



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOI  
INSENERITEADUSKOND  
Elektroenergeerika ja mehhatroonika Instituut

## **KESKPINGE MÕÕTEKAPI MODIFIKATSIOONID**

### **MEDIUM VOLTAGE MEASURING CABINET MODIFICATIONS**

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Mart Joosep Pürn

Üliõpilaskood 164383

Juhendaja: Priit Põdra, TalTech vanemlektor

*(Tiitellehe pöördel)*

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

18.05.2021

Autor: Mart Joosep Pürn

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

18.05.2021

Juhendaja: Priit Põdra

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....." .....2021... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

# **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Mart Joosep Pürn (autori nimi) (sünnikuupäev: 05.02.1997 )

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose  
Keskpinge Mõõtekapi Modifikatsioonid

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on  
Priit Põdra,

(juhendaja nimi)

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

---

<sup>1</sup>Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

\_\_\_\_\_ (allkiri)

\_\_\_\_\_ (kuupäev)

# Elektroenergeetika ja mehhatroonika Instituut

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Mart Joosep Pürn, 164383..... (nimi, üliõpilaskood)  
Õppekava, peeriala: MAHB, Mehhatroonika.....(kood ja nimetus)  
**Juhendaja(d):** TalTech vanemlektor, Priit Põdra, +372 6203272.....  
(amet, nimi, telefon)  
**Konsultant:** Vanem mehaanikainsener, Ardo Klaos.....(nimi, amet)  
ABB AS, +372 56801754, ardo.klaos@ee.abb.com..... (ettevõtte, telefon, e-post)

### Lõputöö teema:

(eesti keeles) „Keskpinge Mõõtekapi Modifikatsioonid“

(inglise keeles) „Medium Voltage Measuring Cabinet Modifications“

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Valida ja integreerida arvesti olemasoleva keskpinge mõõtekapiga
2. Valida nõuetekohane pingereguleerimiseseade ja lisada lahendusse
3. Lahenduse simulatsioonid ja analüüsid

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Valida arvesti ja reguleerimiseseade vastavalt nõuetele	10.04.21
2.	Integreerimislahenduse simulatsioonid ja analüüsid	24.04.21
3.	Integreerimislahendus valmis	31.04.21

**Töö keel:** Eesti keel..... **Lõputöö esitamise tähtaeg:** 18.05.2021 a

**Üliõpilane:** Mart Joosep Pürn..... ".....".....2021 a  
/allkiri/

**Juhendaja:** Priit Põdra..... ".....".....2021 a  
/allkiri/

**Konsultant:** Ardo Klaos..... ".....".....2021 a  
/allkiri/

**Programmijuht:** Mart Tamre..... ".....".....2021 a  
/allkiri/

*Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel*

# SISUKORD

.....	3
EESSÕNA .....	8
Lühendite ja tähiste loetelu.....	9
SISSEJUHATUS .....	10
1 Nõuded lahendusele.....	11
1.1 Üldised nõuded.....	11
1.2 Tehnilised nõuded.....	11
1.2.1 Võrgu või süsteemi parameetrid.....	11
1.2.2 Lubatud ümbrusolud ja talitustingimused .....	11
1.2.3 Elektrilised nõuded .....	12
1.2.4 Konstruktsioon .....	12
1.2.5 Tähistused ja dokumentatsioon .....	13
1.2.6 Katsetused.....	14
1.2.7 Lisanõuded .....	14
1.2.8 Tehnilised andmed või info .....	14
2 KPMK spetsifikatsioonid .....	16
2.1 Mehaanilised parameetrid ja baaslahenduse analüüs .....	16
2.2 Mõõtekapi baas-konfiguratsioonid.....	16
2.2.1 Konfiguratsioon 1 .....	16
2.2.2 Konfiguratsioon 2.....	16
2.2.3 Konfiguratsioon 3 .....	17
2.2.4 Konfiguratsioon 4.....	17
2.2.5 Konfiguratsioon 5 .....	17
2.2.6 Konfiguratsioon 6.....	17
2.2.7 Konfiguratsioon 7 .....	17
2.2.8 Konfiguratsioon 8.....	17
2.2.9 Konfiguratsioon 9.....	18
2.2.10 Konfiguratsioon 10.....	18
2.3 Elektrilised parameetrid.....	18
2.3.1 TPU 5x.xx sisemine tugipinge trafo.....	18
2.3.2 Sisemine pingetrafo, kahe vardaga, KGUG .....	19
2.3.3 TJC 4 sisemine pinge trafo .....	19

2.4 Hinnang baaskonfiguratsioonidele ja edasine töökäik .....	20
3 Integreerimise lahendus .....	21
4 Esimene integreerimise lahendus .....	22
4.1 Lahenduse kirjeldus .....	22
4.2 Simulatsioon .....	23
4.2.1 Simulatsiooni eesmärk ja tingimused .....	23
4.2.2 Simulatsiooni tulemused .....	23
4.2.3 Simulatsiooni analüüs .....	24
4.3 Elektriinseneride tagasiside .....	25
4.4 Tähelepanekud disaini osas .....	25
4.5 Tarnimise ja tehase seisukohast .....	25
4.5.1 Tarnimise seisukohast .....	25
4.5.2 Tehase seisukohast .....	26
4.6 Hinnang lahendusele .....	26
5 Teine integreerimise lahendus .....	27
5.1 Lahenduse kirjeldus .....	27
5.2 Simulatsioon .....	29
5.2.1 Simulatsiooni eesmärk ja tingimused .....	29
5.2.2 Simulatsioonide tulemused .....	29
5.2.3 Simulatsioonide analüüs .....	30
5.3 Elektriinseneride tagasiside .....	31
5.4 Tähelepanekud disaini osas .....	31
5.5 Tarnimise ja tehase seisukohast .....	31
5.5.1 Tarnimise seisukohast .....	31
5.5.2 Tehase seisukohast .....	31
5.6 Hinnang lahendusele ja vastavus nõuetele .....	32
6 Kolmas integreerimise lahendus .....	33
6.1 Lahenduse kirjeldus .....	33
6.2 Simulatsioon .....	35
6.2.1 Simulatsiooni eesmärk ja tingimused .....	35
6.2.2 Simulatsiooni tulemused .....	35
6.2.3 Simulatsiooni analüüs .....	36
6.3 Elektriinseneride tagasiside .....	37
6.4 Tähelepanekud disaini osas .....	37

6.5 Tarnimise ja tehase seisukohast.....	37
6.5.1 Tarnimise seisukohast.....	37
6.5.2 Tehase seisukohast .....	38
6.6 Hinnang lahendusele ja vastavus nõuetele .....	38
7 Sekundaarsed muutused .....	39
7.1 Uued mõõtekapi kesta koostud.....	39
7.2 Muutused olemasolevates detailides .....	39
8 Järgnevad protsessid .....	40
KOKKUVÕTE .....	41
9 Summary.....	43
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	46

## EESSÕNA

Käesoleva lõputöö teema on algatatud ABB AS poolt, tööülesande näol. Lõputöö alustamise ajal oli autor ABB AS, CSS tehase, praktikant, mehaanikainseneri ametikohal. Kõik tööks vajalikud tööriistad, programmid ja algandmed on saadud ABB'lt. Juhendajateks on ABB-poolne konsultant vanem mehaanikainsener Ardo Klaos ja TalTech-poolne juhenda Priit Põdra.

Tööülesande jaoks pärineb sisend ABB kliendi poolt. Probleem seisneb selles, et tellitud alajaamades asub arvesti seade jaama sisemises plaanis eemal keskpinge mõõtekapist. Selline seadmete paigutus on kulukas, peamiselt kaablite maksumuse pärast, ja ABB CSS tehasele ajakulukas töö. Sellest tulenevalt püstitati ülesanne modifitseerida keskpinge mõõtekapi konstruktsiooni – integreerida selle konstruktsiooni arvesti kinnitus, mis vastaks kliendi soovidele ja üldistele ABB standarditele.



## Lühendite ja tähiste loetelu

KPMK – Keskpinge mõõtekapp

BOM – Materjalide loetelu (ingl k *Bill Of Materials*)

CSS – Kompaktne sekundaarne alajaam (ingl k *Compact Secondary Substation*)

IP20 – kaitseaste kuni 12mm suuruste objektide vastu, kuid mitte vedelike vastu

## SISSEJUHATUS

Lõputöö teema on algatatud ABB AS poolt, tööülesande näol. Ülesande sisend on ABB kliendi poolt. Probleem seisneb selles, et tellitud alajaamades asub arvesti seade jaama sisemises plaanis eemal keskpinge mõõtekapist. Selline paigutus tõstab toote müügi - ja tootmishinda, kuna kaablite valmistamine on kulukas ja nende paigaldamine alajaama seintele on aeganõudev töö.

Hetkeline lahendus on tehtud viis aastat tagasi ja oli sellel hetkel parim modulaarne lahendus KPMK'le, kuna arvesteid on erinevaid, siis ei tehtud kohe integreeritud lahendust, vaid hoiti need kaks komponenti eraldi; peamiselt sellepärast, et konstrueerimise pealt aega kokku hoida. Nüüd on ülesandeks teha KPMK'le lahendus, mis vastaks kliendi nõuetele. Uus lahendus peaks hoidma ära üleliigse materjali kulu, seda peamiselt kaablite valmistamise ja paigaldamise näol. Konstrueerimisel peab arvestama ka komplekteerimise protsessiga ehk siis disain peab sobima juba olemas oleva mõõtekapi konstruktsiooniga niimoodi, et komplekteerimise protsess jääks ajaliselt suuremas osas samaks ja ei segaks pärast KPMK komplekteerimist elektritöid.

Probleemi lahendamine koosneb neljast etapist, esmalt põhjalik ülevaade kliendi nõuetest. Teiseks analüüsida baaslahenduse konfiguratsioonide konstruktsioone ja formuleerida edasine töökäik. Kolmandaks on alustada disaini ja dokumenteerida kogu disainiprotsessi; disaini kirjeldus, simulatsioonid, tagasiside ja hinnang disaini lahendusele. Neljandaks etapiks on anda ülevaade disainile järgnevatest protsessidest. Disainimiseks on kasutatud SolidWorks CAD tarkvara, simulatsioonide jaoks on kasutatud SolidWorks simulatsioonide keskkonna, staatilist analüüsi.

# **1 Nõuded lahendusele**

Kuna kliendi poolt tuli muutuse esialgne sisend, siis sai võetud nende spetsifikatsioonid keskpinge mõõtekapile.

## **1.1 Üldised nõuded**

Täidetud peavad olema standardid EVS-EN 62271-12 ja EVS-EN 62271-2001 või EVS-EN 61936-13 või nendega samaväärsed standardid. See tähendab, et ABB poolt peab olema esitatud kliendile vastavusdeklaratsioon ja kogu tehniline teave antud toote kohta. [1]

## **1.2 Tehnilised nõuded**

### **1.2.1 Võrgu või süsteemi parameetrid**

Parameetrid, mis mõjuvad tervele KPMK sees olevale süsteemile. Süsteemi nimipinge 12/20kV ja suurim lubatav kestevpinge 24kV, sagedus peab jääma 50 Hz juurde. Neutraali maandamisviis peab olema kas isoleeritud või resonantsmaandatud, sellega seoses peab piirduma maksimaalne maaühenduse kestvusaeg kaheksa tunniga. [1]

### **1.2.2 Lubatud ümbrusolud ja talitustingimused**

Sisepaigaldis on kas EVS-EN 61936-1 või EVS-EN 62271-1 järgi suletud elektrikäiduala, ainult volitatud isikutele on ligipääs. Välise keskkonna puhul on järgmised tingimused: ümbritseva õhu temperatuur ei tohi ületada +40 °C ega olla madalam kui -25 °C. KPMK, ja sellega seoses ka jaam ise, ei tohi paikneda kõrgemal kui 1000 meetrit merepinnast. Suhteline mõõdetav keskmine niiskustase 24 tunni vältel ei tohi ületada 95%. [1]

### 1.2.3 Elektrilised nõuded

Latistiku parameetrid on samad mis süsteemi omad, ehk siis latistiku nimipinge on 24kV, sagedus 50Hz ja latistik on kolmefaasiline. Tööpinge on määratud vastavalt individuaalsele tellimusele kas 6,3kV, 10,5kV, 15,75kV või 21,0kV. Normitud väärtusteks latistikul on välguimpulsstaluvuspinge 125kV ja lühiajaline võrgusageduslik pinge 1 minuti jooksul: 50kV. Mõõtekapi nininormaalalitusvool märgitakse vastavalt tellimusele, voolutrafode nininormaalvoolu järgi. Ahelate nimitaluvusvoolud on fikseeritud, termiline on miinimum 5,1 kA/1s ja dünaamiline 40kA. [1]

