

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA MATEMATIKO IN FIZIKO
ODDELEK ZA FIZIKO
FIZIKALNA MERILNA TEHNIKA

Jure Bijec

MERITVE TEMPERATURNE PORAZDELITVE V HLADILNIKIH

Zaključna naloga

MENTOR: prof. dr. Marko Zgonik
SOMENTOR: Ana Penca, univ. dipl. gosp. inž. stroj.

Ljubljana, 2015

IZJAVA O AVTORSTVU

zaključne naloge

Spodaj podpisani Jure Bijec, z vpisno številko 28110176, sem avtor zaključne naloge z naslovom Meritve temperaturne porazdelitve v hladilnikih.

Izjavljam, da:

- sem zaključno nalogo izdelal samostojno pod mentorstvom prof. dr. Marka Zgonika,
- je elektronska oblika dela identična s tiskano obliko in
- Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani dovoljujem objavo elektronske oblike svojega dela na spletnih straneh Repozitorija Univerze v Ljubljani.

Ljubljana, dne 1. 9. 2015

Podpis avtorja:

Zahvala

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Marku Zgoniku za strokovne nasvete in vodenje pri izdelavi zaključne naloge, kot tudi somentorici Ani Penca. Še posebej se tudi zahvaljujem Miranu Rudmanu in Marjanu Metelku za veliko pomoč pri izvedbi meritev in zbiranju literature. Zahvala gre tudi Jožetu Žagarju za izvedbe meritev v njegovem hladilniku.

Izvleček

Predstavil sem merjenje temperaturne porazdelitve v hladilnikih ali mapiranje. Sami postopki meritve morajo ustrezati evropskemu standardu. Meritve so bile izvedene na dveh različnih hladilnikih. Eden je manjši, proizvajalca Beko, drugi pa je nekoliko večji od proizvajalca Gorenje. Prvi je star približno 10 let, drugi pa je praktično nov. Pri obeh sem meril temperaturo z 10 merilniki proizvajalca Hanwell. Primerjava delovanja in zgradbe obeh hladilnikov prikazuje napredovanje tehnologije in boljše razporejeno temperaturo. Pri obeh je izmerjena tudi električna moč z merilnikom proizvajalca Voltcraft, ki jo potrebujeta za delovanje pri največji zmogljivosti. Zanimivo je bilo videti, da temperatura ni tako porazdeljena v hladilniku, kot si predstavljamo. Izmeril sem temperaturo pri minimalni, srednji in maksimalni nastavitvi moči. Meritve so bile opravljene pri praznih in polnih hladilnikih v skladu z evropskimi standardi. Razloženo je delovanje hladilnikov in toplotnih črpalk. V farmaciji in v podjetjih te panoge je zelo pomembna MKT (Mean Kinetic Temperature) ali srednja kinetična temperatura za potrebe transporta in skladiščenje termalno občutljivih produktov.

Izmerke sem urejal v proizvajalčevem programu *Hanlog*, grafe pa sem naredil v *Microsoftovem Excelu*. Grafi v *Hanlogu* so namreč zelo slabo pregledni. Ponuja pa izračun srednje kinetične temperature. Skice hladilnikov in delovnega prostora so bile narisane v programu *AutoCAD*.

Ključne besede: merjenje temperaturne porazdelitve, MKT, hladilnik, toplotni stroj

PACS: 07.20.Pe

Abstract

I represented mapping or measurements of temperature distributions in refrigerators. Measurement procedures have to meet European Standards. Measurements were made on two different refrigerators. One is smaller, the producer is Beko, and the other is slightly bigger and produced by Gorenje. The first one is about 10 years old, the other one is practically new. I measured the temperature with 10 gauges of the manufacturer Hanwell. Comparison of operation and construction of both refrigerators shows how much progress has been made in technology and better temperature distribution. In both cases the electrical power, which is needed to operate at maximum capacity, was measured by Voltcraft's gauge. It was interesting to see that the temperature in refrigerator is not as distributed as we imagine. I measured the temperature at the minimum, medium and maximum power settings. The measurements were carried out on empty and full refrigerators according to European Standards. The operation of refrigerators and heat pumps is explained. MKT or Mean Kinetic Temperature is very important in pharmaceutical industry and in companies of this sector for the needs of transport and storage of thermal sensitive products.

The results were arranged in manufacturer's program *Hanlog*, graphs were made in *Microsoft Excel*, because graphs in *Hanlog* are not transparent enough, but it offers calculation of mean kinetic temperature. Sketches of refrigerators and workspace were drawn in *AutoCAD*.

Keywords: measurement of temperature distribution, MKT, refrigerator, heat pump

PACS: 07.20.Pe

Kazalo

1	Uvod.....	13
1.1	Hladilnik in toplotna črpalka	13
1.2	Izkoristek ali učinek hladilnika.....	14
1.3	MKT ali » <i>Mean Kinetic Temperature</i> «.....	16
2	Metode	17
3	Rezultati	19
3.1	Rezultati za prazne hladilnike.....	20
3.1.1	Rezultati pri minimalni nastavitvi moči	20
3.1.2	Rezultati pri srednji nastavitvi moči.....	22
3.1.3	Rezultati pri maksimalni nastavitvi moči.....	25
3.2	Rezultati za polne hladilnike	28
3.2.1	Rezultati pri srednji nastavitvi moči.....	28
3.2.2	Rezultati pri maksimalni nastavitvi moči.....	31
3.3	Rezultati meritve električne porabe	33
4	Diskusija	37
5	Literatura.....	39

Poglavje 1

1 Uvod

Pri merjenju temperaturne porazdelitve sem uporabil dva različna hladilnika. Eden je manjši, proizvajalca Beko, star okoli 10 let, medtem ko je drugi večji in skoraj nov ter je produkt proizvajalca Gorenje. Da bi razumeli, zakaj je razlika v rezultatih, moramo najprej poznati sam princip delovanja in zgradbo hladilnika.

Toplotni stroj v električno delo pretvarja toploto. Spremembe v tem stroju opravlja snov. Od toplotnega rezervoarja z višjo temperaturo prejme toploto. Del te toplote pretvarja v mehansko delo, del pa odda rezervoarju z nižjo temperaturo ter se vrne v začetno stanje. Na osnovi krožnih sprememb snovi deluje tako, da v enem ciklu prejme toploto Q_{pre} , nato pa se vrne v začetno stanje. Pri tem opravi delo A in odda toploto Q_{odd} . Prejeta toplota je enaka vsoti opravljenega dela in oddane toplote: $Q_{pre} = A + Q_{odd}$. Izkoristek toplotnega stroja η je enak:

$$\eta = \frac{A}{Q_{pre}} = 1 - \frac{Q_{odd}}{Q_{pre}}$$

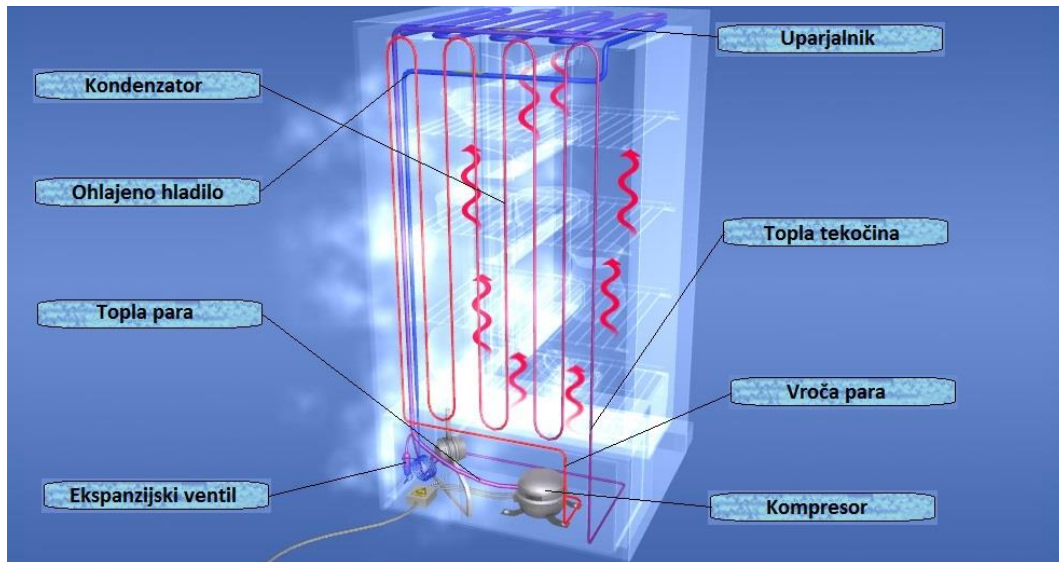
Pri hladilniku oz. toplotni črpalki pa snov ali hladilo opravlja krožne spremembe v obratni smeri kot pri toplotnem stroju.

V farmaciji je nadvse pomembna tudi tako imenovana srednja kinetična temperatura (MKT-»Mean Kinetic Temperature«), ki je razložena v podpoglavju.

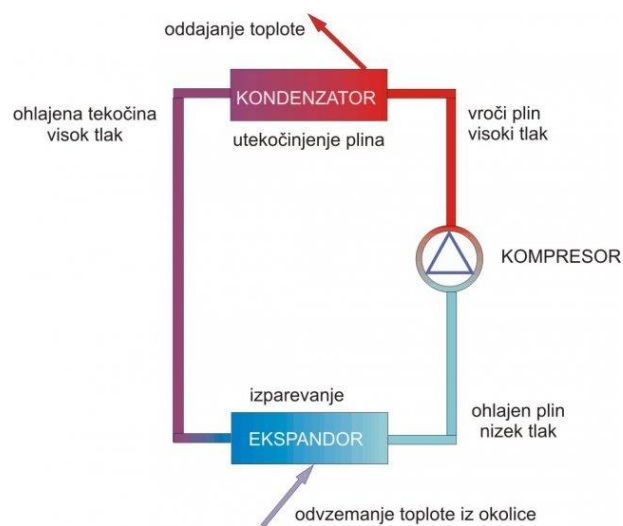
1.1 Hladilnik in toplotna črpalka

V realnem hladilniku opravlja krožne spremembe plin (freon) ali hladilo, ki se pri sobni temperaturi pri zmernem tlaku utekočini. Kapljevina brizga v cevi uparjalnika v notranjosti hladilnika, kjer zaradi nizkega tlaka izpari. Izparilno toploto vzame od okolice, torej notranjosti hladilnika. Nato črpalka (kompresor) plin prečrpa v toplotni izmenjevalnik (kondenzator) na zadnji strani hladilnika. Tu plin pod zvišanim tlakom odda toploto, se ohladi na sobno temperaturo in utekočini. Celoten cikel se zaključi z ekspanzijskim ventilom. Namen ekspanzije je zmanjševanje tlaka v sistemu. Nižji tlak pa povzroči znižanje temperature vrelišča. Hladilo se zaradi raztezanja ohlaja. Hladno tekoče hladilo sklene krožni proces, ko pride od ventila spet nazaj do uparjalnika.(vir: [2]) Na sliki 1.1 je prikazana sama sestava hladilnika.

V primeru toplotne črpalke pa odvezujemo toploto iz okolice (zrak, zemlja ali talna voda) in jo s pomočjo kondenzatorja uporabimo za segrevanje notranjih prostorov.



Slika 1.1: Deli hladilnika (vir: [3])



Slika 1.2: Shema hladilnika ali toplotne črpalke (vir: [4])

1.2 Izkoristek ali učinek hladilnika

Izkoristek hladilnika η lahko definiramo kot razmerje med prejeto toploto Q_p pri nižji temperaturi T' in prejetim delom A v eni krožni spremembi. Ker je oddana toplota Q_o pri višji temperaturi T enaka $Q_p + A$, velja:

$$\eta = \frac{Q_p}{A} = \frac{Q_p}{(Q_o - Q_p)} = \frac{1}{\frac{Q_o}{Q_p} - 1}$$

Tako definiran izkoristek je lahko večji od 1.

