

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

**ISPITIVANJE KOMORA ZA TERMIČKU OBRADU  
POLUTRAJNIH MESNIH PROIZVODA**

MAGISTARSKI RAD

Mentor :

Prof.dr.sc. Davor Zvizdić

Dennis Jankovich, dipl.ing.str.

Zagreb, prosinac 2011.

## PODACI ZA BIBLIOGRAFSKU KARTICU

- UDK : 664.9
- Ključne riječi : Proces termičke obrade polutrajnih mesnih proizvoda , ispitna termostatisirana komora , metoda odzivnih površina (RSM) , ispitna metodologija, norma IEC 60068-3-5, ispitno-mjerna linija , mjerni otpornički termometri, umjeravanje mjernih osjetila , stabilizacija temperature , smetnje - poremećaji , zona kontrolirane temperature, mjerna pogreška, procjena mjerne nesigurnosti
  
- Znanstveno područje : TEHNIČKE ZNANOSTI
- Znanstveno polje : STROJARSTVO
- Institucija u kojoj je rad izrađen : " Gavrilović " d.o.o. - Petrinja
- Mentor rada : Dr.sc. Davor Zvizdić, red.prof.
- Broj stranica : 105
- Broj slika : 35
- Broj tablica : 11
- Broj korištenih bibliografskih jedinica : 19
- Datum obrane : 05.12.2011. god.
  
- Povjerenstvo :
  - 1.) Dr.sc. Davor Zvizdić, red.prof. – Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb
  - 2.) Dr.sc. Lovorka Grgec Bermanec, doc. – Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb
  - 3.) Dr.sc. Damir Ilić, red.prof. – Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb
  
- Institucija u kojoj je rad pohranjen :
  - Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb
  - " Gavrilović " d.o.o. - Petrinja



Zagreb, 30. listopada 2008

## Zadatak za magistarski rad

Kandidat: *Dennis Jankovich, dipl. ing. stroj.*

Naslov zadatka: **Ispitivanje komora za termičku obradu polutrajnih mesnih proizvoda**

Sadržaj zadatka:

U ovom magistarskom radu istražiti će se, razviti i primijeniti postupak za ispitivanje svojstava termostahiranih i hlađenih komora za termičku obradu polutrajnih mesnih proizvoda, koje se koriste u tvornici "Gavrilović" d.o.o. Petrinja. Glavne značajke komora koje je potrebno ispitati su: prostorni temperaturni gradijenti u komorama, stalnost temperature u prostoru komore i dinamika zagrijanja ili hlađenja komore između dvije temperaturne radne točke komore. Razvijeni postupci ispitivanja i pripadajuća metodologija moraju biti primjenjivi za validaciju provedbe termičke obrade polutrajnih mesnih proizvoda koji uključuju: mesne kobasice, salame, hrenovke, mortadele, paštetu u crijevu i druge slične proizvode. Metodologija koja će se primijeniti treba obuhvatiti ispitivanje praznih kao i ispitivanje djelomično i potpuno napunjenih komora s ciljem dobivanja spoznaja o utjecaju punjenja komore na rezultate navedenih ispitivanja a time i na postupke termičke obrade polutrajnih mesnih proizvoda. Temperature termičke obrade kreću se u području od +60 °C do +78 °C, a temperature rashlađivanja proizvoda su u intervalu od +2 °C do +5 °C.

Cilj ovog rada je razvoj postupaka za uspostavljanje ispitne metodologije za komore za termičku obradu polutrajnih mesnih proizvoda, odnosno, njegova primjena za dobivanje relevantnih podataka za provedbu i unapređenje postupka termičke obrade, optimizacije i kontrole vrijednosti glavnih utjecajnih parametara kao što su: temperatura i trajanje obrade, brzina zagrijavanja ili hlađenja, ujednačenost temperature u radnom obujmu, utjecaj punjenja na parametre i postignute rezultate termičke obrade.

Eksperimentalno istraživanje treba uključiti: projektiranje i primjenu mjerne linije za praćenje vrijednosti temperature procesa termičke obrade i procesa rashlađivanja polutrajnih mesnih proizvoda. U mjernu liniju potrebno je ugraditi odgovarajuće mjerne osjetnike.

Teorijsko istraživanje uključuje: prikupljanje dosadašnjih spoznaja o postojećim procesima termičke obrade polutrajnih mesnih proizvoda, prikupljanje dokumentacije i spoznaja o metodologijama ispitivanja komora te procjenu mjerne nesigurnosti koja će kvantificirati pojedinačni i ukupni utjecaj svih relevantnih utjecajnih čimbenika na rezultate mjerenja.

Zadatak zadan: 19. M. 2008.

Rad predan: 07. 11. 2011. *Andrassy*

Mentor:  
  
Prof. dr.sc. Davor Zvizdić

Predsjednik Odbora za  
poslijediplomske studije:  
  
Prof. dr.sc. Tomislav Filetin

Voditelj smjera:  
  
Prof. dr.sc. Mladen Andrassy

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se gđinu mentoru, prof. dr. sc. Davoru Zvizdiću, na maksimalnoj podršci, savjetima, korisnim raspravama i primjedbama, tijekom izrade ovog magistarskog rada.

Zahvaljujem se i mojem tehničkom direktoru, gđinu Mladenu Kirinu, ing. elek., koji je u ime tvrtke "Gavrilović", omogućio da dio svojeg radnog vremena izdvojim za izradu ovog magistarskog rada.

Hvala kolegama Nevenu Lasiću i Milanu Ivankoviću iz Odjela "Elektroničari", na nesebičnoj pomoći i vremenu koje smo zajednički utrošili na brojne analize i rasprave, a koje su rezultirale većom kvalitetom prikazanog istraživanja.

Posebno se zahvaljujem i kolegi Damiru Svobodi, ing. elek., elektro-energetskom tehnologu iz Odjela "Tehničke službe", koji je, također, nesebično izdvojio znatan dio svojeg slobodnog vremena i znanja za praktičnu primjenu dobivenih mjernih rezultata ovog istraživanja, unutar postojećeg procesa termičke obrade polutrajnih mesnih proizvoda u tvornici "Gavrilović".

Na kraju, zahvaljujem se i svojoj obitelji na razumijevanju i cjelokupnoj potpori u trenucima izrade ovog rada.

# SADRŽAJ

BIBLIOGRAFSKA KARTICA .....	I
ZADATAK .....	II
ZAHVALA .....	III
SADRŽAJ .....	IV - VII
POPIS SLIKA .....	XIII - IX
POPIS TABLICA .....	X
PREDGOVOR .....	XI
SAŽETAK RADA .....	XII
SUMMARY .....	XIII
KLJUČNE RIJEČI .....	XIV
KEYWORDS .....	XV
POPIS OZNAKA .....	XVI - XVII
<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1. POZADINA I DEFINICIJA PROBLEMA .....	2
1.2. PRETPOSTAVKA ( HIPOTEZA ) RADA .....	3
1.3. POLAZIŠTE I PODRUČJE ISTRAŽIVANJA .....	3
1.4. OSNOVNI ZAHTJEV ZA PROCES TERMIČKE OBRADE POLUTRAJNIH MESNIH PROIZVODA .....	4
<b>2. DOSADAŠNJE SPOZNAJE O PROCESU TERMIČKE OBRADE .....</b>	<b>4</b>
2.1. RAZLOZI ZAMJENE STARIH KOMORA NOVIM.....	5
<b>3. UVOĐENJE NOVE KOMORE U PROCES TERMIČKE OBRADE .....</b>	<b>6</b>
3.1. KRATAK OPIS NOVE KOMORE .....	6
3.2. KRATAK OPIS NOVOG DIMNOG GENERATORA .....	9
3.3. NOVI PROIZVODNI PROCESI ( FAZE RADA ) .....	9
3.4. TEHNIČKI PODACI ZA NOVU KOMORU .....	13
3.4.1. OPIS RADNIH MEDIJA .....	13
3.4.2. GLAVNI RADNI MEDIJ – SUHOZASIĆENA TEHNOLOŠKA PARA .....	13
<b>4. NOVI CENTRALNI RAČUNALNO-UPRAVLJAČKI SISTEM MC-3.1. ....</b>	<b>14</b>
4.1. TEHNIČKI OPIS I KARAKTERISTIKE MC-3.1. ....	14
4.1.1. UPRAVLJAČKA PLOČA MC-3.1. ....	16
4.2. PROCESNI KODOVI RADNIH PROCESA .....	20
4.3. KONTROLA – BAŽDARENJE PT-100 OSJETILA .....	21
4.4. PARAMETRI REGULACIJE MC-3.1.....	23
4.5. DRŽANJE TAKTA REGULACIJE MC-3.1. ....	24

4.6. CENTRALNI RAČUNALNI NADZORNI UPRAVLJAČKI SUSTAV "MIPAS".....	29
<b>5. METODA ODZIVNIH POVRŠINA ( RSM ) .....</b>	<b>30</b>
5.1. OPČENITO O METODI .....	30
5.2. TEORETSKA OSNOVA METODA .....	31
5.2.1. ODZIVNA POVRŠINA .....	31
5.2.2. MATEMATIČKE POSTAVKE METODE .....	32
5.2.3. CENTRALNO-KOMPOZITNI CIKLIČNI PLAN POKUSA (CCD).....	33
5.3. PROGRAMSKI PAKET " DESIGN EXPERT " (DOE) .....	36
5.3.1. OBRADA PODATAKA POMOĆU PROGRAMSKOG PAKETA .....	36
5.3.2. PRIMJENJIVOST PROGRAMSKOG PAKETA U " OS WINDOWS " .....	36
5.3.3. MOGUĆNOSTI PROGRAMSKOG PAKETA .....	36
5.4. IZBOR I MEĐUSOBNA OVISNOST GLAVNIH UTJECAJNIH VELIČINA .....	37
5.5. DVOFAKTORSKI EKSPERIMENT .....	39
5.5.1. IZVJEŠTAJ O DVOFAKTORSKOM EKSPERIMENTU .....	40
5.6. TROFAKTORSKI EKSPERIMENT .....	45
5.6.1. IZVJEŠTAJ O TROFAKTORSKOM EKSPERIMENTU .....	46
5.7. ZAKLJUČAK .....	52
<b>6. ISPITNA METODOLOGIJA .....</b>	<b>54</b>
6.1. OPIS ISPITNE METODOLOGIJE .....	54
6.2. MJERENJE U USPOSTAVLJENOM OKOLIŠU KOMORE.....	58
<b>7. MJERNA NESIGURNOST .....</b>	<b>59</b>
7.1. POJAM MJERNE NESIGURNOSTI .....	59
7.2. METODE NESIGURNOSTI .....	60
7.3. DEFINICIJE .....	60
7.4. KOMPONENTE NESIGURNOSTI .....	61
7.5. ODREĐIVANJE NESIGURNOSTI TIPA A .....	62
7.6. PROCJENA NESIGURNOSTI TIPA B .....	63
7.7. PROCJENA NESIGURNOSTI IZ GRANIČNIH POGREŠAKA .....	64
7.8. PRETVORBA PROŠIRENE NESIGURNOSTI U STANDARDNU NESIGURNOST.....	64
7.9. PARAMETRI KOJI DOPRINOSE MJERNOJ NESIGURNOSTI .....	65
7.9.1. EFEKT ZRAČENJA .....	65
<b>8. UVOĐENJE MEĐUNARODN NORME IEC 60068-3-5.....</b>	<b>66</b>
8.1. OPČENITO .....	66
8.2. DEFINICIJE VAŽNIH POJMOVA .....	66
8.3. POSTUPAK MJERENJA U ISPITNIM KOMORAMA .....	69

8.3.1. VANJSKI UTJECAJI NA UVJETE U ISPITNOJ KOMORI	69
8.3.2. NAČIN MJERENJA TEMPERATURE	69
8.3.3. NAČIN UGRADNJE TEMPERATURNIH OSJETILA	69
8.3.4. UDIO TEMPERATURNE PROMJENE	70
8.4. STANDARDNI ISPITNI POSTUPAK (SLIJED)	71
8.5. KRAJNI IZVJEŠTAJ O SVOJSTVIMA ISPITNE KOMORE	72
<b>9. ISPITNO – MJERNA LINIJA</b>	<b>73</b>
9.1. OPIS ISPITNO – MJERNE LINIJE	73
9.2. PC – RAČUNALO	73
9.3. APLIKACIJA ZA MJERENJE I CENTRALNI NADZOR	73
9.4. MREŽNI MULTIPLESOR CFP – 1804	74
9.5. ULAZNO – IZLAZNI MODUL ( KARTICA ) RTD – 122	74
9.6. TEMPERATurna MJERNA OSJETILA	75
9.6.1. TEHNIČKI PODACI OTPORNIČKIH Pt-100 MJERNIH UBODNIH OSJETILA	77
<b>10. UMJERAVANJE MJERNIH OSJETILA</b>	<b>78</b>
10.1. OPIS POSTUPKA	78
10.2. ZONA KONTROLIRANE TEMPERATURE	79
10.3. ODREĐIVANJE POGREŠKE ISPITNO – MJERNE LINIJE	79
10.4. ANALIZA NESIGURNOSTI UMJERAVANJA	79
<b>11. STABILIZACIJA TEMPERATURE PROCESA TERMIČKE OBRADe</b>	<b>80</b>
11.1. GRAFIČKA METODA	81
11.2. NAČELO STABILNOSTI	82
<b>12. SMETNJE ( POREMEĆAJI ) VEZANI UZ KOMORU</b>	<b>84</b>
12.1. SMETNJE KAO POSLJEDICA UZORKA	84
12.2. RAZLIKA PROIZAŠLA IZ PROGRAMIRANE VRIJEDNOSTI ( $\Delta\theta_{co}$ )	84
12.3. VRIJEME REGULACIJE	86
12.4. NESTABILNO PREKORAČENJE DOPUŠTENE TEMP. GRANICE	86
<b>13. PROCJENA MJERNE NESIGURNOSTI NOVOG POSTUPKA</b>	<b>89</b>
13.1. USPOSTAVA OKOLIŠNIH UVJETA POMOĆU STATISTIČKE METODE	90
13.1.1. SADRŽAJ ( ZNAČENJE ) TESTA	90
13.1.2. HIPOTEZA A	91
13.1.3. HIPOTEZA B	91
13.1.4. HIPOTEZA C	92
13.1.5. HIPOTEZA D	92
13.2. PRORAČUN MJERNE NESIGURNOSTI POVEZAN SA SREDNJOM VRIJEDNOSTI MJERNIH OSJETILA	92

13.3. PRORAČUN MJERNE NESIGURNOSTI POVEZAN SA SREDNJOM VRIJEDNOSTI SVIH MJERENJA ( $X_{air}$ ) PARAMETARA IZMJERENIH U RADNOM VOLUMENU ISPITNE KOMORE.....	94
13.3.1. KOMPONENTE PROŠIRENE NESIGURNOSTI .....	94
13.3.2. PROŠIRENA NESIGURNOST POVEZANA S OPĆOM SREDNJOM VRIJEDNOSTI.....	95
13.3.2.1. PROMJENJIVOST KONTROLIRANE TEMPERATURE.....	95
<b>14. ZAVRŠNA PROCJENA NOVE KOMORE .....</b>	<b>97</b>
<b>15. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>98</b>
<b>16. POPIS LITERATURE .....</b>	<b>99</b>
<b>17. ŽIVOTOPIS .....</b>	<b>101</b>
<b>18. CURRICULUM VITAE .....</b>	<b>102</b>
<b>19. PRILOG .....</b>	<b>103</b>



## **POPIS SLIKA**

- SLIKA 1** – Komora za termičku obradu polutrajnih mesnih proizvoda , tipa proizvođač: "Maurer-AG" (Njemačka), tip: ASL 3641, s dimnim generatorom "Goliath-01", [3] ; str.7
- SLIKA 2** – Instalacija glavnog radnog medija – tehnološka suhozasićena para.,; [3] ; str.14
- SLIKA 3** – Upravljačka ploča centralnog računalno-upravljačkog sistema MC-3.1., [3] ; str.17
- SLIKA 4** – Opis simbola na upravljačkoj konzoli MC-3.1., [3] ; str.18
- SLIKA 5** – Histereze grijanja i hlađenja unutar nove komore, [3] ; str.22
- SLIKA 6** – Držanje takta, [3] ; str.24
- SLIKA 7** – Derivacijski D-član, [3] ; str.26
- SLIKA 8** – Previsoka i preniska vrijednost derivacijskog D-člana, [3] ; str.26
- SLIKA 9** – Integrirajući I-član, [3] ; str.27
- SLIKA 10** – Početak integracije, [3] ; str.28
- SLIKA 11** – Grafički prikaz centralno-kompozitnog cikličnog plana, [4] ; str.34
- SLIKA 12** – Utjecajni parametri za dvofaktorski eksperiment. ; str.38
- SLIKA 13** – Utjecajni parametri za trofaktorski eksperiment. ; str.39
- SLIKA 14** – Ulazni i izlazni parametri za dvofaktorski eksperiment. ; str.39
- SLIKA 15** – Ulazni i izlazni parametri za trofaktorski eksperiment. ; str.45
- SLIKA 16** – Razmještaj osjetila (senzora) u radnom prostoru ispitne komore, [11] ; str.55
- SLIKA 17** – Prostorni raspored 15 mjernih temperaturnih osjetila u radnom volumenu ispitne komore. ; str.56
- SLIKA 18** – Prikaz radnog prostora ispitne komore, [9] ; str.67
- SLIKA 19** – Primjer temperaturnih razlika u radnom volumenu komore, [9] ; str.68
- SLIKA 20** – Smještaj minimalnog broja dodatnih temperaturnih osjetila za termostat. komore volumena preko 2000 lit. (velika komora), [9] ; str.70

- SLIKA 21** – Udio temperaturne promjene za procese zagrijavanja i hlađenja u radnom volumenu termostatirane ispitne komore, [9] ; str.71
- SLIKA 22** – Sonda otporničkog osjetila temperature. ; str.75
- SLIKA 23** – Karakteristika otporničkog Pt-100 osjetila temperature. ; str.76
- SLIKA 24** – Prikaz ispitno-mjerne linije. ; str.76
- SLIKA 25** – Prikaz procesa termičke obrade proizvoda " Kranjska kobasica  $\Phi 32$ " (za 15 mjernih postavljenih temperaturnih osjetila). ; str.80
- SLIKA 26** – Prikaz početka procesa stabilizacije za svako pojedinačno mjerno temperaturno osjetilo (15 kom.). ; str.81
- SLIKA 27** – Prikaz kraja procesa stabilizacije za svako pojedinačno mjerno temperaturno osjetilo (15 kom.). ; str.82
- SLIKA 28** – Prikaz stabilizirane temperature procesa termičke obrade ( $T_{TO}$ ) s odstupanjem vrijednosti temperature ( $T_{TO}$ ) od  $\pm 0,5$  °C. ; str.83
- SLIKA 29** – Stabilnost i maksimum stabilnosti točke unutar radnog volumena ispitne komore, [19] ; str.83
- SLIKA 30** – Razlika proizašla iz programirane vrijednosti i indicirane pogreške, [19] ; str.85
- SLIKA 31** – Promjena vrijednosti unutar parametra temperature u radnom volumenu ispitne komore, [19] ; str.86
- SLIKA 32** – Prikaz položaja temp. osjetila za radne volumene komora većih od  $2\text{ m}^3$  i manjih ili jednakih  $20\text{ m}^3$ , [19] ; str.87
- SLIKA 33** – Vrijeme trajanja temperaturne promjene, [19] ; str.88
- SLIKA 34** – Primjer usklađenosti ispitne komore, [19] ; str.88
- SLIKA 35** – Promjenjivost kontrolne temperature u radnom volumenu ispitne termostatirane komore, [19] ; str.96

## **POPIS TABLICA**

- TABLICA 1** – Pregled radnih medija za novu komoru ASL 3641, [3]. ; str.13
- TABLICA 2** – Glavne programske mogućnosti MC-3.1. ; str.15
- TABLICA 3** – Tehnički podaci za centralni računalno-upravljački sistem MC.3.1., [3] ; str.19
- TABLICA 4** – Procesni kodovi radnih procesa, [3] ; str.20
- TABLICA 5** – Parametri regulacije centralnog računalno-upravljačkog sistema MC-3.1., [3] ; str.23
- TABLICA 6** – Pregled glavnih područja i svih podpodručja software-skog paketa Design Expert 7.1.6., [4] ; str.37
- TABLICA 7** – Vrijednosti utjecajnih parametara na proces termičke obrade polutrajnih mesnih proizvoda za dvofaktorski eksperiment. ; str.103
- TABLICA 8** – Vrijednosti utjecajnih parametara na proces termičke obrade polutrajnih mesnih proizvoda za trofaktorski eksperiment. ; str.104
- TABLICA 9** – Klasifikacija termostatičkih komora, [9] ; str.68
- TABLICA 10** – Stabilizacija temperature procesa termičke obrade ( $T_{TO}$ ) u dijelu vremenskog intervala procesa termičke obrade s odstupanjem vrijednosti temperature ( $T_{TO}$ ) od  $\pm 0,5$  °C . Izmjerene stvarne vrijednosti temperatura odnose se na mjerna osjetila od rednog br.1 do rednog br.15. ; str.105
- TABLICA 11** – Rezultati završne procjene ispitne termostatirane komore. ; str.97

## PREDGOVOR

Ovaj magistarski rad dio je istraživačkog rada, a potaknut je višegodišnjim radom autora na primjeni i razvoju novog postupka za ispitivanje svojstava termostatiranih komora za termičku obradu polutrajnih mesnih proizvoda u tvrtki "Gavrilović" d.o.o. - Petrinja.

U uvjetima sveopće svjetske globalizacije tržišta, prisutnost gavrilovićevih polutrajnih mesnih proizvoda na tržištima SAD-a i Kanade, potrebe za udovoljenjem strogim normama, standardima i propisima unutar zahtjevne anglo-američke prehrambene industrije i popratnog zakonodavstva, potrebno je uvesti i razraditi *preciznu i potpunu metodologiju ispitnih postupaka*, koji moraju biti primjenjivi za validaciju provedbe procesa termičke obrade polutrajnih mesnih proizvoda poput raznih mesnih kobasica, salama, hrenovki, mortadela, šunki, pašteta u crijevu i sl.

Tokom izrade ovog rada ispitivana je prazna, te djelomično i potpuno napunjena termostatirana komora, s ciljem dobivanja spoznaje o *utjecaju napunjenosti komore* na mjerne rezultate dobivene u navedenim ispitivanjima, tj. dobiti što jasniju sliku takvog utjecaja na sam proces termičke obrade polutrajnih mesnih proizvoda.

*Osnovni motiv* za izradu ovog rada posljedica je činjenice da je postojeća (uvriježena, iskustvena) ispitna metodologija, kako procesa termičke obrade polutrajnih mesnih proizvoda, tako i procesa hlađenja istih, određena na temelju kontinuiranih eksperimentalnih ispitivanja i iz njih dobivenih podataka (mjernih rezultata) u vremenskom periodu unatrag posljednjih 30 godina, nezadovoljavajuća, tj. ne osigurava više zahtjevanu konkurentnost istih na sveopćem (globaliziranom) svjetskom tržištu polutrajnih mesnih proizvoda.

U uvjetima globalizacije svjetskog prehrambenog tržišta, sve veći je broj polutrajnih mesnih proizvoda koji su prilagođeni zahtjevima takvog tržišta, životni se vijek takvih proizvoda neprestano povećava, sami proizvodi su sve zahtjevniji u svojoj nutricionističkoj vrijednosti, a ukupno vrijeme potrebno da se takav proizvod pojavi na tržištu neprekidno se skraćuje.

U sprovedenom istraživanju, postojeći postupak za ispitivanje svojstava termostatiranih i hlađenih komora za termičku obradu polutrajnih mesnih proizvoda, korišten je kao osnova za razvoj *potpuno nove metodologije ispitivanja* spomenutih komora, a pomoću koje će se u potpunosti udovoljiti brzom odgovoru na bilo koji od zahtjeva samog naručitelja.

## **SAŽETAK RADA**

Provedeno istraživanje unutar ovog rada ima za cilj *razvoj postupka za uspostavljanje ispitne metodologije* za termostatirane komore za termičku obradu polutrajnih mesnih proizvoda unutar tvrtke "Gavrilović" d.o.o. - Petrinja. Spomenuta ispitna metodologija detaljno procjenjuje kvalitetu radnog volumena u promatranoj ispitnoj komori. Glavne utjecajne veličine unutar komore koja se ispituje su : temperatura procesa termičke obrade, temperatura u geometrijskom centru proizvoda nakon hlađenja postupkom tuširanja, masa pojedinačnog proizvoda unutar pojedinačne šarže, trajanje procesa termičke obrade, stalnost temperature termičke obrade i procesa hlađenja proizvoda, prostorno-temperaturni gradijenti, dinamika zagrijanja i hlađenja radnog volumena komore između 2 temperaturne radne točke, mjerna nesigurnost i odstupanje stvarne vrijednosti od zadane vrijednosti temperature radne točke unutar procesa termičke obrade.

Kao posljedica mnogih uobičajenih tehničkih problema u praksi, u ovom radu je obrađena i analiza utjecajnih parametara metodom odzivnih površina (RSM=Response Surface Method), koja predstavlja izuzetno učinkovit i široko primjenjiv alat za rješavanje istih. Pomoću ove metode inženjeri mogu analizirati i pronaći nepoznate odgovore (izlaze-outpute) na temelju unaprijed poznatih ulaznih podataka (ulaza-inputa), a sama metoda ima mogućnost predviđanja vjerojatnih ishoda i rangiranja različitih utjecaja pojedinačnih parametara.

Sprovedena ispitna metodologija opisana je i u skladu s uputom međunarodne norme IEC 60068-3-5.

Međunarodna norma *IEC 60068-3-5* govori o postupcima ispitivanja stanja uspostavljenog okoliša, te o klasifikaciji i metodama ispitivanja istog unutar termostatirane ispitne komore. Ovdje su definirani i svi važni pojmovi vezani uz termostatiranu ispitnu komoru, kao i vanjski utjecaji na uvjete uspostavljenog okoliša unutar komore, način mjerenja temperature, način ugradnje temperaturnih osjetila, udio temperaturne promjene, standardni ispitni postupak i krajnji izvještaj o svojstvima ispitne termostatirane komore.

Zbog prethodno uvjetovanih i definiranih postupaka, parametara i zahtjevanih ispitivanja, upotrebljavaju se ispitne komore koje mogu osigurati zadovoljavajuće kontrolirane uvjete uspostavljenog okoliša unutar svojeg radnog volumena.

## **SUMMARY**

The aim of this thesis is to develop the procedure for the test methodology of thermostatic chambers for thermal processing of meat products in Gavrilovic Company. The test methodology detaily has to estimate the quality of working space of the test chamber. In the test chamber there are these main influential parameters : temperature of thermal processing, temperature in geometrical centre of meat product after process cooling shower, mass of individual meat product in the batch, time-duration of thermal processing, temperature uniformity of thermal processing and cooling process of meat product, spatial-temperature gradients, dynamics of warming and cooling of working space in chamber between 2 temperature set points, measurement uncertainty and deviation of actual temperature value from set temperature value of operating point in thermal processing.

As a result of many usual technical problems, the influent parameter analysis is presented in the response surface method (RSM = Response Surface Method) in this work. This method is efficiet and applicable technology tools for solving a lot of different technical problems.

By this method engineers can analyse and find out a lot of unknown answers (parameter-outputs) which are based on pre-known input data (parameter-inputs). This method can predict a few likely solutions and classify different influences of each singular parameter.

Conducted test methodology is described in accordance with the instruction of IEC 60068-3-5.

The international norm *IEC 60068-3-5* describes the classification, test methods and procedure of testing of atmosphere conditions into working space of thermostatic test chamber. In this norm are defined all the important terms related to the thermostatic test chamber like: external influences which affect to the atmosphere conditions in the chamber, the way of the temperature measuring and the way of the temperature sensors installing, the range of temperature change, the standard test method and the final report of the atmosphere conditions into the thermostatic test chamber.

Because of these requested procedures, parameters and defined possible tests, in many situations we can use the thermostatic chambers which ensure the well- controlled atmosphere conditions into its working space.

## **KLJUČNE RIJEČI**

- proces termičke obrade polutrajnih mesnih proizvoda, ispitna termostatisirana komora, metoda odzivnih površina (RSM), programski paket "Design Expert" (DOE), 2-faktorski eksperiment, 3-faktorski eksperiment, vrijeme trajanja procesa termičke obrade ( $t_{TO}$ ), temperatura procesa termičke obrade ( $T_{TO}$ ), masa pojedinačnog proizvoda u šarži ( $m$ ), temperatura u geometrijskom centru proizvoda nakon hlađenja postupkom tuširanja ( $T_{GC}$ ), vrijeme hlađenja proizvoda ( $t_H$ ), ispitna metodologija, međunarodna norma IEC 60068-3-5, ispitno-mjerna linija, otpornički termometri, umjeravanje temperaturnih osjetila, stabilizacija temperature, temperaturna mjerna nesigurnost, stalnost temperature, prostorno-temperaturni gradijent, dinamika zagrijanja i hlađenja između 2 temperaturne radne točke, temperaturna radna točka, radni volumen ispitne komore, utjecaj punjenja komore, optimizacija procesa, mjerna pogreška, zona kontrolirane temperature, procjena temperaturne nesigurnosti ( $u$ )

## **KEYWORDS**

- the thermal processing, thermostatic test chamber, Response Surface Method (RSM), Design Expert Software (DOE), 2-factors experiment, 3-factors experiment, the time-duration of thermal processing ( $t_{TO}$ ), the temperature of thermal processing ( $T_{TO}$ ), the mass of individual meat product ( $m$ ), the temperature in geometrical centre of the meat product after cooling shower process ( $T_{GC}$ ), cooling time of meat product ( $t_H$ ), the test methodology, the international norm IEC 60068-3-5, the test-measurement line, resistance thermometers, the calibration of temperature sensors, the temperature stabilization, the temperature uncertainty, the temperature uniformity, spatial temperature-induced gradients, the heating and cooling dynamics between 2 temperature setpoints, the temperature operating setpoint, the working space of test chamber, the influence of loaded chamber, the optimisation of process, the measurement error, the zone of controlling temperature, the estimate of temperature uncertainty ( $u$ )



## POPIS OZNAKA

Oznaka	Naziv
TO	proces termičke obrade
ASL 3641	tip novoinstalirane termostatirane komore
MC-3.1.	centralni računalno – upravljački sistem
MIPAS	centralni nadzorni upravljački sustav ("Maurer Integrated Production and Administration System")
SP	zadana temperaturna točka (Set Point)
RP	početna– referentna temperaturna točka (Reference Point)
$X_p$	područje takta regulacije
$\tau$	Vrijeme trajanja taktnih perioda
D	derivacijski član
I	integralni član
RSM	metoda odzivnih površina ("Response Surface Method")
CCD	centralno – kompozitni ciklični plan pokusa
DOE	programski paket "Design of Experiments"
m	masa pojedinačnog polutrajnog mesnog proizvoda
$T_{TO}$	temperatura procesa termičke obrade
$T_{GC}$	temperatura u geometrijskom centru proizvoda nakon postupka hlađenja metodom tuširanja hladnom vodom
$t_{TO}$	vrijeme trajanja procesa termičke obrade
$\alpha_2$	izlazna vrijednost koeficijenta prijelaza topline
s	eksperimentalna standardna devijacija
$x_{ji}$	vrijednost <i>i</i> -tog mjerenja za <i>j</i> -to osjetilo
n	broj ponovljenih mjerenja
N	broj mjernih osjetila
u	standardna mjerna nesigurnost
$u_c(y)$	složena standardna nesigurnost
U	proširena mjerna nesigurnost
k	obuhvatni faktor
$\bar{x}$	aritmetička sredina
$x_i$	pojedinačni mjerni rezultat

Oznaka	Naziv
IEC 60068-3-5	međunarodna norma
CFP-1804	tip mrežnog multipleksora
RTD-122	tip ulazno - izlaznog modula ( kartice )
STPV	sanitarna topla potrošna voda
$\theta_{co}$	programirana vrijednost temperature u komori
$\theta_{air}$	aritmetička sredina srednjih vrijednosti temperature po osjetilu za vrijeme trajanja mjerenja
$\Delta\theta_{co}$	razlika proizašla iz programirane vrijednosti
$\theta_{in}$	srednja temperatura okoliša
$\Delta\theta_{in}$	razlika između $\theta_{in}$ i $\theta_{air}$
MTE	eng. = maximum tolerated errors
SS	varianca
$m_i$	"stvarna" srednja vrijednost temperature unutar vremenskog intervala ( <i>i</i> )
$\sigma_i^2$	"stvarna" varianca temperature u vremenskom intervalu ( <i>i</i> )
$\bar{x}_i$	procjena srednje vrijednosti ( $m_i$ )
$\sigma_i^2$	procjena variance (SS)
$\sigma_i^2$ sensor	poznata varianca osjetila i mjernog sistema (u uvjetima ponovljivosti) povezana sa serijom mjernih rezultata
$s_R$	standardna devijacija reproduciranja
$x_{air}$	srednja vrijednost svih mjerenja (opća srednja vrijednost)
$\Delta t_{RP} / \Delta \tau$	prosječan udio porasta temperature u početnoj-referentnoj točki RP (Reference Point) unutar ispitne komore
$\overline{\Delta t_{RP}}$	maksimalno prostorno odstupanje u referentnoj točki RP (Reference Point) unutar ispitne komore
$\overline{\Delta t_C}$	maksimalni prostorno-uzdužni temperaturni gradijent kroz radni volumen ispitne komore
$\bar{\delta t}$	maksimalna nestabilnost temperature za točku ( <i>i</i> , $\bar{\delta t}_i$ ) koja odražava kvalitetu temperaturnog regulacijskog kruga
$Dt_{SP}$	razlika (odstupanje) devijacije temperature RP (Reference Point) od vrijednosti zadane točke SP (Set Point)
NFX 15-140	međunarodna norma, tzv. "French Norm"

## **1. UVOD**

Ispitna termostatisirana komora s kontroliranim temperaturnim uvjetima često je prisutna unutar raznih proizvodnih pogona i ispitnih laboratorija u branši prehrambene industrije, a upotrebljava se i za razne izotermičke postupke i istraživanja u razvoju materijala i aparature, te za kalibraciju osjetila temperature. Zbog svega prethodnog, ova je komora kao dio osiguranja kontrole kvalitete sama za sebe predmet procjene.

U ovom radu prikazan je *razvijeni postupak ispitivanja i pripadajuća metodologija* za validaciju provedbe procesa termičke obrade polutrajnih mesnih proizvoda (mesne kobasice, salame, hrenovke, mortadele, paštete u crijevu...) za ispitnu termostatisiranu komoru u tvornici "Gavrilović" d.o.o.-Petrinja.

Prikazana ispitna metodologija obuhvaća ispitivanje prazne, te djelomično i potpuno napunjene ispitne komore s ciljem dobivanja spoznaje o utjecaju punjenja komore na rezultate navedenih ispitivanja.

*Glavne značajke* spomenute komore koje je potrebno ispitati su sljedeći :

- prostorni-temperaturni gradijenti unutar radnog volumena ispitne komore
- stalnost temperature unutar radnog volumena ispitne komore    i
- dinamika zagrijavanja ili hlađenja ispitne komore između 2 temperature radne točke

Vrijednosti temperatura procesa termičke obrade polutrajnih mesnih proizvoda za svaki su pojedinačni proizvod različite i kreću se u intervalu od +60 °C do +78 °C, dok su vrijednosti temperatura rashlađivanja istih unutar intervala od +2 °C do +5 °C.

*Cilj* svega je razvoj postupka za uspostavljanje ispitne metodologije za komoru za termičku obradu polutrajnih mesnih proizvoda, odnosno, njegova primjena za dobivanje svih relevantnih podataka za provedbu i unapređenje procesa termičke obrade, optimizacije i kontrole vrijednosti *glavnih utjecajnih parametara* kao što su :

- temperatura procesa termičke obrade (TO)
- trajanje procesa termičke obrade
- brzina zagrijavanja i hlađenja proizvoda
- ujednačenost temperature u radnom volumenu komore    i
- utjecaj punjenja na parametre i postignute rezultate procesa TO

- Sprovedeno eksperimentalno istraživanje uključuje sljedeće :
  - a) Projektiranje i primjenu mjerne linije za praćenje vrijednosti temperature procesa termičke obrade i procesa rashlađivanja polutrajnih mesnih proizvoda.
  - b) Odgovarajuća mjerna osjetila ugrađena u mjernu liniju.
- Sprovedeno teoretsko istraživanje uključuje sljedeće :
  - a) Prikupljene dosadašnje spoznaje o postojećim procesima termičke obrade polutrajnih mesnih proizvoda u tvornici Gavrilović
  - b) Prikupljenu postojeću dokumentaciju i spoznaje o dosadašnjim metodologijama ispitivanja komora
  - c) Procjenu mjerne nesigurnosti koja kvantificira pojedinačni i ukupni utjecaj svih relevantnih utjecajnih čimbenika na rezultate mjerenja

Prethodno rečeno navodi na zaključak da procjena ispitnih komora nije jednostavan postupak, tj. ona zahtijeva opsežna i vremenski dugotrajna ispitna mjerenja, dok je sam postupak procjene mjerne nesigurnosti i dalje otvoren za diskusiju.

## **1.1. POZADINA I DEFINICIJA PROBLEMA**

Pozadina ovog problema obuhvaća važnost očuvanja postojećih pripadajućih mehaničkih svojstava korištenih ovitaka i crijeva, kao i kvalitetne raspodjele (što manja poroznost) mase punjenja polutrajnih mesnih proizvoda, nakon postupka termičke obrade (TO), a proizašlih iz *utjecaja napunjenosti* promatrane komore finalnim proizvodima i postojeće dinamike procesa *zagrijavanja*, odnosno, *hlađenja* polutrajnih mesnih proizvoda.

Tijekom Domovinskog rata (vremenski period 1991.-1995. god.), dolazi do nestručne uporabe i održavanja postojećih (starih) komora za termičku obradu polutrajnih mesnih proizvoda, što se u periodu nakon oslobođenja grada Petrinje negativno odrazilo na kvalitetu provođenja procesa termičke obrade finalnih-polutrajnih mesnih proizvoda. Zbog spomenutih razloga, kao i zbog dotrajlosti i oštećenja spomenutih komora, pristupilo se zamjeni istih (proizvođač: "Atmos", Njemačka), novim komorama proizvođača "Maurer-AG" (Njemačka), tipa ASL 3641, s dimnim generatorom tipa Goliath-01. Ova zamjena bila je neophodna, iz razloga prisutnosti gavrilovićevih polutrajnih mesnih proizvoda na sve zahtjevnijim prehrambenim tržištima SAD-a i Kanade, a unutar kojih se moralo udovoljiti strogim anglo-američkim normama i propisima.

Da bi se prethodno rečeno postiglo, potrebno je pristupiti sveobuhvatnim prepravkama postojećih regulacijskih i mjernih sistema na 8 novoinstaliranih komora za termičku obradu polutrajnih mesnih proizvoda, jer postojeći regulacijski i mjerni sistemi komora ne zadovoljavaju u potpunosti novopostavljene uvjete, kako europskog, tako i anglo-američkog prehrambenog tržišta.

Također, iskustveno se uvidjelo da je potrebno i korjenito unapređenje postojećeg tehnološkog procesa termičke obrade gavrilovićevih polutrajnih mesnih proizvoda.

## **1.2. PRETPOSTAVKA (HIPOTEZA) RADA**

Prema literaturi [1], pretpostavka (hipoteza) ovog znanstveno-istraživačkog rada je ta da se u konačnici, pomoću razvijenog ispitnog postupka novouspostavljene ispitne metodologije, modelira željeni proces za *validaciju* provedbe procesa termičke obrade polutrajnih mesnih proizvoda.

Povezivanje svega prethodno spomenutog s onim budućim, trebalo bi razviti i integriranu okolinu za razvoj zahtjevanog postojećeg ili novog proizvoda unutar pripadajućeg okruženja.

