötajad ei saa vajalikke andmeid piisavalt kiiresti kätte, mis aeglustab tööprotsesse märkimisväärselt;
- Ebavajalik töö: Piiratud nähtavus kogu ettevõttes tähendab sageli seda, et erinevad meeskonnad teevad sama tööd paralleelselt, kuigi ühine juurdepääs ja silode kõrvaldamine säästaks aega ja energiat;
- Kehv kommunikatsioon. Kui digitaalsed dokumenditööprotsessid on alakasutatud, võib juhtuda, et mitte ainult andmed, vaid ka kultuur ei muutu silohoidlikuks. Ettevõtte osakonnad hakkavad töötama iseseisvalt, oma andmete ja protsessidega. Digitaalse ümberkujundamise puhul on oluline tugev kultuur, et tagada nii klientide kui ka teenuse pakkujate edu. Dokumendi töövoogude unarusse jätmisega on väga lihtne langeda lõksu, kus kultuur on ebaühtlane ja osakonnad tegutsevad liiga autonoomselt;
- Aeganõudvad paberimajandusprotsessid. Töötajaid takistab sageli see, et nad peavad täitma algelisi, käsitsi tehtavaid ülesandeid. Sageli on need seotud käsitsi tehtavate andmesisestusülesannetega, kuid ka paberprotsessid on teine tavaline takistus. Nii nagu tüütu andmesisestus maksab tööjõudu, on ka paber kahekordne kahju. Valdavalt paberipõhiste protsessidega töötavate ettevõtete puhul peavad töötajad kulutama väärtuslikku aega füüsiliste dokumentide käsitlemisele. Seda lisaks suurtele summadele, mis kuluvad paberile endale.

Dokumentatsiooni digiteerimise töövoogude eelised [6]:

- Paberkandjal dokumentide kasutamise vähendamine. Ei saa jätta tähelepanuta asjaolu, et paberipõhistest protsessidest loobumine võib olla ettevõtte jaoks suur muutus. Paljude jaoks on siiski vajalik muutus, et võtta mingil määral kasutusele digitaalsed dokumenditööprotsessid. ECM (*enterprise content management*) kasutamine võib märkimisväärselt suurendada ettevõtte töövoogude tootlikkust. Sellega säästetakse aega ja materjale võrreldes füüsiliste paberipõhiste vastetega. Samuti annab see palju suurema nähtavuse ja kontrolli ettevõtet läbivate dokumentide ja andmete üle, võimaldades dikteerida ettevõtte töövoogu, mitte vastupidi;
- Paremini kulutatud aeg ja ettevalmistused nõuete täitmiseks. Kuna töötajate jaoks kulub vähem aega andmete ja teabe otsimisele, säilitamisele ja käitlemisele, saavad nad oma aega paremini kasutada, kui dokumendivoo automatiseerimine ja kvaliteetsed dokumendihaldusprotseduurid on olemas. See toob kasu nii ettevõttele kui ka töötajale - töötajad raiskavad vähem aega, samas kui tööandja ei maksa töötajatele ülemäära palju aega dokumentide otsimiseks, millele neil on nüüd vahetu juurdepääs.

2. ETTEVÕTTE TUTVUSTUS

Ettevõtte X on rahvusvaheline tootmisettevõtte peakontoriga Soomes, mis asutati 1976. aastal. Ettevõttel X on kokku 9 tehast, mis asuvad seitsmes erinevas riigis: Soomes (1 tehas), Rootsis (2 tehast), Poolas (2 tehast), Saksamaal (1 tehas), USA-s (1 tehas), Hiinas (1 tehas) ja Eestis (1 tehas). Ettevõtte X pakub klientidele toodete valmistamise teenust.

Ettevõtte X strateegia on suunatud kasvule, seades eesmärgiks 10% kasvu aastas.

Ettevõtte X missioon on aidata kliendile edu saavutada, pakkudes erinevad tõhusad ja innovatiivsed lahendused.

Eestis alustas tegevust 1997. aastal ja tootis ainult kaableid. Ettevõtte põhitoodang alates 2002. aastast on elektroonilised seadmed. Toodang hõlmab ka metallist toodete tootmist ja töötlemist ning kaablite koostamist elektroonikasüsteemidele.

Pärnu tehases töötab ligi 500 töötajat, et säilitada tehase toimimine 3 vahetuses.

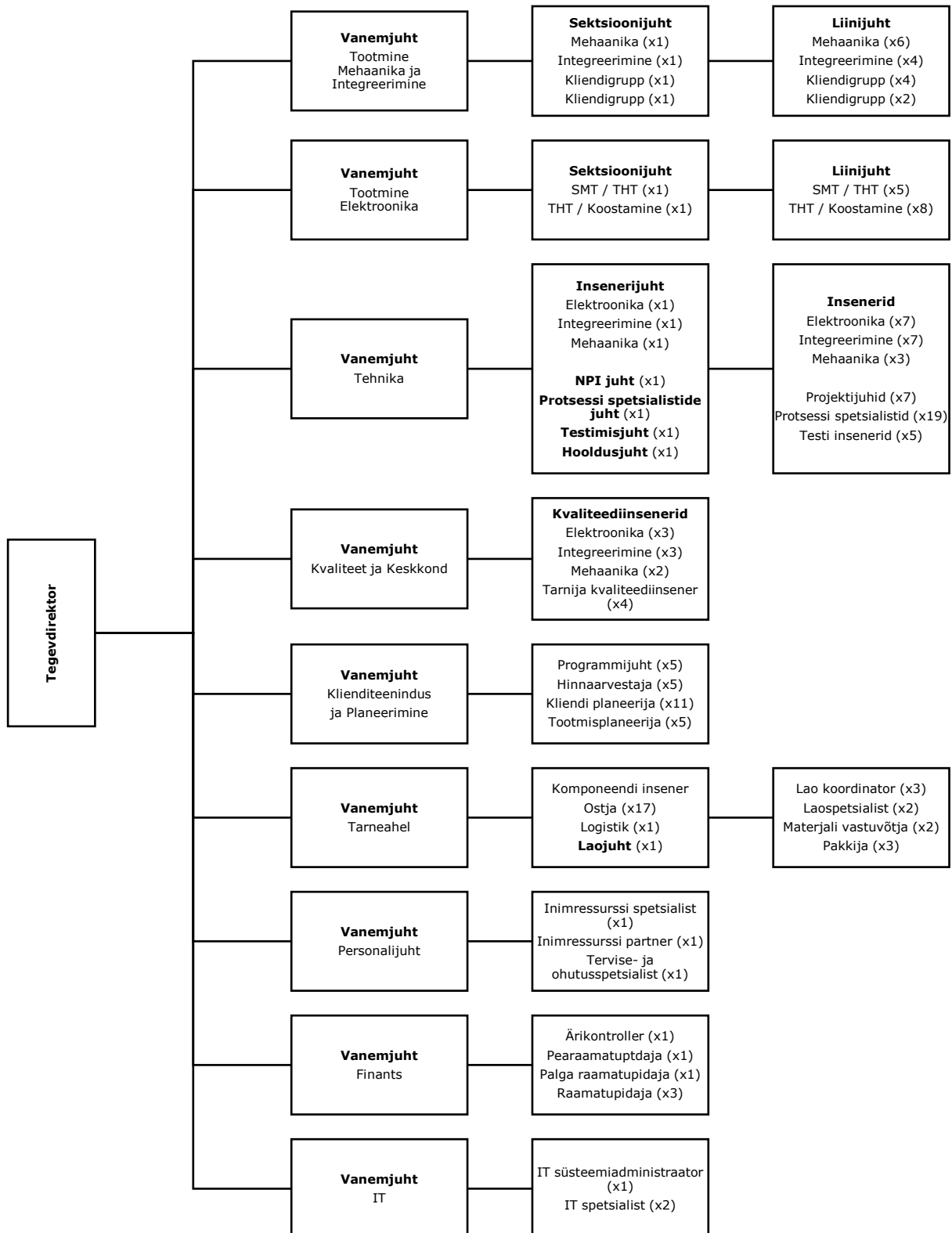
Ettevõtte X on pidevalt arenenud, et pakuda klientidele erinevaid lahendusi. Täna sel päeval Pärnu tehases on viis põhilist tootmisvaldkonda:

- elektroonikaosakond;
- mehaanikaosakond;
- galvaanikaosakond;
- integreerimine;
- kaabliosakond.

Ettevõtte X Pärnu tehase 2022. aasta käive oli 105,42 miljonit eurot.

2.1. Ettevõtte struktuur

Ettevõtte struktuur (Joonis 3) koosneb mitmest olulisest osast, mis toimivad kooskõlastatult, et tagada tõhus tootmine ja kvaliteetsete toodete valmistamine.



Joonis 3. Ettevõtte struktuur

3. KAABLITE KOOSTAMINE

Kaabliosakonnal tootmisliinil ette valmistatakse kahte tüüpi kaableid sisekaabel ja väliskaabel, mida kasutatakse edaspidi peatoote ühendamiseks. Sisekaabel (Joonis 4) on tavaliselt ühesooneline kaabel, mis on ette nähtud toote sisse ühendamiseks. Väliskaabel (Joonis 5) on mitmesooneline kaabel, mis on ette nähtud toote väljastpoolt ühendamiseks.



Joonis 4. Ühesooneline kaabel [7]



Joonis 5. Mitmesooneline kaabel [8]

Lõputöö autor keskendub oma praktilises osas väliskaablile.

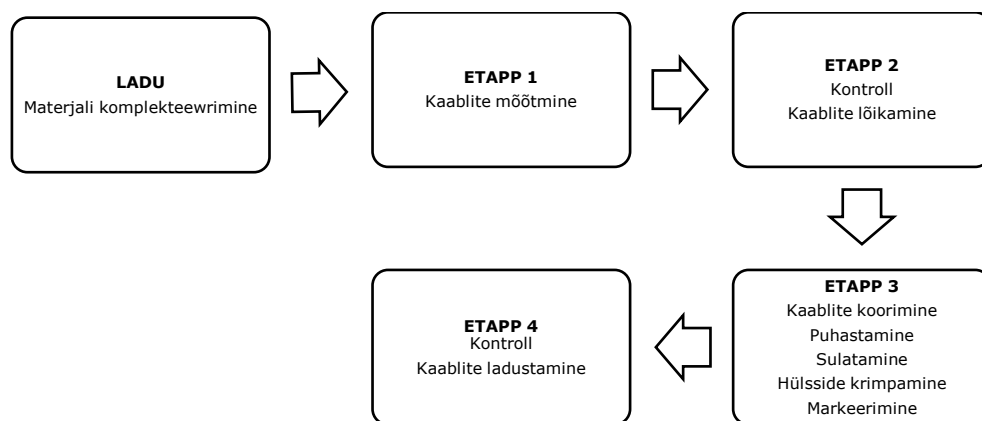
Töötamise alustamiseks ERP-s (*Enterprise Resource Planning*) avatakse töökäsk konkreetsele tootele, mis kuulub projekti. Tavaliselt koosneb projekt kolmest või neljast põhitootest, iga toote jaoks tuleb ette valmistada 20–50 väliskaablit.

