

Gimnazija Kranj

# **Preučevanje vpliva časa in temperature kuhanja na trdoto govejega mesa**

področje: druga področja - kmetijstvo, biotehnologija in prehrana  
raziskovalna naloga

Avtorica: Alja Šlenc

Mentorica: dr. Petra Košir

Kranj, 2023

## **ZAHVALA**

Hvala mentorici za podporo in nasvete. Hvala tudi mojemu očetu za nakup sous-vide naprave, ki mi je dala idejo za to raziskovalno nalogo in jo omogočila, ter za nakup mesa za raziskovalno nalogo.

## Kazalo

1. <b>Uvod</b> .....	5
1.1. Raziskovalno vprašanje .....	5
1.2. Hipoteze .....	6
2. <b>Teoretični del</b> .....	6
3. <b>Eksperimentalni del</b> .....	7
3.1. Metodologija.....	7
3.1.1. Neodvisne spremenljivke .....	7
3.1.2. Odvisna spremenljivka .....	7
3.1.3. Nadzorovane spremenljivke .....	7
3.1.4. Materiali.....	8
3.1.5. Postopek .....	9
3.2. Rezultati in analiza podatkov .....	10
3.2.1. Kvalitativno opazovanje .....	14
4. <b>Razprava in zaključek</b> .....	14
4.1. Prednosti raziskovalne naloge .....	15
4.2. Pomankljivosti in predlogi izboljšav .....	15
4.3. Nadaljne raziskave .....	16
5. <b>Viri in literatura</b> .....	16

## Kazalo tabel

Tabela 1: največje rezne sile za vzorce mesa, kuhane <b>30 minut</b> , s povprečji, standardno deviacijo in koeficientom variacije.....	11
Tabela 2: največje rezne sile za vzorce mesa, kuhane <b>12 ur</b> , s povprečji, standardno deviacijo in koeficientom variacije.....	11
Tabela 3: največje rezne sile za vzorce surovega mesa s povprečjem, standardno deviacijo in koeficientom variacije .....	11
Tabela 4: p-vrednosti t-testov za ugotavljanje, ali obstaja pomembna razlika v žilavosti pri dveh različnih temperaturah pri času kuhanja <b>30 min</b> .....	13
Tabela 5: p-vrednosti t-testov za ugotavljanje, ali obstaja pomembna razlika v žilavosti pri dveh različnih temperaturah pri času kuhanja <b>12 ur</b> .....	13
Tabela 6: p-vrednosti t-testov za ugotavljanje, ali obstaja pomembna razlika v žilavosti pri različnih časih kuhanja (30 min in 12 h) pri vsaki temperaturi.....	13

## POVZETEK

Majhni kosi (1x1x5 cm) stegna 14-mesečnega teleta *Bos taurus L.*, hranjenega 21 dni od zakola, so bili skuhani na sous-vide način (vakuumsko zapakirani in potopljeni v vodno kopel) pri šestih različnih temperaturah v razponu od 40 do 90° C in dveh različnih časih: 30 min in 12 h. Nato je bila z doma izdelano merilno napravo preko sile, ki je potrebna, da se košček razpolovi, izmerjena njihova rezna trdota. Meso je na splošno doseglo največjo mehko (najmanjšo rezo silo), ko je bilo kuhano 12 h pri 80° C. Pri 30 min dolgem kuhanju je bilo najmehkejšo pri 60° C, medtem ko ostale temperature niso proizvedle statistično pomembnih sprememb v trdoti. Pri 12-urnem kuhanju so temperature 60° C in več proizvedle odločno mehkejšo meso kot 40 in 50° C. Čas kuhanja je imel znaten vpliv pri 40° C, kjer je bilo manj časa kuhano meso mehkejšo, in pri 80° C, kjer je bilo manj časa kuhano meso trše. Pri tej starosti mesa ima raztapljanje kolagena in delovanje proteolitičnih encimov večji vpliv na končno žilavost mesa kot krčenje miofibrilov, predvsem pri temperaturah nad 60° C.

**Ključne besede:** mehko, žilavost mesa, goveje stegno, sous-vide, temperatura in čas kuhanja mesa

## ABSTRACT

Small pieces (1x1x5 cm) of beef round from a 14-month-old *Bos taurus L.* calf, stored for 21 days after slaughter, were cooked sous-vide (vacuum-packed and immersed in a water bath) at six different temperatures ranging from 40 to 90°C and two different times: 30 min and 12 h. Their shear force was then measured using a home-made measuring device via the force required to split the piece in half. In general, the meat reached its maximum tenderness (lowest shear force) when cooked for 12 h at 80 °C. For 30 min of cooking, it was most tender at 60 °C, while the other temperatures did not produce statistically significant changes in toughness. For 12 h cooking, temperatures of 60 °C and above produced significantly more tender meat than 40 and 50 °C. Cooking time had a significant effect at 40 °C, where meat cooked for less time was more tender, and at 80 °C, where meat cooked for less time was tougher. At this age of meat, the solubilisation of collagen and the action of proteolytic enzymes have a greater impact on the final toughness of the meat than the shrinkage of myofibrils, especially at temperatures above 60 °C.

