

»Mladi za napredek Maribora 2017«

34. srečanje

IZKORISTEK IN SEVANJE INDUKCIJSKEGA KUHALNIKA

FIZIKA

Raziskovalna naloga

PROSTOR ZA NALEPKO

Avtor: NINA BERGLEZ
Mentor: MARKO JAGODIČ
Šola: II. GIMNAZIJA MARIBOR

2017, Maribor

»Mladi za napredek Maribora 2017«

34. srečanje

**IZKORISTEK IN SEVANJE INDUKCIJSKEGA
KUHALNIKA**

FIZIKA

Raziskovalna naloga

PROSTOR ZA NALEPKO



2017, Maribor

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	Namen raziskovalne naloge	1
2	TEORETIČNO OZADJE	2
2.1	Indukcijski kuhalnik	2
2.1.1	Indukcija	2
2.1.2	Zgradba in opis delovanja indukcijskega kuhalnika	2
2.1.3	Učinkovitost in posebnosti delovanja indukcijskega kuhalnika	3
3	DELOVANJE INDUKCIJSKEGA KUHALNIKA	4
3.1	Frekvenca sevanja valovanja, ki ga oddaja indukcijski kuhalnik	5
3.2	Jakost sevanja valovanja indukcijskega kuhalnika	5
3.2.1	Jakost sevanja v odvisnosti od oddaljenosti od kuhalnika	6
3.2.2	Jakost sevanja v odvisnosti od kota	7
3.3	Spreminjanje moči indukcijskega kuhalnika	8
3.4	Frekvenčna analiza zvoka, ki ga oddaja indukcijski kuhalnik	10
3.5	Analiza segrevanja dna posode z IR kamero	10
4	DOLOČANJE IZKORISTKA INDUKCIJSKEGA KUHALNIKA	14
4.1	Materiali in oprema	14
4.2	Opis eksperimentov s segrevanjem vode, rezultati in interpretacija rezultatov	16
4.2.1	Poskusi s segrevanjem vode	16
4.2.2	Odvisnost izkoristka od premera lonca (Eksperiment 1)	17
4.2.3	Odvisnost izkoristka od premika po plošči (Eksperiment 2)	19
4.2.4	Odvisnost izkoristka od nastavljljive moči delovanja (Eksperiment 3)	20
4.2.5	Odvisnost izkoristka od višine lonca (Eksperiment 4)	22
4.2.6	Merjenje odvisnosti jakosti sevanja od premera loncev (Eksperiment 5)	23
5	ZAKLJUČEK	25
5.1	Uporaba indukcijskega kuhalnika s čim manjšo izpostavljenostjo sevanju	25
5.2	Energijsko učinkovita raba indukcijskega kuhalnika	25
5.3	Možne izboljšave in predlogi za nadaljnje raziskave	26

6	DRUŽBENA ODGOVORNOST	28
7	BIBLIOGRAFIJA	29
7.1	Viri slik	30
8	DODATEK	32

POVZETEK

V raziskovalni nalogi smo se ukvarjali z delovanjem in prednostmi ter slabostmi indukcijskega kuhalnika, s poudarkom na podrobni analizi njegovega izkoristka. Na podlagi eksperimentov smo preučili, kako vplivajo različni dejavniki, na izkoristek kuhalnika, ter njegovo sevanje med uporabo. Dejavniki, ki smo jih vključili v raziskano so velikost, oblika, vrsta in položaj posode, ter njena postavitev na kuhalnik. Glavna eksperimentalna oprema, ki smo jo pri raziskavi uporabili so merilnik nizkofrekvenčnega EM valovanja, termočlen priključen na vmesnik za avtomatizirano zajemanje podatkov in IR kamera. Rezultati naloge so med drugim pokazali, da izbira ustrezne posode in njena pravilna uporaba močno vpliva na učinkovitost kuhanja z indukcijskim kuhalnikom, da pa dražja posoda ni nujno boljša. Nepravilna uporaba tudi bistveno poveča izsevano elektromagnetno valovanje, se pa v nalogi nismo ukvarjala s tem, ali je le-to človeku škodljivo.

ZAHVALA

Lepo se zahvaljujem svojemu mentorju, ki me je pri raziskovalnem delu vestno usmerjal, mi pomagal pridobiti ves potreben material in omogočil izvajanje eksperimentov z ustreznimi merilnimi napravami.

Zahvaljujem se tudi Oddelku za fiziko Fakultete za naravoslovje in matematiko v Mariboru, da so nam posodili IR kamero in nam tako omogočili pridobivanje pomembnih podatkov za razlago naših rezultatov.

1 UVOD

Kuhanje je ena izmed najstarejših "tehnologij", katere začetki segajo daleč v prazgodovino, obdobje nomadskih ljudstev, ki so za termično obdelavo hrane uporabljali zgolj ogenj. Zaradi izvirne človeške potrebe po prehranjevanju in preživetju smo ljudje morali osvojiti večšine priprave hrane, predvsem termične obdelave, z osrednjo idejo uničenja bakterij v živilih. Te, sprva primitivne metode kuhanja z uporabo ognja, so skozi stoletja doživljale neprestan razvoj in napredek, glavni prelom pa je povzročila iznajdba dveh povsem novih oblik kuhanja, in sicer termična obdelava hrane z uporabo mikrovalovne pečice in indukcijskih kuhalnikov. Delovanje drugih temelji na uporabi elektromagnetizma, ki spremeni posodo, znotraj katere se pripravlja hrana, v kuhalnik, tako da ustvarja toplotno energijo znotraj same posode. Za razliko od ostalih kuhalnikov, se torej energija ne porablja za segrevanje podlage kuhalnika, kar omogoča hitrejšo in varnejšo pripravo hrane z manjšo energijsko porabo. (Woodford, 2017)

1.1 Namen raziskovalne naloge

Z raziskovalno nalogo smo želeli podrobneje preučiti delovanje indukcijskega kuhalnika, ter se posvetiti njegovi pravilni uporabi z največjim izkoristkom. Naš namen je bil, da na podlagi eksperimentov preučimo, kako vplivajo dejavniki, kot so velikost, oblika, vrsta in položaj lonca, ter njegov položaj na kuhalniku na izkoristek kuhalnika, ter njegovo elektromagnetno sevanje med uporabo. Za boljšo vizualno predstavo, kako natančno se prične in deluje segrevanje lonca, smo si segrevanje ogledali tudi z IR kamero. Da bi raziskali vzrok, zakaj nekateri ljudje tožijo o slabem počutju, predvsem glavobolu, ob uporabi indukcijskega kuhalnika, smo analizirali elektromagnetno in zvočno valovanje, ki jih kuhalnik oddaja med delovanjem.

2 TEORETIČNO OZADJE

2.1 Indukcijski kuhalnik

Za razliko od ostalih kuhalnih plošč, ki jih najdemo v gospodinjstvih, kjer se posoda segreva zaradi toplote plamena ali električnega grelca, se pri delovanju indukcijskega kuhalnika segreva neposredno posoda.

2.1.1 Indukcija

Elektromagnetna indukcija, mnogokrat označena le kot indukcija, je pojav, kjer spremenljivo magnetno polje skozi prevodnik povzroči, da v njem stečejo električni tokovi. (Zimmerman Jones, 2016) Zasluge za odkritje tega pojava pripisujejo Michaelu Faradayu, ki je ugotovil, da se v zanki inducira napetost in posledično tok, če se magnetni pretok skozi zanko spremeni. Nastala inducirana napetost je enaka kvocientu spremembe magnetnega pretoka in časovnega intervala, v katerem se sprememba zgodi. Spoznanje je danes znano kot Faradayev zakon indukcije in ga opisuje Enačba 1. (Kladnik, 2007)

Enačba 1

$$U_i = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

U_i je inducirana napetost (V), $\Delta\Phi$ sprememba magnetnega pretoka (Wb) in Δt časovni interval (s).

Indukcijska plošča deluje na principu visokofrekvenčnih magnetnih polj, ki v dnu posode povzročajo tokove, zaradi katerih se posoda segreje. Tokovi so oblike krožnih zank, zato se imenujejo vrtnični tokovi. Stečejo v smeri, da s svojim magnetnim poljem nasprotujejo spremembi magnetnega pretoka skozi dno posode. To imenujemo Lenzovo pravilo. (Kladnik, 2007)

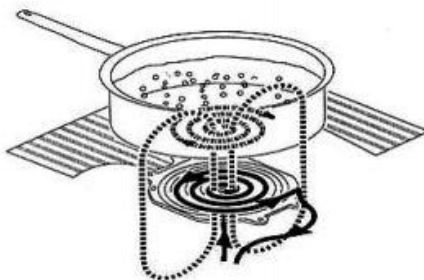
2.1.2 Zgradba in opis delovanja indukcijskega kuhalnika

Osrednja razlika med indukcijsko ploščo in običajnimi steklokeramičnimi ploščami je v fizikalnem principu, na katerem temelji njihovo delovanje. Slednje delujejo kot uporovni grelnik in se pri tem same segrevajo, indukcijske plošče pa pri svojem delovanju segrevajo posodo, same pa se pri tem segrejejo le zaradi toka toplote iz posode na ploščo.

Indukcijski kuhalnik je v osnovi transformator. Ploščato navitje, ki se skriva pod steklokeramično ploščo (Slika 1) je primarna tuljava. Pod njo je feritna plošča, ki pogoltne magnetne silnice, ki bi se sicer širile navzdol. Sekundarno tuljavo predstavlja prevodno dno posode, ki jo položimo na steklokeramično ploščo nad tuljavo (Slika 2). Ko priključimo primarno navitje na izmenično električno napetost, se v sekundarnem ovoju inducira sicer majhna napetost, ki pa zaradi majhnega upora požene velik tok. Dno posode se greje in kuhanje se začne. (Pahor, 2016)



Slika 1: Notranost indukcijskega kuhalnika, velika bakrena tuljava ustvarja magnetno polja.



Slika 2: Prikaz delovanja indukcijskega kuhalnika.