Carnotov izrek podaja načelo izkoristka idealnega toplotnega oziroma hladilnega stroja. Izrek pravi, da je izkoristek toplotnega stroja odvisen od najvišje in najnižje temperature plina med ciklom. Carnotov hladilnik je torej idealni hladilnik z največjim izkoristkom. Zanj torej velja sorazmerje $Q_o/Q_p = T/T'$, izkoristek pa je potem:

$$\eta = \frac{T'}{T - T'}$$

Učinek hladilnika bo tem večji, čim višja bo temperatura v hladilniku in čim manjša bo temperaturna razlika med notranjostjo hladilnika in okolico. (vir: [1])

1.3 MKT ali »Mean Kinetic Temperature«

V farmacevtskih podjetjih in drugih ustanovah te panoge tudi uporabljajo hladilnike. Takšni hladilniki niso za domačo uporabo, ampak za shranjevanje stvari, ki potrebujejo točno določeno temperaturo s čim manj fluktuacij. Pravila, ki jih določa ameriška Uprava za hrano in zdravila (FDA), zahtevajo, da se kontrolira in opazuje temperatura v skladiščih in transportu. Poleg tega FDA zahteva dobro dokumentirano sprotno preverjanje teh okolij za shranjevanje in vse korektivne ukrepe, če temperatura preseže specifične pogoje shranjevanja. Za to se uporablja srednja kinetična temperatura (MKT). To je poenostavljen način izražanja celotnega vpliva temperaturnih fluktuacij med skladiščenjem in transportom hitro pokvarljivega blaga. Z njeno pomočjo lahko distributerji in proizvajalci vidijo, ali je na njihov produkt vplival neprimeren transport ali prenašanje med transportnim vozilom in skladiščem. Srednja kinetična temperatura je malce višja kot sama povprečna vrednost.

Enačba za izračun srednje kinetične temperature:

$$T_K = \frac{\frac{\Delta H}{R}}{-\ln\left(\frac{e^{\left(\frac{-\Delta H}{RT_1}\right)} + e^{\left(\frac{-\Delta H}{RT_2}\right)} + \dots + e^{\left(\frac{-\Delta H}{RT_n}\right)}}{n}\right)}$$

kjer je n število izmerkov temperature, ΔH aktivacijska energija določene snovi v transportu in R plinska konstanta (8,314472 J/molK). (vir: [8])

Aktivacijska energija je najmanjša energija, ki je potrebna za kemijsko reakcijo. Energija je lahko toplota ali katera druga energija. V primeru farmacije se prevažna večinoma trdne snovi, za katere je aktivacijska energija med 60 in 100 kJ/mol. Uporablja se vrednost okrog 80 kJ/mol (približno 0,83 eV na delec), ki zajame večino trdnin in tekočin. Natančnost ni potrebna, ker na končno vrednost nima velikega vpliva. Kemijske reakcije v farmaciji, ki se zgodijo pri tej določeni energiji, so različne.

Poglavje 2

2 Metode

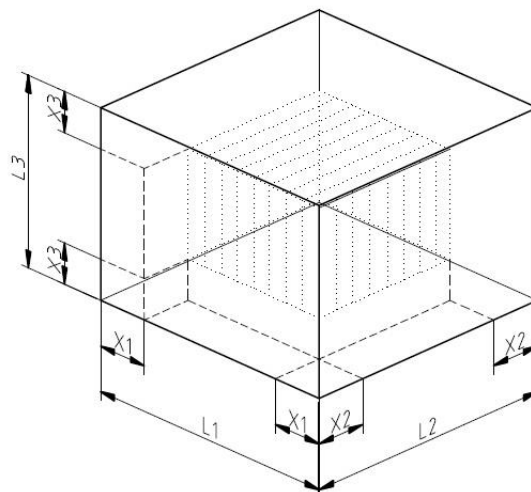
Temperaturno mapiranje se uporablja na praktično enak način tudi pri kalibracijah klima komor, termostatov, sušilnikov in zamrzovalnikov. Kalibracije v laboratorijih se zgledujejo po mednarodnih standardih. Iz dokumentacije testa porazdelitve temperature mora biti razvidno, ali je v navedenih napravah zagotovljeno vzdrževanje predpisanih parametrov v skladu z zahtevami proizvajalca, in ali so sonde za spremljanje predpisanih parametrov nameščene na pravilnem mestu. Merilni inštrumenti morajo biti kalibrirani na $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pri treh temperaturah v območju delovne temperature testirane naprave.

Do volumna 2000 l je potrebno uporabiti 9 merilnih sond. Za večje naprave pa potrebujemo najmanj 15 merilnih senzorjev. Pomembna je tudi razporeditev oziroma oddaljenost merilnih sond od sten hladilnika (skladno z [Z]):

Velikost naprave	Volumen [l]	Razdalja X (senzorja od sten naprave) [mm]	Razdalja $X_{\min}$ [mm]
Majhna	Do 1000	L/10	50
Srednja	1000 do 2000	L/10	100
Velika	Nad 2000	L/10	150

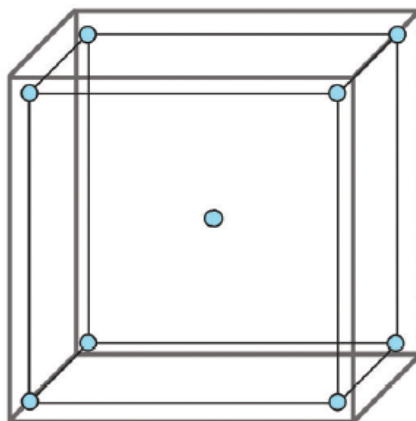
Tabela 2.1: Definirana razdalja merilnih senzorjev od sten naprave (vir: [Z])

Dejanska razporeditev senzorjev je označena na sliki 2.2. Testirana naprava mora biti nastavljena na delovne pogoje, ki jih določi uporabnik. V končnem poročilu po kalibraciji morajo biti zapisane nastavitve procesa, ki ga spremljamo, in ali se test izvaja v polni napravi ali v prazni ter podatki o velikosti oz. volumnu naprave. Test izvajamo v časovnem razponu od 6 do 12 ur. Test za hladilnik je omejen na najmanj 6 ur.



Slika 2.1: Delovni prostor testirane naprave (vir: [7])

Pri daljših procesih je pomembno, da je povprečna temperatura znotraj željenega intervala, posamične odstopa pa moramo upravičiti (npr. odpiranje vrat naprave). Podatkov v fazi začetnega segrevanja praviloma ne vključimo v analizo. Pri določitvi kriterija je potrebno upoštevati tudi specifikacije proizvajalca naprave. (vir: [5])



Slika 2.2: Postavitev 9 merilnih naprav v testirani napravi (notranji kvader predstavlja delovni prostor) (vir: [6])

Poglavje 3

3 Rezultati

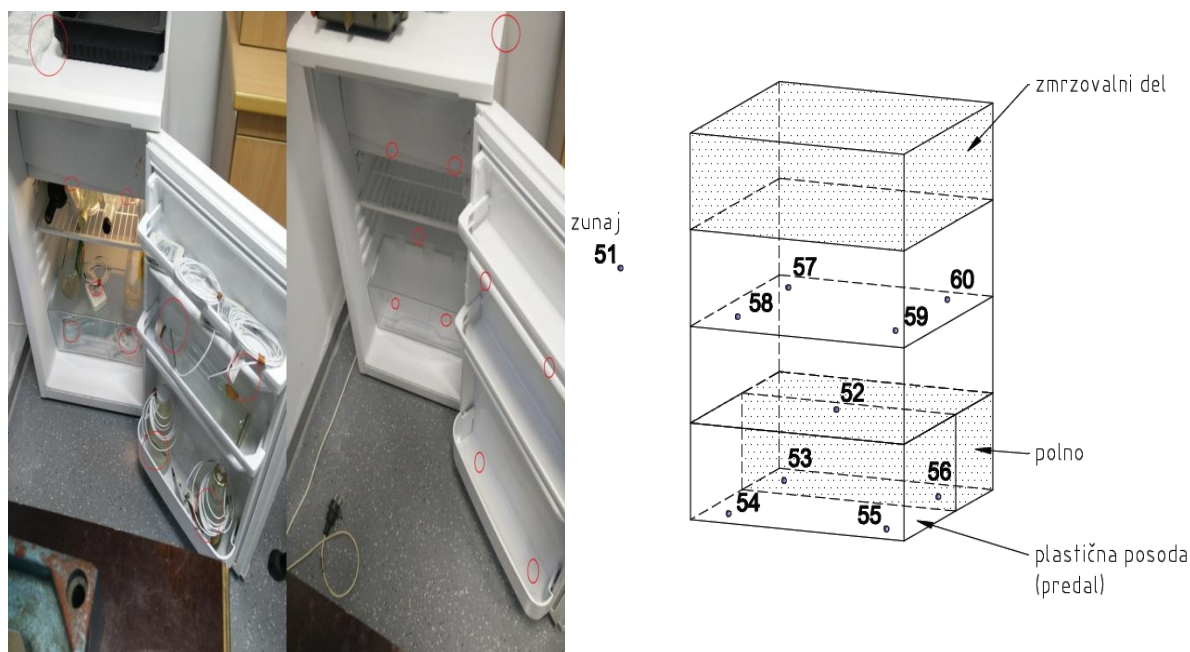
Uporabil sem torej dva hladilnika. Prvi je izdelek proizvajalca Beko in je star že nekaj let ter ni v uporabi. Drugi je izdelek proizvajalca Gorenje in je skoraj nov. Uporablja se v domači predsobi kot sekundarni hladilnik.

Proizvajalčevi podatki hladilnikov so predstavljeni v tabeli 3.1:

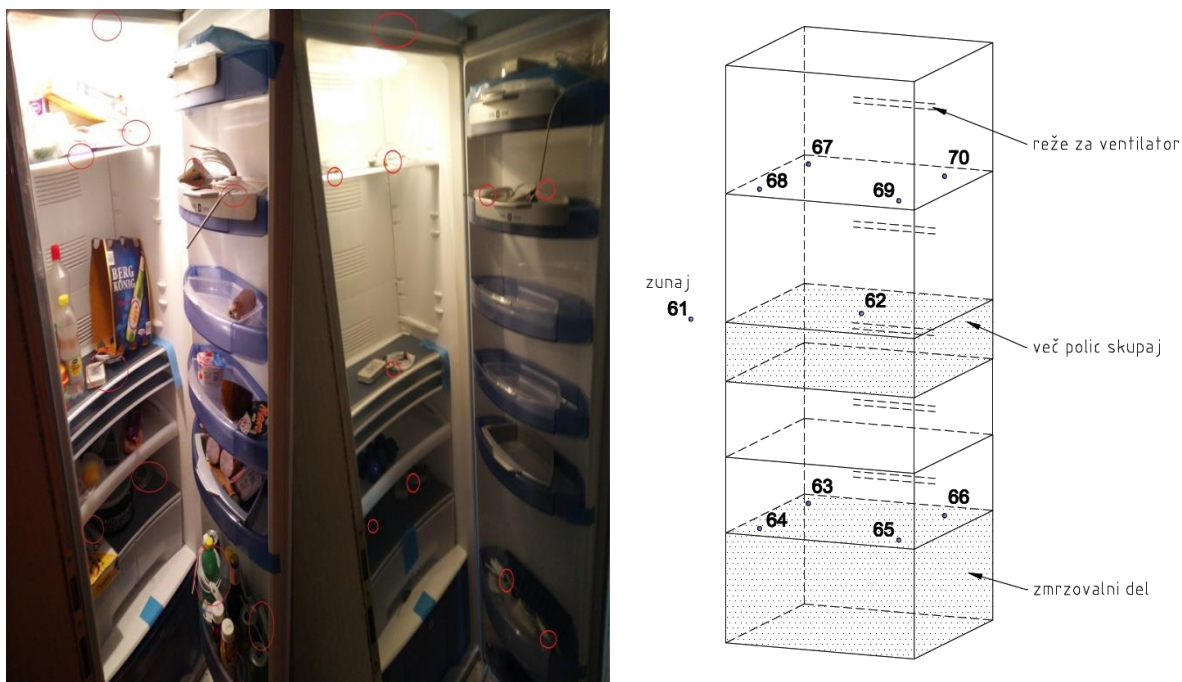
	Beko	Gorenje
Številka modela	RSE 1565	R67364A
Celoten volumen hladilnika [l]	142	356
Volumen hladilnega prostora [l]	109	346
Moč [W]	67	80
Lokacija zamrzovalnega predala	Zgoraj	Spodaj (»Zero & Fresh« predal)

Tabela 3.1: Proizvajalčevi podatki obeh naprav

Postavil sem merilnike tako, kot zahteva standard, obenem pa sem še z 10. merilnikom meril temperaturo okolico hladilnika. Meritve sem za prazne hladilnike opravil pri treh različnih nastavitvah naprav. Pri minimalni, sredinski in maksimalni nastavitvi. Za polne hladilnike sem bil časovno zelo omejen, zato sem lahko opravil meritve samo pri sredinski in maksimalni. Beko ima 5-stopenjski termostat, medtem ko ima Gorenje možno nastavljanje temperature na ekranu prikazovalnika oz. regulatorja v vratih. Postavitve merilnikov prikazujeta sliki 3.1 in 3.2 za posamezen hladilnik. Merilniki so odčitali podatke na vsako minuto.