Materjal komplekteeritakse laos iga toote jaoks eraldi kärude peale, tuues kärud liini algusesse. Seejärel mõõdetakse kaablid vastavalt kaablijuhendile. Enne kaabli lõikamise alustamist kontrollivad operaatorid kaabli pikkust. Kui kaabli pikkus vastab juhendile, siis kaabel lõigatakse. Järgmisena jagatakse kaabel operaatorite vahel, kes hakkavad seda

koostatama. Kui kaablid on valmistatud, suunduvad nad järgmisse etappi, kus toimub kontroll ja ladustamine.

3.1. Protsessiskeem

Kaabel komplekteeritakse laost liinile seejärel kaabel mõõdetakse 18-meetrise mõõtelaua peal. Pärast mõõtmete kontrollimist lõigatakse kaabel ja jagatakse töötajate vahel, kes teevad edaspidi järgmisi toiminguid: koorimine, puhastamine, sulatamine, hülsside krimpamine ja markeerimine (Joonis 6).



Joonis 6. Protsessivoog

3.2. Kaablite koostamise etappide aeg

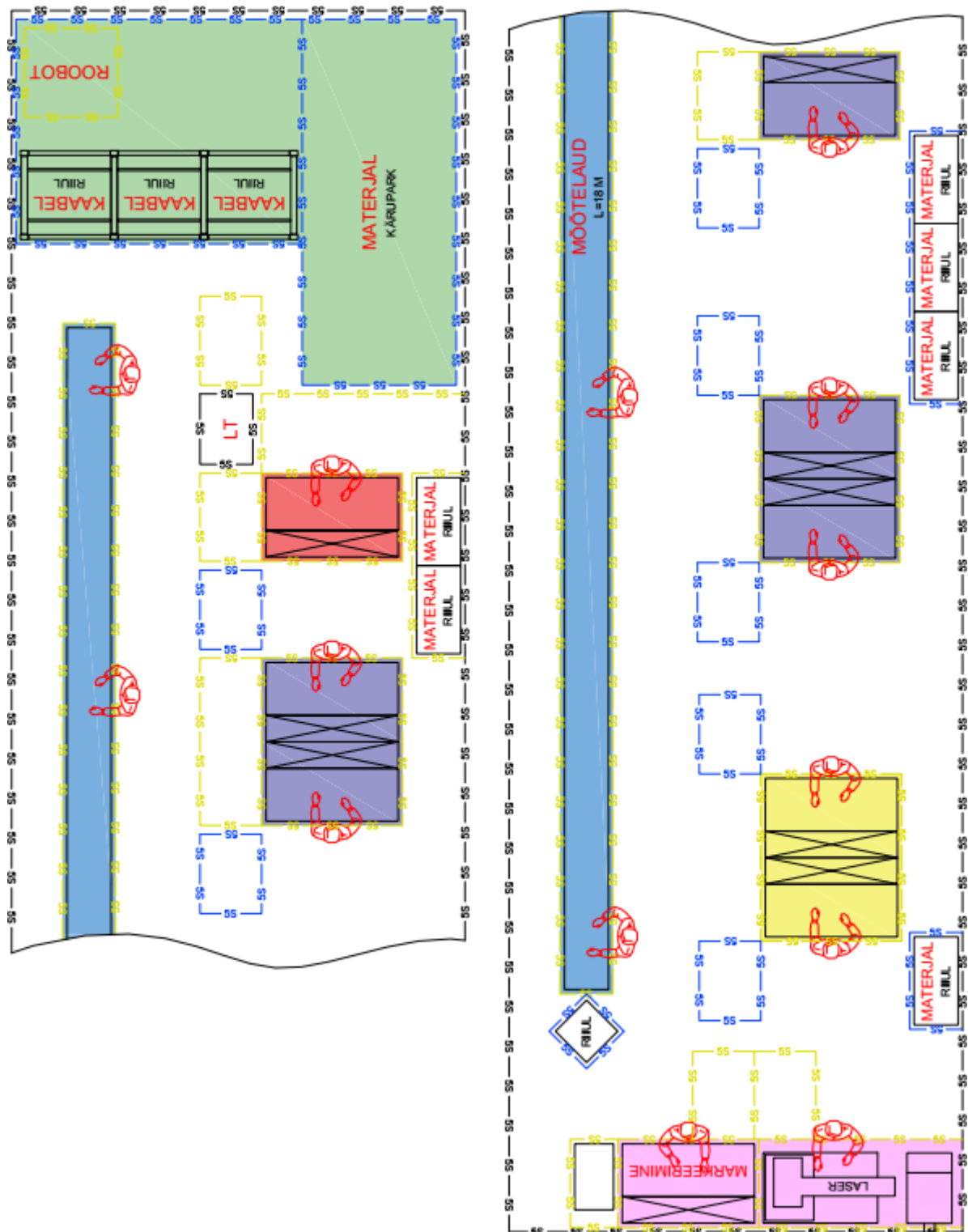
Tabel 1 näitab etappide operatsioone ning töö teostamiseks kulunud aega enne kaablijuhendi koostamise automatiseerimist. ERP järgi võtab 110 tk kaablite koostamine aega 11 h.

Tabel 1. Töökoormus / 1 peatoode

Operatsioon	Töökoormus
Etapp 1. Mõõtmine (2 töötajat)	2 h
Etapp 2. Lõikamine (2 töötaja)	1 h
Etapp 3. Koostamine (5 töötaja)	8 h
Kokku väliskaablite koostamine	11 h

3.3. Tootmisliini ülevaade

Ettevõtte X kaabliosakonna tootmisliin (Joonis 7) koosneb mitmest etapist alates materjali saabumisest kuni lõpptoote valmimiseni.



Joonis 7. Asendiplaan

Kaabli tootmisliin koosneb 10 töölauast operaatoritele, ühest laserist, 18-meetrisest mõõtelauast ja materjali riiulitest. Igal töölaual on töö tegemiseks vajalik tööriist, samuti puuteekraan või arvuti.

Kaabelliin on jagatud mitmeks tsooniks:

1. Rohelise tsoon. Lisaks töölaudade juures asuvatele riiulitele on kaabelliini alguses ruumi laost tuleva materjali jaoks.
2. Sinine tsoon. Vasakul on 18 meetri pikkune laud kaablite mõõtmiseks ja lõikamiseks.
3. Punane ja lilla tsoon. Paremal on töölaudad: üks laud kaabli kontrollimiseks, 5 lauda väliskaabli koostamiseks ja kaks lauda sisekaabli koostamiseks.
4. Roosa tsoon. Kaabelliini lõpus on kaks töölauda märgistamiseks, üks printeritega varustatud laud ja üks laseriga varustatud laud.

3.4. Tootmisliini digitaliseerimine

Kaabliosakonna tootmisliini digitaliseerimine on protsess, mis hõlmab üleminekut digitaalplatvormile. Digitaliseerimise eesmärk on parandada tootmise tõhusust, parandada toodete kvaliteeti ning vähendada kulusid ja raiskamist. Üks suuremaid väljakutseid on töötajate koolitamise ja kohanemise ning turvalisusega seotud probleemid seoses digitaalsüsteemide haavatavusega.

Digitaliseerimise projekti raames oli infotehnoloogi ülesanne paigaldada kaabli tootmisliinile iga laua peale arvuti või puuteekraan (Joonis 8). See oli oluline samm, et muuta tootmisliini keskkond kaasaegsemaks ja võimaldada töötajatel kasutada tehnoloogiat igapäevastes töös. Enne paigaldamist viidi läbi põhjalik uurimine, et tagada valitud seadmete vastavus vajadustele.



Joonis 8. Puuteekraan [9]

Kuni selle ajani olid kaablijuhendid trükitud tootmisliinile, aga nüüd järgmine samm oli viia kaablijuhendid arvutisse. Töötajatele korraldada oli koolitus, kuidas kasutada digitaalset keskkonda.

4. KAABLIJUHEND

Varem oli kasutusel *Word* dokumendis tehtud kaablijuhendid (Joonis 9).

Kaablijuhend on üles ehitatud järgmiselt. Dokumendi päises on lühikirjeldus, kelle poolt dokument koostati, kontrolliti ja kinnitati, samuti dokumendi nimi ja kasutatud juhtmestiku skeem ning kaabli nimi ja kasutatud materjal.

Dokumendi põhiosa on jagatud 2 osaks. Vasakul ja paremal näeme vajalike tööetappide samm-sammult kirjeldust kaabli mõlema otsa jaoks. All paremal on tabel materjali kokkuvõttega.