## **1.3. POLAZIŠTE I PODRUČJE ISTRAŽIVANJA**

Osnovno polazište, koje je ujedno i glavni razlog zamjene svih postojećih "Atmos" komora za termičku obradu polutrajnih mesnih proizvoda, je :

- 1.) Postojeće komore za termičku obradu po svojoj su izvedbi i geometriji zastarjele i ne mogu više adekvatno pratiti kontinuirano povećanje zahtjevane proizvodnje.
- 2.) Povećana proizvodnja diktirana je novim europskim i anglo-američkim normama i standardima, a propisana je unutar prehrambenog tržišta polutrajnih mesnih proizvoda.
- 3.) Zastarjelost regulacije postojećih komora (regulacija uvedena davne 1973. godine) omogućuje isključivo ručno podešavanje svih važnijih tehničkih parametara.
- 4.) Učestalost pojave volumenske deformacije oblika proizvoda (više vrsta polutrajnih salama, jeger, čajna pašteta u crijevu, hrenovke i sl.) poprimila je izuzetno ozbiljan i zabrinjavajući karakter.
- 5.) Nepoželjan proces dinamike hlađenja polutrajnih mesnih proizvoda, nakon procesa termičke obrade, uzrokuje neželjeno smanjenje mehaničkih svojstava ovitaka i crijeva (razne plastične deformacije i puknuća), kao i lošu kvalitetu raspodjele (velika poroznost) mase punjenja gotovo svih polutrajnih mesnih proizvoda.

Povećanje zahtjeva na svjetskom prehrambenom tržištu uzrokuje i određenu posljedicu unutar samog proizvodnog procesa. Do danas nije dokazano da bilo koja vrsta proizvodnog procesa ovakvog tipa hrane, osim serijskog načina proizvodnje, može ukupan proizvodni proces učiniti značajnije učinkovitijim. Upravo iz tog razloga, nameće se i zaključak, da se s povećanjem zahtjeva vezanih uz serijsku proizvodnju nekog određenog polutrajnog mesnog proizvoda, proizvodni proces poduzeća kao što je "Gavrilović", mora imati značajke moderne serijske proizvodnje.

Prethodno rečenim, ulazi se i u pojedinačnu specifičnost sasvim određenog *područja rada*, tj. u ovom slučaju riječ je o *razvoju ispitnog postupka* za uspostavljanje pripadajuće *ispitne metodologije* za validaciju provedbe promatranog procesa termičke obrade polutrajnih mesnih proizvoda.

#### **1.4. OSNOVNI ZAHTJEV ZA PROCES TERMIČKE OBRAD ( TO ) POLUTRAJNIH MESNIH PROIZVODA**

Režimi procesa termičke obrade (TO) polutrajnih kobasica, u hermetički zatvorenoj ambalaži, definirani su na temelju učinka uništavanja mikroorganizama osjetljivih na relativno niske temperature, koje se postižu u geometrijskom centru takvog proizvoda. Uništavanje mikroorganizama vrši se toplinom tako da se u geometrijskom centru proizvoda postigne temperatura od *cca +70 °C* .

Termičku obradu polutrajnih mesnih proizvoda mogu preživjeti sporogene bakterije, dok se uništavaju vegetativni oblici mikroorganizama, pa stoga polutrajni mesni proizvodi imaju svoju *ograničenu trajnost* i moraju se skladištiti u hlađenim prostorima na temperaturi od *cca 0 °C do +4 °C*. Time se potpuno spriječava ili maksimalno usporava rast i razvoj takovih mikroorganizama.

Prema literaturnim, stručnim i iskustvenim saznanjima, te na temelju praćenja mikrobioloških pokazatelja, a prema literaturi [2], uz ispunjenje svih zahtjeva termičke obrade polutrajnih mesnih proizvoda, *maksimalna trajnost proizvoda* postiže se isključivo skladištenjem na propisanoj temperaturi od *0 °C do + 4 °C* .

## **2. DOSADAŠNJE SPOZNAJE O PROCESU TERMIČKE OBRAD**

U tvrtki "Gavrilović" d.o.o. – Petrinja, unutar Odjela "Termička obrada kobasica", tijekom 2001. godine, došlo je do zamjene 8 postojećih (starih) komora za termičku obradu polutrajnih mesnih proizvoda ( proizv.: " Atmos " , Njemačka ) sa 8 novih termostatiranih

komora (proizv.: "Maurer-AG", Njemačka), a iste se godine započelo i sa zamjenom stare pripadajuće automatske regulacije novom.

## **2.1. RAZLOZI ZAMJENE STARIH KOMORA NOVIM**

Glavni razlozi zamjene svih starih komora bili su zastarjelost u geometriji izvedbe i nemogućnost kontinuiranog praćenja povećanja proizvodnje koja je u današnje vrijeme diktirana novim europskim i svjetskim zahtjevima i odnosima na tržištu polutrajnih mesnih proizvoda.

Zidovi starih komora nisu bili obloženi prokromskim limom, već su bili načinjeni od obične opeke na kojima se nalazio samo sloj žbuke sa zaštitnim premazom protiv vlage. Na podovima komora nisu bile specijalne pločice koje se koriste u današnjoj prehrambenoj industriji, već su to bili betonski podovi kanalnog tipa s gornjim drvenim pokrovom.

Također, jedan od izuzetno važnih faktora zamjene starih komora novim jest i *zastarjelost regulacije* dotičnih komora, koja je uvedena još davne 1973. godine i koja je omogućavala samo ručno podešavanje vremena otvaranja i zatvaranja servo-motornih ventila (grijanje i hlađenje). Elektroničke komponente (tranzistori, kondenzatori, otpornici...) zbog svoje velike zastarjelosti neprekidno su se kvarile i gotovo kontinuirano gubile radnu funkciju. Kroz postojeće stare limene zračne kanale, ventilatorima se transportirao i ubacivao u komore temperirani zrak. Temperatura takvog zraka održavala se pomoću 2 cjevna izmjenjivača topline (tzv. "cijevne zmijske") ZRAK-PARA (za grijanje zraka) i ZRAK-GLIKOL (za hlađenje zraka). Kod temperaturne pripreme zraka, pojavljivali su se i veliki problemi nestabilnosti zadane vrijednosti potrebne radne temperature, unutar svake pojedine komore, zbog nepravilnog rada 2 servo-motorna ventila za održavanje zadane radne temperature (1 ventil je služio za zagrijavanje zraka, a 2. za hlađenje zraka).

Upravo zbog svih tih razloga, učestalost pojave *volumenske deformacije oblika proizvoda* (mesne kobasice, salame, hrenovke, mortadele, paštete u crijevu...) poprimila je izuzetno ozbiljan i zabrinjavajući karakter.

Iz svega prethodno spomenutog, vidljivo je, da postojeći stari sistem izvedbe i regulacije komora u potpunosti nije zadovoljavao precizno održavanje vrijednosti glavnog zadanog radnog parametra, tj. radne temperature procesa termičke obrade TO.

U svim postojećim komorama bili su ugrađeni stari "Hartmann-Brown-ovi" regulatori temperature zraka. Parametre vremenskog otvaranja i zatvaranja servo-motornih i elektromagnetskih ventila za grijanje i hlađenje zraka podešavalo se isključivo ručno. U samim elektro-ormarima svih komora bili su postavljeni stari "Phillips"-ovi pretvarači signala,

koji su potom omske signale pretvarali u električne izlazne impulse. Na postojeća dva Pt-100 osjetila, od kojih je jedno dvostruko, dovodilo se informacije o stanju temperature zraka unutar svake komore. Ti stari pretvarači signala pretvarali su postojeće omske signale, te ih dalje prosljeđivali do starih "Hartmann-Brown-ovih" regulatora. Unutar komora bila su postavljena i stara (troma) Pt-100 osjetila, koja nisu dovoljno brzo registrirala promjene temperature zraka u dotičnim komorama.

Stari "Phillips"-ovi pretvarači signala bili su, također, zbog svoje zastarjelosti spori i skloni pogreškama u samom procesu pretvaranja.

Stari "Hartmann-Brown-ovi" regulatori temperature zraka, zbog dugotrajnog ručnog podešavanja, bili su u potpunosti "raštamani" i nepodešeni, tj. skloni pogrešci ("laganju") u procesu regulacije *temperature* unutar raspona od 2-5 %.

To je bio osnovni pokazatelj da dotični regulatori više uopće, niti približno, ne zadovoljavaju nametnute uvjete regulacije zadane radne temperature zraka, unutar bilo koje postojeće komore za termičku obradu.

### **3. UVOĐENJE NOVE KOMORE U PROCES TERMIČKE OBRADU**

#### **3.1. KRATAK OPIS NOVE KOMORE**

Novoinstalirana termostatirana komora za termičku obradu polutrajnih mesnih proizvoda, proizvođača "Maurer-AG" (Njemačka), tipa ASL 3641, s dimnim generatorom "Goliath-01", prema literaturi [3], postrojenje je s funkcijama dimljenja, kuhanja, sušenja, čađenja, prženja, grijanja i pečenja svih vrsta polutrajnih mesnih proizvoda, te je instalirana u proizvodnom pogonu tvrtke "Gavrilović" tijekom 2010. godine.

Prostor obrade dimnog postrojenja s pripadajućim priborom, služi za preuzimanje maksimalno 4 kolica ispunjenih polutrajnim mesnim proizvodima. Odsisni ventilator služi za odsisavanje očišćenog dimnog plina iz prostora za obradu. Odsisni vodovi su cjevni spoj između prostora za obradu i odsisnog dimnjaka, dok je odsisni dimnjak spoj između odsisnih vodova i atmosfere. Grijanje prostora obrade vrši se suhozasićenom parom tlaka 5 bara, koja služi za postizanje željene temperature različitih radnih režima unutar procesa termičke obrade.

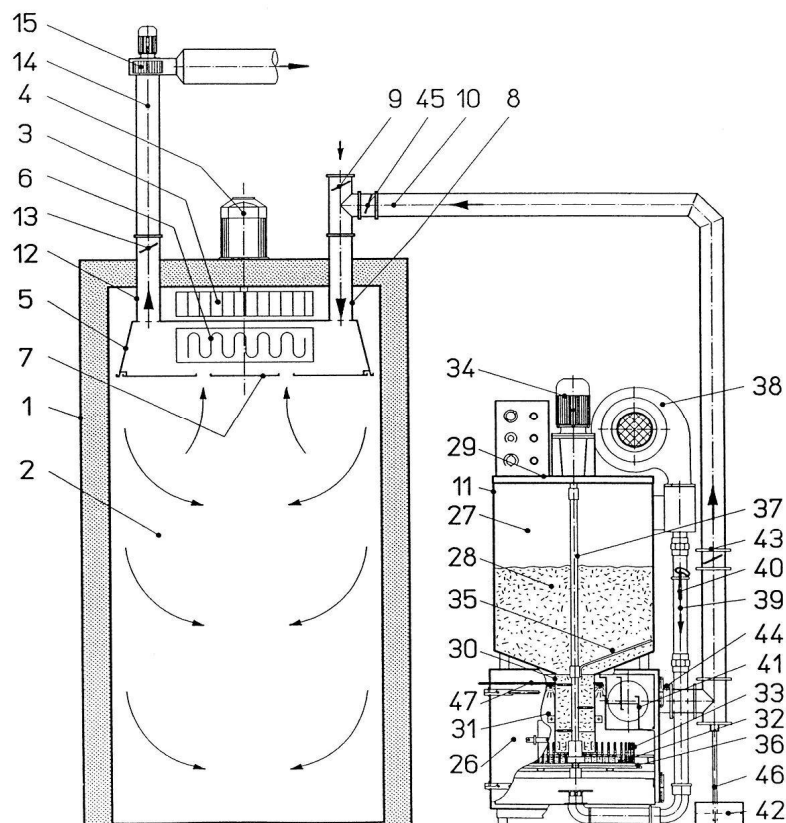
Ulazni materijal koji se upotrebljava za proces dimljenja isključivo je piljevina (područje veličine čestica je od 0,1 do 3 mm, u ravnomjernoj raspodjeli). Piljevina mora biti navlažena (mora imati vlažnost zemlje), i biti toliko vlažna da se u ruci može stisnuti u grudu koja se ne rasipa. Potrebno je izbjegavati uporabu premokrog materijala za dimljenje.



Za piljevinu, koja se kupuje u plastičnim vrećama i vrlo je suha, treba na cca 25 kg upotrijebiti 15-20 litara vode (količina upotrebene vode najviše ovisi o finoći čestica piljevine). Nekoliko sati prije uporabe, potrebno je miješati tzv. "dimni materijal" u koritu za miješanje, da bi vlaga kroz piljevinu bila ravnomjerno "provučena". Topla voda znatno pospješuje ovaj postupak.

U izoliranom kućištu (1), s prostorom obrade (2), u gornjem dijelu, nalaze se optočni ventilator (3), s elektromotorom (4), lim za raspodjelu zraka (5) i grijanja (6) (grijanje može biti elektro, plinsko, uljno, suhozasićenom-niskotlačnom parom, toplim uljem ili visokotlačnom toplom vodom), dok je ispod toga postavljen lim za hvatanje orošenja (7).

Potrebna količina svježeg zraka usisava se preko uvodne cijevi ulaznog zraka (8), s pneumatski upravljanim prstenastom razdvojnog zaklopkom (9). Preko dimnog cjevovoda (10) s identično pneumatski upravljanim prstenastom razdvojnog zaklopkom (45), dovodi se u postrojenje po potrebi (za vrijeme programa dimljenja) dim iz smjera generatora dima. U gornjem dijelu kućišta (1) nalazi se odvodna cijev za odvod zraka (12), s pneumatski upravljanim prstenastom razdvojnog zaklopkom (13), dok se na kraju nalazi odsisni vod (14) s puhalom odvodnog zraka (15).



**SLIKA 1 :** Komora za termičku obradu polutrajnih mesnih proizvoda ,  
Proizvođač : " Maurer - AG " ( Njemačka ) , tip: ASL 364 ,  
s dimnim generatorom "Goliath-01".

gdje je :

- 1 – Izolirano kućište komore
- 2 – Prostor obrade komore ( = radni volumen komore )
- 3 – Optočni ventilator
- 4 – Elektromotor optočnog ventilatora
- 5 – Lim za podjelu zraka
- 6 – Grijanje
- 7 – Lim za hvatanje orošenja
- 8 – Uvodna cijev ulaznog zraka
- 9 – Pneumatski upravljana prstenasta razdvojna sklopka
- 10 – Dimni cjevovod
- 11 – Dimni generator tipa Goliath-01 ( proizvođač : " Maurer AG " )
- 12 – Odvodna cijev za odvod zraka
- 13 – Pneumatski upravljana prstenasta razdvojna sklopka
- 14 – Odsisni vod
- 15 – Puhalo odvodnog zraka
- 26 – Kućište za tinjanje
- 27 – Pričuvni spremnik
- 28 – Pričuvni materijal za dimljenje ( piljevina )
- 29 – Poklopac pričuvnog spremnika
- 30 – Cijev za punjenje pričuvnog spremnika
- 31 – Visoko podesiva manšeta
- 32 – Ploča za tinjanje
- 33 – Ploča za odvajanje sa klinovima
- 34 – Motor - reduktor
- 35 – Okvir za miješanje
- 36 – Električni štapni grijač
- 37 – Osovina za miješanje
- 38 – Puhalo struje zraka
- 39 – Cjevovod za raspirivanje tinjajućeg dima
- 40 – Ručno podesiva ( regulirana ) zaklopka
- 41 – Hvatač pepela
- 42 – Spremnik kondenzata
- 43 – Prigušna zaklopka
- 44 – Termostat na izlaznoj štucni dimnog generatora
- 45 – Pneumatski upravljana prstenasta razdvojna sklopka
- 46 – Odvod kondenzata
- 47 – Uređaj za gašenje

### **3.2. KRATAK OPIS NOVOG DIMNOG GENERATORA**

Dimni generator (11) sastoji se od kućišta za tinjanje (26) za proizvodnju dima, od pričuvnog spremnika (27) s lijevkom za punjenje, odnosno, za primanje pričuvnog materijala za dimljenje (28), kao i pripadajućeg poklopca (29). Na donjem kraju pričuvnog spremnika materijala nalazi se cijev za punjenje (30), s visoko podesivom manšetom (31) koja služi za podešavanje pričuvne količine piljevinskog brašna na ploču za tinjanje (32). Kućište za tinjanje podijeljeno je preko ploče za odvajanje klinovima (33) za ograničenje tinjajuće površine u dvije polovice. Osovina za miješanje (37), s okvirima za miješanje (35), a koji su smješteni na različitim visinama, pogonjena je preko motor-reduktora (34) i služi za dopremu materijala za dimljenje do mjesta tinjanja. Pomak materijala za dimljenje odvija se u podešenim taktovima. Na ploči za tinjanje ugrađen je i električni štapni grijač (36) za predpaljenje materijala za dimljenje.

Za proizvodnju dima dovodi se struja zraka dimnom generatoru pomoću puhala (38) i cjevovoda za raspirivanje (39) ručno-podesivom zaklopkom (40). Struja zraka dijelom služi kao zrak za tinjanje za proizvodnju dima, a dijelom kao zrak za transport proizvedenog dima od dimnog generatora kroz dimni cjevovod (10) do same komore. Svježe proizvedeni dim vodi se u dimnom generatoru preko hvatača pepela (41) u kojem se odvajaju (unutar dima) leteće čestice pepela. Protočna količina zraka za tinjanje i transport dima kroz dimni generator podešava se pomoću ručno-regulirane zaklopke (40) u cjevovodu za raspirivanje (39), a dodatno se podešava prigušnom zaklopkom (43) u dimnom cjevovodu (10). Podešavanje bi trebalo vršiti stručno osoblje, koje i mehanički zaključava (zabavljuje).

Termostat (44) na izlaznom umetku (štucni) dimnog generatora, pri nedopuštenom prekoračenju temperature, automatski uključuje uređaj za gašenje (47), koji potom prska vodu u kućište za tinjanje. Dimni cjevovod ima ispred svog ulaza u dimni generator odvod kondenzata (46), koji završava u spremniku kondenzata (42) vodenim zatvaračem.

### **3.3. NOVI PROIZVODNI PROCESI (FAZE RADA)**

#### **a) Proces grijanja / crvenjenja :**

Nova komora za termičku obradu polutrajnih mesnih proizvoda radi zatvoreno, sa točno određenom količinom zraka u optoku. Proizvodi koji se termički obrađuju zagrijavaju se ravnomjerno zbog početka procesa crvenjenja mesne smjese. U ovom stadiju nikakve količine zraka se ne dovode niti odvođe polutrajnim mesnim proizvodima.

**b) Proces vrenja / prženja / pečenja :**

Nova komora za termičku obradu radi zatvoreno u pogonu s optočnim zrakom. Proizvodi koji se tako termički obrađuju zagrijavaju se ravnomjerno, a potom započinje proces vrenja, prženja ili pečenja, odnosno, otopljenja i zagrijavanja proizvoda. U ovom se stadiju nikakve količine zraka se stavljaju u optičaj. Komora radi u pogonu svježi zrak–otpadni zrak. Količine svježeg zraka predaju se (odvode se) preko odsisnih vodova u slobodni prostor (atmosfera). Proces je bez ikakve emisije.

**c) Proces sušenja :**

Proces sušenja odvija se u otvorenom sistemu. Sušenje proizvoda provodi se u pogonu svježi zrak–otpadni zrak. Pri otvorenim zaklopkama za svježi zrak, usisno-suhosvježi zrak dolazi kroz optičajni sistem u doticaj s proizvodima, a nakon što iz njih preuzme vlagu, odvodi se pomoću odsisnog ventilatora u slobodni prostor (atmosfera). Iz komore se zrakom ne emitiraju nikakve strane tvari.

**d) Proces dimljenja :**

Proces dimljenja odvija se dovođenjem svježeg zraka u otvorenom pogonu propuha. Za proizvodnju dima postavlja se poseban dimni generator tipa Goliath-01. Razvijanje dima slijedi kroz kontrolirano tinjanje piljevine. Za vrijeme procesa dimljenja nastaje prisilno emisijsko-volumsko strujanje. Ova struja otpadnog dima odvodi se u slobodni prostor (atmosfera).

**e) Proces pražnjenja :**

Kod procesa pražnjenja, iz komore se odsisava (s dimom) i atmosfera obrade. Proces pražnjenja odvija se dovođenjem svježeg zraka preko otvorene zaklopke za svježi zrak. Dimni generator je tada izvan pogona. Nakon dimljenja, u komori se preostali otpadni volumen dima odsisava pomoću puhalo, a preko dovodnog voda odvodi u slobodni prostor (atmosfera).

**f) Proces kuhanja :**

Proces kuhanja odvija se pri zatvorenoj komori, u pogonu sa zrakom u optoku, pod atmosferom suhozasićenom parom tlaka 0,8 bara. Pri tome se para unutar komore proizvodi vlastitim generatorom pare ili se u komoru dovodi svježja vanjska niskotlačna-suhozasićena para. Tada otpadni kondenzat nije onečišćen i odvodi se u pogonski sistem otpadne vode (sistem povrata kondenzata). Vruća para, nastala od parne atmosfere i povišenja temperature, odvodi se preko odvodnog zračnog voda u slobodni prostor (atmosfera).

**g) Proces ispiranja :**

Pri procesu ispiranja, proizvodi se hlade putem taktnog dodavanja svježe vode. Dodavanje se odvija preko instaliranog sistema mlaznica (tzv. "tuširanje"), koje su instalirane u prostoru obrade (radnom volumenu). Otpadna voda od ispiranja nije onečišćena i odvodi se u pogonski sistem otpadne vode (kanalizaciju).

**h) Proces čišćenja :**

Čišćenje komore odvija se fiksno, pomoću instaliranog uređaja za čišćenje, tj. pomoću smjese sredstava za čišćenje i vode, a uz pomoć sistema mlaznica i cijevnih vodova, koji su instalirani u samom prostoru obrade. Unošenje otopine za pranje (voda i koncentrat sredstva za čišćenje) izvodi se pomoću komprimiranog zraka iz stacionarnog pričuvnog spremnika ili iz pokretnog pričuvnog spremnika koji je opremljen pumpom.

**i) Novorazvijeni postupak " Delta – kuhanje " :**

Da bi se omogućio poseban proces tzv. naročito štedljivog kuhanja, s vrlo malim gubljenjem težine samog proizvoda, razvijen je postupak tzv. "*Delta-kuhanja*". Sve do sada, dobivani su relativno dobri rezultati postojećim postupkom tzv. "*Stupnjevito kuhanja*", a koje se postiže u višekratnim procesima kuhanja, u redosljedu jedno za drugim, s različitim temperaturnim stupnjevima.

Kod novorazvijenog postupka "*Delta-kuhanja*", programirat se samo 1 korak, kojim se za promatrani proizvod, u procesu kuhanja, unutar komore, pronalazi najpovoljnija radna temperatura pomoću postavljenog matematičkog modela putem centralnog-računalnog sistema (računala) MC-3.1.

Spomenuti centralni-računalni sistem MC-3.1. određuje najpovoljniju zahtjevanu radnu temperaturu procesa, u ovisnosti o rastućoj temperaturi jezgre proizvoda, u tijeku procesa termičke obrade. Ovako izračunata (dobivena) radna temperatura procesa kontinuirano se raspoređuje unutar radnog volumena promatrane ispitne komore.

**j) Postupak " Delta – T " :**

" *Delta T – postupak* " je postupak koji je jednosmjerno (direktno) dodijeljen procesnom kodu "*Delta-kuhanje*". Procesni kod "*Delta-kuhanje*" uvijek iziskuje da se prethodno namjesti samo 1 pripremni korak (u pravilu "*Kuhanje L*" - polako, odnosno, "*Kuhanje S*" - brzo). Razlog tome je da stvarne vrijednosti radne temperature procesa i temperature jezgre proizvoda, na početku koraka procesnog koda "*Delta-kuhanje*", služe kao početne točke za razvoj radne temperature cjelokupnog procesa, odnosno, temperature jezgre proizvoda.

*Pripremni korak* obavezno mora biti proveden s modom rada "*Temperatura jezgre – upravljanje*", čime se unutar određenog vremena utvrđuju početne vrijednosti radne temperature procesa i temperature jezgre proizvoda.

- Prethodno rečeno znači da se "Delta-proces" određuje s 4 vrijednosti temperature :

- 1.) Početna – stvarna vrijednost radne temperature procesa termičke obrade
- 2.) Početna – stvarna vrijednost temperature jezgre unutar proizvoda
- 3.) Radna temperatura procesa termičke obrade  $\Rightarrow$  Tražena vrijednost
- 4.) Temperatura jezgre unutar proizvoda  $\Rightarrow$  Tražena vrijednost

*Početna-stvarna vrijednost radne temperature procesa i temperature jezgre unutar proizvoda*, određuju se kroz prethodno spomenuti *pripremni korak*, pri čemu je naročito važna razlika između obje temperature  $[(1)-(2)]$ , a kroz koju će biti određena i brzina, tj. *trajanje "Delta-procesa"*.

*Tražena radna temperatura procesa termičke obrade* ne smije biti postavljena previsoko (niža temperatura uvjetuje kraće vrijeme trajanja procesa), jer previsoko namještena vrijednost, posebno u završnoj fazi procesa kuhanja, sigurno će štetno utjecati na stanje i kvalitetu vanjske površine ovitka ili crijeva proizvoda, odnosno, rubne zone mesne smjese proizvoda koji se trenutno termički obrađuje unutar komore.

*Tražena temperatura jezgre unutar proizvoda* zadaje se za svaki proizvod unaprijed i zasebno, te predstavlja referencu za kvalitetu proizvoda, tj. predstavlja tzv. "*optimalno kuhano stanje*", a s njim i optimalno postignutu termodinamičku postojanost samog proizvoda.

Pri programiranju *koda "Delta-kuhanje"* posebno treba paziti da se ne zada neprikladno vrijeme, jer će u tom slučaju prenošenje *stvarne vrijednosti temperature jezgre proizvoda* biti *prisilno*. Spomenuti korak mora se ostvariti putem moda rada "*Temperatura jezgre – upravljanje*". Da bi se po želji oblikovalo procesno-tehnički mod rada, tijekom procesa termičke obrade, unutar promatrane komore, moguće je provesti i više koraka jedan za drugim. Od izuzetne je važnosti da *početna stvarna vrijednost* radne temperature procesa termičke obrade i njezina *stvarna vrijednost*, uvijek budu *više* od pripadajuće vrijednosti *temperature jezgre unutar proizvoda*. Ove se vrijednosti ne smiju preklapati.

Spomenutim postupkom, učestalost pojave volumenske deformacije oblika proizvoda i loša kvaliteta raspodjele (poroznost) mase punjenja polutrajnih mesnih proizvoda, svest će se na minimum i neće više poprimiti neželjeni karakter.

**3.4. TEHNIČKI PODACI ZA NOVU KOMORU**

- Geometrijske unutarnje dimenzije isp. komore tipa ASL 3641 (dužina x širina x visina) iznose :  $D \times \check{S} \times V = 420 \text{ cm} \times 130 \text{ cm} \times 210 \text{ cm}$

- Iz prethodnog proizlaze unutarnji volumen i masa ispitne komore :

$$V_{UN} = 11\,466 \text{ litara} \approx 11,47 \text{ m}^3 \Rightarrow (2 \text{ m}^3 \leq V_{UN} \leq 20 \text{ m}^3 \Rightarrow \text{Velika komora})$$

$$m = 3200 \text{ kg}$$

- Minimalna udaljenost Pt-100 osjetila od stijenke ispitne komore je :

$$X = 150 \text{ mm}$$

**3.4.1. OPIS RADNIH MEDIJA**

U komori za termičku obradu polutrajnih mesnih proizvoda tipa ASL 3641 s dimnim generatorom tipa Goliath-01, proizvođača "Maurer-AG" (Njemačka), koriste se, prema literaturi [3], sljedeći radni mediji :

MEDIJ	UPOTREBA	NOMIN. KAPACITET	POTROŠNJA	PRIKLJUČAK
Svježi zrak	dobava	$\leq 2\,000 \text{ m}^3/\text{h}$	-----	-----
Suhoz. para (5 bar)	grijanje	95,4 kW	151 kg/h	1 "
Suhozasićena para (0,8 bar)	kuhanje	-----	151 kg/h	1 1/2 "
Voda (2-5 bar)	tuširanje	-----	100-144 lit./min.	1 "
Komp. zrak (4-6 bar)	kontrola	-----	50 lit./h	$\Phi 8 \times 1 \text{ mm}$

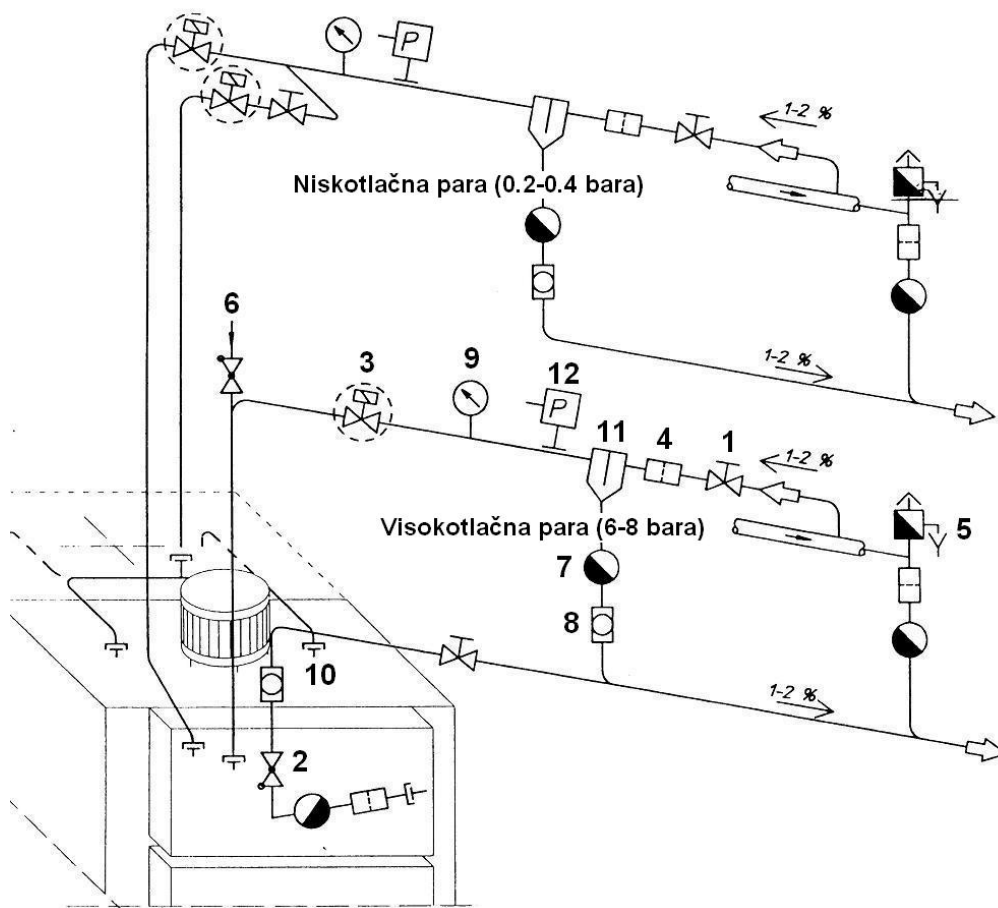
**TABLICA 1 : Pregled radnih medija za novu komoru ASL 3641.**

**3.4.2. GLAVNI RADNI MEDIJ - SUHOZASIĆENA TEHNOLOŠKA PARA**

Glavni radni medij je tehnološka suhozasićena (visokotlačna) para tlaka 5 bara, a koristi se u fazi rada "Grijanje", dok se radni medij tehnološka suhozasićena (niskotlačna) para tlaka 0,8 bara koristi u fazi rada "Kuhanje", gdje je :

- 1 – parni, ručni, zaporni ventil
- 2 – parni, nepovratni ventil
- 3 – parni, elektromagnetski (ili pneumatski) ventill
- 4 – filter pare

- 5 – tzv. "ventilacijski" ventil
- 6 – tzv. "prekidač" vakuuma
- 7 – odvodnik kondenzata
- 8 – stakleni pokazivač protoka kondenzata
- 9 – manometar
- 10 – spoj na komoru
- 11 – separator vode
- 12 – automatski regulator tlaka



SLIKA 2 : Instalacija glavnog radnog medija–tehnološka suhozasićena para.

## **4. NOVI CENTRALNI RAČUNALNO-UPRAVLJAČKI SISTEM MC-3.1.**

### **4.1. TEHNIČKI OPIS I KARAKTERISTIKE MC-3.1.**

Centralni računalno-upravljački sistem MC-3.1. je prema literaturi [3] "inteligentan upravljački sistem", koji je posebno konfiguriran u svrhu upravljanja industrijskim procesima, prvenstveno procesima proizvodnje prehrambenih mesnih proizvoda. Razvijen je unutar tvrtke "Maurer-AG" (Njemačka), na temelju dugogodišnjeg iskustva pri proizvodnji polutrajnih



mesnih proizvoda, te razvoju i primjeni mikroprocesorskih upravljačkih sustava visoke kvalitete. Ovim sistemom unaprijed je moguće programirati i do 20 programa, od kojih svaki program može sadržavati i do 12 tehnoloških, odnosno, procesnih koraka. Postoji i mogućnost unošenja do 99 različitih postupaka obrade (procesnih kodova).

Upravljanje *centralnim računalno-upravljačkim sistemom MC-3.1.* nudi pored obrade proizvodnih podataka i najvišu mjeru fleksibilnosti i mogućnosti prilagodbe za rješenja tehničke problematike upravljanja i regulacije nove komore.

<b>RAČUNALNI SISTEM MC-3.1.</b>	<b>MOGUĆNOSTI RAČUNALNOG SISTEMA MC-3.1.</b>
<b>PROGRAMIRANJE</b>	Nove programe ugraditi ili postojeće mijenjati.
<b>ZAHVATI U PROGRAMU</b>	Postojeće programe prilagoditi izmjenjenim uvjetima načina rada bez trajnih izmjena izvornih programa.
<b>KORAK PROGRAMA</b>	Korak programa obično završava nakon postizanja zadane vrijednosti. Upravljački sklop se prebacuje na sljedeći korak programa ili na kraj programa.
<b>POZIV NA POHRANJENE PROGRAME</b>	Programske podatke pozvati na startanje ili program pohraniti.

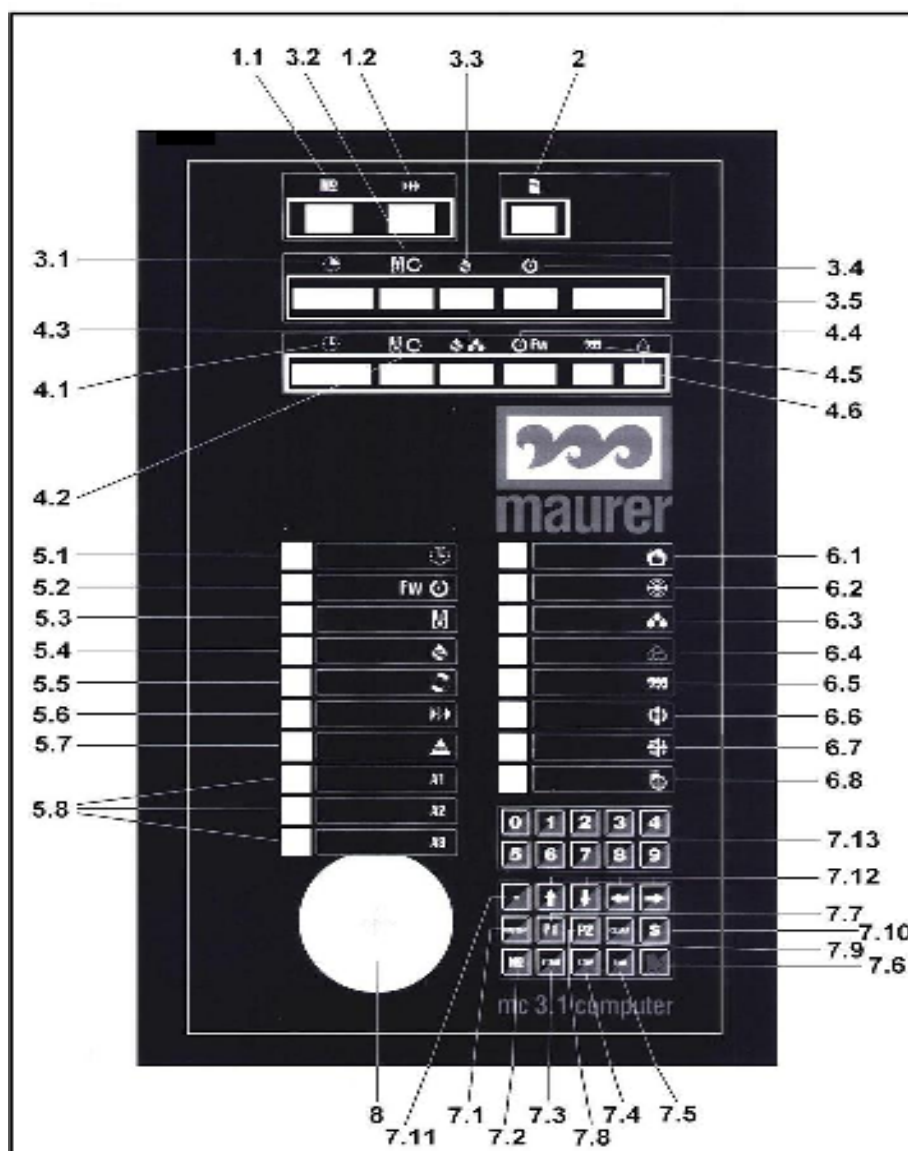
**TABLICA 2 :** *Glavne programske mogućnosti MC-3.1.*

- Prema unosu zadanih vrijednosti , računalni sklop MC - 3.1. upravlja :
  - radnom temperaturom procesa termičke obrade
  - procesima s razlikom u temperaturi ("Delta - T procesima") između vanjske atmosfere i atmosfere procesa termičke obrade, kako bi došlo do klimatizacije pomoću vanjskog zraka (u svrhu uštede energije za proces hlađenja)
  - gornjim i donjim graničnim vrijednostima radne temperature procesa TO

















































Postoji i mogućnost priključivanja pisača za zadane i realne, ili samo za realne vrijednosti, kao i mogućnost priključka na centralno-nadzorno-upravljački sustav *MIPAS* ("Maurer Integrated Production and Administration System").

