



שנקר-בי"ס גבוה להנדסה ולעיצוב

הפקולטה להנדסה

המחלקה להנדסת תוכנה

# מערכת לבקרת טמפרטורה במכונה להזרקת פלסטיק

---

פרויקט גמר בתואר ראשון להנדסת תוכנה  
במכללת שנקר

מאת: נדיה ברנדס ואהרון (רוני) שמי

מנחה: דר' יגאל הופנר

1/11/2013

מוגש כחלק מהדרישות לקבלת תואר בוגר במדעים (B.Sc.)

## **סקירה קצרה**

פרויקט זה עוסק בהחלפת בלוק תוכנה במכונה להזרקת פלסטיק, הממומש במספר מכונות הפועלות במפעלים: "פלסאון" ו"ריאון".

הפרויקט מקצר את משך זמן הייצור.

## **תודות:**

בהזדמנות זו רצינו להודות:

לראש החוג להנדסת תוכנה, ד"ר אמנון דקל, על תמיכה לאורך הדרך.

למנחה הפרויקט, ד"ר יגאל הופנר, על עזרתו במהלך הפרויקט.

לחברי הסגל של שנקר אשר לימדו, תמכו ודאגו להצלחתנו.

## תוכן עניינים:

4	תקציר
5	Abstract
<b>6</b>	<b>1. מבוא</b>
7	1.1 מטרת הפרויקט
7	1.2 הצגת הצורך
7	1.3 הפתרון המוצע
7	1.4 התרומה העיקרית
8	1.5 משתמשים/ קהל יעד
8	1.6 יעדים עתידיים ואפשרויות הרחבה
8	1.7 מילון מונחים
<b>12</b>	<b>2. עקרונות מערכת בקרת חימום</b>
12	2.1 בקרת אזור חימום יחיד
12	2.1.1 (Proportional Integral Derivative) PID
14	2.2 בקרת מספר אזורי חימום
<b>17</b>	<b>3. ארכיטקטורת המערכת</b>
17	3.1 רכיבי המערכת
17	3.2 צורת העבודה הישנה
18	3.3 צורת העבודה החדשה
<b>20</b>	<b>4. תיכון המערכת</b>
20	4.1 הסבר מפורט על השינויים שבוצעו
21	פירוט הרכיבים:
<b>23</b>	<b>5. מימוש המערכת</b>
23	5.1 כתיבת הפרויקט
26	5.2 תכנון בדיקות

**6. הוראות הפעלה-----27**

30-----6.1 מסך חימום הבורג

31-----6.2 מסך חימום התבנית

32-----6.3 מסך תצורת חימום הבורג

33-----6.4 מסך תצורת חימום התבנית

**7. סיכום ומסקנות-----34**

34-----7.1 סיכום

34-----7.2 מסקנות

**8. מקורות ונספחים-----35**

35-----נספח א - תרשים זרימה של אפשרויות חימום אזור אחד

36-----נספח ב - תרשים זרימה של מסכי טמפרטורה

## תקציר

בספר זה מוצג פרויקט שמטרתו שיפור ביצועים של מכונות הזרקת פלסטיק הקיימות ועובדות במפעל 'פלסאון', כך שיוכלו לעבוד עם כל תבניות הזרקת הפלסטיק שבמפעל. הרעיון לפרויקט עלה מתוך צורך קיים במפעל שהתעורר בעקבות החלפת הפיקוד במכונות.

מימוש הרעיון נעשה באמצעות החלפת בלוק התוכנה האחראי על החימום. תרומתו העיקרית הינה חיסכון במשאבי זמן וכוח אדם (חיסכון בעלויות), וניצול מיטבי של המכונות הקיימות (יעילות ואפקטיביות).

פרק המבוא מציג את הפרויקט בראיה רחבה תוך התייחסות למענה לצרכים, תרומה, קהל יעד, אפשרויות פיתוח עתידיות ומונחים מרכזיים להבנת הפרויקט.

הפרק השני הינו סקירה המסבירה את עקרונות מערכת בקרת החימום בה נעשה השינוי בפרויקט זה.

לאחר הצגת עקרונות המערכת הקיימת, הפרקים הבאים דנים במערכת החדשה של הפרויקט הנוכחי.

פרקים 3-4 מציגים את ארכיטקטורת המערכת ותיכונה, והפרק החמישי, עוסק במימוש תוך התייחסות לשפות כתיבת הפרויקט ותכנון הבדיקות.

הוראות ההפעלה של המערכת החדשה עבור המשתמש מוצגות בפרק השישי.

הפרק האחרון מסכם את הפרויקט ומובאות בו תובנות בעקבות התהליך שנעשה. שינוי בתוכנה קיימת חוסך זמן עבודה משמעותי בשלב התכנות ובשלב ההטמעה של הקוד החדש בקרב המשתמשים.

## **Abstract**

This book presents a project aimed at improving the performance of existing plastic injection machines in Plasson, so that all molds with heating elements can be placed on these machines with out restrictions.

The idea for the project arose following the replacement of control system on the machine.

The realization of the idea was carried out by replacing the software block responsible for heating .The main benefits of this are in time-saving and reduction in manpower (cost savings), and the optimal utilization of existing machines (efficiency and effectiveness).

The introductory chapter presents a broad project review with emphasis on needs, donation, target audience, future development options and key terms for understanding the project.

The second chapter is an overview that explains the principles of the heating control system of the change over project.

After presenting the principles of the existing system, the following chapters discuss the new system for the current project.

Chapters 3-4 present the system architecture and design, the fifth chapter deals with the implementation of the project and test planning.

Operating instructions for the new system are presented in Chapter VI.

The final chapter summarizes the project and presents the following insights into the completed process. Changing existing software saves significant work and time in the programming phase and the implementation phase of the new code among users.

## 1. מבוא

חברות "פלסאון" ו"ריאון" הוקמו ע"י קיבוץ מעגן מיכאל וקיבוץ כברי. החברות בעלות מוניטין של ייצור באיכות גבוהה, והן מהמובילות בארץ ובחו"ל בתחום הזרקות פלסטיק. במטרה להגיע לאיכות גבוהה בעלויות ייצור כדאיות, ניתן דגש רב על פיתוח ורכישה של טכנולוגיות חדשות.

הקיבוץ בתחילת דרכו התבסס על חקלאות, ובהמשך הוקם מפעל "פלסאון", שהוא הענף העיקרי היום בקיבוץ. רבים מכירים את הניאגרות של "פלסאון", אך עיקר הייצור הוא מִחְבְּרִים מכאניים ומחברי-אלקטרו-פיוז'ן. החברה משקיעה כסף רב בקניית ציוד חדש ושדרוג הציוד הקיים.

הרעיון לפרויקט הועלה על יד רוני שמי, בן קיבוץ מעגן מיכאל, ועובד ב'פלסאון'.

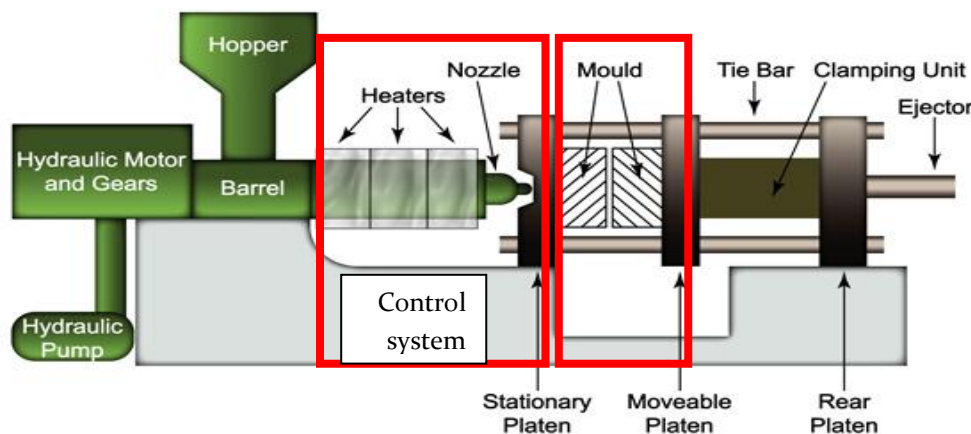
במסגרת הפרויקט בוצעו שינויים ב-15 מכונות העובדות בשני המפעלים.

למכונות אלו הוחלף כל הפיקוד בעבר כך שהייתה לנו גישה לקוד המקור, ויכולנו לבצע את השינויים.

מכונות אלו מייצרות מוצרי פלסטיק בהתאם לצורת התבנית.

מכונה להזרקת פלסטיק מורכבת ממערכת חימום וממערכת הידראולית.

באיור 1 מסומנים האזורים בהם בוצעו שינויים בפרויקט זה.



איור 1: מכונה להזרקת פלסטיק

### **1.1 מטרת הפרויקט**

מטרת פרויקט זה הינה שיפור ביצועים של מכוונות הזרקת פלסטיק הקיימות ועובדות במפעל, כך שיוכלו לעבוד עם כל התבניות (התבנית היא בצורת המוצר הרצוי, וממולאת בפלסטיק מותר).

הדרך: החלפת בלוק התוכנה האחראי על החימום.  
התרומה העיקרית: חסכון בעלויות, והגדלת היעילות והאפקטיביות.

