



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

ENEFIT ENERGITOOTMISE ETTEVÕTE TALITLUSE OPTIMEERIMINE MUUTUVATES TINGIMUSTES

OPTIMIZATION OF THE OPERATION OF THE ENEFIT ENERGIATOOTMINE
ENTERPRISE IN VOLATILE CONDITIONS

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Leonid Talantsev

/ nimi /

Üliõpilaskood: 153285AAVM

Juhendaja: vanemlektor Jelena Šuvalova

/ nimi /

Tallinn, 2018.a.

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“.....” 201.....

Autor:
/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees
/ nimi ja allkiri /

LÕPUTÖÖ KOKKUVÕTE

<i>Autor:</i> Leonid Talantsev	<i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> Enefit Energitootmise ettevõtte talitluse optimeerimine muutuvates tingimustes.	
<i>Kuupäev:</i> 25.05.2018	83 lk
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool	
<i>Teaduskond:</i> Inseneriteaduskond	
<i>Instituut:</i> Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut	
<i>Töö juhendaja(d):</i> vanemlektor Jelena Šuvalova	
<i>Töö konsultant (konsultandid):</i> Nikolai Grigorjev	
<i>Sisu kirjeldus:</i> Käesoleva töö eesmärgiks on anda ülevaade, millised faktorid mõjuvad elektrijaama talitluse optimeerimisele ja kulude minimeerimisele. Lisaks kirjeldatakse kasutatavaid optimeerimisviise, leitakse kulude minimeerimise sihifunktsioon ja luuakse algoritm optimaalse koormuse jaotamiseks. Töös on antud lühiülevaade Euroopa sh. Baltimaade energiasüsteemidest ja nende ajaloost. Lisaks on käsitletud elektrituru põhilisi atribuute ja elektrijaama põhivarustuse parameetreid, mida muutes ongi võimalik elektrijaama talitlust optimeerida. Eraldi on kirjeldatud maailmas teostatud optimeerimise kogemuse ülevaadet ja võimalikke kasutatavaid optimeerimisviise. Töö praktilise osa käigus on järeldatud kulude minimeerimise sihifunktsioon ja töötatud välja energiablokkide koormuste optimaalse jaotuse algoritm.	
<i>Märksõnad:</i> Enefit Energitootmise ettevõtte, TP-101, optimeerimine, ökonoomiline talitus, keskkonnasäästlik talitus, kulude minimeerimine, sihifunktsioon, varese otsimise algoritm.	

SUMMARY OF THE DIPLOMA WORK

<i>Author:</i> Leonid Talantsev	<i>Type of the work:</i> Master's thesis
<i>Title:</i> Optimization of the operation of the Enefit Energiatootmine enterprise in volatile conditions.	
<i>Date:</i> 25.05.2018	83 pages
<i>University:</i> Tallinn University of Technology School of Engineering <i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Tutor(s) of the work:</i> Senior Lecturer Jelena Šuvalova <i>Consultant(s):</i> Nikolai Grigorjev	
<i>Abstract:</i> The aim of this master's thesis is to summarize the experience of optimizing the operation of the power plant and minimizing costs, to describe possible ways of optimization, to derive the formula for the objective function of minimizing costs and to create an algorithm for the optimal distribution of loads between power units. The paper provides a brief overview of the history of European energy systems, a description and basic data of the power systems of the Baltic countries. The paper describes the main instruments of the electricity market. Also, the parameters of the main equipment of the power plant are described, influencing which it is possible to optimize its operation. Separately, a review of world experience and possible ways of optimization In this thesis the formula of the objective function of cost minimization was derived and an algorithm for optimizing load distribution between power units	
<i>Keywords:</i> Enefit Energiatootmise enrerprice, TP-101, optimization, economic load dispatch, economic environmental dispatch, minimization of expenses, target function, Crow search algorithm	

