

**TARTU ÜLIKOOL**  
Loodus- ja tehnoloogiateaduskond

**Taavi Väljaots**

**KAMSTRUP SOOJAARVESTITE KAUGLUGEMISSEADE LÄBI  
GSM VÕRGU**

GSM Remote Reading System for Kamstrup's Heat Meters

Magistriõppe lõputöö  
Arvutitehnika erialal

Juhendaja: Aivo Reinart

**Tartu 2014**



## SISUKORD

SISUKORD .....	1
Jooniste loetelu .....	3
Tabelite loetelu .....	3
TÄHISED JA LÜHENDID .....	4
1    SISSEJUHATUS .....	5
2    OLEMASOLEVAD LAHENDUSED .....	6
2.1    Majanduslikud näitajad .....	7
3    NÕUDED .....	8
3.1    AS Fortum esitatud nõuded .....	8
3.2    Reaalajalised nõuded .....	8
3.3    Nõuded riistvarale .....	9
3.4    Nõuded tarkvarale .....	10
4    PROJEKTEERIMINE .....	11
4.1    Domeenimudel .....	11
4.2    Riistvara projekteerimine .....	12
4.2.1    Komponentide valik .....	13
4.2.1.1    GSM modem .....	13
4.2.1.2    Pingeregulaatorid .....	14
4.2.1.3    Toitelüliti .....	15
4.2.1.4    Väline mälu .....	15
4.2.1.5    Mikrokontroller .....	16
4.2.2    Digitaalsete komponentide omavaheline ühendamine .....	16
4.2.3    Komponentide paigutus .....	17
4.3    Tarkvara projekteerimine .....	19
4.3.1    Tarkvara ehitus .....	19
4.3.2    Ülevaatlik tarkvarakaart .....	20
4.3.3    Alglaadur .....	23
4.3.4    Põhiprogramm .....	25
4.3.5    Kasutajaliides .....	27
4.3.6    Programmi ajaline käitumine .....	29

5	ANALÜÜS .....	31
5.1	Arendustöö .....	31
5.2	Esinenud probleemid .....	31
5.3	Realiseeritud nõuded .....	32
5.4	Seadme maksumus .....	34
5.5	Seadme töökindlus.....	34
5.6	Lahendused ja ettepanekud.....	35
6	KOKKUVÕTE .....	36
7	KASUTATUD KIRJANDUS .....	37
	ABSTRACT .....	39
	LISAD .....	40
	Lisa A. Tehnilised joonised .....	41
	Lisa B. Fotod .....	49

## Jooniste loetelu

<b>Joonis 4.1.</b> Süsteemi domeenimudel.....	12
<b>Joonis 4.2.</b> GSM seadme riistvara plokkskeem. ....	13
<b>Joonis 4.3.</b> Loogikanivoode erinevused.....	17
<b>Joonis 4.4.</b> Tarkvara paiknemine mälus.....	20
<b>Joonis 4.5.</b> Tarkvara kaart.....	22
<b>Joonis 4.6.</b> Alglaaduri toimimine.....	23
<b>Joonis 4.7.</b> Põhiprogrammi üldine skeem. ....	26
<b>Joonis 4.8.</b> Programmi ajaline käitumine normaalse töö olekus.....	30
<b>Joonis 5.1.</b> GSM seadme tarbitav vooluimpulss mobiilside ajal. ....	33
<b>Joonis 5.2.</b> GSM seadme voolutarbe muutus alglaadimise ajal.....	33
<b>Joonis 5.3.</b> Päringute õnnestumine. ....	34

## Tabelite loetelu

<b>Tabel 2.1</b> Tartus kasutuses olevad mõõdikud ja tehnoloogiad. ....	7
<b>Tabel 3.1</b> Projekteeritava seadme tehnilised näitajad. ....	9
<b>Tabel 4.1</b> Pingeregulaatorite näitajad. ....	14
<b>Tabel 4.2</b> ATxmega32D4 põhilised näitajad. ....	16
<b>Tabel 4.3</b> Programmi paigutus välises mälus. ....	24
<b>Tabel 4.4</b> Kasutajaliidese funktsioonid.....	28

## TÄHISED JA LÜHENDID

ADC (ingl. *Analog-to-Digital Converter*) – analoog-digitaalmuundur.

ASCII (ingl. *American Standard Code for Information Interchange*) – Ameerika informatsioonivahetuse standardkood.

AT-käsud – tekstipõhine käsustik modemiga suhtlemiseks.

BPL (ingl. *Broadband Power Line*) – laiaribaline elektriliiniside.

CRC (ingl. *Cyclic Redundancy Checking*) – tsükkelkoodkontroll.

CRC-CITT (ingl. *CRC- Telegraph and Telephone Consultative Committee*) – tsükkelkoodkontrolli polünoomi üks variant.

GPIO (ingl. *General-purpose input/output*) – üldine sisend/väljund viik.

GPRS (ingl. *General Packet Radio Service*) – üldine raadio-pakettandmeside teenus.

GSM (ingl. *Global System for Mobile Communications*) – globaalne mobiilsidesüsteem.

KMP (ingl. *Kamstrup Protocol*) – tarkvara protokoll Kamstrup seadmetega suhtlemiseks.

LDO (ingl. *Low-Dropout regulator*) – madala pingelanguga pingeregulaator.

M-Bus (ingl. *Meter Bus*) – mõõdikute kaugside liides.

MCU (ingl. *Micro Controller Unit*) – mikrokontroller e. ühe kiibi sisse ehitatud arvuti.

MiB (ingl. *Mebibyte*) – mebibait e.  $2^{20}$  baiti.

NVM (ingl. *Non-Volatile Memory*) – püsimälu.

RISC (ingl. *Reduced Instruction Set Computer*) – kärbitud käsustikuga arvuti.

RX liin – liin info vastuvõtuks.

SMD (ingl. *Surface-Mounted Device*) – pindmontaaž-komponent.

SMS (ingl. *Short Message Service*) – lühisõnumiteenus.

SPI (ingl. *Serial Peripheral Interface*) – lisaseadmete jadaliides.

ZigBee – lühidistantsi raadiokohtvõrgu tehnoloogia.

TCPIP (ingl. *Transmission Control Protocol - Internet Protocol*) – võrgu transpordikihi protokoll.

TX liin – liin info saatmiseks.

UART (ingl. *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) – universaalne asünkroontransiiver.

WiFi (ingl. *Wireless Frequency Interface*) – raadiokohtvõrk, raadio-Ethernet.

## 1 SISSEJUHATUS

Tehnoloogia arengu ja linnastumisega suureneb energiatarbijate hulk ning teenusepakkujad vajavad uusi lahendusi, millega muuta enda ja tarbijate elu mugavamaks. Kui kaugside ja mikroprotsessortechnika ei olnud veel levinud, võeti elektri- ja soojaarvestite näite käsitsi, kasutades paberit ja pliiatsit (seda tehakse enamasti veel praegugi). Mikroprotsessortechnika ja kaugside on avanud uued võimalused arvestite näitude lugemiseks. Kasutusel on võrguseadmed, mis ühendatakse tavalise võrgukaabliga või lülitatakse läbi modemi toiteliinidele kasutades BPL seadmeid. Võrgukaabli paigaldamine on kasutajatele ebamugav, sest see vajab seintesse aukude puurimist ja juhtmete paigaldamist. Kasutaja ja teenusepakkuja seisukohalt oleks kõige mugavam ja kiirem kasutada selliseid seadmeid, mis ei vaja eraldi kaablite paigaldamist, kuna see ei nõua muudatuste tegemist ehitises. Sellised seadmed töötavad enamasti raadiosidet kasutades, näiteks GSM, WiFi või ZigBee. Kõikidel nimetatud tehnoloogiatel on omad eelised ja puudused (üldiselt on kaabliühendus stabiilsem kui raadioside) ning vastavalt asjaoludele on mõistlik hoonetesse paigaldada kõige sobivam variant.

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli projekteerida ettevõttele AS Tartu Fortum soojaarvestite näitude kauglugemise seade, mis kasutab andmete edastamiseks GSM võrku. Loodud süsteem võimaldab kasutada mitut erinevat tüüpi soojaarvesteid, näiteks Kamstrup Multical 66, Multical 601 ja Multical 602 (edaspidi kokkuvõtlikult Multical soojaarvesti). Süsteemi koosseisu kuuluv GSM seade on mõeldud soojasõlmedesse paigutamiseks. Kuigi Multical 601 ja Multical 602 arvestitele on GSM seadmeid võimalik valmis kujul osta, ei toeta need seadmed ilma vahelülideta vanemat soojaarvestite tüüpi Multical 66. Lisaks on valmis lahendus liiga aeglane (üks päring võtab aega 30-40 s), sest toimib SMS sõnumite baasil [3,4]. Magistritöö käigus püstitati projekteeritavale seadmele täpsed nõuded, uuriti lahendusi nõuete teostamiseks, valmistati seadmed ning lõpuks analüüsiti nende reaalselt töötamist.

## 2 OLEMASOLEVAD LAHENDUSED

GSM lahenduste tootjaid soojaarvestite näitude lugemiseks on mitmeid. Firma Sensus toodab seadet nimega Xenon, mis kasutab mõõdikutelt andmete pärimiseks MiniBus või pulsi tehnoloogiat. Xenon kasutab toiteks liitiumakut, millest tootja sõnul piisab seitsmeks aastaks. Xenon loeb päeva jooksul mõõdikult mitu näitu ning saadab tulemused lühikese ajavahemiku jooksul võrku [1]. Firma Radiocrafts arendab seadmeid, mis kasutavad erinevat tüüpi mõõdikute lugemiseks traadita M-Bus (ZigBee ja Smart Energy) ühendust. Radiocrafts seadmeid kasutades saab mõõdikutest luua traadita võrgu ning ühendada selle läbi GSM modemi võrku. GSM modem kasutab toiteks võrguadapterit [2]. Soojaarvestite tootja Kamstrup toodab soojaarvestite Multical 601, Multical 602 ja Multical 801 jaoks GSM modemeid GSM6H (2G) ja GSM8H (3G) [3]. Edaspidi räägime vaid seadmest GSM6H. Antud seade võimaldab saata päringuid kasutades SMS-e. Seadme paigaldamisel on abiks signaalitugevuse indikaator, mille abiga saab määrata seadmele optimaalse asukoha ja orientatsiooni. Nõrga signaali puhul on võimalik paigaldada väline suundantenn. Seadet ei ole võimalik kasutada soojaarvestite seadistamiseks ning kasutusjuhendist ei ole võimalik aru saada, kas GSM6H tarkvara on võimalik kasutaja poolt uuendada [4]. Kamstrup pakub veel raadiovõrgu tehnoloogiat, kus soojaarvestid tuleb varustada spetsiaalsete raadiokaartidega ning need läbi marsruuterite ühendada GSM modemiga [14, 10, 11]. Sellist lahendust on mõistlik kasutada, kui lähestikku paikneb palju soojaarvesteid, mille näite peab saama eemalt lugeda.

Firma Sensus lahendust Xenon oleks võimalik osaliselt kasutada käesoleva töö autori poolt püstitatud probleemi lahendamiseks. Multical soojaarvestid omavad pulsi väljundeid, mille kaudu saaks osa vajalikku infot kätte, kuid mitmed inforegistrid jääksid kättesaamatuks. Kuigi Xenon pakub kasutajale mugavat võrgutoiteta lahendust, ei võimalda see pidevat ühendust mõõdikuga, kui kasutaja peaks seda soovima. Radiocrafts seadmed sobivad paremini uuemat tüüpi mõõdikute võrgustiku loomiseks ning neid ei ole mõistlik kasutada üksiku mõõdiku info kauglugemiseks. Samuti ei saa Kamstrup'i mõõdikuid otse Radiocrafts GSM-modemiga ühendada - selleks on vaja kasutada vahelüli. Kamstrupi GSM6H/8H oleks autori poolt püstitatud probleemi lahendamiseks rahuldav lahendus, kui see ühilduks otse vanemat tüüpi



soojaarvestiga Multical 66 ning võimaldaks päringuid läbi TCPIP ühenduse. AS Tartu Fortum sõnul ei sobi nimetatud tehnoloogia selle tõttu, et on liiga aeglane ja ei ühildu hetkel kasutuses oleva tarkvaraga, mille tõttu tekiks kaks erinevat süsteemi.

## 2.1 Majanduslikud näitajad

Tabel 2.1 annab ülevaate hetkel Tartus AS Fortumis kasutusel olevatest soojaarvestitest ning nende kauglugemiseks kasutatavast tehnoloogiast. Järgnevalt kirjeldatud informatsioon pärineb AS Tartu Fortumilt (a. 2014).

**Tabel 2.1** Tartus kasutuses olevad mõõdikud ja tehnoloogiad.

<b>Soojaarvesti tüüp</b>	<b>Mõõdikuid kokku</b>	<b>Kamstrup-i raadiovõrgu tehnoloogia</b>	<b>Kauglugemine läbi võrgutehnoloogia</b>	<b>Kauglugemine läbi telefonimodemi</b>
Multical 66	879	108	265	6
Multical 601	452	130	97	1
Multical 602	35	7	7	-

Hetkel on ligikaudu 1400 arvestit, mis sobivad potentsiaalselt loodavale süsteemile. Esimeses kahes faasis paigaldatakse 100-200 GSM seadet ning nende arv võib küündida lõpuks vahemikku 400-500 tükki. Loodava süsteemi hinna ülempiiri seadmiseks võrreldakse olukorda, kus kasutatakse valmis toodet GSM6H. Ühe arvesti paigaldamine koos GSM6H maksab suurusjärgus 200 € ning kogu komplekti peale tuleb osta 8000 € maksev tarkvara. Kui süsteemi paigaldamine maksab ligikaudu 50 €, siis oma loodud ühe GSM seadme hind ei tohi ületada 150 € ja arendustöö 8000 €. Seadme hinna moodustavad komponendid ja trükkplaadi valmistamine ning jootmine. Arendustöö moodustab GSM seadme projekteerimine ning integreerimine olemasolevasse süsteemi. Seadet projekteeritakse koostöös ettevõttega OÜ Neuron Systems, mis hoolitseb AS Fortumis kasutuses oleva infosüsteemi eest.

### **3 NÕUDED**

#### **3.1 AS Fortum esitatud nõuded**

Ettevõtte AS Tartu Fortum esitas projekteeritavale GSM seadmele järgmised nõuded:

1. Seade peab ühilduma Multical 66, Multical 601 ja Multical 602 soojaarvestitega.
2. Seade peab töötama võrgutoitel.
3. Soojaarvesti peab töötama elektrikatkestuse ajal (GSM ühendus ei pea).
4. Seade peab mahtuma Kamstrupi soojaarvestite karpi soojaarvesti alla (vaata lisa A joonis A.1, lisa B joonis B.4).
5. Soojaarvestitelt peab saama küsida registre sisu.
6. GSM seadet peab saama kasutada TCPIP ühendusega serverina.
7. GSM seadme tarkvara peab saama uuendada läbi TCPIP ühenduse.
8. Võimalusel peab seade ühilduma Kamstrup-i LogView tarkvaraga.
9. Seadmele peab saama paigaldada välist antenni.
10. Ühe seadme maksumus ei tohi ületada 150 €.

#### **3.2 Reaalajalised nõuded**

GSM seadme reaalajalised nõuded:

1. Süsteem seab serveri üles hiljemalt 60 sekundiga.
2. Ühe päringu esitamisest vastuse saamiseni ei tohi kuluda üle 5 sekundi. Nõue kehtib tingimustel, kui GSM seadmega on ühendus loodud ja andmed on edastamiseks valmis.
3. Soojaarvesti registri andmete päring koos ühenduse loomise ja andmete pärimisega ei tohi kesta üle 30 sekundi.
4. Tarkvara vahetamine ei tohi kesta üle 10 minuti, kui andmete maht on 32 KiB.

### 3.3 Nõuded riistvarale

Tabelis 3.1 on toodud GSM seadme põhilised tehnilised näitajad, millele see peab vastama.

**Tabel 3.1** Projekteeritava seadme tehnilised näitajad.

<b>Parameeter</b>	<b>Väärtus</b>	<b>Ühik</b>
Põhitoite sisend	6-9	V
Patarei sisend soojaarvesti toiteks	3,5-3,7	V
Loogika toide	3,3	V
Soojaarvesti toide [10,11]	3,5-3,6	V
GSM mooduli toide <sup>1</sup>	4	V
Maksimaalne hetkeline süsteemi poolt tarbitav voolutugevus <sup>1</sup>	2	A
Maksimaalne loogika poolt tarbitav voolutugevus	100	mA
Maksimaalne soojaarvesti poolt tarbitav voolutugevus	1	mA

<sup>1</sup> Vaata peatükki 4.2.1.1.

Projekteeritav seade peab vastama etteantud mõõtudele, mis on toodud lisas A joonistel A.1 ja A.3 ning mahtuma seal kirjeldatud plastikust karpi.

### 3.4 Nõuded tarkvarale

GSM seadme tarkvarale püstitatud nõuded:

1. Tarkvara suurus ja selle vahetamine:
  - a. Põhiprogramm ja alglaadur peavad olema teineteisest täielikult eraldatud.
  - b. Alglaadur ei tohi olla suurem kui 4 KiB ja põhiprogramm 32 KiB.
  - c. Tarkvara ei tohi kasutada rohkem kui 4 KiB mälu (kaasa arvatud pinu).
  - d. Alglaadur peab võimaldama põhiprogrammi täielikku vahetamist. Alglaadur ei pea olema vahetatav.
  - e. Tarkvara vahetamisel ei tohi põhiprogrammi enne muuta, kui kogu tarkvara on üle kantud ja selle terviklikus kontrollitud.
2. Tarkvara arhitektuur:
  - a. Tegumite täitmine realiseeritakse järjestikuliselt.
  - b. Tarkvara kasutab katkestusi väliste seadmetega suhtlemiseks.
  - c. Katkestuste süsteem peab tagama, et andmete lugemisel ei lähe baite kaduma.
3. Server ja kasutajaliides:
  - a. Loodud server peab võimaldama korraga ühenduda ühel kliendil.
  - b. Kliendi ühendus katkestatakse, kui kümne minuti vältel pole ühendust kasutatud.
  - c. Saadetavad infoplokid peavad võimaldama minimaalselt 256 baiti infot edastada.

