

THESIS ON INFORMATICS AND SYSTEM ENGINEERING C110

Electromagnetic Environment and Propagation Factors of Short-Wave Range in Estonia

MARI-ANNE MEISTER

KAITSEMINISTEERIUM
ASUTUSESISESEKS KASUTAMISEKS
FOR INTERNAL USE ONLY
Märge tehtud 01.01.2016
Juurdepääsupiirang kehtib kuni 01.01.2021
Alus: Avaliku teabe seadus § 35 lg. 1 p. 10

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Faculty of Information Technology
Department of Radio and Communication Engineering

**Dissertation was accepted for defence of the degree of Doctor of Philosophy
in Telecommunication on January 15, 2016.**

Supervisors: Associate Professor Eerik Lossmann, Department of Radio and
Communication Engineering, Tallinn University of Technology
Associate Professor Emeritus Urve Madar, Department of Radio and
Communication Engineering, Tallinn University of Technology

Opponents: PhD Vivianne Jodalen, Principal Scientist, Norwegian
Defence Research Establishment (FFI), Kjeller, Norway
Professor Peeter Lorents, PhD, Department of Information Technology,
Estonian Business School, Estonia
PhD Marko Kaasik, Senior researcher (of air pollution modelling)
Institute of Physics, University of Tartu, Estonia

Defence of the thesis: April 19, 2016

Declaration:

Hereby I declare that this doctoral thesis, my original investigation and
achievement, submitted for the doctoral degree at Tallinn University of
Technology has not been submitted for any academic degree.

/Mari-Anne Meister/

Copyright: Mari-Anne Meister, 2016

ISSN 1406-4731

ISBN 978-9949-23-903-0

INFORMAATIKA JA SÜSTEEMITEHNIKA C110

Elektromagneetiline keskkond ja levi faktorid Eestis lühilaine spektrialas

MARI-ANNE MEISTER

1. ABSTRACT

Short-Wave or High Frequency (HF) that encompasses radio frequencies between 1.6 -30MHz, is known for its complicated and specific modes of propagation. Two transmission mechanisms are distinguishable: ground-wave and sky-wave. Based on the communication requirements and the scenario, the choice of propagation mode would be either ground-wave or sky-wave. HF radio enables the only fully military controlled system used for Beyond-Line-of-Sight (BLOS) and Extended-Line-of-Sight (ELOS) secure transmissions without the need sophisticated infrastructure for support (such as this is required by a satellite communications).

Present thesis depicts the first systematic research on short-wave spectrum range in Estonia. The paper brings together the theory and subsequent analysis of empirical data considering peculiarities of Short-Wave propagation environment in Estonia its electromagnetic parameters and the level of man-made noise. The empirical data was collected during observations in 2004-2010. There was no earlier data available. Thus, the research was initiated by Estonian Ministry of Defence to develop practical guidelines for HF communication system implementation for military and paramilitary users.

Main impairments of HF channel are fading and external noise. The typical communication distances (65-500km) in Estonia are problematic ones in terms of Short-Wave coverage because the interaction between sky-wave and ground-wave propagation mode which defines specific receiving condition. In addition, local unintended electromagnetic emissions of man-made sources contribute considerably to the highly impulsive pattern of the radio frequency noise. Interfering signals from remote sources reach a receiver via the sky-wave channel. The objective of the observations was to acquire information about HF band spectral occupancy, the EMI environment, its characteristics but also the geographical distribution and origin of the man-made noise.

Interferences and multipath propagation are the main courses of fading of the RF signal. The fading envelope of the HF radio channel has been studied using two scenarios: reception of broadcast signals and communication over medium-range tactical radio links. On the basis of received signal strength variations, the statistical models of the fading channel were formed. Corresponding propagation predictions have been made by using various software tools such as GRWAVE, ICEPAC, PROPWIZ.

The performance analysis of communication system with fading channel requires the knowledge of the measured field strength statistics. The histograms

of the fading envelope of assigned channels were approximated by several distribution functions. For evaluation of short and medium range tactical radio links the Rice distribution was used. The parameter K associated with the Rician fading depicts the power ratio of the stochastic component of the radio signal to the stable component. Thus, the parameter K provides reasonably simple and intuitive way to assess a goodness or expected quality of the radio channel.

The monitoring results and methods presented in current thesis are of great practical value providing important background data to refine and to optimise the planning of HF communications systems in conformity to the existing and future HF standards considering peculiarities of Electromagnetic Environment and propagation factors in Estonia .

