



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Virumaa kolledž

Flir-kaamerate kasutamise metoodika loomine praktilise- ja uurimistöode jaoks Virumaa kolledžis.

Methodology development of flir cameras for practice and research in Virumaa College.

ENERGIATEHNIKA ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Alexey Plotnitskiy

Üliõpilaskood: 154377

Juhendaja: Veroonika Shirokova,
Vanemlektor, programmijuht
(masinaehitus- ja energiatehnoloogia
protsesside juhtimine)

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.

“05” juuni 2022.

Autor: Alexey Plotnitskiy

/ digiallkiri /

Töö vastab rakenduskõrgharidusõppe lõputööle esitatud nõuetele

“05” juuni 2022.

Juhendaja: Veroonika Shirokova

/ digiallkiri /

Kaitsmisele lubatud

“05” juuni 2022.

Kaitsmiskomisjoni esimees: Veroonika Shirokova

/ nimi ja digiallkiri /

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS

Mina on Alexey Plotnitskiy (sünnikuupäev: 06.09.1996)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Flir-kaamerate kasutamise meetodika loomine praktilise- ja uurimistöode jaoks Virumaa kolledžis, mille juhendaja on Veronika Shirokova,
 - 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

TalTech Inseneriteaduskond Virumaa kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Alexey Plotnitskiy, 154377

Õppekava, peeriala: RDPR, Energiatehnika

Juhendaja(d): Vanemlektor, programmijuht (masinaehitus- ja energiatehnoloogia protsesside juhtimine), Veroonika Shirokova, veroonika.shirokova@taltech.ee

Konsultant: Tatjana Baraškova, Vanemlektor

Masinaehitus- ja energiatehnoloogia protsesside juhtimise töörühm,
tatjana.baraskova@taltech.ee

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Flir-kaamerate kasutamise metoodika loomine praktiliste- ja uurimistööde jaoks Virumaa kolledžis.

(inglise keeles) Methodology development of flir cameras for practice and research in Virumaa College.

Lõputöö põhieesmärgid:

1. FLIR kaamerate kasutamise juhendi loomine.
2. FLIR kaamerate kasutamise võimalus praktiliste ja laboritööde jaoks.
3. Termokaamerate rakendamine praktilisteks töödeks soojustehnikas.
4. Termokaamerate kasutamine materjali soojusjuhtivuse mõõtmiseks.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Tutvumine FLIR kaamerate ja lisavarustusega, kaamerate uurimine, FLIR tarkvara paigaldamine	22.02.2022
2.	Töö kirjandusega ja teadusartiklitega, termokaamerate praktiline rakendus	22.02.2022
3.	Soojusjuhtivusteguri määramine, kasutades termopaarid ja FLIR kaamerad, tulemuste võrdlus	22.02.2022
4	FLIR kaamerate ja lisavarustuse kasutusjuhendi loomine	22.02.2022
5	Lõputöö kokkukirjutamine	22.02.2022

Töö keel: Eesti keel**Lõputöö esitamise tähtaeg:** "03" juuni 2022a**Üliõpilane:** Alexey Plotnitskiy

/digiallkiri/

"03" juuni 2022a

Juhendaja: Veronika Shirokova

/digiallkiri/

"03" juuni 2022a

Konsultant: Tatjana Baraškova

/digiallkiri/

"03" juuni 2022a

Programmijuht: Veronika Shirokova

/digiallkiri/

"03" juuni 2022a

SISUKORD

EESSÕNA	7
SISSEJUHATUS	8
1 TERMOKAAMERAD JA NENDE RAKENDUSED.....	9
1.1 Tööpõhimõte ja vajadus	9
1.2 Termokaamerate rakendused	10
2 SOOJUSJUHTIVUSTEGURI MÄÄRAMINE FLIR KAAMERAGA	12
2.1 Mõõtmised termopaaridega	12
2.2 Mõõtmised FLIR kaameraga	14
KOKKUVÕTE	16
SUMMARY.....	17
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	18
LISAD	19
LISA 1 – FLIR C3 WIFI	20
LISA 2 – FLIR E8XT.....	22
LISA 3 – FLIR ONE (ANDROID/IOS)	24
LISA 4 – FLIR IRW 4	28

EESSÕNA

Antud töö teema valiku initsiaatoriks oli Tallinna Tehnikaülikooli Virumaa kolledži vanemlektor ning Masinaehitus- ja energiatehnoloogia protsesside juhtimise õppekava programmijuht Veroonika Shirokova. Virumaa kolledžisse on saabunud FLIR kaamerad koos lisavarustusega eesmärgiga kasutada neid diplomi- ja praktiliste tööde jaoks. Autor soovib avaldada suur tänu oma konsultandile vanemlektor Tatjana Baraškovale diplomitöö arvutusliku osa korrigeerimise ja läbi vaatamise eest. Samuti suurt tänu oma juhendajale Veroonika Shirokovale ja konsultadile nooremlektor Aleksei Hõbesaarile abi ja motiveerimise eest diplomitöö kirjutamise jooksul.

Võtmesõnad: Termokaamera, soojusjuhtivustegur, soojuskaod, temperatuuri määramine, diplomitöö

SISSEJUHATUS

Üks perspektiivsemad valdkondi mõõtmisdiagnostikas on kaasaegsete termokaamerate kasutamine, mis põhinevad infrapunapildi visualiseerimisel. Need kaamerad näevad soojust. Need moodustavad palja silmaga nähtamatul soojuskiirgusel põhineva pildi, selge pildi uuritavast objektist. Nende kaamerate ulatus on väga lai. Selle kaameraga tehtud pilte hinnates saab määrata objekti temperatuurijaotuse. Lisaks hinnatakse antud seadme abil soojuskadusid, soojusvõimsust, materjalide soojusjuhtivuse koefitsiente jne.

Rakendamise võimalused:

- hoonete ja rajatiste ehitamine (soojusisolatsiooni rikkumiste ja muude soojuskadude otsimine)
- energia (elektriliinide termopildiseire)
- energiasääst (energiaaudit)
- keemiatööstus (keemiatote temperatuurikontroll).