### 1.2.4 Konstruksioon

- Pinnatöötlus ja materjal - mõõtekapi üldises konstruksioonis on materjalideks teras (ABBs on kasutusel teras DX51D+Z275 MAC) või alumiinium, millest tehtud paneelid peavad olema kas kuumtsingitud, pulbervärvitud või roostevabad. [1]
- Juhtide materjal – lattide ja kaablite puhul olema kasutusel kas alumiinium või vask. [1]
- Kaheosaline konstruksioon:
  1. Keskpingelahter – sisenevate ja väljuvate keskpingekaablite ühenduste kohad, latistik, voolu- ja pingetraford. [1]
  2. Mõõtelahter – paikneb keskpingelahtri peal. Selles lahtris asuvad voolu- ja pingetrafode lahutus-lühistusklennid ja sekundaarjuhtmestik, kaitselülitid, arvesti koht ja juhtistik, ferrolesonantsi summutusseade, olemasolul omatarbe väljundklennid jms. [1]
- Eelistatud on lahendus, kus mõõtelahter ja keskpingelahter moodustavad konstruksioonilise terviku, kus ahelate montaaž on tehtud täies mahus tehases, v.a arvesti ühendamine, mis tehakse mõõtekapi paigaldaja poolt. [1]
- Kui keskpingelahter ja mõõtelahter ei moodusta konstruksiooniliselt ühte tervikut, siis peavad mõlemad lahtrid sisaldama ettevalmistatud või paigaldaja poolt läbistatavaid läbiviike sekundaarühenduste, omatarbetafo olemasolul ka omatarbe ühenduste, teostamiseks lahtrite vahel. [1]
- Antenniava – arvesti koha läheduses peab olema läbiviik kaugloetava arvesti antenni ja kaablite jaoks. Antenni otsik on läbimõõduga 10 mm, ja antennikaabel läbimõõduga 4 mm. Läbiviigid läbistatakse antenni ja kaabli paigaldamisel. [1]
- IP-aste:
  1. Suletuna – mõõtekapp peab tagama vähemalt IP20 astme. [1]
  2. Avatud – mõõtelahteril peab olema tagatud vähemalt IP20. Keskpingelahter peab olema eraldatud uksega. Mõõtelahtri teenindamine peab olema ohutult võimalik ka siis, kui mõõtekapp on pingestatud. [1]

- Keskpingelahtri uks/kate peab olema eemaldatav või siis avanema vähemalt 90 kraadi. [1]
- Uste lukustus:
  1. Mõõtelahtri lukk - kolmnurk-lukk, käsitsi lukustusest avatav või siis avatud. [1]
  2. Keskpingelahter – ust või katet peab saama avada ainult tööriista või võtmega, uks ei tohi olla avatav ainult selle eest tõstmisega, käepidemega või muul sarnasel lihtsal viisil. [1]
- Väljuvad keskpingekaablid peavad olema ühendatud mõõtekapi alt. [1]
- Väljuvate 3-faasiliste kaablite võimalik arv ja suurim võimalik ristlõige:
  1.  $I_r \leq 400 \text{ A}$ , 1x(kuni  $3 \times 300 \text{ mm}^2$ ) [1]
  2.  $I_r > 400-600 \text{ A}$ , 2x(kuni  $3 \times 300 \text{ mm}^2$ ) [1]
- Ühendusi peab olema võimalik teha nii, et on tagatud 24kV isolatsioonitasemele nõutud õhkvahemikud, seal hulgas paralleelkaablite otsamuhvide vaheline õhkvahemik samas faasis, miinimum 25mm. [1]
- Keskpingekaablite kinnituslatt ja -klambrid – nõutud vastavalt kaablite ja soonte arvule. [1]
- Vahemaa väljund- ja sisendklemmide ava tsentrist kaabli kinnitamise lati ülemise servani peab olema miinimum 350mm, kui sisenevad/väljuvad kaablid ühendatakse otsamuhvide, mitte nurkliidestega. [1]
- Maanduslatt – maandamist vajavad vaskkaabli  $35 \text{ mm}^2$  maanduskõis ja kolme soone ekraanid, kokku 4 ühendust ühe kolmesoonelise kaabli kohta. Lisaks peab olema üks vaba koht kapi ühendamiseks peamaanduslatiga, kui seade ei ole integreeritav jaotusseadmega või tarnitud alajaama/jaotuspunktiga. [1]
- Mõõtekapp peab olema paigaldatav pörandale, kanali kohale. [1]

### 1.2.5 Tähistused ja dokumentatsioon

Kliendile tuleb esitada:

- Eestikeelne paigaldusjuhend on tarnitava seadmega nõutud juhul, kui KPMK tarnitakse alajaamast eraldi ja ei paigaldata alajaama tehase poolt jaama. [1]
- Seadme operatsiooni -ja hooldusjuhised. [1]
- KPMK elektriline skeem, primaar- ja sekundaarahelad. Üksikseadmed, mida pole koostesse paigaldatud, kuid võivad olla paigaldatud hiljem, peavad olema kujutatud elektriskeemil punktiirjoonega. [1]
- Mõõtekapi joonised koos mõõtmete, seadmete paigutuse ja nimetusega.

Nõutud on nimesilt KPMK tootja ja mõõtekapi andmetega, s. h. tüübitähis, nimivool ja tööpinge, kaitseaste.[1]

## 1.2.6 Katsetused

Kui katsetus on asjakohane:

- Tüübikatsetused vastavalt standardile EVS-EN 62271-1 ja EVS-EN 62271-200 või EVS-EN 61936-1 [ ]

Katsetuse tulemuste esitamine koos tarnitava kaubaga, kui katsetus on asjakohane:

- Ühiku- ja tavakatsetused vastavalt standardile EVS-EN 62271-1 ja EVS-EN 62271-200 või EVS-EN 61936-1 [1]

## 1.2.7 Lisanõuded

- Komponentide valik peab tagama, et seadme osadel ei tekiks galvaanilist korrosiooni. [1]
- Mõõtekapi alumises osas peavad olema kinnituspunktid kandekonstruksiooniga, kui asjakohane. [1]
- Mõõtekapi juhtmestik peab olema püsiv. [1]

## 1.2.8 Tehnilised andmed või info

- Nõutud on, et kui mõõtekapp pole integreeritud alajaama, siis oleks võimalus tellida seda eraldi, olenevalt hanke tingimustest. [1]
- Ferroresonantsi summutusseadme tüübitähis ja tootja, vastavalt tellimusele. Seadme tüüp näidatakse hankija poolt tellimuses. [1]
- Esitada tuleb pingetrafoode valmistaja ja tüüp, kontrolliks, et kas pingetrafood omavad kliendi heakskiidu tunnust. [1]
- Esitada tuleb voolutrafoode valmistaja ja tüüp, kontrolliks, et kas pingetrafood omavad kliendi heakskiidu tunnust. [1]
- Nõutud on lühike kirjeldus madalama tööpingega/isolatsiooninivooga mõõtetrafoode vahetamise võimalusest objektil, vastavalt tootja juhendile kliendi valitud partneri poolt  $U_m =$  kuni 24kV pingetrafoode vastu. [1]
- Lisa pingetrafo valmistaja, tüüp, võimsused ja nimipinged vastavalt projektile miinimum 2kVA või miinimum 4kVA, pidev koormus, juhul kui KPMK on tellitud eraldi seadmena. Kui mõõtekapp paigaldatakse alajaama kesta tootja tehas, siis võib võimsus olla valitud tootja seadmete võimsusest lähtuvalt. [1]
- Nõutud on, et lisapingetrafo ja pingetrafood on elektriliselt ühendatud enne voolutrafosid toite poolt.[1]
- Lisapingetrafo olemasolul peab selle kaitseks olema MP poolele paigaldatud kaitseüliti, mis peab paiknema mõõtelahtri osas. Ahelad peavad olema võimalikult lühikesed ja nende vigastumise oht peab olema minimeeritud.

Kaitselüliti karakteristik peab olema sobiv kaitsmaks pingetrafot ülekoormamise eest. [1]

- Kas on võimalik kasutada ka mitme mähisega voolutrafosid ühisel südamikul, näiteks ülekandega X/1/1A? [1]
- Kas on võimalik kasutada ka kolme sekundaarmähisega pingetrafot, näiteks 0,2/0,5/3P? [1]
- Esitada tuleb info paigaldusreferentside kohta, koos kliendi nime ja kontaktandmetega, mõõtekapi tüübitähis ja aasta. [1]

## **2 KPMK spetsifikatsioonid**

Selles peatükis on baaslahenduse analüüs ja edasise töökäigu kirjeldus.

### **2.1 Mehaanilised parameetrid ja baaslahenduse analüüs**

Möötekapi gabariit mõõtmed: pikkus 965mm, laius 800mm ja kõrgus 1801mm. Antud ülesande puhul ei kuulu need mõõtmed muutmisele, kuna mõõtmete muutmine võib tekitada konflikti alajaama üldises planeerimises ja komplekteerimises. Kapi paneelid on lehtmetailist, kaasa arvatud uksepaneel. Uks on kapi külge kinnitatud haakidega, ehk siis uks tõstetakse haakidele ja turvalisuse huvides lukustatakse poldiga kapi pealmise profiili külge. Möötekapi külgedel ja põrandaplaadis on läbiviigud ja avad kaablite vedamiseks, vastavalt konfiguratsioonile. Kapi sisemuses on profiilid ja raamid trafode paigaldamiseks, sammuti vastavalt konfiguratsioonile. Igas konfiguratsioonis on ka maandussüsteem: universaalne peamaandus latt ja lisaks sellele igale konfiguratsioonile vastavad trafo kinnitusraami maanduslatid.

### **2.2 Möötekapi baas-konfiguratsioonid**

Lühikirjeldused möötekapi konfiguratsioonide konstruktsioonist ja sisust.

#### **2.2.1 Konfiguratsioon 1**

- Esimesel konfiguratsioonil on küljepaneelidel asuvad kaablite avad kaetud õhukese lehtmetailist kattega. Trafode paigaldamiseks mõeldud raamistik ja maandus asub vasakul küljepaneelil. Möötekapi põhjas on kaablite vedamiseks ava ja kinnituspunktid. See konfiguratsioon on mõeldud kasutamiseks ainult põhjast kaablite vedamisel.
- Antud möötekapi konfiguratsiooni maksimum pinge on 12kV.

#### **2.2.2 Konfiguratsioon 2**

- Teisel konfiguratsioonil on vasaku küljepaneeli kaablite ava kaetud lehtmetailist kattega, paremal küljepaneelil on kaablite jaoks läbiviigud (Lisa pilt läbiviigust). Trafode paigaldamiseks mõeldud raamistik ja maandus asub vasakul küljepaneelil. Paremal küljepaneelil on paigaldatud isolaatorid. Isolaatorid ja raamistikul paigaldatud alumised trafod on ühendatud vasest latiga. Möötekapi põhjas on kaablite jaoks ava ja kinnitused.



- Antud mõõtekapi konfiguratsiooni maksimum pinge on 12kV.

### **2.2.3 Konfiguratsioon 3**

- Kolmanda konfiguratsiooni paremal küljepaneelil on kaablite läbiviigud, vasakul küljepaneelil on trafode raamistik ja nende maandus. Paremal küljepaneelil on ühe trafo jaoks veel üks raam. Vasaku raamistiku kaks ülemist trafot ja paremal asuv lisatrafo on ühendatud vasest lattidega.
- Antud mõõtekapi konfiguratsiooni maksimum pinge on 12kV.

### **2.2.4 Konfiguratsioon 4**

- Neljanda ja kolmanda konfiguratsiooni vahe on põhjas ja trafode vahelises ühenduses. Neljandal konfiguratsioonil on põhjas kaks kaablite kinnitus punkti. Vasaku ja parema raami trafode vahel pole vask latti.
- Antud mõõtekapi konfiguratsiooni maksimum pinge on 12kV.

### **2.2.5 Konfiguratsioon 5**

- Viies konfiguratsioon on konstruktsioonilt samasugune, nagu esimene. Ainus vahe on paigaldatud trafode osas, mis tõstavad selle konfiguratsiooni maksimum pinget 24kV'ni.

