



**TAL
TECH**

MASTALAJAAMADE JA MASTILÜLITITE ARVUTAMINE

Lepingu EE21037 aruanne

Versioon 01

Aprill 2021

Uuringu tellija

- **Mihkel Härm** – Elektrilevi OÜ juhatuse liige
- **Rasmus Armas** – Elektrilevi OÜ juhatuse liige
- **Raivo Rebane** – tellija esindaja ja kontaktisik, primaarseadmete tehnikajuht

Uuringu autorid

- **Risto Rusin** – elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut
- **Paul Taklaja** – töövõtja kontaktisik, elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Tallinna Tehnikaülikool

Telefon: 620 2002

E-post: info@taltech.ee

Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn

SISUKORD

Tabelite loetelu	3
Jooniste loetelu	4
Sissejuhatus	5
1. Lähteandmed	6
1.1. Alusdokumendid	6
1.2. Lähteandmed	6
1.3. Temperatuurid	7
1.4. Tuulekoormus	7
1.5. Jäitekoormus	8
1.6. Projekteerimise põhivalem	9
1.7. Puitpostid	9
1.8. Trafode ja seadmete lähteandmed	10
1.9. Mastilülitite lähteandmed	11
1.10. Lahutajate-seksioneerijate andmed	12
1.11. Arvutuskeem	12
2. Arvutusprogramm	14
2.1. Andmed	14
Tulemused	16
Lisad	20

TABELITE LOETELU

Tabel 1. Standardiseeritud postid	9
Tabel 2. Trafode andmed	10
Tabel 3. Koormused	12
Tabel 4. Mastalajaamade arvutustulemused	16
Tabel 5. Mastilülite arvutustulemused	17
Tabel 6. Mastilülite arvutustulemused koos madalpingeõhuliiniga	17
Tabel 7. Lahutajate-seksioneerijate arvutustulemused	18

JOONISTE LOETELU

Joonis 1. Suurimad tuulekiirused erinevatel maastikutüüpidel	7
Joonis 2. Posti mõõtmised	10
Joonis 3. Arvutusskeem	13
Joonis 4. Puitposti andmed	14
Joonis 5. Keskpingeõhuliini andmed	14
Joonis 6. Madalpingeõhuliini andmed	14
Joonis 7. Trafo andmed	15
Joonis 8. Lahkkaitse andmed	15
Joonis 9. Jaotuskapi andmed	15
Joonis 10. Kokkuvõte	15

SISSEJUHATUS

Käesoleva töö – leping EE21037 – eesmärgiks on analüüsida järgmisi juhtumeid:

a) Juhtum, kui ehitatakse uus 1-mastiline mastalajaam.

Ühemastiline kandealajaam MAK-1. Läbijooksev keskpinge õhuliin, juhtmeteks BLL ristlõikega 66 ja 99 mm². Visangute pikkus kahele poole 100 m. Mastalajaamast väljuvad kaks AMKA3x70 MP fiidrit, mis jooksevad paralleelselt BLL-ga, visangute pikkus kahele poole 60 m.

b) Juhtum, kui olemasolevas 1-mastilises mastalajaamas on vaja rikke korras trafo vaja vahetada.

Ühemastiline kandealajaam MAK-1. Läbijooksev keskpinge õhuliin, juhtmeteks AS ristlõikega 35 ja 50 mm². Visangute pikkus kahele poole 100 m. Mastalajaamast väljuvad kaks AMKA3x70 MP fiidrit, mis jooksevad paralleelselt AS-ga, visangute pikkus kahele poole 60 m.

c) Juhtum, kui ehitatakse uus 2-mastiline mastalajaam või vahetatakse olemasolevas trafo.

Kahemastiline kandealajaam MAK-3. Läbijooksev keskpinge õhuliin, juhtmeteks AS ristlõikega 35 ja 50 mm² ja BLL ristlõikega 62 ja 99 mm². Visangute pikkus kahele poole 100 m. Mastalajaamast väljuvad kaks AMKA3x70 MP fiidrit, mis jooksevad paralleelselt BLL-ga, visangute pikkus kahele poole 60 m.

Mastilülitite arvutamine vastavalt:

Mastilülititena tuleb arvutused sooritada mastivõimsusülititele ja lahutajatele-seksioneerijatele. paigaldatuna 11 m pikkustele 2 - 5 klassi puitpostidele. Liinijuhtmeteks paljasjuhtmed AS 35 ja 50 mm² või kaetud juhtmed BLL ristlõikega 62 ja 99 mm². Visangute pikkus kahele poole lülitit kuni 120 m. Anda ka soovitusel juhtumile, kus haruliinil uus lülitiga mast on paigaldatud olemasoleva hargnemismasti vahetusse lähedusse (masti tüüp, juhtmete pingeline lühikeses visangus). Mastilülitite lähteandmed (kaalud, paigalduskaugused posti tüvest) tuleb üldistada mastivõimsusülititel ja lahutajatel- seksioneerijatel eraldi mastile suuremat summaarset koormust põhjustavas olukorras.

Lahutajate ja seksioneerijate arvutamine vastavalt:

Paikneb masti küljel, liini teljega paralleelselt. Kõikide elementide paigalduskõrgused maapinnalt lisatud joonisel. Juhtimismooduli kaablite ja kaitsepekkide tuuletakistust ei arvesta.

1. LÄHTEANDMED

Antud peatükis on esitatud lähteandmed.

