

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
Elektroonikainstituut  
Mõõteelektronika õppetool

LEM 34 LT

Rait Rand

**MOBIILTELEFONIDE PAKKELIINI MODIFITSEERIMINE**

Bakalaureusetöö

Instituudi direktor: professor Toomas Rang

Juhendaja: v. insener Eero Haldre

Tallinn 2001

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
Elektroonikainstituut  
Mõõteelektronika õppetool

Kinnitan....., õppetooli juhataja

"....." ..... 2001.a.

DIPLOMIPROJEKTI/TÖÖ, LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

L-õpikonna üliõpilasele

**Rait Rand** matr.nr. 960737

1. Teema:

**Mobiiltelefonide pakkeliini modifitseerimine**  
*Modification of a mobilephone packingline*

2. Esitamise tähtaeg: 04.06.2001

3. Ülesande päritolu

**Firma Elcoteq Tallinn AS**

4. Ülesande väljaandmise kuupäev: 20.10.2000

Juhendaja: ..... v. insener Eero Haldre

Ülesande vastu võtnud: .....

*(üliõpilase allkiri)*

**Lähteandmed R. Rand'i lõputöö koostamiseks:**

1. Elcoteq Tallinn AS mobiiltelefonide Ericsson T10s tootmise pakkeliin
2. Tootekomplekti minevad komponendid
3. Pakkeliinil toote pakkimiseks hetkel kasutatav tehniline varustus ning elektrooniline kaal ja valgusfoor.
4. Pakkeliinil asuval arvutil vabaks kasutamiseks 1 COM port

**Lahendatavad küsimused:**

1. Uurida mobiiltelefoni komplekti masside kõikumisi
2. Uurida kaalumise võimalikkust pakkeliinil ning selle tõhusust puuduvate komponentidega komplekti avastamisel
3. Koostada kaalumise programm
4. Lahendada erinevat tüüpi kaalude probleem ning ka riistvara omavahalise kaabelduse probleemid.

## SISUKORD

<b>SISUKORD</b> .....	<b>4</b>
<b>1. SISSEJUHATUS</b> .....	<b>7</b>
<b>2. VEAD VALMISTOOTEL JA NENDE AVASTAMINE</b> .....	<b>8</b>
<b>3. TEHNOLOOGILISE PROTSSESI KIRJELDUS</b> .....	<b>10</b>
<b>4. HETKEL KASUTUSEL OLEVA PAKKIMISE LIINI KIRJELDUS</b> .....	<b>11</b>
4.1. HETKEL KASUTUSEL OLEVA PAKKELIINI ÜLDINE KIRJELDUS .....	11
4.2. HETKEL KASUTUSEL OLEVA PAKKELIINI PUUDUSED .....	13
<b>5. PROBLEEMID OLEMASOLEVA KAALUMISE PROGRAMMIGA</b> .....	<b>14</b>
<b>6. UUENDATUD PAKKELIINI KIRJELDUS</b> .....	<b>16</b>
6.1. PAKKELIINI UUENDAMISE EESMÄRGID .....	16
6.2. LÜHENDATUD PAKKELIINI POSITIIVSED JA NEGATIIVSED POOLED. ....	18
<b>7. PAKITAVA KOMPLEKTI STATISTILINE ANALÜÜS</b> .....	<b>19</b>
7.1. MASSIDE JA MASSIERINEVUSTE STATISTILINE ANALÜÜS .....	19
7.2. ERINEVATE MASSIDEGA KOMPLEKTIDE ESINEMISSAGEDUS .....	22
<b>8. KAALUMISE PROGRAMMI VÄLJATÖÖTAMINE</b> .....	<b>26</b>
8.1. NÕUDMISED KAALUMISE PROGRAMMILE.....	26
8.2. NÕUDMISED KAALUMISEKS VAJALIKULE RIISTVARALE .....	27
8.3. KAALUMISE PROGRAMMI FUNKTSIOONID .....	29
8.3.1. Andmete võtuvõtmine kaalult ning ebavajalike sümbole vältimiseks.....	29
8.3.2. Vastuvõetud andmete töötlemine .....	33
8.3.3. Alarmisignaali andmine läbi valgusfoori .....	35
8.3.4. Käskude saatmine kaalule .....	37
8.3.5. Kaalule saadetavate käskude ning valgusfoorile saadetavate käskude vahelise konflikti olemasolu.....	40
8.4. RIISTVARA LAHENDUSED .....	41
8.4.1. Kaalu, arvuti ja valgusfoori vaheline kaabeldus .....	41
8.4.2. Valgusfoori andmete vastuvõtuks seadistamine.....	43
8.4.3. Kaalu andmeedastuse/vastuvõtu <sup>1</sup> seadistus .....	44
8.4.4. Arvuti andmeedastuse/vastuvõtu <sup>1</sup> seadistus .....	45
<b>9. PAKKIMISE PROTSSESI JÄLGIMISEL SAADUD JÄRELDUSED</b> .....	<b>46</b>
9.1. KAALUMISE PROGRAMMIS ILMNENUD PUUDUSED .....	46
9.1.1. Vaba ligipääs tolerantsi seadistuse muutmisele .....	46
9.1.2. Kaabelduse ning valgusfoori kontroll.....	46
9.1.3. Andmete säilitamine peale programmist väljumist.....	47
9.2. TEOREETILISTE ARVUTUSTE VÕRDLUS PRAKTILISTE MÕÖTMISTEGA. ....	48
<b>10. KOKKUVÕTE</b> .....	<b>50</b>
<b>MÕISTETE SÕNASTIK</b> .....	<b>51</b>
<b>KASUTATUD KIRJANDUS</b> .....	<b>52</b>

## **MOBIILTELEFONIDE PAKKELIINI MODIFITSEERIMINE**

Rait Rand

Tallinna Tehnikaülikool, 2001

Bakalaureusetöö sisaldab seletuskirja 52 leheküljel, 16 joonist ning 4 tabelit

Käesolev töö annab ülevaate EMS (electronic manufacturing services) firma tootmises oleva mobiiltelefoni pakkeliini kiiremaks ja tõhusamaks muutmisest. Töö kirjeldab kaalu ning valgusfoori lisamist pakkeliinile ning kaalumiseks vajaliku programmi väljatöötamist ja katsetamist.

## **MODIFICATION OF A MOBILEPHONE PACKINGLINE**

Rait Rand

Tallinn Technical University, 2001

This Bachelor Degree level project contains 52 defining pages with 16 drawings and 4 tables

This assignment gives an overview of the changes that were performed to a EMS (electronic manufacturing services) company's mobilephone packingline in order to improve it's speed and efficiency.

The assignment describes the implementation of scale and traffic light to the packingline and development and testing of the software needed for the scale.

## **1. Sissejuhatus**

Tänapäeva elektroonikatööstuses muutub aina populaarsemaks alltöövõtjate kasutamine. Kuna tootearendus, testimine ja katsetamine on saavutanud oma keerukuselt taseme, mille kõrvalt toodet omav firma ei suuda enam tootmisega tegeleda ning kasutab masstootmiseks alltöövõtjate ehk EMS (electronic manufacturing services) firmade abi.

EMS firma omapära on see, et ei tegeleta kliendi toote arendamisega, vaid tootmisprotsesside arendamisega, kuna eesmärgiks on toota vastavalt kliendi kvaliteedi nõudmistele vastavaid tooteid ning võimalikult suurtes kogustes.

Tootmine peab püüdlema võimalikult kõrge tootlikkuse poole, sest mida suurem on tootlikkus, seda suurem on kasum tootmisest. Antud töös püütaksegi jõuda võimalikult kõrge tootlikkuseni pakkeliini töös.

Kuna EMS firmas toimub tootmine väga suurtes kogustes, siis on ülimalt oluline kontrollida kogu tootmisprotsessi ning seda on ainuvõimalik teha andmeid kogudes ning töödeldes. Statistiline andmete kontrollimine tagab masstootmises õigeaegse probleemide avastamise ning halvimal juhul tooteliinil töö peatamise. Seega peab olema võimalik pakkeliinil toimuvat tööd analüüsida andmete töötlemise kaudu.

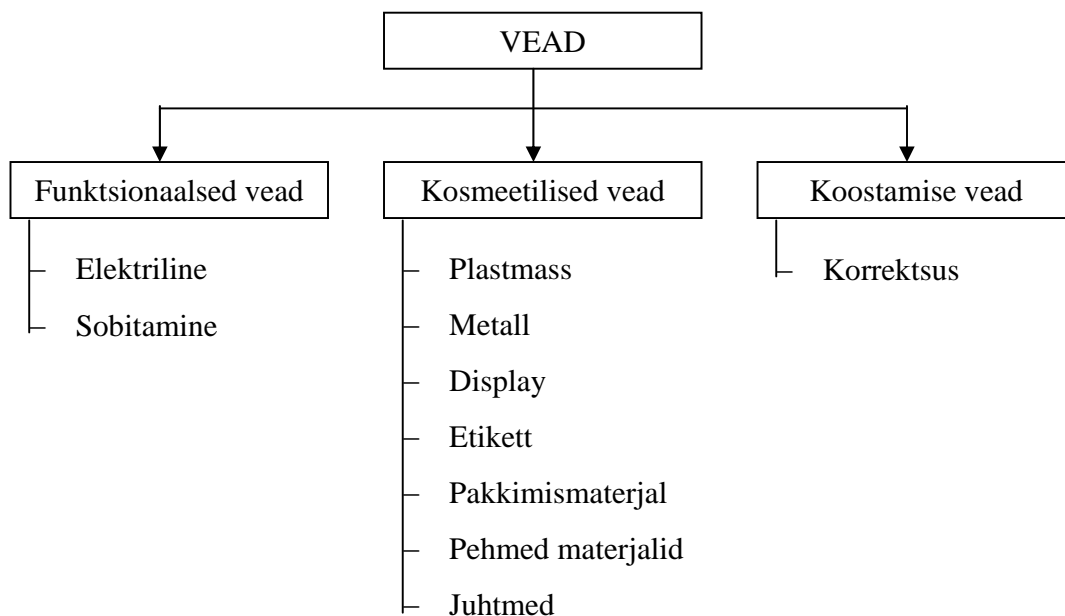
Suurim viga, mida EMS firma saab teha on kliendile ebakvaliteetse toote saatmine. Kui tegu on tootega mis koosneb mitmest erinevast valmistootest ning hõlmab ka pakkimist, siis ebakvaliteetsuse alla kuulub ka pakkimisel tehtud viga, kus pakendist puudub mõni komponentidest. Hetkel uuritaval tooteliinil olev pakendi terviklikkuse kontroll on pisteline ning ebapiisav. Antud töö eesmärgiks ongi muuta pakkimisest tulevate komplektide kontroll tõhusamaks kaalumise teel.

Kuna EMS firma toodang kuulub terviklikult kliendile ning samuti kuulub kliendile tootmisest tulev informatsioon toote kvaliteedi kohta, siis seetõttu ei ole käesolevas töös kajastatud otse tootmisest tulevaid konkreetseid andmeid, vaid töös kasutatavad konkreetset numbrilised andmed on saadud eksperimentide tulemusena. Küll aga on vajaduse korral eksperiment läbi viidud tavalises tootmisprotsessis, mitte kunstlikult loodud olukorras.

## **2. Vead valmistootel ja nende avastamine**

Mobiiltelefoni tootmise viimase protsessina pakitakse mobiiltelefon vastavalt tellija poolt esitatud nõudele koos manualide, vööklambriga, akuga, akulaadijaga, käed vabad süsteemiga või mõne muu lisaseadmega ning vastavasse tellija poolt esitatud nõuetega karpi.

Pakkimise järgselt toimub pisteline kontroll, et avastada telefoni tootmises ja erinevatest kontrollsüsteemidest (testidest) läbi läinud vigadega telefone. Leitud vead jagatakse alljärgnevalt (vt. Joonis nr. 1):



Joonis nr. 1 Vigade liigitus

Selline pisteline kontroll on hetkel kasutusel oleva pakkimise protsessi ainuke kontrollija ja seega ka ainuke pakkevigade avastaja enne toote kliendini jõudmist.

Pisteline kontroll toimub järgnevalt:

- 150 pakitud telefoni hulgast võetakse pisteliselt välja 5 komplekti.
- Kui liinilt eemaldatud 5 telefoni seas esineb niinimetatud raskeid vigu<sup>1</sup> kasvõi 1 kord, siis võetakse veel lisaks 20 telefoni antud 150 hulgast.

---

1 – rasked vead on komplektist puuduvad komponendid või mobiiltelefoni funktsioneerimise häired. Kerged vead on kosmeetilised defektid kas pakendil või tootel.



- Kui lisaks võetud 20 hulgast leitakse kasvõi 1 komplekt, millel esineb sama viga, mis esimese 5 telefoni komplekti seas, siis kontrollitakse läbi kõik 150 telefoni komplekti.

Antud töö raames pakub huvi vaid koostamise vigade osa, kuna sinna alla liigituvad ka pakkevead. Koostamise vead jagunevad alljärgnevalt:

- Vale detailide arv monteeritud / pakitud
- Vale detaili tüüp monteeritud / pakitud
- Viltu / vale detail monteeritud
- Detail ei vasta spetsifikatsioonile

Pakkeliinile plaanitava kaaluga on võimalik avastada neist kõige esimest viga ja juhul, kui pakitud vale detail erineb massi poolest õigest detailist, siis ka vale detaili pakkimise viga.

