Čokolada

Matej Borovec, 3.e

Elektrostrojarska škola Varaždin

Mentor:

Tomislav Horvat

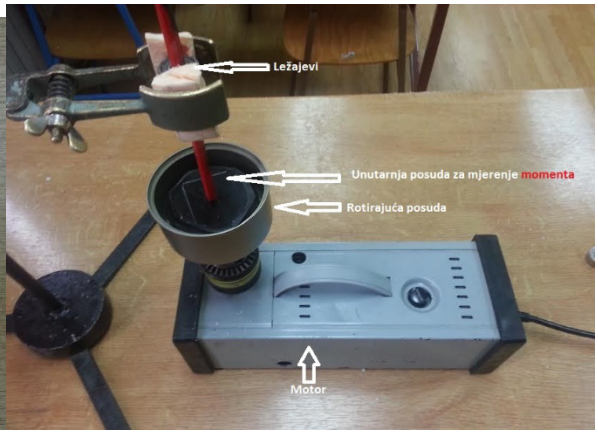
Elektrostrojarska škola Varaždin

Kontakt: matejbrvc105@gmail.com

Uvod:

U ovome radu istraživao sam svojstva čokolade kao što je temperatura tališta i skrućivanja, toplina potrebna čokoladi da se zagrije do određene temperature, viskoznost pri određenoj temperaturi, također sam istraživao petlju histereze kod taljenja i skrućivanja. Sve to sam kasnije usporedio i iznesao zaključak.

Mjerni instrumenti:

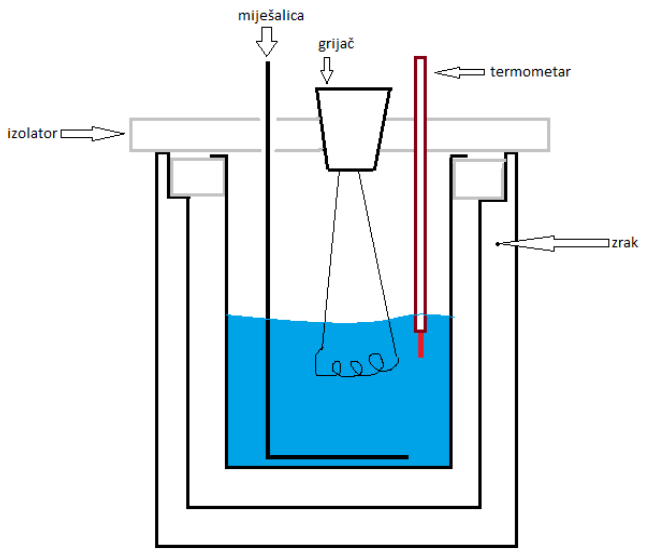


-na lijevoj slici se nalazi otpornički termometar i uređaj na kojeg sam spajao taj termometar (Vernier LabQuest).

-na desnoj slici se nalazi uređaj za mjerenje viskoznosti čokolade koji sam izradio, princip je da se čokolada ulije u veću posudu, u toj posudi se nalazi manja posuda koja je preko vratila stavljena na ležaje, ona služi da se izmjeri moment koji se dobije ovisno o broju okretaja veće posude i viskoznosti čokolade.

-Kalorimetar

Kalorimetar:



Skica 1.

Kalorimetrija- znanost koja se bavi mjerenjem topline kemijskih reakcija ili fizičkih promjena

- Kalorimetar je u načelu vrlo dobro izolirana posuda u kojoj se nalazi miješalica s kojom se cirkulira voda u unutarnjoj posudi kada se grije sa grijačem. Kalorimetar koji sam koristio je shematski identičan skici 1.
- Kalorimetar je potrebno kalibrirati, a kalibriranje se vrši na način da se uzme određena količina vode na nekoj temperaturi , ulije u kalorimetar te se vidi za koliko se je temperatura vode smanjila, ta razlika je toplina koja je prešla na kalorimetar, to jest, gubitci.
- Za kalorimetar koji sam koristio odredio sam da je C=108J/kg
- Kapacitet kalorimetra može se opisati prema sljedećoj jednadžbi:

$$Q_k + Q_{hv} = Q_{tv}$$

$$C\Delta t_k + c_v m_{hv}\Delta t_k = c_v m_{tv}\Delta t_{tv}$$

Iz toga slijedi:

$$C = \frac{c_v m_{tv}\Delta t_{tv} - c_v m_{hv}\Delta t_{tk}}{\Delta t_{tk}}$$

Gdje je:

C- toplinski kapacitet kalorimetra [J/K]

c_v- specifični toplinski kapacitet vode [J/kgK]