Slika 3.1: Postavitev merilnikov v hladilniku Beko (zunaj je merilnik 51)



Slika 3.2: Postavitev merilnikov v hladilniku Gorenje (zunaj je merilnik 61)

Merilniki so produkt podjetja *Hanwell* in merijo samo temperaturo. Podatke merilnikov sem razbral in urejal preko proizvajalčevega programa *Hanlog*, grafe pa sem izrisal preko *Microsoftovega Excela*. Na koncu sem še izmeril električno moč, ki jo uporabljata hladilnika pri maksimalni moči. Uporabil sem merilec *Energy Check 3000* od proizvajalca *Voltcraft*. Razbral sem podatke o moči na vsako minuto za najmanj dva cikla.

3.1 Rezultati za prazne hladilnike

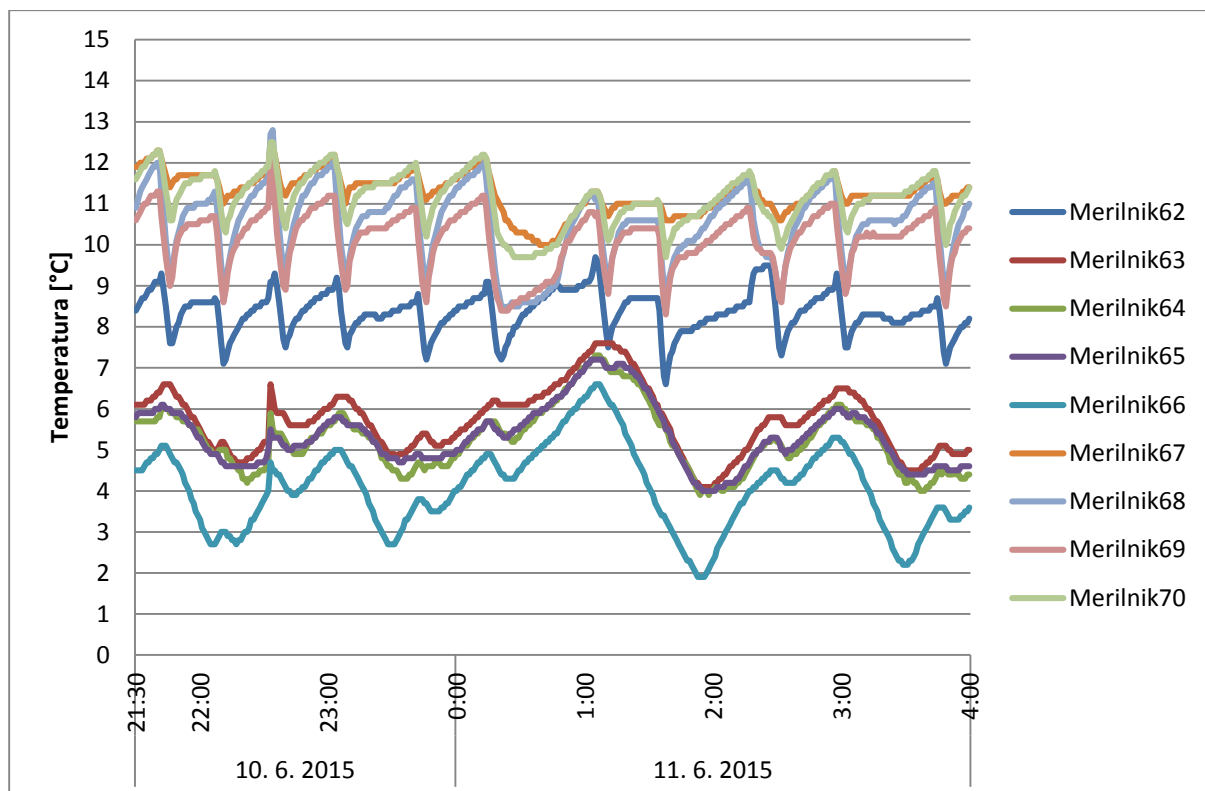
3.1.1 Rezultati pri minimalni nastavitvi moči

Za minimalno moč sem hladilnik Beko nastavil na 1. stopnjo in Gorenje na 8°C. Po standardu sem moral meriti najmanj 6 ur.

Za Gorenje sem dobil sledeče rezultate:

Št. merilnika	61(zun.)	62	63	64	65	66	67	68	69	70
Minimum [°C]	24,8	6,6	4,1	3,9	4,0	1,9	10,0	8,4	8,3	9,7
Maksimum [°C]	25,8	9,7	7,6	7,3	7,2	6,6	12,5	12,8	12,0	12,5
Povprečje [°C]	25,2	8,4	5,7	5,3	5,4	4,1	11,3	10,5	10,1	11,1
MKT [°C]	25,2	8,5	5,7	5,5	5,5	4,2	11,3	10,5	10,2	11,1
Stand. deviacija	0,2	0,5	0,8	0,8	0,8	1,0	0,5	0,9	0,7	0,6

Tabela 3.2: Rezultati za hladilnik Gorenje pri minimalni moči



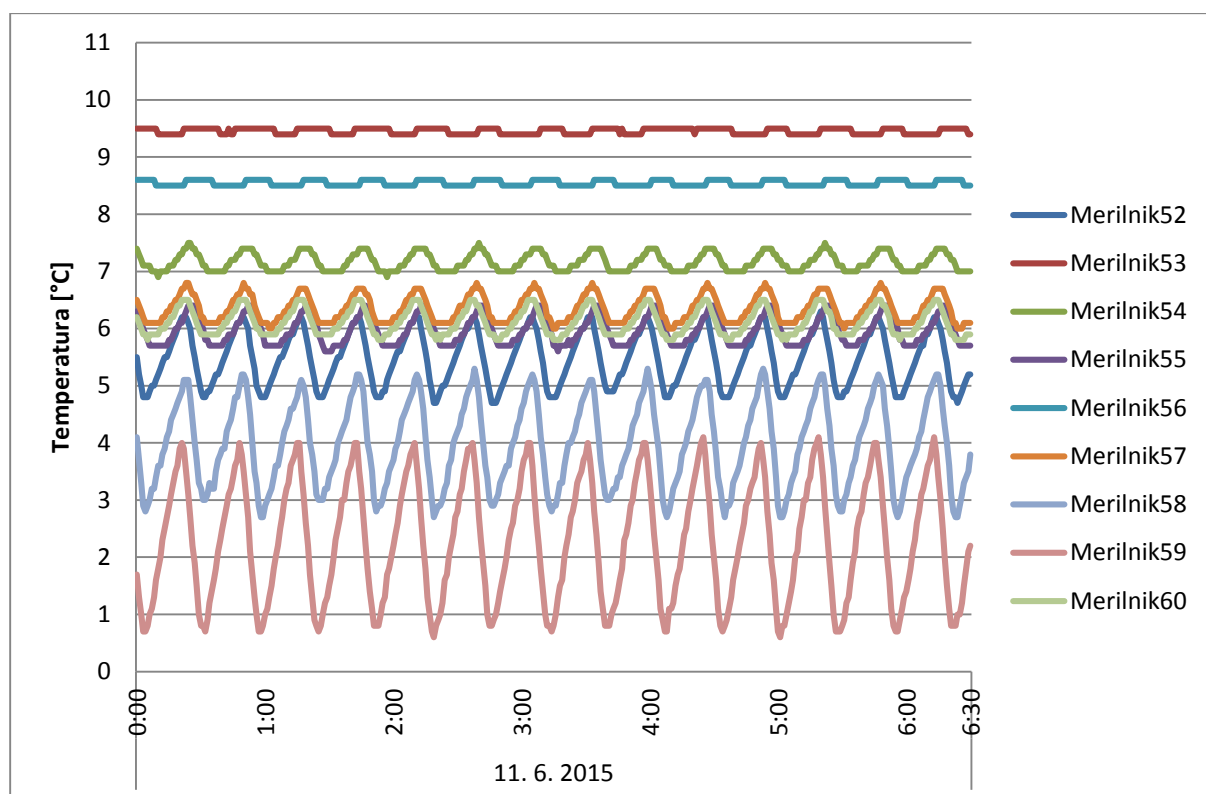
Slika 3.3: Časovna odvisnost temperature v hladilniku Gorenje pri minimalni moči

Spodnja skupina merilnikov na grafu slike 3.3 je na najnižjem predelu hladilnika, kjer naj bi bil prostor za steklenice. Moti kvečjemu to, da je v neposredni bližini predal za sadje in zelenjavo, kot je to razvidno s slike 3.2. Merilnik 62 je bil na sredini delovnega prostora in je izmeril povprečno približno toliko, kot je nastavljen hladilnik. Zgornja skupina merilnikov pa je bila na zgornjem predelu. Merilnik 61 je bil postavljen zunaj hladilnika in je meril temperaturo okolice v neposredni bližini hladilnika.

Z naslednjo tabelo sledijo rezultati za hladilnik Beko.

Št. merilnika	51(zun.)	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Minimum [°C]	21,0	4,7	9,4	6,9	5,6	8,5	6,0	2,7	0,6	5,8
Maksimum [°C]	21,2	6,3	9,5	7,5	6,4	8,6	6,8	5,3	4,1	6,5
Povprečje [°C]	21,1	5,5	9,5	7,2	6,0	8,5	6,4	4,0	2,3	6,1
MKT [°C]	21,1	5,5	9,5	7,2	6,0	8,5	6,4	4,1	2,4	6,1
Stand. deviacija	0,0	0,5	0,1	0,2	0,3	0,0	0,2	0,8	1,1	0,2

Tabela 3.3: Rezultati za hladilnik Beko pri minimalni moči



Slika 3.4: Časovna odvisnost temperature v hladilniku Beko pri minimalni moči

Na grafu slike 3.4 sta spodnja dva merilnika 58 in 59 bila na zgornjem predelu hladilnika na vratih, kjer imamo po navadi jajca, čeprav je zaradi bližine zamrzovalnega dela na tem predelu prehladno za taka živila. Vratca za zamrzovalni del nimajo take izolacije, da ne bi leden zrak uhajal ven in seveda navzdol. Merilnika 57 in 60 sta bila prav tako na najvišjem predelu delovnega prostora, vendar sta bila postavljena na zadnji strani. Glede na to, da imata povprečno temperaturo dobrih 6 stopinj, je to povsem zadovoljivo, ko je tudi približno toliko drugje po hladilniku. V spodnjem predelu sem moral dati dva merilnika (52 in 53) v predal za sadje in zelenjavo. Vidimo, da hlajenje na njiju precej manj vpliva in tudi nihanja skoraj ni.

