

# Klimatske promjene kao tema u nastavi fizike: termokamera

---

Skukan, Dubravka

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:776024>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-21**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
FIZIČKI ODSJEK

Dubravka Skukan

Klimatske promjene kao tema u nastavi fizike:  
termokamera

Diplomski rad

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
FIZIČKI ODSJEK

INTEGRIRANI PREDDIPLOMSKI I DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ  
FIZIKA I INFORMATIKA; SMJER NASTAVNIČKI

**Dubravka Skukan**

Diplomski rad

**Klimatske promjene kao tema u  
nastavi fizike: termokamera**

Voditelj diplomskog rada: izv. prof. dr. sc. Dalibor Paar

Ocjena diplomskog rada: \_\_\_\_\_

Povjerenstvo: 1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

Datum polaganja: \_\_\_\_\_

Zagreb, 2024.

Od srca zahvaljujem svom mentoru izv. prof. dr. sc. Daliboru Paaru na pomoći pri izradi diplomskog rada.



## Sažetak

Klimatske promjene su jedan od najvećih izazova suvremenog društva. Da bismo razumjeli osnove ovih kompleksnih procesa, potrebno je naučiti temeljne fizikalne principe. Uvođenjem ove teme u nastavu fizike dajemo dodatni smisao učenju fizike povezujući fizikalne koncepte sa stvarnim pojavama na Zemlji. Interes učenika za učenje fizike može se dodatno pobuditi kroz pokuse i korištenje suvremenih tehnologija. Termokamera je mjerni instrument kojim se vizualiziraju termodinamički procesi koje je inače puno teže pratiti i predočiti. Termokamera se može uvesti u brojne pokuse koje već izvodimo u okviru nastave fizike, ali i za razvoj novih ideja kao što su u ovom slučaju proučavani fizikalni procesi vezani uz klimatske promjene.

Ključne riječi: klimatske promjene, termokamera, nastava fizike

# Climate change as a topic in Physics classes: thermal camera

## **Abstract**

Climate change is one of the biggest challenges of modern society. In order to understand the basics of these complex processes, it is necessary to learn basic physical principles. By introducing this topic into physics classes, we give additional meaning to physics learning by connecting physical concepts with real phenomena on Earth. Students' interest in learning physics can be further stimulated through experiments and the use of modern technologies. A thermal camera is a measuring instrument used to visualize thermodynamic processes that are otherwise much more difficult to monitor and visualize. The thermal camera can be introduced into numerous experiments that we already perform as part of the physics lessons, but also for the development of new ideas, such as in this case the physical processes related to climate change.

Keywords: climate change, thermal camera, physics education

# Sadržaj

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Termokamera kao istraživački instrument</b>	<b>3</b>
2.1	Ograničenja termokamere . . . . .	4
2.1.1	Materijali neprozirni za toplinsko zračenje . . . . .	4
2.1.2	Emisivnost, refleksija i kut gledanja . . . . .	6
2.2	Vizualni prikaz . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Obrada podataka infracrvenih mjerenja termokamerom</b>	<b>11</b>
3.1	Flir One . . . . .	11
3.2	Flir Ignite . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Pokusi</b>	<b>16</b>
4.1	Istraživanje 1: Usporedba zagrijavanja i hlađenja jednako osvijetljenih površina različitih materijala . . . . .	16
4.2	Istraživanje 2: Kako bi klimatske promjene mogle utjecati na kretanja morskih struja . . . . .	24
4.3	Istraživanje 3: Utjecaj povećane koncentracije ugljikovog dioksida na zagrijavanje i hlađenje . . . . .	30
4.4	Istraživanje 4: Procjena porasta razine Sredozemnog mora . . . . .	38
<b>5</b>	<b>Zaključak</b>	<b>41</b>
	<b>Dodatak - Nastavna priprema</b>	<b>42</b>
	<b>Literatura</b>	<b>47</b>

# 1 Uvod

Klimatske promjene su globalan problem 21. stoljeća koji utječe na mnoge sektore ljudske djelatnosti i svakodnevni život. Zadnjih godina sve su izraženiji klimatski ekstremi i njihove posljedice kao što su toplinski valovi, suše, požari, oluje sa značajnim oborinama i poplave. [1], [2] Klimatski sustav je kompleksan. U njemu se odvijaju procesi na različitim vremenskim i prostornim skalama. Premda nemamo još dovoljno dobre modele koji bi precizno predvidjeli utjecaj klimatskih promjena na lokalnoj razini, razumijevanjem temeljnih procesa i modela može se promišljati o pronalasku rješenja aktualnih problema na dulje staze. [3][4] Stoga je bitno upoznati se s mehanizmima djelovanja klimatskog sustava te proučavati njihov utjecaj na okolinu, promišljajući i na skali naše neposredne okoline.[5]

Tema klimatskih promjena nije na odgovarajući način zastupljena u hrvatskim školskim kurikulumima. Međuodnos klimatskih promjena i života na Zemlji obrađuje se većinom u nastavi prirode i geografije i to kroz obrazovne ishode: OŠ PRI B.6.3. *Učenik objašnjava značenje ciklusa na primjerima iz žive i nežive prirode* u nastavi Prirode [6] te GEO OŠ C.6.3. *Učenik objašnjava međuovisnost klime, tla i živoga svijeta te utjecaj čovjeka na promjenu bioraznolikosti na primjerima iz zavičaja i Hrvatske*, GEO SŠ B.3.2.+ *Učenik analizira promjene klime te argumentirano objašnjava utjecaj čovjeka na globalno zatopljenje* i GEO SŠ B.3.3.+ *Učenik analizira posljedice globalnoga zatopljenja te aktivnosti međunarodne zajednice u rješavanju toga problema* u nastavi Geografije [7].

Međutim, za dublje razumijevanje ove tematike potrebno se upoznati s fizikalnim konceptima. U nastavi fizike tema klimatskih promjena najčešće nije spomenuta iako se pojedina fizikalna područja i teme prirodno nameću kada treba objasniti mehanizme na kojima klimatske promjene počinju. Prijenos topline, toplinski kapacitet, fizika fluida, valovi itd. samo su neke od tema u kojima klimatske promjene mogu biti primjer iz realnog svijeta koji ima brojne izazove i treba nove generacije stručnjaka za njihovo rješavanje.

Ideja ovog rada je dati kroz konkretne primjere doprinos uključivanju teme klimatskih promjena u nastavu fizike. Ovdje ćemo se fokusirati na transport topline i pokuse u kojima se ona proučava koristeći termokameru kao mjerni instrument. Termoka-

mera je u hrvatskim školama dosad nekorišten alat koji otvara brojne mogućnosti u nastavi fizike. U svijetu se termokamera, kao instrument koji je danas dostupan i kao dodatak za mobitel, već pokazala dobrim didaktičkim instrumentom za vizualizaciju fizikalnih pojava vezanih uz toplinu koje učenicima ne bi bile vidljive golim okom. [8]

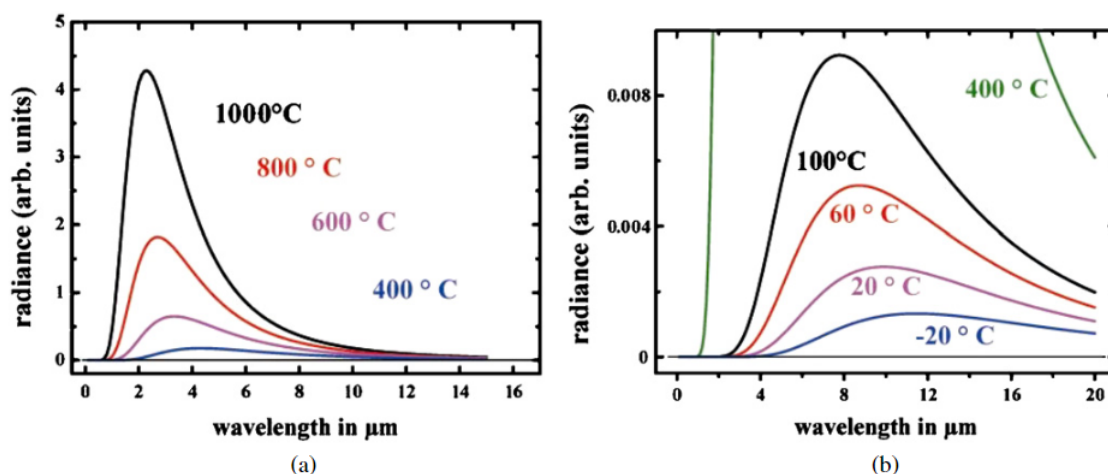
Stoga će tema ovog rada biti upoznavanje s mogućnostima termokamere i primjena u 4 pokusa kojima učenici mogu istraživati neke od fizikalnih principa važnih za razumijevanje klimatskih procesa na Zemlji.

## 2 Termokamera kao istraživački instrument

Danas praktički svaki mobitel ima ugrađenu jednu ili više kamera koje omogućavaju izradu fotografija ili video zapisa koristeći elektromagnetske valove u području valnih duljina od 400 nm do 750 nm, koje nazivamo vidljiva svjetlost.

Termokamera je vrsta kamere, odnosno mjernog instrumenta, koji detektira elektromagnetske valove u području valnih duljina od 750 nm do 1 mm koje nazivamo infracrveno područje. Za razliku od kamere koja detektira dio spektra elektromagnetskog zračenja koji ljudsko oko percipira kao vidljivu svjetlost, termokamera stvara slike na temelju detektiranog infracrvenog zračenja koje nazivamo i toplinsko jer ga povezujemo s toplinom. [9]

Sva su tijela na temperaturi iznad apsolutne nule izvori toplinskog zračenja pa termokamera detektira i predmete koji se bez izvora svjetlosti na običnoj kameri ne bi mogli vidjeti. [9]



Slika 2.1: Spektar zračenja crnog tijela u ovisnosti o valnoj duljini na različitim temperaturama, izvor: Vollmer M., Möllmann K.-P. Infrared thermal imaging as a tool in university physics

Mogućnost detekcije infracrvenog zračenja termokameru čini prikladnom za promatranje širokog spektra fizikalnih problema u području termodinamike, odnosno vezanih uz prijenos topline. Termokamera pruža vizualan prikaz kakav u njezinoj odsutnosti možemo samo naslutiti koristeći pomagala kao što su termometar, kalorimetar i slična pa je ona logičan izbor alata u istraživačkoj nastavi fizike. [11]

No termokamera ima i svoja ograničenja kojih moramo biti svjesni da ne bismo u pokušaju izbjegavanja stvaranja jednog tipa učeničkih miskonceptija uveli nove.

Termokamera je kao mjerni instrument dobar edukativni izbor budući da se učenici moraju detaljnije upoznati s načinom njezina rada, mogućnostima i ograničenjima, odnosno načinima kako interpretirati izmjereno.

U ovom poglavlju će biti navedene fizikalne osnove nužne za rukovanje termokamerom, a na početku svakog pokusa je podsjetnik na ograničenja na koja bi trebalo pripaziti pri provođenju pokusa.

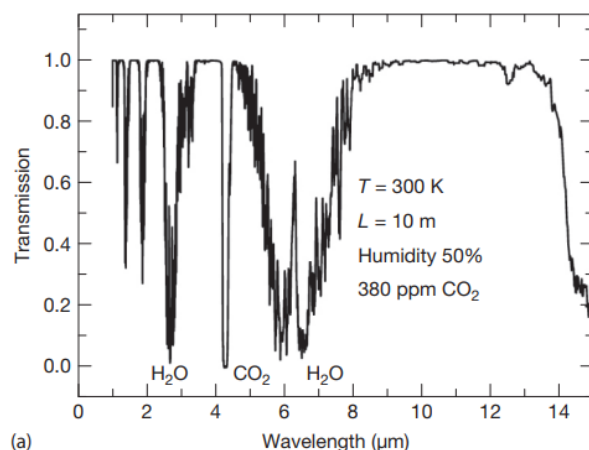
## **2.1 Ograničenja termokamere**

### **2.1.1 Materijali neprozirni za toplinsko zračenje**

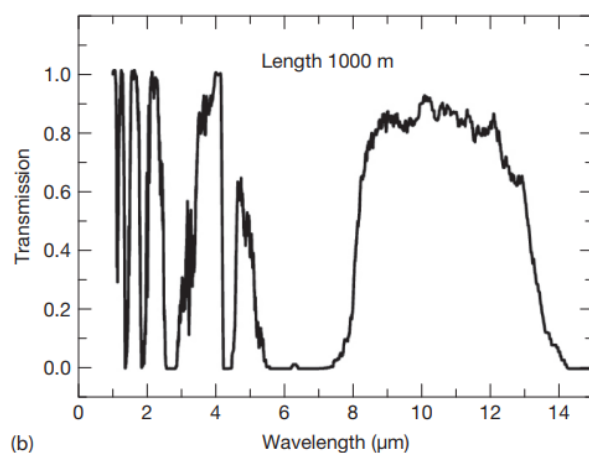
Kao što obična kamera ne može vidjeti iza svjetlosti neprozirnih prepreka, ni termokamera ne može vidjeti iza prepreka "neprozirnih za toplinu", odnosno predmeta koji utječu na toplinsko zračenje apsorpcijom ili refleksijom sprječavajući ga da dođe do detektora. [9], [11]

Da bi termokamera detektirala infracrveno zračenje potrebno je da se nalazi u mediju koji neće bitno prigušiti zračenje. Budući da atmosfera u kojoj se nalazimo apsorbira dio infracrvenog zračenja, termokamere su dizajnirane da detektiraju zračenje u točno određenim dijelovima elektromagnetskog spektra. [9], [11]

Te dijelove spektra nazivamo atmosferskim prozorima za infracrveno zračenje jer zračenje frekvencija u tim rasponima kroz atmosferu većinom prolazi nesmetano.



(a)



(b)

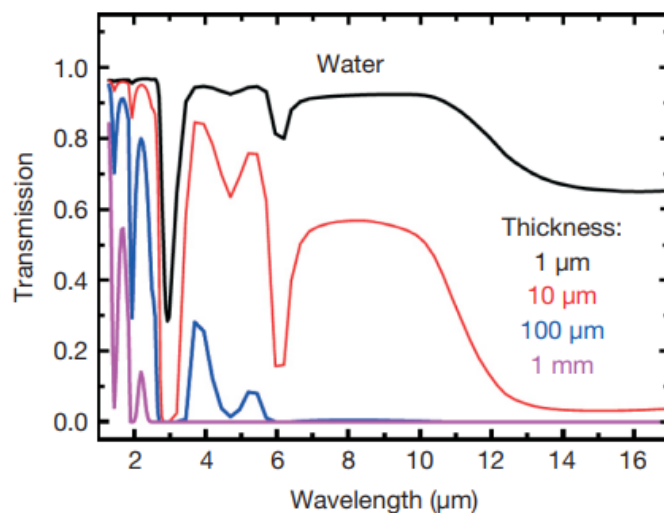
Slika 2.2: Transmisija infracrvenog zračenja kroz atmosferu u ovisnosti o valnoj dužini, izvor: Vollmer M., Möllmann K.-P. Infrared Thermal Imaging, Second Edition, poglavlje 1

Na slici 2.2 možemo vidjeti nekoliko atmosferskih prozora za infracrveno zračenje koje je moguće iskoristiti u radu termokamere. Termokamera korištena prilikom izrade rada je mobilna kamera Flir One Pro koja detektira zračenje valnih duljina u rasponu 8-14  $\mu\text{m}$  (dugovalno infracrveno zračenje). [11], [12] Kamera ima termalnu rezoluciju 160 x 120 piksela i može detektirati temperature do 400 °C.

Glavni uzroci apsorpcije infracrvenog zračenja u atmosferi su vodena para i ugljikov dioksid, a to je i razlog zbog kojeg su u kontekstu klimatskih promjena prozvani stakleničkim plinovima. Voda je dobar apsorber infracrvenog zračenja i u svom tekućem obliku.

Vidimo da će sloj vode debljine 1 mm apsorbirati svo toplinsko zračenje koje je termokamera u mogućnosti detektirati.[11] To znači da termokamerom ne možemo vidjeti što se događa ispod površine vode. Zato pri ekperimentiranju s vodom moramo prilagoditi eksperimentalni postav tako da se željeni efekti koje želimo vidjeti





Slika 2.3: Transmisija infracrvenog zračenja kroz vodu u ovisnosti o valnoj duljini za različite debljine slojeva vode, izvor: Vollmer M., Möllmann K.-P. Infrared Thermal Imaging, Second Edition, poglavlje 1

nalaze "na rubu". (Primjer toga je pokus 2.)

Isparavanje vode je još jedan zanimljiv primjer koji bismo mogli poželjeti razmotriti termokamerom. Isparavanje je jedan od mehanizama kojim se površina može hladiti i važan je element hidrološkog ciklusa [13] pa je zanimljiv u kontekstu klimatskih promjena. No na kameri nećemo vidjeti vodenu paru kako se diže s površine, nego samo površinu kojoj se iznos temperature s vremenom smanjuje.

Takav pokus i dalje može biti vrlo poučan, ali je potrebno učenicima objasniti što se točno događa kako ne bi razvili neke miskonceptije u nedostatku dijela vizualnog prikaza.