### **1.2 הצגת הצורך**

בקבוצת מכוונות ב'פלאסאון', הוחלף כל הפיקוד. בעקבות החלפת הפיקוד התעוררו שתי בעיות:  
א. הבקרה לא הצליחה לשלוט על הערך הרצוי של החימום בחלק מהתבניות, בשל מהירות תגובה איטית מידי של הפיקוד וחוסר יכולת לשנות נתון זה.  
ב. התבניות לא התחממו באופן אחיד, דבר המפחית ממשיך חיי התבנית, ועלול לגרום לנזילות פלסטיק בתבניות.

### **1.3 הפתרון המוצע**

על מנת לפתור את הבעיות שהתעוררו, עלה הרעיון להחלפת בלוק התוכנה האחראי על החימום, בבלוק תוכנה חדש שבו:  
א. הוספנו אפשרות שליטה על זמן התגובה, במטרה לפתור את בעיית זמן התגובה של הפיקוד.  
ב. הוספנו אפשרות להגדרת הפרש מקסימלי של הטמפרטורה בין האזורים השונים על ידי המשתמש, במטרה להאריך את משך חיי התבנית.  
עקב השינויים שבוצעו בבלוק החדש, אין יותר צורך לחכות להפרש טמפרטורה לפני כניסה לכיול.

### **1.4 התרומה העיקרית**

התרומה העיקרית:

- חיסכון במשאבי זמן וכוח אדם (חיסכון בעלויות).
- ניצול גדול יותר של המכוונות הקיימות (יעילות ואפקטיביות).



לפני הפרויקט, פעולת החלפת בקרי החימום החיצוניים ארכה זמן ודרשה כוח אדם מיומן לכיוון ולכיול הפרמטרים. כעת, כל אדם יכול לשלוט בפעולות אלו, בפשטות ובמשך זמן קצר.

### **1.5 משתמשים/ קהל יעד**

קהל היעד של המערכת לבקרת טמפרטורה במכונת הזרקת פלסטיק, מתחלק לשלוש קבוצות עיקריות: מחליפי תבניות ומרכזי משמרת, טכנולוג הזרקת פלסטיק, ואנשי חשמל ואחזקה.

### **1.6 יעדים עתידיים ואפשרויות הרחבה**

בעתיד ניתן להוסיף לבלוק החדש בקרת לחץ, שתאפשר לשמור על לחץ בחוג בקרה סגור. שיפור זה יאפשר למכונה לשמור על הערך הרצוי של הלחץ בבורג, דבר שיבטיח עבודה מדויקת יותר של המערכת ההידראולית.

### **1.7 מילון מונחים**

#### **Close loop**

חוג סגור: חוג בקרת הטמפרטורה. מצב רגיל, נפוץ יותר, בו כל הרכיבים במכונה תקינים ומתקבל מידע על הטמפרטורה בפועל מהגששים.

#### **Open loop**

חוג פתוח: מצב במכונה בו הגשש מקולקל או לא קיים. במצב כזה לא ניתן לדעת מה הטמפרטורה בפועל. לכן כל העבודה מול המכונה מתבצעת באחוזים.

#### **Set point (° C)**

בעבודה בחוג סגור (מסך טמפרטורה) - מגדירים את ערכי הטמפרטורה במעלות.

#### **Set point (%)**

בעבודה בחוג פתוח (מסך כיול טמפרטורה) - מגדירים את ערכי הטמפרטורה באחוזים.

#### **Actual value**

ערך מצוי הינו ערך אמיתי מהגשש.

### **Delay time when reaching set point**

בהפעלה ראשונה: לאחר שהטמפרטורה של כל האזורים מעל ערך המינימום, יש זמן שהייה על מנת לוודא שהפלסטיק במצב מותך (ניתנת למפעיל הודעה על כך על גבי הצג).

### **Injection unit group**

מספר אזורי חימום במכונה ספציפית.

### **Moulding unit group**

מספר אזורי חימום בתבנית ספציפית.

### **Maximum temperature**

טמפרטורת מקסימום מוגדרת לקבוצה (אחת משלוש הקבוצות). במידה ומגיעים או עוברים את טמפרטורת המקסימום - מתנתק מגען חימום ראשי של הקבוצה. במקרה של טמפרטורת מקסימום – על המפעיל לכבות מפסק חימום ולהדליקו בשנית, כדי להחזיר את הקבוצה לתפקוד.

### **Rise Together**

בחירה של מספר אזורים בהם הטמפרטורה עולה במדרגות טמפרטורה קטנות על מנת למנוע הפרש טמפרטורה בין האזורים.

### **PID**

ערכים אלו נקבעים באופן אוטומטי לאחר כיוול, או במקרה ויש בעיה בצורה ידנית.

### **Cycle time**

זמן מחזור תוכנה של ה- Controller. ערכים אלו נקבעים לפי פרקי זמן קבועים לקריאת הפונקציות (ערכים אלו נקבעים על ידי המתכנת בלבד).

### **Freezing time**

פרק זמן שבו היציאה של ה- Controller שווה 100% וערך הטמפרטורה האמתית לא משתנה. במקרה כזה מתנתק מגען החימום הראשי של הקבוצה. במקרה של זמן קיפאון – על המפעיל לכבות מפסק חימום ולהדליקו בשנית, כדי להחזיר את הקבוצה לתפקוד.

## Soft Start

אופציה להתחלה איטית של ההספק החשמלי לגופי החימום. הסיבה לאופציה זו היא יצירת אפשרות המתנה לצורך ייבוש אדי מים מתבנית לאחר שעמדה זמן ממושך במחסן, במטרה לשמור על גופי חימום היקרים של התבנית.

## Auto Tune

כיול פרמטרים על מנת לשמור על ערך רצוי עם תנודות קטנות ככל האפשר.

## Heat

עליית טמפרטורה ללא מגבלות.

## Output digital/analog

סוג היציאה תלוי בסוג ה-solid state relay. במקרה של יציאה דיגיטלית יש להוסיף ביציאה של ה-Controller בלוק תוכנה (PWM) Pulse Width Modulator.

## מסך הכנסת / הצגת נתונים

המסך מתווך בין האדם למכונה. דרך המסך ניתן לקבוע ערכי טמפרטורה רצויים, לראות ערכים אמיתיים מהשטח, להזין נתוני כיול, להפעיל או לכבות. כל צוות תפעול המכונה משתמש במסך זה לצרכיו. את הפירוט ניתן לראות בנספח FRS.

## נתוני בסיס

נתונים הקשורים לאלגוריתם החדש, וקובעים בזמן הכיול כמה תנודות יהיו לצורך חישוב מקדמי ה-PID. בכל מכונה חדשה הם נכתבים פעם אחת ע"י המתכנת ונשמרים בזיכרון הבקר.

## נתוני המפעיל

נתונים הקשורים לתבנית כגון:

- הטמפרטורה הרצויה מתקבלת דרך המחשב
- הטמפרטורה המצויה מתקבלת מגשש טמפרטורה
- נתוני האלגוריתם האחראי על שמירת יציבות הטמפרטורה.

## Controller

ה'מוח' מאחורי כל אזור חימום. זה החלק המשמעותי של התוכנה.

בחלק זה שולטים על:

- אופן עליית הטמפרטורה לערך הרצוי לפי אפשרויות שנקבעו ע"י המפעיל.
- שליטה על שמירת יציבות הטמפרטורה לצורך תנודות מינימליות.
- ביצוע הכיול ומציאת מקדמי ה PID.

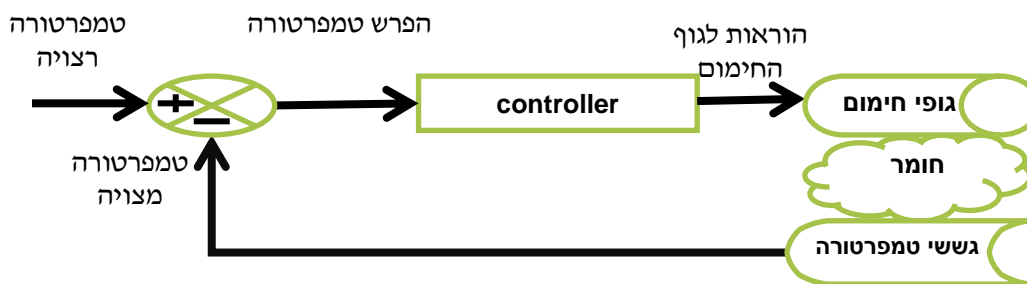
## יציאות פיזיות

יציאות הבקר יכולות להיות מסוג דיגיטלי או אנלוגי תלוי בסוג ה- solid state relay שעובדים אתו. המשמעות היא שליטה על האנרגיה שמגיעה לגופי החימום לצורך בקרה על הטמפרטורה הרצויה. ערכים אלו מוצגים באחוזים על המסך.

## 2. עקרונות מערכת בקרת חימום

### 2.1 בקרת אזור חימום יחיד

בבקרה של אזור חימום יחיד, למשל הבורג, הבקר מקבל ערך רצוי מהמשתמש וערך מצוי מהגשש שמחובר לבורג, ושולט על גופי החימום בהתאם להפרש בניהם, כדי לשמור על הטמפרטורה הרצויה (איור 2).



איור 2 : שרטוט סכמתי לאזור חימום אחד המראה את השימוש ב feedback

### 2.1.1 PID (Proportional Integral Derivative)

PID - נוסחת בקרה (ר' איור 3), הקושרת בין גודל השגיאה, משך השגיאה וקצב שינוי השגיאה.

כאשר:

$U(t)$  - הטמפרטורה הרצויה המוזנת ע"י המשמש.

$Y(t)$  - הטמפרטורה המצויה, המתקבלת מהגשש.