1.1. ALUSDOKUMENDID

Kasutatakse antud töö käigus järgmisi alusdokumente:

- Euroopa standard EVS-EN 50341-1:2013
- Eesti siseriiklikud erinõuded EVS-EN 50341-2-20:2018
- Elektrilevi OÜ 0,4-20 kV võrgustandard - 20 kV õhuliinid

1.2. LÄHTEANDMED

- Töökindlus nivoo 1
- Maastikutüüp II
- Omakaalu osavarutegur γ_G 1,00 (kõik koormusjuhtumid)
- Tuulekoormuse osavarutegur γ_w 1,00 (domineeriv tuulekoormus)
- Jäitekoormuse osavarutegur γ_I 1,00 (domineeriv jäitekoormus)
- Tuulekoormuse kombinatsioonitegur Ψ_w 0,40 (koos piirjäitekoormusega)
- Jäitekoormuse kombinatsioonitegur Ψ_I 0,35 (0,7 kordse tuulekoormusega)
- Tuule baaskiirus V_b 18,5 m/s
- Konstantne õhutihedus ρ 1,25 kg/m³
- Jäite paksus $T_{j\grave{a}ide}$ 10 mm
- Jäite tihedus ρ_i 900 kg/m³

1.3. TEMPERATUURID

- Aasta keskmine temperatuur 0 °C*
- Maksimalne õhutemperatuur +35 °C
- Maksimalne juhtme temperatuur +60 °C
- Minimalne temperatuur -40 °C
- Temperatuur teistel koormusjuhtumitel -5 °C

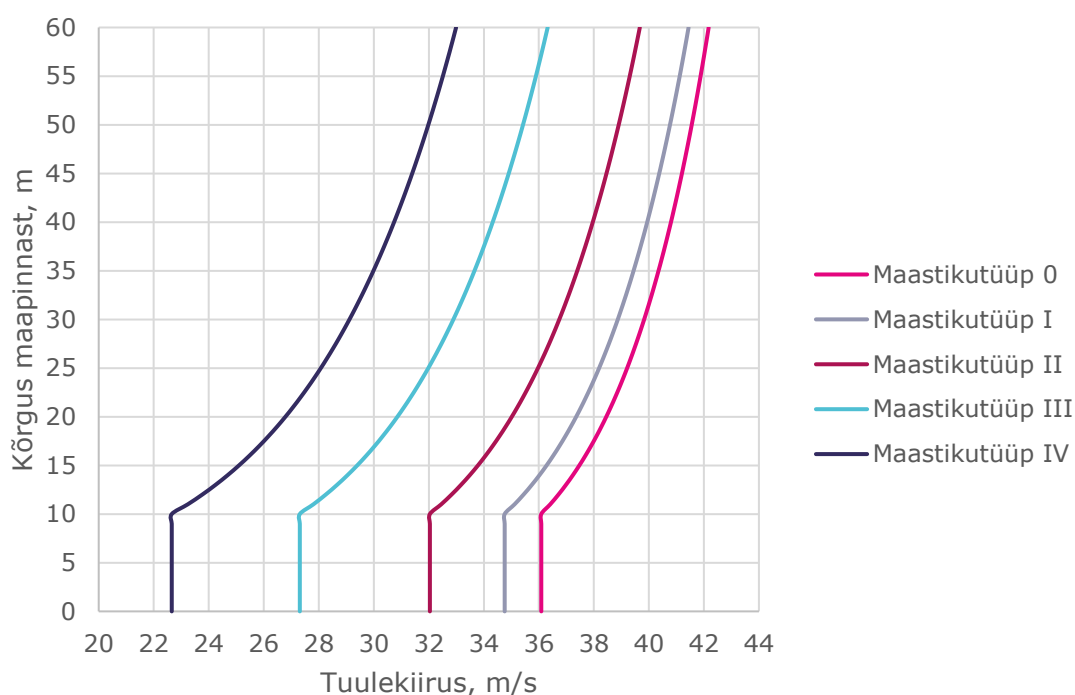
*Õhuliinidele pingega kuni 20 kV, tuginedes pikaajalisele kogemusele, tuleb aasta keskmise temperatuurina rakendada väärtust 0 °C

1.4. TUULEKOORMUS

Tuulekoormus arvutatakse vastavalt standarditele EVS-EN 50341-1:2013 ja EVS-EN 50341-2-20:2018. Tuuletakistustegur on $C_c = 1,00$ ja tuuletakistustegur keerutatud juhtmetele on $C_c = 1,20$.

Juhtme baaskõrguseks h maapinnast on arvestatud isolaatorkomplekti kinnituspunkti kõrgus mastil ($h = 10$ m).

Vastavalt standardile EVS-EN 50341-1:2013 mehaanilise resonantsi tegur G_c visangutele alla 100 m eeldatakse võrdseks vastava väärtusega 100 m jaoks.



Joonis 1. Suurimad tuulekiirused erinevatel maastikutüüpidel

Seega tuulekoormus, mis tahes liini elemendile on välja arvatav järgmise seose abil.

$$Q_{\text{tuulekoormus}} = q_p(h) \cdot G_x \cdot C_x \cdot A_x \quad (1)$$

kus $q_p(h)$ - suurim tuulesurve vastavalt kõrgusel h , N/m²,

G_x - vaadeldava elemendi mehaanilise resonantsi tegur,

A_x - vaadeldava elemendi pinna projektsioon tuule suunaga risti olevale tasapinnale, m²,

C_x - vaadeldava elemendi tuuletakistustegur.

1.5. JÄITEKOORMUS

Mehaanilise tugevuse määramiseks tuleb lisaks tuulekoormusele leida ka jäitekoormus, mis mõjub õhuliini juhtmetele. Jäidet on kahte tüüpi jasee sõltub iga riigi kohalikest oludest, millega tuleb projekteerimisel arvestada. Nendeks tüüpideks on:

- Märg lumi või klaasjas jää – antud jäide tekib enamasti sademetest, mis jäätuvad kokkupuutel juhtmega selle pinnale,
- Kristalne või teraline härmatis – antud jäide on tekkinud udust.

Eestis kasutatav jäide on klaasjas jää, mille tihedus on 900 kg/m³.

Jäitekoormus arvutatakse vastavalt standardile EVS-EN 50341-2-20:2018. Tuuletakistustegur jäitega kaetud juhtme korral on $C_{ic} = 1,00$ ja keerutatud juhtmetel on $C_{ic} = 1,20$.

Seega kui on määratletud jäitetüüp ja selle tihedus, on võimalik määrata jäitekoormus, mis mõjub õhuliini juhtmetele. Seda on võimalik määrata alljärgneva seose abil:

$$I = 9,82 \cdot \rho_I \cdot \pi \cdot b + (d + b) \cdot 10^{-3} \quad (2)$$

kus ρ_I - jäite tihedus, g/m³,

b - jäite paksus, mm

d - juhtme või trossi läbimõõt, mm.

Eelnevalt leitud jäitekoormuse korral on võimalik määrata juhtme kinnituspunktile mõjuv kogu jäitekoormus. Seda on võimalik määrata alljärgnevast seosest:

$$Q_{\text{jäitekoormus}} = I \cdot L_w \quad (3)$$

kus I - jäitekoormus, N/m,

L_w - kaaluvisang, m.