**Key words:** tenderness, toughness of meat, beef round, sous-vide, meat cooking temperature and time

# 1. Uvod

V zadnjem letu je meso, ki ga jemo doma, postalo veliko bolj mehko zaradi nakupa sous-vide naprave. Gre za grelnik, ki se ga postavi v vodno kopel, kjer hkrati segreva in meša vodo, ter s tem zagotavlja stabilno in enakomerno okolje za kuhanje. Meso se vakuumsko zapakira in potopi za točno določen čas in pri točno določeni temperaturi, zato zrezki, burgerji in sendviči z govedino še nikoli niso bili boljši. Za informacije in nasvete o času in temperaturah kuhanja se vedno obrnemo na vodnike na internetu. Zanimivo mi je bilo, da je temperatura za popoln zrezek lahko okoli 57° C, temperatura za "pulled" ali natrgano govedino (ki je, kot pove že ime, tako mehka, da jo zlahka raztrgamo) pa 82° C, vendar je oboje zelo mehko in lahko žvečljivo. Razlika je seveda tudi v času kuhanja, saj doma zrezek običajno damo v sous-vide za uro ali dve, medtem ko meso za natrgano govedino damo v sous-vide vsaj večer prej in ga kuhamo od 12 do 24 ur. Ob tem se mi je porodilo vprašanje, kako različne temperature in časi kuhanja vplivajo na žilavost mesa, in želel sem preveriti, pri kateri temperaturi in času je meso najbolj žilavo, da bi se temu lahko izognila pri pripravi mesa v prihodnje. Seveda je na voljo veliko informacij o sous-vide kuhanju, saj je precej pogost način priprave mesa, vendar recepti običajno ne vključujejo razlage, zakaj je določena temperatura najboljša ipd., zato sem se odločila raziskati, kako na mišično tkivo vpliva izpostavljenost različnim temperaturam v različnih časovnih obdobjih, in izvedeti več o biokemiji za tem.

Z vplivom raznih pogojev priprave mesa na kvaliteto, in torej tudi mehko, mesa so se ukvarjale že mnoge raziskave na področju prehrane. Splošen pregled sestave mišičnega tkiva in vpliva raznih faktorjev (tipi, sestava in velikost mišičnih vlaken, sestava veznih tkiv, lipidna sestava idr.) na organoleptične kvalitete (izgled, mehko, sočnost ...) pripravljenega mesa predstavijo Listrat idr. (2016). Kar se tiče specifično temperature kuhanja, sta Davey in Gilbert (1974) merila trdoto govejega mesa, starega 30 – 36 h, s "tenderometrom" – merilnikom mehko, ki reže meso pravokotno na vlakna. Ugotovila sta dve različni fazi utrjevanja mesa po kuhanju za 1 uro v vodni kopeli: v razponu 40 do 50° C se trdota poveča za tri- do štirikrat zaradi denaturacije beljakovin, in se nato dodatno podvoji v drugi fazi med 65 in 75° C zaradi krčenja kolagena, kar skrči meso in zato stisne ven sok. Bertola idr. (1994) so z Warner-Bratzler napravo testirali 24 ur staro volovsko meso po kuhanju za največ 180 min v termostatični (vodni) kopeli. Ugotovili so, da se trdota zmanjša v razponu 60 - 64° C zaradi denaturacije proteinov (miozin, sarkoplazmični proteini) in poveča med 66 in 68° C zaradi denaturacije aktina, pri temperaturah 81 in 90° C pa je trdota ostala na najvišjih vrednostih. Fellows (2017) navede sous-vide kuhanje, torej kuhanje vakuumsko pakirane hrane v natančno kontrolirani vodni kopeli, kot priročno zaradi možnosti natančnega nadzora nad temperaturo in časom kuhanja. Navaja naslednje kemične spremembe, ki se zgodijo v mesu med kuhanjem: kolagen se raztaplja pri temperaturah okoli in nad 60° C, sarkoplazmični proteini se razširijo in želirajo med 40 in 60° C, encimi izboljšajo mehko mesa pri 50 - 65° C in nato povečajo trdoto do okoli 80° C, ko se denaturirajo. Poleg navedenih hitrih sprememb ob daljšem kuhanju (več kot 6 ur) potekajo tudi počasne spremembe: daljše kuhanje pri 50 - 65° C lahko naredi meso mehkejšo, ker se kolagen raztaplja v želatin, zmanjša medvlakenska adhezija in proteolitični encimi razgrajajo miofibrile. Navede tudi pogoje 10 - 12 h pri 80° C za zmehčanje govejega pleča in 6 - 8 h pri 55 - 60° C za goveji hrbet. Schultz (1957) predstavi različne načine merjenja trdote mesa, izmed katerih je *Warner-Bratzler shear* ena izmed najpogosteje uporabljenih in se uporablja tudi v kasnejših raziskavah (Bertola, et al., 1994).

## 1.1. Raziskovalno vprašanje

Kako različne temperature (40, 50, 60, 70, 80, 90° C) in različni časi kuhanja (0,5 in 12 ur) v sous-vidu vplivajo na trdoto prečno progaste stegenjske mišice goveda (*Bos taurus L.*)?

## 1.2. Hipoteze

1. Največja sila, potrebna za rezanje koščkov prečno progaste mišice, bo večja, če je bila kuhana pri višji temperaturi do 80 °C, pri čemer se močno poveča pri 40 - 50 °C in 60 - 70 °C, pri 90 °C pa se nekoliko zmanjša.
2. Žilavost govejega mesa bo s časom manjša - meso, ki se je kuhalo 12 ur, bo potrebovalo manjšo največjo rezno silo kot meso, ki se je kuhalo 30 minut.