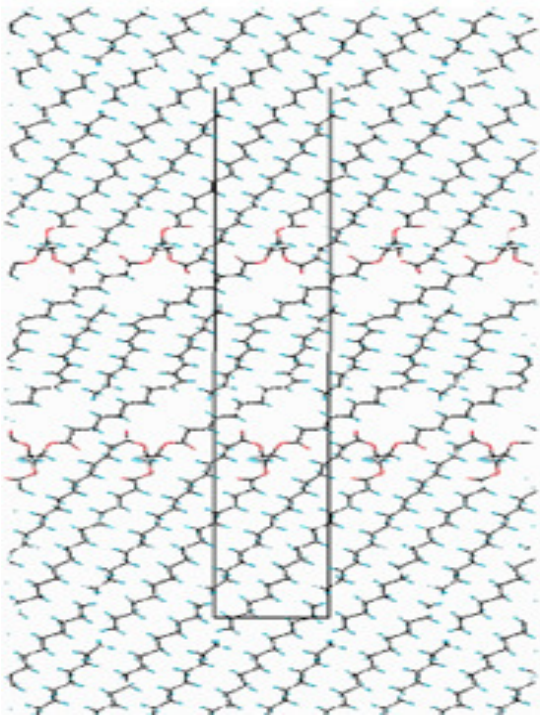
m_{tv}- masa tople vode [kg]

m_{hv} – masa hladne vode [kg]

Δt_v – promjena temperature tople vode

Δtk- promjena temperature kalorimetra

Kristalna struktura čokolade:



Skica 2.

Skica 2. prikazuje kristalnu strukturu čokolade. Čokolada se sastoji od više lanaca koji su međusobno povezani. Molekule u jednom lancu su čvrsto povezane dok spojevi lanaca sa drugim lancima imaju slabiju vezu, to je i ujedno razlog histerezi kod zagrijavanja ili hlađenja. U početku zagrijavanja najprije pucaju veze između lanaca ali ne i sami lanci, tu počinje omekšavanje i u tom trenutno čokolada je smjesa lanaca koji klize jedan po drugom bez međusobnih veza što još uvijek onemogućuje čokoladi da prijeđe u tekuće stanje. Kod temperature taljenja kidaju se veze između molekula u lancima te potom je čokolada smjesa zasebnih molekula. Što se same čokolade tiče, spada pod ne-njutnovske tekućine.

Kristalna stanja:

Cocoa butter polymorphs		
Polymorph	**Conditions to make the polymorph**	**Melting point (°C)**
Form I	Rapidly cooling molten chocolate	17.3
Form II	Cooling the molten chocolate at 2°C	23.3
Form III	Solidifying the molten chocolate at 5-10°C or storing form II at 5-10°C	25.5
Form IV	Solidifying the molten chocolate at 16-21°C or storing form III at 16-21°C	27.3
Form V	Solidifying the molten chocolate while stirring. Needs a special process called 'tempering'	33.8
From VI	Storing form V for four months at room temperature	36.3

Skica 3.

-Polimorfi- minerali koji dijele istu kemijsku formulu ali imaju različitu kristalnu strukturu

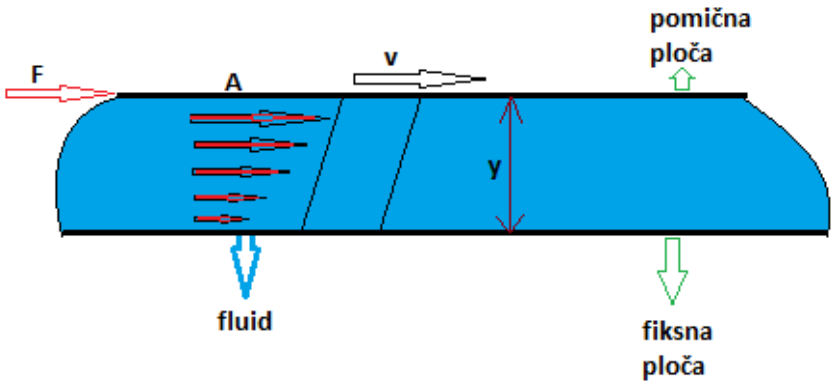
- Skica 3. prikazuje vrste kristalnih struktura pri određenoj temperaturi čokolade. Vidljivo je da pri višoj temperaturi je čokolada u stabilnijem i gušćem stanju. Različitim brzinama hlađenja dobivaju se različite forme kristala. Forme od I do IV stvaraju mrvljivu čokoladu bez sjaja i pucketanja prilikom trganja, to su uglavnom najjeftinije čokolade, kod njih se vrlo brzo javi bijela boja na površini što su zapravo masti, razlog njihovog „ bježanja“ je struktura čokolade, kristali nisu čvrsto „zapakirani“ pa mast bježi između njih. Da bi se dobila forma V koja je stabilnija, u industriji se koriste posebni uređaji koji precizno temperiraju čokoladu, stvaraju tako zvano „sjeme“. Sjeme se zatim ubacuje u kotao s čokoladom niže forme koja se relativno jednostavno proizvede u velikoj količini, ono služi kako bi potaknulo kristalizaciju te forme, to jest, izbjegne područje od I do IV. Forma VI obično se ne kristalizira, ona se dobije sa određenim vremenom stajanja čokolade, ovdje također se javlja bijeli sloj ali za to je potrebno puno dulje vremena nego što je do IV forme.

