

Государственный Комитет Высшего и Среднего
Специального Образования Совета Министров
Эстонской ССР

ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра электрических систем

Научно-технический отчет о научно-исследовательской
работе, выполненной по договору № 202/61 на тему

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОПОВЕХ
ОТ ЛЭП В СИСТЕМЕ
"ЭСТОНИЭНЕРГО"

Ответственные исполнители: и.о. доц. Танупере, О.О. *O. O. Tanupere*
асс. Мотусала, Т.Л. *T. L. Motusala*
асс. Ойдрин, Р.А. *R. A. Oidrin*

На эстонском языке

Аннотация на русском языке находится в конце отчета.

Таллин, 1962

NSV NN Riiklik Kõrgema ja Keskerihariduse Komitee

TALLINNA POLÜTEHNILINE
INSTITUUT

Elektrisüsteemide kateeder

Lepinguline tšü № 202/61.

RAADIOHÄIRETE UURIMINE.
ELEKTRIOLEKANDELIINIDELT
ENERGIASÜSTEEMIS "BESTI
ENERGIA".

Tšü teaduslik juhendaja: t.t.k. O.Terno..... *O.Terno*

Vastutavad teostajad: dots. kt. O.Tapupere..... *O.Tapupere*

ass. T.Metsuala..... *T.Metsuala*

ass. R.Oidra..... *R.Oidra*

Tšüst võtsid osa: üliõpilased L.Piller, P.Piller.

TFI Teadusala prorektor: H.Lepikson..... *H.Lepikson*

TFI TU sektori juhataja: R.Eek..... *R.Eek*

Tšü on teostatud NSV NN Energeetikavalituse "Besti
Energia" ja Tallinna Polütehnilise Instituudi vahel
28. oktoobril, 1961.a. sõlmitud lepingu alusel.

Tallinn, 1962.a.

Tallinna
Polütehnilise Instituudi
Raamatukogu

T-814

S i s u k o r d.

Sissejuhatus.....	lk 4
Raadiohäirete olemus ja seniste uurimuste ülevaade.....	6
1. Raadiohäirete tekkimise mehhanism.....	6
2. Ilmastiku mõju raadiohäiretele.....	8
3. Raadiohäirete sõltuvus liini konstruk- sioonist ja muudest faktoritest.....	9
4. Mõõtmised liinidel.....	11
5. Raadiohäirete laboratoorne uurimine....	12
6. Raadiohäirete teoreetilisest arvutusest	14
Lubatud raadiohäirete normid.....	16
Kasutatav mõõteaparatuur ja mõõtmismetoodika raa- diohäirete välismõõtmistel ning laboratoorsetel uurimistel.....	17
Mõõtmiste tulemused.....	
Laboratoorsed mõõtmised.....	25
1. Raadiohäirete laboratoorsete mõõtmiste eesmärk.....	25
2. Raadiohäirete nivoo sama juhtmel mitme- sugustel väljatugevustel.....	25
3. Raadiohäirete sagedusspektrid sõltuvalt juhtme margist ja pinna olukorrast.....	29
Välimõõtmised.....	41
1. Raadiohäirete välimõõtmiste eesmärk....	41
2. Ilusa ilmaga mõõdetud raadiohäirete ni- vood.....	41
3. Raadiohäirete nivood sademete puhul....	45
4. Mitmesuguste tegurite mõju raadiohäire- te nivoole.....	52

Raadiohäirete nivood Eesti Energia Põhja Kõrgepinge- võrkude tegutsevatel 35, 110, ja 220 kV elektriüle- kandeliinidel (tabel I).....	61
Kokkuvõte.....	62

Lisa № 1

Potentsiaali gradientide arvutamine elektriülekande- liinide juhtmetel.....	64
--	----

Lisa № 2

Potentsiaali gradiendi arvutus silindrisse paiguta- tud juhtmel.....	66
Kirjandus.....	67
ANNOTAATUM.....	68

S i s s e j u h a t u s.

Viinaste aastate elektroenergeetikat iseloomustab elektriülekanaliinide pidev kasv, et varustada elektri-energiaga järjest suurenevad tarbijate hulka ja nimipingete tõusu, et kindlustada suurte võimsuste ökonoomset ülekannet. Üheks olulisemaks teguriks, mis piirab nimipingete tõusu on raadio- ja televisioonihäired kõrgepingeliinidelt, sest raadio- ja televisioonivastuvõtjate ning mitmesuguste raadiotehnilise mõõteaparatuuri kasutusala levineb pidevalt. Sellest tingituna elektriülekanaliini juhtmete ja osaliselt ka isolatsiooni valikul ülikõrgetel pingetel ($U_N = 500$ kV ja rohkem) esutub määravaks raadiohäirete tase koos koroonakadudega.

Kuid ka madalamatel pingetel ($U_N = 110, 220$ ja 330 kV, erandjuhtumel ka 35 kV) on oluline teada raadiohäirete nivood ja kontrollida selle vastavust kehtivatele normidele.

Raadiohäirete põhjuseks ülekandeliinidelt on osalahendused, mis tekivad liinijuhtmetel ja armatuuril. Osalahendustel vabanenud energia kiiratakse ümbritsevasse keskkonda, tekitades häirevälja. Häirevälja tase oleneb paljudest faktoritest: liini konstruktsioonist (mastide, juhtmete tüüp, masti ja juhtme materjal, faaside paigutus jne), atmosfäärilistest tingimustest (rõhk, temperatuur, sademed) juhtmete ja isolatsiooni pinnatingimustest (saastumine, pinna siledus jne.), defektidest isolatsioonis jne.

Raadiohäirete tase mõõtmiseks kasutatakse standardset mõõteaparatuuri, nn. raadiohäiremõõtjaid, mille abil kontrollitakse esineva häirenivoo vastavust kehtivatele normidele.

Antud töö ülesandeks on raadiohäirete nivoo mõõtmine energiasüsteemi Eesti Energia Põhja Kõrgpingevõrkudes pingetel $U_N = 35, 110$ ja 220 kV, et kontrollida nende liinide häirenivoode vastavust normidele ja välja selgitada peamised häired põhjustavad tegurid.

Paralleelselt välimõõtaistega ülekandeliinidel on antud töö ülesandeks ka raadiohäirete laboratoorsed uurimised, et selgitada rea tegurite mõju häirenivoole millede hindamine välitingimustes on raskendatud või praktiliselt võimatu. (muutuv elekt-riväljatugevuse gradient juhtme pinnal, juhtme pinna puhtus jne.).

Töö teostati grupi Tallinna Polütehnilise Instituudi Elektrisüsteemide kateedri õppejõudude ja üliõpilaste poolt, laboratoorsed uurimised viidi läbi TPI Kõrgpinge laboratooriumis.

II Raadiohäirete olemus ja seniste uurimuste ülevaade.

1. Raadiohäirete tekkimise mehanism.

Raadiohäirete põhjuseks elektriülekanaliinidelt on liinijuhtmetel ja armatuuril tekkivate osalahenduste energia, mis kiiratakse ümbritsevasse keskkonda.

Need osalahendused tekivad krobeline pinnaga juhtmetel juba 40 - 50 % madalamal pingel, kui seda on koroonal alguspinge ideaalselt siledal juhtmel jaoks.

Viimane on arvestatav valemiga:

$$U_0 = 21,1 \left(1 + \frac{0,3}{\sqrt{\delta r}} \right) m \delta r \ln \frac{S}{r} \quad [kv]$$

kus: 21,1 - õhu kriitise potentsiaali gradient $[kv/cm]$

δ - õhu suhteline tihedus

r - juhtme raadius / cm/

S - kaugus juhtmete vahel / cm /

m - koefitsient, mis arvestab juhtme pinna omadusi.

Ideaalselt siledal juhtmel.

$m = 0,846.$

Raadiohäired on peamiselt tingitud lahendustest positiivsel poolperioodil. Osalahenduste poolt tekitatud häirevälja saab vaadelda kahe välja summana:

1. väli, mis kiirgub vahetult ümbritsevasse keskkonda

2. väli, mis on põhjustatud lahenduse vooludest juhtmes.

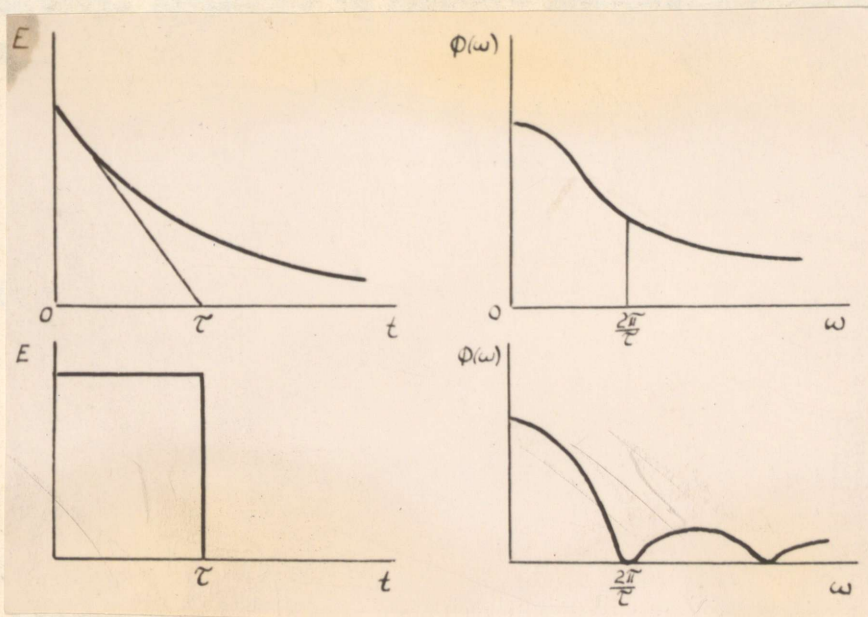
Vahetult ümbritsevasse keskkonda kiiratava laine front on palju järsem, kui mööda juhtmeid leviva elektromagneetilise energia poolt põhjustatud laine oma. Vahetult ümbritsevasse keskkonda kiiratava välja mõju raadiohäiretele on madalamatel sagedustel väike, võib saada määravaks aga kõrgematel sagedustel, kuna aga üldine häirenivoo langeb tunduvalt juba sagedustel 2 - 3 MHz, siis võime lüüa vahetult ümbritsevasse keskkonda kiiratava välja mõju kõrvaliseks.

Üksiku lahenduse väli nõrgeneb kiiresti kaugenodes lahenduse kohast põiki liini, kaugenodes piki liini on välja

sumbuvus väiksem. Piki liini sumbub lahenduse väli eksponentsiaalselt, vähenedes 2 korda ca 1,5 km kaugusel lahenduskohast [K.7].

Osalahendus kujutab endas lühiajalist vooluimpulssi, kestvusega ca 10^{-8} sec. Positiivsel poolperioodil esineval lahendusel neutraliseeritakse laeng ca $10^{-9} - 10^{-8}$ C, sellele vastav energia (0,1 - 1) $\cdot 10^{-3}$ W sek. Need üksikud impulsid korduvad üksteise järel, kuid kordumise sagedus on üheselt määramatu olles funktsioon liini tööpingest, juhtme pinna olukorrast, ilmastikutingimustest jne. üksikimpulsside suurused ja kordumissagedus alluvad matemaatilise statistika seadusele.

Üksikimpulsside poolt tekitatud sagedusspekter on oma loomult muutuv, kuna muutuvad ka impulsi kestvus ja kuju. Kuid uurimused on näidanud, et lühikeste impulsside puhul spektri madal sageduslik osa (sageduseni ca $\frac{1}{\tau}$, kus τ on impulsi kestvus) väga vähe sõltub impulsi kujust ja omab enam-vähem konstantset suurst. vt. joon. 1.



Joon. Nr. 1.

Kuna üksikimpulsside kestvused on tavaliselt piirides $10^{-8} - 10^{-7}$ sek, siis häirete sagedusspekter raadiosageduste diapsoonis (0,15 - 10 MHz) omab horisontaalse osa ja on võimalik ning küllaldane raadiohäirete mõõtmine keskmistel sagedustel - 0,25- 1,5 MHz, mis tunduvalt lihtsustab mõõteaparatuuri ja mõõtmisi.

Ülaltoodud kaalutlusi kinnitavad ka mõõtmiste tulemused.

Kaugenedes liinist raadiohäired sumbuvad võrdlemisi kiiresti. Kauguseni 100 m selge ilma puhul raadiohäired sumbuvad pöördvõrdeliselt kauguse ruuduga liinist.

Tidd'i (USA) katseliinil saadud andmete põhjal saadi seos [K 4]:

$$p = 100 \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{D}{H}\right)^2}$$

kus p - häirete nivoo % -des häirete nivoost liini härmise juhtme all

h - juhtme kõrgus visangu keskel

D - kaugus härmise juhtme projektsioonist

ВНИИЭ poolt 1958 ja 1959 aastal teostatud mõõtmiste põhjal Moskva, Rostovi, Armeenia ja Gruusia energiasüsteemides parandati saadud seost:

$$p = 100 \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{D}{H}\right)^2} \right]^{0,7}$$

Saadud seost ei saa aga veel pidada lõplikuks, kuna lõpliku valemi koostamiseks pole katsete arv veel küllaldane.

2. Ilmastiku mõju raadiohäiretele.

Raadiohäirete intensiivsus sõltub tunduval määral meteoroloogilistest tingimustest - sademetest, õhu niiskusest, õhu rõhust jne.

Mõõtmiste tulemusi analüüsides [K 3; 5], võib teha järeldusi üksikute meteoroloogiliste nähtuste mõju kohta raadiohäiretele.

Vihma mõju on uuritud seni üsna ulatuslikult. Kuna aga raadiohäired sõltuvad väga palju kohalikest tingimustest ja ka

möötmiste arv pole olnud alati küllaldane, siis on saadud ka väga erinevaid tulemusi.

Pingetel 110 kV ja üle selle vihma puhul häired suurenevad tunduvalt võrreldes häiretega selge ilma puhul (esineva kirjanduse andmetel 2 - 3 korda, 10 korda [K 5] või isegi 20 korda [K 3]).

Pärast vihma häirete nivoo langeb alla normaalse, mis on põhjustatud vihma " pesevast " toimest - vihm puhastab juhtmeid.

Madalamatel pingetel (35 kV) vihma ajal häired vähenevad. See on seletatav sellega, et seal peamiseks häirete allikaks on armatuur ja vihma ajal sädevahed "lühistatakse" veega.

Raadiohäirete seisukohalt on tähtis vihma olemasolu, vihma intensiivsus ei avalda peaaegu mingit mõju [K 4].

Uuriti vihmapiiskade käitumist juhtmel AlFe d = 405 mm² pingel 230 kV [K 5]. Piisk, eraldudes juhtmest, on sama potentsiaali all, mis antud momendil juhegi. Pärast mingit ajamomenti, juhtme potentsiaal, muutudes 60 Hz järgi, osutub küllaldaseks, et põhjustada läbilööki juhtme ja vihmapiisa vahel. Selle tagajärjel vihmapiisk " lõhkeb ". Samuti toimusid ka läbilöögid juhtme ja piiskade vahel mis mõõdusid väga lähedalt juhtmest.

Need lahendused ja juhtmel olevad vihmapiissad moodustades teravikke põhjustavadki raadiohäirete suurenemist vihma ajal.

Lume ja rahe puhul kõigub raadiohäirete nivoo tunduvalt rohkem kui vihma puhul. Lumehelvete langemine juhtmele on vastuvõtjas kuulda iseloomulik ragin [K 5]. Märg lumi mõjub analoogselt vihmaga.

Õhu suhtelise niiskuse mõju.

Õhu niiskuse suurenedes suurenevad ka raadiohäired. Näiteks [K 3] 110 kV mereäärsel liinil niiskuse suurenedes 52 → 71 % tõusis raadiohäirete nivoo 1,5 kuni 2 korda.

3. Raadiohäirete sõltuvus liini konstruktsioonist ja muudest faktoritest.

Liini konstruktiivsetest osadest kõige suuremat mõju raadiohäiretele avaldab juhtme diameeter.

Üksikjuhtme potentsiaali gradientist sõltub juhtme raadiusest

järgmiselt K 3

$$E_{max} = \frac{80,65 I_c}{r_0} \left[\frac{kV}{cm} \right]$$

I_c - juhtme maht vool [A/ km]

r_0 - juhtme raadius.

Potensiaali gradient juhtme pinnal omab otsustavat tähtsust raadiohäirete nivoo määramisel pingetel 110 kV ja üle selle.

Sama gradiendi puhul on raadiohäirete nivoo kõrgem suurema diameetriga juhtmetel [K 5] kuna siis juhtme pind on suurem ja ka ebatasasusi juhtme pinnal rohkem.

Sama gradiendi puhul on häiretenivoo lõhestatud juhtmete puhul madalam. Samuti on liin raadiohäirete seisukohalt stabiilsem meteoroloogiliste tingimuste muutuste suhtes [K 4].

Maandustrosside olemasolu ja juhtmete kõrguse vähendamine tingib raadiohäirete suurenemist liini all, aga suurendab nende sumbumist liinist kaugenemisel [K 4].

Sõltuvus juhtmete paigutusest [K 3] :

1. vertikaalse juhtmete asetusega kaheahelalised liinid põhjustavad ~ 1,2 korda suuremaid häireid kui üheaahelaline liin horisontaalse juhtmete paigutusega.
2. horisontaalse juhtmete asetusega kaheahelalised liinid põhjustavad ~ 1,5 korda suuremaid häireid kui üheaahelalised.

Faaside asetuse kaheahelalisel liinil võib mõjuda tugevalt raadiohäireid [K 4]

Asetus

A	A
B	B
C	C

 võib vähendada raadiohäireid 40 % võrra võr-

reldes asetusega

A	C
B	B
C	A

, kuna potentsiaali gradient esimesel juhul ülemisel ja alumisel juhtmel on väiksem.

Tolmu, mineraalsete- ja orgaaniliste osakeste sadestumisel juhtmele võib häirete nivoo tunduvalt tõusta, kuna seetõttu tekivad juhtmete pinnal ebatasasused, millel pot. gradient on suurem tunduvalt juhtme enda pot. gradiendist.

Tööstuslikus rajoonis võivad suureneda raadiohäired juhtme saastumisest tõttu 5 - 6 korda [K 3].

Samuti võivad raadiohäired olla kõrgemad hilissuvel 6 kuni 3 korda [K 5] kui õhus lendleb palju tolmu, seemneid jms.

Tugevalt mõjub raadiohäiretele nn. juhtme " vananemine " Liini monteerimisel saab juhe paratamatult vigastada: pind kraabatakse ära, juhtme pinnaale satub tolm, pori, rohu kõrrekesed jne.

Aja jooksul ebatasasused vähenuvad juhtme kuumenemise, tuule, vihma jms. mõjul. Seega teatud aja möödudes vähenuvad ka raadiohäired.

Näitena võib tuua 1952.a. ehitatud 340 kV liini Sporn - Canava (USA).

Liini katsetamisel selgus, et raadiohäirete tase on niivõrd kõrge, et tuli liin üle viia pingele 132 kV. Pärast kolme aastast ekspluatatsiooni lülitati liin katseliselt unesti 340 kV pingele ja selgus, et raadiohäired ei ületa esialgsed arvestusi ja liin jäi talle pingel 340 kV [K 4].

4. Mõõtmised liinidel.

Kõik eelpool toodud järeldused on saadud suure hulga katsetuste ja mõõtmiste tulemusena.

Eriti suure tähtsuse on raadiohäirete uurimine omandanud viimastel aastatel seoses ülikõrgete pingete kasutuselevõtmisega. Ülikõrgetel pingetel muutuvad raadiohäired liini projekteerimisel määravaks.

Raadiohäirete mõõtmised on seotud suurte raskustega, kuna häired on sõltuvad väga paljudest faktoritest. Teatud teguri uurimisel valmistab raskusi teiste elimineerimine. (Näiteks uurides raadiohäirete sõltuvust juhtme diameetrist peame kõik katsed tegema ühtlaste meteoroloogiliste tingimuste juures). Samuti osutuvad tihti segavaks mõõtmistel kõrvalistest allikatest põhjustatud häired.

Raadiohäirete uurimiseks on ehitatud mitmed katseliinid. Katseliinidel on mõõtmisi tunduvalt kergem läbiviia, kuna katseliine võime varustada väga täpse statsionaarse mõõteaparatuuriga ja kasutada ka telemõõtmist, mis tunduvalt lihtsustab uurimisi.

Katseliinide eeliseks on veel asjaolu, et seal võime võrdlemisi kergesti vahetada juhtmeid (või asetada igasse faasi erinev juhe) erinevate juhtmete poolt põhjustatud raadiohäirete uurimiseks samades meteoroloogilistes tingimustes.