$E(t)$  - השגיאה בין הטמפרטורה הרצויה והטמפרטורה המצויה.

$P$  - התגובה על גודל השגיאה.

$I$  - משך השגיאה.

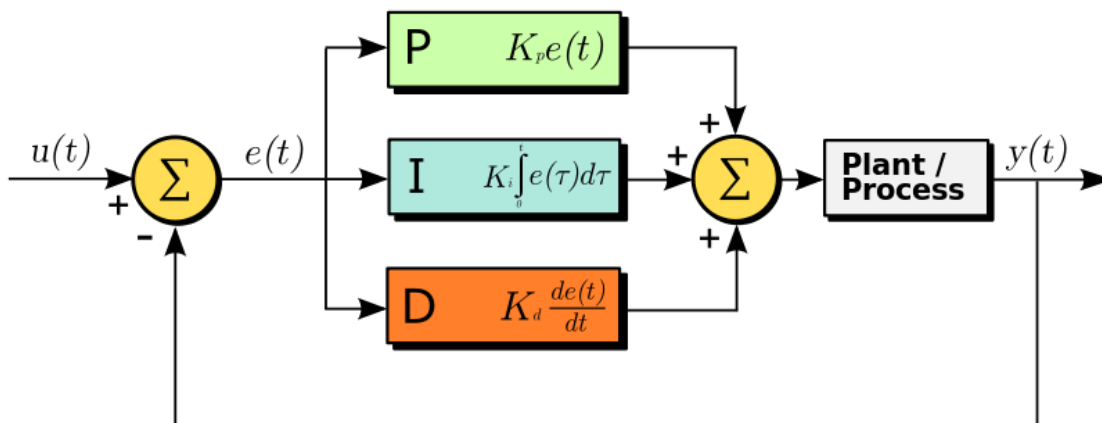
$D$  - קצב שינוי השגיאה.

$K_p, K_i, K_d$  - מקדמים שנקבעים בזמן Auto tune. במקרים בהן תוצאות

ה- Auto tune אינן טובות (טמפרטורה לא יציבה), ניתן להיכנס לדפי תצורת חימום (מסכים 6.3 6.4) ולתקן את המקדמים.

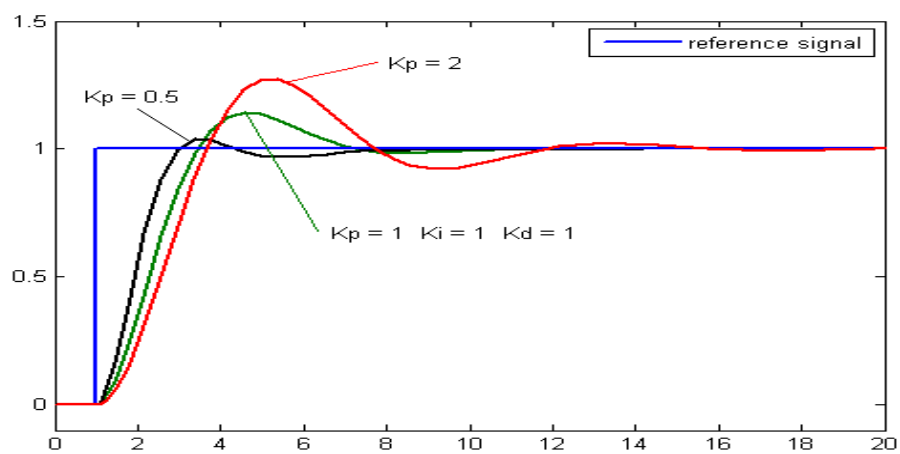
**Close Loop** – עבודה בחוג בקרה סגור. באיור 3  $Y(t)$  הטמפרטורה בפועל, חוזרת לבקר ע"י גשש הטמפרטורה והערך הרצוי  $U(t)$  הינו במעלות צלזיוס.

**Open Loop** – עבודה בחוג בקרה פתוח. באיור 3  $Y(t)$  גשש הטמפרטורה לא תקין או לא קיים, הערך הרצוי  $U(t)$  הינו באחוזים.



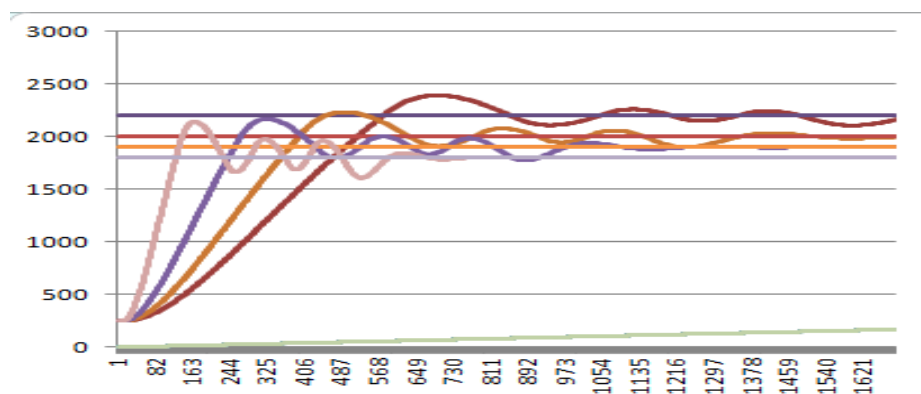
איור 3: נוסחת בקרה (PID)

הגרף באיור 4 ממחיש את השפעת המקדמים על צורת גרף עליית הטמפרטורה.



איור 4: שינויים במקדם  $K_p$

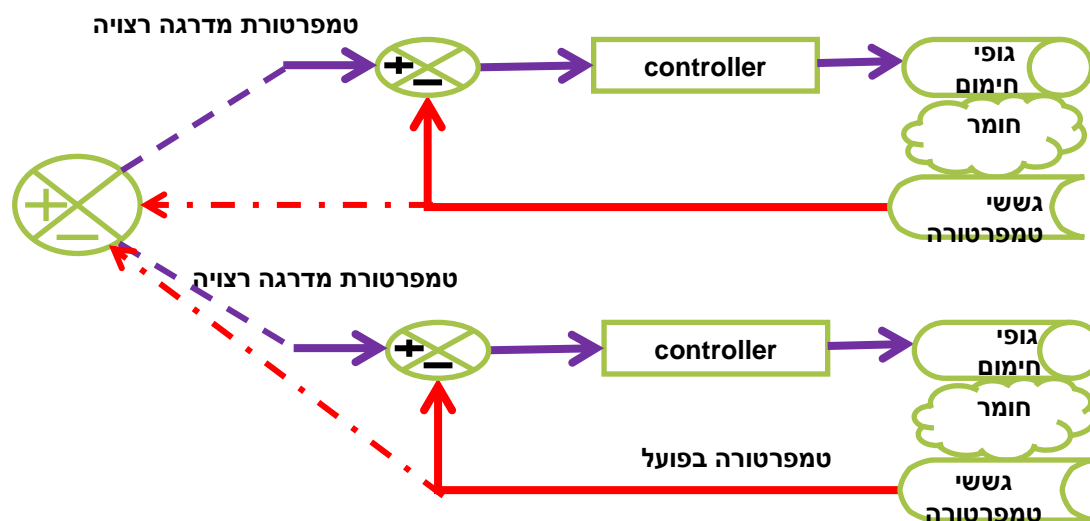
**AUTO TUNE** - תהליך כיול המקדמים באופן אוטומטי כך שיתקבל אופיין עליית טמפרטורה מהיר ככול שניתן ללא overshoot מהערך הרצוי בסוף עליית הטמפרטורה, ותנודות מינימליות סביב ערך הטמפרטורה הרצוי.



איור 5: Auto Tune

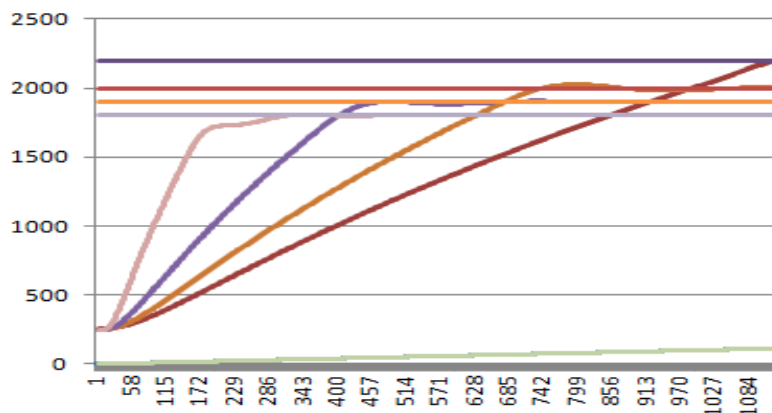
## 2.2 בקרת מספר אזורי חימום

במכונת הזרקת פלסטיק קיימים מספר אזורי חימום (איור 6) כשלכל אחד מהם יש מערכת בקרת הטמפרטורה. באפשרות המשתמש לקבוע עליית טמפרטורה במדרגות. גודל המדרגה קובע את הפרש הטמפרטורה המקסימלי בין האזורים. המשתמש מכתוב את ערך המדרגה, והטמפרטורה עולה עד שמגיעה לערך הרצוי בכל האזורים. שמירה על הטמפרטורה בכל האזורים מתבצעת ע"י "סופר בקר" השולט על הבקרים הבודדים.