- Glavni razlog zašto se mijenja točka tališta s obzirom na brzinu grijanja jest taj da ako se brže zagrijava, kristalne rešetke se nemaju vremena posložiti te zapnu u području od I do IV forme te je kasnije potrebno manje energije da im raskine međusobne veze, za razliku gdje se kristalizacija odvija dulje vremena, uspostave se čvršće veze te je potrebno više energije/topline da ih raskine.
- Za smanjenje viskoznosti koristi se licetin ili kakao maslac, razlika je u tome što je kakao skuplji i što je potrebno vrlo mala količina licetina da bi se postigao isti rezultat kao i sa većom količinom kakao maslaca.
- Čokolada po sastavu je emulzija hidrofilnih tvari šećera i lipofilnih kakao tvari.

-**Hidrofilne** otopljene tvari su one koje voda privlači, pa se uslijed hidratacije brže otapaju u vodi

-**Lipofilne** tvari su veoma malo topljive u vodi, na sobnoj temperaturi su uglavnom relativno guste tekućine

Viskoznost:



Skica 3. Shematski prikaz mjerenja viskoznosti

Definira se kao otpor prema tečenju. Zamislimo si dvije ploče (kao na skici 3.) površine **A**, između kojih se nalazi fluid (debljine **y**) koji se zbog adhezivnih (adhezija-pojava vezivanja različitih materijala jedan uz drugi kada dođu u međusobni kontakt) sila i trenja "lijepi" za površine ploča. Fluid između ploča možemo podijeliti u više slojeva. Ako jednu od ploča krenemo pomicati brzinom **v** u smjeru **x**, tada će se sloj fluida najbliži ploči također pomicati brzinom **v** u smjeru **x**. Zbog kohezivnih sila unutar fluida je za očekivati da će se i udaljeniji slojevi početi pomicat, ali sa smanjenjem brzine proporcionalno udaljenošću od pokretne ploče. Smanjenje brzine uzrokuje trenje u fluidu.

Možemo zaključiti da je sila **F** potrebna za pomicanje ploče proporcionalna sa njenom površinom **A**(veća površina = potrebna veća sila za pomicanje zbog veće količine tekućine koja se miče zajedno sa pločom), proporcionalna je sa brzinom **v** i obrnuto proporcionalna udaljenosti među pločama **y** (y = više slojeva fluida = potrebna veća sila za pomicanje svih slojeva).

$F \approx A$ i $F \approx v$ i $F \approx \frac{1}{y}$

Iz toga proizlazi:

$$F \approx \frac{Av}{y}$$

Nakon čega se dobije jednadžba za viskoznost:

$$F = \eta \frac{Av}{y}$$

Gdje je:

F- sila koja djeluje na ploču

η- koeficijent viskoznosti

A- Površina ploče

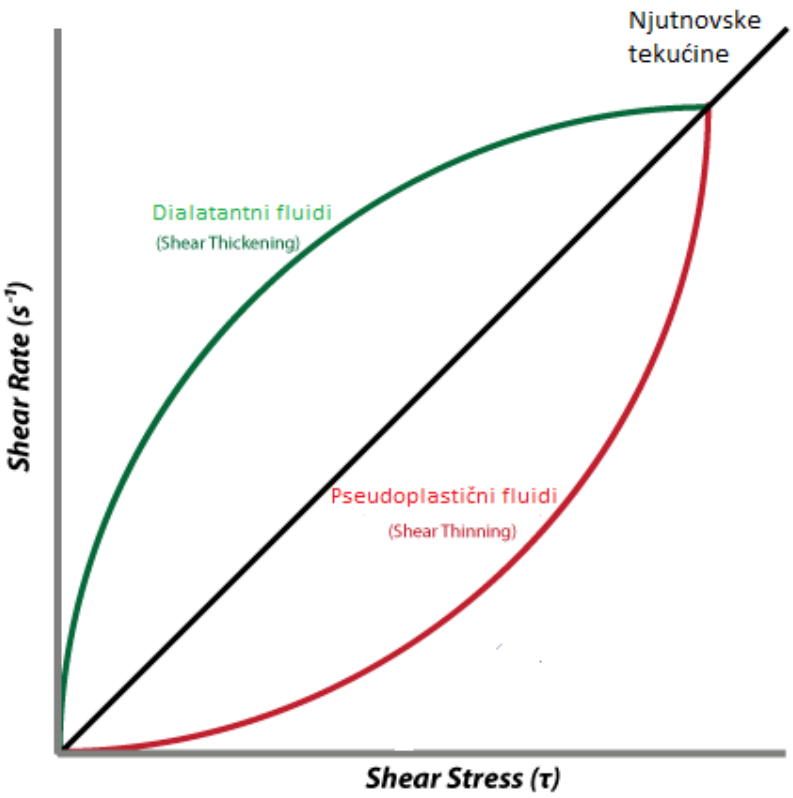
v- brzina gibanja ploče

Također, javlja se smično naprezanje unutar čokolade (shear stress) i smični pomak (shear rate).