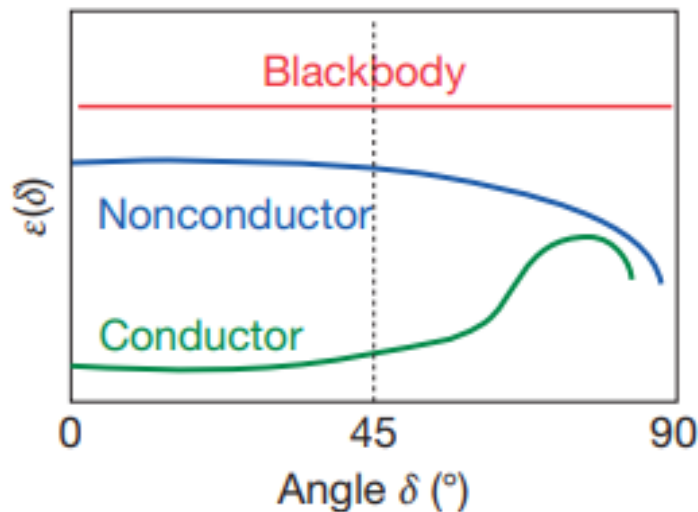
Plastika i staklo su također primjeri materijala koji apsorbiraju dio toplinskog zračenja. Ono što svi ovi materijali imaju zajedničko jest da su prozirni za vidljivu svjetlost pa je to jedan od mogućih izvora poteškoća u radu s termokamerom. Slika dobivena termokamerom se ponekad može jako razlikovati od one dobivene običnom kamerom pa je to jedna od tema kojoj treba posvetiti posebnu pažnju u radu s učenicima.

### 2.1.2 Emisivnost, refleksija i kut gledanja

U postavkama mobilne aplikacije termokamere Flir One moguće je mijenjati emisivnost promatranih tijela. Preporučena vrijednost je 0.95 i odnosi se na tijela niske refleksije.

Emisivnost je fizikalna veličina koja opisuje omjer energije zračenja nekog realnog i idealnog crnog tijela. Što je vrijednost emisivnosti bliža jedinici, to je tijelo sličnije crnom tijelu.

Emisivnost realnih tijela ovisi o kutu tako da je najviša duž normale na površinu tijela.



Slika 2.4: Ovisnost emisivnosti realnih tijela o kutu u odnosu na normalu: Vollmer M., Möllmann K.-P. Infrared Thermal Imaging, Second Edition, poglavlje 1

Iz slike 2.4 vidljivo je da je za kutove manje od  $45^\circ$  u odnosu na normalu, vrijednost emisivnosti ne odstupa puno. Kako bi dobiveni rezultati bili što točniji, tijela je potrebno slikati iz kuta ne većeg od  $45^\circ$ .

U Flir One aplikaciji je moguće izabrati između četiri vrijednosti za emisivnost pa osim u slučaju da je emisivnost tijela točno jednaka jednoj od tih vrijednosti nećemo moći u potpunosti točno izmjeriti temperaturu tijela, no i dalje možemo vršiti usporedbe temperatura tijela. Automatski postavljena vrijednost emisivnosti od 0.95 je prikladna za većinu materijala, uz iznimku metala. [11] Metali imaju nisku emisivnost jer velik dio zračenja reflektiraju pa pri radu s metalima treba paziti da se odabere prikladna vrijednost emisivnosti.[11]

U ovom radu nema pokusa u kojima se koriste metali, no ako netko želi izvesti pokus sa metalom mogao bi eksperimentalno odrediti vrijednost njegove emisivnosti tako da mu temperaturu izmjeri termometrom i u postavkama kamere emisivnost mijenja do one vrijednosti koja daje najtočnije očitavanje temperature. [11]

Idealne postavke emisivnosti dale bi sliku predmeta na kojoj su očitavanja tempe-

ratura jednaka onima koja bismo dobili mjerenjem termometrom. Budući da sa 4 moguće vrijednosti dostupne u Flir One to nije moguće, na slikama koja daje termokamera dio zračenja je obično reflektiran iz okoline pa je preporučeno slikane predmete sakriti od jačih izvora infracrvenog zračenja (lampe, Sunce, itd). To je posebice bitno za difuzno reflektirano zračenje koje nije uvijek jasno uočljivo.

U radu s materijalima dovoljno glatkih površina možemo se susresti i sa pravilnom refleksijom, no nju je puno lakše prepoznati. Takva se refleksija giba kao odraz u ogledalu ako pomičemo kameru. [11]

Kada su na slikama prisutna neka područja kojima temperatura neobično odskakače od okoline, dobro je ispitati je li riječ o refleksiji mijenjanjem kuta gledanja i udaljenosti kamere od predmeta.

## **2.2 Vizualni prikaz**

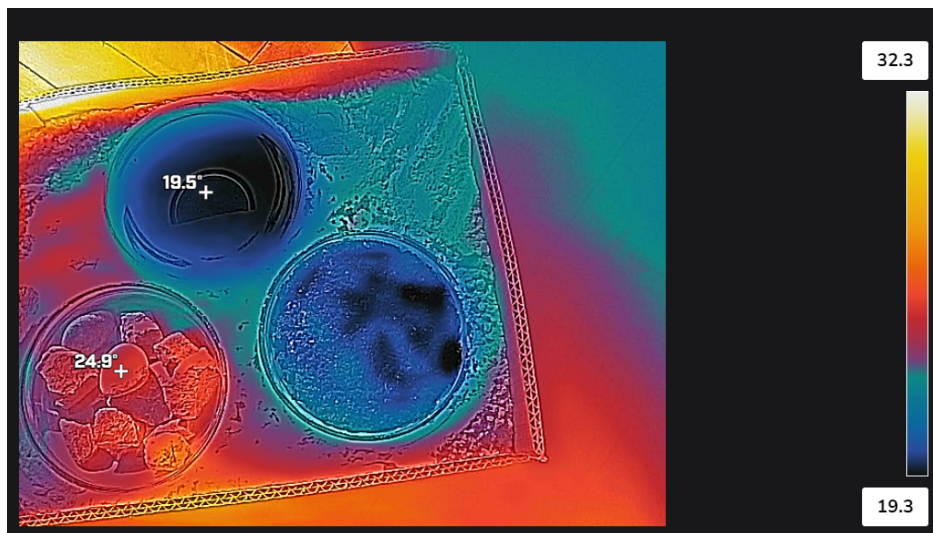
Za kraj je još potrebno reći par stvari o vizualnom prikazu mjerenja.

Termokamera korištena pri izradi pokusa zapravo sadržava dvije kamere u sebi, jednu "uobičajenu" i jednu koja stvara slike dobivene detekcijom infracrvenih zraka. Slike dobivene pomoću te dvije kamere se kombiniraju u hibridni prikaz koji omogućava razaznavanje obrisa promatranih predmeta. To je posebice korisno kada se temperature predmeta ne razlikuju puno od temperatura okoline.

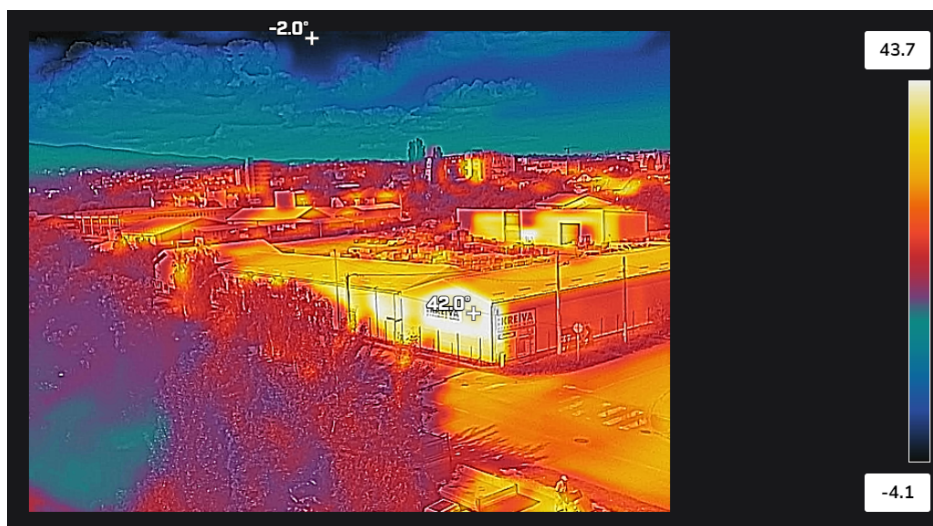
Dobivene infracrvene slike se mogu vizualizirati na način da koriste jednu od nekoliko dostupnih paleta boja. Odabir palete je posve individualan i trebao bi biti učinjen tako da promatraču omogući što bolje razlučivanje između predmeta različitih temperatura.

Paleta boja ne predstavlja apsolutnu skalu na kojoj jedna boja (ili nijansa boje) odgovara točno određenoj temperaturi, već se prikaz mijenja ovisno o tome koliki je raspon temperatura na slici. Paleta ima konačan broj nijansa koje može pridružiti mjerenjima. Rubne boje palete su uvijek prisutne na slici, a nijanse između ovisno o tome kakve su temperature naspram najniže i najviše vrijednosti. Paleta boja se mogu mijenjati u postojećoj snimci i naknadno, a za detaljne analize su uvijek dostupne zabilježene temperature svakog piksela u infracrvenoj slici.

Primjer vidimo na slikama 2.5 i 2.6. Paleta boja ista je na obje slike, no na prvoj bijela boja predstavlja 32.3 °C, a na drugoj 43.7 °C.



Slika 2.5: Prikaz mjerenja s vrijednostima u rasponu od 13 °C



Slika 2.6: Prikaz mjerenja s vrijednostima u rasponu od  $\pm$  45 °C

Kad bi u kadar prve slike ušao neki predmet kojemu je temperatura viša od 32.3 °C, boje svih predmeta na slici bi se prerasporedile tako da čitav raspon temperatura bude pokriven dostupnom paletom boja. [11]

Iz toga proizlazi par stvari na koje treba pripaziti u radu s kamerom. Prva je da ne treba zaključivati o temperaturama na različitim slikama samo na temelju boje, već treba uvijek pratiti i skalu pored slike ili gledati pojedina mjerenja u točkama pomoću programa za obradu. Ponekad će nakon rekalkibracije skale boja nekog predmeta iz crvene prijeći u plavu, iako mu se iznos temperature povećao.

Još jedna važna posljedica ograničenog broja nijansi boja je promjenjiva razlučivost temperatura na slici.

Zamislimo situaciju kada uzimamo mjerenja mnoštva predmeta koji su svi podjed-

nakih temperatura, a na slici imamo i jedan predmet koji ima mnogo višu temperaturu od ostalih. Da bi prikaz svih predmeta na slici bio moguć, kamera će predmetu s najvišom temperaturom pridijeliti bijelu boju, a svim ostalim predmetima nijanse plave i crnu.

U tom će nam slučaju golim okom biti praktički nemoguće razlučiti između temperatura hladnijih predmeta. Da su temperature predmeta jednoliko raspoređene na skali od najniže do najviše temperature, boje bi im se više razlikovale. (Donja granica razlučivosti za kameru korištenu pri izradi pokusa je 70 mK. [12])

Iz tog razloga je preporučeno da se višak predmeta ukloni iz kadra, posebice ako im se temperatura jako razlikuje od temperatura ostalih predmeta na slici.

## 3 Obrada podataka infracrvenih mjerenja termokamerom

### 3.1 *Flir One*

U ovom poglavlju osvrnut ćemo se na načine prikupljanja, prikaza i obrade infracrvenih podataka na konkretnom primjeru kamere Flir One Pro.

Za danu kameru dostupna je mobilna aplikacija Flir One. Nakon što se termokamera spoji na mobitel, aplikacija se automatski pokreće i na zaslonu dobivamo sučelje nalik sučelju uobičajene mobilne kamere. U gornjem lijevom kutu nalazi se ikona koja vodi na postavke. Neke od bitnijih postavka su one za odabir mjernih jedinica i emisivnosti.

U gornjem desnom kutu nalazi se ikona koja vodi na galeriju. Slike je moguće prebacivati na disk na Flir Ignite stranici (potrebno je napraviti korisnički račun - besplatna verzija aplikacije pruža 1 GB prostora za pohranu), a moguće je i postaviti da se prebacuju automatski što omogućava paralelnu obradu već dobivenih mjerenja i istovremeno uzimanje novih mjerenja.

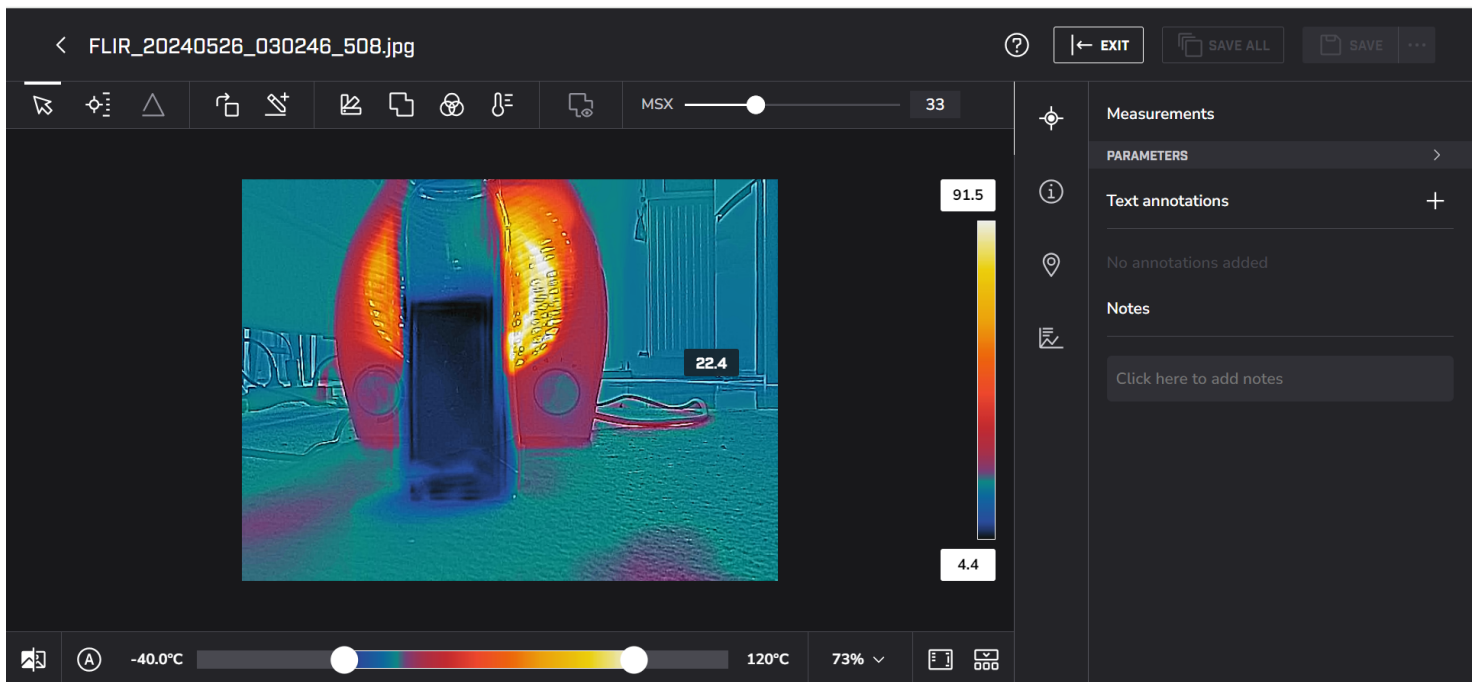
Na dnu ekrana nalazi se ikona koja vodi na izbornik s opcijama promjene palete boja temperaturne skale i odabir korištenja samo infracrvene kamere, samo kamere koja detektira vidljivu svjetlost ili kombinacije obje.

U istom izborniku nalazi se i opcija za poravnavanje zajedničkog prikaza obje kamere. Fokusi leća kamera su odmaknuti za nekoliko cm pa je nekad potrebno ručno poravnati slike ovisno o tome sa koje udaljenosti slikamo površinu.

### 3.2 *Flir Ignite*

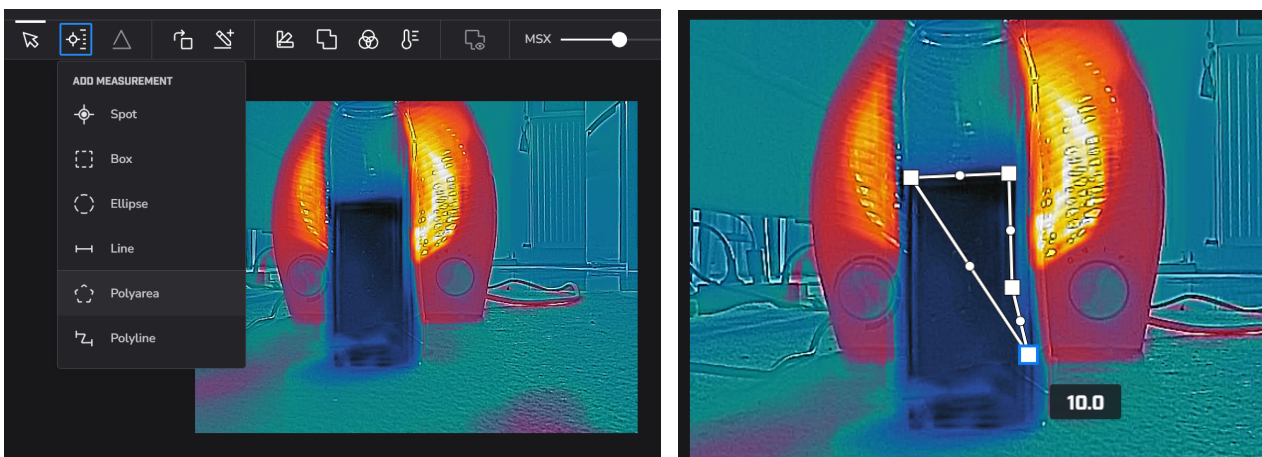
Flir Ignite aplikacija koja omogućuje pohranu infracrvenih slika nalazi se na stranici <https://ignite.flir.com/>. Flir Ignite dopušta grupnu obradu dovoljno sličnih slika pa način na koji se mjerenja uzimaju uvelike može olakšati kasniju obradu mjerenja. Ako je to moguće, dobro je postaviti kameru na stalak i slikati uvijek s istog mjesta.