Kahtlemata on selline kontroll vajalik, kuid ebapiisav, sest klientidelt saadud info põhjal on nendeni jõudnud telefonide komplektid, kus puudub mõni detail.

Lisaks kaalumisele oleks võimalik ka visuaalselt kontrollida pakendis kõikide detailide olemasolu, kuid selline tegevus muudab pakkimise protsessi aeglaseks.

### **3. Tehnoloogilise protsessi kirjeldus**

Pakkeliini tehnilisse varustusse kuuluvad:

- vöökoodi lugemise scanner
- vöökoodi printerid “Zebra” 3 tükki
- arvuti
- elektrooniline kaal

Igal toodetud telefonil on peale kleebitud vöökood, mille järgi on võimalik tuvastada telefonil esinenud ja remonditud vead, samuti trükkplaadil esinenud vead, testrites saadud tulemused ja muud telefoni iseloomustavad suurused. Lugeses sisse telefonil oleva vöökoodi prindib pakkeliini printer kleebisele ja garantiisertifikaadile. Juhul, kui arvutivõrgus olevatest andmetest tuleb välja, et telefon ei ole läbinud mõnda tootmisetappi, siis jätab arvuti kleebise ja garantiisertifikaadi printimata. Kui kõik tootmise etapid on edukalt scanneeritaval telefonil läbitud, siis kleebitakse kleebis karbile ja garantiisertifikaat läheb karpi. Seega on võimalik karbil oleva vöökoodi lugemisega saada teada karbis asuva telefoni testides saadud elektrilised, akustilised jne. omadused.

Inimeste arv pakkeliinil sõltub pakitavas komplektis (DPY) olevate elementide arvust. Täiskomplekt kaalutakse üle, et veenduda, kas komplektis on olemas kõik tellija poolt soovitud komponendid.

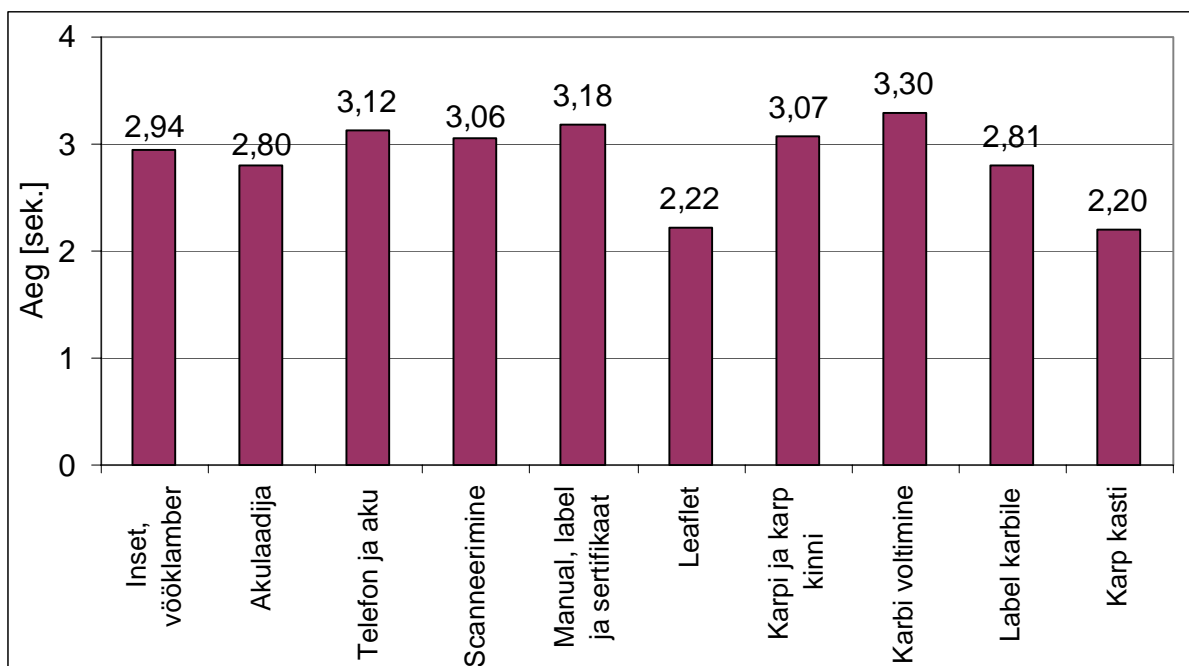
## 4. Hetkel kasutusel oleva pakkimise liini kirjeldus

### 4.1. Hetkel kasutusel oleva pakkeliini üldine kirjeldus

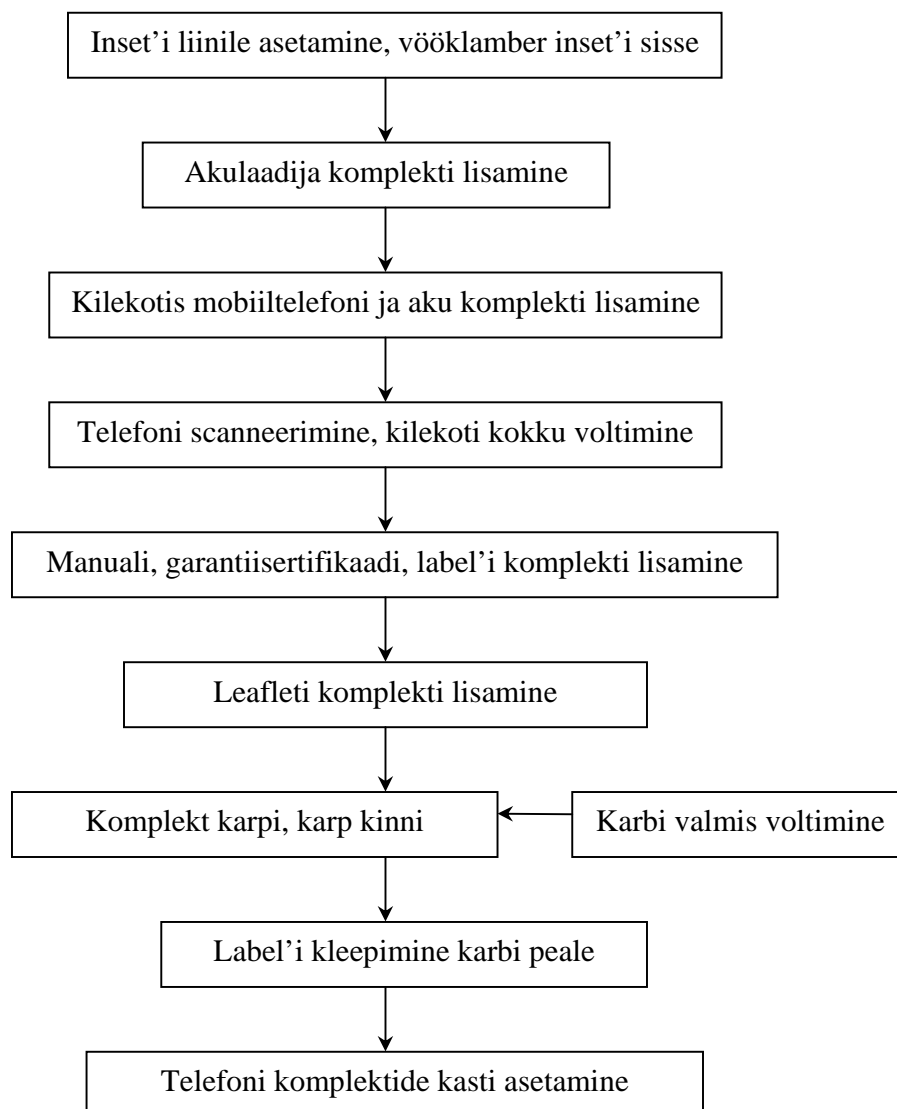
Hetkel kasutataval pakkeliinil ei ole võimalik kaalu kasutada, sest liinil töötab 10 inimest ning ühe pakkimise protseduuri peale kulub väga vähe aega ja kaalu kasutuselevõtt hetkel kasutataval liinil tekitaks niinimetatud pudelikaela pakkimiseprotsessi, sest kõik pakkimise protsessi osad peavad olema ühesuguse ajakuluga. Ühtlane ajakulu igal protsessiosal tagab töölistele ühtlase koormuse ja kõige operatiivsema pakkimisprotsessi, sest pakendatud komplektid tulevad liinilt just sellise intervalliga nagu on kõige pikem pakkimisprotsessi osa.

Et rakendada komplekti kaalumise pakkimisprotsessi, selleks tuleb arvestada, et kaalumiseks jääks vähemalt 3,5 sekundit aega, et tööline jõuaks komplekti korralikult kaalule asetada, kaal jõuaks stabiliseeruda, arvutisse andmed saata, arvuti valgusfoorile käsu edastada ning valgusfoor süttida.

Alljärgneval joonisel (Joonis nr. 3) on välja toodud hetkel kasutuses olev pakkimise protsess plokk skeemina ning graafiliselt on kujutatud kõik pakkimisprotsessi osade ajad (Joonis nr. 2). Ajad on saadud 20 mõõdetud aja keskmistamise tulemusena, mis on puhas tööaeg ilma igasuguste hoolduspauside ja seisakuteta.



Joonis nr. 2 Vana pakkeliini tööoperatsioonide ajad



Joonis nr. 3 Vana pakkeliini skeem tööoperatsioonide kaupa

Kaalumise protseduur peaks toimuma enne karbi sulgemist, seega peale leaflet'i asetamist komplekti. Kaalumiseks kulutatav aeg on võrdne kõige aeglasema protseduuri ajaga, mis toimub enne kaalumise protseduuri.

Nagu jooniselt nr. 2 näha, oleks kaalumiseks kasutatav maksimaalne aeg seega 3,18 sekundit. Tänu nii kiirele komplekti läbimisele saab andmeid häirivaks teguriks

kaalumise juures veel komplekti kaalule asetamise täpsus <sup>1</sup> (Nimelt hakkavab esinema valeandmed ning Yield'i langus, mis on ekslik, sest komplekti kaalumisel esines komplektiväliseid massi kõikumisi.<sup>2</sup>)

#### **4.2. Hetkel kasutusel oleva pakkeliini puudused**

Nagu eelmises paragrahvis mainitud on üks peamisi puudusi see, et ei saa kasutusele võtta kaalumise protseduuri, sest 3,18 sekundit pole piisav aeg kogu kaalumise protseduuri teostamiseks. Lisaks sellele on veel mõningad puudused, mis ei ole seotud kaalu töösse rakendamisega vaid lihtsalt pakkeprotsessi tõhusamaks muutmisega.

- Põhilised tootmise seisakud pakkeliinil on tingitud Zebra printerite rivist välja langemisest. Seega ühe printeri rivist välja langemisel on tööseisak 10 inimesel, ja ka tootlikkus 0.
- Pakkeliinil töötavate tööliste koormused ja töö keerukus on erinevad. Näiteks ühte manuali komplektile lisada on tunduvat kiirem ja lihtsam tegevus, kui mobiiltelefonilt vöotkoodi skanneerimine ja telefoni kilekoti kokku voltimine ning tagasi karpi asetamine.
- Liin on venitatud liiga pikaks, mille tõttu venivad pakkimise protsessi osad pikemaks, kuna telefoni komplekti peab mitmeid kordi mööda liini edasi nihutama.

---

1 – komplekt on asetatud kaalule nii, et jääb osaliselt toetuma pakkeliini konstruktsioonile või lisaks ühele komplektile toetub kaalule ka eelmine või järgmine.

2. – massi kõikumine ei ole tingitud komplektis puudevast või üleliigsest elemendist, vaid väljaspool kaalutavat komplekti kaalu mõjutavast elemendist või tegevusest.

## **5. Probleemid olemasoleva kaalumise programmiga**

Modifitseeritaval tooteliinil on olemas 3 elektroonilist kaalu firmanimega Precisa. Ettevõtte siseselt (teisel tooteliinil) kasutatakse veel firma Sartorius kaale ning nendele on kirjutatud ka programm, mis suhtleb antud firma kaaludega. Alljärgnevates punktides selgitatakse, miks ei sobi juba valmisolev programm modifitseeritaval tooteliinil kasutamiseks.