#### **4.1.1. UPRAVLJAČKA PLOČA MC-3.1.**

- Upravljačka ploča centralnog računalno-upravljačkog sklopa MC-3.1. sadrži sljedeće funkcije :
  - Prikaz elemenata za posluživanje, nadzor i prikazivanje :
    - program - broj
    - korak - broj
    - procesni kod – lozinka
  - Traku za pokazivanje stvarnih vrijednosti :
    - ostatak vremena / proteklo vrijeme
    - stvarna radna temperatura i temperatura u rubnoj zoni izražena u [°C]
    - stvarna temperatura jezgre proizvoda izražena u [°C]
    - dojava smetnje
  - Traku za pokazivanje zadanih vrijednosti (referenci) :
    - vrijeme koraka – do 99:59 h
    - zadana radna temperatura i temperatura u rubnoj zoni izražena u [°C]
  - Vrste upravljanja :
    - svjetleće tipkalo za upravljanje vremenom
    - svjetleće tipkalo za upravljanje temperaturom unutar jezgre proizvoda
    - svjetleće tipkalo za upravljanje radnom temperaturom procesa
    - svjetleće tipkalo za pogon u intervalima (npr. zrenje, prekid energije i sl.)
    - svjetleće tipkalo za pogon "korak po korak" (tipkalo može biti aktivirano, također i tijekom odvijanja tekućeg programa)
    - svjetleće tipkalo za "Delta-proces"
  - Pokazivanje funkcija :
    - pokazivanje funkcije GRIJANJE
    - pokazivanje funkcije HLAĐENJE
    - pokazivanje funkcije DIMNI GENERATOR
    - pokazivanje funkcije OPTOČNI ZRAK – POLAKO
    - pokazivanje funkcije OPTOČNI ZRAK – BRZO
    - pokazivanje funkcije PUHALO OTPADNOG ZRAKA



**SLIKA 3 :** Upravljačka ploča centralnog računalno-upravljačkog sistema MC-3.1.

GLAVNE TIPKE	VRSTE UPRAVLJANJA	TIPKOVNICA
7.2  Program br.	5.1  Program br.	7.11  MINUS
1.2  Korak br.	5.2  Temp. jezgre	7.12  Upravljanje kursorom
2  Procesni kod	5.3  Radna temp.	7.1  UKLJ. / ISKLJ. (Stand By)
	5.4  Psihometrijska vlažnost	7.7  Programiranje
	5.5  Periodični pogon	7.8  Programski zahtav
	5.6  Pojedini korak	7.9  CLEAR
	5.7  Delta postupak	7.10  Servisni program
	5.8  Slobodno	7.2  Program br.
	5.8  Slobodno	7.3  START
	5.8  Uklj. odvod zraka S Isklj. odvod zraka L	7.4  STOP
		7.5  Završetak
		7.6  Alarm
REALNE VRIJEDNOSTI	VRSTE UPRAVLJANJA	TIPKOVNICA
3.1  Preostalo vrijeme i predvrijeme	5.6  Pojedini korak	
3.2  Radna temperatura	5.7  Delta postupak	
3.3  % relat. vlažnosti	5.8  Slobodno	
3.4  Temperatura jezgre	5.8  Slobodno	
	5.8  Uklj. odvod zraka S Isklj. odvod zraka L	
ZADANE VRIJEDNOSTI	PRIKAZ FUNKCIJA	
4.1  Vrijeme	6.1  Grijanje	
4.2  Radna temp.	6.2  Hlađenje	
4.3  % relat. vlažnosti	6.3  Vlaženje	
4.3  Interval vlaženja i odvlaživanja	6.4  Odvlaživanje	
4.4  Temperatura jezgre	6.5  Generator dima Paljenje	
4.5  Intenzitet dima	6.6  Miješanje zraka (polako)	
	6.7  Miješanje zraka (brzo)	
	6.8  Puhala za odvođenje iskorištenog zraka	

SLIKA 4 : Opis simbola na upravljačkoj konzoli MC-3.1.

PARAMETRI	VRIJEDNOSTI i SVOJSTVA
Program broj	2 – brojni ( 01 – 99 )
Korak broj	2 – brojni ( 01 – 99 )
Stvarne vrijednosti parametara	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ostatak vremena, odnosno proteklo vrijeme max. 99:59 h</li> <li>- Radna temperatura procesa ( 3 – brojna )</li> <li>- Temperatura jezgre proizvoda ( 3 – brojna )</li> <li>- Kod pogreške ( za pokazivanje smetnje , 1-8, 10-13, 20-23, 30,40 i 90 )</li> </ul>
Tražene vrijednosti parametara	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vrijeme koraka max. 99:59 h</li> <li>- Radna temperatura procesa : temperaturno područje odgovarajuće tipu postrojenja ( u ovom slučaju 3-brojna )</li> <li>- Temperatura jezgre proizvoda ( 3-brojna )</li> <li>- Gustoća dima ( 2-brojna )</li> </ul>
Vrste upravljanja	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Upravljanje vremenom , radnom temperaturom procesa i temperaturom jezgre proizvoda</li> <li>- Upravljanje pogonom u intervalima</li> <li>- Upravljanje korak po korak</li> <li>- Upravljanje DELTA-procesom</li> </ul>
Pokazivanje funkcija	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grijanje, hlađenje, dimni generator-paljenje, optočni zrak-polako, optočni zrak-brzo, puhalo za otpadni zrak</li> </ul>
Tipkovnica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 bloka tipkovnica sa 3x5 i 2x5 tipkala</li> </ul>
Razvodni ormar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Krom-nikal čelik , material 1.4301</li> <li>- Mjere: 600 x 380 x 210 mm ( v x š x d )</li> </ul>
Kapacitet programske memorije	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 566 ili 1151 programskih koraka , prema stupnju izgradnje</li> </ul>
Broj programa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- do 99</li> </ul>
Broj koraka po programu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- do 99</li> </ul>
Regulacija	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Digitalna regulacija u 3 točke s držanjem takta ( PD-regulacija s dodatkom diferencijalnog postupka )</li> </ul>
Regulirane veličine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Radna temperatura procesa i temperatura jezgre proizvoda</li> </ul>
Nadzor	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 8 pokazivanja funkcija, 8 vanjskih ulaza alarma i do 99 pokaznih dojava greški preko LED-pokazivača s brojevima</li> </ul>
Upravljački relejni izlaz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 32 ili 48</li> </ul>
Osiguranje od ispada mreže (mrežnog napona)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zaštita od gubitka podataka i pri dugotrajnim ispadima mrežnog napona, preko akumulatora.</li> <li>- Automatski povratak (restart) nakon ispada mreže za vrijeme pogona upravljanja.</li> </ul>
Pomoćni programi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jednostavna primjena za provedbu funkcionalnih ispitivanja za vrijeme puštanja u rad, za opće pomoćne radove i radove na podešavanju, kao i za traženje grešaka</li> </ul>

**TABLICA 3 :** Tehnički podaci za centralni računalno-upravljački sistem MC.3.1.

**4.2. PROCESNI KODOVI RADNIH PROCESA**

BROJ KODA	NAZIV PROCESA	RAD
01	CRVENJENJE , ZAGRIJAVANJE	polagano
02	SUŠENJE 1	polagano
03	SUŠENJE 2	brzo
04	HLADNI DIM	polagano
05	VRUĆI DIM 1	brzo
06	VRUĆI DIM 2	brzo
07	INTENZIVNO DIMLJENJE	brzo
08	DIMNA PARA	polagano
09	VRENJE, PEČENJE , PRŽENJE	brzo
10	KUHANJE , PARENJE 1	polagano
11	KUHANJE , PARENJE 2	brzo
12	DELTA - KUHANJE	polagano
13	ZRENJE ( INTERVAL )	polagano
14	PRAŽNJENJE	polagano
15	ISPIRANJE	polagano
16	ČIŠĆENJE	brzo

TABLICA 4 : Procesni kodovi radnih procesa.

### **4.3. KONTROLA – BAŽDARENJE PT-100 OSJETILA**

Za baždarenje ili kontrolu PT-100 osjetila potreban je jedan spremnik s vodom i jedan baždareni uređaj za mjerenje temperature.

- tijek postupka :

- a) Pozvati *pomoćni program 02*. Pokazivanje temperature slijedi u stotinkama stupnjeva Celzijusa.
- b) Priključeno osjetilo neprestano miješati u vodi zajedno s osjetilom baždarenog uređaja za mjerenje temperature.
- c) Pokazane temperature potrebno je izjednačiti , odnosno , korigirati s vrijednošću temperature na baždarenom uređaju za mjerenje temperature prema sljedećem pravilu :

- Pokazivanje radne temperature prenisko = korigirati tipkom 1
- Pokazivanje radne temperature previsoko = korigirati tipkom 6
- Pokazivanje temperature jezgre prenisko = korigirati tipkom 2
- Pokazivanje temperature jezgre previsoko = korigirati tipkom 7
- Pokazivanje dodatne temperature prenisko = korigirati tipkom 4
- Pokazivanje dodatne temperature previsoko = korigirati tipkom 9

- Ako je osjetilo u prekidu ili u kratkom spoju uključiti će se :

- Osjetilo radne temperature i pokazivanje funkcije ⇒ GRIJANJE
- Osjetilo temperature jezgre i pokazivanje funkcije ⇒ HLAĐENJE

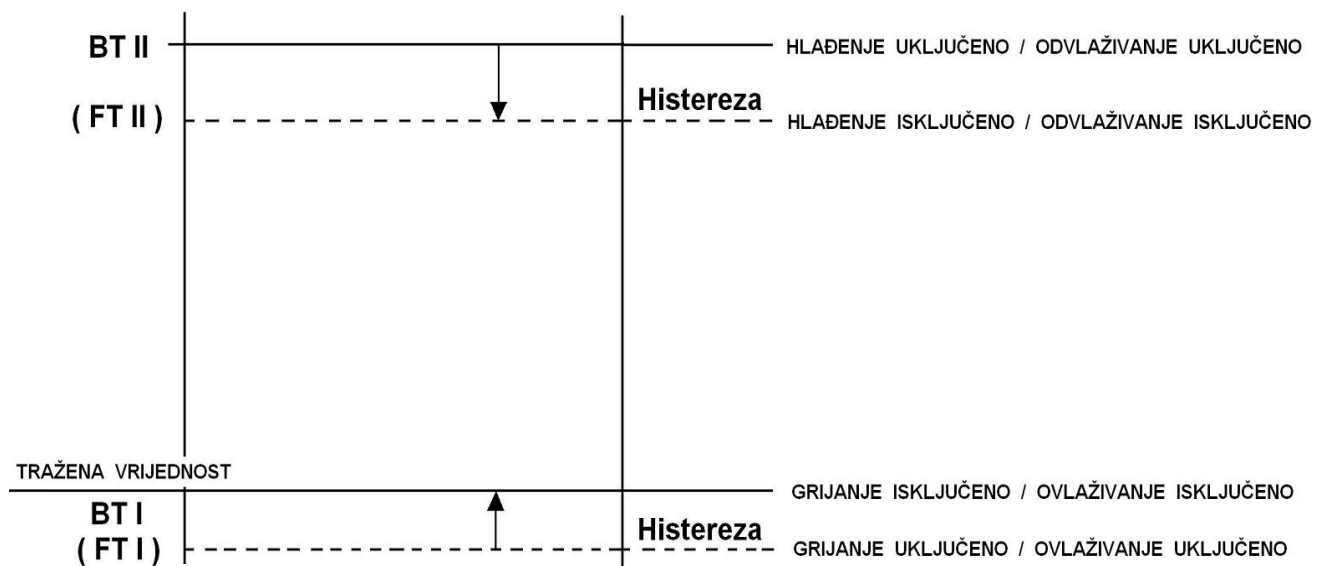
- Adrese i značenja varijabli :

- *Sklopne točke (SP)* daju se u 1/10 stupnja
- Sa *OFFSET-om* (izjednačenje, poravnanje) podešava se odstupanje od tražene vrijednosti.

- OFFSET može biti :    **pozitivan**    ⇒    **0 – 127**    ili
- negativan**    ⇒    **128 – 255**

[ npr. + 0,5 stupnjeva = 00005 ; - 0,5 stupnjeva = 00133 ( 128 + 5 = 133 ) ]

- Sa histerezom +/- uključuje se sklopna histereza.
- $Hyst +$  = Točka isključenja (Tražena vrijednost je postignuta).
- $Hyst -$  = Točka uključanja (Tražena vrijednost nije postignuta).
- Tražena vrijednost +  $OFFSET + Hyst +$  = Sklopna točka  $\Rightarrow$  ISKLJ.
- Tražena vrijednost +  $OFFSET + Hyst -$  = Sklopna točka  $\Rightarrow$  UKLJ.



**SLIKA 5 :** Histereze grijanja i hlađenja nove komore.

### **NAPOMENA :**

Procesi ovlaživanja i odvlaživanja zraka nisu predviđeni unutar radnog volumena ove ispitne termostatirane komore za proces termičke obrade polutrajnih mesnih proizvoda, ali ih je moguće sprovesti u slučaju da se komora koristi za proces hladnog dimljenja trajnih proizvoda (čajna i sremska kobasica, kulen, pršut ...).



**4.4. PARAMETRI REGULACIJE MC-3.1.**

ADRESA	OZNAČAVANJE	ZNAČENJE	EPROM
000	Sklopna točka 1 OFFSET u 1/10 °C Točka ISKLJ.	Temperatura jezgre	00000
001	Sklopna točka 1 HISTEREZA + u 1/10 °C	Temperatura jezgre	00000
002	Sklopna točka 1 HISTEREZA - u 1/10 °C Točka UKLJ.	Temperatura jezgre	00005
003	Sklopna točka 2 OFFSET u 1/10 °C Točka ISKLJ.	VT para	00000
004	Sklopna točka 2 HISTEREZA + u 1/10 °C	VT para	00000
005	Sklopna točka 2 HISTEREZA - u 1/10 °C Točka UKLJ.	VT para	00003
009	Sklopna točka 4 OFFSET u 1/10 °C Točka ISKLJ.	NT para	00000
010	Sklopna točka 4 HISTEREZA + u 1/10 °C	NT para	00000
011	Sklopna točka 4 HISTEREZA - u 1/10 °C Točka UKLJ.	NT para	00003
015	Sklopna točka 6 OFFSET u 1/10 °C Točka ISKLJ.	Svjetiljka grijanje	00000
016	Sklopna točka 6 HISTEREZA + u 1/10 °C	Svjetiljka grijanje	00000
017	Sklopna točka 6 HISTEREZA - u 1/10 °C Točka UKLJ.	Svjetiljka grijanje	00005
018	Sklopna točka 7 OFFSET u 1/10 °C Točka ISKLJ.	Slobodno	00000
019	Sklopna točka 7 HISTEREZA + u 1/10 °C	Slobodno	00000
020	Sklopna točka 7 HISTEREZA - u 1/10 °C Točka UKLJ.	Slobodno	00005
021	Sklopna točka 8 OFFSET u 1/10 °C Točka ISKLJ.	Hlađenje	00005
022	Sklopna točka 8 HISTEREZA + u 1/10 °C	Hlađenje	00000
023	Sklopna točka 8 HISTEREZA - u 1/10 °C Točka UKLJ.	Hlađenje	00004
026	Vrijeme impulsa u 1/10 sekunde	Dimni generator	00000
027	Vrijeme impulsa u 1/10 sekunde	Dimni generator	00051
028	Interval – vrijeme u 1/10 sekunde	PAUZA	09000
029	Interval – vrijeme u 1/10 sekunde	RAD	09000
030	Sklopna točka 2 PODRUČJE TAKTA (Xp) u 1/10 °C	Grijanje VT - para	00050
032	Sklopna točka 4 PODRUČJE TAKTA (Xp) u 1/10 °C	Grijanje NT - para	00050
033	Sklopna točka 2 TAKTNI CIKLUS (T) u 1/10 sekunde	Grijanje VT - para	00020
035	Sklopna točka 4 TAKTNI CIKLUS (T) u 1/10 sekunde	Grijanje NT - para	00020
036	Sklopna točka 2 DIFERENCIJALNI UDIO u %	Grijanje VT - para	00048
038	Sklopna točka 4 DIFERENCIJALNI UDIO u %	Grijanje NT - para	00048
039	Sklopna točka 2 INTEGRALNI UDIO u %	Grijanje VT - para	00032
041	Sklopna točka 4 INTEGRALNI UDIO u %	Grijanje NT - para	00032
042	Sklopna točka 2 START INTEGRACIJE u 1/10 °C	Grijanje VT - para	00016
044	Sklopna točka 4 START INTEGRACIJE u 1/10 °C	Grijanje NT - para	00016
071	Proces dimljenja u 1/10 sekunde	Takt paljenja	00000
072	Proces dimljenja u 1/10 sekunde	Predpaljenje	06000
073	Početak procesa dimljenja u minutama + 1 minuta	Paljenje	00017

TABLICA 5 : Parametri regulacije centralnog računalno-upravljačkog sistema MC-3.1.



- *Premali  $X_p$  daje točnu regulaciju*, ali ona postaje *nestabilna* (npr. ako kod zagrijavanja, područje takta jednostavno prolazi). Krajnji rezultat toga su *jaka titranja*, tj. *nestabilnost regulacije!*
- *Preveliki  $X_p$  daje pak mirnu regulaciju*, koja traženu vrijednost nikada ne postiže i prije svega je *spora*. Za prvo podešavanje kao  $X_p$  uzima se bezopasna veličina titranja kod normalne 2-točkaste regulacije.

**Pažnja :  $X_p = 0$  !**

**Regulacija u 2 točke je neovisna o tome kako su postavljene ostali parametri regulacije .**

## **2.) TRAJANJE TAKTNIH PERIODA $\tau$ (tau)**

Unutar *područja takta ( $X_p$ )* taktira regulacija s *vremenom periode  $\tau$  (tau)* , a  $\tau$  može biti unešen direktno u sekundama .

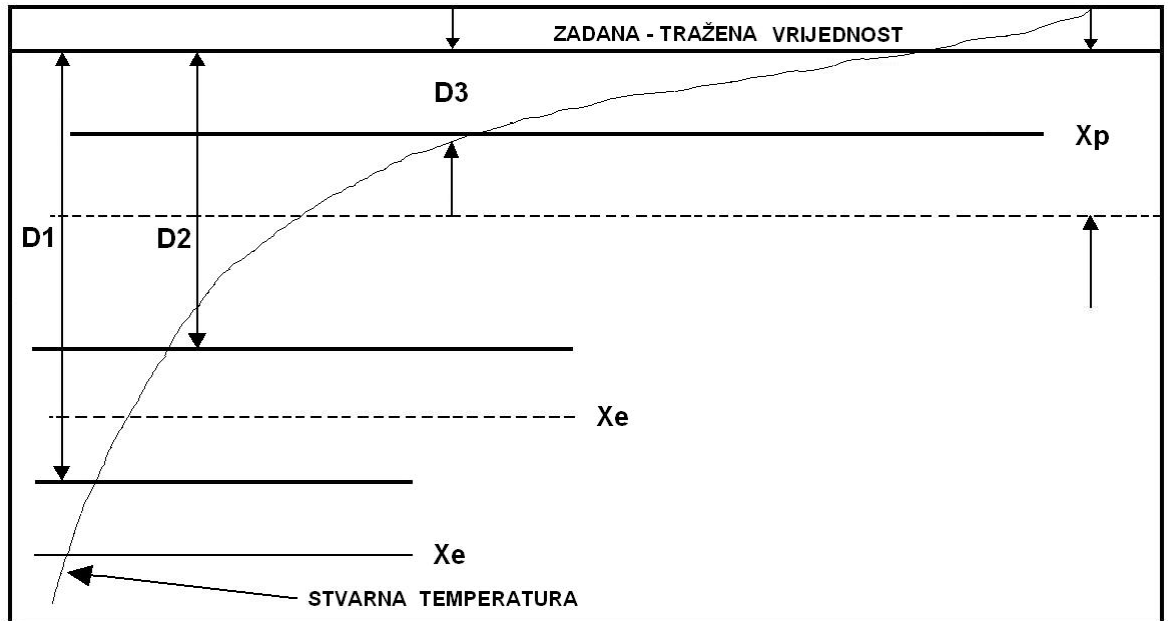
- Pri tome je posebno potrebno pripaziti na :

- *Premali  $\tau$  (tau)* koji vodi ka vrlo učestaloj frekvenciji sklapanja izlaznog releja i zbog toga nije preporučljiv.
- Osim toga ne mogu se realizirati niti sklopni impulsi kraći od cca 0,5 sekundi kroz serijski prijenos podataka unutar centralnog računalno-upravljačkog sistema MC-3.1.
- *Preveliki  $\tau$  (tau)* usporava regulaciju .
- Za pokuse se preporuča  $\tau$  (tau) od 20 sekundi .

## **3.) DERIVACIJSKI D - ČLAN**

Kako je prethodno opisano, usko područje  *$X_p$ -trake* daje točnu regulaciju. Da bi se problem istitravanja (nestabilnosti) na početku regulacije stavio pod nadzor uveden je i *derivacijski D-član*.

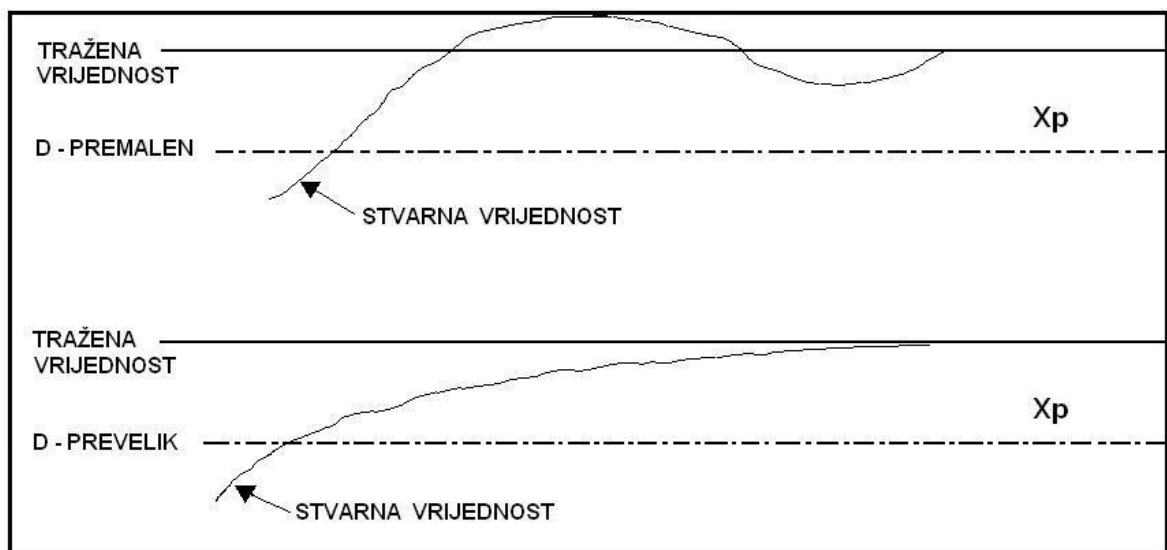
*D-član* se zadaje kao broj od 0-99 %. Kod zadanog *D-člana*, program preračunava vrijednost prema određenim periodima isključenja (npr. 20 s), odnosno razliku između stare i nove stvarne vrijednosti, i iz toga određuje odgodu (pomicanje) tražene vrijednosti u suprotnom smjeru.



SLIKA 7 : Derivacijski D-član.

Prethodno rečeno znači da će  $X_p$ -traka biti postignuta ranije. Sam takt dakle počinje puno ranije. Ovime se smanjuje uspon (porast) stvarne vrijednosti i  $X_p$ -traka putuje lagano prema gore.

Veličina D-broja (0-99 %) može se bez problema testirati. Ako je ova veličina *pre mala* pojavljuje se *titranje* ; ako je *prevelika*, stvarna vrijednost vrlo *sporo raste* prema gore.



SLIKA 8 : Previsoka i preniska vrijednost derivacijskog D-člana.

- Formula za proračun D-udjela :

$$D = ( \text{Stara stv. vrij.} - \text{Nova stv. vrij.} ) \times [ D_{\text{zadano}} \% / ( 10 \times \text{korekturni broj} ) ]$$

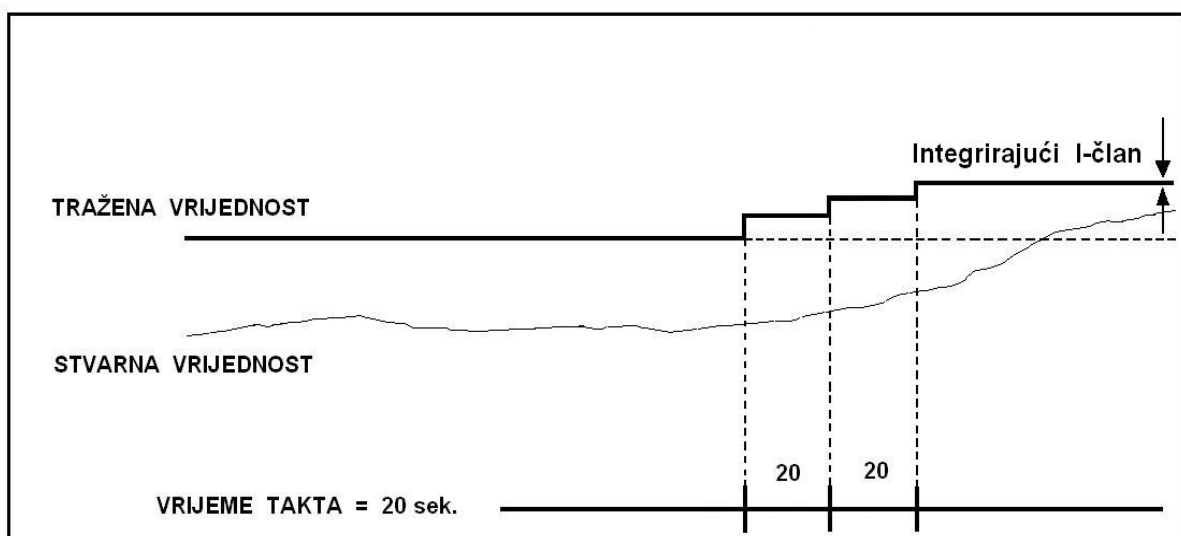
**NAPOMENA** : Skokovi D-udjela sprečavaju se preko oblikovanja srednje vrijednosti !

#### 4.) INTEGRIRAJUĆI I - ČLAN

U oscilirajućem stanju regulacije može se kroz *Xp-traku* primjetiti još jedno malo odstupanje stvarne vrijednosti.

Ova razlika između stvarne i zadane vrijednosti ostvarena je zbog toga što energija grijanja kroz uske impulse na gornjem kraju *Xp-trake* nije dovoljna za dostizanje krajnje vrijednosti. To postaje tim jasnije kada je izabrano šire područje *Xp*, a s njime je i vrijednost tražene temperature viša.

Da bi se regulirala i ova mala razlika (nekoliko desetinki stupnja) uveden je i *I-član* (integralni član). *I-član* se zadaje, također, kao broj od 0-99 %. Od određene blizine pa do tražene vrijednosti biti će dodan po 1 broj svakih 20 sekundi, odnosno, ako se stvarna vrijednost nalazi iznad tražene, po 1 će broj biti oduzet.



SLIKA 9 : Integrirajući I-član.

- Da regulacija ne bi bila narušena, postavljene su sig. granice za integrirajući I-član :
  - a) Integrirajući I-član može biti samo pozitivan (npr. kod regulacije prema dolje kao što je hlađenje neće biti takta).
  - b) Integrirajući I-član može postati maksimalno velik kao Xp-traka (kod vrlo velikog Xp, maksimalno 9,999 °C)
  - c) Integrirajući I-član uključuje se samo unutar ili iznad granica Xp-trake.
  - d) Start zbrajanja učinjen je ovisnim o veličini integrirajućeg I-člana.

Ovim se mjerama sprečavaju nekontrolirana pomicanja zadane vrijednosti, prije svega u početnoj fazi procesa.

- Formula za proračun integracijskog I-člana :

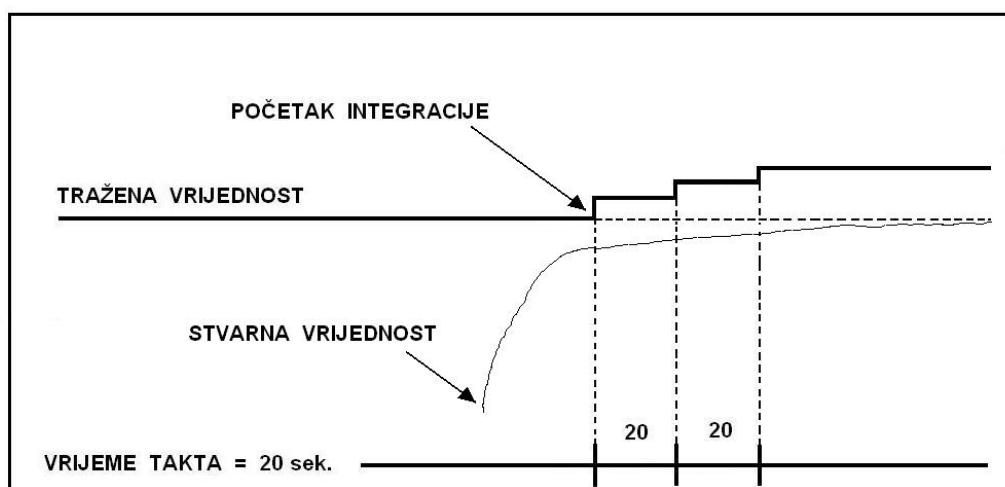
$$I_{novi} = [( \text{Tražena vrij.} - \text{Stv. vrij.} ) \times ( I\text{-broj \%} + I_{stari} ) ] / [ 1000 \times \text{korekturni broj} ]$$

## 5.) START INTEGRACIJE

Iz prethodne formule može se zaključiti, da za izračunavanje I-člana, kod velikih razlika između tražene i zadane vrijednosti, vrijednost I-člana vrlo brzo postaje visoka.

Da se u vrijeme faze zagrijavanja, pri hladnoj regulacijskoj stazi, ne bi pojavio nedopustivo visok I-član, sumiranjem se započinje tek tada kada je vrijednost D-člana postala niska, tj. kada je krivulja stvarne vrijednosti postala položena.

Broj-start integracije označava veličinu D-člana odakle I-član treba proračunavati. Ako se npr. uslijed smetnje kratkotrajno poveća vrijednost D-člana, ostaje do tada sumirani I-član nepromijenjen.



**SLIKA 10 :** Početak integracije.

#### **4.6. CENTRALNI RAČUNALNI NADZORNI UPRAVLJAČKI SUSTAV " MIPAS "**

( eng. *MIPAS* - " *Maurer Integrated Production and Administration System* " )

Maurerov računalno-integrirani proizvodni i administracijski sistem *MIPAS* koristi se u širokom području primjene unutar prehrambene industrije, a posebno unutar mesne industrije i to za :

- Centralni proizvodni monitoring
- Sistem dokumentacije u skladu sa *ISO/EN2* i prikaz podataka procesa u formi grafa ili tablice
- Grupu traženih podataka
- Pogrešku i alarmno - javljajući sistem , koji je povezan za vanjska javljajuća i oglašavajuća sredstva
- Menadžment kvalitete
- Planiranje proizvodnje
- Centralnu bazu podataka vezanu za proizvodnju
- *ISO/EN2 9000* podatke koji su pohranjeni u posljednjih 6 mjeseci

Maurerov računalno-integrirani proizvodni i administracijski sistem *MIPAS* zauzima posebno mjesto unutar prehrambene mesne industrije "Gavrilović" d.o.o. - Petrinja , gdje je u upotrebi od 2001. godine , i to u sklopu proizvodnog odjela "Salamsko–Fermentacija".

Posebno je pokazao dobre rezultate prilikom upravljanja i centralnog nadzora rada komore tipa *KNL-0360*, proizvođača "Maurer-AG", u procesu fermentacije sa plijesni, u kojem sazrijeva poznata gavrilovićeva "Zimska salama" (tzv. "Gavrilovička") .

## **5. METODA ODZIVNIH POVRŠINA ( RSM )**

( eng. RSM = " Response Surface Method " )

### **5.1. OPĆENITO O METODI**

U sklopu mnogobrojnih i svakodnevnih tehničko-inženjerskih problema, prema literaturi [4] i [12], "Metoda odzivnih površina" (RSM = Response Surface Method) predstavlja izuzetno učinkovit i široko primjenjiv alat za rješavanje istih. Proces *eksperimentiranja* u današnje vrijeme nezaustavljivog razvoja raznih znanja i tehnologija ima za posljedicu :

- a) Pronalaženje i dobivanje unaprijed nepoznatih odgovora (izlaza-outputa) na temelju već poznatih ulaznih podataka (ulaza-inputa).
- b) Mogućnost predviđanja vjerojatnih rješenja na osnovu unaprijed poznatih i mogućih izlaza-outputa.
- c) Klasifikaciju (rangiranje) utjecaja i djelovanja pojedinih parametara i sl.

U praktičnim i konkretnim problemima često se javljaju izuzetno složena stanja u kojima *odziv sustava* predstavlja međusobno djelovanje (interakciju) više parametara (faktora), koji istovremeno mogu biti i promjenjivog karaktera. Posljedica ovog je potreba uzimanja svih parametara u obzir i provođenje eksperimenata u svrhu ispitivanja koji od tih parametara i njihove međusobne kombinacije maksimalno ili minimalno utječu na sam odziv sustava, te koje se *empirijske zakonitosti* unutar tih eksperimenata pojavljuju.

Strogim matematičkim proučavanjem bilo kojeg od izraza za neku fizikalnu zakonitost, u pravilu uvijek započinjemo od izraza *standardne diferencijalne jednadžbe*, jer je za predvidjeti da karakteristična diferencijalna jednadžba datog fizikalnog sustava upravo opisuje djelovanje malog segmenta tog istog sustava, te da u sebi sadrži i sve ostale karakteristične osobine istog. Zapravo, sa stajališta stroge matematičke formalnosti, za karakterističnu diferencijalnu jednadžbu sustava traži se njegov *maksimum* ili *minimum*.

Za bilo koji proces, kod empirijskih istraživanja i sprovedenih eksperimenata, a sve na temelju teoretskih zakonitosti, traži se i zahtijeva *aproksimacija optimuma*, tj. pronalaze se aproksimacijske krivulje, pri čemu nužno dolazi i do *pogreške*, čija se vrijednost uvijek nastoji minimizirati, tj. držati u što manjim granicama.

Ova metoda prvenstveno je razvijena za rješavanje prethodno spomenutih i njima sličnih problema. Spomenuti problemi u današnje se vrijeme strelovitog razvoja informatičkih tehnologija izuzetno uspješno rješavaju na ovakav način.



## **5.2. TEORETSKA OSNOVA METODE**

### **5.2.1. ODZIVNA POVRŠINA**

Prilikom provođenja eksperimenata, u sklopu ove metode, a prema literaturi [5], analiziraju se istovremeno svi parametri, dok je rezultat posljedica neke egzaktno-određene i izmjerene vrijednosti funkcije nivoa parametra-faktora  $\hat{y}$ . Budući smo prethodno ustanovili da je riječ o *aproksimacijskoj krivulji*, tako dobivena funkcija sadržavat će i neizbježnu pogrešku  $\varepsilon$ . Sama *odzivna površina* predstavlja, zapravo, maksimalan ili minimalan odziv karakterističnog promatranog sustava. Dakle, točan matematički model spomenute odzivne površine u tom slučaju glasi :

$$y = \Phi \cdot (x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (1)$$

$$\hat{y}_i = \Phi \cdot (x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}) + \varepsilon_i \quad (2)$$

U izrazu (1) pogreška  $\varepsilon$  kao takva ne postoji, jer je taj izraz egzaktna teoretska odzivna površina za zadani model (potpuno točan model). Prilikom upotrebe metode odzivne površine, vrijednost njezinog krajnjeg rezultata razlikuje se od vrijednosti točnog modela. Vrijednost krajnjeg rezultata metode odzivnih površina data je izrazom (2), gdje se  $i$  kreće u intervalu od  $i = 1, 2, \dots, N$ , gdje  $N$  predstavlja broj podataka unutar nekog parametarskog eksperimenta, a vrijednosti  $x_{ji}$  nivoa  $j$ -tog parametra u sklopu  $i$ -tog eksperimenta.

Funkcija ( $\Phi$ ) predstavlja *karakterističnu odzivnu funkciju*, a ( $\varepsilon_i$ ) *pogrešku* tj. *ostatak*. Ova pogreška predstavlja zapravo razliku između stvarne i teoretske vrijednosti krajnjih rezultata. Polinom prvog reda (stupnja) ima linearnu funkciju i iz njega se ne može ništa saznati o mogućem maksimumu ili minimumu samog procesa, odnosno, procesne funkcije. Zbog tog razloga, potrebno je *aproksimirati* određeni proces polinomom drugog reda, tj. potrebno je planirati eksperiment više-parametarskim planom drugog reda.

U samoj praksi dokazano je da je učestalo korištenje funkcija odziva prvog i drugog reda sasvim zadovoljavajuće. Sama odzivna površina kao takva uglavnom nije unaprijed poznata, pa se stoga izvode istraživanja sve do trenutka dok se ne dobije najbolja funkcija aproksimacije. Unutar svih eksperimenata analiziraju se i potrebni parametri kao čisto kvantitativne veličine.

### **5.2.2. MATEMATIČKE POSTAVKE METODE**

Ako se bilo koji promatrani proces aproksimira sasvim određenim polinomom drugog reda, onda će jednačina za odzivnu funkciju izgledati ovako :

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j x_j + \sum_{j=1}^k b_{jj} x_j^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \cdot \sum_{j=i+1}^k b_{ij} x_i x_j \quad (3)$$

gdje je :

$i = 1, 2, \dots, N$  - broj izvedenih eksperimenata

$j = 1, 2, \dots, k$  - broj faktora ( varijabli )

$\hat{y}$  - procjena funkcionalne zavisnosti

$b_i, b_{ij}$  - regresijski koeficijenti

$x_i$  - kodirane vrijednosti parametara

- Za funkciju s dvije nezavisne varijable vrijedi opći oblik kvadratne funkcije :

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i} + b_{12} x_{1i} x_{2i} + b_{11} x_{1i}^2 + b_{22} x_{2i}^2 \quad (4)$$

Ako pak eksperiment ima  $N$  izvođenja, odzivnu površinu možemo napisati u obliku matrice prema sljedećem izrazu :

$$\hat{Y} = X\hat{a} + a_0 \quad (5)$$

gdje je :

$\hat{Y}$  - vektor rezultata

$X$  - matrica stanja eksperimenta

$\hat{a}$  - vektor regresijskih koeficijenata

$a_0$  - vektor pogreške

Ili prethodni zapis razviti u matričnom obliku :

$$\begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_N \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{N1} & x_{N2} & \cdots & x_{kp} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_N \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_N \end{Bmatrix} \quad (6)$$

Nepriistrane procjene predstavljene su koeficijentima regresije  $(b_i, b_{ij})$ , a stvarni koeficijenti oznakama  $(\beta_0, \dots, \beta_k)$ .

Primjenom metode najmanjih kvadrata dolazimo do koeficijenata  $(b_0, \dots, b_k)$ , tj. odstupanja između točaka u tom su slučaju minimalna.

U daljnjem postupku računanja dobivamo uobičajen sistem normalnih jednadžbi koji je prikazan u *izrazom* (6), a čija su rješenja traženi regresijski koeficijenti  $(b_0, b_1, \dots, b_N)$ .

Koeficijent ( $R^2$  = koeficijent determinacije, tj. odnos objašnjenih i neobjašnjenih SKO) koristi se kao kontrola ispravnosti aproksimacijskog postupka (modela), a računa se prema sljedećem izrazu :

$$R^2 = 1 - \frac{SKO_E / (N - k - 1)}{SKO_Y / (N - 1)} \quad (7)$$

gdje je :

$SKO_E$  - suma kvadrata odstupanja ostatka

$SKO_Y$  - suma kvadrata odstupanja regresije

$k$  - broj nezavisnih varijabli u regresiji

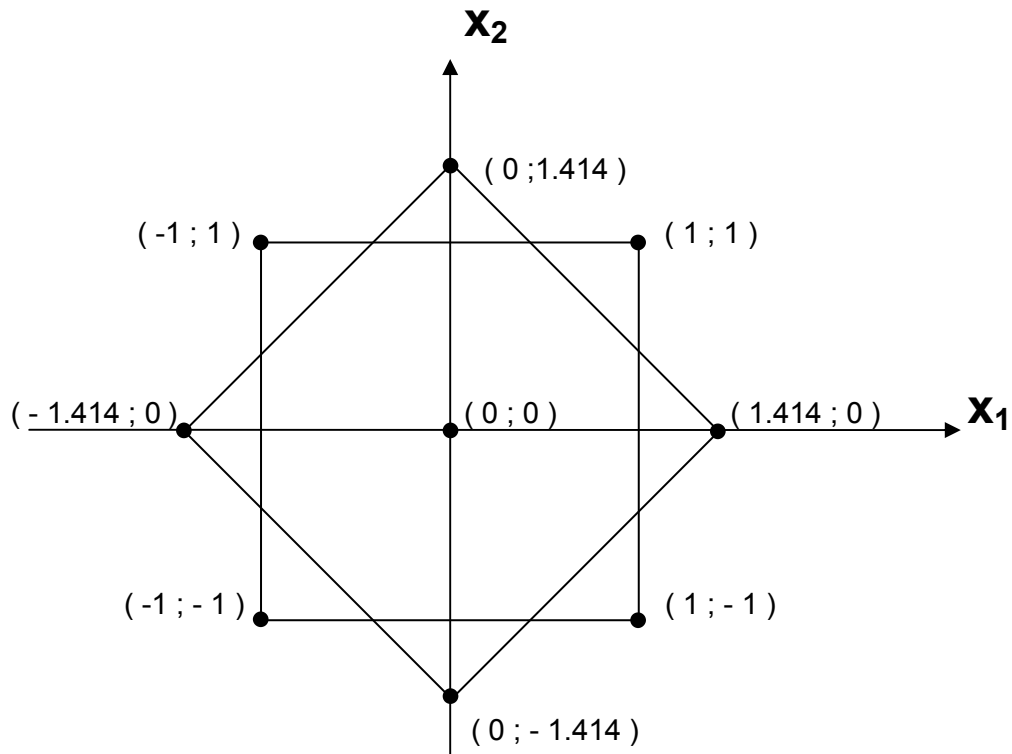
Koeficijent  $R$  nalazi se u intervalu između minimalne vrijednosti 0 i maksimalne vrijednosti 1. Što je postupak aproksimacije odzivne površine bolji, to je i koeficijent  $R$  bliži vrijednosti 1. Približavanje ovog koeficijenta vrijednosti 1 je izuzetno važan pokazatelj unutar procesa ovakve analize.