Za grupnu obradu slika, potrebno je označiti sve željene slike i stisnuti tipku "Edit" u gornjem desnom kutu. Nakon toga će se otvoriti sljedeći prikaz:



Slika 3.1: Uređivački prozor

Za razmatranje temperatura pojedinih točaka dovoljno je staviti kursor miša nad željeni piksel. "Add measurement" sekcija omogućava bilježenje pojedinih mjerenja te obradu većih površina slike.



Slika 3.2: "Add measurement - Polyarea"



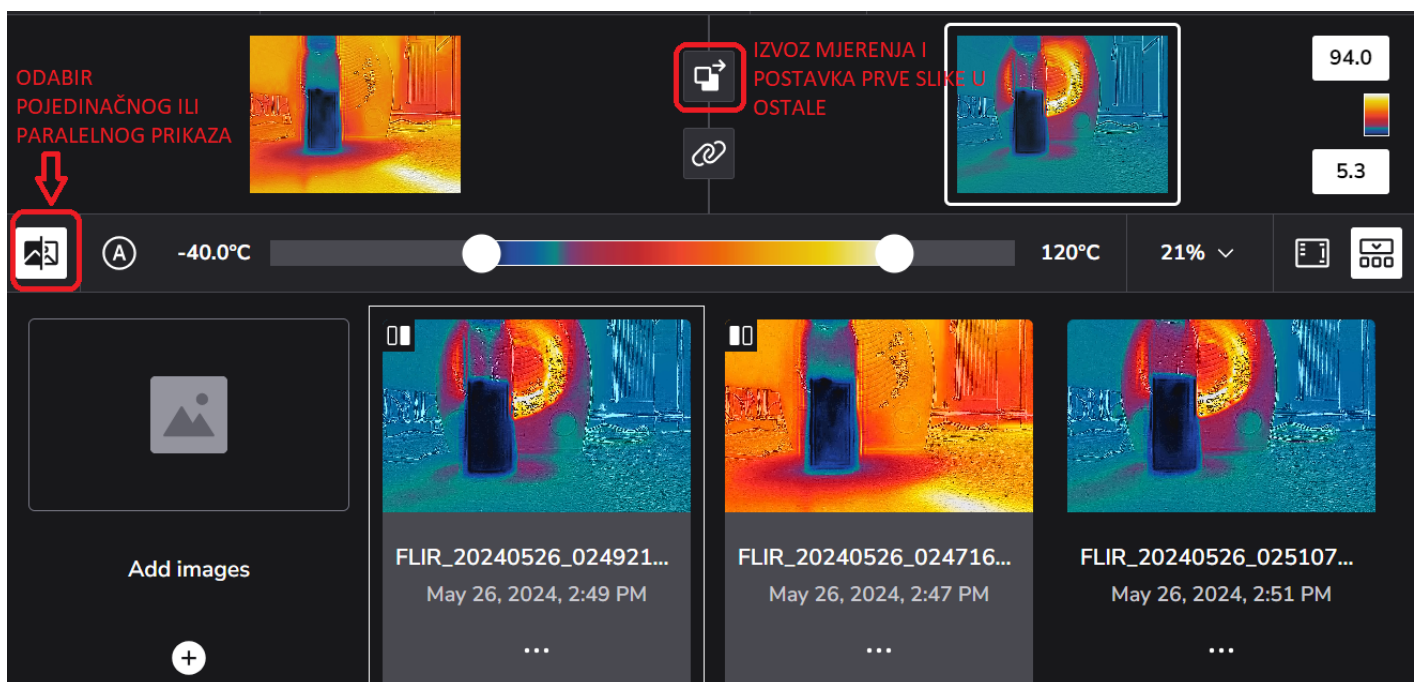
Ponuđene opcije omogućuju analizu vrijednosti temperatura pojedine točke (spot), unutar kvadrata (box), elipse (ellipse), duž linije (line) te unutar proizvoljnog lika (polyarea) ili duž njegovih rubova (polyline).

Odabirom željenog skupa točaka dobit ćemo izračun srednje vrijednosti temperatura naznačenih točaka te minimalnu i maksimalnu vrijednost.

Measurements			
TEMPERATURES			
EL1	Max	Min	Avg
	26.1°C	25.2°C	25.5°C
Px1	Max	Min	Avg
	21.5°C	1.0°C	7.5°C
PARAMETERS			

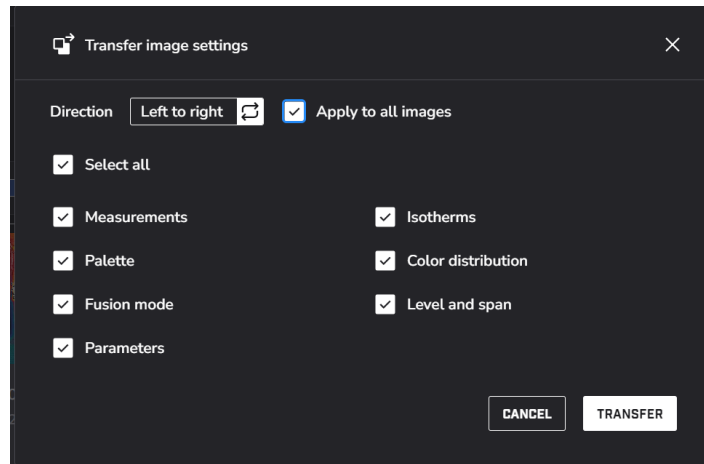
Slika 3.3: Srednja, maksimalna i minimalna vrijednost skupa točaka

Mjerenja se mogu opisno imenovati i uvesti iz jedne slike u ostale.



Slika 3.4: Paralelni prikaz i izvoz mjerenja



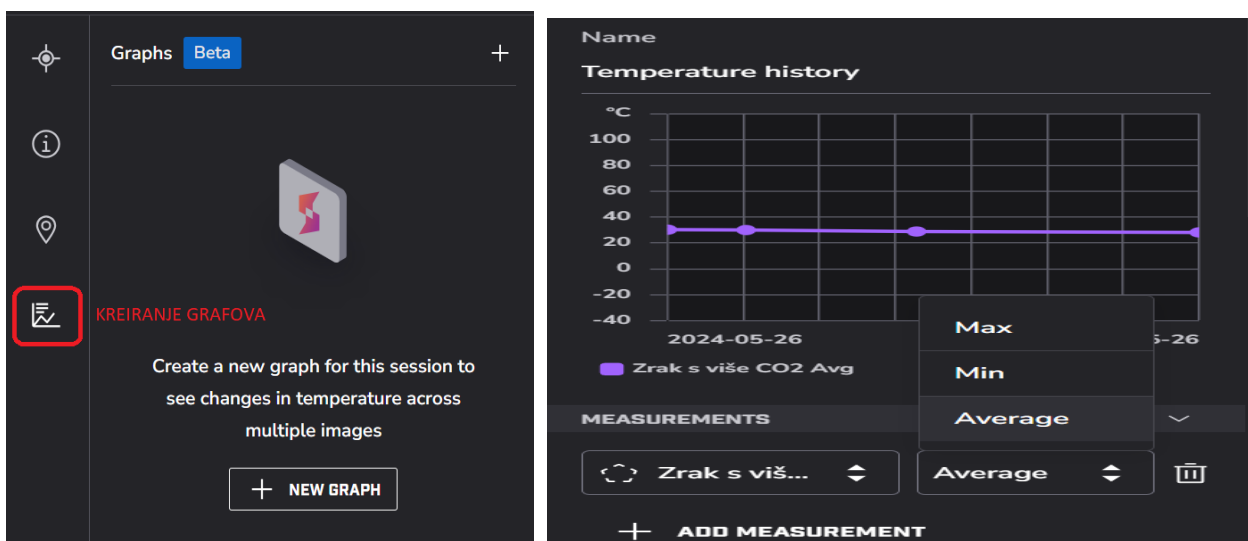


Slika 3.5: Izvoz postavka i mjerenja slike

Izvoz mjerenja neće biti moguć ako slike nisu dovoljno slične. Nakon što su mjerenja izvezena u ostale slike potrebno je proći kroz njih i ako je potrebno popraviti odabir točaka mjerenja.

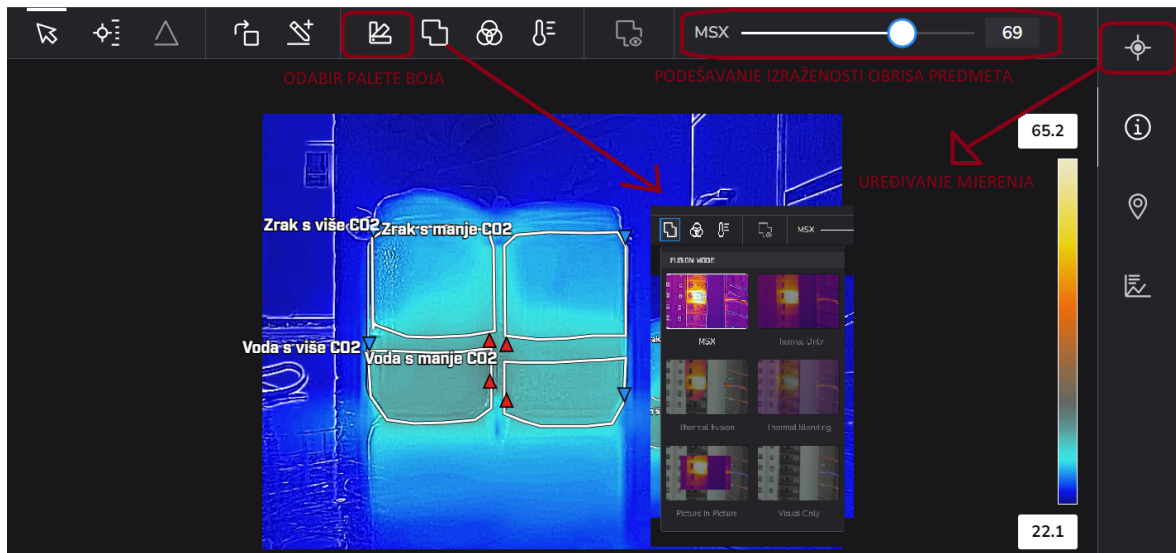
Kad su sva mjerenja odabrana, moguće ih je prikazati na grafu. Besplatna verzija Flir Ignite omogućava grafički prikaz najviše 5 skupova različitih mjerenja na jednom grafu (no grafova je moguće napraviti proizvoljno mnogo pa sva mjerenja ne moraju biti prikazana na istom grafu).

Aplikacija će mjerenja pod istim imenom grupirati zajedno, no važno je napomenuti da aplikacija skup točaka odabranih elipsom i skup točaka odabranih kvadratom ne smatra istom grupom mjerenja iako se isto zovu. Zbog toga je važno odabrati istu funkciju za označavanje točaka na svakoj slici.



Slika 3.6: Dodavanje grafa

Graf je na kraju potrebno izvesti na željeno mjesto na disku, a nakon toga ga je moguće preuzeti na računalo. Od ostalih funkcionalnosti vrijedi još spomenuti promjenu palete boja i promjenu režima prikaza (dostupni su termalni, vizualni ili kombinirani).



Slika 3.7: Paleta, podešavanje vidljivosti obrisa predmeta, uređivanje mjerenja, promjena prikaza

Promjena režima u vizualni prikaz korisna je kada je na termalnoj verziji slike teško razlikovati predmet od pozadine, a potrebno mu je označiti dijelove za analizu mjerenja.

Ovime su pokrivena najvažnija opcija Flir One i Flir Ignite aplikacija koje su korištene pri izradi pokusa. Korisniku se preporuča upoznati se s aplikacijama prije izrade pokusa.

## 4 Pokusi

### 4.1 Istraživanje 1: Usporedba zagrijavanja i hlađenja jednako osvjetljenih površina različitih materijala

**Pokus 1a: Usporedba zagrijavanja jednako osvjetljenih površina različitih materijala** Mjerenja u ovom istraživanju traju ovisno o jakosti sunca, no očekivano je da će potrajati više od sat vremena pa je preporučeno da ih učenici obave za domaću zadaću, a podaci se mogu analizirati i za vrijeme sata. Mjerenja može obaviti i profesor pa ih donijeti na sat za analizu.

**Pribor:** 3 staklene ili keramičke posudice jednakih dimenzija, zemlja, kamenčići, obična voda, termalna kamera. Snažna lampa ili osvjetljeno mjesto na suncu. Po želji se može uzeti i kutija, dovoljno velika da u nju stanu tri posudice i brašno ili neki drugi materijal za toplinsku izolaciju. Može se koristiti i zaštitna plastika s mjehurićima ili zgužvani papir koji će sadržavati mjehuriće zraka u sebi kako bi se smanjila izmjena topline kondukcijom sa okolnim zrakom i tlom. (Ako postav odstoji prije mjerenja dovoljno dugo, temperature brašna i posudica će biti podjednake.)

**Opis postava:** Posude se napune vodom, zemljom i kamenčićima i po želji se stave u kutiju s izolacijskim materijalom. Bitno je da posude budu jednakih dimenzija kako bi osvjetljene površine bile jednake.



Slika 4.1: Postav pokusa: Zagrijavanje jednako osvjetljenih površina

### **Osobitosti rada termokamere kojima se treba prilagoditi pri izradi pokusa:**

**Emisivnost** U postavkama termokamere se vrijednost emisivnosti postavi na 0.95. Ta je vrijednost najprikladnija za sve materijale korištene u pokusu. Ako se u pokusu žele koristiti neki drugi materijali, treba provjeriti da im vrijednost emisivnosti ne odskaače od emisivnosti ostalih materijala - na primjer, ne bi bilo dobro u istome pokusu koristiti neki jako reflektivan metal i zemlju.

**Ovisnost emisivnosti o kutu snimanja** Kao što smo vidjeli u drugom poglavlju, najbolje je slikati tijela pod kutom koji je manji od  $40^\circ$  u odnosu na normalu. Manji kut također znači da ćemo kamerom oslikati veći dio površine koja nas zanima, pa će mjerenja dati vjernije rezultate.

**Reflektirane zrake** Budući da termokamera osim zračenja kojemu je izvor samo tijelo snima i zračenje koje se od tijela reflektira, dok se izrađuju termosnimke najbolje je predmete zakloniti od sunca nekim većim predmetom. Tada možemo zanemariti razliku u količini reflektiranog zračenja od različitih površina.

Mogu se fotografirati i slike sa i bez zaklona od sunca (lampe) i usporediti te prokomentirati s učenicima pri obradi podataka i uvesti pojam albeda. (U ovom slučaju se pojam albeda odnosi samo na toplinski dio elektromagnetskog spektra.)

Ako nije moguće zakloniti predmete od sunca bez micanja postava, bolje je slikati na suncu nego micanjem uznemirivati površinu vode jer će se u tom slučaju njezina temperatura mijenjati, a temperature drugih površina će ostati iste.

Ako se želimo fokusirati samo na različite toplinske kapacitete tijela možemo izostaviti priču o reflektiranim zrakama.

### **Pitanja za raspravu na početku sata:**

Osjećate li se ljeti ugodnije pored vode ili na kopnu? Osjećate li se ugodnije na zemlji ili na šljunku?

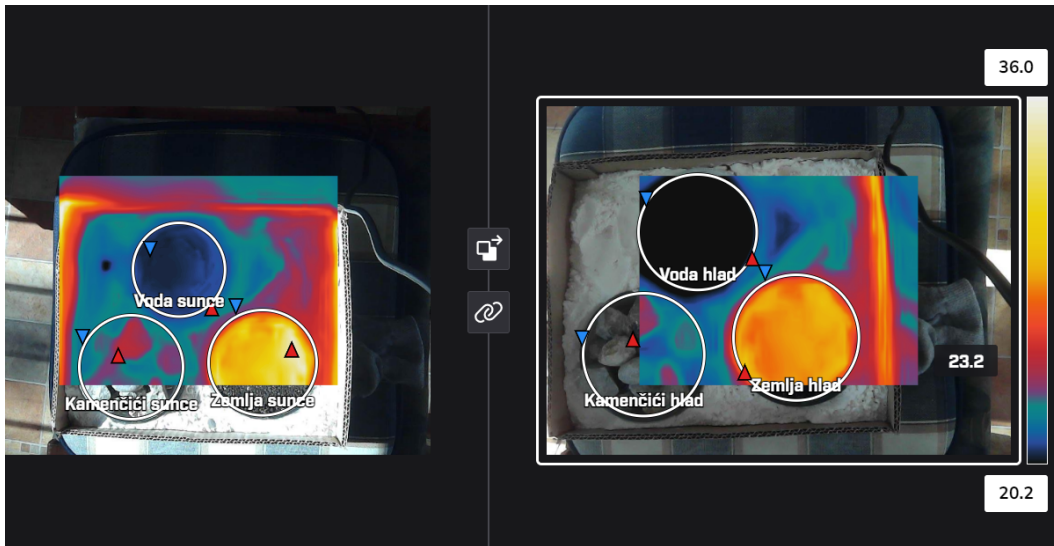
Je li to zato što je jakost sunca drugačija na tim mjestima? Kako biste to ispitali?