Selle töö põhieesmärk on FLIR-kaamerate kasutamine materjali soojusjuhtivuse määramiseks, millest majaseina mudel on valmistatud. Selle eesmärgi saavutamiseks viidi läbi järgmised sammud:

- termokambrite ja nende lisaseadmete tööpõhimõtte uurimine;
- Soojustehnika teemalise laboritööde kambrite kasutamise juhendi koostamine;
- Maja konstruktsiooni kaasajastamine, et mõõta kaamerate abil seina soojusjuhtivustegurit;
- Temperatuuri mõõtmiste võrdlus kaamera ja termopaari abil.

Töö koosneb kahest põhiosast: teoreetiline ja praktiline osa, sissejuhatus, kokkuvõtte ja lisad. Teoreetilises osas esitatakse soojuskambri tööpõhimõtte, on toodud ülevaade kirjandusest kambrite kasutamise kohta tööstuses ja ehituses soojuskadude ja soojusvoogude hindamiseks.

Praktilises osas kirjeldatakse näidismaja seina soojusjuhtivusteguri määramise katset kaamerate abil ning võrdlust termopaaridega mõõtmisel saadud tulemustega.

Lisad sisaldavad kuumakambrite kasutamise autorijuhendit.

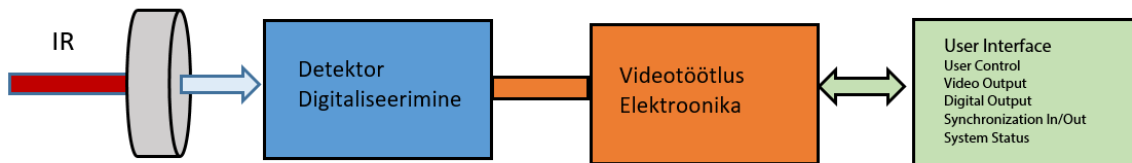
1 TERMOKAAMERAD JA NENDE RAKENDUSED

1.1 Tööpõhimõte ja vajadus

Praegu on termokaamerad tööstuses väga väärtuslikud diagnostikavahendid. Kaamerate rakendused on väga laiad. See on mittekontaktne mõõteseade, mis on võimeline skaneerima ja visualiseerima temperatuuri jaotust mehaaniliste ja elektriseadmete pindadel, mis omakorda lähevad enne riknemist väga kuumaks. Seega võimaldavad termokambrid riket varakult avastada, enne kui seadmed rikki lähevad. See väldib kulukaid remonditöid [4].

Termokaamera tuvastab kiirguse intensiivsuse elektromagnetilise spektri infrapunaosas ja muudab selle nähtavaks pildiks. Infrapunakiirguse ulatus on 0,9-14 μm , mida kiirgavad kõik objektid, mille temperatuur on üle absoluutse nulli (273 K). Soojuskaamerate puhul kasutatakse termograafia mõistet. See on selline pildistamine, mis tehakse infrapunakaamera abil, mis omakorda on kalibreeritud objekti temperatuuriväärtuste kuvamiseks.

Kambri konstruktsioon on näidatud joonisel 1.1. Peamised komponendid on objektiiv, elektroonika ja pilditöötlustarkvara. Objektiiv fokuseerib objektilt tuleva infrapunakiirguse detektorile.



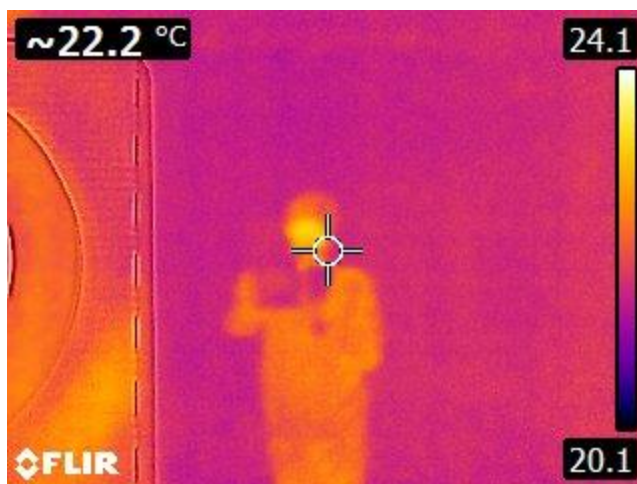
Joonis 1.1. Lihtsustatud plokk-skeem termokaamera jaoks [5]

Detektor on makromeetri suuruste pikslite massiiv fookustasandil. Fokaaltasandi eraldusvõime võib varieeruda vahemikus 160×120 pikslit kuni 1024×1024 pikslit. Mõnel kaameral on sisseehitatud tarkvara, teised kasutavad temperatuuri arvutamiseks ja analüüsimiseks spetsiaalse tarkvaraga arvutit. Antud töös kasutati termokaameraid koos lisatarkvaraga, mis võimaldab analüüsida fotosid, salvestada objekti temperatuuri ja koostada aruandeid (vt joonis 1.2).



Joonis 1.2. FLIR termokaamerad koos tarkvaraga

Parimate tulemuste saavutamiseks on vaja katse selgelt planeerida, määrata mõõtmise tüüp. Järgmine samm on kaamera kalibreerimine. Kõigepealt peate valima sobiva kaamera koos vajalike sätete ja tarkvaraga, seejärel mõistma, millised seaded määratakse: radiomeetrilised või fotomeetrilised. Fotomeetrilised suurused on objekti temperatuuri määramine. Kaamera kuvab joonisel 1.3 näidatud mõõtmised.



Joonis 1.3. FLIR kaameraga mõõdetud objekti temperatuur

Radiomeetrilised suurused on objekti kiirgus ühikutes $W/sr\ m^2$. Neid väärtusi kasutatakse kaamera kalibreerimisel. See on kiirguse koefitsient (emissioon) - objekti kiirgusomadused seoses täiesti musta keha uurimisega [4].

1.2 Termokaamerate rakendused

Soojuskadu on iga soojusseadme väga oluline tehniline näitaja. Soojusülekaneks on kolm võimalust. Esimene on juhtivus, teine on konvektsioon ja kolmas kiirgus. Soojusülekanne soojusseadme pinna ja keskkonna vahel on tingitud ainult soojusülekandest konvektsiooni ja kiirguse kaudu. Soojusülekanne uurimiseks kavandatakse erinevaid süsteeme, mille abil saab uurida soojusülekanne läbi objekti pinna, analüüsides termokaameratega saadud pilte [6-7].