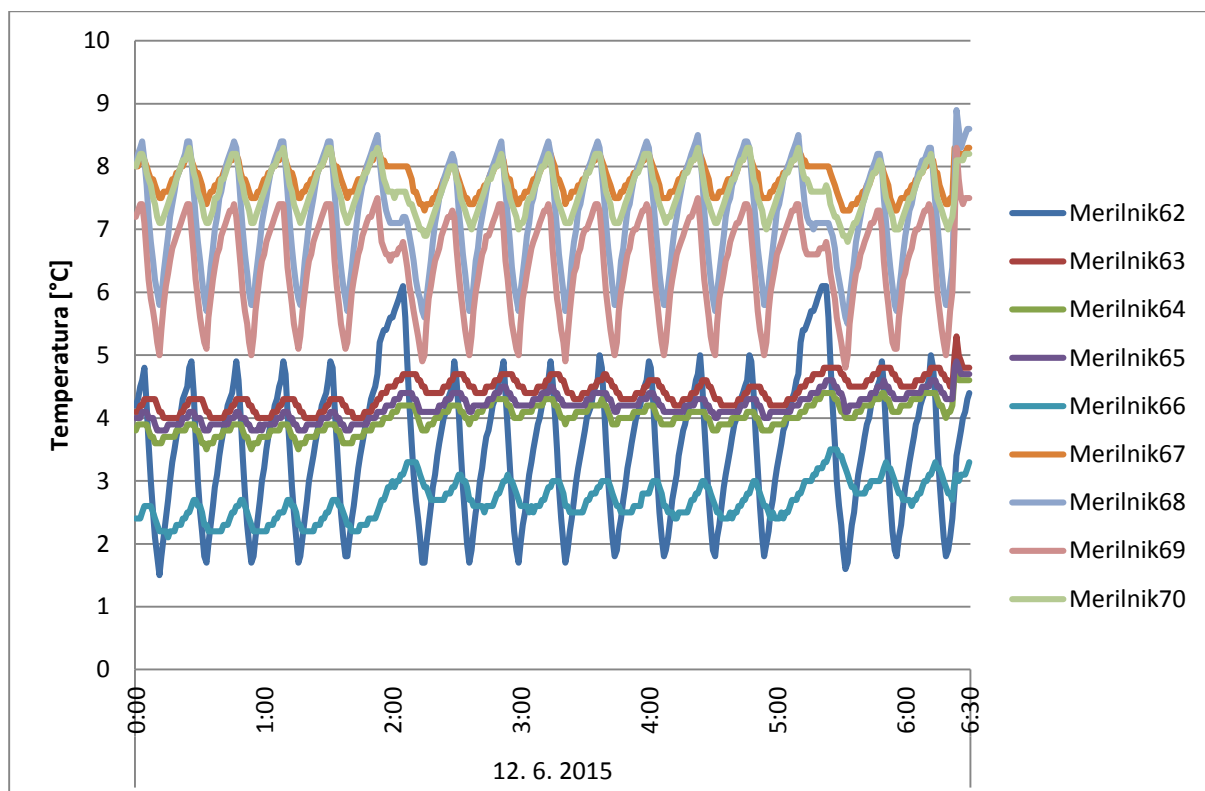
Zunaj sem postavil merilnik 51. Hladilnik je v dobro prezračevanem prostoru z regulacijo temperature nastavljeno na 21,0°C. Zato tudi zunanja temperatura skoraj ne niha in je v povprečju konstantna.

3.1.2 Rezultati pri srednji nastavitvi moči

Za sredinsko nastavitvev moči sem hladilnik Beko nastavil med stopnjo 2 in 3, Gorenje pa sem nastavil na 5°C. Vsi proizvajalci priporočajo sredinsko stopnjo oz. nekje na 5°C. Rezultati za hladilnik Gorenje sledijo v naslednji tabeli.

Št. merilnika	61(zun.)	62	63	64	65	66	67	68	69	70
Minimum [°C]	23,5	1,5	4,0	3,5	3,8	2,1	7,3	5,5	4,8	6,8
Maksimum [°C]	25,2	6,1	5,3	4,7	4,9	3,5	8,3	8,9	8,3	8,3
Povprečje [°C]	24,3	3,5	4,4	4,0	4,2	2,7	7,8	7,2	6,4	7,6
MKT [°C]	24,3	3,6	4,4	4,0	4,2	2,7	7,8	7,3	6,5	7,6
Stand. deviacija	0,5	1,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,8	0,7	0,4

Tabela 3.4: Rezultati za hladilnik Gorenje pri srednji moči



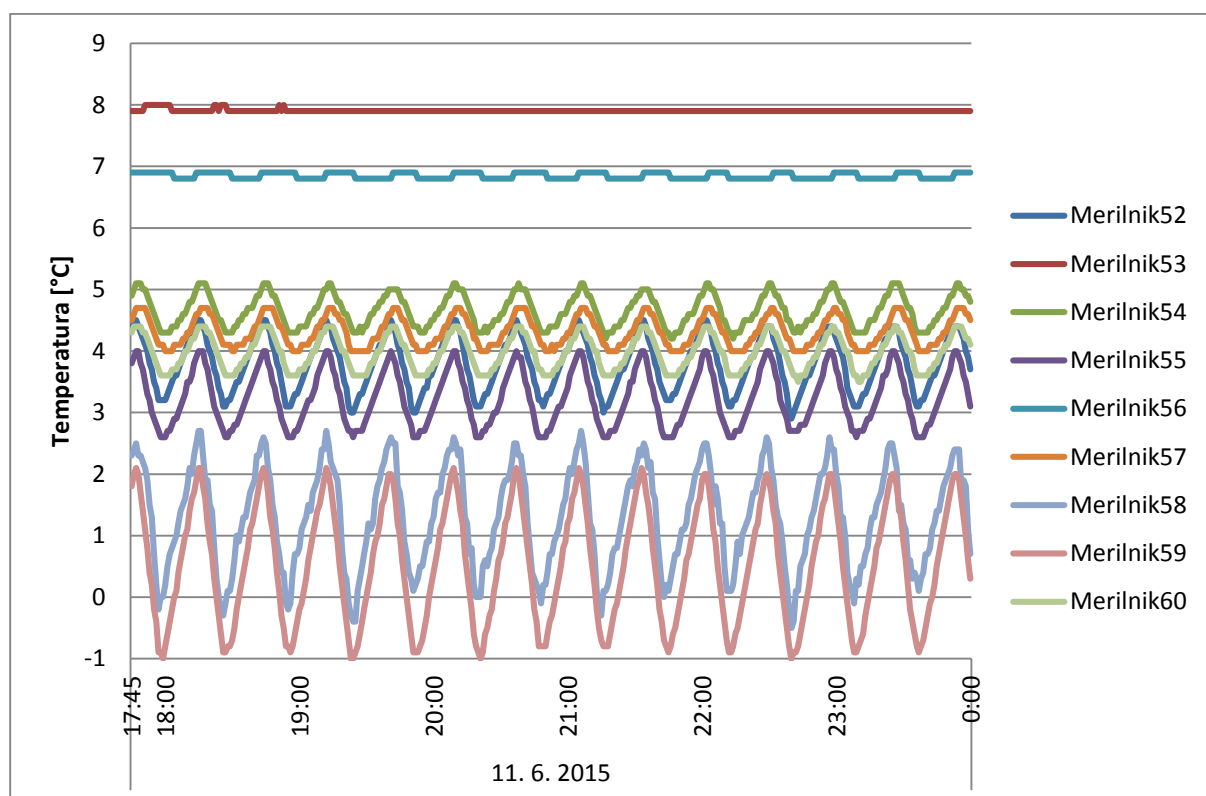
Slika 3.5: Časovna odvisnost temperature v hladilniku Gorenje pri srednji moči

Glede na to, da je na ekranu hladilnika nastavljena temperatura na 5°C, je zanimivo, da nikjer v hladilniku ni v povprečju vsaj blizu nastavljenemu. V vseh predelih je približno enako razporejena kot pri minimalni moči na 8°C, le sredinski merilnik 62 je postal zanimiv. Kakor je bila sredina prej približno z najmanj nihanji, je sedaj skoraj najhuje. Opazno je tudi, da se je temperatura že tako zmanjšala, da ima v programu nastavljeno na vsake 4 ure malo daljše mirovanje, kar je že posledica »No frost« cikla. A vseeno zmoti to, da je ob nastavljeni priporočeni temperaturi v sredini hladilnika temperatura povprečno okrog 3°C in pade tudi pod 2°C.

Rezultati za hladilnik Beko so v naslednji tabeli.

Št. merilnika	51(zun.)	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Minimum [°C]	20,6	2,9	7,9	4,2	2,6	6,8	4,0	-0,5	-1,0	3,5
Maksimum [°C]	20,8	4,5	8,0	5,1	4,0	6,9	4,7	2,7	2,1	4,4
Povprečje [°C]	20,7	3,8	7,9	4,7	3,2	6,8	4,3	1,3	0,5	4,0
MKT [°C]	20,7	3,8	7,9	4,7	3,3	6,8	4,3	1,4	0,6	4,0
Stand. deviacija	0,0	0,4	0,0	0,3	0,5	0,0	0,2	0,8	1,0	0,3

Tabela 3.5: Rezultati za hladilnik Beko pri srednji moči



Slika 3.6: Časovna odvisnost temperature v hladilniku Beko pri srednji moči

Graf na sliki 3.6 prikazuje nekje normalno sliko dogajanja za to stopnjo. V predalu za sadje in zelenjavo so še vedno odlične razmere. V sredini hladilnika celo boljše razmere, kot so pri precej novejšem Gorenju. Ob zamrzovalnem predalu je tudi še vedno izredno nizka temperatura. Nedvoumno prenizka za jajca, če vzamem kot primer.

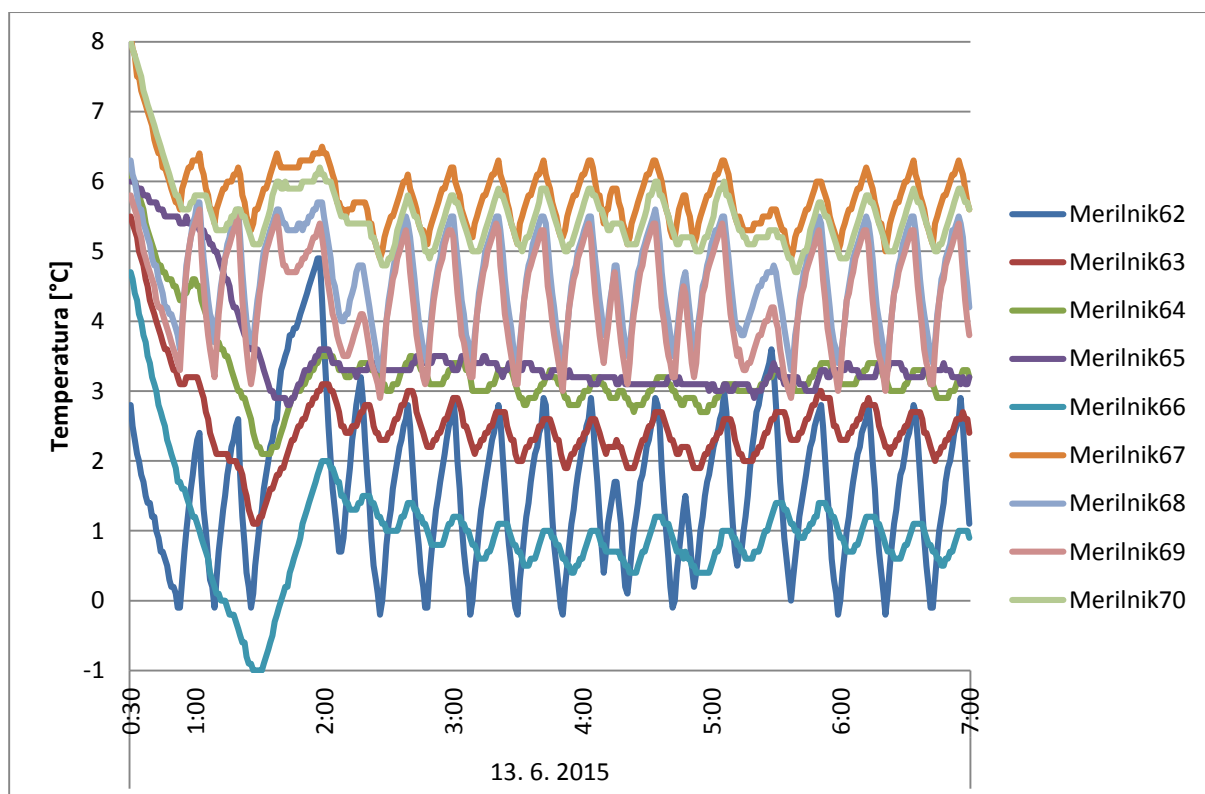
3.1.3 Rezultati pri maksimalni nastavitvi moči

Da sem imel oba hladilnika na maksimumu, sem moral Gorenje nastaviti na 3°C in Beko na 5. stopnjo.