Katseliinidel on võimalik ka edukalt uurida raadiohäireid

sama juhtme ja erinevate tööpingete puhul, sest katseliini pinget võime meelevaldselt muuta.

Mitte sugugi väiksemat tähtsust ei oma mõõtmisel konkreetsetel töötavatel liinidel, kuna kõikide erinevate tingimuste imiteerimine katseliinidel on võimatu. Liinidel on mõõtmisi läbiviidud väga suures ulatuses [K 7]. Väga häid tulemusi annavad samaaegsed mõõtmised liini mitmes punktis, mis teostatakse raadiosaatjatega varustatud mõõtebrigaadi^{de} poolt.

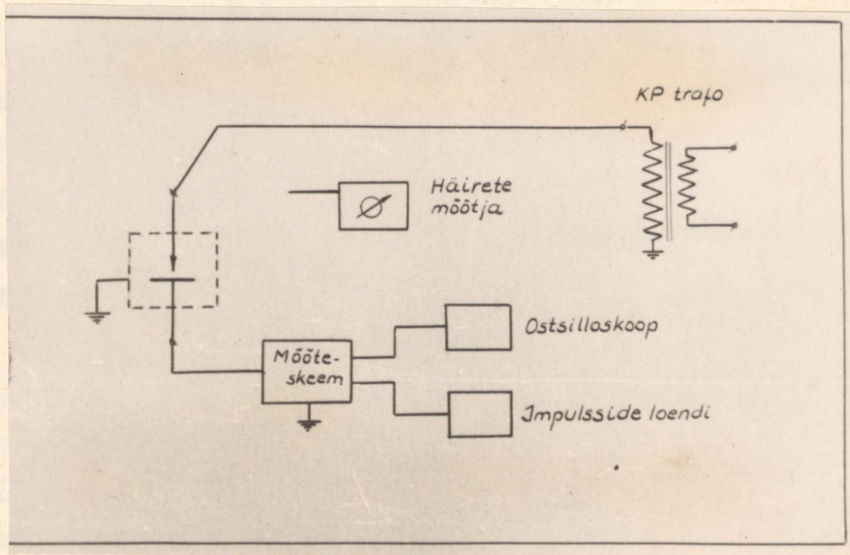
Raadiohäirete sumbuvuse korrektseks uurimiseks nii piki kui põiki suunas kasutatakse sageli väljalülitatud liini toitaist kõrgsagedusgeneraatori abil. See annab tugeva signaali, mis elimineerib kõik kõrvalised mõjud.

Kuna raadiohäirete nivoo on sõltuv paljudest faktoritest, mis mõjuvad samaaegselt, siis peab siinjuures veelkord toonitama, et õigeid järeldusi võib teha ainult suure hulga mõõtmiste tulemuste läbitöötamisel.

7. Raadiohäirete laboratoorne uurimine.

Raadiohäirete laboratoorsed uurimused pole vähem tähtsad, kui mõõtmised otseselt liinidel. Üheks tähtsamaks suunaks on raadiohäirete põhjuse - koroonas impulsis kvantitatiivne uurimine, ja seose määramine nende impulsside ja raadiohäirete vahel.

Selleks võib kasutada järgmist skeemi [K 8] :



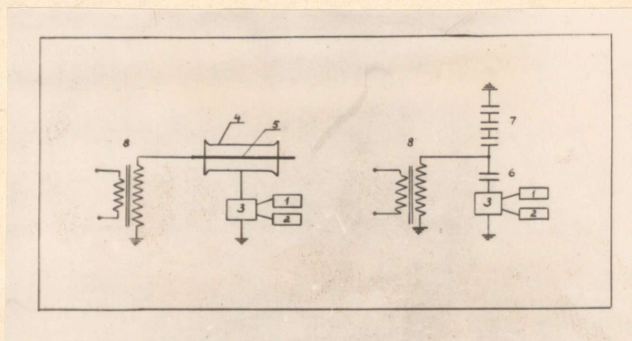
Joon. Nr. 2.

Mõõtmiste tulemusena selgus, et kõikide koroona impulsside pikkus on antud skeemil konstantne (10^{-7} sek) ja on määratud mõõteahelas ajakonstandiga.

Samuti leiti, et impulsi suurus sõltub teraviku konstruktsioonist. Terav teravik annab väikese ^mamplituudiga impulsi, kuid impulsside sagedus on tunduvalt suurem kui nüri teraviku puhul, isoleermaterjalist teravik põhjustab suuremaid häireid kui metallist teravik.

Seega raadiohäirete seisukohalt võib iga koroona lahendust täielikult iseloomustada erinevate amplituudidega impulsside arvuga. Samuti leiti uurimuste tulemusena, et sisuliselt õigem on häiremõõtja gradueerimine impulssgeneraatori abil.

Teiseks tähtsamaks etapiks raadiohäirete laboratoorsel uurimisel on üksikute erinevate juhtmete ja isolaatorite uurimine. Selleks võib kasutada järgmisi skeeme [K 7]:



Joon. nr. 3. Skeemid juhtmetest ja isolaatorist põhjustatud raadiohäirete uurimiseks.

- | | |
|--------------------|---------------------------|
| 1. - häiremõõtja | 5. - uuritav juhe |
| 2. - ostsillograaf | 6. - sidestuskondensaator |
| 3. - mõõteblokk | 7. - isolaatorahel |
| 4. - silinder | 8. - kõrgepingetrafo |

Antud skeemid võimaldavad uurida konkreetseid juhtmeid ja isolaatoreid, määrata kindlaks neist põhjustatud raadiohäirete nivood ning sagedusspektreid. Samuti on võimalik täpselt kindlaks määrata vigastusi juhtmete ja isolaatorite pinnal ja neist tekitatud häirete nivood.

Kasutades antud skeeme on võimalik näiteks kunstlikult tekitada teravikke juhtme pinnal ja uurida nende mõõdete asetuse ning materjali mõju raadiohäiretele.

8. Raadiohäirete teoreetilisest arvutusest.

Paljudes maades on välja töötatud praktilised meetodid uutest liinidest põhjustatud raadiohäirete hindamiseks. Kõik need meetodid põhinevad suure hulga mõõtmiste statistilisel läbitöötamisel ja neid täiendatakse pidevalt.

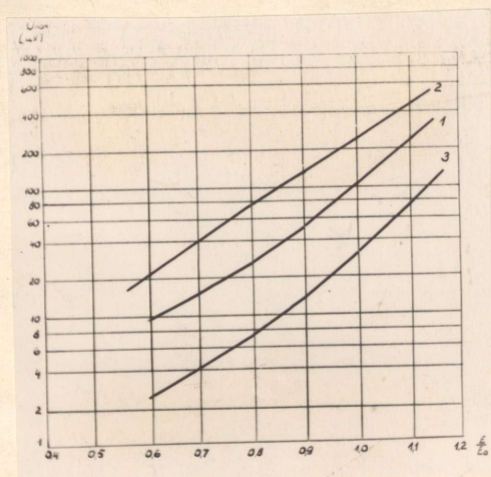
Vaatleme siin lühidalt ВНИИЭ -s ja Jaapanis väljatöötatud meetodeid.

ВНИИЭ -s koos ЭНИИ АН СССР on paljude mõõtmiste tulemusena väljatöötatud graafik $U_{nom} = f\left(\frac{E}{E_0}\right)$ selge ilma jaoks [K 2]. Kus

U_{nom} - raadiohäire pingeniivo [μV]

E - juhtme potentsiaali gradient

E_0 - nn. koroonal alggradient, mis vastab täieliku koroonal algusele normaalsel atmosfäärisel tingimuste.



Joon. nr. 4. Raadiohäirete sõltuvus juhtme potentsiaali gradiendi ja koroonal alggradienti suhtest.

Arvutuste käik oleks lühidalt järgmine:

1. Arvutatakse välja E ja E_0 ning leitakse nende suhe $\frac{E}{E_0}$.
2. Leitakse graafikult raadiohäirete keskmine niivo selge ilma puhul.
3. Vihma puhul lõhestamata juhtmete korral arvestatakse et raadiohäired suurenevad 10 korda. Lõhestatud juhtmete korral võetakse see suurenemine 3 - 5 korda.

Jaapanlaste mõõtmised näitasid [K.7], et raadiohäired suurenevad 2,84 db võrra suurendades potentsiaali gradienti 1 $\frac{kV_{max}}{cm}$ võrra. (Sellega langevad kokku ka saks-

laste mõõtmiste tulemused).

Võttes aluseks 30 mm diameetriga ja gradiendiga 21,6 $\frac{kV_{max}}{cm}$ juhtme said jaapanlased valemi:

$$N \approx N_s + 2,84 (E - 21,6) + N_d$$

N - häirete tase selge ilma puhul juhtmetel diameetriga d ja pot. gradiendiga E .

N_s - häirete tase selge ilma puhul juhtmel $d = 30$ mm ja $E = 21,6 \frac{kV_{max}}{cm}$, kui $h = 10$ m ja $f \approx 1$ MHz, siis $N_s = 43 \pm 2$ db.

N_d - parandus juhtme diameetrist (graafik)

Vihma puhul lisatakse valemile vastav parandustegur N_r , mis on eriti rasketes tingimustes 25 db, ja tavalistes tingimustes 10 - 20 db.

III Lubatud raadiohäirete normid.

Lubatud raadiohäirete nivoo hindamisel tuleb lähtuda suhtest " signaal - häire " vastuvõtja väljundis. Raadiovastuvõtu kvaliteeti hinnatakse väga heaks kui signaal ületab häirenivoo 40 db (st. signaal peab ületama häirenivoo 100 korda), ja rahuldavaks kui signaal ületab häirenivoo 26 db (20 korda).

Tavaliselt määratakse kindlaks teatud tsoon elektri-ülekande liini läheduses, kuhu ei soovitata asetada vastuvõtjate antenne, ega normeerita ka häireid.

Enamikes maades valitakse raadiosaatjate võimsus sellise arvestusega, et signaali amplituud ületaks igal pool 1 mV / m. Seega peaks häireväli, rahuldava vastuvõtu tagamiseks normeerimata tsooni piiiril, olema väiksem kui 50 μ V/m.

Lähtudes nendest kaalutlustest on NSVL Sideministee-riumi Riikliku Inspeksiooni poolt väljatöötatud eeskirjad, mis kindlustavad normaalse raadiovastuvõtu väljaspool 50 m tsooni (mõõdetuna äärmise juhtme projektsioonist) kumbalgi pool liini [K 1] .

Nende eeskirjade põhjal normeeritakse raadiohäirete nivoo mikrovoltides, mõõdetuna tüüpse raadiohäirete mõõtjaga (st. häiremõõtja näidud ilma igasuguste ümberarvestusteta).

Vastavalt eeskirjadele ei tohi raadiohäirete nivoo 50 m kaugusel liini äärmise juhtme projektsioonist ületada.

100 μ V	sagedustel	0,15 - 0,5	MHz
50 μ V	sagedusel	0,5 - 2,5	MHz
20 μ V	sagedusel	2,5 - 20	MHz
50 μ V	sagedusel	20 - 400	MHz

Mõõtmiste juures peab häiremõõtja põhi asuma maapinnast 0,4 m $\pm$ 20 % (s.o. 32 - 48 cm) kõrgusel.

Kasutatav mõõteaparatuur ja mõõtmismetoodika
raadiohäirete välismõõtmistel ning
laboratoorsesel uurimistel.

Raadiohäirete mõõtmiseks on kujunenud välja kindla iseloomuga aparatuur. Raadiohäired on oma iseloomult väga mitmekesised. Erinevale raadioaparatuurile võivad nad mõjuda väga erinevalt. Seetõttu tekkis vajadus ühtse raadioaparatuuri järele, mis võimaldaks raadiohäireid võrrelda kui mingi ekvivalendi suhtes. Laialdase leviku on saanud muudetava resonantssagedusega selektiivsed lampvõttaetrid. Resonantsageduse muudetavuse vajaduse tingis raadiohäirete mõõtmine mitmetel sagedustel. Nii kontrollitakse käesoleval ajal raadiohäireid diapsoonis $0,042 \div 1000$ MHz. Kuna sellise suure diapsooniga häiremõõtja konstrueerimine on praeguste vahenditega võimatu, siis jagatakse kogu vahemik aladiapsoonidesse. Kõige levinum häiremõõtja (tüüp **ИП -12**) töötab diapsoonis $0,15 \div 20$ MHz, s.o. raadiosagedustel.

Et raadiohäired on oma iseloomult erinevad (siinuselised, impulsshäired jne.), siis on raske leida suurust, mis tabavalt iseloomustaks nende mõju raadioaparatuurile. Käesoleval ajal on võetud mõõtmise aluseks ekvivalentne siinuseline pingeline μV -s, s.o. pingeline, mis annab häiremõõtja skaalal sama väljalöögi, kui mõõdetavad raadiohäired.

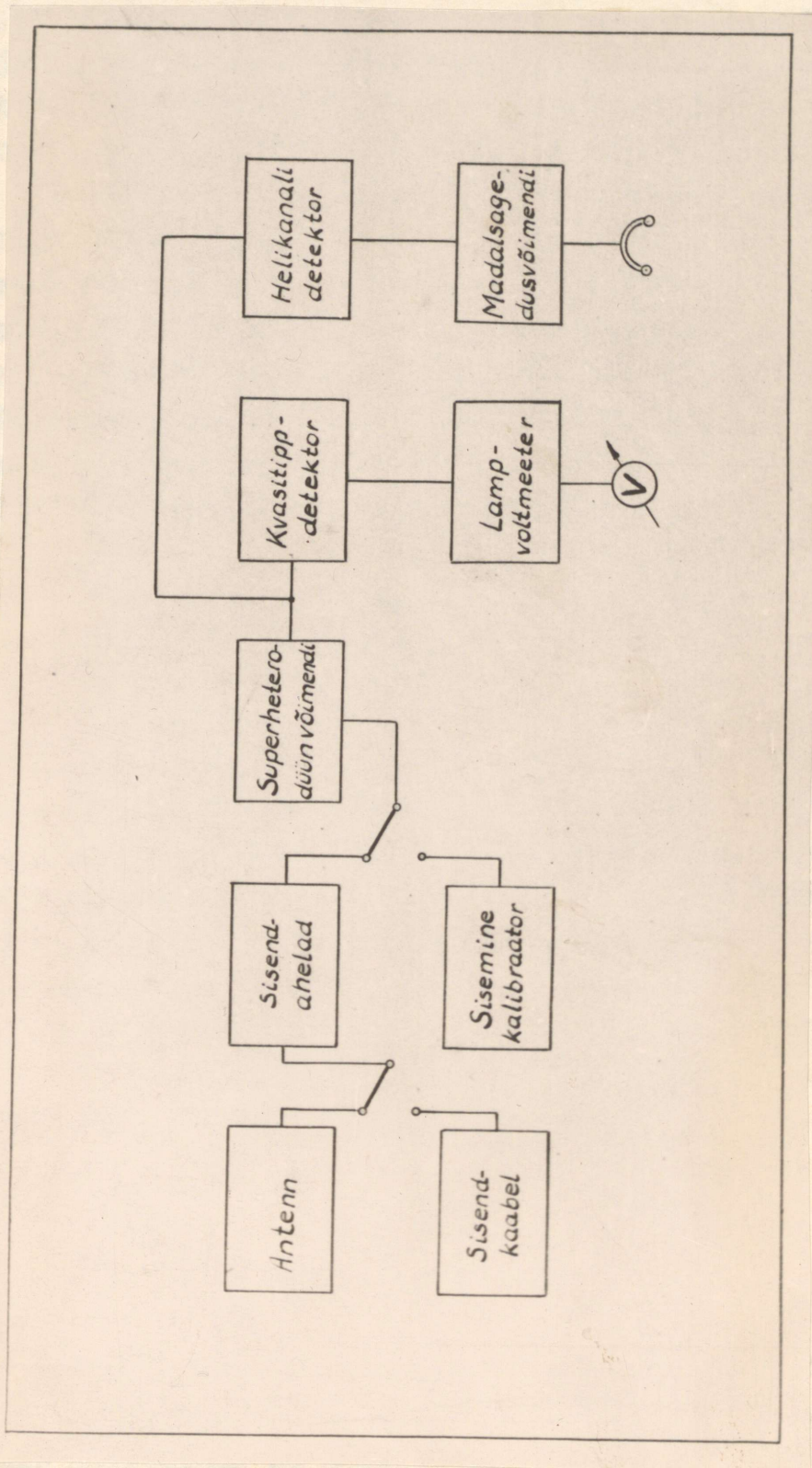
Esineb kaht tüüpi häiremõõtjaid:

1. kvasi - ehk näivtipp - häiremõõtjad ja
2. ruutkeskmise väärtuse lugemiga häiremõõtjaid.

Seniajani on põhiliselt kasutusel olnud kvasitipp - häiremõõtjad, kuna ruutkeskmise väärtuse lugemiga häiremõõtjad on alles hakanud levima.

Esimest tüüpi häiremõõtjate esindaja **ИП -12-2М** blokk skeem on toodud joon. nr. 5.

Antennina kasutatakse seda tüüpi häiremõõtjas 1 m pikust varrasantenni. Vajaduse puhul mõõta häireid mingis häireid tekitavas või kandvas võrgus kasutatakse sisendkaablit. Blokki "Sisendahelad" on asetatud atenuaator sumbuusega 1,10,100 ja 1000 korda, kuna häirenivoo võib kõikuda suurtes piirides. Järgnev blokk "Superheterodüünvõimendi" sisaldab



Joonis nr.5.
Raadiohäiremõõtja IN - 12 - 2M blokk-skeem.

ostsillaatori, segustusastme ja vahesagedusvõimendi. Häiremõõtja häälestamisel mingile sagedusele f_1 , genereerib ostsillaator sageduse

$$f_2 = f_1 + 465 \text{ kHz}.$$

f_1 ja f_2 juhitakse segustusastmesse, kust väljuvatest sagedustest filtreeritakse välja kitsas sagedusriba kesksagedusega 465 kHz ja suunatakse vahesagedusvõimendisse.

Superheterodüümvõimendi eelis teiste võimenditüüpide ees on antud juhul tema konstantses sagedusribas - vahesagedusvõimendi häälestussagedus ei muutu! Teatavasti on selektiivse voltmeetri näit proportsionaalses sõltuvuses tema sagedusribast Δf . Sagedusriba Δf muutumine erinevatel häälestussagedustel $f_1, f_2, \dots$ tekitab häiremõõtja näidu moonutamise. Vastavalt kehtivatele normidele peab häiremõõtjail sagedusribas $0,15 \div 20 \text{ MHz}$

$$\Delta f = 9 \begin{matrix} + 10 \% \\ - 30 \% \end{matrix} \text{ kHz.}$$

Võimendist suunatakse mõõdetav signaal kvasitipp-detektorisse. Siin signaal alaldatakse ja silutakse. Pinge detektori väljundkiirel, seega ka järgneva lampvoltmeetri näit, sõltub silumisfiltri parameetritest. Mida kiiremini filter laadub ja mida aeglasemalt ta tühjeneb, seda rohkem läheneb häiremõõtja näit sisenenud suuruse amplituudväärtusele. Et oleks võimalik võrrelda samas sagedusribas töötavate häiremõõtjate näitusid, on detektorahela laadimise ja tühjenemise ajakonstandid normitud. Sagedusribas $0,15 \div 20 \text{ MHz}$

$$\tau_z = 10 \text{ ms ja}$$

$$\tau_p = 600 \text{ ms.}$$

Kvasitipp häiremõõtja näit on võrdeline häirete esinemissageduse ja häirete amplituudi korrutisega. Sellest märkisin, et häirenivoo määramisel on võetud aluseks ekvivalentne siinuseline pinge. Kuna $0,15 \div 20 \text{ MHz}$ -se sagedusdiapasooniga küllalt täpse ja ökonoomse siinuspin-

gegeneraatori valmistamine on raskendatud, kasutatakse blokkis " Sisemine kalibraator " spetsiaalset müradoodi, mille müranivood on eelnevalt laboratoorses tingimustes hoolikalt võrreldud siinuspingega.

Häirete akustiliseks kontrollimiseks on häiremõõtjates ette nähtud helikanali detektor, madalsagedusvõimendi ja poatelefonid.

Seda tüüpi häiremõõtja puuduseks on see, et ta võimaldab küll määrata häire intensiivsust, kuid ei võimalda hinnata häireallika võimsust, s.o. häire leviku ulatust.

Selles suhtes on parem ruutkeskmise väärtuse lugemiga häiremõõtja.

Oma täspõhimõttelt ta sarnaneb kvasitipp-häiremõõtjaga. Erinevused on aga detektorahela parameetrites, millised valitakse nii, et näit oleks proportsionaalne häirepinge ruutkeskmise väärtusega $[K 4,7]$. Häirepinge ruut on aga võrdeline häirevõimsusega. Kuid ruutkeskmise väärtuse lugemiga häiremõõtjad omavad puuduseid, mis ei kompenseeri nende eelist häirevõimsuse hindamisel.