## 2. Teoretični del

Meso, ki ga uživamo, je običajno skeletno mišičevje živali, kot so govedo, svinjina in perutnina. Prečno progasto skeletno mišičevje je sestavljeno iz mišičnih vlaken, vezivnega in maščobnega tkiva. Mišična vlakna so podolgovate celice, ki so široke od 10 do 100 µm in dolge od nekaj mm do več cm. Imajo več jeder, večino znotrajceličnega volumna pa zavzemajo miofibrile. Miofibrile zagotavljajo živalim sposobnost gibanja s pomočjo krčljivih enot, imenovanih sakromere, in so večinoma sestavljene iz beljakovin. Beljakovinska sestava mesa je 50 - 55 % miofibrilnih beljakovin (večinoma miozin in aktin), 30 - 34 % sarkoplazemskih beljakovin (večinoma encimi in mioglobin) in 10 - 15 % vezivnega tkiva (Fellows, 2017). Vezivno tkivo, ki obdaja mišična vlakna, je sestavljeno iz celic, elastina in zunajceličnega kolagena (vlaknatega polipeptida), ovitega v matriks proteoglikanov (kompleksnih večnamenskih molekul, ki so sestavljene iz beljakovinskih in glikozaminoglikanskih/mukopolisaharidnih verig). Skupna vsebnost kolagena pri odraslem govedu je 1 - 15 % suhe teže mišice, skupna vsebnost proteoglikanov pa 0,05 - 0,5 %. Maščobno tkivo je prisotno med mišicami in znotraj njih (medmišična in znotrajmišična maščoba) in je sestavljeno predvsem iz strukturnih lipidov, fosfolipidov in skladiščnih lipidov (trigliceridov) (Listrat, et al., 2016). Med vrstami in pasmami, različnimi mišicami in posameznimi živalmi so velike razlike v vsebnosti medmišičnega maščevja.

Spremembe v mesu med kuhanjem so posledica koagulacije beljakovin pri višjih temperaturah, saj dodatna toplota pretrga medmolekularne vezi, ki držijo terciarno strukturo beljakovin. Denaturacija beljakovin, kot je kolagen, zmanjša trdoto mesa, medtem ko je utrjevanje posledica krčenja in strjevanja vlaknatega materiala v sakromeri. (Bertola, et al., 1994). Miofibrilarne beljakovine se pri temperaturah 40 - 60 °C skrčijo prečno, pri temperaturah nad 60 - 65 °C pa vzdolžno, kar prav tako povzroči znatno izgubo vode. Kolagen se pri temperaturi nad 60 °C skrči in raztopi v želatino. Nasprotno se sakroplazemske beljakovine pri temperaturah 40 - 60 °C razširijo, združijo in želatinirajo. Preden se encimi denaturirajo, povečajo mehkobo mesa (pri 50 - 65 °C), kar so hitre spremembe, ki določajo "doneness", torej nivo kuhanosti oz. pečenosti, mesa (55 °C običajno velja za srednje pečeno). Dolgotrajno kuhanje (več kot 6 ur) lahko zmehča meso s počasnimi spremembami, kot so raztapljanje kolagena v želatino (z delovanjem sakroplazemskega encima kollegenaze pod 60 °C), zmanjšanje adhezije med vlakni in zmanjšanje moči miofibril (z delovanjem proteolitičnih encimov). (Fellows, 2017)

Žilavnost mesa, kot jo občutimo pri jedi, je relativno subjektivna. Na to, kako doživljamo meso, ki ga jemo, vpliva precej informacij, saj gre za kombinacijo rezanja, trganja, mletja in žvečenja, veliko vlogo pa imajo tudi okus, vonj in barva. Metode za določanje kakovosti mesa so zato zelo raznolike in razvitih je bilo veliko mehanskih metod. Priljubljena in dokaj preprosta metoda za določanje trdote mesa je Warner-Bratzlerjeva rezilna naprava, ki se osredotoča na silo, potrebno za rezanje mesa in s tem posnema prvih nekaj grižljajev, ki jih naredimo (Schultz, 1957). Naprava ima jekleno rezilo z luknjo, ki je nekoliko večja od vzorcev mesa, in meri največjo silo, ki deluje na košček, preden se ta nenadoma in popolnoma zlomi.

### 3. Eksperimentalni del

#### 3.1. Metodologija

##### 3.1.1. Neodvisne spremenljivke

- Temperatura: 40, 50, 60, 70, 80, 90 [°C]

Temperatura bo dosežena s kuhanjem v napravi sous-vide z največjo napako 0,1 °C glede na termometer na napravi. Razpon zajema vse temperaturne intervale, v katerih naj bi se po Daveyu in Gilbertu (1974) pojavile znatne spremembe v žilavosti.

- Čas: 0,5, 12 [h]

Čas od trenutka, ko je meso potopljeno v (predhodno segreto) vodo, do trenutka, ko ga vzamemo iz nje, merjeno s časovnikom na napravi sous-vide z natančnostjo 1 minute. Razlika med pol ure in 12 urami naj bi bila dovolj za opazovanje učinkov topljenja kolagena, zmanjšanja adhezije med vlakni in zmanjšanja trdnosti miofibril (Fellows, 2017).

##### 3.1.2. Odvisna spremenljivka

Žilavost mesa, merjena z največjo silo (N), ki je potrebna za prerez vzorca z doma izdelano rezno napravo (slika 1), modelirano po Warner-Bratzlerjevi rezni napravi, kot jo je opisal Schultz (1957), in so jo uporabili tudi Bertola idr. (1994).

##### 3.1.3. Nadzorovane spremenljivke

Spremenljivka	Zakaj - učinek na odvisno spremenljivko	Kako - način nadzora učinka
Vir mesa	Starost, pasma in spol goveda vplivajo na biološko in kemično sestavo mesa, ki vplivajo na čvrstost (Listrat idr., 2016).	Vse uporabljeno meso je bilo iz iste živali - 14-mesečnega teleta iz lokalne trgovine.
Čas od zakola	Takoj po zakolu živali se začnejo posmrtno spremembe, za proces staranja pa so značilne različne ultrastrukturne spremembe, ki povzročajo drobljenje mišičnih vlaken in s tem zmanjšanje žilavosti (Listrat idr., 2016).	Vse uporabljeno meso je bilo iz iste živali, ki je bila po podatkih trgovine zaklana 21 dni pred nakupom in še isti dan vakuumsko zapakirana, da bi se čim bolj zmanjšale nadaljnje spremembe.
Razrez mesa	Lastnosti mišic se zelo razlikujejo glede na njihov položaj in funkcijo v telesu (Listrat idr., 2016).	Za vse vzorce je bil uporabljen isti kos mesa - stegno.
Velikost vzorcev	Večji kosi bi potrebovali večjo silo za rezanje.	Vsi kosi vzorca so bili odrezani na enako velikost 1,0x1,0x5 cm.