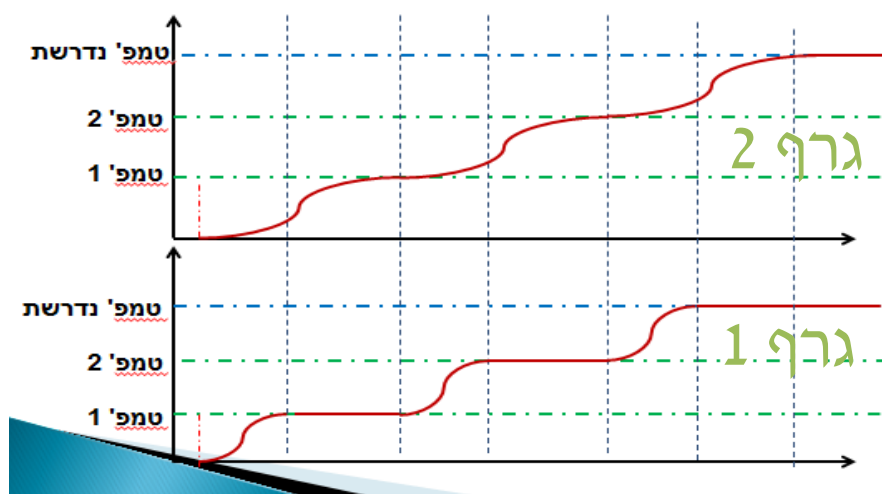
איור 6: שרטוט סכמתי למספר אזורי חימום

**בקרה נפרדת (independent rise) -** כל אזור עולה לערך הטמפרטורה הרצוי לפי הפרמטרים שיצאו מהכילול. אין תלות בין האזורים.



איור 7: ארבעה אזורי חימום עולים ללא תלות אחד בשני

**RISE-TOGETHER** בתצוגה זו נקבעה מדרגה מסוימת. אזור המתואר בגרף 1 מגיע לערך המדרגה בחצי הזמן מהאזור המתואר בגרף 2, ולכן האזור המתואר בגרף 1 מחכה לו. לאחר ששני האזורים מגיעים לטמפרטורת המדרגה, שניהם מקבלים את ערך המדרגה הבאה.

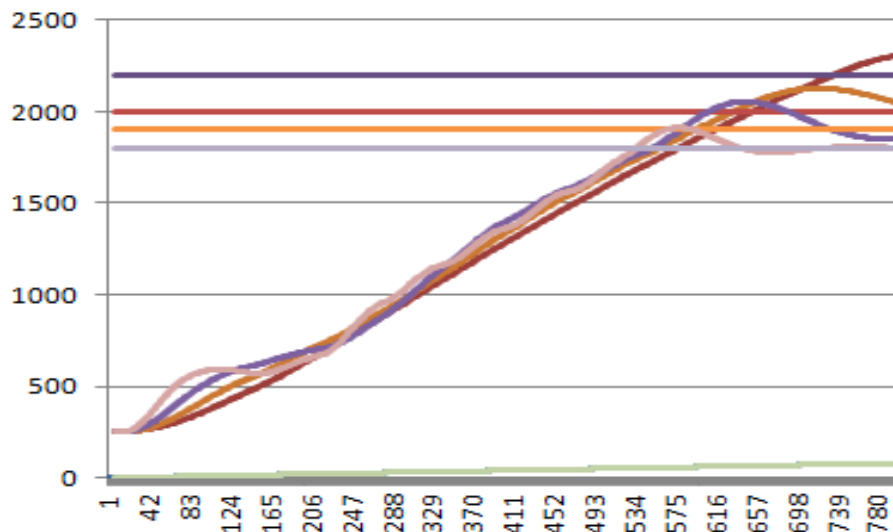


איור 8: תצוגה גרפית של שני אזורי חימום והתלות ביניהם



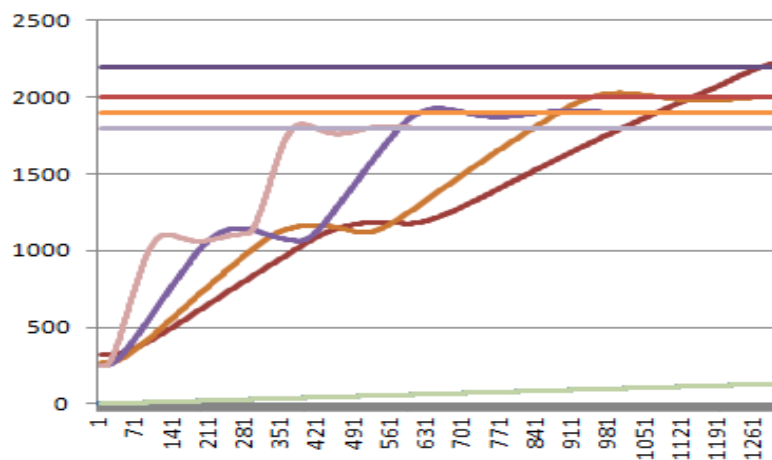
## Rise Together לאופציית

איור 9 ממחיש את אופציית ה- Rise Together של עליית טמפרטורה במספר אזורי חימום שונים בהדרגה שנקבעה מראש.



איור 9: Rise Together - כל ארבעת האזורים עולים יחד

**Soft-start** - אופציה זו נועדה לאפשר הוצאת אדי מים מתוך גופי החימום ע"י הגבלת ההספק המועבר לגופי החימום עד לטמפרטורה (בדוגמא זו 100 מעלות). לאחר שאזור מגיע לטמפרטורת ה- soft start מופעלת השהיית זמן, ובתום זמן זה, כל אזור עולה לערך הרצוי לפי הפרמטרים שיצאו מהכילול.



איור 10: Soft-start

### 3. ארכיטקטורת המערכת

#### 3.1 רכיבי המערכת

מערכת לבקרת טמפרטורה בנויה ממחשב, בקר תעשייתי, solid state relays, גופי חימום וגששי טמפרטורה.

**מחשב** - על המחשב 'רצה' תוכנת HMI (Human Machine Interface) המציגה ערכים מתוך הבקר, וניתן בעזרתה לשנות ערכים אל תוך הבקר.

**בקר תעשייתי PLC** - התוכנה המנהלת את כל המכונה 'רצה' בבקר התעשייתי. בקר תעשייתי הינו מחשב ייעודי ללא מקלדת ומסך.

רוב עבודתנו הושקעה פה.

**Solid state relay** - רכיב המשמש כמו מתג חשמלי.

**גופי חימום** - הרכיבים שמחממים את המתכת.

**גששי טמפרטורה** - גששי טמפרטורה הינם רכיבים פיזיים שנמצאים על אזורי החימום, כגון בורג או תבנית, ומהם מתקבלת הטמפרטורה בפועל. גששי הטמפרטורה מעבירים את הנתונים לבקר ע"י כרטיס analog input ייעודי.

#### 3.2 צורת העבודה הישנה

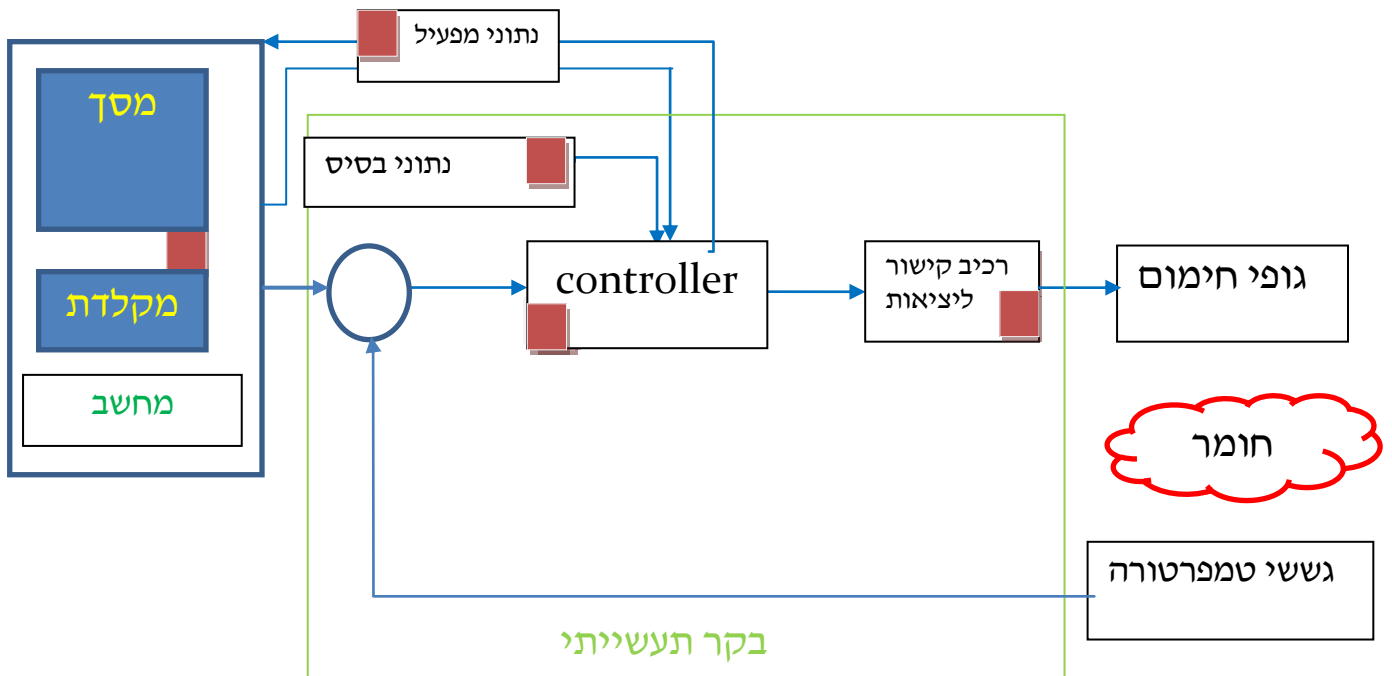
בתוכנה הישנה:

- controller עם אלגוריתם PID, שכל חצי שניה מחשב את ערך יציאת ה controller החדש. הערך של חצי שניה היה קבוע ולא ניתן לשינוי.
- יש תבניות שצריכות ערך נמוך מחצי שניה, ולכן לא יכולות לעבוד בעזרת תוכנה זו.
- יש צורך לחכות לירידת טמפרטורה של לפחות 70 מעלות לפני שנכנסים לכיול.
- יש הגבלה של יצרן הבקרים ל-63 אזורי חימום.
- הקצאת הזיכרון סטטית, כלומר, ברקע מתבצעים חישובים על 63 אזורי חימום למרות שבפועל יש רק 16.
- חסרה אופציה שמעלה את כל אזורי חימום התבנית ביחד, דבר שיוצר הפרשי חום גדולים בין האזורים השונים בתבנית, ומעלה את מספר הפעמים שצריך לפתוח את התבנית ולתקנה.
- קיימת אופציה המקשרת ליציאה הפיזית של הבקר.

### 3.3 צורת העבודה החדשה

בתוכנה החדשה:

- הוספנו משתנה זמן הניתן לשינוי ע"י המתכנת, כך שהאלגוריתם PID החדש בו השתמשנו יכול להתאים למערכות שונות ולשלוט על הטמפרטורה בכל התבניות.
- אין צורך לחכות לירידת הטמפרטורה לפני כניסה לכיול, חסכון בזמן.
- הקצאת הזיכרון הדינמית מתבצעת לפי מספר אזורי החימום המוגדרים ע"י המשתמש.
- הוספנו אופציה נוספת Rise together: בכל האזורים בהם בחר המפעיל באופציה זו, הטמפרטורה תעלה לפי המדרגה שהמפעיל בחר. דבר זה מבטיח אחידות בעליית הטמפרטורה של כל אזורי החימום (אזור מהיר מחכה לאזור איטי בסוף המדרגה) ומאריך את חיי התבנית.
- הוספנו אופציה נוספת: Integrator Window, שתפקידה למנוע overshoot מהערך הרצוי.
- לאופציה המקשרת ליציאה הפיזית של הבקר קראנו "רכיב קישור ליציאות".



איור 11: סכמת מערכת החימום (השינויים שבצענו במערכת מודגשים בריבוע באדום)

הפרויקט עוסק בכתיבה מחדש של ה-controller בתוך הבקר התעשייתי, האחראי על החימום. בעקבות כתיבת ה-controller החדש היה צורך לבצע שינויים בכל דפי תצוגת הטמפרטורה. בכתיבת ה-controller השתמשנו באלגוריתם PID חדש של יצרן הבקרים, וכתבנו מחדש את כל הפונקציות הדרושות והקישורים, על מנת להפיק מפעולת הכיול האוטומטי את המיטב. הפונקציות החדשות:

**Add zone** - הוספת אזור חימום ע"י הקצאה דינמית של זיכרון, אתחול המשתנים, בדיקת תקלות, הצגת נתונים.

**Del zone** - מחיקת אזור חימום ע"י הריסת המבנה בזיכרון, עדכון התצוגה, מחיקת תקלות.

**Integrator Window** - כאשר קיים פער גדול בין הערך הרצוי והערך המצוי, חלק ה-I בנוסחת אלגוריתם ה-PID שתפקידו לפצות על משך זמן השגיאה, מקבל ערך מאוד גבוה. דבר זה גורם ל overshoot. הוספנו חלון טמפרטורה, שגודלו נקבע ע"י המשתמש, כדי למנוע זאת. האינטגרטור סוכם את משך זמן השגיאה רק בתוך חלון הטמפרטורה.

**רכיב קישור ליציאות** - אופציה זו נכתבה מחדש והותאמה ל-controller החדש.

ברכיב זה שלוש אפשרויות הנקבעות לפי סוג היציאה הפיזית המחוברת לגופי החימום:

0 עבודה עם relay

1 עבודה עם solid state relay רגיל

2 עבודה עם solid state relay אנלוגי

המתכנת קובע באמצעות רכיב קישור ליציאות (0,1,2) את סוג היציאה.

במקרה וסוג היציאה הוא מסוגים 0 או 1 - הוספנו רכיב תוכנה מסוג PWM הממיר את ערך יציאת ה-controller מערך אנלוגי לערך דיגיטלי, מתוך אחוזים של זמן המחזור.

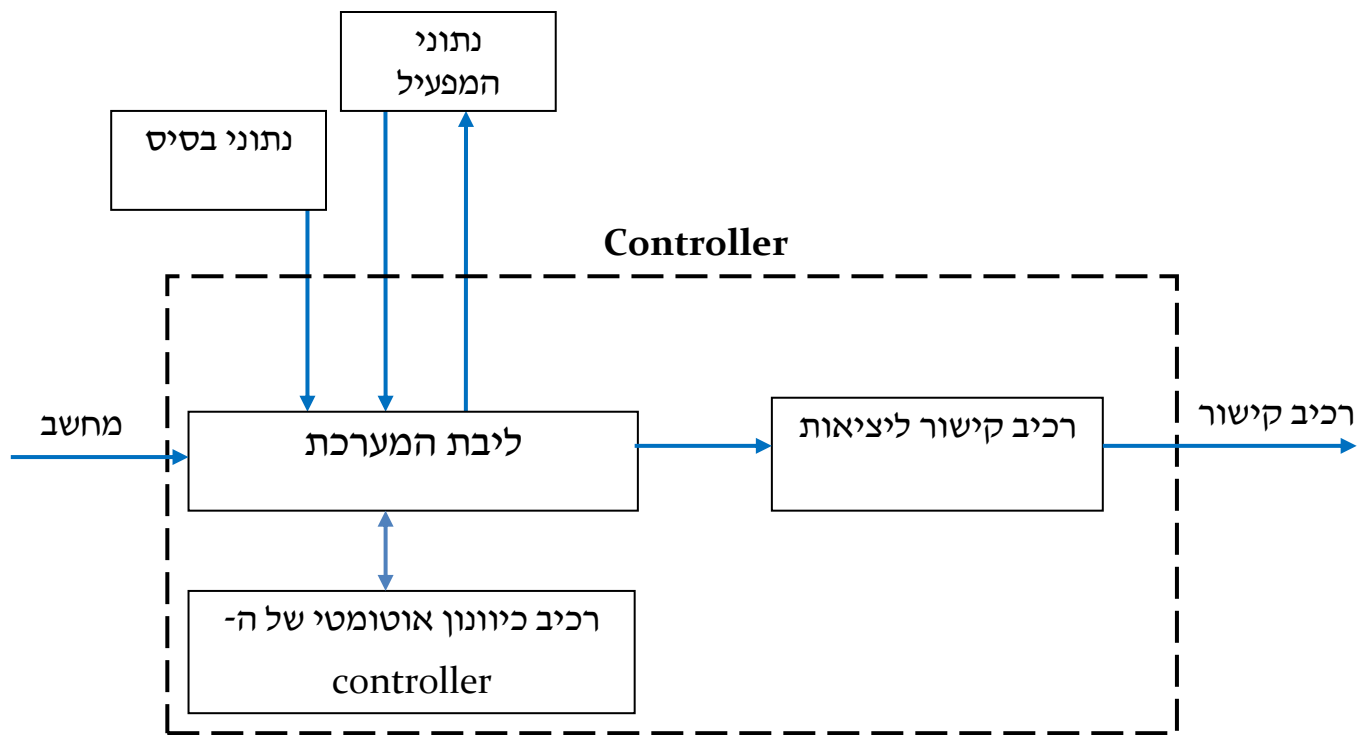
כאשר סוג היציאה הינו מסוג 2- רכיב הקישור מחבר בין ערך יציאת ה-controller ישירות ליציאת הכרטיס האנלוגי.

## 4. תיכון המערכת

### 4.1 הסבר מפורט על השינויים שבוצעו

בצענו שינויים משמעותיים בחלק של ה-controller. שינויים אלו השפיעו על צורת הזנת הנתונים ע"י המפעיל. מעכשיו התחממות התבנית כולה באופן אחיד, היא בשליטת המפעיל, באמצעות פונקציית Rise together, ואין צורך לחכות לירידת הטמפרטורה לפני שנכנסים לכיול.

פרוט סכמתי של controller במערכת החימום:



איור 12: סכמת ה controller

## פירוט הרכיבים:

### רכיב כיוון אוטומטי של ה-controller

ברכיב זה יש הגדרות מצב כיול אוטומטי, ומתקבלת אינפורמציה על מצב כל אזור בזמן הכיול האוטומטי (התחיל/עלה למדרגת טמפרטורה/ מחכה לקירור/ קובע ערכי PID/ כיול הסתיים בהצלחה/ או כישלון).