### **2.2.6 Konfiguratsioon 6**

- Kuues konfiguratsioon on konstruktsioonilt sarnane teise konfiguratsiooniga. Ainus vahe on paigaldatud trafode osas, mis tõstavad selle konfiguratsiooni maksimum pinget 24kV'ni.

### **2.2.7 Konfiguratsioon 7**

- Seitsmes konfiguratsioon on konstruktsioonilt sarnane kolmanda konfiguratsiooniga. Ainus vahe on paigaldatud trafode osas, mis tõstavad selle konfiguratsiooni maksimum pinget 24kV'ni.

### **2.2.8 Konfiguratsioon 8**

- Kaheksas konfiguratsioon on konstruktsioonilt sarnane neljanda konfiguratsiooniga. Ainus vahe on paigaldatud trafode osas, mis tõstavad selle konfiguratsiooni maksimum pinget 24kV'ni.

## 2.2.9 Konfiguratsioon 9

- Üheksandal konfiguratsioonil on mõlema küljepaneeli kaablite avad kaetud. Trafode paigaldamiseks on raamistik vasakul küljepaneelil, kuue trafo jaoks, ja profiil paremal küljepaneelil ühe trafo jaoks. Parema küljepaneeli peale paigaldatud trafo alla on paigutatud kaks isolaatorit. Vasaku küljepaneeli trafode maandamiseks on vasest maanduslatid, mis on ühendatud peamaanduslatiga. Parema küljepaneeli trafo on vask lattidega ühendatud isolaatoritega ja isolaatorid on omakorda ühendatud vasaku küljepaneeli alumiste trafodega. Mõõtekapi põhjas on ava kaablite vedamiseks ja kuus kinnituspunkti kaablite fikseerimiseks.
- Antud mõõtekapi konfiguratsiooni maksimum pinge on 12kV.

## 2.2.10 Konfiguratsioon 10

- Kümnes konfiguratsioon on üldiselt konstruktsioonilt sarnane üheksanda konfiguratsiooniga. Ainus vahe on paigaldatud trafode osas, mis tõstavad antud konfiguratsiooni maksimum pinge 24kV'ni.

## 2.3 Elektrilised parameetrid

Mõõtekapis on kasutusel trafod, mõõtetrafod, sisemised tugipinge trafod, vasest maanduslatid, kaablid ja kaablikinnitused. Trafod on ABBs kasutatavad standard trafod.

### 2.3.1 TPU 5x.xx sisemine tugipinge trafo

- Tehnilised parameetrid: kõrgeim seadme pinge 13.8-17.5 kV, võimsuse sageduse test pinge ühe minuti jooksul 10-42 kV, äikse impulsi test pinge kuni 95kV, hinnatud primaarne vool 10-3200 A, hinnatud lühiajaline termiline vool 2-100 kA/1s. [2]
- Kirjeldus: see trafo on valatud epoksiidvaigust ja disainitud isoleerima pingeid kuni 17.5 kV. [2] Pikema eluea jaoks on trafode paigaldatud „ribid“. Seda tüüpi trafot disainitakse kas ühe - või mitmekordsena, ühe trafo suhe või topelt suhe annab võimaluse uuesti ühendada primaar või sekundaar poolel.[2] Sekundaarmähiste arv oleneb tehniliste parameetrite kombinatsioonist; nagu näiteks täpsusklass, koormus, lühistus voolust, ülevoolu faktorist jne; ja transformeeri füüsilistest mõõtmetest. [2]
- Trafo võib olla paigutatud igas positsioonis ja peab olema fikseeritud nelja kruviga.[2] Maanduskamber M8 on trafo põhja plaadi küljes. [2]

### 2.3.2 Sisemine pingetrafo, kahe vardaga, KGUG

- Tehnilised andmed: kõrgeim seadme pinge 24; 36 kV. Võimsuse sageduse test pinge ühe minuti jooksul 50 kV; 70 kV. [3] Äikse impulsi test pinge 125 kV; 170 kV.[3] Maksimaalne termiline väljund 2000 VA. [3]
- Kirjeldus: trafo on valatud epoksiidvaigust ja peamiselt disainitud isoleerima 24 kV kuni 36 kV. [3] Teised isolatsiooniväärtused kehtestatakse tootja ja kliendi vahelise kokkuleppe alusel.[3] Kõik peamise mähise osad trafos on maast isoleeritud, kaasaarvatud terminalid, kuni hinnatud isolatsiooni tasemeni.[3] Kui on tegemist kolmefaasilise süsteemiga, siis trafo pea sisselaskevad on ühendatud vastavate liinidega, faas faasiga pinge, peamiselt „V” tüüpi ühendused.[3] Suurem osa trafo varustustest sisaldab ühte sekundaarset mähist, mis on mõeldud kas mõõtmiseks või kaitsmiseks.[3] Iga sekundaarse mähise üks terminal peab olema trafo töö ajal maandatud. [3]
- Trafo võib olla paigutatud igas positsioonis ja peab olema fikseeritud nelja kruviga. Maandusklamber M8 on trafo põhja plaadi küljes. [3]

### 2.3.3 TJC 4 sisemine pinge trafo

- Tehnilised parameetrid: Kõrgeim varustuse pinge 3.6 – 12 kV, võimsuse sageduse test pinge ühe minuti jooksul 10 – 42 kV, äikse impulsi test pinge 40 – 75 kV. Maksimum hinnatud koormus klassid 25/0.2 – 75/0.5 – 150/1 VA/cl. Ülejäänud mähis 50 – 200/6P VA/cl.[4]
- Kirjeldus: trafo on valatud epoksiidvaigust ja disainitud isoleerima peamiselt pinget vahemikus 3.6 kuni 12 kV. Kui muud ülepinge väärtust pole nõutud, siis valmistatakse see trafo ülepinge faktoriga  $1.9 \times U_n/8h$ . Üks primaarse mähise läbiviik, sealhulgas selle vastav terminal, peab olema maast isoleeritud tasemeni, mis vastab hinnatud isolatsiooni väärtusele. Trafo on varustatud peamiselt kahe sekundaarse mähisega, neist esimene on kas mõõtmiseks või kaitseks, ja teine on mõeldud „open delta” ühenduseks kolmefaasilises süsteemis. Üks terminal mõlemas sekundaarses trafos ja üks „open delta” ühendusega terminal peab olema maandatud trafo töö ajal. Kui pole teisiti nõutud, siis on viidud sekundaarne mähis „casttype” sekundaarse terminali plaadile. [4]
- Trafo võib olla paigutatud igas positsioonis ja peab olema fikseeritud nelja kruviga. Maandusklamber M8 on trafo põhja plaadi küljes. [4]

## **2.4 Hinnang baaskonfiguratsioonidele ja edasine töökäik**

Kuna mitmed konfiguratsioonid on oma sisemiselt ülesehituselt samad ja erinevad ainult paigaldatud trafode poolest, siis saab teatud konfiguratsioonid ära kaotada.

Selle tarbeks tuli võrrelda, tootmissüsteemis SAP, varasemaid tellimusi, et näha milliseid konfiguratsioone on varasemalt tellitud ja milliseid mitte. Võrdlemise käigus tuli välja, et suurem osa konfiguratsioone on varem tellitud ainult üksikutel juhtudel ja kaheksandat konfiguratsiooni pole varem kordagi tellitud. Esmased kontseptuaalsed integreerimise lahendused said tehtud enne konfiguratsioonide ühendamist ja varasemate tellimuste võrdlemist, vastavalt ülesande sisendile, kuid varasemate tellimuste analüüsi tulemusena tuli otsus mõõtekapi baaslahenduse konfiguratsioonid arhiveerida ja luua uus mõõtekapi koost, võttes kasutusele mõningad komponendid baaslahendusest – nagu näiteks küljepaneelid, põrandaplaat, tagumine seinaprofiil, trafode paigaldamise raamistik ja profiilid, kaablite läbiviigud, kaablite kinnitusklambrid ja maandussüsteem. Mõõtekapile uue koostu ja konfiguratsioonide loomine hoiab tulevikus tellimusele BOMi koostamisel aega kokku ja teeb olemasolevate lahenduste haldamise ja klientidele pakkumise lihtsamaks. Pärast seda otsust sai väike muutus tehtud esialgsele sisendile, eesmärgiks oli nüüd luua universaalsem mõõtekapi lahendus, kuhu on integreeritud arvesti ja mis vastaks kliendi tingimustele.

Edasine töökäik näeb esialgu ette mõõtekapi alamkoostu, kapi üldise konstruktsiooni, taasloomist, teiseks integreerimise lahenduste kontseptsioonide loomist ja mõõtekapi sisuga konfliktide otsimist, simulatsioonid ja nende analüüs ja lõpuks integreerimislahenduse valik.

### 3 Integreerimise lahendus

Kuna eesmärgiks on integreerida arvesti mõõtekappi niimoodi, et selle esipaneel oleks nähtav ja kasutatav tehnikule, siis on vaja mõõtekapile lisadetaili, kuhu arvesti kinnitada. Eelnevalt mainitud tingimusest peab arvesti kinnituspaneel asuma uksega samal küljel, kuid ei tohi olla kinnitatud ukse külge, kuna hooldustööde jaoks peab saama ust eemaldada. Lisaks kliendi nõuetele tuleb arvesse võtta ka elektriinseneride tagasisidet ja lisada võimalus paigaldada kinnitussiinidega lisaseadmeid.

Lahenduse loomisel peab kinni pidama ka ABB CSS tehase parimatest disaini tavadest. Lisaks sellele on vaja luua igale lahenduse variatsioonile joonis, vastavalt ABB CSS tehase jooniste standarditele. Nende jooniste põhjal peab olema võimalik toota vastavat lahendust, olenemata sellest, kas just see vastav lahendus saab kinnitatud ja läheb tulevikus uutes tellimustes kasutusele või mitte.

Kuna peatükis „2.2.11 Hinnang baaskonfiguratsioonidele ja edasine töökäik“ sai vastu võetud otsus arhiveerida vananenud konfiguratsioonid, siis on vajalik luua ka uus tootekood tervele mõõtekapile. See tähendab, et on vaja uuesti luua ka mõõtekapi kesta ja peakoostu joonised ja kanda uued tooted ka tootmissüsteemi SAP.

Igale integreerimise lahenduse variatsioonile tuleb teha ka simulatsioon, samamoodi olenemata sellest, kas lahendus on tulevikus kasutusel või mitte, peamiselt sellepärast, et simulatsioonide põhjal on võimalik hinnata teatud disaini elemente ja võtta need kasutusele järgmistes variatsioonides, kui tulemus on positiivne või rahuldav. Lahenduste teha ka kriitilise pilguga analüüs, selleks, et näha võimalikke puudujääke ja vigu. Lisaks personaalsele analüüsile sai konsulteeritud ka teiste mehaanikainseneridega ja saadud tagasisidet elektriinseneridelt, kes olid antud kliendi ja ülesandega seotud.

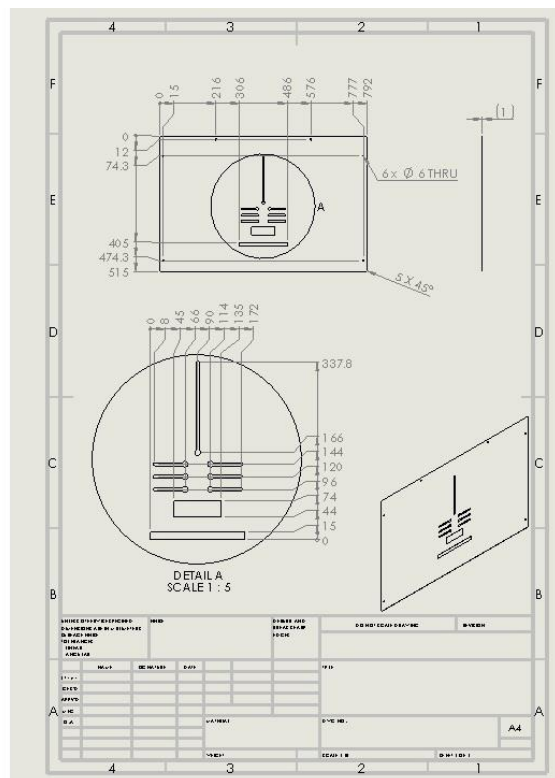
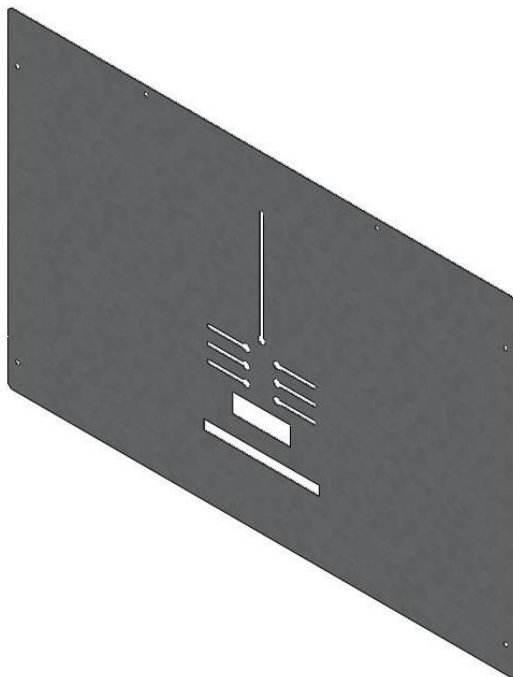
## 4 Esimene integreerimise lahendus

Selles peatükis saab ülevaate esimesest integreerimise lahendusest, kuidas ja mis tingimustel antud lahendusele sai simulatsioon tehtud, millised olid elektriinseneride kommentaarid lahendusele, autori tähelepanekud käesoleva lahenduse kohta, analüüs tarnimise ja tootmise seisukohast ja lõplik hinnang käesolevale lahendusele.