- Olemasoleva kolme elektroonilise kaaluga ei ole võimalik kahjuks seda programmi kasutada, sest kaal edastab lisaks kaalutava objekti massile ka muid sümboleid, mida programm ei suuda ära tunda ja välja sorteerida. Näiteks “+” märk ja tühikud. Seega soovides kasutada antud programmi muutuksid juba olemasolevad 3 elektroonilist kaalu kõlbmatuteks ja neid ei oleks võimalik antud programmiga kasutada ilma programmi täiustamata. Ühe kaalu hind on umbes 30 000.- SEK, mis kokkuvõttes teeb lisakulutuseks umbes 90 000.- SEK
- Olemasolev kaalumise programm on liiga jäik.  
Selgitus: Programmi saab sisestada erinevate komplektide (DPY) masse ning kaalumist alustades tuleb valida vajalik kaalutava komplekti mass, millega võrreldakse järgmisi kaalutavaid komplekte. Selline variant sobib pakkimisse, kus ei ole kasutusel pakendeid, millel esineb süstemaatilisi masside kõikumisi (pakendid ei ole niiskust sisse imevad)
- Olemasoleva programmi puudsed pakkimisprotsessi jälgitavuse seisukohalt
  - Programmil puudub võimalus jälgida pakkimise protsessi graafiliselt, mis annab kõige parema ülevaate protsessi käigust.  
Programmil puudub võimalus reaalajas jälgida pakkimise protsessi tõhusust ehk YIELD'i. (kaalutud täiskomplektide ja puudulike komplektide protsentuaalne suhe)
- Olemasoleva programmi puudused kasutaja seisukohalt
  - Pakkeliinil töötaja peab sisestama (valima) õige komplekti nimetuse (DPY) järgi, mis nõuab korralikku tähelepanuvõimet, sest programmis võib olla sisestatud mitukümmend erinevat komplekti (DPY) nimetust, mis koosnevad erinevate sümboolite jadast. Finantsilisest küljest võib selline lisatöö firmale palju maksma minna, sest tööliste palgad on määratud keerukuse järkudega, ehk mida vähem

- erinevaid või vastutust nõudvaid tegevusi on töölisel, seda madalam järk (palk) tal on ning firmale seega soodsam.
- Programmi jäikuse tõttu võib esineda olukordi, kus programm hakkab andma ebaõigeid alarmisignaale.  
Selgitus: Pakkimisel oleva komplekti (DPY) massi võrdlemiseks sisestatud suurus võib erineda sama komplekti massist mõni aeg hiljem, sest kasutatavad pakkematerjalid kas kuivavad või imevad endasse pisut niiskust, mis teeb komplekti massi erinevaks kunagi programmi sisestatud massist.
  - Programmi kasutades ei ole võimalik otse arvutist saata käsklusi kaalule.  
Selgitus: Võib ette tulla olukordi, kus näiliselt tühi kaal näitab massiks midagi muud kui 0 grammi (kogunenud tolm või muud pakkimisest tingitud osakesed kaalu peal). Selline olukord võib tekitada süstemaatilisi valesid alarmisignaale. Selleks puhuks oleks vaja programmile lisavõimalus, mille abil on võimalik kaalule selgeks teha, milline olek on “tühi kaal”.
  - Pakkimise protsessi ei ole võimalik jälgida mujalt kui pakkimise protsessis kasutatavast arvutist, kuid vaja oleks ka jägida pakkimise protsessi (andmeid) üle arvutivõrgu mõnest muust arvutist.

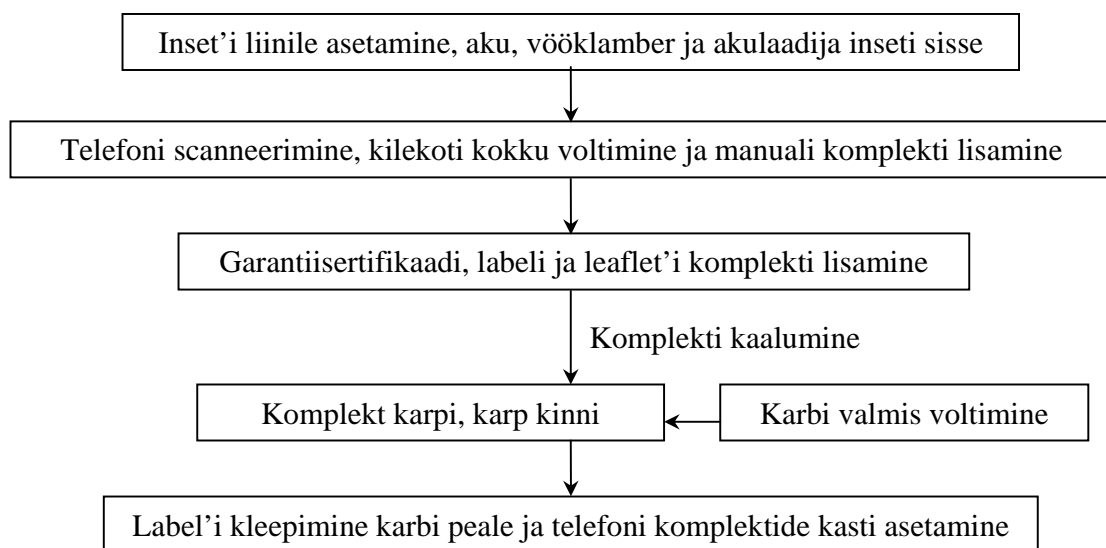
## 6. Uuendatud pakkeliini kirjeldus

### 6.1. Pakkeliini uuendamise eesmärgid

Uue pakkeliini põhieesmärgiks on suurendada pakkeliinil töötava inimese tootlikust ning viia sisse kaalumise protseduur.

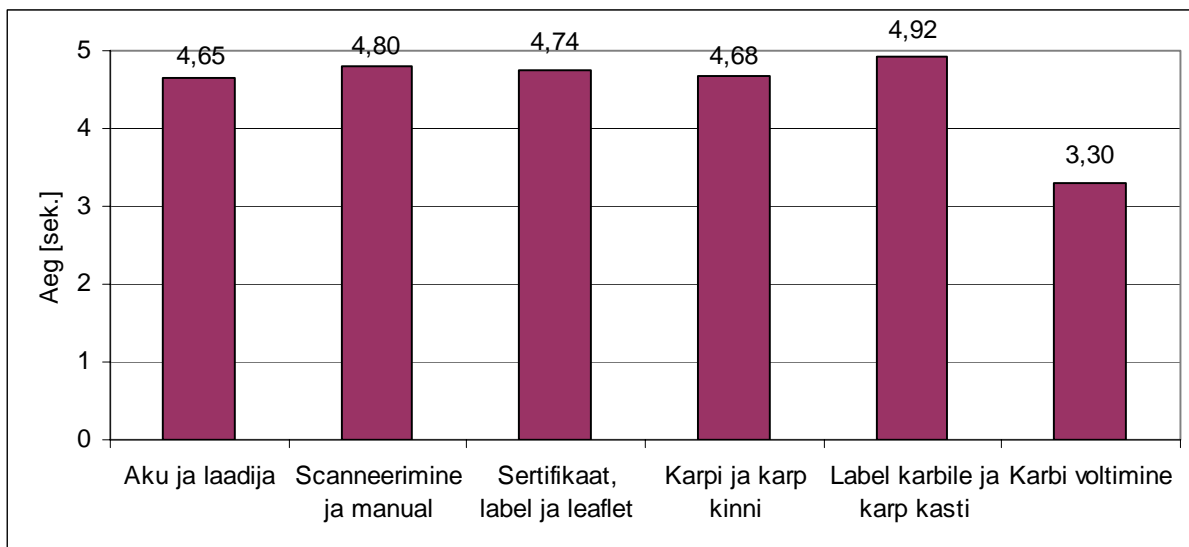
Et suurendada pakkeliinil töötava inimese tootlikkust ning sisse viia kaalumise protseduur, selleks tuleb vähendada liinil töötavate inimeste arvu ja lühendada pakkeliini pikkust.

Uurides ja katsetades erinevaid inimeste arve pakkeliinil selgus, et kõige parem tootlikuse ja inimeste arvu suhe on liinil, millel töötab 6 inimest. Tööülesanded on nähtavad plokk skeemina (Joonis nr. 4) ja pakkeprotsessi tööloikude ajad on nähtavad ka graafiliselt (Joonis nr. 5)



Joonis nr. 4 Uuendatud pakkeliini skeem tööoperatsioonide kaupa





Joonis nr. 5 Uuendatud pakkeliini tööoperatsioonide ajad

Nagu graafikult näha on protsesside ajad väga ühtlased, välja arvatud karbi voltimise protseduur, mis on oluliselt kiirem tegevus, kui ülejäänud teised.

Karbi voltimise protseduuri tegija saab aidata tõsta komplekteeritud karpe kasti ning samuti aidata voltida karpe teisele liinile. Komplekti kaalumise aega ei ole mõtet arvestada, sest antud töös ei huvita mind mitte aeg mis kulub ühel tootel pakkeliini läbimiseks, vaid ajaintervall, mille tagant tooted tulevad liinilt ja ajaintervalli kaalumise ei mõjuta, sest kaalumine toimub selle aja jooksul, kui tootega ei tehta midagi.

Kõige aeglasemateks pakkimiseprotsessi osadeks saab niisiis lugeda telefoni scanneerimist koos manuali asetamisega komplekti ja labeli kleepimist karbile koos karpide kasti tõstmisega. Kui karbi voltija aitab labeli kleepijal karpe kasti tõsta, siis on kõige aeglasem tegevus telefoni scanneerimine koos manuali asetamisega komplekti, mis määrab niisiis ära ka intervalli millega täiskomplektid tulevad liinilt. Kaalumise ajaks saab arvestada aja, mis kulub ajaliselt kõige pikemale protsessi osale, seega saab kaalumise ajaks arvestada 4,8 sekundit, mis on täiesti piisav selleks, et kaal jõuaks stabiliseeruda, arvutile andmed saata, arvuti andmeid töödelda, valgusfoorile info saata, ning valgusfoor süttida.

## **6.2. Lühendatud pakkeliini positiivsed ja negatiivsed pooled.**

Alljärgnevalt analüüsiksini liini lühendamise positiivseid ja negatiivseid pooli:

- + Tööliste vähendamisega pakkeliinil saab ühtlustada tööliste koormust, töö keerukust ja kiirust, mis tagab pakkeliinil ühtlasema töö ning stabiilsema tootlikkuse.
- Tööliste vähendamisega muutuvad mõnede tööliste tegevused pisut keerulisemaks ning tööga kohanemiseks on vaja aega. Kohanemise ajal ei tööta pakkeliin täisvõimsusega.
- + Pakkeliini lühendamine ning tööliste vähendamine loob võimaluse hakata pakkeliinil kasutama kaalu, mille eesmärk on avastada komplekte, milles puudub mõni vajalik osa.
- + Ühe tööliste kasutegur on suurem, kui vana pakkeliini peal.
- Kuna pakkeliinid on lühemad ning väiksema võimsusega, siis peab neid rohkem olema, kui vanu pakkeliine, seega on ka rohkem seadmeid, mis vajavad hooldamist.
- + Pakkeliini seadme purunemise korral tekib tööseisak väiksemal arvul inimestel, kui pika pakkeliini korral.

## **7. Pakitava komplekti statistiline analüüs**

Komponentide statistiline analüüs on vajalik selleks, et selgitada välja, kui ühtlase massiga on komponendid ning saadud statistilisi tulemusi saab kasutada kaalumise programmi väljatöötamisel. Teoreetilisteks arvutusteks saadud andmed on saadud iga komponendi 100 eksemplari kaalumise

### **7.1. Masside ja massierinevuste statistiline analüüs**

Uuritavas komplektis (DPY's) on järgnevad komponendid koos keskmiste massidega Tabel nr. 1 (Karbi kaal ei paku huvi, sest komplekt pannakse karpi peale kaalumist.):

Tabel nr. 1

**Komponentide keskmised massid**

Inset	20,4 g
Vööklamber	6,5 g
Aku	67,2 g
Akulaadija	383,7 g
Mobiiltelefon	74,4 g
Manual	248,2 g
Leaflet	25,1 g
Garantiisertifikaat ja label	7,0 g
Karp	

Keskmiste massidega elementide komplekt kaalub seega kokku 832,4 g.

Hetkel kasutusel olevate elektrooniliste kaalude täpsus on  $\pm 0,5$  grammi. Et selgitada välja kõige suurema massikõikumisega komponent arvutatakse välja kõikide komponentide standardhälbed.

Standardhälvet saab kasutada ka kaalumise programmi jaoks tolerantsi suuruste määramiseks<sup>1</sup>.

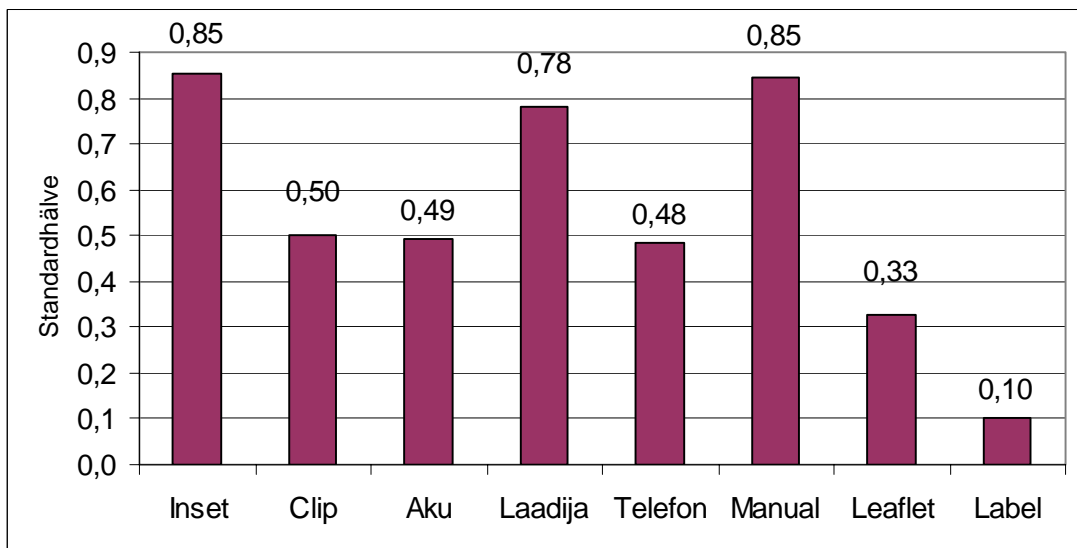
---

1 - Kaalumise programm ei tohi reageerida veateatega pakkematerjalist või muust juhuslikest kõikumistest tingitud massi erinevustele, vaid reageeriks veateatega vaid puudevate elementide korral. Standardhälve näitab ära pakkematerjalide massikõikumised, mida kaalumise programm ei tohiks arvestada.