### **5.2.3. CENTRALNO - KOMPOZITNI CIKLIČNI PLAN POKUSA (CCD)**

U slučaju unaprijed nepoznatog oblika odzivne površine, prema literaturi [6], krećemo od složenijih modela, odnosno, uvodimo pojam *centralno-kompozitnog modela*. Spomenutom modelu možemo pripisati svojstvo *cikličnosti* (*rotabilnosti*).

Najveća prednost ovog modela je *sekvencijalnost* u izvođenju i *preciznost procjene* u blizini centra zadanog modela, pri čemu je osigurano  $(n_0 - 1)$  stupnjeva slobode za procjenu pogreške eksperimenta.

Na *sllici 11* prikazana je grafička interpretacija centralno-kompozitnog plana pokusa.



**SLIKA 11 :** Grafički prikaz centralno-kompozitnog cikličnog plana .

Broj pokusa  $N$ , koji je potreban unutar ovakve analize je :

$$N = 2^k + 2k + n_0 \quad (8)$$

- Prema slici 11 vrijedi :

$2^k$  - točke na vrhovima , kordinate  $(\pm 1, \pm 1)$

$2k$  - točke na osima , kordinate  $(\pm a, 0)$  ,  $(0, \pm a)$

$n_0$  - točke u centru , kordinata  $(0, 0)$  , tj. broj ponavljanja

Da bi *regresijsku jednadžbu* dobili pomoću postupka statističke obrade rezultata, gdje već imamo poznate *koeficijente regresije*  $(b_0, b_i, b_{ij})$  i gdje se uz njih pojavljuje i *koeficijent regresije vezan uz kvadratne članove polinoma*  $(b_{ii})$  , potrebno je proširiti matricu plana pokusa s dodatnim vrijednostima fizikalnih parametara, odnosno, potrebno je povećati broj eksperimentalnih točaka na zadovoljavajući način. Prethodno se postiže pomoću svojstva *cikličnosti* (*rotabilnosti*) . Ovo svojstvo dobivamo prikladnim izborom parametara (koda), čija je vrijednost zavisna od broja točaka osnovnog parametarskog plana pokusa :

$$a = (2^k)^{1/4} \quad (9)$$

U planu pokusa odabranog parametra-faktora  $k$ , slijede koeficijenti  $a$  kao npr.:

$$k = 2 \quad ; \quad a = 1.414$$

$$k = 3 \quad ; \quad a = 1.682$$

Ukupan broj eksperimenata  $N$  prema *jednadžbi (8)* je :

$$\text{a) za } k = 2 \text{ , } N = 2^2 + 2 \cdot 2 + 5 = 13$$

$$\text{b) za } k = 3 \text{ , } N = 2^3 + 2 \cdot 3 + 6 = 20$$

Potpuno identičan postupak vrijedi i za odabir drugog  $k$ -faktora. Zbog što boljeg dobivanja procjene same pogreške, eksperimenti se ponavljaju u centralnoj točki. Parametre koji su utjecajni i važni, a zbog uvjeta cikličnosti (rotabilnosti), potrebno je kodirati vrijednostima prema sljedećem izrazu :

$$X_i = \frac{X_i - X_{i,sr}}{\frac{X_{i,max} - X_{i,min}}{2}} \quad (10)$$

gdje je :

$X_i$  - kodirana vrijednost ( - 1.414 , - 1 , 0 , + 1 , + 1.414 )

$x_i$  - fizikalna veličina , ulazni parametri

$x_{i,sr}$  - srednja vrijednost fizikalne veličine

$x_{i,max}$  - maksimalna vrijednost fizikalne veličine

$x_{i,min}$  - minimalna vrijednost fizikalne veličine

Vidljivo je iz *slike 11* da se 8 točaka nalazi na vrhovima, a ostalih 5 točaka smješteno je unutar centra eksperimenta. Od izuzetne važnosti su *centralne točke* eksperimenta, jer je uobičajeno da se plan pokusa smjesti unutar područja gdje se očekuje *optimum*. Iz prethodno navedenog se zaključuje da *ponavljanje eksperimenta* itekako utječe na *preciznost procjene varijable* u blizini samog centra.

Prethodno opisane činjenice vrijede i za planove višeg reda, gdje se mijenjaju grafički prikaz, broj pokusa i sl. Ova analogija općenito vrijedi. Praktično se eksperimenti proučavaju do 3 faktora , jer vrijednosti veće od 3 rapidno utiču na sam porast broja eksperimenata, što u konačnici lako može dovesti do nepraktičnog i dugog vremena potrebnog za izvođenje samog eksperimenta.

### **5.3. PROGRAMSKI PAKET " DESIGN EXPERT " ( DOE )**

( eng. DOE = " Design of Experiments " )

U eksperimentalnoj obradi podataka, za slučajeve dvofaktorskog i trofaktorskog tipa eksperimenta, u ovom radu je korištena programska verzija *Design Expert 7.1.6.*

#### **5.3.1. OBRADA PODATAKA POMOĆU PROGRAMSKOG PAKETA**

Primjena *programskog paketa (DOE = Design of Experiments)* od izuzetne je važnosti pri rješavanju problema unutar područja simuliranog prijelaza i prijenosa topline. Sam problem moramo svesti na određivanje ujecajnih faktora na vrijeme trajanja procesa termičke obrade polutrajnih mesnih proizvoda ( $t_{TO}$ ).

Prije nego započemo simulacijski proces spomenutim programskim paketom, potrebno je odrediti utjecajne veličine (parametre) na vrijeme trajanja procesa termičke obrade polutrajnih mesnih proizvoda ( $t_{TO}$ ).

#### **5.3.2. PRIMJENJIVOST PROGRAMSKOG PAKETA U " OS WINDOWS "**

Programski paket *Design Expert 7.1.6.* koristi se za rješavanje raznih problema u širokom spektru, a posebno kod *optimalizacije* mnogobrojnih inženjerskih procesa unutar više vrsta eksperimentiranja. Sam programski paket sukladan je s grafičkim sučeljem OS Windows, te omogućava i 3-D plotanje, tj. omogućava izuzetno jasnu *vizualizaciju* samih odzivnih površina, gdje postoji mogućnost odabira brojnih opcija kao što su npr. prikazi dodatnih kordinata, numerička optimalizacija funkcija i dr.

#### **5.3.3. MOGUĆNOSTI PROGRAMSKOG PAKETA**

Programski paket *Design Expert 7.1.6.* ima mnogo raznovrsnih opcija, ali glavni alati koji stoje na raspolaganju i koji se koriste u procesu rješavanja prethodno spomenutih problema su sljedeći :

- Faktorska i više-faktorska analiza
- Metoda odzivnih površina (RSM)
- Eksperimenti sa smjesama
- Tzv. crossed - eksperimenti (pokusi), tj. kombinacija pokusa sa smjesama i faktorima

Podjela koja je prethodno navedena općenita je, jer ovaj programski paket u sklopu svakog svog osnovnog područja sadrži još i više podpodručja. U *tablici 6* prikazan je cjelokupan pregled opcija i mogućnosti programskog paketa *Design Expert 7.1.6.* sa svim svojim podpodručjima u osnovnom obliku.

SOFTWARE-SKI PAKET DESIGN EXPERT (DOE)			
A) RESPONSE SURFACE	B) MIXTURE	C) FACTORIAL	D) CROSSED
1) Central composite 2) Box – Behnken 3) 3 – Level Factorial 4) Hybrid 5) One Factor 6) Pentagonal 7) Hexagonal 8) D – Optimal 9) Distance – Based 10) Modified Distance 11) User Defined 12) Historical Data	1) Simplex Lattice 2) Simplex Centroid 3) Screeing 4) D – Optimal 5) Distance – Based 6) Modified Distance 7) User Defined	1) 2 Level Factorial 2) Irregular Fraction 3) General Factorial 4) D – Optimal 5) Placket Burman 6) Taguchi OA	1) D – Optimal 2) User Defined

**TABLICA 6 :** Pregled glavnih područja i svih podpodručja programskog paketa *Design Expert 7.1.6.*

Iz prethodno navedene *tablice 6* vidi se širok raspon mogućnosti programskog paketa *Design Expert 7.1.6.* Uz sva spomenuta područja i opcije, postoji još i tzv. opcija *Box-Cox*. To je ispis koji najčešće upotrebljavamo pri transformacijama drugog reda kod prikaza odziva. Također, postoji i opcija (metoda) procjene pogreške *POE (=Propagation of Error)*, koja smanjuje varijaciju u odzivu sustava.

#### **5.4. IZBOR I MEĐUSOBNA OVISNOST GLAVNIH UTJECAJNIH VELIČINA**

Unutar termodinamičkog procesa prijelaza topline, prema literaturi [7] i [10], pretpostavljen je *model prisilne konvekcije za ravnu uspravnu stijenku*. Veličine (parametri) koji iznimno utječu na izlaznu vrijednost koeficijenta prijalaza topline ( $\alpha_2$ ), koji djeluje u pravcu : unutarnja strana stijenke ovitka ili crijeva  $\Rightarrow$  mesna smjesa istog, bilo kojeg od

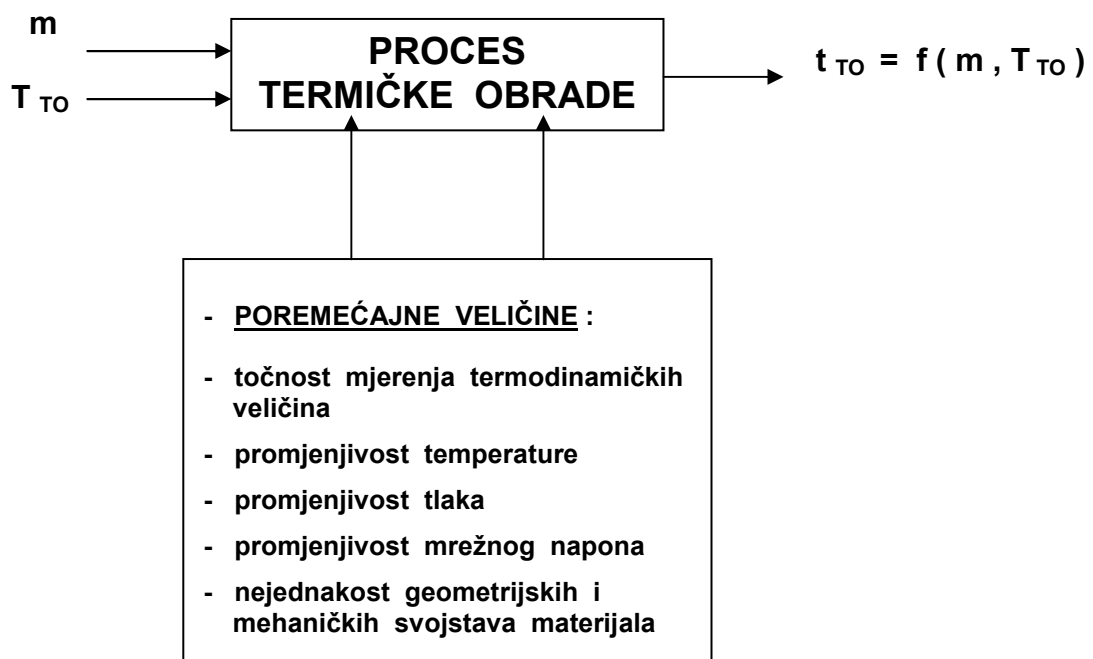
promatranih polutrajnih mesnih proizvoda, nazivamo *ulaznim utjecajnim veličinama (parametrima)*, koje ujedno utiču i na odabranu izlaznu utjecajnu veličinu (parametar) kao što je *vrijeme trajanja procesa termičke obrade ( $t_{TO}$ )* polutrajnih mesnih proizvoda.

- Odabrane utjecajne veličine su zbog prethodno definiranih razloga sljedeće :

- Masa pojedinačnog polutrajnog mesnog proizvoda ( $m$ ) – ulazna veličina
- Temperatura procesa termičke obrade ( $T_{TO}$ ) – ulazna veličina
- Temperatura u geometrijskom centru proizvoda nakon postupka hlađenja metodom tuširanja hladnom vodom ( $T_{GC}$ ) – ulazna veličina i
- Vrijeme trajanja procesa termičke obrade ( $t_{TO}$ ) – izlazna veličina

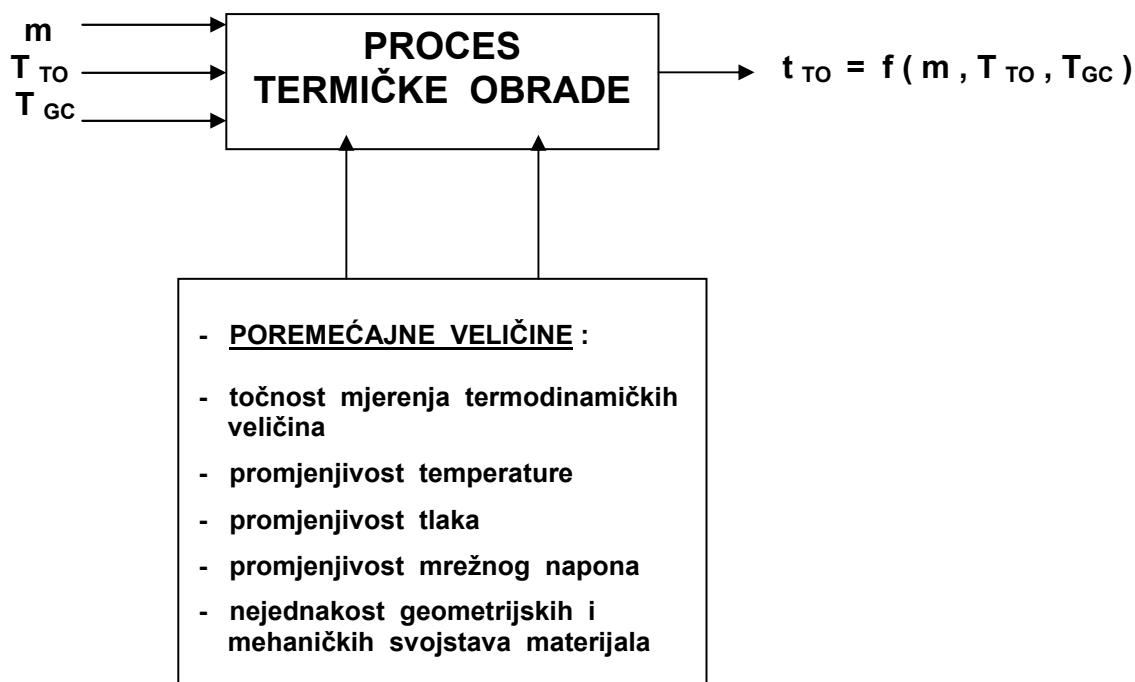
U sljedećim koracima ovog rada, a prema literaturi [5], izvedena su 2 eksperimenta. Prvi eksperiment je slučaj sa 2 pretpostavljena ulazna utjecajna parametra ( $m, T_{TO}$ ) i sa 1 pretpostavljenim izlaznim utjecajnim parametrom ( $t_{TO}$ ), dok je drugi eksperiment slučaj sa 3 pretpostavljena ulazna utjecajna parametra ( $m, T_{TO}, T_{GC}$ ) i sa 1 pretpostavljenim izlaznim utjecajnim parametrom ( $t_{TO}$ ).

Ulazne veličine (inputi) spomenutog promatranog sustava su dakle  $m$ ,  $T_{TO}$  i  $T_{GC}$ , dok je jedina izlazna veličina-output  $t_{TO}$  polutrajnih mesnih proizvoda. Grafički prikaz svih utjecajnih veličina, za oba navedena pokusa, prikazan je na *slikama 12 i 13*.



**SLIKA 12 :** Utjecajni parametri za dvofaktorski eksperiment.





**SLIKA 13 :** Utjecajni parametri za trofaktorski eksperiment.

### **5.5. DVOFAKTORSKI EKSPERIMENT**

Unutar dvofaktorskog eksperimenta kao utjecajne *ulazne veličine* odabrani su masa pojedinačnog proizvoda ( $m$ ) i temperatura procesa termičke obrade ( $T_{TO}$ ) polutrajnih mesnih proizvoda, dok je kao *izlazna veličina* odabrano vrijeme trajanja procesa termičke obrade ( $t_{TO}$ ) polutrajnih mesnih proizvoda.



**SLIKA 14 :** Ulazni i izlazni parametri za dvofaktorski eksperiment.

**5.5.1. IZVJEŠTAJ O DVOFAKTORSKOM EKSPERIMENTU****(REPORT - 01)**

Response : 1 "Trajanje TO" (Vrijeme trajanja procesa termičke obrade)

**ANOVA for Response Surface method : QUADRATIC MODEL**

Analysis of variance table [ Partial sum of squares - Type III ]

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	1.397E+005	5	27948.8153.71		< 0.0001	significant
<b>A-Masa</b>	<b>15889.89</b>	<b>1</b>	<b>15889.89</b>	<b>30.53</b>	<b>0.0009</b>	
<b>B-Temperatura TO</b>	<b>4395.03</b>	<b>1</b>	<b>4395.03</b>	<b>8.45</b>	<b>0.0228</b>	
<b>AB</b>	<b>40543.26</b>	<b>1</b>	<b>40543.26</b>	<b>77.91</b>	<b>&lt; 0.0001</b>	
<b>A<sup>2</sup></b>	<b>54149.56</b>	<b>1</b>	<b>54149.56</b>	<b>104.06</b>	<b>&lt; 0.0001</b>	
<b>B<sup>2</sup></b>	<b>33121.88</b>	<b>1</b>	<b>33121.88</b>	<b>63.65</b>	<b>&lt; 0.0001</b>	
Residual	3642.74	7	520.39			
Lack of Fit	2630.24	6	438.37	0.43	0.8206	not significant
Pure Error	1012.50	1	1012.50			
Cor Total	1.434E+005	12				

The Model F-value of 53.71 implies the model is significant. There is only a 0.01% chance that a "Model F-Value" this large could occur due to noise.

Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant.

**In this case A, B, AB, A<sup>2</sup>, B<sup>2</sup> are significant model terms.**

Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant.

If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

The "Lack of Fit F-value" of 0.43 implies the Lack of Fit is not significant relative to the pure error. There is a 82.06% chance that a "Lack of Fit F-value" this large could occur due to noise. Non-significant lack of fit is good -- we want the model to fit.

Std. Dev.	22.81	R-Squared	0.9746
Mean	139.31	Adj R-Squared	0.9564
C.V. %	16.38	Pred R-Squared	0.8755
PRESS	17849.46	Adeq Precision	21.231

The "Pred R-Squared" of 0.8755 is in reasonable agreement with the "Adj R-Squared" of 0.9564.

"Adeq Precision" measures the signal to noise ratio. A ratio greater than 4 is desirable. Your ratio of 21.231 indicates an adequate signal. This model can be used to navigate the design space.

Factor	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
Intercept	- 94.19	1	24.45	- 152.01	- 36.37	
A-Masa	<b>248.65</b>	1	<b>45.00</b>	<b>142.25</b>	<b>355.06</b>	<b>27.64</b>
B-Temperatura TO	- 130.88	1	<b>45.04</b>	- 237.37	<b>24.39</b>	<b>33.00</b>
AB	- 1149.41	1	<b>130.22</b>	- 1457.33	- 841.49	<b>56.95</b>
A <sup>2</sup>	<b>948.84</b>	1	<b>93.02</b>	<b>728.89</b>	<b>1168.79</b>	<b>20.66</b>
B <sup>2</sup>	<b>537.97</b>	1	<b>67.43</b>	<b>378.52</b>	<b>697.42</b>	<b>11.78</b>

• FINAL EQUATION IN TERMS OF CODED FACTORS :

Trajanje TO =

- 94.19 =

+ 248.65 \* A  
 - 130.88 \* B  
 - 1149.41 \* A \* B  
 + 948.84 \* A<sup>2</sup>  
 + 537.97 \* B<sup>2</sup>

• FINAL EQUATION IN TERMS OF ACTUAL FACTORS :

Trajanje TO =

+ 1.31141E+005 =

+ 8.87151 \* Masa  
 - 3357.83705 \* Temperatura TO  
 - 0.11759 \* Masa \* Temperatura TO  
 + 2.48256E-004 \* Masa<sup>2</sup>  
 + 21.51883 \* Temperatura TO<sup>2</sup>

• DIAGNOSTICS CASE STATISTICS :

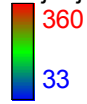
( Response 1 : " Trajanje TO " ; Transform : none )

Standard Order	Actual Value	Predicted Value	Residual	Leverage	Internally Studentized Residual	Externally Studentized Residual	Influence on Fitted Value DFFITS	Cook's Distance	Run Order
1	360.00	360.99	- 0.99	0.94	# - 0.179	- 0.166	- 0.665	0.086	9
2	60.00	70.07	- 10.07	0.152	- 0.479	- 0.451	- 0.191	0.007	1
3	270.00	269.73	0.27	1.00	# 0.239	0.222	<b>* 4.44</b>	<b>* 3.80</b>	10
4	128.00	122.91	5.099	0.229	0.254	0.236	0.129	0.003	6
5	45.00	75.77	- 30.77	0.134	- 1.450	- 1.604	- 0.631	0.054	2
6	330.00	327.61	2.39	0.856	0.276	0.257	0.625	0.075	4
7	120.00	124.17	- 4.17	0.234	- 0.209	- 0.194	- 0.107	0.002	7
8	60.00	62.83	- 2.83	0.521	- 0.179	- 0.166	- 0.173	0.006	13
9	105.00	125.44	- 20.44	0.240	- 1.027	- 1.032	- 0.580	0.055	8
10	65.00	69.14	- 4.14	0.734	- 0.352	- 0.328	- 0.546	0.057	3
11	130.00	100.33	29.67	0.152	1.412	1.546	0.655	0.060	5
12	105.00	70.07	34.93	0.152	1.663	1.979	0.837	0.082	11
13	33.00	31.95	1.05	0.658	0.079	0.073	0.101	0.002	12

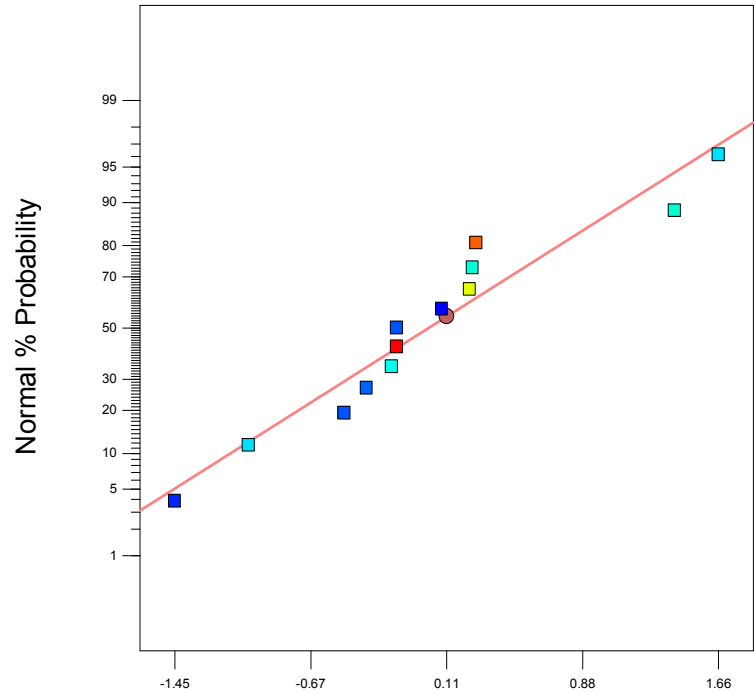
• **DIAGNOSTICS :**

Design-Expert® Software  
Trajanje TO

Color points by value of  
Trajanje TO:



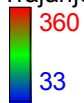
Normal Plot of Residuals



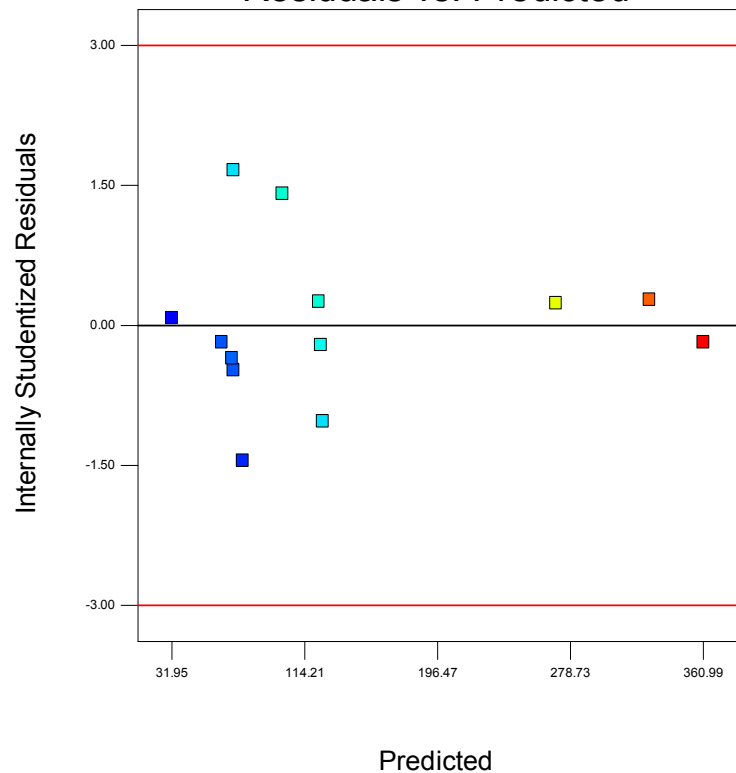
Internally Studentized Residuals

Design-Expert® Software  
Trajanje TO

Color points by value of  
Trajanje TO:

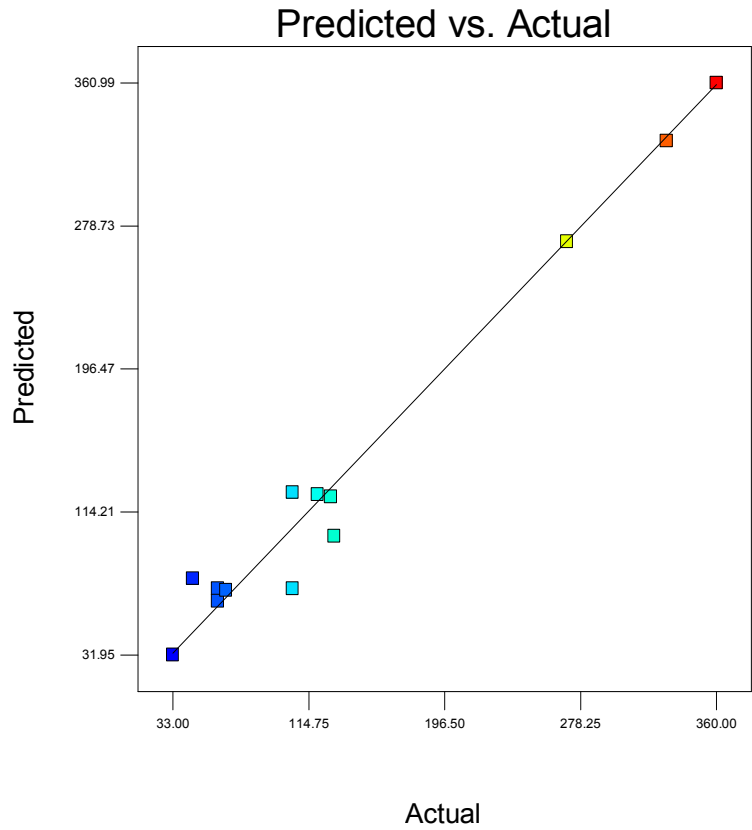
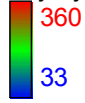


Residuals vs. Predicted



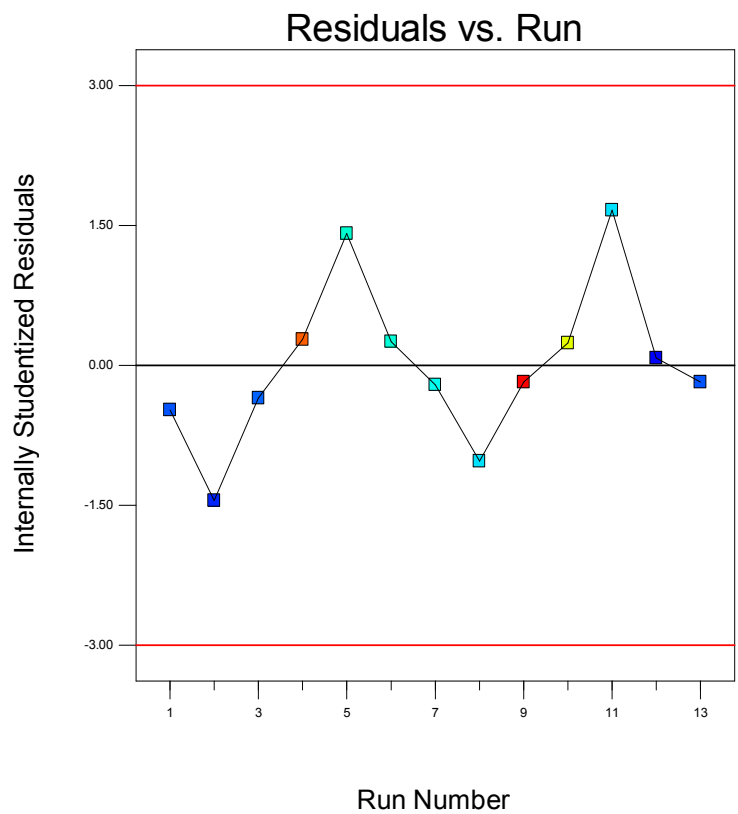
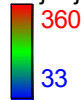
Design-Expert® Software  
Trajanje TO

Color points by value of  
Trajanje TO:



Design-Expert® Software  
Trajanje TO

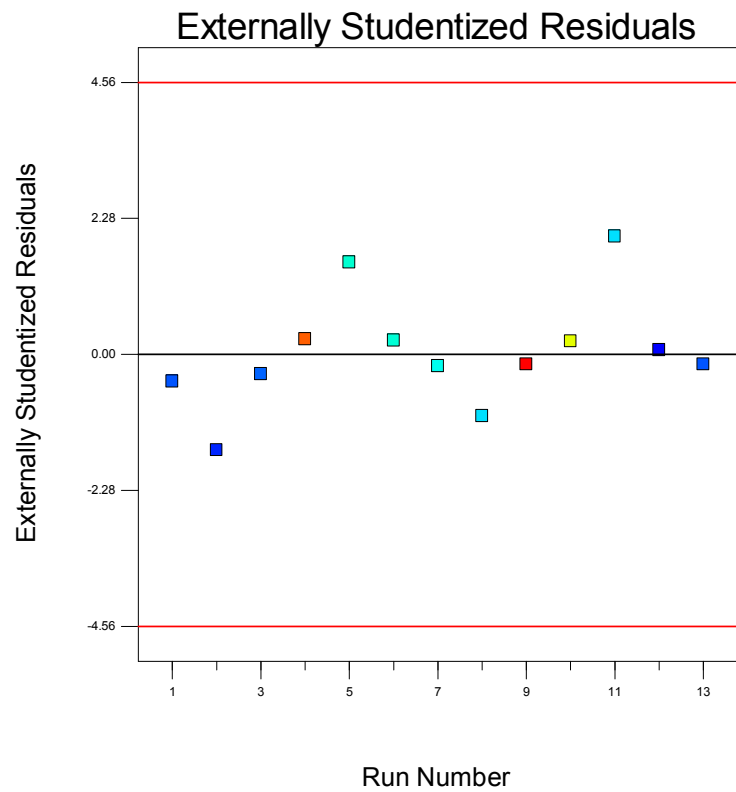
Color points by value of  
Trajanje TO:



• **INFLUENCES :**

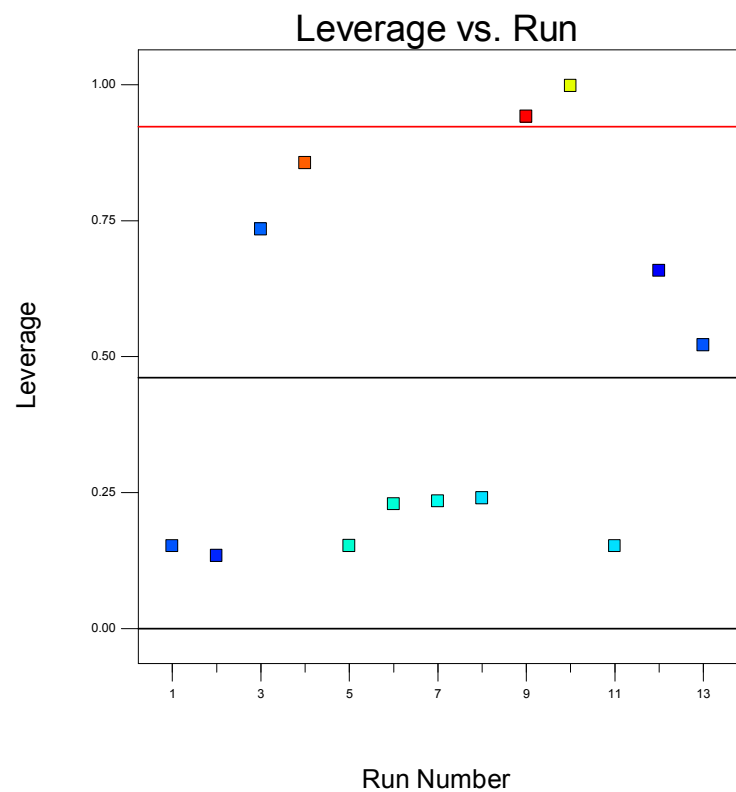
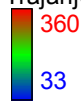
Design-Expert® Software  
Trajanje TO

Color points by value of  
Trajanje TO:



Design-Expert® Software  
Trajanje TO

Color points by value of  
Trajanje TO:



Design-Expert® Software

Trajanje TO

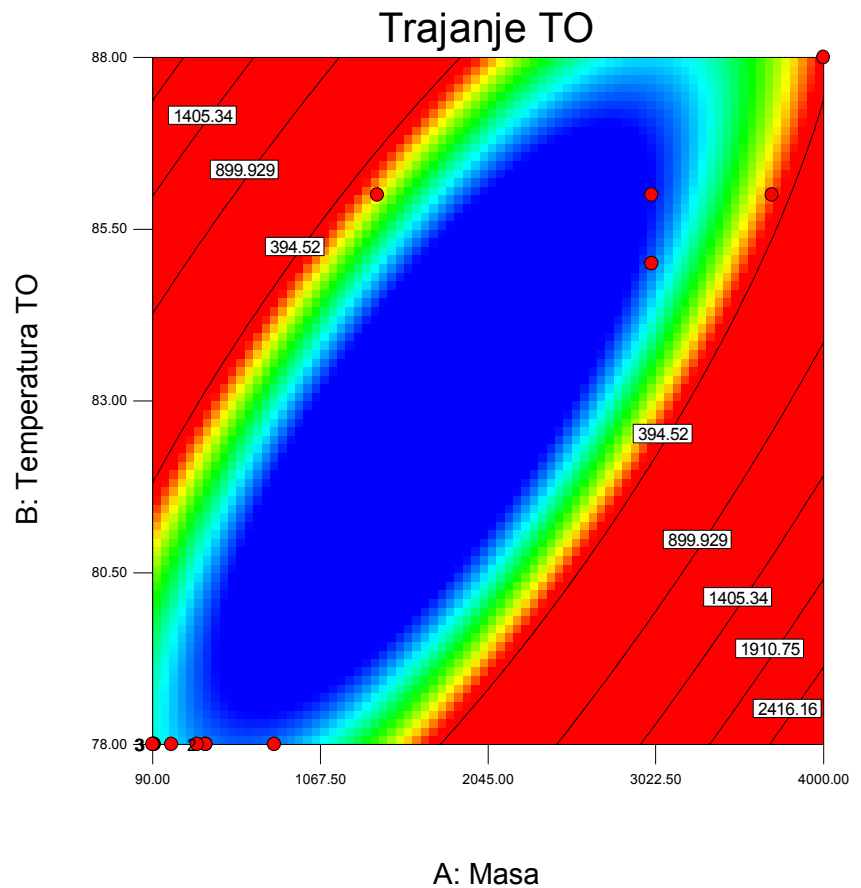
● Design Points

360



X1 = A: Masa

X2 = B: Temperatura TO



## 5.6. TROFAKTORSKI EKSPERIMENT

Unutar trofaktorskog eksperimenta kao utjecajne *ulazne veličine* odabrani su masa šarže ( $m$ ), temperatura procesa termičke obrade ( $T_{TO}$ ) i temperatura u geometrijskom centru proizvoda nakon postupka hlađenja tuširanjem hladnom vodom ( $T_{GC}$ ) polutrajnih mesnih proizvoda, dok je kao *izlazna veličina* odabrano vrijeme trajanja procesa termičke obrade ( $t_{TO}$ ) polutrajnih mesnih proizvoda.



**SLIKA 15 :** Ulazni i izlazni parametri za trofaktorski eksperiment .

**5.6.1. IZVJEŠTAJ O TROFAKTORSKOM EKSPERIMENTU****( REPORT - 02 )**

Response : 1 " Trajanje TO " ( Vrijeme trajanja procesa termičke obrade )

ANOVA for Response Surface method : CUBIC MODEL

Analysis of variance table [ Partial sum of squares - Type III ]

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	2.415E+005	15	16097.20	7.27	0.0342	significant
A-Masa proizvoda	3413.29	1	3413.29	1.54	0.2823	
B-Temperatura TO	15739.34	1	15739.34	7.11	0.0560	
<b>C-Temp.geom.centra</b>	<b>75571.13</b>	<b>1</b>	<b>75571.13</b>	<b>34.12</b>	<b>0.0043</b>	
<b>AB</b>	<b>23012.72</b>	<b>1</b>	<b>23012.72</b>	<b>10.39</b>	<b>0.0322</b>	
<b>AC</b>	<b>77264.85</b>	<b>1</b>	<b>77264.85</b>	<b>34.89</b>	<b>0.0041</b>	
BC	15897.84	1	15897.84	7.18	0.0553	
<b>A<sup>2</sup></b>	<b>56395.54</b>	<b>1</b>	<b>56395.54</b>	<b>25.47</b>	<b>0.0072</b>	
B <sup>2</sup>	626.13	1	626.13	0.28	0.6231	
C <sup>2</sup>	2006.45	1	2006.45	0.91	0.3951	
<b>ABC</b>	<b>23056.40</b>	<b>1</b>	<b>23056.40</b>	<b>10.41</b>	<b>0.0321</b>	
A <sup>2</sup> B	627.81	1	627.81	0.28	0.6226	
<b>A<sup>2</sup>C</b>	<b>53696.52</b>	<b>1</b>	<b>53696.52</b>	<b>24.25</b>	<b>0.0079</b>	
AB <sup>2</sup>	0.00	0				
<b>AC<sup>2</sup></b>	<b>56794.71</b>	<b>1</b>	<b>56794.71</b>	<b>25.65</b>	<b>0.0072</b>	
B <sup>2</sup> C	0.00	0				
BC <sup>2</sup>	0.00	0				
A <sup>3</sup>	4056.01	1	4056.01	1.83	0.2474	
B <sup>3</sup>	0.00	0				
<b>C<sup>3</sup></b>	<b>20027.93</b>	<b>1</b>	<b>20027.93</b>	<b>9.04</b>	<b>0.0397</b>	
Residual	8858.50	4	2214.63			
Lack of Fit	8858.50	3	2952.83			
Pure Error	0.00	1	0.00			
Cor Total	2.503E+005	19				

The Model F-value of 7.27 implies the model is significant. There is only a 3.42% chance that a "Model F-Value" this large could occur due to noise.

Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant.



**In this case C, AB, AC, A<sup>2</sup>, ABC, A<sup>2</sup>C, AC<sup>2</sup>, C<sup>3</sup> are significant model terms.**

Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant.

If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

Std. Dev.	47.06	R-Squared	0.9646
Mean	164.65	Adj R-Squared	0.8319
C.V. %	28.58	Pred R-Squared	N/A
PRESS	N/A	Adeq Precision	7.788

Case(s) with leverage of 1.0000 : Pred R-Squared and PRESS statistic not defined

"Adeq Precision" measures the signal to noise ratio. A ratio greater than 4 is desirable. Your ratio of 7.788 indicates an adequate signal. This model can be used to navigate the design space.

Factor	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
Intercept	- 49536.82	1	11507.76	- 81487.50	- 17586.15	
A-Masa proizvoda	- 8433.84	1	6793.43	- 27295.42	10427.73	2.203E+005
B-Temperatura TO	- 26004.17	1	9754.39	- 53086.69	1078.35	4.897E+005
<b>C-Temp.geom.centra</b>	<b>- 71279.35</b>	<b>1</b>	<b>12202.14</b>	<b>- 1.052E+005</b>	<b>- 37400.78</b>	<b>2.211E+005</b>
<b>AB</b>	<b>44467.57</b>	<b>1</b>	<b>13794.62</b>	<b>6167.58</b>	<b>82767.57</b>	<b>4.698E+005</b>
<b>AC</b>	<b>- 72584.75</b>	<b>1</b>	<b>12288.66</b>	<b>- 1.067E+005</b>	<b>- 38465.96</b>	<b>5.379E+005</b>
BC	- 30879.21	1	11525.17	- 62878.22	1119.79	4.051E+005
<b>A<sup>2</sup></b>	<b>- 12195.07</b>	<b>1</b>	<b>2416.64</b>	<b>- 18904.75</b>	<b>- 5485.40</b>	<b>5664.31</b>
B <sup>2</sup>	50.73	1	5.41	- 214.17	315.63	7.26
C <sup>2</sup>	17658.36	1	18551.80	- 33849.71	69166.42	1.232E+005
<b>ABC</b>	<b>52675.61</b>	<b>1</b>	<b>16325.41</b>	<b>7349.01</b>	<b>98002.20</b>	<b>3.810E+005</b>
A <sup>2</sup> B	104.64	1	196.53	- 441.01	650.28	114.05
<b>A<sup>2</sup> C</b>	<b>- 14542.38</b>	<b>1</b>	<b>2953.33</b>	<b>- 22742.14</b>	<b>- 6342.61</b>	<b>13760.37</b>
<b>AC<sup>2</sup></b>	<b>- 73767.06</b>	<b>1</b>	<b>14566.62</b>	<b>-1.142E+005</b>	<b>- 33323.65</b>	<b>5.009E+005</b>
A <sup>3</sup>	- 292.72	1	216.30	- 893.26	307.82	156.05
<b>C<sup>3</sup></b>	<b>38358.38</b>	<b>1</b>	<b>12755.35</b>	<b>2943.85</b>	<b>73772.92</b>	<b>2.184E+005</b>

• **FINAL EQUATION IN TERMS OF CODED FACTORS :**

$$\begin{aligned}
 \text{Trajanje TO} &= \\
 &- 4.9536.82 = \\
 &\quad - 8433.83 \quad * A \\
 &\quad - 26004.17 \quad * B \\
 &\quad - 71279.35 \quad * C \\
 &\quad + 44467.57 \quad * A * B \\
 &\quad - 72584.75 \quad * A * C \\
 &\quad - 30879.21 \quad * B * C \\
 &\quad - 12195.07 \quad * A^2 \\
 &\quad + 50.73 \quad * B^2 \\
 &\quad + 17658.36 \quad * C^2 \\
 &\quad + 52675.61 \quad * A * B * C \\
 &\quad + 104.64 \quad * A^2 * B \\
 &\quad - 14542.38 \quad * A^2 * C \\
 &\quad - 73767.06 \quad * A * C^2 \\
 &\quad - 292.72 \quad * A^3 \\
 &\quad + 38358.38 \quad * C^3
 \end{aligned}$$

• **DIAGNOSTICS CASE STATISTICS :**

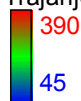
( Response 1 : " Trajanje TO " ; Transform : none )

Standard Order	Actual Value	Predicted Value	Residual	Leverage	Internally Studentized Residual	Externally Studentized Residual	Influence on Fitted Value DFFITS	Cook's Distance	Run Order
1	130.00	136.22	- 6.22	0.995	- 1.832	- 3.960	* -54.80	* 40.18	15
2	105.00	169.92	- 64.92	0.433	- 1.832	- 3.960	* - 3.46	0.16	11
3	65.00	36.66	28.34	0.892	1.832	3.960	* 11.38	* 1.73	3
4	390.00	364.45	25.55	0.912	1.832	3.960	* 12.76	* 2.18	18
5	330.00	330.00	0.00	1.00 *					12
6	60.00	60.00	0.00	1.00 *					13
7	260.00	260.00	0.00	1.00 *					20
8	270.00	270.00	0.00	1.00 *					10
9	45.00	64.34	- 19.34	0.950	- 1.832	- 3.960	* - 17.210	* 3.960	16
10	60.00	57.47	2.53	0.353	0.067	0.058	0.043	0.000	1
11	45.00	67.02	- 22.02	0.261	- 0.544	- 0.490	- 0.291	0.007	2
12	120.00	131.19	- 11.19	0.746	- 0.472	- 0.420	- 0.720	0.041	7
13	120.00	121.52	- 1.52	0.999	- 1.401	- 1.701	* - 73.880	* 231.550	14
14	128.00	128.00	0.00	1.00 *					6
15	105.00	68.43	36.57	0.820	1.832	3.960	* 8.460	0.957	8
16	130.00	101.52	28.48	0.286	0.716	0.664	0.420	0.013	5
17	330.00	330.00	0.00	1.00 *					4
18	60.00	57.47	2.53	0.353	0.067	0.058	0.043	0.000	17
19	180.00	178.81	1.19	1.000	1.759	3.199	* 223.060	* 940.050	19
20	360.00	360.00	0.00	1.00 *					9

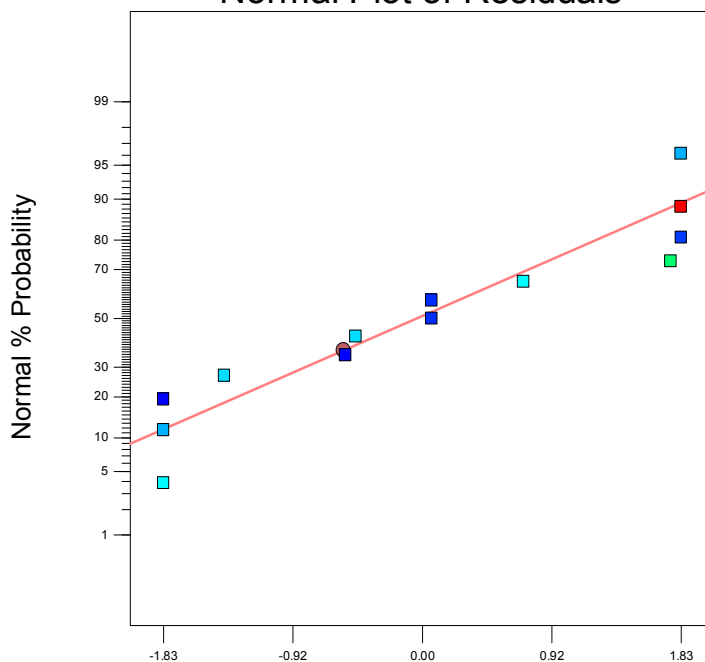
• **DIAGNOSTICS :**

Design-Expert® Software  
Trajanje TO

Color points by value of Trajanje TO:



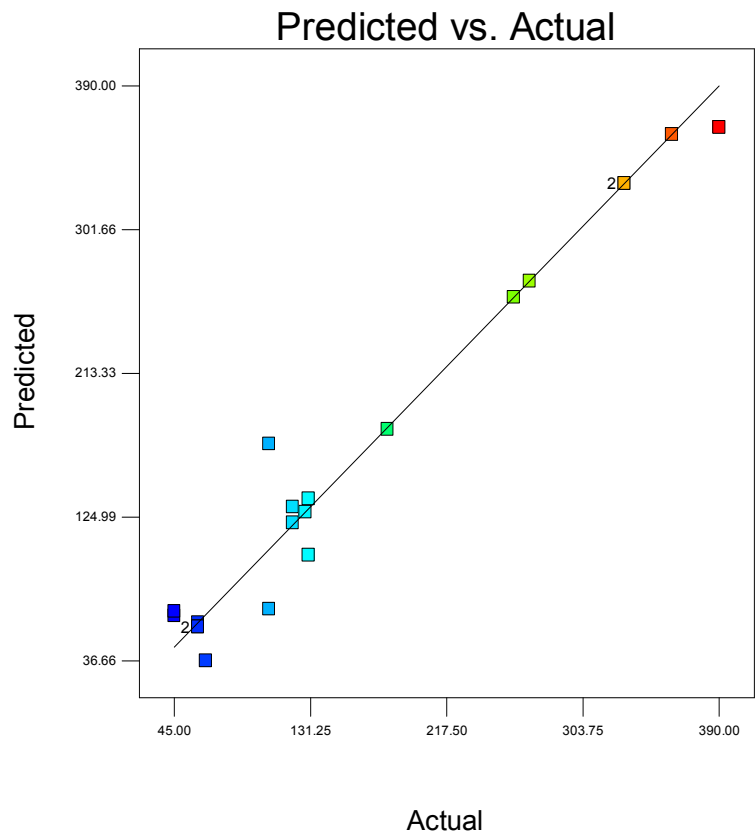
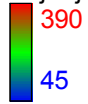
Normal Plot of Residuals



Internally Studentized Residuals

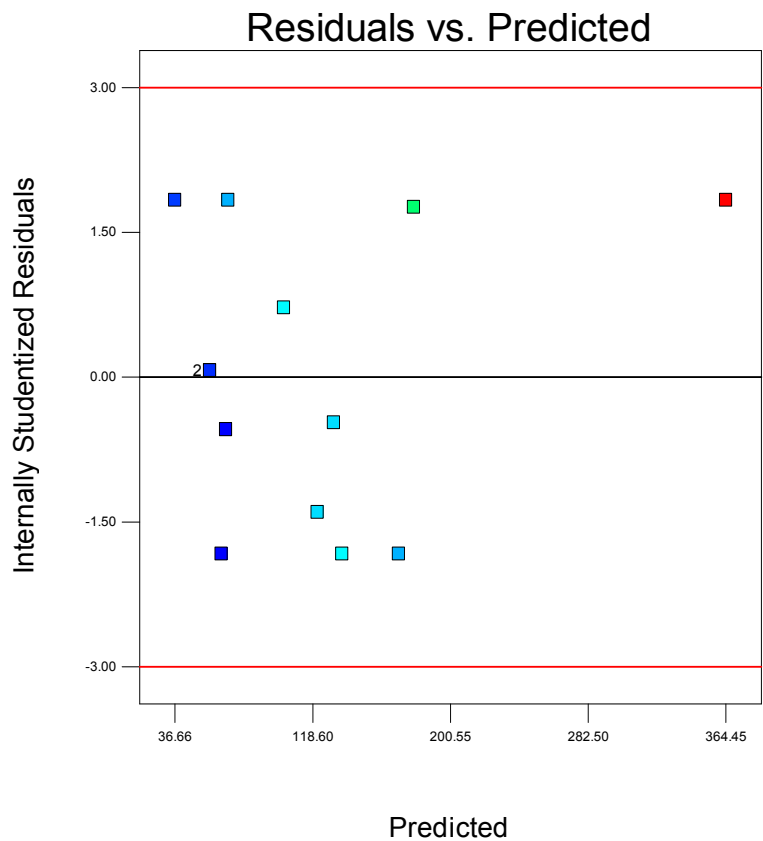
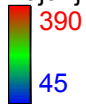
Design-Expert® Software  
Trajanje TO

Color points by value of  
Trajanje TO:



Design-Expert® Software  
Trajanje TO

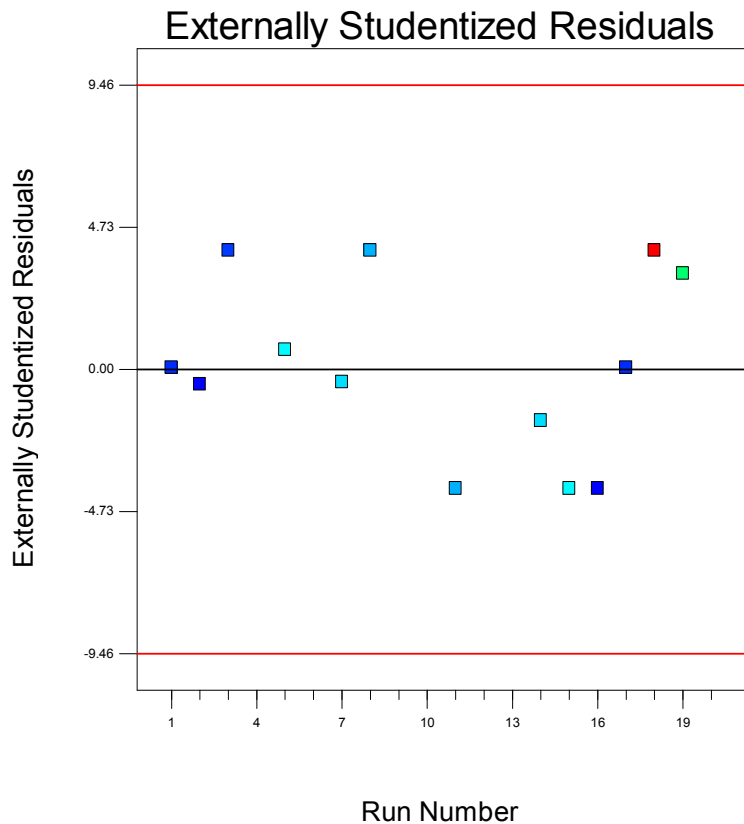
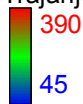
Color points by value of  
Trajanje TO:



• **INFLUENCES :**

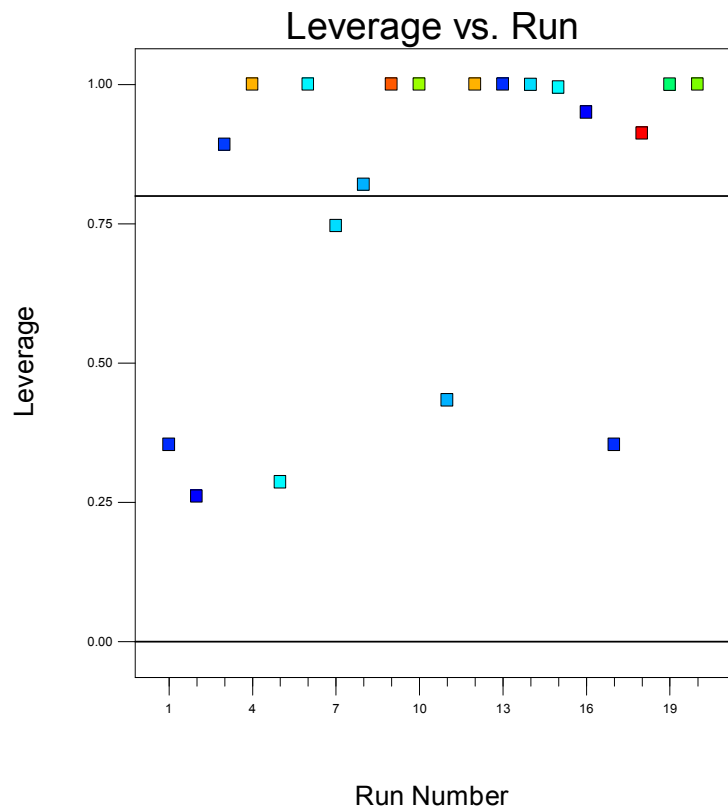
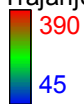
Design-Expert® Software  
Trajanje TO

Color points by value of  
Trajanje TO:



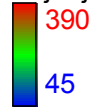
Design-Expert® Software  
Trajanje TO

Color points by value of  
Trajanje TO:



Design-Expert® Software

Trajanje TO

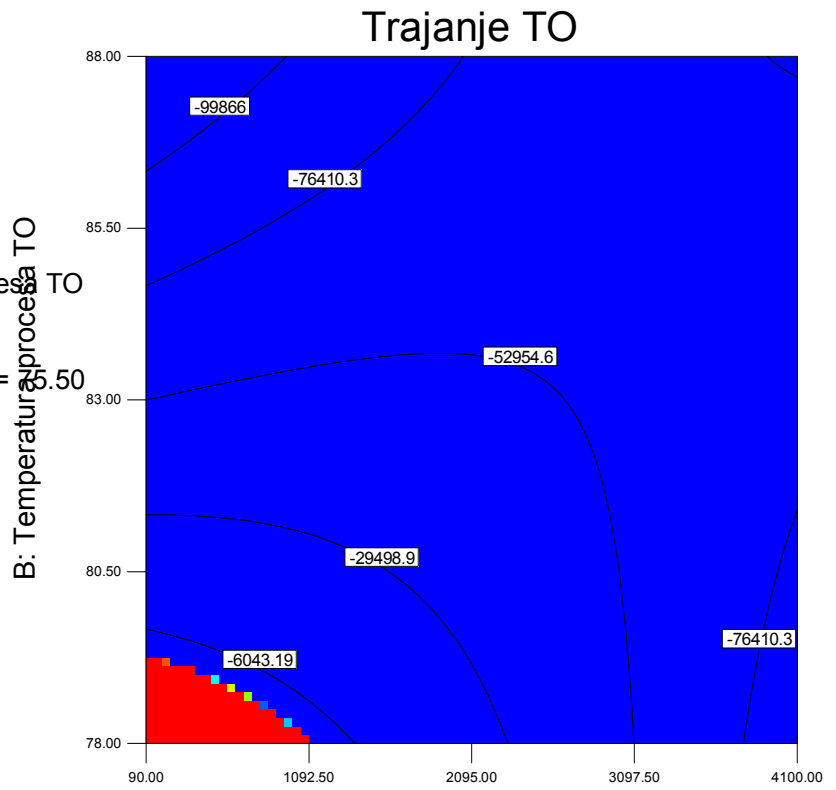


X1 = A: Masa proizvoda

X2 = B: Temperatura procesa TO

Actual Factor

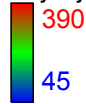
C: Temp. u geom. centru = 75.50



A: Masa proizvoda

Design-Expert® Software

Trajanje TO

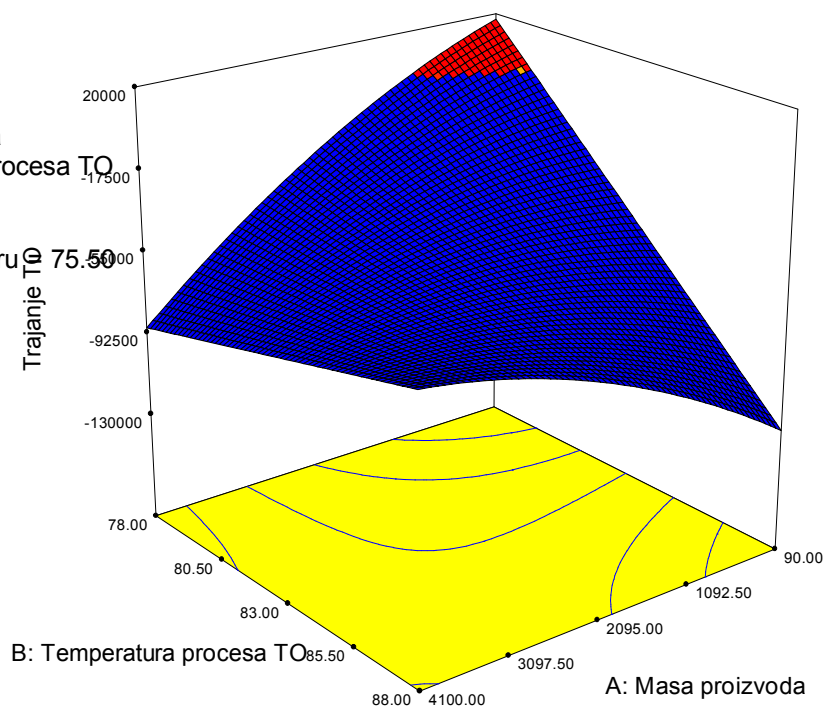


X1 = A: Masa proizvoda

X2 = B: Temperatura procesa TO

Actual Factor

C: Temp. u geom. centru = 75.50



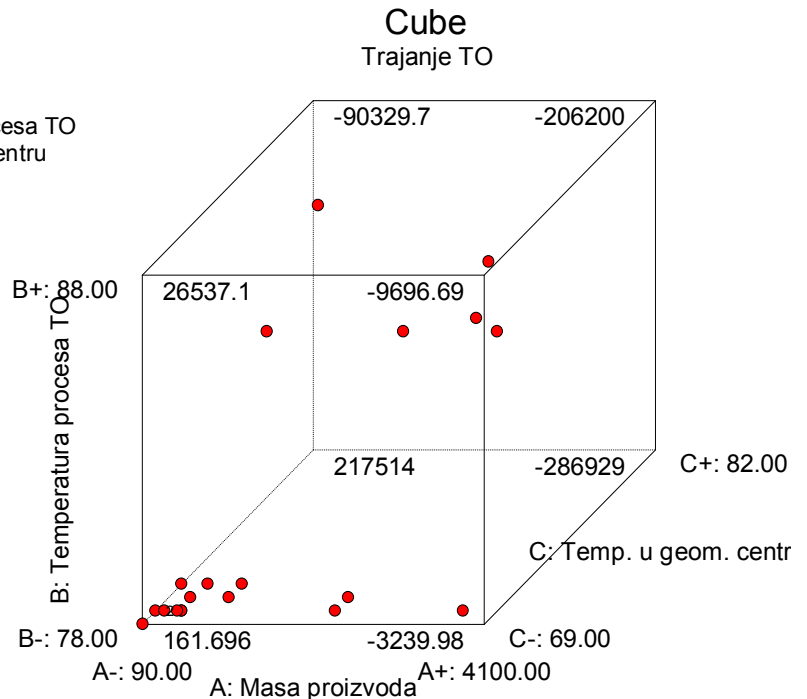
Design-Expert® Software

Trajanje TO

X1 = A: Masa proizvoda

X2 = B: Temperatura procesa TO

X3 = C: Temp. u geom. centru



## 5.7. ZAKLJUČAK

Unutar oba prethodno izvedena eksperimenta na praktičan je način prikazana upotreba programskog paketa *Design Expert 7.1.6.* u sklopu kojeg su metodom *odzivnih površina (RSM)* izvedena 2 eksperimenta, tj. *dvofaktorski* i *trofaktorski eksperimenti*. Spomenuti programski paket pokazao je veliku transparentnost rješenja, mogućnost varijacije parametara, mnoštvo različitih opcija, kao i relevantnu kontrolu dobivenih rezultata u praksi.

Izvedeći dvofaktorske i trofaktorske eksperimente, u svim mogućim kombinacijama odabira pretpostavljenih utjecajnih ulaznih parametara kao što su masa šarže proizvoda ( $m_s$ ), masa pojedinačnog proizvoda ( $m$ ), vrijeme trajanja procesa termičke obrade ( $t_{TO}$ ), temperatura u geometrijskom centru proizvoda nakon postupka hlađenja tuširanjem hladnom vodom ( $T_{GC}$ ), kao i pretpostavljenih utjecajnih izlaznih parametara poput temperature procesa termičke obrade ( $T_{TO}$ ) ili vremena hlađenja proizvoda ( $t_H$ ), nisu dale niti jedan zadovoljavajući model ovisnosti (Linear, 2FI, Quadratic, Cubic) unutar programskog paketa. Jedina zadovoljavajuća kombinacija spomenutih pretpostavljenih utjecajnih parametara koja je dala valjanu ovisnost i rezultate, kako za dvofaktorski, tako i za trofaktorski eksperiment, bila je da odabrani ulazni parametri isključivo moraju biti masa pojedinačnog proizvoda ( $m$ ), a ne npr. masa šarže, potom temperatura procesa termičke obrade ( $T_{TO}$ ) i temperatura u geometrijskom centru proizvoda nakon postupka hlađenja tuširanjem hladnom vodom

( $T_{GC}$ ), dok je jedini valjan izlazni parametar koji zadovoljava ovakav model ovisnosti u oba eksperimenta isključivo vrijeme trajanja procesa termičke obrade ( $t_{TO}$ ).

Programski paket je dao, kao jedini valjan i zadovoljavajući model ovisnosti ulaznih i izlaznog parametara za dvofaktorski eksperiment *kvadratični model*, dok je to za trofaktorski eksperiment bio *kubični model*.

Oba izvedena eksperimenta pokazala su visoku točnost završnog odabira svih utjecajnih parametara, kako ulaznih, tako i izlaznog, kao i njihovu usku međusobnu ovisnost unutar promatranog procesa termičke obrade polutrajnih mesnih proizvoda.

Najveće prednosti ovog programskog paketa su visoka kvaliteta i pouzdanost rješavanja zadanih problema u kombinaciji s preciznom i autonomnom analizom svakog pojedinačnog promatranog procesa.

Prethodno dobiveni rezultati dobar su temelj daljnjeg razvoja postupka za ispitivanje svojstava termostatiranih komora za termičku obradu polutrajnih mesnih proizvoda u tvrtki "Gavrilović" d.o.o. - Petrinja.

## **6. ISPITNA METODOLOGIJA**

U općem smislu riječi prema literaturi [1] *ispitna metodologija* je znanost o metodama znanstvenog istraživanja, tj. o cjelokupnosti svih oblika i postupaka istraživanja, a pomoću kojih se dolazi do sustavnog i objektivnog znanstvenog saznanja. Ona je i znanstvena disciplina u kojoj se kritički ispituju i eksplicitno izlažu različite opće i zasebne znanstvene metode.

*Znanstvena metoda* je skup različitih postupaka, kojima se znanost koristi u znanstveno-istraživačkom radu, da bi istražila i izložila rezultate tog znanstvenog istraživanja u određenom znanstvenom području ili znanstvenoj disciplini.

### **6.1. OPIS ISPITNE METODOLOGIJE**

Promatrana ispitna komora nalazi se u prostoru odjela "Termička obrada kobasica", a samo ispitivanje obavljeno je unutar okoliša (atmosfera) koji je podalje od utjecaja dnevnog svjetla, ali je još uvijek pod dovoljnim utjecajem postojećeg ventiliranog okolišnog (vanjskog) zraka. Tip ispitne komore je *termostatirana ispitna komora* koja osigurava trodimenzionalni zatvoreni radni prostor (radni volumen) s velikom pouzdanošću stupnja stabilnosti temperature zraka. Ovakav tip ispitne komore ima za posljedicu radni volumen s kontroliranom temperaturom zraka.

*Glavne značajke* ove komore koje su obuhvaćene i dobivene sprovedenom ispitnom metodologijom, glede procjene radnog prostora komore, za najutjecajniiji parametar kao što je *temperatura* zraka unutar procesa termičke obrade polutrajnih mesnih proizvoda, su :

- *prostorno - temperaturni gradijenti*
- *prostorna stalnost (stabilnost) temperature*  $i$
- *dinamika zagrijanja i hlađenja komore između 2 radne točke*

Ispitivanje je sprovedeno na praznoj, te djelomično i potpuno napunjenoj ispitnoj komori s ciljem dobivanja spoznaje i o *utjecaju napunjenosti* komore.

Da bi se ciljano razvio postupak za uspostavljanje potrebne ispitne metodologije, unutar procesa termičke obrade polutrajnih mesnih proizvoda i njegove optimizacije, zahtjeva se učinkovita kontrola vrijednosti glavnih utjecajnih parametara kao što su :

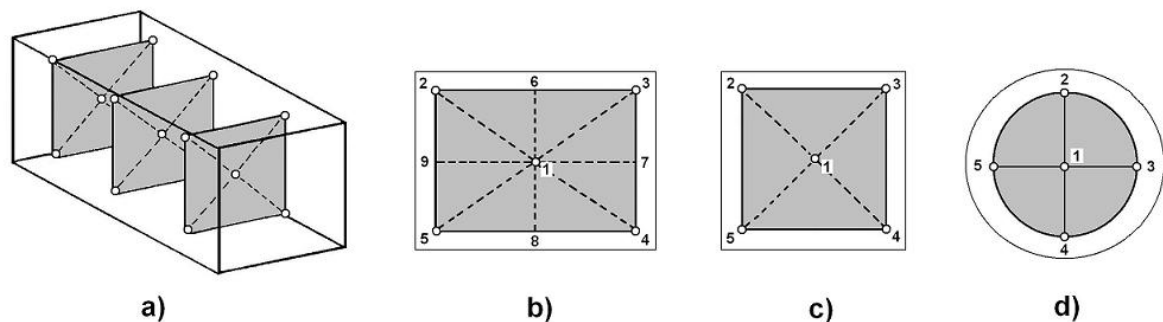
- temperatura procesa termičke obrade ( $T_{TO}$ )
- vrijeme trajanja procesa termičke obrade ( $t_{TO}$ )
- brzina zagrijanja ili hlađenja komore



- ujednačenost temperature u radnom volumenu i
- utjecaj punjenja na spomenute parametre

Potrebno je naglasiti da je spomenuta komora komora s prisilnom konvekcijom.

Prema literaturi [16], a zbog važnosti cjelovitog mjernog rezultata, mjerna temperaturna osjetila koja su korištena u ovom ispitivanju su *platinasti otpornički termometri*. Temperaturna osjetila smještena su unutar radnog volumena ispitne komore. Da bi se temperaturna osjetila mogla postaviti unutar radnog volumena komore, potrebno je odrediti posebnu udaljenost od cca  $1/10$  širine (ili visine ili dubine komore) između granične zone i pojedinačnih zidova ispitne komore, kao što je prikazano u primjerima na *slici 16*.



**SLIKA 16 :** Razmještaj osjetila (senzora) u radnom prostoru ispitne komore.

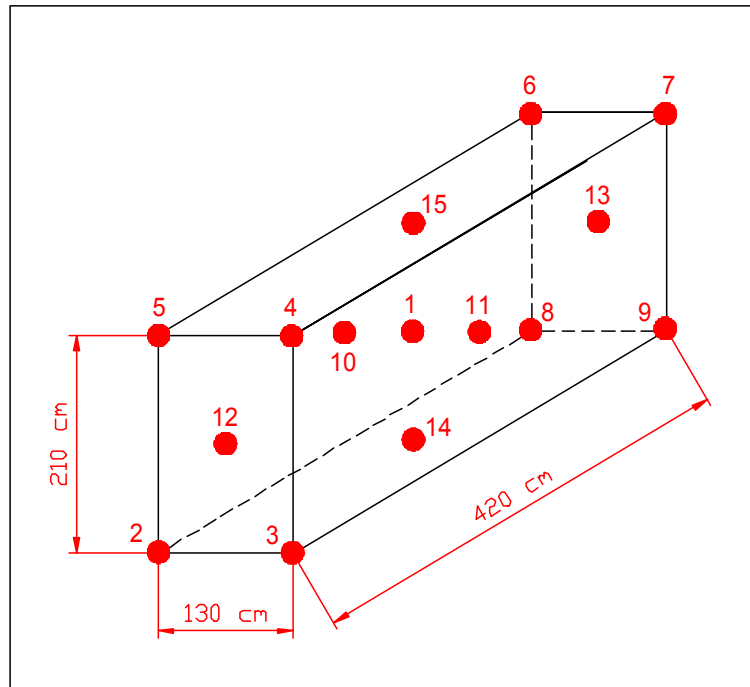
Temperaturna se sjetila postavljaju unutar 2 ili 3 jednake prostorne nivo-ravnine, koje su paralelne sa stražnjim zidom ispitne komore (*slika 1-a*). Broj mjernih točaka odabran je za svaku pojedinu nivo-ravninu, a može biti i do 9 za ispitne komore velikog volumena (*slika 1-b*), ili pak 5 za ispitne komore manjeg volumena (*slika 1-c*), kao i za ispitne komore s kružnim presjekom (*slika 1-d*).

U našem slučaju promatrana ispitna termostatirana komora ubraja se u grupu tzv. *velikih komora*, jer vrijedi sljedeće :

$$V_{UN} = 11\,466 \text{ litara} \approx 11,47 \text{ m}^3 \Rightarrow (2 \text{ m}^3 \leq V_{UN} \leq 20 \text{ m}^3 \Rightarrow \underline{\text{Velika komora}})$$

Budući je naš radni volumen u kategoriji velikih komora, temperaturna mjerna osjetila postavljena su prostoru kako je prikazano na *slici 17*.

Unutar radnog volumena naše ispitne termostatirane komore postavljeno je ukupno 15 kom. platinastih otporničkih termometara .



**SLIKA 17 :** Prostorni raspored 15 mjernih temperaturnih osjetila u radnom volumenu ispitne komore.

Ispitno–mjerna linija sastoji se od višekanalnog sistema za prikupljanja podataka, unutar kojeg su sastavne komponente : PC-računalo, aplikacija za mjerenje i centralni nadzor, mrežni multipleksor, ulazno-izlazni modul (kartica), mjerna temperaturna osjetila i spojni-signalni kablovi. Komponente mjernog sistema kalibrirane su podacima kalibracijske nesigurnosti proizvođača. Nakon što je zadana temperaturna točka  $t_{SP}$  (SP=Set Point) namještena na regulatoru grijača, grijač je uključen, a temperature se bilježe (pohranjuju) u pravilnim vremenskim intervalima od 1 sekunde, počevši od početne temperature unutarnjeg okoliša  $t_{RP}$  (RP=Reference Point) unutar radnog volumena ispitne komore, pa sve do temperature zadane točke  $t_{SP}$  procesa termičke obrade (TO). Prethodno rečeno ima za rezultat skup izmjerenih temperatura ( $t_{i,j}$ ), izmjerenih na mjernim mjestima od  $i=1$  do  $i=N$ , u vremenskom intervalu od  $\tau=1$  do  $\tau=K$  za svako mjerno mjesto.

Prosječan udio porasta temperature u početnoj (referentnoj) točki RP dat je sljedećim izrazom :

$$\frac{\Delta t_{RP}}{\Delta \tau} = \frac{t_{RP,K} - t_{RP,1}}{\tau_K - \tau_1} \quad (11)$$

Prostorna temperaturna stabilnost prikazuje kvalitetu proračunski dimenzionirane izolacije mjesta ugrađenih grijača i režim cirkulacije zraka unutar promatrane ispitne termostatirane komore. Ispitna mjerenja traju sve dok se postigne *stabilno stanje*

( stanje stabilizacije temperature ) zadane točke SP neprekidnim bilježenjem izmjerenih vrijednosti temperature. Sve se vrijednosti potom pohranjuju unutar vremenskog intervala ukupnog trajanja procesa termičke obrade za polutrajni mesni proizvod "Kranjska kobasica", što rezultira skupom temperatura ( $t_{i,j}$ ) koje pripadaju istom vremenskom intervalu. Budući da prostorno-temperaturni gradijenti i temperaturne nestabilnosti imaju različite izvore svog nastajanja, preferira se obrada temperaturne nestabilnosti na temelju odvojenih vremenskih baza.

Iz prethodnog proizlazi da su vremenski-prosječne temperature na  $i$ -tim mjernim mjestima definirane kao aritmetička sredina :

$$\bar{t}_i = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K t_{i,j} \quad , \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (12)$$

Maksimalne nestabilnosti ( $\delta \bar{t}_i$ ) temperature za točku ( $i, \delta \bar{t}_i$ ) koja odražava kvalitetu temperaturnog regulacijskog kruga, definirane su kao 2 standardne devijacije (odstupanja) dobivenih podataka svakog mjernog mjesta. Njihov maksimum tada glasi:

$$\delta \bar{t}_i = \max(\delta \bar{t}_i) = \max \left( \left[ 2 \cdot \sqrt{\frac{1}{K-1} \sum_{j=1}^K (t_{i,j} - \bar{t}_i)^2} \right], i = 1, 2, \dots, N \right) \quad (13)$$

Nestabilnosti koje su podijeljene sa ( $\sqrt{K}$ ) mogu se razmatrati kao *A-tip temperaturne nesigurnosti* kod  $i$ -tih mjesta, i to s 95 % pouzdanošću. Maksimalna prostorna devijacija (odstupanje) vremenski-prosječnih temperatura odvojeno je izračunata za pozitivne ( $\overline{\Delta t_{RP+}}$ ) i negativne ( $\overline{\Delta t_{RP-}}$ ) devijacije za referentnu točku RP prema sljedećim izrazima :

$$\overline{\Delta t_{RP+}} = \max \left[ \left( \bar{t}_i - \bar{t}_{RP} \right), (i = 1, 2, \dots, N) \right] \quad (14)$$

$$\overline{\Delta t_{RP-}} = \max \left[ \left( \bar{t}_{RP} - \bar{t}_i \right), (i = 1, 2, \dots, N) \right] \quad (15)$$

Maksimalna prostorna temperaturna devijacija (odstupanje) u referentnoj točki RP komore tada glasi :

$$\overline{\Delta t_{RP}} = \max \left( \overline{\Delta t_{RP+}}, \overline{\Delta t_{RP-}} \right) \quad (16)$$

*Maksimalni prostorno-temperaturni gradijent kroz radni volumen* unutar ispitne komore, a koji je važan parametar i za mnoge ispitne laboratorije, dobiva se iz izraza :

$$\overline{\Delta t_C} = \overline{\Delta t_{RP+}} + \overline{\Delta t_{RP-}} \quad (17)$$

Duže trajanje temperaturnog odstupanja ima za posljedicu, kako promjene utjecaja temperature okoline (atmosfera), tako i promjene sposobnosti djelovanja kontrolnih elek. strujnih krugova da održavaju zahtjevane vrijednosti zadanih točaka SP unutar dužih vremenskih intervala. Za temperature  $\bar{t}_i (i = 1, 2, \dots, N)$  odstupanje može biti procijenjeno pomoću jednadžbe (13).

Naposlijetku, razlika devijacije vremenski-prosječne temperature referentne točke ( $\bar{t}_{RP}$ ) i vrijednosti trenutno zadane točke unutar ispitne komore, može biti izražena pomoću sljedećeg izraza :

$$Dt_{SP} = \bar{t}_{RP} - t_{SP} \quad (18)$$

## **6.2. MJERENJE U USPOSTAVLJENOM OKOLIŠU KOMORE**

Očitavanja mjernih osjetila pohranjena su kao maksimum svake minute. Uzima se najmanje 30 zapisa po 1 osjetilu čim je uspostavljeni okoliš postignut. Mjerenja će trajati minimalno 30 minuta. Trajanje mjerenja zahtjeva da bude namješteno prema periodičkim promjenama povezanim s normalnim radom komore. Izračunati parametri su srednje temperature po osjetilu  $\theta_{mj}$  i temperatura komore  $\theta_{air}$ .