ETTEVÕTTE X EESTI		Dokumendi nimi XXXX XX XXXXXXXX		WD XXXX079776 rev. A	
Valmistatud XXXX	No. XXXX	Kaabli nimi XWX	Toode XXXX035286		
Kinnitatud XXXX	Kuupäev 23.08.XXXX	Rev	Fail X:\Valmistusdokumendid\Integreerimine\XXXX\Tööjuhised		

1. Kaabel XXXXA024801 lõigata 1250mm (180+670+400) 2. Kaablile paigaldada skintop (...204) 2tk. 3. 1 ots koorida 180mm, maandusvõrk jätta 20mm alles, äärde sul.sukk XXXX4881 30mm. 4. Juhtmete otstest puhastada kile ja paber 120mm, maandused ära lõigata. Äärde sul. sukk XXXX640 2x20mm. 5. SININE 1 } Lõigata juhtmed otsast 40mm lühemaks, PRUUN 1 } otstesse hülsid XXXX091399 (pikk sinine) 2tk. HALL 2 } Ei lõika lühemaks, SININE 2 } otstesse hülsid XXXX091399 (pikk sinine) 2tk PRUUN 1 XXXXA3-X35-1 } SININE 1 XXXXA3-X35-2 } XXXX03 HALL 2 XXXXA3-X34-1 } SININE 2 XXXXA3-X34-2 }	1. 2 ots koorida 400mm, maandusvõrk 20mm alles jätta, äärde sul. sukk XXXX4881 30mm. 2. Juhtmete otstest puhastada kilest ja paberist 120mm, maandused ära lõigata, äärde sul. sukk XXXX640 2x20mm. 3. SININE 2 } Lõigata juhtmed otsast 40mm lühemaks HALL 2 } otstesse hülsid XXXX091399 (pikk sinine) 2 tk. SININE 1 } Ei lõika lühemaks, PRUUN 1 } otstesse hülsid XXXX091399 (pikk sinine) 2tk PRUUN 1 XXXXA2-X35-1 } SININE 1 XXXXA2-X35-2 } XXXX03 HALL 2 XXXXA2-X34-1 } SININE 2 XXXXA2-X34-2 }
---	---

Materjali kood	Nimetus	Kogus
XXXXA024801	kaabel	1,25m
XXXX4881	sul.sukk	0,06m
XXXX640	sul.sukk	0,08m
XXXX091399	hüls	8tk
XXXX03	markeering	8tk
XXXX17	markeering	2tk

Joonis 9. Juhend

4.1. Kaablijuhendi koostamine, kontrollimine ja kinnitamine

Juhendite koostamine, kontrollimine ja kinnitamine on oluline osa ettevõtte tegevuse tõhususe tagamisel.

Kaablijuhendi koostamise alustamiseks on vaja kaabli ja toote spetsifikatsioone ning juhtmestiku skeemi. Pärast dokumentide läbitöötamist saab spetsialist järgmised

põhiandmed: kaabli pikkus, juhtmete pikkus ja ühenduspunktid. Seejärel arvutab spetsialist välja lisamaterjalid, mida on vaja kaabli koostamiseks: hülsid, läbiviigud, markeeringud jne.

Saadud andmete põhjal saab alustada kaablijuhendi koostamist. Sõltuvalt sellest, kus kaabel on ühendatud, koosneb kaablijuhend ühest osast (üks kaabli ots) või kahest osast (kaks kaabli otsa).

Kaablijuhendite sisu peab olema selge ja arusaadav, kasutades lihtsat keelt ja selgitavat kirjutamisstiili.

Enne kaablijuhendite ametlikku väljaandmist on oluline neid kontrollida ja tagada, et need oleksid täpsed, täielikud ja arusaadavad. Oluline on kontrollida, kas kogu vajalik teave on kaetud ning teha vajaduse korral parandusi või täiendusi.

Pärast kontrollimist ja vajalike paranduste tegemist võib kaablijuhendid ametlikult kinnitada. See tähendab, et kaablijuhendid on valmis kasutamiseks.

4.2. Kaablijuhendi probleem

*Word'*is kaablijuhendite koostamisel on kokku puutunud mitmete probleemidega, millest kolm peamist olid järgmised:

- Trükivead – kaablijuhendi koostajatel on olnud palju trükivigasid, mida ei ole võimalik automaatselt leida.

Võiks vältida trükivigade tekkimist, kui *Word'*is oleks võimalus:

- automaatselt summeerida andmed;
- automaatselt teha andmed värviliseks - tingimuslik vormindamine;
- ühendada andmebaas andmete otsimiseks;
- Ajapuudus – kaablijuhendi koostamiseks ei ole piisavalt aega, sest
 - pidev prototüüpide valmistamine;
 - olemas ainult 2-3 päeva kaablijuhendite koostamiseks.
- Ressursipiirang – kogemus on näidanud, et *Word'*is koos töötamine on tegelikult võimatu. See tähendab, et üks kaablijuhend saab olla tehtud ainult ühe protsessi spetsialisti poolt.

Vead võivad olla nii sisemised kui ka välised. Sisemised vead on need puudulik juhis, vale kaabli pikkus, vale materjali kood, valed kaabli või juhtmete märgistus, mis leiti kvaliteedikontrolli käigus liinil. Välised vead on need vead, mille on leidnud klient, see tähendab kaebused.

5. KAABLIJUHENDI KOOSTAMISE AUTOMATISEERIMINE

Kaablijuhendi koostamise automatiseerimise eesmärk on suurendada protsessi tõhusust ja täpsust ning vähendada inimlike vigade riski. Üks võimalus on kasutada spetsiaalset tarkvara, mis võimaldab sisestada kaablite tehnilised andmed ning genereerib selle põhjal automaatselt juhendid. See tarkvara võib olla programmeeritud arvestama erinevate kaablite tüüpide ja spetsifikatsioonidega, mis muudab juhendite loomise kiireks ja lihtsaks.

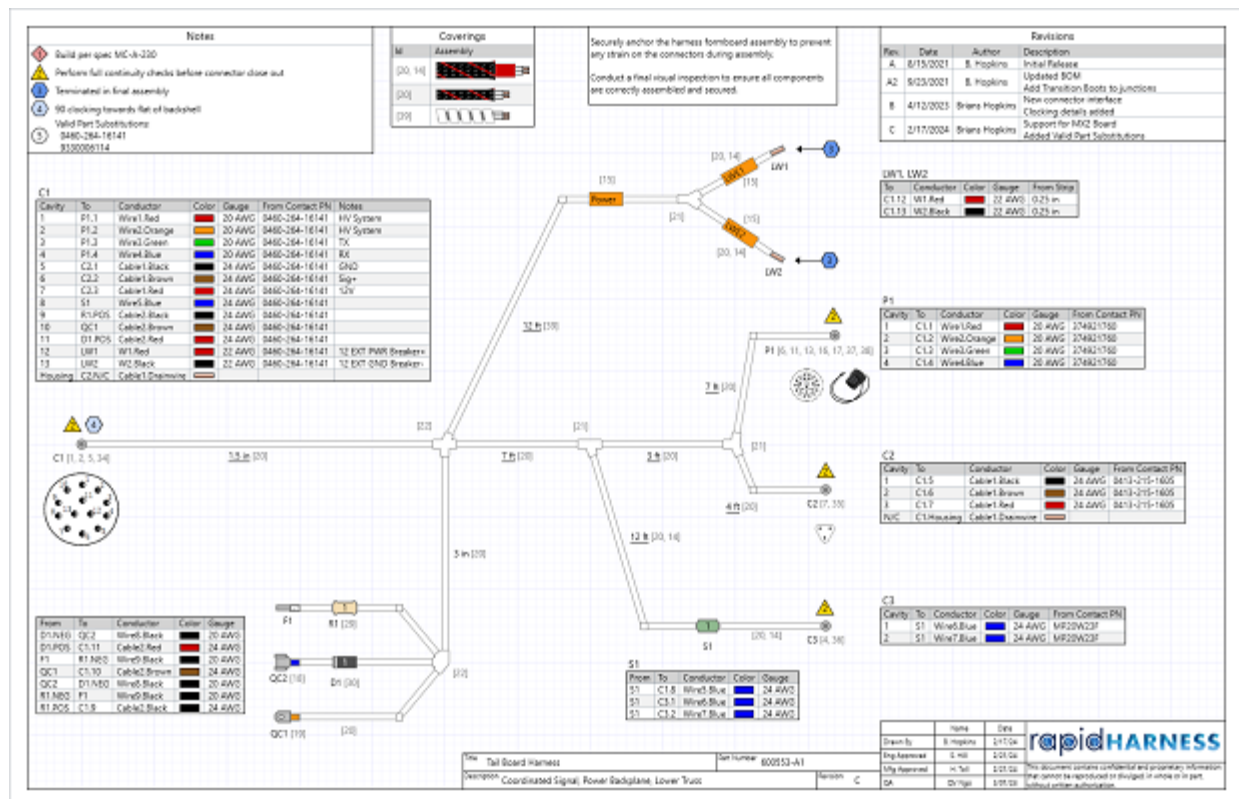
Oluline on tagada, et tarkvara oleks usaldusväärne ja täpne, et vältida vigu ja tagada juhendite täpsus.

5.1. Tarkvara valik

Üheks valikuks oli *RapidHarness* (Joonis 10) alternatiivne variant oli *Excel*.

5.1.1. *RapidHarness*

RapidHarness on CAD lahendus, mis on loodud juhtmeaharude skeemide kavandamiseks.



Joonis 10. *RapidHarness* tarkvara [10]

RapidHarness eelised [11]:

- Automaatne joonistamine. *RapidHarness* on algusest peale loodud selleks, et joonistada skeemid reaajas automaatselt.
- Automaatselt genereeritud tootmisdokumendid. *RapidHarness* joonised saab otse tootmispõrandale viia. Tarkvara genereerib automaatselt kõik vajalikud väljundid PDF ja *Excel*'i formaadis.
- Integreeritud osade raamatukogu. *RapidHarness* on ühendatud osade raamatukoguga, kus on üle 80 miljoni komponendi, mis tähendab, et ei pea kunagi alustama oma kavandeid nullist. Võimlaik on leia vajalik osa, määra vaid soovitud atribuudid ja alusta kavandamist kohe.
- Loodud meeskondade jaoks. *RapidHarness* on loodud töötama nii iseseisvalt kui ka koostöös suurte rühmadega. Saab jagada oma disaini kogu organisatsioonis, et oma töövoogu optimeerida.
- Integreeritud versioonikontroll. *RapidHarness* sisaldab täielikult integreeritud versioonikontrollisüsteemi. Nupuvajutusega saab luua disaini uue versiooni, luua oma disainist muutumatu versiooni ning kloonida olemasolevat disaini.
- Koostöö välisorganisatsioonidega. Saab oma jooniseid jagada organisatsiooniväliste kasutajatega, luues *RapidHarness*'is partnerluse. See võimaldab jagada valitud kaustu ja jooniseid väliste organisatsioonidega nagu näiteks alltöövõtjatega, tootjatega ja konsultantidega.
- Tööriistad. *RapidHarness*'is on loodud mitmesuguseid tööriistu, mis aitavad kiirendada rakenduste kavandamise protsessi.
- Disain süsteemi tasemel. Süsteemi tasandil disain võimaldab keerulisi süsteeme täielikult korduvkasutatavateks kujundusteks. Juhtmestiku skeemide jaotamisega väiksemateks komponentideks võimaldab *RapidHarness* kujundada skeeme uuest vaatenurgast.
- Taaskasutamine ja selle süsteemi mitme eksemplari lisamine teistes süsteemides.