1.6. PROJEKTEERIMISE PÕHIVALEM

Ehitusliku projekteerimise üldine põhimõte tugineb piirseisundi kontseptsioonil, mida rakendatakse koos osavarutegurite meetodiga. See tähendab, et projekteerimisel rakendatakse järgmist seost.

$$E_d \leq R_d \quad (4)$$

kus E_d on koormuste mõju summaarne arvutuslik väärtus ja R_d on arvutuslik konstruktsiooniline kandevõime ehk see on määratletud järgmise seosega (vt Valem 5).

$$X_d = \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (5)$$

kus X_k on materjali normväärtus ja γ_M on materjali omaduse osavarutegur.

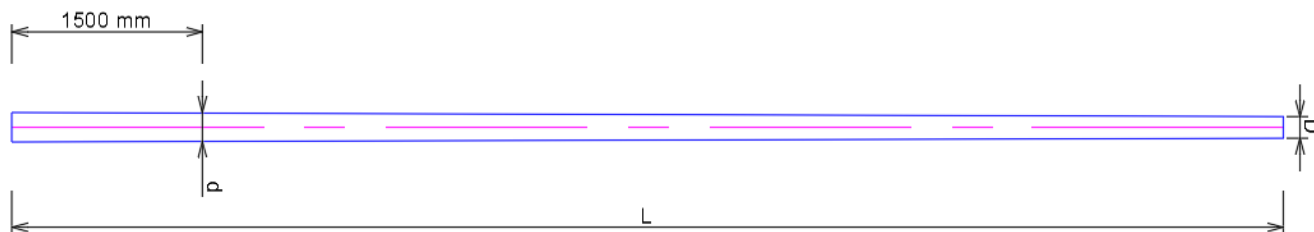
1.7. PUITPOSTID

Puitpostide standardmõõtmed ja iseloomustavad suurused on toodud alljärgnevas tabelis, kusjuures vastavalt standardile EVS-EN 14229 on läbimõõt mõõdetud lõikes 1500 mm posti alumisest (jämedamast) otsast.

Tabel 1. Standardiseeritud postid

Masti pikkus L (m)	Klass	D (mm)	d (mm)
9	2	150	195
9	3	170	210
9	4	190	225

Alljärgneval joonisel on esitatud posti mõõtmed.



Joonis 2. Posti mõõtmed

Puitpostimastide tõmbe-, surve- ja paindekandevõime tuleb määrata nii et posti igas ristlõikes oleks rahuldatud järgmised tingimused:

$$\sigma_d \leq f_d \quad (6)$$

kus σ_d – arvutuslik pinge, N/mm²,

f_d – arvutuslik kandevõime ehk $f_d = f_k / \gamma_{M1}$, N/mm²,

f_k – normtugevus, N/mm²,

γ_{M1} – puidu osavarutegur.

Hariliku männi tuupiline normtugevus f_k on 41,8 N/mm² ja seda väärtust on ka antud projekti raames kasutatud. Puidu osavarutegurina on kasutatud 1,40. Puitmasti kandevõime arvutus on teostatud vastavalt Elektrilevi OÜ standardis esitatud meetodile.

1.8. TRAFODE JA SEADMETE LÄHTEANDMED

Käesoleva tööeesmärgiks on trafode paigaldamine puitpostidele ja sellega seoses on vajalik teostada puitpostide kandevõime kontroll. Trafosid on nelja erinevat tüüpi ja nende parameetrid on toodud alljärgnevas tabelis.

Tabel 2. Trafode andmed

Tafo nimivõimsus (kVA)	Kaal (kg)	Laius (mm)	Kõrgus (mm)
50	860	986	1221
100	1050	1008	1288
160	1200	1005	1326
250	1500	1200	1650

Trafod on paigaldatud maapinnast 4800 mm – trafo kõrgus/2 kõrgusele.

Täiendavalt on paigaldatud lahkkaitsmed, kus kasutatakse analüüsimisel ainult omakaalu, milleks on

$W_{\text{lahkaitse}} = 115 \text{ kg}$.

Ning lisaks on paigaldatud mastile jaotuskapp, millele rakendub analüüsil tuulekoormus ja omakaal, milleks on

$A_{\text{jaotuskapp}} = 0,47 \text{ m}^2$,

$W_{\text{jaotuskapp}} = 38 \text{ kg}$.

1.9. MASTILÜLITITE LÄHTEANDMED

ENTEC EPR-2

Võimsuslüli kaal kokku 200 kg (sh. aluskonstruktsioon 40 kg), mõõtmed paagil 884x350x300 mm, lüli sambad risti liini teljega 650x300 (3 sammast üksteise taga), pingepiirikud samuti üksteise taga 245x80 mm.

Juhtimismooduli kaal 45 kg, mõõtmed 642x443x292 mm.

TAVRIDA OSM 25 AL1, REC25 AL

Võimsuslüli kaal kokku 97 kg (sh. aluskonstruktsioon 25 kg), mõõtmed 740x515x250 mm (ilma läbiviikisolaatorite ja pingepiirikuteta), isolaatorite hinnangulised mõõtmed risti liini 2 rida üksteise taga 2x368x300 mm, pingepiirikutel samuti 2 rida 2x245x80 mm.

Juhtimismooduli kaal 45 kg, mõõtmed 670x512x307 mm.

OT pingetrafo koos aluskonstruktsiooniga 45 kg.

NOJA OSM27-12-800-310

Võimsuslüli kaal 109 kg, mõõtmed 800x574x274 mm (ilma läbiviikisolaatoriteta), isolaatorite hinnangulised mõõtmed risti liini 2 rida üksteise taga 2x368x300 mm, pingepiirikutel samuti 2 rida 2x245x80 mm.

Juhtimismooduli kaal 41 kg, mõõtmed 930x400x269 mm.

OT pingetrafo koos aluskonstruktsiooniga 45 kg.

1.10. LAHUTAJATE-SEKTSIONEERIJATE ANDMED

ENSTO Auguste

Võimsusüliti kaal koos postikinnitusega kokku 193 kg, mõõtmed 1320x530x470 mm (ilma läbiviikisolaatoriteta).