Koroonaimpulsside arvu kasvul ajaühikus suureneb ruutkeskmise väärtuse lugemiga häiremõõtja näit pidevalt, samal ajal kui kvasitipp - häiremõõtja näit jääb püsima häireimpulsi tippväärtusele.

Samal ajal väikese koroonaimpulsside arvu puhul on häire ruutkeskmise lugem väikene, üksiku häire amplituud aga kõrge ja seega ka segav toime raadioaparatuurile suur.

Loetletud puudused ongi põhjustanud viimast tüüpi häiremõõtjate vähest levikut.

Kõrvuti raadiohäirete mõõteaparatuuri normimisega on vaja pöörata tähelepanu ühtsele mõõtmismetoodikale välimõõtmistel.

Nõukogude Liidus kehtivate normide kohaselt kasutatakse järgmist välimõõtmiste metoodikat:

1. Võetakse üles nn. raadiohäirete põikiprofiilid, s.o. mõõdetakse häirenivood visangu keskel liini äärmise juhtme projektsiooni all, 10 m ja 50 m kaugusel sellest punktist ristsuunas liiniga.

2. Häiremõõtja kõrgus maapinnast peab olema 0,4 m $\pm$ 20 %, teda tuleb pöörata ümber püsttelje seni, kuni saavutatakse maksimaalne lugem.

3. Lugemi võtmise ajal peavad peatelefonid olema püksidest eemaldatud.

4. Lugemi võtmise ajal ei tohi antennile lähemal kui 1m asuda kõrvalisi esemeid, samuti peab lugemi võtmise momendiks olema eemaldatud operaator.

5. Välismõõtmistel ei tohi kasutada võrgutoidet. Kuna liinide uurimisel on vaja arvestada väga mitmesuguseid faktoreid, mis mõjuvad raadiohäirete nivoole, siis on vaja tähelepanu pöörata mõõtmiskohtade ja mõõtmisaegade valikule.

Välismõõtmised jagatakse kahte etappi: ilusa ilma mõõtmised ja mõõtmised sademete perioodidel.

Ilusa ilma mõõtmised võimaldavad määrata raadiohäirete nivoo sõltuvust liini niisipingest, juhtmete asetusest, liini gabariidist, isolaatorite tüübist ja isolatsiooninivoost, mastide konstruktsioonist.

Mõõtmised sademete olemasolul võimaldavad määrata raadiohäirete nivoo muutumist ilusa ilma häirenivoo suhtes.

Üldmainitu alusel teostati häirete mõõtmisi antud töö käigus ilusa ilma ja sademete puhul. Mõõtmistel ilusa ilmaga võeti arvesse liinide konstruktsioone, määrati pikiiprofiile sama liini mitmes lõikes. Mõõtmised sademete olemasolul püüti võimaluse piires teha samadel visangutel, millest mõõdeti ilusa ilmaga.

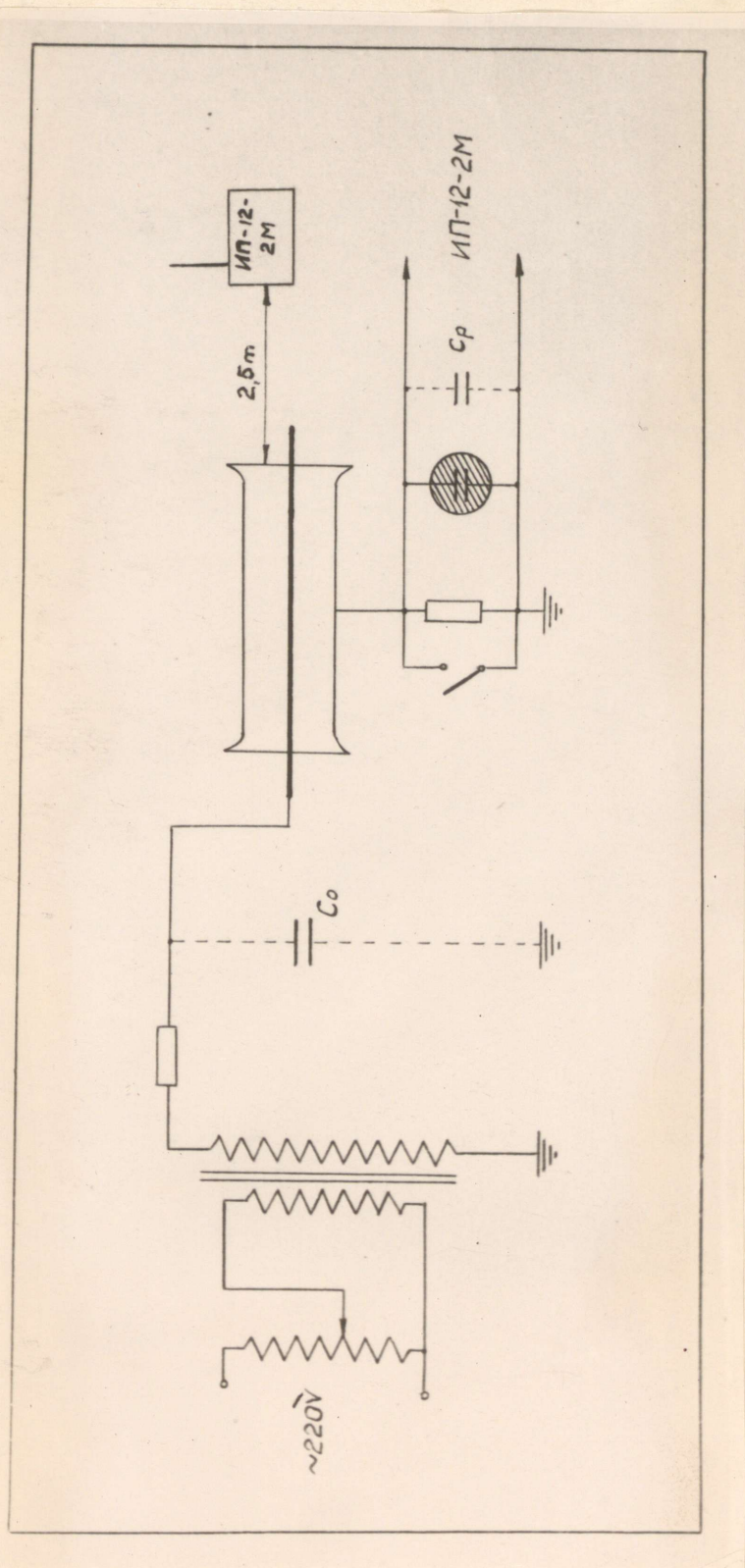
Raadiohäirete välismõõtmiste puuduseks on aga see, et ei ole võimalik uurida raadiohäirete nivoo sõltuvust juhtmete pinna olukorrast ja potentsiaalide gradiendist juhtme pinnal. Samuti on välisolukorras praktiliselt võimatu igas mõõdetavas punktis üles võtta häirete sagedusspektrit.

Nende puuduste kompenseerimiseks on vaja läbi viia raadiohäirete laboratoorseid mõõtmisi.

Antud töö käigus kasutusel olnud laboratoorse seadise skeem on toodud joonisel nr. 6.

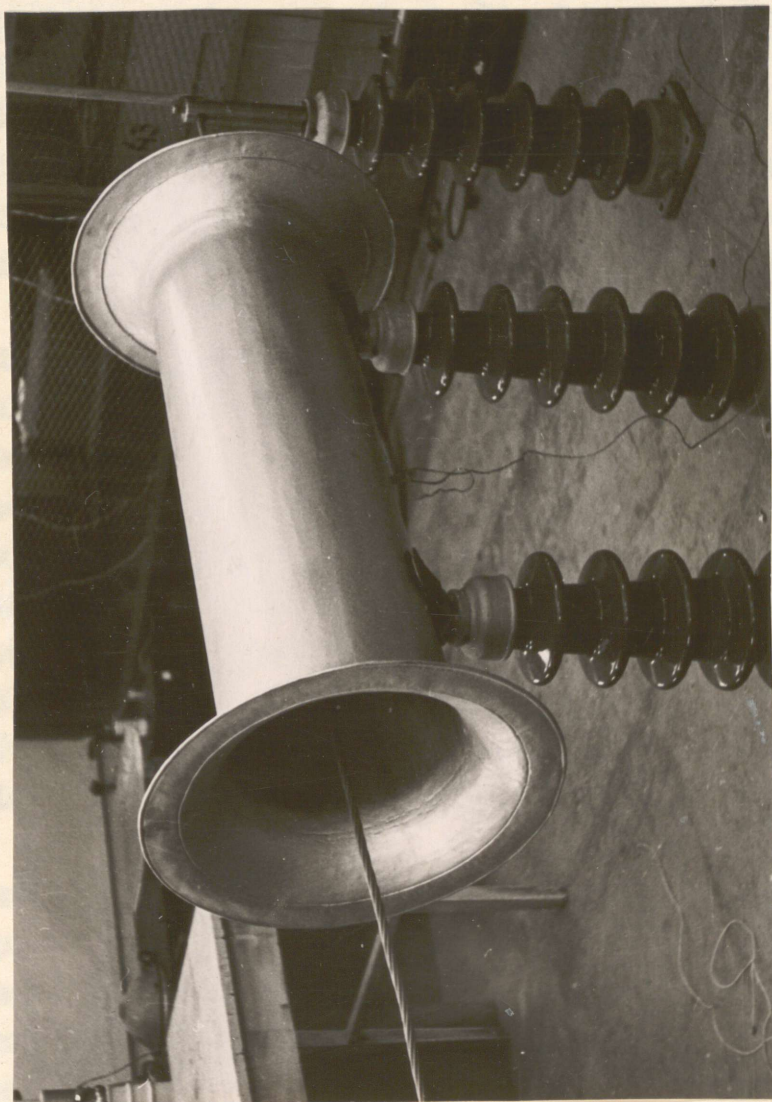
Seadmes kasutatud mõõtesilinder ja uuritava juhtme lõik on näidatud juuresoleval fotol (joon. nr. 7.).

Juhe on tõmmatud pingule kahe tugisolaatori vahele. Koroona tekitamiseks ühendatakse juhe kõrgepingeallikaga. Silindri otsad on kujundatud selliselt, et oleks välditud ääreefekt.



Joonis nr.6

Laboratoorse te mõtmiste skeem.



Joonis nr. 7

Laboratoorsestel mõõtmistel kasutatud silinder.

Häirete nivood mõõdeti kahel meetodil:

1. Antennisidestuses häiremõõtjaga. Sel juhul on silinder otseselt maandatud. Häiremõõtja asus juhtmega samal horisontaal tasapinnal, 2,5 m kaugusel silindri otsast.

2. Mõõdeti pingelangu silindri ja maanduse wahole lülitatud aktiivtakistilt. ($R_g = 150 \Omega$). Et kaitsta häiremõõtjat silindri läbilöögi puhul kõrgepinge eest, on aktiivtakistiga paralleelselt lülitatud humalabendi. Aktiivtakisti ühendati häiremõõtjaga koaksiaalkaabli kaudu, millise parasiitmahtuvus $C_p \approx 300$ pF.

Mõõteskeemi kõrgepingelise osa parasiitmahtuvus $C_0 \approx 5$ pF. Mõõlema meetodi puhul kasutati häiremõõtjat ИП-12-2М.

Uurimise alla võeti " Eesti Energia " Põhja Kõrgepingevõrkudes eksploatatsioonis olnud juhtmelõigud. Konstruktiivsetel põhjustel ei olnud võimalik uurida juhtmeid ristlõikega üle 150 mm^2 . Silindris olevat juhet uuriti kahe erineva pinnaolukorra puhul. Esiteks mõõdeti puhastamata juhet. Teiseks mõõdeti atsetooniga puhastatud juhet, seejuures jäeti alles liinide monteerimisel juhtme pinnal tekkinud vigastused.

See võimaldas selgitada raadiohäirete nivoo muutumist juhtme vananemisel, s.o. mustumisel eksploatatsiooni käigus.

Võeti üles iga uuritava juhtme sagedusspekter ja häirenivoo sõltuvus rakendatud pingest.

Mõõtmised antennisidestis ja suurtakistilt võimaldavad võrrelda koroonavoolu ja kiirguva energia sagedusspektreid.

Snart havi pakub seose leidmine raadiohäirete nivoo ja koroonaimpulsside kõrguse ning esinemissageduse vahel, kuid sellekohase aparatuuri puudumine ei võimaldanud tööd selles suunas arendada. Selle suunalised tööd on perspektiivselt planeeritud.

Mõõtmiste tulemused.

Laboratoorsed mõõtmised.

1. Raadiohäirete laboratoorsete mõõtmiste eesmärk.

Raadiohäirete igakülgeks uurimiseks on vaja kõrvuti välimõõtmistega läbi viia laboratoorseid mõõtmisi. Nagu eelmises peatükis rõhutati (vt. lhk. 21.), on tehnilistel põhjustel väliolukorras raske uurida raadiohäirete nivoo sõltuvust juhtme pinnaolukorrast ja elektrivälja tugevusest juhtme pinnal. Kui sellised mõõtmised osutuksid teostatavaks, siis jääb segava faktorina ikkagi alles ilmastiku muutlikkus. Seevastu laboratooriumis võib ilmastikutingimusi lugeda muutmatuks. Samuti on laboratoorsetes tingimustes tunduvalt lihtsam häire sagedusspektrite uurimine.

Töö antud osa eesmärgiks on leida raadiohäirete ja neid mõjutavate üksikute tegurite vaheline seos.

2. Raadiohäirete nivoo samal juhtmel mitmesugustel välja tugevustel.

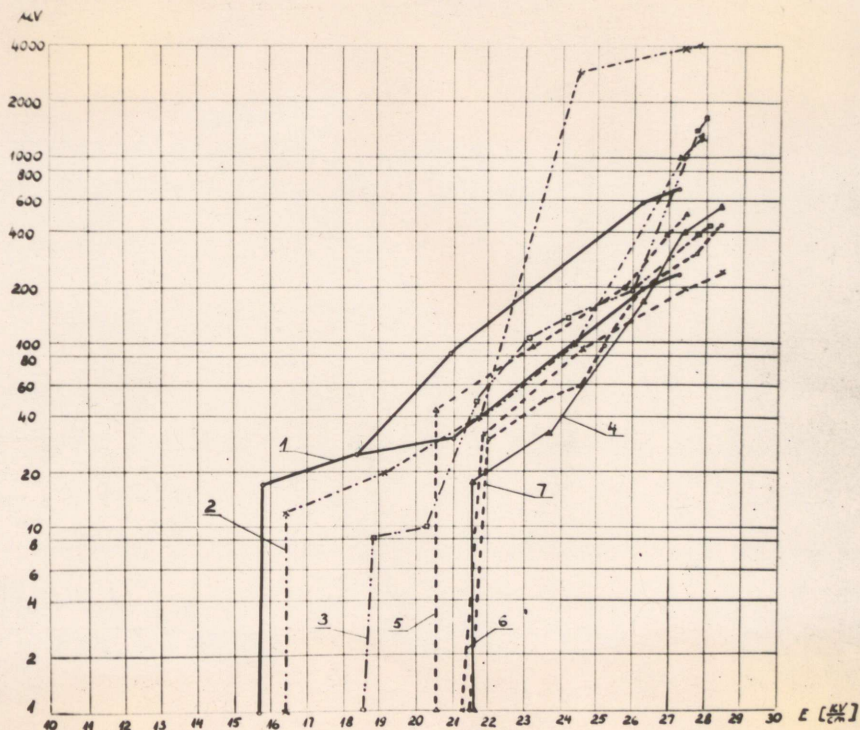
Kõrgepingeliinide juhtmete ristlõike valikul osutub üsna sageli määravaks raadiohäirete nivoo. Kui madalamapingelistel liinidel (35, 110 ja 220 kV) see küsimus pole eriti terav, siis kõrgemapingelistel elektrivõlekandeliinidel võib raadiohäirete nivoo ületada tunduvalt lubatud. Teiseks võib see küsimus aga päevakorda kerkida madalamapingeliste liinide ülevõlmisel kõrgemale tööpingele. Siin osutub sageli vajalikuks leida orienteeruv häirenivoo tõus. Samuti võib toitetrafode pingestamete muutmine tunduvalt mõjutada häirenivood.

Sellest tingituna on vajalik uurida raadiohäirete nivood mitmesugustel väljatugevustel juhtme pinnal.

Antud töös uuriti häirenivoo sõltuvust väljatugevusest neljal erineval juhtmel - A-70; AC-70; A-95 ja M-95. Kahe eraldi juhusega vaadeldi puhastamata ja puhastatud juhet.

Mõõtmiste tulemused on toodud joonisel nr. 8.

Kõikide vaadeldud juhtmete puhul algavad raadiohäired samaaegselt kuuldava koroona tekkimisega juhtmel. Edasine väikene rakendatud pinge tõus suurendab häireid mõniküm-



Joon. nr. 8. Raadiohäirete nivoo sõltuvuses väljatugevusest juhtme pinnal.

(Häiremõõtja УП-12-2М antennisidestuses sagedusel 1 MHz)

1 ja 1' - М-95 puhastamata (max ja min väljalöögid),

2 ja 2' - АС-70 puhastamata (max ja min väljalöögid),

3 - А-70 puhastamata,

4 - А-95 puhastamata,

5 - А-95, puhastatud,

6 - АС-70 puhastatud,

7 - М-95 puhastatud.

mend korda. Sellele järgneb juba aeglasem häirenivoo tõus.

Esiolgne suur häirete tõusukiirus on seletatav suure hulga väikeste teravike koroneerima hakkamisega. Kuna suuremaid teravikke, mis hakkavad koroneerima kõrgematel väljatugevustel, on suhteliselt vähem, siis on seetõttu ka üldine häirenivoo tõus edaspidi tunduvalt aeglasem.

Kui puhastamata juhtmete puhul (M-95 ja AC-70) on raadiohäirete algusväljatugevus $15,7 + 16,3 \text{ kV/cm}$, siis puhastatud juhtmete puhul tõusis see väärtuseni $21,2 + 21,4 \text{ kV/cm}$. Seejuures esines puhastamata juhtme puhul järsk tõus $10 - 20 \text{ }\mu\text{V}$ -ni, puhastatud juhtme puhul $30 \text{ }\mu\text{V}$ -ni.

Mainitud juhtmed olid eksploatatsiooni käigus tugevalt mustunud. Sellega on seletatav suhteliselt madal koroona algusväljatugevus puhastamata juhtme puhul. Peek'i valemist

$$E_0 = 21,9 \cdot \left(1 + \frac{0,308}{\sqrt{r_0 \cdot \delta}}\right)$$

saame koroona algusväljatugevuse $\text{kV}_{\text{ef}}/\text{cm}$ -s.

Siin on õhu suhteline tihedus ja r_0 juhtme raadius cm -s.

Juhtmele M-95 saaksime normaaltingimustel $E_0 = 30,4 \text{ kV}_{\text{ef}}/\text{cm}$.

Tegelik koroona algusväljatugevus $E = 15,8 \text{ kV}_{\text{ef}}/\text{cm}$. Seega $\frac{E}{E_0} = 0,52$. Selline madal koroona algusväljatugevuse suhe $\frac{E}{E_0}$ arvutuslikku väljatugevusse näitab juhtme tugevat mustumist.

Peale juhtme pesemist atsetooniga saime $\frac{E}{E_0} = 0,67$. Juhtmele AC-70 saime samad tegurid vastavalt $0,54$ ja $0,71$.

Kuna aga peale esimest suhteliselt järsku raadiohäirete nivoo tõusu järgneb aeglasem ja enam-vähem ühtlane tõus, siis suure häirenivooga liinidel juhtmete puhastamine vaevalt erilist efekti annab. Olukord võib muutuda juhtmete poleerimisega, kuid kuna puudusid poleerimisvahendid, ei saanud sellekohaseid katseid teha ja see ei oma ka praktilist tähtsust.

Osapärane olukord tekkis juhtme A-95 katsetamisel. Nimelt saadi siin puhastamata juhtme raadiohäirete algusväljatugevuseks $21,5 \text{ kV}_{\text{ef}}/\text{cm}$, puhastatud juhtmele $20,6 \text{ kV}_{\text{ef}}/\text{cm}$.

1) - Siin ja edaspidises on kõik väljatugevused toodud taandatud normaalingimustele ($t=20^\circ\text{C}$ ja $p=760 \text{ mm Hg}$)!

Sellise olukorra tekkimist võib põhjendada järgnevalt: Kuna juhe ei omanud suuremaid kriimustusi, siis puhastamata juhtme puhul olemasolevad väikesed kriimustused, mis hakka-
vad koroneerima suhteliselt madalatel väljatugevustel, on kaetud juhtmele langenud lisanditega.