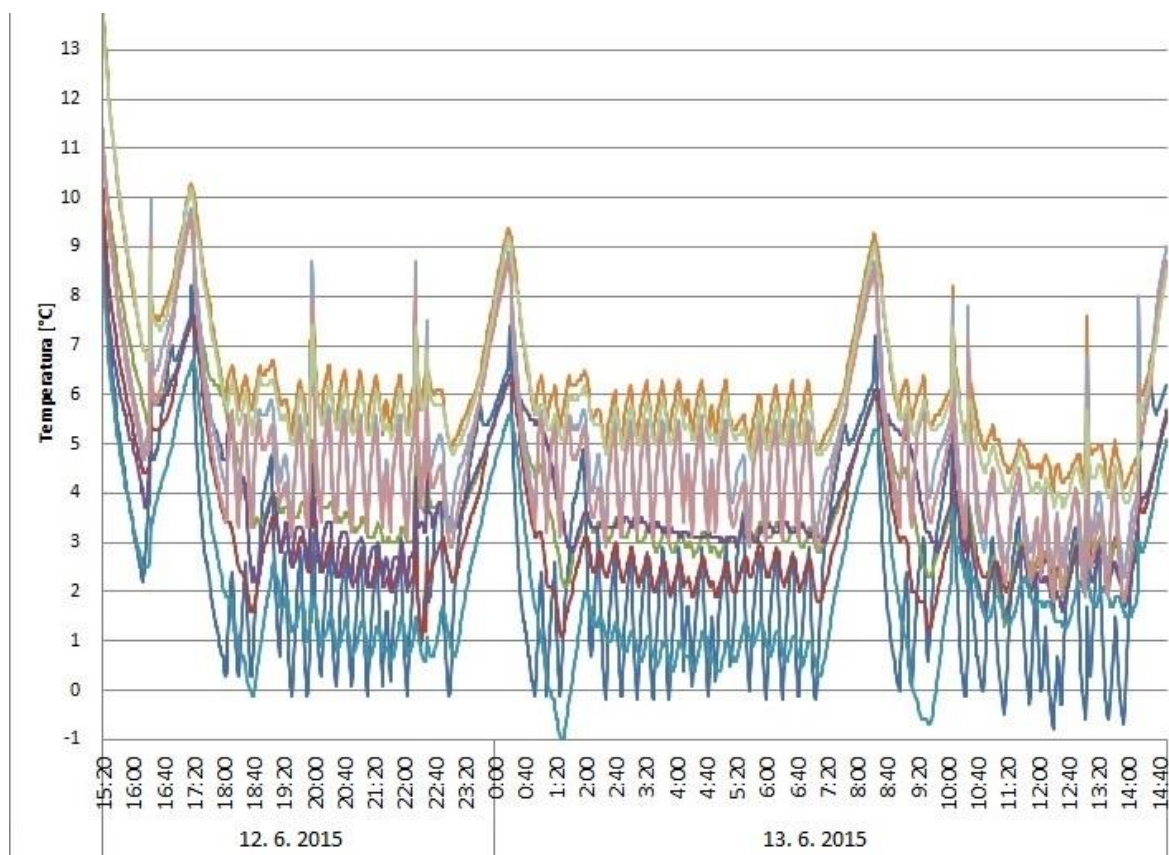
Rezultati za Gorenje:

Št. merilnika	61(zun.)	62	63	64	65	66	67	68	69	70
Minimum [°C]	24,5	-0,2	1,1	2,1	2,8	-1,0	4,9	3,3	2,9	4,7
Maksimum [°C]	25,2	4,9	5,4	6,1	6,0	4,6	7,9	6,3	5,8	7,9
Povprečje [°C]	24,9	1,6	2,5	3,3	3,5	1,0	5,8	4,6	4,3	5,5
MKT [°C]	24,9	1,7	2,6	3,3	3,5	1,1	5,8	4,6	4,3	5,6
Stand. deviacija	0,2	1,1	0,6	0,6	0,7	0,8	0,4	0,7	0,7	0,5

Tabela 3.6: Rezultati za hladilnik Gorenje pri maksimalni moči



Slika 3.7: Časovna odvisnost temperature v hladilniku Gorenje pri maksimalni moči



Slika 3.8: Graf celotnih meritev za Gorenjev hladilnik pri maksimalni moči

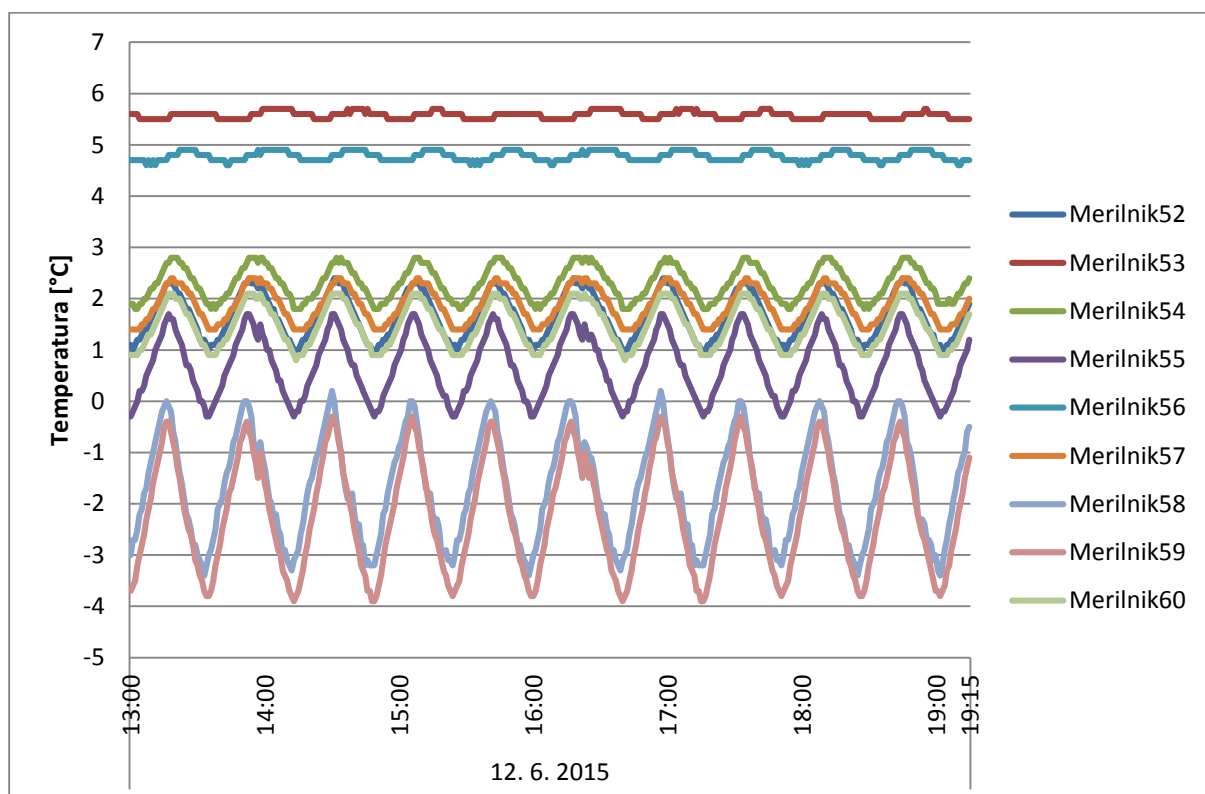
Ko nastavimo hladilnik Gorenje na 3°C, imamo to temperaturo približno na spodnjem predelu na vratih (merilnika 64 in 65), kot nam to prikazuje slika 3.7. Merilnika 66 in 63 predstavljata rezultate spodaj na polici. Takoj pod njo je predal za sadje in zelenjavo. Pri temperaturah od 1°C pa do 2°C bi v povprečju nekatera zelenjava že zmrznila.

Na sliki 3.8 prikazuje graf celotno meritev in pokaže, zakaj so na začetku prejšnjega grafa čudna nihanja. Na grafu opazimo, da je lastnik hladilnika vrata nekajkrat na kratko odprl, kar nam pokažejo delta funkcije. Tri večje odmike od ravnovesja pa je zakrivil sam program. Očitno hladilnik s programom »No frost« le skrbi, da živila ne zmrznejo v hladilniku. Je pa tudi moč pri maksimalni nastavitvi že visoka in verjetno skrbi tudi za manjšo porabo. Na približno 6 ur ima fazo mirovanja, ki traja natanko 1 uro in 15 minut. Česa podobnega na srednji in minimalni nastavitvi nisem opazil. Pri polnem hladilniku (sledi v naslednjem podpoglavju) česa takega tudi nisem opazil. Mogoče je potem toliko višja temperatura zaradi živil, da teh večjih ciklov mirovanja ne potrebuje več. Verjetno pa bi moral meriti veliko dlje, da bi jih ujel v rezultate.

Rezultati za hladilnik Beko so sledeči:

Št. merilnika	51(zun.)	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Minimum [°C]	21,2	1,0	5,5	1,8	-0,3	4,6	1,3	-3,5	-3,9	0,8
Maksimum [°C]	21,8	3,4	7,9	3,9	2,6	6,8	3,4	0,8	0,4	3,1
Povprečje [°C]	21,5	1,9	6,0	2,5	0,8	5,1	2,1	-1,6	-2,1	1,7
MKT [°C]	21,5	2,0	6,0	2,5	0,8	5,1	2,1	-1,5	-2,0	1,7
Stand. deviacija	0,1	0,6	0,6	0,5	0,7	0,5	0,5	1,1	1,1	0,5

Tabela 3.7: Rezultati za hladilnik Beko pri maksimalni moči



Slika 3.9: Časovna odvisnost temperature v hladilniku Beko pri maksimalni moči

Pri maksimumu svojega delovanja hladilnika Beko vidimo s slike 3.9, da je že zelo nizka temperatura. Na vratih zgoraj je ves čas pod 0°C. Po hladilniku je temperatura od 0°C do 3°C, le v spodnjem delu v predalih je od 5°C do 6°C. Uporabno je samo še takrat, ko je hladilnik poln pijače, hrano pa damo v spodnji predal. Drugje po delovnem prostoru za marsikatero živilo ni primerno.

3.2 Rezultati za polne hladilnike

Hladilnika nista 100 % polna. Imata pa dovolj hrane in pijače v delovnem prostoru, da je kroženje zraka drugačno in s tem tudi temperatura na enakih mestih kot pri praznem. Opazno je tudi drugačno delovanje na začetku, ko napolnimo hladilnik. Bil sem izredno časovno omejen z dostopom merilnikov, zato sem lahko opravil meritve le za sredinsko in maksimalno nastavljeno moč hladilnikov. Temu primerno tudi nisem mogel počakati na stabilno delovanje hladilnika pri obeh nastavitvah. Vseeno se da lepo analizirati in vidijo se očitne spremembe. Gorenjev hladilnik je napolnil že lastnik in je bil napolnjen približno 30–40 %. V hladilnik Beko sem zložil deset litrskih steklenic, napolnjenih z vodo.

