

KOKKUVÕTE

Magistritöö „Ülemiste piirkonna kaugjahutusjaama jätkusuutlikuse analüüs“ koostatud Juhan Papagoi poolt

Täpse sisekliima reguleerimise ning suurenenud protsessijahutuse ning jahutusvajaduse tõttu on sobilik rajada Tallinna uusi jahutusjaamu. Kõrge efektiivsuse ning töökindluse tõttu on mõistlik kasutada tsentraalset kaugjahutuslahendust. Käesolevas töös on uuritud uuendusliku kaugjahutusjaama rakendamist Ülemiste piirkonnas. Piirkonnas kasutatavad võimsused ning eeldatav arengukava on võetud Utilitase sisendina. Töö eesmärgiks on teha jaama jätkusuutlikuse analüüs ning leida jahutuspiirhinnad võimalikele jaama konfiguratsioonidele. Põgusalt käsitletakse ka lokaallahenduse võimalust. Jätkusuutlikuse analüüsi tegemiseks on leitud tehnoloogilised parameetrid ja piirangud ning keskkonnaalased ja majanduslikud näitajad ning vastavus tõhususe kriteeriumitele. Jaama jätkusuutlikuse leidmiseks on toodud nende näitajate hindamiskriteeriumite maatriks, mille kaudu on arendajal võimalik seda hinnata valides parameetrite kaalud ning jaama rakendatav alternatiiv.

Käesoleva töö sisendiks on Utilitase poolt tehtud varasemad hinnangud jaama arenguetappidele ja tarbimistele. Vastavalt sellele on eraldi analüüsitud jaama kahte etappi ning nende tarbimist. Tarbimise iseloomustamiseks on tehtud jahutuskooormusgraafik. Selle graafiku koostamisel on arvestatud klientidele sobivate projekteeritud temperatuuride ning jaama baaskoormuse ja reservi väärtustega. Sisendina kasutati ka tunnipõhise jahutustoodangu ja välistemperatuuri vahelist lineaarsõltvust. Jahutuskooormusgraafiku andmete alusel leiti jahutuse kestusgraafik vastavalt jaama täisvõimsusele ja vajalikule tunnipõhisele jahutusvajadusele.

Kaugjahutuspiirkonnas on võimalik kasutada vabajahutust, absorberseadmeid, soojuspumpasid ning chillereid. Töös on arvestatud nende kasutamise- ning tehnoloogiliste piirangutega. Kuna pikas perspektiivis on jääsoojuse olemasolu ning soojuspumba soojusemüük lahtine, tuleb leida projekteeritavale jaamale erinevad alternatiivid ning teha jätkusuutlikuse analüüs.

Jätkusuutlikuse analüüs koosneb kolmest osast ning esimene komponent on vastavus tõhususe kriteeriumile ehk tõhusa kaugjahutuse nõue. Vastavalt energiatõhususe miinimumnõuete määrusele tähendab see kaugjahutussüsteemi, mis kasutab vähemalt 50% taastuenergiat, 50% heitsoojust, 75% koostoodetud soojust või 50% sellise energia ja soojuse kombinatsiooni. Kõikidele jaama alternatiividele tehakse tõhususe arvutused

arvestades tehnoloogiate ning jaama kogutoodangut ning nende tõhususe kriteeriumeid. Teiseks komponendiks on keskkonnanäitajad, mille hindamiseks kasutatakse elektrisisendit ja elektri erihetetegurit. Uuringus on võetud elektri eriheteteguriks 1,12 tCO₂/MWh. Jaama keskkonnamõju leitakse tehnoloogiate ning jaama alternatiivide kogu väljastatav tCO₂ alusel ja tCO₂ jahutuse toodangu MWh kohta.

Jätkusuutlikuse majandusliku komponendi leidmiseks on vaja leida jahutuse piirhind. See saadakse toodangu jagamisel käidukulude ning alginvesteeringu summaga. Käidukulud leitakse seadmete elektrikulu, lisaveekulu, hoolduskulu ja soojussisendi kulu summana. Alginvesteeringu komponentideks on seadmete, hoone ehituse ning torustiku ehituse kulu. Kogu jaamas kasutatavate tehnoloogiate kulude ja tulude summa leidmiseks arvestatakse tehtud sõelumiskõvera meetodit ehk SC meetodit, mis määrab jaamas rakendatavate tehnoloogiate võimsused ja nende järjekorra ehk jaama konfiguratsiooni. SC meetod aitab teha projekti üldist planeeringut ning baseerub SC graafiku, koormuse- ja temperatuuri kestusgraafiku võrdlemisel ning nende löikepunktide leidmisel. Löikepunktid määravad tehnoloogiate suhtelise kasutusaja. Temperatuuri kestusgraafik leitakse vabajahutuse välistemperatuuri piirangu ja jahutuskoormusgraafiku alusel ning seda kasutatakse ainult vabajahutuse kasutusaja määramiseks.