Lisandite eemaldamisel juhtmel kriimustused paljastu-
vad, mille tulemusena langeb korona algusväljatugevus.

Seega mõjus juhtme vananemine eksploatatsioonis raadio-
häirete nivoo alanemise suhtes positiivselt.

Kuid üldiselt võib märgata, et liiga tugev juhtme must-
umine eksploatatsioonis mõjub raadiohäirete suhtes nega-
tiivselt.

Kui M-95 ja AC-70 olid väga tugevalt mustunud juhtmed,
siis tunduvalt kõrgemate raadiohäirete algusväljatugevusega
juhtmed A-70 ja A-95 olid vähem mustunud.

Saadud mõõtmistulemuste alusel saame ligikaudselt hin-
nata raadiohäirete nivoo muutuseid pinge muutumisel. Seda
saame teha järgmiselt.

Kui meil on teada liini mõõtmed ja juhtme mark, saame
teadaoleva pinge juures arvutada keskmise potentsiaali
gradiendi juhtme pinnal. Samuti saame mitmekordsete mõõtmis-
te tulemusena leida liini keskmise häirenivoo. Laboratoor-
setel katsetustel saime häirenivoo samal väljatugevusel.

Liini tööpinge muutmisel saame leida potentsiaali gra-
diendi muutuse. Laboratoorsete mõõtmiste tulemustest saame
leida häirenivoo laboratooriumis sellel uuel väljatugevusel.
Seega saame leida, mitu korda muutus häirenivoo laboratoor-
iumis väljatugevuse muutmisel teadaoleva suuruse võrra.

Liini uus häirenivoo on oletatavasti celmise tööpin-
ge juures mõõdetud keskmine häirenivoo korrutatud labora-
toorsetel mõõtmistel saadud kordajaga.

Selgitame öeldut järgmise näitega:

Võtame vaatluse alla Ahtme-Tallinn 110 kV liini. Ole-
tame, et liini pinget on vaja tõsta 150kV-ni. 112 kV_{ef} pin-
ge puhul on väljatugevus $23,9 \text{ V}_{\text{max}}/\text{cm} = 16,9 \text{ V}_{\text{ef}}/\text{cm}$
(vt. tabel I, jrk. nr. 18). Raadiohäirete nivoo sagedusel
1 MHz moodustas 50 m kaugusel äärmise juhtme projektsioo-
nist 1 μV , juhtme all 15 μV (võetud vastavast mõõtmispro-

tokollist). Liinipinge kasvul 150 kV-ni tõuseb väljatugevus juhtne (M-95) pinnal 22,6 kV_{ef}/cm-ni.

Laboratoorsete mõõtmiste tulemustest (joon. 8.) leiame, et juhtmel M-95 moodustas häirenivoo väljatugevusel 16,9 kV_{ef}/cm 20 μ V-i, väljatugevusel 22,6 kV_{ef}/cm aga ca 170 μ V. Seega tõusis häirenivoo 8,5 korda. Liini all peaks seega uus häirenivoo olema ~ 130 μ V, 50m kaugusel liinist ~ 9 μ V (sagedusel 1 MHz).

Toodud arvutus ei pretendeeri täpsusele, kuid orienteeruva tulemuse ta siiski annab. Sellise arvutusmeetodika täpsustamiseks tuleks teostada täiendavaid uurimusi. Nii-
melt tuleb selgitada, kas raadiohäirete sumbuvus on erineva raadiohäirete nivoo puhul juhtne all sama. Samuti nõuab kontrollimist, milline on välimõõtmiste ja laboratoorsete mõõtmiste tulemusena saadud häirenivoode vaheline seos.

Selle meetodiga ei saa määrata häirenivoo muutust vihma puhul, kuna siis on häirenivoo sõltuvus rakendatud väljatugevusest tunduvalt erinev eelpooltoodust.

3. Raadiohäirete sagedusspektrid sõltuvalt juhtne margist ja pinnaolukorrast.

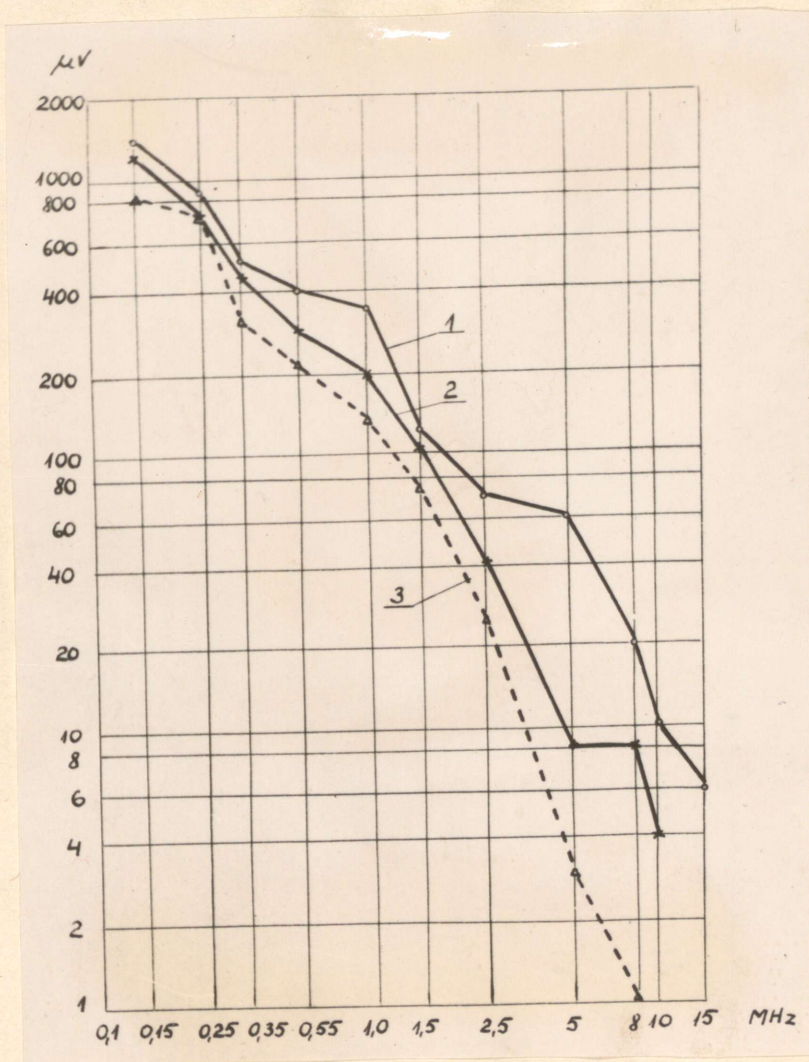
Raadiohäirete sagedusspektrite uurimine välimõõtmistel on raskendatud, kuna vastavad mõõtmised nõuavad suurt ajakulu ja tekivad tehnilised raskused. Seetõttu püütakse võimaluse piires sagedusspektreid ja nende kuju mõjutavaid tegureid uurida laboratooriumites [K. 8].

Laboratoorsete mõõtmiste eelis seisneb selles, et on võimalik uurida sagedusspektreid erineva pinnaolukorraga juhtmete puhul. Samuti on hea uurida sagedusspektrite sõltuvust juhtsemarkidest, kuna laboratooriumis kaob välimõõtmiste segav faktor - ilmastiku muutlikkus.

Raadiohäireid uuriti laboratoorselt viiel erinevat marki juhtmelõigul. Kõige suurena ristiõikega uuritavaks juhtmeks oli AC-150.

Antennisidestuses ja süntakistiga ($R_g = 150 \Omega$) ühendatud häiremõõtjaga ИП -12-2М saadud sagedusspektrid on toodud joonistel nr. 9 ja nr. 10.

Joonistelt nähtub, et sagedusspekter omab enam-vähem



Jooni nr. 9. Raadiohäirete sagedusspekter (möödetud antennisidestuses häiremõõtjaga ИП-12-2М).

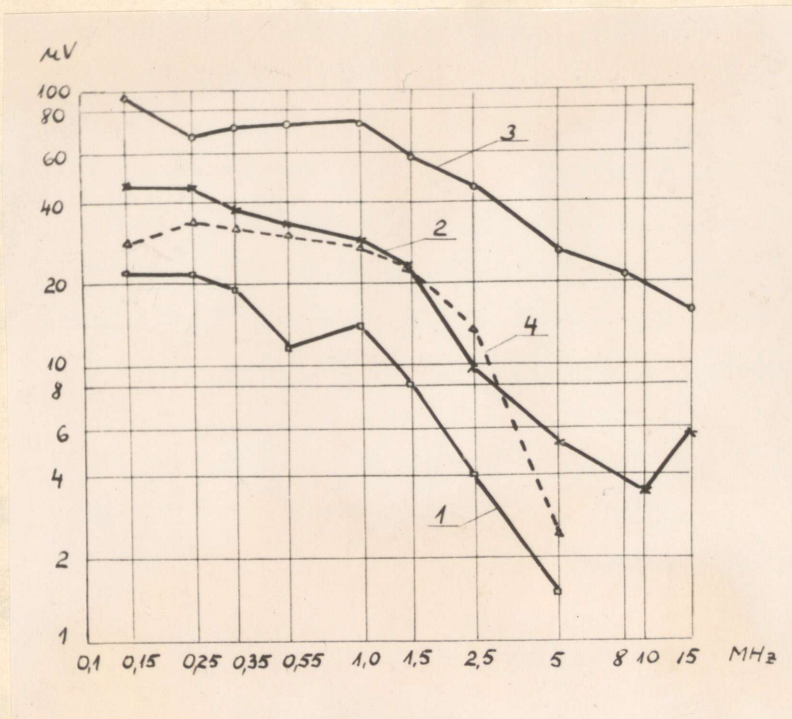
$U = 50 \text{ kV}$ ef ; $E = 21,4 \text{ kV/cm}$ ef.

1 - puhastamata juhe (max. väljalöökk).

2 - puhastamata juhe (keskm. väljalöökk).

3 - puhastatud juhe (keskm. väljalöökk).

Juht AC - 150



Joonis nr. 10. Raadiohäirete sagedusspekter (mõõdetud
 häiremõõtjaga $U\eta-12$ - 2M sunttakistilt $R_g=150\Omega$).
 1 - puhastamata juhe; $E=12,9$ kV/cm ef
 2 - puhastamata juhe; $E=17,1$ kV/cm ef.
 3 - puhastamata juhe; $E=21,4$ kV/cm ef.
 4 - puhastatud juhe; $E=21,4$ kV/cm ef.

Juht AC - 150

horisontaalset osa sagedusteni kuni 1,5 MHz. Kõrgenevate sageduste suunas järgneb ühtlane häirenivoo langus.

Jooniselt nr. 10 näeme, et sagedusspektri kuju ei sõltu potentsiaali gradiendist juhtme pinnal.

Küllalt oluline on sama ristlõikega, kuid erinevast materjalist juhtmete häirenivoode ja sagedusspektrite võrdlus. Seda küsimust pole kasutada olnud kirjanduses puudutatud. Et heita veidi valgust sellele küsimusele, mõõdeti juhtmeid M-95 ja A-95. Mõlemad omavad sama ristlõiget - 95 mm^2 ja sama diameetrit - 12,4 mm. Rakendades mõlemale juhtmelõigule pinget 50 kV ja taandades laboratooriumi atmosfäärilised tingimused normaalingimustele, saime mõlemal juhul potentsiaali gradiendi juhtme pinnal $26,3 \text{ kV/cm}$ (ef).

Seega asetati mõlemad juhtmed samadesse tingimustesse.

Joonisel nr. 11 on toodud juhtme M-95 raadiohäirete sagedusspektrid mõõdetuna šunttakistilt.

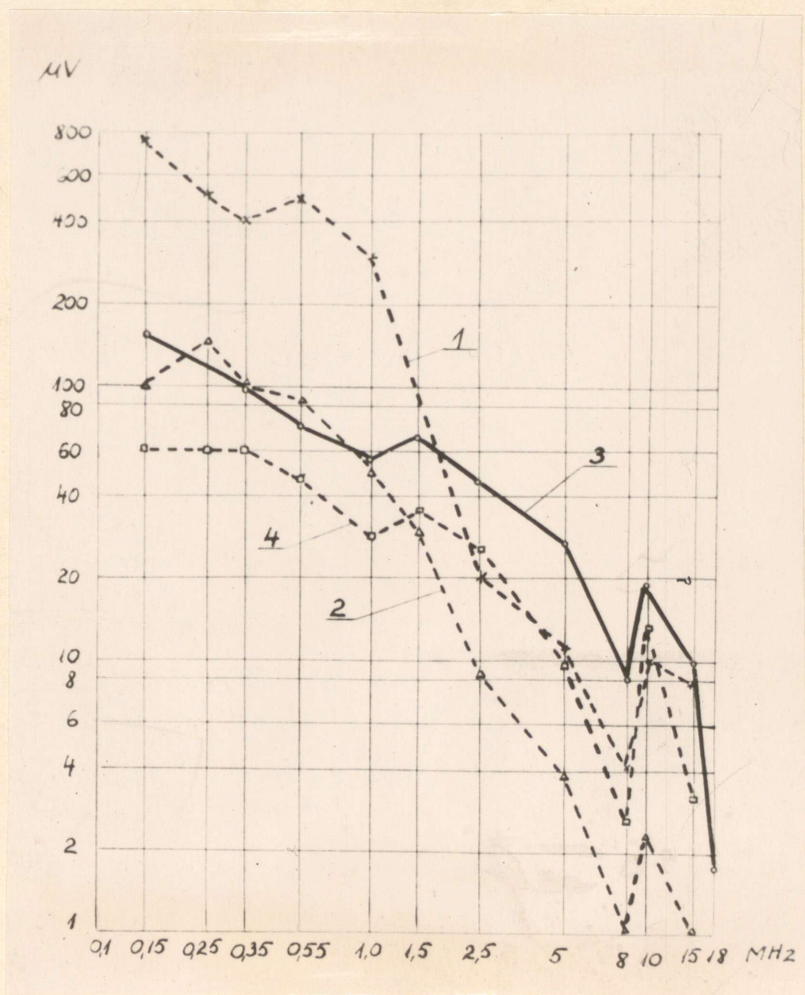
Juhtme A-95 samad sagedusspektrid on toodud joonisel nr. 12.

Šunttakistilt mõõdetud raadiohäirete sagedusspektrite võrdlemine näitab, et nende kuju olulisi erinevusi ei ole. Samuti pole suuri erinevusi häirenivoos. Näiteks puhastamata juhtmete puhul on 0,15 MHz sagedusel erinevus häirenivoos ainult 1,8 dB (vaskjuhtmel 155 μV , alumiiniumjuhtmel 190 μV).

Samavõrd ebaoluline on ka vahe puhastatud juhtmete häirenivoodes. Selline vahe võib olla tingitud pingest kõikumisest toitevõrgus ja muudest juhuslikest protsessidest.

Seda illustreerib joonis nr. 11, kus kõverad 2 ja 4 on sama puhastatud juhtme raadiohäirete sagedusspektrid. Seejuures vahe on ainult mõõtmise ajas. Sagedusel 0,15 MHz on kõveratel 2 ja 4 toodud häirenivoode erinevus 4,4 dB.

Peab märkima, et need katsetused viidi läbi suhteliselt kõrgel väljatugevusel - $26,3 \text{ kV}_{\text{ef/cm}} = 37,2 \text{ kV}_{\text{max/cm}}$. Milline on olukord normaalsetel väljatugevustel, võib hinnata eelpooltoodud joonise nr. 8 põhjal. Tabelist I näeme, et 95 mm^2 -se ristlõikega juhtmed tõstavad 110 kV liinidel väljatugevustega kuni $26 \text{ kV}_{\text{max/cm}} = 18,5 \text{ kV}_{\text{ef/cm}}$. Jooniselt nr. 8 (kõverad 1 ja 7) näeme, et selliste väljatu-

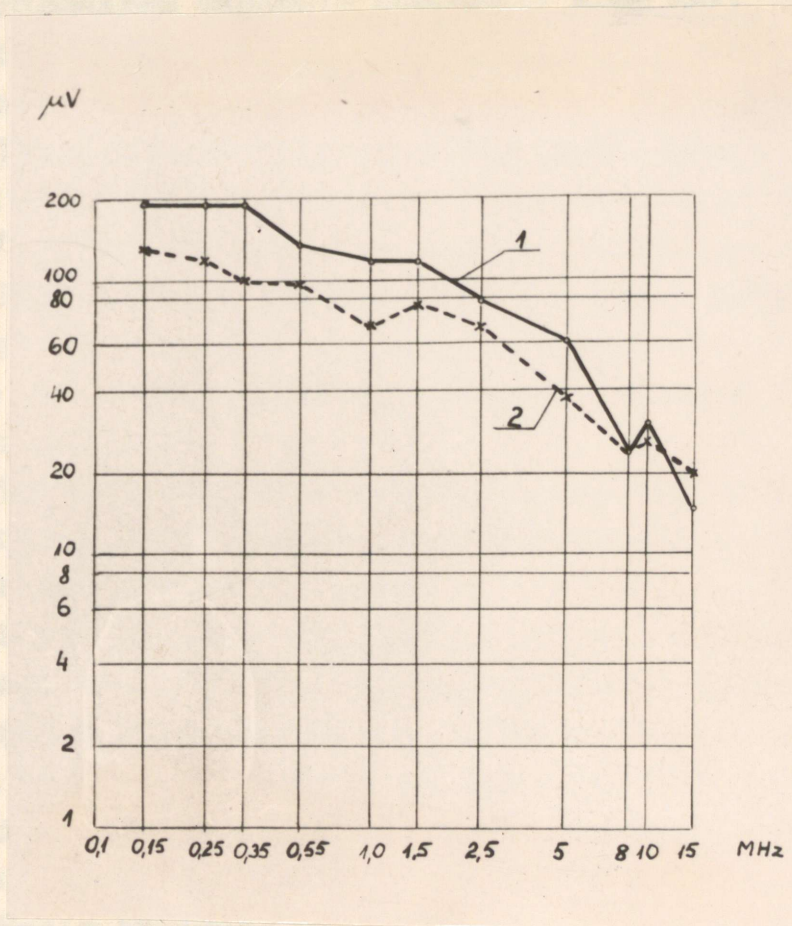


Joonis nr. 11.

Juhtme M-95 sagedusspekter mõõdetuna šunttakistilt.

$E_g = 26,3 \text{ kV}_{ef/cm}$; $R_g = 150 \Omega$.

- 1 - max. väljalöötk
- 2 - keskm. väljalöötk
- 3 - puhastamata juhe
- 4 - puhastatud juhe.



Joonis nr. 12.

Juhime A-95 sagedusspekter mõõdetuna sunttakistilt

$R_g = 150 \Omega$; $E = 26,3 \text{ kV}_{ef}/\text{cm}$.

1 - puhastamata juhe

2 - puhastatud juhe.

gevuste puhul on katsetatud M-95 juhtmel raadiohäirete algusväljatugevus juba ületatud, samal ajal kui A-95 tüüpi juhtmel täheldati esimesi raadiohäireid alles väljatugevusel 21,5 ^{kV}ef/cm.

Väljatugevuse edasisel suurendamisel jäävad juhtme M-95 raadiohäired pidevalt suuremaks A-95 häiretest. See kehtib väljatugevuseni ca 26 ^{kV}ef/cm, millisel tekib üldine juhtme koroneerimine.

Edasisel väljatugevuse tõstmisel mõlema juhtme häirenivood erinevad teineteisest vähe, nagu seda näitas joonistel nr. 11 ja nr. 12 toodud sagedusspektrite analüüs.

Häirenivoode selline käik sõltuvalt rakendatud väljatugevusest on tingitud juhtmete erinevast mustumisastmest. Vaskjuhe oli eksploatatsiooni käigus tunduvalt enam mustunud kui alumiiniumjuhe.

Tundub, et juhtme materjali valikul uute liinide projekteerimisel tuleb eelistada raadiohäirete seisukohalt alumiiniumjuhtmeid vaskjuhtmeile.

Kuna mõlemast materjalist juhtmed olid eksploatatsioonis Eesti Energia Põhja Kõrgepingevõrkudes, kus atmosfääri saastumise aste tööstuslike heitgaasidega on suhteliselt madal ja ühtlane, siis võib eeldada, et mineraaltolmu- ja orgaaniliste ainete osakestel on omadus paremini kleepuda vaskjuhtme pinnale.

Selle küsimuse selgitamiseks on vaja täiendavalt uurida nii vask- kui ka alumiiniumjuhtmete saastumist samades eksploatatsioonilistes tingimustes.