Sisukord

LÕPUTÖÖ KOKKUVÕTE.....	3
SUMMARY OF THE DIPLOMA WORK.....	4
Sisukord	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	7
Eessõna.....	9
Sissejuhatus	10
1. ENERGIASÜSTEEMID. ELEKTRITURG.....	13
1.1 Euroopa energiasüsteemide ajalugu ja tänapäevane seisukord	13
1.2 Eesti ja Baltimaade energiasüsteem	14
1.3 Eesti energiasüsteemi operatiivjuhtimine. Energiasüsteemi talitluse tingimused.....	16
2. EESTI ENERGEETIKA	19
2.1 Kaasaegsed probleemid fossiilenergeetikas	19
2.2 Enefit energiatootmise ettevõtte tootmisvõimalused ja faktorid, mis mõjuvad hinnale.....	20
2.2.1 Katlaseadme kirjeldus ja kasutegurile mõjutatavad faktorid	20
2.2.2 Lämmastiku oksiidide emissioonid	23
2.2.3 Tolmu emissioonid.....	24
2.2.4 Vääveldioksiidi emissioonid.....	26
2.2.5 Katla töö koos väävli ja lämmastiku eemaldamise süsteemidega.....	29
2.2.6 Turbiini seadmete töö	31
2.2.6 Energiaplokk terviklikult	33
3. OPTIMEERIMISE VÕIMALUSED. AJALUGU JA TÄNAPÄEV	34
3.1. Kaasaegsed tingimused ja optimeerimise võimalused tänapäeval	34
3.2. Operatiivjuhtimise sisu.....	34
3.3. Ajaloost	36
3.3 Elektriijaama töö turutingimustel	37
3.4 Optimeerimise algoritmid	41

3.5 Teised optimeerimis viisid.....	43
4. SIHIFUNKTSIOON JA OPTIMEERIMISE ALGORITM.....	44
4.1 Sihifunktsioon	44
4.1.1 Sihifunktsiooni koostamise üldpõhimõtted.....	44
4.1.2 Turbiini aurukulu sõltuvus koormusest	45
4.1.3 Katla kütuse kulu	46
4.1.4 Kahjulikute gaaside ja tolmuosakeste heidised.....	57
4.1.5 süsihapegaasi heidised	62
4.2. Rahalised kulud sihifunktsioonis	63
4.2.1 Kütusega seotud kulud ja süsihapegaasiga seotud keskkonnatasud	63
4.2.2 Väävlidioksiidiga seotud keskkonnamaksud ja lubjaga seotud kulud	63
4.2.3 Lämmastiku oksiididega ja tolmuosakestega seotud keskkonnatasud	64
4.2.4 Rahalised kulud kokku	64
4.2. Algoritmid.....	64
4.2.1 Liigõhuteguri valiku all-algoritm	64
4.2.2 Retortgaasi põletite valimise all-algoritm.....	65
4.2.3 Põhialgoritmi lähteandmed ja sihifunktsiooni kitsendused	67
4.3 Otsimise algoritm varese käitumise alusel.....	68
4.3.1 Algoritmi kirjeldus.....	68
4.3.2 Algoritmi realiseerimine käesoleva töö ülesandeks	71
4.3.2 Arvutuse tulemused	71
KOKKUVÕTE.....	76
KASUTATUD KIRJANDUS.....	79

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	Enefit Energitatootmise ettevõtte talitluse optimeerimine muutuvates tingimustes.
Üliõpilane:	Leonid Talantsev, 153285AAVM
Eriala:	Elektroenergeetika
Lõputöö liik:	Magistritöö
Lõputöö juhendaja:	Vanemlektor Jelena Šuvalova
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	01.01.2019
Lõputöö esitamise tähtaeg:	25.05.2018

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Instituudi direktor (allkiri)

Teema põhjendus:

Elektrijaam, mis on projekteeritud baaskoormuse kandmiseks ja ehitatud tsentraliseeritud juhtimise ajal, nüüd töötab avatud turu tingimustel. Turuhinnad muutuvad laias piires. Turuhindadega tihti tunduvalt võngub ka elektrijaama koormus. Selleks, et saada tulu, elektrijaam peab vähendama elektri omahinda ja töötama vaid tasuvuse piires. Selleks, et vähendada oma hinda, tuleb valida talitlusrežiimi ja jaotada koormust nii, et rahalised kulud kütusele, omatarbele ja heitmisele oleks vähim.

Elektrijaama energiablokkide koormuste jaotust kuni viimase ajani valitakse traditsioonide meetmega. On kuulas iga plokki ligikaudsed muutuvkulud ja nende põhjal valiti seadiste koormuse prioriteeti. Kütuse kulude minimeerimise nõuete täitmine võimaldab täita ökoloogilisi nõudeid vaid mõnedes koormustes. Teistes koormustes ökonoomsed ja ökoloogilised nõuded käivad üksteisele vastu, ja talitlusrežiimi valitakse reeglina ökoloogiliste nõuete järgi. Mõlemad faktorit ei olnud võimalust üheaegselt reaalses arvesse võtta. Installeeritud uute riistade ja tarkvara reaalsaja lähedaste kiirusega energiablokkide karakteristikute leidmiseks. Sellega on avatud uued võimalused talitluse optimeerimiseks.

Ikkagi automaatika hakkab koguma reaalseid andmeid, mis on saadetud faktilise talitluse järgi, mis üldjuhul ei pruugi olla optimaalne talitus.