### **Pitanja za usmjeravanje pri razradi dobivenih podataka:**

Kakve su početne temperature predmeta slikane pod suncem i u hladu? Kako se mijenja temperatura pojedine površine naspram ostalih? Kakvi su iznosi temperatura površina kad ih zaklonimo od sunca, a kakvi kad ih ne zaklonimo?

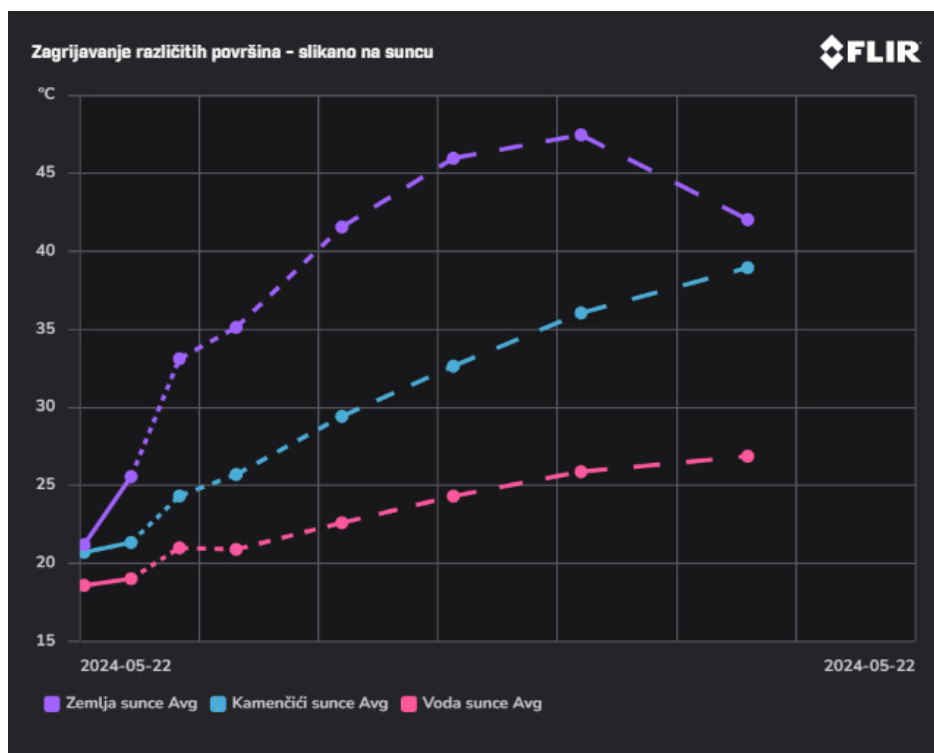
**Primjer mjerenja:** Za ovaj eksperiment je prikladno koristiti funkciju "Add measurement - Ellipse" Flir Ignite aplikacije. Aplikacija će nam za nacrtanu elipsu dati vrijednosti minimalne, maksimalne i usrednjene temperature površine.

Zadnja točka predstavlja početak hlađenja, jer je Sunce tada zaklonjeno oblacima.

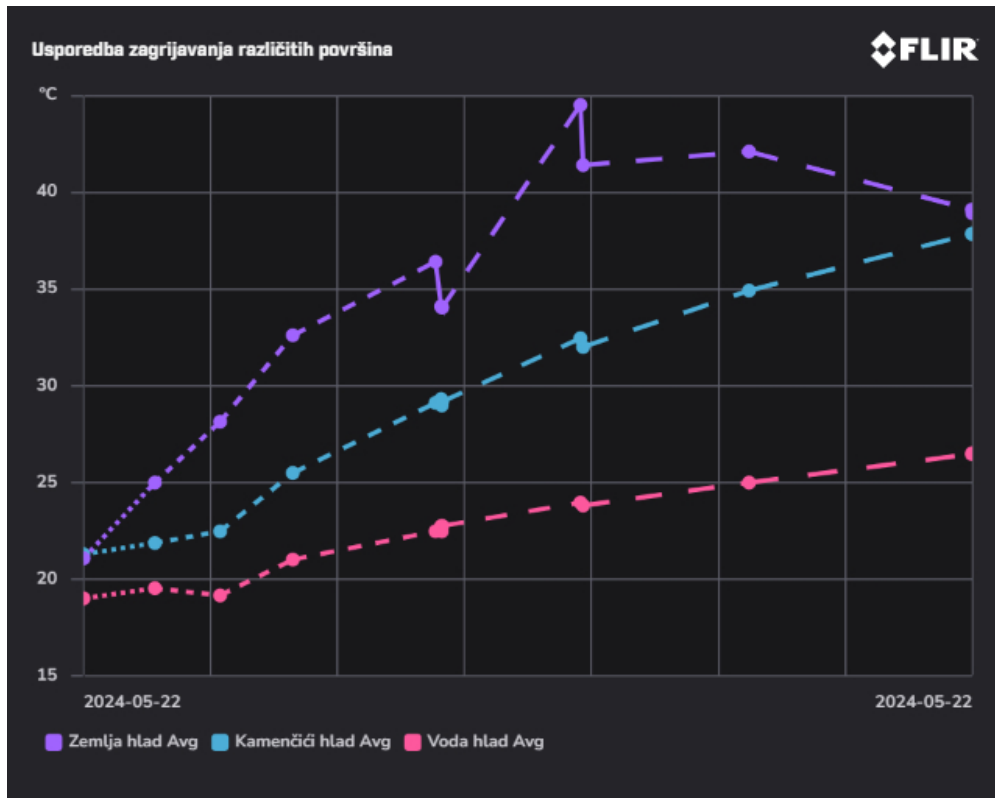


Slika 4.2: Mjerenje temperatura površina pod suncem i u hladu

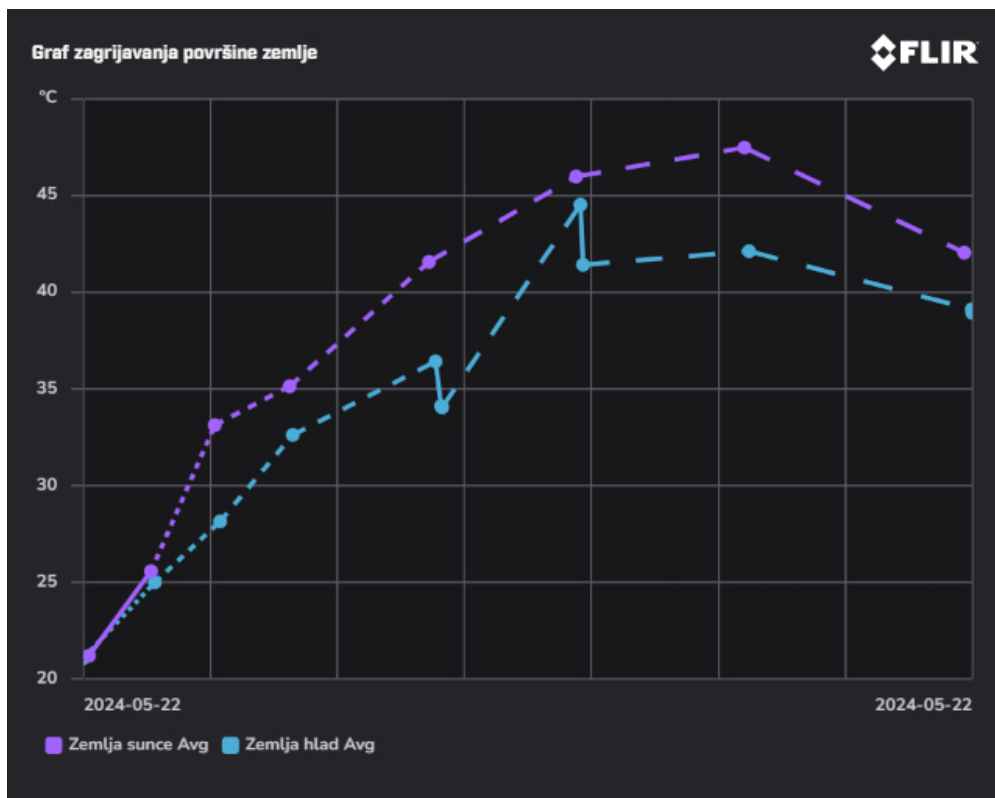
**Primjeri grafova:**



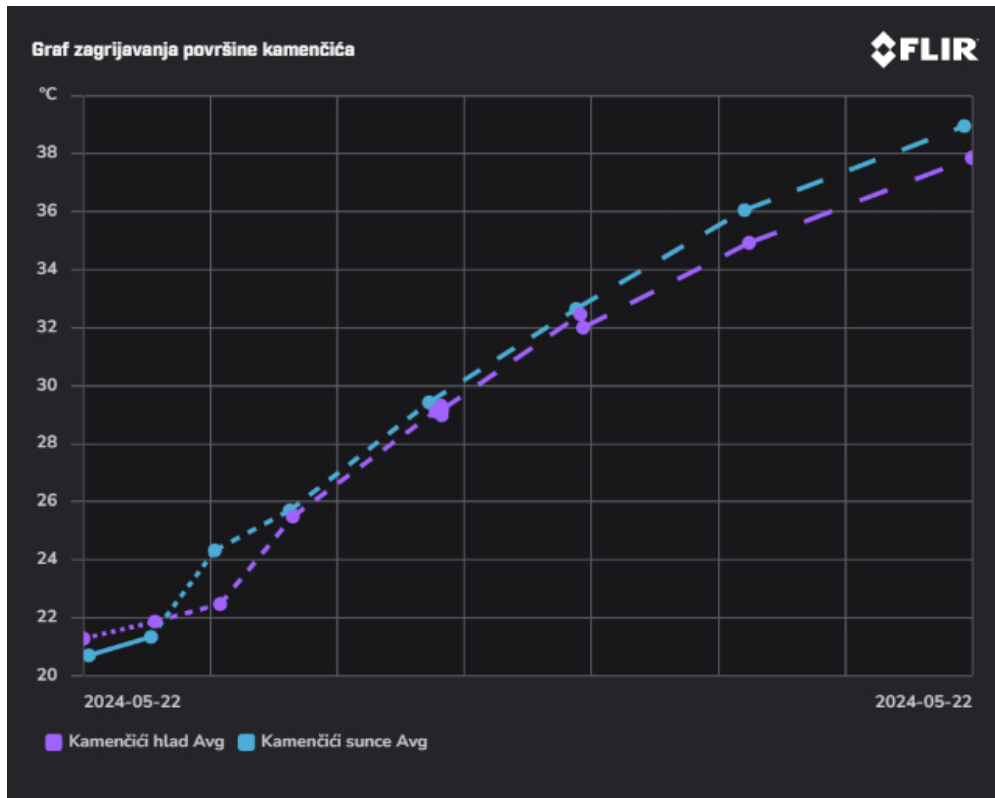
Slika 4.3: Usporedba zagrijavanja površina - slikano pod suncem



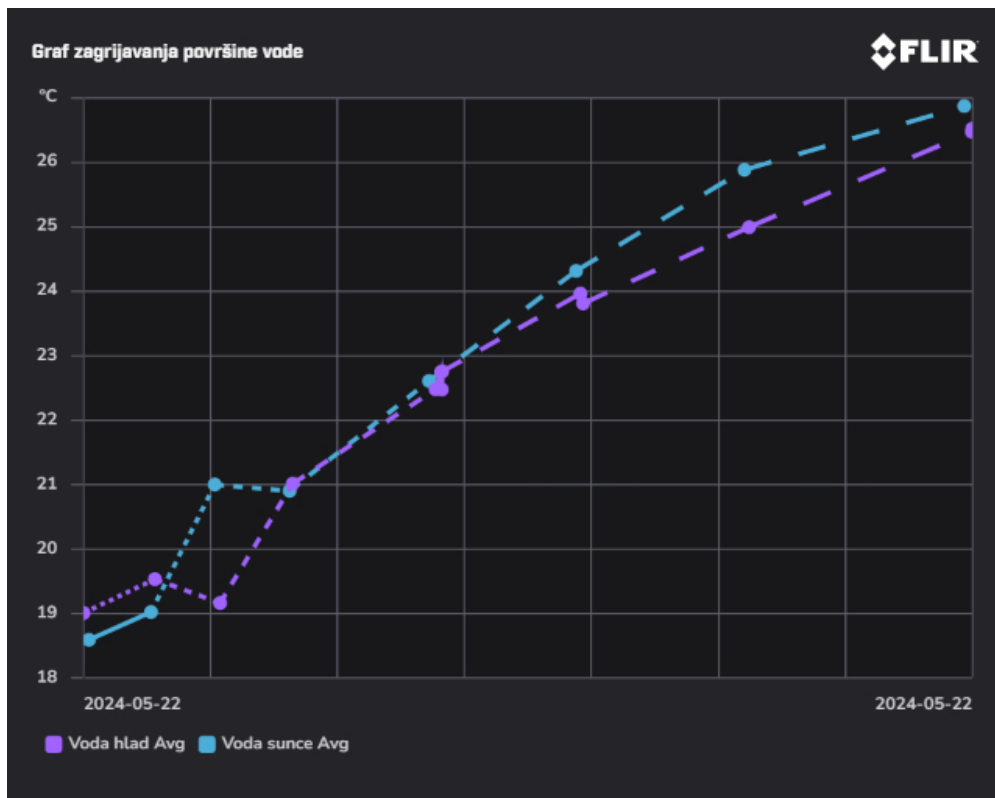
Slika 4.4: Usporedba zagrijavanja površina - slikano u hladu



Slika 4.5: Usporedba temperatura površine zemlje pod suncem i u hladu



Slika 4.6: Usporedba temperatura površine kamenčiča pod suncem i u hladu



Slika 4.7: Usporedba temperatura površine vode pod suncem i u hladu

**Opazanja:** Na početku je temperatura vode nešto niža nego temperatura kamenčića i zemlje koje su jednake. I na slikama pod suncem i u hladu temperatura zemlje je rasla najbrže, a temperatura vode najsporije. Mjerenja pojedinih porasta temperatura u hladu i na suncu se razlikuju za zemlju za do 5 °C, a za vodu i kamenčiće do 2 °C.

**Objašnjenje:** Tijela se griju različitim brzinama iako su jednako osvijetljena, djelomično zbog različitih toplinskih kapaciteta, a djelomično zbog različitih albeda.

Mjerenja u ovom pokusu nisu dovoljno egzaktna da bismo utvrdili do koje mjere jedno ili drugo igra ulogu, no na temelju grafova vremenskih ovisnosti temperatura u hladu i na suncu, možemo zaključiti da zemlja ima veći albedo (za infracrveni dio spektra) nego kamenčići ili voda jer je prirast prividnoj temperaturi od reflektiranih zraka veći za zemlju.

O albedu predmeta za vidljiv dio spektra ne možemo zaključivati na temelju mjerenja pomoću termokamere, ali možemo na temelju boje i sjajnosti predmeta koje vidimo - albedo crne zemlje za vidljiv dio spektra je nizak, dok je albedo bijelih kamenčića visok.

Iz tablica poznatih toplinskih kapaciteta znamo da je toplinski kapacitet vode najveći za navedene materijale i zato se voda najsporije zagrijava.

Substance	Heat Capacity (Jkg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )
Water	4184
Ice	2008
Average Rock	2000
Wet Sand (20% water)	1500
Snow	878
Dry Sand	840
Vegetated Land	830
Air	700

Slika 4.8: Specifični toplinski kapaciteti nekih materijala i fluida. Izvor: <https://www.e-education.psu.edu/earth103/node/1005>

Napomena: ako bismo iz ovog pokusa htjeli uspoređivati specifične toplinske kapacitete trebali bismo na početku izmjeriti i mase pojedinih materijala.