Näiteks aastal [3] ehitati männipuidust kast (imiteerides akende ja seintega maja). Kasti sisse pandi küttekehaks lamp. Kasti seinad olid kujundatud nii, et need oleksid vahetatavad muude materjalide ja paksusega seintega. Soojuskaamerate abil uuriti kasti esipinda mõlemalt poolt (vt joonis 1.4). Pinnatemperatuuri jaotus registreeriti teatud ajavahemike järel. Kuna temperatuurijaotus on seotud soojusvooluga, siis oli Fourier' seadusi kasutades võimalik arvutada soojusvoo, soojusvõimsus ja soojuskadud läbi karbi esiseina.



Joonis 1.4. Konstruktsioon soojuskadude, soojusvõimsuse ja soojusvoo arvutamiseks [3]

Artiklis [1] hinnati ka uuringust ja soojuskambrit kasutades kovektsioonist põhjustatud soojuskadu. Temperatuuri jaotus katla korpusel registreeriti termokaamerate abil. Lisaks määrati Stefan-Boltzmanni seadust kasutades soojuskadud. Töös võrreldi kontakttermomeetri abil mõõdetud temperatuuriväärtusi (mõõtmistäpsusega $0,1 \text{ } ^\circ \text{C}$, samuti termokaamera võimsusega. Temperatuurinäitude erinevus korrigeeriti kaamera kalibreerimisega emissiooni väärtuse määramisega. See koefitsient määrati mõlema seadme temperatuuride tasakaalustamise ajal.

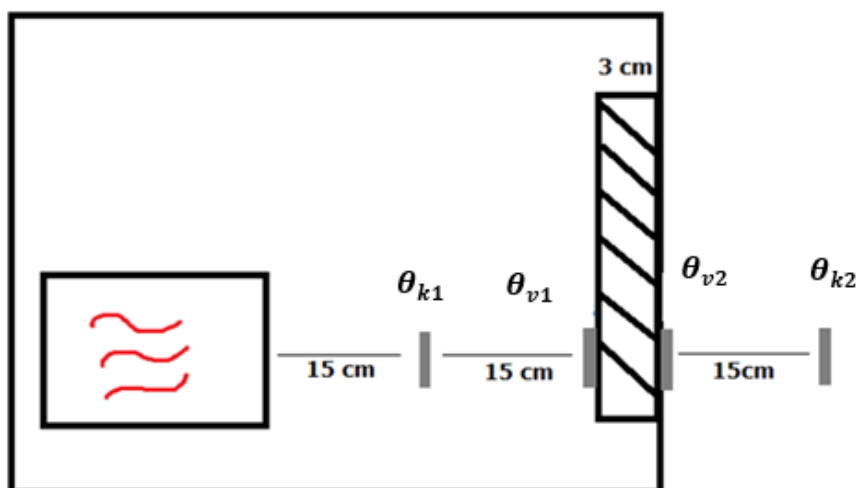
Soojuskadude hindamine on väga asjakohane hoonete ehitamisel, et parandada hoonete soojuslikku toimivust. Näiteks artiklis [2] hinnati soojuskadusid mehitamata õhusõiduki külge kinnitatud soojuskambri abil. See meetod võimaldab soojuskao madala hinnaga kvantifitseerida kujutise hindamise kaudu. See kehtib eriti raskesti ligipääsetavate piirkondade kohta. Kaameraga tehtud fotosid töödeldi tarkvaras: eemaldati mittevajalikud objektid (puud, teed, taevas jne). Edasine pilditöötlus ja soojuskadude määramine viidi läbi masinõppe abil.

2 SOOJUSJUHTIVUSTEGURI MÄÄRAMINE FLIR KAAMERAGA

2.1 Mõõtmised termopaaridega

Töö eesmärgiks on puitseina soojusjuhtivuse mõõtmine, kasutades temperatuurimõõtjana termopaare ja soojuskambrit. Konstruksioonina kasutati TTÜ Virumaa kolledži laboris asuva maja maketti.

Sisemine soojusallikas paigutati majja sisse. Iga termopaar oli fikseeritud samale kaugusele - üksteisest 15 cm kaugusel. Sisemine ja välimine termopaar eraldati 3 cm paksuse puitseinaga. Esimene termopaar θ_{k1} , kinnitati soojusallika kõrvale, järgmine termopaar θ_{v1} puitseina külge, teine θ_{v2} samast seinast väljapoole ning viimane θ_{k2} maja kõrval (vt joonis 2.1).



Joonis 2.1. Temperatuuride jaotus keskkonnas

Katse algusega kaasnes sisemise soojusallika kaasamine. Järgmisena registreeriti mõõtemultimeetritega ühendatud termopaaride abil neli temperatuuriindikaatorit. Katse kestvus oli 30 min. Temperatuuri mõõdeti iga 5 minuti järel. Mõõtmistulemused on registreeritud tabelis 2.1.

Tabel 2.1 Esimese katse mõõtmistulemused

Aeg (min)	θ_{k2} °C	θ_{v2} °C	θ_{v1} °C	θ_{k1} °C
0	22	21.8	21.6	21.8
5	21.7	21.6	25.3	29.9
10	21.8	21.8	28.6	34.6
15	21.7	21.8	31.4	38.1
20	21.7	21.1	33.7	40.8
25	21.8	22.4	36.1	43.0
30	21.8	22.8	38.2	44.9

Katse alusel määrati puitseina soojusjuhtivuse koefitsient.

Soojusülekangetegur α on leitav valemi 2.1 abil:

$$\frac{P}{A} = (\theta_{v2} - \theta_{k2}) \cdot \alpha, \quad (2.1)$$

kus

A – seinapindala, m²;

P – soojusvoog, W;

α – soojusülekangetegur, $\frac{W}{K \cdot m_2}$;

θ_k, θ_v – vastavalt keskkonna ja seinavälitemperatuurid

Võttes arvesse, et $\alpha_2 = 8.1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, leiame valemi 2 abil suhe $\frac{P}{A}$.

$$\frac{P}{A} = (\theta_{v2} - \theta_{k2}) \cdot \alpha_2 = (22.8 - 21.8) \cdot 8.1 = 8.1 \frac{W}{m_2}$$

Valemi 2.2 abil leitakse soojuslähikandetegur k

$$\frac{P}{A} = k \cdot (\theta_{k1} - \theta_{k2}), \quad (2.2)$$

Kus

k – soojuslähikandetegur, $\frac{W}{K \cdot m_2}$.