Lähtudes seadmete töö eripärast, võiks arvestata talitlusrežiimi, mis teatava tõenäosusega kompromislikult rahuldaks kõigile nõuetele, sealhulgas võtaks arvesse hindade muutumist. Teema uudsuseks on see, et energeetika- ja mehhatroonika instituudis ei olnud varem kirjutatud tööd selle teemale. Võimalused muutuvate hindade optimeerimise puhul.

Töö eesmärk:

Töö eesmärgiks on uurida, kuidas võiks vähendada elektrijaama talitluskulusid.

Selle jaoks on vaja analüüsida ja üldistada elektrijaamal olemasolevad kogemused, ka kogemused maailmas, võttes arvesse kaasaegse kiiret informaatika arenemist. Järeldada ja pakkuda valemit optimaalseim plokki talitluse leidmiseks võttes arvesse seadme omapärased tegelik seisund. Töötada välja algoritmi optimaalse koormuse jaotamiseks seadmete vahel.

Töö lõpus esitada lisavõimalusi, ehk mida teha optimeeritavaks sellest, mida ei ole võimalik praegu optimeerida.

Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

- Uurida, mille faktorid mõjuvad optimaalse talitlusele tänapäeva tingimustes;
- Uurida, mille optimeerimisviisid on kasutamas elektrijaamal;
- Uurida, mille optimeerimise viisid on kirjeldatud artiklites ja teadustöodes ja millised neist on võimalik rakendada elektrijaamas;
- Uurida, kuidas võib režiimi valik mõjutada talitluskuludele.
- Järeldada valemit, mis üheaegselt võtab arvesse kõike kulusid ja selle valemist leida optimaalseim režiimi. Luua algoritmi optimaalse koormuse jaotamiseks.

Lähteandmed:

erialane kirjandus; teadusartiklid; internet; juhendajalt saadud materjalid; konsultandilt saadud materjalid.

Eessõna

Käesoleva akadeemilise töö ülesandeks on välja töötada arvutussüsteem, mis võimaldaks arvutada energiaplokkide koormuse jaotust reaajas, lähtudes energiaplokkide põhivarustuse parameetridest. Selline arvutussüsteem on loodud varese otsimise algoritmi põhjal.

Töö käigus on autori poolt laiendatud ülesannetest kirjeldatud töö algstruktuuri muutused: Peatükk 3.2.2 on eraldatud neljandaks peatükiks.

Autor avaldab tänu Jelena Šuvalovale, Nikolai Grigorjevile, Alla Savinõhhi'le ja kõigile, kes on kaasa aidanud töö valmimisele.

Autori e-post: tallant@mail.ru

Sissejuhatus

Viimasel aastakümnel on paljude riikide energeetikas toimunud olulised muutused. Varem korraldati energiasüsteemi juhtimist tsentraliseeritult ja elektriyaamade koormust jaotati niimoodi, et rakendada võimalikult ökonoomset talitlust. Fosiilkütust põletatavad elektriyaamad olid koormatud nii, et nad töötaksid stabiilse režiimiga ja koormusega, millele vastab maksimaalne kasutegur. Nüüd reguleerib elektriyaama tootmiskahtu ainult elektriturg. Genereeriv ettevõte konkureerib elektriturul võrdsete tingimustega, sõltumata sellest, millist tüüpi elektriyaama ta omab. Ka ökoloogiline riigipoliitika muudab soojuselektriyaamade olukorda elektriturul keerukamaks.

Taastuvenergeetika, sealhulgas tuule- ja päikeseenergeetika on viimastel veerandsajandil oluliselt arenenud. Samuti, on rajatud paljusid uusi süsteemivahelisi elektriliine, millega on tunduvalt suurenenud süsteemivahelised ülekandevõimsused. Nüüd võib genereeriv ettevõte, mis varem võis domineerida regioonis, konkureerida teistest regioonidest pärit energiaettevõtetega, sh. tuule- ja päikeseelektriyaamadega, mis saavad riigipoolseid soodustusi. Kuna volutatiivne tuuleenergia ei saa olla stabiilne energiaallikas, siis vajab see energialiik reserveerimist. Reserviks ongi soojuselektriyaama võimsused. Stabiilse ja kindla töö asemel soojuselektriyaamad töötavad nüüd regulaarsete turbiinide käivitamisega ja seiskamisega. Kui energiablokk on töös, siis tema koormus võib muutuda minimaalsest väärtust maksimaalseni väga kiiresti mitmel korral päeva jooksul.

Soojuslektriyaama ökonoomsus sõltub tunduvalt muutuvatest kütusehindadest, elektrihindadest, keskkonnatasude väärtustest, maksumääradest, palgakuludest ja sellest, kui optimaalselt ta kulutab oma ressursse. Kõige rohkem muutub hind elektrituru tingimustes. Mida optimaalsemalt on ressursid kulutatud, seda väikesem on elektri omahind ja tasuvuspiir.