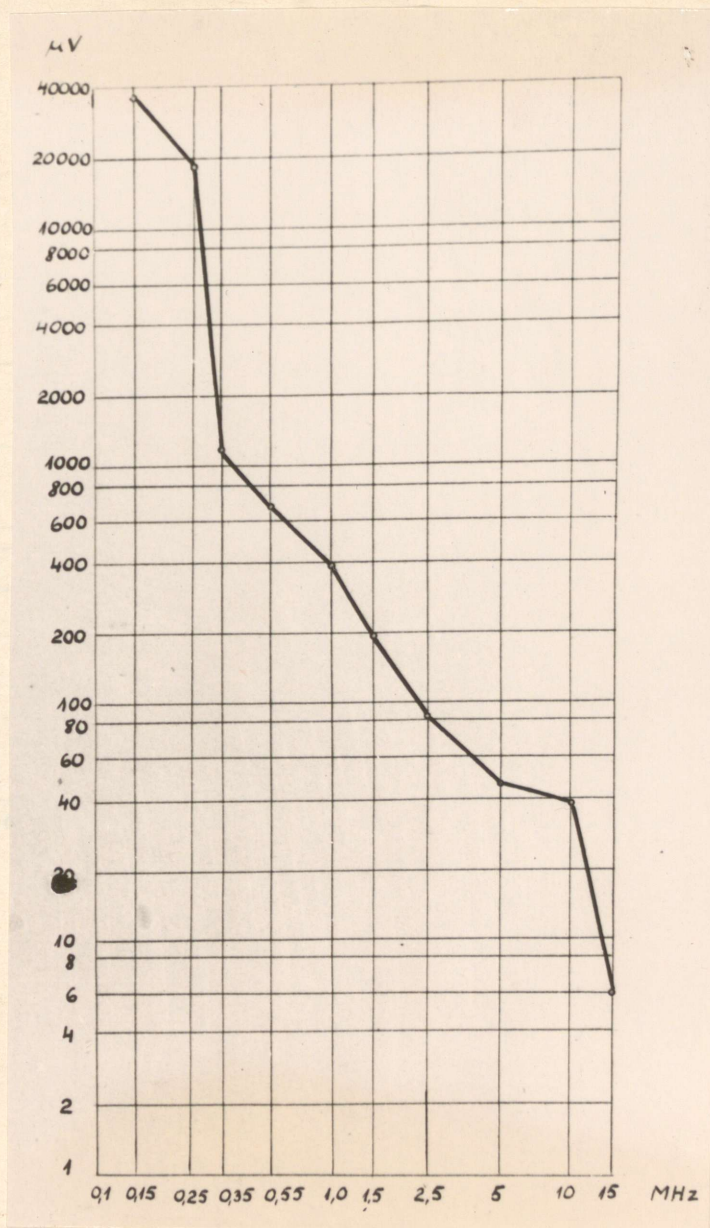
Täiendavalt eelpool uuritud neljale juhtmemargile katsetati veel kahte väiksema ristlõikega juhet - A-70 ja AC-70.

Neilt juhtmeilt saadud raadiohäirete sagedusspektreid on juhtmele A-70 toodud joonisel nr. 13 ja nr. 14, ning juhtmele AC-70 nr. 15 ja nr. 16.

Siin näeme analoogset olukorda eelmiste juhtmetega - raadiohäirete sagedusspekter omab madalsageduslikumas osas horisontaalset osa.

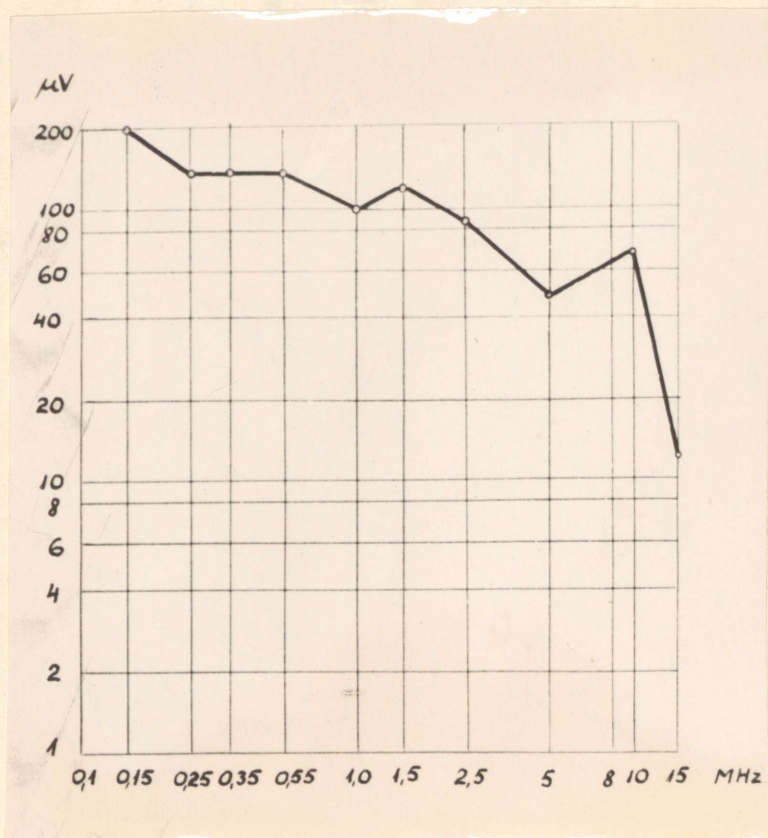
AC-70 puhul esineb samane olukord, kui varem vaadeldud juhtudelgi.

Kõiki eelpool vaatluse all olnud sagedusspektreid iseloomustavad mitmed ühised jooned.



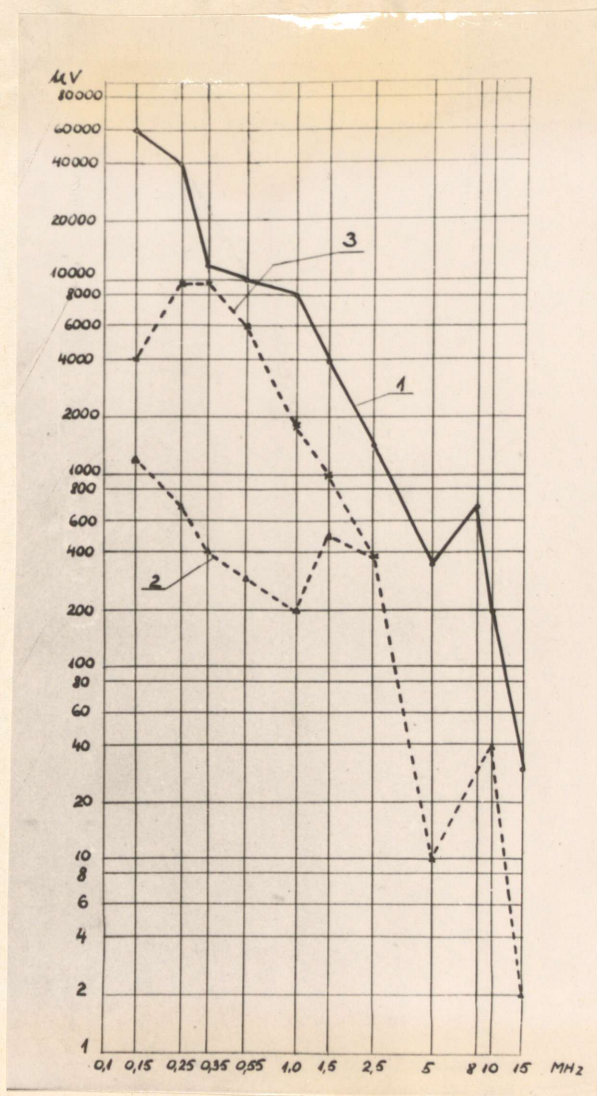
Joonis nr. 13.

Juhtme A-70 sagedusspekter (möödetud antennisidestuses
häiremõõtjaga). $E = 27,8 \text{ kV ef/cm.}$



Joonis nr. 14.

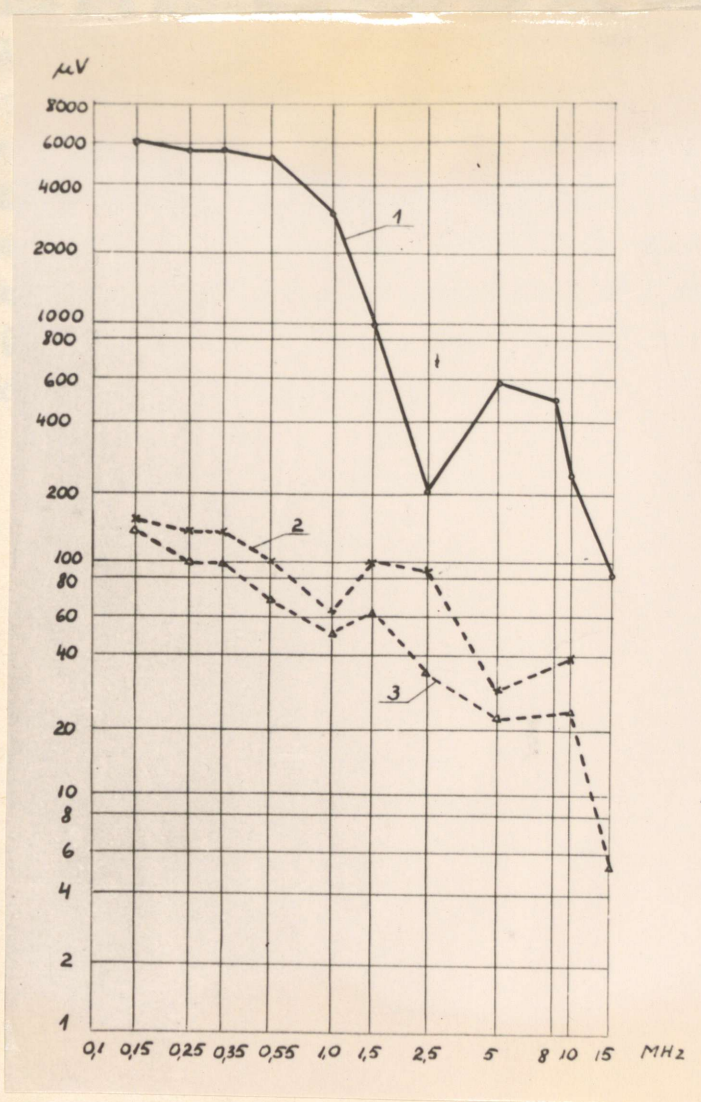
Juhtme A-70 sagedusspekter mõõdetuna suhtakistilt
 $R_s = 150 \Omega$. $E = 27,8 \text{ kV}_{ef/cm}$.



Joonis nr. 15.

Juhtae AC-70 sagedusspekter (möödetud antennisidestuses
häiremöötlajaga). $E = 27,3 \text{ kV ef/cm.}$

- 1 - puhastamata juhe
- 2 - puhastatud juhe (keskm. väljalöökk)
- 3 - puhastatud juhe (max. väljalöökk)



Joonis nr. 16

Juhnete AG-70 sagedusspekter nõõdetuna suutakistilt

$R_v = 150 \Omega$; $E = 27,3 \text{ kV}_{ef}/\text{cm.}$

- 1 - puhastamata juhe
- 2 - puhastatud juhe (max. väljalöökk)
- 3 - puhastatud juhe (min. väljalöökk)

Nii on kõikidel sagedusspektritel olemas enam-vähem horisontaalne osa kuni sageduseni 1,5 MHz, mõnel juhul on horisontaalne osa laiem - kuni 2,5 MHz-ni. Peale horisontaalset osa järgneb kõigil juhtumitel ühtlane langus.

Häirete sagedusspektreis esineb 8 - 10 MHz juures on tingitud mõtteskeemi resonantsist neil sagedustel.

Pesaegu kõigil juhtumel võib täheldada väikest tõusu 1,5 MHz ümbruses. See on seletatav laboratooriumi vahetus läheduses (ca 500 m kaugusel) asuva 1,23 MHz raadiosaatja kõrvalsageduste mõjuga mõõtmistulemustele.

(tõus mis)

Välimõõtmised.
=====

1. Raadiohäirete välimõõtmiste eesmärk.

Raadiohäirete välimõõtmiste põhiliseks ülesandeks on ekspluatatsioonis olevate kõrgepingeliste elektrilekandeliinide häirenivoode mõõtmine ja võrdlemine normides kehtestatud lubatud nivooaga.

Peale selle võimaldavad välimõõtmised uurida raadiohäirete sõltuvust liini konstruktsioonist, tööpingest, atmosfäärilistest tingimustest.

2. Ilusa ilmaga mõõdetud raadiohäirete nivood.

Ilusa ilma puhul mõõdeti raadiohäireid kõikidel Põhja Kõrgepingevõrkude 220 kV ja 110 kV liinidel ning mõningatel 35 kV liinidel. Mõõtmistulemused on koondatud tabelisse I.

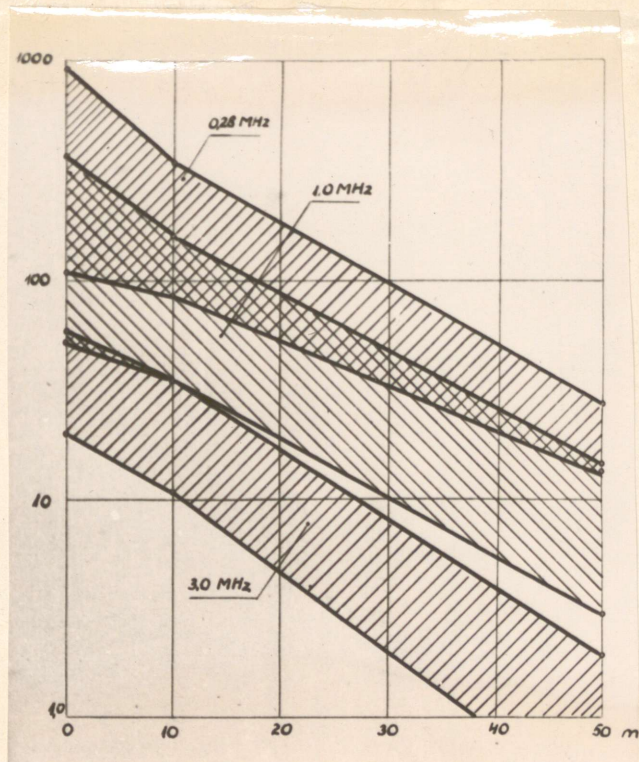
Ilusa ilmaga tehtud mõõtmistel saadi rida pöikiprofiile. Sama nimipingega liinide pöikiprofiilide alusel on koostatud samapingeliste liinide üldised pöikiprofiilid, millelised on toodud joonistel nr. 17, 18 ja nr. 19. Nii pöikiprofiilidest (joon. nr. 17) kui ka tabeliandmetest nähtub, et ilusa ilma puhul lubatud häirenivoo ületamisi esineb harva. Nimelt leiti ainult ühes kohas (Balti-Veskimetsa 220 kV liini Veskimetsa poolses otsas) tunduv lubatud häirenivoo ületamine. Seda juhust ei kantud joonisel nr. 17 toodud pöikiprofiili. Kuna see lubatud häirenivoo ületamine on küllalt huvipakkuv, siis vaatleme seda juhust eraldi edaspidi (vt. lk. 50).

Mis puutub ülejäänud liinidesse, siis siin on häirenivoo tunduvalt madalam lubatust.

Nii on sagedusel 0,28 MHz 220 kV nimipingel maksimaalne täheldatud häirenivoo 50 m kaugusel äärmise juhtme projektsioonist 30 μ V (lubatud 100 μ V), 110 kV nimipingega liinidel 20 μ V ja 35 kV nimipingega liinidel 30 μ V.

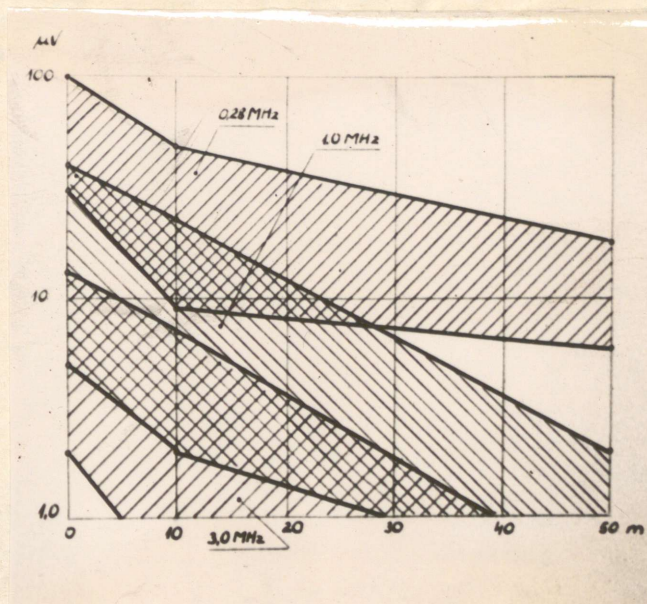
1,0 MHz juures mõõdetud maksimaalne nivoo on 220 kV pingel 15 μ V (lubatud 50 μ V), 110 kV pingel 2 μ V ja 35 kV pingel 9 μ V.

Mõõtmised 3,0 MHz sagedusel näitasid, et nimetamisväärsed häired üldse puuduvad. Balti-Veskimetsa 220 kV liinil re-



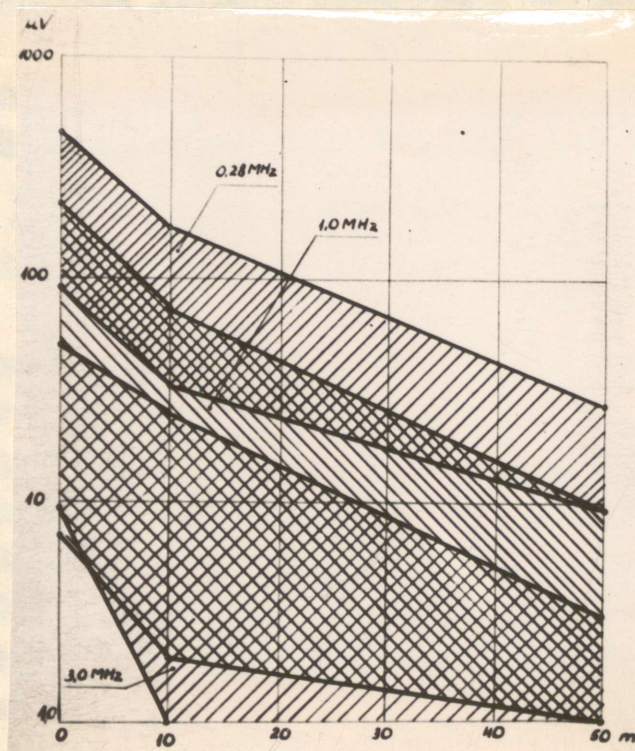
Joonis nr. 17.

Radiohäirete põikiprofilid sagedustel 0,28 MHz,
1 MHz ja 3,0 MHz ilusa ilmaga 220 kV liinidel.



Joonis nr. 18.

Raadiohäirete põikiproofilid sagedustel 0,28 MHz, 1 MHz ja 3 MHz ilusa ilmaga 110 kV liinidel.



Joonis nr. 19.

Radiohäirete põikiproofilid sagedustel 0,28 MHz, 1 MHz ja 3 MHz ilusa ilmaga 35 kV liinidel.

gistreeriti maksimaalne väljalask 2 μV (lubatud 20 μV), 110 kV liinidel olid häired 50 m kaugusel härmise juhtme projektsioonist aga niivõrd madalad, et häiremõõtja neile ei reageerinud. 35 kV liinidel registreeriti maksimaalselt 3 μV -st häirenivood.

Toodud üldiste põikiprofiilide võrdlamine näitab, et ühepingeliste liinide häirenivoo kõigub laiades piirides, kuni 20 dB. Selline suur häirete kõikumine on tingitud mitmesuguste tegurite muutumisest. Lähemalt vaadeldakse seda küsimust edaspidi.

3. Raadiohäirete nivood sademete puhul.

Sademetes mõõdetud raadiohäirete nivood on koondatud tabelisse I.

Sama nimipingega liinide raadiohäirete põikiprofiilid on antud joonistel nr. 20, 21 ja nr. 22.

Jooniselt nr. 20 nähtub, et Balti-Veskimetsa 220 kV liinil läheneb häirenivoo sademete puhul lubatud häirenivoole. 0,28 MHz sagedusel mõõdeti maksimaalne häirenivoo 90 μV , 1,0 MHz sagedusel 45 μV ja 3,0 MHz juures 10 μV .