Seega soojuslähikandetegur on võrdne

$$k = \frac{P}{A} (\theta_{k1} - \theta_{k2}) = \frac{\frac{P}{A}}{(\theta_{k1} - \theta_{k2})} = \frac{8.1}{(44.9 - 21.8)} = 0.35 \frac{W}{K \cdot m_2}$$

Valemi 2.3 abil leitakse seinasoojusjuhtivustegur λ .

$$P = \frac{\lambda}{d} \cdot A \cdot (\theta_{v1} - \theta_{v2}), \quad (2.3)$$

kus

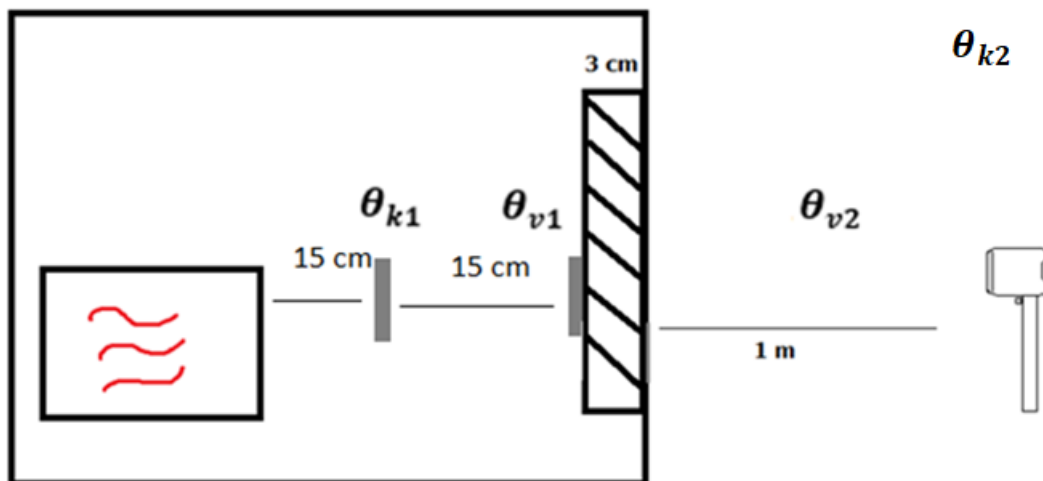
d – seinapaksus, mis on võrdne 3 cm;

λ – soojusjuhtivustegur, $\frac{W}{m \cdot K}$

$$\lambda = \frac{\frac{P}{A} \cdot d}{(\theta_{v1} - \theta_{v2})} = \frac{8.1 \cdot 0.03}{(38.2 - 22.8)} = 0,015 \frac{W}{m \cdot K}$$

2.2 Mõõtmised FLIR kaameraga

Katse järgmine etapp oli kahe termopaari asendamine soojuskambriga. Katse skeem on näidatud joonisel 2.2



Joonis 2.2. Katse skeem

Katse algusega kaasnes sisemise soojusallika kaasamine. Järgmisena registreeriti mõõtemultimeetriga ühendatud termopaaride abil kaks temperatuuriindikaatorit. FLIR E8XT termokaamera asus majast 1 meetri kaugusel. Soojakambri ja soojusallika vahel oli 3 cm puitsein. FLIR kaamera salvestas läbi puitseina temperatuuri majas sees.

Katse kestus oli 30 min. Temperatuuri mõõdeti iga 5 minuti järel. Mõõtmistulemused on registreeritud tabelis 3.2.

Esimene termopaar θ_{k1} kinnitati sees soojusallikast 15 cm kaugusele, järgmine termopaar θ_{v1} kinnitatud puitseina külge esimesest termopaarist 15 cm kaugusel.

Nimetused:

θ_{k1} ja θ_{v1} - temperatuur maja sees.

θ_{k2} - toatemperatuur väljas.

θ_{v2} – Temperatuuri mõõtmine läbi puitseina väljas, kasutades FLIR termokaameraid.

Tabelis 2.2 registreeritud andmed:

Tabel 2.2 Esimese katse mõõtmistulemused

Aeg (min)	θ_{v2} FLIR °C	θ_{v1} °C	θ_{k1} °C	θ_{k2} °C
0	17.2	21.2	21.4	23
5	17.3	26.4	36.1	23
10	19.8	31.2	43.4	23
15	17.1	35.3	47.3	23
20	19.4	37.8	50.6	23
25	20.3	40.6	54.5	23
30	31.3	49.1*!	57.7	23

*! Kasutati sarnase kogemuse võrdlusväärtust, as kaamera seina sees θ_{v1} ära paigalda.

Arvutamisel kasutati viimaseid andmeid, mis registreeriti 30 minuti pärast.

Soojusülekanne tegur α on leitav valemi 2.1 abil:

$$\frac{P}{A} = (\theta_{v2} - \theta_{k2}) \cdot \alpha_2 = (31.3 - 23) \cdot 8.1 = 67.23 \frac{W}{m^2}$$

Valemi 2.2 abil leitakse soojuslähikandetegur k

$$k = \frac{P}{A} (\theta_{k1} - \theta_{k2}) = \frac{\frac{P}{A}}{(\theta_{k1} - \theta_{k2})} = \frac{67.23}{(57.7 - 31.3)} = 2.5 \frac{W}{K \cdot m^2}$$

Valemi 2.3 abil leitakse seina soojusjuhtivustegur λ .

$$\lambda = \frac{\frac{P}{A} \cdot d}{(\theta_{v1} - \theta_{v2})} = \frac{67.23 \cdot 0.03}{(49.1 - 31.3)} = 0,11 \frac{W}{m \cdot K}$$

KOKKUVÕTE

Selle töö põhieesmärk on FLIR-kaamerate kasutamine materjali soojusjuhtivuse määramiseks, millest majaseina mudel on valmistatud. Selle eesmärgi saavutamiseks kasutati Soojustehnika laboris Virumaa kolledžis termokambreid. Need kaamerad toimetati laborisse, et õpilastel oleks võimalik neid kasutada labori- ja praktilistel töödel. Töö autor tutvus nende kaamerate ja nende lisaseadmete tööpõhimõtetega. Nendele kaameratele koostati kasutusjuhend, mis võimaldab tulevikus neid kaameraid kiiremini rakendada praktilises ja uurimistöös.