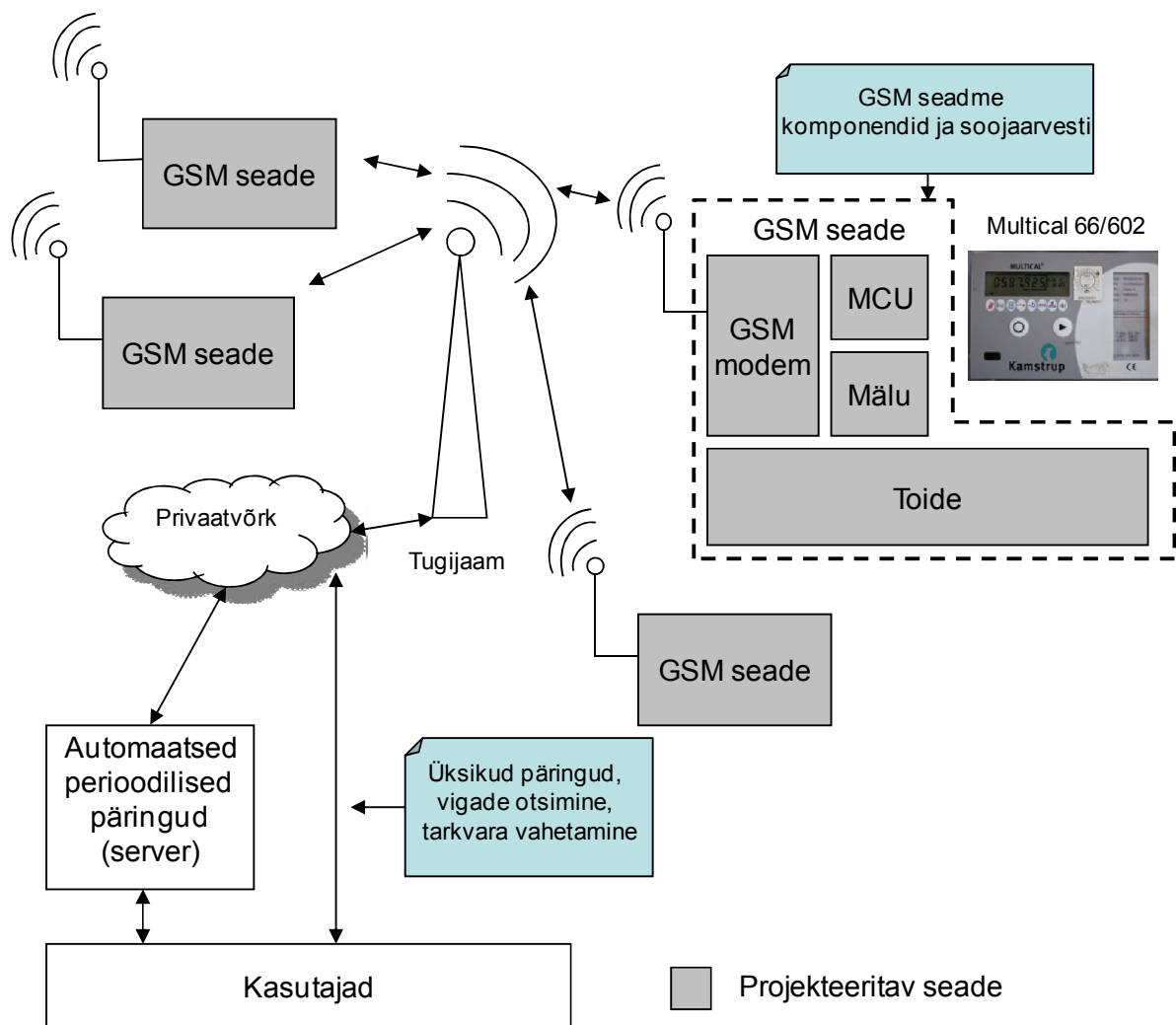
## 4 PROJEKTEERIMINE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli projekteerida nõuetele vastav GSM seade Kamstrup soojaarvestite näitude kauglugemiseks. Projekteerimine koosnes kahest põhilisest osast: riistvara ja tarkvara projekteerimisest. Töö teostamiseks tuli esmalt valida sobivad komponendid funktsionaalsuse tagamiseks, projekteerida elektriskeem ja lõpuks tarkvara.

### 4.1 Domeenimudel

Joonisel 4.1 on esitatud süsteemi domeenimudel, kus kujutatakse loodavat süsteemi (hall) ja osi, millega see seotud on (valged). Nooled tähistavad joonisel erinevate seadmete vahelist suhtlust ning kommentaarid on helesinistes kastides.

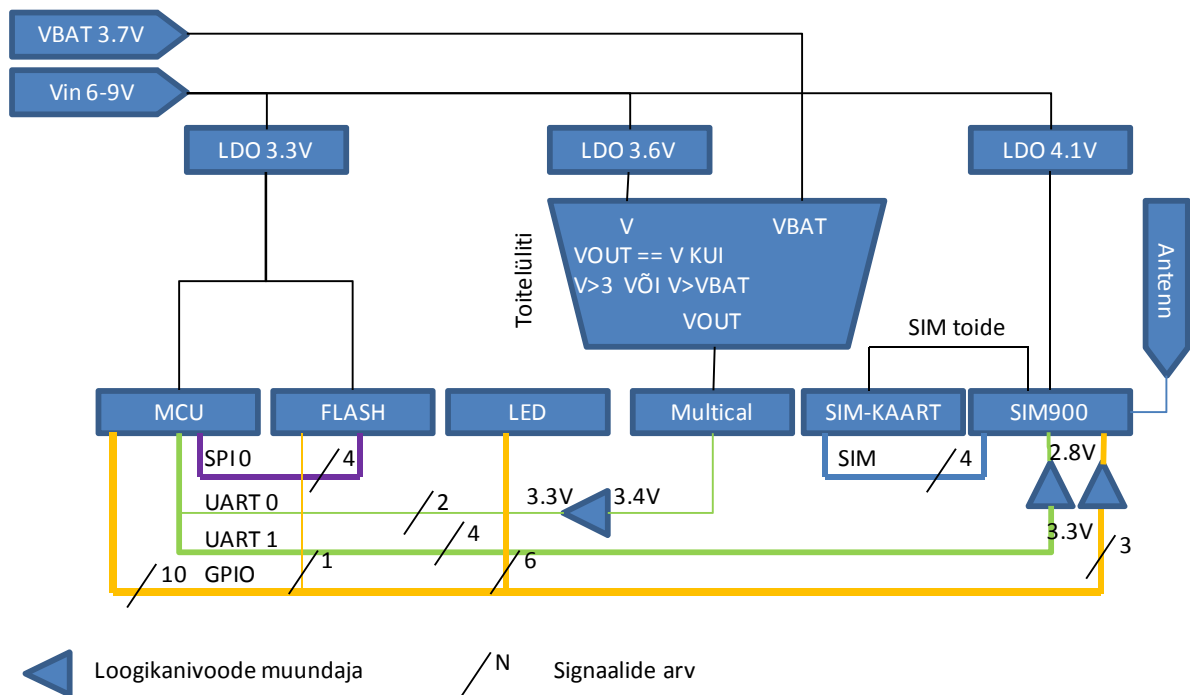
Joonisel 4.1 on toodud GSM seadme üldine ehitus. GSM modemit kasutatakse tugijaamaga suhtlemiseks ning TCPIP ühenduse loomiseks. Mälu kasutatakse info puhvrina tarkvara vahetamisel. MCU juhib kõigi sõlmede tööd ning loob serveri soojaarvestite info jagamiseks ning süsteemi tarkvara vahetamiseks. Joonisel on näha mitme GSM seadme ühendus tugijaamaga, mis tagab ligipääsu privaatsele võrgule. Läbi võrgu sooritatakse serveri poolt GSM seadmetele perioodilisi päringuid, mida kasutajad (AS Fortum ja arendajad) saavad kasutada. Arendajad saavad läbi privaatvõrgu vahetada GSM seadmete tarkvara või siluda programmi. Antud töö raames projekteeritakse vaid GSM seade (joonisel hall).



Joonis 4.1. Süsteemi domeenimudel.

## 4.2 Riistvara projekteerimine

Riistvara projekteerimisel on autor võtnud aluseks enda bakalaureusetöö [5] ning kasutab sealt saadud teadmisi elektriskeemi loomiseks, jättes elementaarsed valikud põhjendamata. Joonisel 4.2 on kujutatud GSM seadme riistvara plokk skeem ja komponentide omavahelised ühendused. Peatükis 4.2.1 põhjendatakse sobivate komponentide valimist ning nende omavahelist ühendamist.



**Joonis 4.2.** GSM seadme riistvara plokkskeem.

## 4.2.1 Komponentide valik

### 4.2.1.1 GSM modem

Projekteeritav seade vajab GSM modemit, mille abil oleks võimalik luua TCPIP server. Firma SIMCom pakub lahendust SIM900, mis sobib täielikult projekteeritavale seadmele, omades väikseid mõõtmeid, lihtsat kasutajaliidest, suurepärast dokumentatsiooni ning optimaalset hinda. SIM900 võimaldab pidada audiokõnesid, saata ja vastu võtta SMS-e ning luua TCPIP serveri või võtta sarnase serveriga ühendust.

SIM900 juhtimine toimub AT-käskudega läbi UART-i ja lisaks elektriliste signaalidega. SIM900 elektrilised signaalid on (vaata skeemi lisas A joonisel A.7):

- *PWRKEY* – mooduli sisse- ja väljalülitamiseks.
- *NRESET* – mooduli taaskäivitamiseks.
- *STATUS* – signaali loogiline kõrge olek näitab, et seade töötab.

- *NETLIGHT* – 64 ms kõrge ja 3000 ms madal olek näitab, et seade on tugijaamaga ühenduses.

SIM900 toitepinge peab olema vahemikus 3,2 – 4,8 V ning toiteallikas peab võimaldama kasutada voolu kuni 2 A. Töötamise käigus ei tohi toitepinge langeda alla 3,1 V, sest see võib mooduli välja lülitada. SIM900 digitaalsete sisendite lubatud maksimaalne pinge on 3,1 V ja keskmine väljundpinge on 2,8 V [6].

#### 4.2.1.2 Pingeregulaatorid

Tabelist 3.1 on näha, et süsteem vajab funktsioneerimiseks kolme erinevat pinget: 3,3 V, 3,6 V ja 4 V. Antud probleem on mõistlik lahendada laialt levinud odavate ja vähe lisakomponente vajavate LDO regulaatorite abil. Pingetele 3,3 V ja 3,6 V leidub fikseeritud pingega regulaatoreid ning pingele 4 V on mõistlik valida reguleeritava väljundpingega mudel, mida saab seadistada kahe takistiga [5, lk. 38-39].

Regulaatorite valikukriteeriumiteks olid: SMD pakend, lubatud sisendpinge  $U_s$  vähemalt 10 V, väljundvool  $I_v$  vastav tabelis 3.1 toodule, odav hind ja hea kättesaadavus. Toodud nõuetele tuginedes tegi käesoleva töö autor valiku, mis on toodud tabelis 4.1.

**Tabel 4.1** Pingeregulaatorite näitajad.

Nimetus	$U_s$ , V	$U_v$ , V	$I_v$ , mA	Pakend
MCP1801T-33 [7]	4-10	3,3	150	SOT23-5
MIC5205-3.6YM5 [8]	4-16	3,6	150	SOT23-5
LM1085-ADJ [9]	5,5-29	4 <sup>1</sup>	3000	DDPAK/ TO-263

<sup>1</sup> – regulaatori väljundpinge määratakse välise ahelaga. Vaata skeemi lisa A joonisel A.7.



#### 4.2.1.3 Toitelüliti

Vastavalt nõuetele peab Kamstrup soojaarvesti töötama ilma võrgutoiteta. Selle probleemi lahendamiseks saab kasutada Kamstrupi liitumpatareid, millest piisab 2-10 aastaks (sõltub keskkonnast ja mõõdiku kasutamisest). Kui GSM seade on ühendatud võrgutoitega, ei tohi soojaarvesti patareist voolu tarbida, mis pikendab patarei eluea kuni 20 aastale [10, 11]. Pinge kommuteerimiseks saab kasutada valmis mikroskeeme, mis valivad kahe sisendpinge vahel ja lubavad väljundisse vastavalt funktsioonile defineeritud sisendi. Autorile teadaolevalt eelistab enamus selliseid mikroskeeme väljundis suurema pingega sisendit. Kuna võrgutoite korral on soojaarvestite toide ligikaudu 3,6 V ja patareitoite korral 3,6-3,7 V, ei saa kasutada mikroskeemi, mis valib kõrgema pingega väljundpingeks. Sobiv mikroskeem peab valima kõrgema prioriteediga sisendi, kui see on lubatud vahemikus. Sellist funktsionaalsust pakub Texas Instruments TPS3620-33, mis suunab väljundisse ühe kahest sisendpingest:  $V_{BAT}$  või  $V_{DD}$ . Väljundisse juhitakse  $V_{DD}$ , kui see on üle  $V_{BAT}$  või 3 V. Kui väljundisse on ühendatud  $V_{DD}$ , siis tarbitakse sisendist  $V_{BAT}$  voolu 100 nA. Kui väljundis on  $V_{BAT}$ , siis tarbib mikroskeem  $V_{BAT}$  sisendist voolu 500 nA [12].

#### 4.2.1.4 Väline mälu

GSM seadme tarkvara peab olema uuendatav kasutades TCPIP ühendust. Võimalik oleks teha alglaadur, mis läbi TCPIP ühenduse salvestaks uue programmi otse mikrokontrolleri koodimällu, kuid elektrikatkestuse ja ühenduse häirete puhul võib edastatav programm poolikuks jääda ja põhjustada süsteemi tarkvara riknemise. Kuna enamusel mikrokontrolleritest ei ole rohkem muutmälu kui nende koodimälu (kogu tarkvara ei mahu puhvrise), on vaja kasutada välist püsimälu, kuhu saab uue programmi salvestada. Samuti saab välist mälu kasutada andmete logimiseks. Mälu valiku kriteeriumiteks olid: väike SMD pakend (8 viiku), SPI andmevahetus, toitepinge 3,3 V ja maht 2 MiB (tulevikuplaanide jaoks), odav hind ja hea kättesaadavus. Nõutud funktsionaalsusele vastab Microchip väikmälu SST25VF016B, mille kasutamise teeb mugavaks järjestikune (ilma lehekülgedeta) mälu

kirjutamine ning riistvaraline võimalus kiiresti kontrollida kirjutusprotsessi lõppemist (mäluskeem hoiab andmete väljundviiku madalas olekus, kuni see on võimeline uue koguse andmeid vastu võtma) [13].

#### 4.2.1.5 Mikrokontroller

Süsteem vajab mikrokontrollerit, mis juhiks teiste komponentide tööd. Mikrokontrolleri valiku kriteeriumid olid: 8-bitine RISC protsessor riistvaralise korrutajaga, toitepinge 3,3 V, 2 UART kanalit, 2 SPI kanalit, 2 KiB SRAM mälu, 24 KiB koodimälu, odav hind ja hea kättesaadavus. Sobivaks osutus Atmel-i mikrokontroller ATxmega32D4, mille põhilised näitajad on toodud tabelis 4.2 [5, lk. 35-36].

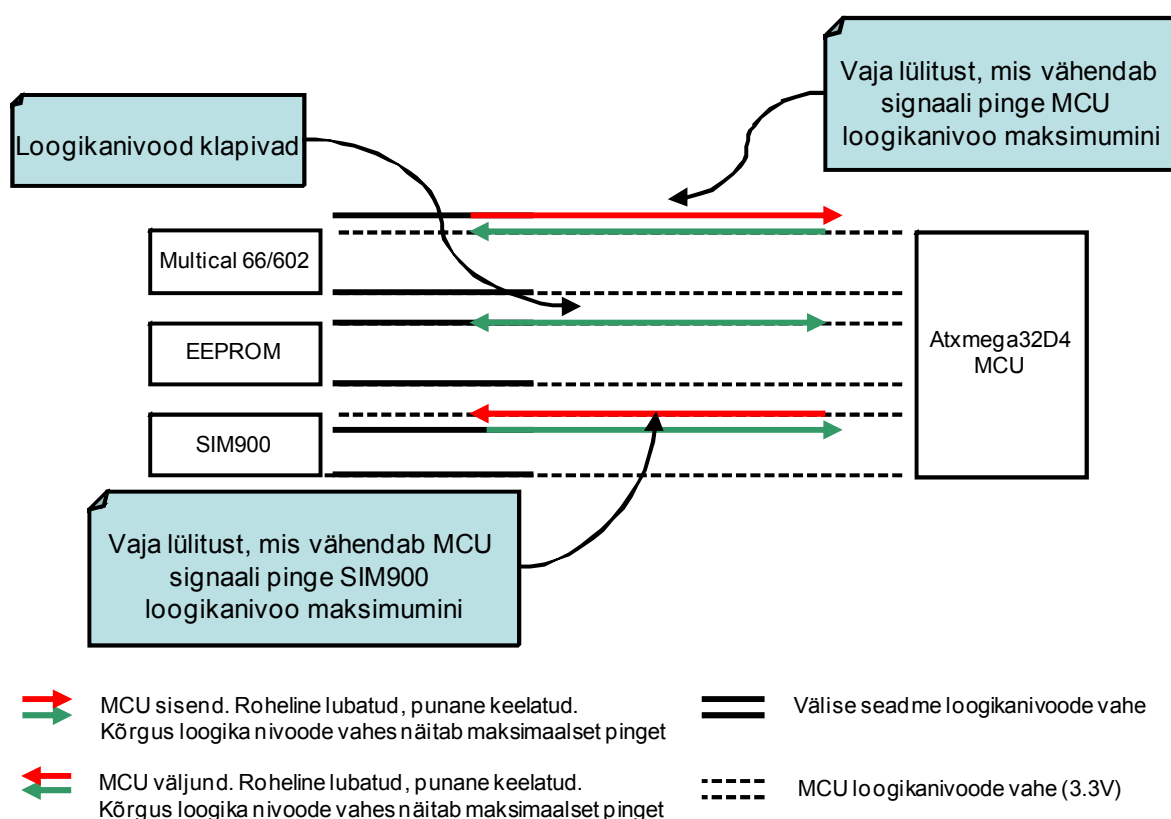
**Tabel 4.2** ATxmega32D4 põhilised näitajad.