Optimaalne koormuste jaotus on ka ressursside kulu optimeerimine, sest optimaalne koormuse jaotus on väga aktuaalne teema. Ökonoomiline talitlus on tänapäeval muutunud ökonoomseks ja keskkonnasääslikuks talitluseks (economic & enviromental dispatch). Sellel teemal on kirjutatud palju teadus- ja õppekirjandus ning igal aastal ilmub mitmeid artikleid. Modernseks variandiks on kasutada selliste arengute kajastamiseks riist- ja tarkvara tehisintellekti. Leiutatakse uusi algoritme, mis imiteerivad loomade või loomade parve intellektuaalset käitumist ja selle abil on võimalik uurida elektriyaamades toimuvate protsesside tööd.

Elektriturg Eestis hakkas realselt töötama Estlink-2 elektrikaabli käikulaskmisega. Täieliku elektrituru kujunemisel avaldus soojuselektriyaamade ökonoomse talitluse probleemi aktuaalsus ka Eestis. Varem ettekirjutatud koormatavuse soovitus ei võtnud enam arvesse agregaatide

hetkelist reaalset tehnilist seisukorda. Selleks et mitte toota kahju tuleb reaalajas jälgida oma kulusid. Alles hiljuti on tehtud esimesi katseid luua riist- ja tarkvara, mis võimaldab reaalajas jälgida tootmisvarade hetkelist olukorda, mille alusel võiks teha elektrijaama töö uurimiseks vajalikke arvutusi.

Käesoleva töö eesmärk on luua kulude minimeerimise sihifunktsioon, mis võtaks arvesse kõiki tootmisvaradega seotud tehnilisi, majanduslikke ja ökoloogilisi faktoreid. Teine eesmärk on leida või luua optimeerimise algoritm, mis arvutaks majanduskulude minimeerimise aspektist energiablokkide optimaalse koormuse jaotuse.

Antud töös on võetud arvesse ainult Enefit energiatootmise ettevõtte 3-6 energiablokkide gruppi. Need plokid on moderniseeritud selleks, et vähendada keskkonna kahjulike ainetega saastamist. Keevkihiga kateldegala plokid 8 ja 11 on kahtlemata tunduvalt ökonoomsemad, kui käsitletavat energiablokkid. Plokid 1, 2, 7 ei ole moderniseeritud ja nende töö on piiratud, aga lähemas tulevikus nende töö lõpetatakse. Vajaduse korral võib nende jaoks saada ka sihifunktsiooni, ignoreerides väävlidioksiidi ja lämmastiku oksiidide eemaldamist.

Käesolevas töös on käsitletud pikaagest (mitte vähem kui tunniajalist) seadmete stabiilset tööd. Seadmete koormuse muutumine on seotud lisakuludega. Turbiinide käivitamine ja katelde kütmine on samuti seotud lisakuludega, mis saab välja arvutada eraldi.

Algoritmi lähteandmeteks on ettenähtud tegurid on järgmised: iga katla ja turbiini status (töötab/ei tööta); põlevkivi ja retoortgaasi keemiline koostis, põlevkivi soojusväärtus, õlitehase jaoks tehnilise auru vajalik kulu, omatarbeauru vajalik kulu, retortgaasikulu õlitehasest, kütuse ja kustutamata lubja hinnad ja keskkonnatasu määrad. Vajaduse korral võib kõikide eelnimetatud andmete väärtusi muuta. Algoritmi lähteandmetes on vajalik plokid rühma elektriline netokoormus. Algoritmi väljundiks on plokide ja koormuste jaotus plokide grupi talitluse muutuvkuludes. Algoritm ja sihifunktsioon on kirjutatud Freemat keskkonnas matlab-programmeerimise keeles.

Käesoleva töö kirjutamisel on kasutatud soojuselektrijaamade talitluse optimeerimise kohta kirjutatud õppekirjandust, mitut teemat käsitletavat väitekirja ja ühte rakenduskõrghariduse lõputöö, mis lähtub Venemaa kõrgkoolide energeetika ja informaatika õppeharidusest. Samuti on kasutatud Internetist võetud teadusartikleid, Baltimaade statistikaameti andmed, andmeid Wikipediast ja teistest võrguressurssidest.

Sihifunktsiooni koostamiseks on kasutatud ka TTÜ õppekirjandust ja vilistlaste lõputöid. Lisaks on autori kasutuses olnud Eesti Energia ja Enefit Energiatootmise ettevõtte sisedokumendid,.

Oluliseks allikaks on ka aasjuhendaja poolt saadud teave, autori poolt tehtud pildid ja autori isiklik töökogemus energiaettevõttes.

