



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

KVARTALIPÕHISE PÄIKESEELEKTRISÜSTEEMIGA ÜHENDATUD BÜROOHOONE ENERGIATÕHUSUSE ANALÜÜS

ENERGY EFFICIENCY ANALYSIS OF AN OFFICE BUILDING CONNECTED TO THE NEARBY SOLAR ENERGY SYSTEM

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Hanna-Loora Pankin

Üliõpilaskood: 192710EAKI

Juhendaja: Helena Kuivjõgi, doktorant

Kaasjuhendaja: Martin Thalfeldt, professor

Tallinn 2023

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö teoreetilises osas kirjeldati hoonete energiatõhususe ja -arvutuse põhimõtteid. Toodi välja, millised on projekteeritava büroohoone energiatõhususe nõuded, mida väljendab ETA ning seletati lahti, mis on lähiümbruses päikeseenergiast toodetud elektrivõrk. Magistritöö metoodika peatükis kirjeldati uuritavat büroohoonet ja seda teenindavaid tehnosüsteeme. Esitati, kuidas arvutada simulatsioonivabalt kasutusele võetud büroohoone KEK, soojuspumba sesoonset tõhusust hindav soojustegur SCOP, ventilatsioonisüsteemi elektritarvet väljendatav SFP väärtust ning hooajaline jahutustegur SEER. Esitati metoodika, sh valemid, mille abil leida lähedalasuvasse päikeseenergiast toodetud elektrivõrku kuuluvate hoonete aastane energiabilanss, samuti kuidas arvutada teistest hoonetest tarnitud elektrienergia kogus tunnipõhiste tarbimisandmete baasil ning kuidas leida lähiümbruses päikeseenergiast toodetud elektrivõrgu omatarve ehk päikesepaneelidega toodetud elektrienergia see osakaal, mis on ette nähtud piirkonna hoonete toimimiseks.

Magistritöö tulemustest selgus, et kasutusel oleva büroohoone KEK on energiaarvutustes leitud ETA väärtusest 58% suurem, mis viitab sellele, et määrusjärgses energiaarvutuses ei arvestata kasutusele võetava hoone eripäradega, antud objekti näitel kõrgema ruumiõhutemperatuuri ja ventilatsiooniseadmete sissepuhkeõhu temperatuuriga, lisaks ei ole arvestatud ruumide hõivatusesga mittestandardisel ajal ning energiatarbijate (seadmed, valgustus) kasutusajaga öhtuti, öösiti ja nädalavahetuseti. Samuti mõjutab kõrgemat KEK väärtust uuritava büroohoone puhul energiaarvutuste käigus ilmnenud ventilatsiooniseadmete aastaringne jahutusenergia tarbimine, mis mõjutab olulist osa hoone energiabilansist: maasoojuspumpade poolt 2022. aastal tarbitud kogu elektrienergiast moodustab ventilatsiooniõhu jahutus 24,2% ($25,4 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}}$).

Juhul, kui kõik uuritava piirkonna hooned oleks täielikult kasutuses, ei moodusta teistest hoonetest tarnitud energia hulk märkimisväärset osa kogu hoone energiabilansist. Uuritava hoone puhul moodustab see vaid 0,3% kogu hoone aastasest bilansist ehk $0,28 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}}$. Kvartali päikesepaneelide omatarve oleks kõikide piirkonna hoonete täiemahulise kasutuse korral 89%, Majandus- ja taristuministri määruses nr 58 arvestatakse päikesepaneelide omatarbe osakaaluks 90%, millest saab käesoleva töö põhjal järeldada, et päikesepaneelide omatarve on nii „on-site” kui „nearby” süsteemi puhul sarnane. Samas, märkimata ei saa jätta asjaolu, et hoone tarbib lokaalset taastuvenergiat $22,2 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}}$ juhul, kui kõik kvartali hooned on täies mahus kasutuses – see moodustab kogu uuritava büroohoone energiabilansist 27,4%.