### ליבת המערכת

ליבת המערכת הינה רכיב תוכנה מרכזי, בו מיושמים:

- הגדרת מספר אזורי טמפרטורה
- חיבור בין המשתנים הגלובליים של גששי הטמפרטורה והמשתנים הלוקאליים בלולאות.
- חיבור בין המשתנים בדף הכיול למשתנים הלוקאליים בלולאות.
- חיבור בין המשתנים בדף הטמפרטורה: ערכי טמפרטורה הרצויים, השהיית הטמפרטורה, ערכי מינימום ומקסימום, חיבור התראות שקשורות לטמפרטורה ומכונה. כלומר, טמפרטורה נמוכה לא נותנת אפשרות לסיבוב הבורג, בעוד טמפרטורת יתר מפסיקה את פעולת מגען החימום הראשי. בנוסף נשלחות הודעות תקלה למסך המשתמש.
- בדיקת עליה מקבילית (Rise Together) של טמפרטורה באזורים שונים.

הסבר מפורט באמצעות דוגמא של אזור אחד:

1. המפעיל מוסיף אזור חימום חדש לתוך ליבת המערכת.
2. ליבת המערכת "בונה" בזיכרון אזור חימום חדש ומאתחלת אותו.
3. ליבת המערכת פונה לרכיב כיוון אוטומטי, לצורך קבלת נתוני PID עבור אזור החימום החדש.
4. רכיב כיוון אוטומטי מחשב את נתוני ה PID באמצעות ביצוע תהליך של כיול. בסיום התהליך מחזיר את הערכים החדשים לליבת המערכת.
5. ליבת המערכת מעתיקה את נתוני ה PID לאזור החימום החדש, ומפעילה אותו.
6. ליבת המערכת מעבירה את ערך היציאה של האזור החדש, את סוג היציאה הפיזית (0,1,2) ואת זמן המחזור לרכיב קישור ליציאות.

7. במקרה וסוג היציאה הפיזית הוא 2, רכיב קישור ליציאות מחבר את יציאת ה-

controller ליציאה האנלוגית.

במקרה וסוג היציאה הפיזית הוא 0 או 1 רכיב קישור ליציאות מאתחל רכיב PWM בערכי זמן המחזור ויציאת אזור החימום, שקיבל מליבת המערכת, ואת יציאת ה PWM מקשר ליציאה דיגיטלית.

## **5. מימוש המערכת**

היות ומדובר בהחלפת חלק תוכנה מתוך מערכת קיימת, כל הבחירות בתהליך הפיתוח נעשו בהתאמה למערכת כולה. על מנת לבצע התממשקות נוחה, ללא צורך בפיתוח שכבות המתרגמות משפה לשפה, המשכנו את הפיתוח בשפת C.

בפרויקט זה השתמשנו בשתי שפות כתיבה, בהתאם לשפות הכתיבה של שפות המקור, כפי שיפורט בחלק הראשון של פרק זה, ובהמשכו של הפרק נציג את תכנון הבדיקות למערכת.

### **5.1 כתיבת הפרויקט**

כלי המימוש: לצורך הפיתוח בוצע שימוש ב-B&R Automation Studio. זהו כלי פיתוח של חברת B&R. שינויים ב-GUI בוצעו בVB6.

המערכת נכתבה בשפת C מתוך צורך להתממשק למערכת הקיימת. תוך כדי פיתוח היה צורך בהוספת נתונים ויזואליים במסכי המשתמש. לצורך התממשקות לקוד קיים בוצעו תוספות בקוד הרשום בשפת VB6.

בתכנות המסכים, נערכו שינויים בלבד, ובתכנות בלוק החימום החלפנו את כל רכיב התוכנה כפי שיפורט להלן.

### **שפת תכנות המסכים**

בעקבות שינוי בלוק התוכנה בבקר היה עלינו למחוק, להוסיף ולעדכן מסכים בתוכנת ה-HMI.

למחוק - אפשרויות שלא בשימוש בבלוק החדש.

להוסיף - אפשרויות חדשות שלא היו קיימות קודם.

לעדכן - אפשרויות שהיו קודם, בבלוק החדש, ולעדכן את קובץ התקלות בתקלות החדשות שנוספו.

כל הקוד של מסך המשתמש צריך להיות כתוב ב-VB6 (Visual Basic 6),

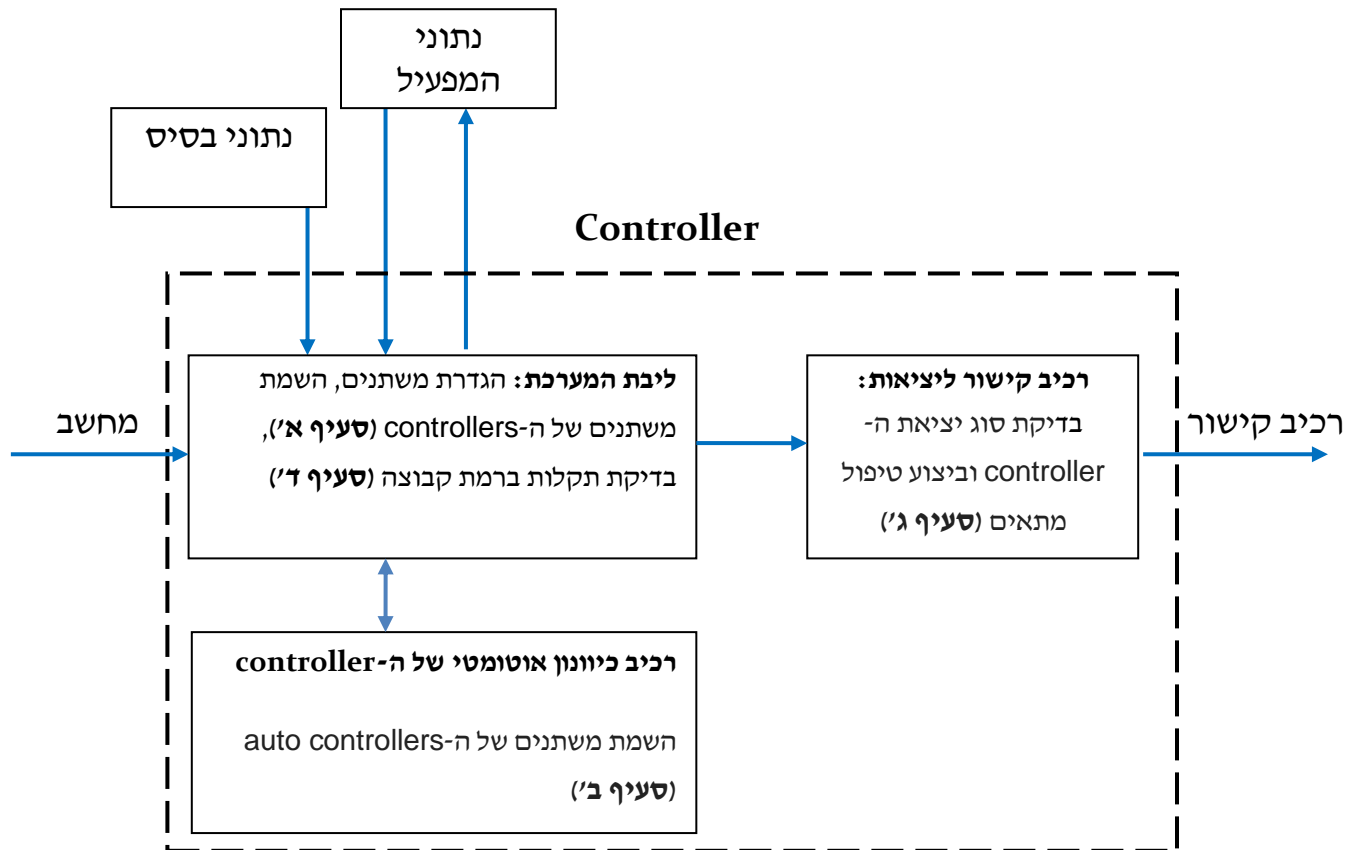
מכיוון שזו שפת המסכים האחרים.



## שפת תכנות בלוק החימום

מכיוון שמדובר בהחלפת מודול חימום בתוך מערכת קיימת, נאלצנו להמשיך את הפיתוח בשפת התכנות בה כתובה המערכת המקורית: שפת C.

הסבר על התוכנה



איור 13: סכמת רכיבי התוכנה לפי סעיפים

### הגדרת משתנים:

כל המשתנים ניתנים לשינוי ע"י המשתמש בעזרת מסכי החימום.  
הגדרת משתני שלוש הקבוצות: 0 - קב' הבורג, 1- קב' התבנית, 2 - קב' הקירור.  
הגדרת טמפרטורה מקסימאלית לכל אחת מהקבוצות.  
הגדרת זמן מחזור הקבוצה.  
הגדרת זמן השהיה לאחר הגעה לטמפרטורה הרצויה.  
הגדרת מדרגת טמפרטורה לאופציית "Rise together" לכל אחת מהקבוצות.

הגדרת טמפרטורה וזמן לאופציית "soft start" בקבוצת התבנית.  
הגדרת סוג היציאה לכל אחת מהקבוצות (solid state, analog, relay).  
הגדרת בקרת ה-autotune.  
הגדרת זמן קיפאון לכל אחת מהקבוצות.

פירוט מהלך הפעולות שמבצעים בסדר זה, על כל אחד מה- controllers:

(א) השמת משתנים של ה-controllers, מ-1 עד N (מספר מקסימלי של אזורי חימום) על כל ה-controllers.

לאחר השלב הקודם בו המשתמש הגדיר פרמטרים, בשלב זה נעשה שימוש בהגדרות באמצעות 'לולאה' על כל אזורי החימום.