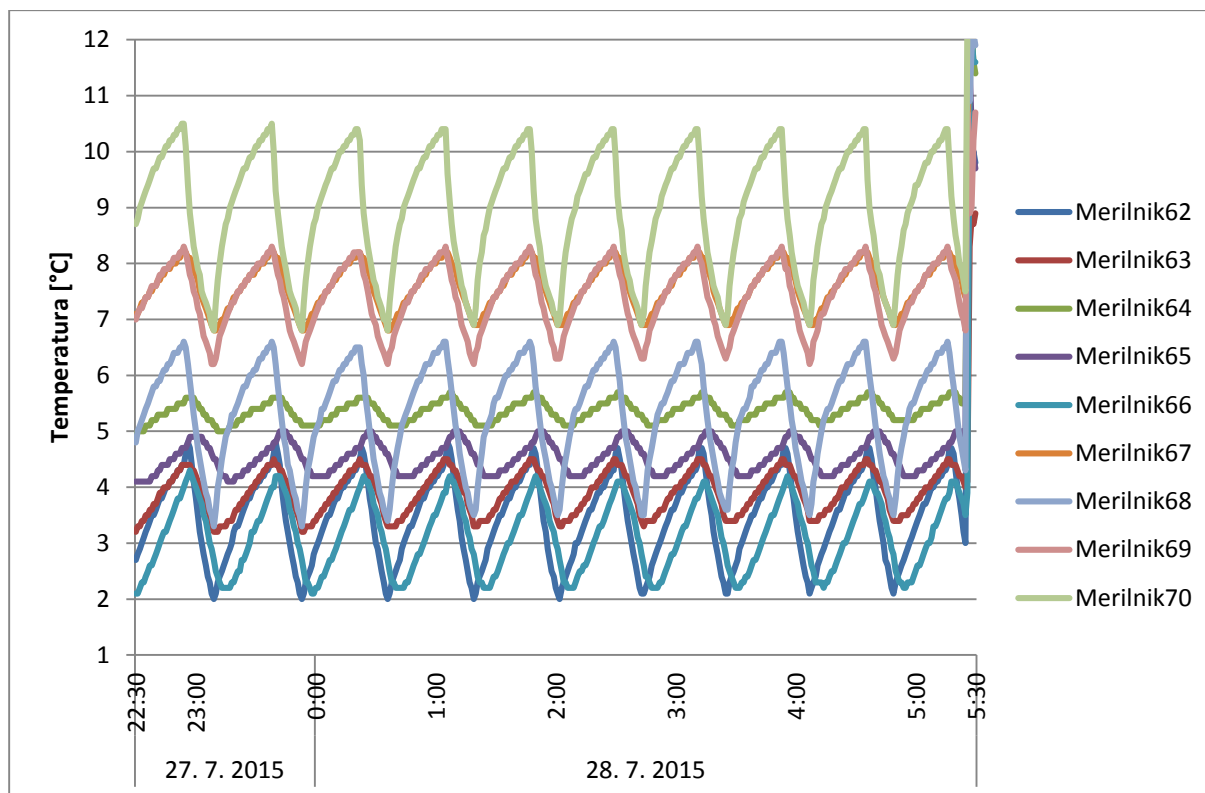
3.2.1 Rezultati pri srednji nastavitvi moči

Za sredinsko nastavitev moči sem moral hladilnik Beko nastaviti med stopnji 2 in 3. Gorenjev hladilnik pa sem nastavil na 5°C. Oba sem imel predhodno nastavljeno na maksimalno moč, zato so na začetku grafov še opazne korekcije.

Rezultati za Gorenjev hladilnik sledijo v tabeli:

Št. merilnika	61(zun.)	62	63	64	65	66	67	68	69	70
Minimum [°C]	24,0	2,0	3,2	4,9	4,1	2,1	6,8	3,3	6,2	6,8
Maksimum [°C]	24,3	4,8	4,5	5,7	5,0	4,3	8,2	6,6	8,3	10,5
Povprečje [°C]	24,2	3,5	3,9	5,4	4,5	3,1	7,6	5,4	7,4	9,0
MKT [°C]	24,2	3,6	3,9	5,4	4,5	3,1	7,6	5,5	7,4	9,1
Stand. deviacija	0,1	0,8	0,4	0,2	0,3	0,6	0,4	0,9	0,6	1,1

Tabela 3.8: Rezultati za poln hladilnik Gorenje pri srednji nastavitvi moči



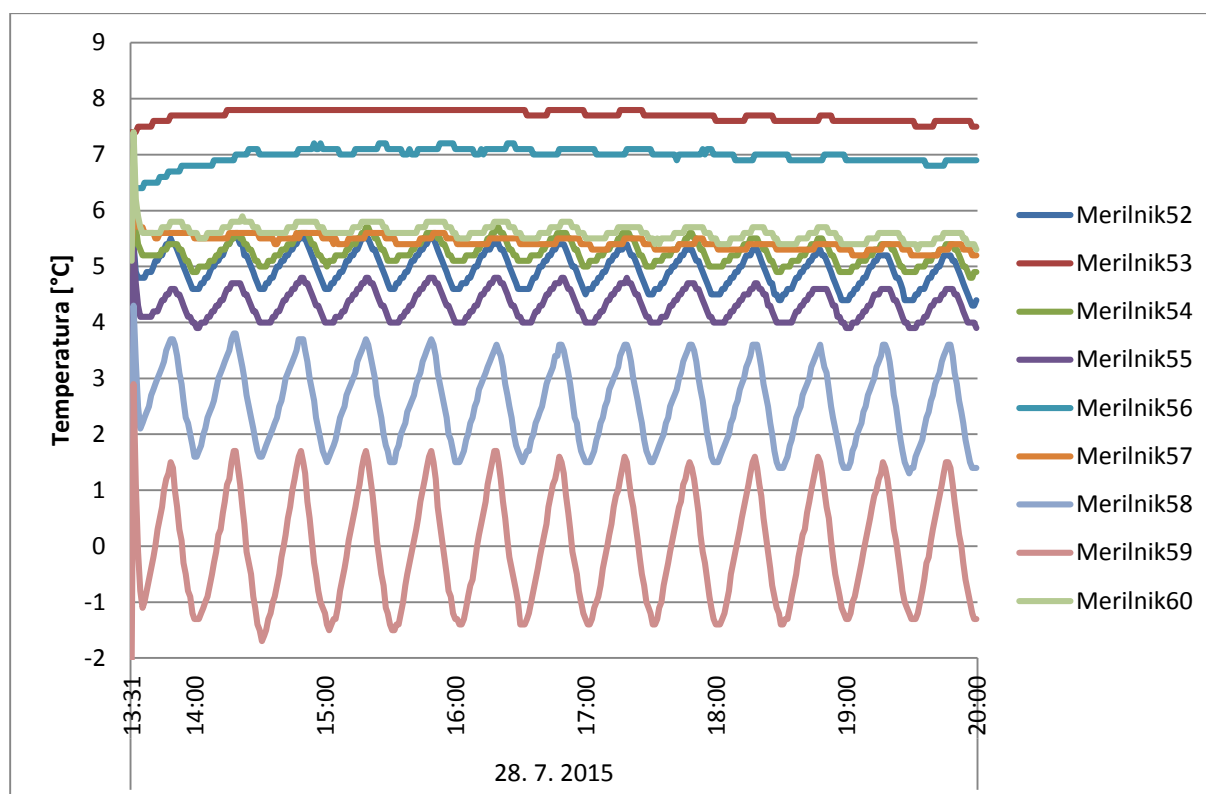
Slika 3.10: Časovna odvisnost temperature v polnem hladilniku Gorenje pri srednji moči

Na grafu 3.10 so takoj opazne razlike v primerjavi s praznim hladilnikom. Najprej so opazne temperature. V praznem hladilniku pri srednji nastavitvi moči nikjer ni bilo 5°C. Sedaj imamo na vrhovi zgoraj in spodaj približno to vrednost. Najhladneje je sedaj na sredini in spodaj pri zadnji steni. Najtopleje pa je zgoraj pri zadnji steni. Opazimo tudi obliko grafa pri ohlajevanju. Graf nima več ostrih žagastih oblik, vendar se že vidi lepo zaobljeno zaradi drugačnega kroženja zraka.

Sledijo še rezultati za poln hladilnik Beko:

Št. merilnika	51(zun.)	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Minimum [°C]	21,3	4,0	7,4	4,3	3,5	6,4	5,2	0,9	-2,1	5,1
Maksimum [°C]	21,7	5,6	7,8	7,1	5,3	7,2	6,0	4,3	2,9	7,4
Povprečje [°C]	21,4	5,0	7,7	5,3	4,3	7,0	5,4	2,5	0,0	5,6
MKT [°C]	21,4	5,0	7,7	5,3	4,3	7,0	5,4	2,6	0,1	5,6
Stand. deviacija	0,1	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1	0,7	1,0	0,2

Tabela 3.9: Rezultati za poln hladilnik Beko pri srednji moči



Slika 3.11: Časovna odvisnost temperature v polnem hladilniku Beko pri srednji moči

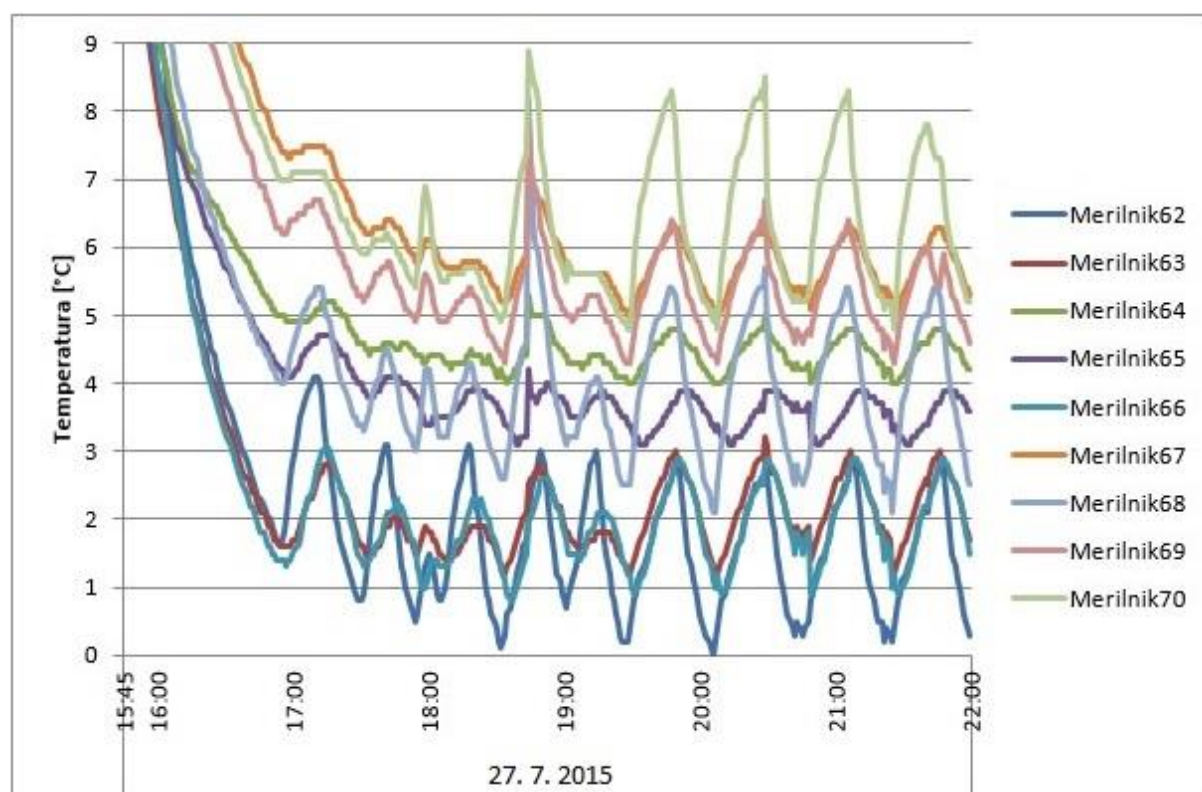
Če primerjamo graf 3.6 ter graf 3.11, opazimo nekaj razlik zaradi drugačnega kroženja zraka. Sredinska skupina merilnikov v praznem hladilniku Beko je nihala med 2,5°C in 5°C. V polnem pa so nihali med 4°C in 6°C. Merilnika 58 in 59, ki sta bila zgoraj na vratih, pa sta imela malo večjo spremembo. V praznem sta imela skoraj enake temperature od -1°C do +2°C. V polnem je merilnik 59 izmeril približno enako kot v praznem, merilnik 58 pa med 1,5°C in 3,5°C. To je nekoliko čudno, ker sta bila postavljena zelo blizu in približno na enaki višini. Predvidevam, da je bil merilnik 58 bližje steklenici vode na polici. So pa očitno temperature višje pri polnem hladilniku, kot so pri praznem.