2.1.3 Učinkovitost in posebnosti delovanja indukcijskega kuhalnika

Indukcijski kuhalnik ima zaradi neposrednega segrevanja posode, večji izkoristek v primerjavi s posrednim segrevanjem preko steklokeramične plošče. Sposobnost prenašanja elektromagnetne energije neposredno v segrevanje posode znaša za indukcijski kuhalnik 80-90 %, medtem ko znaša izkoristek za plinski kuhalnik le 38 %. Hkrati so moči indukcijskih kuhalnih plošč relativno visoke, saj znaša moč posameznega indukcijskega kuhališča do 2 kW, moč vseh štirih indukcijskih kuhališč pa do 7,5 kW. Vse te značilnosti omogočajo, da je segrevanje z indukcijskim kuhalnikom od 25-50 % hitrejše kot pri ostalih kuhalnikih. (Valič, 2008)

V primerjavi z ostalimi kuhalniki, kjer se veliko časa in energije porabi za segrevanje same plošče, se pri indukcijskem kuhalniku toplota znotraj posode pojavi precej hitreje. Ker hkrati ni odprtega ognja ali neposrednega segrevanja podlage (Slika 3), se ob izključitvi segrevanje prekine takoj, kar pomeni, da je verjetnost opeklin zelo majhna. Sam kuhalnik se namreč ne more nikoli segreti bolj kot je segreta posoda na njem. Elektronika znotraj indukcijskih kuhalnikov zaznava ali je na plošči postavljena ustrezna posoda, ter koliko toplote ta proizvaja, kar pomeni, da se bo ob pregrevanju kuhalnik samodejno izklopil. Posoda, ki je najustreznejša za uporabo na indukcijskem kuhalniku, mora biti iz jeklene pločevine ali nerjavečega jekla. Posode iz aluminija, bakra in stekla so torej neuporabne, razen če imajo v spodnji plasti dna vstavljen jekleno ploščo. (Lawandi, 2015) , (Woodford, 2017)



Slika 3: Prikaz delovanja indukcijskega kuhalnika, med delovanjem se segreva le del kamor je položena ponev.

3 DELOVANJE INDUKCIJSKEGA KUHALNIKA

V literaturi najdemo sicer veliko napisanega o delovanju indukcijskih kuhalnikov, vendar odgovorov na nekatera vprašanja nisem našla. Kako indukcijski kuhalnik spreminja moč delovanja? Zakaj med delovanjem brenči? Katero vrsto elektromagnetnega valovanja (EM) oddaja? kateri del dna posode se začne segrevati najprej? Odgovore na ta vprašanja sem poiskala sama.

Pri vseh eksperimentih smo uporabili prenosni indukcijski kuhalnik znamke Gorenje, z oznako ICG2000SP. Kuhalnik se upravlja na dotik in omogoča izbiro 10 moči od 200 W do 2000 W. Kuhalnik ima aktivno območje segrevanja s premerom 18 cm in omogoča uporabo loncev s premerom 26 cm.

3.1 Frekvenca sevanja valovanja, ki ga oddaja indukcijski kuhalnik

Ker indukcijski kuhalnik deluje na principu elektromagnetne indukcije in tako oddaja EM sevanje, smo želeli izmeriti frekvenco in jakost tega sevanja. V tem poglavju je opisan eksperiment, s katerim smo določili frekvenco EM sevanja, ki je seveda enaka frekvenci toka v ploščati tuljavi v kuhalniku.

Frekvenco EM sevanja smo raziskali z osciloskopom (Slika 4). Sondo osciloskopa smo položili v bližino kuhalnika in izmerili signal, iz katerega smo določili frekvenco. Moč kuhalnika smo spreminjali od 200 W do 2000 W v korakih po 200 W. Izmerjena frekvenca je pri vseh močeh znašala 31200 Hz. Valovno dolžino tega elektromagnetnega valovanja lahko izračunamo iz enačbe $\lambda = c/v$ in znaša 9600 m. Valovanje, ki ga oddaja indukcijski kuhalnik torej spada v (zelo) dolgovalovno radijsko valovanje, veliko daljše od tistega, ki se uporablja za komunikacijo. Frekvence vseh sodobnih naprav za prenašanje podatkov in komunikacijo so namreč višje od MHz (Wikipedia, 2017). Indukcijski kuhalnik zato ne moti radija, televizije, mobilnih telefonov ter WI-FI in Bluetooth naprav v našem gospodinjstvu.



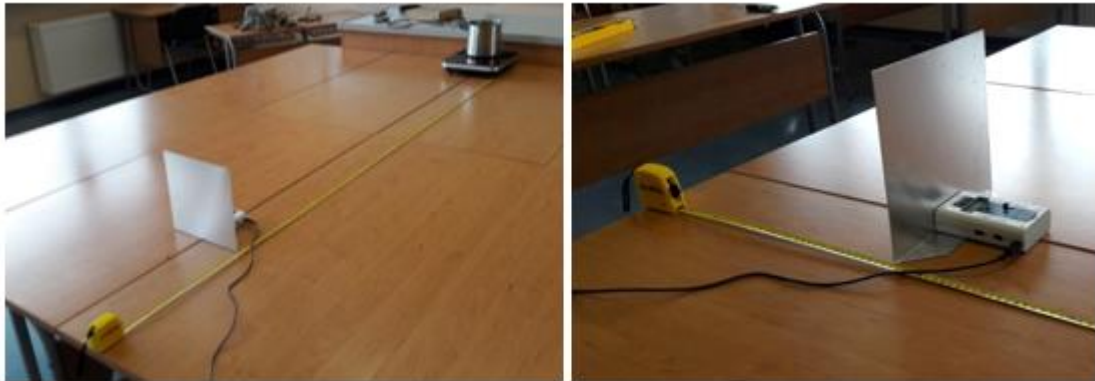
Slika 4: Merjenje frekvence delovanja s sondo in osciloskopom.

3.2 Jakost sevanja valovanja indukcijskega kuhalnika

Z jakostjo sevanja indukcijskega kuhalnika mislimo na jakost električnega polja in gostoto magnetnega polja, ki ga kuhalnik med delovanjem oddaja. Vse eksperimente smo izvedli z merilnikom nizkofrekvenčnega EM valovanja Gigahertz Solutions ME 3851A. Merilnik ima razpon merjenja frekvenc med 5 Hz in 100 kHz. Meri lahko gostoto magnetnega polja v razponu 0,1-1999 nT in jakost električnega polja v razponu 0,1-1999 V/m.

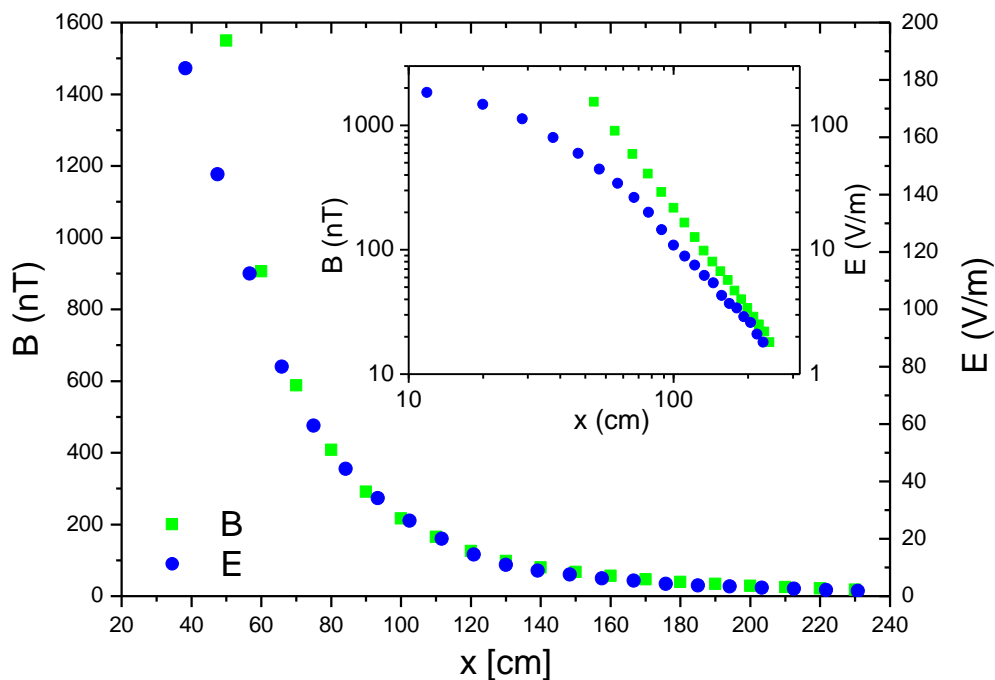
3.2.1 Jakost sevanja v odvisnosti od oddaljenosti od kuhalnika

Indukcijski kuhalnik, na katerem je bil lonec napolnjen z vodo, smo postavili na lesene mize na sredino razreda ter si z metrom označili posamezne razdalje oddaljene od kuhalnika, kamor smo med meritvami postavljali merilnik (Slika 5, levo). Za merilnik smo postavili ploščo iz aluminija, da bi na tak način omogočili čim manjši vpliv motenj na merilnik, ki bi potencialno vplivale na končne rezultate (Slika 5, desno).



Slika 5: Postavitev eksperimenta, pri katerem smo merili jakost sevanja indukcijskega kuhalnika (levo), merilnik EM valovanja (desno).

Indukcijski kuhalnik smo vklopili na največjo moč 2000 W, merilnik pa smo nato pomikali po površini mize vedno bližje k samemu kuhalniku, ter merili vrednosti električnega in magnetnega polja. Začeli smo na oddaljenosti 230 cm in se premikali po 10 cm, vse do oddaljenosti 20 cm oddaljenosti od kuhalnika. Rezultati meritev so prikazani na grafu na Sliki 6, Tabela A z meritvami pa je v Dodatku.

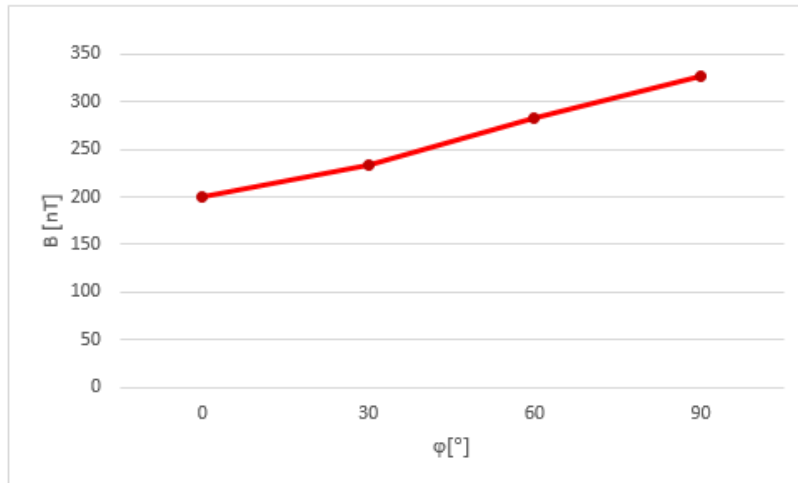


Slika 6: Graf B in E v odvisnosti od oddaljenosti od kuhalnika. Na manjšem grafu, ki je vstavljen, so prikazani enaki podatki, vendar so vse osi logaritemske.