Parameeter	Väärtus	Ühik
Koodimälu	32	KiB
Algladuri (ingl. <i>bootloader</i> ) jaoks eraldatud koodimälu	4	KiB
Andmete mälu SRAM	4	KiB
EEPROM	1	KiB
Toitepinge	1,6-3,6	V
Protsessori taktsagedus	0-32	MHz
Maksimaalne vool väljundites	20	mA

#### 4.2.2 Digitaalsete komponentide omavaheline ühendamine

Eelnevates alajaotistes toodud mikroskeemid tuleb ühendada mikrokontrolleriga, et tagada kogu süsteemi funktsioneerimine. SIM900 ja Kamstrupi soojaarvestid kasutavad andmevahetuseks UART liidest, mäluskeem SST25VF016B aga SPI liidest. Mikrokontrolleri ja mäluskeemi andmeliinide loogikanivood (edaspidi nivoo) on võrdsed, aga SIM900 nivoo on

madalam (2,8 - 3,1 V). Kamstrup-i soojaarvesti nivoo on kõrgem kui mikrokontrolleri oma (~3,4 V). Kuna erinevused loogika kõrge oleku ülemiste piiride vahel ei ole suured, saab madalama nivooaga sisendi ühendada kõrgema nivooaga sisendisse, kuid vastupidi ei ole lubatud. Probleemi on kujutatud joonisel 4.3; selle lahenduseks tuleb kasutada signaali vähendavaid lülitusi, nagu pingejagur. Täpsem lahendus on toodud skeemil lisas A joonisel A.7.



**Joonis 4.3.** Loogikanivoo erinevused.

### 4.2.3 Komponentide paigutus

Osa komponentide omavaheline paigutus trükkplaadil on oluline. See sõltub komponentidest, nende funktsioonist ja soovitatavast signaali kvaliteedist. Heaks tavaks on ühendada digitaalsete komponentide toiteviikude ja toite maa vahele väikese induktiivsusega (lühikesed

ühendusviigud) kondensaatorid, et muuta toitepinge stabiilsemaks, eemaldada loogika lülitamisel kiirest voolu muutumisest tekkivad pingepulsid ning vähendada digitaalse skeemi võimalikku väljakiiratatavat müra. Antud kondensaatorid peavad paiknema vastavale mikroskeemile võimalikult lähedal. Parima tulemuse saavutamiseks võib kombineerida erineva mahutavuse ja ehitusega kondensaatoreid paralleelühenduses [5 lk. 37-38, 6]. Lisas A esitatud skeemil on toodud antud lahenduse jaoks valitud kondensaatorite suurused ja paigutus.

Luues digitaalseid ühendusi erinevate komponentide vahel, on mõistlik hoida liinid võimalikult lühikesed, sest nii on neist kiiratavam ja neisse kiirgumise mürasignaali väiksem. Antud lahenduses on mikrokontroller suhtluses kolme erineva seadmega ning SIM900 on ühenduses SIM-kaardiga. Lisas B joonisel B.3 on toodud trükkplaadi montaaž, kust on näha, et mikrokontroller asub keskel ja kolmest küljest ümbritsevad seda seadmed, millega toimub suhtlus. Sellega on vähendatud komponentidevaheliste liinide pikkust. Samuti on näha SIM-kaardi pesa, mis on paigutatud kohe SIM900 mooduli kõrvale.

Toiteskeemid peavad paiknema võimalikult lähedal komponentidele, mida need toidavad, et vähendada toiteliinidest ja toiteliinidesse kiirguvat müra. Joonisel B.3 on näha, kuidas pingeregulaatorid paiknevad trükkplaadi toitesisendi kõrval ning mikrokontroller, välkmälu ja soojaarvesti ühendus on nende lähedal. Kõige pikem toiteliin on ühenduses SIM900-ga ning see on viidud trükkplaadi serva ning teistest komponentidest eemale. Joonisel B.3 on samuti näha SIM900 aluse juures palju läbiviike, mis on mõeldud stabiilse maaühenduse loomiseks. Kuna SIM900 voolutarve andmeedastuse korral hüppeliselt suureneb (vaata joonist 5.1), siis stabiilse toitepinge saavutamiseks on vajalik madala impedantsiga toiteliinid.

Antenni ühendus on paigutatud SIM900 mooduli lähedale ning keset hästi maandatud ala, mis tagab raadioahela stabiilse töö [6].

### **4.3 Tarkvara projekteerimine**

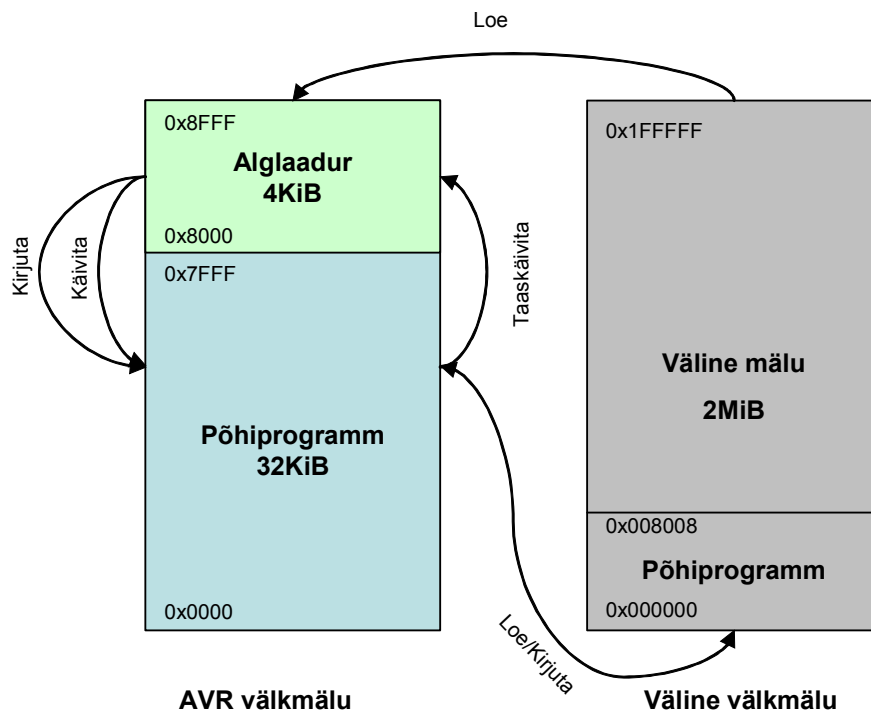
Antud peatükis kirjeldatakse UML diagrammide ja plokkskeemide abil seadme tarkvara, aga programmi koodi ei süüvita. Kuna AVR mikrokontrollerid toetavad programmi arendamist C-keeles, on see võetud tarkvara projekteerimisel aluseks. Esmalt antakse ülevaade tarkvara üldisest ehitusest ja paigutusest mälus ning seejärel analüüsitakse tähtsamaid sõlmi.

#### **4.3.1 Tarkvara ehitus**

Projekteeritud tarkvara koosneb alglaadurist ja põhiprogrammist; esimesena käivitatakse alati alglaadur. ATxmega32D4 mälus paigutatakse alglaadur ja põhiprogramm selleks ette nähtud piirkondadesse. Tarkvara paigutus mälus on kujutatud joonisel 4.4, kus on näidatud AVR sisemine mälu ning väline mälu, milles paikneb põhiprogrammi koopia või programmi uus versioon.

Alglaadur võimaldab mikrokontrolleri põhiprogrammi üle kirjutada välisest mälust loetud programmiga ning selle käivitada. Põhiprogramm saab välises mälus olevat programmi lugeda ja üle kirjutada ning taaskäivitada alglaaduri. Kui välises mälus on mikrokontrolleri programmist erineva sisuga põhiprogramm, siis kirjutab alglaadur mikrokontrolleri põhiprogrammi üle.

Mõlemad programmid töötavad katkestusi kasutades, et tagada multitegumtöötlus ja mõistlik ressursside jagamine. Kasutusele on võetud esiplaani ja tagaplaani süsteem, kus esiplaanil töötavad katkestuste poolt juhitud protsessid ning tagaplaanil töötab põhitsüklil ja selle alamprotsessid [5, lk. 22-23].



Joonis 4.4. Tarkvara paiknemine mälus.

### 4.3.2 Ülevaatlik tarkvarakaart

Joonisel 4.5 on toodud tarkvarakaart, mille alumistel kihtidel on kujutatud riistvara ning ülemistel kihtidel tarkvara, mis sellega suhtleb. Antud kaardil on toodud ainult tähtsamad seosed moodulite vahel.

Kõige alumisel kihil on kujutatud väline riistvara ning teisel kihil mikrokontrolleri sisesed riistvara moodulid. Sellele järgnevad riistvaraga suhtlevad ajurid (ingl. *driver*), nendest UART ja taimer kasutavad katkestusi. Ajurite baasil on ehitatud erinevate moodulite tööriistade komplektid, millest omakorda on koostatud uusi tööriistade komplekte. Kasutades erinevaid tööriistade komplekte ja tugifunktsioone, on koostatud algladur ning põhiprogramm koos kasutajaliidesega, mis koordineerib kõigi programmi osade tööd. Kuigi joonisel 4.5 kujutatakse põhiprogrammi ja algladuri tööriistu ühes, siis mälus tehakse neist koopiad, et algladur saaks põhiprogrammi täielikult välja vahetada (vaata joonist 4.4).

UART ajurit kasutades on koostatud tööriistad, mis suhtlevad SIM900 ja Multical riistvaraga. SIM900 puhul peab ajur toetama katkestusi, sest SIM900 võib saata infot mikrokontrollerile täiesti suvalistel hetkedel. SIM900 tööriistade alla on koondatud funktsioonid, mida kasutatakse SIM900-le päringute saatmiseks, andmete tõlgendamiseks, seisundi lugemiseks, mooduli seadistamiseks ja töökorras hoidmiseks. Kasutades SIM900 funktsionaalsust ning selle tarkvaralisi tööriistu, on koostatud serveri tööriistad. Need toetavad serveri ülesseadmist, seisundi kontrolli ja kliendiga suhtlemist. Multical tööriistade hulka kuuluvad funktsioonid, mis implementeerivad andmeside liidest (KMP), tuvastavad ühendatud soojaarvesti tüübi (Multical 66, Multical 602, Multical 601), küsivad soojaarvesti seisundit ning registreeritud sisu.

SPI ajurit kasutades on koostatud tööriistad, mis suhtlevad välise välkmäluga. Arenduse käigus on võimalik kasutada SPI *debug* kanalit kiireks sõnade vahetamiseks PC ja mikrokontrolleri vahel. Välise välkmälu tööriistade hulka kuuluvad funktsioonid, mis loevad, kirjutavad ja kustutavad infot valitud aadressidelt.

NVM-kontrolleri jaoks on koostatud tööriistad, mida saab kasutada mikrokontrolleri EEPROM-i ja välkmäluga suhtlemiseks. Mikrokontrolleri EEPROM-i kasutavad süsteemi seisundi tööriistad, mis hoiavad seal süsteemi kirjeldavat infot.

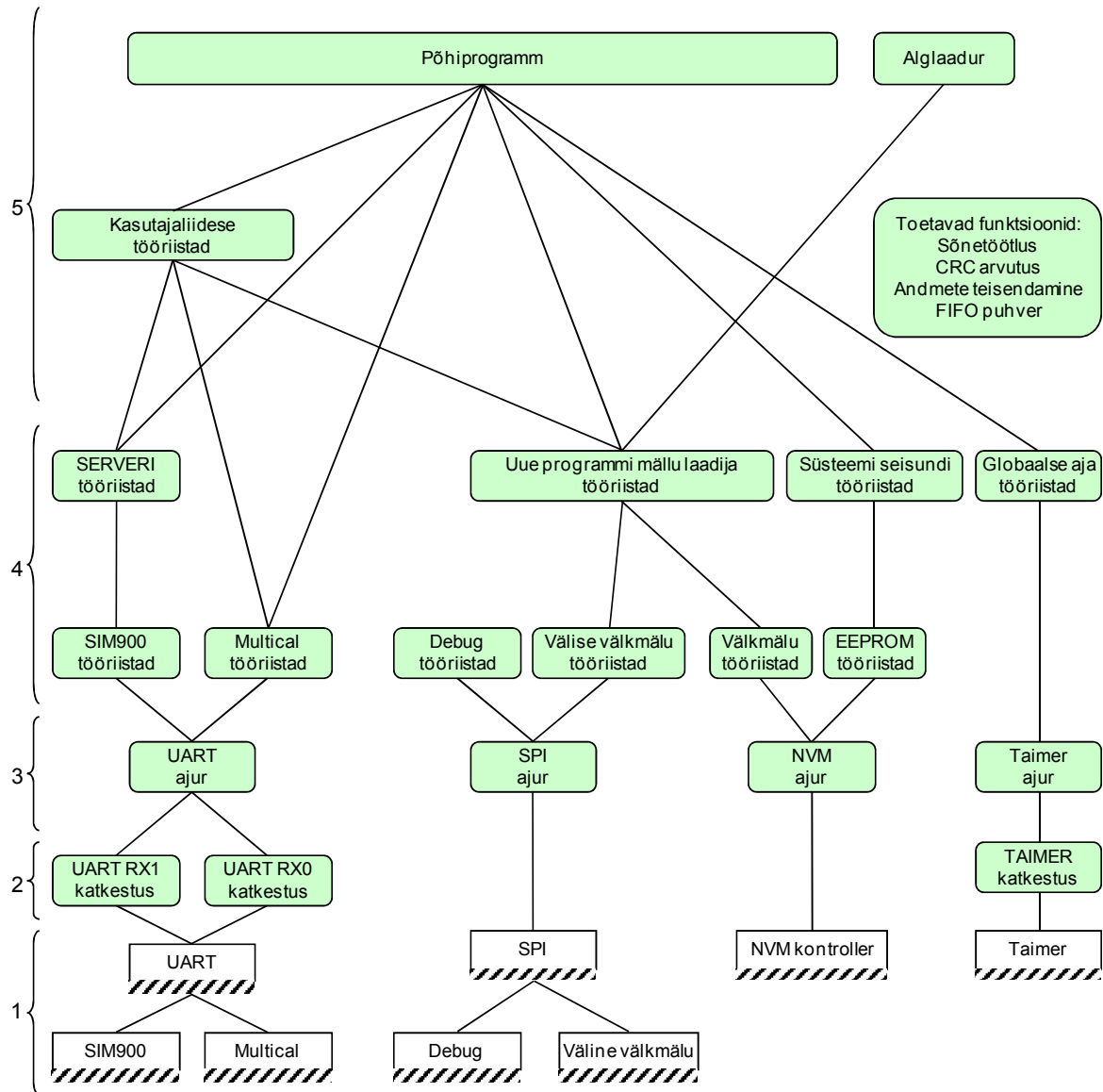
Välise ja sisemise välkmälu tööriistu kasutades on koostatud tööriistad uue programmi mällu laadimiseks. Nende tööriistade alla kuuluvad funktsioonid, mis tegelevad programmile eelneva jaluse (vaata tabelit 4.3) lugemise, CRC arvutamise, bitikaardi koostamise, info mällu kirjutamise ning alglaaduri või põhiprogrammi taaskäivitamisega.

Taimer ajurit kasutades on koostatud katkestuskindlad tööriistad, mida saab kasutada aja mõõtmiseks, soovitud pikkusega viidete ja tsüklite tekitamiseks. Tööriistad võimaldavad korraga mitme viitega tegelemist.

Kasutajaliidese tööriistad on loodud eelnevalt kirjeldatud tööriistu kasutades ning sinna hulka kuuluvad funktsioonid, mis analüüsivad kliendilt saadud infot ning saadavad vastuseks soovitud andmepakette. Kasutajaliides võimaldab edastada soojaarvestite näite, infot süsteemi

kohta, töötada välise mälu ning käivitada algladurit (taaskäivitada süsteemi). Täpsema info saamiseks loe peatükki 4.3.5.

Eelnevate tööriistade koostamist toetavad funktsioonid sõnetöötuse, CRC arvutuse, andmete teisendamise ja FIFO puhvri jaoks.