Sobivate kaugkütte ja kaugjahutuse sisendi ja väljundi järgsete temperatuuridega koostati sobilike seadmete keskmistatud kulude ja tulude kaudu SC graafik. Graafik näitab iga tehnoloogia aastaseid keskmisi kogukulusid. Kõik sobilikud seadmed ning keskmistatud investeeringukulud ja hoolduskulud leiti vastavate pakkumiste kaudu või Utilitase sisendina ning kolleegide ja äripartnerite hinnanguna. Käidukulud arvestati seadmete andmelehtedelt leitud parameetrite ning jahutuskoormusgraafiku vajaliku toodangu järgi. Olulisteks näitajateks olid seadmete töökarakteristika, elektritarbimised ja EER. Jaama tuludena arvestati ainult soojuspumba müügituluga.

Töös on uuritud kahte SC meetodiga leitud põhialternatiivi ning mõlema korral kahte alaalternatiivi. Jaama esimene alternatiiv rakendub olukorras, kus on võimalik kasutada soojuspumbapõhiseid lahendusi ning teise alternatiivi puhul on võimalik kasutada absorberlahendusi. Esimeseks alaalternatiiviks ehk alternatiiviks 1.1 on soojuspump koos soojustoodanguga ning seda on võimalik kasutada olemasolevate tarbijate ning võrku müüdava soojuse korral. Alternatiiviks 1.2 on olukord, kus soojust võrku müüa ei saa ning kasutatakse soojustuluta soojuspumpa. Alternatiiviks 2.1 on absorber koos vajaliku ülekandetasuga ning seda on võimalik kasutada tasuta jääksoojuse olemasolul. Alternatiiv 2.2 on absorberlahendus koos maksimaalse soojussisendi hinnaga, mis on võrreldava

chilleriga konkurentsivõimeline. Meetodi teostamisel leiti kõikide jaama alternatiivide ja etappide puhul tehnoloogiate optimaalne võimsus, kasutusjärjekord ning tõhususe näitajad. Lähtudes jätkusuutlikust analüüsist ning hindamiskriteeriumite maatriksist leiti mõlema jaama etappi iseloomustavad jätkusuutlikuse parameetrid. Leiti parim majanduslik ning keskkonnaalane lahendus ning võrreldi jaama alternatiive omavahel. Lisaks toodi tootmise võrdlus ka lokaalse lahendusega.

Töö on abiks põhialternatiivide leidmiseks investeeringute tegemise hetkel valitsevale olukorrale. Samuti on seda võimalik tulevikus kasutada, kui piirkonnas vajatakse võimsuslisa ja muutuvad tehnoloogilised tingimused ning kasutusvõimalused. Eeldan, et reaalne parim lahendus selgub peale indikatiivsete hinnapakkumiste saamist ning sobiv lahendus ning konkreetsete seadmete valik tuleb selle põhjal teha arendajal, kes võib töös leitud tulemusi projekti üldise planeeringu teostamiseks kasutada. Samuti tuleb arendajal hinnata kuivõrd olulised on keskkonnanäitajad sobiva majandusliku lahenduse korral ning selleks on sobilik kasutada leitud hindamiskriteeriumite maatriksit.

SUMMARY

Master's thesis „Analysis of the Sustainability of Central Cooling Plant in Ülemiste Area“ was made by Juhan Papagoi.

Due to precise regulation of the indoor climate and increased process cooling and cooling demand, it is suitable to build new cooling plants in Tallinn. Central district cooling solution is the most sensible solution for these plants because of its high efficiency and reliability. In this paper, the implementation of an innovative district cooling plant in the Ülemiste region has been studied. The cooling capacities used in the area and the expected development plan have been taken as the input of Utilitas. The aim of the paper is to perform an analysis of the sustainability of the plant and to find final cooling prices for possible plant configurations. The possibility of local solutions is also briefly discussed and analyzed. Technological parameters and constraints, as well as environmental and economic indicators and compliance with efficiency criteria, have been identified for the sustainability analysis. In order to find the sustainability of the plant, a matrix of evaluation of the indicators is presented, through which the developer can evaluate the project by choosing the weights of the parameters and the plant alternative.