Töö põhieesmärgi saavutamiseks kaasajastati majamudel, et mõõta maja seinte soojusjuhtivust. Töödati välja variant soojuskambrite paigaldamiseks maja vahetusse lähedusse. Maja seina temperatuurijaotust mõõdeti ka kaamera abil, samuti termopaaride abil. Tehti maja seina soojusjuhtivusteguri arvutused ja kahe seadme abil saadud mõõtmistulemuste võrdlus.

Soojusjuhtivuse koefitsiendi arvutamine viidi läbi termokaamera abil saadud piltide analüüsi põhjal. Pildianalüüs viidi läbi spetsiaalse tarkvaraga.

Saadud soojusjuhtivusteguri tulemusi võrreldi teoreetiliste väärtustega, mis näitasid soojuskambrite kasutamise otstarbekust praktilistes ja laboritöodes.

Seda teemat saab edasi arendada muu tarkvara, näiteks MatLab abil, objektide soojusparameetrite arvutamiseks ja modelleerimiseks. Masiinõppe abil saate kirjutada programme soojuskadude, soojusvoogude jms arvutamiseks ja modelleerimiseks.

SUMMARY

The main purpose of this work is the use of FLIR cameras to determine the thermal conductivity of the material from which the house wall model is made. To achieve this goal, thermal chambers were used in the Heat Engineering Laboratory Virumaa kolledž. These cameras were delivered to the laboratory in order to use them for students in laboratory and practical work.

The author of the work got acquainted with the principles of operation of these cameras and their additional devices. A user manual for these cameras was compiled, which in the future will allow faster implementation of these cameras in practical and research work.

To achieve the main goal of the work, the house model was modernized to measure the thermal conductivity of the walls of the house. A variant of mounting heat chambers in the immediate vicinity of the house was developed. The temperature distribution of the wall of the house was also measured using a camera, as well as using thermocouples. Calculations of the coefficient of thermal conductivity of the wall of the house and a comparison of the measurement results obtained using two devices were made.

The calculation of the thermal conductivity coefficient was carried out on the basis of an analysis of the images obtained using a thermal camera. Image analysis was carried out in special software.

The obtained results of the thermal conductivity coefficient were compared with theoretical values, which showed the feasibility of using heat chambers in practical and laboratory work.

This topic can be further developed using other software, such as MatLab, for calculations and modeling of thermal parameters of objects. Using machine learning, you can write programs for calculating and modeling heat losses, heat flows, and so on.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. VÍTĚZ, T., TRÁVNÍČEK, P.: The measurement of heat loss with use of a thermal imaging system. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2011, LIX, No. 3, pp. 193–196
2. Koiner, K. et al. Heat Loss Estimation using UAS Thermal Imagery. 2019 IEEE International Conference on Electro Information Technology.
3. Nicholas D., "Examination of heat flux through a surface using digital image processing of infrared images" (2015). Honors Theses.
4. Хадсон Р., Инфракрасные системы, издательство «Мир», М., 1972.
5. Wolfe W.L., Ed., Handbook of Military Infrared Technology, Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, 1965.
6. Круз П., Макглоунин Л., Макквистан Р., Основы инфракрасной техники, Воениздат, М., 1964.
7. Daly P. J. et al., United States Patent № 3760181, Universal Viewer for Far Infrared, 1973.

LISAD

LISA 1 – FLIR C3 WIFI

Mis on seadmega kaasas:

- USB laadija – vahetatavad pistikud erinevatele pistikupesadele seadme laadimiseks.
- Rihm näiteks kaamera kaelas kandmiseks, et saaksid seda kiiremini kasutada.
- USB-kaabel piltide laadimiseks ja arvutisse ülekandmiseks. (USB Micro-B pistik)
- Kaamera ümbris. (Kuid samal ajal on seade ise endiselt kaetud galvaniseeritud kummist kaitsekattega)

Kaamera vaade erinevate nurkade alt (vt joonis 1):

- Joonis 1 - Sisse/välja nupp
- Joonis 2 - Kaamera valgustus.
- Joonis 3 - Infrapuna lääts.
- Joonis 4 - Digikaamera objektiiv.
- Joonis 5 - Pistik aku laadimiseks.
- Joonis 6 - Salvesta nupp.



Joonis 1. Vaade kaamerale erinevate nurkade alt.

Iseärasused [6-7]

- Vajutades ekraani paremal pool asuval automaatselt avaneval vertikaalskaalat (temperatuurikontroll) saab seda ajutiselt blokeerida.
- Seadetes saate määrata emissioonilipu, temperatuuri salvestamise võimaluse ja kauguse.
- Võimalik sisse lülitada valgust või välku. Muutke värvipaletti, kontrasti, toone.
- Valige punktmõõtur, mis näitab ainult kuumi või ainult külmi objekte.

- Saate valida Thermal või Thermal MSX ja näete erinevust, et MSX-iga on pilt parem.
- Samuti on olemas lihtne kaamerafunktsioon ja "Pilt pildis".
- Pärast pildi salvestamist – neid saab kohe otse kaamera ekraanilt vaadata.

WiFi kohta:

Meil on võimalus telefoniga WiFi kaudu ühendust luua. Nii et iga kord, kui salvestate pildi, kantakse see kohe teie telefoni. Ja siis saate pilti teistega jagada.

Peamised eelised:

- Kõrge kontrastsusega 3-tolline ekraan.
- Võimalus kuvada kaadris kõige külmem või kuumim punkt.
- Multispektraalse pildistamise tehnoloogia (MSX).
- Sisseehitatud LED-valgustus.
- Lai vaatenurk.
- Täielikult radiomeetrilised kujutised.
- Võimalus voogesitada videot tarkvara FLIR Tools kaudu.

Kuvaelemendid (vt joonis 2):

- Peamenüüriba.
- Alammenüü paneel.
- Tulemuste tabel.
- Olekuikoonid.
- Temperatuuriskaala.
- Mõõtepunkt.