Iz grafa vidimo, da znaša jakost električnega polja na oddaljenosti 20 cm od kuhalnika 184,0 V/m, gostota magnetnega polja na oddaljenosti 50 cm pa 1,55 μ T. Bližje kot 50 cm B nismo mogli izmeriti, saj je bilo polje premočno za merilnik. Oba polja padata zelo hitro z oddaljenostjo od kuhalnika. V graf na Sliki 6 je vstavljen manjši graf, na katerem so vse osi logaritemske. Na takšnem grafu predstavlja premica eksponentno padajočo funkcijo. Vidimo, da pada B eksponentno z oddaljenostjo, E pa nekoliko počasneje. Ker namen naloge ni raziskati vpliv sevanja indukcijskega kuhalnika na človekovo počutje in zdravje, ampak samo preveriti, kako se sevanje spreminja pod različnimi pogoji, se bomo nadaljevanju osredotočili le na merjenje gostote magnetnega polja, saj vidimo, da je obnašanje obeh polj podobno.

3.2.2 Jakost sevanja v odvisnosti od kota

Ker se pri kuhanju velikokrat nagibamo nad samo kuhalno površino, smo želeli ugotoviti kako kot glede na vodoravnico vpliva na gostoto izsevanega magnetnega polja B . Vse meritve so bile opravljene na oddaljenosti 100 cm od kuhalnika, ki je bil nastavljen na 2000 W in na katerem je bil lonec z vodo. Rezultati so prikazani na grafu na Sliki 7, meritve pa so v Tabeli B v Dodatku.

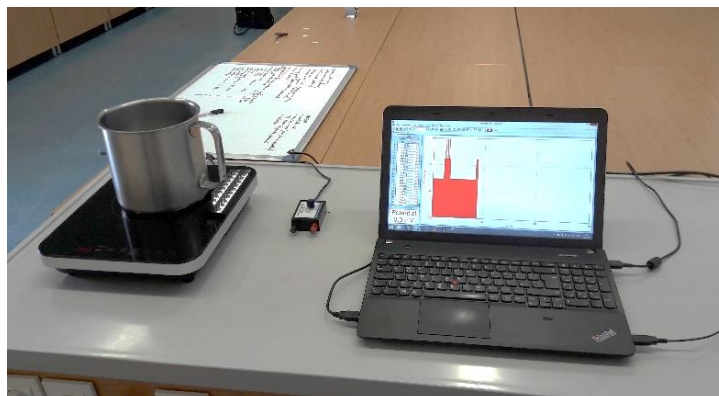


Slika 7: Graf gostote magnetnega polja v odvisnosti od kota glede na vodoravnico.

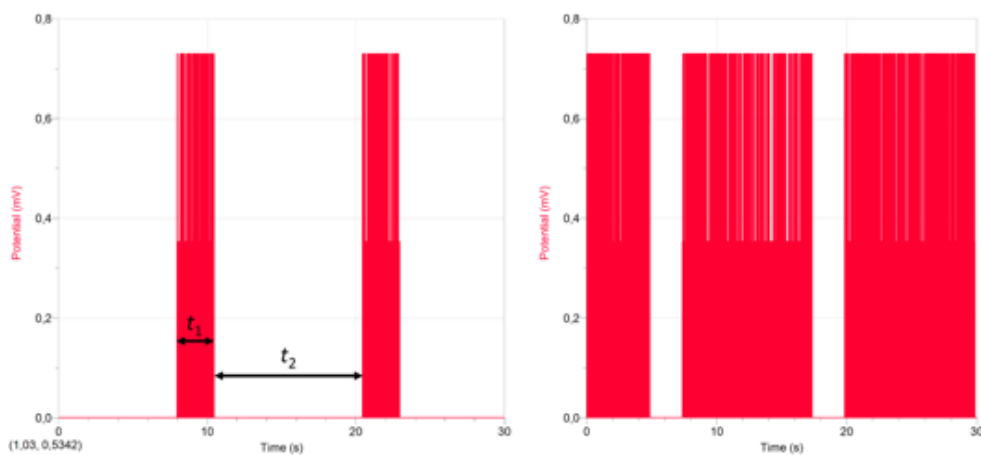
Iz grafa je razvidno, da vrednosti gostote magnetnega polja z večanjem kota glede na vodoravnico bistveno naraščajo. V primerjavi s kotom 0° je gostota magnetnega polja pri 90° za 63 % večja. Torej je sevanje neposredno nad kuhalnikom največje.

3.3 Spreminjanje moči indukcijskega kuhalnika

Vprašanje je, kako indukcijski kuhalnik zagotavlja različne povprečne moči delovanja, če pri vseh močeh deluje z isto frekvenco. Izkazalo se je, da kuhalnik, ki smo ga testirali, različne povprečne moči zagotavlja na dva različna načina. V intervalu moči od 200 W do 800 W višanje moči dosega s tem, da podaljšuje čas, ko po tuljavi teče visokofrekvenčni izmenični tok (t_1) in krajša čas, ko tok ne teče (t_2). Časa t_1 in t_2 smo izmerili tako, da smo v bližino kuhalnika postavili Vernierjev merilnik napetosti z ojačevalcem in elektromagnetno valovanje, ki ga je kuhalnik oddajal je bilo dovolj močno, da smo dobili lep signal (Slika 8). Primerjavo signalov pri 200 W in 800 W prikazuje Slika 9. Izmerjene čase povzema Tabela 1.



Slika 8: Pridobivanje signala s Vernierjevim merilnikom napetosti.

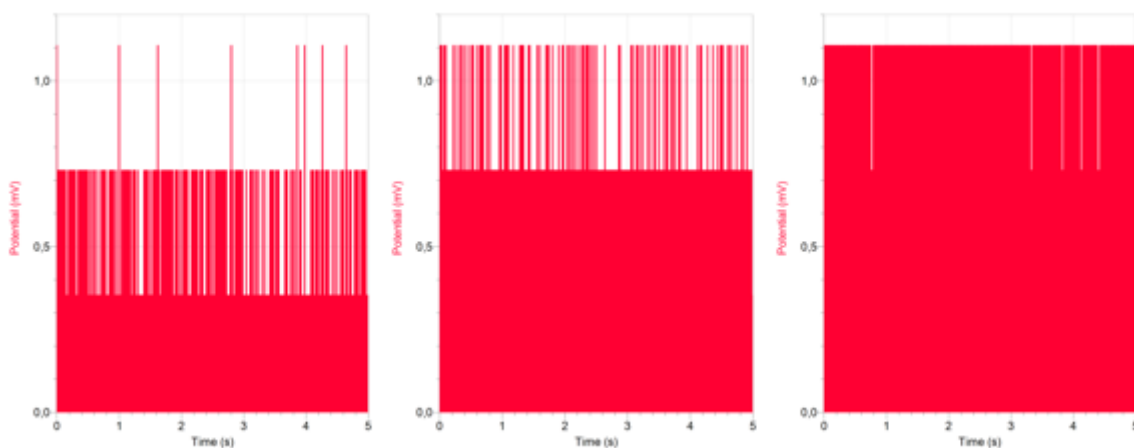


Slika 9: Izmerjen signal pri moči indukcijskega kuhalnika 200 W (levo) in 800 W (desno). Na levem signalu sta označena časa t_1 in t_2 .

Tabela 1: Izmerjeni časi delovanja

P [W]	t_1 [s]	t_2 [s]
200	2,6	10,0
400	5,1	7,5
600	7,6	5,0
800	10,1	2,5

V intervalu moči 1000 W do 2000 W je način večanja moči indukcijskega kuhalnika drugačen. Visokofrekvenčni izmenični tok teče skozi tuljavo ves čas, vendar se hkrati spreminja zastopanost signalov z različnimi močmi. Primer izmerjenih signalov za 1000 W, 1400 W in 2000 W prikazuje Slika 10.

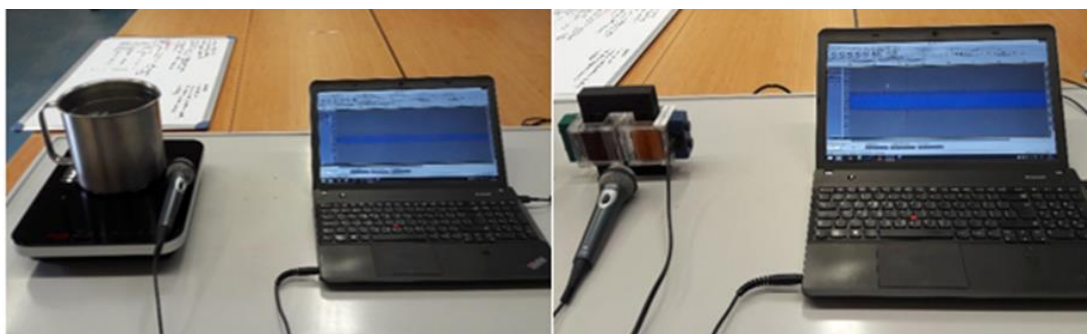


Slika 10: Signali izmerjeni pri močeh indukcijskega kuhalnika 1000 W (levo), 1400 W (sredina), 2000 W (desno).

Zaradi tega smo za vse nadaljnje poskuse izbrali moči nad 800 W, kjer gretje poteka neprekinjeno.

3.4 Frekvenčna analiza zvoka, ki ga oddaja indukcijski kuhalnik

Da bi dobili natančne podatke o zvoku, ki ga oddaja indukcijski kuhalnik smo brenčanje posneli in naredili frekvenčno analizo (Slika 11, levo). Zvok je bil zajet in analiziran v programu Audacity. Ugotovili smo, da znaša frekvenca zvoka, ki ga kuhalnik oddaja natančno 100 Hz, ne glede na moč delovanja. Za primerjavo smo enako analizo izvedli na zvoku, ki ga oddaja klasični transformator (Slika 11, desno). Tudi v tem primeru smo izmerili frekvenco 100 Hz, zato sklepamo, da prihaja zvok indukcijskega kuhalnika od vgrajenega transformatorja, ki v kuhalniku spreminja omrežno napetost. Med spreminjanjem magnetnega pretoka skozi jedro transformatorja se le-ta namreč deformira in to z dvojno frekvenco toka. Maksimalni pretok v eno in drugo stran namreč pomeni raztezek, ničelni tok pa skrček. Pojav imenujemo magnetostrikcija (Nave R, 2000).