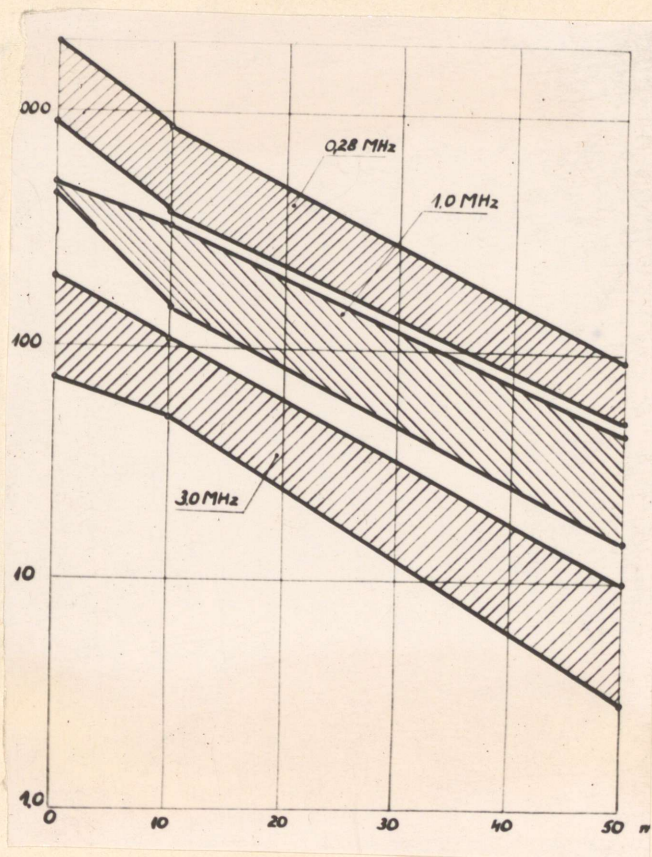
Seega tõusis häirenivoo 0,28 MHz juures ilusa ilma suhtes 3 korda (9,5 dB), 1,0 MHz juures samuti 9,5 dB ja 3,0 MHz juures 5 korda (14 dB).

110 kV liinidel (joon. nr. 21) tõusis häirenivoo sademete tõttu tunduvalt vähem ja ei saavutanud lubatud häirenivoo ülempiiri. Nii tõusis 0,28 MHz sagedusel häirenivoo ainult 1,5 korda (3,5 dB). 1,0 MHz sagedusel registreeriti maksimaalne häirenivoo 10 μV .

3 MHz sagedusel olid häired endiselt tühised.

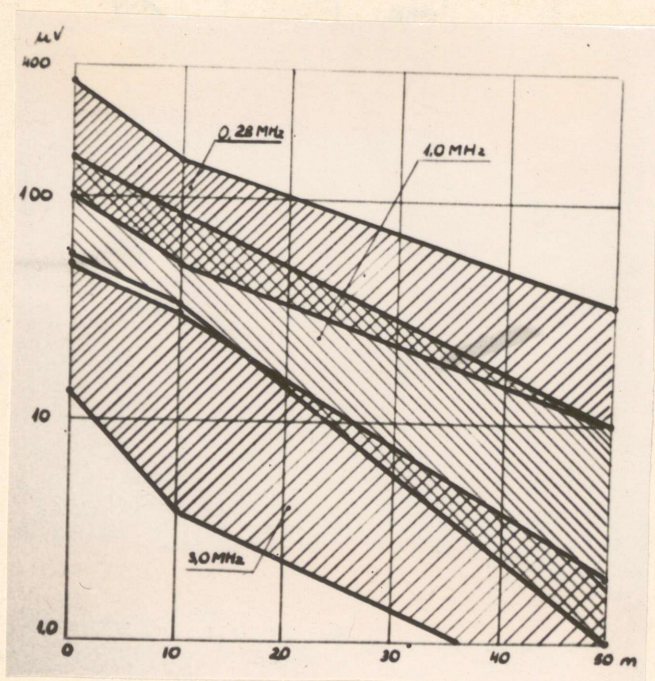
Mis puutub 35 kV liinidesse (joon nr. 22), siis sademed ei mõjutanud peaaegu üldse häirenivood. Mõningast olemasolevat vahet võib lugeda ebaoluliseks.

Ainsaks liiniks, kus sademete puhul häirenivoo ületas lubatud normi, on Järve-Veskimetsa 110 kV kaheahelaline vertikaalse juhtmete paigutusega liin. Kuna liini pikkus on 4,4 km, siis mõjuvad siin tugevalt Järve ja Veskimetsa alajaamade häired.



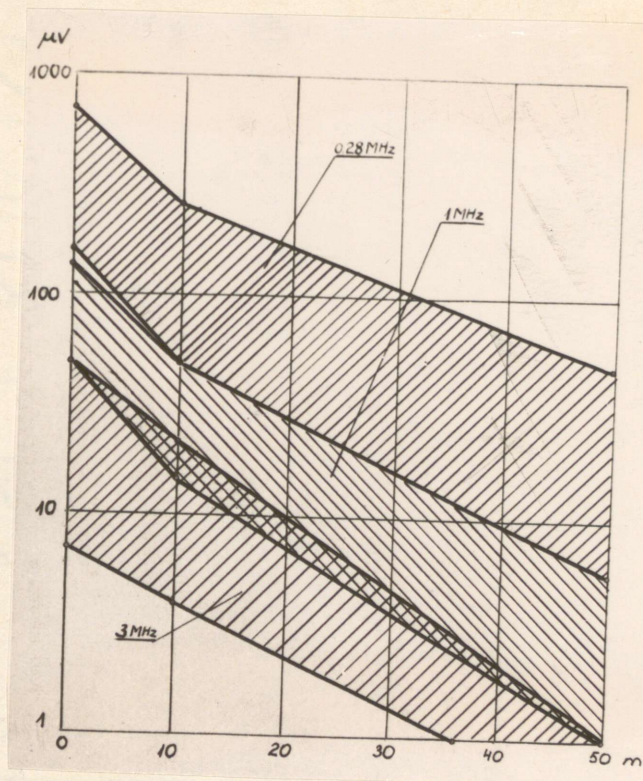
Joonis nr. 20.

Radioläirete põikiptoofilid sagedustel 0,28 MHz, 1 MHz ja 3 MHz sademete olemasolul 220 kV liinidel.



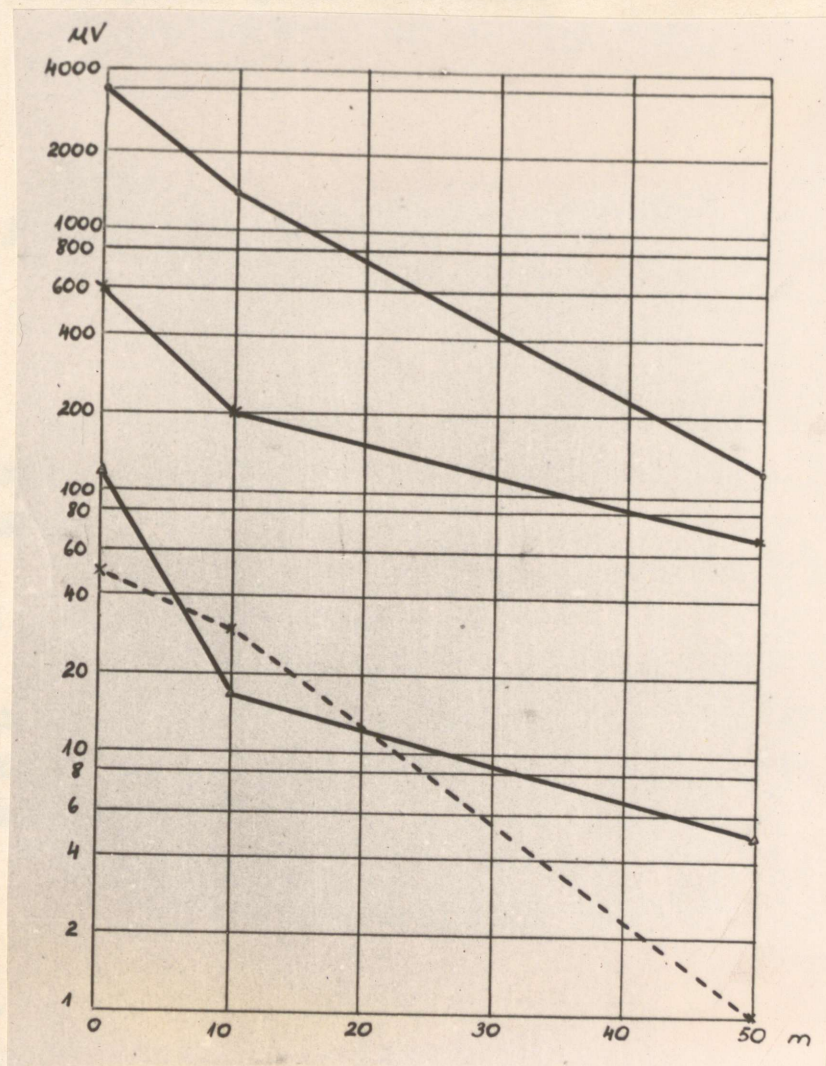
Joonis nr. 21

Radiohäirete põikiprofilid sagedustel 0,28 MHz, 1 MHz
ja 3 MHz sademete olemasolul 110 kV liinidel.



Joonis nr. 22.

Raadiohäirete põikiprofilid sagedustel 0,28 MHz,
1 MHz ja 3 MHz.sademete olemasolul 35 kV
liinidel.



Joonis nr. 23

Järve-Veskimetsa 110 kV liini põikiproofilid visangul mastide n° 7 ja 8 vahel.

- — — — — lumesadu
- - - - - ilus ilm
- o - 0,28 MHz
- x - 1 MHz
- Δ - 3 MHz

Mainitud liini visangul (mastide nr.7 ja 8 vahel) mõõdetud põikiprofiilil on esitatud joonisel nr. 23.

Võrdluseks on samale graafikule kantud ilusa ilmaga mõõdetud põikiprofiil sagedusel 1,0 MHz. Näeme, et sademete tõttu tõusis häirenivoo ca 20 dB. Liini faaside paigutus on Järve alajaama poolt vaadatuna

C	A
B	B
A	C

Häirenivoo vähendamisel oleks vajalik ühe ahela faaside järjestus muuta. Näiteks

A	A
B	B
C	C

Seejuures ülemiste ja alumiste faaside juhtmete potentsiaali gradiendid vähenevad ja liini üldine häirenivoo peaks alanema 30 - 40 %.

Selle abinõu kasutamisega ei tohiks liini häired lubatud nivood enam ületada.

Eelpool märgiti, et ilusa ilmaga ^{ületati} lubatud häirenivoo Balti-Veskimetsa 220 kV liini Veskimetsa poolses otsas ja seda nimelt sellisel liinilõigul, kus juhtmed on vertikaalse paigutusega.

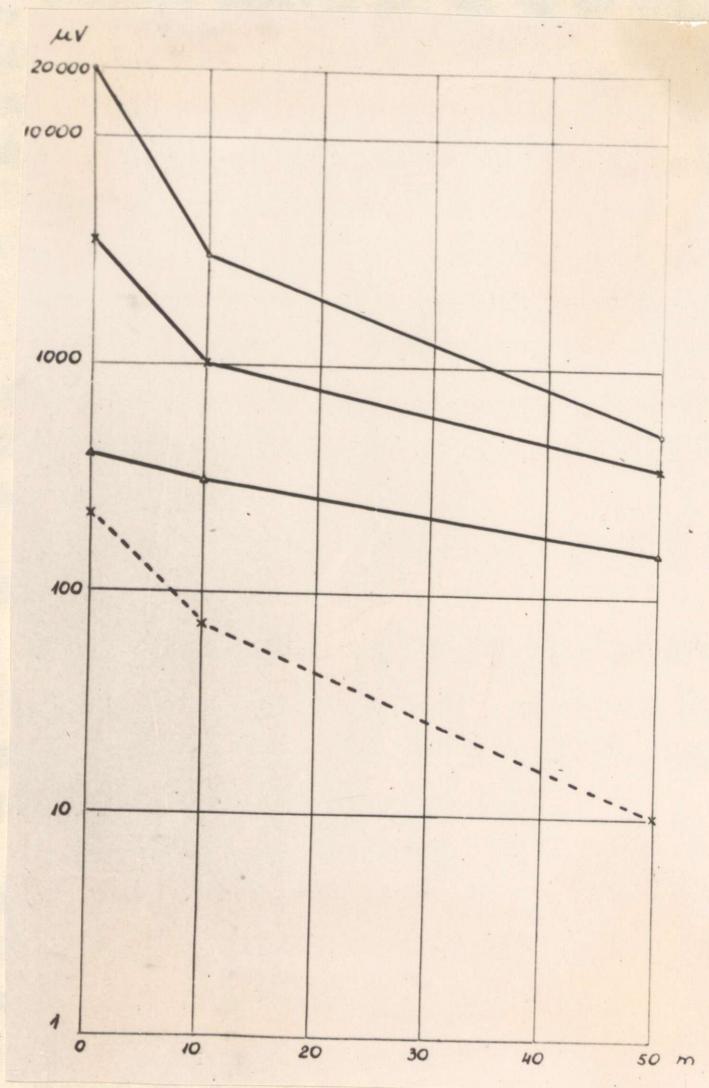
Olukord on siin järgmine:

22. augustil s.a. mõõdeti häirenivood visangul mastide nr. 14 ja 15 vahel. Vastav põikiprofiilil on toodud joonisel nr.

24 (köver 1). Nagu köverast nähtub, on häirenivoo tunduvalt allpool lubatud piiri. Et leida, kui palju tõusis häirenivoo sademete tõttu, mindi samale visangule teistkordselt mõõtma 19. novembril. Tulemuseks saadi 50 m kaugusel liinist 500 μ V häireid 0,28 MHz juures, 350 μ V 1,0 MHz juures ja 150 μ V 3,0 MHz juures. Seega ületati lubatud häirenivoo vastavalt 5, 7 ja 7,5 korda (joonis nr. 24, köver 2).

Oletades, et selline kõrge häirenivoo oli tingitud sademetest, korراتi mõõtmist 30. novembril. Sademeid ei olnud. Kuid sellele vaatamata saadi visangul mastide nr. 15 ja 16 vahel häirenivoos 0,28 MHz juures 1200 μ V, 1,0 MHz juures 700 μ V ja 3,0 MHz juures 300 μ V. Seega ületati siin lubatud häirenivoo koguni 12 - 15 kordselt.

Liini all olid häired 3,0 MHz juures 2200 μ V. Arvesta-



Joonis nr. 24

Radioläirete põikiprofiilid EOL 201 Veskimetsa poolses otsas.

- - (kõver # 1) - ilus ila, 22. aug.
- ||| - (kõver # 2) - lumi, 19. nov.
- o - 0,28 MHz
- x - 1 MHz
- Δ - 3 MHz

des lähedal asuva (piki liini) Veskimetsa alajaama võimalike häiretega, liiguti piki liini alajaama poole. Visangul mastide nr. 9 ja 10 vahel oli häirenivoo liini all 3,0 MHz juures 2800 μV , visangul mastide nr. 3 ja 4 vahel 2500 μV .

Selline ühtlane häirenivoo püsis seega kuni mastini nr. 16. Visangul mastide nr. 16 ja 17 vahel oli liini all häirenivoo 3,0 MHz sagedusel 700 μV . Mõned visangud alajaamast kaugemal, esimesel portaalmastidega visangul oli aga häirenivoo vähenenud 30 μV -ni liini all 3,0 MHz sagedusel.

Kõikide mõõtmiste ajal oli pinge Veskimetsa alajaama 220 kV lattidel 218–220 kV. Seega pinge suured kõikumised ei saanud siin häirete suurendajaks olla.

Alajaama häired sumbuvad piki liini eksponentsiaalselt. Antud juhul aga polnud alajaamast eemaldumisel sumbuvust märgata kuni mastini nr. 16. Seega pole siin tegemist alajaama häiretega.

Häirete põhjuse selgitamiseks on vaja teha täiendavaid mõõtmisi.

4. Mitmesuguste tegurite mõju raadiohäirete nivoole.

Erinevad pinged mõjutavad raadiohäirete nivood sõltuvalt sellest, milline on potentsiaali gradient juhtme pinnal ja isolatsiooninivoo.

Joonistelt nr. 17, nr. 18 ja nr. 19 näeme, et kõige suurem on häirenivoo 220 kV liinil (3.... 11 μV sagedusel 1,0 MHz). Tunduvalt väiksemad on häired 110 kV liinidel (mitte üle 2 μV 1,0 MHz juures). 35 kV liinidel on häired jällegi suurenenud (1.... 10 μV 1,0 MHz sagedusel).

Balti-Veskimetsa 220 kV liinil kõigub potentsiaali gradient juhtme pinnal $21 \div 22 \text{ kV}_{\text{max/cm}}$ piires. 110 kV liinidel kõigub potentsiaali gradient seevastu väga laiades piirides $19 \div 24 \text{ kV}_{\text{max/cm}}$ (vt. tab. I).

Häired on aga igal mõõdetud juhul väiksemad kui 220 kV liinil, vaatamata sellele, et 110 kV liinide potentsiaali gradient ületas mõningal juhul 220 kV liini gradiendi. Võib arvata, et selline olukord on tingitud 110 kV liinide juhtmete väiksemast diameetrist. Kuna juhtme pind on väiksem, siis on seal ka väiksem teravike esinemise võimalus.

Mis puutub 35 kV liinidesse, siis kõigub potentsiaali gradient neil piirides $10 \div 18 \text{ kV}_{\text{max/cm}}$ ja koroona esinemine

on vähe tõenäoline. Seetõttu langeb suurem osa häiretest isolatsioonile ja armatuurile.

Sama pinget erinevaid juhtmeid.

Kuna 35 kV liinidel on väljatugevused juhtme pinnal madalad ja juhtmetest põhjustatud häired on kõrvalise tähtsusega, siis ei tohiks erinevaid juhtmeid häirenivood mõjutada. Selle oletuse kehtivust kontrolliti Ülemiste - Kehra 35 kV liinil, milline on varustatud M-16 ja M-25 tüüpi juhtmetega. Häirenivood mõõdeti kahel visangul, millest üks oli varustatud M-16, teine M-25 tüüpi juhtmetega. Mõlemal visangul olid mastid varustatud sama tüüpi isolatsioonitega. (114 - 4,5 2 isolatsioonit ketis). Masti konstruktsioon oli mõlemal juhul sama. Häiremõõtja näit äärmise juhtme all sagedusel 1,0 MHz kõikus mõlemal visangul 50 - 60 μ V piires, s.t. vahet häirenivoos polnud märgata.

110 kV liinid töötavad kõrgematel väljatugevustel ja seetõttu peaks häirenivoo sõltuma juhtme diameetrist. Sellekohase oletuse paikapidavust sai kontrollida Ahtme - Tallinn 110 kV (varustatud M-95 ja AC-150 tüüpi juhtmetega) ja Pärnu-Viljandi 110 kV liinidel (varustatud AC-95 tüüpi juhtmetega) liinidel, kuna mõlema liini konstruktsioon on sama: puit-portaalmastid, tross puudub, faasidevaheline kaugus 4,0 m. Vahe on ainult traversi kõrguses - Pärnu-Viljandi liinil 12,65 m, Ahtme-Tallinn liinil 13,2 m. Et aga selline väikene vahe kõrguses muudab häirenivood väga vähe [K. 4], siis me seda ei arvesta.

Ahtme-Tallinn liini lõigul, millele olid monteeritud juhtmed M-95, mõõdeti liini all häirenivoo 0,25 MHz sagedusel 100 μ V, 1,0 MHz sagedusel 40 μ V ja 3,0 MHz sagedusel 6 μ V. Pinget Järve alajaama lattidel oli seejuures 119 kV. Sama liini AC-150 tüüpi juhtmega lõigul saadi häirenivoo liini all (pinge 119 kV) vastavalt 95 μ V, 33 μ V ja 4 μ V.

Seega olid AC-150 varustatud liini osal häired väiksemad 0,25 MHz juures 0,4 dB, 1,0 MHz juures 1,6 dB ja 3,0 MHz juures 3,5 dB.

Pärnu-Viljandi liinil saadi häirenivooks liini äärmise juhtme projektsiooni all vastavatel sagedustel 38 μ V, 21 μ V, ja 7 μ V, kuid liin töötas seejuures tunduvalt madalamal pingel - 91 kV.

Laboratoorsestest mõõtmistest leiame (v.t. joon. nr. 8.), et raadiohäirete keskmine tõus sagedusel 1 MHz on ca 2 dB väljatugevuse tõstmisel 1 ^{kV}/cm võrra. Pärnu-Viljandi liini pinge tõstmisel 119 kV-ni tõuseb väljatugevus 19 ^{kV} max/cm väärtuseni 24,9 ^{kV} max/cm. Laboratoorsete mõõtmiste alusel peaks häirenivoo tõusma seega maksimaalselt 12 dB ja liini häirenivoo peaks 1,0 MHz juures tõusma maksimaalselt 80 uV-ni.