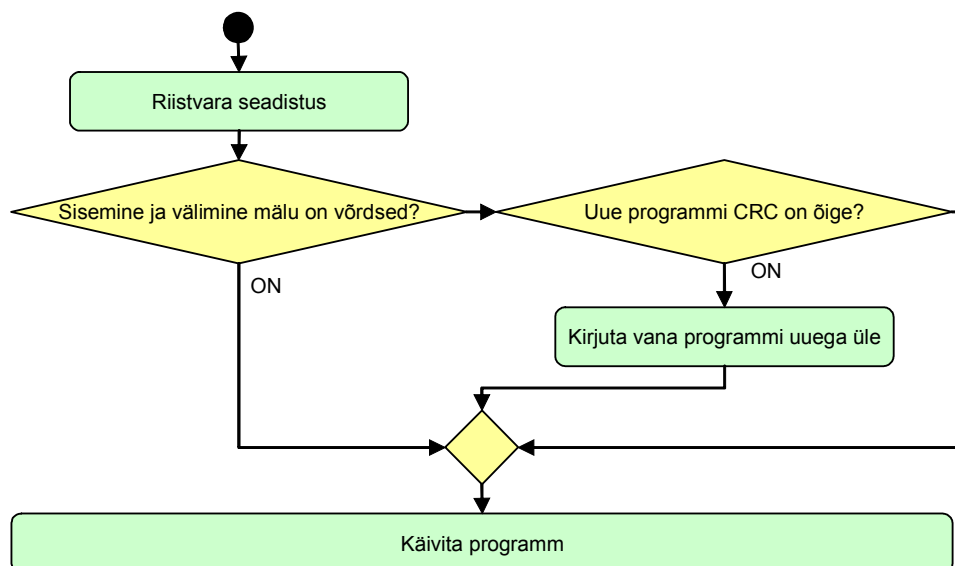


Joonis 4.5. Tarkvara kaart



### 4.3.3 Alglaadur

Seadme käivitades täidetakse esimesena alati alglaaduri programm, mille toimimine on toodud joonisel 4.6. Alglaadur kasutab joonisel 4.5 toodud tööriistadest vaid välise ja sisemise välkmäluga töötamise mooduleid. Käivituses võrdleb alglaadur mikrokontrolleris olevat programmi välises mälus oleva programmiga. Kui need ei ole identsed, siis on välises mälus uus programm. Iga programmiga on välises mälus kaasas selle CRC, mida võrreldakse jooksvalt arvutatava CRC-ga. Kui need on võrdsed, on uus programm terviklik ning mikrokontrolleri mälus oleva programmi võib sellega asendada. Pärast ülekirjutamist käivitatakse uus programm.



Joonis 4.6. Alglaaduri toimimine.

Algladuri ja põhiprogrammi välises mälus hoidmiseks on loodud sobiv formaat. Programm kirjutatakse välisesse mällu koos jalusega, mille sisu on toodud tabelis 4.3.

**Tabel 4.3** Programmi paigutus välises mälus.

<b>Väärtus</b>	<b>Pikkus, bait</b>	<b>Kirjeldus</b>
0xF9	1	Programmi tähis
0x09	1	Jaluse pikkus baitides
Flen	4	Programmi pikkus baitides
0xFF	1	Kasutamata väli
CRC	2	16-bitine CRC kontrollsumma
-	Flen	Programm

#### 4.3.4 Põhiprogramm

Põhiprogrammi plokk skeem on kujutatud joonisel 4.7. Kõigepealt algväärtustatakse muutujad ja puhvrid sobiva sisuga. Järgnevalt seadistatakse riistvara, mis haldab joonisel 4.5 toodud esimese riistvarakihi kasutamist. Esimese riistvarakihi (välised seadmed) seadistamine toimub põhitsükli, vastavate kontrollerite poolt.

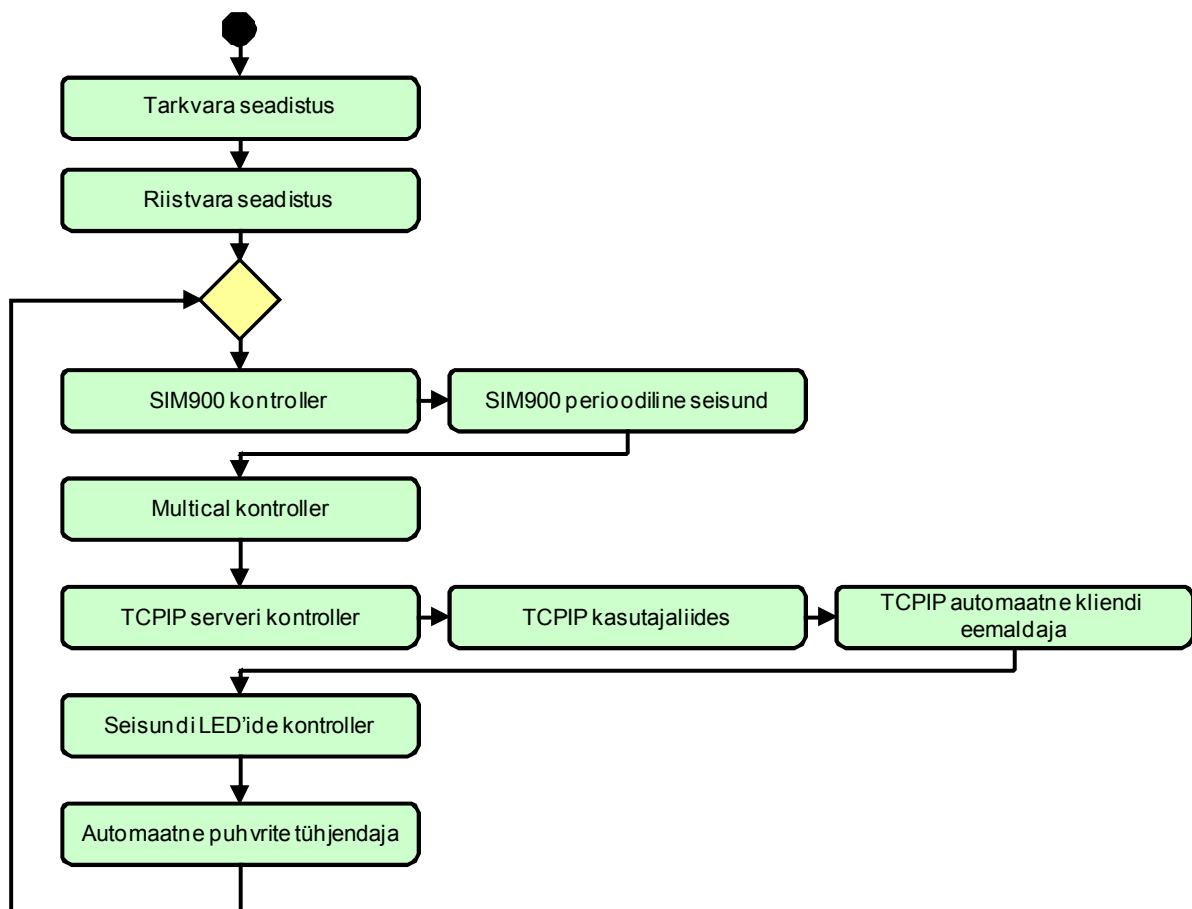
Põhitsükli esimene plokk on „SIM900 kontroller“, kus kontrollitakse järgmiseid punkte:

- Kas SIM900 on sisse lülitatud või unerežiimis?
- Kas SIM900 on seadistatud?
- Kas SIM900 tuleks taaskäivitada?

Vastavalt eelnevalt kontrollitule käivitatakse vajadusel SIM900 ning selle seadistamise funktsioon, mille lõpus uuritakse SIM900 seisundit. Seadistamine on õnnestunud, kui SIM900 tuvastab SIM-kaardi, saab ühenduse tugijaamaga ning käivitab GPRS teenuse. SIM900 taaskäivitamine on vajalik, kui korduvatel katsetel pole õnnestunud seadistamist läbi viia või serveri tööriistad näitavad tõsise vea olemasolu, mida ei õnnestu parandada (näiteks serverit ei ole korduvalt võimalik üles seada).

SIM900 seisundi perioodiline uurimine võimaldab kindlaks teha, kas SIM900 on töökorras. Seisundit ei kontrollita igas tsükli vaid üks kord kümne minuti jooksul. Kui tuvastatakse kliendi või serveri tegevus, seadistatakse järgmise kontrolli aeg kümne minuti pärast, sest aktiivne tegevus on märk kogu süsteemi funktsioneerimisest. Serveri ja kliendi seisundi info edastatakse serveri tööriistadele. Kui tunni jooksul ei tuvastata kliendi ja serveri tegevust, saadetakse SIM900 kontrollerile käsk SIM900 taaskäivitamiseks.

Multical kontrolleri ülesanne on tuvastada ühendatud Multical soojaarvesti tüüp. Kui soojaarvestit ei õnnestu defineerida, sooritatakse uusi päringuid iga minuti tagant. Soojaarvesti defineerimise funktsioon käivitatakse ka siis, kui Multical tööriistad on teavitanud ebaõnnestunud info päringust.



**Joonis 4.7.** Põhiprogrammi üldine skeem.

TCPIP serveri kontroll alustab tööd, kui SIM900 on töökorras. Kontrollitakse, kas server on käivitatud ning vajadusel proovitakse seda käivitada. Kui serverit ei õnnestu käivitada, seatakse seisund tõsise vea olekusse, mis kutsub esile SIM900 taaskäivitamise.

TCPIP kasutajaliides reageerib läbi TCPIP ühenduse saadetud kliendi päringutele ja andmepakettidele. Andmed võetakse vastu katkestustega ja nendega tegeldakse alles vastavasse plokki jõudes. Kuna korraga saab ühendust võtta üks klient, on oluline, et ta ei hõivaks kanalit liiga kauaks. Selle probleemiga tegeleb TCPIP kliendi automaatne eemaldaja, mis uurib kliendi tegevust ning selle puudumisel katkestab kümne minuti möödudes TCPIP ühenduse.

Lisas A joonisel A.7 on toodud seadme skeem, kus on kujutatud ka süsteemi seisundit inditseerivad LED-id. Nende LED-ide juhtimisega tegeleb plokk seisundi LED-ide kontrolleri.

Automaatne puhvrite tühjendaja tegeleb sisendinfo puhvrite tühjendamisega. See on oluline, et vältida puhvrite ületäitumist baitidega, mida sealt pole välja loetud. Tühjendamine toimub pärast info laekumist 10 sekundi vältel.

#### 4.3.5 Kasutajaliides

Kasutajaliides baseerub TCPIP ühendusel. Kui PC-ga on võimalik võrgusuhtlust suunata erinevatesse portidesse, siis antud süsteem nii paindlikku võrgusuhtlust ei võimalda ja klient loob serveriga ühenduse läbi ühe kindla pordi. Paindlikuma süsteemi loomiseks on TCPIP protokollile lisatud kiht, mis võimaldab infot suunata erinevatele programmi osadele. Antud kiht on projekteeritud võimalikult sarnane KMP-le, mis tegi selle implementeerimise olemasolevate tööriistadega lihtsaks. Protokoll koosneb allpool toodud osadest, kus nurksulud märgivad andmevälju ja arv kooloni järel baitide arvu.

[START:1][PORT:1][MSGTYP:1][N:2][DATA:(N+)] [CRC:2][STOP:1]

- **START** – 0x80
- **STOP** – 0x0C
- **ESC** – 0x0B (ei ole seotud ASCII tabeliga)
- **PORT** – port funktsioonide vahel andmete suunamiseks, 1 bait
- **MSGTYP** – sõnumi tüüp paketi tõlgendamiseks, 1 bait
- **N** – teisendamata andmeosa pikkus, 2 baiti [Nh][Nl]
- **DATA** – teisendatud andmed, N+ baiti [D0][D1][D2]...[DN+]
- **CRC** – 16 bitine CRC, 2 baiti [CRCh][CRCl]

CRC arvutatakse 16-bitise CRC-CITT polünoomiga 0x1021. CRC arvutatakse väljade [PORT][MSGTYP][N][DATA] põhjal ning lisatakse andmete lõppu.

Teisendamine toimub baidiga ESC ning selle ülesandeks on kaotada START ja STOP märgi vahelt kõik START ja STOP-ga identsed baidid, jättes samas võimaluse kõiki baidiväärtuseid esitada. Selleks tehakse all olevate baitidega järgnevad teisendused, kus bait ESC asetatakse invertteeritud baidi ette. Teisendamist illustreerib järgmine näide:

- 0x0B == 0x0B F4
- 0x0C == 0x0B F3
- 0x80 == 0x0B 7F

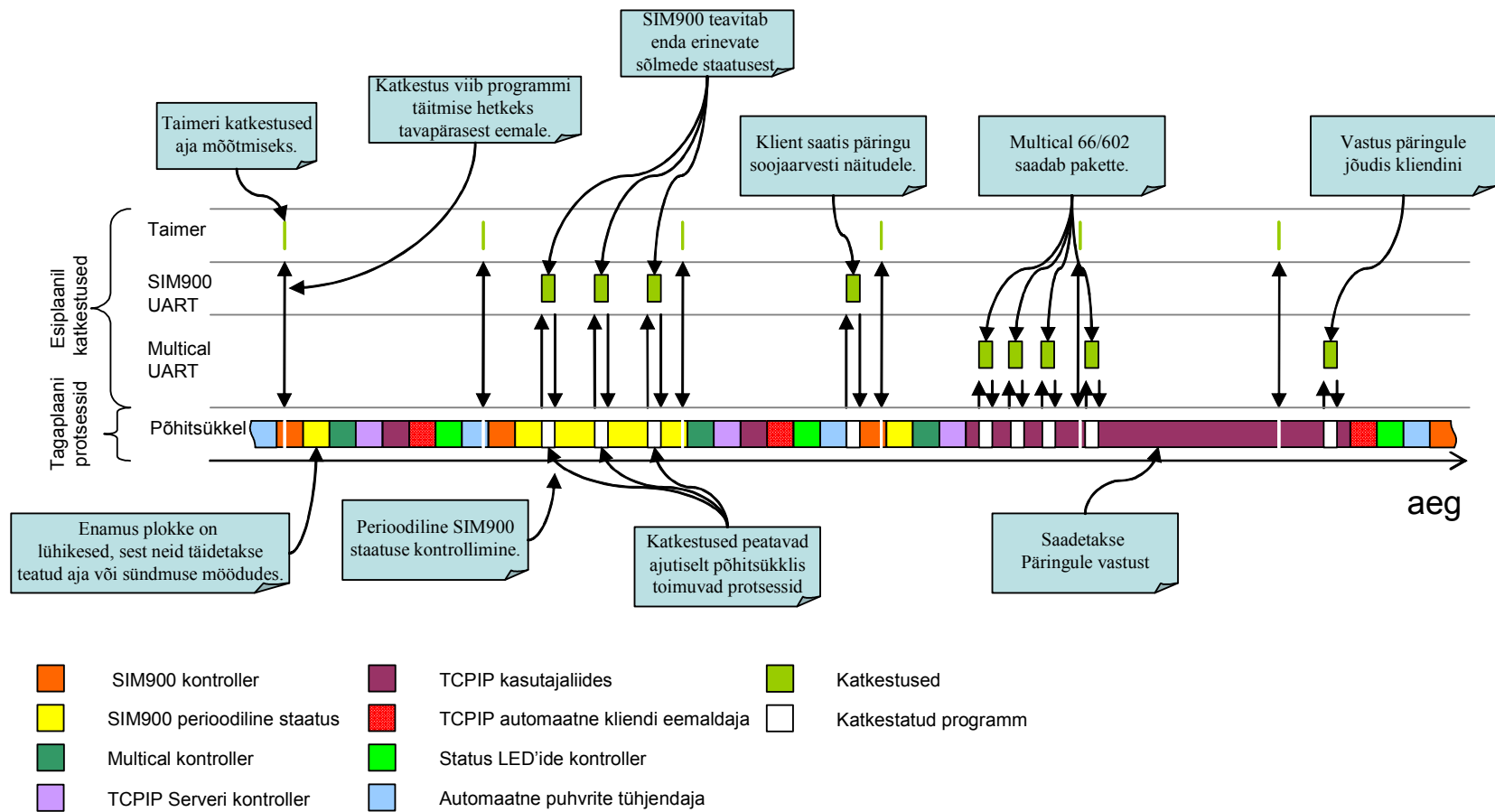
Päringute saatmiseks on hetkel kasutusel järgmised PORT ja MSGTYP väärtused, mille tähendus on toodud tabelis 4.4.

**Tabel 4.4** Kasutajaliidese funktsioonid.

PORT	MSGTYP	Vastus	Funktsioon
0x20	0x0E	ACK/NACK	Kustutab välisest välmälust programmi
0x20	0x0A	ACK/NACK	Taaskäivitab süsteemi (alglaaduri)
0x20	0x04	ACK/NACK	Kirjutab saadetud paketi välisesse välmällu
0x20	0x10	Vastus	Päring mõõdiku andmetele
0x20	0x12	Vastus	Päring süsteemisestele andmetele
0x20	0x13	ACK/NACK	Seab süsteemi kirjeldava 32 märgiga sõne
0x20	0x0B	Vastus	Küsib seadmelt bitikaarti (ingl. <i>bitmap</i> ) tarkvara vahetuse jälgimiseks

#### **4.3.6 Programmi ajaline käitumine**

Programmi ajaline käitumine koos katkestustega on toodud joonisel 4.8. Joonisel on kujutatud esi- ja tagaplaani protsesside ajaline kulg. Kuigi protsesside kestvused ei ole kujutatud proportsionaalselt, annab joonis siiski ülevaate, kuidas töö erinevate protsesside vahel jagatakse ning millised neist on lühemad ja pikemad. Näiteks taimeri katkestus kestab mõned mikrosekundid ja mõned protsessid paar millisekundit, samas nende suhe joonisel pole täpne. Antud näites on seade normaalse töö seisundis, kus SIM900 ja sellel töötav server on edukalt seadistatud. Joonisel on kujutatud olukord, kus esmalt käivitatakse perioodiline seisundi kontroll ning sellele järgneb kliendi päring soojaarvesti näitudele.