RapidHarness pakub mitmeid kasulikke funktsioone kaabliühendite koostamisel. Siiski pole see mõeldud tavalisele kaablile ning seal pole võimalik kavandada üksikute mitmesooneliste kaablite skeeme.

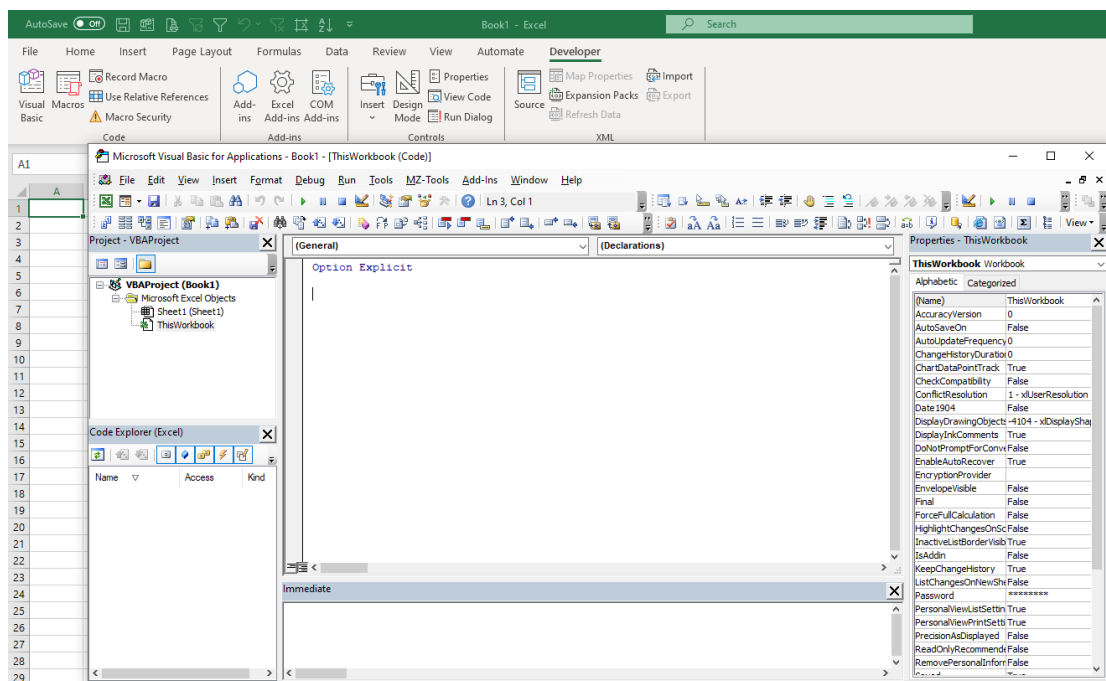
5.1.2. Excel

Excel on võimas tööriist suurest hulgast andmetest vajaliku teabe leidmiseks. Kuid selle abil saab teha ka lihtsaid arvutusi ja jälgida peaaegu igasugust teavet. Kogu selle potentsiaali ärakasutamise aluseks on lahtrite ruudustik. Lahtrid võivad sisaldada arve, teksti või valemeid. Andmed sisestatakse lahtritesse ja seejärel rühmitatakse ridadesse ja

veergudesse. Selle abil on võimalik andmeid summeerida, sortida ja filtreerida, need tabelisse lisada ja koostada professionaalseid diagramme [12].

VBA (Joonis 11) on programmeerimiskeel, mida kasutatakse *Microsoft*'i toodetes. VBA programmeerimise kasutamiseks *Office*'is on mitu peamist põhjust [13]:

- Automatiseerimine ja korratavus. VBA programmeerimine on tõhus ja tulemuslik korduvate vormindusprobleemide ja paranduste lahenduste loomisel. Kui mingi muudatus tuleb teha rohkem kui kümme või kakskümmend korda, siis võib seda rakendada VBA abil. Kui muudatust on vaja teha mitusada korda, tuleks kindlasti kaaluda VBA rakendamist. Peaaegu kõiki käsitsi tehtavaid vormingu- või redaktsioonimuudatusi saab rakendada VBAGA.
- Kasutajate suhtlemisvõimaluste laiendamine. Mõnikord on mõned kasutaja toimingud *Office*'i dokumendiga või rakendusega vajalikud või soovitud, kuid need ei ole standardrakenduses kättesaadavad. Näiteks soov teavitada kasutajaid, et nad teeksid midagi, kui nad avavad, salvestavad või printivad dokumendi.
- *Office*'i rakenduste koostoime. Mõnikord ei toimi lihtsalt kopeerimine ja kleepimine nii nagu peaks või on see liiga aeglane. Kasutada saab VBA programmeerimist, et töötada korraga kahe või enama *Office*'i rakenduse andmetega ja muuta siis ühes rakenduses olevat sisu nii, et see vastaks teises rakenduses olevale sisule.
- Teine võimalus. VBA programmeerimine on võimas lahendus, kuid see lähenemisviis ei ole alati optimaalne. Mõnikord on mõistlik kasutada eesmärkide saavutamiseks teisi meetodeid.



Joonis 11. Excel/ VBA

5.2. Kaablijuhendite koostamise tarkvara valik

Kaablijuhendite koostajate meeskond kaalus hoolikalt erinevaid tegureid ning valis tehnoloogia, mis sobib kõige paremini ettevõtte tootmise meeskonnale. Valiti *Excel*, milleks oli mitu põhjust. Esiteks oli paljudel spetsialistidel juba olemas põhiteadmised *Excel*'ist ja selle kasutamisest andmete töötlemiseks ja analüüsimiseks. Teiseks põhjuseks olid ressursid, sest kui puuduks juurdepääs *RapidHarness*'ile, siis see oleks võinud teha kaablijuhendi koostamine keerukamaks. Lõpuks, mitte vähem oluliseks teguriks osutus kasutajamugavus.

5.2.1. *Word* vs *Excel*

Kaablijuhendite koostamisel *Word*'is võrreldes *Excel*'iga võib tekkida mitmeid probleeme:

- Struktuur – *Excel* võimaldab andmeid struktureerida tabelite, veergude ja ridade abil, mis võib olla mõnes olukorras parem kui lihtsalt tekstipõhine formaat, mida *Word* pakub.
- Andmete töötlemine – *Excel*'is saab teha arvutusi, sorteerida andmeid, rakendada filtreid jne, mis teeb andmete töötlemise palju lihtsamaks ja tõhusamaks kui *Word*'is.
- Andmete esitamine – *Excel* võimaldab luua graafikuid, mis aitavad andmeid visuaalselt esitada. *Word*'is võib graafikute loomine olla keerulisem ja vähem paindlik.
- Dokumendi suurus – Kui dokument sisaldab suures koguses andmeid või arvutusi, võib see *Word*'is muutuda mahukaks ja raskesti hallatavaks samas, kui *Excel* suudab selliseid andmeid tõhusamalt haldada.
- Andmete täpsus – Käsitsi sisestatud andmete puhul võib *Word*'is olla suurem tõenäosus vigade tekkeks võrreldes *Excel*'iga, kus arvutused ja valemite kasutamine võivad vähendada inimlike vigade riski.
- Koostöö – Kui mitu inimest töötavad sama dokumendi kallal, võib *Excel*'is olla lihtsam ja tõhusam koostööd teha, eriti kui tegemist on jagatud töölehtede või ühiste andmebaasidega.

5.3. Kaablijuhendi automatiseerimine

Excel'is sisseehitatud VBA on lihtne keskkond ning võimaldab kiiresti omandada programmeerimise alused, aidates edaspidi luua esimese rakenduse. VBA (koos *Exceli* põhirakendusega) võimaldab luua kiiresti suuri ja keerulisi programme ning on võrreldav keerulisemate programmeerimiskeeltega. Eriti hästi sobib programmeerimine VBA-l mitteinformaatikutele, võimaldades lahendada ülesandeid oma valdkonnas [14].

5.3.1. VBA projekt

VBA projekt koosneb mitmest erinevast komponendist (Joonis 12), mis koos töötades võimaldavad automatiseerida ülesandeid ja protsesse, nagu kaablijuhendite koostamine ettevõtte X jaoks. Oluline on luua struktuur, mis on organiseeritud, selge ja kergesti hooldatav, tagades seeläbi projekti tõhusa toimimise ja pikaajalise elujõulisuse [15].

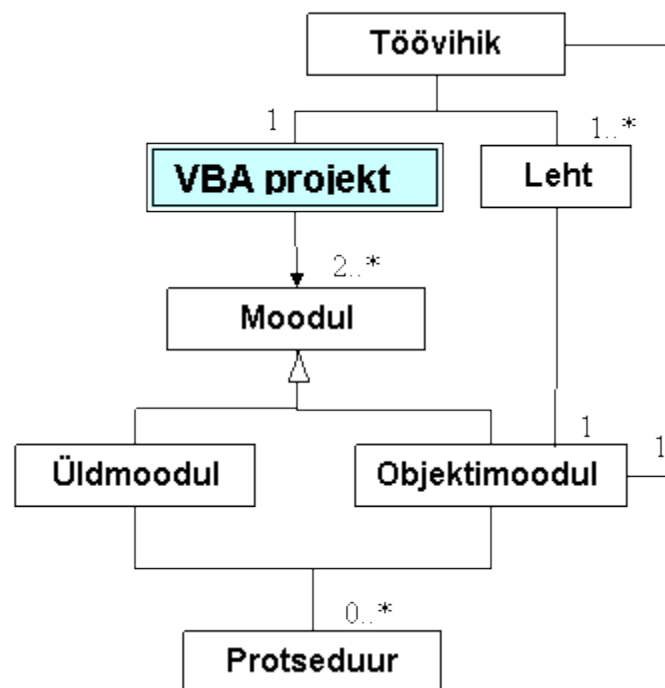
VBA projekti struktuur võib olenevalt konkreetsest ülesandest varieeruda, kuid siin on üldine ülevaade, kuidas VBA projekt tavaliselt üles ehitatakse [15]:

- moodulid;
- vormid;
- klassimoodulid.