Usmerjenost vlaken	Za rezanje proti vlaknu (skozi vlakno) je potrebna večja sila kot za rezanje z vlaknom (med vlakni).	Vsi vzorci so bili razrezani tako, da je bila najdaljša stranica vzporedna s smerjo vlaken, nato pa so bili za meritev razrezani proti njemu.
Način kuhanja	Pri neenakomerni metodi kuhanja bi bilo težko natančno nadzorovati temperaturo, različne metode kuhanja pa bi dale različne rezultate, saj način priprave močno vpliva na žilavost. (Fellows, 2017).	Za vse vzorce je bila uporabljena metoda sous-vide.
Metoda vakuumskega pakiranja	Vakuumski tlak stisne mišična vlakna skupaj, zato se meso pri različnih stopnjah vakuumu ne bi skuhalo enako (različna površina, prisotnost zraka ...).	Uporabljene so bile enake vakuumske vrečke in aparat z enakimi nastavitvami. Vsi kosi so bili stisnjeni v isti smeri.
Temperatura ob času merjenja	Toplejši kosi mesa so nekoliko bolj mehki kot hladnejši, zato lahko različne temperature zaradi različnih temperatur kuhanja vplivajo na največjo potrebno rezo silo.	Vzorci so bili pred meritvijo ohlajeni na sobno temperaturo in izmerjeni s termometrom, da je bila njihova temperatura 22 °C ( $\pm 1$ °C).

#### 3.1.4. Materiali

- približno 1,5 kg progaste mišice iz stegna goveda *Bos taurus L.*
- oster nož
- plastično ravnilo ( $\pm 0,05$  cm)
- naprava za vakuumsko pakiranje Caso
- 13 Caso plastičnih vrečk za vakuumiranje
- naprava Anova sous-vide v vodni kopeli
- termometer za hrano ( $\pm 0.1$ °C)
- naprava za rezanje mesa z Vernierjevo ploščo za merjenje sile (Slika 1)



### 3.1.5. Postopek

Goveje meso je bilo narezano na enake kvadre velikosti 1,0x1,0x5 cm, pri čemer je bila najdaljša stranica vzporedna z mišičnim vlaknom ter izogibajoč se kakršnim koli nepravilnostim v mesu. Meso je bilo narezano z uporabo noža in ravnila, približna napaka v dimenzijah je 0,2 cm.

Koščki so bili nato vakuumsko zapakirani v plastične vrečke in do kuhanja shranjeni v hladilniku pri 4 °C. Pet kosov, potrebnih za vsako ponotiev, je bilo spravljeno v eno vrečko, da bila poraba embalaže minimalna, vendar se niso dotikali, da so imeli vsi skoraj vso površino v stiku z vodo. Kuhani so bili v vodni kopeli z napravo sous-vide, ki vodo stalno in enakomerno segreva in meša.

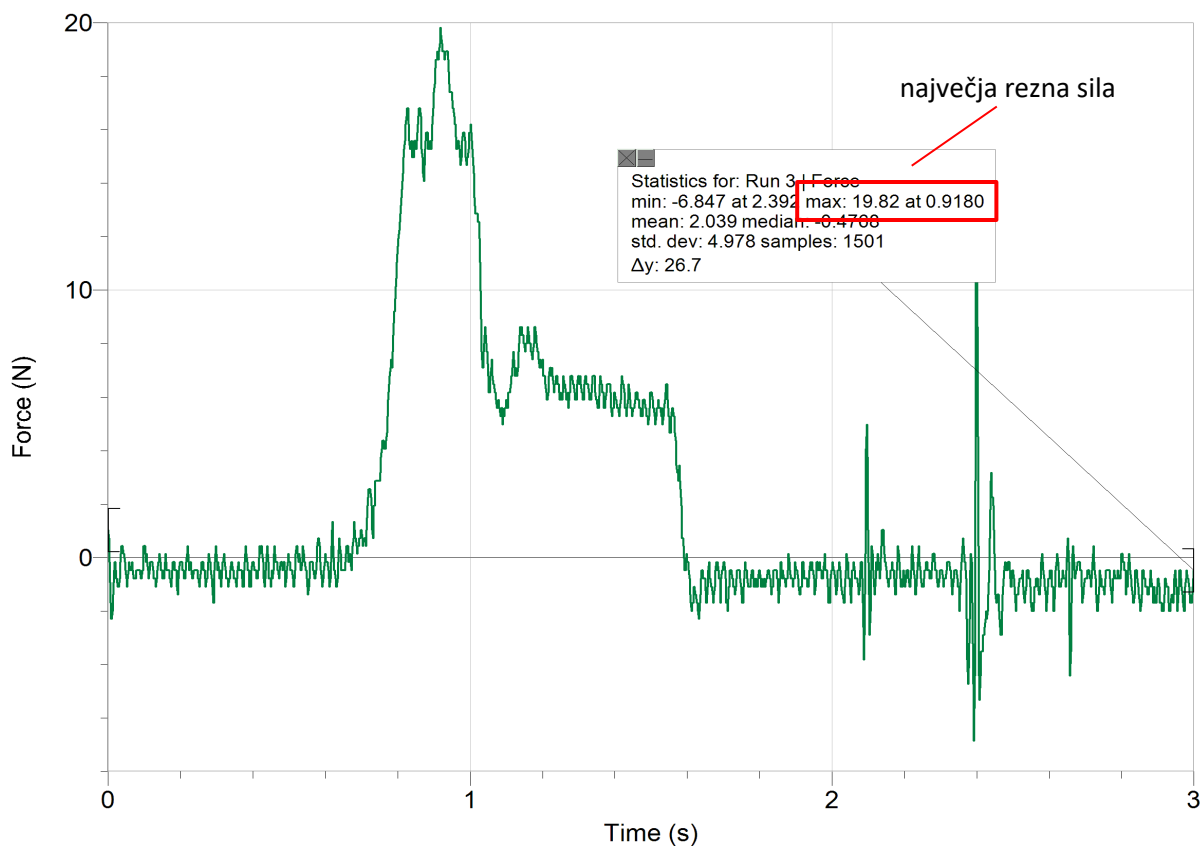
Po kuhanju se je meso ohladilo na sobno temperaturo, nato pa je bila njegova trdota izmerjena z doma izdelano merilno napravo po vzoru Warner-Bratzlerjevega rezila, kot ga opiše Schultz (1957) (slika 1).