בצע את ההשמה הבאה:

1. הפעלת אזור החימום.
2. הפעלת אופציה של "Rise together".
3. שיוך אזור לקבוצה.
4. הגדרת טמפרטורה מינימאלית ומקסימאלית.
5. הפעלת אזור הנמצא ב-manual (העובד באחוזים ולא מהגשש) והזנת יחידות האחוזים.
6. בדיקת מצב ה-controller: PID, autotune, manual, soft start, all together.
7. הפיכת היציאה של ה-controller לאחוזים, עבור תצוגת המשתמש.
8. בדיקות גשש טמפרטורה (שאין תקלה).
9. בדיקת טמפרטורת מקסימום מותרת.
10. בדיקות רוחביות של כל הפרמטרים.
11. טיפול במצב soft start.
12. טיפול ב-freezing.
13. טיפול ב-cold start.
14. טיפול ב-rise together.

במידה ובסעיפים הקודמים היו תקלות הן נרשמות במערך מילות התקלה של כל controller.

(ב) השמת משתנים של ה-auto controllers, מ-1 עד N על כל ה-auto controllers.  
בצע את ההשמה הבאה:

1. הפעלת רכיב כיוון אוטומטי של ה-controller.

2. הגדרת זמן המחזור לפי זמן המחזור של הקבוצה
  3. הפעלת מצב autotune ב- auto controller וביצוע ברקע.
  4. בדיקת סיום כיול, והורדת סימון autotune בסיום הכיול.
  5. העתקת הפרמטרים של ה-PID ל- controller.
  6. אם כל ה-auto controllers סיימו את הכיול - בצע כיבוי של אופציית start autotune.
- ג) בדיקת סוג יציאת ה-controller וביצוע טיפול מתאים.
- במקרה של אזור חימום השייך לקבוצת החימום או הקירור, מתבצעת הוספת בלוק PWM במידה ומדובר באזור השייך לקבוצת התבנית, שיוך יציאת ה-controller לכרטיס היציאות האנלוגי.
- ד) בדיקת תקלות ברמת קבוצה.
- בקבוצות הבורג והתבנית מתבצעת סגירת המגען הראשי של הקבוצה.
- נעשה שימוש באלגוריתם PID חדש שנכתב ע"י חברת הבקרים.
- בדיקת תקלה לפני היציאות של ה-controller ואיפוס ה-controller במידה ויש תקלה.

## 5.2 תכנון בדיקות

הבדיקות נעשו ב-VB6 לגבי מידע המוזן ע"י המשתמש. קיימות בדיקות לגבי 6 סוגי תקלות במערכת ומופיעות בהתאם הודעות שגיאה על הצג.

סוגי תקלות אפשריות:

- ערך הטמפרטורה באזור מסוים גבוה מהערך המקסימאלי המותר.
- ערך הטמפרטורה באזור מסוים נמוך מהערך המקסימאלי המותר.
- ערך הטמפרטורה בקבוצה מעל ערך מצוי מותר.
- קיים קצר בגשש, הנתונים המתקבלים מהגשש שגויים.
- גשש לא תקין, לא מתקבלים נתונים מהגשש (בחוג סגור בלבד).
- היציאה קפואה, אין שינוי בטמפרטורה למרות החימום.

## 6. הוראות הפעלה

בהסבר על הוראות הפעלה של המכונה להזרקת פלסטיק נתייחס למסכי טמפרטורה בלבד שרלוונטיים לפרויקט זה. מצורפים צילומי מסכים עם השינויים שבוצעו כתוצאה של הפרויקט.

כלל הנכון לכל המסכים במכונה: הערכים בצבע ירוק הינם ערכים הניתנים לשינוי ע"י המשתמש, והערכים בצבע צהוב מייצגים ערכים מהשטח.

כל אזור חימום במכונה שייך לאחת משלוש קבוצות: בורג, תבנית, קירור. כל קבוצה מאפיינים כמו טמפרטורת מקסימום, טמפרטורת מינימום, זמן קיפאון.

### קבוצת הבורג

בקבוצה זו קיימות הגדרות לחימום הבורג, כגון הגדרה של חום מקסימלי לקבוצה. לדוגמה: כאשר אזור אחד השייך לקבוצה זו מגיע לטמפרטורת הקבוצה המקסימלית, המשמעות היא תקלה חמורה המנתקת את זרם החשמל לכל אזורי החימום באותה קבוצה.

### קבוצת התבנית

בקבוצה זו קיימות הגדרות לחימום התבנית, כגון הגדרה של חימום Soft Start. משמעות הדבר שישנו משתנה בינארי שמסמן הגעה לטמפרטורת ה-Soft Start בכל אזורי התבנית. כל עוד המשתנה לא מופעל, הטמפרטורה לא תעלה לערך הרצוי.

### קבוצת הקירור

לקבוצה זו ישנם 2 אזורים: אזור קירור השמן ואזור קירור "הגרן". הקירור מתבצע ע"י פתיחת ברז וקירור ע"י מים.

### אזור קירור השמן

זהו אזור השולט על טמפרטורת השמן ההידראולי בעזרת ברז מים חשמלי. כאשר הטמפרטורה באזור מגיעה ל-55 מעלות צלזיוס, התוכנה לא מאפשרת עבודה במצב אוטומטי. כאשר הטמפרטורה מגיעה ל-60 מעלות צלזיוס, התוכנה מכבה מנוע ונותנת התרעה לבדוק את ברז המים הראשי.

## אזור קירור הגרון

זהו אזור השולט על הטמפרטורה באזור כניסת חומר הגלם הפלסטי לבורג. במידה וטמפרטורה זו עולה על 80 מעלות צלזיוס, התוכנה מכבה את מגען החימום הראשי של הבורג ונותנת התרעה לבדוק ברז מים הראשי.

## שלב מקדים בהפעלה ראשונית

- (1) קביעת מספר אזורי חימום במכונה לכל הקבוצות.
- (2) בדיקת תקינות גששים ועדכון במסכים המתאימים.

## שלבי הפעלה של קבוצת הבורג

- (1) ביצוע קונפיגורציה של קבוצת הבורג לפני הפעלה ראשונה. הקונפיגורציה כוללת: קביעת טמפרטורה מקסימלית לקבוצה, קביעת זמן הגנה לקפיאת שינויי הטמפרטורה.
- (2) הפעלת חימום ראשונה של אזור חימום אחד.
- (3) בזמן הפעלת אזור חימום בפעם הראשונה חייבים לבצע קונפיגורציה של האזור ולאחריו כיול. קונפיגורציה כוללת סוג קבוצה (בורג, תבנית או קירור), סוג יציאה (אנלוגית/ דיגיטלית), מצב (PID, PID soft start, manual, optimization), ערכי PID.
- (4) לאחר סיום הגדרות במסך הקונפיגורציה עוברים למסך חימום הבורג. קובעים את ערכי הטמפרטורה הרצויים ואת שינויי הטמפרטורה המותרים.

## שלבי הפעלה של קבוצת התבנית

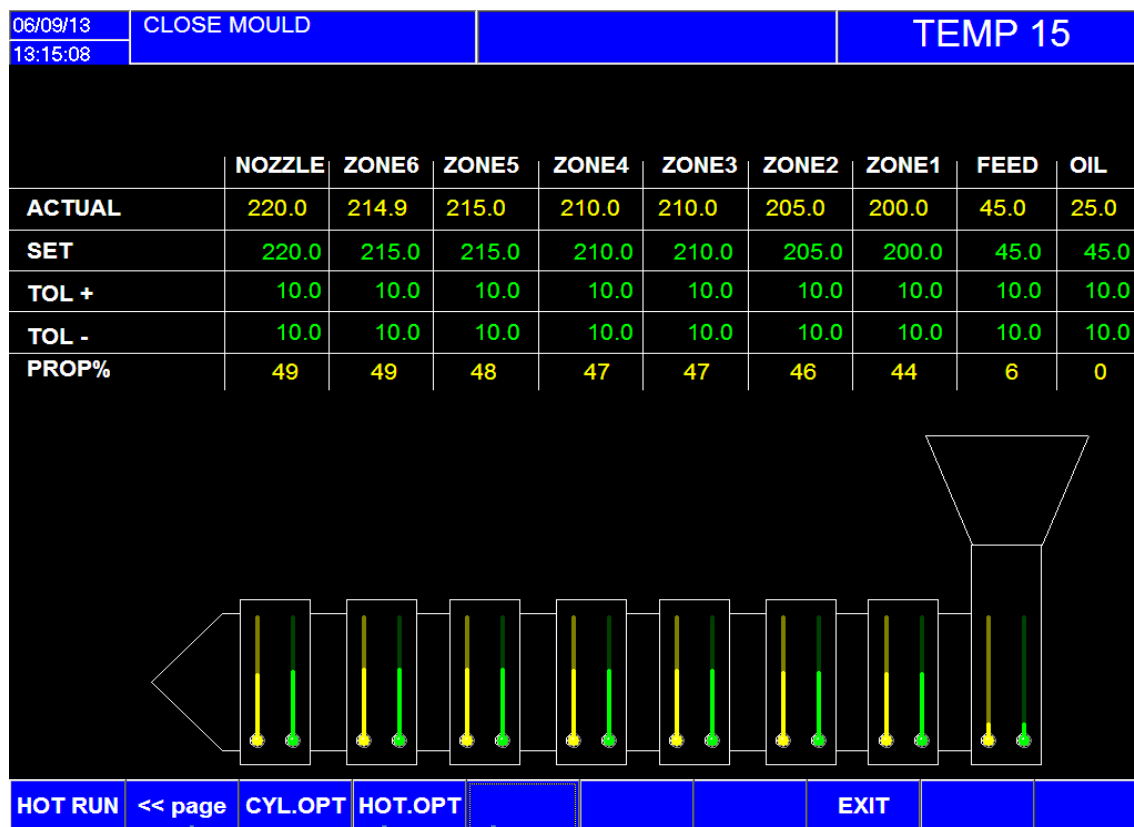
- (1) ביצוע קונפיגורציה של קבוצת התבנית לפני הפעלה ראשונה. הקונפיגורציה כוללת: קביעת טמפרטורה מקסימלית לקבוצה, קביעת זמן הגנה לקפיאת שינויי הטמפרטורה וקביעת צורת עבודה (soft start), הגבלת אחוז יציאה של ה-controller, טמפרטורה של ה-soft start, הזמן שה-controller מחכה לצורך ייבוש גופי החימום של התבנית.
- (2) הפעלת חימום ראשונה של אזור חימום אחד. בזמן הפעלת אזור חימום בפעם הראשונה חייבים לבצע קונפיגורציה של האזור ולאחריו כיול. קונפיגורציה כוללת סוג קבוצה (בורג, תבנית או קירור), סוג יציאה (אנלוגית/ דיגיטלית), מצב (PID, PID soft start), ערכי PID (start, manual, optimization), ערכי PID.