- **KORAK 1** : Srednja temperatura po osjetilu ( $\theta_{mj}$ ) je *aritmetička sredina* od  $n$  mjerenja na kraju vremenskog intervala mjerenja i glasi :

$$\theta_{mj} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \theta^{ji} \quad (19)$$

gdje je :

$n$  – broj ponovljenih mjerenja

$\theta_{ji}$  – temperatura  $j$ -tog osjetila izmjerena kod  $i$ -tog zapisa

$j$  – broj temperaturnog mjernog osjetila

- **KORAK 2** : Temperatura zraka ( $\theta_{air}$ ) je aritmetička sredina srednjih vrijednosti temperature po osjetilu za vrijeme trajanja mjerenja :

$$\theta_{air} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \theta^{mj} \quad (20)$$

gdje je :

$N$  – broj mjernih osjetila

## **7. MJERNA NESIGURNOST**

### **7.1. POJAM MJERNE NESIGURNOSTI**

Riječ *nesigurnost* znači sumnju, pa prema tome pojam *mjerna nesigurnost*, u najširem smislu te riječi, zapravo, znači sumnju u valjanost datog mjernog rezultata.

Nesigurnost mjernog rezultata prema literaturi [8] i [14] odražava pomanjkanje točnog znanja o vrijednosti mjerene veličine. Mjerni je rezultat stoga i nakon ispravka utvrđenih sustavnih djelovanja, zbog nesigurnosti koja potječe od *slučajnih djelovanja*, kao i zbog nesavršenosti ispravka rezultata zbog *sustavnih djelovanja*, jos uvijek isključivo *samoprocjena* vrijednosti mjerene veličine. Ovdje je potrebno napomenuti da mjerni rezultat (nakon ispravka) može biti neupitno blizu vrijednosti mjerene veličine (i prema tome imati zanemarivu pogrešku) iako može imati veliku nesigurnost. Dakle, nesigurnost mjernog rezultata ne smije se stoga brkati s preostalom nepoznatom pogreškom.

- u praksi postoji mnogo mogućih izvora nesigurnosti u mjerenju, što uključuje sljedeće :

- 1.) Nepotpuno određenje mjerene veličine.
- 2.) Nesavršeno ostvarenje definicije mjerene veličine.
- 3.) Nereprezentativno uzorkovanje, izmjereni uzorak ne mora predstavljati točno određenu mjerenu veličinu.
- 4.) Nedovoljno poznavanje djelovanja uvjeta okoliša na mjerenje ili nesavršeno mjerenje uvjeta okoliša.
- 5.) Osobnu pristranost u očitavanju analognih instrumenata.
- 6.) Konačno razlučivanje instrumenta ili praga pokretljivosti.
- 7.) Netočne vrijednosti mjernih etalona i referentnih tvari.
- 8.) Netočne vrijednosti "stalnica" ili drugih parametara dobivenih iz vanjskih izvora upotrebljivanih u algoritmu za obradu podataka.
- 9.) Približna određenja i pretpostavke uključene u mjernu metodu i postupak.
- 10.) Promjene opetovanih opažanja mjerene veličine u očigledno istovjetnim uvjetima.

Ovi izvori nisu nužno neovisni, pa neki izvori od 1-9 mogu npr. doprinijeti izvoru 10 i sl. U samom proračunu nesigurnosti mjernog rezultata, neutvrđena sustavna djelovanja ne mogu se uzeti u obzir, ali doprinose njegovoj pogrešci.

Bez obzira na to što su točne vrijednosti spomenutih "doprinosa" samoj pogrešci mjernog rezultata nepoznate i neutvrđene, mogu se proračunati (vrijednosno odrediti) i nesigurnosti pridružene slučajnim i sustavnim djelovanjima koje uzrokuju pogrešku. Međutim, čak ako su i procijenjene nesigurnosti male, još uvijek postoji jamstvo da je i pogreška mjernog rezultata mala: kod određivanja ispravka ili kod nepotpunog poznavanja postupka procjenjivanja, može se predvidjeti tzv. "sustavno djelovanje" (utjecaj) koje nije otkriveno.

Prema tome, nesigurnost mjernog rezultata nije nužno pokazatelj vjerojatnosti da je taj mjerni rezultat blizu vrijednosti mjerene veličine, *ona je jednostavno procjena vjerojatnosti blizine najbolje vrijednosti koja je u skladu sa sadašnjim dostupnim znanjem.*

Mjerna nesigurnost je zapravo izraz činjenice da za određenu mjerenu veličinu ili njezin mjerni rezultat ne postoji jedna vrijednost, već beskonačan broj vrijednosti raspršenih oko tog rezultata, a koje su sukladne sa svim opažanjima, podacima i opažateljevim poznavanjem fizičkog svijeta, te da se one s promjenjivim stupnjevima uvjerljivosti mogu pridodati toj mjerenoj veličini. Kvaliteta mjernog rezultata brojčano se iskazuje mjernom nesigurnošću, tj. što je mjerna nesigurnost manja, to je veća kvaliteta mjernog rezultata.

## **7.2. METODE NESIGURNOSTI**

- Prema literaturi [15], idealna metoda za računanje mjerne nesigurnosti treba biti :

- 1.) UNIVERZALNA - za sve grane djelatnosti
- 2.) INTERNO KONZISTENTNA - izravno proizlazi iz komponenata koje ju čine, a neovisno o njihovu grupiranju i razlaganju na podkomponente
- 3.) PRIJENOSNA - nesigurnost jednog rezultata ulazi u račun nesigurnosti drugog rezultata

## **7.3. DEFINICIJE**

- MJERNA NESIGURNOST : je parametar, koji je pridružen mjernom rezultatu, a koji karakterizira rasipanje vrijednosti koje bi razumno mogle opisati mjerenu veličinu
- STANDARDNA NESIGURNOST ( $u$ ) : je nesigurnost rezultata izražena kao standardno odstupanje (devijacija)
- SASTAVNICA NESIGURNOSTI VRSTE "A" : računa se statističkom metodom
- SASTAVNICA NESIGURNOSTI VRSTE "B" : računa se na druge načine

- SLOŽENA STANDARDNA NESIGURNOST :

$u_c(y)$  - je standardna nesigurnost rezultata, ovisi o više veličina, a računa se kao 2. korijen iz sume varijanci, vodi računa o utjecaju pojedine veličine na mjerni rezultat

- PROŠIRENA NESIGURNOST :

$(U)$  - je veličina koja definira interval oko rezultata za koji se očekuje da sadrži veći dio razdiobne-vrijednosti, a koja bi razumno mogla opisati mjerenu veličinu (razina pouzdanosti intervala)

- OBUHVATNI FAKTOR :

$(k)$  - je numerički faktor kojim se množi složena standardna nesigurnost kako bi se prikazala proširena nesigurnost ; obično je  $k = [ 2, 3]$

- MJERENJE :

- Cilj mjerenja - je određivanje vrijednosti ( *value of the measurement* ) nekog parametra
- Mjerni rezultat - je proizvod postupka mjerenja
- Mjerenje - je ukupnost radnji koje se obavljaju da se proizvede mjerni rezultat
  - njime se doznaje vrijednost mjerene veličine u odnosu na mjernu jedinicu
- Matematički model mjerenja - transformira set ponovljenih opažanja (rezultata) u mjerni rezultat i od kritične je važnosti, jer općenito sadrži različite utjecajne veličine koje nam nisu točno poznate

- MJERENA VELIČINA :

- tretira se kao skalar, tj. kao pojedinačna veličina i pripadajuća varijanca
- za završne mjerne veličine koristi se vektor mjerene veličine i matrica kovarijanci

## 7.4. KOMPONENTE NESIGURNOSTI

Mjerna nesigurnost je brojčani iskaz kvalitete mjernog rezultata. Prikazuje se standardnom devijacijom ( standardna mjerna nesigurnost ;  $u$  ) ili višekratnikom standardne devijacije ( proširena mjerna nesigurnost ;  $U$  ) . Mjerna nesigurnost određuje raspon vrijednosti unutar kojeg očekujemo da se nalazi (prava) vrijednost mjerene veličine. Uzroci odstupanja najbolje procjene mjerene veličine od prave vrijednosti višestruki su. Mogu se podijeliti na posve *slučajna* i *sistematska* odstupanja .

- prema metodi procjenjivanja, komponente nesigurnosti mogu se razvrstati u 2 grupe :

- A) Komponente ( $u_A$ ) koje se određuju pomoću *statističkih metoda*, na temelju pokusom dobivene razdiobe učestalosti (frekvencije) dobivenih mjernih rezultata i
- B) Komponente ( $u_B$ ) koje se *procjenjuju na druge načine* ( najčešće procjenom ekvivalentne standardne devijacije na temelju pretpostavljene razdiobe učestalosti ) .

- Ukupna nesigurnost jednaka je drugom korijenu iz zbroja kvadrata pojedinih komponenata :

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (21)$$

- obzirom da se pri zbrajanju ne pravi razlika između nesigurnosti tipa A i B, može se jednostavno napisati da vrijedi :

$$u = \sqrt{\sum_i u_i^2} \quad (22)$$

## **7.5. ODREĐIVANJE NESIGURNOSTI TIP A**

Nesigurnost tipa A određuje se eksperimentalno, ponavljanjem mjerenja. Na temelju rezultata ponovljenih mjerenja, mogu se izračunati *aritmetička sredina* i *standardna devijacija*. Aritmetička sredina niza očitavanja od ( $x_1$ ) do ( $x_n$ ) najvjerojatnija je vrijednost mjerene veličine. Također, možemo reći da je aritmetička sredina i najbolja aproksimacija ili najbolja procjena promatrane mjerene veličine.

Prema literaturi [18], pri ponovljenim mjerenjima, mjerna nesigurnost svakog pojedinačnog mjernog rezultata, iz niza mjerenja, jednaka je, pa se aritmetička srednja vrijednost računa pomoću sljedećeg izraza :

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (23)$$

Standardna devijacija ( ili standardno odstupanje ; s ) pojedinačnih mjernih rezultata mjera je rasipanja ili mjera nepreciznosti pojedinačnih očitavanja. U slučaju ponovljenih mjerenja, standardna se devijacija računa iz izraza :



$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (24)$$

gdje je :

- $s$  - standardna devijacija
- $n$  - broj ponovljenih mjerenja
- $x_i$  - pojedinačni mjerni rezultat
- $\bar{x}$  - aritmetička sredina

Rasipanje aritmetičkih sredina od  $n$  ponovljenih mjerenja je manje i dobiva se iz sljedećeg izraza :

$$s_x^- = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (25)$$

Prethodni izraz definiran je kao *standardna devijacija aritmetičke sredine* ( $s_x^-$ ).

## **7.6. PROCJENA NESIGURNOSTI TIPA B**

Procjena nesigurnosti tipa B temelji se na :

- specifikacijama mjerne opreme
- podacima o umjeravanju (baždarenju) mjerila
- podacima o nesigurnosti upotrebljenih konstanti
- podacima o ponovljivosti i obnovljivosti mjernog procesa
- podacima o ranije provedenim sličnim mjerenjima
- iskustvu i znanju o svojstvima relevantnih mjerila i mjernih objekata
- procjeni nesigurnosti ispravaka

Danas se zbog svega prethodno navedenog, kvaliteta mjernog rezultata iskazuje *mjernom nesigurnošću*, a kvaliteta mjerila (mjernih instrumenata, mjernih uređaja i mjerki) *graničnim pogreškama*. Budući da su izvori podataka različiti, podaci mogu biti različito iskazani, pa ih stoga treba preračunati u nesigurnost iskazanu standardnom devijacijom (potrebo ih je unificirati) .

## **7.7. PROCJENA NESIGURNOSTI IZ GRANIČNIH POGREŠAKA**

U specifikacijama mjerila obično su navedene *točnosti*, odnosno, *granične pogreške*. Iskazivanje graničnih pogrešaka različito je za analogna i digitalna mjerila. Podatak o *graničnim pogreškama* ( $\pm G$ ) ne sadrži informaciju o stvarnoj vrijednosti pogreške mjerila kojim mjerimo. Upravo zbog toga, a u slučaju kada nemamo informaciju o razdiobi pogrešaka svih (ispravnih) mjerila iz određene proizvodne serije, pretpostavljamo da su sve izmjerene vrijednosti (izmjerene bilo kojim od mjerila iz te proizvodne serije;  $M$ ) unutar raspona koji omeđuju granice pogrešaka ( $M-G$  i  $M+G$ ) jednako vjerojatne, a izvan tih granica nemoguće. Takva se razdioba naziva pravokutna razdioba. Standardna devijacija pojedinih očitavanja koja su jednako vjerojatna unutar takvog intervala tada iznosi :

$$s = \frac{G}{\sqrt{3}} \quad (26)$$

Kako se mjerna nesigurnost iskazuje standardnom devijacijom, vrijedi sljedeći izraz :

$$u_B = \frac{G}{\sqrt{3}} \quad (27)$$

Na ovaj se način procjenjuju *nesigurnosti tipa B*, kada raspolažemo graničnim pogreškama mjerila, statističkim graničnim pogreškama, podacima o histerezi mjerila, razlučivosti, kvantizaciji ili zaokruživanju. Kada pak raspolažemo sigurnim granicama pogrešaka, mjernu nesigurnost procjenjujemo tako da sigurnu graničnu pogrešku podijelimo s vrijednošću 3.

## **7.8. PRETVORBA PROŠIRENE NESIGURNOSTI U STANDARDNU NESIGURNOST**

Tako npr. laboratoriji za umjeravanje navode u svojim umjericama za mjerila proširenu mjernu nesigurnost s faktorom proširenja  $k=2$ . Standardna mjerna nesigurnost tada se procjenjuje dijeljenjem proširene nesigurnosti s navedenim faktorom proširenja  $k$  :

$$u = \frac{U}{k} \quad (28)$$

## **7.9. PARAMETRI KOJI DOPRINOSU MJERNOJ NESIGURNOSTI**

Kalibracija termostatisanih komora zahtjeva najmanje mjerenje sljedećih parametara, a koji će biti uzeti u obzir prilikom razmatranja njezine mjerne nesigurnosti :

- 1.) Distribucija temperature u naznačenom opsegu kalibracije
- 2.) Vremenska stabilnost temperature unutar reprezentativnog vremenskog perioda
- 3.) Nesigurnosti koje su sadržane u tzv. " radnom standardu ", koji se upotrebljava u postupku kalibracije
- 4.) Efekt zračenja povezan sa sposobnošću isijavanja temperaturnog osjetila ( uzrokovanog različitim temperaturama zidova komore i zraka unutar komore )
- 5.) Utjecaj opterećenja komore
- 6.) Utjecaj okolišnih uvjeta i
- 7.) Rezolucija pokazatelja ( indikatora )

Mjerni postupci moraju jasno opisati postupak kako utjecaji koji doprinose povećanju mjerne nesigurnosti potječu od prethodno spomenutih i definiranih parametara. U nekim slučajevima preporuka su nacionalne i međunarodne norme koje mogu ispuniti ovaj zahtjev.

### **7.9.1. EFEKT ZRAČENJA**

U situaciji kada je termostatisana komora upotrebljena unutar temperaturnog područja iznad propisane vrijednosti temperature procesa termičke obrade (TO), temperatura zidova kod mnogih modela komora manja je od temperature zraka u radnom volumenu komore. Usljed gubitaka zračenja, temperatura zraka je veća od temperature termometra ili ispitnog objekta (proizvoda) smještenog u radnom volumenu komore. Također, temperature termometra i spomenutog objekta koji se nalazi unutar komore, mogu se međusobno znatno razlikovati. Naročito ako se sposobnost isijavanja (zračenja) ili emisioni koeficijent zračenja ( $\epsilon$ ) promatranog objekta (proizvoda) razlikuju u odnosu na iste spomenutog termometra, velika odstupanja se tada moraju uzeti u obzir i računaju se.

Prema zakonu zračenja, utjecaj ovog efekta povećavaju proporcionalno vrijednosti viših temperatura. Za slučaj kada je vrijednost temperature ispod vrijednosti temperature termičke obrade (TO), ovaj efekt je obrnut (inverzan), ali mu je djelovanje znatno manje i vrlo često beznačajno i zanemarivo.

## **8. UVOĐENJE MEĐUNARODNE NORME IEC 60068-3-5**

### **8.1. OPĆENITO**

Prema literaturi [9], International Standard IEC 60068-3-5 je međunarodna norma koja sadrži osnovne informacije i upute o postupcima ispitivanja stanja okoliša i o klasifikaciji (naš slučaj) metoda ispitivanja termostatiranih ispitnih komora.

Izrazi kao što su "kondicioniranje okoliša" (environmental conditioning) ili pak "ispitivanje okoliša" (environmental testing) obuhvaćaju prirodan i umjetan okoliš unutar kojeg su mjerne komponente i oprema podvrgnute postupku procjene. Sama procjena obuhvaća, kako način njihove izvedbe i upotrebe u odgovarajućim uvjetima, tako i načine transporta i skladištenja u stvarnim uvjetima.

### **8.2. DEFINICIJE VAŽNIH POJMOVA**

- U međunarodnoj norme *IEC 60068-3-5*, a prema literaturi [9], koriste se sljedeće definicije važnih pojmova :

**A) Komora** - je zatvoreni prostor unutar čije se atmosfere kontrolira 1 ili više parametara

**B) Termostatirana ispitna komora** - je zatvoreni prostor ili dio prostora u kojem se kontrolira vrijednost temperature

**C) Unutarnji volumen** - je volumen ograničen unutarnjim zidovima komore  
( unutarnje dimenzije : *visina x širina x dubina* komore )

**D) Radni volumen** - je dio unutarnjeg volumena komore u kojem se održavaju specifični atmosferski uvjeti (uvjeti unutar raspona maksimalno dopuštenih pogrešaka)

**E) Temperatura zraka u komori** - je aritmetička sredina mjerenja temperature zraka unutar radnog volumena komore

**F) Postignuta temperatura** - je temperatura unutar komore u bilo kojoj točki radnog volumena nakon procesa stabilizacije temperature

**G) Zadana točka temperature** - je željena (kontrolirana) temperatura unutar komore

**H) Programirana vrijednost temperature** - je vrijednost unešena u regulator da bi se dobila željena (zadana) vrijednost

**I) Razlika u odnosu na programiranu vrijednost**

- je razlika između programirane i srednje vrijednosti okolišne temperature izmjerene unutar radnog volumena komore

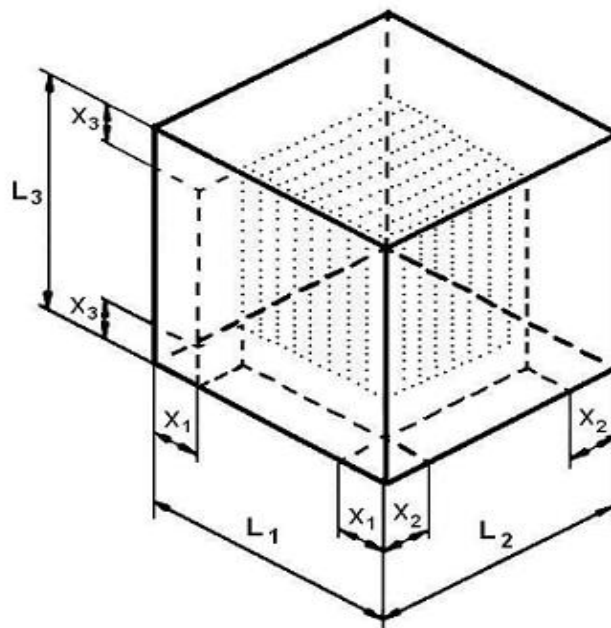
**J) Okoliš (atmosfera)** - je skup stvorenih kontroliranih uvjeta unutar radnog volumena promatrane komore

**K) Indikator (pokazatelj) okoliša** - povezan je s regulacijskim sistemom koji prikazuje vrijednost temperature u radnom volumenu komore

**L) Indikator (pokazatelj) pogreške** - je razlika između srednje vrijednosti okolišne temperature i srednje vrijednosti temperature izmjerene unutar radnog volumena komore

**M) Stabilizacija temperature** - je temperatura kod koje sve točke unutar radnog volumena imaju postignute i održane temperaturne radne točke u granicama dopuštenih odstupanja

**E) Temperaturna nestabilnost** - je razlika između maksimalne i minimalne temperature, nakon stabilizacije, u bilo kojoj točki radnog volumena, unutar određenog vremenskog intervala



**SLIKA 18 :** Prikaz radnog prostora ispitne komore.

**G) Temperaturni gradijent** - je maksimalna razlika u srednjoj vrijednosti, nakon stabilizacije, u bilo kojem trenutku vremena, između 2 odvojene temp. točke u radnom volumenu komore

**H) Udio temperaturne promjene** - je udio, izražen u *stupnjevima po minuti*, a vezan je za prijelaz topline između 2 točno određene temperature izmjerene unutar centra radnog volumena komore

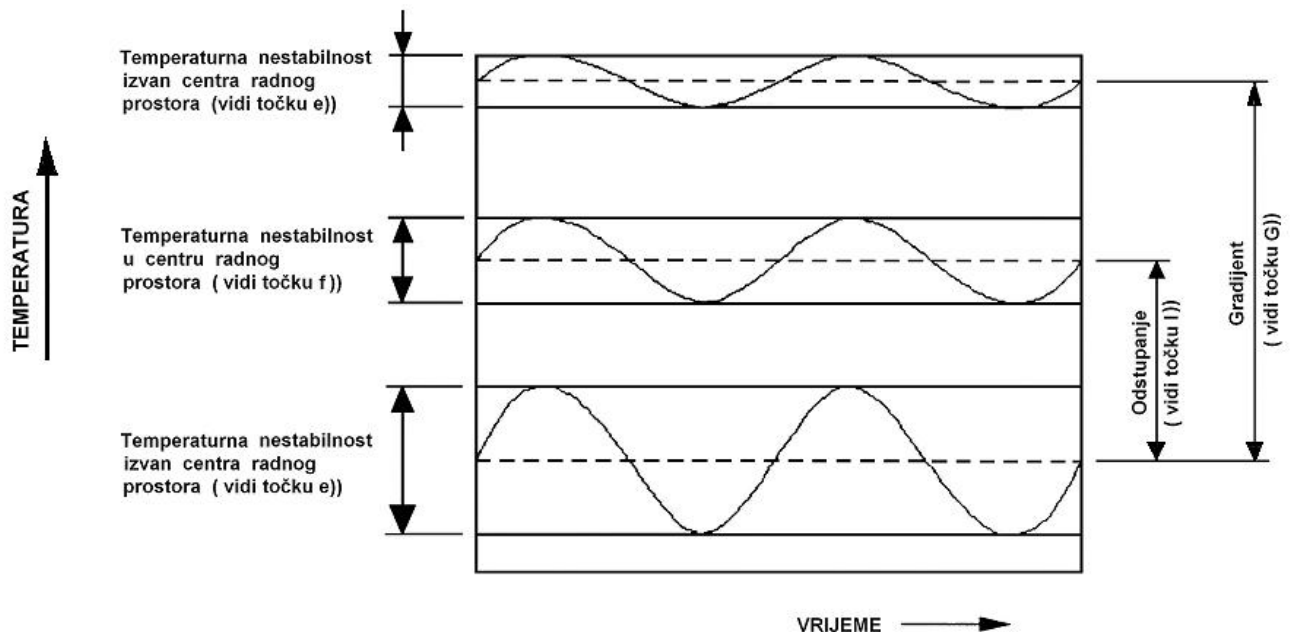
VELIČINA KOMORE	VOLUMEN V [ lit. ]	RAZMAK X [ mm ]	$X_{min}$ [ mm ]
1.) Male komore	do 1000	L / 10	50
2.) Srednje komore	$1000 \leq V \leq 2000$	L / 10	100
3.) Velike komore	$2000 \leq V \leq 20\ 000$	L / 10	150

**NAPOMENA:** Nisu sve komore u svojoj konstrukciji kubnog oblika !

**TABLICA 9 :** Klasifikacija termostatiranih komora.

**I) Temperaturno odstupanje u prostoru** - je razlika u srednjoj vrijednosti, nakon stabilizacije, u bilo kojem trenutku vremena između temperature centra radnog volumena i bilo koje druge temperaturne točke unutar istog radnog volumena

**J) Temperaturni ekstremi** - su maksimumi i minimumi izmjerenih temperatura koji su postignuti u radnom volumenu nakon stabilizacije



**SLIKA 19 :** Primjer temperaturnih razlika u radnom volumenu komore.

### **8.3. POSTUPAK MJERENJA U ISPITNIM KOMORAMA**

#### **8.3.1. VANJSKI UTJECAJI NA UVJETE U ISPITNOJ KOMORI**

Stanje okoliša oko ispitne termostatirane komore može utjecati na uvjete u radnom volumenu same komore. Potvrda izvođenja termostatiranih komora trebala bi se stoga provesti unutar standardnih okolišnih uvjeta.

- Upravo iz tog razloga, stavke koje slijede trebalo bi, također, uzeti u razmatranje :

- Ispitna komora ne bi trebala biti izložena direktnom zračenju sunca.
- Ispitna komora ne bi trebala biti izložena elektromagnetskim smetnjama.
- Ispitna komora trebala bi biti postavljena u horizontalnoj ravnini, bez ikakvih nagiba i skošenja.
- Ispitna komora trebala bi biti učvršćena na mjestu na kojem nema nikakvih mehaničkih i akustičnih vibracijskih smetnji.

Savjete proizvođača, glede zahtjeva za elek. napajanjem i uvjetima okoliša, trebalo bi uzeti u razmatranje. Sve prethodno navedene tzv. "nepravilne uvjete" potrebno je detaljno zabilježiti radi daljnjeg razmatranja.

#### **8.3.2. NAČIN MJERENJA TEMPERATURE**

*Mjerna nesigurnost* na izlazu iz mjernog sistema ispitne komore određena je pomoću pripadajućeg kalibracijskog sustava promatrane komore.

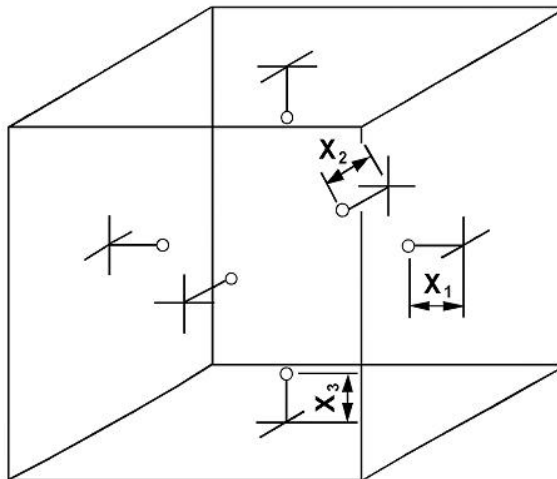
*Osjetila temperature* su *otporničkog* ili *thermocouple-skog* tipa.

*Do 50 % odzivnog vremena* svakog temperaturnog mjernog osjetila, koje se nalazi u atmosferi zraka, biti će u vremenskom intervalu između 10 s i 40 s .

*Odzivno vrijeme cjelokupnog sistema* treba biti manje od 40 s.

#### **8.3.3. NAČIN UGRADNJE TEMPERATURNIH OSJETILA**

Temperaturna mjerna osjetila smještena su u svakom kutu i centru radnog volumena ispitne komore. Za termostatirane komore volumena preko  $V=2000$  litara, dodatna osjetila treba smjestiti ispred centra svakog zida komore (*slika 17*). Mjerni sistem je smješten na takav način da temperaturna raspodjela (distribucija) unutar ispitne komore neće štetno utjecati na rezultate mjerenja. Bilježenje tako dobivenih temperaturnih rezultata trebalo bi biti uspješno.



**SLIKA 20 :** Smještaj minimalnog broja dodatnih temperaturnih osjetila za termostatirane komore volumena preko 2000 lit. (velika komora).

Za potvrdu nadzora (monitoringa), mjerni podaci moraju biti zabilježeni najmanje jednom u minuti. Uređaj upotrebljen za bilježenje podataka od strane nadzornih mjernih osjetila, a unutar ispitne komore, treba biti nezavisan od sistema kontrole komore.

Temperaturni mjerni sistem (nakon procesa stabilizacije) određuje u radnom volumenu ispitne komore sve vrijednosti postignute temperature, njihovu nestabilnost i prostorne gradijente. Nesigurnost mjerenja temperaturnog mjernog sistema mora biti uzeta u obzir unutar proračuna, a dopušteno odstupanje smanjuje se pomoću magnitude (veličine) mjerne nesigurnosti.

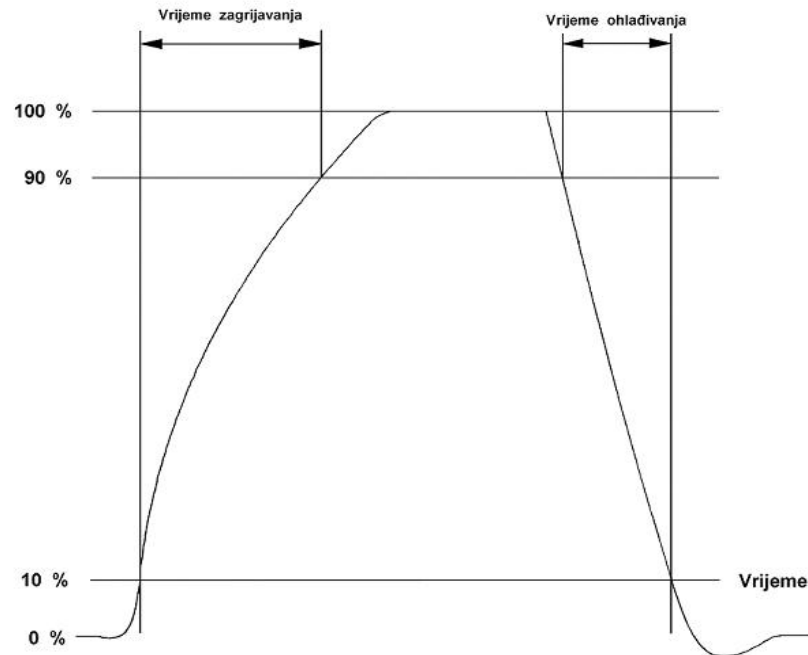
#### **8.3.4. UDIO TEMPERATURNE PROMJENE**

- Određivanje udjela temperaturne promjene izvodi se na sljedeći način :

- namjestiti komoru na najmanju naznačenu temperaturu i dopustiti da se ista stabilizira
- namjestiti komoru na najvišu naznačenu temperaturu, i pratiti vrijeme između 10 % i 90 % svih točaka unutar temperaturnog raspona
- dopustiti da se komora stabilizira kod najviše naznačene temperature
- namjestiti komoru na najmanju naznačenu temperaturu, i pratiti vrijeme između 90 % i 10 % svih točaka unutar temperaturnog raspona

⇒ Prethodno navedeno određuje udjele temperaturne promjene unutar procesa zagrijavanja i hlađenja termostatirane ispitne komore, a koji su izraženi u K/min .





**SLIKA 21 :** Udio temperaturne promjene za procese zagrijavanja i hlađenja unutar radnog volumena termostatirane ispitne komore.

#### **8.4. STANDARDNI ISPITNI POSTUPAK ( SLIJED )**

Naredni postupak (slijed) ispitivanja koji će biti razmatran minimum je preporuke za dobivanje neophodnih podataka za potvrdu izvođenja i ispitivanja termostatirane ispitne komore.

Područje ispitnih uvjeta trebalo bi biti u skladu s *točkom 8.3.1. (Područje ispitnog okoliša-ambijenta)* međunarodne norme *IEC 60068-3-5*.

⇒ Ispitni postupak (slijed) je određen na sljedeći način :

- Početak ispitnog postupka (slijeda) započinje kod okolišnih uvjeta.
- Komora se namješta (podešava) na najvišu zadanu temperaturu, komori se dopušta da se stabilizira.
- Potrebno je mjeriti radna svojstva kod najviše vrijednosti zadane temperature.
- Komora se namješta (podešava) na najnižu zadanu temperaturu, prati se udio temperaturne promjene, komori se dopušta da se stabilizira.
- Potrebno je mjeriti radna svojstva kod najniže vrijednosti zadane temperature.
- Komora se namješta (podešava) na najvišu zadanu temperaturu, prati se udio temperaturne promjene.
- Komora se namješta (podešava) na atmosferske uvjete, komori se dopušta da se stabilizira.
- Potrebno je mjeriti radna svojstva kod atmosferskih uvjeta.

## **8.5. KRAJNI IZVJEŠTAJ O SVOJSTVIMA ISPITNE KOMORE**

- Informacije koje su od izuzetne važnosti za postupak ispitivanja svake pojedinačne termostatirane ispitne komore prvenstveno ovise o sljedećem :
  - Okolišnim (atmosferskim) uvjetima unutar ispitnog područja
  - Veličini i volumenu prostora u kojem se ispitna komora nalazi, kao i o radnom Volumenu promatrane ispitne komore
  - Temperaturnoj nestabilnosti, temperaturnom odstupanju u radnom volumenu i temperaturnom prostornom-gradijentu kod svake temperaturne faze
  - Udjelu temperaturne promjene u procesima zagrijavanja i hlađenja
  - Ekstremnim vrijednostima temperature
  - Svakom odstupanju kao što je npr. prekoračenje gornje zadane vrijednosti
  - Ispitnom toplinskom ili rashladnom opterećenju (ako ih ima)
  - Pojednostima (detaljima) korisnih podataka vezanih uz sistem mjerenja
  - Procjeni mjernih nesigurnosti

## **9. ISPITNO – MJERNA LINIJA**

### **9.1. OPIS ISPITNO – MJERNE LINIJE**

Osnovni zadatak *ispitno-mjerne linije* u standardnom radnom procesu termičke obrade polutrajnih mesnih proizvoda je praćenje i kontrola ujednačenosti raspodjele temperature u radnom volumenu promatrane termostatisane ispitne komore.

- Prema literaturi [11] spomenuta ispitno - mjerna linija sastoji se od višekanalnog sistema za prikupljanje podataka čije su komponente sljedeće :

- PC - računalo
- Aplikacija za mjerenje i centralni nadzor
- Mrežni multipleksor
- Ulazno - izlazni modul ( kartica )
- Temperaturna mjerna osjetila i
- Spojno - signalni kablovi

Prethodno navedene komponente ispitno-mjerne linije kalibrirane su prema podacima kalibracijske nesigurnosti proizvođača.

### **9.2 PC – RAČUNALO**

Konfiguracija korištenog PC-računala ima sljedeće karakteristike : Pentium CPU 3.0 GHz , 1.5 GB RAM-a , 70 GB HDD , INTEL (R) 82566 DM Gbit - mrežni adapter (mrežna kartica) i operativni sustav WINDOWS XP-PRO.

Na prethodno spomenutu konfiguraciju instaliran je *program " LabVIEW "* (*LabVIEW = National Instruments LabView*), koji je detaljno opisan u nastavku.

### **9.3. APLIKACIJA ZA MJERENJE I CENTRALNI NADZOR**

Korištena aplikacija za mjerenje i centralni nadzor koristi *programski paket LabVIEW*, proizvođača "National Instruments", SAD, koji je jedan od vodećih programa za mjerenje i upravljanje u sustavima prehrambene industrije. Pomoću spomenutog programa moguće je pratiti procese pogona (industrijske proizvodnje) ili laboratorija, a kasnije te podatke lakše obrađivati. Podaci prikupljeni uzorkovanjem (sempliranjem) pomoću višekanalnog multipleksora, prenešeni putem informatičke mreže, skaliraju se i koriste u izgradnji vizualnog sučelja i baze podatka.

Skalirane podatke ova aplikacija pohranjuje u bazu podataka, te ih istovremeno obrađuje i prikazuje brojučano i grafički na ekranu PC-računala tijekom praćenog procesa.

Broječanim podacima prikazane su trenutne vrijednosti mjerenih veličina (temperatura), dok se grafičkim prikazom lakše percipira praćeni proces i eventualne nepravilnosti unutar njega unutar određenog vremenskog intervala.

Korisnik kreira bazu podataka, a podaci pohranjeni u njoj mogu se koristiti za daljnju obradu i dobivanje informacija u broječanom i grafičkom obliku.

#### **9.4. MREŽNI MULTIPLEKSOR CFP - 1804**

*Mrežni multipleksor tipa CFP-1804*, proizvođača "National Instruments", SAD, je uređaj za prihvatanje ulaznog-izlaznog modula (kartice) tipa *RTD-122* i pripadajućih mu *terminalnih blokova tipa CB-1*. U našem slučaju koriste se *2 ulazno-izlazna modula* s ukupno *16 kanala* (16 mjernih osjetila).

Spomenuti uređaj postupkom uzorkovanja prikuplja signale sa ulazno-izlaznih modula i proslijeđuje ih putem *10/100 Mbit/sec* ethernet mrežom na nadzorno PC-računalo.

#### **9.5. ULAZNO - IZLAZNI MODUL ( KARTICA ) RTD - 122**

*Ulazno-izlazni modul (kartica) tipa RTD-122*, proizvođača "National Instruments", SAD, je uređaj prilagođen za prihvatanje 2-žilnih ili 3-žilnih Pt-100 ili Pt-1000 temperaturnih osjetila. Spomenuti modul ima mogućnost prihvatanja maksimalno *8* mjernih osjetila (u našem slučaju *2* ulazna modula prihvaćaju ukupno *16* mjernih osjetila).

Period *osvježavanja* (ažuriranja) podataka sa svih kanala (ukupno *16* kanala) iznosi *1,08* sekundi, a pripadajuća *pogreška* iznosi *0,016 °C*.

Za linearizaciju i skaliranje ulaznih signala, unutar unaprijed određenog temperaturnog raspona, spomenuti modul (kartica) koristi vlastiti procesor.

Svaki pojedinačni kanal može se konfigurirati na način da vraća vrijednosti izražene u °C, °F ili K i obrnuto.

3-žilnim spajanjem osjetila eliminiraju se moguće pogreške mjerenja izazvane duljinom kabela ( $R=\rho \cdot l/s$ ).

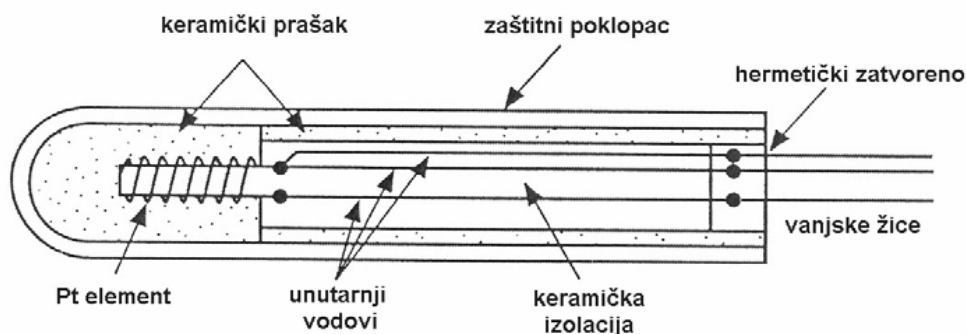
## 9.6. TEMPERATURNNA MJERNA OSJETILA

Temperaturna mjerna osjetila koja se koriste unutar ove ispitno-mjerne linije su otpornička ubodna Pt-100 osjetila tipa RTD 902350/23-380-1003-1-4-100-2-11-4000/000, proizvođača "JUMO", Njemačka, mjernog raspona od  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$  i točnosti klase B s tolerancijom  $\pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  pri  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $100 \pm 0,12\text{ ohma}$  pri  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Kod spomenutih osjetila električni otpor metala mijenja se s promjenom temperature, tj. ova otpornička osjetila su osjetila koja mjere temperaturu mjereći zapravo promjenu otpora. Većina spomenutih otporničkih osjetila izrađena je od vrlo tanke Pt-žice koja je namotana oko keramičke staklene jezgre. U većini slučajeva otpor raste s temperaturom, pa kažemo da osjetilo ima pozitivan temperaturni koeficijent.