Joonis 2. FLIR C3 WiFi - kuvaelemendid

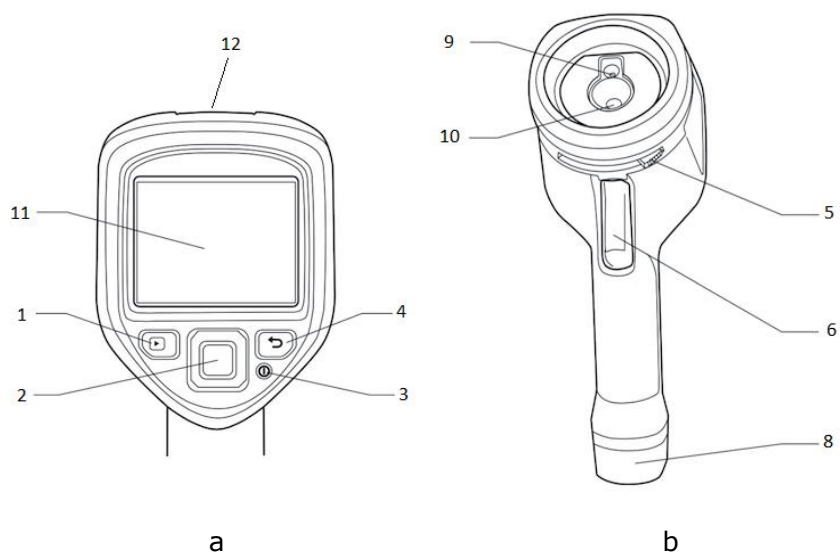
LISA 2 – FLIR E8XT



Joonis 3. FLIR E8XT kaamera

Komplektiga kaasas olevad seadmed:

- Primaar- ja üks sekundaaraku.
- Seade, kuhu asetatakse aku laadimiseks USB-kaabli kaudu.
- Toitepistik laadimiseks läbi pistikupesa.
- USB-kaabel (USB mini-B pistik) on olemas.
- USB-laadija on vahetatavad pistikud erinevate pistikupesade jaoks.



Joonis 4. a – kaamera esiplaan, b – kaamera tagaplaan.

Punktid joonis 4 tähendavad järgmist:

- (1) – Arhiivi nupp. Funktsioon – pildiarhiivi avamine.
- (2) – Navigeerimisriba. Funktsioon – liikumiseks: menüüdes, alammenüüdes ja dialoogiboksidest kasutage vasak-/paremale ja üles/alla nuppe. Kinnitamiseks kesknupp.
- (3) – Sisse/välja nupp. Teine funktsioon - kui hoiate nuppu 5 sekundit all, lülitate kaamera ooterežiimi. Selles režiimis lülitub kaamera 48 tunni pärast automaatselt välja. Kaamera väljalülitamiseks hoidke nuppu uuesti vähemalt 10 sekundit all.
- (4) – Tühista nupp. Funktsioon – valiku tühistamiseks. Vajutage menüüsüsteemi naasmiseks.
- (5) – Hoob objektiivi katte avamiseks ja sulgemiseks.
- (6) – Käivitusnupp piltide salvestamiseks.
- (7) – Instrumentide näidik.
- (8) – Seadme aku.
- (9) – Digikaamera objektiiv.
- (10) – Infrapuna lääts.
- (11) – Instrumentide näidik.
- (12) – Ühendus USB mini-B kaabli ühendamiseks. (Ava kaas).

Tarkvara.

Kui olete "Ekraanipildi" teinud start-nupu abil (joonis 6), saab selle spetsiaalse programmi FLIR Tools abil arvutisse üle kanda.

1. Installige oma arvutisse FLIR Tools.
2. Käivitage FLIR Tools.
3. Lülitage kaamera sisse, vajutades nuppu (joonis 3).
4. Ühendage kaamera USB-kaabli abil arvutiga.
5. Importige pildid rakendusse FLIR Tools.
6. Looge selle programmiga PDF-aruandeid.

Aruannete loomine FLIR Toolsis.

1. Seade peab olema sisse lülitatud ja USB kaudu arvutiga ühendatud.
2. Me läheme programmi FLIR Tools.
3. Programmis ülemisest menüüst - valige teek (Library).
4. Järgmisena klõpsake kuvatavas menüüs ikooni (From camera).
5. Näete, et avaneb kaust – piltide salvestamise koht (DCIM), seejärel ava kaust 100_FLIR.
6. Valige soovitud pilt ja lohistage LMB (hiire vasak nupp) paremasse alumisse serva, vabastage ja klõpsake nuppu Import.

LISA 3 – FLIR ONE (ANDROID/IOS)



Joonis 5. FLIR One kaamera

Sisu kaasas.

- Infrapunakaamera.
- Juhtum.
- USB-kaabel.

Eestvaade:

- Nähtava ulatusega kaamera.
- Termokaamera.
- Telefoni pistik.
- OneFit kõrguse reguleerimine.



Joonis 6. Külj- ja altvaade.

- Indikaator ja sisse/välja nupp. Toitumine.
- LED laadimise indikaator.
- USB-C toitepistik.

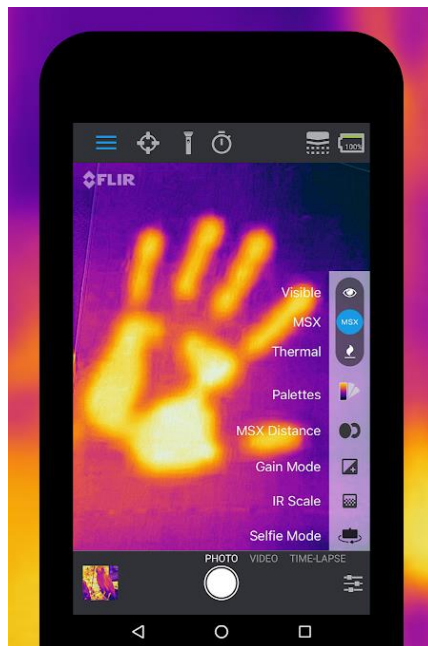
Sisse- ja väljalülitamisjuhised.

Pärast mobiilseadmega ühenduse loomist saate termokaamera sisse lülitada, vajutades ühe korra kaamera allosas olevat nuppu. Termokaamera väljalülitamiseks hoidke sama nuppu all vähemalt 2 sekundit. Kui kaamera on kasutamiseks valmis, muutub indikaator roheliseks.