Moodulid VBA projektis võivad olla üldmoodulid või objektimoodulid, kuhu programmeerija saab sisestada üldisi või spetsiifilisi funktsioone või piiramata protseduure [15].

Kui projekt hõlmab kasutajaliidest, luuakse VBA abil vormid. Need võimaldavad kaablijuhendi kasutajal sisestada andmeid, valida suvandeid ja käivitada toiminguid.

Klassimoodulid on objektide mallid, mis võimaldavad luua kohandatud andmestruktuure ja funktsioone. Näiteks, klassimoodul esindab objekti (kaablit), millel on sellised omadused nagu tüüp, pikkus ja materjal.



Joonis 12. VBA projekti struktuur [15]

5.3.2. Kaablijuhendi mall ja lisandmoodul

Selleks, et kaablijuhendeid saaks automatiseerida, oli loodud mall kasutades VBA-d, mille abil saab toiminguid automatiseerida.

Loomine algab ideest, mis antud ülesandes seisnes selles, et lisaks kaablijuhendi automatiseerimisele taheti saavutada ka kaabli visualiseerimine. Kuid esimestel etappidel puudus plaanis kaabli visualiseerimine ja kood oli kirjutatud esialgu ainult kaablijuhendite automaatseks koostamiseks, et protsessi kiirendada ja vähendada vigade arvu. Kaablijuhendi käsitsi koostamisel Wordis, tegid spetsialistid palju vigu kaabli kogupikkuse ja juhtmete pikkuse arvutamisel ning kaabli koostu materjali valimisel.

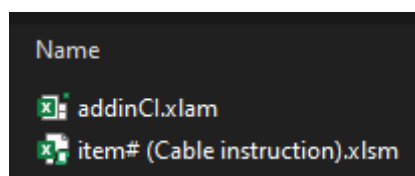
Kaablijuhendi käsitsi koostamiseks ja järelkontrolliks oli alati vaja hoida ees spetsifikatsioone, et määrata kindlaks millist materjali tuleks kasutada, näiteks teades kaabli paksust oli võimalik paigaldada õige üleminek, teades kaabli juhtmete ristlõiget oli võimalik kasutada õigeid hülse.

Seega jõudis projekti meeskond järeldusele, et lisaks mallile on vaja paralleelselt täiendada andmebaasi, kuhu spetsialistid hakkaksid sisestama andmeid iga uue kaabli kohta. Andmebaasiga töötamise ja sellele juurdepääsu lihtsustamiseks loodi fail *Excel'i* formaadis. VBA abil sidusime andmebaasi malliga vajalike andmete allalaadimiseks (Joonis 13).

```
myFirstColumn = 1
myLastColumn = 71
myFirstRow = 3
myLastRow = 500
myPath = "D:\[redacted]\Working instruments for engineers\"
myExcelFile = "Cable glands.xlsx"
```

Joonis 13. Andmebaas

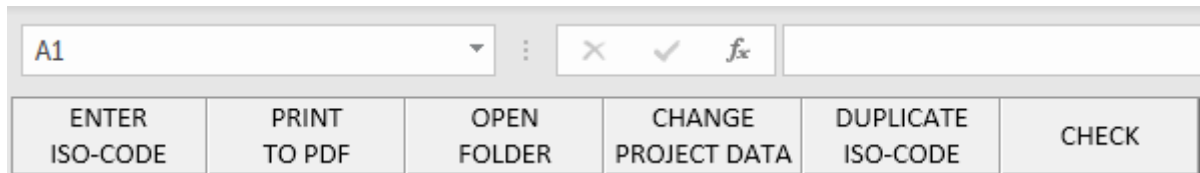
Programmi koodi toetuse ja muutmise lihtsustamiseks eraldati *Excel'i* lisandmoodul (*addinCI.xlam*) mallist (*item# (Cable instruction).xlsm*) (Joonis 14). See võimaldas programmi kergemini muuta ilma, et oleks vaja muuta dokumendi malli ennast. Igal loodaval mallil võetakse protseduuri töötlemise kood alati ühest failist (*addinCI.xlam*).



Joonis 14. Põhifailid

5.3.3. Kaablijuhendi lehehaldur

Kui avada mall esimest korda, on näha tühi lehekülg kuue nupuga (Joonis 15). See on kaablijuhendi pealeht.

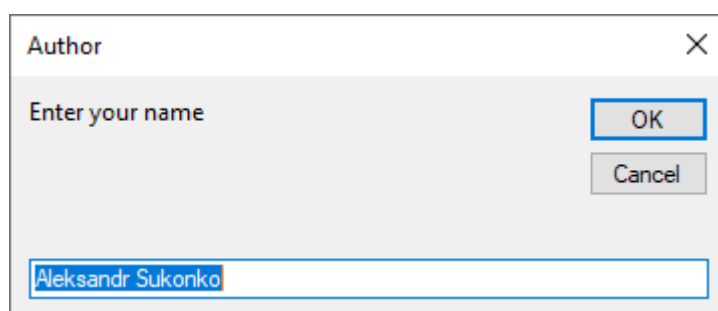


Joonis 15. Nupud

Alljärgnevalt antakse lühiülevaade nuppude funktsioonidest:

1. *ENTER ISO-CODE*. Kasutatakse kaablijuhendi koostamise alustamiseks.
2. *PRINT TO PDF*. Kasutatakse kõigi lehekülgede trükkimiseks üheks .pdf formaadis raamatuks.
3. *OPEN FOLDER*. Kasutatakse kausta avamiseks, kus on salvestatud *Excel*'i töövihik.
4. *CHANGE PROJECT DATA*. Kasutatakse projekti muudatuste tegemiseks.
5. *DUPLICATE ISO-CODE*. Kasutatakse kaablijuhendi lehekülje paljundamiseks või kopeerimiseks.
6. *CHECK*. Kasutatakse kontrolli teostamiseks, näiteks saab kontrollida kas õiget materjali kasutakse kaablijuhendis.

Uue lehekülje lisamiseks kaablijuhendisse tuleb vajutada nuppu *ENTER ISO-CODE*, mis avab dialoogiboksi, kuhu tuleb sisestada autori nimi (Joonis 16).



Joonis 16. Kaablijuhendi autor

Seejärel ilmub järgmine aken (Joonis 17), kus igale reale tuleb sisestada teave vastavalt eelnevalt kindlaks määratud märksõnadele. Edaspidi uue lehekülje loomisel kasutatakse varem sisestatud põhiaandmeid, seega välistatakse vigade tekkimise võimalus ja vajadus sisestada andmeid iga kord.

Input

ISO-code

ISO-code

Material

material code

Product

product code

description

Project code

project code

Project name

project name

Type

engine type

W.D. / rev.

wiring diagram

Rev

Wärtsilä

☐ FIN
☐ ITA
☒ Other

OK

Joonis 17. Kaablijuhendi sisend

Uue lehekülje lisamisel kaablijuhendi lehekülje haldurisse lisatakse ka põhiandmed, nagu kaabli nimetus, pikkus ja materjal. Samuti uuendatakse sisukord (Joonis 18) ning sorteeritakse leheküljenumbreid automaatselt A-st Z-ni vastavalt ISO-koodile. Kaablijuhendis järgmisele leheküljele liikumiseks tuleb vajutada vastavat *ISO-CODE*.

ENTER ISO-CODE	PRINT TO PDF	OPEN FOLDER	CHANGE PROJECT DATA	DUPLICATE ISO-CODE	CHECK
Product code	PAAF910381A	DE			
Project code	SP032992.S.FS1-P11				
Project name	CDA-M34				
Engine type	W12V46E				
Wiring diagram	DAAP512608	-			

Page#	ISO-code	Cable length	Material code	Comments
Page 1	CV3-1	1550 mm	PAAF171841B	Updated 26.03.2024 by Aleksandr Sukonko
Page 2	CV3-2	1700 mm	PAAF171841B	
Page 3	CV3-1	1650 mm	PAAF171841B	
Page 4	CV3-1	1650 mm	PAAF171841B	
Page 5	GS3-1	1600 mm	PAAF854571A	

<

>

Sheet manager

+

Joonis 18. Kaablijuhendi sisukord

5.3.4. Kaablijuhendi lehekülg

Kogu teave, mis varem oli sisestatud kaablijuhendi sisendisse, kuvatakse nüüd lehekülje päises ja jaluses (Joonis 19). Samuti on näha kaablile vihjet, mis lisatakse andmebaasist ja mida on võimalik kohandada. Veel on vaja lisada pikkused, täita tabel ja määrata millist läbiviiku peab kasutama.

MATERIAL: PA 000123 CABLE 7x0,75 mm²

W-1

FIN CABLE INSTRUCTION
WD: DA 000131 A

Cable length total	#	Colour	Shorten	Ferrule	Conn. point	Dir.
3190 mm	1	Black	0 mm	PA 000194	ESM-X16-7	A
	2	Blue	10 mm	PA 000194	ESM-X16-8	A
	3	Brown	0 mm			
	4	Grey	0 mm			
	5	Light blue	0 mm			
	6	White	0 mm			
	7	Orange	0 mm			

Cable length without insulation
2550 mm

Cable gland for end-1
0050G434203

Cable length without insulation
100 mm

Cable gland for end-2
0050G377104

Note for END-1

Maandusvõrk jätta 20mm.
Juhtmed puhastada isolatsioonist.
Isolatsiooni äärest sulatada **sulatus sukk 7333640** 100 mm
Ülejäänutele juhtmetele **sulatus sukk 7333640** 30 mm

KOLLANE MARKEERING W00016 PAREMPIDI

Note for END-2

Maandusvõrk jätta 20mm.
Kaabli otsast puhastada isolatsioon
Isolatsiooni äärest sulatada **sulatus sukk 7333640** 30mm
Ülejäänutele juhtmetele **sulatus sukk 7333640** 30 mm

PRODUCT: PA 000131 MC

PROJECT: SPP/000131-1-P14 000131-1-P14 000131-1-P14 W12V34DF

Page 1/2

Printed by Aleksandr Sukonko
08.05.2024

Joonis 19. Kaablijuhendi lehekülg

Kasutades VBA-d ja Excel'i sisseehitatud funktsionaalsust, arvutatakse kaabli pikkus automaatselt ja lahtrid värvitakse vastavalt tingimustele.