Mõõtmistulemuste põhjal saadud standardhälve iseloomustab mõõtmistulemuste hajuvust, mida nimetatakse ka mõõtemääramatuseks. Kuna mõõtmistulemuste arv ei ole väga suur, siis on kasutatud standardhälbe arvutamiseks empiirilise standardhälbe arvutamise valemit, mis avaldub alljärgnevalt:

$$s_x = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

100 elemendi kaalumisel saadud tulemuste põhjal arvatud standardhälbed on esitatud nii graafiliselt (Joonis nr. 6) kui ka numbriliselt tabeli kujul (Tabel nr. 2):



Joonis nr. 6 Komponentide standarhälbed

Tabel nr. 2

#### Komponentide standardhälbed

Inset	0,85 g
Vööklamber	0,50 g
Aku	0,49 g
Akulaadija	0,78 g
Mobiiltelefon	0,48 g
Manual	0,85 g
Leaflet	0,33 g
Garantiisertifikaat ja label	0,10 g
Karp	

Nagu standardhälbe väärtustest näha on kõige ebastabiilsema massiga komponendid inset ja manual, mille standardhälbed on 0,85 g. Nende ebastabiilsed massid on tingitud inset'i puhul tema materjalist ning samuti ka manuali puhul tema materjalist. Inset on tehtud kergesti töödeldavast kartongist, tema valmistamisel on kasutatud pressimismeetodit, mis on massi arvestades küllaltki kriitiline töötlemise viis, sest toote tihedused on varieeruvad, mis omakorda tekitabki massi kõikumisi. Manual on tehtud paberist, mis on niiskuse suhetes kriitiline materjal. Liites kõik saadud standardhälbed, on saadud tulemuseks 4,38 g. Kaalumise programm peaks avastama kõige kergema elemendi puudumise komplektist, aga ei tohiks reageerida suvalisele massi kõikumisele. Komponentide massidest kokku pandud kõige väiksem komplekti mass oleks juhul, kui kokku satuksid järgnevate massidega komponendid:

Inset	18 g
Vööklamber	6 g
Aku	66 g
Akulaadija	382 g
Mobiiltelefon	74 g
Manual	247 g
Leaflet	25 g
Garantiisertifikaat ja label	7 g

Kõige kergematest elementidest komplekteeritud komplekti massiks tuleb siis 825 g  
 Kui komplekteerime komplekti kõige raskematest elementidest:

Inset	22 g
Vööklamber	7 g
Aku	68 g
Akulaadija	385 g
Mobiiltelefon	75 g
Manual	250 g
Leaflet	26 g
Garantiisertifikaat ja label	8 g

Kõige raskematest komponentidest komplekteeritud komplekti massiks tuleb 841 g.

Keskliste massiga elementidega komplekti mass on 832,4 g seega erinevad kõige kergematest ja kõige raskematest komponentidest komplekteeritud komplekti massid keskmisest komplekti massist vastavalt  $-7,4$  g ja  $+8,6$  g.

Niisiis, selliselt komplekteeritud komplekti masside vahe oleks 16 grammi, mis on tekitatud vaid komponentide masside ebastabiilsusest. Kahjuks ei saa arvestada komplekti massi kõikumistega kuni 16 grammi, sest sel juhul jääks programmil avastamata kergemate komponentide (Garantiisertifikaat ning label 7 g ja Vööklamber 6,5 g) puudumine <sup>1</sup>.

## **7.2. Erinevate massidega komplektide esinemissagedus**

Maksimaalseks tolerantsiks võiks olla kuni 5 g ning ka sellel juhul jääb risk, et teatavate komplektide korral ei pruugi programm avastada näiteks vööklambri puudumist või võib anda häiret ka juhul, kui komplektis on olemas kõi ettenähtud elemendid.

Mõõdetud tulemuste põhjal on arvatud välja erinevatest elementidest kokku pandud võimalike komplektide arv ning tõenäosused, mis vastavad masside 750 g kuni 767 g esinemissagedusele. Kuna komplektis on 8 elementi ning iga elemendi jaoks on saadud 100 tulemust, siis erinevatest elementidest komplekti kokkupaneku võimalusi on  $100^8 = 1 \cdot 10^{16}$ .

Uuritaval juhul on tegu normaaljaotusega <sup>2</sup> ning kuna soovin tõenäosusi saada protsentides, siis kasutan valemit:  $P = \frac{m}{n} \cdot 100\%$ , kus  $m$  on soodsate

võimaluste arv ning  $n$  on kogu võimaluste arv. Tulemused on toodud tabeli kujul (Tabel nr. 3) kui ka graafiliselt (Joonis nr. 7).

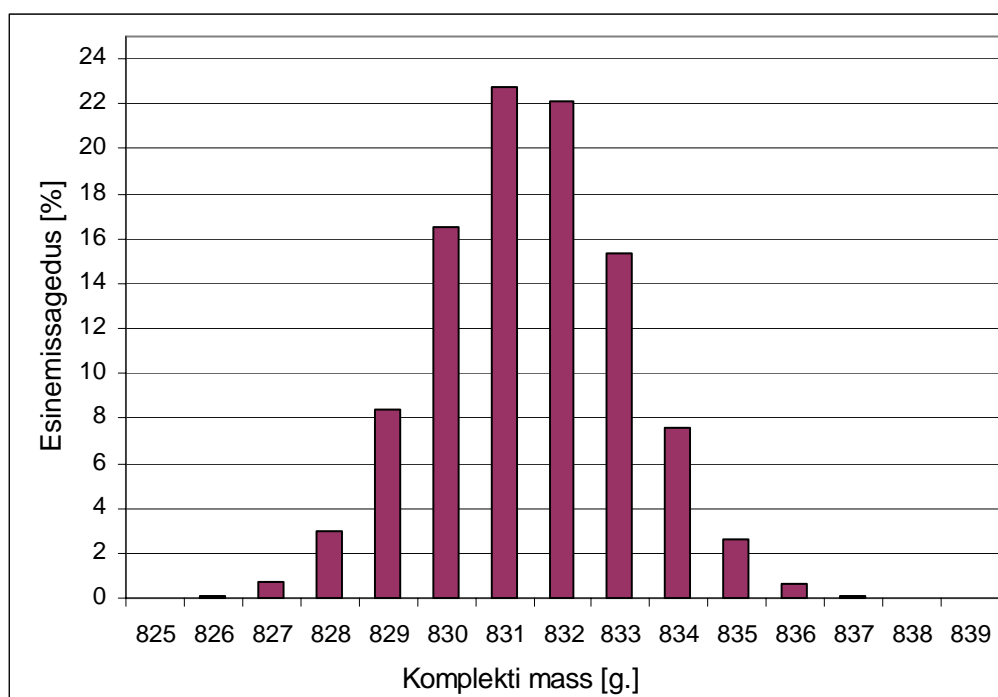
---

1 – ei saa panna tolerantsideks keskmine  $\pm 8$  g, kui kõige kergemad komponendid kaaluvad 6,5 g ja 7 g.

2 – Normaaljaotus on siis, kui juhuslikku suurust mõjutavad paljud faktorid ning iga üksiku faktori mõju on väike. Normaaljaotusega juhusliku suuruse väärtused on lähedased mingile keskmisele, keskmisest suuri kõrvalekaldeid on vähe. Vt. Graafik nr. 3

## Erinevate massidega komplektide esiletuleku tõenäosus

Mass	Soodsad	Tõenäosus %
824	0	0,000000
825	18031749120	0,000180
826	784950874752	0,007850
827	11608410040128	0,116084
828	75695190880704	0,756952
829	301104027996064	3,011040
830	837338163201248	8,373382
831	1650069068730850	16,500691
832	2277669513708060	22,776695
833	2214768501334910	22,147685
834	1534746200400830	15,347462
835	758954055122304	7,589541
836	264491130005888	2,644911
837	62680983199008	0,626810
838	9303815388384	0,093038
839	743017675104	0,007430
840	24756474528	0,000248
841	183218112	0,000002
842	0	0,000000
<b>KOKKU</b>	<b>1000000000000000</b>	<b>100,000000</b>



Joonis nr. 7 Komplekti masside esinemissagedus

Et määrata vajalike tolerantside suurus, selleks on vaja välja arvutada tolerantsidele vastavad valehäirete tõenäosused ning ka kõige kergema elemendi võimaliku puudumise mitteavastamise tõenäosused.

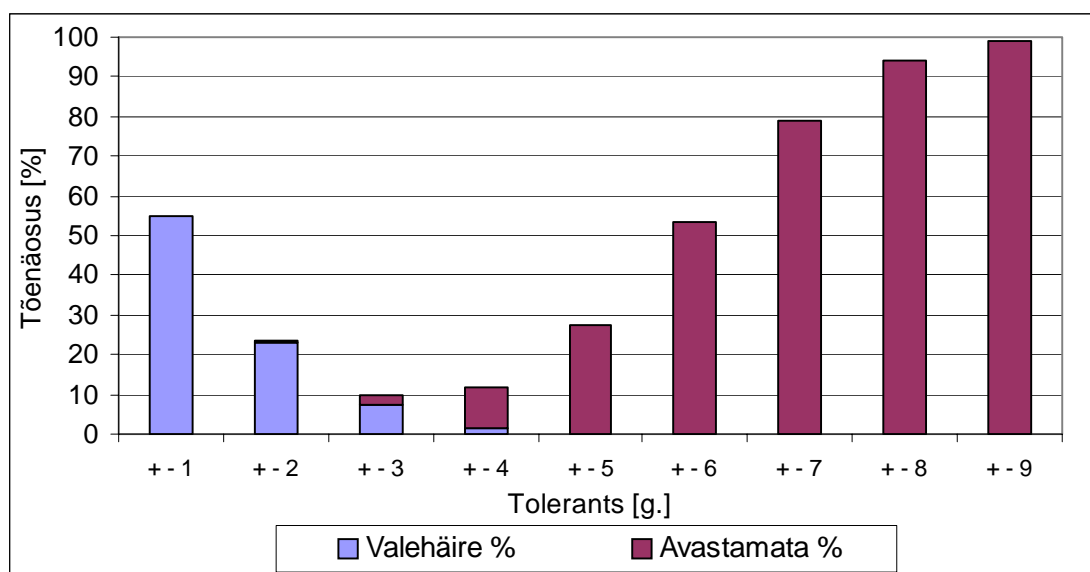
Tolerantsidele vastavate valehäirete tõenäosused saan, kui summeerin keskmise massi ning tolerantsi summa sisse jäävate komplekti masside esinemistõenäosused.

Et leida kahe kergeima elemendi puudumise mitteavastamise tõenäosust, selleks : Arvutan välja tõenäosuse, et komplekt ilma vööklambri ja garantiisertifikaadita mahub tolerantside sisse. Arvutamisel tuleb arvestada, et mõlemat komponenti esineb kahe erineva massiga. Tulemused on nähtavad nii tabeli kujul (Tabel nr. 4) kui ka graafiliselt (Joonis nr. 8)

Tabel nr. 4

#### Valehäirete ja avastamata vigade tõenäosused erinevate tolerantside korral

Tolerants	Massi vahemik	Valehäire %	Avastamata %	KOKKU %
+ - 1	833.4 - 831.4	55,0756	0,0609	55,1365
+ - 2	834.4 - 830.4	23,2275	0,5072	23,7347
+ - 3	835.4 - 829.4	7,2645	2,7302	9,9947
+ - 4	836.4 - 828.4	1,6086	10,2000	11,8086
+ - 5	837.4 - 827.4	0,2248	27,3563	27,5812
+ - 6	838.4 - 826.4	0,0157	53,5977	53,6135
+ - 7	839.4 - 825.4	0,0004	79,0964	79,0968
+ - 8	840.4 - 824.4	0,0000	94,0038	94,0038
+ - 9	841.4 - 823.4	0,0000	98,9854	98,9854



Joonis nr. 8 Valehäirete ja avastamata vigade tõenäosused erinevate tolerantside korral



Tolerantsi suurust saab hinnata kõige objektiivsemalt, kui summeerida valehäirete protsent ja avastamata vigade protsent. Saadud protsentide summat nimetame tolerantsi subjektiivsuse määraks.

Tolerantsi subjektiivsuse määr iseloomustab programmi töökindlust, milles on tolerantsid määratud. Madalat valehäirete protsenti on küll võimalik saada, aga siis tõuseb vea mitteavastamise protsent ja ka vastupidi, on võimalik saada madal vea mitteavastamise protsent, kuid siis tõuseb valehäirete protsent, seega tuleks leida kõige optimaalsem tolerantsi väärtus, mil mõlemad tolerantsi subjektiivsuse määra komponendid oleksid madalad.

Nagu saadud tulemuste tabelist (Tabel nr. 4) ja ka graafikult (Joonis nr. 8) näha, on teoreetiliselt kõige optimaalsemaks tolerantsiks vahemik  $\pm 3$  g, mil tolerantsi subjektiivsuse määr on 10,0 % , mis koosneb valehäirete protsendist väärtusega 7,3 % ja avastamata vigade protsendist väärtusega 2,7 %.