Zbog male pogreške i dobre postojanosti unutar mjernog raspona, u praksi se najčešće koriste platinska otpornička temperaturna Pt-100 osjetila. Spomenuta osjetila imaju temperaturni koeficijent  $\alpha_{Pt-100} = 0,0039\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  i otpor od  $100\text{ }\Omega$  pri  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Otporničko osjetilo najčešće je smješteno unutar sonde što je i prikazano na slici 22, a u pravilu se spaja na Wheatston-eov mjerni most.



SLIKA 22 : Sonda otporničkog osjetila temperature.

Karakteristika otporničkog osjetila temperature prikazana je na slici 23., a u slučaju užeg temperaturnog raspona dana je izrazom :

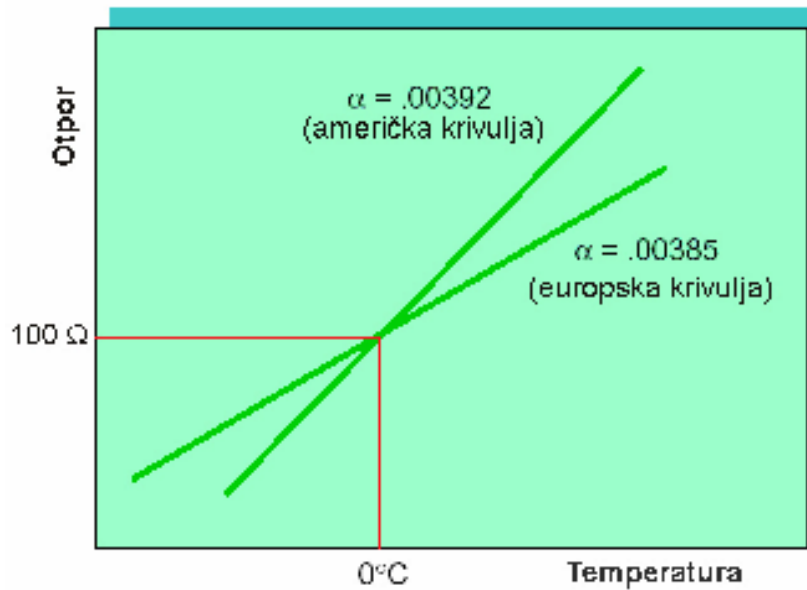
$$R_T = R_0 \cdot [1 + \alpha_1 \cdot T + \alpha_2 \cdot T^2 + \dots + \alpha_n \cdot T^n] \cong R_0 \cdot [1 + \alpha_1 \cdot T] \quad (29)$$

pri čemu je :

$R_0$  – otpor pri referentnoj temperaturi (obično temperatura ledišta vode) ,  $\Omega$

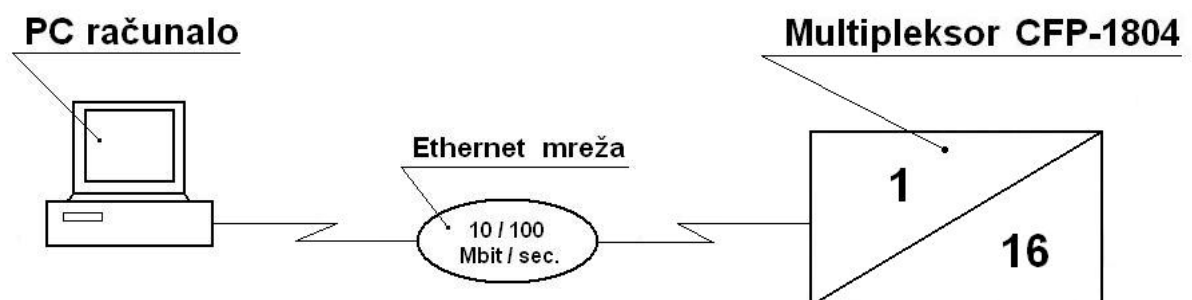
$T$  – mjerena temperatura ,  $^{\circ}\text{C}$  , K

$\alpha_i$  – temperaturni koeficijenti električnog otpora ,  $\Omega\text{ K}^{-1}$



**SLIKA 23 :** Karakteristika otporničkog Pt-100 osjetila temperature.

Platinska otpornička osjetila moraju biti malih dimenzija i postavljena u hilzne, dok vanjski promjer osjetila (ujedno i najosjetljiviji dio) mora biti manji od 5 mm. Temperaturno osjetilo u metalnoj hilzni mora biti u potpunosti vodonepropusno da osjetljivi dio ne dođe u kontakt s vodom ili mokrom vodenom parom. Dimenzija osjetila utiče na njegovo vrijeme odziva koje iznosi  $60\text{ s} \pm 15\text{ s}$ , za slučaj kada se nalazi u mirnom zraku i za promjer osjetila od 3 mm. Tako npr. upotreba sonde promjera 3 mm može dovesti i do 25 % manje procjene temperaturne stabilnosti unutar radnog volumena promatrane ispitne komore u kojoj je slaba ventilacija, a temperatura zraka varira periodično u vremenskom intervalu od 3 minute. Pod istim uvjetima pogreška je manja od 10 % za vremenski period od 8 minuta.



**SLIKA 24 :** Prikaz ispitno-mjerne linije.

### **9.6.1. TEHNIČKI PODACI OTPORNIČKIH Pt-100 MJERNIH UBODNIH OSJETILA**

- Tehnički podaci otporničkih Pt-100 mjernih ubodnih osjetila tipa RTD 902350/23-380-1001-1-4-100-2-11-4000/000, proizvođača "JUMO", Njemačka, su :

**(1)** – Basic type :

**902350/23** – RTD insertion temperature probes with silicone handle  
Ø 10 mm and PTFE cable

**(2)** – Operating temperature range in °C :

**380** – than - 50 to + 200 °C

**(3)** – Measurement insert :

**1003** – 1 x Pt-100 in 3-wire circuit ⇒ **trožilno spajanje osjetila**

**(4)** – Tolerance class per DIN EN 60 751 :

**1** – Class B (standard) ⇒ **točnost klase B**

**(5)** – Probe diameter D in mm :

**4** – Ø 4 mm

**(6)** – Insertion length EL in mm :

**100** – 100 mm

**(7)** – Insertion tip :

**2** – Concentric , angled at 25 °

**(8)** – Cable termination :

**11** – Ferrules per DIN 46228, Part 4 (Standard)

**(9)** – Cable length AL in mm , (  $500 \leq AL \leq 500000$  ) :

**4000** – 4000 mm (Standard)

**(10)** – Extra codes :

**00** – without extra codes

## **10. UMJERAVANJE MJERNIH OSJETILA**

### **10.1. OPIS POSTUPKA**

Postupkom *umjeravanja* svakog pojedinog mjernog temperaturnog osjetila, utvrđuje se *stvarna pogreška* samog osjetila unutar predviđenog mjernog raspona od cca 0–88 °C. Stvarna pogreška ne smije prelaziti klasificirane vrijednosti date od strane proizvođača.

Prema literaturi [8] i [13], u tvornici "Gavrilović" d.o.o.-Petrinja, postupak umjeravanja izvodi se kao *usporedbeno umjeravanje* u 3 kontrolne točke :

$$0\text{ °C} , + 40\text{ °C} \text{ i } + 83\text{ °C}$$

U svakoj kontrolnoj točki, u trenutku postizanja stanja *temperaturne stabilizacije*, pri posve identičnim uvjetima, mjere se električni otpor i temperatura Pt-100 otporničkih osjetila *preciznim digitalnim kalibratorom* ( Proizvođač : "Burster", Tip : 4416-Z001, SN : T-186659 ), *rezolucije* 0,02 Ω i *točnosti* 0,1 °C . Oba termometra uronjena su u prethodno definirane zone kontrolirane temperature (3 kontrolne mjerne točke) i spojena na istosmjerni otpornički most.

Prva kontrolna mjerna točka dobivena je miješanjem vode i leda temperature 0 °C, u omjeru 1:1, unutar posebno izolirane posude za tu namjenu.

Druga kontrolna mjerna točka , + 40 °C , je vrijednost pripremljene sanitarne tople potrošne vode (STPV), koja se koristi za svakodnevno pranje proizvodnog pogona tvornice.

Treća kontrolna mjerna točka je vrijednost zagrijane sterilizacijske vode na vrijednost + 83 °C , koja služi za sterilizaciju svih reznih alata (noževa, pila i sl.).

Dobiveni rezultati upisuju se u tablicu, a zatim se iz tako dobivenih rezultata računaju iznosi *apsolutne pogreške osjetila* u pojedinim mjernim točkama.

Za kontrolirano osjetilo koje u bilo kojoj od 3 spomenute definirane kontrolne točke ima vrijednost apsolutne pogreške veću od propisane od strane proizvođača, pristupa se zamjeni dotičnog osjetila novim, a vrijednost pogreške novog osjetila ne smije biti veća od one propisane od strane proizvođača.



## **10.2. ZONA KONTROLIRANE TEMPERATURE**

Raspon zone kontrolirane temperature unutar ispitne termostatirane komore, za proces termičke obrade proizvoda "Kranjska kobasica", proteže se u intervalu od  $+ 24,16\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+ 85,08\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ispitivanje ove zone provedeno je postupkom vizualnog promatranja stabilnosti (stalnosti) temperature i prostorno-temperaturnih gradijenata.

## **10.3. ODREĐIVANJE POGREŠKE ISPITNO - MJERNE LINIJE**

*Pogreška* je definirana kao svako odstupanje mjernog rezultata od stvarne vrijednosti mjerene veličine.

Da bi se posve točno utvrdila *pogreška* mjerenja *cijele ispitno-mjerne linije*, potrebno je uzeti u obzir sve sastavne elemente ispitno-mjerne linije.

U našem su slučaju mjerna osjetila numerirana od rednog *br.1* do *br.15* i spojena na prvi ulazno-izlazni modul (karticu) *RTD-122* na postojećeg mrežnom multipleksoru.

*LabView aplikacija* ovako izmjerene vrijednosti temperature sa svakog pojedinačnog kanala (mjernog mjesta) istovremeno obrađuje, prikazuje i pohranjuje u tzv. integriranu "Tablicu rezultata" (bazu podataka) za sprovedeni proces termičke obrade polutrajnog mesnog proizvoda "Kranjska kobasica".

Definirani vremenski trenutak između svakog očitavanja i pohrane je *1 sekunda*.

*LabView aplikacija* daje i mogućnost zaustavljanja očitavanja rezultata na način da na pojedinom kanalu "pamti" posljednje očitavanu vrijednost. Tako očitane vrijednosti sa kalibratora i pojedinih kanala upisuju se u tablicu, nakon čega se dobivaju *apsolutne vrijednosti pogreške* u pojedinim mjernim točkama po kanalu.

Iz istih podataka mogu se dobiti i vrijednosti *relativne* i *postotne pogreške* kao i *prosječna pogreška kanala* u spomenutom mjernom rasponu.

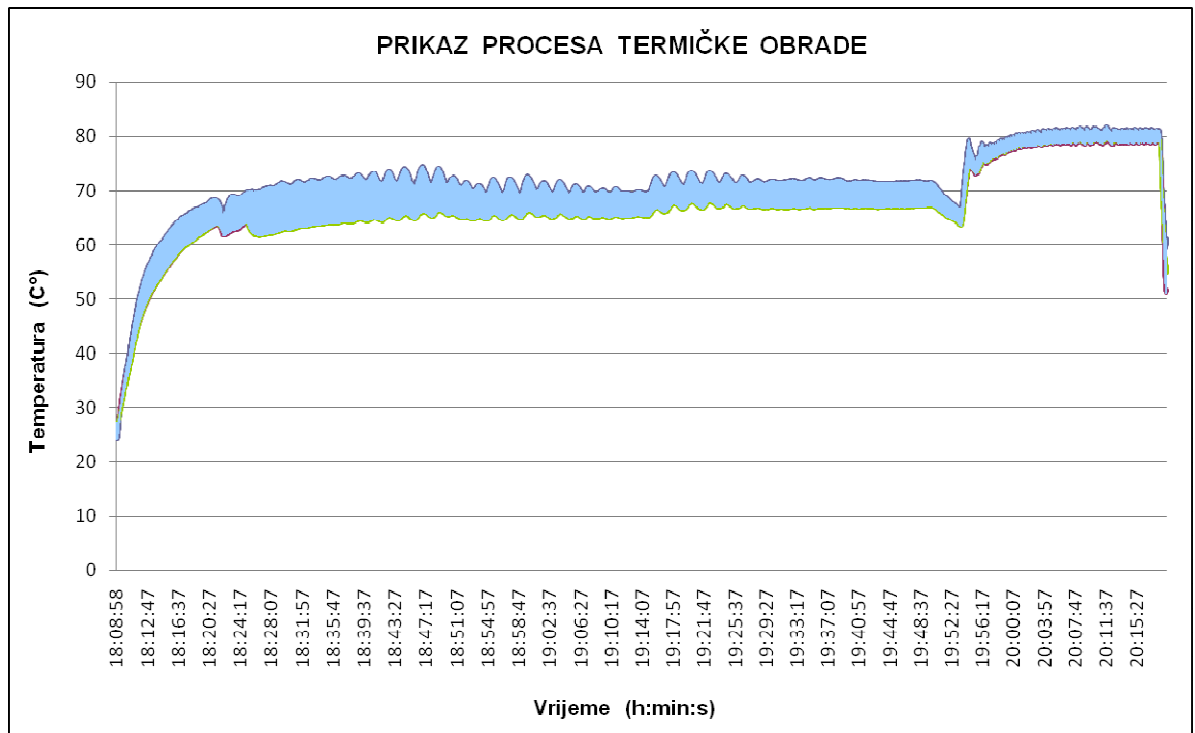
## **10.4. ANALIZA NESIGURNOSTI UMJERAVANJA**

*Identifikacijom izvora mjerne nesigurnosti* potrebno je obuhvatiti sve ono što utječe na postupak mjerenja kao što su mjerni instrumenti, pomoćna oprema, objekti mjerenja, metode mjerenja, nesigurnosti samih mjerila, načini na koji je objekt odabran za mjerenje (uzorkovanje), uvjeti okoliša i sl.

U našem slučaju, ukupna nesigurnost se sastoji od nesigurnosti određivanja temperature i nesigurnosti određivanja električnog otpora.

## 11. STABILIZACIJA TEMPERATURE PROCESA TERMIČKE OBRAD

Cjelokupan proces termičke obrade za promatrani polutrajni mesni proizvod "Kranjska kobasica  $\Phi$  32 mm", prikazan je izmjerenim vrijednostima temperature termičke obrade ( $T_{TO}$ ) unutar radnog volumena upotrebijene ispitne termostatisane komore br.5, a prikazan je na slici 25.



**SLIKA 25 :** Prikaz procesa termičke obrade proizvoda "Kranjska kobasica  $\Phi$ 32 mm" ( za 15 postavljenih mjernih temperaturnih osjetila ).

Prostorni raspored svih 15 postavljenih temperaturnih mjernih osjetila unutar radnog volumena ispitne termostatisane komore br.5 prikazan je na slici 17.

Zadana vrijednost temperature procesa termičke obrade  $T_{TO} = + 78 \text{ }^\circ\text{C}$  unaprijed je definirana i određena. Prethodna činjenica proizlazi iz specifičnosti tradicijskih, iskustvenih i tehnoloških uvjeta samog procesa termičke obrade za proizvod "Kranjska kobasica", koji datiraju unatrag posljednjih 30 godina. Unutar ovog eksperimentalnog postupka zabilježene su sve stvarne vrijednosti temperature procesa termičke obrade ( $T_{TO}$ ), od početka do kraja cijelog procesa.

Ukupno vrijeme trajanja procesa termičke obrade  $t_{TO}$  (od početka do kraja) iznosilo je :

$$2 \text{ sata, } 10 \text{ minuta i } 19 \text{ sekundi} = 130 \text{ minuta i } 19 \text{ sekundi} = 7819 \text{ sekundi}$$

## 11.1. GRAFIČKA METODA

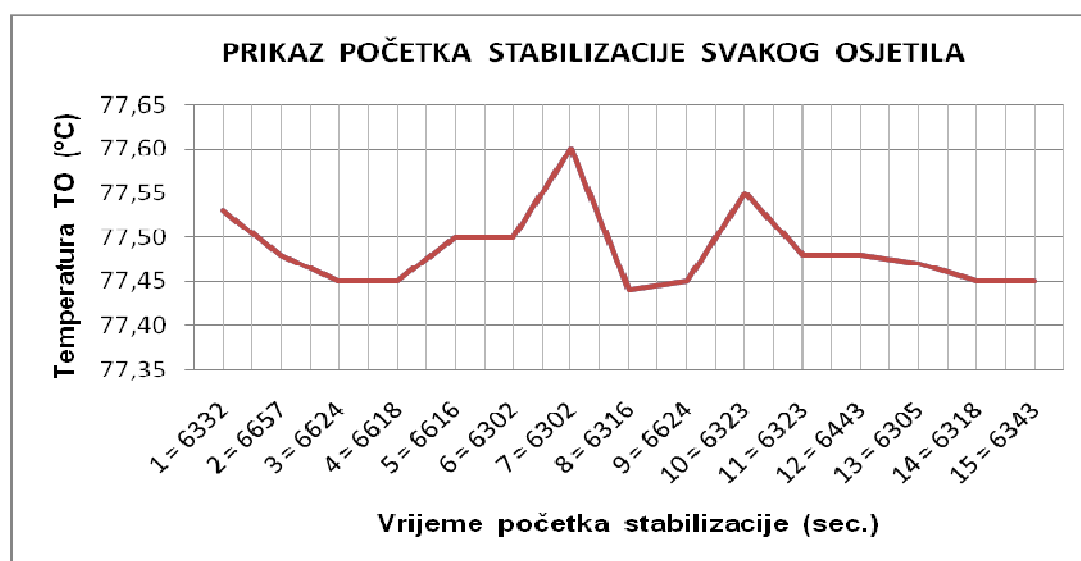
*Grafička metoda* prema literaturi [19] uključuje sljedeće : sva mjerna temperaturna osjetila koja su postavljena unutar radnog volumena ispitne termostahirane komore zapisuju (pohranjuju) vrijednosti temperature promatranog okoliša, sve do trenutka dok se ne uspostavi definirano stanje *stabilizacije* temperature termičke obrade ( $T_{TO}$ ) .

Prema literaturi [8], početak uspostavljenog okoliša konvencionalno se postiže u trenutku kada su razlike između promjena unutar izmjerenih vrijednosti  $i$  / ili određenih vrijednosti u svakoj mjernoj točki radnog volumena ispitne komore i programiranih vrijednosti, konstantne. Ove promjene procijenjuju se pomoću grafičkog očitavanja od strane operatera, a njihova je procjena izvor mjerne nesigurnosti za početak mjerenja.

Na *slici 25* grafičkom se metodom jasno vide početak i kraj procesa *stabilizacije* temperature procesa termičke obrade za svih 15 mjernih temperaturnih osjetila unutar radnog prostora promatrane ispitne termostahirane komore.

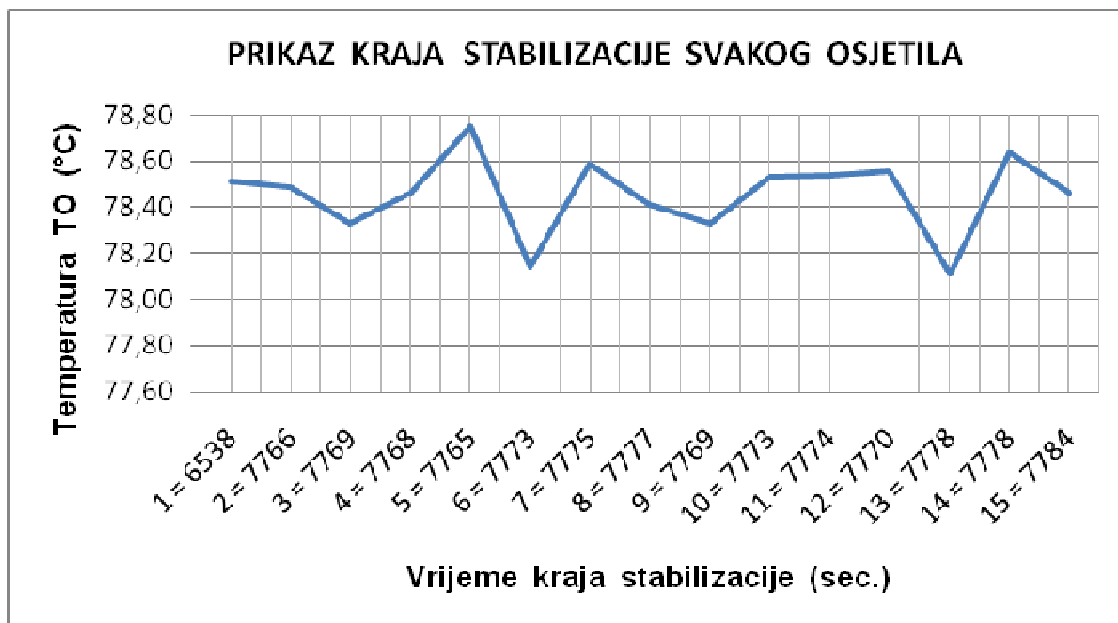
Prema spomenutoj metodi, početak procesa stabilizacije započeo je u 19:56:01 h (= 6425. sekundi procesa) , a završio u 20:18:22 h (= 7766. sekundi procesa) .

*Stabilno stanje* ili *stabilizacija temperature* procesa termičke obrade ( $T_{TO}$ ), za proizvod "Kranjska kobasica", postiglo se u dijelu vremenskog intervala cjelokupnog procesa, s dopuštenim odstupanjem vrijednosti temperature ( $T_{TO}$ ) od +/- 0,5 °C , kako je prikazano na *slici 26* .



**SLIKA 26 :** Prikaz početka procesa stabilizacije za svako pojedinačno mjerno temperaturno osjetilo (15 kom.).

Izmjerene stvarne vrijednosti početka i kraja *stabilizirane temperature procesa termičke obrade* ( $T_{TO}$ ), za mjerna osjetila od rednog *br.1* do *br.15*, prikazane su na slikama 26 i 27.



**SLIKA 27 :** Prikaz kraja procesa stabilizacije za svako pojedinačno mjerno temperaturno osjetilo (15 kom.).

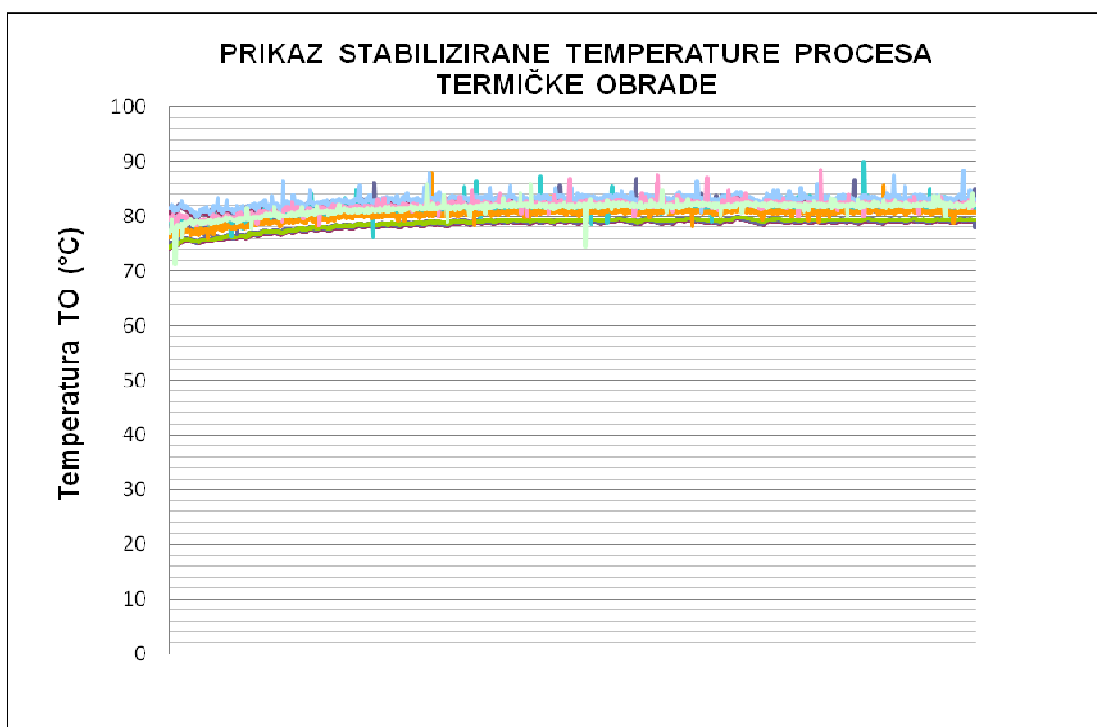
Stabilizirana temperatura procesa termičke obrade ( $T_{TO}$ ), s odstupanjem vrijednosti iste od  $\pm 0,5$  °C, prikazana je na slici 28.

## **11.2. NAČELO STABILNOSTI**

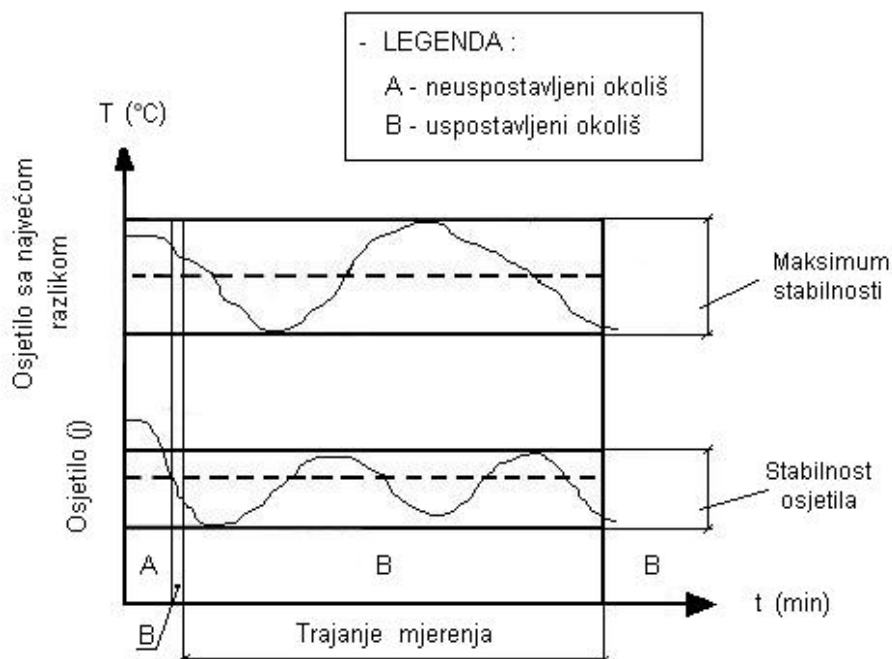
Prema literaturi [11] i [19], *načelo stabilnosti temperature*, unutar radnog volumena ispitne termostatirane komore, omogućava promjenu u maksimumu vrijednosti temperature za svaku mjernu točku koja se nalazi unutar radnog volumena komore, a jednoznačno je određena trajanjem vremena mjerenja.

- parametri koji su važni za ovo načelo izračunati su i definirani na sljedeći način :

- Stabilnost  $j$  točke ( $S\theta_j$ ) - je razlika između maksimuma i minimuma izmjerenih vrijednosti svake točke unutar intervala trajanja vremena mjerenja
- Maksimum stabilnosti ( $S\theta_M$ ) - je maksimalna vrijednost stabilnosti ( $S\theta_j$ ) za vrijeme trajanja vremena mjerenja (slika 29)



**SLIKA 28 :** Prikaz stabilizirane temperature procesa termičke obrade ( $T_{TO}$ ) s odstupanjem vrijednosti temperature ( $T_{TO}$ ) od  $\pm 0,5$  °C.



**SLIKA 29 :** Stabilnost i maksimum stabilnosti točke unutar radnog volumena ispitne komore.

## **12. SMETNJE ( POREMEĆAJI ) VEZANE UZ KOMORU**

Termostatirana ispitna komora prema literaturi [9] generira i/ili prenosi smetnje (poremećaje) koji su potom "odgovorni" za utjecaj naspram uzoraka ili pak ispitivanja, a mogu se pojaviti kao :

- mehaničke vibracije
- zagađenje bilo koje vrste
- smrzavanje ili kondenzacija
- korozija
- obnova zraka
- neujednačena distribucija vodene pare
- izlaganje zračenju zidova

Prethodno rečeno nije posve temeljito, pa stoga korisnik mora osigurati opremu koja je odgovarajuća (kompatibilna) sa svim njegovim zahtjevima.

### **12.1. SMETNJE KAO POSLJEDICA UZORKA**

*Uzorak* koji je smješten unutar ispitne komore sam je po sebi uzrok sigurnih smetnji. Kao posljedica toga od izuzetne je važnosti uzeti u obzir sljedeća razmatranja :

- masa, priroda, oblik i dimenzije uzorka
- utjecaj uzorka na cirkulaciju zraka unutar ispitne komore
- kapacitet koji isijava (ispušta) ili apsorbira vodenu paru
- izlaganje toplinskom djelovanju zračenja disipacijskog uzorka
- rizik od zagađenja atmosfere unutar komore (uklanjanje plina, emisija sredstva koje nagrizava, zapaljivo-eksplozivana-vodljiva para, emisija prašine...)
- vibracije uzrokovane uzorkom u radu
- elektromagnetske smetnje (vibracije) kao posljedica uzorka

### **12.2. RAZLIKA PROIZAŠLA IZ PROGRAMIRANE VRIJEDNOSTI ( $\Delta\theta_{CO}$ )**

Prema literaturi [3] i [19] , razlika proizašla iz programirane vrijednosti dopušta korekciju koja postoji zbog programirane vrijednosti za vrijeme upotrebe same komore, a utvrđena je u cilju dobivanja željenih uvjeta okoliša unutar radnog volumena ispitne termostatirane komore.

Na slici 30 prikazana je razlika proizašla iz programirane vrijednosti ( $\Delta\theta_{co}$ ), a nastala je između programirane vrijednosti ( $\theta_{co}$ ) i temperature zraka ( $\theta_{air}$ ):

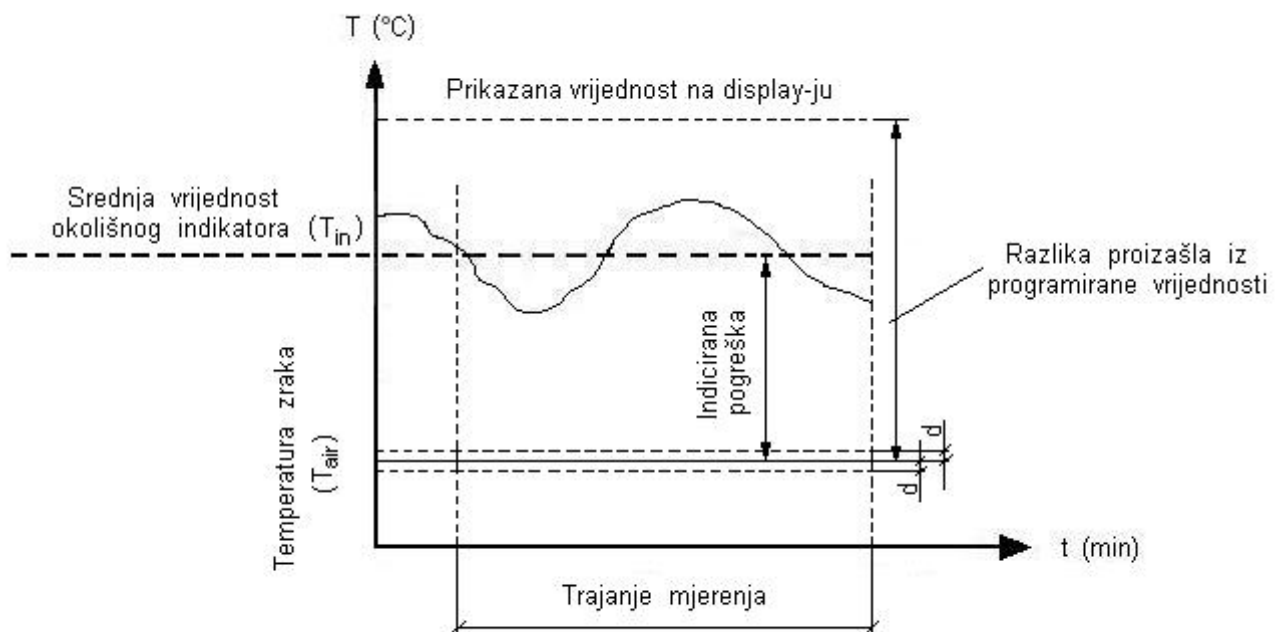
$$\Delta\theta_{co} = \theta_{co} - \theta_{air} \quad (30)$$

U cilju postizanja željenog ili posebnog uvjeta, korekcija može biti sastavljena od promjenljive programirane vrijednosti. Ovaj postupak mora biti prikazan u karakterističnom izvještaju.

Prikaz pogreške omogućava pokazivanje njezine vrijednosti na ekranu pomoću karakterističnog indikatora uspostavljenog okoliša unutar radnog volumena komore.

Prikaz pogreške ( $\Delta\theta_{in}$ ) je razlika između prikazane srednje temperature okoliša ( $\theta_{in}$ ) i temperature zraka u komori ( $\theta_{air}$  = aritmetička sredina srednjih vrijednosti temperature po svakom pojedinačnom osjetilu za vrijeme trajanja procesa mjerenja):

$$\Delta\theta_{in} = \theta_{in} - \theta_{air} \quad (31)$$



**SLIKA 30 :** Razlika proizašla iz programirane vrijednosti i indicirane pogreške.

### **12.3. VRIJEME REGULACIJE**

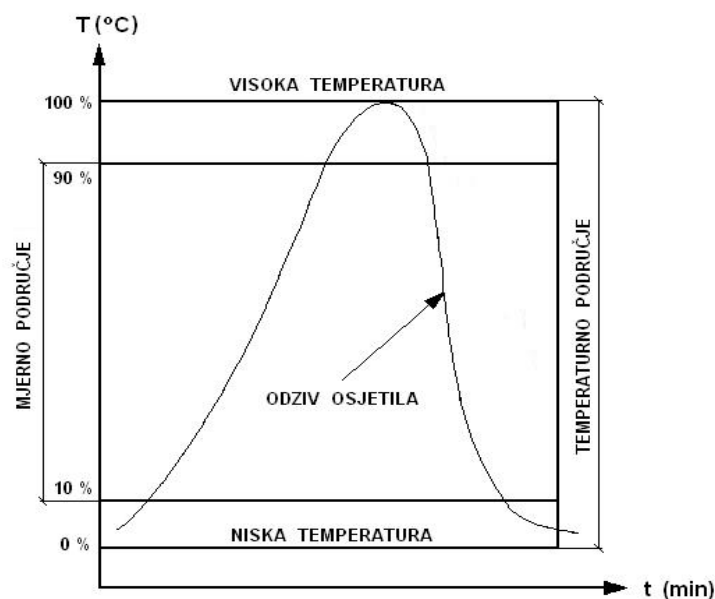
Kada se ispitna komora nalazi unutar uspostavljenog okoliša, vrijeme regulacije je vremenski period potreban da se stanje trenutnog okoliša vrati u stanje uspostavljenog okoliša nakon smetnje (poremećaja). Ovo vrijeme izmjereno je kod namjernih radnji kao što su npr. otvaranje vrata komore, prekid napajanja energijom i sl., a njegovo trajanje mora biti utvrđeno. U slučaju otvorenih vrata komore, vremenski interval kada su vrata potpuno otvorena iznosi cca 1 minutu (osim za slučaj posebnih specifikacija).

Vrijeme regulacije izraženo je u minutama. Vremenski interval između 2 mjerenja mora biti prikladan za učinak promatranja.

### **12.4. NESTABILNO PREKORAČENJE DOPUŠTENE TEMP. GRANICE**

Ovo je efekt objašnjen u literaturi [19] i može se pojaviti prije postizanja stanja uspostavljenog okoliša unutar radnog volumena ispitne komore. Treba imati na umu da ovaj efekt ne može biti modeliran, tj. može biti samo pohranjen (zapisan).

*Nestabilan prijelaz dopuštene temperaturne granice* određen je zapisima koji karakteriziraju *homogenost* i *stabilnost*. Ova vrijednost određena je za svako mjerno osjetilo smješteno unutar radnog volumena ispitne komore. Karakterizacija promjene u temperaturi unutar radnog volumena omogućava da brzina promjene između 2 temperaturna koraka bude određena za vrijeme trajanja samog mjerenja. Prema konvenciji, ovo područje kreće se između 10 % i 90 % temperaturnog raspona i prikazano je na slici 31.



**SLIKA 31 :** Promjena vrijednosti unutar parametra temperature u radnom volumenu ispitne komore.



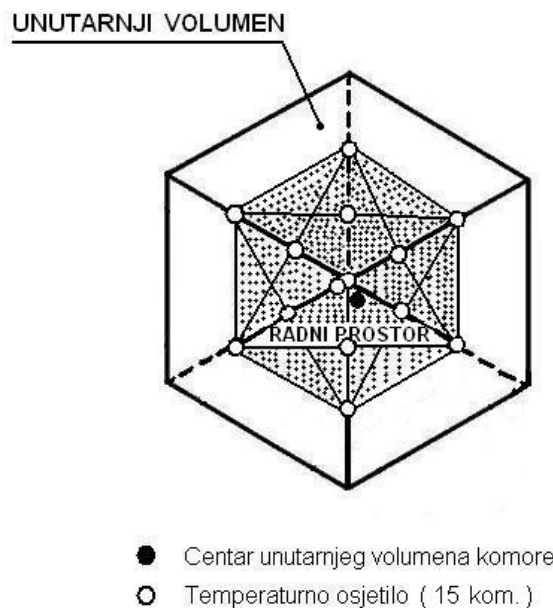
Određivanje promjene unutar vrijednosti temperature izvodi se za svako pojedino mjerno osjetilo. Spomenuto određivanje promjene izvodi se u oba slučaja, tj. i zbog nedostatka i u prisutnosti uzorka (proizvoda) smještenog unutar radnog volumena komore.

Iz prethodnog proizlazi :

- 1.) Karakterizacija izvršena zbog *nedostatka uzorka* osmišljena je i kreirana da uspostavi baznu liniju podataka koji omogućavaju daljnje usporedbe za proces termičke obrade
- 2.) Karakterizacija izvršena *u prisutnosti uzorka* koristi se za ovjeru (verifikaciju) posebnih zahtjeva koji se primjenjuju unutar procesa termičke obrade (TO).

⇒ Okarakterizirati promjene unutar vrijednosti parametra temperature predmet je specifičnih svojstava koja uključuju i instrumentarij u radnom volumenu komore :

A) " Konfiguracija uzorak odsutan " - različite brzine promjene temperature određene su na mjestima (položajima) svih temperaturnih mjernih osjetila (*slika 32*).

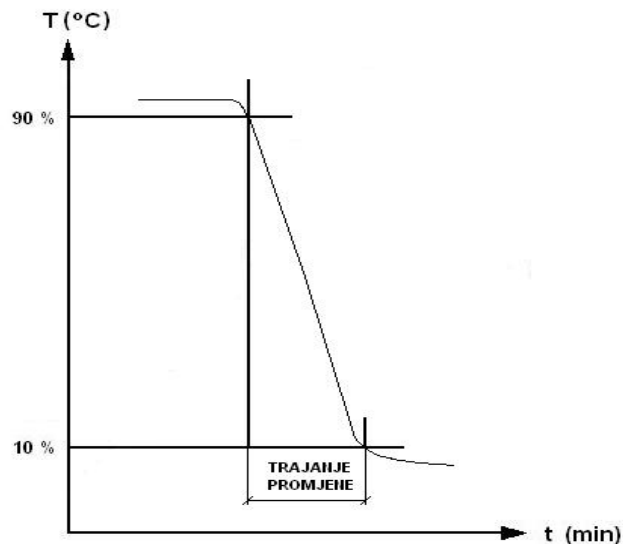


**SLIKA 32 :** Prikaz položaja temp. osjetila za radne volumene komora većih od  $2 \text{ m}^3$  i manjih ili jednakih  $20 \text{ m}^3$ .