### 4.1 Lahenduse kirjeldus

Esimeseks disainiks on lihtne ühe millimeetrisest lehtmetailist paneel ilma paineteta (Lisa pilt paneelist). Paneeli keskel on väljalõiked arvesti kinnitamiseks ja arvesti kaablite vedamiseks, need väljalõiked on standard ja on kasutusel ka madalpinge seadme raamides. Lisaks arvesti väljalõigetele on paneeli nurkades avad paneeli kinnitamiseks mõõtekapi raami külge.

Esimene variatsioon sai loodud baasina, millest saaks edasi arendada lõpliku disaini. Selle lahenduse peamine eesmärk oli saada parem arusaam mõõtekapi üldisest kesta konstruktsioonist ja genereerida ideid stabiilsema lahenduse suunas. Sellest tulenevalt pole ka esimesel variatsioonil lisatud kinnitust ukse jaoks. Lisaks pole siin ka lisa avasid ja kinnituskohti lisaseadmete jaoks, küll aga on nende jaoks olemas ruumi kummalgi pool arvesti väljalõikeid.



Joonis 4.1. Integreerimise lahendus 1 – arvesti plaat

## 4.2 Simulatsioon

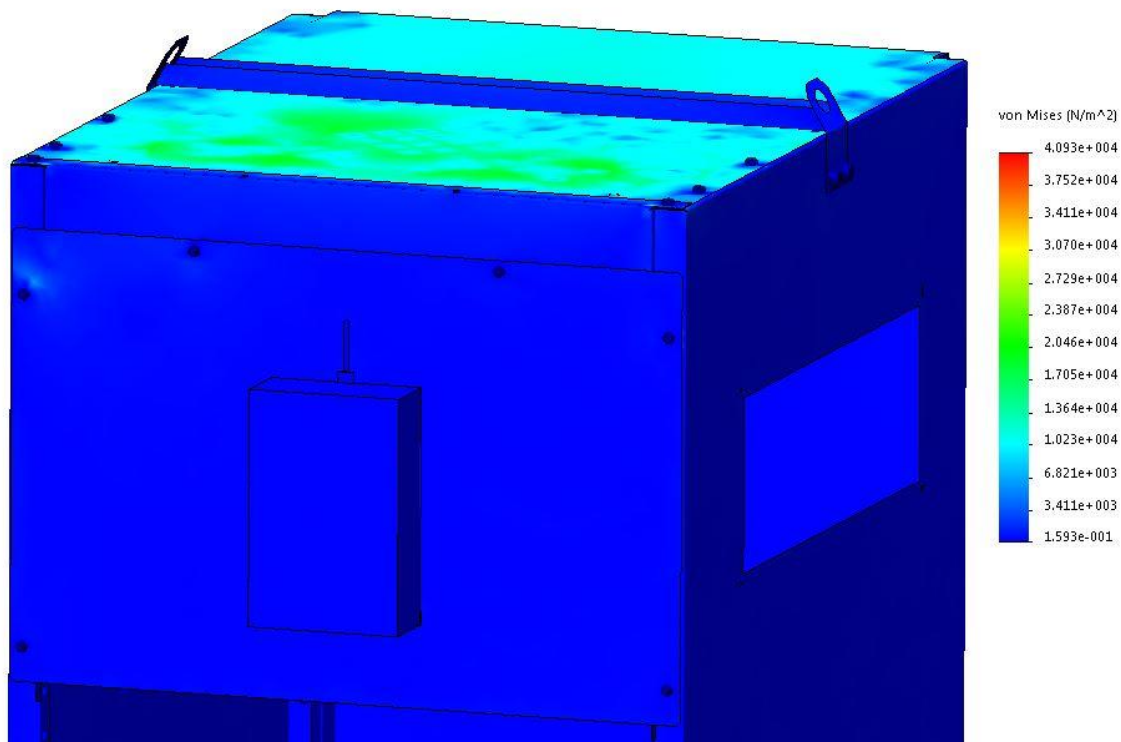
Simulatsioonide sooritamiseks kasutati SolidWorks 2016 simulatsiooni keskkonda, staatilise simulatsiooni vormi.

### 4.2.1 Simulatsiooni eesmärk ja tingimused

- Esimese lahenduse simulatsiooni eesmärgiks on näidata kuidas käitub ühe millimeetrine lehtmetsall möötekapi tõstmisel, kui hästi see arvestit kinni hoiab tõstmise käigus. Lisaks ka teha kindlaks millised kohad on disainis vastupidavuse poolest kõige nõrgemad ja millistes kohtades on materjali sisepinged kõige suuremad.
- Peamiseks jõuks simulatsioonis on gravitatsioon, kuna kõigil vastavatel komponentidel on materjalid ja kaalud määratud. Koost on simulatsiooni keskkonnas virtuaalselt fikseeritud tõsteasade punktides. Nende kahe tingimusega on simuleeritud möötekapi tõstmine kraanaga. Simulatsioon annab ülevaate kuidas kapi konstruktsioon ja integreerimise lahendus kraanaga tõstmisel käitub.

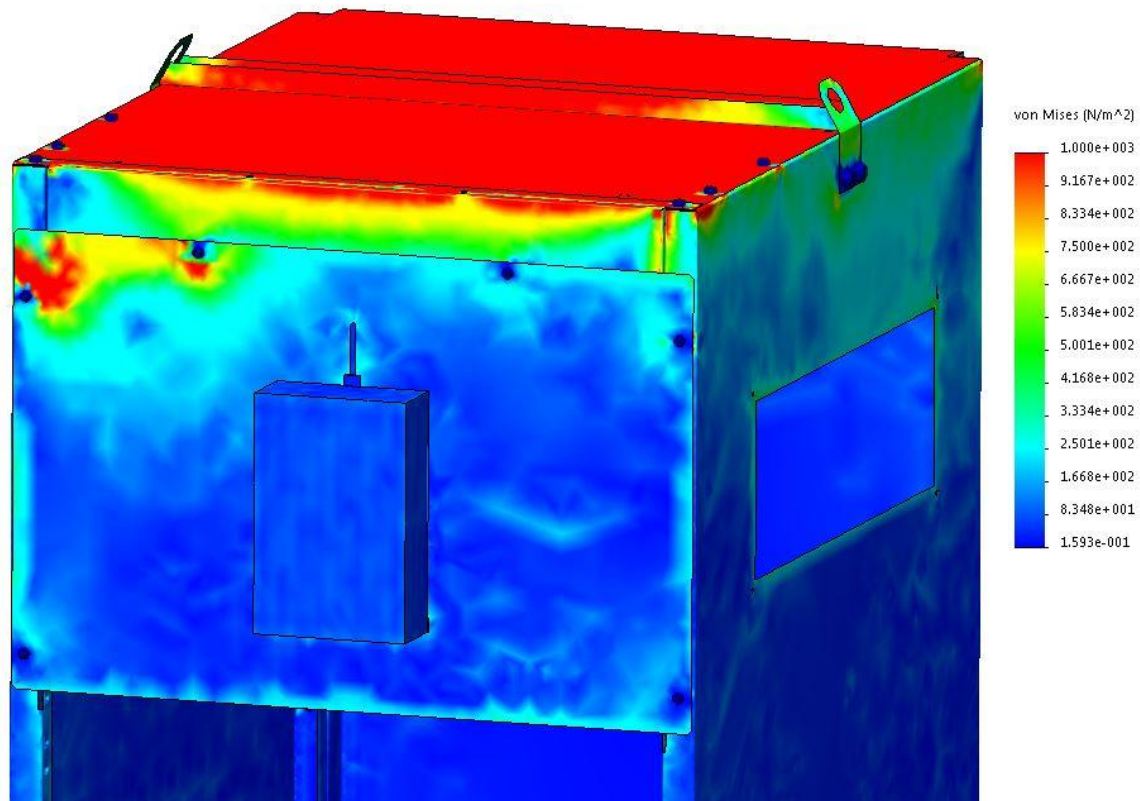
### 4.2.2 Simulatsiooni tulemused

Simulatsiooni tulemus von Mises pinge analüüsi tulemus, skaala ühik  $N/m^2$ . Antud simulatsiooni skaala sai genereeritud automaatselt.



Joonis 4.2. Automaatselt genereeritud skaala

Selleks, et paremini näha pinge mõjumist konstruktsioonis, on vaja vähendada skaala maksimumväärtust.



Joonis 4.3. Vähendatud skaalaga tulemused

### 4.2.3 Simulatsiooni analüüs

Simulatsiooni vähendatud skaalaga tulemuste järgi on kõige suuremad materjali sisepinged mõõtekapi katuseplaadis, katuseplaadi tugiprofiilis ja küljepaneelide ülemises tugiprofiilis. Sellist tulemust oli ka oodata, kuna simulatsiooni tingimuste järgi on tegemist mõõtekapi tõstmisega, ehk siis kõige suuremad pinged oleksidki pidanud olema mõõtekapi ülemistes komponentides, tõstepunktide läheduses.

Vähendatud skaalaga tulemuste põhjal on näha ka, et tõstmisel tekkivad sisepinged tekivad ka arvesti plaadis, kuid pole piisavad, et ületada materjali piirpinget ja kahjustada arvestiplaati või arvestit ennast.

Samuti näitab ka automaatselt genereeritud skaalaga simulatsiooni tulemus, et mõõtekapi tõstmisel ei saa mõõtekapp tekkivate sisepingete tagajärjel oluliselt kahjustada.



## **4.3 Elektriinseneride tagasiside**

Peamine tagasiside oli see, et arvesti paigutus oleks hea liigutada arvestiplaadil vasakusse äärde, sellise paigutusega oleks lihtsam arvesti kaableid vedada ja ühendada mõõtekapis.

Lisaks tuli ka soov, et disaini saaks lisatud avad ja kinnituskohad lisaseadmete jaoks. Arvesti kaablite ja kinnitamisväljalõigetele sooviti igaks juhuks lisaks veel üht ava sekundaarsete kaablite jaoks.

Kuna avasid juurde vaja, mis ei saa olema kaetud, nagu arvesti avad, siis oleks järgmises disainis vaja lisada ka isoleeriv plaat integreerimislahenduse taha.

## **4.4 Tähelepanekud disaini osas**

Peamine tähelepanek on see, et selline liiga lihtne disain ei taga IP20 mõõtekapi konstruktsioonis ära. Liiga suured avad jäävad lahenduse ja mõõtekapi ukse vahele. Lisaks pole selles disainis arvestiplaadi taga mitte mingit isolatsiooni mõõtekapi sisemiste seadmete ja arvesti vahel.

Simulatsioonide tulemuste põhjal on kindlasti vaja lisada igasse arvesti paneeli äärde paindeid, et sisepingeid veelgi hajutada ja tugevdada disaini.

## **4.5 Tarnimise ja tehase seisukohast**

### **4.5.1 Tarnimise seisukohast**

Tarnimise seisukohast oleks selline disain äärmiselt odav tellida, kuna tegemist on lihtsa nelinurkse lehega koos väljalõigetega.