Joonis 4.8. Programmi ajaline käitumine normaalse töö olekus.



## 5 ANALÜÜS

### 5.1 Arendustöö

Projekti teostamise käigus uuriti erinevaid andmelehti, mille tulemusel valiti sobivad komponendid ning õpiti neid kasutama. Arendustöö käigus loodi mitu erinevat prototüüpi, mille baasil koostati lõplik riistvara (vaata lisa B joonised B.1, B.2 ja B.3 ). Tarkvara arendati nii C-keeles kui Javas (Javas loodud PC tarkvara antud töös ei kirjeldata). Töö teostamiseks kulus aega ligikaudu 385 h (48 tööpäeva, ehk 2,4 kuud), mis jaguneb järgmiselt:

1. Dokumentide analüüs:	50 h	13%
2. Prototüüpide riistvara valmistamine:	30 h	8%
3. Riistvara projekteerimine:	45 h	12%
4. Riistvara koostamine:	40 h	10%
5. Tarkvara arendamine C-keeles:	120 h	31%
6. Tarkvara arendamine Javas:	100 h	26%

### 5.2 Esinenud probleemid

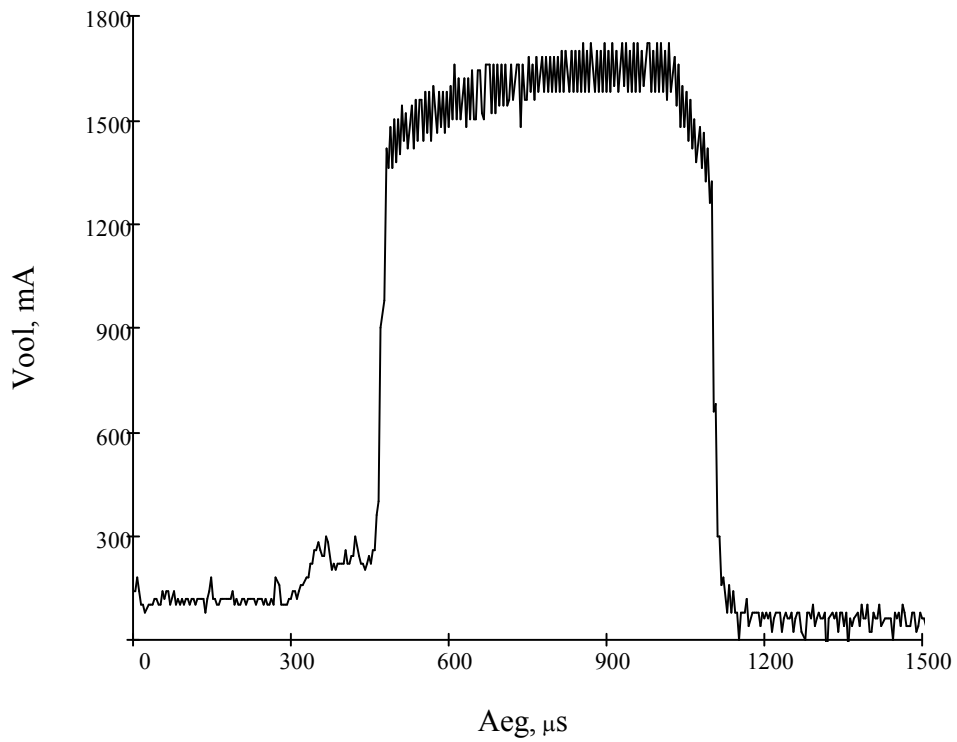
Esimene tehasesest tellitud trükkplaatide seeria (10 tk.) omas vigu, kus ühe komponendi pakend oli valede mõõtmetega ning üks detail kattus teisega. Antud vead olid põhjustatud autori eksimustest. Teine seeria (100 tk) joodeti kokku osaliselt valede detailidega, sest selle eest vastutavad isikud ei kuulunud töö autorit. Kolmas seeria (100 tk) joodeti kokku enamasti õigesti, kuid töö autori valede juhiste tõttu on kõigil SIM900 seisundit näitavad LED-id ühendatud vale polaarsusega. See avastati ja märgiti üles juba teise seeria vigade otsimisel, kuid viga kandus kolmandasse iteratsiooni ikkagi üle. Samuti osutusid kolmanda seeria SIM900 moodulid erinevateks (SIM-kaardi olemasolu kontrolliva funktsiooni vastuse struktuur erines) ja selle tõttu tuli osa koodist välja kommenteerida. Antud funktsiooni eemaldamine ei mõjuta süsteemi funktsionaalsust.

### 5.3 Realiseeritud nõuded

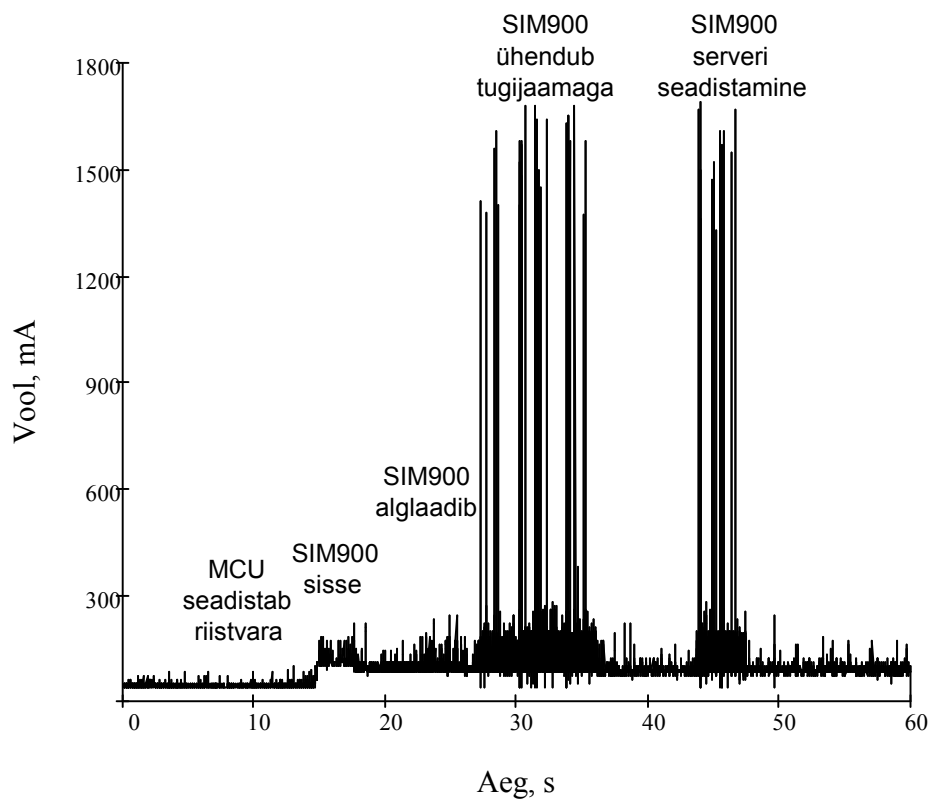
Loodud GSM seade realiseerib enamikke funktsionaalseid nõudeid, mille püstitas AS Fortum (vaata peatükki 3.1). Realiseerimata jäi tarkvara LogView tugi, kuna see kasutab ühenduseks lühikese aegumisega (ingl. *timeout*) jadaväratit (ingl. *COM-port*). Kuna 2G kommunikatsioon on liiga aeglane, arvab LogView mõne sekundi möödudes, et loodud virtuaalse jadaväratiga ei ole ühendatud soojaarvestit. Kuna antud funktsionaalsus on mõeldud põhiliselt süsteemi vigade tuvastamiseks, ei takista see GSM-seadmeid edukalt kasutamast.

Reaalajalised nõuded on täidetud enamikel juhtudel, kuid halb ühendus või GSM teenusepakkuja poolsed tõrked võivad põhjustada mõnikord piiragade rikkumist. Sooritatud katsete ja testimise käigus selgus, et hea mobiililevi piirkonnas käivitab süsteem serveri 45 sekundiga (vaata joonist 5.2), päringule saab vastuse 2 sekundiga, Multical 66 puhul jääb registreerimise aeg alla 30 s ja Multical 602 puhul alla 10 s. Tarkvara vahetamise test näitas, et hea levi korral sooritatakse see 32 KiB andmemahu puhul 6 minutiga.

Süsteemi loogika poolt tarbitav vool olukorras, kui mobiilside puudub, on keskmiselt 75 mA. Maksimaalset tarbitavat voolu mõõdeti digitaalse ostsilloskoobiga, kasutades ühe oomist mõõtetakistit. Joonisel 5.1 on näha GSM seadme mobiilside ajal registreeritud voolu impulss, mis on ligikaudu 1.7 A. Joonisel 5.2 on kujutatud süsteemi voolutarve alglaadimise käigus, mis algab soojaarvesti tuvastamise ja SIM900 käivitamisega ning lõpeb serveri käivitamisega. Mõõtetulemused kinnitavad, et loodud seadme voolutarve vastab nõuetes kirjeldatule.



**Joonis 5.1.** GSM seadme tarbitav vooluimpulss mobiilside ajal.



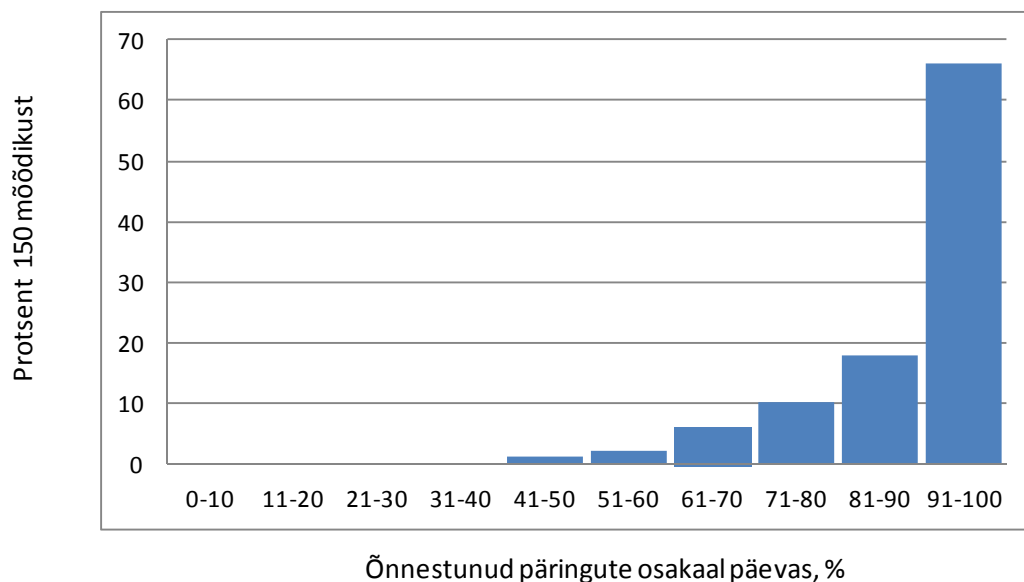
**Joonis 5.2.** GSM seadme voolutarbe muutus algladimise ajal.

## 5.4 Seadme maksumus

Töö autor valis soodsa hinnaga komponendid, mis võimaldasid projekti hinda vähendada ning samas täitsid vajaliku funktsionaalsuse (vaata peatükki 4.2.1). Trükkplaatide koostamine anti üle ettevõttele OÜ Neuron Systems, mis tegeleb antud projekti juures serveri poole arendamisega. Ühe GSM seadme tootmine läks maksma 150 €. AS Tartu Fortum sõnul hoiti käesoleva lahendusega kokku 4000-4500 € võrreldes tööstusliku seadme GSM6H kasutamisega.

## 5.5 Seadme töökindlus

Seadmete töökindluse tulemused saadi AS Tartu Fortum-ilt. Uuriti kasutaja rahulolu, mitu protsenti päevastest päringutest õnnestub ning milliseid häireid on süsteemis esinenud. Uurimise all oli umbes 150 mõõdikut, mille keskmine tööaeg oli 100 päeva. Selgus, et 84% seadmete korral õnnestub 80-100% päringuid päevas, mis on AS Fortum sõnul väga hea tulemus.



Joonis 5.3. Päringute õnnestumine.

Osa mõõdikuid ei anna vastuseid kõigile päringutele; tõenäoliselt on see põhjustatud keldris olevast halvast mobiililevist. Samuti võib SIM900 side katkeda, kusjuures seade arvab, et on endiselt võrku ühendatud. Selline olukord võib olla põhjustatud mobiilside teenusepakkuja või SIM900 poolt. Töö autoril ei õnnestunud konkreetset põhjust tuvastada ning selliste olukordade lahendamise tegeleb tarkvara (vaata peatükki 4.3.4). Samuti on tekkinud olukordi, kus seade kaob võrgust ja inimesed peavad minema kohale probleemi lahendama. Selliseid vigu on tavaliselt põhjustanud katkine toiteseadete või liiga nõrk antenn. AS Tartu Fortum sõnul saadi palju kvaliteetsem lahendus kui seda oleks olnud GSM6H.

## **5.6 Lahendused ja ettepanekud**

Riistvara loomisel tekkinud vead olid põhjustatud inimlikest eksimustest ja puudulikest kommunikatsioonist. Prototüüpidel esinenud vigu oleks saanud vältida, kui loodavat skeemi ja selle trükkplaati oleks hoolikalt kontrollinud teine isik. Vale detailide paigutus ja polaarsus võivad jääda projekteerijale endale märkamata, sest kogu plaani hakatakse üldiselt vaatama. Teine isik uurib aga skeemi ja trükiplaati detailsemalt, sest temale on see võõras ning nõuab mõistmiseks pingsamat mõtlemist.

Projektis esines kommunikatsiooniprobleeme, kus üks osapool rääkis ja teine ei kuulanud või unustas edastatud teabe. Sellest tingitult tekkis trükkplaatide koostamisel vigu. Antud olukorda oleks saanud vältida, kui osapooled oleks tõhusamalt suhelnud ja dokumenteerinud tekkinud vead. Kuna kõik inimesed ei pea dokumenteerimist ja kommunikatsiooni alati oluliseks, oleks rühma vaja juhti, kes seisaks selle eest, et info erinevate osapoolte vahel liiguks.

LogView funktsionaalsuse saab taastada uue tarkvara loomisel, mis olemasolevate vahenditega on mõistliku ajaga tehtav. Vaadates tulevikku, oleks uutel seadmetel võimalik kasutada 3G või 4G modemeid, mis vajaks süsteemi tarkvara ümbertegemist, kuid pakuks suuremat kiirust.

## 6 KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärgiks oli projekteerida ja valmistada AS Tartu Fortum-ile GSM seade Kamstrup soojaarvestite näitude kauglugemiseks kasutades TCPIP ühendust, kuna enamik müügilolevatest kauglugemise süsteemidest ei toeta ilma vahelülideta vanemat tüüpi soojaarvesteid ning on liiga aeglased.

Esmalt analüüsiti olemasolevaid lahendusi, nende positiivseid ja negatiivseid külgi. Seejärel püstitati soovitud seadmele täpsed nõuded, mille baasil alustati seadme projekteerimist. Kõigepealt loodi GSM seadme domeenimudel, mis kirjeldab süsteemi ja muid osi, mis loodava seadmega ühenduses on. Järgnevalt projekteeriti riistvara, mille käigus valiti vajalikud komponendid ning loodi elektriskeem ja trükkplaat. Seejärel projekteeriti tarkvara, mille käigus loodi nii põhiprogramm kui alglaadur tarkvara uuendamiseks töötavas seadmes.

Loodud süsteemi analüüsiti vastavalt püstitatud nõuetele ning uuriti kliendi rahulolu. Selgus, et süsteem vastas suuremale osale nõuetest. Realiseerimata jäi LogView tugi, kuna 2G mobiiliühendus osutus selleks liiga aeglaseks. Samuti mobiilsideteenusepakkuja poolsete tõrgete või halva mobiilside levi tõttu rikuti osadel juhtudel reaalajalisi nõudeid.

Kuigi süsteemis esines puudujääke, ei kannata nende alla süsteemi põhiline funktsionaalsus. AS Tartu Fortum sõnul saadi võrreldes kommertsiaalsete lahendustega igati kvaliteetne ja töökorras seade. Töö eesmärk projekteerida ja valmistada AS Tartu Fortum-ile soojaarvestite kauglugemise seade sai täidetud.