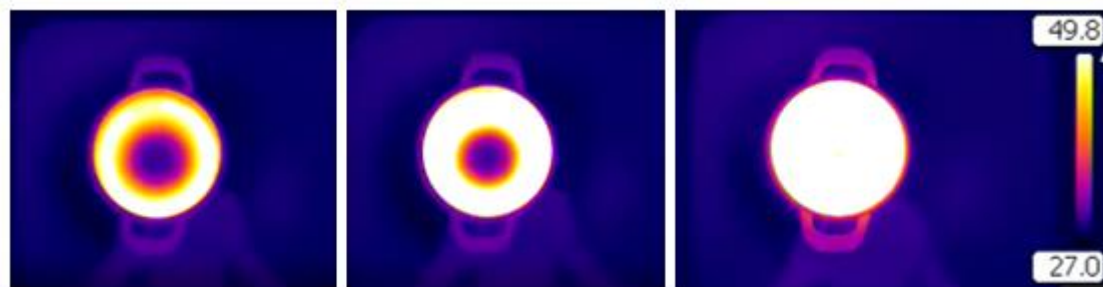
Slika 11: Frekvenčna analiza zvoka indukcijskega kuhalnika (levo) in klasičnega transformatorja (desno).

3.5 Analiza segrevanja dna posode z IR kamero

Da bi bolje razumeli, kako poteka segrevanje dna posode, smo naredili serijo eksperimentov, pri katerih smo segrevanje spremljali z IR kamero FLIR T360. V vseh eksperimentih je bila moč kuhalnika 2000 W. Skala na slikah prikazuje temperaturo v °C, čas pa smo zmeraj začeli meriti ob vklopu kuhalnika.

Na indukcijskih kuhalnikih je s krogom označeno aktivno območje kuhalnika, pod katerim se nahaja ploščata tuljava enake velikosti. Premer aktivnega območje našega kuhalnika je bil 18 cm. Zato smo v prvi seriji poskusov izbrali lonec, ki je imel enak premer kot aktivno območje.

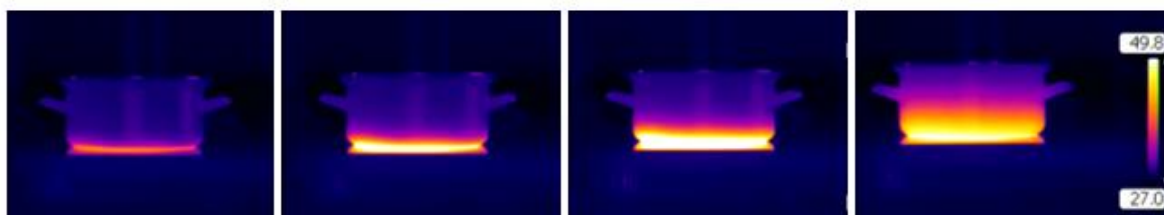
Najprej smo z IR kamero posneli segrevanje praznega lonca od zgoraj. Slika 12 prikazuje nekaj zaporednih slik posnetka, ki prikazujejo začetek segrevanja.



Slika 12: Navpično snemanje segrevanje lonca s premerom 18 cm, posneto po 1 sekundi (levo), po 2 sekundah (sredina) in po 10 sekundah (desno).

Vidimo, da se najprej dejansko segreva le rob lonca in da se potem toplota širi proti sredini. Iz tega lahko sklepamo, da tečejo vrtilni tokovi po robu lonca.

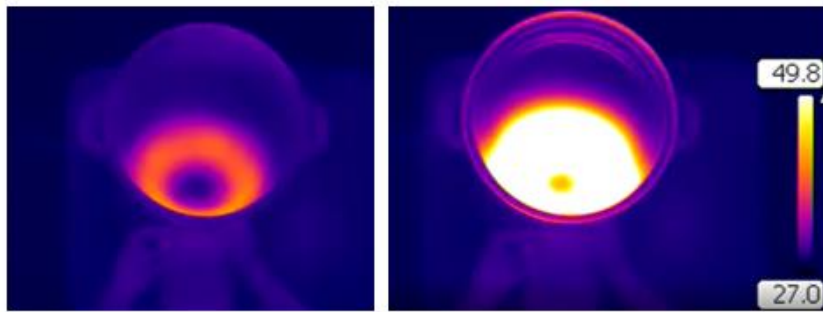
V naslednjem eksperimentu smo lonec snemali od strani, da bi videli, kako se toplota širi po loncu navzgor. Rezultate prikazuje Slika 13.



Slika 13: Snemanje segrevanje lonca s premerom 18 cm od strani, posneto po 1 sekundi (skrajno levo), 2 sekundah (sredina levo), 5 sekundah (sredina desno) in 45 sekundah (skrajno desno).

Iz slike vidimo, da je tudi po daljšem času vrh posode precej hladnejši od dna, iz česar lahko sklepamo, da poteka segrevanje hrane pretežno preko dna posode.

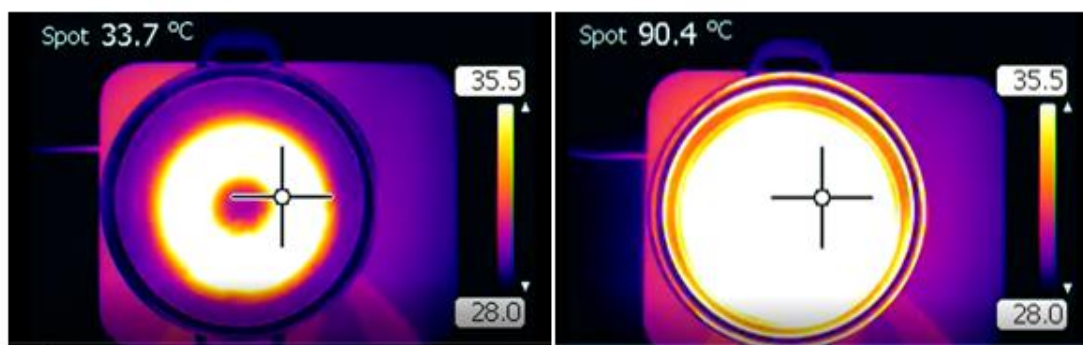
Ker bomo v nadaljevanju merili izkoristek segrevanja vode z indukcijskih kuhalnikom, ko je posoda zamaknjena glede na aktivno območje kuhalnika, smo tak primer posneli tudi z IR kamero. Segrevanje prikazuje Slika 14. Obe fazi segrevanja sta posneti od zgoraj, natanko nad sredino posode.



Slika 14: Navpično snemanje segrevanje zamaknjenega lonca, s premerom 18 cm, posneto po 1 sekundi (levo) in 8 sekundah (desno).

Vidimo, da se začne segrevati le del posode, ki je nad aktivnim območjem kuhalnika, in ta se tudi tokrat segreva le rob tega dela posode, toplota pa se potem širi navznoter in navzven. Na spodnjem delu so vrtilni tokovi stisnjeni na ožje območje in segrevanje je tam bolj intenzivno (nekoliko večja temperatura).

Naslednji eksperiment je bil izveden s posodo, ki je imela večji premer kot aktivno območje kuhalnika, in sicer 22 cm. Segrevanje prikazuje Slika 15.

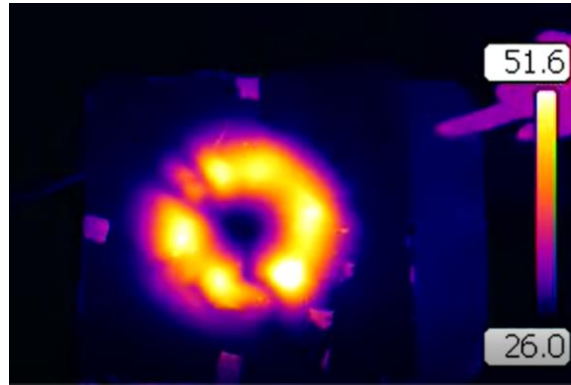


Slika 15: Snemanje segrevanje lonca z večjim premerom kot aktivno območje kuhalnika (premer 22 cm), posneto po 1 sekundi (levo) in 6 sekundah (desno)

Iz slike vidimo, da se tokrat ne začne segrevati rob posode, ampak rob dela dna posode, ki sovpada z aktivnim območjem kuhalnika. Toplota se potem razširi po celotnem dnu posode. Rezultat tega eksperimenta skupaj z rezultati ostalih eksperimentov namigujejo, da segrevanje zmeraj poteka na območju ozkega kolobarja, ki ima zunanji premer aktivnega območja kuhalnika. Velikost kolobarja je neodvisna od posode, dokler je le-ta večja ali enaka aktivnemu območju. Če je posoda manjša, je kolobar manjši, če pa je posoda premaknjena glede na aktivno območje pa je kolobar deformiran tako, da je na enem delu ožji in je tam segrevanje

intenzivnejše. Sklepamo, da segrevanje poteka na območju kolobarja, tudi če prevodnik (dno posode) ni okrogle oblike.

Da bi to potrdili, smo naredili še en eksperiment, v katerem smo segrevali aluminijasto folijo kvadratne oblike. Rezultat prikazuje Slika 16.



Slika 16: Snemanje segrevanja aluminijaste folije (takoj ob vklopu).

Tudi tokrat vidimo kolobar, kar potrjuje našo domnevno. Vrtinčni tokovi stečejo le v delu prevodnika, ki je nad zunanjim robom aktivnega območja. Pri tem poskusu smo morali biti zelo pazljivi, saj je folija zelo tanka in se hitro stali. Zato smo kuhalnik vklopili za zelo kratek čas.

Na podlagi rezultatov eksperimentov opravljenih z IR kamero lahko sklepamo, da bo zelo pomembno, kako veliko posodo uporabimo za kuhanje in kako natančno na aktivno območje kuhalnika jo postavimo. Oblika in velikost območja segrevanja sta namreč odvisna od tega.

V nadaljevanju sledi opis in rezultati eksperimentov povezanih z izkoristkom indukcijskega kuhalnika.

4 DOLOČANJE IZKORISTKA INDUKCIJSKEGA KUHALNIKA

4.1 Materiali in oprema

Tehtnica

Za tehtanje loncev in vode smo uporabljali digitalno tehtnice z napako meritev ± 1 g.

Vernierev termočlen

Za merjenje temperature smo uporabili dva termometra, ki smo ju preko Vernierjevega vmesnika LQ-MINI povezali z računalnikom. Izmerjene temperature smo zajemali in obdelali s programom Logger Pro.

Pokrov

Da bi imeli med meritvami čim manjše izgube smo iz stiropora izdelali pokrov. Za stiropor smo se odločili, ker je dober toplotni izolator in se ga lahko enostavno oblikuje. Pokrov je bil debel 2 cm in je bil dovolj velik, da smo ga lahko uporabili za vse lonce. Na sredini pokrova smo naredili majhno odprtino, skozi katero smo lahko potisnili termometer.