Esimeses peatükis on kirjeldatud Euroopa energiasüsteemide arendamise ajalugu ja kaasaegset olukorda. Lähemalt on kirjeldatud Baltimaade energiasüsteemide olukorda ja esitatud on statistilised andmed energiaplokkide installeeritud võimsuse kohta ning ühendused elektriliinidega naabersüsteemidega. On käsitletud ka elektrituru arenemist Eestis ja elektrijaamade talitluse tingimusi.

Teine oeaatükk käsitleb energiaplokkide seadmeid, nende eripära ja talitluskulusid mõjutatavaid faktoreid.

Kolmandas peatükis on kirjeldatud optimeerimise liigid ja viisid. Lisaks mõned optimeerimise algoritmid.

Neljandas peatükis on järelatud kulude minimeerimise sihifunktsioon, mis võtab arvesse kütuse kulusid ja keskkonnatasusid. On kirjeldatud ka optimaalse liigõhuteguri valiku ja gaasipõletite stohhastilise valiku all-algoritme. On käsitletud ka käesolevas töös kasutatud kulude minimeerimise algoritmi ja antud arvutuste tulemused.

KOKKUVÕTE

Nüüdisajal kõik elektrijaamad, sõltumata elektrijaama liigist, konkureerivad elektriturul võrdsetel tingimustel. Erandiks on ainult taastuvenergia, mille olukord on teiste liikide suhtes soodsam. Viimasel ajal on rajatud riikide vahelisi ja süsteemivahelisi elektriliine, mille võimsus on piisav, et tagada elektrienergia nõudlus Eestis sõltumata kohalike elektrijaamade koormusest. Tänapäeval soojuselektrijaamad konkureerivad ühel ja samal turul elektrijaamadega, mis asuvad nii Soomes, Norras, kui ka näiteks Lätis. Soojuselektrijaamade töörežiimi on iseloomustatud nüüdisajal regulaarse energiaplokkide ja katelde seiskamise ja käivitamise printsiibiga. Väga tihti on elektrijaam koormatud vaid osaliselt.

Alakoormatud soojuselektrijaama ökonoomne talitus sõltub sellest, kuidas plokkide koormuse jaotus on optimaalne. Seoses sellega, et kauplemine elektriturul on korraldatud iga tunni kaupa, on korraldatud kauplemine Põhjusel, et koormus muutub kiiresti on vaja teha optimeermise arvutusi ka reaalajas.

Tänapäeval ökonoomse talitluse ülesannet lahendatakse metaheuristiliste algoritmide kasutamisega. Selle jaoks kasutatakse võimalikke koormuse jaotamist iseloomustavaid argumente. Nendele omistatakse algväärtusi ja arvutatakse välja sihifunktsiooni väärtus. Siis muudatakse argumentide väärtusi sõltuvalt algoritmi reeglitest ja arvestatakse taas sihifunktsiooni väärtus. Sihifunktsiooni väärtust võrreldakse eelmise väärtusega ja parim võimalik väärtus säilitatakse mälu. Algoritmi arvutus toimub iteratsioonide kaupa, mille hulk võib olla sadades ja tuhandetes. Algoritmiga leitakse parim sihifunktsiooni väärtus, mille argument ongi parim lahendus.

Antud magistr töö ülesandeks on:

- Analüüsida maailmas eksisteerivate elektrijaamade olemasolevaid optimeerimise kogemusi.
- Uurida avatud allikatest kogemusi, mis on toimunud maailmas elektrijaamade töös.
- Järeldada sihifunktsiooni valem, millega võib leida energiaploki optimaalse talitluse, võttes arvesse seadmete omapära ja tegeliku seisundi.
- Töötada välja algoritm, millega võib leida plokkide koormuste optimaalse jaotamise.

Antud magistr töö kaigus on teostatud:

- Euroopa elektrisüsteemide ülevaade.
- Eesti elektrituru kauplemisplatsi ülevaade.

- Enefit energiatootmise ettevõtte katelde ja turbiinide ülevaade. Keskendutud on faktoritele, mille muutumine mõjutab elektri omahinda ja mille abil võib muutuvkulusid minimeerida.
- Optimeerimise liikide (ettevõtte kasumi maksimaliseerimise ja tootmiskulude minimaliseerimise) ülevaade.
- Olemasolevatest optimeerimise algoritmidest kõige kuulsamate algoritmide ülevaade.
- Kulude minimeerimise sihifunktsiooni koostamine.
- Sihifunktsiooni all-algoritmide loomine.
- Koostatud sihifunktsiooni programmeerimine FreeMat V4 keskkonnas.
- "Varese otsimise" algoritmi modifitseerimine.
- Modifitseeritud algoritmiga koormusejaotamise arvutus FreeMat V4 keskkonnas erinevate tingimuste puhul.