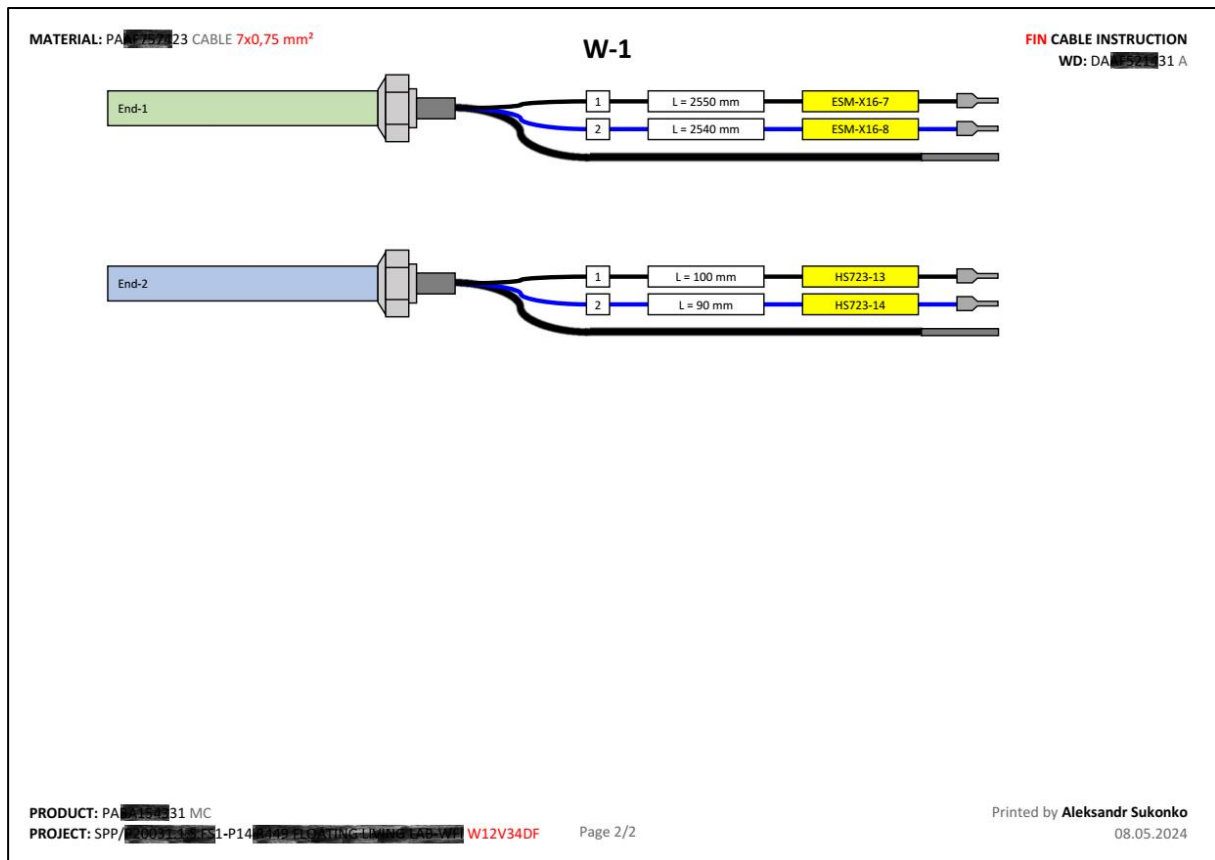
Malli abil saab luua juhendi nii ühe kui ka kahe kaabli otsa koostamiseks.

Kui esimene lehekülg on täidetud, saab teisel leheküljel luua kaabli visuaalse kujutise.

5.3.5. Kaabli visualiseerimine

Kaabli visualiseerimiseks teisel leheküljel on vaja täita esimene lehekülg, kuna kaabli joonis genereeritakse esimese lehekülje parameetrite alusel.

Kaabli joonis genereeritakse mõne sekundi jooksul VBA abil. Joonistust saab genereerida nii kaabli ühe kui ka kahe otsa jaoks. Genereeritud joonisel (Joonis 20) on näha kaabli põhiandmeid, antud juhul on need juhtmete värvid, märgistus, pikkused ja läbiviik.



Joonis 20. Kaabli visualiseerimine

6. PARENDATUD KAABLIJUHEND

6.1. Kaablijuhendi koostamise eelised *Excel*'is

Kaablijuhendi koostamine *Excel*'is VBA abil on suur samm dokumentide automatiseerimise suunas. Tootmisettevõtetes on väga oluline koostada õiged ja täpsed dokumendid. Tavaliselt juhendi käsitsi koostamine on aeganõudev, kuid tänu *Excel*'i VBA programmeerimiskeelele on võimalik see protsess oluliselt automatiseerida, pakkudes mitmeid eeliseid:

- Ajavõit – üks peamisi eeliseid *Excel*'i VBA kasutamisel kaablijuhendi koostamisel on aja kokkuhoid. *Excel* võimaldab luua mallid ja lisandmoodulid, mis võimaldavad kiiret ja lihtsat teabe sisestamist. *Excel* VBA programm teeb suurema osa kaablijuhendi koostamisest ära vaid mõne minutiga. See vabastab oluliselt aega, mis muidu kulutataks käsitsi kaablijuhendi koostamisele aga nüüd on võimalik suunata teistele olulistele ülesannetele.
- Täpsus ja vähendatud vigade võimalus – inimfaktor tuleb alati arvesse võtta, inimlikud vead võivad juhtuda kõigiga. Kuid *Excel* VBA abil saab tagada, et kogu kaablijuhendi koostamine toimub täpselt vastavalt kirjutatud koodiga reeglitele. See vähendab oluliselt vigade riski.
- Automaatne arvutamine ja valemite kasutamine – *Excel* võimaldab kaablijuhendites kasutada arvutusi ja erinevaid valemid, mis aitavad arvutusi ja analüüse automatiseerida. Näiteks saab arvutada kaabli pikkuse automaatselt vastavalt sisestatud andmetele. See vähendab vigade riski ja annab täpsemat teavet.
- Andmete sorteerimine ja filtreerimine – *Excel* võimaldab andmeid hõlpsasti sorteerida ja filtreerida vastavalt erinevatele kriteeriumidele. Nii saab kaablijuhendis *ISO-CODE* järgi kiiresti leida vajaliku info.
- Andmete korraldamine ja lihtne uuendamine – *Excel* võimaldab andmeid korraldada erineval viisil, näiteks tabelite abil. See teeb kaablijuhendite koostamise lihtsamaks. Lisaks on *Excel*'is lihtne teha muudatusi või täiendusi, mis võimaldab kaablijuhendeid kiiresti ajakohastada.
- Vormindamise paindlikkus – *Excel* pakub laia valikut vormindamis võimalusi, mis võimaldavad kaablijuhenditel olla selged ja kergesti loetavad. Võimalik on kasutada erinevaid värve, fondistiile, joondusi, et teha dokument selgemaks ja atraktiivsemaks;
- Mugav jagamine ja koostöö – *Excel*'i failid on mugavalt jagatavad ja neid saab saata teistele kasutajatele. Lisaks võimaldab *Excel* mitut kasutajat samaaegselt töötada ühe dokumendiga, võimaldades tõhusat koostööd.

Ettevõtte X näitel selline automatiseeritud lähenemine aitas oluliselt suurendada tõhusust ja vähendada vigade riski kaablijuhendite koostamisel.

6.2. Juurutatud kaablijuhendi tulemused

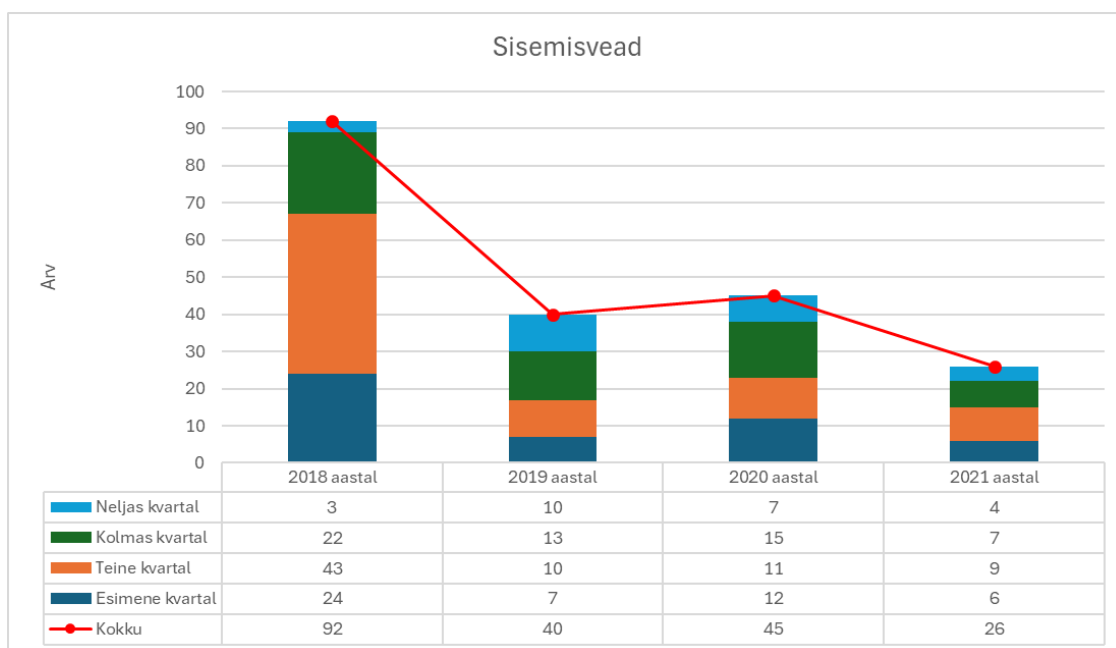
Ettevõttes X rakendati kaablijuhendite koostamise automatiseerimist *Excel*/VBA abil, mis võimaldas luua kaablijuhendi malli, mis vastas tootmisliini vajadustele, võttes arvesse erinevaid parameetreid: materjali kood, juhtmete värvid, märgistus, pikkused ja abimaterjalid.