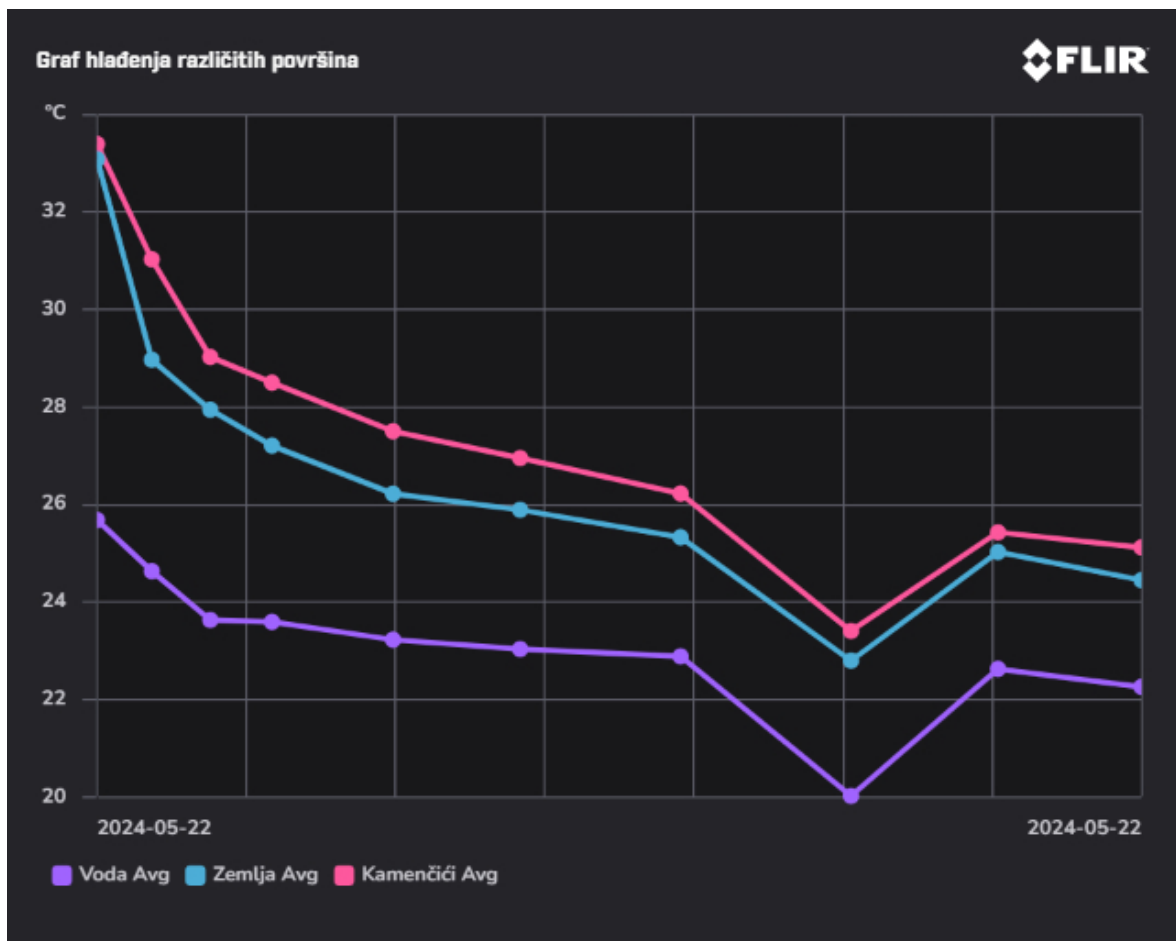
## Pokus 1b: Usporedba hlađenja površina različitih materijala

Ovaj pokus je nastavak prethodnog, samo je potrebno postav staviti u hlad i svakih par minuta bilježiti temperature te usporediti mjerenja.

**Pitanja za raspravu prije pokusa:** Mislite li da iz rezultata dobivenih iz prvog dijela pokusa možemo nešto zaključiti o brzinama hlađenja korištenih površina? Zašto? Kako biste to ispitali?

**Pitanja za usmjeravanje pri razradi dobivenih podataka:** Koje se tijelo hladi najbrže, a koje najsporije? Kolike su konačne temperature površina?

**Primjer grafa:**



Slika 4.9: Graf hlađenja različitih površina

**Opazanja:** Vidimo da je oblik grafa za brzine hlađenja jednak za sve površine. Površine se brže hlade na početku, a zatim hlađenje usporava. Zemlja i kamenčići su započeli hlađenje na višoj temperaturi i ukupno su se ohladili puno više nego voda.

**Objašnjenje:** Brzina gubitka temperature je veća što je veća razlika temperatura između površine i okoline. Tijela se hlade dok ne dođu do toplinske ravnoteže s okolinom. U ovom slučaju se tijela hlade kondukcijom i zračenjem.

**Značaj rezultata pokusa za priču o klimatskim promjenama:** Ovim pokusom, uz objašnjavanje fizike prijenosa topline, učenicima možemo dočarati utjecaj svojstava materijala na njegovo zagrijavanje i hlađenje i zašto je prikladan odabir materijala za gradnju važan za ugodan boravak u nekom prostoru.

**Pitanja za završni dio sata:** Kako biste rezultate pokusa primijenili pri gradnji svoje zamišljene kuće? Koje biste materijale odabrali?

## ***4.2 Istraživanje 2: Kako bi klimatske promjene mogle utjecati na kretanja morskih struja***

U ovom istraživanju se uz pomoć termokamere promatra kretanje vode koja dolazi u dodir s "ledenjakom" (hladnom bocom), a zatim se pomoću tog primjera objašnjava pojam termohalinske cirkulacije u oceanu, raspravlja se o utjecaju klimatskih promjena (povišenih temperatura i otapanja ledenjaka) na termohalinsku cirkulaciju i o mogućim posljedicama njenog zaustavljanja na svijet.

### **Pokus 2: Kako ledenjaci utječu na kretanje morskih struja**

Ovaj se pokus može vrlo brzo izvesti ako unaprijed stavimo bocu vode u zamrzivač. Uporaba termokamere je u ovom pokusu vrlo efektivna jer pruža prikaz kretanja raspodjele temperature vode do kojeg bismo nekom klasičnom tehnikom (npr. mjerenjem termometrom) došli jako teško - bilo bi potrebno uzeti puno mjerenja u dovoljno kratkom vremenu u različitim točkama bez da pritom utječemo na miješanje vode.

**Pribor:** Termokamera, prozirna plastična posuda tankih stijenki (npr. za kolače), voda sobne temperature u kojoj je otopljeno malo soli, boca zamrznute (ili jako hladne) vode, sol.

**Opis postava:** Prije izvođenja pokusa potrebno je bocu vode staviti u zamrzivač kako bi se voda zaledila ili ohladila ispod nule. U vodu se može dodati sol kako bi joj se točka ledišta snizila.

Kamera se fiksira i u kadar se postavi plastična posuda. U ovom pokusu ne promatramo površinu vode, već vertikalni presjek vode uz stijenku posude. U posudu se ulije voda sobne temperature i uslika se termokamerom.

Zatim se na jedan kraj posude (što bliže stjenici najbližoj kameri) u vodu postavi boca zaledene vode. Scena se promatra u aplikaciji Flir One i svako malo se uslika slika. Rezultati ovog pokusa su brzo vidljivi pa je potrebno odmah biti usredotočen na scenu.



Slika 4.10: Postav pokusa: Susret vode s ledenjakom

**Osobitosti rada termokamere kojima se treba prilagoditi pri izradi pokusa:** Kao što je opisano u drugom poglavlju, voda i plastika su dobri absorberi infracrvenog zračenja.

U ovom slučaju koristimo tanku plastiku koja će samo malo "zasjeniti" rezultate pokusa, ali će oni i dalje biti vidljivi. Drugim riječima, plastična stijenka će brzo poprimiti istu temperaturu kao i voda s kojom je u doticaju i kroz nju ćemo vidjeti presliku raspodjele temperature vode.

Što se tiče vode, iz grafa 2.3 vidimo da će već i tanak sloj vode zasjeniti temperaturu nekog tijela iza njega. To efektivno znači da promatrajući termokamerom površinu vode možemo saznati temperaturu gornjeg sloja, ali ne možemo znati kakva je temperatura slojeva ispod površinskog.

U ovom pokusu sloj vode čiju raspodjelu temperature možemo vidjeti je ovaj najbliži stijenci posude koja gleda prema kameri. Stoga ćemo bocu zaleđene vode postaviti što bliže toj stijenci, kako bi konvekcija topline bila vidljiva na kameri.

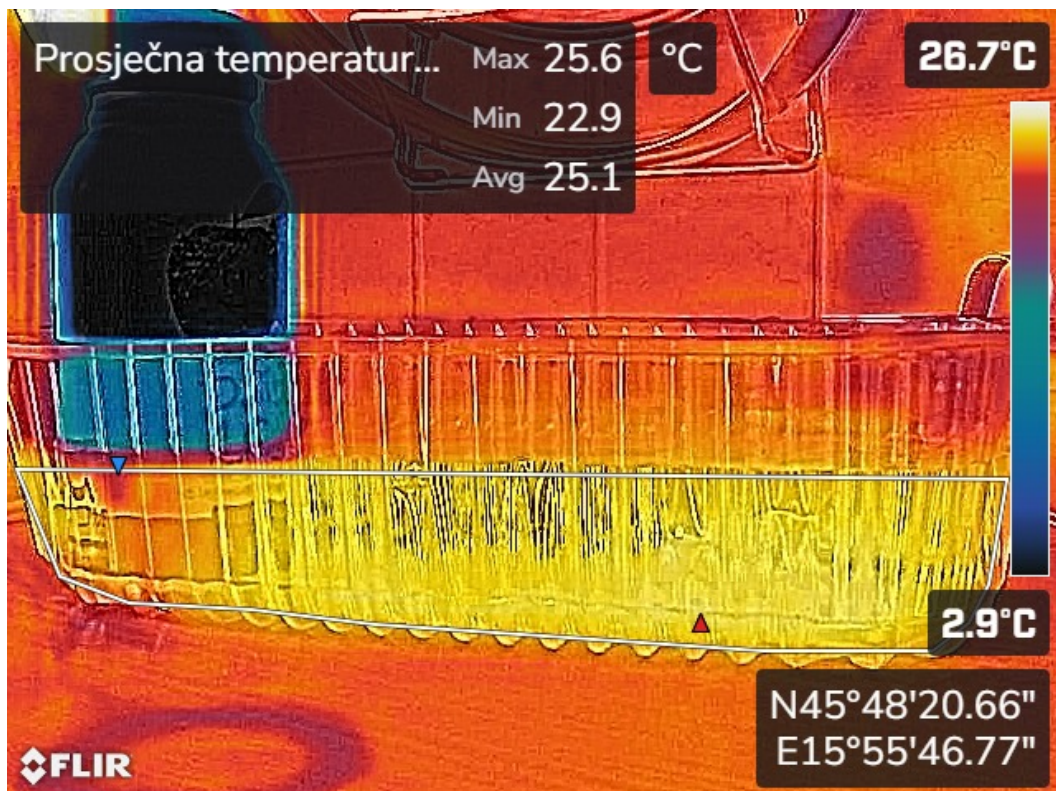
Kao i u ostalim pokusima, preporuča se suvišne predmete ukloniti iz kadra (po-

gotovo ako im iznos temperature odskake od ostatka postava), kako bi rezolucija temperature bila što bolja.

**Pitanja za raspravu na početku sata:** Zašto je more uz zapadnu obalu Amerike hladnije nego uz istočnu? Zašto su neke morske struje hladne, a neke tople? Što bi se dogodilo da nema morskih struja? Utječu li ledenjaci na kretanja morskih struja? Kako biste provjerili utjecaj ledenjaka na morske struje?

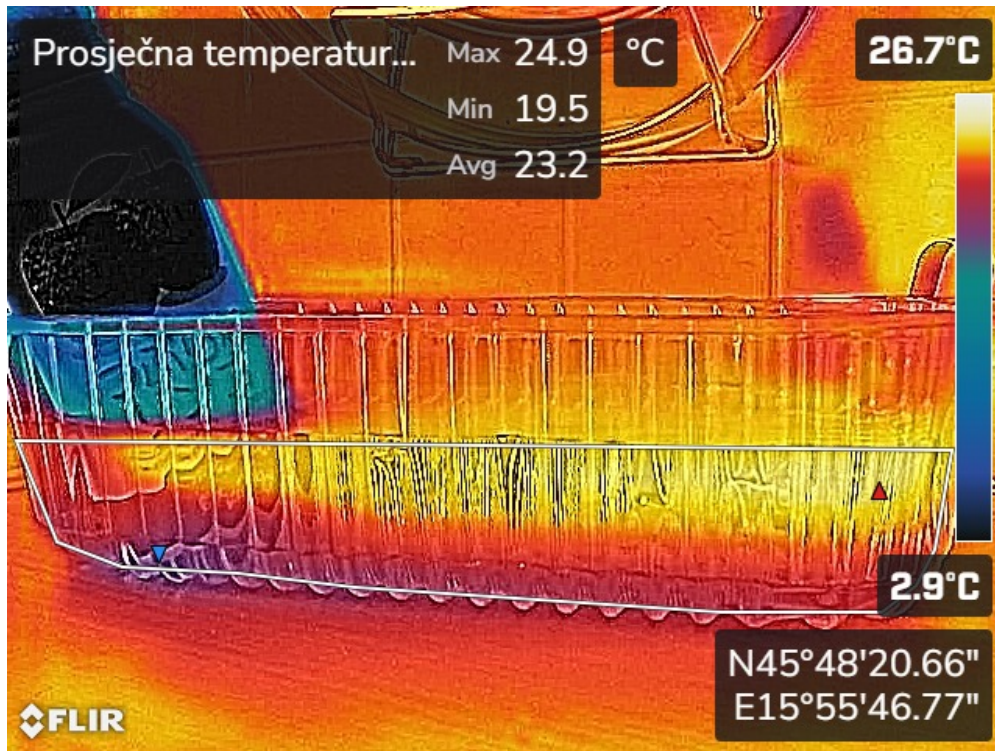
**Pitanja za usmjeravanje pri razradi dobivenih podataka:** Kako se ukupna temperatura vode mijenja tijekom vremena? Kako se mijenja temperatura pojedinih dijelova vode? Koji su mogući razlozi za to? Kako se temperatura ledenjaka mijenja tijekom vremena?