See algoritm võimaldab arvutada nii tootmiskulude minimeerimise tingimusel koormuste jaotust, kui ka kulusid ja elektriühiku omahinda iga koormuse kaupa. Algoritmi initsialiseeritud andmed hõlmavad kõiki parameetreid, nii hinda kui ka kütuse omaduste väärtuseid. Vajaduse korral võib asendada igasuguseid parameetrite väärtusi uuteks väärtusteks.

Algoritmi põhjal tehtavate arvutuste puuduseks on see, et algoritm ei võta arvesse reaaltalitluse korral tekkivaid režiimist kõrvalekaldeid, nt. põlevkivi punkrite ummisuamist, mis põhjustab katla režiimi tuntavat muutust ja kasuteguri vähenemist. Keeruline on vältida punkri ummistamist ning ka eeldada, millal ja milles punkris see juhtub.

Tulevikus sellise sihifunktsiooni võiks modifitseerida järgnevalt:

- Käesolev sihifunktsioon võtab arvesse väävlidioksiidi eemaldamise seadme tööparameetreid vaid plokkide kaupa. Võiks lisada all-algoritmi, mis võimaldaks võtta arvesse kõiki neid parameetreid juba iga NID-liini kaupa. Parim variant oleks iga NID-liini kohta defineerida matriks-vektor, mille koordinaadiks on kõikide juhitud parameetrite väärtused, sealhulgas binaarne muutuja, mis iseloomustab kas tohib või ei tohi liini kasutada.
- Võiks lisada kitsenduse, mis automaatselt võtaks arvesse energiaploki maksimumkoormuse piirangut, kui liini kasutada otstarbetult või ei tohi liini üldse kasutada. Praeguses algoritmis saab seda seadistada vaid käsitsi, valides ploki maksimaalselt lubatud koormuse.
- Lisada võiks arvutuse, mis võtab arvesse koormuse muutumisega seotud kulusid, kõigepealt liigse lühiaegse väävlidioksiidi heidise.

- Korrigeerida iga katla ja turbiini individuaalseid parameetreid. Seda on võimalik teha siis, kui monitooringu riistvara kogub andmeid katla- ja turbiinide põhiparameetrite väärtuste kohta.
- Käesoleva algoritmi kood võimaldab arvutada koormuse jaotust ainult juhul, kui kõik neli plokki on töötamas. Selleks, et arvutada koormuse jaotus vähem töötavate plokkide vahel, tuleb ümber kirjutada lähteandmeid või modifitseerida koodi, näiteks, kasutada *SQL* programmeerimiskeelt.

KASUTATUD KIRJANDUS

- 1 M. Meldorf, H. Tammoja, Ü. Treufeldt, J. Kilter Jaotusvõrgud. TTÜ kirjastus Tallinn. 2008
- 2 Energy resources/Europe. Võrguressurs. Kättesaadav:
<https://www.worldenergy.org/data/resources/region/europe/>
- 3 Школа для электрика. Võrguressurs. Kättesaadav
<http://electricalschool.info/sety/1819-regulirovanie-chastoty-v-jenergostime.html>
- 4 Elingi lehekülg. Euroopa põhivõrgude kaart kättesaadav internetist
https://docstore.entsoe.eu/Documents/Publications/maps/Map_Northern-Europe-3.pdf
- 5 Läti riigistatistika ameti andmed. Võrguressurs. Kättesaadav internetist:
<http://www.csb.gov.lv/en/dati/statistics-database-30501.html>
- 6 Eesti statistika ameti andmebaas. Elektrienergia tootmine, import, eksport ja müük, kuud.
http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=KE21&ti=ELEKTRIENERGIA+TOOTMINE%2C+IMPORT%2C+EKSPORT+JA+M%DC%DCK+%28KUUD%29&path=../Database/Majandus/02Energeetika/02Energia_tarbimine_ja_tootmine/02Luhiajastatistika/&lang=2
- 7 Veiko räim. Loeng TTÜs 27.09.2017, loengu esitlus.
- 8 Juhan Vältin. Avatud elektriturg 2013. Esitlus. TTÜ õppemateriaalid.
- 9 Костин, Дмитрий Александрович – «Эффективность применения энергетических установок на базе поршневых двигателей в энергетических комплексах»
Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. СГТУ, Саратов, 2018. , kättesaadav: <http://www.dslib.net/energo-systemy/jeffektivnost-primenenija-jenergeticheskikh-ustanovok-na-baze-porshnevyh-dvigatelej-v.html>
- 10 Röhr F. Optimization of operating plant performance in view of new market conditions. Siemens, 2012. Võrguressurs. Kättesaadav
https://www.energy.siemens.com/co/pool/hq/energy-topics/pdfs/en/service/Optimization_of_operating_plant_performance_in_view_of_new_market_conditions.pdf
- 11 Aavo Kāmas „taastuenergia perspektiiv ja väljakutsed. Esitlus loengust TTÜst, loeng toimus 13.12.17.
- 12 J. A.Ots. Põlevkivi põletustehnika, 2004 ISBN 9985-894-74-X
- 13 К.Ф. Родатис, А.Н.Полтарецкий. Справочник по котельным установкам малой производительности. Москва. Энергоатомиздат. Kättesaadav:
https://www.proektant.org/books/1989/1989_Roddatis_K_F_Poltareckii_A_N_Spravochnik_po_kotelnyh_ustanovkam_maloi_proizvoditelnosti.pdf