Vajadusel keerake sinist OneFiti kõrguse reguleerimisnuppu, et pikendada pistikut oma telefoniümbrise õigele kõrgusele.

Käivitage oma telefonis rakendus FLIR ONE. Loo kasutajakonto. (Pärast 2-minutilist tegevusetust lülitub kaamera automaatselt energiasäästurežiimi)

Rakenduse kohta:



Joonis 7. Telefoni rakendus.

- Saate alustada nii foto- kui ka videosalvestust.
- Saate taimeri sisse lülitada.
- Saate sisse lülitada valgustusfunktsiooni (taskulambi), et suurendada MSX-i funktsionaalsust vähese valguse tingimustes.
- Paletid – valige värvipalett.

ja muud funktsioonid...

Programmi FLIR Tools saate kasutada ka mõõtmistulemuste aruannete koostamiseks, piltide analüüsimiseks.

Ekraani keskele tuleb punktmõõtur, mida saab peita või nähtavaks teha. Kohtmõõtur kuvab objekti temperatuuri.

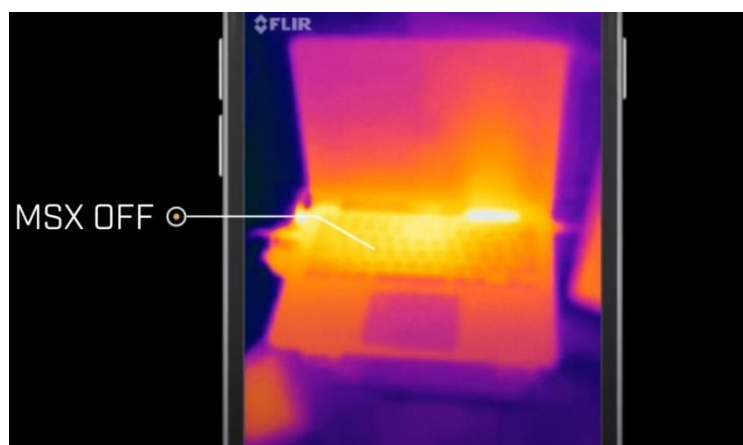


Joonis 8. Punktmõõtja.

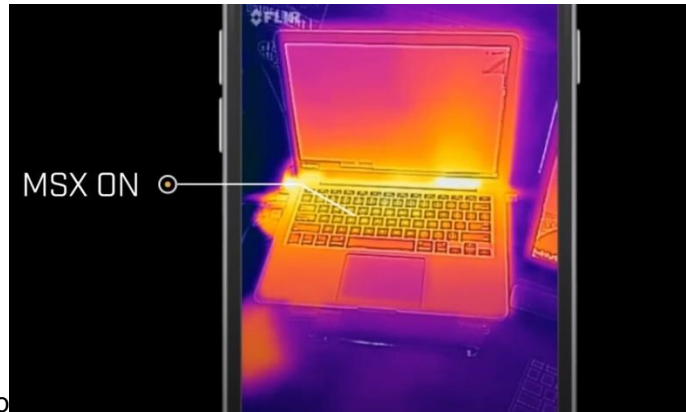
Piltide kuvamiseks video- või fotoekraanil saate valida ka erinevaid värvipalette. Valides sobiva värvipaleti, aitab see esile tõsta kõige külmemaid või kuumemaid kohti objektidel, arvutades ja värvides need kohad soovitud värviga (sinine - külm, punane - kuum).

FLIR ONE funktsioon:

Üks asi, mis teeb FLIR ONE'i ainulaadseks, on selle MSX-tehnoloogia. Pildid muutuvad üksikasjalikumaks.



Joonis 9. MSX OFF



Joonis 10. MSX ON

Miinused:

Negatiivne külg on see, et MSX vajab töötamiseks valgustust ja peab asuma vaadeldavast objektist vähemalt ühe meetri kaugusel, et ekraani allosas oleks optimaalne joendus.

FLIR ONE kasutamise eesmärk:

- Aitab paljastada objekti varjatud probleeme;
- Tee temperatuur nähtavaks, et paljastada see, mida sa oma silmaga ei näe.

LISA 4 – FLIR IRW 4



Joonis 11. FLIR IRW 4

Mis see on?

See on kompaktne ja lihtsalt kasutatav paneelaken, mis võimaldab töötada kiiremini ja mitte seada end tavapärase kontrollide käigus ohtu.

Kruvi kiire lahtikeeramine avab kiire juurdepääsuga klappkaane.

Lairiba kristall-IR aken võimaldab laserosutitel ja valgusallikatel särada.

Edastab lühi-, kesk- ja pikalainelisi infrapunapilte.

Püsiluku töökindlus, mis aitab seda blokeerida. Sisemine paneel ilma kruvideta selle paigal hoidmiseks.

(4-tolline IR-aken – number tähendab 4-tollist klaasi)

See kiire juurdepääsuga hingedega kaanega aken on sertifitseeritud kasutamiseks sise- ja välistingimustes.

Toetab termilist, MSX®-i ja visuaalset kontrollimist lairiba kristallaknaga, mis võimaldab ka laserosutitel ja valgusel läbi paista.

PIRma-Lock™ rõngasmutter kiirendab paigaldamist, maandab automaatselt ja sulgeb akna tihedalt.

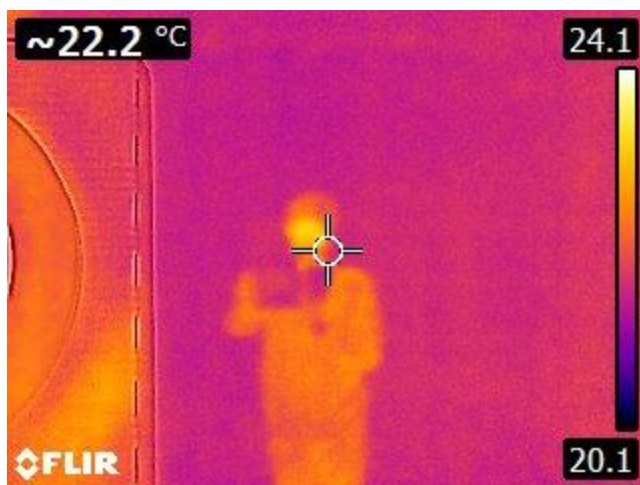
Roostevabast terasest aknavelg takistab erinevate metallide kokkupuudet korrosioonikindluse tagamiseks.