Jednadžba za smično naprezanje (τ):

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Općeniti prikaz odnosa smičnog naprezanja u odnosu na smični pomak:



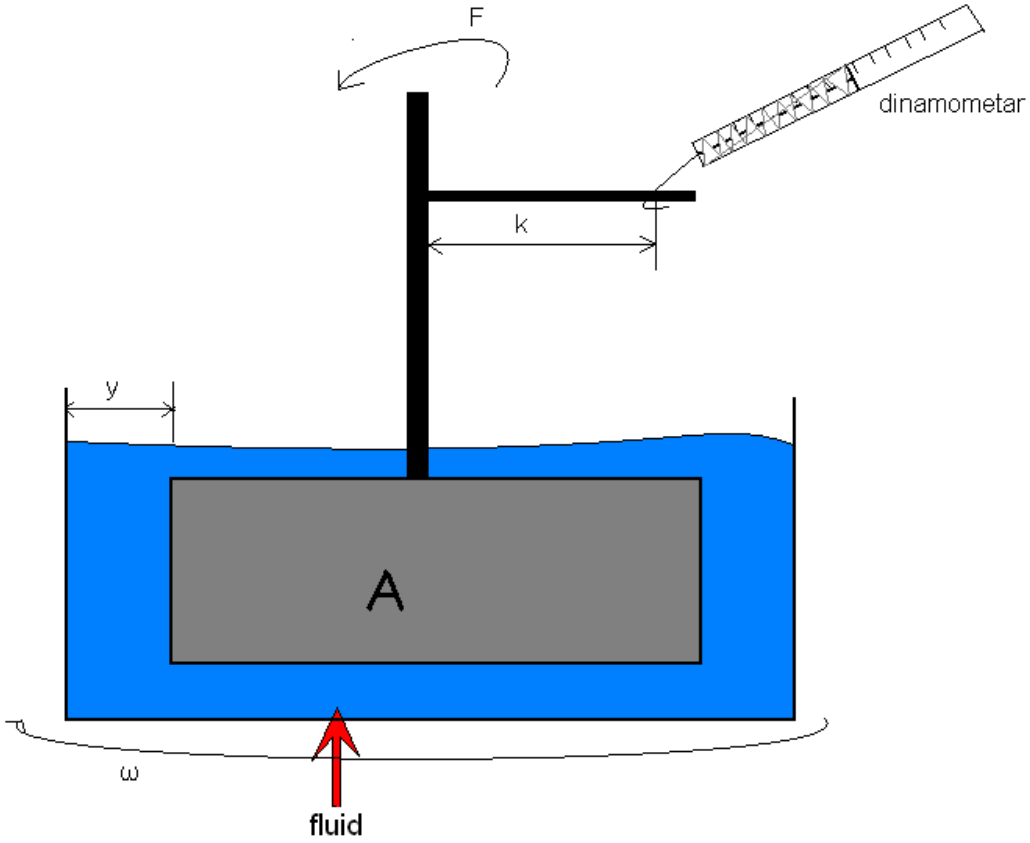
Skica 4.

Pseudoplastični fluidi: boja, lava, kečap, krv, šlag

Dialatantni fluidi: ne-njutnovske tekućine kao čokolada, smjesa kukuruznog škroba i vode, i slično

Njutnovski fluidi: voda, zrak

Mjerenje viskoznosti čokolade:

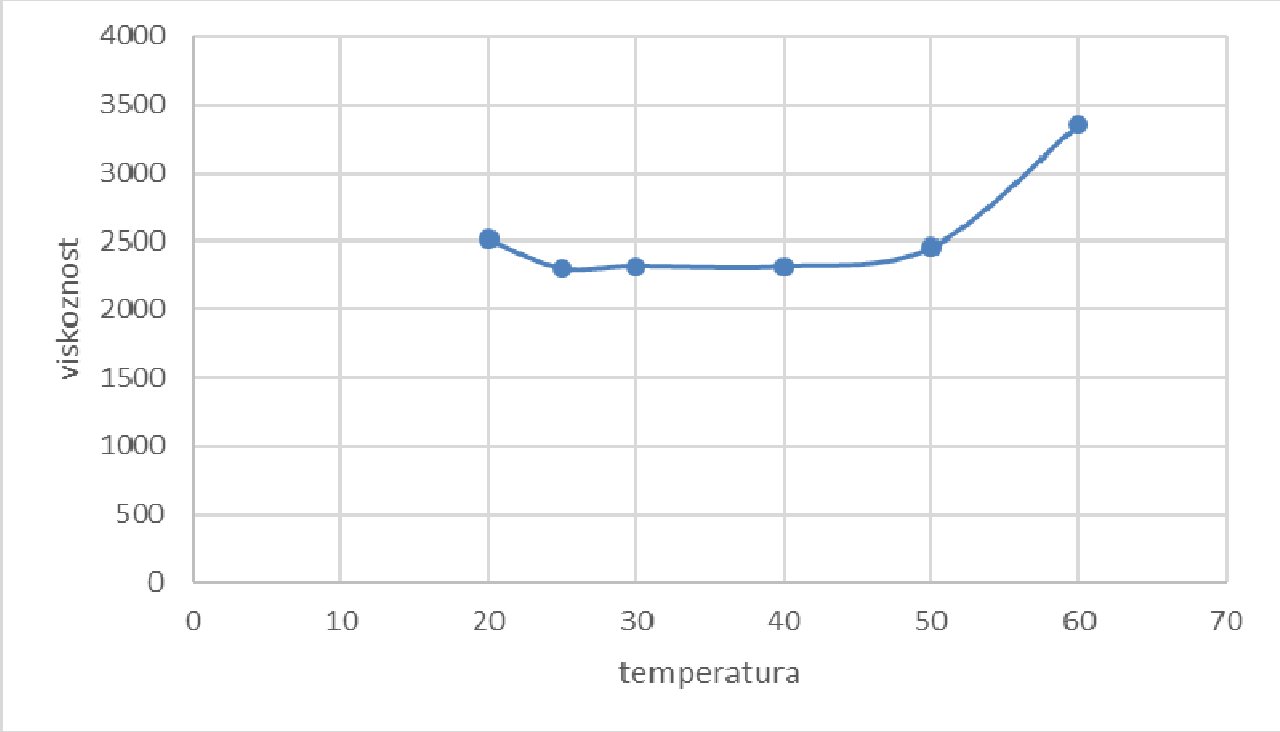


Skica 5.

Na skici 5. shematski je prikazan viskozimetar. Vanjska posuda se rotira zajedno sa čokoladom, unutar te posude se nalazi manja posuda površine A. Moment se preko čokolade prenosi na unutarnju posudu koja preko vratila i neke poluge (k) spojena na dinamometar koji mjeri silu na kraku tako da se dobije moment u odnosu na broj okretaja vanjske posude.

$$\eta = \frac{yF}{A\upsilon}$$

Iz izmjerenih rezultata dobio sam graf ovisnosti viskoznosti o temperaturi čokolade:



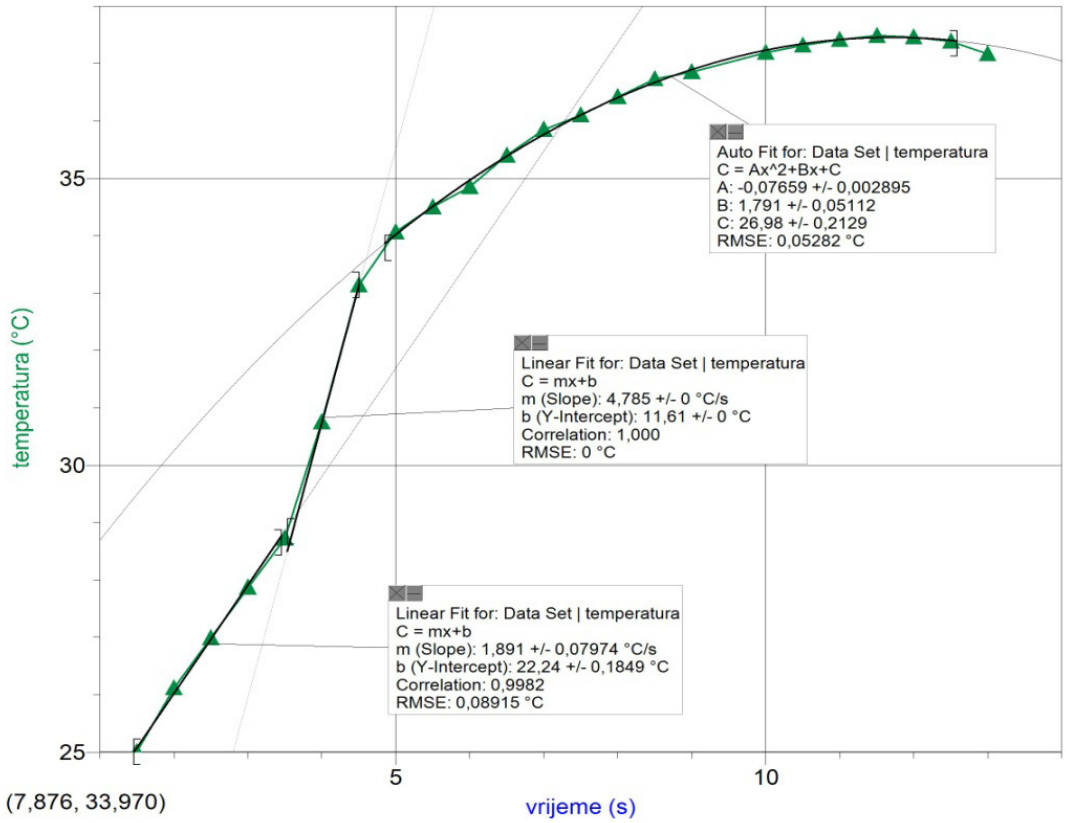
Graf 1.