3.2.2 Rezultati pri maksimalni nastavitvi moči

Za maksimalno moč sem tako kot pri praznih hladilnikih nastavljal tudi pri polnih. Gorenjev produkt na 3°C, Bekov pa na 5. stopnjo. Rezultati za Gorenje sledijo:

Št. merilnika	61(zun.)	62	63	64	65	66	67	68	69	70
Minimum [°C]	24,1	0,0	1,2	4,0	3,1	0,8	5,0	2,1	4,3	4,8
Maksimum [°C]	24,8	19,8	14,6	15,8	14,1	16,8	19,6	18,0	19,1	19,8
Povprečje [°C]	24,5	3,1	3,0	5,3	4,6	2,8	7,4	5,2	6,9	7,9
MKT [°C]	24,5	3,9	3,3	5,5	4,8	3,2	7,9	5,7	7,4	8,5
Stand. deviacija	0,2	3,0	2,0	1,6	1,7	2,3	2,5	2,6	2,6	2,7

Tabela 3.10: Rezultati za poln hladilnik Gorenje pri maksimalni moči

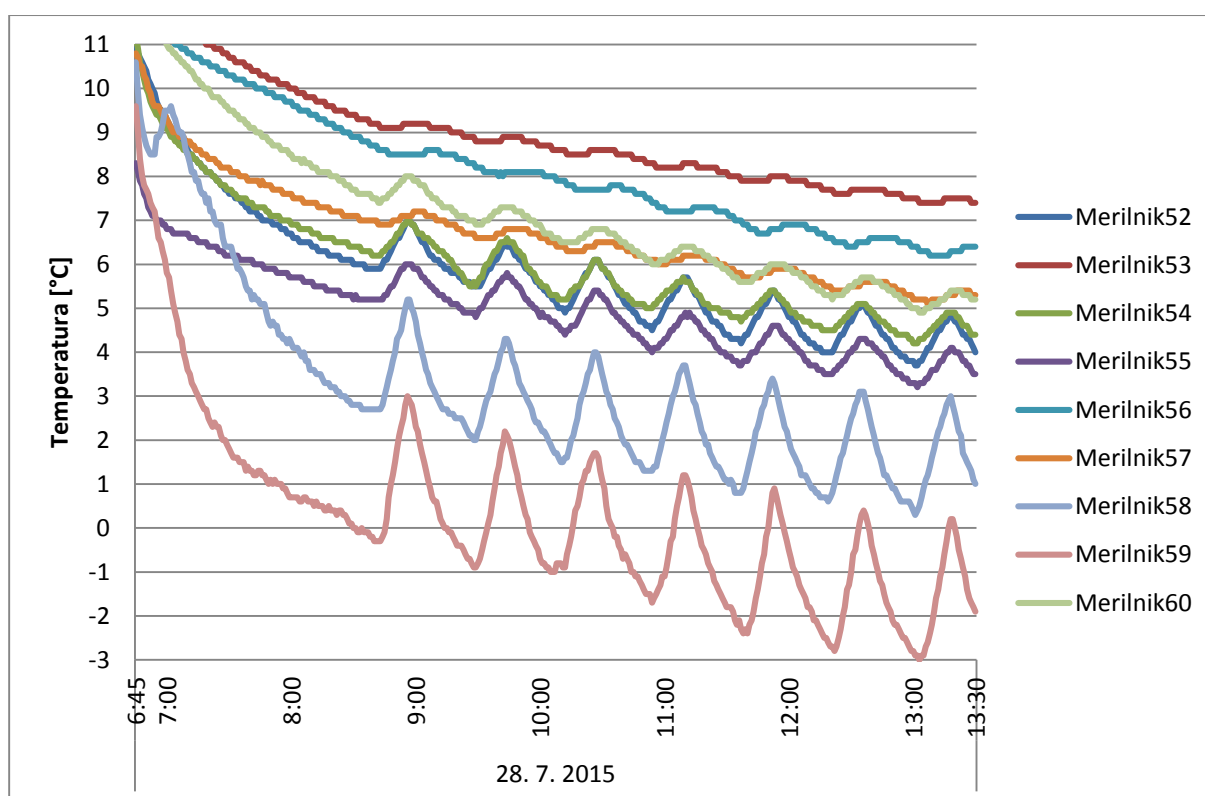


Slika 3.12: Časovna odvisnost temperature v polnem Gorenjevem hladilniku pri maksimalni moči

Na grafu 3.12 vidimo v začetku še fazo ohlajanja s sobne temperature. Šele okrog 19:30 je prešel v stabilno delovanje. Temperature so rahlo višje kot v praznem hladilniku. Sredinski merilnik 62 je izmeril približno enako temperaturo. Večje razlike pa so vidne pri merilniku 70, ki je bil zgoraj pri zadnji steni. Merilnika 63 in 66, ki sta spodaj pri zadnji steni, nekoliko močnejše nihata, kot je bilo to pri praznem. Manjše nihanje je opazno samo pri merilniku 69. Spremembe so vidne tudi na hladilniku Beko pri maksimalni moči:

Št. merilnika	51(zun.)	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Minimum [°C]	21,3	3,7	7,4	4,2	3,2	6,2	5,1	0,3	-3,0	4,9
Maksimum [°C]	22,2	10,9	12,3	11,2	8,3	12,4	10,8	10,6	9,6	12,4
Povprečje [°C]	21,5	5,8	8,9	6,0	5,0	8,2	6,7	3,3	0,3	7,1
MKT [°C]	21,5	6,0	9,0	6,1	5,0	8,3	6,8	3,6	0,6	7,3
Stand. deviacija	0,2	1,5	1,2	1,3	1,0	1,5	1,1	2,2	2,1	1,7

Tabela 3.11: Rezultati za poln hladilnik Beko pri maksimalni moči



Slika 3.13: Časovna odvisnost temperature v polnem Bekovem hladilniku pri maksimalni moči

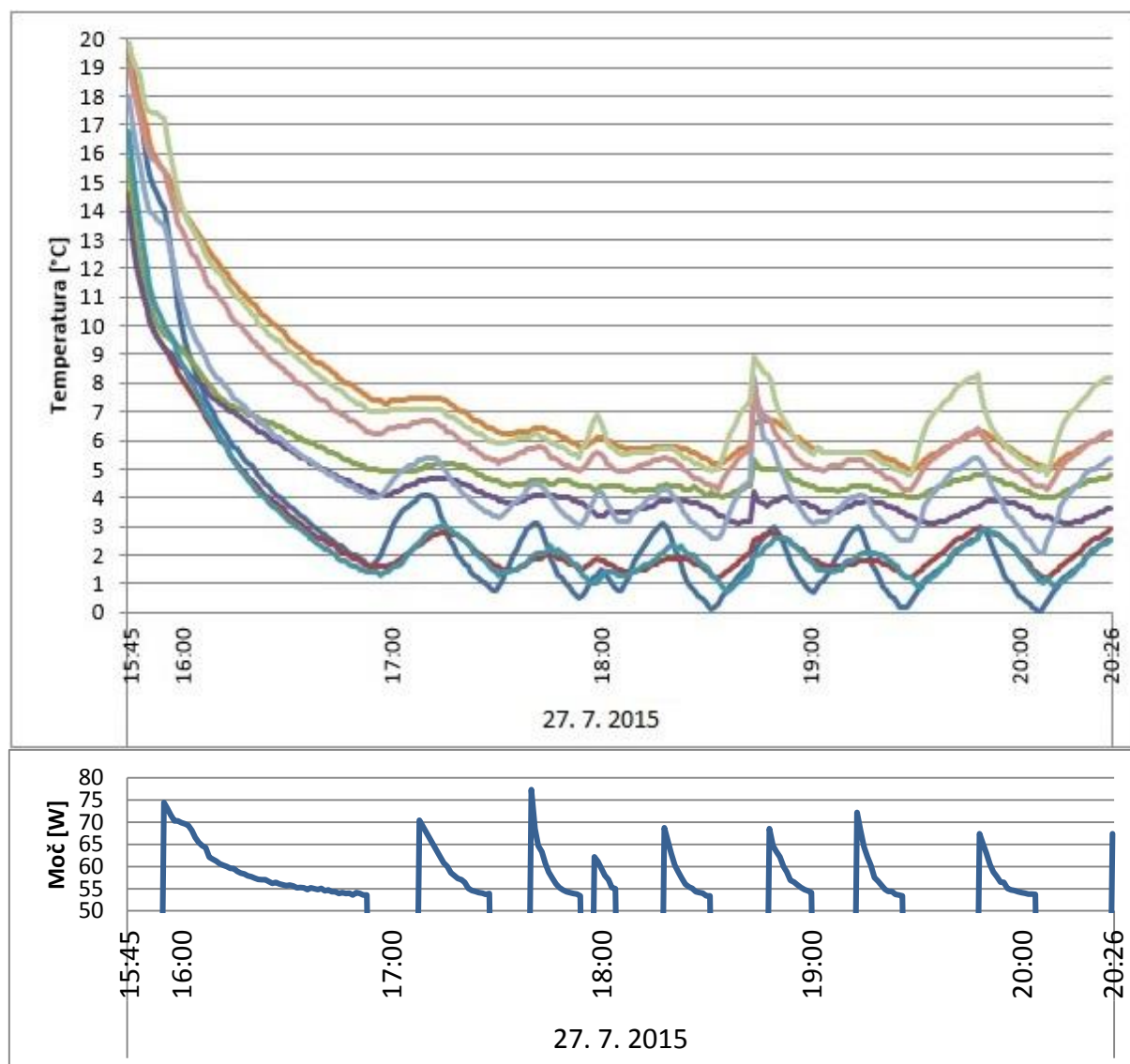
Največja opazka pri grafu 3.13 je ta, da je šele okrog 13:00 prišel na delovno temperaturo. Torej je potreboval približno 6 ur s tem, da je bilo v njem 10 steklenic vode. Glede temperature merilnikov je podobno kot pri srednji nastavitvi moči. Tudi tukaj je merilnik 58 izmeril precej višjo temperaturo kot pri praznem hladilniku. V splošnem pa so v polnem vsi merilniki izmerili višjo temperaturo.

3.3 Rezultati meritve električne porabe

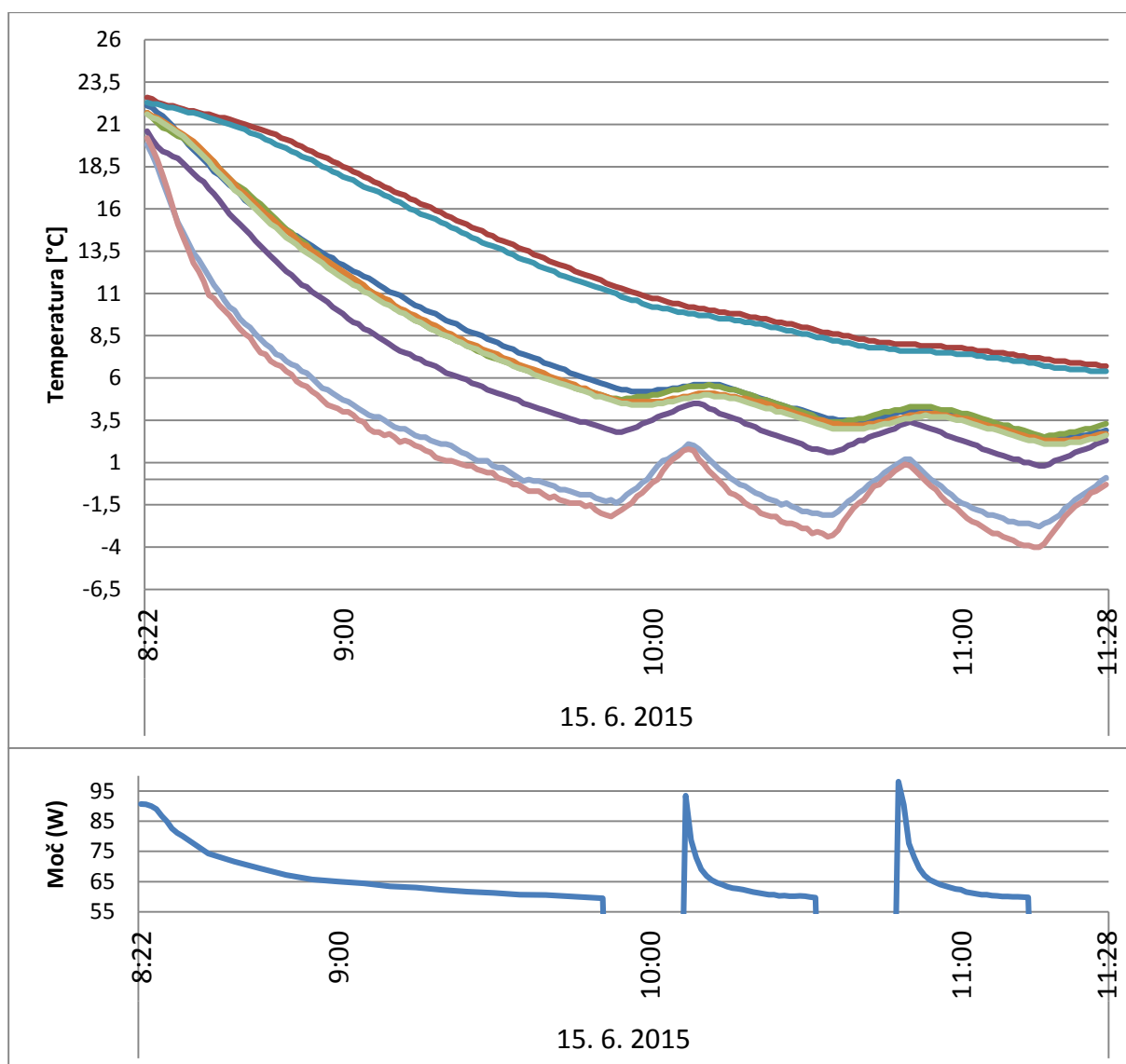
Meritve porabe električne moči sem za hladilnik Gorenje opravil pri prehodu iz sredinske moči na maksimalno moč. Pri hladilniku Beko pa sem meril s sobne temperature (ugasnjen hladilnik) na maksimalno moč. Hkrati sem meril tudi temperaturo. S tem sem lahko primerjal graf s temperaturo. Zapisoval sem si podatke z merilnika na vsako minuto. Merilnik mi kaže samo trenutno moč, zato je bilo potrebno sprotno zapisovanje.