**Primjer mjerenja:** Na slikama su prikazane infracrvene snimke u različitim vremenskim trenucima  $t_0$ - $t_3$ .

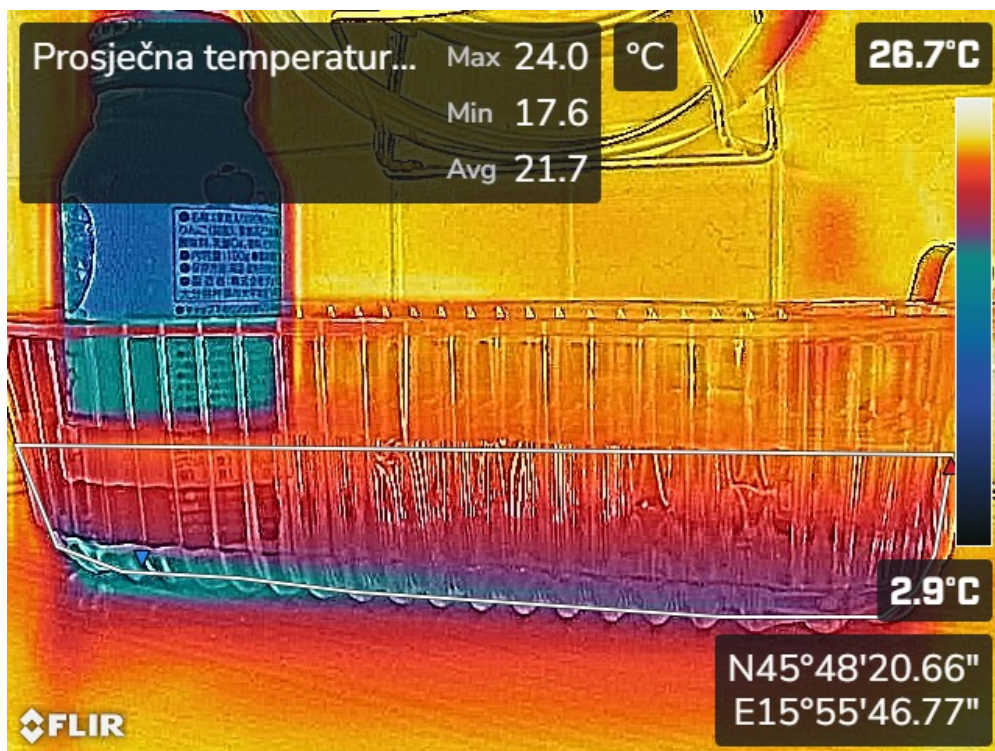


Slika 4.11: Susret vode s ledenjakom -  $t_0$

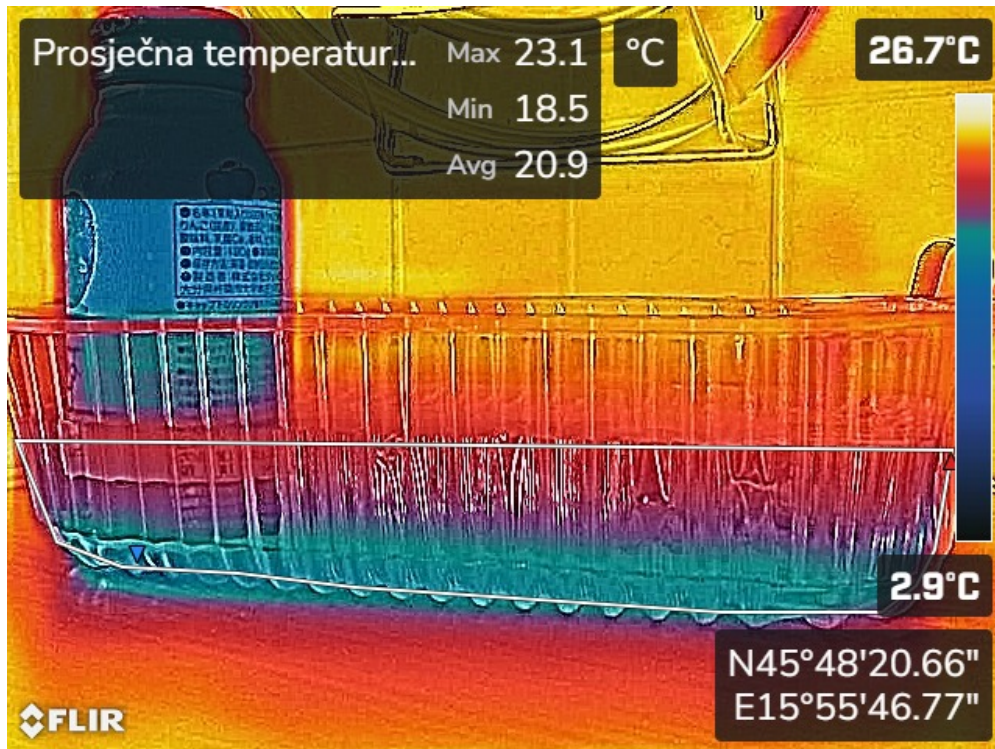




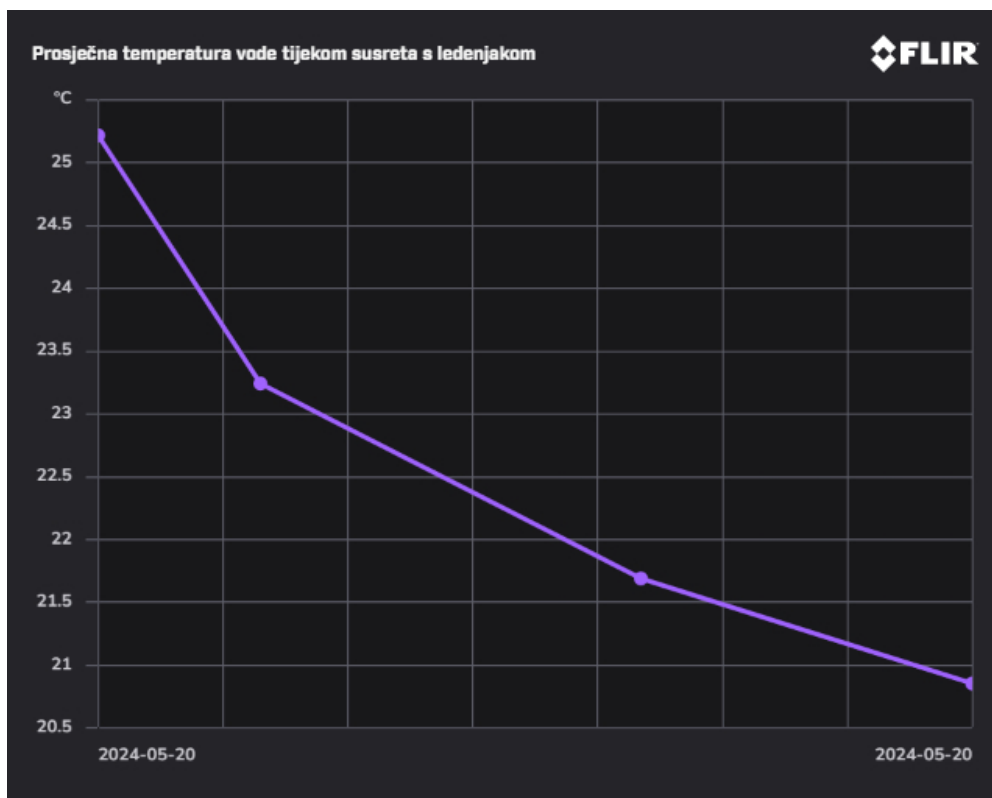
Slika 4.12: Susret vode s ledenjakom -  $t_1$



Slika 4.13: Susret vode s ledenjakom -  $t_2$



Slika 4.14: Susret vode s ledenjakom -  $t_3$



Slika 4.15: Promjena prosječne temperature vode tijekom pokusa

**Opazanja:** Voda se počela hladiti oko ledenjaka, a zatim se hladna voda proširila po dnu posude. Toplija voda se smjestila iznad nje. Prosječna temperatura cijele vode se smanjila, a temperatura hladne boce se povećala.

**Objašnjenje:** Molekule vode se sudaraju sa hladnom bocom te tako prenose energiju iz vode na bocu. Zbog toga se boca zagrijava, a voda oko boce se hladi. Hladna voda tone na dno jer je gušća od tople vode i pritom podilazi pod toplije slojeve vode. Topliji slojevi su potisnuti prema gore.

**Pitanja za završni dio sata i povezivanje s termohalinskom cirkulacijom, diskusija o utjecaju klimatskih promjena na termohalinsku cirkulaciju:**

Što će se dogoditi s toplom vodom koja je došla u kontakt s ledenjakom?

Što će se dogoditi s hladnom vodom koja se nalazi daleko od ledenjaka?

Skicirajte pokus i strelicama naznačite kretanje vode blizu i daleko od ledenjaka.

Ovdje se očekuje da će skica prikazivati kružno kretanje vode (topla voda putuje od ekvatora prema polovima po površini, a hladna od polova prema ekvatoru po dnu). To kružno kretanje vode možemo povezati s termohalinskom cirkulacijom.

Kako otapanje soli u vodi utječe na njezinu gustoću?

Ako se pri stvaranju ledenjaka ledi samo voda, a ne i sol, kako to utječe na gustoću tekuće vode na polovima?

Ako blizu ekvatora pada više kiše, kako to utječe na gustoću vode na ekvatoru? Što bi se dogodilo s kružnim kretanjem vode kad bi se ledenjaci otopili?

Za kraj se može prodiskutirati o posljedicama zaustavljanja termohalinske cirkulacije: voda bogata kisikom ne bi stizala na dno pa neki organizmi izumrli, temperaturne razlike između ekvatora i polova bi postale veće jer ne bi bilo izmjene topline konvekcijom vode, neki gradovi uz more koji se nalaze uz tople morske struje bi bili puno hladniji, itd.

Treba napomenuti da je ovo samo prikaz ideje nastanka termohalinske cirkulacije i da se ona u oceanima proteže na puno većim udaljenostima, cirkulacija vode traje jako dugo i veliku ulogu u razlici gustoća igra slanost vode.



### 4.3 Istraživanje 3: Utjecaj povećane koncentracije ugljikovog dioksida na zagrijavanje i hlađenje

**Pribor:** Dvije staklenke s jednakim količinama vode, šumeće tablete, dvije gumice, plastična vrećica, grijalica (grijaća lampa ili Sunce), termokamera

**Opis postava:** Staklenke se napune vodom do iste razine i u jednu od njih se ubaci 5-6 šumećih tableta. Obje staklenke se prekriju vrećicom i zavežu gumicom, te se postave na jednaku udaljenost od grijalice. Grijalicom se u prvom dijelu pokusa staklenke zagrijavaju, a u drugom dijelu pokusa se grijalica ugasi pa se staklenke hlade. U oba dijela pokusa je potrebno svakih 5 - 10 minuta slikati staklenke iz istog kuta.



Slika 4.16: Postav pokusa 3: Utjecaj povećane koncentracije CO<sub>2</sub> na zagrijavanje i hlađenje

**Osobitosti rada termokamere kojima se treba prilagoditi pri izradi pokusa:** Staklo i plastika su apsorberi toplinskog zračenja pa će slike koje uslikamo biti "zatomnjene", odnosno očitana temperatura će biti nešto niža nego što bi bila da nema stakla/plastike između objektiva termokamere i slikane površine. Budući da u ovom pokusu razmatramo razlike u temperaturama, a one će i dalje biti vidljive kroz staklo/plastiku, to nam neće predstavljati problem dok god koristimo stakla i plastike jednakih debljina.

Kao što će biti prikazano u primjeru mjerenja, bolje je uzimati mjerenja na kojima se vidi vertikalni presjek staklenke nego slikati staklenke odozgora.

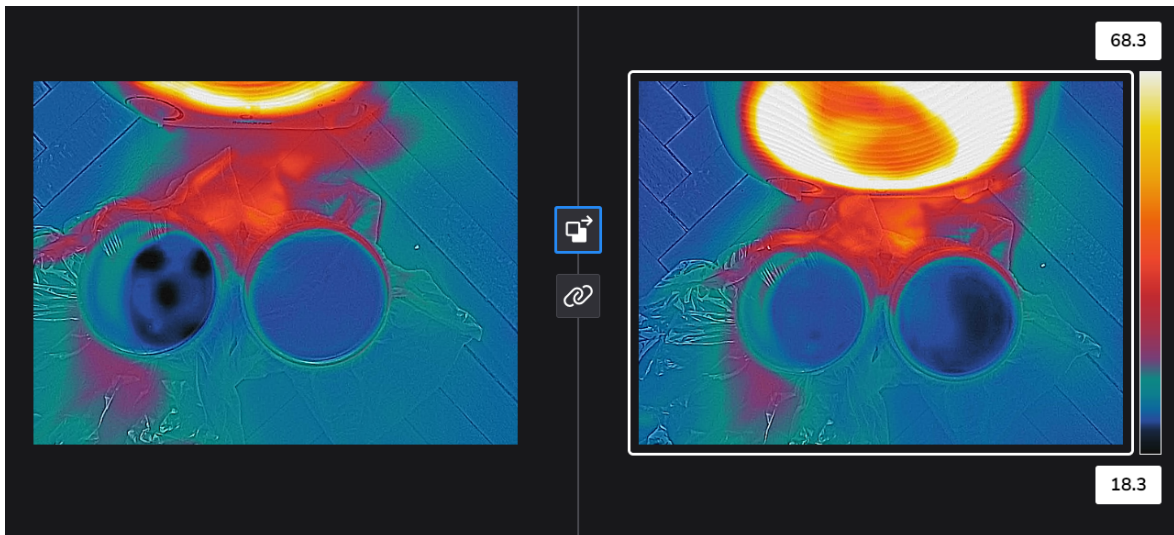
Termokamerom možemo uzeti samo mjerenja temperature površine tijela koje razmatramo, a ne i njegove unutrašnjosti, pa nam slika cijele staklenke daje bolji uvid u raspodjelu temperature unutar nje.

**Pitanja za raspravu na početku sata:** Jeste li ikad čuli za ugljikov dioksid i u kojem kontekstu? Zbog čega se koncentracija ugljikovog dioksida u atmosferi povećava? Kako to utječe na zagrijavanje i hlađenje Zemlje? Kakav je kumulativan učinak porasta razine ugljikovog dioksida?

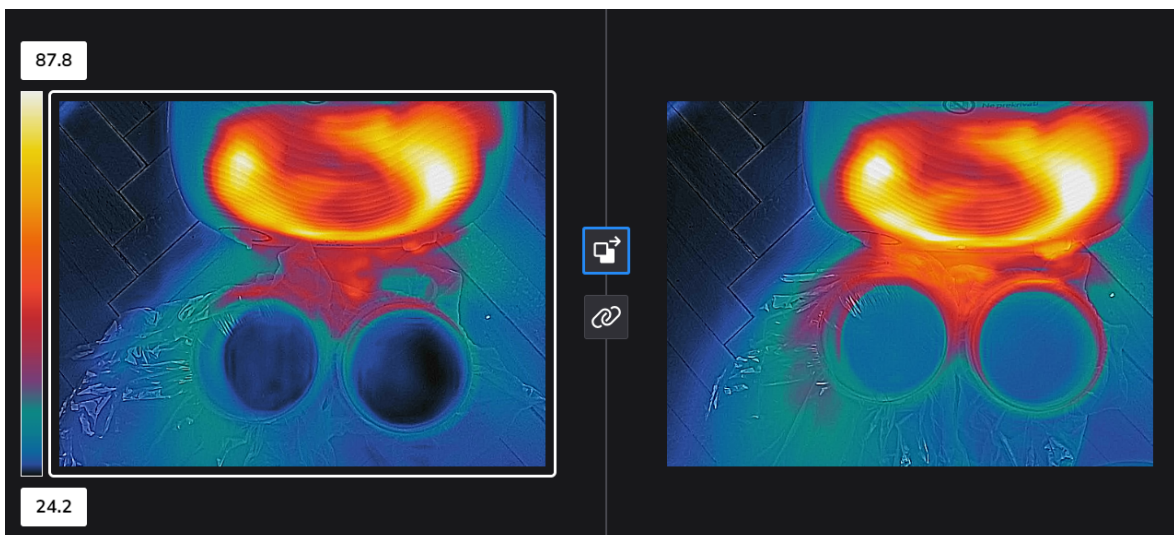
**Pitanja za usmjeravanje pri razradi dobivenih podataka:** Što možete primijetiti kad ubacite tablete u vodu? Kakva se reakcija odvija u staklenci?

Kako se mijenjaju prosječne temperature vode pri zagrijavanju i hlađenju? Kako se prosječna temperatura čitave staklenke promijenila tijekom zagrijavanja i hlađenja?

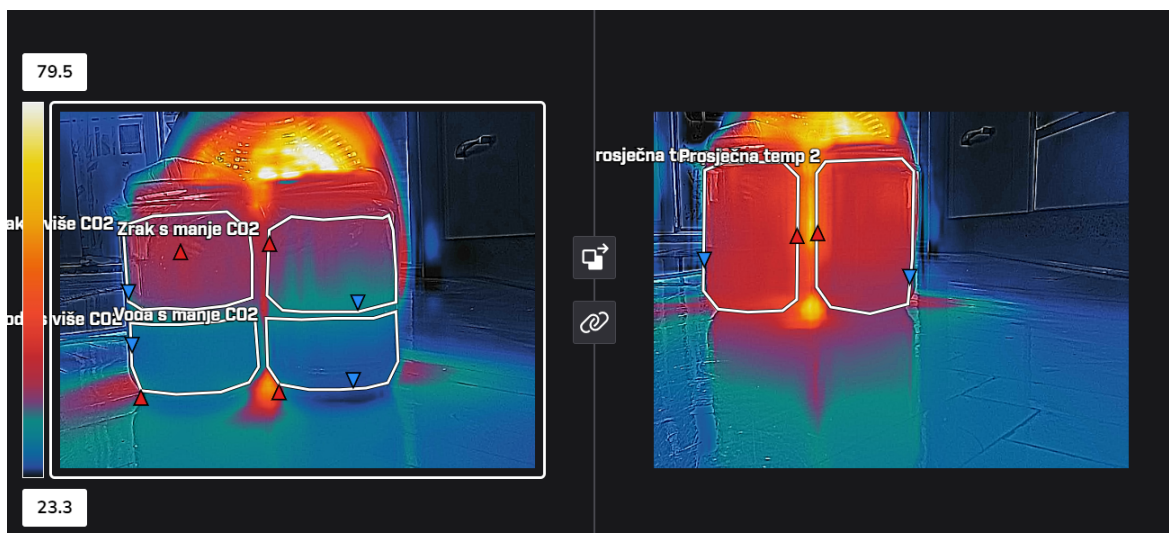
**Primjer mjerenja:** Kad tek ubacimo tablete u vodu vidjet ćemo da se iznos temperature vode snizio zbog endotermne reakcije otapanja šumećih tableta.