Selline teoreetiliselt saadud sobivaim tolerantsi väärtus vajab siiski ka praktilist kontrollimist, sest kui 7,3 % kaalumistest antakse häiret ning see osutub valehäireks, siis selline pakkimise seiskumine umbes iga 14 kaalumise järel võib osutada oluliseks pakkimise protsessi aja pikendajaks ning töö häirijaks. Samas, kui tolerantsi suurendada, siis võib tekkida probleeme puuduva komponendiga komplektide avastamisel.

## **8. Kaalumise programmi väljatöötamine**

### **8.1. Nõudmised kaalumise programmile**

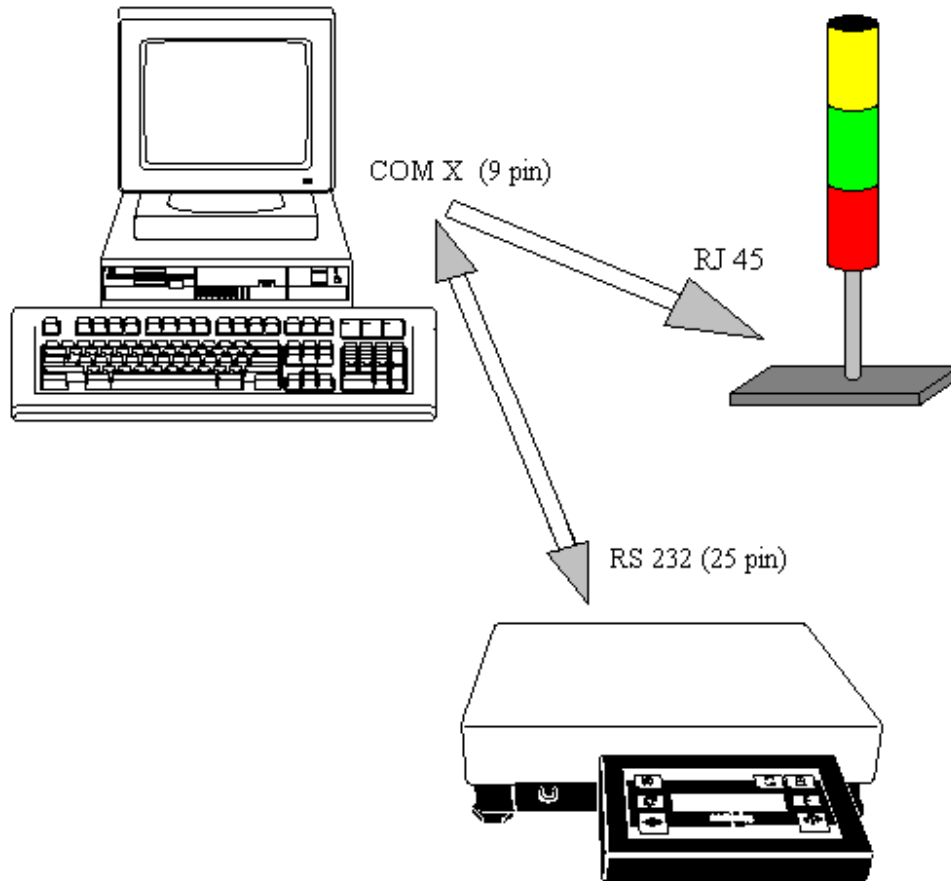
- Kaalumise programmi põhieesmärk on avastada puuduvate elementidega komplekte
- Kaalumise programm peab andma pakkeliinil töötajale märku kas komplektis on olemas kõik nõutavad elemendid, või mitte.
- Programm peab olema võimalikult usaldusväärne, s.t. valehäireid peab esinema võimalikult vähe, sest iga valehäire on töötaja raiskamine, kuna häire peale seiskub komplekti kontrollimise ajaks pakkeliini töö.
- Programmist peab saama muuta tolerantse, et programm oleks kasutatav ka teiste toodetega. Teisel tootel võib olla kõige kergem element teistsuguse massiga, kui programmi kirjutades arvestatud komplektil ning siis saab tolerantsi kohandada kõige kergema elemendi avastamiseks.
- Kaalumise protsess peab olema jälgitav üle arvutivõrgu, et kontrollida liini tööd ka teisest arvutist.
- Komplekti keskmise massi arvutamiseks vajalik komplektide arv peab olema programmi kaudu muudetav, sest erinevatel toodetel on erinevad masside süstemaatilised kõikumised ning mõnel komplektil on vaja, et keskmine mass oleks nn. rohkem inertsem ning mõnel, et oleks vähem inertsem.
- Programm ei tohi arvestada keskmise arvutamisel neid komplekte, mille mass on kas ülalpool ülemist tolerantsi piiri või allpool alumist tolerantsi piiri.
- Programm peab sobima mõlemale hetkel kasutusel olevale kaalu tüübile. Andmevahetuses ja kaalule saadetavates käskudes on väiksed erinevused.
- Andmete edastus, andmete vastuvõtt, andmete töötlus ning märguande andmine peab toimuma vähemalt 3,5 sekundi jooksul.
- Töötajale märguande andmiseks ei saa kasutada arvuti monitori, sest monitor asub kaalust kaugel ning monitorilt on vaja näha muud jooksvat infot.
- Programmist peab olema võimalik muuta andmeedastuskiirust ning arvuti sisendit/väljundit, mille kaudu andmeedastus toimub.

- Programm peaks kuvama komplektide kaale ja tolerantse graafikuna, milles on näha viimase 100 komplekti massid.
- Komplekti masside graafikut peaks olema võimalik suurendada ja vähendada olenevalt olukorrale.

## **8.2. Nõudmised kaalumiseks vajalikule riistvarale**

- Arvuti protsessori kiiruseks ning mälu mahuks piisab vastavalt 266 MHz ja 64 MB. Kaalumise programmil nõudmised protsessorile ja mälule ei ole suured, sest töödeldavate andmete maht on väike. Protsessori kiirusele ja mälu mahule seavad nõudmised kaalumise programmiga samaaegselt jooksvad pakkimise programmid ning operatsioonisüsteem. Kaalumise programmi saab kohandada erinevate operatsioonisüsteemide jaoks, nagu näiteks Windows 95, Windows NT või Windows 2000.
- Kuna märguande andmiseks ei saa kasutada arvuti monitori, sest monitor asub kaalust kaugel ning monitorilt on vaja näha muud jooksvat infot, siis alternatiivina saab kasutusele võtta juba olemasolevad valgusfoorid ning seega ei nõua see ka lisainvesteeringut.
- Andmevahetus nii kaalu, kui valgusfooriga peab käima läbi ühe ja sama COM pordi.
- Valgusfoori ja kaalu andmevahetuseks kasutatavate juhtmete pikkused peaksid olema vähemalt 3 meetrit, kuna kaalu ja arvuti ning valgusfoori ja arvuti vaheline kaugus on umbes nii suur.
- Kuna andmevahetus kaalu ja valgusfooriga toimub ühe ja sama pordi kaudu, peab olema võimalus seada nii kaalul kui ka valgusfooril andmete vastuvõtmine ühesugusele andmeedastuskiirusele.
- Kaal peaks saatma andmeid välja vaid siis, kui muutub kaalul oleva komplekti mass ehk asetatakse kaalule järgmine komplekt.
- Suhtlemisel kaaluga kasutatakse kahepoolset sidet s.t. võetakse kaalult andmeid vastu, kui ka saadetakse kaalule andmeid. Valgusfooriga toimub ühepoolne side s.t. valgusfoorile küll saadetakse andmeid, kuid ei võeta vastu mingeid andmeid.

Joonis nr. 9 iseloomustab arvuti, kaalu ja valgusfoori vaheliseks suhtlemiseks vajalikku kaabeldust ning pistikuid.



Joonis nr. 9 Arvuti, kaalu ja valgusfoori ühendamine ning info liikumine

### **8.3. Kaalumise programmi funktsioonid**

#### **8.3.1. Andmete võtustõtmise kaalult ning ebavajalike sümbolite välja filtreerimine.**

Programmi kirjutades tuleb arvestada, et kaal saadab välja ka muid andmeid, kui ainult kaalule asetatud elemendi mass, seega tuleb välja filtreerida ebavajalikud sümbolid ning samuti paika panna andmeedastuskiirus ja andmebittide arv. Parim lahendus oleks, kui programmi kaudu saaks muuta nii andmeedastuskiirust, kui ka andmebittide arvu, sest hetkel kasutusel olevad kaalud ei pruugi jääda ainukesteks ja uutel kaaludel võib olla andmeedastuskiirus ning andmebittide arv määratud.

Samuti tuleb määrata pordi puhvrist andmete lugemise tsüklid ning pordi puhvri suurus.

Kasutades programmeerimiskeelt Visual Basic kirjutati vastav kood, mis tekitab alljärgneval joonisel (Joonis nr. 10) nähtava akna.



Joonis nr. 10 Kommunikatsiooniseadistuse määramine

Pean ebaoluliseks selle akna kood siinkohal välja tuua, olulise koodina tootsin siiski siia välja algoritmi mis filtreerib välja ebavajalikud osad kaalu poolt saadetakse infost, et algoritmi mõista toon välja ka kaalude poolt saadetava info formaadid koos bittide arvu ning vajalike ning ebavajalike sümbolitega.

Kaal Precisa:

T	T	T	T	M	N	N	N	N	N	N	N	N	T	Ü	Ü	Ü	Ü	CR	LF
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----

Kaal Sartorius:

M	T	T	T	N	N	N	N	N	N	T	Ü	Ü	Ü	CR	LF
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----

T - tühi

M - märk (kas “+” või “-“)

N - number (nendes kohtades asubki mass)

Ü - ühiku tähis

CR - carriage return

LF - line feed

Kogu string saadetakse 7 bitises ascii koodis ning ühes stringis on Precisa puhul 20 võimaliku sümboli kohta ja Sartoriuse korral 16 sümboli kohta ning saadetud stringi lõppu tähistavad alati sümbolid CR (carriage return) ja LF (line feed) mis ascii koodidena on vastavalt 13 ja 10.

Precisa kaalu puhul pakuvad huvi sümbolid 6 kuni 13 eestpoolt lugedes mis on sümbolid 8 kuni 15 tagantpoolt lugedes. Sartorius kaalu puhul huvitavad sümbolid 5 kuni 10 eestpoolt lugedes mis on sümbolid 7 kuni 12 tagantpoolt lugedes.

Lisaks väikesele stringi formaadi erinevusele erinevad kaalud ka selle poolest, et erinevalt Precisast, saadab Sartorius kaal välja massi 0 grammi ja massi näitu saadab Sartorius kaal välja pidevalt, Precisa aga vaid üks kord. Nii Precisa kui ka Sartorius kaal saadavad välja vaid stabiliseerunud massi, ehk teisisõnu saadavad nad välja massi näidu vaid siis, kui on “veendunud” kaalule asetavate esemete lõplikuses. Andmete töötamiseks sobilik mass on vaid juba stabiilsuse saavutanud massi näit, mis ei ole 0.

Niisiis, Precisa kaalu jaoks tuleb teha filter, mis sorteerib välja stringis asuvad numbrid, mis moodustavad arvu. Kuna tegu on olulise sammuga toon välja ka tehtud filtri ühe olulisema osa koodi:

```

While (i <= string_len)
    current_asc = Asc(Mid(s, i, 1))
    If (current_asc >= 48 And current_asc <= 57) Then
        str_int = str_int + Mid(s, i, 1)
    End If
    i = i + 1
Wend
If Len(str_int) > 0 Then
    mass = CInt(str_int)
Else

```

Antud programmitüki idee seisneb selles, et kuna ascii koodidena asuvad numbrid vahemikus 48 kuni 57, siis antud osa programmist kontrollib üle kõik saabunud ascii koodid ning avastades sealt numbrid, sorteerib need välja ja paneb numbrid kokku arvuks.

Sartorius kaalu puhul ei saa kahjuks seda algoritmi kasutada, sest kaal saadab vahetpidamata välja masse ning kokkupandud arv võib olla tulnud kokku mitmest väljasaadetud massist ning samuti peab Sartoriuse jaoks tehtud filter välja filtreerima massi 0 ja ka ära tundma korduvad massid ning neid mitte arvestama. Siinkohal tooksin välja ka olulise osa sellest filtrist:

```

If MSComm1.InBufferCount > 32 Then
    abi = MSComm1.Input
    a = ""
    i = 1
    While Mid(abi, i, 1) <> Chr(10)
        i = i + 1
    Wend
    For k = i + 5 To i + 10
        a = a & (Mid(abi, k, 1))
    Next

```

```

    If Val(kontr.Text) <> Val(List1.Text) And a <> 0 And a <> "" And a <>
    " " And a <> " " And a <> " " And a <> " " And a <> " "
    Then
    .
    .
    .
    End If
    If a <> "" Then
        kontr.Text = a
    End If
End If

```

Antud filtri osa idee seisneb selles, et alates sümbolist LF (line feed, ascii koodis 10) võetakse järgmised sümbolid LF+6 kuni LF+10, mis kirjeldavad kaalul oleva massi väärtust, sest Sartorius kaal saadab välja stabiilset väärtust pidevalt ning iga string lõpeb ascii koodiga 10 ja järgmises koodis asub massi väärtus kohtadel 5 kuni 10. Filter rakendub tööle vaid siis, kui pordi puhvrissa on kogunenud üle 26 ascii koodi. See 26 ascii koodi piir on vajalik selleks, et kindlustada stringide piisav pikkus andmete töötlemiseks, sest juhul, kui pordis on vaid 25 sümbolit, siis esimene string koosneb 16 ascii koodist ning alates 16. ascii koodist peab olema järgi veel vähemalt 10 ascii koodi, sest just sinna esimese 10 ascii koodi sekka mahub ka vajalik massi väärtus. Korduvate massi väärtuste sisse lugemise likvideerib filter nii, et salvestab sisse loetud massi väljale *kontr* (väli pole nähtav programmi kasutades) ning lugedes sisse uue massi väärtuse kõigepealt võrdleb eelmist massi ning sisseloetud massi ning samasuse korral jääb ootama uut massi. Eraldi väli on vajalik selleks, et väärtuse 0 korral ei sisestata seda töödeldavate andmete hulka, vaid säilitatakse selleks, et uue massi saabumisel oleks teada, et kaalul asuvat elementi on kas vahetatud või korraks üles tõstetud.