B) " Konfiguracija uzorak prisutan "

- prisutnost uzorka (proizvoda) remeti cirkulaciju zraka. Osjetila koja su postavljena najbliže uzorku, s obzirom na ulaz zraka, moraju biti obuhvaćena proračunom. Osjetilo koje je usmjereno prema centru, najviše je (najbliže) pomaknuto prema samom uzorku (proizvodu) i najvećim je dijelom poravnato prema osjetilima koja okružuju klapnu ili površinu izloženu nastrujavanju zraka.

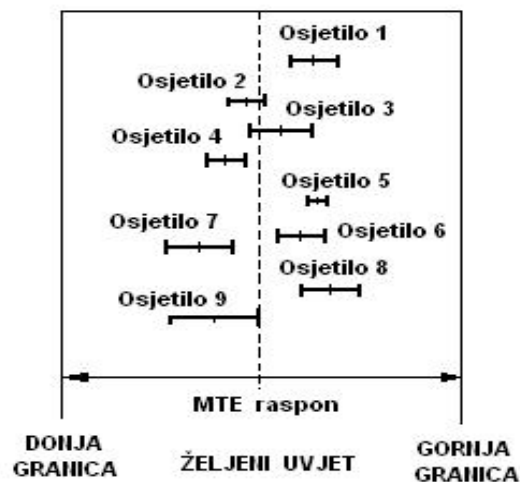
Trajanje promjene pohranjeno je (snimljeno) kao vrijeme koje se mijenja između 10 % i 90 % (ili obratno) unutar temperaturnog raspona. Za svako pojedino mjerno osjetilo, vrijednosti temperature upotrebljene su kao vrijednosti koje su najbliže teoretskim 10 % i 90 % vrijednostima unutar temperaturnog raspona što je prikazano na slici 33.



**SLIKA 33 :** Vrijeme trajanja temperaturne promjene.

**PRAVILO USKLAĐENOSTI ISPITNE KOMORE**

Da bi se promatrana ispitna komora proglasila usklađenom, srednja vrijednost svih mjerenja ( $x_{mj}$ ) za svako temperaturno mjerno osjetilo, kao i njihova proširena nesigurnost ( $U_{mj}$ ), mora se za svaki parametar navesti položaj unutar MTE-intervalala (MTE= maximum tolerated errors) smještenog oko naznačenih vrijednosti, što je prikazano na slici 33-1.



**SLIKA 34 :** Primjer usklađenosti ispitne komore.

### **13. PROCJENA MJERNE NESIGURNOSTI NOVOG POSTUPKA**

Prema literaturi [17], mjerna nesigurnost predmeta umjeravanja (u ovom radu je to platinski otpornički termometar) sastoji se od sljedećih komponenti-sastavnica mjerne nesigurnosti:

- Komponente nesigurnosti predmetnog termometra – piše u umjernici
- Komponente otporničkog mosta – piše u umjernici
- Komponente "drifta" termometra – vrijednost za koliko termometar kroz vrijeme promjeni svoje očitavanje
- Komponente gradijenata (kupka, peć)
- Komponente rezolucije etalonskog instrumenta (kalibratora)

Područje djelovanja predloženog postupka, za uspostavu ispitne metodologije, prikazano je rezultatima procjene promatrane termostatirane ispitne komore u *tablici 21*, za željenu kontroliranu temperaturu zadane točke termičke obrade polutrajnog mesnog proizvoda "Kranjska kobasica  $\Phi$  32 mm" od  $T_{TO} = t_{SP} = +78$  °C i za srednju početnu temperaturnu točku  $t_{RP} = +26$  °C, unutar radnog volumena ispitne komore.

*Temperaturna nesigurnost* razmatrana je kao *A tip temperaturne nesigurnosti* kod *i-tih* mjesta mjerenja (mjernih osjetila), s *95 %-nom* pouzdanošću.

*Stabilizacijom temperature* u svakoj mjernoj točki (15 kom.) radnog volumena promatrane ispitne termostatirane komore, postignuta je definirana konstantna vrijednost dopuštenog odstupanja temperature termičke obrade u vrijednosti od  $\pm 0,5$  °C između njezine stvarne i programirane vrijednosti. Ove promjene procjenjuju se pomoću grafičkog očitavanja od strane operatera, a njihova je procjena izvor mjerne nesigurnosti za početak mjerenja.

*Prosječan udio porasta temperature u početnoj točki (RP=Reference Point)* je udio izražen u stupnjevima po satu, za prijelaz topline između 2 točno određene temperature izmjerene u centru radnog volumena promatrane ispitne termostatirane komore.

*Temperaturni gradijent* je maksimalna razlika u srednjoj vrijednosti temperature, nakon postignute stabilizacije, u bilo kojem trenutku vremena, između 2 odvojene točke unutar radnog prostora ispitne termostatirane komore.

### **13.1. USPOSTAVA OKOLIŠNIH UVJETA POMOĆU STATISTIČKE METODE**

Za slučaj kada nemamo drugačiju vrstu poremećaja (smetnji) od one koja je uobičajena, situacija početnog poremećaja uspostavlja se čim je dobiveno raspršivanje (dispersija) srednje vrijednosti parametra temperature, a koje se ne mijenja značajnije s vremenom.

#### **13.1.1. SADRŽAJ ( ZNAČENJE ) TESTA**

Prema literaturi [19] , zapis mjerenja podijeljen je u nekoliko jednakih vremenskih intervala za vrijeme svakog mjerenja, a temperatura ima beskonačan broj vrijednosti. Prethodno može biti određeno pomoću temperaturne srednje vrijednosti ( $m_i$ ) i variance (SS) .

Po 30 uzastopnih temperaturnih mjerenja izvodi se za vrijeme svakog vremenskog intervala. Ova mjerenja predstavljaju primjer koji je upotrebljen za procjenu srednje vrijednosti ( $m_i$ ) i variance (SS) .

- Oznake i simboli koji se koriste su sljedeći :

$m_i$  - " stvarna " srednja vrijednost temperature unutar vremenskog intervala ( $i$ )

$\sigma_i^2$  - " stvarna " varianca temperature unutar vremenskog intervala ( $i$ )

$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k$  - procjena srednje vrijednosti ( $m_i$ )

$\sigma_i^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x}_i)^2$  - procjena variance (SS)

$\sigma_i^2$  sensor - poznata varianca osjetila i mjernog sistema (u uvjetima ponovljivosti) povezana sa serijom mjernih rezultata

Test uključuje verifikaciju (ovjeravanje) niza hipoteza kod granice pouzdanosti od 95 % za svaki vremenski interval.

### **13.1.2. HIPOTEZA A**

Hipoteza A govori o tome da je parametarska studija stabilnija od mjernog sistema, tj. da vrijedi :  $SS^2 \leq SS^2_{sensor}$  . Ova situacija može se desiti kada je rezolucija mjernog instrumentarija neadekvatna.

- ako je :  $s_i^2 \leq 1.47 s^2_{sensor} \Rightarrow$  Hipoteza A se prihvaća !

Ova situacija koristi se u *slučaju 1*.

- ako je :  $s_i^2 \geq 1.47 s^2_{sensor} \Rightarrow$  Hipoteza A se odbacuje !

Ova situacija koristi se u *slučaju 2*.

Za potrebe pojednostavljenja pretpostavlja se da je test (ispitivanje) koji se izvodi unutar vremenskog intervala (*i*) također istinito i za vremenski interval (*i+1*) .

**Slučaj 1 :** Koristi se test (ispitivanje) u slučaju analiziranog parametra koji je stabilniji od korištenog mjernog sistema. U ovom slučaju beskorisno je ispitati variance procijenjene unutar uzastopnih vremenskih intervala kao prethodno spomenute , a koje su jednake prema pretpostavci. Test je verifikacijski ograničen jer su srednje vrijednosti jednake .

### **13.1.3. HIPOTEZA B**

Prema *hipotezi B*, dvije su uzastopne srednje vrijednosti jednake kada vrijedi :  $m + 1 = m_i$

- ako je :  $S_i \cdot |\bar{x}_i - \bar{x}_{i+1}| \geq 1.96 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\sigma_{\text{capteur}}^2}{30}} \Rightarrow$  Hipoteza B se odbacuje !

Uzastopne srednje vrijednosti nisu jednake : uspostavljeni okoliš nije postignut, pa se test mora ponoviti za vremenski interval (*i+1*) iz hipoteze A !

- ako je :  $S_i \cdot |\bar{x}_i - \bar{x}_{i+1}| \leq 1.96 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\sigma_{\text{capteur}}^2}{30}} \Rightarrow$  Hipoteza B se prihvaća !

Traženo osjetilo nalazi se unutar uspostavljenog okoliša. Test je završen za ovo osjetilo.

**Slučaj 2 :** Koristi se test (ispitivanje) u slučaju analiziranog parametra koji je manje stabilan od korištenog mjernog sistema. Ovo je općenita situacija.

- Test (ispitivanje) sastoji se od :

- testa ekvivalentnosti (jednakih vrijednosti) variance  $\Rightarrow$  Hipoteza C
- testa ekvivalentnosti (jednakih vrijednosti) srednjih vrijednosti za vremenske intervale (*i*) i (*i+1*)  $\Rightarrow$  *hipoteza D*

### **13.1.4. HIPOTEZA C**

U hipotezi C uzastopne su variance jednake kada vrijedi izraz :  $\sigma_{i+1}^2 = \sigma_i^2$

- ako je :  $\max\left(\frac{s_i^2}{s_{i+1}^2} \cdot \frac{s_{i+1}^2}{s_i^2}\right) \geq 2.1 \Rightarrow$  Hipoteza C se odbacuje !

Uspostavljeni okoliš u ovom slučaju nije postignut.

Test mora biti ponovo pokrenut za vremenski interval  $(i+1)$  prema hipotezi A.

- ako je :  $\max\left(\frac{s_i^2}{s_{i+1}^2} \cdot \frac{s_{i+1}^2}{s_i^2}\right) \leq 2.1 \Rightarrow$  Hipoteza C se prihvaća !

Hipoteza jednakih srednjih vrijednosti mora biti verificirana (ovjerena).

### **13.1.5. HIPOTEZA D**

Za hipotezu C vrijedi kada su uzastopne srednje vrijednosti jednake :  $m_{i+1} = m_i$

- ako je :  $|\bar{x}_i - \bar{x}_{i+1}| \geq 2 \cdot \sqrt{\frac{s_i^2 + s_{i+1}^2}{30}} \Rightarrow$  Hipoteza D se odbacuje !

Uzastopne srednje vrijednosti nisu jednake : uspostavljeni okoliš nije postignut, pa test mora biti ponovo pokrenut za vremenski interval  $(i+1)$  iz hipoteze A !

- ako je :  $|\bar{x}_i - \bar{x}_{i+1}| \leq 2 \cdot \sqrt{\frac{s_i^2 + s_{i+1}^2}{30}} \Rightarrow$  Hipoteza D se prihvaća !

Traženo osjetilo nalazi se unutar uspostavljenog okoliša. Test je završen za ovo osjetilo.

Test je potpuno završen kada su sva osjetila upotrebljena za karakterizaciju komore koja je deklarirana da bude unutar uspostavljenog okoliša.

## **13.2. PRORAČUN MJERNE NESIGURNOSTI POVEZAN SA SREDNJOM VRIJEDNOSTI MJERNIH OSJETILA**

- U literaturi [19] komponente koje se mogu zanemariti uključene su u proračun kao :

- **Ponovljivost**

Stalna je pretpostavka da su mjerenja zavisna jedno od drugog, tj. pretpostavljeno je da su mjerenja potpuno povezana i u međusobnoj korelaciji.

Kao rezultat prethodnog, *ponovljivost* je procijenjena pomoću eksperimentalne standardne devijacije ( $s_j$ ) i nestandardne pogreške srednje vrijednosti ( $s_j/\gamma n$ ).

- **Eksperimentalna standardna devijacija ( $s_j$ )**

$$s_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ji} - x_{mj})^2} \quad (32)$$

gdje je :

$$x_{mj} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ji} \quad \text{- srednja vrijednost od } n \text{ mjerenja za } j\text{-to osjetilo}$$

$x_{ji}$  - vrijednost  $i$ -tog mjerenja za  $j$ -to osjetilo

$n$  - broj ponovljenih mjerenja

$s_j$  - pokazuje promjene u izmjerenom parametru pomoću  $j$ -tog osjetila za vrijeme trajanja vremena mjerenja ( $\Delta t$ )

Ostale metode postoje da bi se odredilo sve ispitne parametre (kao npr. i njihove raspone). Proširene nesigurnosti moraju biti prikazane kao 95 %-tna vjerojatnost da bi bile usporedive.

- **Složena nesigurnost ( $u_{cj}$ ) mjernog sistema osjetila**

Mjerni se sistem sastoji od osjetila, njegovog pretvarača (converter-a), display-ja i ostalih pomoćnih dijelova. Ova nesigurnost uzima u obzir unutar proračuna i kalibraciju, izvedenu rezoluciju i sl.

- složena nesigurnost ( $u_{mj}$ ) procijenjena je pomoću :

$$u_{mj} = \sqrt{s_j^2 + u_{cj}^2} \quad (33)$$

- proširena nesigurnost ( $U_{mj}$ ) procijenjena je pomoću :

$$U_{mj} = k \cdot \sqrt{s_j^2 + u_{cj}^2} \quad (34)$$

### **13.3. PRORAČUN MJERNE NESIGURNOSTI POVEZAN SA SRED. VRIJEDNOSTI SVIH MJERENJA ( $x_{air}$ ) PARAMETARA IZMJERENIH U RADNOM VOLUMENU ISPITNE KOMORE**

#### **13.3.1. KOMPONENTE PROŠIRENE NESIGURNOSTI**

Prema literaturi [19], u proračun mjerne nesigurnosti potrebno je uzeti u obzir isključivo one komponente koje se ne zanemaruju (imaju značajan utjecaj), a u daljnjem tekstu definirane su kao :

- **Složena nesigurnost ( $u_c$ ) mjernog sistema**

$$u_c = \max ( u_{cj} )$$

- **Sposobnost reproduciranja**
- **Standardna pogreška ponovljivosti ( $s_r$ )**

Ako standardne devijacije ( $s_j$ ) nisu različite od standardne pogreške, ponovljivost se procjenjuje prema sljedećem izrazu :

$$s_r = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N s_j^2} \quad (35)$$

gdje je :

$$s_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ji} - x_{mj})^2} \quad \text{- eksperimentalna standardna devijacija}$$

$$x_{mj} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ji} \quad \text{- srednja vrijednost od } (n) \text{ mjerenja za } j\text{-to osjetilo}$$

$x_{ji}$  - vrijednost  $i$ -tog mjerenja za  $j$ -to osjetilo

$n$  - broj ponovljenih mjerenja

$N$  - broj mjernih osjetila

- Za slučaj u kojem su rasipanja značajno različita između osjetila , ( $s_r$ ) postaje :

$$s_r = \max ( s_j )$$



- **Standardna devijacija reproduciranja ( $s_R$ )**

Standardna devijacija reproduciranja ( $s_R$ ) karakterizira prostorno-vremensku heterogenost komore i procjenjuje se prema izrazu :

$$s_R = \sqrt{s_r^2 \left(1 - \frac{1}{n}\right) + \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (x_{mj} - x_{air})^2} \quad (36)$$

gdje je :

$$x_{air} = \frac{1}{N \cdot n} \sum_{j=1}^N \cdot \sum_{i=1}^n x_{ji} \text{ - srednja vrijednost svih mjerenja (opća srednja vrijed.)}$$

$N$  - broj mjernih osjetila

$n$  - broj ponovljenih mjerenja

### **13.3.2. PROŠIRENA NESIGURNOST POVEZANA S OPĆOM SREDNJOM VRIJEDNOSTI**

Kod  $n$  mjerenja za  $N$  osjetila , proširena nesigurnost povezana je s općom srednjom vrijednosti, a određuje se pomoću izraza :

$$U = k \sqrt{s_R^2 + u_c^2} \quad (37)$$

#### **13.3.2.1. PROMJENJIVOST KONTROLIRANE TEMPERATURE**

Karakterizacija promjenjivosti vrijednosti kontrolirane temperature uključuje određivanje brzina u pojedinačnim točkama unutar vremena između 2 koraka kod unaprijed određene učestalosti (ponavljanja).

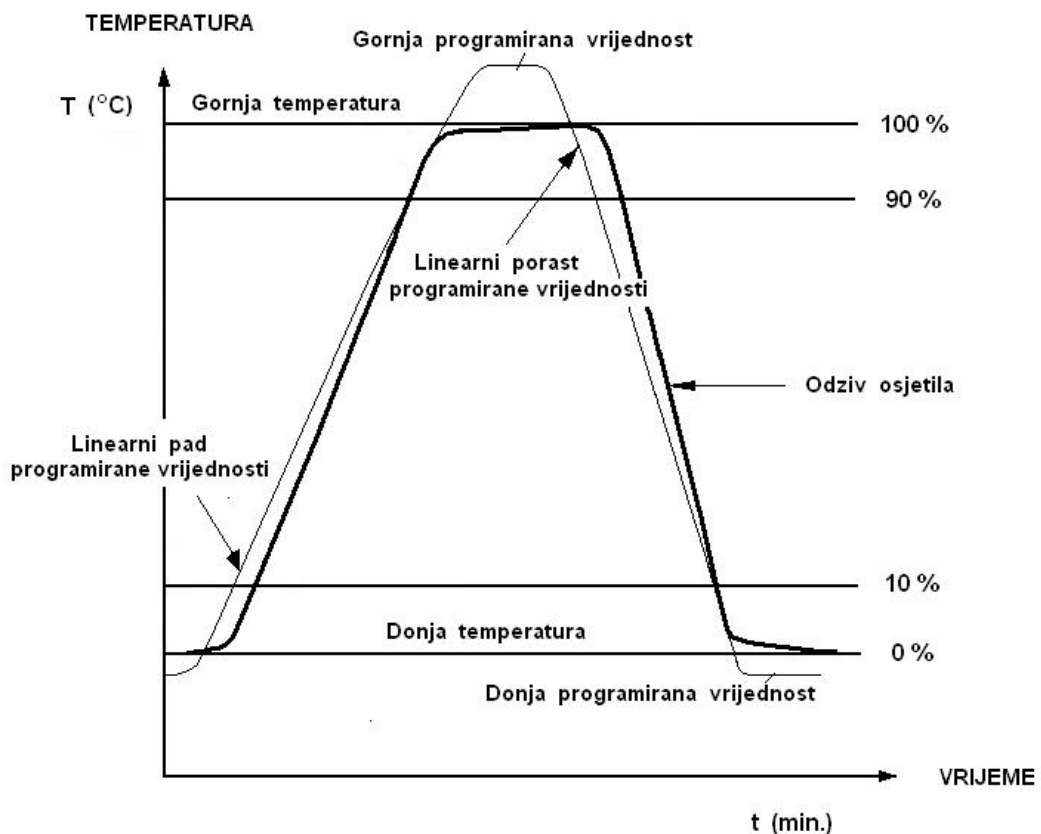
Ovakav tip karakterizacije objašnjen je prema literaturi [19] s ciljem da se naglasi pažnja glede osobe koja posjeduje posebna znanja i vještine koje svaki laboratorij i servis zahtjevaju.

Karakterizacija uključuje određivanje brzine promjenljivosti kod pojedinačnih točaka u vremenu ( $v_j$ ) , koje prema ispitnim publikacijama (test izdanjima) može imati granice tolerancije od  $\pm 20\%$  do  $\pm 50\%$  .

Prethodne vrijednosti tolerancija primjenjuju se za slučajeve kada su promjenjivosti po svojoj prirodi vremenski spore. Za promjene koje su po svojoj prirodi vremenski brze, vrijednosti tolerancija mogu s druge strane postati adekvatne ili čak neprihvatljive.

Kao rezultat svega prethodno izrečenog, poželjan je baš ovakav tip karakterizacije. Njime se dobija predmet dogovora između "strana" u cilju ispravnog interpretiranja svih dobivenih mjernih rezultata.

Prethodno se preporuča i zbog temperaturnog raspona koji varira između 10 % i 90 % .



**SLIKA 35 :** Promjenjivost kontrolne temperature u radnom volumenu ispitne termostatirane komore .

## **14. ZAVRŠNA PROCJENA NOVE KOMORE**

Prema literaturi [11], dobiveno temperaturno polje unutar radnog volumena termostatisane ispitne komore, za proces termičke obrade proizvoda "Kranjska kobasica", prikazano je rezultatima u *tablici 11*. Srednja vrijednost temperature RP, za 15 osjetila, u početnom vremenskom intervalu  $\tau = 1 \text{ s}$ , procesa termičke obrade (TO), unutar radnog volumena ispitne komore, bila je  $T_{RP} = +26,03 \text{ }^\circ\text{C}$ , a vrijednost zadane temperature  $T_{TO} = +78 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Porast temperature procesa termičke obrade (TO) od referentne-početne temperature  $T_{RP}$  do zadane temperature termičke obrade  $T_{TO}$  prikazan je na *slici 25*.

Red. broj	ISPITNI PARAMETAR	TEMPERATURA PROCESA TERMIČKE OBRADE			
		Oznaka	Jednadžba	Vrijednost	u, °C
1.	Prosječan udio rasta u RP	$\Delta t_{RP} / \Delta \tau$	(11)	15,25 °C/h	----
2.	Max. prostorna devijacija u odnosu na RP	$\overline{\Delta t_{RP}}$	(16)	0,34 °C	0,3
3.	Max. prostorna devijacija kroz radni volumen	$\overline{\Delta t_C}$	(17)	0,54 °C	0,3
4.	Maksimalna nestabilnost	$\overline{\delta t}$	(13)	0,13 °C	0,0
5.	Devijacija u odnosu na SP	$Dt_{SP}$	(18)	0,04 °C	0,2

**TABLICA 11** : Rezultati završne procjene ispitne termostatisane komore.

Predložena ispitna metodologija uključuje razmatranje parametara prosječnog udijela rasta temperature u RP, maksimalne prostorno-temperaturne devijacije (odstupanja) u odnosu na RP, prostorne stalnosti (jednoličnosti) temperature, maksimalne prostorne devijacije kroz radni volumen ispitne termostatisane komore, maksimalne nestabilnosti i odstupanja u odnosu na SP.

Rezultatima završne procjene ispitne termostatisane komore prikazani su ujedno i dinamika zagrijanja i hlađenja radnog volumena unutar komore između 2 temperaturne radne točke, pojedinačan i ukupan utjecaj relevantnih parametara, kao i procjena pripadajuće mjerne nesigurnosti.

## **15. ZAKLJUČAK**

Prema postavljenom cilju ovog istraživanja, prikazana ispitna metodologija je zapravo predmet istraživanja, a definirana je kao ispitno-informacijski model (sustav) podataka za određeni polutrajni mesni proizvod, koji predstavlja jezgru oko koje je ova metodologija i izgrađena. Pregled teoretskog područja poslužio je za upoznavanje s nizom osnovnih utjecaja za definiranje ispitno-mjerno-informacijskog modela mjernih podataka o proizvodu. Takvim utjecajnim značajkama prikazan je osnovni skup potreba koje je bilo potrebno razmatrati prilikom definiranja ispitno-mjerno-informacijske infrastrukture prikazanog modela, te su oni opisani "Metodom odzivnih površina" (RSM), koja je dala bitne informacije o broju i rangiranju svih utjecajnih veličina (parametara) na promatrani proizvod. Kao važni elementi metode posebno su naglašene odabrane ulazne i izlazne utjecajne veličine.

Nastavak daljnjeg istraživanja autor ovog rada vidi, prije svega, u integraciji prethodno prikazanog postupka za uspostavljanje nove ispitne metodologije, sa svim fazama životnog vijeka, kako postojećih tako i novih polutrajnih mesnih proizvoda. S tom svrhom, potrebno je u opisanu ispitnu metodologiju uključiti i u ovom radu prikazane temperaturne mjerne podatke iz svih ostalih faza životnog vijeka takvog proizvoda. Također, potrebno je, opisani ispitno-mjerno-informacijski model prikupljenih podataka za određeni proizvod, proširiti i na upotrebu u početnoj fazi procesa termičke obrade (TO), zbog spomenutog problema deformacije proizvoda. Posebno se to odnosi na opisivanje zahtjeva glede funkcionalne mesne-strukture proizvoda, odnosno, definiranja veze između svih prikupljenih temperaturnih podataka koji opisuju proizvod gledan na različite načine.

Otvorenim pitanjem ostaje integracija predloženog ispitnog modela i ostalih računalnih alata, a koje tehnolozi unutar tvornice "Gavrilović" koriste u svakodnevnom radu. Ono što se može u ovom trenutku predvidjeti jest, svakako, potreba za uključivanjem svih mjernih podataka vezanih za geometriju i oblik proizvoda, što nije razmatrano u okviru ovog rada.

Spomenuto dovodi do zaključka da procjena ispitnih termostatiranih komora nije jednostavna i jednosmjerna, već zahtjeva opsežna i dugotrajna mjerenja. Sam postupak procjene i pripadajuća mjerna nesigurnost otvoreni su za daljnju raspravu.

**16. POPIS LITERATURE**

- [1] Taboršak D. " Metode znanstveno - istraživačkog rada ", Fakultet strojarstva i brodogradnje , autorizirana predavanja, Sveučilište u Zagrebu , Zagreb , 2002.
- [2] " Pravilnik o mikrobiološkim standardima za namirnice – N.N.46/94 " i " Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o mikrobiološkim standardima za namirnice – N.N.125/03 , Zagreb , 2003.
- [3] Tehnička dokumentacija komore za termičku obradu polutrajnih mesnih proizvoda , tip : ASL 3641 , proizvođač. : " Maurer AG " , Njemačka , 2003.
- [4] Šakić N. Predavanja iz kolegija " Metode znanstveno-istraživačkog rada " , FSB , Zagreb , 2003.
- [5] Šakić N. " Uvod u metode ZIR-a i planiranje pokusa " , Zagreb , 1998.
- [6] Zelenika R. " Metodologija i tehnologija izrade znanstvenog i stručnog djela " , Ekonomski fakultet u Rijeci , Rijeka , 2000.
- [7] Galović A. " Nauka o toplini II " , Sveučilišna naklada , Zagreb , 1990.
- [8] Seminar iz područja " Mjerenje temperature – Osnove mjerenja i umjeravanja " , FSB , Zagreb , 2011.
- [9] INTERNATIONAL STANDARD IEC 60068-3-5 , Edition 1.0 , IEC , Geneva , Switzerland , 2001.
- [10] Ćurko T. Predavanja iz kolegija " Tehnika hlađenja " , FSB , 1995.
- [11] Zvizdić D., Šerfezi D., Grgec-Bermanec L. :  
" Assessment of temperature field in environmental and thermostatic test chambers " , Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Laboratory for Process Measurement , Zagreb , Croatia , 2008.

[12] Forrest. W. Breyfogle III :

" Statistical Methods For Testing Development and Manufacturing " , IBM - Corporation , Austin , Texas , USA , 1993.

[13] Guideline DKD-R 5-1 , " Calibration of Resistance Thermometers " , Germany , 2003.

[14] " Međunarodni rječnik osnovnih i općih naziva u Metrologiji " , Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo , Zagreb , 1996.

[15] " Upute za iskazivanje mjerne nesigurnosti " , Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo , Zagreb , 1995.

[16] <http://www.etfos.hr/~fridl/teorija1.htm>

[17] <http://www.fer.hr/download/repository/pm-nesigurnost-05.pdf>

[18] <http://www.etfos.hr/~fridl/teorija2.htm>

[19] FRENCH NORM NF X 15-140, AFNOR - Association Francaise de Normalisation , Saint - Denis , France , 2002 - 10 .

**17. ŽIVOTOPIS**

- Ime : DENNIS JANKOVICH
- Datum / mjesto rođenja : 06.05.1973. / Zagreb , Republika Hrvatska
- OBRAZOVANJE :
  - 1.) Osnovna škola u Velikoj Gorici (1980 – 1988)
  - 2.) Srednja škola u Zagrebu (1988 – 1992)
    - Elektro-tehnička srednja škola , “Nikola Tesla” , Zagreb
    - Smjer : Energetska elektronika
    - Stečena titula : Inženjer energetske elektronike IV stupnja
  - 3.) Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu (1992 – 1998)
    - Smjer : Energetski
    - Usmjerenje : Procesna tehnika (Termotehnika)
    - Modul : Centralno grijanje i Klimatizacija
    - Stečena titula : Diplomirani inženjer strojarstva VII stupnja
    - Trenutno status : Poslijediplomski studij (Mr.sc.)
- JEZICI : piše i govori Engleski, Slovenski i Hrvatski jezik
- **RADNO ISKUSTVO :** "EKONERG" – Institut za energetiku i zaštitu okoliša, Zagreb
  - Lipanj, 1996. – Srpanj, 1996. – industrijska praksa za vrijeme 3. i 4. godine studija
  - Lipanj, 1997. – Srpanj, 1997. VII stupnja, izrada nacrtu u Auto-CAD aplikaciji povezanoj sa sklopnim strojarskim i električnim shemama
  - Rujan, 1999. – Studeni, 1999. "FRAMAGO" d.o.o., Zagreb
    - (honorarni ugovor) – Servis, oprema za centralno grijanje i klimatizaciju , filteri koji se koriste za sve tipove tekućina, filteri za filtraciju zraka, specijalni oprema za upotrebu u bolnicama, aplikacije za preradu hrane
  - Studeni, 1999. – Srpanj, 2000. "TERMODOOM" d.o.o., Zagreb
    - prodajni asistent
    - oprema za centralno grijanje i klimatizaciju, izmjenjivači topline, bojleri, radijatori, toplinska izolacija, itd.
  - Srpanj, 2000. – ? "GAVRILOVIC" d.o.o. – Prehrambena industrija Petrinja
    - SEKTOR INDUSTRIJE :
      - PJ Održavanje i Energetika
    - Jedinice klimatizacije, vijčani amonijačni kompresorski agregati, rashladni sustav, ventilatori, sistem centralnog grijanja, parni kotlovi, cirkulacijske vodene pumpe, amonijačne pumpe, itd.
  - Veljača, 2004. Training course of operation and maintenance for cogeneration system
    - (Jenbach, Austrija) - Teoretski dio : konstrukcija plinskog motora i teh. crteži, upravljanje motorom – sistem paljenja, emisija ispušnih plinova, redukcija rada motora (LEANOX sistem), radni materijali, tehničke upute, kontrolna lista pokazatelja grešaka, plan održavanja, montažna shema
    - Praktični dio : ručno i automatsko upravljanje, mjerenja na sistemu paljenja, namješavanje zazora na ventilima, rješavanje problema

**18. CURRICULUM VITAE**

- Name : DENNIS JANKOVICH
- Date / place of birth : 6<sup>th</sup> May 1973 / Zagreb , Republic of Croatia
- **EDUCATION :**
- 1.) Primary school in Velika Gorica (1980 – 1988)
- 2.) Secondary school in Zagreb (1988 – 1992)
- Electro–Technical Secondary School, “Nikola Tesla”, Zagreb
  - Section : Power Electronics
  - Degree obtained : Electrical Engineer
- 3.) Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture in Zagreb (1992 – 1998)
- Department : Power engineering
  - Section : Processing Technics (Thermotechnics)
  - Modul : Central Heating and Air-Conditioning
  - Degree obtained : Bachelor of Engineering
  - Momentary status : Master studies (Mr.sc.)
- LANGUAGES : written and spoken English, Slovenian and Croatian
- **WORK EXPERIENCE :**
- "EKONERG " – Institute for Power Engineering and Environmental Protection , Zagreb
- June 1996 – July 1996 – industrial training during the third and fourth year of  
 June 1997 – July 1997 Bachelor program : produced Auto-CAD drawings related to structural , mechanical and electrical schemes
- Sept. 1999 – Nov. 1999 "FRAMAGO " d.o.o. – company , Zagreb  
 (honorary contract) – Service, heating and air-conditioning equipment, filters used in filtration of all types of liquids, filters for air-filtration, special equipment for use in hospitals, food processing applications
- Nov. 1999 – July 2000 " TERMODOM " d.o.o. – company , Zagreb
- Sales and Purchasing Assistant
  - Central heating and air-conditioning equipment, heat exchangers, boilers, radiators, heat-insulators, etc.
- July 2000 – ? " GAVRILOVIC " d.o.o. – food processing industry, Petrinja
- DEPARTMENT OF INDUSTRY
    - Maintenance and Power Engineering Services
  - Air-conditioning units, screw ammonia compressor agregats, refrigeration system, ventilators, central heating system, steam boilers, circulation water pumps, ammonia pumps, etc.
- February 2004 Training course of operation and maintenance for cogeneration system  
 (Jenbach, Austria)
- Theoretical content : gas engine design and tech. drawings, engine management – ignition system, exhaust gas emission, reduction of engine operating (LEANOX-system), operating materials, technical instructions, checklist for fault indication, maintenanceschedule, wiring diagram - Practical content : manual and automatic operation measurements on ignition system, valve clearance adjustment, trouble shooting



**19. PRILOG**

Red broj	NAZIV PROIZVODA	Kod proizv. procesa	Masa proizvoda (m)	Temperatura procesa term. obrade ( $T_{TO}$ )	Trajanje procesa term. obrade $TO$ ( $t_{TO}$ )	Temperatura u geom. centru proizvoda nakon hlađenja tuširanjem ( $T_{GC}$ )
1.	Tirolska , MINI	22	400 g	+ 78 °C	60 min.	+ 70 °C
2.	Extra kobasica , $\Phi$ 38 mm	06	350 g	+ 78 °C	45 min.	+ 70 °C
3.	Posebna kobasica , $\Phi$ 60 mm	07	800 g	+ 78 °C	65 min.	+ 72 °C
4.	Mortadela , MAXI , $\Phi$ 200 mm	41	3700 g	+ 86 °C	330 min.	+ 71 °C
5.	Jeger ( domaći ) , $\Phi$ 42 mm	45	200 g	+ 78 °C	130 min.	+ 70 °C
<b>6.</b>	<b>Kranjska kobasica , <math>\Phi</math> 32 mm</b>	<b>48</b>	<b>100 g</b>	<b>+ 78 °C</b>	<b>130 min.</b>	<b>+ 69 °C</b>
7.	Zagorska kobasica , $\Phi$ 32 mm	55	95 g	+ 78 °C	120 min.	+ 70 °C
8.	Debrecinska kobasica	53	90 g	+ 78 °C	105 min.	+ 72 °C
9.	Delikates kare , $\Phi$ 280 mm	71	4000 g	+ 88 °C	360 min.	+ 70 °C
10.	Rolana šunka u mrežici	76	1400 g	+ 86 °C	270 min.	+ 70 °C
11.	Šunkarica	24	400 g	+ 78 °C	105 min.	+ 72 °C
12.	Farmer šunka u ovitku	89	3000 g	+ 86 °C	330 min.	+ 70 °C
13.	Čajna pašteta u ovitku , $\Phi$ 38 mm	95	150 g	+ 85 °C	60 min.	+ 82 °C
			<b>1. UL. VELIČINA</b>	<b>2. UL. VELIČINA</b>	<b>IZLAZNA VELIČINA</b>	<b>SLOBODNA VELIČINA</b>

**TABLICA 7 :** Vrijednosti utjecajnih parametara na proces termičke obrade polutrajnih mesnih proizvoda za dvofaktorski eksperiment.

Red broj	NAZIV PROIZVODA	Kod proizv. procesa	Masa pojedinog proizvoda (m)	Temperatura term. obrade TO (T <sub>TO</sub> )	Temperatura u geom. centru proizvoda nakon hlađenja tuširanjem (T <sub>GC</sub> )	Vrijeme trajanja termičke obrade TO (t <sub>TO</sub> )
1.	Tirolska , MINI	22	400 g	+ 78 °C	+ 70 °C	60 min.
2.	Extra kobasica , Φ 38 mm	06	350 g	+ 78 °C	+ 70 °C	45 min.
3.	Posebna kobasica , Φ 60 mm	07	800 g	+ 78 °C	+ 72 °C	65 min.
4.	Mortadela , MAXI , Φ 200 mm	41	3700 g	+ 86 °C	+ 71 °C	330 min.
5.	Jeger ( domaći ) , Φ 42 mm	45	200 g	+ 78 °C	+ 70 °C	130 min.
<b>6.</b>	<b>Kranjska kobasica , Φ 32 mm</b>	<b>48</b>	<b>100 g</b>	<b>+ 78 °C</b>	<b>+ 69 °C</b>	<b>130 min.</b>
7.	Zagorska kobasica , Φ 32 mm	55	95 g	+ 78 °C	+ 70 °C	120 min.
8.	Debrecinska kobasica	53	90 g	+ 78 °C	+ 72 °C	105 min.
9.	Delikates kare , Φ 280 mm	71	4000 g	+ 88 °C	+ 70 °C	360 min.
10.	Rolana šunka u mrežici	76	1400 g	+ 86 °C	+ 70 °C	270 min.
11.	Šunkarica	24	400 g	+ 78 °C	+ 72 °C	105 min.
12.	Farmer šunka u ovitku	89	3000 g	+ 86 °C	+ 70 °C	330 min.
13.	Čajna pašteta u ovitku , Φ 38 mm	95	150 g	+ 85 °C	+ 82 °C	60 min.
14.	<b>Tirolska , MAXI</b>	<b>22</b>	<b>2200 g</b>	<b>+ 78 °C</b>	<b>+ 70 °C</b>	<b>120 min.</b>
15.	<b>Pariška kobasica , Φ 90 mm</b>	<b>09</b>	<b>2200 g</b>	<b>+ 78 °C</b>	<b>+ 71 °C</b>	<b>130 min.</b>
16.	<b>Pileća kobasica , Extra</b>	<b>97</b>	<b>350 g</b>	<b>+ 78 °C</b>	<b>+ 71 °C</b>	<b>45 min.</b>
17.	<b>Šunka u ovitku</b>	<b>62</b>	<b>400 g</b>	<b>+ 78 °C</b>	<b>+ 70 °C</b>	<b>60 min.</b>
18.	<b>Mortadela , MINI</b>	<b>57</b>	<b>800 g</b>	<b>+ 78 °C</b>	<b>+ 71 °C</b>	<b>390 min.</b>
19.	<b>Tost šunka</b>	<b>65</b>	<b>3700 g</b>	<b>+ 78 °C</b>	<b>+ 70 °C</b>	<b>180 min.</b>
20.	<b>Pečena mesnata slanina</b>	<b>75</b>	<b>4100 g</b>	<b>+ 86 °C</b>	<b>+ 70 °C</b>	<b>260 min.</b>
			<b>1. UL. VELIČINA</b>	<b>2. UL. VELIČINA</b>	<b>3. UL. VELIČINA</b>	<b>IZLAZNA VELIČINA</b>

**TABLICA 8 :** Vrijednosti utjecajnih parametara na proces termičke obrade polutrajnih mesnih proizvoda za trofaktorski eksperiment.

STABILIZ.	REDNI BR. TEMPERATURNOG MJERNOG OSJETILA														
$T_{TO}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
POČ. (s)	6332	6657	6624	6618	6616	6302	6302	6316	6624	6323	6323	6443	6305	6318	6343
$T_{TO}$ (°C)	77,53	77,48	77,45	77,45	77,50	77,50	77,60	77,44	77,45	77,55	77,48	77,48	77,47	77,45	77,45
KRAJ (s)	6538	7766	7769	7768	7765	7773	7775	7777	7769	7773	7774	7770	7778	7778	7784
$T_{TO}$ (°C)	78,51	78,49	78,33	78,46	78,75	78,14	78,59	78,41	78,33	78,53	78,54	78,56	78,11	78,64	78,46
Trajanje stabilizac. (s)	206	1109	1145	1150	1149	1471	1473	1461	1145	1450	1451	1327	1473	1460	1441

**TABLICA 10 :** Stabilizacija temperature procesa termičke obrade ( $T_{TO}$ ) u dijelu vremenskog intervala procesa term. obrade s odstupanjem vrijednosti temperature ( $T_{TO}$ ) od  $\pm 0,5$  °C. Izmjerene stvarne vrijednosti temperatura odnose se na mjerna osjetila od rednog br.1 do rednog br.15.