Üldist mõõtekapi konstruktsiooni hinda teeks selline lahendus isegi odavamaks, kuna on tegemist lihtsa disainiga ja mõõtekapi konstruktsiooni uue disaini käigus sai vähendatud ka mõõtekapi uksepaneeli kõrgust, ehk siis ukse arvelt sai ka materjali säästetud. Selline säästmine materjali ja disaini pealt mõjutaks üldist hinda siiski üsna vähe.

Antud lahendusele ei sooritatud hinnapäringut, kuna tegemist on kontseptsioonilise disainiga.

### **4.5.2 Tehase seisukohast**

Tehases oleks esimest lahendust paigaldada lihtne. Kui üldine konstruktsioon on komplekteeritud ja trafod paigaldatud, siis on viimase detailina vaja kinnitada lahendus mõõtekapi küljepaneelide külge tõmbeneetidega.

Arvesti ja lisaseadmete paigaldamisel tuleks aga probleeme. Tehasele oleks see lisatöö lõigata kohapeal lahendusse lisaseadmete avad, vastavalt tellimusele. Lisaks poleks ka kaableid kiire ühendada sellise arvesti paigutamise puhul, kaableid peaks liiga palju painutama.

## **4.6 Hinnang lahendusele**

Kuna tegemist oli esimese kontseptsioonilise lahendusega, siis otseselt kriitilist hinnangut, et kas lahendus kasutusele läheb, anda ei saa. Küll aga täitis see esmane disain oma eesmärgi ja teisel disainil on potentsiaal kasutusele võtmiseks.

Järgneva disaini puhul peab arvesse võtma esimese disaini simulatsiooni tulemusi ja lisama arvestiplaadile painded. Uues disainis peavad sisse viidud olema ka kommentaarid ja soovid elektriinseneride poolt.

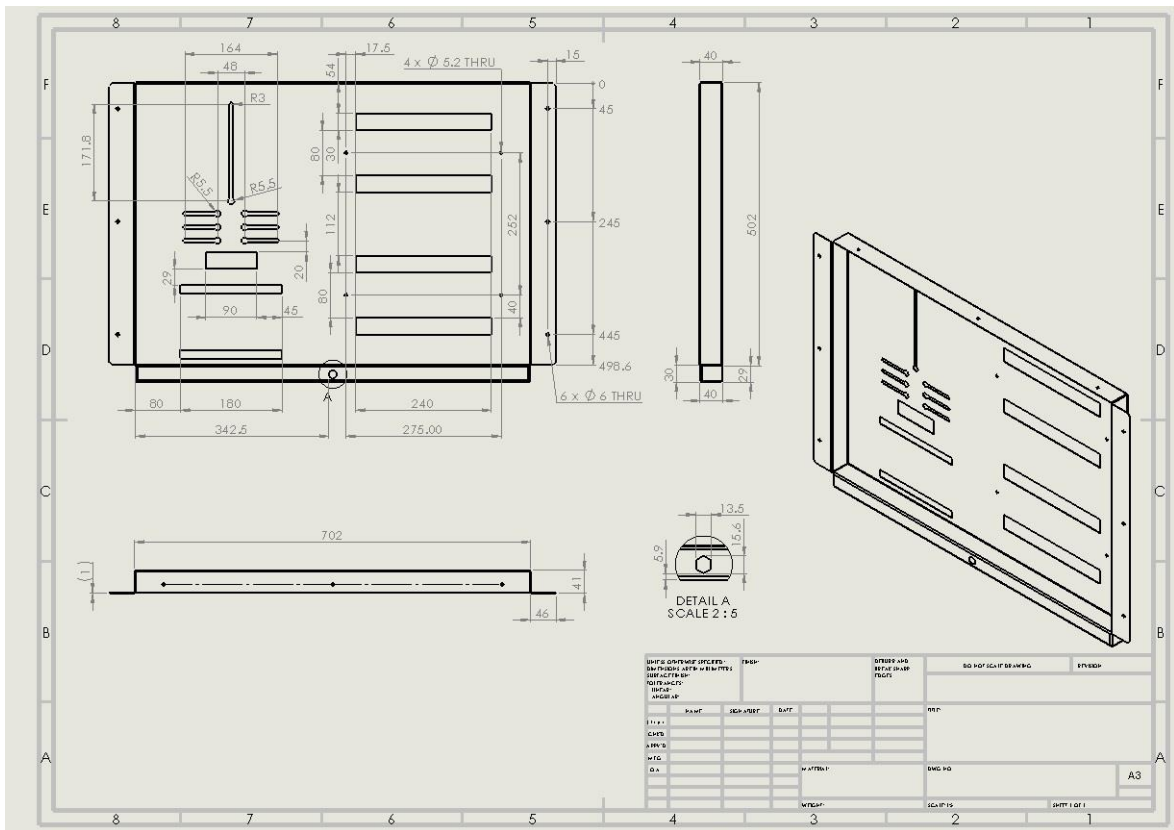
## 5 Teine integreerimise lahendus

Selles peatükis saab ülevaate teisest integreerimise lahendusest, kuidas ja mis tingimustel antud lahendusele sai simulatsioon tehtud, millised olid elektriinseneride kommentaarid lahendusele, autori tähelepanekud käesoleva lahenduse kohta, analüüs tarnimise ja tootmise seisukohast ja lõplik hinnang käesolevale lahendusele.

### 5.1 Lahenduse kirjeldus

Teine variatsioon sai tehtud esimese põhjal, kuid selle vahega, et seda saaks juba kasutada potentsiaalse lahendusena integreerimiseks. Disaini osas on palju erinevuseid esimesega. Pole enam tegemist lihtsa lehtmetailist paneeliga, vaid painetega elemendiga. Disaini peamisel tasapinnal on väljalõiked ja avad arvesti ja lisaseadmete jaoks. Nüüd asuvad arvesti väljalõiked vasakus ääres ja paremal on jäetud neli väljalõiget lisaseadmete kaablite jaoks, elektriinseneride tagasiside põhjal. Lisaseadmete kinnitussiinide paigaldamiseks on ka avad lisatud. Sellest tasapinnast on täisnurgaga pained, igast põhitasapinna äärest. Vasakus ja paremas ääres on eelmistele painetele lisaks veel täisnurgaga painded, siin asuvad mõõtekapi küljepaneelide ja elemendi vahelised kinnitusavad. Pealmisel paindel on kinnitusavad mõõtekapi katuse ja elemendi vahel. Elemendi alumises ääres on painete kogu, mis moodustavad elemendi alla õõnsa karbi, mille esiküljel on kuusnurkne ava pressmutri paigaldamise jaoks. Pressmutter on vajalik ukse lukustamiseks mõõtekapi külge. Põhi tasapinna äärtes olevad painded on suunatud nii, et kui element paigaldada mõõtekapile, siis põhitasapind, millel seadmed asuvad, jääb süvendatult mõõtekappi.

Samuti elektriinseneride tagasiside põhjal sai lahenduse disaini lisatud isolatsiooni plaat, mis kinnitatakse mõõtekapi katuse ja küljepaneelide külge. Isolatsiooni plaadis on avad kaabli läbiviikude jaoks.



Joonis 5.1. Integreerimise lahendus 2 – arvesti profiili joonis



Joonis 5.2. Integreerimise lahendus 2 – isolatsiooni profiil

## 5.2 Simulatsioon

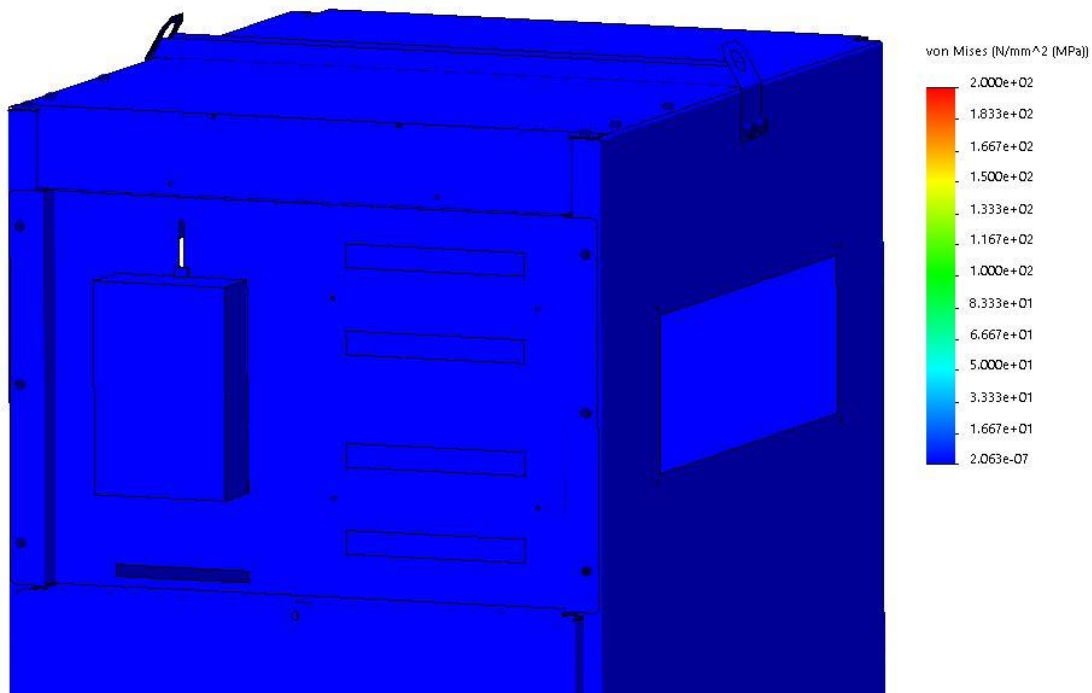
Simulatsioonide sooritamiseks kasutati SolidWorks 2019 simulatsiooni keskkonda, staatilise simulatsiooni vormi.

### 5.2.1 Simulatsiooni eesmärk ja tingimused

- Teise lahenduse simulatsiooni puhul on eesmärgiks analüüsida kuidas muutused disainis simulatsiooni tulemust muudavad ja kuidas teine lahendus mõõtekapi tõstmisel vastu peab ja kas arvesti paigutuses esineb probleeme. Lisaks ka teha kindlaks millised kohad on disainis vastupidavuse poolest kõige nõrgemad.
- Peamiseks jõuks simulatsioonis on gravitatsioon, kuna kõigil vastavatel komponentidel on materjalid ja kaalud määratud. Mõõtekapp on simulatsiooni keskkonnas virtuaalselt fikseeritud tõsteasade punktides. Nende kahe tingimusega on simuleeritud mõõtekapi tõstmine kraanaga. Simulatsioon annab ülevaate kuidas kapi konstruktsioon ja integreerimise lahendus kraanaga tõstmisel käitub.

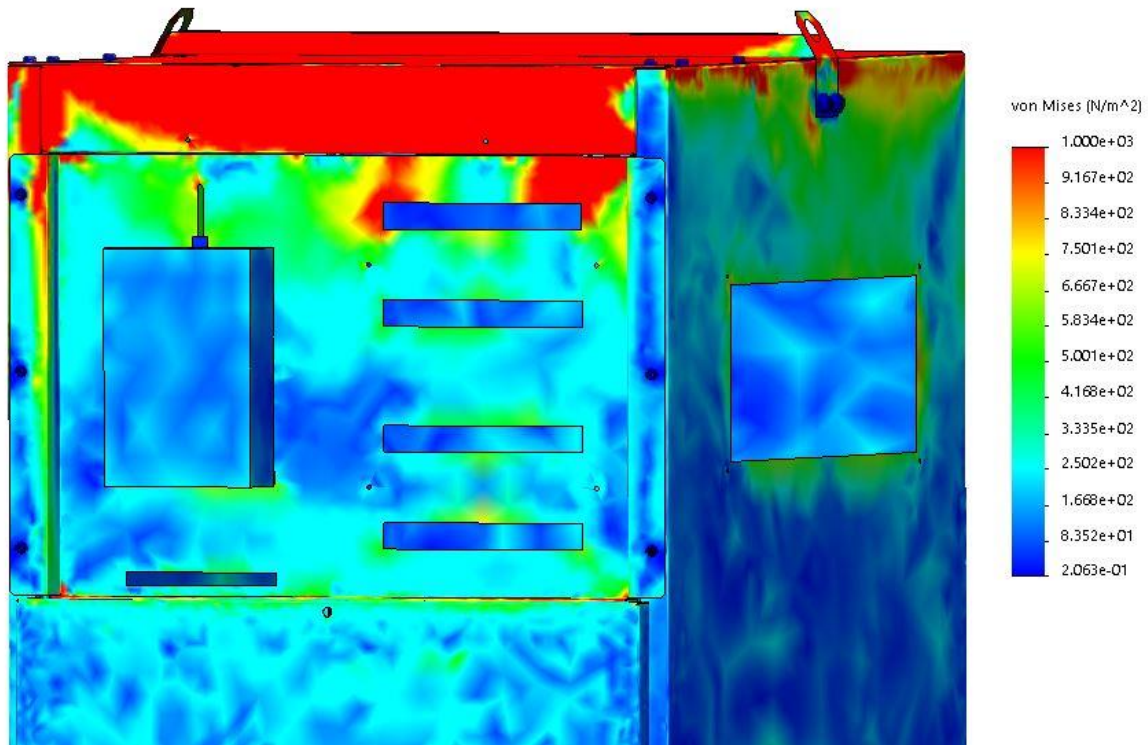
### 5.2.2 Simulatsioonide tulemused

Simulatsiooni tulemus von Mises pingele analüüsi tulemus, skaala ühik  $\text{N/mm}^2$  (MPa). Antud simulatsiooni skaala maksimumväärtus on muudetud vastavalt mõõtekapis kasutatava lehtmaterjali piirpingele, mis on  $200 \text{ MPa}$  ( $\text{N/mm}^2$ ).