### 8.3.2. Vastuvõetud andmete töötlemine

Kaalult vastuvõetud andmete töötlemine õnnestuks ka programmi siseseid liste või teksti välju kasutades, kuid siiski on vaja salvestada andmed ka faili, sest vastasel juhul ei ole võimalik andmetele ligipääs mõnest teisest võrgus asuvast arvutist, samuti tekib raskusi graafiku loomisega. Otsustati kasutada andmebaasina Microsoft Access andmebaasi, sest Microsoft Accessi kasutades ei pea mingeid programme lisaks installeerima kaalumisel kasutavasse arvutisse, vaid Microsoft Visual Basic lisab programmile vastava mooduli, mis võimaldab andmeid koguda Microsoft Accessi andmebaasi isegi juhul, kui kasutatavas arvutis puudub Microsoft Access. Samuti peab olema võimalus lugeda mõnest teisest võrgus asuvast arvutist andmebaasi, mida parasjagu kasutatakse kaalumise programmi poolt andmete salvestamiseks ja selline võimalus on antud Microsoft Accessi andmebaasil ka olemas.

Et programm võimalikult kiirelt töotaks ning ka arvuti mälu võimalikult vähe kurnaks, püüan andmete töötluse, mis on kaalumise operatsiooniks vajalik, ära teha andmebaasi väliselt, kasutades tekstivälju ja listi.

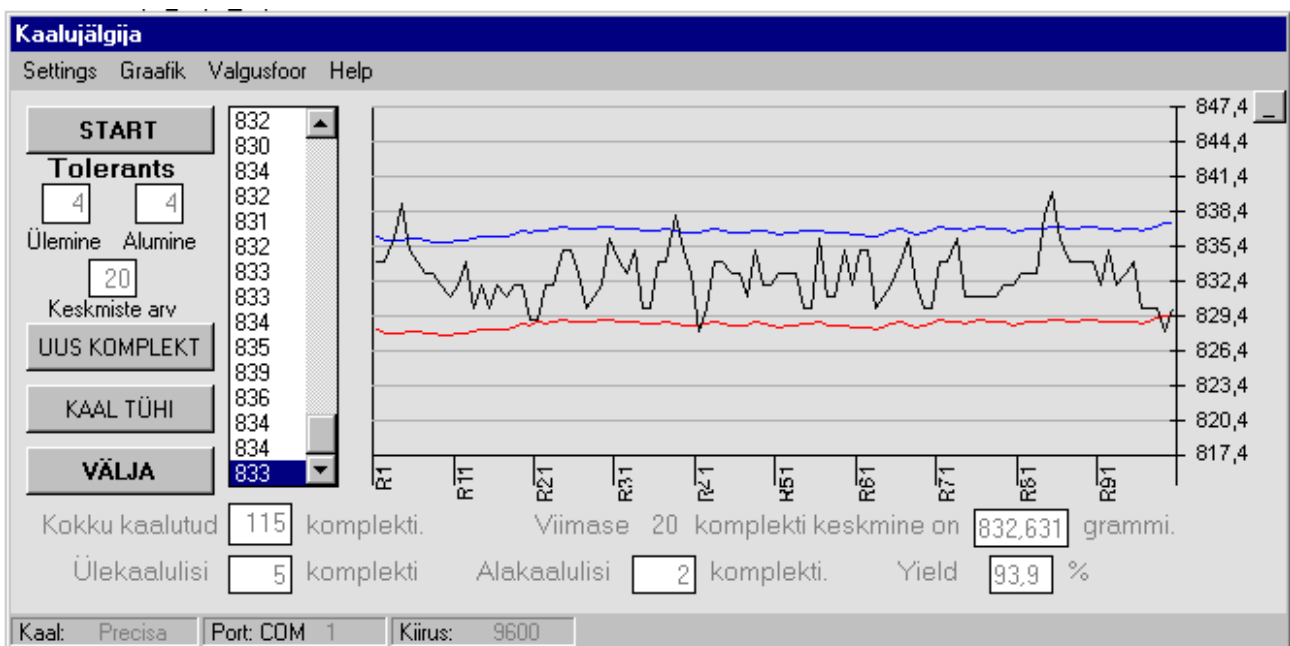
Tähtsaima operatsioonina peab programm suutma arvutada keskmist massi mingisugusest  $x$  elemendisest hulgast ning ka suutma võrrelda saadud keskmist viimase sisseloetud massiga. Andmebaasi on vaja salvestada kõik massid, kuid keskmise massi arvutamiseks võib kasutada vaid väärtusi, mis jäävad seatud limiitide vahemikku. Samuti ei ole vaja kirjutada andmebaasi sooksvat yieldi, ülekaaluliste ning alakaaluliste komplektide arvu, kuna neid on võimalik leida kaalumise programmi väliselt andmebaasis olevaid andmeid töödeldes.

Kokkuvõtvalt võib ütelda, et andmete salvestamist andmebaasi on kaalumise programmil vaja korrektseks graafiku kuvamiseks, teistest arvutitest andmetele ligipääsuks ja andmete säilitamiseks.

Graafiku loomiseks kasutati Microsoft Visual Basic Data Enviroment'i. Kuna puudub vajadus kogu kaalutud masside kuvamiseks kaalumise programmi graafikul ning samuti muudab liiga suure andmehulga graafikul

kuvamine graafiku ebaülevaatlikuks, siis graafikul kuvatakse vaid viimase 100 kaalumise andmeid. Et kuvada graafikul vaid viimast 100 tulemust, selleks lisati Microsoft Accessi andmebaasi faili üks tulp, milles on andmete järjekorra numbrid ning tehti järjekorra numbri järgi SQL programmeerimiskeelt kasutades sinna viimase 100 salvestatud andme välja filtreerimine.

Programmi peamine aken näeb välja alljärgnev (Joonis nr. 11)



Joonis nr. 11 Kaalumise programmi peamine aken

Programmi aknas näha oleval graafikul punane kõver tähistab alumise tolerantsi piiri, sinine kõver tähistab ülemise tolerantsi piiri ning musta värvi kõver tähistab kaalult sisse loetud masside väärtusi. Punktides, kus must kõver ületab kas punast või sinist peab programm andma pakkijale märku tolerantsi piiri ületamisest.

Selgitused teiste kaalumise programmi aknas olevate väljade arvutuste kohta:

Väli “Kokku kaalutud ... komplekti” näitab mitu komplekti kaalutavast tootest alates programmi käivitamisest on kaalutud.

Väli “Viimase ... komplekti keskmine on ... grammi” näitab määratud arvu komplektide keskmist massi.

Väli “Ülekaalulisi ... komplekti” näitab üle ülemise tolerantsi piiri läinud komplektide arvu ehk ülekaaluliste arvu.

Väli “Alakaalulisi ... komplekti” näitab allapoole alumise tolerantsi piiri läinud komplektide arvu ehk alakaaluliste arvu.

Väli “Yield ... %” näitab üle või allapoole tolerantsi piire läinud komplektide ning tolerantsi piiride vahele jäänud komplektide suhet ja arvutatakse järgnevalt: 
$$Yield = 100\% - \frac{(\text{ülekaalulisi} + \text{alakaalulisi}) \cdot 100\%}{\text{kokku\_kaalutud}}$$

### 8.3.3. Alarmisignaali andmine läbi valgusfoori

Et kasutada valgusfoori alarmisignaali andjana tuleb valgusfoori juhtplokk seada vajalikule andmeedastuskiirusele ning käsu string vajalikule formaadile. Andmeedastuskiirus võib valgusfoori puhul olla 1200, 2400, 4800 või 9600 Baudi, kuid tuleb arvestada sellega, et kaalu ja valgusfoori andmeedastuskiirused peavad olema võrdsed, sest kaaluga ja valgusfooriga suhtlemine toimub ühe ja sama pordi kaudu.

Valgusfoori juhtimise käsu string on kümnekohaline numbriline kood, mille formaadi tooksin siinkohal ka välja:

Valgusfoori käsu stringi formaat:

STX	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	ETX
-----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

STX – käsu või teksti algus (start of text).

R1-R8 – relee 1 kuni 8 (relay 1 –relay 8).

ETX – käsu või teksti lõpp (end of text)

Käsku või teksti, mida tahetakse saata valgusfoorile peab alati alustama numbriga 2, mis tähistab tekstirea algust (STX).

Releesi 1 kuni 8 saab sisse-välja lülitada numbritega 4 ja 5, kus vastavalt 4 lülitab relee sisse ja number 5 lülitab välja.

Relee nr. 1 (R1) juhib kõige alumist (punast) tuld

Relee nr. 2 (R2) juhib keskmist (rohelist) tuld

Relee nr. 3 (R3) juhib kõige ülemist (kollast) tuld

Relee nr. 4 (R4) juhib helisignaali

Relee nr. 5 kuni nr. 8 on kasutatud ning nendega ei ole võimalik midagi juhtida.

Valgusfoorile saadetud käsk tuleb lõpetada numbriga 3, mis tähistab tekstirea lõppu (ETX).

Näide:

Selgituseks lisan siinkohal ka kaks näidet, kuidas panna süttima punane tuli ja anda helisignaali ning kuidas kustutada punane tuli ja lõpetada helisignaali.

Punase tule ja helisignaali käivitamiseks saadan foorige järgmise käsu:

2	4	5	5	4	5	5	5	5	3
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Tule(de) kustutamiseks ning helisignaali lõpetamiseks tuleb saata foorige alljärgnev käsk:

2	5	5	5	5	5	5	5	5	3
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Tähelepanu tuleb pöörata sellele, et antud juhul ei ole tegu ascii koodidega, nagu kaalu puhul, vaid konkreetsete sümbolitega, mis saadetakse otse valgusfoorile, et vältida operatsioonisüsteemi poolt või pordis toimuvaid teisendusi tuleb kirjutada programmi koodi iga saadetava sümboli ette käsk Chr.

Kriitiline moment valgusfoorile saadetavate käskude juures on veel see, et valgusfoorile saadetavad käsud ei tohi segada kaalu tööd, sest nii kaalu, kui ka valgusfooriga suhtlemine toimub ühe ja sama pordi kaudu. Antud

probleemist lähemalt paragrahvis 8.3.5 Kaalule saadetavate käskude ning valgusfoorile saadetavate käskude vahelise konflikti olemasolu lk. 40.

#### 8.3.4. Käskude saatmine kaalule

Arvutist kaalule käskude saatmise eesmärk on kaalu seadistamine kaalumise programmile sobivaks. Sellisel viisil käskude saatmisel ei oleks mõtet, kui tootmises suudetaks garanteerida täielik puutumatus kaalu seadistusele, kui ka tingimuste absoluutne samasus (näiteks võib pakkimise käigus kleepuda kaalule mingi objekt, mis omab massi ning seega ka lisab komplekti massile oma massi juurde) selliste nõudmiste tagamine on küll võimalik, kuid kahjuks nõuab rahalist ressursi, mida aga ei nõua programmi modifitseerimine sellisel moel, et programmi käivitamisel saadetakse kaalule automaatselt käsud, mis tagavad kaalu vajaliku seadistuse. Sama töö on võimalik ka ära teha kaalu menüüs liikudes ning vajalikke seadistusi muutes, aga tegu on keerulise protseduuriga ning programmi eesmärk on teha kaalumine võimalikult lihtsaks.

Käsu stringi formaadid Precisa ja Sartorius kaalule on erinevad, alljärgnevalt toon välja mõlema kaalu käsustringi formaadid.

Precisa kaalu käsustringi formaat:

STR	CR	LF
-----	----	----

STR – käsustring

CR – carriage return, ascii koodis 13

LF – line feed, ascii koodis 10

Sartorius kaalu käsustringi formaat:

ESC	STR	CR	LF
-----	-----	----	----

ESC – escape, ascii koodis 27

STR – käsustring

CR – carriage return, ascii koodis 13

LF – line feed, ascii koodis 10

Kuna Precisa kaalul puudub käsustikus vaste ESC (ascii koodis 27) stringile, siis võiks kasutada samat käsu saatmise formaati mõlema kaalu puhul, aga kuna käsud kattuvad vaid ühel juhul, siis on võimalik kasutada samat käsku vaid ühe seadistuse korral.

Precisa kaalu seadistamine arvutist saadetavate käskude abil.