Slika 4.17: Pokus 3: Endotermna reakcija otapanja šumećih tableta

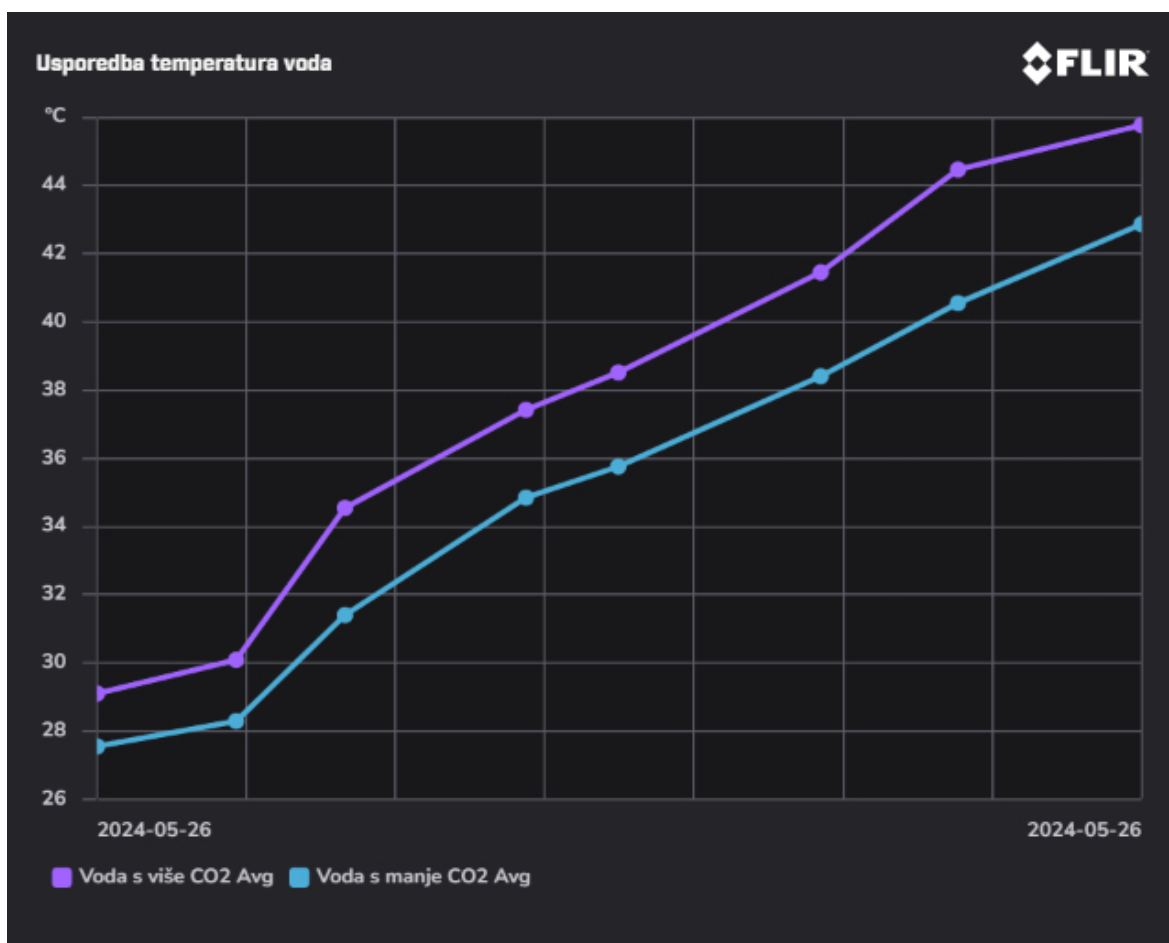


Slika 4.18: Postav 3: površinska temperatura voda se nakon nekog vremena izjednačava

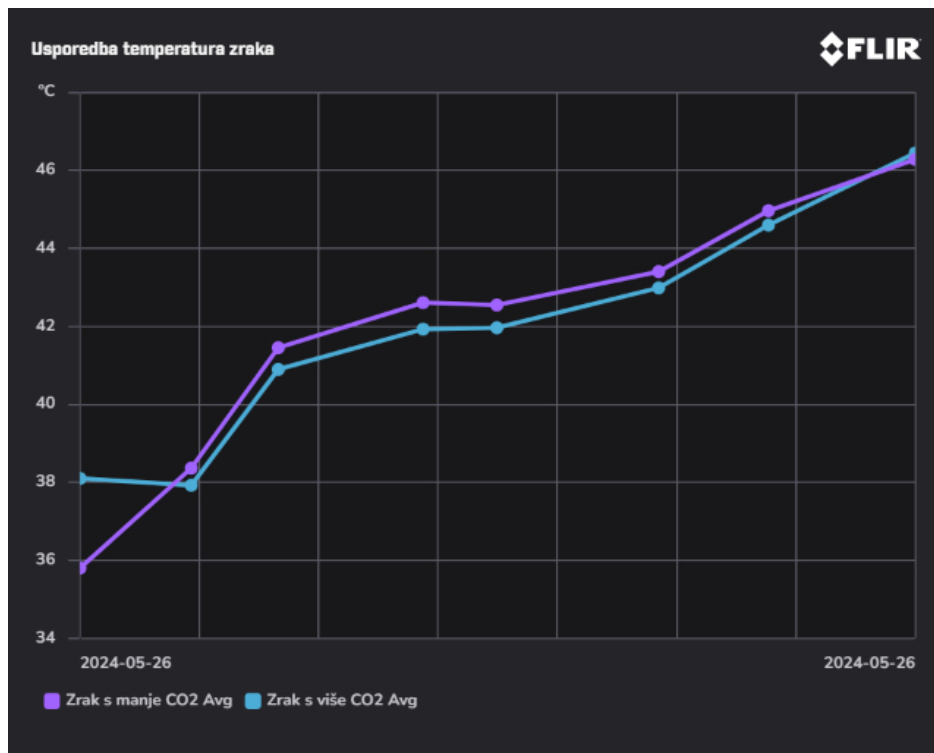


Slika 4.19: Pokus 3: prosječne temperature možemo pratiti za zrak i vodu pojedinačno ili za staklenku kao cjelinu

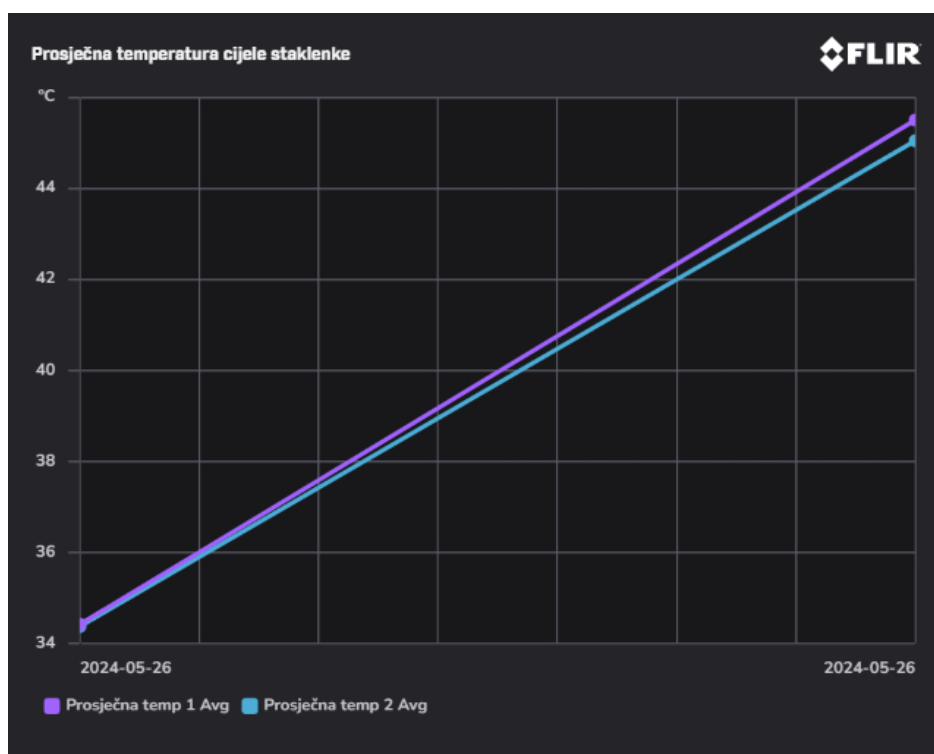
**Primjeri grafova za zagrijavanje:**



Slika 4.20: Pokus 3: Usporedba porasta prosječnih temperatura voda

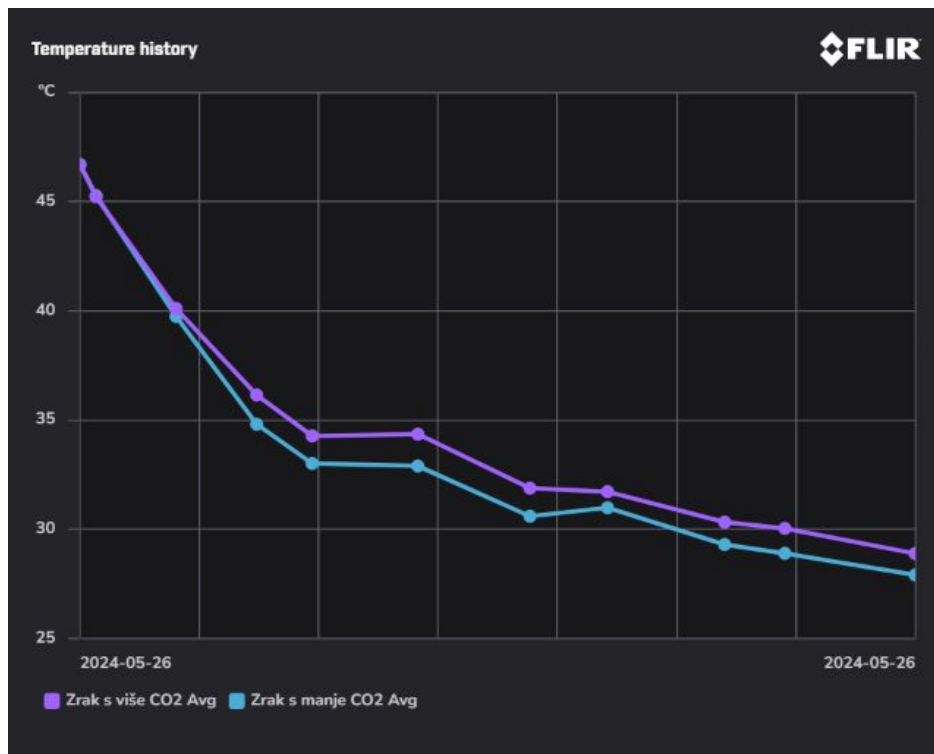


Slika 4.21: Pokus 3: Usporedba porasta prosječnih temperatura zraka

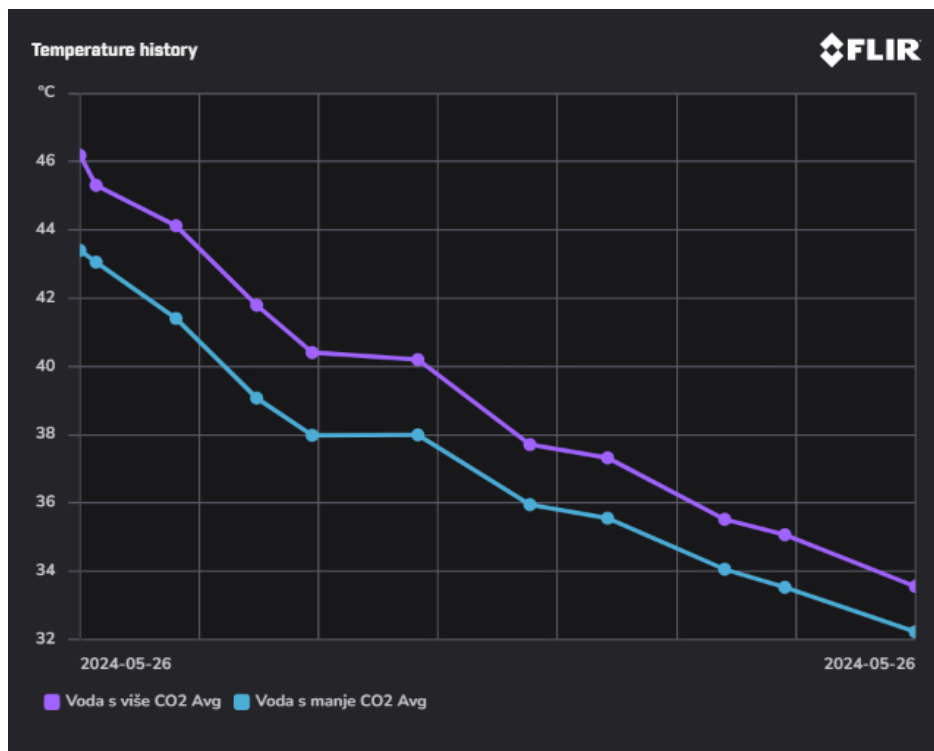


Slika 4.22: Pokus 3: Usporedba porasta prosječnih temperatura cijelih staklenka

### Primjeri grafova za hlađenje:



Slika 4.23: Pokus 3: Usporedba hlađenja zraka



Slika 4.24: Pokus 3: Usporedba hlađenja voda



Slika 4.25: Pokus 3: Usporedba hlađenja cijelih staklenka

**Opazanja:** Na početku vidimo da se voda u staklenci sa šumećim tabletama ohladila, ali je njezina temperatura nakon nekog vremena dostigla pa i nadrasla temperaturu vode u staklenci bez tableta.

Od trenutka kada smo počeli mjeriti do trenutka kada smo završili mjerenje, razlika između prosječnih temperatura voda se povećala, odnosno, voda u staklenci s tabletama se jače zagrijala.

Zrak se u obje staklenke zagrijavao podjednako, iako je u staklenci bez tableta sve do zadnje točke mjerenja malo topliji. Prema zadnjoj točki koju smo mjerili razlika između temperatura zraka se smanjuje i u zadnjoj točki prosječna temperatura zraka s tabletama je prestigla prosječnu temperaturu zraka bez tableta, no da bismo bili sigurni kako će se temperature dalje ponašati trebali bismo izmjeriti još par točaka.

Ukupna temperatura staklenke s tabletama je porasla za otprilike pola stupnja više nego temperatura staklenke bez tableta.

Kod hlađenja uočavamo da se zrak na početku u obje staklenke hladio podjednako, no s vremenom se pojavila razlika između iznosa prosječnih temperatura zraka, tako da se zrak u staklenci s tabletama hladi malo sporije.

Voda se u staklenci s tabletama hladi malo brže pa je razlika među prosječnim temperaturama na kraju hlađenja nešto manja nego na početku.



Ukupna prosječna temperatura obje staklenke se smanjila za isti iznos, no krajnja temperatura staklenke s tabletama je viša jer je bila viša i na početku hlađenja.

**Objašnjenje:** Otapanje tableta atmosferu i vodu u staklenci obogaćuje ugljikovim dioksidom. Povećana koncentracija ugljikovog dioksida doprinosi učinku staklenika pa vidimo da se staklenka s više CO<sub>2</sub> ukupno jače zagrijala i na kraju je imala višu temperaturu unatoč tome što se voda u njoj ohladila pri kemijskoj reakciji otapanja tableta.

Iako su se staklenke jednako ohladile, staklenka s tabletama je na kraju imala višu temperaturu jer joj je i temperatura prije hlađenja bila viša.

**Značaj rezultata pokusa za priču o klimatskim promjenama:** Iako je utjecaj staklenika bitan za život na Zemlji, kumulativan učinak porasta koncentracije ugljikovog dioksida (uzrokovan ljudskim djelovanjem) uzrokuje pretjerano zagrijavanje Zemlje koje dovodi do ekstremnih temperatura i sve češćih vremenskih nepogoda.

Ti vremenski ekstremi su opasni za zdravlje ljudi i životinja, djeluju nepogodno na poljoprivredu, biološku raznolikost, itd.

**Pitanja za završni dio sata:** Kakve su bile konačne temperature staklenka nakon hlađenja? Što očekujete da bi se moglo dogoditi nakon sljedećeg ciklusa zagrijavanja i hlađenja ili nakon više takvih ciklusa? Što očekujete da bi se moglo dogoditi ako bismo dodali još tableta u staklenku?

Jeste li čuli za još neke stakleničke plinove i kako oni nastaju? Kako biste vi smanjili daljnji porast stakleničkih plinova?

Ako se porast stakleničkih plinova zaustavi, mislite li da bi se Zemlja odmah ohladila? Što bi bilo potrebno napraviti da se količina stakleničkih plinova u zraku smanji?



#### **4.4 Istraživanje 4: Procjena porasta razine Sredozemnog mora**

U ovom istraživanju se može eksperimentalno naći koeficijent volumne ekspanzije vode, a zatim učenici mogu kroz vođene zadatke procijeniti koliki bi na primjer bio porast razine Sredozemnog mora ako bi mu se temperatura podigla za 5 °C.

##### **Pokus 4: Termičko širenje vode**

**Pribor:** Termokamera, prozirna slamka ili cjevčica, plastična boca, pribor za mjerenje (pomična mjerka, metar), grijalica (ili neki drugi izvor topline).

**Opis postava:** Na poklopcu od boce treba napraviti rupicu tako da cjevčica može proći kroz nju. Bocu do kraja treba napuniti vodom i staviti cjevčicu kroz rupu na poklopcu. Boca se postavi ispred grijalice i krene zagrijavati.

U trenutku kada voda dostigne neku vidljivu razinu u cjevčici potrebno je uslikati bocu termokamerom i zabilježiti razinu vode flomasterom.

Kada razina vode naraste nekoliko cm (što više to bolje), opet se zabilježi razina vode i boca se poslika termokamerom.

Zatim je potrebno (što bolje) izmjeriti dimenzije boce i cjevčice i pomoću formule za volumnu ekspanziju odrediti koeficijent volumne ekspanzije vode.

Za mjerenje početnog volumena vode može se koristiti i posuda za mjerenje ili neka druga dostupna metoda po želji. U ovom istraživanju dobiveni rezultati neće biti u potpunosti točni, ali će učenici vidjeti kako na temelju poznatih podataka mogu procijeniti neke nepoznate.

**Osobitosti rada termokamere kojima se treba prilagoditi pri izradi pokusa:** Plastika će opet malo zasjeniti mjerenja, ali ovdje je bitnija razlika između početne i konačne temperature pa nije toliko bitno da se temperatura očita u potpunosti točno.