Joonis 5.3. Simulatsiooni tulemus vastavalt piirpingele

Selleks, et paremini näha pinge mõjumist konstruktsioonis, on vaja kohendada skaala piirpinget.



Joonis 5.4. Kohendatud piirpingega skaala

### 5.2.3 Simulatsioonide analüüs

- Simulatsiooni tulemus vastavalt piirpingele: mõõtekapi tõstmisel probleeme ei teki, kuna tõstmise käigus tekkivad sisepinged ei saavuta piirpinget.
- Kohendatud piirpingega tulemused: sarnaselt esimese lahenduse simulatsiooniga on siin selgelt näha, et tõstmisel tekkivad sisepinged konstruktsioonis on kõige suuremad mõõtekapi katuseplaadis, katuseplaadi tugiprofiilis, tõsteasades ja küljepaneelide tugiprofiilis ja hajub ülejäänud mõõtekapi profiilide peale ära. Arvesti profiili puhul on kõige suuremad sisepinge kohad lisaseadmete ülemiste avade juures. Kõige ülemine ava on küljepaneeli tugiprofiilile üsnagi lähedal, siis on arusaadav miks sisepinged on seal suurimad arvesti profiilis, kuna lehtmaterjali paksus ja materjali puudumine nii lähedal tugiprofiilile piirab pinge hajumist profiilis. Järgmises lahenduse variatsioonis on vaja kas kohendada nende avade paiknemist või siis vähendada või ühendada keskmised lisaseadmete avad.

## **5.3 Elektriinseneride tagasiside**

Peamiseks tagasisideks oli, et arvesti paneeli ja isolatsiooni plaadi vahel võiks olla rohkem ruumi, vastasel juhul on tehases liiga keeruline ja ebamugav kaableid paigaldada. Tuli ka soovitus arvesti paneeli disaini muuta, teha ümber niimoodi, et lahendus poleks süvendatult mõõtekapi sisse, vaid oleks samal tasapinnal uksepaneeliga, et esteetiliselt ja funktsionaalselt näeks parem välja.

Lisaks sellele sai arutatud ka lisaseadmete paigutuse osas. Elektriinseneridelt tuli ettepanek muuta isolatsiooni plaati, tekitada rohkem ruumi kaablite jaoks. Ja selleks, et tagada parem isolatsioon ja IP20 standard, soovitati lisaseadmed liigutada n-ö akna taha.

Kuna projekti käigus olid elektriinsenerid mõõtekapi elektriskeemides teinud muudatusi, siis paluti eemaldada ka teises variatsioonis lisatud lisa ava sekundaarsete kaablite jaoks.

## **5.4 Tähelepanekud disaini osas**

Arvesti plaadi ja isolatsiooni plaadi vahel on liiga vähe ruumi, kaableid vedada ja ühendada pole lihtne.

Ukse fikseerimise tõmbemutri jaoks mõeldud lahenduse alumised painded on tarnijale ajakulukas ja keeruline toota.

## **5.5 Tarnimise ja tehase seisukohast**

### **5.5.1 Tarnimise seisukohast**

Materjali ja tootmis kulu on selle lahenduse puhul suurem, kuna tegemist on kompleksema disainiga, kui seda oli esimene variatsioon.

Lisaks on ka antud lahendus ajakulukam toota suurema keerukuse tõttu.

### **5.5.2 Tehase seisukohast**

Teise variatsiooni paigaldamine tehases on sarnaselt esimesega kerge. Kui üldine mõõtekapi konstruktsioon on komplekteeritud, siis saab samamoodi esimese variandiga paigaldada integreerimise lahenduse koos isolatsiooni plaadiga konstruktsiooni.

Miinuseks tehase poole pealt on aga see, et kaablite vedamiseks pole piisavalt ruumi, see pikendab omakorda mõõtekapi tootmise aega.

## **5.6 Hinnang lahendusele ja vastavus nõuetele**

Kuna antud disainis on siiski puuduseid, siis on vajalik luua sellest lahendusest saadud tagasiside ja simulatsioonide tulemuste põhjal uus disain.

Teine integreerimise lahendus tagab kliendipoolsed nõuded. Arvestile on ligipääs olemas ja on opereeritav ka siis kui mõõtekapp on pingestatud. Uksepaneel on tõstetav ja on fikseeritav poldiga, lisaseadmetele on kohad olemas. Isolatsiooniplaat tagab lahenduses IP20 standardi. Nõuded on küll tagatud, kuid disaini peab muutma siiski, kuna disain peab olema tootmises ka kiirelt paigaldatav ja sellega järgnevad elektritööd mugavad sooritada.

Järgnevas disainis on vaja kombineerida simulatsiooni analüüs ja elektriinseneride tagasiside. Arvesti plaadis on vaja eemaldada arvesti poolelt alumine kaablite ava ja lisaseadmete poolelt on kinnituskohad vaja liigutada arvesti profiili taha. Isolatsiooniplaadist on vaja luua isolatsiooni kest, et kaablite vedamiseks oleks ruumi ja IP20 oleks veelgi paremini tagatud.



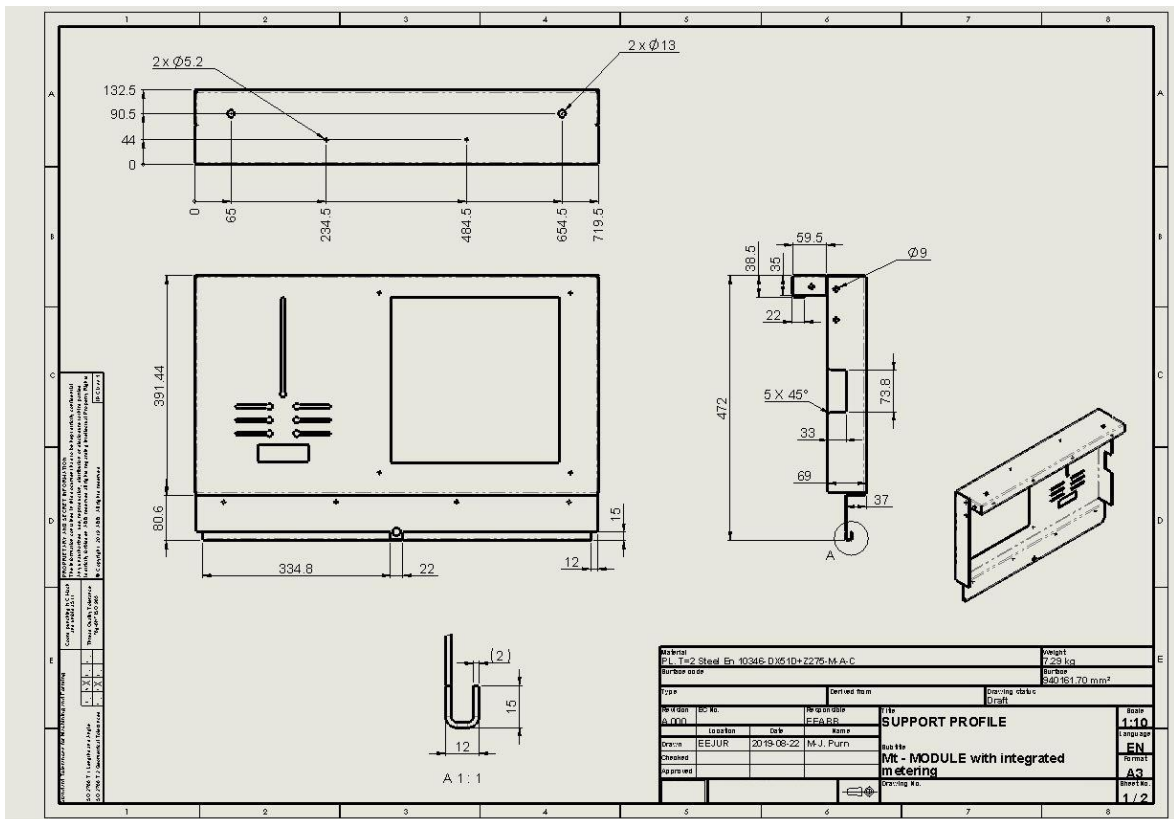
## 6 Kolmas integreerimise lahendus

Selles peatükis saab ülevaate kolmandast integreerimise lahendusest, kuidas ja mis tingimustel antud lahendusele sai simulatsioon tehtud, millised olid elektriinseneride kommentaarid lahendusele, autori tähelepanekud käesoleva lahenduse kohta, analüüs tarnimise ja tootmise seisukohast ja lõplik hinnang käesolevale lahendusele.

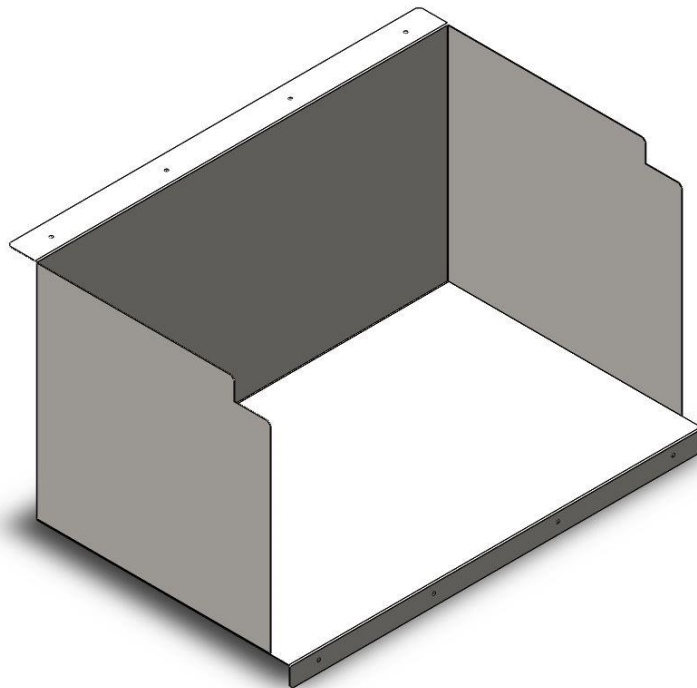
### 6.1 Lahenduse kirjeldus

Kolmandal variatsioonil on põhielement sarnane teisega, kuid lisaks põhielemendile, kuhu arvesti kinnitatakse, on selles lahenduses lisaks kest, mis jääb mõõtekapi sisse, ja läbipaistvast plastikust kate. Veel üks erinevus eelneva variatsiooniga on see, et põhielemendi paremas ääres on lisaseadmete kinnituspunktide asemel üks suur ava, mis on kaetud läbipaistva plastikust kattega, moodustades n-ö akna mõõtekapi sisemusse. Kõik lisaseadmed paigutatakse põhielemendi taha, kesta sisse. Selles lisa kesta on piisavalt ruumi lisaseadmete jaoks, millele pole otsest ligipääsu vaja. Selle kesta pörandas on kaablite läbiviigud, sellised, nagu on ka mõõtekapi üldises konstruktsioonis, arvesti ja lisaseadmete ühendamiseks mõõtekapis asuvate trafodega. Selline kest tagab isolatsiooni mõõtekapi raamistikule paigaldatud trafode ja arvesti vahel.