Parima kaalumise tulemuse saavutamiseks tuleb Precisa kaal seadistada vastavalt tema käskude valikule järgnevalt:

- Saadab välja kaalule asetatud massi väärtuse peale massi muutust.  
Käsustring P2
- Kõrge massi stabiilsus. Käsustring S2. Selle käsuga määratakse ära kaalu tundlikkus ebastabiilse massi suhtes, kuna komplekti kaalule asetamise ning sealt võtmise vahepeal on vaja saada komplekti massi, siis on vaja seada kaal niiviisi, et ta arvestaks vaid kindlat ja muutumatut massi, mitte ei arvestaks massi siis, kui kaalule asetamine või sealt võtmine alles toimub. Sellise olukorra tagabki seadistus, kus on määratud massi stabiilsus kõrgeks.
- Integratsiooni aeg minimaalne ehk 0,08 sek. Käsustring IO. Integratsiooni aeg määrab ajavahemiku, mille järel kaal kontrollib temale asetatud komplekti massi ning kuna on vaja saavutada minimaalset ajakadu, siis tuleb seada minimaalne integratsiooni aeg.

Seega tuleb Precisa kaalule enne kaalumise alustamist saata järgmised kolm käsustringi:

P2	CR	LF
S2	CR	LF
I0	CR	LF

Kirjeldatud käsud saadetakse arvutist välja, kui vajutada nupule “START”, vt. Joonis nr. 11 lk. 34

Lisaks arvutist paika pandud seadistusele tuleb Precisa kaalul paika panna ka seadistused, mida ei saa arvutist saadetavate käskudega paika panna, näiteks kaalu infovahetuse kiirus väliste seadmetega ning ühikud, milledes kaalumine toimub, sellest lähemalt peatükis 8.4.3 Kaalu andmeedastuseks/vastuvõtuks seadistamine. lk. 44

Sartorius kaalu seadistamine arvutist saadetavate käskude abil.

Sartorius kaal tuleb enne kaalumise alustamist seadistada vastavalt tema käskude valikule järgnevalt:

- Kõrge massi stabiilsus. Käsustring K. Sama käsk on kasutusel ka Precisa kaalu juures, seletus antud käsule asub eelmisel leheküljel.
- Kaalul asuvate nuppude blokeerimine. Käsustring O. Antud käsk on puhtalt ettevaatusabinõuna kasutusel, et vältida kaalul asuvate nuppude juhuslike vajutuste tagajärgi.

Seega tuleb Sartorius kaalule enne kaalumise alustamist saata järgmised kaks käsustringi:

ESC	K	CR	LF
ESC	O	CR	LF

Analoogselt Precisa kaalule saab ka Sartoriuse puhul mõningaid kaalumiseks vajalikke seadistusi määrata vaid kaalu menüüst, sellest lähemalt peatükis 8.4.3 Kaalu andmeedastuseks/vastuvõtuks seadistamine. lk. 44

Kirjeldatud käsud saadetakse arvutist välja, kui vajutada nupule “START”, vt. Joonis nr. 11 lk. 34

Lisaks ülalpool kirjeldatud seadistustele saab mõlema kaalu puhul määrata olek “Tühi kaal” s.t. määratakse kaalu nullpunkt arvutist saadetava käsu abil. Precisa kaalu puhul oleks selleks määranguks vaja välja saata alljärgnev käsustring:

T	CR	LF
---	----	----

Sartorius kaalu puhul aga alljärgnev käsustring:

ESC	T	CR	LF
-----	---	----	----

Kuna Precisa kaal ei tunne, ega arvesta sümbolit “ESC”, siis võib mõlemale kaalule anda Sartoriusele sobiva käsu.

Oleku “Tühi kaal” määramine peaks käima eraldi nupu alt, et inimene ikka oleks veendunud ennem nupule vajutust, et kaal ikka tõepoolest on tühi ning samuti võib antud oleku seadmist vaja minna kaalumise käigus. Oleku “Tühi kaal” käsk saadetakse arvutist välja, kui vajutada nupule “KAAL TÜHI”, vt. Joonis nr. 11 lk. 34

#### 8.3.5. Kaalule saadetatavate käskude ning valgusfoorile saadetatavate käskude vahelise konflikti olemasolu

Võrreldes nii Precisa kaalule ja Sartorius kaalule saadetatavaid käsustringe valgusfoorile saadetatavate käsustringidega on selge, et kaalule saadetatavad käsud ei sega valgusfoori tööd ning vastupidi, sest valgusfoorini jõudnud kaalu käsk on tema jaoks vaid müra, kuna käsustringi algusest puudub valgusfoori käsu algust iseloomustav 2 ning lõpust valgusfoori käsu lõppu iseloomustav 3. Samuti on valgusfoori käsud kaalu jaoks müra, sest käsustringi lõpust puudub kaalu käsustringi lõppu tähistav CR ja LF.

Niisiis võib ilma komplikatsioonideta suhelda nii kaaluga kui ka valgusfooriga ühe ja sama pordi kaudu.



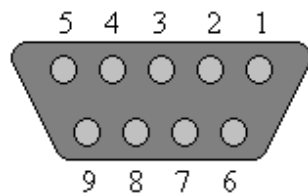
## 8.4. Riistvara lahendused

### 8.4.1. Kaalu, arvuti ja valgusfoori vaheline kaabeldus

Mõlemal kaalul on kasutusel RS232 (25 pin) port, valgusfooril RJ45 pistik ning arvutil hakkab kasutama COM porti (9 pin).

Kaabelduse vaatlemist alustatakse COM pordi pistikust, kuna nii kaalu sisend/väljund kui ka valgusfoori sisend tulevad arvutist.

COM pordiga ühendatava kaabli pistik:

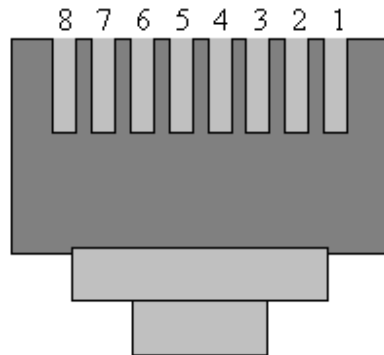


Joonis nr. 12 Female 9-pin

- 1 – DCD (Data carrier detect)
- 2 – RXD (Receive data)
- 3 – TXD (Transmit data)
- 4 – DTR (Data terminal ready)
- 5 – GND (Signal ground)
- 6 – DSR (Data set ready)
- 7 – RTS (Request to send)
- 8 – CTS (Clear to send)
- 9 – RI (Ring indicator)

Nii kaalu kui valgusfoori andmete vastuvõtuks kui ka juhtimiseks läheb vaja joonisel (Joonis nr. 5) näidatud pordist vaid järgmisi ühendusi: Receive data (pin nr. 2), transmit data (pin nr. 3), signal ground (pin nr. 5).

Valgusfooriga ühendatava kaabli pistik RJ25:

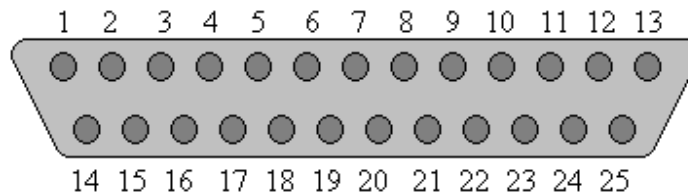


- 1 – tühi
- 2 – RXD (receive data)
- 3 – DTR (data terminal ready)
- 4 – VDC (not regulated 12 V)
- 5 – GND (signal ground)
- 6 – TXD (transmit data)
- 7 – CTS (clear to send)
- 8 – GND (internal ground)

Joonis nr. 13 Valgusfoori mineva kaabli pistik

Valgusfoori juhtimiseks läheb vaja vaid järgmisi ühendusi: receive data (pin nr. 2), signal ground (pin nr. 5)

Kaaluga ühendatava kaabli pistik RS232 (25 pin):



Joonis nr. 14 Kaaluga ühendatava kaabli pistik

Precisa kaalu puhul:

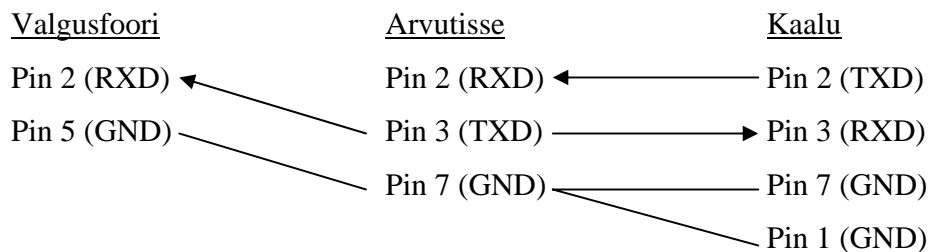
- 2 – TXD (transmit data)
- 3 – RXD (receive data)
- 7 – GND (ground)
- 1,4,5,6,8-25 – not connected

Sartorius kaalu puhul:

1 – GND (signal ground)	10,11,16,17,18,19,25 – Not connected
2 – TXD (transmit data)	12 – Reset out
3 – RXD (receive data)	15 – universal remote switch
4,7,8 – GND (internal ground)	20 – DTR (data terminal ready)
5 – CTS (clear to send)	21 – GND_V in (external power supply ground)
6,9,13,22,23 – Internally connected	24 – Power supply input +12...30 V

Kaaluga ühendatavast kaabli pistikust läheb vaja vaid järmisi ühendusi: Signal ground (pin 1), transmit data (pin 2), receive data (pin 3), signal ground (pin 7).

Kolme pistiku kontakte vaadeldes tuleb kokku panna alljärgnevate ühendustega kaabel (info liikumine toimub noolega näidatud suunas):



8.4.2. Valgusfoori andmete vastuvõtuks seadistamine

Valgusfoori andmete vastuvõtu seadistust saab muuta vastavate lülitite abil, mis asuvad valgusfoori juhtplokis oleval trükkplaadil.

Andmete vastuvõtu kiiruseks saab valgusfooril määrata 1200, 2400, 4800 või 9600 Baudi.

Andmebittide arvuks saab määrata kas 7 või 8 bitti. Stoppbittide arvuks saab määrata kas 1 või 2 olenevalt andmebittide arvust. Samuti saab määrata kas edastatav info on paarsusega või ilma.

Olles eelnevalt tutvunud kaalu ning arvuti andmeedastuse ning vastuvõtu seadistuse võimalustega seadistatakse valgusfoor alljärgnevalt:

Andmete vastuvõtu kiirus: 9600 Baudi

Andmebittide arv: 8 bitti

Stoppbittide arv: 1 bit

Paarsus: Ei

Antud andmete vastuvõtu seadistus on ka näiteks arvutil niinimetatud default seadistuseks.

#### 8.4.3. Kaalu andmeedastuseks/vastuvõtuks<sup>1</sup> seadistamine

Kuna info edastamine toimub valgusfoorile kui ka kaalule samast pordist, siis peavad nii valgusfoori kui ka kaalu andmeedastuse seadistused ühtima.

Mõlema kaalu andmeedastust saab seadistada läbi kaalu juhtploki vastavates menüüdes olevaid seadeid muutes.

Mõlema kaalu andmeedastus seadistatakse järgnevalt:

Andmeedastuskiirus: 9600 Baudi

Andmebittide arv: 8 bitti

Stoppbittide arv: 1 bit

Paarsus: Ei

Kuna kaalumisel väljastatavat ühikut ei saa määrata arvuti kaudu saadetava käsuga, siis tuleb veenduda, et ühikuks oleks määratud grammid.

Sartorius kaalu puhul on lisaks ülal loetletud seadistustele veel olulised järgnevad seadistused:

Handshake mode: Software

Communication mode: PC

Print mode: Automatic at stability

---

1 – antud juhul määrab andmeedastuse seadistus ära ka andmete vastuvõtu seadistuse. Edaspidi antud punkti all kasutan vaid väljendit andmeedastus.

#### 8.4.4. Arvuti andmeedastuseks/vastuvõtuks<sup>1</sup> seadistamine

Arvutis COM pordi andmeedastuse seadistan analoogselt kaalu ja valgusfoori seadistusele:

Andmeedastuskiirus: 9600 Baudi

Andmebittide arv: 8 bitti

Stoppbittide arv: 1 bit

Paarsus: Ei

Kaalumise programmi kaudu muudetavaks teen vaid andmeedastuskiiruse ja COM pordi numbri, mida saab muuta lk. 29 Joonis nr. 10 nähtavast aknast.

---

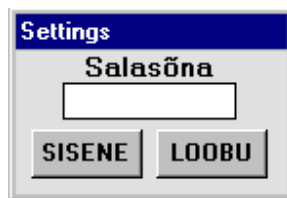
1 – antud juhul määrab andmeedastuse seadistus ära ka andmete vastuvõtu seadistuse. Edaspidi antud punkti all kasutan vaid väljendit andmeedastus.

## **9. Pakkimise protsessi jälgimisel saadud järeldused**

### **9.1. Kaalumise programmis ilmnenud puudused**

#### 9.1.1. Vaba ligipääs tolerantsi seadistuse muutmisele

Kaalu, valgusfoori ning pakkimise programmiga varustatud pakkeliini tööd jägides selgus, et tolerantside seadistamisele ligipääs on vaja piirata salasõnaga, sest pakkeliinil töötajad või muudelt töökohtadelt tulnud inimesed muudavad tolerantside seadistust ning sellega rikuvad programmi testimise perioodil töödeldavaid andmeid. Et sellist olukorda tulevikus vältida, selleks lisati kaalumise programmile tolerantside seadistusele ligipääsu piirava akna (vt. Joonis nr. 15), kuhu on vaja sisestada salasõna.