Stojalo za meso je postavljeno na Vernierjevi ploščo. Na njem je odprtina, skozi katero gre rezilo. Tako imenovano rezilo je kovinski kos z ovalnim izrezom, pritrjen na vrtalni stroj. To zagotavlja, da se rezilo lahko premika le navpično navzgor in navzdol, pravokotno na stojalo in meso, gibanje pa je mogoče enostavno nadzorovati z mehanizmom stroja (ročno kolo na strani). Širina reže v rezilu je le nekoliko večja od širine kosov mesa, da se prepreči premikanje mesa v stran. Rezilo namenoma ni zelo ostro, tako da se pri merjenju združita sila rezanja in trganja. Meso je bilo počasi in v celoti razrezano (na dva ločena kosa) tako, da se rezilo spušča, dokler ni na ravni stojala. Plošča za silo te naprave je bila prek Vernierjevega programa LabQuest Mini povezana z aplikacijo LoggerPro na računalniku in sila, ki jo je rezilo uporabilo pri rezanju mesa, je bila izmerjena z natančnostjo 1 N.



Slika 1: približek doma narejene rezilne naprave (Avtor fotografije: Alja Šlenc, 2022)

### 3.2. Rezultati in analiza podatkov



Graf 1: sila, potrebna za prerez vzorca številka 3, kuhanega 30 minut pri 60° C (Tabela 1), v odvisnosti od časa

Sila, potrebna za rezanje vsakega kosa mesa, je bila določena z največjo silo, odčitano z grafa za vsak posamezni vzorec, kot je prikazano v Grafu 1.

Za vsako kombinacijo časa in temperature kuhanja je bilo skuhanih in izmerjenih pet vzorcev mesa, za ugotovitev splošnega trenda pa je bila izračunana povprečna sila vseh petih vzorcev. Standardna deviacija (SD) je bila nato izračunana v programu Excel z uporabo funkcije STDEV, da se pokaže variabilnost med vzorci. Da bi ugotovili zanesljivost rezultatov, je bil izračunan koeficient variacije (CV) s formulo  $CV = \frac{SD}{mean} \times 100\%$ . Pridobljeni podatki so predstavljeni v Tabeli 1:

Tabela 1: največje rezne sile za vzorce mesa, kuhane **30 minut**, s povprečji, standardno deviacijo in koeficientom variacije

Temperatura [°C] ± 0,1°C	Sila [N] ± 1 N					povprečje	SD	CV
	1	2	3	4	5			
40,0°C	45	56	65	36	60	52,4	12,0	23%
50,0°C	40	51	64	72	59	57,2	12,4	22%
60,0°C	33	32	20	41	34	31,9	7,7	24%
70,0°C	43	57	37	45	54	47,2	8,2	17%
80,0°C	48	44	48	59	51	50,1	5,8	12%
90,0°C	42	52	30	49	35	41,6	9,1	22%

Tabela 2: največje rezne sile za vzorce mesa, kuhane **12 ur**, s povprečji, standardno deviacijo in koeficientom variacije

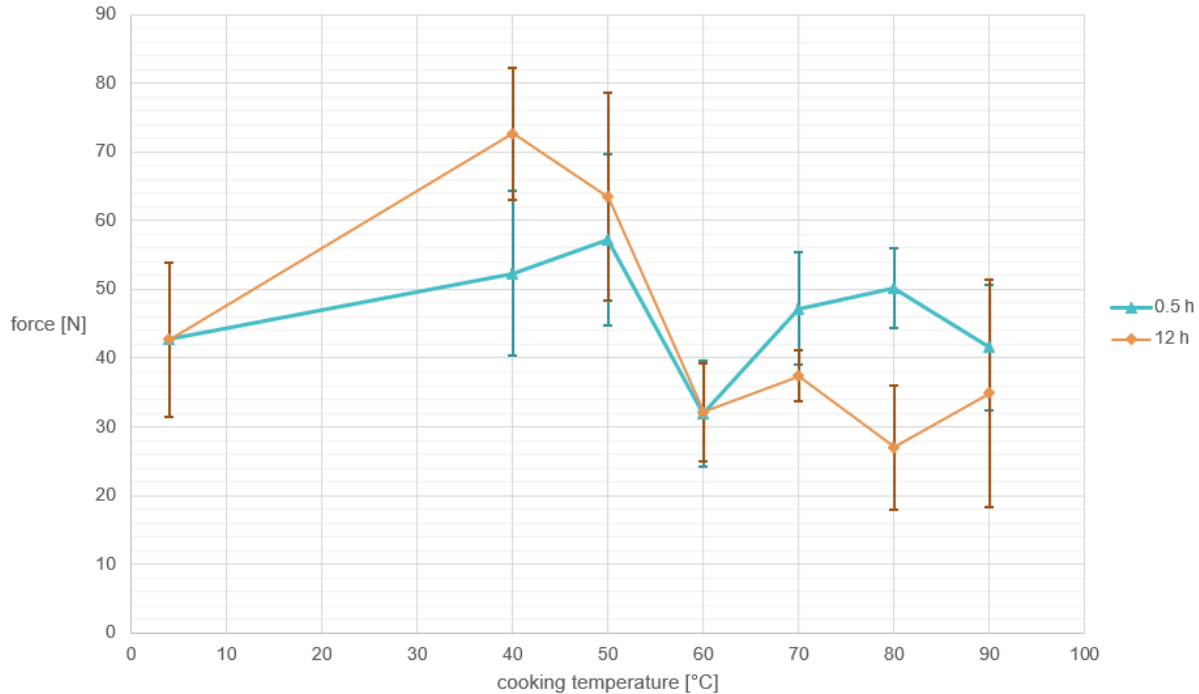
Temperatura [°C] ± 0,1°C	Sila [N] ± 1 N					povprečje	SD	CV
	1	2	3	4	5			
40,0°C	88	63	66	76	70	72,6	9,7	13%
50,0°C	67	75	60	39	76	63,5	15,0	24%
60,0°C	28	38	36	37	22	32,1	7,2	22%
70,0°C	33	39	36	43	36	37,4	3,8	10%
80,0°C	26	36	36	15	22	27,0	9,1	34%
90,0°C	57	20	18	44	35	34,9	16,5	47%