Põhielemendil on ka alumises ääres muutus eelmise variandiga. Õõnsa karbi asemel on pikendatud paine koos U-kujulise paindega. See moodustab ääre, mis hoiab omakorda mõõtekapi ust paigal. Selles U-kujulise painde keskel on poldi jaoks väljalõige ja koht pressmutri paigaldamiseks. Pikendatud alumine äär tekitab võimaluse jätta põhielemendi tasapinna ja ukse samale tasandile. Eelmistel variantidel oli integratsiooni lahendus mõõtekapi konstruktsioonile põhimõtteliselt nagu lisa element, mida sai lisada alles siis, kui kõik ülejäänud komponendid on komplekteeritud, kuid käesoleva disaini puhul on integratsiooni lahendus osa kapi kogu konstruktsioonist. See tähendab, et seadmete kest ja põhielement paigaldatakse mõõtekapi osadena komplekteerimisel täpselt samamoodi nagu mõõtekapi küljepaneelid või katus.



Joonis 6.1. Integreerimise lahendus 3 – arvesti profiili joonis



Joonis 6.2. Integreerimise lahendus 3 – seadmete isolatsioonikest

## 6.2 Simulatsioon

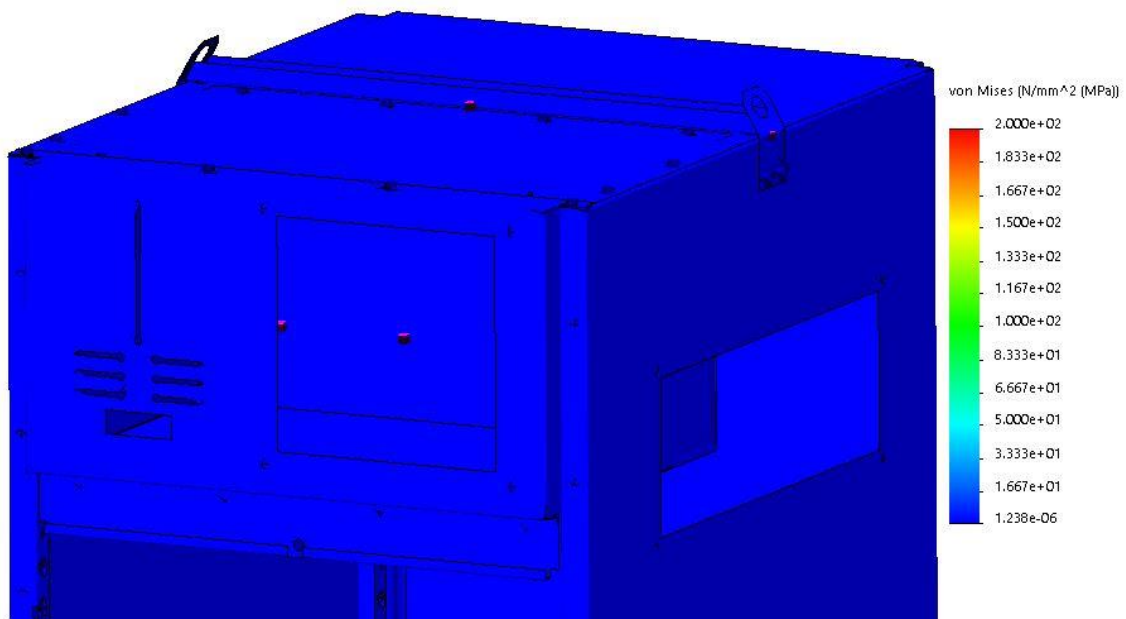
Simulatsioonide sooritamiseks kasutati SolidWorks 2019 simulatsiooni keskkonda, staatilise simulatsiooni vormi.

### 6.2.1 Simulatsiooni eesmärk ja tingimused

- Kolmanda lahenduse simulatsiooni eesmärgiks on sarnaselt teise variatsiooniga analüüsida kuidas muutused disainis simulatsiooni tulemusi mõjutavad, seda ka uue elemendi puhul, kuna kinnituspunkte on eelmise lahendusega võrreldes rohkem. Lisaks ka teha kindlaks millised kohad on disainis vastupidavuse poolest kõige nõrgemad.
- Peamiseks jõuks simulatsioonis on gravitatsioon, kuna kõigil vastavatel komponentidel on materjalid ja kaalud määratud. Koost on simulatsiooni keskkonnas virtuaalselt fikseeritud tõsteasade punktides. Nende kahe tingimusega on simuleeritud mõõtekapi tõstmine kraanaga. Simulatsioon annab ülevaate kuidas kapi konstruktsioon ja integreerimise lahendus kraanaga tõstmisel käitub.

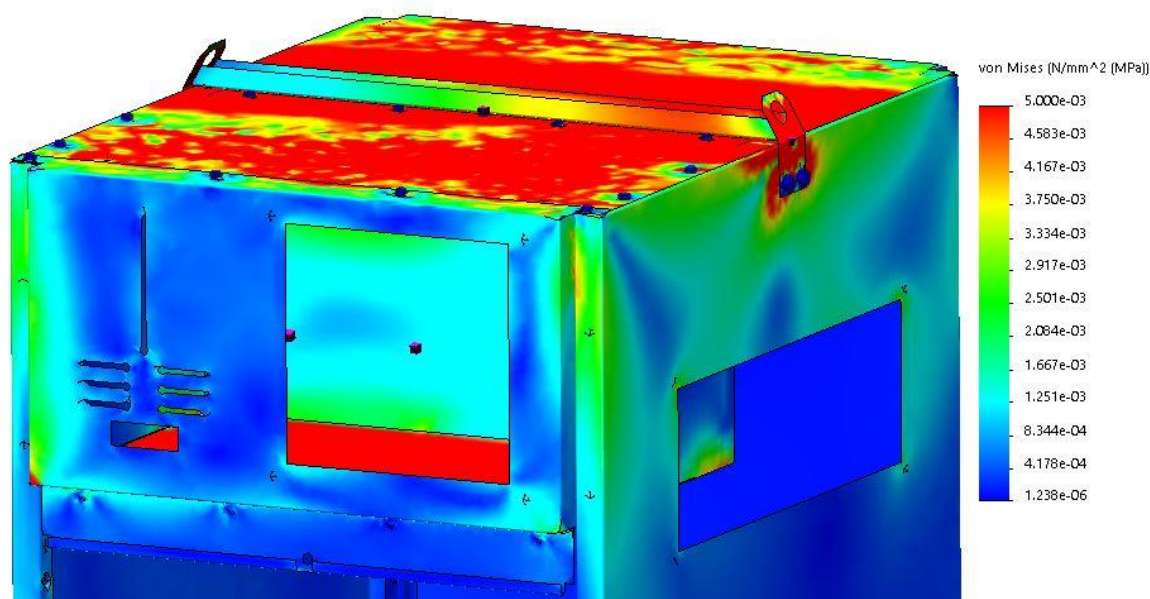
### 6.2.2 Simulatsiooni tulemused

Simulatsiooni tulemus von Mises pinge analüüsi tulemus, skaala ühik  $\text{N/mm}^2$ . Antud simulatsiooni skaala maksimumväärtus on muudetud vastavalt mõõtekapis kasutatava lehtmetsalli piirpingele, mis on 200 MPa ( $\text{N/mm}^2$ ).



Joonis 6.3. Simulatsiooni tulemus vastavalt piirpingele

Selleks, et paremini näha pinge mõjumist konstruktsioonis, on vaja kohendada skaala piirpinget.



Joonis 6.4. Kohendatud piirpingega skaala

### 6.2.3 Simulatsiooni analüüs

- Simulatsiooni tulemus vastavalt piirpingele: mõõtekapi tõstmisel probleeme ei teki, kuna tõstmise käigus tekkivad sisepinged ei saavuta kasutusel oleva materjali piirpinget.
- Kohendatud piirpingega tulemused: Samamoodi, nagu kaks eelnevat simulatsiooni, on mõõtekapi tõstmisel peamised sisepinged mõõtekapi katuseplaadis, katuseplaadi tugiprofiilis, tõsteaasades ja sealt edasi hajub ülejäänud mõõtekapi konstruktsiooni peale ära. Arvesti profiilis tehtud muutused on simulatsioonis näha, sisepinged on märgatavalt väiksemad kui kahel eelneval variatsioonil. Nende sisepingete vähendamisele aitas kaasa see, et eelnevalt kasutusel olnud külhepaneelide tugiprofiil sai ümber disainitud ja muudetud uueks arvesti profiiliks. Lehtmetalli paksus 3mm ja pikendatud profiil, et oleks ukse esitasapinnaga samal tasandil, karanteerivad konstruktsioonile parema pingetaluvuse. Sisepingete vähendamises aitas kaasa ka isolatsioonikest, kuna see lisab mõõtekapi konstruktsioonile, peamiselt katuseplaadile, tugipunkte. Selle toetamise tulemus on näha ka simulatsioonis, kuna kõige suuremad pinged tekivad isolatsiooni kesta põhja. Tõstmisel tekkivad sisejõud on suunatud peamiselt sinna põhja arvesti profiilist ja katuseplaadist, kuna see on ühendav tasand nende kahe komponendi vahel.

## **6.3 Elektriinseneride tagasiside**

Elektriinseneride tagasiside oli muudatuste osas peamiselt positiivne, kuid siiski anti sisendit mõne detaili muutmise osas.

Peamiselt arvesti plaadi paremas ääres asuva akna osas, mis on mõeldud lisaseadmete visuaalseks kontrolliks, ja isoleerimis kesta osas.

Arvesti plaadi akna kinnitus soovitati muuta ümber selliselt, et poleks poltliitega profiili küljes kinni, vaid oleks hingedega kinnitatud ja et sellel oleks eraldi lukustamiseks poldi ava. Seda puhuks, kui on vaja tulevikus hooldada ühendusi või välja vahetada seadmeid.

Isoleerimiskesta paluti lisada kinnitussiinide jaoks kindlad kohad. Lisaks lubati edasi saata lisaseadmete joonised ja anda nende kindel paiknemine isoleerimiskestas.

## **6.4 Tähelepanekud disaini osas**

Isolatsioonikesta mõõtmed on hetkeseisuga veel lahtised. Need mõõtmed, kui ka lisaseadmete asukohad, koos vastavate avadega, saavad kindlaks kui elektriinseneridelt lisainfo on olemas.

Järgnevat variatsiooni ei tule, vaid tuleb uus revisjon kolmandale integreerimise lahendusele, kuna üldine lahenduse idee on heakskiidu saanud ja sisse on vaja viia minimaalsed muutused detailides.

## **6.5 Tarnimise ja tehase seisukohast**

### **6.5.1 Tarnimise seisukohast**

Tarnimise seisukohast oleks materjali kulu suurem, isegi kui isolatsioonikesta mõõtmed vähenevad. Samas disaini poolelt on antud lahendus lihtsam kui teine integreerimise lahendus, ehk siis detaile tootes on paindeid lihtsam ja kiirem sooritada.

Kolmanda integreerimise lahenduse puhul sai küsitud ka tarnija käest hinnangut arvesti profiili loomise võimaluste osas. Vastuseks oli, et disaini on võimalik toota tarnija seadmetega. Kui viimased muutused on disainis tehtud, siis on võimalik teha ka hinnapäring.

### **6.5.2 Tehase seisukohast**

Antud lahenduse arvesti profiili paigaldamise osa oleks tehasele lihtne, kuna uus disain asendab varasemalt kasutusel olnud ülemise tugiprofiili. Isolatsioonikesta paigaldamisel võib tekkida ebamugavusi, kui see peaks säilitama praegused mõõtmed, kuna kinnituspunktid mõõtekapi katuseplaadiga on poltliite jaoks liiga kaugel mõõtekapi sisemuses.

## **6.6 Hinnang lahendusele ja vastavus nõuetele**

Kolmas integreerimise lahendus vastab kliendi poolt seatud nõuetele. Arvesti on mõõtekapi esiküljel ja on opereeritav. Lisaseadmed on isoleeritud, kuid nähtavad. Tagatud on IP20 standard, pole ligipääsu pingestatud seadmetele ega lattidele, 12mm suurustel objektidel pole mõõtekapi sisemusse ligipääsu. Uksepaneel on tõstes eemaldatav ja fikseeritav arvesti profiili külge poldiga.

Kui viimased muutused antud disainile tehtud saavad järgmise revisjoniga, siis on edasi jäänud vaid tarnida uued disainitud detailid ja lasta tehasel uut disaini tootma hakata. Kui tehase poole pealt avastatakse tootmise käigus probleeme, siis on vaja disaini muidugi jooksvalt täiendada.