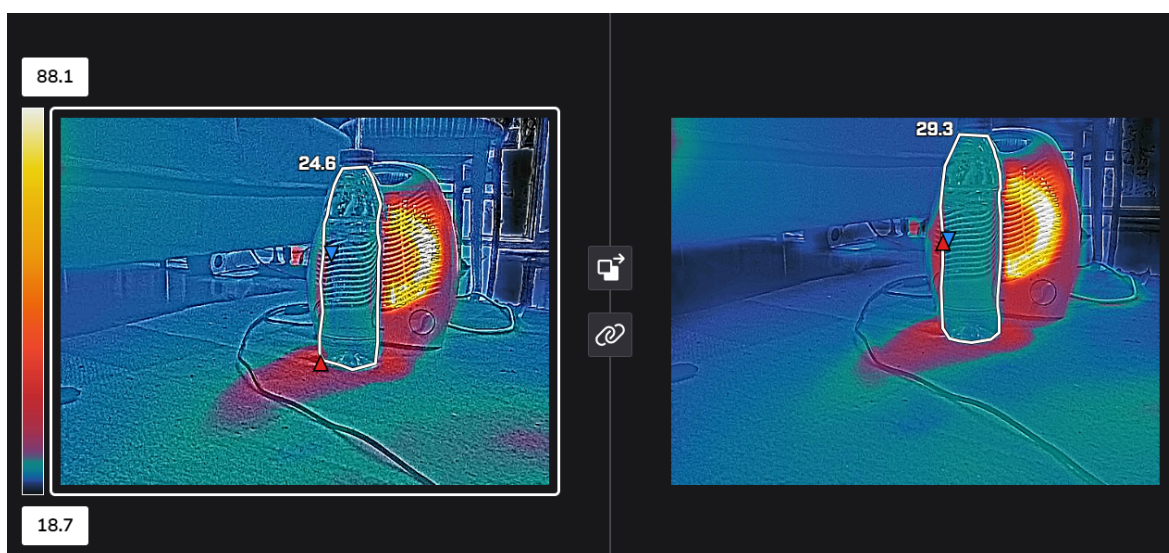
**Pitanja za raspravu na početku sata:** Mislite li da Hrvatskoj prijeti potapanje zbog porasta temperature mora? Ima li u Sredozemnom moru ledenjaka? Očekujete li da bi razina mora unatoč tome mogla porasti i zbog čega? Kako biste ispitali svoje pretpostavke?



Slika 4.26: Postav: Termalna ekspanzija vode

**Pitanja za usmjeravanje pri razradi dobivenih podataka:** Kakve su početna i konačna temperatura vode? Kolika je promjena volumena vode? Kako biste odredili koeficijent termalne ekspanzije vode? Kako možete izmjeriti početni volumen vode?

**Primjer mjerenja:**



Slika 4.27: Pokus 4: Početna i konačna temperatura vode

**Opazanja:** Vidimo da se porastom temperature razina vode podignula.

**Objašnjenje:** Voda se zagrijavanjem širi prema zakonu volumne termalne ekspanzije:

$$\delta V = \beta V \delta T \quad (4.1)$$

**Značaj rezultata pokusa za priču o klimatskim promjenama:** Porast razine oceana koji prijeti čovječanstvu nije samo posljedica otapanja ledenjaka, već i termalne ekspanzije vode. To znači da su u opasnosti od potapanja i obale i stanovnici izoliranih mora ili velikih jezera u kojima nema ledenjaka.

Korištenjem formule za termalnu ekspanziju i mjerenjem visine i promjera boce pomoću pomične mjerke, te visine stupca vode i promjera cijevi moguće je izračunati početni volumen, promjenu volumena i koeficijent termalne ekspanzije vode.

Za izmjerene podatke: visina boce = 25 cm, promjer boce = 7,5 cm, porast vode = 7,25 cm, promjer cjevčice = 3 mm, uz aproksimaciju boce i cjevčice valjkom, te uz očitane razlike temperatura  $\Delta T = 4,7 \text{ K}$  dobiva se vrijednost koeficijenta termalne ekspanzije vode

$$\beta = 98,7 \times 10^{-6}, \quad (4.2)$$

što je otprilike dva puta manje od stvarne vrijednosti.

U nastavku istraživanja učenici mogu na temelju dobivenih poznatih podataka o volumenu i površini Sredozemnog mora izračunati koliko bi porasla njegova razina kad bi mu temperatura porasla za  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ . (Za pojednostavljenje zadatka se može zanemariti nagib obale.)

**Pitanja za završni dio sata:** Koliko bi se podigla razina Atlantskog oceana da mu temperatura poraste za  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ ? Kako bi porast temperature mogao utjecati na živi svijet u moru?

## 5 Zaključak

Klimatske promjene danas su opće poznat pojam zahvaljujući njihovom čestom spominjanju u javnosti i školstvu, no fizikalni principi na kojima počiva klimatski sustav i dalje su nepoznanica većini opće populacije.

U sklopu nastave fizike moguće je, uz korištenje prikladnih alata, povezati pojmove koji se ionako već obrađuju u školi sa nekim aspektima međudjelovanja klimatskog sustava i okoliša.

Zahvaljujući osobitosti arhitekture termokamere koja joj omogućava da stvori vizualan prikaz okoline na temelju zračenja iz dijela elektromagnetskog spektra koji je ljudskom oku nevidljiv, pomoću nje je moguće konstruirati i izvesti pokuse koji produbljuju učeničko znanje prezentirajući važne fizikalne koncepte.

Pokusi prikazani u ovome radu prikladni su za izvođenje u sklopu nastave fizike, ali oni se dotiču tema i iz drugih prirodoslovnih predmeta kao što su biologija, kemija, geografija i drugi.

Na primjeru klimatskih promjena možemo vidjeti koliko je važno rješavanju problema pristupati sa interdisciplinarnog stajališta, no to vrijedi i za sve ostale probleme koji su značajni sada ili će to tek postati.

S obzirom na profesorima vrlo poznat problem učeničkog odjeljivanja znanja (na satu matematike znaju za Pitagorin poučak, a na satu fizike ne), smatram da je pri podučavanju važno pokušati učenicima dati "širu sliku" o nekoj tematici, a to uključuje povezivanje gradiva više školskih predmeta te primjenu na stvarnim i globalno važnim problemima kao što je problem klimatskih promjena.

Zbog svoje nesvakidašnjosti, termokamera bi u rukama učenika mogla produbiti znatiželju onoga koji njome barata pa je zbog toga idealan alat ne samo za vodene pokuse, već i za istraživanja otvorenog tipa, kako u nastavi fizike, tako i u nastavi ostalih predmeta i izvannastavnim aktivnostima.

## NASTAVNA PRIPREMA IZ FIZIKE

<b><u>PROFESOR:</u></b>	
<b><u>ŠKOLA:</u></b>	
<b><u>RAZRED:</u></b>	2. razred srednje škole
<b><u>NASTAVNA JEDINICA:</u></b>	Volumno termičko širenje
<b><u>PREDVIĐENI BROJ SATI:</u></b>	2
<b><u>PREDMETNI ISHODI :</u></b>	
<b><u>RAZRADA ISHODA:</u></b>	
FIZ SŠ A.2.2. Primjenjuje model čestične građe tvari.	Objašnjava strukturu tvari. Objašnjava četiri agregacijska stanja tvari i međumolekulske djelovanje. Objašnjava toplinsko širenje tijela i primjene.
FIZ SŠ A.2.8. Rješava fizičke probleme.	Vizualizira problemske situacije. Identificira ciljeve rješavanja problema. Izabire potrebne informacije i primjenjiva fizička načela. Konstruira plan rješavanja problema. Kvalitativno zaključuje primjenjujući fizičke koncepte i zakone. Primjenjuje i pretvara mjerne jedinice.
FIZ SŠ A.2.9. Istražuje fizičke pojave.	Istražuje prirodne pojave. Istražuje pojavu izvodeći učenički pokus.
<b><u>MEĐUPREDMETNI ISHODI (OČEKIVANJA MEĐUPREDMETNIH TEMA):</u></b>	
<u>Osobni i socijalni razvoj</u> osr B.4.2. Suradnički uči i radi u timu.	
<u>Učiti kako učiti:</u> uku A.4/5.1.1. Upravljanje informacijama Učenik samostalno traži nove informacije iz različitih izvora, transformira ih u novo znanje i uspješno primjenjuje pri rješavanju problema. uku A.4/5.3.3. Kreativno mišljenje Učenik kreativno djeluje u različitim područjima učenja. uku D.4/5.2. 2. Suradnja s drugima	

Učenik ostvaruje dobru komunikaciju s drugima, uspješno surađuje u različitim situacijama i spreman je zatražiti i ponuditi pomoć.

Održivi razvoj:

odr A.4.3. Procjenjuje kako stanje ekosustava utječe na kvalitetu života.

Uporaba informacijske i komunikacijske tehnologije:

ikt C.4.1. Učenik samostalno provodi složeno istraživanje radi rješavanja problema u digitalnome okružju.

ikt C.4.2.

Učenik samostalno provodi složeno pretraživanje informacija u digitalnome okružju.

ikt D.4.2.

Učenik argumentira svoje viđenje rješavanja složenoga problema s pomoću IKT-a

**KORELACIJA S DRUGIM PREDMETIMA**

KEMIJA:

KEM SŠ D.2.1. Povezuje rezultate pokusa s konceptualnim spoznajama.

KEM SŠ D.2.2. Primjenjuje matematička znanja i vještine.

GEOGRAFIJA:

GEO SŠ B.C.1.8. Učenik objašnjava utjecaj voda na naseljenost i gospodarski razvoj na primjerima iz svijeta i Hrvatske koristeći se geografskim kartama i IKT-om.

GEO SŠ B.1.3. Učenik objašnjava utjecaj klimatskih modifikatora na određene klimatske elemente koristeći se geografskim kartama i IKT-om.

**VRSTA NASTAVE:**

**ISTRAŽIVAČKI USMJERENA  
NASTAVA**

**NASTAVNE METODE :**

Istraživački pokus, razredna rasprava, rješavanje zadataka u skupinama

**OBLICI RADA :**

Frontalni, rad u skupinama, traženje informacija u digitalnom okruženju

**NASTAVNA POMAGALA I SREDSTVA:**

Termokamera, laptop(i), programi Flir One i Flir Ignite, radni listići, prozirna slamka ili cjevčica, plastična boca, pribor za mjerenje (pomična mjerka, metar), grijalica (ili neki drugi izvor topline), ploča.

**TIJEK NASTAVNOG SATA**

**Uvodni dio**

**Pitanja za raspravu:** Mislite li da Hrvatskoj prijete potapanje zbog porasta temperature mora? Ima li u Mediteranskom moru ledenjaka? Očekujete li da bi razina mora unatoč tome mogla porasti i zbog čega? Kako biste ispitali svoje pretpostavke?

Objašnjavanje postava pokusa učenicima i kratko upoznavanje sa svrhom termokamere.

Što očekujete da će se dogoditi tokom pokusa?

**Demonstracijski pokus:** U čep boce je utaknuta prozirna slamka i boca je napunjena vodom do vrha. Vodu zagrijavamo grijalicom. Učenici dolaze do stola pomoću termokamere uslikati mjerenja na početku i na kraju promatranja te zabilježiti i očitati porast razine vode.

Učenici skiciraju pokus i rezultate, rasprava o rezultatu pokusa.  
Uvodi se pojam volumnog termičkog širenja i pripadna formula.

Zaključak: Porast razine oceana koji prijete čovječanstvu nije samo posljedica otapanja ledenjaka, već i termalne ekspanzije vode. To znači da su u opasnosti od potapanja obale i stanovnici izoliranih mora ili velikih jezera u kojima nema ledenjaka.

### Središnji dio

Učenicima se podijele radni listići: „Procjena porasta razine Sredozemnog mora“. Povratak na početnu raspravu o Sredozemnom moru i značenju rezultata pokusa.

Kako biste na temelju rezultata pokusa predvidjeli koliko bi mogla porasti razina mora kad bi mu iznos temperature porastao za 5 °C? Koje veličine su vam potrebne i kako ih možete pronaći? Kako možete izračunati koeficijent volumne ekspanzije vode?

Kako ćete saznati preostale veličine? (Profesor vodi učenike i pomaže im donijeti potrebna pojednostavljenja, npr. pretpostavka da je granica obale vertikalna radi lakšeg izračuna porasta razine mora.)

**Istraživačko pitanje: Koliko bi porasla razina sredozemnog mora pri porastu temperature mora od 5 °C?**

Istraživanje podataka i izračun na temelju pronađenih podataka: Učenici vođeni radnim listićem kroz međusobnu raspravu koju nadgleda profesor zaključuju koje su im fizikalne veličine potrebne. Koeficijent volumne ekspanzije je potrebno izračunati na temelju uvodnog pokusa.

**Rad u grupi:** Učenici dogovaraju podjelu rada u grupi, dio grupe istražuje potrebne podatke i vrši promjenu mjernih jedinica, drugi dio grupe vrši mjerenja aparature pokusa za izračun koeficijenta volumne ekspanzije vode (mjerenje volumena boce i slamke, porasta volumena vode), a treći dio analizira mjerenja termokamere pomoću Flir Ignite programa.

Učenici ostatku grupe iznose svoja mjerenja i pronađene podatke i dogovaraju kako izvršiti potrebne izračune za pronalaženje odgovora te završavaju pokus.

### Završni dio

Usporedba dobivenih rezultata i rasprava o mogućim posljedicama porasta razine mora na obalu i njezino stanovništvo. Rasprava o korištenim web izvorima i njihovoj pouzdanosti. Rasprava o porastu temperature na život u vodi i posljedice na ljudske djelatnosti kao što su ribolov i uzgoj školjaka.

**Zadaci za vježbu (učenici dolaze na ploču):**

1. Volumen mora B je dva puta veći od volumena mora A. Ako temperature oba mora zagrijavanjem podignemo za jednak iznos, akva će biti promjena volumena mora B u odnosu na promjenu volumena mora A?
2. Nekoju tekućinu zagrijavanjem za 10 °C volumen poraste tri puta. Za koliko stupnjeva treba zagrijati tekućinu da bi joj volumen porastao 7 puta?

**Radni listić: Porast razine Sredozemnog mora**

1. Objasnite značaj rezultata pokusa s termokamerom u kontekstu promjene razine mora s porastom temperature:
2. Koja formula opisuje širenje mora u ovisnosti o porastu temperature mora? Koje su vam veličine potrebne da biste predvidjeli porast razine Sredozemnog mora u ovisnosti o porastu temperature?
3. Koje su vam veličine poznate?
4. Kako možete izračunati koeficijent volumnog termičkog širenja vode na temelju rezultata iz prethodnog pokusa?
5. Koje su vam veličine još potrebne?
6. Opišite kako ste mjerili veličine iz pokusa i zapišite dobivene rezultate:
7. Prikažite izračun koeficijenta volumnog termičkog širenja vode:
8. Zapišite vrijednosti koje ste pronašli za preostale veličine i navedite literaturu s weba:



9. Prikažite izračun porasta razine mora.

10. Uvrstite pronađene veličine u formulu za ekspanziju Sredozemnog mora i prikažite ovisnost o temperaturi grafom:

## Literatura

- [1] NASA: Extreme weather and climate change, <https://climate.nasa.gov/extreme-weather>, datum pristupa stranici: 06.02.2024.
- [2] Abbass K., Qasim M. Z., Song H., Murshed M., Mahmood H., Younis I.: A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures, A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures Volume 29, str. 42539–42559, 2022.
- [3] Ghil M., Lucarini V: The physics of climate variability and climate change, Reviews of Modern Physics, Volume 92, No. 3, [https://centaur.reading.ac.uk/91299/1/GhilLucarini2020\\_RevModPhysics.pdf](https://centaur.reading.ac.uk/91299/1/GhilLucarini2020_RevModPhysics.pdf), datum pristupa stranici: 02.06.2024.
- [4] UCAR: Predictions of Future Global Climate, <https://scied.ucar.edu/learning-zone/climate-change-impacts/predictions-future-global-climate>, datum pristupa stranici: 02.06.2024.
- [5] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja: Prilagodba klimi, <https://prilagodba-klimi.hr/>, datum pristupa stranici: 02.06.2024.
- [6] [MZO] Ministarstvo znanosti i obrazovanja RH (2019), Kurikulum nastavnoga predmeta Priroda za osnovne škole, Zagreb: Ministarstvo znanosti i obrazovanja, NN 7/2019
- [7] [MZO] Ministarstvo znanosti i obrazovanja RH (2019), Kurikulum nastavnoga predmeta Geografija za osnovne škole i gimnazije, Zagreb: Ministarstvo znanosti i obrazovanja, NN 7/2019
- [8] Haglund J., Jeppsson F., Hedberg D., Schönborn K. J. Students' framing of laboratory exercises using infrared cameras, Physical Review Special Topics - Physics Education Research., 2015.
- [9] Nilsson F. Intelligent Network Video: Understanding Modern Video Surveillance Systems, Second Edition, 2009.
- [10] Vollmer M., Möllmann K.-P. Infrared thermal imaging as a tool in university physics education, Brandenburg, 2006.

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0143-0807/28/3/S04>,  
datum pristupa stranici: 28.05.2024.

[11] Vollmer M., Möllmann K.-P. Infrared Thermal Imaging, Second Edition, Wiley, 2018.

[12] Flir One Pro Datasheet

[https://www.tme.eu/Document/59cbd6f752d0ccad7512533cb6ed40e2/flir-one-pro\\_datasheet.pdf](https://www.tme.eu/Document/59cbd6f752d0ccad7512533cb6ed40e2/flir-one-pro_datasheet.pdf), datum pristupa stranici: 28.05.2024.

[13] NASA - Hydrologic cycle <https://gpm.nasa.gov/education/water-cycle/hydrologic-cycle>, datum pristupa stranici: 28.05.2024.

[14] Flir Ignite, <https://ignite.flir.com/>