Lonci in opis lastnosti loncev

Pri raziskavi smo uporabili osem loncev s šestimi različnimi premeri (Slika 17 in Slika 19). Lonce smo poimenovali z oznakami L1 do L8. Sedem loncev je bilo klasičnih emajliranih loncev slovenskega proizvajalca EMO. Ti lonci so v osnovi jekleni, prevlečeni pa so z emajlom, kar da posodi visok sijaj in lep estetski videz. Vsi emajlirani lonci so imeli enako debelino dna in sicer 1,7 mm. Debelino emajliranih loncev smo izmerili s pomočjo mikrometrskega vijaka. Eden izmed loncev ni bil emajliran, ampak iz nerjavnega jekla in je imel dno debeline 5,2 mm. Debelino dna tega smo izmerili s pomočjo kljunastega merila. Lonci so se med seboj razlikovali tudi po višini. Eden izmed loncev je imel rahlo upognjeno dno, kar je bila posledica dolgoletne uporabe za cvrtje.



Slika 17: Lonci, ki smo jih uporabili v eksperimentih. Lonca L5 ni na sliki

Maso loncev smo izmerili s z digitalno tehtnico. Toplotne kapacitete loncev smo določili s pomočjo enačbe:

Enačba 2

$$C_l = m_l \cdot c_j,$$

kjer je m_l masa lonca (kg), C_l toplotna kapaciteta jekla (J/kgK) in c_j specifična toplota jekla (J/kgK), ki znaša 490 J/kgK.

Lastnosti loncev povzema Tabela 2.

Tabela 2: Lastnosti loncev

oznaka lonca	premer [cm]	višina [cm]	debelina [mm]	ukrivljeno dno	m_l [kg]	C_l [J/K]
L1	12	6	1,7	NE	0,334	164
L2	14	7	1,7	NE	0,449	220
L3	16	8	1,7	NE	0,571	280
L4	18	9	1,7	DA	0,602	295
L5	18	9	1,7	NE	0,700	343
L6	20	10	1,7	NE	0,826	405
L7	20	10	5,0	NE	1,161	569
L8	22	13	1,7	NE	1,057	518

Lonca L6 in L7 imata enak premer, a ima lonec L7 debelejšo dno. Lonca L4 in L5 imata prav tako enak premer, ima pa lonec L4 upognjeno dno.

4.2 Opis eksperimentov s segrevanjem vode, rezultati in interpretacija rezultatov

4.2.1 Poskusi s segrevanjem vode

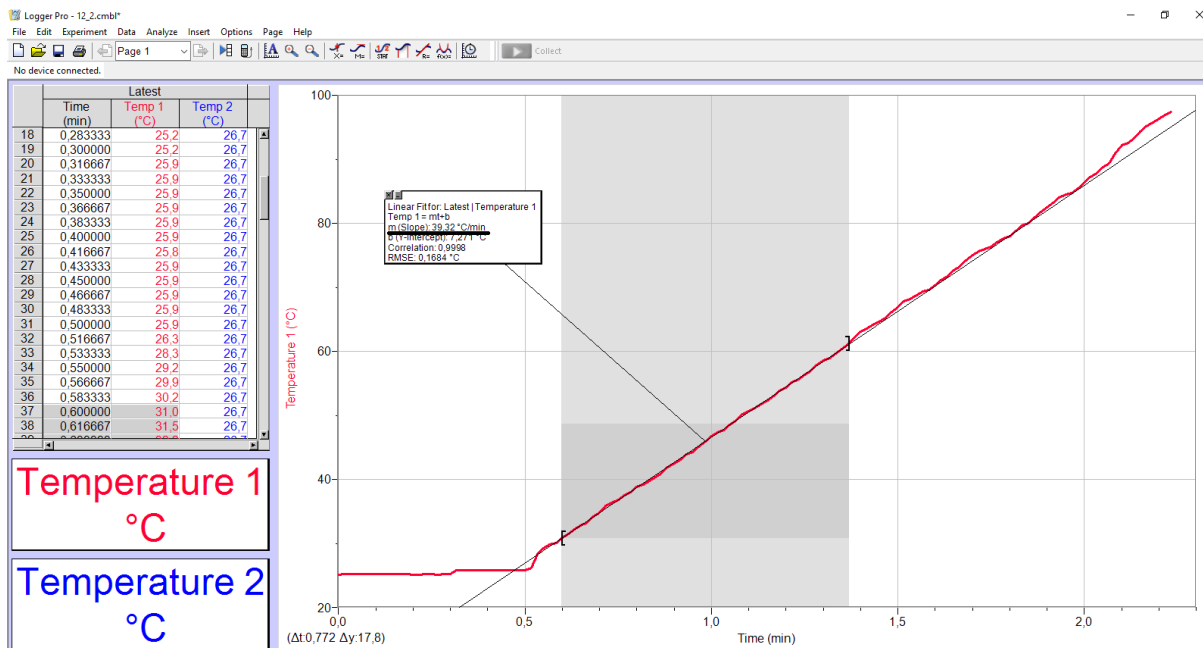
Pri vseh eksperimentih smo se osredotočili na računanje izkoristkov pri segrevanju vode z indukcijskim kuhalnikom. Izkoristek smo izračunali po enačbi:

Enačba 3

$$\eta = \frac{P}{P_0},$$

Kjer je P moč, ki jo je prejela voda in jo dobimo iz meritev spreminjanja temperature vode, P_0 pa moč nastavljena na kuhalniku. V lonce smo nalili tolikšno količino vode, da je ta segala približno do polovice višine posameznega lonca. Nalito količino vode smo prelili v čašo in jo stehali. Med prelivanjem smo pazili, da so bile izgube zaradi polivanja čim manjše. Pri ponovljenih meritvah smo vodo dodajali oz. odvzemali z brizgalko, tako da je bila masa vode v vseh poskusih enaka. Lonce smo z namenom, da bi bile izgube čim manjše, pokrili s pokrovom izdelanim iz stiropora, ki smo ga obtežili z dvema utežema. Skozi majhno luknjico, na sredini pokrova smo vstavili termometer. Ta je bil potopljen v vodo, tako da se ni dotikal dna posode. Drug termometer je meril temperaturo ozračja, ki se je gibala med 25 °C in 27 °C. Po vsaki opravljeni meritvi smo kuhalnik izklopili in ga ohladili na temperaturo okolice tako, da smo nanj dali posodo s hladno vodo.

Za računanje izkoristka je bila ključnega pomena krivulja, ki je prikazovala, kako se temperatura vode med segrevanjem spreminja s časom. Ta se je samodejno beležila v programu Logger Pro. Krivulja je bila premica, tako da smo lahko določili njen naklon $\Delta T/\Delta t$ [K/min]. To smo naredili s prilagajanjem funkcije premici (*Linear Fit*). Primer izmerjene krivulje in določitve njenega naklona prikazuje Slika 18. V označenem kvadratu je podčrtana vrednost $\Delta T/\Delta t$.



Slika 18: Zbiranje podatkov v programu Logger Pro pri segrevanju vode v loncu.

Za izračun izkoristka moramo poznati moč, ki jo je voda prejela med segrevanjem. To lahko izračunamo iz enačbe

Enačba 4

$$P = (m_v c_v + C_l) \frac{\Delta T}{\Delta t},$$

Kjer je m_v masa vode (kg) in c_v specifična toplota vode (J/kgK). Pri zapisu enačbe smo predpostavili, da sta temperatura lonca in vode ves čas enaki. Da bi to bilo čim bolj res, smo zmeraj odčitali naklon premice na začetku segrevanja, kjer razlika temperatur vode in okolice še ni bila prevelika. Za specifično toplotu vode smo uporabili vrednost 4200 J/kgK.

Iz vsake meritve temperature med segrevanjem smo torej določili naklon $\Delta T/\Delta t$ in iz njega izračunali moč, ki jo je prejela voda. Vsako meritev smo ponovili trikrat in izračunali povprečno moč ter napako meritve. Slednjo smo izračunali po 2/3-pravilu. Iz povprečne moči smo izračunali izkoristek z mersko napako.

4.2.2 Odvisnost izkoristka od premera lonca (Eksperiment 1)

Pri prvem eksperimentu smo želeli ugotoviti, kolikšni so izkoristki pri segrevanju vode z indukcijskim kuhalnikom pri uporabi loncev z različnimi premeri. Uporabili smo vseh osem loncev, opisanih v Tabeli 2. Moč kuhalnika je bila nastavljena na 1000 W. Postavitev eksperimenta je prikazana na Sliki 19.

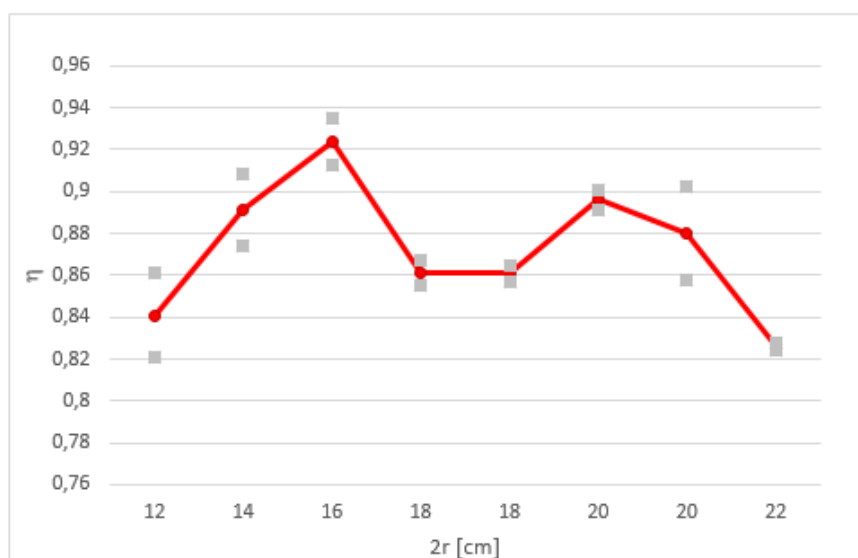


Slika 19: Postavitev eksperimenta pri merjenju izkoristka v odvisnosti od premera lonca, lonec L5(levo) in lonec L8 (desno).

Rezultate meritev povzema Tabela 3, graf na Sliki 20 prikazuje izkoristke v odvisnosti od premerov loncev.