Lisaks sellele, et uuritava büroohoone puhul leida lahendus, kuidas kõrvaldada aastaringne ventilatsiooniõhu jahutusenergia kulu, võiks olla üks energiasäästuvõimalus anda rohkem sisendeid hooneautomaatikasse, mis annaks märku, kui süsteemis ilmneb olukordi, mis põhjustavad liigset energiakulu. Näiteks, üks veateade võiks lihtsustatult BMS-is esineda, kui õues on miinuskraadid ja ventilatsiooniseadmed tarbivad samal ajal jahutusenergiat. Lisaks hoone H1 olemasolevatele soojus- ja elektriarvestitele tuleks põhjalikuma energiaanalüüsi koostamiseks paigaldada juurde hoonesse elektriarvestid soojussõlmes asuvatele ringluspumpadele, maasoojuspumpadest primaarpoolel asuvatele pumpadele, vedelikjahutile ning kõikidele hoone standardkasutuse välistele energiatarbijatele. Samuti tuleks paigaldada maasoojuspumpade ja akumulatsioonipaakide vahele soojusenergiaarvestid.

Võrreldes varasemalt kirjutatud magistritöid ning teadusartikleid nii Eestis kui välismaal, kus uuriti büroohoone määrusepõhise energiakasutuse ja kasutusele võetud hoone energiakasutuse erinevusi, tuleb välja, et ETA ja KEK vahe on niivõrd suur, et projektijärgse ja kasutusele võetud hoone energiatarbijate erinevad üksteisest tihti lausa mitme klassi võrra. Sellele toetudes on üks ettepanek kohandada ümber määrusjärgseid büroohoone kasutusprofiile, et arvatud ETA annaks parema aimduse hoone reaalsest energiakasutusest.

SUMMARY

The theoretical part of this master's thesis described the principles of energy efficiency and energy calculation of office buildings. The energy efficiency requirements of the planned office building which are expressed by value ETA were pointed out and also the author of the theses described the meaning of nearby solar energy system. The researchable office building and HVAC systems in it were described in the methodology chapter. It was presented how to calculate the real energy usage (KEK) of an office building, the heat factor SCOP which is evaluating the seasonal efficiency of the heat pump, the SFP value expressing the electricity consumption of the ventilation system and the seasonal cooling factor SEER. The methodology was presented, including formulas to find the annual energy balance of buildings belonging to the nearby solar energy system, as well as how to calculate the amount of electricity supplied from other buildings based on hourly consumption data, and how to find the self-consumption of the nearby solar system.

The results of the master's thesis showed that the KEK of the office building is 58% higher than the ETA value found in the energy calculations, which indicates that the energy calculation according to the regulation does not take into account the special features of the building, in the example of the researchable building, the higher room air temperature and the higher supply air temperature of the ventilation system. In addition, the occupancy of the rooms at non-standard times is not taken into account, also the energy consumers (equipment, lighting) during the evenings, nights and weekends. In the case of the investigated office building, the higher KEK value is also influenced by the year-round cooling energy consumption of the ventilation system which was revealed during the energy calculations. It affects a significant part of the total electricity consumed by geothermal heat pumps in 2022 which is 24,2% ($25,4 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}}$).

If all the buildings in the study area were in full usage, the amount of energy delivered from other buildings would not form a significant part of the entire building energy balance. In the case of the investigated building, it makes only 0,3% of the annual energy balance of the entire building, or $0,28 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}}$. Self-consumption of solar panels for a quarter would be 89% if all buildings in the area were fully in usage. In Minister of Economy and Infrastructure regulation No. 58 the proportion of self-consumption of solar panels is considered to be 90%, from which it can be concluded based on this work that the self-consumption of solar panels is similar for both on-site and nearby solar

systems. At the same time, the fact that the building consumes local renewable energy in the amount of $22,2 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}}$ cannot be ignored - this constitutes 27,4% of the energy balance of the entire investigated office building if all of the building in the were in full use.

In addition to find a solution to eliminate year-round ventilation air cooling energy consumption in the case of the investigated office building, one energy saving option could be to provide more inputs to the building's automation system, which would signal when situations occur in the system that could cause excessive energy consumption. For example, one error message could simply appear in the BMS when negative degrees accure outside and the ventilation equipment consumes cooling energy at the same time. In addition to the existing energy meters of building H1, in order to prepare a more comprehensive energy analysis, additional electricity meters should be installed into the building for the circulation pumps located in the thermal node, the pumps located on the primary side of the geothermal heat pumps, the dry cooler and all non-standard energy consumers of the building. Thermal energy meters should also be installed between ground source heat pumps and storage tanks.

Comparing previously written master's theses and research articles both in Estonia and abroad, it turns out that the difference between ETA and KEK is so great that the energy efficiency classes of the project-based and in-use buildings often differ from each other by several classes. Based on this, one proposal is to readjust the usage profiles of the office buildings according to the regulations, so that the calculated ETA would give a better idea of the real energy usage of the building.