Seega võime mõõtmist ^{est} 110 kV liinidel järeldada, et raadiohäired vähenevad liinijuhtmete diameetri kasvul. Diameetri kasv 12,4 mm-lt 17,0 mm-ni vähendab häirenivood 1,0 MHz juures ca 1,5 dB.

Liini konstruktsiooni mõju raadiohäiretele. Tähelepanekud näitavad, et liini konstruktsioon (juhtmete asetus, masti materjal, kaitsetross, isolaatorid, juhtmete kõrgus maapinnast) mõjutavad raadiohäirete nivood.

Kaitsetrossi mõju häirenivoole ei osutunud võimalikuks kontrollida, kuna kaitsetrossiga liinidel Põhja Kõrgepingevõrkudes on erinev juhtmete asetus ja masti materjal võrreldes kaitsetrossita liinidega (samal tööpingel).

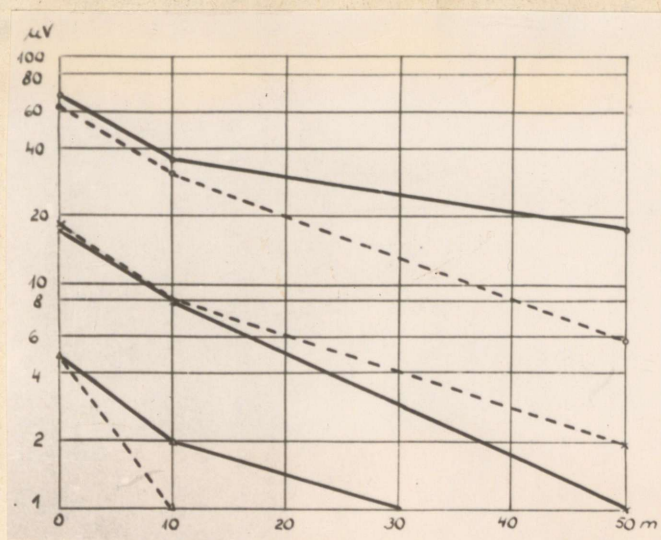
Masti materjali mõju häirenivoole osutus võimalikuks uurida Veskimetsa-Keila 110 kV liinil. Mõõtmised viidi läbi samal päeval visangul mastide 64 ja 65 vahel (raudmastid) ning visangul mastide 78 ja 79 vahel (betoonmastid). Liin oli 113 kV pinge all. Mõõtmistulemused on toodud joonisel nr. 25.

Jooniselt näeme, et 1,1 MHz juures langeb häirenivoo mõlemal juhul ühte. Sama tulemuse andis ka mõõtmise 3,0 MHz sagedusel.

0,28 MHz juures on häirenivood liini all ja 10 m kaugusel lähimise juhtme projektsioonist samad. 50 m kaugusel mõõdetud 18 μ V betoonmastidega visangul on tingitud nähtavasti kõrvalistest häiretest.

Seega raud ja betoon masti materjalidena mõjuvad suhteliselt väikesele häirenivoole ühesuguselt. Edaspidi oleks vaja uurida masti materjali mõju kõrgemapingelistel liinidel, kus häirenivoo on kõrgem (220 ja 330 kV).

Isolaatorite mõju on hea uurida 35 kV liinidel. Siin potentsiaali gradiendid juhtme pinnal väikesed ja põhiosa raadiohäiretest annavad isolaatorid.



Joon. nr. 25. Masti mõju raadiohäiretele.

- | | |
|-----------------------------|--------------------------------|
| (o) 1 - 0,28 MHz | (o) 4 - 0,28 MHz |
| (x) 2 - 1,10 MHz raudmastid | (x) 5 - 1,1 MHz betoon- |
| (Δ) 3 - 3,0 MHz — — — — | (Δ) 6 - 3,0 MHz <u>mastid.</u> |

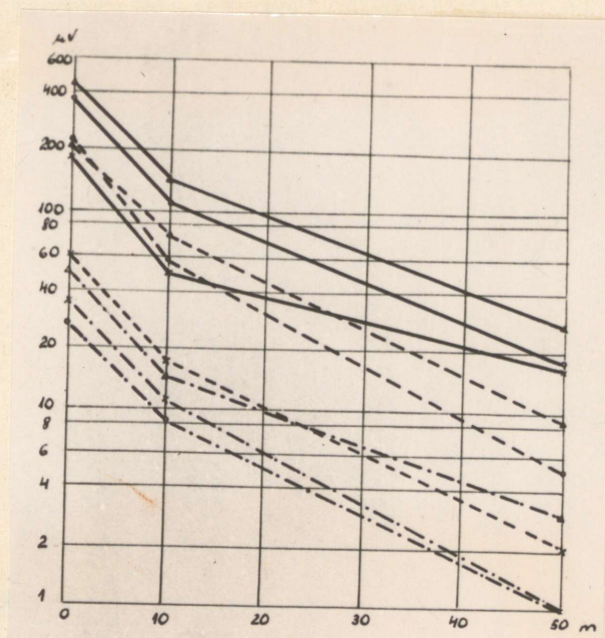
Vastavad mõõtmised tehti Ülemiste-Kehra 35 kV liinil. See liin on varustatud poltisolaatoritega ШД -35 ja rippisolaatoritega ПЦ -4,5 (2 tk. ketis). Mõõtmiste ajal oli liini pingeline 35,5 kV. Liini konstruktsioon oli mõõdetavatel visangutel sama - tulpmast, kolmnurkne juhtmete paigutus, juhe М-16. Mõõtmise tulemused on toodud joonisel nr. 26.

Jooniselt selgub, et poltisolaatorid on tunduvalt suuremate häirete allikad kui rippisolaatorid. Nii on 0,28 MHz sagedusel liini all poltisolaatoritega visangul häirenivoo 350 μ V, rippisolaatoritega visangul 190 μ V. Seega on poltisolaatoriga liini häirenivoo 5,3 dB kõrgem.

Tunduvalt on poltisolaatoritega liini häired kõrgemad 1,0 MHz sagedusel, nimelt 11 dB võrra. 3,0 MHz sagedusel esines vastupidine olukord - rippisolaatoritega visangu häired olid mõnevõrra suuremad. Arvatavasti on see tingitud sagedusspektrite erinevusest.

Veelkordselt kinnitab oletust, et 35 kV liinidel on põhiliseks häireallikaks isolaatorid, see, et kahele paral-

leelsele poltisolaatorile kinnitatud juhtme puhul olid häired 0,28 MHz sagedusel ca 1,7 dB võrra suuremad kui ühele poltisolaatorile kinnitatud juhtmega visangul.



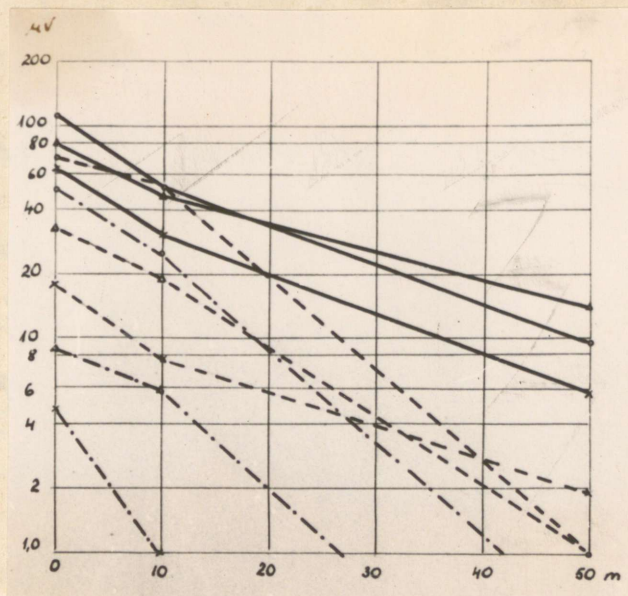
Joonis nr. 26. Isolaatorite mõju raadiohäiretele.

- o - 1 poltisolaator $\omega\Delta$ -35
- x - 2 rippisolaatorit $\Pi\Delta$ -4,5
- Δ - 2 poltisolaatorit $\omega\Delta$ -35
- - $f = 0,28$ MHz
- - - - $f = 1,0$ MHz
- . - - $f = 3,0$ MHz

Umbes sama erinevus ka teistel sagedustel. Juhtmete asetuse mõju häirenivoole uuriti Veskimetsa-Ellamaa ja Ellamaa-Risti 110 kV liinidel. Vastavalt mõõtmistulemused on kantud joonisele nr. 27.

Kõigil mõõdetud sagedustel on häirenivoo horisontaalse juhtmete asetuse puhul mõnevõrra kõrgem, kui kolmnurkse juhtmete paigutuse korral. Kui 0,28 MHz juures vahe pole suur, ca 3 dB, siis teistel sagedustel on see tunduvalt suurem, kuni 15 dB. Seejuures on kolmnurka asetatud juhtmetega Veskimetsa-Keila liin väiksemate häirete allikas kui Keila-Ellamaa samatüübiline liin. See võib olla tingitud Ves-

kinetssa-Keila liini juhtmete suuremast vananemisest.



Joon. nr. 27. Juhtmete asetuse mõju raadiohäiretele.

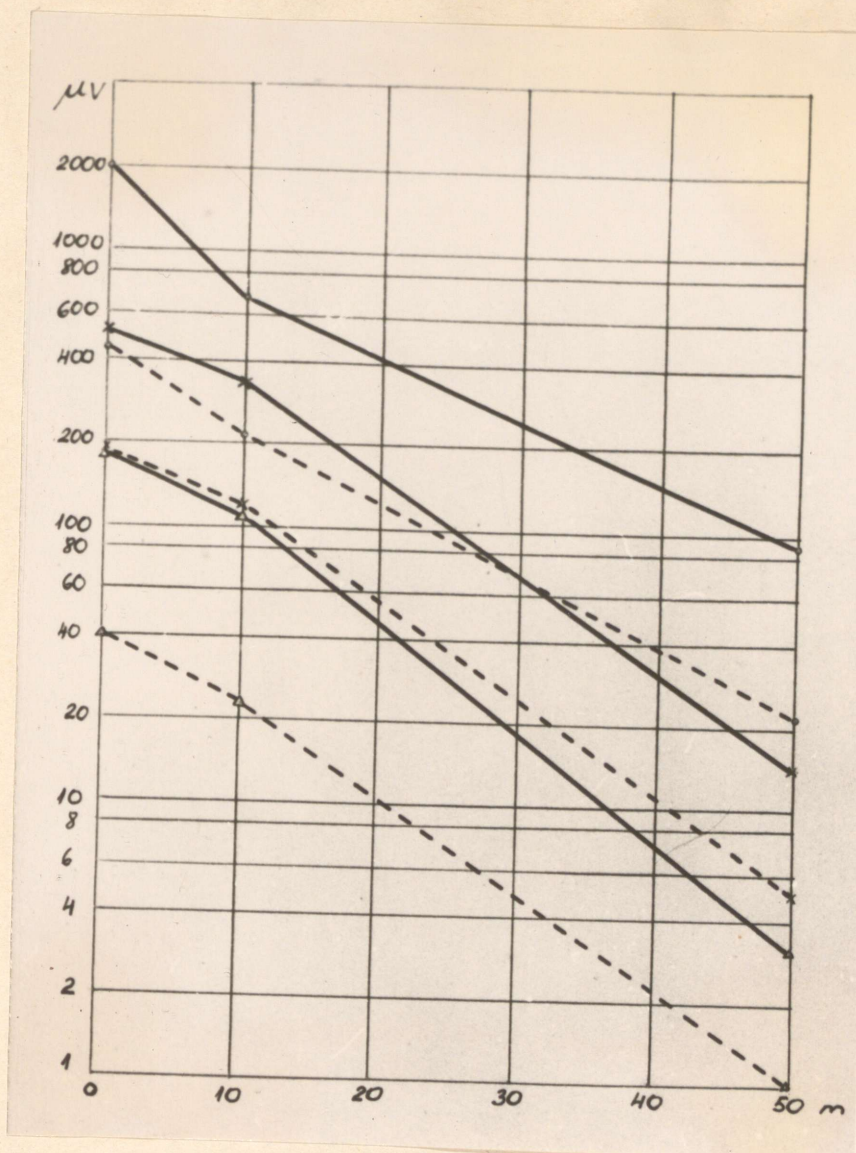
- o - horisontaalne juhtmete asetuse
- x - kolmnurkne - " - " - " -, Veskimetsa-Keila liinil.
- Δ - - " - - " - - " -, Keila-Ellemaa liinil
- - $f = 0,28$ MHz
- - - - $f = 1,0$ MHz
- · - · - $f = 3,0$ MHz

Ilmastiku mõju raadiohäiretele Kirjanduses [K.3, 4, 5] märgitakse, et sademed põhjustavad 110 kV ja kõrgemapingeliste liinide häirenivoos tõusu 3.... 20 korda, 35 kV liinidel jääb häirenivoo samaks või isegi langeb.

Vastavalt mõõtmiste tulemused Põhja Kõrgepingevõrkude liinidelt on toodud joonistel nr. 28, nr. 29 ja nr. 30.

~~Keila~~-Veskimetsa 220 kV liinil põhjustasid sademed tunduvalt raadiohäirete nivoo tõusu.

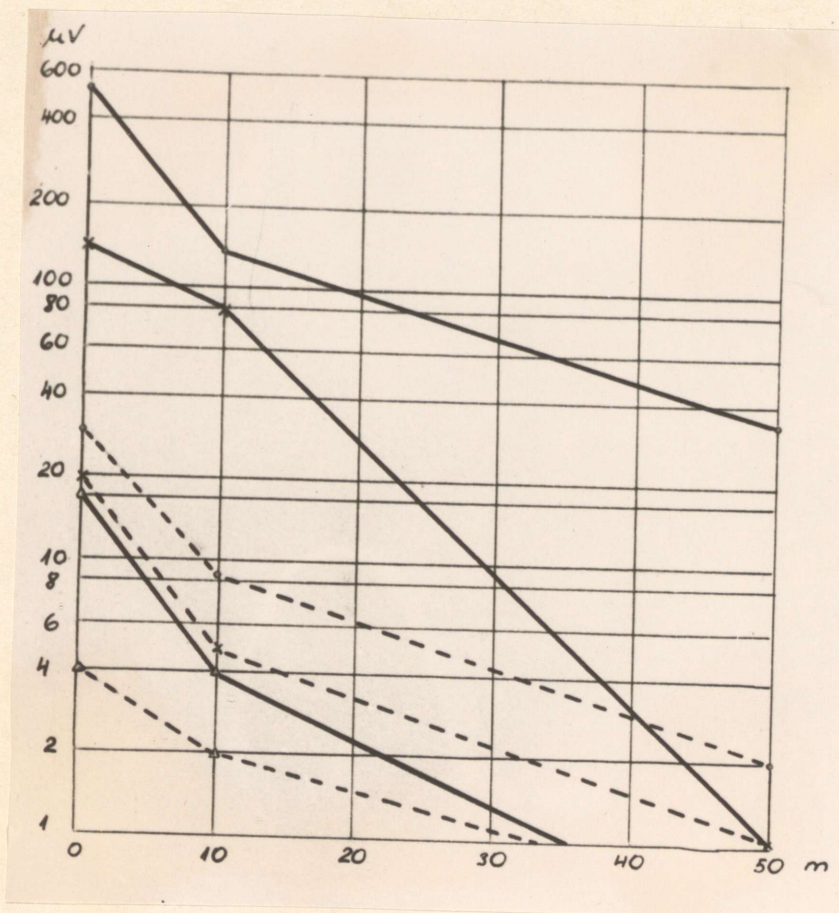
Häirenivoo tõus kõigil sagedustel oli ühtlane ja moodustas keskmiselt 11 dB (3,5 kordne erinevus häirepingetes).



Joonis nr. 28

Raadiolõhõirete põikiprofiilid ilusa ilmaga ja sademetega
Balti-Veskimetsa 220 kV liinil

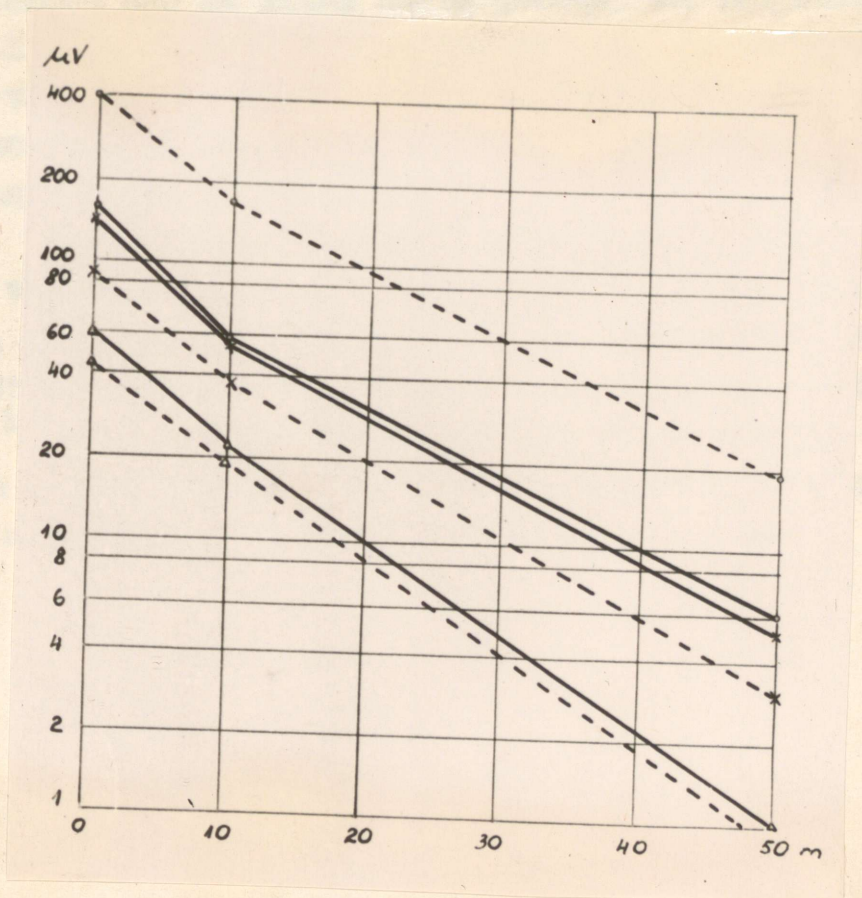
- — — — — vihmane ilm
- - - - - ilus ilm
- o — 0,28 MHz
- x — 1 MHz
- Δ — 3 MHz



Joonis nr. 29

Raadioläirete tase ilusa ilma ja sademete puhul
110 kV liinidel.

- - vihmase ilm
- - - - - ilus ilm
- o - 0,28 MHz
- x - 1 MHz
- Δ - 3 MHz



Joonis nr. 30

Radioläirete nivoo sademetega ja ilusa ilmaga 35 kV liinidel.

- — — — — vihmase ilm
- - - - - ilus ilm
- o - 0,28 MHz
- x - 1 MHz
- Δ - 3 MHz

Suurem häirenivoo tõus täheldati seadmete olemasolul 110 kV liinidel. (v.t. joonis nr. 29). Näiteks tõusis häirenivoo 0,28 MHz sagedusel ca 15 korda (23,5 dB).

Veidi väiksem häirenivoo tõus esineb 1,0 MHz sagedusel liinimall ja 10 m kaugusel liinist. Tugev häirenivoo langus 50 m kaugusel on nähtavasti tingitud juhuslikust põhjusest.

Suurem häirenivoo tõus 110 kV liinidel sademete tõttu (võrreldes 220 kV liini häirenivooga) on tingitud nähtavasti sellest, et 110 kV liinidel on koroon intensiivsus üldiselt väiksem kui 220 kV liinidel. Seetõttu sademetest tingitud koroon intensiivsuse tõus 110 kV liinidel kujuneb suuremaks kui 220 kV liinidel.

35 kV liinidel tõusis häirenivoo sademete tõttu 2... 3 dB võrra (joon. nr. 30). Liinile, millisel häireid mõõdeti, olid monteeritud väikese ristlõikega juhtmed (M-16), mistõttu potentsiaali gradient juhtme pinnal moodustas 17 - 18 $\text{kV}_{\text{max}}/\text{cm}$. Sademete olemasolul võis selliste väljatugevuste juures juhtme koroneerimine intensiivistuda ja põhjustada mõningast häirenivoo tõusu.