V začetku slike 3.14 vidimo, da je hladilnik Gorenje dlje časa spuščal moč delovanja. S tem je dlje hladil in tako prišel na željeno temperaturo. Ko je enkrat temperatura taka, kot jo je uporabnik nastavil, vidimo, kako deluje v nadaljevanju. Pri približno 52 W se hladilnik vedno ugasne. Delovati začne pri približno 70 W. Ko se ugasne, ne pade moč na 0 W, ker potrebuje zaslon in računalnik 1–2 W za neprekinjeno delovanje. Da se je hladilnik ohladil na (na prikazovalniku) 3°C, je potreboval 1 uro. Potem je imel do stabilnega delovanja dela zanimive cikle. Očitno se počasi na poseben način ohlaja, da se ne bi živila prehitro ohladila. Cikli se ne ponavljajo v določenem zaporedju. Po tem, ko je dosegel stabilno delovanje, je prešel na enakomerne cikle, 20 minut mirovanja in 15 minut hlajenja. Taki cikli se nekaj časa ponavljajo, dokler ne pride do večje faze mirovanja, kot smo lahko to izbrali s slike 3.8. Na sliki je sicer graf za prazni hladilnik. Predvidevam, da se to dogaja tudi v polnem hladilniku, vendar v času mojega merjenja teh daljših mirovanj ni bilo. V prvem odseku je povprečna poraba $59,2 \text{ W} \pm 1,0 \text{ W}$, v drugem je pa $57,5 \text{ W} \pm 1,5 \text{ W}$. V tretjem, četrtem, petem, šestem odseku so porabe $59,0 \text{ W} \pm 1,5 \text{ W}$; $58,3 \text{ W} \pm 2,0 \text{ W}$; $57,8 \text{ W} \pm 1,6 \text{ W}$; $58,9 \text{ W} \pm 1,6 \text{ W}$, v sedmem $58,7 \text{ W} \pm 1,6 \text{ W}$ ter v osmem odseku $57,2 \text{ W} \pm 1,5 \text{ W}$. Proizvajalčevi podatki pravijo, da deluje z 80 W močjo.

Na sliki 3.15 opazimo, da je hladilnik Beko potreboval približno 1 uro in pol, da je prišel do prve faze mirovanja. Nadaljuje s cikli 15 minut mirovanja, 25 minut delovanja. V primerjavi z Gorenjem začne z višjo močjo in pride v fazo mirovanja pri 59 W. Povprečje prvega odseka je $69,0 \text{ W} \pm 0,8 \text{ W}$. Drugi odsek ima povprečje $64,5 \text{ W} \pm 1,5 \text{ W}$, tretji pa $65,6 \text{ W} \pm 1,8 \text{ W}$. Proizvajalčevi podatki kažejo, da hladilnik deluje z močjo 67 W.



Slika 3.14: Primerjava grafov časovne odvisnosti od temperature in moči za Gorenjev hladilnik



Slika 3.15: Primerjava grafov časovne odvisnosti od temperature in moči za Bekov hladilnik

Poglavje 4

4 Diskusija

Namen naloge je bil s pomočjo primerjave temperaturne porazdelitve obeh hladilnikov opaziti napredek v tehnologiji ob starostni razliki 10 let, obenem pa tudi izvedeti več o temperaturi v hladilniku. Moje mnenje pred tem je bilo, da je v hladilniku približno povsod taka temperatura, kot je nastavljeno. Iz grafov smo ugotovili, da je ta temperatura le in samo okvirno na sredini delovnega prostora. Predvsem v starejšem Bekovem hladilniku so razlike temperature bolj opazne. Napredek v sami sestavi hladilnika je viden. Novejši Gorenjev hladilnik ima boljše razporejeno temperaturo tudi s pomočjo ventilatorjev, razporejenih po odsekih na zadnji steni. S pomočjo »No frost« programa hladilnik zelo dobro skrbi, da hrana ne bi zmrznila, medtem ko so temperature v Bekovem tudi precej pod 0°C in marsikatero živilo že lahko zmrzne. Opazna je tudi razlika s porabo električne moči, kjer ima Gorenje precej manjšo. Še vedno pa je za zelenjavo in sadje boljše, da je na višji temperaturi. Torej bi morali biti plastični predali v zgornjem delu hladilnika Gorenje, da bi bila idealna pozicija. To ima Bekov izdelek boljše razporejeno, saj ima plastične predale spodaj, kjer je temperatura najvišja. Če bi imel zamrzovalni del popolnoma izoliran ali ga sploh ne bi bilo, bi bil hladilnik precej boljši.

Merilniki temperature so kalibrirani na $0,5^{\circ}\text{C}$ natančno, torej takšna je tudi napaka merjenja temperature s temi merilniki. Sama resolucija naprave je $0,1^{\circ}\text{C}$. Kalibracija je bila izvedena s temperaturnim etalonom, sledljivim na nacionalni etalon, kar je jamstvo za natančnost.

Napake merjenja se pojavijo tudi pri sami postavitvi merilnih senzorjev. Če se senzor dotika stranice hladilnika, police ali česarkoli v delovnem prostoru, je lahko izmerjena temperatura netočna. Jaz sem skrbel, da sem vse senzorce obrnil tako, da so bili v zraku prosti. Potem se je hladilnik lahko odpiral. To zmoti meritve, a na srečo hladilnik temperaturo hitro povrne nazaj. Vseeno pa te meritve ne bi veljale, če bi bila slaba baterija v merilniku. Če bi se merilnik izklopil, bi bila potrebna ponovitev meritve.

Pomembna je tudi okolica. Hladilnik Gorenje je stal v domačem prostoru, ki je slabo prezračevan. Zunaj je bilo zelo vroče in tudi v tem prostoru je bilo okoli 25°C . Zrak je bil zelo suh. Temperatura je nihala, ker sem opravljal meritve tudi ponoči. Hladilnik Beko je v klimatiziranem prostoru. Ta prostor se enakomerno prezračuje z dovodom in odvodom zraka, okna pa so temu namenu zaklenjena. V tem prostoru je bila nastavljena temperatura na 21°C z zelo malo nihanji ne glede na uro merjenja. Glede na to, da evropski standard zahteva 6 ur merjenja, se v teh 6 urah bistveno ne spremeni zunanja temperatura in zaniha samo za približno $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Pri merjenju moči je napaka nekoliko večja, kajti merilniki kažejo trenutno moč, ki jo troši naprava, sam pa sem zapisoval vrednosti na vsako minuto. Podatke sem razbral na vsaj $0,5\text{ W}$ natančno, razen v odsekih, kjer graf zelo strmo pada, sem se lahko hitro zmotil za 1 W . Napako sem izračunal kot napako povprečja, torej kvocient standardnega odmika s korenem celotnega števila izmerkov.

Rezultati so fizikalno smiselni, kajti mrzel zrak pritiska dol in topel navzgor. Če vzamemo v zakup, da je hladilnik Beko že kar star, Gorenjev pa skorajda nov, so rezultati tudi pričakovani. Vseeno si nisem mislil, da vratca zamrzovalnega dela Bekovega hladilnika tako slabo izolirajo, da moramo paziti, kaj imamo na vratih hladilnika. V novejšem

Gorenjevem je dobro, da je zamrzovalni del spodaj tudi zaradi pijače, ki je po navadi v spodnjem delu hladilnika, a še vedno je slabo, da je predal za sadje in zelenjavo spodaj. Idealno bi bilo, če bi le-ta bil na vrhu ali na sredini. Sicer sam hladilnik deluje na malo pametnejši sistem, kot je to stari Bekov, saj ima ventilatorske reže po celotni zadnji steni in lahko regulira temperaturo po odsekih. To se da videti pri grafih, da je lahko merilnik 62 v sredini meril zelo zanimiva nihanja, ki jih nismo videli pri drugih merilnikih. Točen način delovanja je Gorenjeva poslovna skrivnost. Zanimivo je videti, kako porabljata električno moč za delovanje. Sploh Gorenjev hladilnik, ki je energijskega razreda A, ima to še posebej dobro sprogramirano.

Grafe za temperaturne merilnike bi lahko predstavil direktno iz proizvajalčevega programa *Hanlog*. Ta program na žalost ne more dovolj nazorno prikazati imena merilnikov. Je bil pa precej uporaben pri rezultatih, saj že avtomatsko izračuna srednjo kinetično temperaturo. Skice hladilnikov in skico delovnega prostora sem narisal s pomočjo programa *AutoCAD*. Hotel sem predstaviti tudi 3D grafično termalno porazdelitev s programom *Mathematica*, vendar se izredno slabo vidi na papirju.

Naprednejše meritve bi izvedel z IR termalno kamero, kjer bi lahko lepo videl spreminjanje temperature v odvisnosti od časa. Morala bi biti kalibrirana kamera vrhunske natančnosti, kar pa ima zelo visoko ceno na trgu. Dobro bi bilo, če bi imel možnost izmeriti tudi vlago. Mislim, da se vlaga še bolj zanimivo spreminja po hladilniku.

Poglavje 5

5 Literatura

- [1] J. Seliger, »Zapiski predavanj iz Fizike I: Toplota, Električna, Valovanje«, ogled 12. 6. 2015, <http://www.fmf.uni-lj.si/~seliger/toplota.pdf>.
- [2] J. Strnad, *Fizika I,II*, (DMFA – založništvo, Ljubljana, 1995).
- [3] »Mozaik education«, ogled 12. 6. 2015, http://www.mozalearn.eu/sl/Extra-3D_animations-Kak_rabotaet_holodilnik-148062.
- [4] »Toplotni stroji«, ogled 13. 6. 2015, http://si.openprof.com/wb/toplotni_stroji?ch=216.
- [5] EURAMET cg-20, »Calibration of Climatic Chambers Guidance for Calibration Laboratories«, Version 3.0, marec 2011; http://www.euramet.org/fileadmin/docs/Publications/calguides/EURAMET_cg-20__v_3.0_Calibration_of_Climatic_Chambers_01.pdf.
- [6] N. Haycocks, D. Moore, C. Weaver, »Controlled Temperature Chamber Mapping«, april 2012, ogled 2. 6. 2015.
- [7] Standard EN 60068-3-5, »Environmental testing – Part 3-5: Supporting documentation and guidance – Confirmation of the performance of temperature chambers«, 2002, ogled 9. 6. 2015 na SIST.
- [8] Monarch Instrument, »What is Mean Kinetic Temperature?«, ZDA, junij 2006, ogled 14. 6. 2015; https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CCUQFjAB&url=http%3A%2F%2Fsupa.pharmacy.bg.ac.rs%2Fassets%2F9219&ei=D5CRVb_rNovfU73bopgG&usg=AFQjCNFM7q-mvitPzRgYdQyDD631BKkXzw&sig2=4qxAU6IPAc4vCPI7wTUEeA.