KOKKUVÕTE

Lühilaine (LL) raadiosagedused, mis hõlmavad spektriala 1,6-30 MHz, on tuntud oma keeruka ja iseäraliku levi poolest. Selgelt eristuvad kaks levimehhanismi: pinna- ja ruumilaine (ehk ionosfääriline laine). Sõltuvalt kasutaja poolsetest vajadustest, defineeritud spetsifikatsioonidest ja nõuetest sideteenuse kvaliteedile on eelistatud kas pinnalaineline või siis ionosfääriline edastusviis. Ruumilaine võimaldab kaugsidet ehk ühendusi silmapiiri taha (*Beyond-Line-of-Sight*) ilma teenust pakkuva kolmanda osapoole või keeruka infrastruktuurita raadiojaamade vahel, nagu see on iseloomulik satelliitsidele. Viimati nimetatud omadus muudab lühilaine raadio oluliseks eelkõige sõjalise juhtimise süsteemide seisukohalt, mis leiab rakendust militaarsides kõigil liikuvatel platvormidel nii merel, õhus kui ka maismaal.

Antud dissertatsioon annab ülevaate lühilaine spektrialas läbiviidud uurimuslikest monitooringutest, meetodikast ja järeldustest. Monitooringud algatati Eesti Kaitseministeeriumi initsiatiivil, kuna varasemad andmed puudusid. Uuringute eesmärgiks oli välja töötada praktilised suunised LL sidesüsteemide implementeerimiseks ja nende eeldatava töökindluse hindamiseks nii mereside kui taktikalise raadioside kontekstis. Praktilisi mõõtmisi korraldati läbi mitme aasta ajavahemikul 2004 - 2010. Kogutud empiirilisi mõõtetulemusi analüüsiti võttes arvesse Eesti territoriaalsest eripära, kohaliku keskkonna elektromagnetilisi näitajaid ja mitmeid teisi LL raadiosidet mõjutavaid faktoreid.

LL side kvaliteeti ja töökindlust piiravad tegurid on valdavalt raadiosageduslikud häired ja signaali hääbumised, kusjuures raadiolingi pikkus määrab suuresti ka spetsiifilised vastuvõtutingimused. Eesti jaoks tüüpilised keskmised sidekaugused (65-500 km) muudab LL katmikala moodustamise seisukohalt problemaatiliseks pinnalaine ja ruumilaine levimehhanismide koostoime. Lisaks on inimtegevuslik lokaalse iseloomuga elektromagnetiline emissioon nimetatud sagedusalas peamiseks impulssmüra ja kõrge häirete nivoo allikaks. Monitooringute käigus uuriti elektromagnetilise keskkonna mürafooni, inimtekkeliste häirete iseloomu, allikaid ning nende geograafilist jaotust. Läbiviidud uuringute põhjal võib väita, et tihtilugu on kohalik tugev mürafoon põhjustatud elektromagnetilise ühildatavuse (EMC) reeglite rikkumisest ja eelkõige elektrisüsteemide puudulikkusest maandusest.

Hääbumiste iseloomu raadiokanalites uuriti kahe stsenaariumi lõikes: hääbumised mereside *broadcast*-signaalide vastuvõtul ja hääbumised keskmise ulatusega raadiokanalites üle maismaa. Vastavate füüsikaliste levitingimuste prognoosimiseks ja Eesti eripära selgitamiseks on töös kasutatud mitmeid tarkavarapakette nagu GRWAVE, ICEPAC, PROPWIZ. Mõõdetud elektromagnetvälja tugevuse muutuste alusel moodustati edastuskanali

statistilised mudelid. Lühilaine raadiokanali statistilised mudelid võimaldavad hinnata sidesüsteemide eeldatavat häirekindlust. Elektromagnetvälja tugevuse mõõtmistest saadud empiiriliste tulemuste histogramme aproksimeeriti mitmete statistiliste jaotusseadustega. Keskmise ulatusega taktikaliste raadiolinkide puhul andis parimaid tulemusi Rice'i jaotus. Rice'i jaotusega seotud parameeter K iseloomustab raadiosignaalis sisalduva stabiilse komponendi ja stohhastilise komponendi võimsuste suhet. Seetõttu võimaldab parameeter K anda lihtsa ja intuiitiivselt mõistetava hinnangu raadiokanali kvaliteedile.

Dissertatsioonis käsitletud leidnud uuringutel on oluline praktiline väärtus, koondades vajalikku eelinformatsiooni nii olemasolevate süsteemide optimeerimiseks ja igapäevase side korraldamises kui ka tuleviku süsteemide implementeerimiseks arvestades sealjuures Eesti geograafilist asendit ning levikeskkonna eripärasid.