Mjerenje sam vršio na način da sam u posudu za mjerenje viskoznosti stavio čokoladu na 60°C te hladio do 20°C, nakon pada temperature za svakih 10°C izmjerio sam viskoznost.

Iz grafa je vidljivo da nakon otprilike 40°C viskoznost počinje eksponencijalno rasti, to se najvjerojatnije događa radi formiranje svojevrsnih kvazikristala koji daju drugačija fizikalna svojstva, slično se dešava sa sumporom, a kada prijeđe ispod 20 °C viskoznost se također počinje povećavati jer se čokolada skrućuje.

Mjerenja:

Zagrijavanje:



Graf 2.

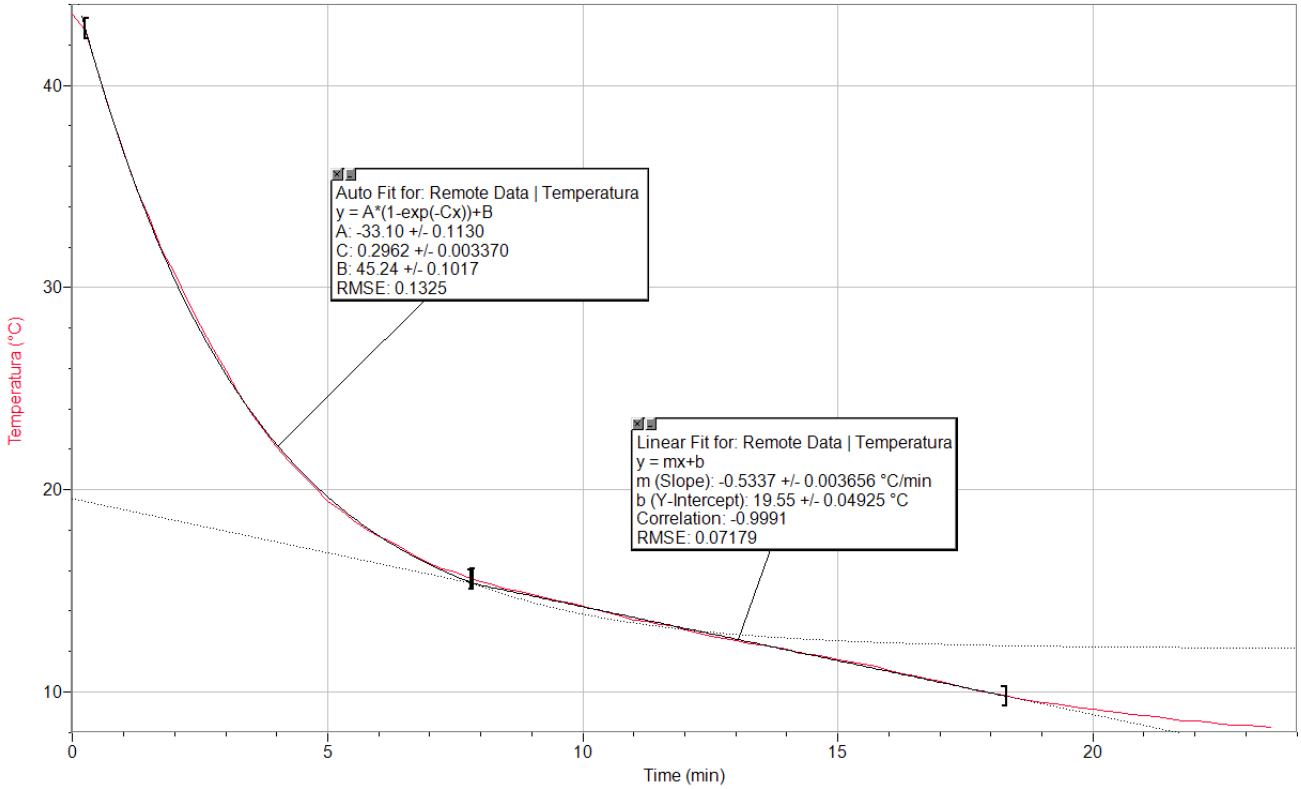
- Kod krivulje u grafu 1 možemo vidjeti da se graf sastoji od tri dijela.