The input of this paper is based on previous estimates made by Utilitas on the development stages and consumption of the plant. Accordingly, the two phases of the plant and their consumption have been analyzed separately. A cooling load graph has been made to characterize consumption. In compiling this graph, the design temperatures suitable for customers and the baseload and reserve values of the plant have been taken into account. The linear relationship between hourly cooling output and outdoor temperature was also used as an input. Based on the data of the cooling load graph, the cooling duration graph was found according to the full load of the plant and the required hourly cooling demand.

Free cooling, absorbers, heat pumps, and chillers can be used in the district cooling area. In this paper, their use and technological limitations have been taken into account. As the presence of waste heat and the heat sales of the heat pumps are not certain in the long run, it is necessary to find different alternatives to the designed plant and perform a sustainability analysis.

The sustainability analysis consists of three parts. The first part is compliance with the efficiency criterion or the requirement for efficient district cooling. According to the minimum energy efficiency regulation, this means a district cooling system that uses at least 50% renewable energy, 50% waste heat, 75% cogeneration, or 50% of such energy

and heat combinations. For all plant alternatives, efficiency calculations are performed while taking into account the technology's output and the total output of the plant, and their efficiency criteria. The second component is the environmental indicators, which are assessed using an electrical input and electricity-specific emission factor. The study assumes that factor to be 1,12 tCO₂/MWh. The environmental impact of a plant is found on the basis of the total emissions of the technologies on different plant alternatives. The considered values are tCO₂ and tCO₂/MWh of cooling output.

To find the economic component of sustainability, it is necessary to find the final cooling price. It is obtained by dividing the plant production by the sum of operating costs and the initial investment. Operating costs are calculated as the sum of electricity costs, additional water costs, maintenance costs, and heat input costs. The components of the initial investment are the cost of refrigeration equipment, building construction, and pipeline construction. To find the sum of costs and revenues of the technologies used in the whole plant, the screening curve method or SC method is taken into account, which determines the cooling capacities of the technologies used in the station and their order or plant configuration. The SC method helps to make general planning easier and is based on comparing the SC graph, load- and temperature duration graph and finding their intersections. The intersections determine the relative usability of the technologies. The temperature duration graph is found from the free cooling outdoor temperature limit and the cooling load curve and is only used to determine the free cooling usability.

SC graph was generated through the average costs and revenues of suitable refrigeration equipment. That equipment was based on suitable district heating and district cooling inlet and outlet temperatures. The graph shows the total average annual costs of each technology. All suitable equipment and average investment and maintenance costs were found through the respective offers or as input from Utilitas and as estimation by colleagues and business partners. Operating costs were calculated according to the parameters found in the equipment data sheets and the required output of the cooling load graph. The important indicators were electricity consumption and EER. Only the sales revenue of the heat pump was taken into account as the plant's revenue.

The paper investigates two main alternatives found by the SC method and in both cases two sub-alternatives. The first alternative of the plant is applied in a situation where heat pump-based solutions can be used and the second alternative is applied in situations where absorbers can be used. The first sub-alternative or alternative 1.1 is a cooling plant mainly based on heat pumps with heat production and it can be used if there are existing consumers and heat network to which heat can be sold to. Alternative 1.2 is a situation

where heat can't be sold to the network and then the heat pumps without heat sales should be used. Alternative 2.1 is an absorber with the necessary transfer fee and it can be used if free waste heat is available. Alternative 2.2 is an absorber solution with a maximum heat input price that is competitive with a chiller alternative. After the implementation of the method, the optimal power, order of use, and efficiency indicators of the technologies were found for all plant alternatives and stages. Based on the sustainable analysis and the matrix of evaluation, the sustainability parameters characterizing the phase of both stations were found. The best economic and environmental solution was found and the plant's alternatives were compared. In addition, a comparison of local solutions was introduced.

The paper helps to find the main alternative to the situation prevailing at the time of investment. It can also be used in the future if the cooling area needs additional cooling capacity and technological conditions and applications change. I assume that the best solution will become clear after receiving indicative price offers, and the appropriate solution and selection of specific equipment must be made then by the developer, who can use the results found in the work to carry out the general planning of the project. The developer must also assess the importance of environmental indicators in the case of a suitable economic solution, and for this purpose, it is appropriate to use the matrix of evaluation.