Kaablijuhendite koostamise kiirus on märkimisväärselt paranenud enne, kui kaablijuhendite koostamiseks oli vähe aega (2-3 päeva) ja nõudis manuaalset sisestamist ja kohandamist. Nüüd saadakse hakkama mõnikord isegi ühe päevaga, kui andmebaasi jaoks uut kaablit ei ole. Automatiseerimise tulemusena vähenes oluliselt ajakulu kaablijuhendite koostamisel, võimaldades ressursse suunata mujale.

Kaablijuhendite koostamise automatiseerimise tulemusena vähenesid ka vigade ja ebatäpsuste arv. Malli kasutamine tagas, et kõik andmed sisestati korrektselt vastavalt eelnevalt kindlaks määratud märksõnadele ja parameetritele ning vähendas inimlike eksimuste võimalust.

Alates 2018. aastast alustati ettevõttes X kaabliosakonna tootmisliinil eelmise etapi vigade registreerimist süsteemis PQR (*Potential Quality Risk Reporting*). Uue kaablijuhendi kasutamist alustati 2021. aasta kolmandas kvartalis.

Kaablijuhendi kvaliteet on samuti paranenud (Joonis 21). Tänu *Excel*/VBA-le on nüüd võimalik teha kiireid muudatusi või lisada vajaduse korral uusi võimalusi, näiteks kaabli visualiseerimine.



Joonis 21. Kvaliteet

Kaablijuhendi koostamise automatiseerimine *Excel*/ VBA abil näitab selgelt potentsiaali ja selle tähtsust kaablijuhendite tõhususe ja täpsuse suurendamisel.

KOKKUVÕTE

Lõputöö keskendub kaablijuhendi koostamise automatiseerimisele ettevõtte X näitel. Autor toob välja võimalused, kuidas seda protsessi saaks automatiseerida, et muuta see tõhusamaks ja vähendada inimlike vigade ohtu.

Esiteks tuli uurida, kuidas kaabli koostamine toimub tootmisliinil. See hõlmas protsessi analüüsi alates materjali saabumisest kuni lõpptootte valmimiseni ja kõiki vahepealseid etappe.

Teiseks oli vaja uurida, kuidas kaablijuhendid tootmisliinil koostatakse. See hõlmas dokumentide analüüsi, mis olid vajalikud tootmisprotsessi sujuvaks toimimiseks.

Kolmandaks oli püstitatud ülesanne töötada välja tööriist, mis võimaldab kaablijuhendi koostamist automatiseerida. See tööriist peaks võimaldama tõhusamat ja kiiremat kaablijuhendite koostamist, vähendades samal ajal inimlike vigade riski ja suurendades üldise tootmisprotsessi tõhusust. Tööriista väljatöötamine põhines Excel'i VBA-l, mis võimaldas automatiseerida mitmeid korduvaid ülesandeid kaablijuhendi koostamisel ning kiirendada andmete sisestamist, vormindamist ja analüüsimist. Lisaks tagas Excel VBA andmete täpsuse.

Uurimise käigus analüüsiti nii kaabli kui ka kaablijuhendite koostamise meetodeid ja protsesse ettevõttes X. See hõlmas nii teoreetilist uurimist kui ka praktilisi intervjuusid ettevõtte töötajatega, kes tegelevad iga päev kaablijuhendite koostamisega.

Kokkuvõttes võib öelda, et lõputöö eesmärk on saavutatud. Tööriist on välja töötatud Excel VBA abil, mis võimaldab kaablijuhendi koostamist automatiseerida. See tööriist integreeriti ettevõtte X juhendite koostamise protsessi, võimaldades kiiremat, täpsemat ja efektiivsemat juhendite koostamist. Automatiseerimise tulemusena vähenes inimvigade oht ning suurenesid tootmisprotsessi üldine tõhusus ja tootlikkus.

SUMMARY

The thesis focuses on the automation of the cable instructions preparation on the example of the company X. How this process could be automated to make it more efficient and reduce human risk.

First, it was necessary to study how cable assembly takes place on the production line. This included an analysis of the process from the arrival of the material to the final product and all the steps in between.

Secondly, it was necessary to study how cable instructions are prepared on the production line. This included an analysis of the documents needed for the smooth running of the production process.

Thirdly, the task was to develop a tool to automate the process of the cable instructions preparation. This tool should allow for a more efficient and quicker preparation of cable instructions, while reducing the risk of human error and increasing the efficiency of the overall production process. The development of the tool was based on Excel VBA, which made possible to automate several repetitive tasks in the cable instructions preparation, as well as speeding up data entry, formatting and analysis. Additionally, Excel VBA ensured data accuracy.

The study analysed the methods and processes of cable and cable instructions preparation in Company X. The results were used to identify the most efficient and effective ways of compiling cable ladders. This included both theoretical research and practical interviews with the company's employees who are involved in the daily preparation of cable instructions.

In summary, it can be said that the aim of the thesis has been achieved. The tool has been developed using Excel VBA, which allows to automate the preparation of the cable instruction. This tool was integrated into the process of preparing company X manuals, allowing faster, more accurate and more efficient preparation of instructions. As a result of automation, the risk of human error was reduced and the overall efficiency and productivity of the production process increased.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] A. Perens, Projektijuhtimine, Tallinn: Külim, 2001.
- [2] Leanway, „Kaizen,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://leanway.ee/kaizen-ehk-pidev-parendamine>.
- [3] R. Sepping, „PDCA MUDEL,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://tsenter.ee/planeeri-vii-ellu-kontrolli-tee-regliks/>.
- [4] H. Levald, Kvaliteetjuhtimine igaühele. Olemus, rakendamine ja arendamine, Tallinn: TEA Kirjastus, 2014.
- [5] J. Oakland, Terviklik kvaliteedijuhtimine. Teooria ja praktika, Tallinn: Külim, 2006.
- [6] „Digital Document Workflow Explained,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.impactmybiz.com/blog/blog-digital-document-workflow/>.
- [7] Esvika, „Ühesooneline kaabel,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://pood.esvika.ee/ProductPicture/8078?thumb=False>.
- [8] Esvika, „Mitmesooneline kaabel,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://pood.esvika.ee/ProductPicture/955?thumb=true>.
- [9] Lenovo, „Puuteekraan,” [Võrgumaterjal]. Available: https://static2.nordic.pictures/17566069-thickbox_default/lenovo-thinkcentre-aio-m810z-i3-7100-215fhd-8gb-ddr4-5007200-hd630-klawmysz-w10pro-10q1s0nq00-3y.jpg.
- [10] RapidHarness, „RapidHarness tarkvara,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://rapidharness.com/Images/harness-software.png?v=1714147283>.
- [11] RapidHarness, „RapidHarness koduleht,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://rapidharness.com/>.
- [12] Microsoft, „Exceli põhitoimingud,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://support.microsoft.com/et-ee/office/exceli-p%C3%B5hitoimingud-dc775dd1-fa52-430f-9c3c-d998d1735fca>.
- [13] Microsoft, „Getting started with VBA in Office,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://learn.microsoft.com/en-us/office/vba/library-reference/concepts/getting-started-with-vba-in-office>.
- [14] J. Vilipõld, „Sissejuhatus VBASSE ja programmeerimisse,” [Võrgumaterjal]. Available: http://idk.ttu.ee/VBA_raamat/VBA_HTML/VBA_Pea_P.html.
- [15] J. Vilipõld, „Programmade sisestamine ja redigeerimine,” [Võrgumaterjal]. Available: http://idk.ttu.ee/VBA_raamat/VBA_HTML/4_Tootlemine/Sisestamine.html.

[16] C. Pinski, „Document Management Workflow in 2024: The Definitive Guide,” 20 04 2024. [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.crispysoftwaresolutions.com/post/document-management-workflow-in-2024-the-definitive-guide>.

LISAD

Lisa 1. Asendiplaan

Lisa 2. .xlsm fail (VBA)

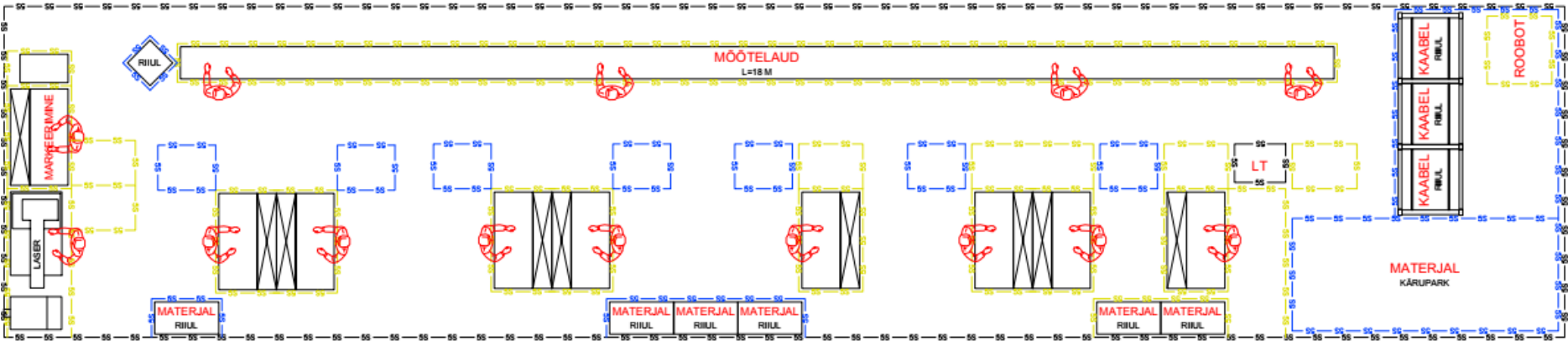
Lisa 3. .xlam fail (VBA)