- 14 Производственная инструкция по эксплуатации котельного агрегата ТП-101 Enefit energiatootmine ettevõtte.
- 15 A. Maslakov Heitgaasi väävlipuhastusseade. TTÜ lõputöö, 2010
- 16 L. Talantsev. Vaekütteväärtusega põlevkivi põletamisel kõrgrõhukatla TP101 kasuteguri ja uue korstna arvutus. TTÜ. Virumaa kolledž. Lõputöö. 2014
- 17 Инструкция по эксплуатации установок сероочистки дымовых газов котлов ТП-101 блоков № 3÷6.
- 18 Инструкция по предупреждению и ликвидации аварий котельного агрегата ТП-101
- 19 Keskkonnatasude seadus. Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/117122010040?leiaKehtiv>
- 20 Инструкция по пуску и обслуживанию турбины типа К-200-130
- 21 Режимные карты для ведения режимов энергоблока и котлов.
- 22 Optimization of thermal power plants operation in the german de-regulated electricity market using dynamic programming. 2012. Artikel. Proceedings of the ASME 2012 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, 2012 November, Houston, Texas, USA. Kättesaadav: https://www.researchgate.net/profile/George_Tsatsaronis2/publication/267594671_Optimization_of_Thermal_Power_Plants_Operation_in_the_German_De-Regulated_Electricity_Market_Using_Dynamic_Programming/links/546a5ea40cf2f5eb18077b71/Optimization-of-Thermal-Power-Plants-Operation-in-the-German-De-Regulated-Electricity-Market-Using-Dynamic-Programming.pdf
- 23 M. Valdma, H. Tammoja, M. Keel. Soojeselektrijaamade talitluse optimeerimine. Tallinn, 2008. ISBN 978-9985-59-823-8
- 24 Чекалина Т. Оптимальное управление нагрузкой тепловых электростанций в современных условиях. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Новосибирск. 2005 Kättesaadav <http://www.dissercat.com/content/optimalnoe-upravlenie-nagruzkoi-teplovyykh-elektrostantsii-v-sovremennykh-usloviyakh>
- 25 Mati Valdma Energiasüsteemide optimaaljuhtimine. TTÜ 2016. Loengukonspekt
- 26 А. В. Гончарова. Применение штрафных функций в решении экстремальных задач с ограничениями. Магистерская диссертация. Алтайский Государственный Университет. Барнаул 2016. Kättesaadav: <http://elibrary.asu.ru/xmlui/bitstream/handle/asu/2797/vkr.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 27 StudFiles – võrguresurs. Kättesaadav <https://studfiles.net/preview/3573911/>