Tabela 3: Rezultati Eksperimenta 1

oznaka lonca	premer [cm]	m_v [kg]	$\Delta T/\Delta t$ [K/min]	P [W]	η
L1	12	0,262	$40,0 \pm 0,9$	841 ± 20	$0,841 \pm 0,020$
L2	14	0,397	$28,3 \pm 0,5$	891 ± 17	$0,891 \pm 0,017$
L3	16	0,658	$18,2 \pm 0,2$	924 ± 11	$0,924 \pm 0,011$
L4	18	0,855	$13,3 \pm 0,1$	861 ± 6	$0,861 \pm 0,006$
L5	18	0,855	$13,1 \pm 0,1$	861 ± 4	$0,861 \pm 0,004$
L6	20	0,974	$12,0 \pm 0,1$	896 ± 5	$0,896 \pm 0,005$
L7	20	0,958	$11,5 \pm 0,3$	880 ± 22	$0,880 \pm 0,022$
L8	22	1,720	$6,4 \pm 0,1$	826 ± 1	$0,826 \pm 0,002$

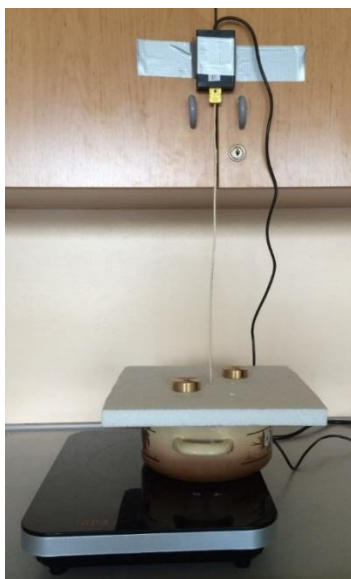


Slika 20: Graf izkoristka v odvisnosti od premera lonca

Na grafu predstavljajo točke, ki so povezane s črto povprečne vrednosti izkoristka, sive točke zgoraj in spodaj pa predstavljajo napako posamezne meritve. Izkoristki se gibljejo med 82% in 94 %. Vidimo, da izkoristek najprej narašča s premerom lonca, nato pa pade pri vrednostih 18 cm. Točki pri 18 cm predstavljata lonca, ki sta imela enak premer kot ga ima aktivno območje na kuhalniku. Za lonce z premerom večjim od 18 cm izkoristek spet naraste in začne za prevelike lonce spet padati. Rezultat je zanimiv, saj namiguje, da je najbolje imeti lonec, ki je nekoliko manjši ali nekoliko večji od aktivnega območja kuhalnika. Posebej zanimiva je primerjava loncev s premerom 18 cm (L4 in L5). En je imel ravno dno, drugi pa ukrivljeno. Vidimo, da ni razlike v izkoristku, kar pomeni, da ukrivljenost dna ne vpliva. Zanimiva je tudi primerjava loncev s premerom 20 cm (L6 in L7). Lonec z večjim izkoristkom je emajliran lonec, lonec z manjšim pa lonec z debelim dnom, ki bi naj bil posebej primeren za indukcijske kuhalnice. Vidimo, da je povprečni izkoristek lonca z debelejším dnom manjši.

4.2.3 Odvisnost izkoristka od premika po plošči (Eksperiment 2)

Pri drugem eksperimentu smo s premikanjem posode po označenem aktivnem območju kuhalnika želeli preveriti, kako premik vpliva na izkoristek. Pri tem smo uporabili lonec L4, ki ima enak premer kot označeno polje. Eksperiment smo ponovili za 5 premikov po plošči in sicer za 0 cm, 2,5 cm, 5 cm, 7,5 cm in 10 cm. Postavitev eksperimenta je prikazana na Sliki 21.

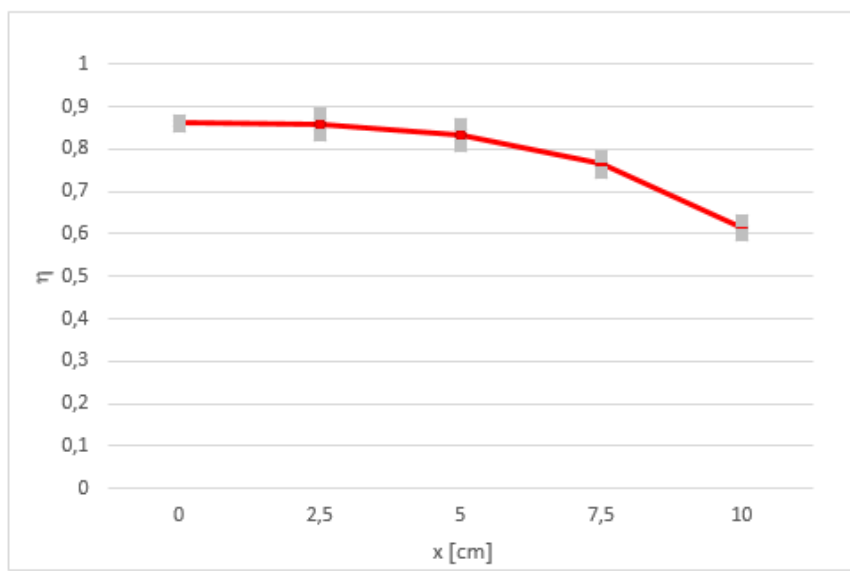


Slika 21: Postavitev eksperimenta pri premiku lonca po plošči.

Rezultate meritev prikazujeta Tabela 4. Graf na Sliki 22 prikazuje odvisnost izkoristka od premika lonca glede na središče aktivnega območja.

Tabela 4: Rezultati Eksperimenta 2

oznaka lonca	premik lonca [cm]	m_v [kg]	$\Delta T/\Delta t$ [K/min]	P [W]	η
L4	0	0,855	$13,3 \pm 0,1$	861 ± 7	$0,861 \pm 0,007$
L4	2,5	0,800	$13,9 \pm 0,4$	858 ± 25	$0,858 \pm 0,025$
L4	5	0,800	$13,5 \pm 0,4$	833 ± 25	$0,833 \pm 0,025$
L4	7,5	0,800	$12,4 \pm 0,3$	765 ± 19	$0,765 \pm 0,019$
L4	10	0,800	$10,0 \pm 0,2$	615 ± 18	$0,615 \pm 0,018$



Slika 22: Graf izkoristka v odvisnosti od premika lonca po plošči.

Točke, ki so povezane s črto predstavljajo povprečne izkoristke, sive oznake zgoraj in spodaj pa predstavljajo napako posamezne meritve. Graf prikazuje zmanjševanje izkoristka z večanjem premika lonca od središča plošče. Pri premiku 10 cm pade vrednost izkoristka celo na 60 %, ker je za 29 % manj od vrednosti, ko je lonec pravilno poravnan.

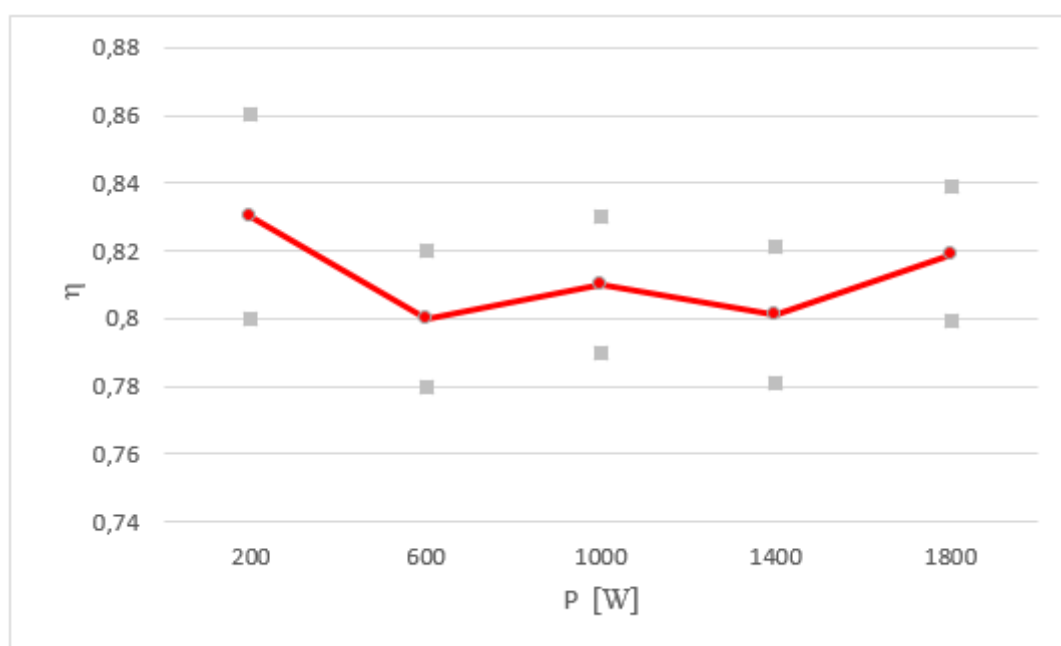
4.2.4 Odvisnost izkoristka od nastavljive moči delovanja (Eksperiment 3)

Indukcijski kuhalnik, katerega smo uporabljali pri našem raziskovalnem delu, ima funkcijo desetih nastavljivih moči delovanja. Zanimalo nas je, kako izbira moči vpliva na izkoristek. V eksperimentu smo uporabili lonec L5, ki se prilega aktivnemu območju kuhalnika. Moči smo

spreminjali od 200 W do 1800 W s korakom po 400 W. Rezultati so prikazani v Tabeli 5. Graf na Sliki 23 prikazuje odvisnost izkoristka od moči kuhalnika.

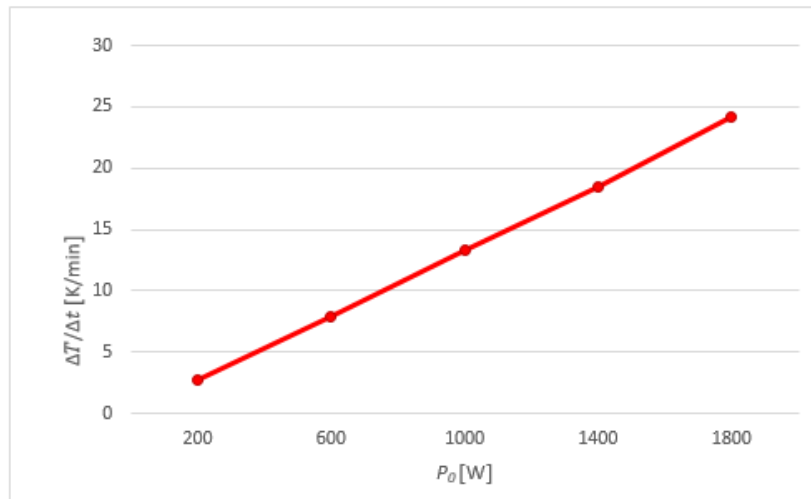
Tabela 5: Rezultati Eksperimenta 3

oznaka lonca	P_0 [W]	m_v [kg]	$\Delta T/\Delta t$ [K/min]	P [W]	η
L5	200	0,800	$2,7 \pm 0,1$	166 ± 5	$0,83 \pm 0,03$
L5	600	0,800	$7,9 \pm 0,1$	481 ± 14	$0,80 \pm 0,02$
L5	1000	0,800	$13,3 \pm 0,1$	810 ± 24	$0,81 \pm 0,02$
L5	1400	0,800	$18,4 \pm 0,1$	1121 ± 34	$0,801 \pm 0,02$
L5	1800	0,800	$24,2 \pm 0,1$	1474 ± 44	$0,819 \pm 0,02$



Slika 23: Graf izkoristka v odvisnosti od različnih moči delovanja.