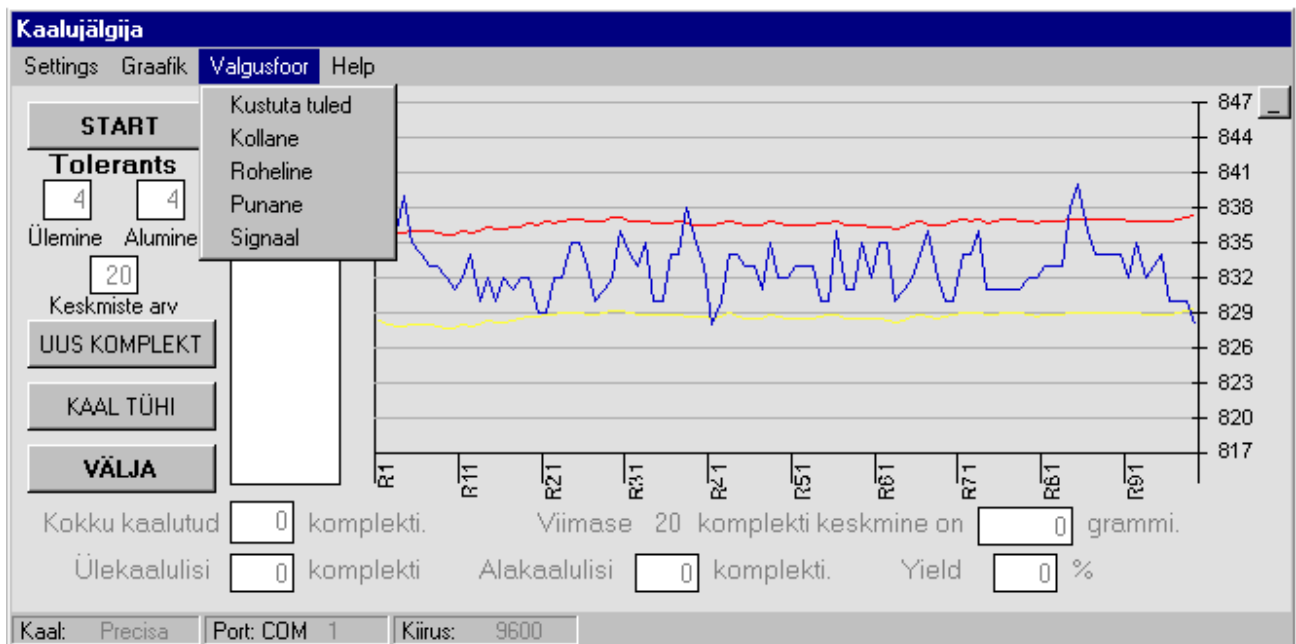
Joonis nr. 15 Seadistusele ligipääsu piirav aken

#### 9.1.2. Kaabelduse ning valgusfoori kontroll

Kaalumise programmi kasutamise üks kriitilisi kohti on kaalu ja arvuti ning arvuti ja valgusfoori vahelise kaabelduse korrasolek. Programmi käivitamisel jälgides tuli ilmsiks, et esineb olukordi, kus on vahetatud kaalust tuleva juhtme füüsilist asukohta arvutisse sisenemisel ehk teisisõnu on vahetatud COM porti.

Samuti ennem igat kaalumise alustamist on vaja selgusele jõuda, kas valgusfoori kõik tuled ning signalisatsioon on töökorras. Et ülalootletud kahte punkti kontrollida, selleks lisati programmi koodi lõik, mis kaalumise programmi käivitades paneb põlema kõik valgusfoori tuled ja annab ka signalisatsioonimärkuande. Lisaks sellisele kontrollimise viisile lisati kaalumise programmile veel võimalus, kust saab kõiki valgusfoori tulesid ja ka signaalmärkuannet aktiveerida eraldi.

Lisaks tulede ning signaalmärguande eraldi aktiveerimisele on vaja ka kustutada valgusfoori tulesid ning deaktiveerida signaali, sest pakkeliinil tuleb ette pause kus pakkimist ei toimu, näiteks, kui tellimus on täidetud, või kui töölisel on lõunal ja et pikendada valgusfooris olevate pirnide eluiga tuleks pausi ajaks valgusfoor välja lülitada. Valgusfoorile käsklusi andvat menüüd on võimalik näha alloleval joonisel (joonis. nr. 16)



Joonis nr. 16 Valgusfoorile käskude andmise menüü

Valgusfoorile käskude saatmisest on pikemalt juttu 8.3.3 Alarmisignaali andmine läbi valgusfoori. lk. 35

### 9.1.3. Andmete säilitamine peale programmist väljumist

Kaalumise programmi puudusena tuli ilmsiks andmete säilitamise probleem. Nimelt programmist väljudes ja uuesti käivitades hakkab programm eelmisi andmeid üle kirjutama ja kuna pakkimine toimub kolmes vahetuses, siis ei ole võimalik teostada pidevat andmete uurimist ja töötlemist inseneride poolt ning hädavajalik on andmete salvestamine ning säilitamine.

Programmi koodi lisatakse käsud, mis salvestavad sisse loetud andmed faili, mille nimes sisaldub faili salvestamise kuupäev ja kellaaeg. Sellisel kujul faili salvestamine on vajalik andmebaaside identifitseerimiseks. Andmebaasi failide salvestamine käivitub, kui vajutada kaalumise programmi aknas nuppe "UUS KOMPLEKT" või "VÄLJA" vt. Joonis nr. 11 Kaalumise programmi peamine aken lk.34

Kataloog, kuhu antud failid salvestatakse on avatud üle arvutivõrgu vajalikele kasutajatele.

## **9.2. Teoreetiliste arvutuste võrdlus praktiliste mõõtmistega.**

Et kontrollida kas peatükis 7.2 (Erinevate massidega komplektide esinemissagedus) lk. 22 tehtud teoreetilised arvutused peavad paika, selleks seadistatakse kaalumise tolerants  $\pm 3$  grammi peale ja alustatakse pakendite kaalumist. Vastavalt arvutustele peaks olema valehäireid 7,3 % kaalumistest ning kahe kergeima komponendi (vööklambri ja garantiisertifikaadi) puudumise mitteavastamine 2,7 %.

Kaaludes 200 komplekti saadi kokku 18 alarmi, millest kõik osutusid valehäireteks. 18 alarmi 200 kaalumise kohta on 9,0 % mis on teoreetiliselt saadud tulemusest 1,7 % võrra rohkem. Selline valehäirete hulk hakkas häirima pakkimise tööd ja seega on tolerants  $\pm 3$  grammi liiga range hetkel kasutusel oleva komplekti kaalumiseks. Kuna tolerantsi  $\pm 3$  grammi ei saa valehäirete rohkuse tõttu kasutusele võtta, siis ei ole mõtet seda tolerantsi määrangut testida puuduvate komponentide leidmisel..

Teise katse alustamiseks seadistati kaalumise tolerants  $\pm 4$  grammi peale. Kaaludes 200 komplekti saadi kokku 5 alarmi, millest kõik osutusid valehäireteks. Valehäirete protsent kogu kaalumise hulgast on seega 2,5 %, mis on teoreetiliselt (vt. lk. 22 peatükk 7.2 ) saadud tulemusest 0,9 % võrra rohkem. Selline tolerantsi määrang on valealarmide seisukohalt ligi 4 korda parem, kui  $\pm 3$  grammi, sest kui  $\pm 3$  grammise tolerantsiga saadi valehäire keskmiselt peale 11 kaalumist, siis tolerantsiga  $\pm 4$  grammi saadi valehäire keskmiselt peale 40 kaalumist. Kuna



tolerantsi määranng  $\pm 4$  grammi tuleb valealarmide seisukohalt kõne alla, siis on mõtet teda testida ka puudevate komponentide leidmisel.

Et kontrollida puudevate komponentide leidmise usaldatavust, selleks võetakse pisteliselt ära komplektis olevaid komponente enne kaalumist ning jälgitakse kas programm annab alarmi või mitte.

Katsetamise käigus eemaldati pisteliselt kolmekümnelt komplektilt ühekaupa vastavalt vööklamber, garantiisertifikaat ning leaflet. Ülejäänud komponentidega ei ole mõtet seda katset teha, sest nende massid on juba nii suured, et tolerants  $\pm 4$  grammi jääb kaugelt alla tema massile. Samuti võrreldes tolerantsiga on suure massiga ka leaflet, kuid programmi testimiseks otsustati katse teha ka leafleti eemaldamisega komplektist.

Kolmekümnest ilma vööklambrita komplektist andis programm komponendi puudumise märguande 25 korda, mis teeb vööklambri puudumise avastamise protsendiks 83. Sama arvu ilma garantiisertifikaadita komplektidest andis programm märguande 27 korda, mis teeb garantiisertifikaadi puudumise avastamise protsendiks 90. Kuna teoreetilistes arvutustes kasutati programmi usaldatavuse arvutamiseks kahe kergema komponendi (vööklamber ja garantiisertifikaat) puudumist, siis tuleb saadud tulemused summeerida ning leida seejärel vea avastamise protsent. Kahe kergeima komponendi puudumise avastamise protsent on 87. Teoreetilistes arvutustes (vt. peatükk 7.2 lk. 22) saadud tulemusest erineb praktiline tulemus seega 3 % võrra.

Kolmekümnest puuduva leafletiga komplektist andis programm häire 100 % juhtudest.

Vastavalt siiani pakkimise kontrollist saadud andmetele esineb vööklambri, garantiisertifikaadi, leafleti, manuali ja aku puudumist kompletist ühepalju ning mobiiltelefoni ja akulaadija puudumist umbes 75 % vähem, inseti puudumist ei ole esinenud.

Kaalumise programm teeb vigu vaid garantiisertifikaadi ja vööklambri puudumise avastamisel 13 % ulatuses, seega kaalu ning kaalumise programmi kasutuselevõtuga vähendati ebakompleksete pakendite pakkeliinilt tulekut 95 % võrra.

## **10. Kokkuvõte**

Käesoleva töö käigus selgitati välja, et pakkeliini lühendades on võimalik tõsta tööliste tootlikkust liinil. Samuti leiti elektroonilisele kaalule sobivaim asukoht.

Komplekti massi statistiliste uuringute tulemusena jõuti järeldusele, et sobivaim tolerants on  $\pm 3$  grammi, kuid ohuga, et sellise tolerantsiga hakkab programm andma liiga palju valealarme. Teoreetiliselt saadud hinnangud vastasid praktiliselt töötavalt pakkeliinilt saadud tulemustele, kuid parimaks tolerantsiks osutus  $\pm 4$  grammi, sest tolerantsiga  $\pm 3$  grammi tuli liiga palju valealarme.

Kaalumise programmi koostades selgitati välja, et läbi sama pordi kaalule saadetavad käsud ning valgusfoorile saadetavad käsud ei sega üksteist, sest käskude formaadid ning käsud ise on piisavalt erinevad ning lihtsa kaabelduse skeemiga õnnestus ühendada nii valgusfoor kui kaal samasse COM porti. Samuti lahendati erinevate kaalude saadetavate andmete formaatide probleem erinevaid filtreid kasutades.

Katsetega selgitati välja, et kaalumise programm annab alarmi puuduva vööklambriga komplekti korral 83 % juhtudel ning puuduva garantiisertifikaadi korral 90 % juhtudest. Vastavalt pakkimise kontrollist saadud andmete põhjal peaks kaalumise programm alarmi andma 95 % juhtudest kui komplektist midagi puudub.

Lisaks juba valmisolevale programmile tuleb välja töötada ka vahetuse vanemate ja inseneride tööjaamades olevad pakkimise protsessi jälgivad programmid, et muuta jälgimine lihtsamaks ning operatiivsemaks.

## Mõistete sõnastik

<b>Mõiste/lühend</b>	<b>Selgitus</b>
SPC	Protsessi statistiline kontrollimine
Leaflet	Toote lisaseadmeid tutvustav broshüür
Manual	Tooted ja tema erinevaid kasutamisevõimalusi tutvustav broshüür
Label	Tootele või toote pakendile kleebitav trükis
Käsustring	Sümbolite jada, mis moodustab käsu
Scanner	Vöökoodi lugemise seade, antud juhul tegu mudeliga Microscan 610
"Zebra" printer	Täpsele formaadile vöökoodi printimise printer

## **Kasutatud kirjandus**

1. **Chrysler Corporation, Ford Motor Company and General Motors Corporation:** *Statistical Process Control (SPC) Reference Manual* 1995
2. **Gurski, Jevgeni.:** *Tõenäosusteooria ja matemaatilise statistika elemendid*
3. **Precisa Instruments Ltd. :** *Precisa Balances 480S Series, 480SCS Series, Operating Instructions* (<http://www.precisa.com>)
4. **Sartorius AG :** *Sartorius Economy Series.Sartorius Express Series. EA and EB Models. Electronic Precision Scales. Installation and Operating Instructions* (<http://www.sartorius.com>)
5. **Microsoft Corporation :** *Microsoft Visual Studio Developer Tools* (<http://msdn.microsoft.com/vstudio/>)
6. **Microsoft Corporation :** MSDN Library Visual Studio 6.0