## 7 KASUTATUD KIRJANDUS

1. Sensus (s.a.). *GSM-SMS Reading of Water and Heat Meters*. Külastatud 06.08.2013.  
Kättesaadav:  
[http://sensus.com/documents/10157/736249/ls\\_1400\\_int\\_xenon\\_0001.pdf](http://sensus.com/documents/10157/736249/ls_1400_int_xenon_0001.pdf)
2. Radiocrafts (2010). *Radiocrafts IESM-Series Expansion Cards User Manual*.  
Külastatud 06.08.2013. Kättesaadav: [http://www.radiocrafts.com/uploads/rc-iesm\\_user\\_manual\\_1\\_20.pdf](http://www.radiocrafts.com/uploads/rc-iesm_user_manual_1_20.pdf)
3. Kamstrup (2013). *Installation and User Guide for GSM8H*. Külastatud 04.04.2014.  
Kättesaadav: <http://kamstrup.com/media/25551/file.pdf>
4. Kamstrup (2012). *Installation and User Guide for GSM6H*. Külastatud 06.08.2013.  
Kättesaadav: <http://kamstrup.com/media/12100/file.pdf>
5. Taavi Väljaots (2012). *Autonoomne manussüsteem LED-valgustusele*. Publitseerimata rakenduskõrgharidusõppe lõputöö. Eesti Maaülikool
6. Simcom (2013). *SIM900 Hardware Design*. Külastatud 07.08.2013. Kättesaadav:  
<http://wm.sim.com/upfile/201342414927f.pdf>
7. Microchip Technology (2010). *MCP1801*. Külastatud 08.08.2013. Kättesaadav:  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22051D.pdf>
8. Micrel (2006). *MIC5205*. Külastatud 08.08.2013. Kättesaadav:  
[http://www.micrel.com/\\_PDF/mic5205.pdf](http://www.micrel.com/_PDF/mic5205.pdf)
9. Texas Instruments (2013). *LM1085*. Külastatud: 08.08.2013. Kättesaadav:  
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm1085.pdf>
10. Kamstrup (2006). *Multical Type 66-CDE Technical Description*.  
Külastatud: 06.03.014. Kättesaadav:  
<http://www.multical.hu/MC%2066C%20Technical%20Description%205511-634%20GB%20Rev%20C1.pdf>
11. Kamstrup (2014). *Multical 602 Technical Description*. Külastatud 06.03.014.  
Kättesaadav: <http://kamstrup.com/media/19757/file.pdf> 2
12. Texas Instruments (2010). *TPS3619-33-EP, TPS3619-50-EP, TPS3620-33-EP, TPS3620-50-EP*. Külastatud 08.08.2013. Kättesaadav:  
<http://www.ti.com/lit/ds/sgls350c/sgls350c.pdf>

13. Microchip Technology (2011). *16 Mbit SPI Serial Flash SST25VF016B*. Külastatud 08.08.2013. Kättesaadav:  
[http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/S71271\\_04.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/S71271_04.pdf)
14. Kamstrup (2009). *Kamstrup radio network for heat, cooling and cold water meters*. Külastatud. 06.08.2013. Kättesaadav:  
[http://www.multical.hu/Radio\\_network\\_install.pdf](http://www.multical.hu/Radio_network_install.pdf)



## ABSTRACT

Väljaots T. GSM Remote Reading System for Kamstrup's Heat Meters. –

Tartu: University of Tartu, Faculty of Science and Technology, 2014. 56 pages, 22 figures, 6 tables, format A4. In Estonian.

The aim of the project was to design a remote heat meter reading system for the district heating company AS Tartu Fortum. The systems available on the market are either too slow or do not support the older heat meters. The system must be compatible with Kamstrup's heat meters Multical 66, Multical 601 and Multical 602 using GSM link to act as TCPIP server.

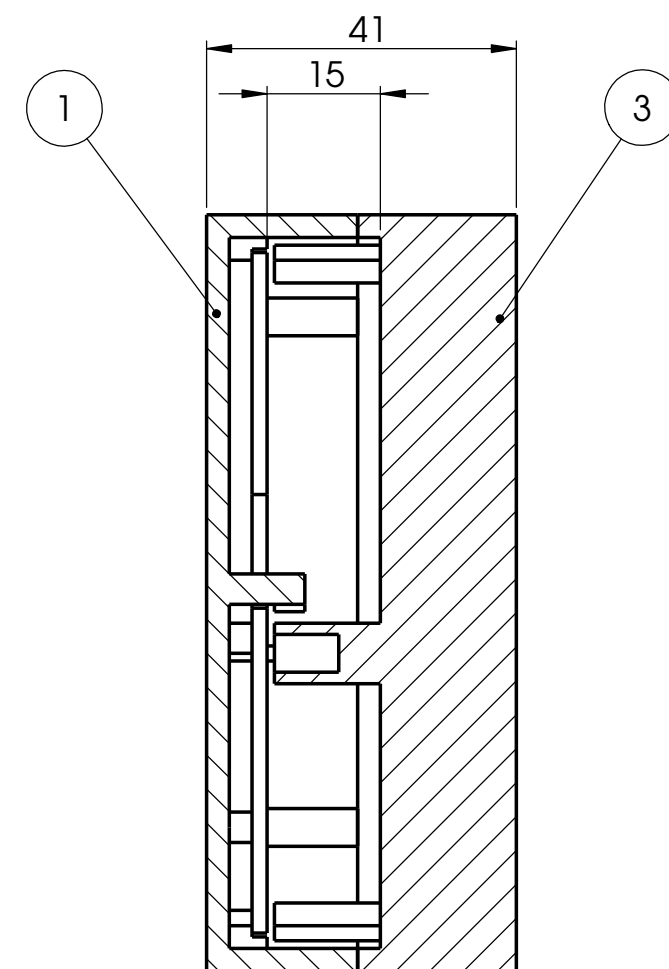
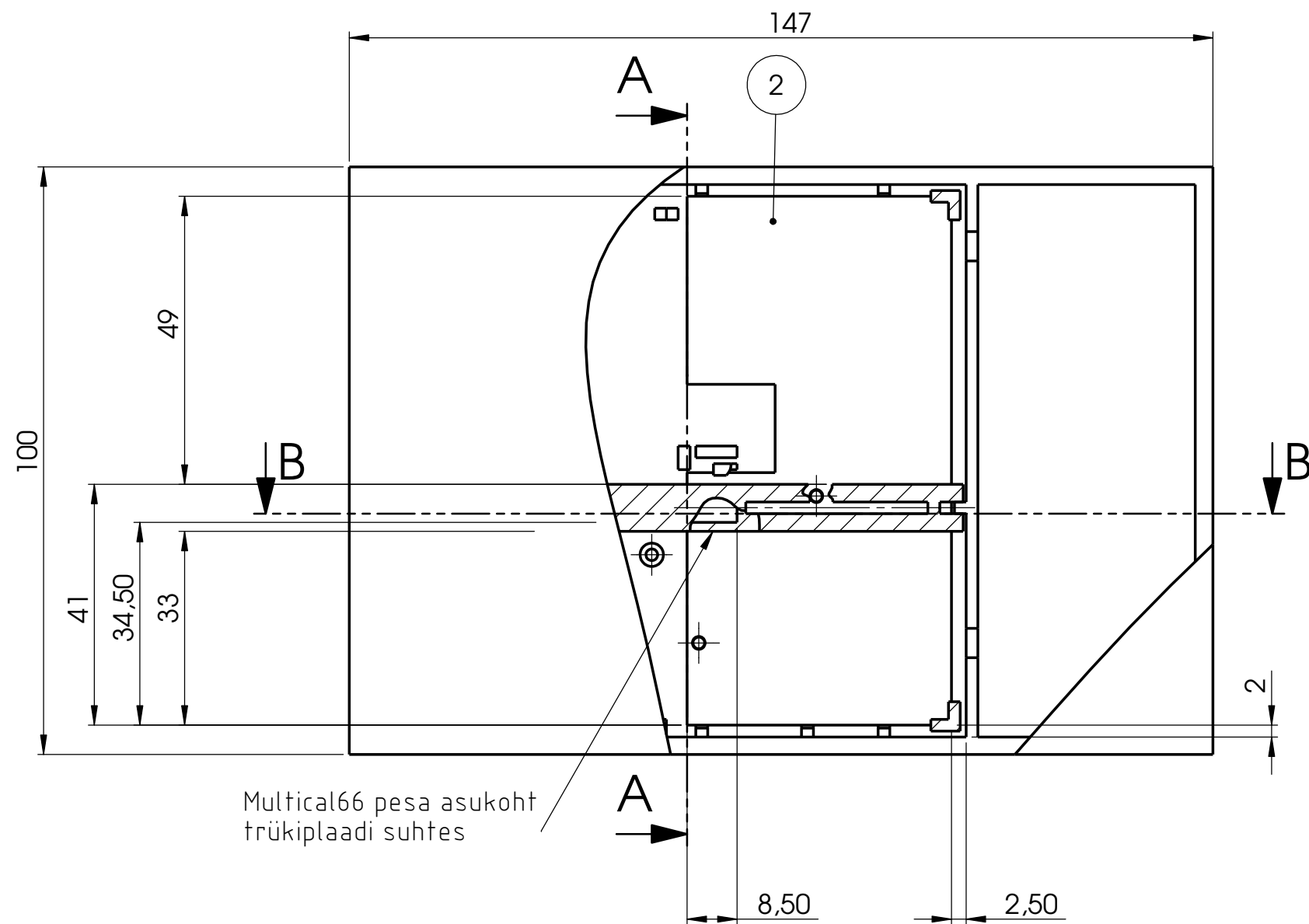
The project started with examining existing commercial solutions for heat meter remote reading. It was found that there is no solution available to fulfill the needs of the company. Next, a set of requirements the system must correspond to, were described. Thereafter a domain model was developed and used as the basis in hardware and software design. After few prototypes were built, a working model was assembled and the compliance with the requirements was tested.

During testing all the requirements were asserted to defined values and also the customer's satisfaction was examined based on 100 days testing of 150 units. The remote reading system met most of the requirements set. Few requirements which were not fulfilled did not affect the main functionality of the system. Despite few failed requirements the system accomplished all the tasks needed and the customer was fully satisfied.

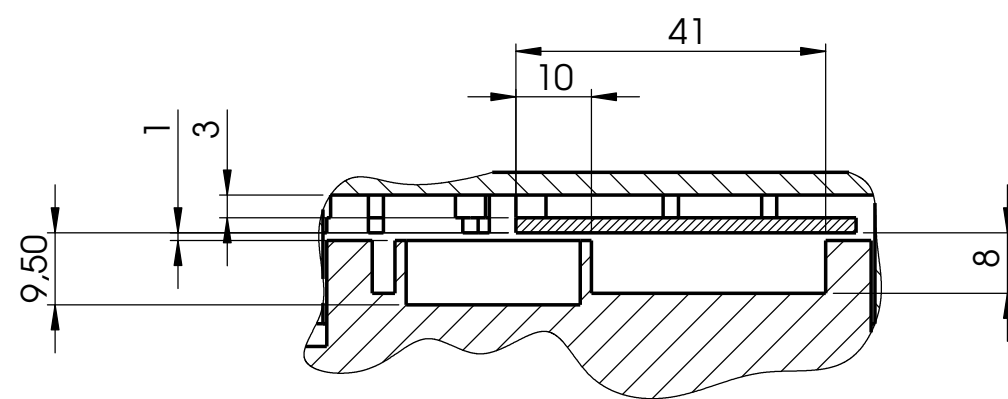
**Keywords:** remote reading, GSM modem, heat meter, Multical66, Multical602, embedded system, embedded programming, embedded TCPIP server.

**LISAD**

**Lisa A. Tehnilised joonised**



SECTION A-A

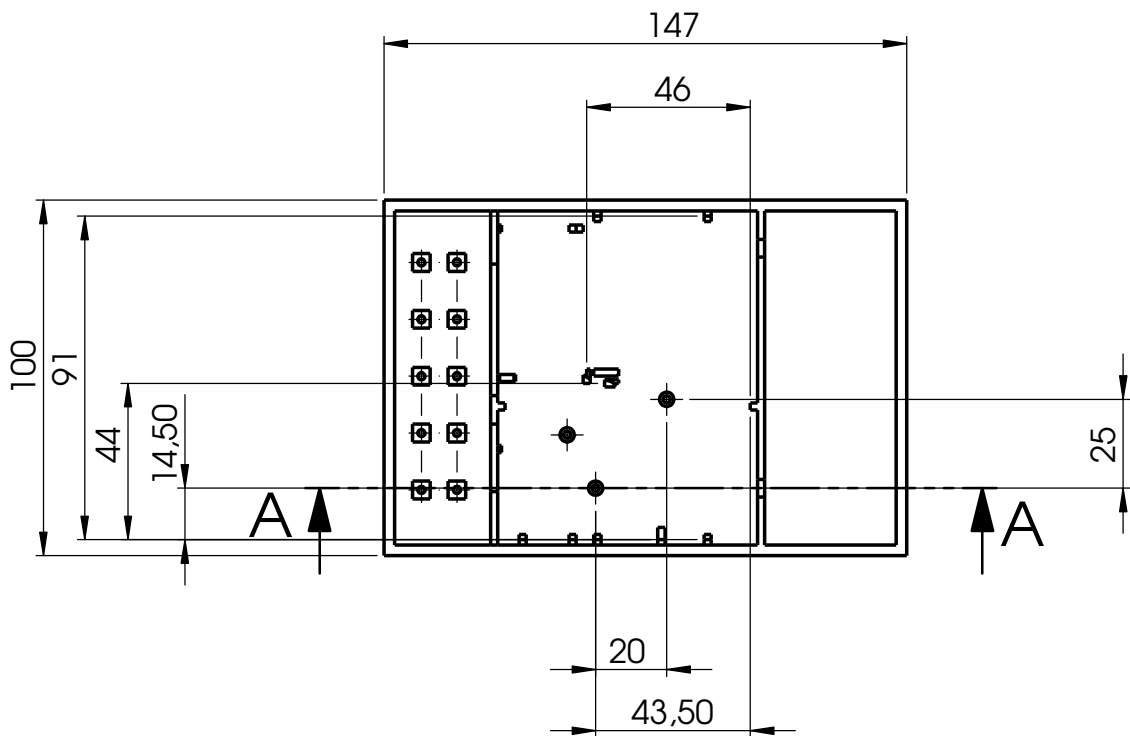
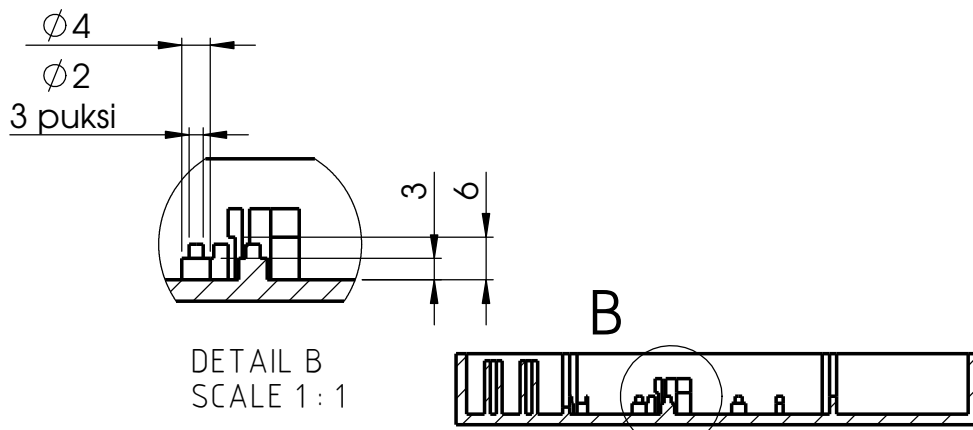


SECTION B-B

Märkused:

Antud joonis kujutab trükiplaadi alust soojaarvesti karpis ning vaba ruumi trükiplaadi ning soojaarvesti vahel.

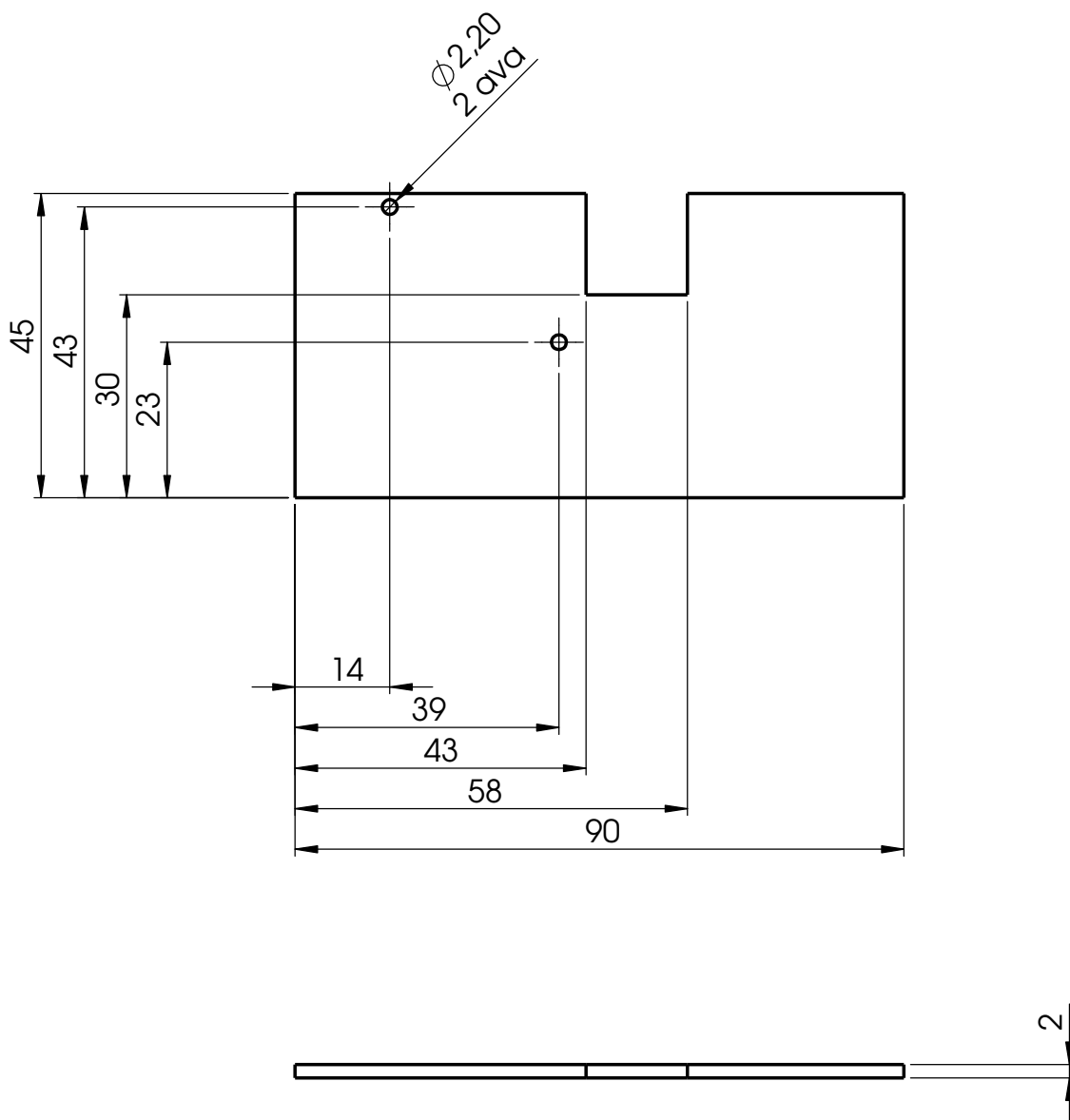
Nr.	Tähis	Nimetus	Kogus	
1	ATM 14/ A91380 A 0 01 D	SOOJAARVESTI KARP	1	
2	ATM 14/ A91380 A 0 02 D	TRÜKIPLAADI ALUS JA AVAD	1	
3	ATM 14/ A91380 A 0 03 D	MULTICAL66	1	
	Materjal	Näitamata piirhälbed	Mass Mõõt 1:1	
Teostas	Taavi Väljaots	TRÜKIPLAADI PAIGUTUS KAMSTRUP KARBIS		
Kontr.	Aivo Reinart			
Kinnitas	Aivo Reinart			
UT LOFY		Leht A.1	Tähis ATM 14/ A91380 A 0 00 K	Muudat



