



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

MÕÕDETUD ANDMETEGA HINNATUD ENERGIAVAIADEGA MAASOOJUSPUMPSÜSTEEMI TOIMIVUSANALÜÜS

PERFORMANCE ANALYSIS OF A GROUND SOURCE HEAT
PUMP SYSTEM WITH ENERGY PILE USING MEASURED
DATA
MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Kairiin Tali

Üliõpilaskood: 182357EAKI

Juhendaja: Helena Kuivjõgi, doktorant

Kaasjuhendaja: Raimo Simson, vanemteadur

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö põhineb Avala ärikvartali Electra hoone automaatikasüsteemis (BMS) 2022. ja 2023. aastal mõõdetud andmetel, mille põhjal hinnati hoone kütte- ja jahutussüsteemi primaarpoole toimivust.

Electra hoone on 13 korruseline büroohoone, millel on 1 maa-alune korrus ja 12 maapealset, mis saavad suure osa oma kütte ja jahutusenergiast maasoojuspumpadest, mis saab energiat hoone alla paigaldatud 124 energiavaiadest. Samuti on hoone pidevalt ühendused kaugkütte võrguga, kust võetakse soojust sooja tarbevee tootmiseks ning perioodidel, kui küttekoormus on suur kasutatakse kaugkütet ka soojuspumpadest puudu jääva soojusenergia katmiseks. Jahutusperioodil on lisa jahutuseks kasutusel kuivjahuti, mis katab jahutuskoormuse tipud, mis jäävad soojuspumba poolt katmata.

Lõputöö esimeseks põhieesmärgiks oli luua ülevaade Avala kvartalis oleva Electra hoone maasoojuspumba süsteemi juhtimisest eesmärgiga analüüsida energiavaiadega süsteemi toimivust. Selleks analüüsiti hoone ehitusdokumentatsiooni ning BMSis salvestatud mõõdetud andmeid nagu akupaakide temperatuurid, akupaakide ja soojuspumpade vahel olevate ringluspumpade töörežiimid, välisõhu temperatuurid, soojuspumpade elektritarve ning hoone soojustarve soojuspumpadest ning kaugküttest. Lisaks analüüsiti maakontuuri soojuskandja temperatuuri ning selle liikumist võrreldes välisõhu temperatuuri liikumisele.

Lõputöö teiseks põhieesmärgiks oli analüüsida mõõdetud primaarpoole vedeliku temperatuuride põhjal energiavaiadega soojuspumba toimivust kütte ja jahutuse olukordades. Analüüsi koostamisel kasutas töö autor peamiselt visuaalset meetodit, kus kandis BMSist saadud andmed graafikutele ja otsis ekstreemumeid ning ebakorrapärasust. Graafikute põhjal analüüsiti soojuspumba jõudva soojuskandja temperatuuri ning ringluspumba juhtimist.

Lõputöö kolmandaks põhieesmärgiks oli hinnata hoone toimivust mõõdetud andmete põhjal ja tuua sellest lähtuvalt välja parendusettepanekuid. Selleks arvutati soojuspumpade efektiivsus ja toodi välja põhjused, miks mõnel kuul oli efektiivsus madalam ja analüüsiti, kas ringluspumpadele sagedusmuunduri paigaldamine mõjutab soojuspumpade efektiivsust.

Lõputöö tulemusena selgus, et hoones kasutusel olevast soojuspumbast mõlemad toodavad nii kütte- kui jahutusenergiat kuid soojuspump SP2 on kasutusel primaarpumbana olles töös aasta ringselt ning soojuspump SP1 on kasutusel peamiselt jahutusperioodil, et katta jahutusvajadust. Lisaks on hoone maakontuuril paiknevad

ringluspumbad projekteeritud töötama kaheastmeliselt, mistõttu toimus pidev sisse- välja lülitus, mis tõi kaasa hüdraulilised löögid ning nende leevendamiseks paigaldati pumpadele sagedusmuundurid, mis muudavad pumpade käivitumise sujuvamaks ja mis tõstis ka soojuspumpade efektiivsust. Soojuspump SP1 oli 2023.aastal jaanuaris ja augustist detsembrini osaliselt väljalülitatud ja töös oli ainult soojuspump SP2. Vastavalt automaatiku poolt tehtud seadistustele võetakse soojuspump SP1 kasutusele kui välisõhu temperatuur jõuab seadistatud väärtusele. Tulemustes esitati ka 2023. aasta soojuspumba sesoonsed soojus- ja jahutustegurid, millest selgus, et peale ringluspumpadele sagedusmuunduri paigaldamist stabiliseerus ja suurenes soojuspumpade efektiivsus. Samuti toodi välja kui suure osa ajast 2023.aastal töötasid ringluspumbad ning kuivjahuti ning leiti, et välisõhu temperatuur ja maakontuurist tuleva soojuskandja temperatuur liiguvad üldiselt sama aegselt, kuid suuremate välisõhu temperatuuride languste ja tõusudega muutub soojuskandja temperatuur ühe kuni kahe päevase viivitusega ning suveperioodil on maakontuuri temperatuuri muutused väiksemad. Ühe kuni kahe päevane viibimine esineb enamasti kevadel ja sügise lõpus, kui välisõhu temperatuur kõigub külma- ja soojakraadide vahel ning lumi on maas.