Kontrola: izmerjeni so bili tudi vzorci surovega mesa (narezani in vakuumsko pakirani enako kot ostali):

Tabela 3: največje rezne sile za vzorce surovega mesa s povprečjem, standardno deviacijo in koeficientom variacije

Temperatura [°C] ± 0,1°C	Sila [N] ± 1 N					povprečje	SD	CV
	1	2	3	4	5			
4,0°C	29	60	41	46	37	42,7	11,2	26%

Na podlagi podatkov je bil narisana graf za opazovanje trenda (surovo meso se je štelo za "kuhano" pri 4 °C - temperaturi hladilnika, da ga je bilo mogoče narisati na graf):



Graf 2: razmerje med temperaturo kuhanja in rezno silo za oba časa kuhanja s črticami napak, ki predstavljajo SD

Ker so bili koeficienti variacije razmeroma veliki, je bil v programu Excel z uporabo funkcije TTEST izveden Studentov t-test za vse kombinacije dveh podatkovnih nizov. T-test je bil dvorepni, da se preveri, ali obstaja pomembna razlika med povprečji v kateri koli smeri. Za variance ni bilo predpostavljeno, da so enake, zato je bil uporabljen tip 3. Kritična p-vrednost je bila sprejeta kot standardna vrednost 0,05, kar pomeni, da obstaja 5 % verjetnost, da je ničta hipoteza napačno zavrjena.

Najprej se predpostavi ničta hipoteza, da ni bistvene razlike med povprečno rezno silo pri dveh različnih pogojih kuhanja (npr. povprečna rezna sila za surove vzorce in vzorce, kuhane 30 minut pri 90 °C - prvi kvadrant v preglednici 4). Če je izračunana p-vrednost večja od 0,05, potem razlika ni statistično znatna in se sprejme ničelna hipoteza. Če je izračunana p-vrednost manjša od 0,05, je ničelna hipoteza ovržena in sprejeta je alternativna hipoteza - obstaja znatna razlika v sili, potrebni za rezanje vzorcev obeh načinov kuhanja (obarvano zeleno):

Tabela 4: p-vrednosti t-testov za ugotavljanje, ali obstaja pomembna razlika v žilavosti pri dveh različnih temperaturah pri času kuhanja 30 min

Temperatura [°C]	90	80	70	60	50	40
surovo	0,8676	0,2379	0,4915	0,1183	0,0902	0,2263
40	0,1517	0,7218	0,4560	0,0154	0,5513	
50	0,0565	0,2971	0,1796	0,0067		
60	0,1067	0,0033	0,0160			
70	0,3356	0,5392				
80	0,1218					

Tabela 5: p-vrednosti t-testov za ugotavljanje, ali obstaja pomembna razlika v žilavosti pri dveh različnih temperaturah pri času kuhanja 12 ur

Temperatura [°C]	90	80	70	60	50	40
surovo	0,4127	0,0424	0,3653	0,1204	0,0408	0,0021
40	0,0038	0,0001	0,0005	0,0001	0,2913	
50	0,0214	0,0028	0,0160	0,0062		
60	0,7401	0,3521	0,1931			
70	0,7578	0,0607				
80	0,3815					

Tabela 6: p-vrednosti t-testov za ugotavljanje, ali obstaja pomembna razlika v žilavosti pri različnih časih kuhanja (30 min in 12 h) pri vsaki temperaturi

Temperatura [°C]	90	80	70	60	50	40
p-vrednost	0,4586	0,0021	0,0547	0,9614	0,4904	0,0197

### 3.2.1. Kvalitativno opazovanje

Med mesom, kuhanim dlje časa pri višjih temperaturah in krajši čas pri nižjih temperaturah, je obstajala pomembna kakovostna razlika, čeprav je bila izmerjena sila podobna (npr. 30 min pri 60 °C s povprečno silo  $31,9 \pm 7,7$  N in 12 ur pri 90 °C s povprečno silo  $34,9 \pm 16,5$  N): meso, kuhano 12 ur, zlahka razpade vzdolž vlaken, zlasti tisto, kuhano pri temperaturah 80 in 90 °C, medtem ko je bilo meso, kuhano 30 minut, bolj kompaktno in manj verjetno, da bo razpadlo.