Märkused:

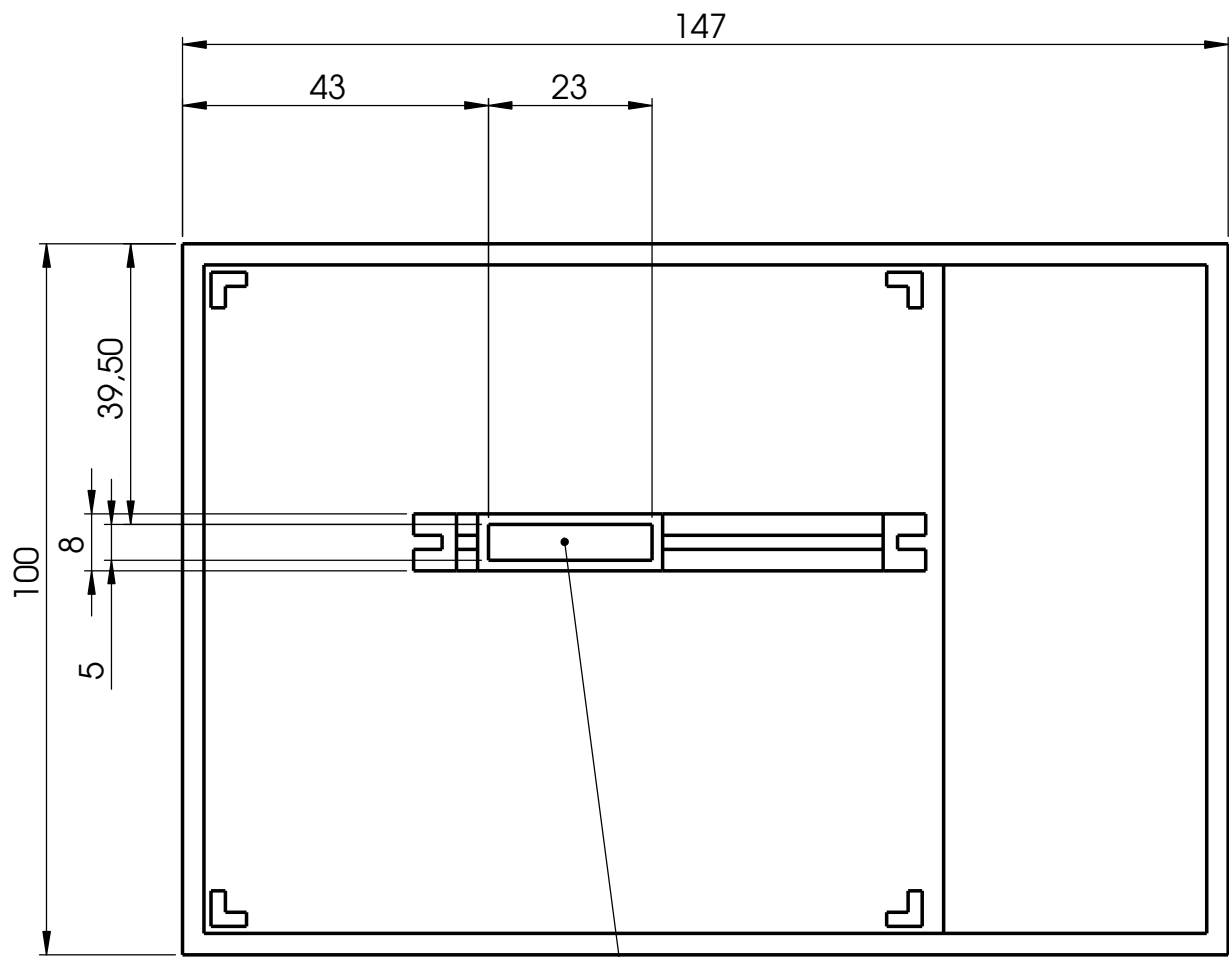
Antud joonis ei ole mõeldud karbi valmistamiseks. Joonis kujutab trükiplaadi asukohta karbis.

	Materjal	Näitamata piirhälbed	Mass	Mõõt 1:2
Teostas	Taavi Väljaots	Nimetus <b>SOOJAARVESTI KARP</b>		
Kontr.	Aivo Reinart			
Kinnitas	Aivo Reinart			
UT LOFY		Leht A.2	Tähis ATM 14/ A91380 A 01 D	Muudat

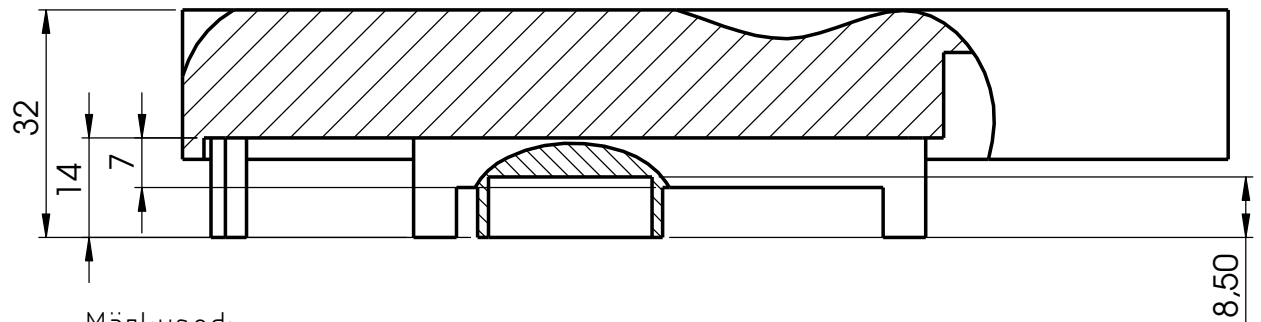


Märkused:  
Kõik avad on läbivad.

	Materjal	Näitamata piirhálbed	Mass	Mõõt 1:1
Teostas	Taavi Väljaots	Nimetus <b>TRÜKIPLAADI ALUS JA AVAD</b>		
Kontr.	Aivo Reinart			
Kinnitas	Aivo Reinart			
UT LOFY		Leht A.3	Tähis ATM 14/ A91380 A 0 02 D	Muudat



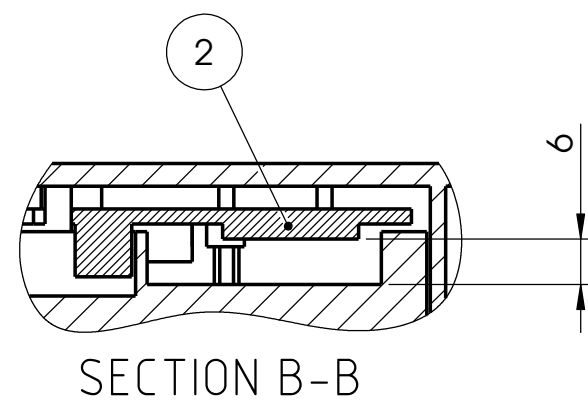
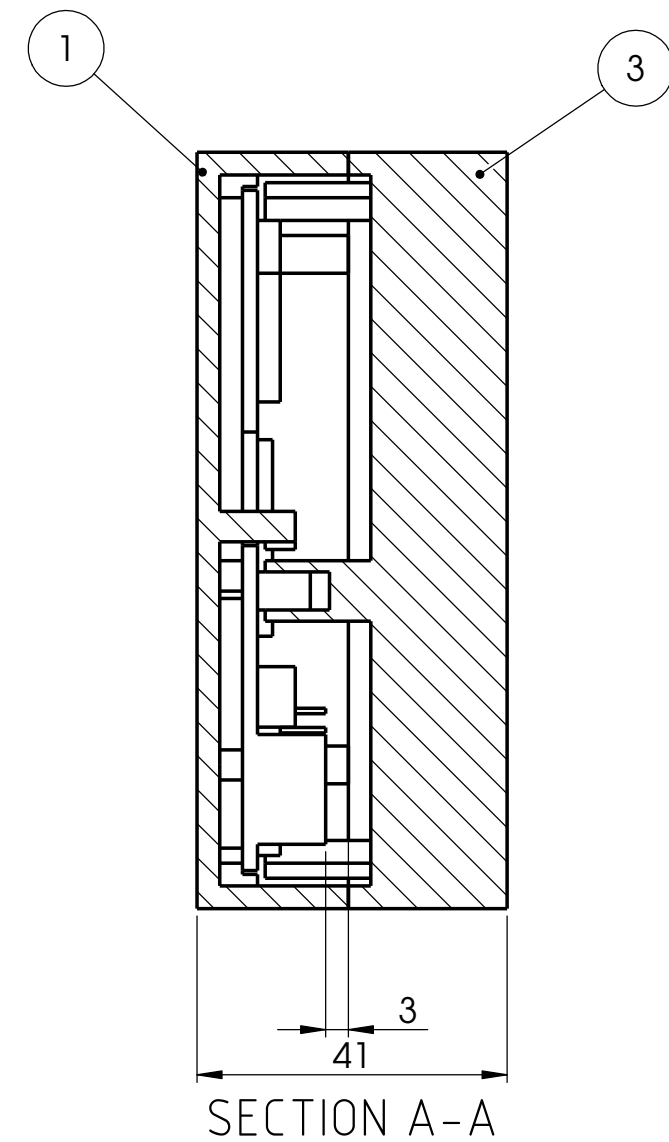
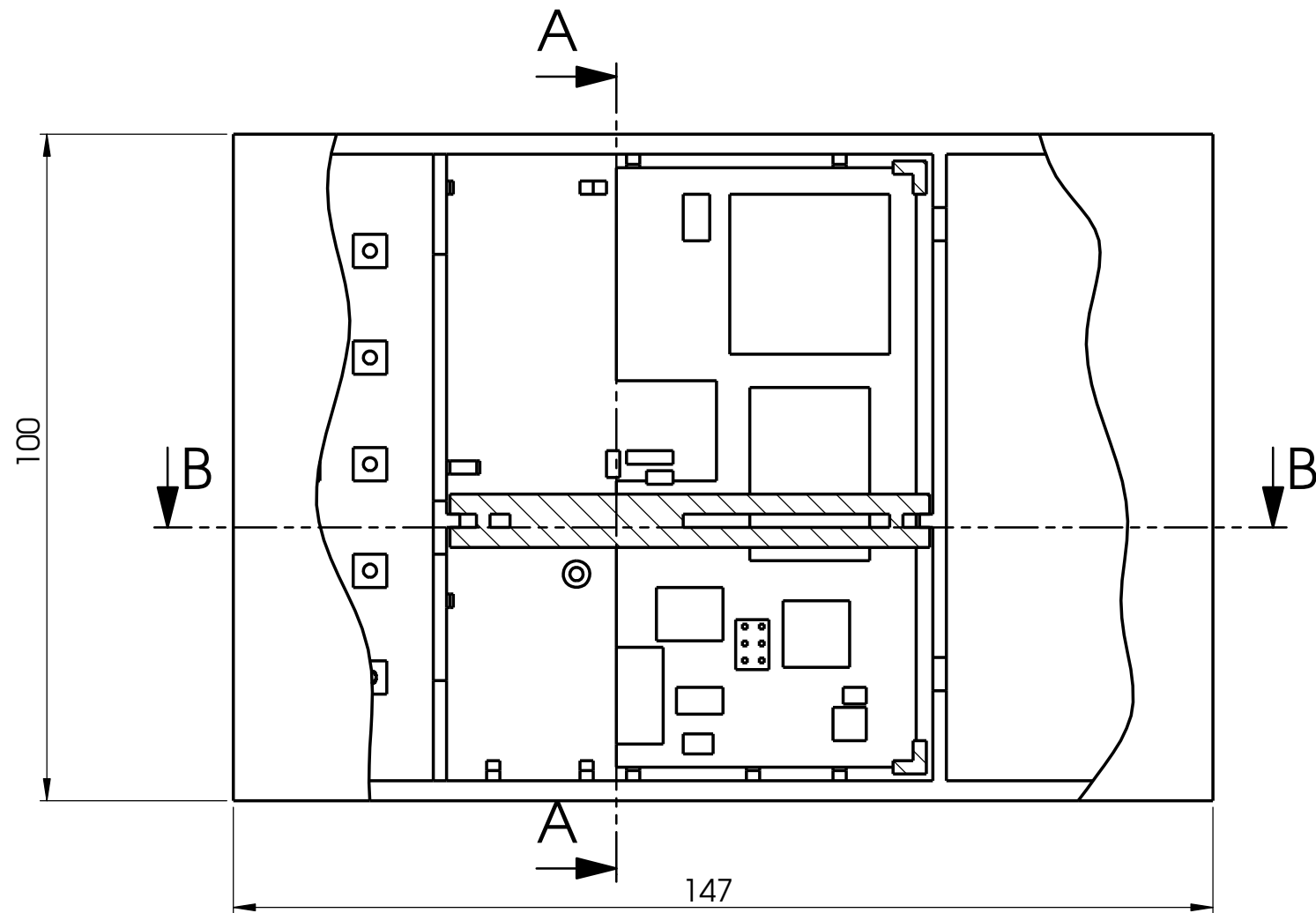
Multical66 väljaviigud



Märkused:

Antud joonis ei ole mõeldud detaili valmistamiseks, vaid selle põhja ühenduste näitamiseks.

	Materjal	Näitamata piirhälbed	Mass	Mõõt 1:1
Teostas	Taavi Väljaots	Nimetus <b>MULTICAL66</b>		
Kontr.	Aivo Reinart			
Kinnitas	Aivo Reinart			
UT LOFY		Leht A.4	Tähis ATM 14/ A91380 A 0 03 D	Muudat

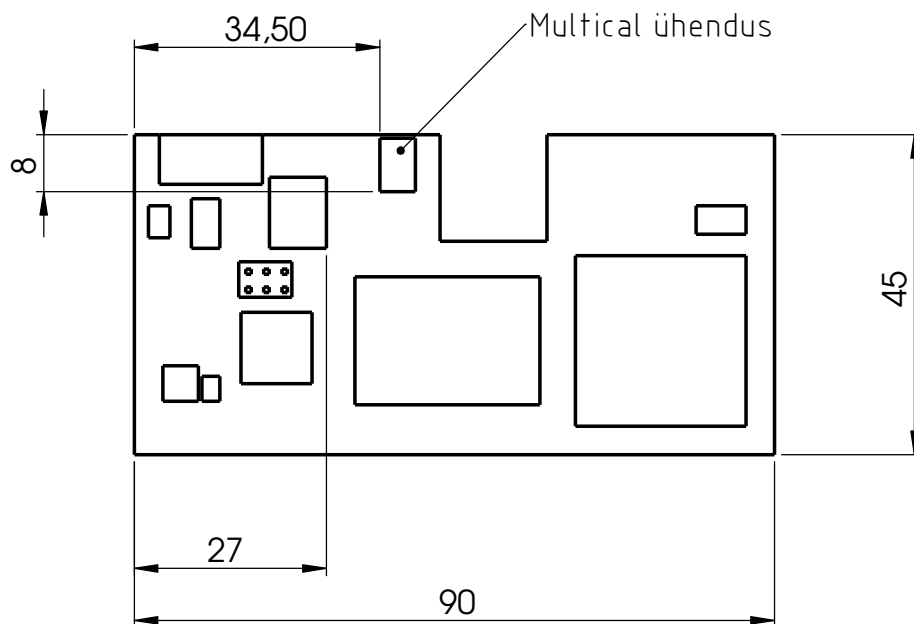
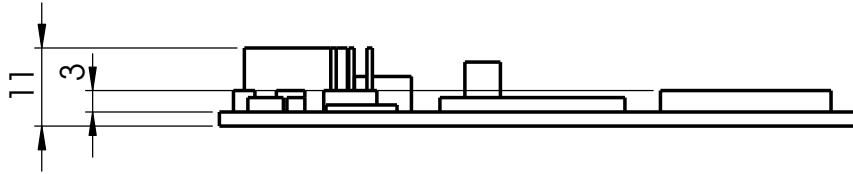


Märkused:

Antud joonis on näitamaks, kuidas laotud trükiplaat sobib soojaarvesti karpi ning ühendub soojaarvestiga.