Joonis 12 Komponentid: 1 - raami alus, 2 - seina tihend, 3 - lukustusmutter, 4 - vaatepaneel, 5 - kate, 6 - kaane kinnitus (rihm kruvi)

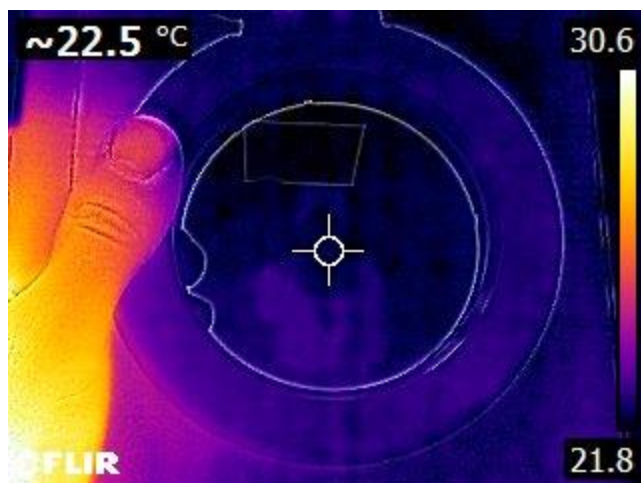
Lühidalt FLIR IRW 4 kohta:

(Ilma klaasita) Näete muid peegeldusi, kui mõõdate inimese ees soovitud objekti temperatuuri.



Joonis 13. Soovitud objekti asemel näete inimese peegeldust (ilma IRW 4)

Kaamera ette pandi FLIR IRW 4 ja peegeldused, mida me ei tahtnud, kadusid. Väga mugav. Nüüd saame mõõta objekti temperatuuri, ilma et peegeldused seda takistaksid. (Joonis 2)



Joonis 14. Peegeldust pole, kasutatud on IRW 4.

Eelised:

Võimaldab termokaameral sellest aknast läbi näha ja teha termoskaneerimist avamata näiteks teraskappi, mis sisaldab pinget all olevaid seadmeid või vajalikku eset! Mis tähendab – see minimeerib nii palju kui võimalik inimese elektrilöögiohtu. Samuti säästab see aega, kui ei kannu kõiki isikukaitsevahendeid.



Joonis 15. Termiline skaneerimine läbi teraskapi.

Lisa 1 - FLIR C3 (+WiFi)

Kaamera juhend.

1. Laadige akut 1,5 tundi.
2. Vajutage kaamera toitenuppu (Joonis 1)
3. Suunake kaamera objektidele.
4. Salvestage pilt, klõpsates nuppu (Joonis 6)
5. Järgmisena saate kasutada FLIR-i tööriistu.
6. Laadige alla ja paigaldage tarkvara.
7. Käivitage FLIR Tools.
8. Ühendage kaamera USB kaudu arvutiga.
9. Impordi pilte programmi ja koosta aruandeid PDF formaadis.

Lisa 2 - FLIR E8XT:

Kaamera juhend.

1. Esmalt laadige seadme aku. Seda saate teha kolmel viisil, kasutades:
 - FLIR iseseisev laadija.
 - FLIR-i toiteallikast.
 - USB-kaabel on arvutiga ühendatud.(Märkus. Aku laadimine arvutiga ühendatud USB-liidese abil võtab oluliselt kauem aega kui FLIR-i toiteallika või eraldiseisva FLIR-seadme kasutamine.)
Liigutage oma sõrm kangil küljele (joonis 5) ja objektiivikaas avaneb.
2. Järgmiseks vajutage kaamera tavapäraseks sisselülitamiseks õrnalt nuppu (joonis 3). Nuppu ei ole vaja all hoida. Suunake kaamera kiirgavatele objektidele.
3. Vahetult pärast sisselülitamist:
 - Ekraanil näete vasakus ülanurgas selle objekti temperatuuri, millele keskel olev punkt on suunatud.
 - Paremal küljel on temperatuurivahemiku skaala, mis näitab vastava temperatuuri värviskaalat.
 - Vaikimisi on enamik kaameraid automaatselt konfigureeritud, kuid nuppu klõpsates saate minna seadetesse (joonis 2).
4. Vajutades nuppu (joonis 2), kuvatakse ekraanil näiteks:
 - Peamenüüriba;
 - Alammenüü paneel;
 - Mõõtepunkt;
 - Tulemuste tabel;
 - Olekuikoonid;
 - Temperatuuriskaala.

5. "Ekraanipildi" tegemiseks ja pildi salvestamiseks vajutage start-nuppu (joonis 6)
6. Seadme väljalülitamiseks vajutage õrnalt nuppu (joonis 3). Nuppu ei ole vaja all hoida.

Lisa 3 - FLIR ONE (Android / iOS)

Kaamera juhend.

Termokaamera FLIR ONE kasutamise alustamiseks tuleb kaamerat 1 tund laadida. Laadige alla ja installige rakendus Android-mobiilseadmetele Play Marketist (Google Play), rakendus nimega FLIR ONE. Termokaamera saate ühendada mobiilseadme ja/või tahvelarvutiga, kasutades mikro-usb-d. USB-C toitepistik.

Lisa 4 - FLIR IRW 4:

Kasutamise juhend IR Window 4.

1. Lülitage elektrikilbi varustus ettevaatlikult välja ja veenduge, et see on enne paigaldamist pingevaba.
2. Pärast klaasi asukoha kindlaksmääramist on soovitatav eemaldada kapi kate või paneel ja viia see ajutiselt klaasi paigaldamiseks turvalisse kohta.
3. Paigaldusprotsessi lõpuleviimiseks kasutage stantsi- või augusae õige suuruse määramiseks suurustabelit.
4. Pärast mõõtmist ja märgistamist (kohas, kus klaas on paneelil) kasutage tööriista (augul), et luua astmelise puuri jaoks stabiilne alguspunkt.
5. Pärast augu märgistamist tehke väljalöök ja looge sellega IRW 4 akna jaoks auk.
6. Eemaldage lukustusmutter (joonis 3) ja paigaldage raami alus (joonis 1).
7. Seejärel keerame juba lukustusmutri kinni (joonis 3). Pingutage seda kindlasti spetsiaalse tööriistaga (maandamishambad).