## 4. Razprava in zaključek

Spremembe žilavosti mesa s temperaturo še zdaleč niso linearne. Kot je razvidno iz Grafa 2, se pri 30-minutnem kuhanju potrebna rezna sila poveča od surovega mesa do kuhanega pri 50 °C, nato se zmanjša pri 60 °C in ponovno poveča pri višjih temperaturah do 90 °C. Glede na rezultate t-testa je jasno, da je edina temperatura, ki pri tem času kuhanja povzroči pomembno razliko v žilavosti, 60 °C, pri čemer je sila znatno manjša kot pri 40, 50, 70 in 80 °C. Pri daljšem 12-urnem kuhanju so spremembe žilavosti drugačne: rezna sila se znatno poveča od surovega do 40 °C, znatno zmanjša od 50 do 60 °C, nato pa pri višjih temperaturah sicer ne ostane enaka, vendar razlike niso statistično podprte. Pokazalo se je, da pri 12-urnem kuhanju pri temperaturah 40 in 50 °C meso bistveno bolj otrdi kot pri temperaturah 60 - 90 °C. Ob upoštevanju t-testa za različne čase kuhanja pri isti temperaturi lahko vidimo, da daljši čas kuhanja povzroči bistveno bolj trdo meso pri 40 °C in bistveno manj trdo meso pri 80 °C.

Prva hipoteza je bila, da bo maksimalna rezna sila večja, če bo meso kuhano pri višji temperaturi do 80 °C, pri čemer se bo močno povečala od 40 do 50 °C in od 60 do 70 °C, pri 90 °C pa se bo nekoliko zmanjšala. Pri času kuhanja 12 ur ta hipoteza ni bila potrjena, saj je bilo pri višjih temperaturah meso bistveno manj čvrsto. Pri 30-minutnem kuhanju je hipoteza delno potrjena, saj se je rezna sila med 60 in 70 °C znatno povečala, pri 90 °C pa se je tudi zmanjšala, vendar ne statistično pomembno. Pričakovano povečanje žilavosti med 40 in 50 °C prav tako ni dokazano. Predvsem pa prva hipoteza ni predvidela zmanjšanja žilavosti pri 60 °C, zato glavna trditev hipoteze, da bo največja sila večja, če bo meso kuhano pri višji temperaturi, ni podprta. Če primerjamo rezultate 30-minutnega kuhanja z rezultati Daveyja in Gilberta (1974), na katerih je temeljila hipoteza, lahko ugotovimo, da se povečanje žilavosti pojavi pri istih temperaturnih območjih: 40 - 50 °C in 60 - 80 °C, kar je dobro razloženo s krčenjem miofibrilarnih beljakovin. Vendar pa se je v tem poskusu trdota mesa močno zmanjšala med 50 °C in 60 °C, kar je najbolje razloženo z delovanjem encimov, saj ti povečajo mehko meso pri temperaturah 50 - 65 °C, in topljenjem kolagena, ki se pojavi okoli 60 °C (Fellows, 2017). Davey in Gilbert (1974) tega najverjetneje nista opazila zaradi razlike v starosti mesa. Njuni vzorci so bili pridobljeni v 30 minutah po zakolu in so pred kuhanjem počivali približno 32 ur, medtem ko so bili tukajšnji vzorci stari vsaj 21 dni. Po podatkih Listrata idr. (2016) se meso v tem času zmehča: mišična vlakna postanejo fragmentirana, saj proteolitično delovanje encimov povzroči raztrganine miofibril, vezivno tkivo pa doživi morfološke spremembe, ki olajšajo topnost kolagena med kuhanjem, kar izboljša mehko meso. To je bilo v mojem poskusu dobro zabeleženo, ker meso ni bilo gladko prerezano z rezilom, temveč delno raztrgano (tupo rezilo), in ker mišična vlakna niso bila vedno popolnoma pravokotna na rezilo, (ker pri uporabljenem kosu mesa to ni bilo mogoče za vse kose). To pomeni, da je razpad povezovalnih tkiv bolj vplival na silo, ki je bila potrebna, da se kosi mesa prerežejo na pol, saj so poleg rezanja vlaken lahko tudi razpadli. To je lahko tudi razlaga, zakaj pri času kuhanja 12 ur hipoteza ni bila potrjena. Solubilizacija vezivnih tkiv je bolj vplivala na največjo silo, potrebno za rezanje mesa, kot pa krčenje miofibrilarnih beljakovin, zaradi katerega je meso trše, tako zaradi starosti mesa kot zaradi načina rezanja. To potrjuje tudi kvalitativno opažanje, da so kosi, kuhani 12 ur pri visokih temperaturah, zlahka razpadli.

Druga hipoteza, da se žilavost s časom zmanjšuje, je delno podprta z rezultati, saj verjetno velja za temperature nad 60° C, pri čemer je bilo meso, kuhano pri 80° C, bistveno manj žilavo, če je bilo kuhano 12 ur v primerjavi s 30 minutami, kar je bilo dobro pričakovano zaradi počasnih sprememb, kot sta manjša adhezija med vlakni in manjša moč miofibril, zaradi katerih je meso manj žilavo (Fellows, 2017). Vendar pa ta hipoteza ni potrjena pri temperaturah 60° C in nižje. Zdi se, da ima pod 60° C večjo vlogo krčenje miofibril, kolagen pa se tudi še ne raztaplja. (Fellows, 2017), kar pomeni, da se lahko po daljši izpostavljenosti temperaturi pod 60° C fibrile preprosto bolj skrčijo, zaradi česar je meso trše.

#### **4.1. Prednosti raziskovalne naloge**

Oprema: Polmehansko merilno rezalo je zagotavljalo dosledno metodo merjenja, saj je bil vsak vzorec prerezan na popolnoma enak način. Rezilo je bilo namenoma tupo, tako da je hkrati rezalo in trgalo meso, da je bolje posnemalo človeške zobe. Grelnik sous-vide zagotavlja zelo nadzorovano okolje za kuhanje.

Material: Uporaba enega kosa mesa za celoten poskus je zagotovila, da med vzorci ni bilo večjih razlik v zunanjih dejavnikih, kot so skladiščenje, čas od zakola, kemična sestava ob zakolu, odstotek maščobe itd. Dejstvo, da je bilo meso kupljeno v trgovini, zagotavlja, da se rezultati prenesejo na vsakodnevno kuhanje mesa.