TABEL I

Raadiohäirete nivood "Eesti Energia" Põhja Kõrgpingevõrjude tegutsevatel
35, 110 ja 220 kV elektriliinidele

Jrk nr.	Liini nimetus	Liini pinge (kV)	Juhtide arv	Juhtide tüüp	Liini tüüp	Rajooni nimetus	Rajooni tüüp	Rajooni pinge (kV)	Ilmastik	Temperatuur	Suhteline niiskus	Ohu rõhk	Ohu kiirus	Keskmine tuul	Raadiohäire tase	50 m kaugusel EÜL	Märkused				
1.	Soo-Veskimetsa 3503/04	35	M-50	9	9,37	2 ahelat "kruusk"	linnas	15.8.62	36,1	selge	17	-	743	0,99	-	-	1	-	-	rippisolaat.	
2.	Järve-Maardu 3508/09 (koridoris EÜL 101-ga)	35	AC-120	15,3	26,45	2 ahelat	maaraj.	29.8.62	35,5	vahetult peale vihma	14	-	730	0,98	-	8	5	3	-	"-kaitsetross	
3.	Ülemiste-Kehra 3520	35	M-16	5,1	19,7	kolmenurkne juhtmete asetus	"	7.8.62	35,5	tugev pilvit. tuuline	13,8	91	720	0,97	27	-	9	-	3	poltisolaat.	
4.	"	35	"	"	"	"	"	7.8.62	35,5	pilves, ühik. pilved	14,5	91	720	0,965	19	-	8	-	2	poltisolaat.	
5.	"	"	"	"	"	"	"	"	"	tugev vihm	"	"	"	"	19	-	3	-	0	rippisolaat.	
6.	Turba-Kohila 3530	"	M-35	7,5	31,73	"	"	31.8.62	35	tugev vihm, äike	12,2	97	734	0,995	-	-	5	-	-	poltisolaat.	
7.	"	"	M-35	7,5	31,73	"	"	31.8.62	35	vahetult peale vihma	12,2	97	734	0,995	11	-	1	-	-	"	
8.	"	"	M-35	31,73	metall-travers, puitm.	"	"	4.10.62	35,5	pilves, solumine	15,5	86	742	0,993	11	-	3	-	-	visang 90-91 (polt-isol.)	
9.	Järve-Pääsküla 3506	"	M-50	9	7,23	kolmnurkne juhtmete paigut.	linn	19.9.62	35	vihm, tuuline	11	94	727,5	0,99	50	-	4	-	0	visang 32-33	
10.	Pääsküla-Keila	"	M-25	12,39	"	maaraj.	"	19.9.62	35,5	tugev vihm	11	94	727,5	0,99	-	-	3	-	-	rippisolaat.	
11.	"	"	"	12,39	"	"	"	20.9.62	35,5	vihma ei saja	12	-	726	0,983	-	-	3	-	-	"	
12.	"	"	"	12,39	"	"	"	3.10.62	35,5	selge, pilke-sepaiste	19	80	747	0,985	19	-	3	-	0	poltisolaat.	
13.	Kohila-Kvarts 3507	"	M-25	9	28,8	metall-travers, puitm.	"	3.10.62	35,5	selge	16,8	80	747	0,996	9	-	1	-	1	visang 55-55 (poltisol.)	
14.	"	"	"	9	28,8	"	"	"	35,5	"	16,8	80	747	0,996	17	-	4-5	-	1	visang 127-128 (rippisol. tross)	
15.	Ahtme-Tallinn 101 (koridoris EÜL 3508/09)	110	M-95	12,4	84	portaal-mastid, puit	"	29.8.62	112	vihm	14	-	731	0,985	24,0	-	-	10	-	-	
16.	Ahtme-Tallinn 101	"	"	"	"	"	"	30.8.62	112	solumine, tuul.	13,3	84	734	0,988	23,9	15	-	1	-	0,5	nõuet. masti 623 kohal
17.	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	13,4	"	"	"	11	-	0,5	-	0	visang 623-624	
18.	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	16	-	1	-	0	visang 624-625	
19.	"	AC-150	17,0	84	portaal puit	"	"	5.10.62	117	nõrk pilvit.	18	2	739	0,98	19,2	10	-	1	-	0	visang 425-426
20.	"	"	M-95	12,4	"	"	"	6.10.62	117	ülendi pilves	13	95	742	1	24,7	7	-	1	-	0	visang 661-662
21.	"	"	M-95	12,4	84	"	"	19.11.62	118	nõrk teraline lumi	0	-	731	1,03	25,6	15	-	-	-	-	visang 848-849
22.	Veskimetsa-Keila 111 (koridoris EÜL 201)	"	AC-150	17,0	18,83	2 ahelat	"	22.08.62	114	selge	23,5	-	741,5	0,96	-	-	45	-	-	parem ahel 111 vasem ahel maandatud	
23.	Veskimetsa-Keila 111	"	"	"	"	1 ahel raudmast	"	31.08.62	113	ülendi pilves kaste maas	12,2	92	735	0,995	6-7	-	1	-	0	visang 64-65	
24.	"	"	"	"	"	1 ahel betoon	"	"	"	vaheld. pilv.	14,1	83	737	0,99	18	-	1	-	0	kaitsetross visang 78-79 tross	
25.	Järve-Veskimetsa 113/114	"	M-95	12,4	4,44	2 ahelat	linn	16.08.62	"	pilves	14,3	-	741	0,996	-	-	10	5	-	visang 24-23 AC-150 poole	
26.	"	"	M-95	12,4	4,44	"	"	"	"	"	17,1	-	740	0,983	-	-	11	6	-	visang 21-22 AC-150 poole	
27.	"	"	AC-150	17,0	"	"	"	"	"	"	16,0	-	741	0,99	-	-	3	2	-	M-95 poole	
28.	"	"	M-95	12,4	"	"	"	10.10.62	116	kerge pilvit.	13,6	94	743	1,00	23	-	3	-	0	visang 7-8	
29.	"	"	M-95	12,4	4,44	"	"	19.11.62	117	peen terav lumi	0	-	731	1,03	120	-	65	-	5	visang 7-8	
30.	Pärnu-Viljandi 106	"	AC-95	13,9	71,56	portaal puit	maaraj.	12.09.62	91	vaheld. pilvit.	17,0	83	730	0,97	18,1	10	-	1	-	0	visang 153-154
31.	"	"	"	"	"	"	"	12.09.62	95	nõrk vihm	"	"	"	0,970	18,8	35	-	1	-	0	visang 347-348
32.	"	"	"	"	"	"	"	15.09.62	89	selge, tuuline	15,0	82	741	0,993	17,2	-	-	1	-	-	"
33.	Ellamaa-Risti 109	"	AC-150	17,0	15,95	portaal puit	"	9.10.62	113	ülendi pilves, kerge uduvihm	11	97	746	1,02	10	-	1	-	0,5	visang 69-70	
34.	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	12	-	3	-	1	visang 68-69	
35.	Keila-Ellamaa 110	"	"	32,2	raudbetoon	"	"	10.10.62	"	pilves	13,6	94	743	1	9	-	1	-	0	visang 36-37	
36.	Balti-Veskimetsa 201	220	AC-400	27,8	103,21	portaal puit	"	17.08.62	225	pilves	16,9	-	742	0,986	22,2	-	7	4	-	1	visang 42-43
37.	"	"	"	"	"	vert. juht. paigutus	"	22.08.62	219	selge	23,5	-	741,5	0,967	22,0	-	-	10	-	-	visang 14-15
38.	"	"	"	"	"	port. metall	"	30.08.62	223	pilves, tuul.	13,4	84	734	0,99	21,8	28	-	8	-	1	visang 168-169
39.	"	"	AC-400	"	"	"	"	3.10.62	220	selge, pilke-sepaiste	19	80	747	"	21,7	22	8	5	4	2	visang 42-43
40.	"	"	"	"	"	"	"	6.10.62	214	nõrk, uduvihm	13	95	742	1	20,8	22	-	9	-	1	visang 165-166
41.	"	"	"	"	"	"	"	5.10.62	221	ülendi pilves	13	95	742	1	21,4	28	-	5	-	2	visang 136-137
42.	"	"	"	"	"	"	"	29.11.62	222	kerge pilvit.	16	-	737	0,985	21,9	14	-	3	-	0	visang 254-255
43.	"	"	"	"	"	"	"	"	212	vahetult peale lumesadu	0	-	731	1,03	21,7	37	-	7	-	3	visang 168-169
44.	"	"	"	"	"	"	"	19.11.62	212	teraline, kuiv lumi, tuiskab	0	-	"	1,03	21,2	60	-	26	-	5	visang 41-42
45.	"	"	"	"	"	"	"	21.11.62	219	tihe uduvihm	5	-	727	1,01	21,4	90	-	15	-	3	visang 40-41
46.	"	"	"	"	"	vert. juhtme paigutus	"	19.11.62	218	tuiskab, sula lumi	0	-	729	1,03	21,8	500	-	350	-	150	visang 14-15
47.	"	"	"	"	"	"	"	30.11.62	218	pilves	0	-	738	1,05	22,2	1200	-	700	-	300	visang 15-16

(koridoris EÜL 111)

K o k k u v ö t e.

1962.a. möödeti rea Eesti Energia Põhja Kõrgepingevõrku-
de 35, 110 ja 220 kV liinide raadiohäirete nivooosid.

35 kV liinidel ei ületa häirenivoo lubatud piire vaid
jääb neist tunduvalt allapoole. Sellele vaatamata võib eks-
pluatatsioonis olevate liinide kohta teha mõned järeldused.
Rida liine on käiku lastud mitu aastakümnet tagasi, 1922a. ja
hiljem. Neil liinidel on tihtikasutatavaks isolaatoritüübiks
шд - 35 tüüpi isolaator. Viimasel ajal käiku lastud liinid
on aga varustatud **п** - 4,5 tüüpi rippisolaatoritega.

Nende kaht tüüpi isolaatoritega varustatud liinide radio-
häirete nivooos võrdlus näitab, et **шд** - 35 tüüpi isolaatorid
on tunduvalt suuremate häirete allikaks kui rippisolaatorid.

Sademed ei muuda oluliselt 35 kV liinide häirenivood.

Ekspluatatsioonis olevate 110 kV liinide mõõtmistulemu-
sed näitavad, et need liinid töötavad raadiohäirete suhtes s
suure varuga. Ilusa ilmaga on nende häirenivoo väiksem 35 kV
liinide häirenivoost. Sademete puhul häirenivoo tõuseb ca
20 dB (10 korda), kuid jääb tunduvalt madalamaks lubatud häi-
renivoost.

Ainsaks 110 kV liiniks, kus häirenivoo oli kõrgem, osu-
tus Järve-Veskimetsa kaheahelaline liin. Sademete puhul fik-
seeriti sellel liinil häirenivoo, mis ületas lubatu. Kuna see
liin on lühikene - 4,44 km, siis mõjuvad terve liini ulatuses
Järve ja Veskimetsa alajaamade häired. Et aga liini ahelate
faaside paigutus on vastassuunaline - $\begin{matrix} C & A \\ B & B \\ A & C \end{matrix}$, siis võimaldab

faaside paigutuse muutmine - $\begin{matrix} A & A \\ B & B \\ C & C \end{matrix}$ vähendada liini koroonast

tingitud häirenivood 30 - 40 %.

Balti-Veskimetsa 220 kV liini mõõtmised näitavad, et
liini portaalmastidega osas on raadiohäired lubatud piirides.
Sademete puhul tõuseb üldine häirenivoo lubatud piiri läheda-
le. Liini vertikaalse juhtmete paigutusega osas (Veskimetsa
alajaama poolses otsas) ületavad häired 5 - 7 kordselt luba-
tud nivoo. Mõõtmistulemuste analüüs näitab, et siin pole te-
gemist Veskimetsa alajaama häirete kandumisega liinile.

Häirete põhjuse selgitamine nõuab täiendavaid mõõtmisi.

Laboratoorselt mõõdeti raadiohäirete nivoo sõltuvus potentsiaali gradiendist juhtme pinnal. Kõikide mõõtmistulemuste keskmisena saadi häirenivoo tõusuks $2... 2,4 \text{ dB}/\sqrt{\frac{\text{kV}}{\text{cm}}}$

Kontrollarvutused näitasid, et olemasolevaid 110 kV liine võib sellise häirenivoo tõusu juures üle viia 150 kV tööpingele, ilma et raadiohäirete lubatud nivood ületataks.

Sama diameetriga erinevast materjalist juhtmete häirenivoode analüüs näitas, et vaskjuhtmete häirenivoo on kõrgem alumiiniumjuhtmete häirenivoost. Oletuse kohaselt saastuvad vaskjuhtmed enam mineraalsete ja orgaaniliste osakestega ning põhjustavad seega suuremaid häireid. Sellele seisukohale lõpliku järelduse saamiseks on vaja teha täiendavaid uurimusi.

Potentsiaali gradientide arvutamine elektri-
ülekanaliinide juhtmetel.

Lõhestamata juhtmetega liinidel on potentsiaali gra-
diendi amplituud avaldatav järgmise seosega:

$$E_{\text{arv.}} = \frac{q}{2\pi \epsilon_0 r_0} = \frac{\sqrt{2} C_1 \cdot U_L}{\sqrt{3} 2\pi \epsilon_0 r_0} = 0,0147 \frac{C_1 U_L}{r_0} \left[\frac{\text{kV}_{\text{mca}}}{\text{cm}} \right],$$

kus, q - laeng vaadeldava faasi juhtmel,

ϵ_0 - õhu dielektriline läbitavus,

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^9 \frac{\text{F}}{\text{m}},$$

C_1 - vaadeldava faasi mahtuvus pF/m

U_L - liinipinge efektiivväärtus,

r_0 - juhtme raadius, cm.

Arvutuste juures vaatleme tavaliselt keskmist faasi,
kuna seal potentsiaali gradient omab maksimaalset väärtust.

Praktilise arvutuse juures on mugav kasutada graafi-
kut (joon. nr. 31), millel on kujutatud keskmise faasi mah-
tuvuse sõltuvuse sõltuvus liini keskmisest mahtuvusest

$$C_1 = f(C_2).$$

Graafiku (joon. nr. 31) kasutamisel arvutatakse
transponeeritud liini keskmine mahtuvus C_2 valemist:

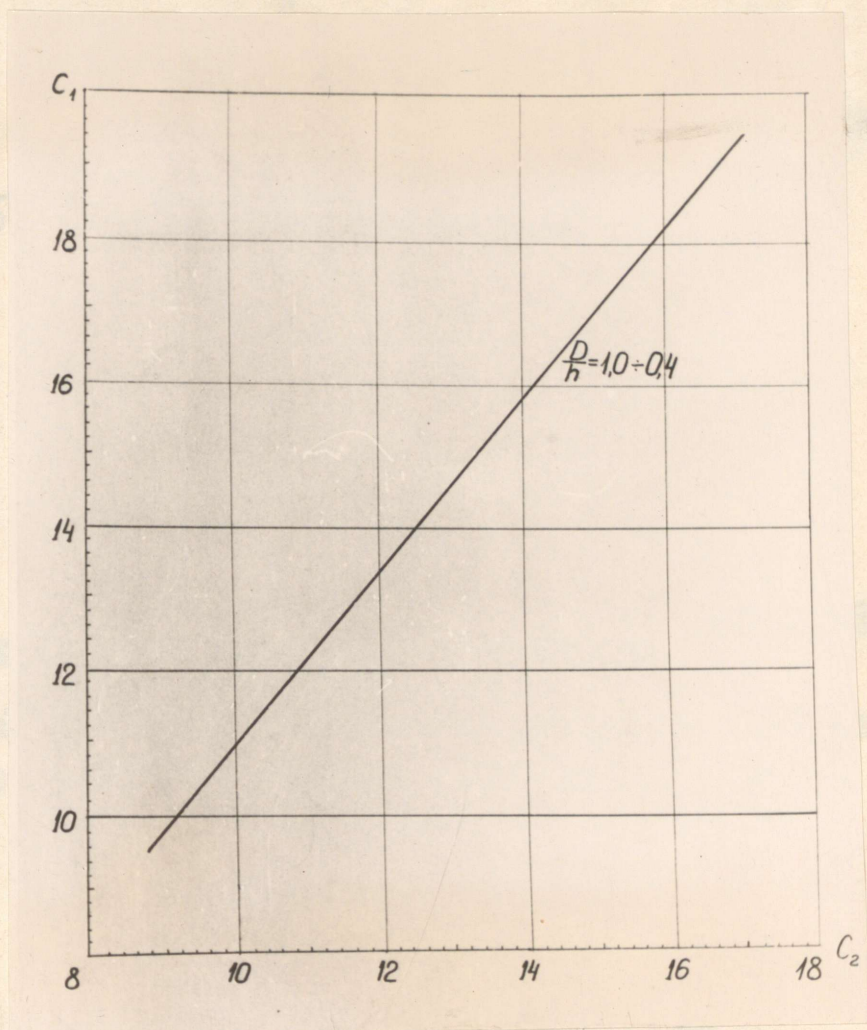
$$C_2 = \frac{24,13}{\lg \frac{1,26 D}{r_0}} \left[\frac{\text{pF}}{\text{m}} \right],$$

kus

D - faasidevaheline kaugus, cm,

r_0 - juhtme raadius, cm.

Gradientide arvutamisel tuleb arvestada ka atmosfäär-
sete tingimuste mõju, taandades gradiendi suurusele, mis



Joon. nr. 31. Horisontaalse juhtmete paigutusega üheahelalise liini keskmise faasi mahtuvuse arvutamine.

C_1 - keskmise faasi mahtuvus, $-\frac{pF}{m}$

C_2 - transponeeritud liini keskmine mahtuvus ilma maad arvestamata, $-\frac{pF}{m}$

h - juhtme keskmine kõrgus maast

D - faasidevaheline kaugus.

vastab õhu suhtelise tiheduse väärtusele $\delta = 1$.

$$E = \frac{E_{\text{arv}}}{\delta}$$

kus E - taandatud gradient

E_{arv} - arvutuslik gradient, mis arvestab ainult liini konstruktsiooni ja pinget.

δ - õhu suhteline tihedus.

$$\delta = \frac{0,39 p}{273 + t}$$

kus p - baromeetriline rõhk, mm Hg

t - õhu temperatuur, $^{\circ}\text{C}$.

Lisa nr.2.

Potentsiaali gradiendi arvutus silindrisse paigutatud juhtmel.

Juhul kui juhe on paigutatud silindrisse kontsentriliselt, arvutatakse potentsiaali gradient juhtme pinnal valemist

$$E_{\text{arv}} = \frac{U}{r_0 \ln \frac{R}{r_0}} \left[\frac{kV_{\text{ef}}}{\text{cm}} \right],$$

kus U - pinge juhtme ja silindri vahel, kV_{ef} ,

r_0 - juhtme raadius, cm,

R - silindri raadius, cm.

TPI Kõrgepinge laboratooriumis kasutati silindrit, mille $R = 14,2$ cm.

E_{arv} väärtus taandatakse normaaltingimustele:

$$E = \frac{E_{\text{arv}}}{\delta}$$

kus δ - õhu suhteline tihedus (v.t. lisa nr.1)

Библиография.

1. СССР Министерство связи. "Нормы предельно допустимых промышленных помех". Москва, 1956.
2. Отчет ВНИИЭ "Радиопомехи и помехи в.ч. каналам связи от короны на линиях электропередачи. 1960
3. Отчет ВНИИЭ Исследование помех от короны на линиях электропередачи. 1959.
4. Кафиева, К.Я. Радиопомехи от короны на ЛЭП. Обзор заруб. литературы. ЦБТИ ОРГРЭС 1959. 3л. за руб.
5. Newell, H.B.; Warbunton, F.W. Variations in radio and television interferences from transmission lines.
6. Colorado High-Altitude Corona Tests. Power Appar. and Syst. 1957. № 30.
7. Кафиева, К.Я. Новые исследования радиопомех от короны на ЛЭП. Энерг. за рубежом ЦБТИ ОРГРЭС 1961.
8. Liao, T.W.; Keen, W.A.; Powell, D.A. Relationship Between Corona and Radio Influence on Transmission Lines. Laboratory Studies Power Apparatus and Systems № 51 August, 1957.
9. Кафиева, К.Я. Исследование помех от короны на линиях электропередачи. Электричество, 1960, № 12, стр. 28-34.
10. Фастовский, Н.А. и Фурманов, Я.М., Типовые приборы для измерения промышленных радиопомех, Судпротект, 1959

А н н о т а ц и я.

на научно-исследовательскую работу по теме "Исследования радиопомех от линий электропередачи в системе "Эстон-энерго".

В данной работе определяется уровень радиопомех от линий электропередачи в высоковольтных сетях Севера "Эстон-энерго" при напряжениях линий 35, 110 и 220 кв. Определяется влияние различных факторов на уровень радиопомех: атмосферные условия, конструкция ЛЭП, дефекты в изоляции и т.д.

Параллельно с полевыми измерениями производится исследование радиопомех в лабораторных условиях: исследование зависимости уровня помех от градиента напряженности поля на поверхности провода, исследование влияния поверхностных условий на уровень помех и т.д.

Работы производились группой преподавателей и студентов кафедры электрических систем Таллинского политехнического института, лабораторные исследования производились в высоковольтной лаборатории ТПИ.