Točke na grafu, ki so povezane s črto so povprečni izkoristki, sive točke pa napake meritev. Vidimo, da so izkoristki pri različnih močeh enaki v okviru napake, zato lahko zaključimo, da izbira moči ne vpliva na učinkovitost kuhanje. Vpliva pa seveda na hitrost segrevanja. Zveza med močjo in hitrostjo segrevanja je pričakovano povsem linearna (Slika 24).



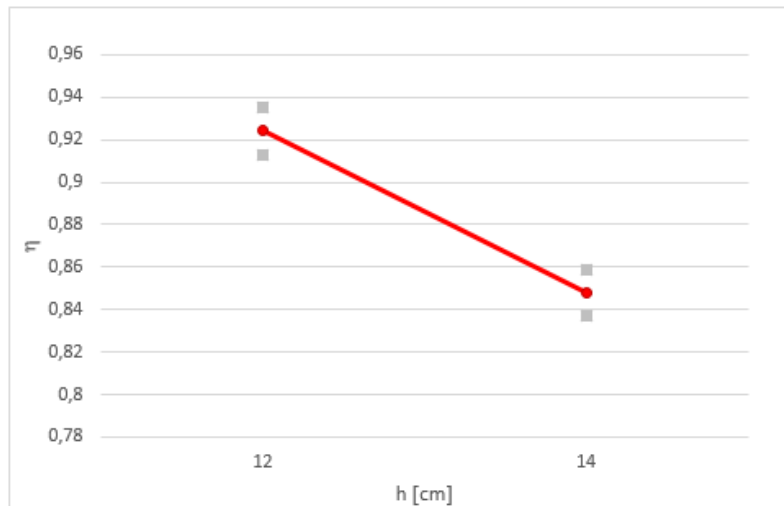
Slika 24: Graf spremembe temperature v časovnem intervalu v odvisnosti od različnih moči delovanja.

4.2.5 Odvisnost izkoristka od višine lonca (Eksperiment 4)

Pri tem eksperimentu nas je zanimalo ali sama višina lonca vpliva na izkoristek pri segrevanju vode z indukcijskim kuhalnikom. Izbrali smo lonec L3, ki ima premer 16 cm in višino 8 cm, ter lonec z enakim premerom, a višino 11 cm. Tudi ta lonec je bil emajliran lonec proizvajalca EMO in ni zapisan v Tabelo 1, saj je bil uporabljen samo pri tem eksperimentu. Označili smo ga z L3*. V oba lonca smo nalili enako količino vode, kar sicer ne bi bilo potrebno. Meritve so namreč pokazale, da količina vode ne vpliva na izsevano EM valovanje. Rezultate meritev izkoristka za ta dva lonca povzema Tabela 6, graf na Sliki 25 prikazuje, kako je izkoristek odvisen od višine lonca.

Tabela 6: Rezultati Eksperimenta 4

oznaka lonca	višina [cm]	m_l [kg]	m_v [kg]	$\Delta T/\Delta t$ [K/min]	P [W]	η
L3	8	0,571	0,659	$18,17 \pm 0,10$	924 ± 11	$0,924 \pm 0,011$
L3*	11	0,666	0,659	$16,43 \pm 0,10$	848 ± 13	$0,848 \pm 0,013$



Slika 25: Graf izkoristka v odvisnosti od višine lonca

Povezani točki na grafu prikazujeta srednji vrednosti za izkoristek, sive pike pa napake meritev. Vidimo, da se izkoristek manjša z višino lonca. S tem, ko smo uporabili za 3 cm višji lonec, se je izkoristek zmanjšal za 8 %.

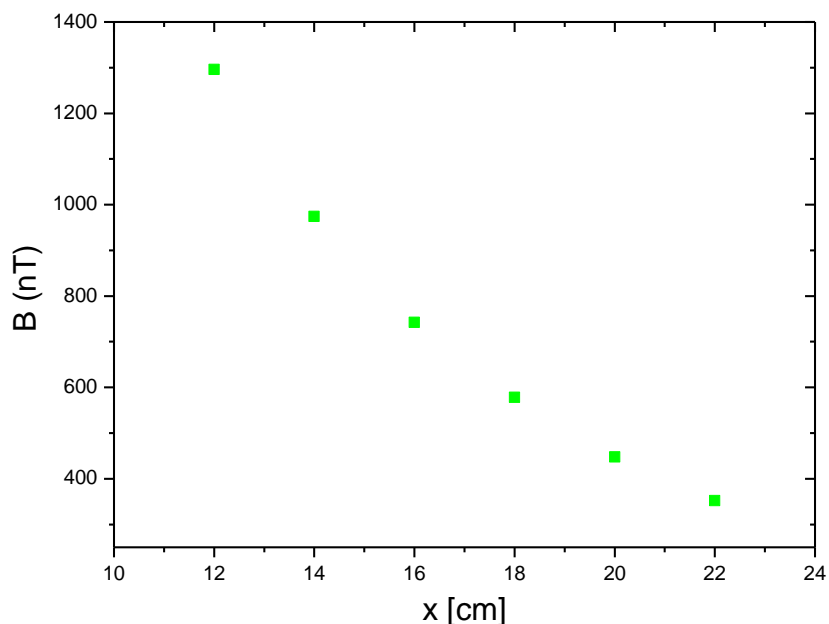
4.2.6 Merjenje odvisnosti jakosti sevanja od premera loncev (Eksperiment 5)

Pri eksperimentu, kjer smo določali izkoristek segrevanja v odvisnosti od premera lonca (Eksperiment 1), smo ugotovili, da je izkoristek najprej narašča s premerom lonca, nato pa pade pri vrednostih 18 cm. Za lonce z premerov večjim od 18 cm izkoristek spet naraste in začne nato za prevelike lonce spet padati. Eden izmed možnih razlogov za povečane izgube pri kuhanju z indukcijskim kuhalnikom je lahko več izsevanega EM valovanja v okolico, zato smo naredili dodatni eksperiment, kjer smo izmerili, kako se spreminjata gostota magnetnega polja 75 cm nad kuhalnikom, če za gretje uporabljamo različno velike lonce. Poskus smo ponovili emajlirane lonce vse premerov. Rezultate povzema Tabela 7.

Tabela 7: Rezultati Eksperimenta 5

oznaka lonca	premer [cm]	B [nT] \pm 10 nT
L1	12	1296
L2	14	974
L3	16	742
L5	18	578
L7	20	448
L8	22	352

Iz tabele vidimo, da B v izsevanem EM valovanju pada zelo hitro z velikostjo lonca. Pri loncu s premerom 12 cm je gostota izsevanega magnetnega polja za 268 % večja kot pri loncu z premerom 22 cm. Spreminjanje gostote izsevanega B prikazuje graf na Sliki 26.



Slika 26: Gostota magnetnega polja v odvisnosti različnih premerov loncev.

Vidimo, da z rezultati tega eksperimenta ne moremo pojasniti, zakaj je izkoristek pri loncih s premerom 18 cm manjši kot pri loncih, ki imajo premer 16 cm in 20 cm. Očitno razlog ni, da bi bilo pri uporabi lonca s premerom 18 cm izsevanega več EM valovanja.

5 ZAKLJUČEK

5.1 Uporaba indukcijskega kuhalnika s čim manjšo izpostavljenostjo sevanju

Pri merjenju jakosti sevanja v odvisnosti od oddaljenosti od kuhalnika smo prišli do ugotovitev, da so izmerjene vrednosti EM sevanja pri delovanju indukcijskega kuhalnika relativno visoke. Hkrati je iz grafa na Sliki 6 razvidno, da vrednosti za jakost električnega polja in gostoto magnetnega polja, padajo zelo hitro z oddaljenostjo od kuhalnika. *Na podlagi tega eksperimenta lahko zaključimo, da je med samo uporabo indukcijskega kuhalnika bistveno manj izpostavljeni sevanju, če smo od njega čim bolj oddaljeni.*

Pri opravljanju meritev gostote magnetnega polja v odvisnosti od kota glede na vodoravnico smo prišli do ugotovitev, da je sevanje neposredno nad kuhalnikom, torej pri kotu 90° , največje. To je razvidno tudi iz grafa na Sliki 7. *Zaključimo lahko, da smo manj izpostavljeni sevanju, če se ne sklanjamo nad kuhalnik.*

Meritve, ki smo jih opravljali pri raziskavi odvisnosti gostote magnetnega polja od premera lonca, so pokazale, da gostota izsevane gostote magnetnega polja B pada zelo hitro z velikostjo lonca (Slika 26). *Glede na dobljene rezultate lahko zaključimo, da je izpostavljenost sevanju manjša, če uporabljamo lonce, ki imajo nekoliko večje premera dna.*

S poskusi opisanimi v 3. poglavju smo pokazali, da spada EM valovanje, ki ga oddaja indukcijski kuhalnik, med dolgovalovno radijsko valovanje, ki človeku načeloma ni nevarno. Možen vzrok za slabše počutje ob uporabi indukcijskega kuhalnika pa bi lahko bilo tudi zvočno valovanje frekvence 100 Hz, ki ga kuhalnik oddaja med valovanjem.