Juhtimismooduli kaal 30 kg, mõõtmed 625x345x335 mm.

OT pingetrafo koos aluskonstruktsiooniga 45 kg.

1.11. ARVUTUSSKEEM

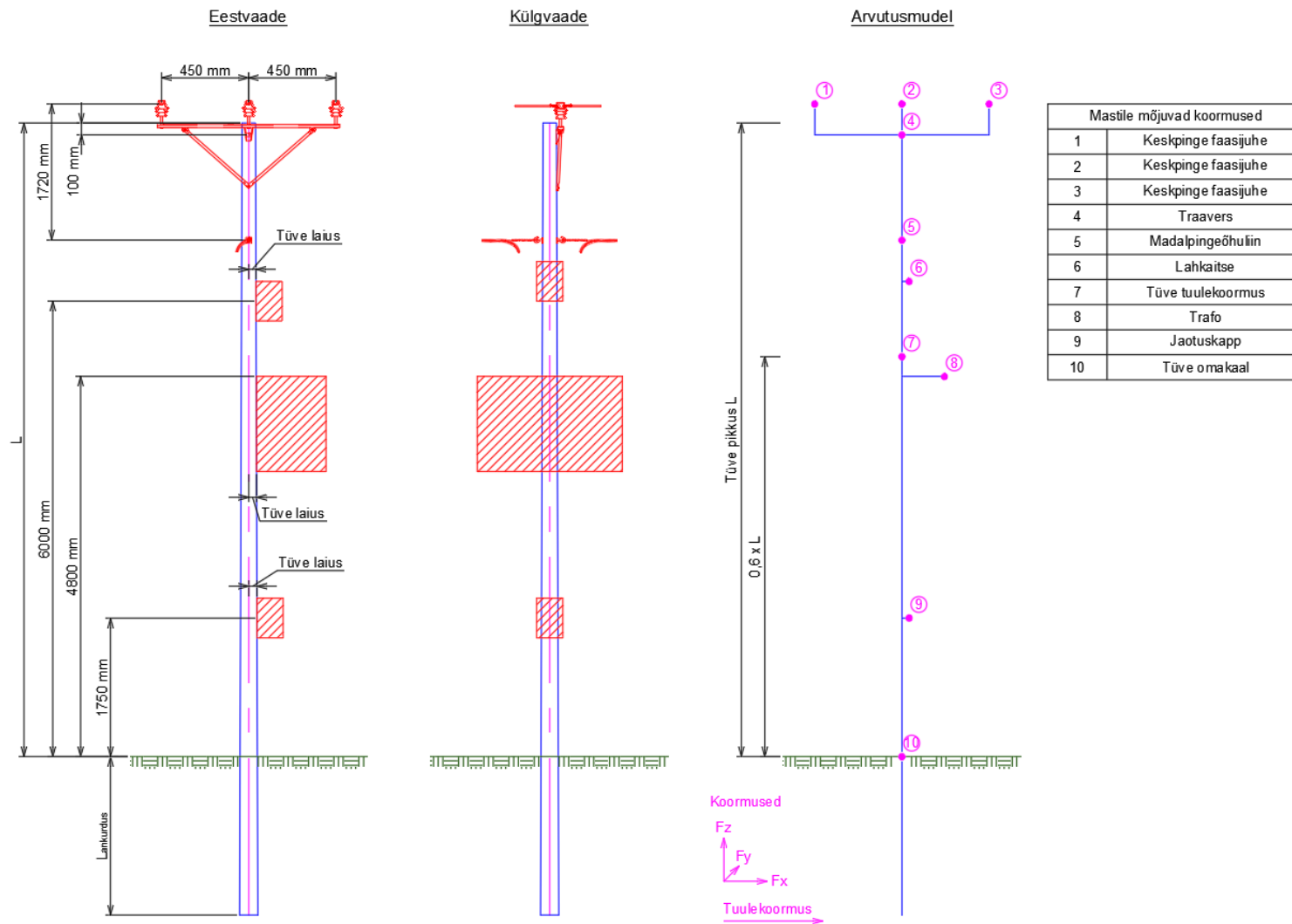
Analüüs on koostatud järgmise arvutuskeemi põhjal. Arvesse on võetud järgmised koormused.

Tabel 3. Koormused

Pos	Horisontaalne koormus	Vertikaalne koormus	Märkused
1	X	X	Keskpingeõhuliini koormus
2	X	X	Keskpingeõhuliini koormus
3	X	X	Keskpingeõhuliini koormus
4	---	---	Traaversi koormus
5	X	X	Madalpingeõhuliini koormus
6	---	X	Lahkakaitse koormus
7	X	---	Puitposti tuulekoormus
8	X	X	Trafo koormus
9	X	X	Jaotuskapp koormus
10	---	X	Puitposti omakaal

Kahe mastilisel skeemil on koormusskeem samasugune, ainule trafo omakaal ja tuulekoormus on jagatud pooleks.

Mastalajaamade ja mastilülite arvutamine



Joonis 3. Arvutuskeem

2. ARVUTUSPROGRAMM

Antud peatükis on esitatud programmi tutvustus. Arvutusprogramm on koostatud arvutussimulaatorisse Smath, mis on vabavaraline tarkvara ja kõigil lihtsasti kättesaadav.

2.1. ANDMED

Tuleb määrata puitposti kõrgus, diameetrid ja ankurduspikkus.

Puitposti kogu kõrgus, m	Puitposti ankurdus, m
$L_{pol} := 9$	$L_{ank} := 2,5$
Puitposti ülemine diameeter, m	Puitposti alumine diameeter, m
$D_{ül} := 0,190$	$D_{al} := 0,225$

Joonis 4. Puitposti andmed

Määrata keskpingeõhuliini andmed (juhtme diameeter, juhtme ühikkaal ja visangu pikkus).

Juhtme diameeter, mm	Juhtme kaal, N/m	Visangu pikkus, m
$D_{keskJuhe} := 15,1$	$UW_{keskJuhe} := 3,03$	$S_{keskJuhe} := 100$

Joonis 5. Keskpingeõhuliini andmed

Määrata madalpingeõhuliini andmed (juhtme diameeter, juhtme ühikkaal ja visangu pikkus).