Na početku zagrijavanja temperatura raste linearno, zatim ima skokovitu promjenu te nakon nje slijedi porast temperature koji se očituje kao parabola. Kao objašnjenje faznom pomaku (oko 28°C) rekao bi da se dešava radi toga jer čokolada u tom području prelazi u tekuće stanje, to jest, može se reći da omekšuje, to se zove petlja histereze. Kidaju se veze između lanaca i na posljetku i veze u lancima.

-čokolada iz grafa omekšava na oko 28°C a topi se na oko 33°C

- Mjerenje sam izvršio na način da sam stavio određenu količinu čokolade prvo u staklenu čašu te potom sve zajedno u vruću kupku koja se nalazila u kalorimetru sa otporničkim termometrom stavljenim u čokoladu i čekao da temperatura prestane rasti.

Hlađenje:

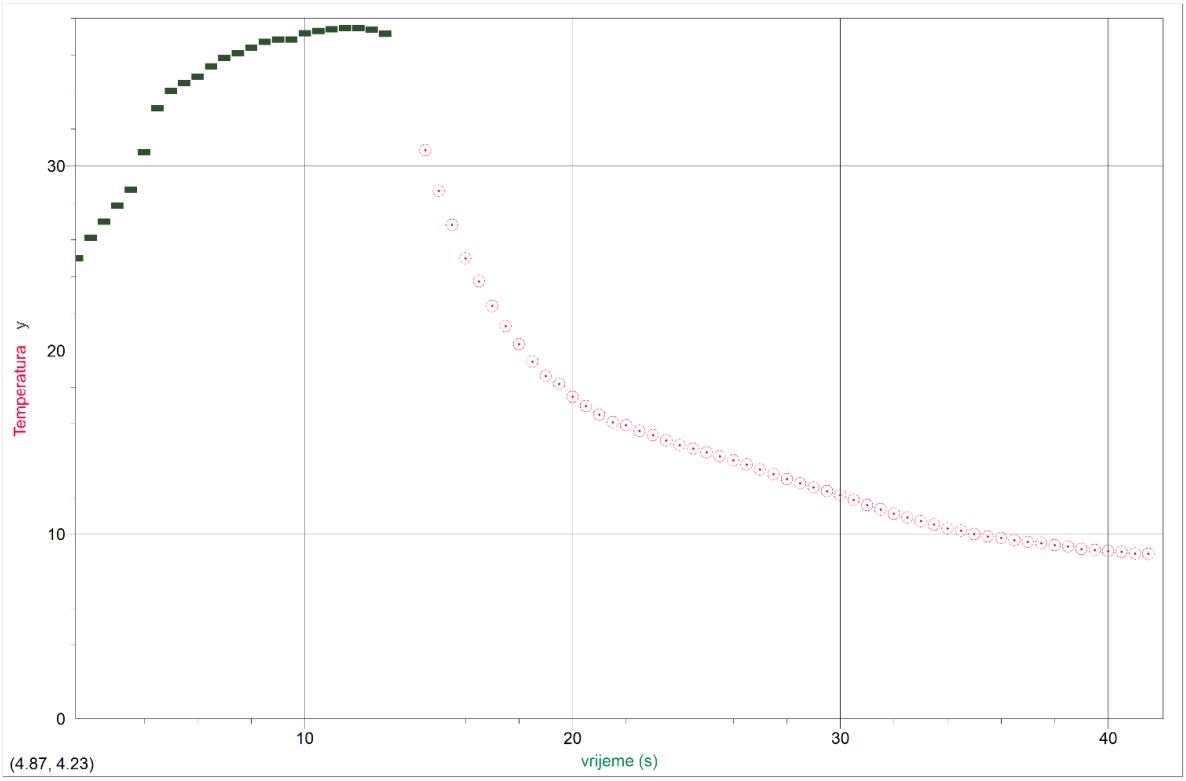


Graf 3.

Graf 3. prikazuje hlađenje čokolade. Graf se također sastoji od 3 dijela, na prvom dijelu grafa se jasno vidi da temperatura opada eksponencijalno zatim linearno te pred kraj otpada isto linearno ali je pravac različitog nagiba. Temperatura slabije otpada, srednji dio grafa, to jest pravac nakon eksponencijalnog pada je histereza tokom hlađenja. Točka taljenja ovisi o brzini hlađenja, razlog tome je kristalizacija kristala unutar čokolade. Ako čokoladu hladimo brže, točka tališta joj se povisuje i obratno, može se reći da čokolada pamti što se prethodno događalo sa njom.