5.2 Energijsko učinkovita raba indukcijskega kuhalnika

Rezultati eksperimenta, pri katerem smo raziskali vpliv velikosti lonca na izkoristek kuhanja z indukcijskim kuhalnikom, namigujejo, da so lonci, ki imajo približno 2 cm manjši oziroma 2 cm večji premer dna od premera aktivnega območja kuhalnika, energijsko najučinkovitejši (Slika 20). Izkoristki pri loncih, ki so veliko večji ali veliko manjši od aktivnega območja so precej nižji. *Zaključimo lahko, da je najbolje uporabiti lonec, ki je nekoliko (pribl. 2 cm) manjši od aktivnega območja kuhalnika, nikakor pa ne lonce, ki so precej večji ali precej manjši. Če imamo majhen lonec, je smiselno uporabiti manjše kuhališče, če pa imamo velik lonec, pa večje kuhališče na kuhalniku.*

Iz istega eksperimenta lahko vidimo tudi, da je lonec, ki ima nekoliko debelejšo dno, energijsko manj učinkovit, kot enako velik lonec s tanjšim dnom. Lonec z debelejšim dnom in je bil precej dražji kot navadni emajliran lonec in je bil (po zagotovitvi proizvajalca) posebej primeren za uporabo z indukcijskim kuhalnikom. *Glede na dobljene rezultate lahko zaključimo, da dražji lonci z debelim dnom niso nujno boljši, oziroma, da se nakup takšnega lonca v smislu izkoristka ne izplača.*

Eksperiment 1 dokazuje tudi, da ukrivljenosti dna lonca ne vpliva na njegov izkoristek. Delovanje indukcijskega kuhalnika smo si ogledali tudi z IR kamero ter ugotovili, da vrtnični tokovi tečejo zgolj po zunanjem robu posode, zato je rezultat, da ukrivljenost dna ne vpliva na izkoristek, pričakovan. V navodilih za uporabo kuhalnika sicer piše, da moramo uporabljati lonce z ravnim dnom, a naše meritve kažejo, da to v resnici ni pomembno. *Zaključimo torej lahko, da so tudi starejši lonci z že ukrivljenim dnom, v smislu izkoristka, povsem primerljivi z enakimi novimi lonci.*

Na podlagi rezultatov meritve, kjer smo opazovali vpliv premika lonca glede na aktivno območje kuhalnika, smo prišli do ugotovitev, da se z večanjem premika glede na središče aktivnega območja vrednost izkoristka manjša (Slika 22). *Za čim večji izkoristek kuhanja z indukcijskim kuhalnikom je torej potrebno lonce postaviti čim bolj na sredino aktivnega območja kuhalnika.*

Pri eksperimentu, kjer smo opazovali vpliv višine lonca na izkoristek, smo prišli do ugotovitve, da je izkoristek boljši pri uporabi nižjih loncev. To je razvidno iz grafa na Sliki 25. *Glede na dobljene rezultate lahko zaključimo, da je pri kuhanju manjših količin hrane, bolje vzeti nižji lonec.*

Kolikšno moč izberemo na kuhalniku ni pomembno, saj rezultati Eksperimenta 3 kažejo, da moč kuhalnika ne vpliva na izkoristek segrevanja vode (Slika 23). *Gretje z majhnimi močmi torej ni energijsko bistveno bolj potratno, kot bi morda pričakovali.*

5.3 Možne izboljšave in predlogi za nadaljnje raziskave

Pri izračunih smo privzeli, da je dejanska moč kuhalnika enaka moči izbrani v meniju kuhalniku (npr. 1000 W). Bolje bi bilo, če bi dejansko moč izmerili z merilnikom porabe energije. Z uporabo tega merilnika smo namreč ugotovili, da se dejanska moč kuhalnika spremeni za nekaj W, če uporabimo različne lonce. Ker bi merjenje dejanske moči bistveno podaljšalo čas

raziskave, smo se odločili, da bo v naši obravnavi moč kuhalnika enaka nastavljeni moči. S tem smo naredili majhno napako in ta ni vplivala na dognanja in zaključke raziskovalne naloge.

Rezultati raziskave bi imeli še večjo težo, če bi uporabili več kuhalnikov različnih proizvajalcev in tudi več različnih loncev.

6 DRUŽBENA ODGOVORNOST

Menimo, da je pri tej raziskovalni nalogi družbena odgovornost osrednje vodilo. Rezultat našega raziskovalnega dela je namreč seznam nasvetov (v Zaključku zapisani poševno) za uporabnike indukcijskih kuhalnikov, ki jim svetujejo, kako bolj varno in energijsko učinkovito uporabljati te kuhalnike. Ker so indukcijski kuhalniki vedno bolj razširjeni, se zaključki te raziskovalne naloge tičejo večine od nas.

7 BIBLIOGRAFIJA

Amon, S. (2015). *Tuljave*. Pridobljeno januar 2017 iz Laboratory of Microsensor Structures and Electronics: <http://lms.fe.uni-lj.si/amon/literatura/EK/EK5-Tuljave.pdf>

Kladnik, R. (2007). *Svet elektronov in atomov*. Ljubljana: DZS.

Konečnik, S. (2. januar 2011). *Transformator*. Pridobljeno januar 2017 iz ftp://ftp.scv.si/pters/simon_konecnik/ESN/3%20-%20Transformator.pdf

Lawandi, J. (16. april 2015). *How an Induction Stove Works, and the Right Pans to Use*. Pridobljeno januar 2017 iz The Kitchn: <http://www.thekitchn.com/why-cant-i-use-just-any-type-of-cookware-with-my-induction-stovetop-food-science-217963>

Nave R. (avgust 2000). *Magnetostriction*. Pridobljeno januar 2017 iz HyperPhysics: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Solids/magstrict.html>

Pahor, J. (18. marec 2016). *Vse o indukcijskem kuhalniku*. Pridobljeno 10. januar 2017 iz Stalno Strokovno Spopolnjevanje: <http://sss.fmf.uni-lj.si/data/279.pdf>

Phillips, M., & Hellmut, F. (24. januar 2017). *Electromagnetic radiation*. Pridobljeno januar 2017 iz Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/science/electromagnetic-radiation>

Satcitananda podjetje za proizvodnjo, trgovino in izobraževanje d.o.o. (2015). *Električna poljska jakost*. Pridobljeno januar 2017 iz PenProf: https://si.openprof.com/wb/elektri%C4%8Dna_poljska_jakost?ch=219

Satcitananda podjetje za proizvodnjo, trgovino in izobraževanje d.o.o. (2015). *Gostota magnetnega polja*. Pridobljeno januar 2017 iz Penproof: https://si.openprof.com/wb/gostota_magnetnega_polja?ch=211

The Owlcroft Company. (2016). *Pros and cons*. Pridobljeno januar 2017 iz The Induction Site: <http://theinductionsite.com/proandcon.php>

Valič, B. (2008). *Elektromagnetna sevanja: nove tehnologije in zdravje*. Ljubljana: Narodna in univerzitetna knjižnica Ljubljana.

Wikipedia. (6. januar 2017). *Radio spectrum*. Pridobljeno januar 2017 iz Wikipedaa: https://en.wikipedia.org/wiki/Radio_spectrum

Woodford, C. (28. januar 2017). *Induction cooktops*. Pridobljeno 29. januar 2017 iz Explainthatstuff: <http://www.explainthatstuff.com/induction-cooktops.html>

Zimmerman Jones, A. (1. marec 2016). *Electromagnetic Induction*. Pridobljeno 20. januar 2017 iz About education: <http://physics.about.com/od/physicsetoh/g/induction.htm>

7.1 Viri slik

Slika 1: Notranjost indukcijskega kuhalnika, velika bakrena tuljava ustvarja magnetno polja.

Povzeto 30.1.2017. Dostopno na: <https://reviewed-production.s3.amazonaws.com/article/16404/bosch-induction-cooktop.jpg>

Slika 2: Prikaz delovanja indukcijskega kuhalnika. Povzeto 30.1.2017. Dostopno na:

http://www.forum-ems.si/gradiva/publikacije/brosure/nove_tehnologije.pdf

Slika 3: Prikaz delovanja indukcijskega kuhalnika, (segrevanje le dela kamor je položena ponev).

Povzeto 30.1.2017. Dostopno na: <http://ovens.reviewed.com/features/induction-101-better-cooking-through-science>

Slika 4: Merjenje frekvence delovanja s sondo in osciloskopom. Lasten vir.

Slika 5: Postavitev eksperimenta merjenja jakosti sevanja indukcijskega kuhalnika in merilnik EM valovanja. Lasten vir.

Slika 6 : Graf B in E v odvisnosti od oddaljenosti od kuhalnika. Lasten vir.

Slika 7: Graf gostote magnetnega polja v odvisnosti od kota glede na vodoravnico. Lasten vir

Slika 8: Pridobivanje signala s Vernierjevim merilnikom napetosti. Lasten vir.

Slika 9: Izmerjen signal pri moči indukcijskega kuhalnika 200 W in 800 W. Lasten vir.

Slika 10: Signali izmerjeni pri močeh indukcijskega kuhalnik 1000 W, 1400 W, 2000 W. Lasten vir.

Slika 11: Frekvenčna analiza zvoka indukcijskega kuhalnika in klasičnega transformatorja. Lasten vir.

Slika 12: Navpično snemanje segrevanja lonca s premerom 18 cm. Lasten vir.

Slika 13: Snemanje segrevanje lonca s premerom 18 cm od strani. Lasten vir.

Slika 14: : Navpično snemanje segrevanje zamaknjene lonca. Lasten vir.

Slika 15: Snemanje segrevanje lonca z večjim premerom kot aktivno območje kuhalnika. Lasten vir.

Slika 16: Snemanje segrevanja aluminijaste folije. Lasten vir.

Slika 17: Lonci, ki smo jih uporabili v eksperimentih. Lasten vir.

Slika 18: Zbiranje podatkov v programu Logger Pro pri segrevanju vode v loncu. Lasten vir.

Slika 19: Postavitev eksperimenta pri merjenju izkoristka v odvisnosti od premera lonca, lonca L5 in lonca L8. Lasten vir.

Slika 20: Graf izkoristka v odvisnosti od premera lonca. Lasten vir

Slika 21: Postavitev eksperimenta pri premiku lonca po plošči. Lasten vir.

Slika 22: Graf izkoristka v odvisnosti od premika lonca po plošči. Lasten vir.

Slika 23: Graf izkoristka v odvisnosti od različnih moči delovanja. Lasten vir.

Slika 24: Graf spremembe temperature v časovnem intervalu v odvisnosti od različnih moči delovanja. Lasten vir.

Slika 25: Graf izkoristka v odvisnosti od višine lonca. Lasten vir.

Slika 26: Gostota magnetnega polja v odvisnosti različnih premerov loncev. Lasten vir.

8 DODATEK

Tabela A: Gostota magnetnega in jakost električnega polja v odvisnosti oddaljenosti od kuhalnika

x [cm]	B [nT] ± 1 nT	E [V/m] $\pm 0,1$ V/m
230	18	1,8
220	22	2,1
210	25	2,6
200	29	2,9
190	34	3,4
180	40	3,7
170	47	4,3
160	57	5,4
150	67	6,2
140	80	7,5
130	98	8,9
120	126	10,9
110	165	14,5
100	217	20,0
90	291	26,3
80	408	34,2
70	588	44,4
60	906	59,4
50	1550	80,0
40	--	112,5
30	--	147,1
20	--	184,0

Tabela B: Odvisnost gostote magnetnega polja v odvisnosti od kota glede na vodoravnico.

x [cm]	$\varphi \pm 5^\circ$	B [nT] ± 1 nT
100	0°	200
100	30°	234
100	60°	282
100	90°	326