Juhtme diameeter, mm	Juhtme kaal, N/m	Visangu pikkus, m
$D_{madalJuhe} := 36,0$	$UW_{madalJuhe} := 9,81$	$S_{madalJuhe} := 60$

Joonis 6. Madalpingeõhuliini andmed

Määrata trafo andmed (tuulepindala ja trafo omakaal).

Trafo tuulepindala, m²

$$A_{\text{trafo}} := 0,986 \cdot 1,401 = 1,38$$

Trafo kaal, N

$$W_{\text{trafo}} := 860 \cdot 9,81 = 8436,6$$

Joonis 7. Trafo andmed

Määrata lahkaitse andmed (lahkkaitse omakaal).

Lahkkaitse kaal, N

$$W_{\text{lahk}} := (35 + 80) \cdot 9,81 = 1128,15$$

Joonis 8. Lahkkaitse andmed

Määrata jaotuskapi andmed (tuulepindala ja trafo omakaal).

Jaotuskapi tuulepindala, m²

$$A_{\text{jao}} := 0,450 \cdot 1,053 = 0,47$$

Jaotuskapi kaal, N

$$W_{\text{jao}} := 38 \cdot 9,81 = 372,78$$

Joonis 9. Jaotuskapi andmed

Tulemused on esitatud programmi lõpus, kus on koondvaade kõikidest analüüsitud koormusjuhtumitest.

$$\sigma_{1a} = 27,27$$

$$\sigma_{2a} = 5,44$$

$$\sigma_{3a} = 14,44$$

$$\sigma_{3b} = 20,76$$

$$\sigma_4 = 4,78$$



Puitposti kandevõime

$$\sigma := \frac{41,8}{1,4} = 29,86$$

Joonis 10. Kokkuvõte

TULEMUSED

Esitatud on minimaalsed puitpostide tüved, mida on võimalik kõigesolevates tingimustes kasutada.

Tabel 4. Mastalajaamade arvutustulemused

Pos	1 või 2 mastiline	Puitpost			Trafo		Keskpingeõhuliin		Madalpingeõhuliin		Puitpost kandevõime					Kandevõime
		Klass	Pikkus	Tüüp	Kaal	Mõõtmed	Tüüp	Visang	Tüüp	Visang	1a	2a	3a	3b	4	
1	1	4	9 m	50 kVA	8437 N	986x1221 mm	BLL 62	100 m	AMKA3x70	60 m	25,80 MPa	5,45 MPa	13,86 MPa	19,73 MPa	4,79 MPa	OK
		4	9 m	100 kVA	10301 N	1008x1288 mm	BLL 62	100 m	AMKA3x70	60 m	26,73 MPa	6,06 MPa	14,60 MPa	20,57 MPa	5,40 MPa	OK
		4	9 m	160 kVA	11772 N	1005x1326 mm	BLL 62	100 m	AMKA3x70	60 m	27,32 MPa	6,53 MPa	15,12 MPa	21,12 MPa	5,88 MPa	OK
		4	9 m	250 kVA	14715 N	1200x1650 mm	BLL 62	100 m	AMKA3x70	60 m	26,63 MPa	7,19 MPa	15,16 MPa	20,82 MPa	6,73 MPa	OK
2	1	4	9 m	50 kVA	8437 N	986x1221 mm	BLL 99	100 m	AMKA3x70	60 m	27,27 MPa	5,57 MPa	14,54 MPa	20,80 MPa	4,88 MPa	OK
		4	9 m	100 kVA	10301 N	1008x1288 mm	BLL 99	100 m	AMKA3x70	60 m	27,37 MPa	6,11 MPa	14,88 MPa	21,03 MPa	5,45 MPa	OK
		4	9 m	160 kVA	11772 N	1005x1326 mm	BLL 99	100 m	AMKA3x70	60 m	27,45 MPa	6,54 MPa	15,17 MPa	21,22 MPa	5,92 MPa	OK
		4	9 m	250 kVA	14715 N	1200x1650 mm	BLL 99	100 m	AMKA3x70	60 m	27,15 MPa	7,23 MPa	15,39 MPa	21,20 MPa	6,77 MPa	OK
2	1	3	9 m	50 kVA	8437 N	986x1221 mm	AS-35	100 m	AMKA3x70	60 m	26,00 MPa	5,90 MPa	14,21 MPa	20,01 MPa	5,27 MPa	OK
		3	9 m	100 kVA	10301 N	1008x1288 mm	AS-35	100 m	AMKA3x70	60 m	27,12 MPa	6,61 MPa	15,08 MPa	21,01 MPa	5,98 MPa	OK
		3	9 m	160 kVA	11772 N	1005x1326 mm	AS-35	100 m	AMKA3x70	60 m	27,81 MPa	7,17 MPa	15,69 MPa	21,66 MPa	6,54 MPa	OK
		4	9 m	250 kVA	14715 N	1200x1650 mm	AS-35	100 m	AMKA3x70	60 m	25,17 MPa	6,30 MPa	14,07 MPa	19,55 MPa	5,77 MPa	OK
4	1	3	9 m	50 kVA	8437 N	986x1221 mm	AS-50	100 m	AMKA3x70	60 m	26,58 MPa	5,93 MPa	14,46 MPa	20,42 MPa	5,29 MPa	OK
		3	9 m	100 kVA	10301 N	1008x1288 mm	AS-50	100 m	AMKA3x70	60 m	27,10 MPa	6,58 MPa	15,04 MPa	20,98 MPa	5,98 MPa	OK
		3	9 m	160 kVA	11772 N	1005x1326 mm	AS-50	100 m	AMKA3x70	60 m	27,30 MPa	7,11 MPa	15,43 MPa	21,28 MPa	6,53 MPa	OK
		4	9 m	250 kVA	14715 N	1200x1650 mm	AS-50	100 m	AMKA3x70	60 m	24,76 MPa	6,25 MPa	13,86 MPa	19,24 MPa	5,77 MPa	OK
5	2	3	9 m	50 kVA	8437 N	986x1221 mm	BLL 62	100 m	AMKA3x70	60 m	27,30 MPa	4,57 MPa	13,99 MPa	20,53 MPa	3,79 MPa	OK
		3	9 m	100 kVA	10301 N	1008x1288 mm	BLL 62	100 m	AMKA3x70	60 m	27,73 MPa	4,92 MPa	14,37 MPa	20,93 MPa	4,14 MPa	OK
		3	9 m	160 kVA	11772 N	1005x1326 mm	BLL 62	100 m	AMKA3x70	60 m	28,29 MPa	5,20 MPa	14,76 MPa	21,41 MPa	4,42 MPa	OK
		4	9 m	250 kVA	14715 N	1200x1650 mm	BLL 62	100 m	AMKA3x70	60 m	25,17 MPa	5,09 MPa	13,39 MPa	19,18 MPa	4,43 MPa	OK
6	2	3	9 m	50 kVA	8437 N	986x1221 mm	BLL 99	100 m	AMKA3x70	60 m	29,14 MPa	4,71 MPa	14,82 MPa	21,86 MPa	3,89 MPa	OK
		3	9 m	100 kVA	10301 N	1008x1288 mm	BLL 99	100 m	AMKA3x70	60 m	28,71 MPa	4,99 MPa	14,80 MPa	21,64 MPa	4,21 MPa	OK
		3	9 m	160 kVA	11772 N	1005x1326 mm	BLL 99	100 m	AMKA3x70	60 m	28,45 MPa	5,21 MPa	14,82 MPa	21,52 MPa	4,47 MPa	OK
		4	9 m	250 kVA	14715 N	1200x1650 mm	BLL 99	100 m	AMKA3x70	60 m	25,30 MPa	5,10 MPa	13,44 MPa	19,28 MPa	4,47 MPa	OK
7	2	3	9 m	50 kVA	8437 N	986x1221 mm	AS-35	100 m	AMKA3x70	60 m	21,89 MPa	4,29 MPa	11,60 MPa	16,65 MPa	3,66 MPa	OK
		3	9 m	100 kVA	10301 N	1008x1288 mm	AS-35	100 m	AMKA3x70	60 m	22,51 MPa	4,64 MPa	12,05 MPa	17,19 MPa	4,01 MPa	OK
		3	9 m	160 kVA	11772 N	1005x1326 mm	AS-35	100 m	AMKA3x70	60 m	22,88 MPa	4,92 MPa	12,37 MPa	17,53 MPa	4,29 MPa	OK
		3	9 m	250 kVA	14715 N	1200x1650 mm	AS-35	100 m	AMKA3x70	60 m	24,68 MPa	4,92 MPa	13,09 MPa	18,80 MPa	4,29 MPa	OK
8	2	3	9 m	50 kVA	8437 N	986x1221 mm	AS-50	100 m	AMKA3x70	60 m	22,47 MPa	4,32 MPa	11,85 MPa	17,06 MPa	3,69 MPa	OK
		3	9 m	100 kVA	10301 N	1008x1288 mm	AS-50	100 m	AMKA3x70	60 m	22,44 MPa	4,61 MPa	12,00 MPa	17,13 MPa	4,02 MPa	OK
		3	9 m	160 kVA	11772 N	1005x1326 mm	AS-50	100 m	AMKA3x70	60 m	22,37 MPa	4,86 MPa	12,11 MPa	17,15 MPa	4,29 MPa	OK
		3	9 m	250 kVA	14715 N	1200x1650 mm	AS-50	100 m	AMKA3x70	60 m	23,24 MPa	4,88 MPa	12,46 MPa	17,77 MPa	4,30 MPa	OK