## **7 Sekundaarsed muutused**

See peatükk annab ülevaate muudatustest, mis olid vajalikud teha mõõtekapi üldises konstruktsioonis, et integreerimise lahendus mõõtekapiga ühildada. Suurem osa sekundaarseid muutuseid olid teatud mõttes universaalsed iga lahenduse puhul, nagu näiteks esimese kahe variatsiooni puhul kinnituspunktid jms, sellest tulenevalt on neid muutuseid kirjeldatud siin, vastavalt igale lahenduse variatsioonile.

### **7.1 Uued mõõtekapi kesta koostud**

Peatüki „2. KPMK Spetsifikatsioonid“ alapeatükis „2.4 Hinnang baaskonfiguratsioonidele ja edasine töökäik“ sai põhjendatud otsust vähendada olemasolevaid mõõtekapi konfiguratsioone.

Universaalsema lahenduse loomiseks sai kaasatud ka elektriinsenerid. Uute konfiguratsioonide sisemine ülesehitus, peamiselt trafode paiknemine, on veel töös, kuid teised komponendid on valitud. Universaalse konstruktsiooni nimel on kaablite vedamiseks avad mõlema küljepaneeli ülemises ääres, kui ka põranda plaadis, kasutamata küljepaneeli ava kaetakse tootmises kinni lehtmetailist kattega ja kasutusel olevale avale paigaldatakse kaablite jaoks läbiviigud.

### **7.2 Muutused olemasolevates detailides**

Peamised muutused, mis mõõtekapi olemasolevates detailides tehtud sai, on avade lisamised. Avad said lisatud mõõtekapi katuse plaadile ja küljepaneelidele.

Ukse pikkuse vähendamisega kaasnes ka uksehaakide arvu vähendamine, kui ka haagiavade arv ukse sees.

## 8 Järgnevad protsessid

Kolmanda integreerimise lahenduse positiivne tagasiside, koos mõningate väiksemate detailide muutustega, tähendab, et antud projekti arendusülesanne on oma lõpp faasis.

Kui viimased muutused on järgmise revisjoni kujul sisse viidud, siis saab uued disainid tarnijale saata ja hinnapärging esitada.

Lahenduse kontseptsioonid said edastatud ka kliendile, tagasiside oli positiivne ja üldine idee neile sobis. Kuid läbirääkimiste käigus kliendiga sai valitud teist tüüpi alajaam, kuhu mõõtekappi ei paigaldata. Arvesti ja ülejäänud lisaseadmete osas on käimas eraldi läbirääkimised, kuidas olukorda lahendada.

Edasine arendus ja disainimis protsess arvesti integreerimisel mõõtekappi on hetkeseisuga peatatud kuni täiendava info saabumiseni. Eelnevad disainid, kui ka praegune disain, koos disaini dokumentatsiooniga jääb alles, mille põhjal on võimalik sisse viia viimased muutused ja uut disaini toota, kui tulevikus peaks uuesti tekkima vajadus disainitud lahendusele.

Samuti on peatatud ka uue ja universaalsema mõõtekapi konstruktsiooni disainimine, kuna antud hetkel tellimused sellele tootele puuduvad ja edasi disainimiseks vajadus puudub.



## KOKKUVÕTE

Lõputöö teema sai algatatud ABB AS poolt tööülesande näol, mille sisend tuli ABB kliendilt. Probleem seisnes selles, et tellimustes kajastuvatel alajaamadatel asub projekti järgi arvesti seade jaama sisemises plaanis eemal mõõtekapist. Selline paigutus tõstab toote müügi -ja tootmishinda, kuna kaablite valmistamine on kulukas ja nende paigaldamine alajaama seintele on aeganõudev töö. Selle probleemi lahendamiseks algatati arendusülesanne, mille väljundiks on kontseptsiooniline lahendus tõstatatud probleemile.

Lahenduse disainimine koosnes neljast etapist. Esiteks kliendi nõuetega tutvumine ja nende analüüs.

Teiseks, analüüsida vana KPMK disaini ja formuleerida edasine töökäik.

Kolmandaks, alustada disainimise protsessiga ja seda dokumenteerida.

Ja neljandaks, anda ülevaade disainile järgnevatest protsessidest.

Kliendi nõuetega tutvumise ja vana KPMK disaini analüüsi käigus selgus, et suurem osa kliendi nõudeid, kui integreeritud arvesti välja arvata, on vanas disainis tagatud. Kuid selgus ka, et varasemalt tehtud disain pole eriti laialdaselt kasutusel ja lisaks arvesti integreerimisele on vaja ka värskendada olemasolevat mõõtekapi konstruktsiooni BOMi. Sai vastu võetud otsus luua varasemalt loodud kümne mõõtekapi konfiguratsiooni asemel universaalsem lahendus tervele mõõtekapile.

Esimene arvesti integreerimise disain oli mõeldud vajalike disainielementide väljaselgitamiseks ja üldise mõõtekapi konstruktsiooni vaatluseks. Esimese lahenduse simulatsiooni eesmärgiks oli saada ülevaade mõõtekapi tõstmisel tekkivatest sisepingetest. Simulatsiooni tulemused näitasid, et kõige suuremad sisepinged tekivad mõõtekapi tõsteasade, katuseplaadi, katuseplaadi tugiprofiili, küljepaneelide tugiprofiili ja arvesti plaadi sees, kuid tõstmise käigus ei saavuta sisepinged kasutusel oleva lehtmaterjali tüüpi piirpinget, ehk siis mõõtekappi on võimalik tõsta ilma selle purunemista. Esimesele disainile sai küsitud ka elektriinseneride tagasisidet. Peamiseks tagasisideks oli, et lisaks arvesti paigaldus avadele oleks vaja ka kohti ja kinnitusi lisaseadmetele, mis erinevad tellimusest tellimusse, ja lisada oleks vaja isoleeriv detail, mis jääks arvestiplaadi ja ülejäänud mõõtekapi sisu vahele.

Teises arvesti integreerimise disainis olid sisse viidud elektriinseneride kommentaarid esimesest lahendusest ja simulatsioonide tulemuste põhjal tehtud muutused sisepingete vähendamiseks arvestiplaadis. Simulatsioonide tulemused teisele lahendusele näitasid, et elektriinseneride kommentaaride põhjal loodud lisaseadmete avad kontsentreerivad arvestiplaadis sisepinged küljepaneelide ülemise tugiprofiili ja arvestiplaadi vahele. Elektriinseneride tagasiside oli peamiselt see, et isolatsiooniplaat ei jäta piisavalt ruumi seadmete vahel kaablite ühendamiseks.

Kolmanda, ja viimase, integreerimislahenduse tagasiside oli elektriinseneride poolt positiivne ja simulatsioonide tulemuste põhjal töötaks viimane lahendus kõige paremini. Konstruktsiooni sisepinged olid pigem kontsentreeritud tõsteasade ja katuseplaadi detailides ja arvestiplaadis oli sisepingeid minimaalselt. Kuna see lahendus osutus parimaks, siis edasised muudatused detailides saavad olema revisjonide näol, mitte täiesti uued detailid.

Järgnevateks protsessideks oleks olnud kolmandale lahendusele viimaste detailimuutuste sisseviimine ja tarnijalt hinnapäringu küsimine. Lahenduse kontseptsiooni joonised said edastatud ka kliendile, millele tuli positiivne tagasiside. Kuid enne disaini lõpuni viimist sai kliendi tellimuses oleva alajaama osas kliendiga arutatud ja algasid läbirääkimised alajaama tüübi väljavahetamise osas, tüübi vastu, kuhu mõõtekappi paigaldada ei saa.

Sellest hetkest alates peatati edasine arendus ja disainimis protsess arvesti mõõtekappi integreerimiseks kuni täiendava info saabumiseni. Kõik eelnevalt disainitud lahendused, kui ka lahenduse viimane variatsioon, koos disaini dokumentatsiooniga jääb alles. Dokumentatsiooni põhjal on võimalik viimased muudatused sisse viia ka teisel inseneril, kui projektis peaks toimuma mehaanika inseneri vahetus.

Autori hinnang lõputöö käigus sooritatud tulemustele on pigem positiivne, võttes arvesse, et disaini alustamise hetkel oli autoril vähem kui poole aasta jagu tootmisdisaini kogemust ja teadmisi. Lõputöö kirjutamise käigus sai tootmisprotsesside ja disainimise põhimõtteid juurde õpitud ja juurutatud.

Lõputöö kaitsmise hetkel pole autor enam ABB AS töötaja. Ja lõputöös kajastatud toode on arhiveeritud

## 9 Summary

The topic for this dissertation was given by ABB AS as a job task, for which input came from a customer of ABB AS. The problem was, that in the substations ordered by the customer, the metering device was situated away from the main metering cabinet. This kind of placement raises the production and selling price of said metering cabinet, since the manufacturing and routing of cables between the metering cabinet and the metering device costs a lot and takes up a lot of time. Because of this problem, set up by the customer, a design process was initiated, for which the outcome was to be a concept solution for the problem, how to integrate the metering device into the metering cabinet. At the time of starting this dissertation the author was an intern, and later on an employee, at ABB AS, as a project engineer.

Coming up with a solution for this problem consisted of four stages. Stage one, going over and analysing the customers demands.

Stage two, analysis of the older metering cabinet design and formulation of the next steps in workflow.

Stage three, start with the design process and document it.

Stage four, give an overview of the next steps in production after the design is completed.

While going over and analysing the customers demands it was noted, that most of the demands, except for the integrated metering device, were met by the older metering cabinet design. Although it was also discovered that the older design was not sold and used very often, because of this a decision was made to redesign the whole metering cabinet and make it more universal, condense the ten configurations into a handful of configurations, and update the BOM for this product.

The first integration solution was meant as a learning experience, to get a better understanding of the construction of the metering cabinet and what elements the final design needed to have. The goal for the first solution simulation was to observe which parts were most effected by the lifting of the metering cabinet and to get an overview of the internal strain caused by lifting. Simulation results showed, that the most strain was endured by the lifting lugs, the roof plate, roof plate support beam, the side panels support profile and the metering device plate itself. But the strain seen from the

simulation results was not even close to the maximum yield point of the material used for designing and simulating, in other words the metering cabinet can be lifted without any harm to the cabinet or its components. The feedback of the electrical engineers was also requested for the first solution. The main feedback was, that in addition to the metering device fixation and cable routing cutouts, the metering plate needed to have room, fixation and cable routing holes for a few additional and customizable devices. Besides that, a reminder that an isolation plate was also needed, so the metering plate components would be isolated from the internal components of the cabinet.

The second solution featured the comments made by the electrical engineers and design modifications based on the simulation made for the first solution, to reduce the internal strain in the metering plate during lifting of the cabinet. Simulation of the second solution showed, that the new cutouts, requested by the electrical engineers, for the additional equipment concentrated the internal strain to the upper edge of the metering plate. Feedback from the electrical engineers was mainly about the isolation plate. They pointed out, that the metering plate and the isolation plate need to have more of a gap between them, otherwise it will be difficult to route cables after the assembly of the metering cabinet.

The third, and final, was received very positively by the electrical engineers, with only a few minor comments and requests to the design. And according to the simulation results, this solution disperses the internal strains, caused by lifting, in the best way possible, with the metering plate having some of the lowest strain ratings in the cabinet. Since this was the latest solution, and had good results, then the next minor changes will be implemented with a revision, not an entirely new design.

The next steps would have been finalizing the design and asking the supplier for a cost estimate for it. The concept drawings of the third integration design solution were also sent to the customer and were received positively. However before the design could be finalized, the customer chose a different substation type, which did not support the installation of the metering cabinet.

As of that moment all design and development processes connected to this project were put on hold until further notice. All the design documents and documentation were saved for future purposes.

The author feels positive about the results of this dissertation, taking into account that at the start of the design process, the author barely had any experience in industrial

design, development and knowledge. During the design process and writing of this dissertation the authors understanding of industrial design and solution development skills improved.

At the time of defending this dissertation the author is not at the employment of ABB AS. And the product featured in the dissertation has since been archived.

## **KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU**

1. „J3191 Nõuded keskpinge mõõtekappidele, ver.3”
2. „TPU 5x.xx\_1VLC000508 Rev. 8, en 2017.04.12”
3. „KGUG\_1VLC000530 Rev.1, en”
4. „TJC 4\_1VLC000520 Rev2, en 2016.11.03”