- 28 А.М.Клер, А.С.Максимов, А.В.Чалбышев, Е.Л.Степанова: Оптимальное распределение нагрузок между агрегатами теплоэлектроцентралей при работе на рынке на сутки вперёд. Новосибирск 2015. Artikel võrguajakirjas «Вестник науки сибери». Kättesaadav <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/1197/785>
- 29 А.В. Чалбышев. Оптимизация режимов работы ТЭЦ с учётом современных условий их функционирования в составе энергетической системы. Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук. ИГТУ, Иркутск, 2015 г. Kättesaadav: <http://tekhnosfera.com/optimizatsiya-rezhimov-raboty-tets-s-uchetom-sovremennyh-usloviy-ih-funktsionirovaniya-v-sostave-elektroenergeticheskoy-s>
- 30 I. Klevtsov, A. Paist, T. Bojarinova. Aurukatla soojustehniline arvutus ja projekteerimine. Metoodiline juhend. TTÜ, 2007. Kättesaadav: <http://staff.ttu.ee/~vladn/Katla%20arvutus%20MetJuhend.pdf>
- 31 Нелюбина А.Д. Управление энергетической эффективностью основного оборудования электростанции. Выпускная квалификационная работа. ЮУрГУ, Челябинск 2017. Kättesaadav: http://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/0001.74/16295/2017_278_nelyubinaad.pdf?sequence=1
- 32 J. Sasikala, M. Ramaswamy. Optimal λ based Economic Emission Dispatch using Simulated Annealing. Annamalaiganar, India. Publitseeritud: International Journal of Computer Applications, 2010. Kättesaadav: <https://www.ijcaonline.org/journal/number10/pxc387371.pdf>
- 33 M.N. Nwohu, P.O.Osarmemwinda. Evaluation of Economic Load Dispatch Problem in Power Generating Stations by the Use of Ant Colony Search Algorithms. Kättesaadav: <https://www.arcjournals.org/pdfs/ijrseee/v3-i1/4.pdf>
- 34 Y. Zhang, K. Liu, X. Liao, L. Qin, X. An. A probabilistic scenario-based framework for solving stochastic dynamic economic emission dispatch with unit commitment. 2017, Wuhan, Beijing, China. Artikkel ajakirjas “Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences”, kättesaadav <http://journals.tubitak.gov.tr/elektrik/issues/elk-17-25-6/elk-25-6-30-1705-92.pdf>
- 35 X. Yu, Y. Lu, J. Sheng. Economic and Emission Dispatch Using Ensemble Multi-Objective Differential Evolution Algorithm. Artikkel. 2018. Nanjing, China Kättesaadav www.mdpi.com/2071-1050/10/2/418/pdf
- 36 M Surendranatha Reddy. Emission Constrained Economic Load Dispatch of Thermal Power Plants. Bengaluru, India. Arukkel ajakirjas World Journal of Technology,

- Engineering and Research, Volume 3, Issue 1 (2018). Kättesaadav:
http://wjter.com/Research%20Papers/January%202018/Abstract/Abstract_Emission%20Constrained%20Economic%20Load%20Dispatch%20of%20Thermal%20Power%20Plants.pdf
- 37 G. Metha, R. P. Singh, V.K.Yadav Optimization of combined economic emission dispatch problem using artificial bee colony method. 2017. Galgotias University, Greater Nodia, India. Artikkel. International Journal on Cybernetics & Informatics. Kättesaadav:
<http://airconline.com/ijci/V6N2/6217ijci13.pdf>
- 38 N. Kherfane, R.L. Kherfane, M.Younes, F. Khodja. Economic and Emission Dispatch with renewable energy using HSA. The International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment, 2014. Kättesaadav:
<https://core.ac.uk/download/pdf/82263338.pdf>
- 39 D.Rao, N. Kumar. Comparisinal Investigation of Load Dispatch Solutions with TLBO. International Journal of Electrical and Computer Engineering, 2017 Kättesaadav:
<https://pdfs.semanticscholar.org/be08/188232aa84f0c9011bb5c6f7d67fa7507665.pdf>
- 40 A.F.Sheta. Solving the economic load dispatch problem using crow search algorithm. Texas A&M University, Corpus Chrisit TX, USA. Proceedings of The 8th International Multi-Conference on Complexity, Informatics and Cybernetics, 2017. Kättesaadav:
<http://www.iiis.org/CDs2017/CD2017Spring/papers/ZA928NJ.pdf>
- 41 Kasutegur. Wikipedia artikkel. Kättesaadav: <https://et.wikipedia.org/wiki/Kasutegur>
- 42 Энергетические характеристики оборудования Эстонской Электростанции. Katsete tulemuste aruanne. 1993. Eesti elektri jaam.
- 43 Влияние режимных факторов на экономичность котла ТП-101 (väljavõtte Metoodilisest abivahendist TP-101 ЮжОПЭС, inv.nr 8361, 1977)
- 44 Rekonstrueeritud gaasipõletitega katla 6B töö katsete analüüs. 2016.
- 45 Номограмма для определения зависимости концентрации SO₂ на выходе из котла от оборотов дозатора щебня и расхода через дозатор щебня от электрических (паровых) нагрузок блоков котлов №№1,2,7
- 46 Отчёт по измерениям присосов воздуха на котлах 1÷7. Enefit energiatootmise seadisgrupp, aprill 2018.
- 47 Crow search algorithm. Algoritmi annotatsioon ja kood matlab programmeerimiskeeles. Kättesaadav: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/56127-crow-search-algorithm>

48 Solver book. Võrguressurss. Kättesaadav:

<http://ru.solverbook.com/spravochnik/ximiya/plotnost/plotnost-uglekislogo-gaza/>

49 Инструкция по безопасной эксплуатации и обслуживанию газового оборудования блоков 1÷7 (Enefit energiatootmise ettevõtte sisedokument)