Tabel 5. Mastilülite arvutustulemused

Pos	Tüüp	Puitpost		Keskpingeõhuliin		Puitpost kandeõime					Kandeõime
		Klass	Pikkus	Tüüp	Visang	1a	2a	3a	3b	4	
1	ENTEC EPR-2	2	11 m	BLL 62	120 m	27,47 MPa	5,56 MPa	14,78 MPa	20,96 MPa	4,46 MPa	OK
2	ENTEC EPR-2	3	11 m	BLL 99	120 m	24,55 MPa	4,33 MPa	12,77 MPa	18,54 MPa	3,49 MPa	OK
3	ENTEC EPR-2	2	11 m	AS-35	120 m	19,47 MPa	5,02 MPa	11,14 MPa	15,19 MPa	4,21 MPa	OK
4	ENTEC EPR-2	2	11 m	AS-50	120 m	20,93 MPa	5,14 MPa	11,82 MPa	16,25 MPa	4,28 MPa	OK
5	TAVRIDA OSM 25 AL1, REC25_AL	2	11 m	BLL 62	120 m	27,41 MPa	4,99 MPa	14,41 MPa	20,75 MPa	3,88 MPa	OK
6	TAVRIDA OSM 25 AL1, REC25_AL	3	11 m	BLL 99	120 m	24,56 MPa	3,91 MPa	12,52 MPa	18,42 MPa	3,07 MPa	OK
7	TAVRIDA OSM 25 AL1, REC25_AL	2	11 m	AS-35	120 m	19,40 MPa	4,44 MPa	10,77 MPa	14,97 MPa	3,63 MPa	OK
8	TAVRIDA OSM 25 AL1, REC25_AL	2	11 m	AS-50	120 m	20,86 MPa	4,57 MPa	11,45 MPa	16,03 MPa	3,71 MPa	OK
9	NOJA OSM27-12-800-310	2	11 m	BLL 62	120 m	29,32 MPa	5,13 MPa	15,26 MPa	22,13 MPa	4,03 MPa	OK
10	NOJA OSM27-12-800-310	3	11 m	BLL 99	120 m	26,16 MPa	4,02 MPa	13,23 MPa	19,57 MPa	3,17 MPa	OK
11	NOJA OSM27-12-800-310	2	11 m	AS-35	120 m	17,99 MPa	4,08 MPa	9,90 MPa	13,86 MPa	3,49 MPa	OK
12	NOJA OSM27-12-800-310	2	11 m	AS-50	120 m	18,83 MPa	3,83 MPa	10,10 MPa	14,37 MPa	3,20 MPa	OK