Vastavalt tulemustele tehti järgmised ettepanekud:

- Energiavaiade projekteerimisel on oluline arvestada, et osad paigaldatavatest energiavaiadest ei pruugi olla töökorras, mistõttu on oluline, et hoonel oleks võimalus alternatiiv küttele ja jahutusele või projekteerida hoonele energiavaiasid varuga. Ehituse ajal tuleks jälgida, et energiavaiade paigaldamisel ollakse hoolikad, seda nii vaiade pinnasesse paigaldamisel, kui ka hiljem betoneerimisel.
- Projekteerimisel on oluline ka silmas pidada, et süsteem oleks vastupidav, mistõttu tuleks hoiduda hüdraulilistest löökidest, mis kahjustavad süsteemi. Hüdrauliliste löökide leevendamiseks tuleks valida ringluspumbad, mis töötavad astmeliselt, et süsteemi käivitamine ja välja lülitamine oleksid võimalikult sujuvad.
- Aastaringseks pinnasest saadava ja sinna laetava soojushulga hindamiseks tuleks paigaldada maakontuuri ringluspumpadele vooluhulga mõõturid, kuna peale sagedusmuunduri paigaldamist ei tööta pumbad pidavalt täisvõimsusel.

Võrreldes varasemate magistritööde ning teadusartiklitega nii Eestist kui välismaalt, uuriti käesolevas töös konkreetsemalt konkreetse hoone maasoojuspumpade toimivust

ning mõõdetud andmete põhjal maapinna ja hoone energiavahetust ning soojuskandja temperatuuride käitumist, mida varasemates töödes uuritud ei ole.

Käesoleva töö raames oleks võimalik veel uurida täpsemalt pinnase toimivust ning pinnasest vastuvõetavat ning tagasi antavat energiat, tehes olemasolevate andmete põhjal energiavaiade IDA ICE programmis mudeli simulatsiooni.

SUMMARY

This master's thesis is based on data measured in the Building Management System (BMS) of the Electra building in the Avala business quarter in 2022 and 2023. The aim was to evaluate the performance of the primary side of the building's heating and cooling system.

The Electra building is a 13-story office building with one underground floor and 12 above-ground floors. It derives a significant portion of its heating and cooling energy from ground source heat pumps, which get energy from 124 energy piles installed under the building. Additionally, the building is continuously connected to the district heating network, which provides heat for domestic hot water production and supplementary heating during peak load periods. During the cooling season, a dry cooler is used to cover peak cooling loads not met by the heat pumps.

The first primary goal of this thesis was to create an overview of the ground source heat pump system's control in the Electra building and to analyze the performance of the energy pile system. To achieve this, the building's construction documentation and BMS-measured data such as buffer tank temperatures, circulation pump operating modes between buffer tanks and heat pumps, outdoor temperatures, electricity consumption of heat pumps, and the building's heat consumption from both heat pumps and district heating were analyzed. Additionally, the energy pile heat carrier temperature and its correlation with outdoor temperature fluctuations were examined.

The second main objective was to analyze the performance of the heat pump with energy piles in both heating and cooling scenarios, based on the measured primary side fluid temperatures. The analysis primarily used a visual method, plotting BMS data on graphs and identifying extremes and irregularities. The graphs were used to analyze the temperature of the heat carrier reaching the heat pump and the control of the circulation pumps.

The third main objective was to evaluate the building's performance based on the measured data and propose improvements. This involved calculating the efficiency of the heat pumps and identifying reasons for lower efficiency in certain months. The impact of installing frequency converters on the circulation pumps was also analyzed to see if it affected the efficiency of the heat pumps.

The results showed that both heat pumps in the building produce both heating and cooling energy. Heat pump SP2 operates as the primary pump year-round, while heat pump SP1 is primarily used during the cooling season to meet the cooling demand. The

energy pile circulation pump were originally designed to operate in two stages, leading to frequent on-off cycling and hydraulic shocks. To mitigate this, frequency converters were installed on the pumps in February 2023, making the pump start-up smoother and increasing the heat pumps' efficiency. Heat pump SP1 was partially turned off in January and from August to December 2023, with only heat pump SP2 in operation. The system settings were adjusted by the building's automation technician to activate heat pump SP1 when the outdoor temperature reached a certain value.

The seasonal heating and cooling coefficients for 2023 revealed that the installation of frequency converters stabilized and increased the heat pumps' efficiency. The analysis also showed the percentage of time the circulation pumps and dry cooler operated in 2023. It was found that the outdoor temperature and the ground loop heat carrier temperature generally move in sync, but with larger outdoor temperature fluctuations, the heat carrier temperature changes with a delay of one to two days. During summer, changes in the ground loop temperature are smaller. This delay mostly occurs in spring and late autumn when outdoor temperatures fluctuate between freezing and thawing.

Based on the results, the following recommendations were made:

- When designing energy piles, it is important to consider that some piles may not be operational, so it is important to have an alternative heating and cooling source or design the system with a surplus of energy piles. During construction, careful installation of the energy piles is necessary to ensure proper function.
- The system should be designed to withstand hydraulic shocks, which can damage the system. To mitigate these shocks, circulation pumps should operate in stages to ensure smooth start-up and shutdown.
- To accurately assess the annual amount of heat received from and returned to the ground, flow meters should be installed on the ground loop circulation pumps, as the pumps do not operate at full capacity all the time after the installation of frequency converters.

Compared to previous master's theses and scientific articles from Estonia and abroad, this study focused more specifically on the performance of a particular building's ground source heat pumps and the energy exchange between the ground and the building based on measured data, which has not been explored in previous studies.

Further research could involve a more detailed study of ground performance and the energy received and returned by the ground, using existing data to create a simulation model of the energy piles in the IDA ICE program.