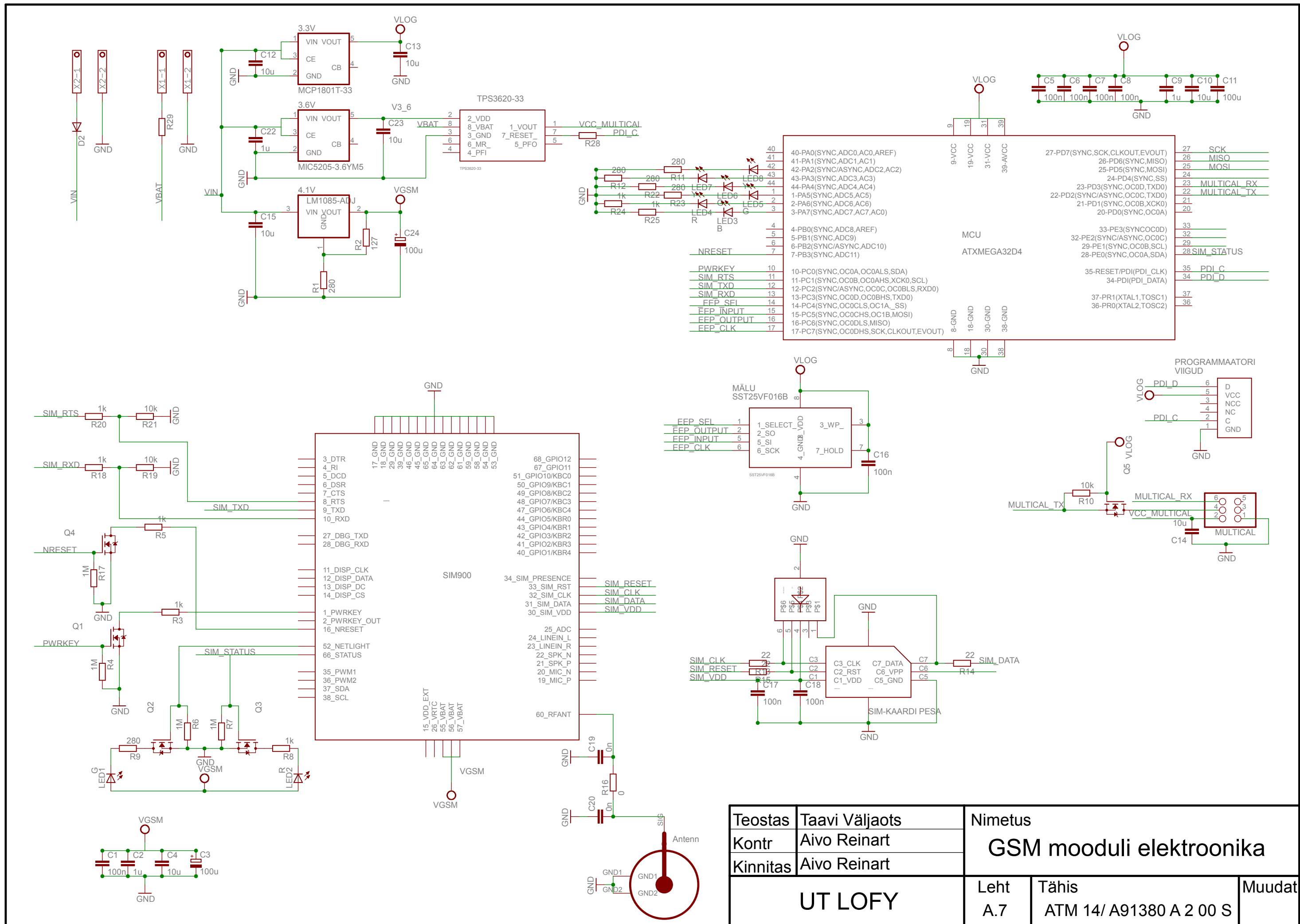
Nr.	Tähis	Nimetus	Kogus	
1	ATM 14/ A91380 A 0 01 D	SOOJAARVESTI KARP	1	
2	ATM 14/ A 91380 A 1 01 D	LAOTUD TRÜKIPLAAT	1	
3	ATM 14/ A91380 A 0 03 D	MULTICAL66	1	
	Materjal	Näitamata piirhälbed	Mass Moot 1:1	
Teostas	Taavi Väljaots	Nimetus LAOTUD TRÜKIPLAADI PAIGUTUS SOOJAARVESTI KARBIS		
Kontr.	Aivo Reinart			
Kinnitas	Aivo Reinart			
UT LOFY		Leht A.5	Tähis ATM 14/ A91380 A 1 00 K	Muudat





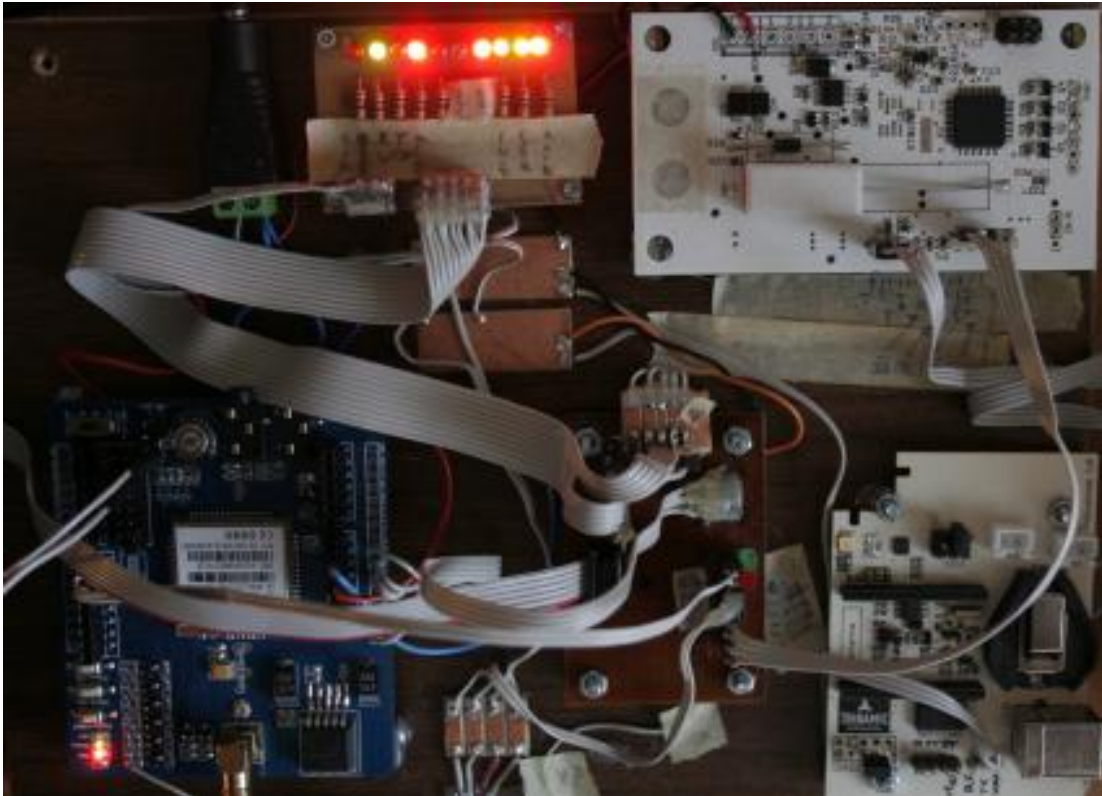
Märkused:  
 Antud joonis ei ole trükiplaadi valmistamiseks, vaid selle kabariitide näitamiseks.

	Materjal	Näitamata piirhälbed	Mass	Mõõt 1:1
Teostas	Taavi Väljaots	LAOTUD TRÜKIPLAAT		
Kontr.	Aivo Reinart			
Kinnitas	Aivo Reinart			
UT LOFY		Leht A.6	Tähis ATM 14 / A 91380 A 1 01 D	Muudat

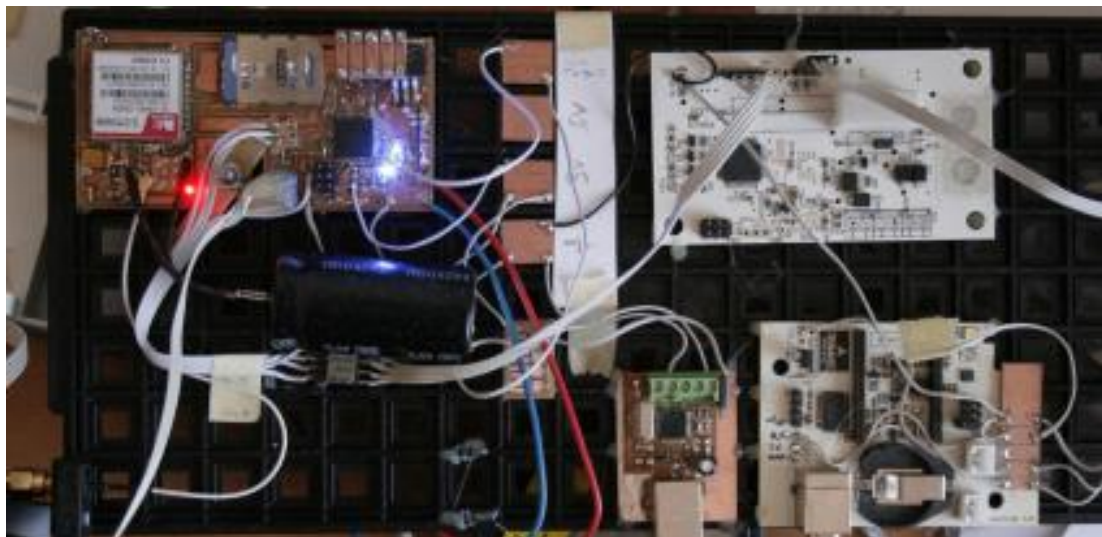


Teostas	Taavi Väljaots	Nimetus		
Kontr	Aivo Reinart	<b>GSM mooduli elektroonika</b>		
Kinnitas	Aivo Reinart			
<b>UT LOFY</b>		Leht	Tähis	Muudat
		A.7	ATM 14/ A91380 A 2 00 S	

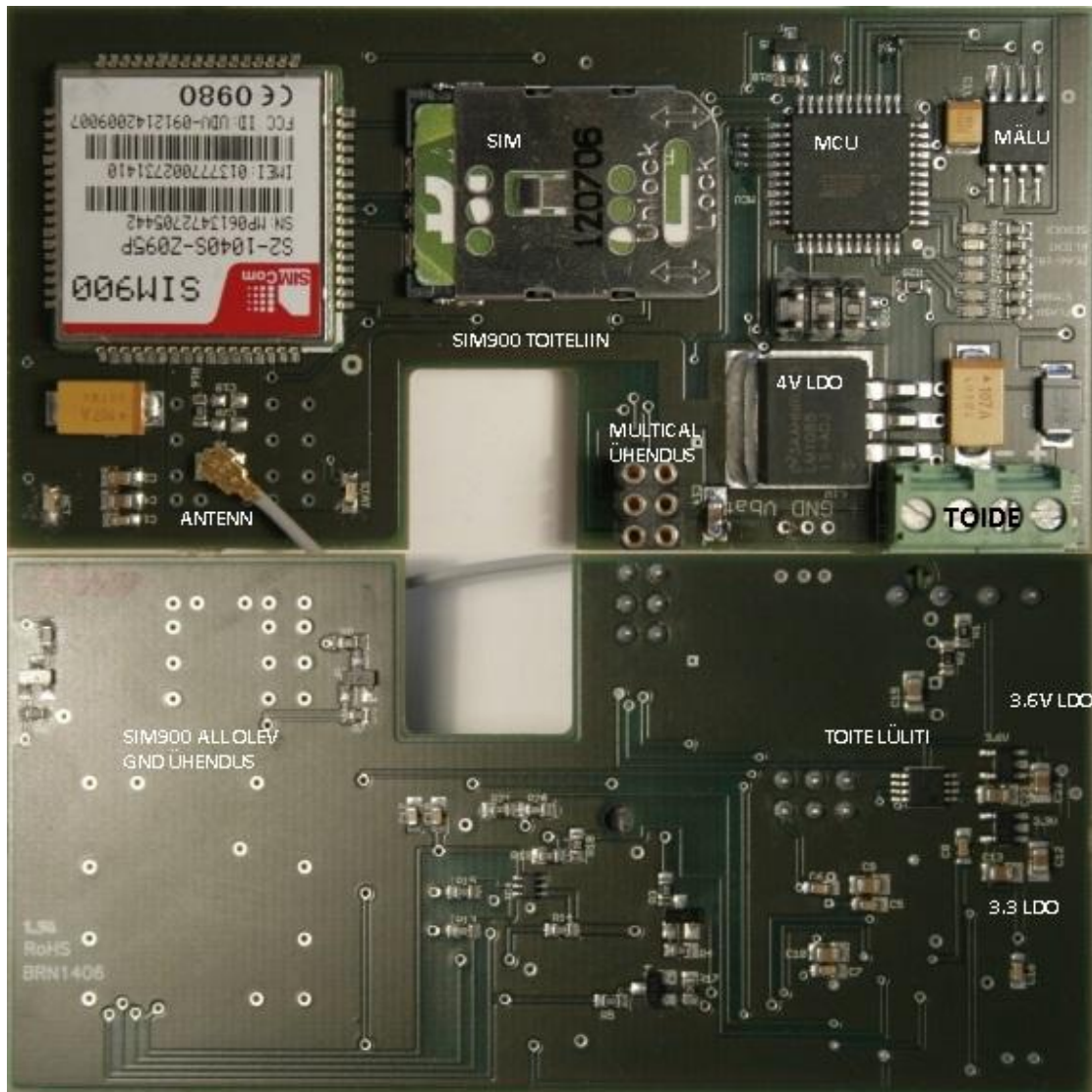
**Lisa B. Fotod**



**Joonis B.1.** Esimene prototüüp. Vasakul all paikneb SIM900 arenduslaud (sinine), keskel ATxmega32D4 plaat (pruun), paremal USB-jadavärati (ingl. *USB to COM port*) ühendused seadme töö jälgimiseks (valged), üleval keskel süsteemi tööd inditseerivad LEDid.

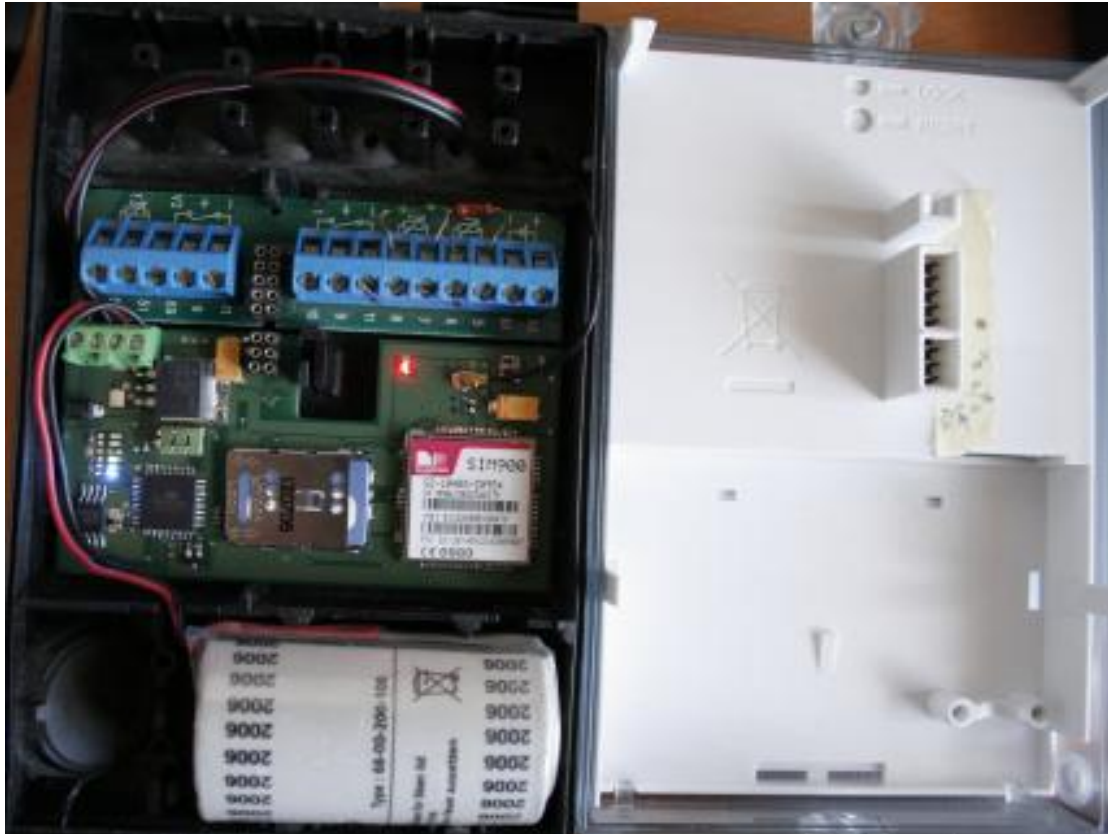


**Joonis B.2.** Teine prototüüp. Üleval vasakus nurgas paikneb GSM seade. Paremal on USB-jadavärati ühendused seadme töö jälgimiseks.



**Joonis B.3** Kolmas prototüüp. Vaade trükkplaadi pealt ja alt. Vaata peatükki 4.2.3.





**Joonis B.4.** Kolmas prototüüp paigutatuna Kamstrupi soojarvestite karpi koos patareiga. Paremalt on näha soojarvestit alumine osa ja selle ühendusi.



## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Taavi Väljaots,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

„KAMSTRUP SOOJAARVESTITE KAUGLUGEMISSEADE LÄBI GSM  
VÕRGU“,

mille juhendaja on Aivo Reinart,

- 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
- 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartu, **21.05.2014**