Tabel 6. Mastilülite arvutustulemused koos madalpingeõhuliiniga

Pos	Tüüp	Puitpost		Keskpingeõhuliin		Madalpingeõhuliin		Puitpost kandeõime					Kandeõime
		Klass	Pikkus	Tüüp	Visang	Tüüp	Visang	1a	2a	3a	3b	4	
1	ENTEC EPR-2	3	11 m	BLL 62	90 m	AMKA3x70	90 m	27,29 MPa	4,45 MPa	13,97 MPa	20,49 MPa	3,52 MPa	OK
2	ENTEC EPR-2	3	11 m	BLL 99	80 m	AMKA3x71	80 m	27,23 MPa	4,44 MPa	13,92 MPa	20,44 MPa	3,57 MPa	OK
3	ENTEC EPR-2	2	11 m	AS-35	90 m	AMKA3x72	90 m	28,16 MPa	5,65 MPa	15,12 MPa	21,48 MPa	4,54 MPa	OK
4	ENTEC EPR-2	2	11 m	AS-50	90 m	AMKA3x73	90 m	29,30 MPa	5,75 MPa	15,65 MPa	22,30 MPa	4,60 MPa	OK
5	TAVRIDA OSM 25 AL1, REC25_AL	2	11 m	BLL 62	70 m	AMKA3x74	70 m	29,43 MPa	5,02 MPa	15,21 MPa	22,17 MPa	3,99 MPa	OK
6	TAVRIDA OSM 25 AL1, REC25_AL	3	11 m	BLL 99	80 m	AMKA3x75	80 m	27,24 MPa	4,02 MPa	13,67 MPa	20,33 MPa	3,14 MPa	OK
7	TAVRIDA OSM 25 AL1, REC25_AL	2	11 m	AS-35	80 m	AMKA3x76	80 m	26,28 MPa	4,89 MPa	13,86 MPa	19,92 MPa	3,90 MPa	OK
8	TAVRIDA OSM 25 AL1, REC25_AL	2	11 m	AS-50	80 m	AMKA3x77	80 m	27,30 MPa	4,97 MPa	14,33 MPa	20,67 MPa	3,95 MPa	OK
9	NOJA OSM27-12-800-310	3	11 m	BLL 62	70 m	AMKA3x78	70 m	26,99 MPa	3,97 MPa	13,52 MPa	20,13 MPa	3,15 MPa	OK
10	NOJA OSM27-12-800-310	3	11 m	BLL 99	80 m	AMKA3x79	80 m	28,84 MPa	4,13 MPa	14,37 MPa	21,48 MPa	3,25 MPa	OK
11	NOJA OSM27-12-800-310	2	11 m	AS-35	80 m	AMKA3x80	80 m	24,68 MPa	4,21 MPa	12,74 MPa	18,59 MPa	3,39 MPa	OK
12	NOJA OSM27-12-800-310	2	11 m	AS-50	80 m	AMKA3x81	80 m	25,60 MPa	4,27 MPa	13,16 MPa	19,25 MPa	3,43 MPa	OK

Tabel 7. Lahutajate-seksioneerijate arvutustulemused

Pos	Tüüp	Puitpost		Keskpingeõhuliin		Puitpost kandevõime					Kandevõime
		Klass	Pikkus	Tüüp	Visang	1a	2a	3a	3b	4	
1	ENTEC EPR-2	3	11 m	BLL 62	120 m	24,08 MPa	4,06 MPa	12,39 MPa	18,12 MPa	3,30 MPa	OK
2	ENTEC EPR-2	3	11 m	BLL 99	120 m	26,72 MPa	4,29 MPa	13,62 MPa	20,04 MPa	3,45 MPa	OK
3	ENTEC EPR-2	2	11 m	AS-35	120 m	22,35 MPa	4,97 MPa	12,26 MPa	17,19 MPa	4,16 MPa	OK
4	ENTEC EPR-2	2	11 m	AS-50	120 m	23,42 MPa	5,02 MPa	12,74 MPa	17,95 MPa	4,16 MPa	OK

Praktikas võiks lähtuda alljärgnevast kokkuvõttest ja mitte kasutada minimaalsetest esitatud puitpostidest väiksemaid klasse.

Mastalajaamade analüüsimisel on selgunud, uute mastalajaamade ehitamisel on võimalik kasutada klass 4 puitposte minimaalselt. 1-mastilise lahenduses on võimalik kasutada järgmisi puitposte:

- 1) Trafo 50 kVA, keskpingeõhuliin BLL 62 või BLL 99 – minimaalselt klass 4 puitpost,
- 2) Trafo 100 kVA, keskpingeõhuliin BLL 62 või BLL99 – minimaalselt klass 4 puitpost,
- 3) Trafo 160 kVA, keskpingeõhuliin BLL 62 või BLL99 – minimaalselt klass 4 puitpost,
- 4) Trafo 250 kVA, keskpingeõhuliin BLL 62 või BLL99 – minimaalselt klass 4 puitpost.

Kui on tegemist avariilise trafo vahetusega olemasolevas mastalajaamas, siis on võimalik kasutada 1-mastilise lahenduses järgmisi puitposte:

- 1) Trafo 50 kVA, keskpingeõhuliin AS 35 või AS 50 – minimaalselt klass 3 puitpost,
- 2) Trafo 100 kVA, keskpingeõhuliin AS 35 või AS 50 – minimaalselt klass 3 puitpost,
- 3) Trafo 160 kVA, keskpingeõhuliin AS 35 või AS 50 – minimaalselt klass 3 puitpost,
- 4) Trafo 250 kVA, keskpingeõhuliin AS 35 või AS 50 – minimaalselt klass 4 puitpost.

Kui on tegemist uue lahendusega siis, 2-mastilise lahenduses on võimalik kasutada järgmisi puitposte:

- 1) Trafo 50 kVA, keskpingeõhuliin BLL 62 või BLL 99 – minimaalselt klass 3 puitpost,
- 2) Trafo 100 kVA, keskpingeõhuliin BLL 62 või BLL99 – minimaalselt klass 3 puitpost,
- 3) Trafo 160 kVA, keskpingeõhuliin BLL 62 või BLL99 – minimaalselt klass 3 puitpost,
- 4) Trafo 250 kVA, keskpingeõhuliin BLL 62 või BLL99 – minimaalselt klass 4 puitpost.