Obseg neodvisnih spremenljivk: Temperature kuhanja so zajemale vse pomembne spremembe, ki se običajno pojavijo pri kuhanju mesa. Dva različna časa kuhanja sta omogočila dodaten vpogled v počasne spremembe in v to, kako različno vpliva temperatura pri različnih časih kuhanja.

#### **4.2. Pomankljivosti in predlogi izboljšav**

Koeficienti variacije od 10 do 34 % (CV 47 % pri 12 urah 90° C je najverjetneje posledica razpadanja mesa) nakazujejo zelo veliko variabilnost med vzorci kljub prizadevanjem za dosledne rezultate. To je mogoče delno pripisati zgolj neizogibni variabilnosti biološkega materiala, vendar bi jo bilo mogoče izboljšati tudi z zmanjšanjem možnosti napak z naslednjimi ukrepi:

Oprema: Za to raziskavo je pri plošči za merjenje sile razmeroma visoka napaka:  $\pm 1$  N je enako 1 - 7 % odstotni napaki. Boljša bi bila natančnejša plošča za merjenje sile ali drugačna metoda merjenja. Poleg tega, ker je bilo rezilo naprave za rezanje upravljano ročno, se sila ni povečevala popolnoma konstantno, kar bi lahko izboljšali z motorizacijo naprave, da bi odpravili človeški dejavnik.

Material in način rezanja: Kupljeni kos mesa je bil nekoliko premajhen, da bi bili lahko vsi kosi odrezani natančno vzporedno z vlakni, saj smer vlaken ni enaka v celotnem kosu, poleg tega pa so bili testni koščki odrezani ročno, kar pomeni, da niso bili povsem enaki. Da bi to izboljšali, bi lahko pridobili večji kos mesa in uporabili napravo za rezanje ali drugo mehansko sredstvo za rezanje majhnih koščkov.

Število vzorcev: Večje število vzorcev za vsako različno kombinacijo časa in temperature bi zagotovilo natančnejše povprečje. Vendar pa bi bilo to na neki točki na račun uporabe enega samega kosa mesa za celoten poskus.

Nekatere druge pomankljivosti te preiskave vključujejo:

Veliki temperaturni koraki: Da bi natančneje ugotovili, pri katerih temperaturah pride do sprememb, bi lahko temperaturo, pri kateri se meso kuha, določili v manjših intervalih, zlasti okoli 55° C in 65° C, kjer so bile spremembe najbolj izrazite.

Ponovljivost in posplošljivost: Zaradi variabilnosti biološkega materiala in zapletenega ravnovesja številnih dejavnikov, ki vplivajo na mehko meso, bi bilo ta poskus zelo težko natančno ponoviti, saj je vsak kos mesa drugačen, zato je mogoče primerjati le relativne spremembe. Ker obstajajo velike razlike med različnimi mišicami živali in še večje med različnimi živalmi in živalskimi vrstami, teh rezultatov ni nujno mogoče prenesti na katerikoli kos mesa in so lahko relevantni le za govedino ali celo le za stegno.

Ni reprezentativna za vse dele žvečenja: Če je cilj preiskave najti najboljšo temperaturo in čas za pripravo mesa za prehrano ljudi, je treba upoštevati, da rezna sila ni edini dejavnik, ki prispeva k organoleptični kakovosti, in je najbolj reprezentativna le za prvi grižljaj. Kot navaja Schultz (1957), se vsak instrument osredotoča na eno od dejavnikov, ki sestavljajo žvečenje, zato bi bilo treba za popolnejši prikaz trdote mesa, kot jo občutijo ljudje, uporabiti več merilnih naprav.

### 4.3. Nadaljne raziskave

Osredotočenost na čas: Ta preiskava je bila bolj osredotočena na vpliv temperature in je uporabljala le dva različna časa kuhanja. Namesto tega bi lahko meso kuhali pri isti temperaturi v več različnih časovnih obdobjih, da bi dodatno preučili razliko med hitrimi in počasnimi spremembami ter čas, v katerem se spremembe pojavijo, če je meso dlje časa na isti temperaturi.

Spremembe po smrti: Rezultati, ki so bili v nasprotju z obstoječimi študijami, kažejo na pomembno razliko v tem, kako se meso spreminja med kuhanjem, glede na to, koliko časa je minilo od zakola. Zanimiva razširitev bi bila zato primerjava mesa takoj po zakolu z mesom, ki je bilo različno dolgo skladiščeno (po podatkih Listrata idr. (2016) se govedina skladišči do enega meseca in v tem času pride do procesa mehčanja in staranja).

Različne vrste mesa: Različne mišice, meso različnih živali in različnih vrst bi lahko primerjali ali pa izvedli isti poskus, da bi prišli do bolj splošnega zaključka.

## 5. Viri in literatura

Bertola, N. C., Bevilacqua, A. E. & Zaritzky, N. E., 1994. Heat Treatment Effect on Texture Changes and Thermal Denaturation of Proteins in Beef Muscle. *Journal of Food Processing and Preservation*, 18(1), str. 31-46.

Davey, C. L. & Gilbert, K. V., 1974. Temperature-dependent cooking toughness in beef. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 25(8), str. 931-938.

Fellows, P. J., 2017. Industrial cooking. V: P. Fellows, ured. *Food Processing Technology*. 4th ured. s.l.:Woodhead Publishing, str. 539-562.

Listrat, A. in drugi, 2016. *How Muscle Structure and Composition Influence Meat and Flesh Quality*. [Elektronski]

Dostop: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4789028/> [19. 6. 2022].



Schultz, H. W., 1957. *Mechanical Methods of Measuring Tenderness of Meat*. [Elektronski]  
Dostop: <https://meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/rmc/1957/mechanical-methods-of-measuring-tenderness-of-meat.pdf?sfvrsn=2> [25. 4. 2022].