Lisa 4. Kaablijuhendi sisend

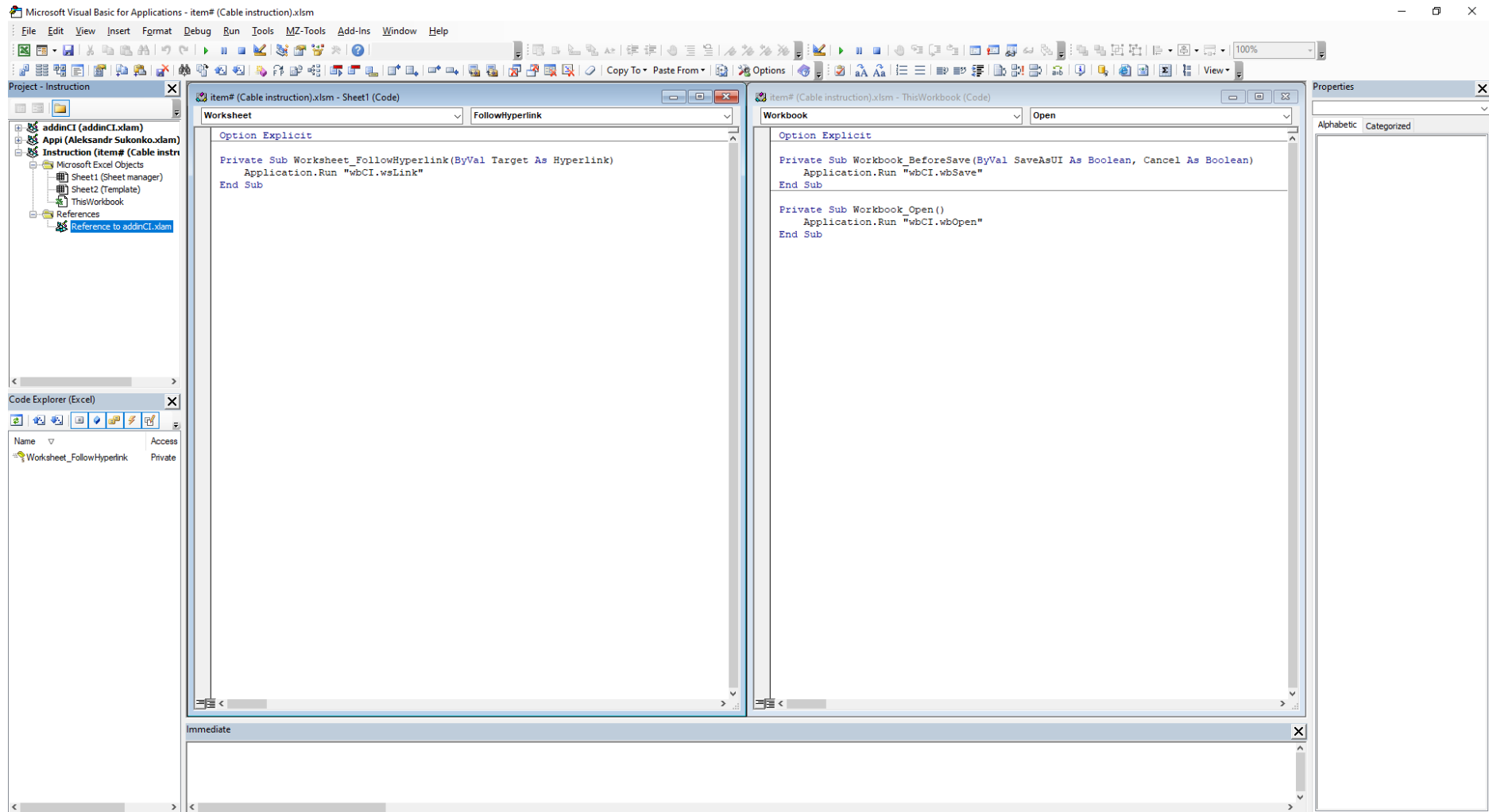
Lisa 5. Kaablijuhend (lk. 1/2)

Lisa 6. Kaablijuhend (lk. 2/2)

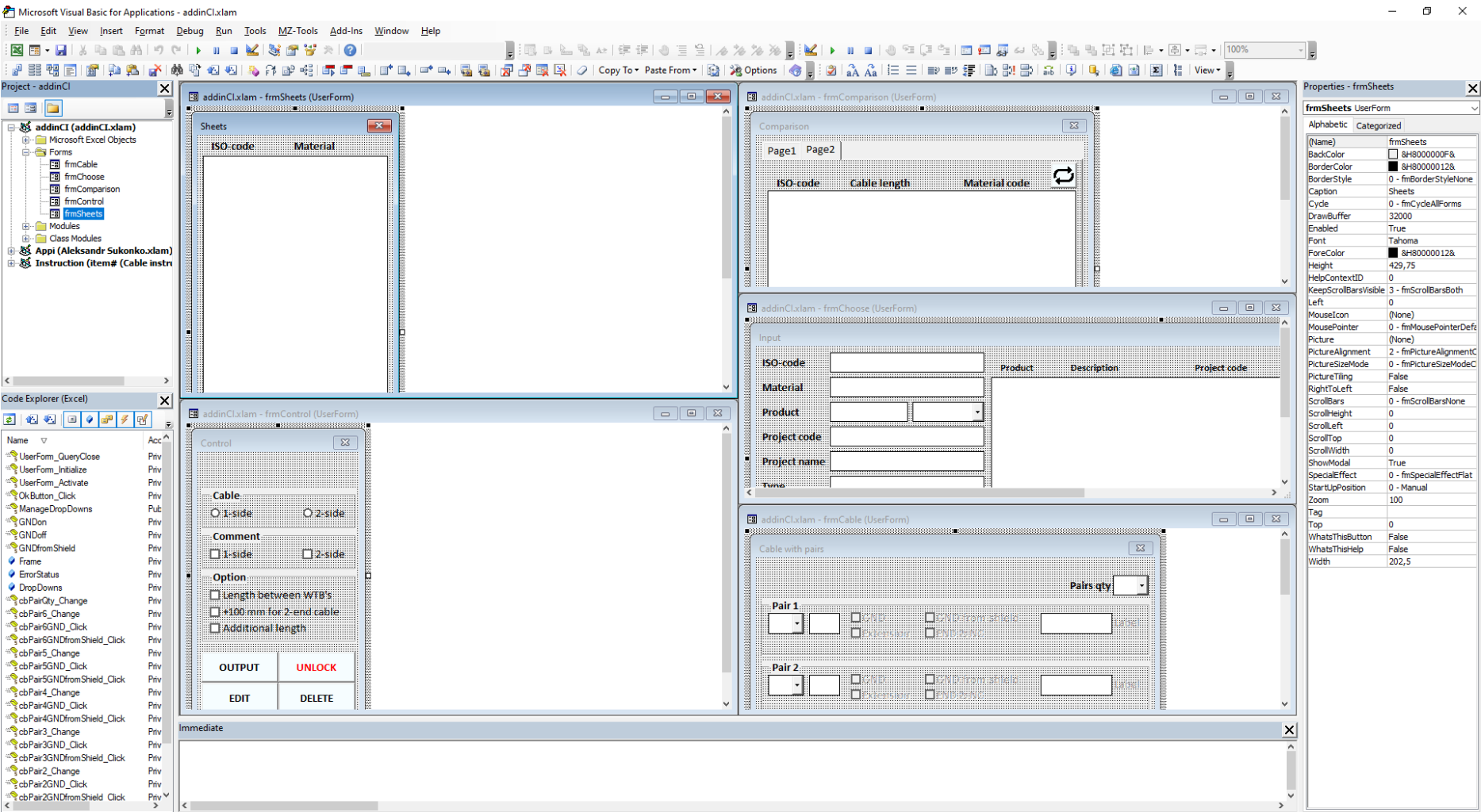
Lisa 1. Asendiplaan



Lisa 2. .xlsm fail (VBA)



Lisa 3. .xlam fail (VBA)



Lisa 4. Kaablijuhendi sisend

The diagram illustrates the input process for a cable diagram (Kaablijuhendi sisend). It shows two states of an 'Input' dialog box, connected by a large black arrow pointing from left to right.

Left Dialog Box (Empty Form):

- ISO-code:** Input field with placeholder text 'ISO-code'.
- Material:** Input field with placeholder text 'material code'.
- Product:** Input field with placeholder text 'product code' and a dropdown menu with placeholder text 'description'.
- Project code:** Input field with placeholder text 'project code'.
- Project name:** Input field with placeholder text 'project name'.
- Type:** Input field with placeholder text 'engine type'.
- W.D. / rev.:** Input field with placeholder text 'wiring diagram' and a 'Rev' button.
- Wartsila:** Radio buttons for 'FIN', 'ITA', and 'Other' (selected), followed by an empty input field.
- OK:** Confirmation button.

Right Dialog Box (Filled Form):

- ISO-code:** Input field containing 'W-1'.
- Material:** Input field containing 'PA AF757420'.
- Product:** Input field containing 'PA A154331' and a dropdown menu containing 'MC'.
- Project code:** Input field containing 'SPP/P00031:1.S FS1-P14'.
- Project name:** Input field containing 'R449 FLOATING LIVING LAB-WFI'.
- Type:** Input field containing 'W12V34DF'.
- W.D. / rev.:** Input field containing 'DA AF521431' and a button containing 'A'.
- Wartsila:** Radio buttons for 'FIN' (selected), 'ITA', and 'Other', followed by a button containing 'FIN'.
- OK:** Confirmation button.

Lisa 5. Kaablijuhend (lk. 1/2)

MATERIAL: PA 7523 CABLE 7x0,75 mm ²							FIN CABLE INSTRUCTION					
W-1							WD: DA 52131 A					
Cable length total 3190 mm	#	Colour	Shorten	Ferrule	Conn. point	Dir.	#	Colour	Shorten	Ferrule	Conn. point	Dir.
	1	Black	0 mm	PA 7091394	ESM-X16-7	A	1	Black	0 mm	PA 7091394	HS723-13	A
	2	Blue	10 mm	PA 7091394	ESM-X16-8	A	2	Blue	10 mm	PA 7091394	HS723-14	A
	3	Brown	0 mm				3	Brown	0 mm			
	4	Grey	0 mm				4	Grey	0 mm			
	5	Light blue	0 mm				5	Light blue	0 mm			
	6	White	0 mm				6	White	0 mm			
	7	Orange	0 mm				7	Orange	0 mm			
Cable length without insulation 2550 mm							Note for END-2					
Cable gland for end-1 0050G434203							Maandusvõrk jätta 20mm. Kaabli otsast puhastada isolatsioon Isolatsiooni äärest sulatada sulatus sukk 7333640 30mm Ülejäänutele juhtmetele sulatus sukk 7333640 30 mm					
Cable length without insulation 100 mm												
Cable gland for end-2 0050G377104							Maandusvõrk jätta 20mm. Kaabli otsast puhastada isolatsioon Isolatsiooni äärest sulatada sulatus sukk 7333640 30mm Ülejäänutele juhtmetele sulatus sukk 7333640 30 mm					

Lisa 6. Kaablijuhend (lk. 2/2)