Kui on tegemist avariilise trafo vahetusega olemasolevas mastalajaamas, siis on võimalik kasutada 2-mastilise lahenduses järgmisi puitposte:

- 1) Trafo 50 kVA, keskpingeõhuliin AS 35 või AS 50 – minimaalselt klass 3 puitpost,
- 2) Trafo 100 kVA, keskpingeõhuliin AS 35 või AS 50 – minimaalselt klass 3 puitpost,
- 3) Trafo 160 kVA, keskpingeõhuliin AS 35 või AS 50 – minimaalselt klass 3 puitpost,
- 4) Trafo 250 kVA, keskpingeõhuliin AS 35 või AS 50 – minimaalselt klass 3 puitpost.

Mastilülite tulemused on esitatud tabelis 5 ja 6.

Lahutatajate ja sektsioneerijate tulemused on esitatud tabelis 7.

LISAD

Lisad 2-61 on Smath arvutusfailid.

Lisa 1 Mastalajaamade ja mastilülitite arvutamise lähteülesanne 05.04.2021

Lisa 2 KP-BLL62---MP-AMKA70---50kVA---klass4

Lisa 3 KP-BLL62---MP-AMKA70---100kVA---klass4

Lisa 4 KP-BLL62---MP-AMKA70---160kVA---klass4

Lisa 5 KP-BLL62---MP-AMKA70---250kVA---klass4

Lisa 6 KP-BLL99---MP-AMKA70---50kVA---klass4

Lisa 7 KP-BLL99---MP-AMKA70---100kVA---klass4

Lisa 8 KP-BLL99---MP-AMKA70---160kVA---klass4

Lisa 9 KP-BLL99---MP-AMKA70---250kVA---klass4

Lisa 10 KP-AS35---MP-AMKA70---50kVA---klass3

Lisa 11 KP-AS35---MP-AMKA70---100kVA---klass3

Lisa 12 KP-AS35---MP-AMKA70---160kVA---klass3

Lisa 13 KP-AS35---MP-AMKA70---250kVA---klass4

Lisa 14 KP-AS50---MP-AMKA70---50kVA---klass3

Lisa 15 KP-AS50---MP-AMKA70---100kVA---klass3

Lisa 16 KP-AS50---MP-AMKA70---160kVA---klass3

Lisa 17 KP-AS50---MP-AMKA70---250kVA---klass4

Lisa 18 KP-BLL62---MP-AMKA70---50kVA---klass3---2-posti

Lisa 19 KP-BLL62---MP-AMKA70---100kVA---klass3---2-posti

Lisa 20 KP-BLL62---MP-AMKA70---160kVA---klass3---2-posti

Lisa 21 KP-BLL62---MP-AMKA70---250kVA---klass4---2-posti

Lisa 22 KP-BLL99---MP-AMKA70---50kVA---klass3---2-posti

Lisa 23 KP-BLL99---MP-AMKA70---100kVA---klass3---2-posti

Lisa 24 KP-BLL99---MP-AMKA70---160kVA---klass3---2-posti

Lisa 25 KP-BLL99---MP-AMKA70---250kVA---klass4---2-posti

Lisa 26 KP-AS35---MP-AMKA70---50kVA---klass3---2-posti

- Lisa 27 KP-AS35---MP-AMKA70---100kVA---klass3---2-posti
- Lisa 28 KP-AS35---MP-AMKA70---160kVA---klass3---2-posti
- Lisa 29 KP-AS35---MP-AMKA70---250kVA---klass3---2-posti
- Lisa 30 KP-AS50---MP-AMKA70---50kVA---klass3---2-posti
- Lisa 31 KP-AS50---MP-AMKA70---100kVA---klass3---2-posti
- Lisa 32 KP-AS50---MP-AMKA70---160kVA---klass3---2-posti
- Lisa 33 KP-AS50---MP-AMKA70---250kVA---klass3---2-posti
- Lisa 34 ENTEC-EPR-2---KP-BLL62---klass2
- Lisa 35 ENTEC-EPR-2---KP-BLL99---klass3
- Lisa 36 ENTEC-EPR-2---KP-AS35---klass2
- Lisa 37 ENTEC-EPR-2---KP-AS50---klass2
- Lisa 38 TAVRIDA OSM 25 AL1, REC25_AL---KP-BLL62---klass2
- Lisa 39 TAVRIDA OSM 25 AL1, REC25_AL---KP-BLL99---klass3
- Lisa 40 TAVRIDA OSM 25 AL1, REC25_AL---KP-AS35---klass2
- Lisa 41 TAVRIDA OSM 25 AL1, REC25_AL---KP-AS50---klass2
- Lisa 42 NOJA OSM27-12-800-310---KP-BLL62---klass2
- Lisa 43 NOJA OSM27-12-800-310---KP-BLL99---klass3
- Lisa 44 NOJA OSM27-12-800-310---KP-AS35---klass2
- Lisa 45 NOJA OSM27-12-800-310---KP-AS50---klass2
- Lisa 46 ENTEC-EPR-2---KP-BLL62---MP-AMKA70---klass3
- Lisa 47 ENTEC-EPR-2---KP-BLL99---MP-AMKA70---klass3
- Lisa 48 ENTEC-EPR-2---KP-AS35---MP-AMKA70---klass2
- Lisa 49 ENTEC-EPR-2---KP-AS50---MP-AMKA70---klass2
- Lisa 50 TAVRIDA OSM 25 AL1, REC25_AL---KP-BLL62---MP-AMKA70---klass2
- Lisa 51 TAVRIDA OSM 25 AL1, REC25_AL---KP-BLL99---MP-AMKA70---klass3
- Lisa 52 TAVRIDA OSM 25 AL1, REC25_AL---KP-AS35---MP-AMKA70---klass2
- Lisa 53 TAVRIDA OSM 25 AL1, REC25_AL---KP-AS50---MP-AMKA70---klass2
- Lisa 54 NOJA OSM27-12-800-310---KP-BLL62---MP-AMKA70---klass2
- Lisa 55 NOJA OSM27-12-800-310---KP-BLL99---MP-AMKA70---klass3
- Lisa 56 NOJA OSM27-12-800-310---KP-AS35---MP-AMKA70---klass2

Lisa 57 NOJA OSM27-12-800-310---KP-AS50---MP-AMKA70---klass2

Lisa 58 ENSTO Auguste---KP-BLL62---klass3

Lisa 59 ENSTO Auguste---KP-BLL99---klass3

Lisa 60 ENSTO Auguste---KP-AS35---klass2

Lisa 61 ENSTO Auguste---KP-AS50---klass2

Lisa 62 Tabelid