-čokolada iz grafa skrućuje se na 18°C

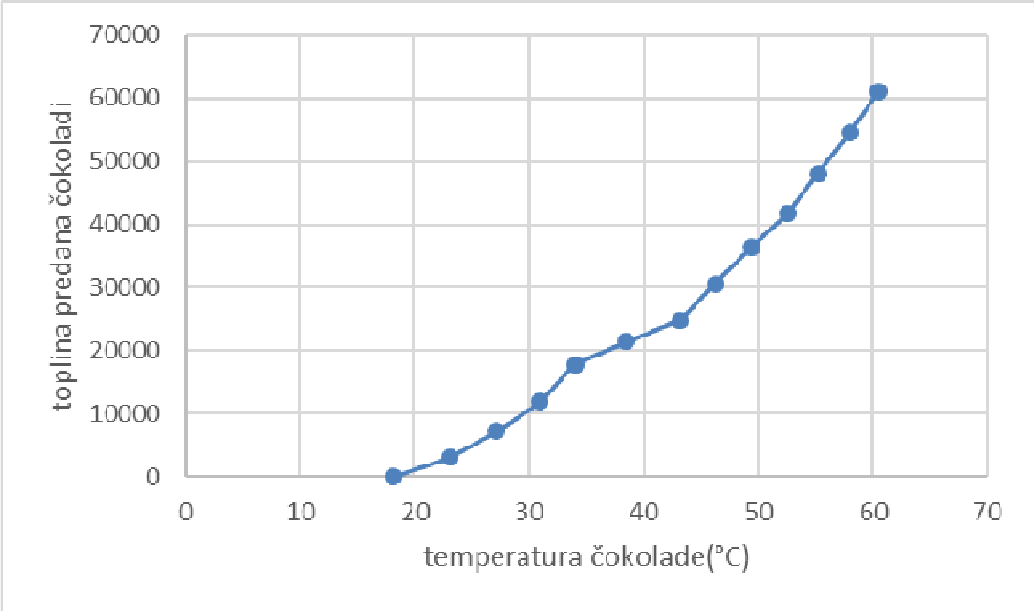
Grijanje i hlađenje:



Graf 4.

Graf prikazuje zagrijavanje i hlađenje čokolade tako se jasnije vidi razlika u temperaturnim intervalima gdje je čokolada još uvijek tekuća. Mjerenje sam izvršio na način da sam stavio 12g čokolade u vrelu vodu, te potom u hladnu vodu.

Određivanje predane topline u odnosu na temperaturu:



Graf 5.

Graf 5 prikazuje odnos između topline koju je primila čokolada u odnosu na njenu temperaturu. Mjerenje sam vršio na način da sam u kalorimetar stavio čokoladu s termometrom i grijačem, kroz grijač puštao sam struju određeno vrijeme da bih dobio predanu toplinu, zatim sam teoretski izračunao za koliko se temperatura vode trebala podići i potom usporedio sa rezultatima dobivenim praktičkim putem. Odstupanje teorijskog i praktičnog rezultata je količina topline koja se predala sustavu, a pošto znamo za kalorimetar koliki ima toplinski kapacitet, njega samo pribrojimo toplini vode a ostatak je prešao na čokoladu. Mjerenje sam radio sa 0.04 kg čokolade

- Izrazimo li to formulom, dobijemo da je:
  $Q_č = Q - C(t_k - t_p) - C_v * m_V(t_k - t_p)$
  $Q_č = I * U * t_s - C(t_k - t_p) - C_v * m_V(t_k - t_p)$

Gdje je:

$Q_č$- toplina na čokoladi (J/kg)

Q- toplina iz grijača (J)

C- toplinski kapacitet kalorimetra

t_k- konačna temperatura[°C]

t_p- početna temperatura [°C]

Cv- specifični toplinski kapacitet vode [J/kgK]

m_v- masa vode [kg]

Zaključak:

Iz mjerenja sam saznao da se čokolada ne topi na istoj temperaturi kao i na kojoj se skrućuje. Zaključujemo da čokoladi viskoznost eksponencijalno raste sa smanjenjem temperature kao i na temperaturama iznad 40°C, točke tališta i krutišta nisu ni približno jednake ako se usporedi graf grijanja i hlađenja čokolade, točka tališta se mijenja s obzirom na brzinu hlađenja.

Literatura:

http://web.aeromech.usyd.edu.au/rheology/snasseri/images/chocolate.pdf

www.google.com

http://web.aeromech.usyd.edu.au/rheology/snasseri/images/chocolate.pdf