3) לאחר סיום הגדרות במסך הקונפיגורציה עוברים למסך חימום התבנית. קובעים את ערכי הטמפרטורה הרצויים ואת שינויי הטמפרטורה המותרים.

### **שלבי הפעלה של קבוצת הקירור**

מתבצעים אותם השלבים כמו בקבוצת הבורג בשינו אחד: במקרה של קירור שמן צריך להוסיף זמן במסך כיוול אשר יאפשר להניע את המנוע של המכונה במקרה של חימום יתר של השמן.

## 6.1 מסך חימום הבורג



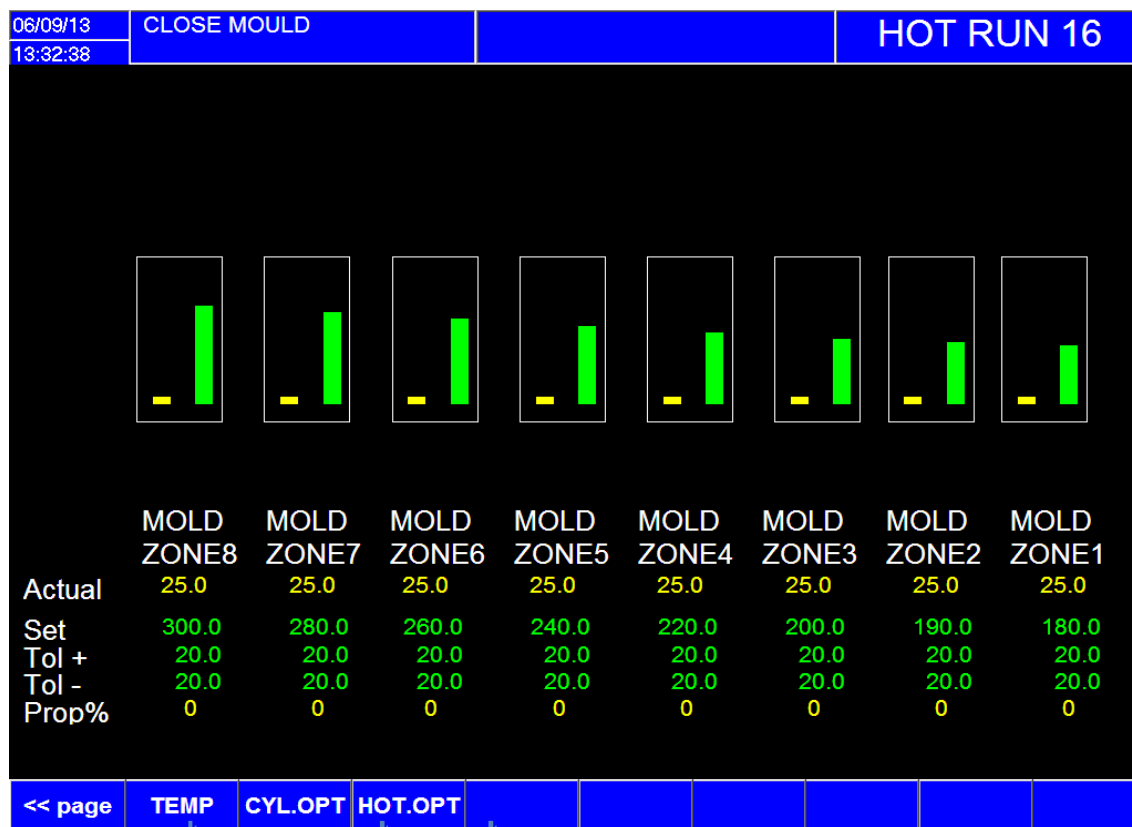
מסך תצורת חימום תבנית

מסך תצורת חימום בורג

מסך חימום תבנית

שם השדה	משמעות השדה
ACTUAL	טמפרטורה אמתית מגשש הטמפרטורה במעלות צלזיוס
SET	טמפרטורה רצויה מהמשתמש במעלות צלזיוס
TOL+	טולרנס מעל לערך הרצוי מהמשתמש במעלות צלזיוס
TOL-	טולרנס מתחת לערך הרצוי מהמשתמש במעלות צלזיוס
PROP%	יציאה לגופי החימום באחוזים

## 6.2 מסך חימום התבנית



מסך תצורת חימום תבנית

מסך תצורת חימום בורג

מסך חימום תבנית

שם השדה	משמעות השדה
ACTUAL	טמפרטורה אמתית מגשש הטמפרטורה במעלות צלזיוס
SET	טמפרטורה רצויה מהמשתמש במעלות צלזיוס
TOL+	טולרנס מעל לערך הרצוי מהמשתמש במעלות צלזיוס
TOL-	טולרנס מתחת לערך הרצוי מהמשתמש במעלות צלזיוס
PROP%	יציאה לגופי החימום באחוזים



### 6.3 מסך תצורת חימום הבורג

זמן קיפאון (בשניות).  
בסיומו מגען החשמל  
הראשי של הקבוצה  
מתנתה

06/09/13 13:34:06	CLOSE MOULD		OPT.CYL. 32	
AUTO GROUP NO' cyl=0,mould=1,		0		
START AUTOTUNE		<input type="checkbox"/>		
MAX CYLINDER TEMP		350.0		
NUMBER OF ZONES		17	ZONE FREEZ TIME(sec)	200
RIZE TOGETHER TEMP		50.0		
PID PARAMETER CHANGE				
	ON/OFF	CONTROL TUNED	UP ALL	integrator WINDOW
				WITH %
				%
				P
				I
				D
OIL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5000
FEED ZONE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	40000
CYL ZONE 1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	40000
CYL ZONE 2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	40000
CYL ZONE 3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	40000
CYL ZONE 4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	40000
CYL ZONE 5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	40000
CYL ZONE6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	40000
CYL ZONE7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	40000
HOT RUN	TEMP	<< page	HOT.OPT	

טמפ'  
מקסימלית  
לקבוצת  
הבורג

הפעלת תחילת כיול  
כיול קבוצה (0-בורג, 1-תבנית)

מספר אזורי חימום

הגדרת הפרש  
טמפרטורה בין  
האזורים בעליה  
משותפת של  
האזורים

שם השדה	משמעות השדה
ON/OFF	אזור חימום מופעל
CONTROL TUNE	אזור לכיול
UP ALL	עליה משותפת של כל האזורים המסומנים
INTEGRATOR WINDOW	חלון בו אין שינוי של המקדם של I (40000 = 20.0 מעלות)
WITH %	עבודה בחוג פתוח לפי אחוזים
%	ערך האחוזים בעבודה בחוג פתוח
P	תיקון שגיאת הערך המצוי בהתאם לפער השגיאה מהערך הרצוי
I	תיקון שגיאת הערך המצוי בהתאם למשך זמן השגיאה מהערך הרצוי
D	תיקון שגיאת הערך המצוי בהתאם לקצב שינוי השגיאה מהערך הרצוי

## 6.4 מסך תצורת חימום התבנית

מספר אזורי חימום  
הפעלת תחילת חיול  
זמן קיפאון (בשניות). בסיומו  
מגען החשמל הראשי של  
הקבוצה מתנתק  
חיול קבוצה (0-בורג, 1-תבנית)

06/01/13  
3:30:49

CLOSE MOULD

OPT.CYL. 33

AUTO GROUP NO' cyl=0,mould=1, 0 WITH SOFTSTART ☐

START AUTOTUNE ☐ max softstart output 25

NUMBER OF ZONES 17 SOFTSTART TEMP 110.0

MAX MOULD TEMP 350.0 softstart delay time 15

RIZE TOGETHER TEMP 20.0 ZONE FREEZ TIME(sec) 200

PID PARAMETER CHANGE

	ON/OFF	CONTROL TUNED	UP ALL	integrator WINDOW	WITH %	%	P	I	D
Mould zone1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	4000	<input type="checkbox"/>	8	141	5510	1378
Mould zone2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	40000	<input type="checkbox"/>	7	99	5965	1491
Mould zone3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	40000	<input type="checkbox"/>	6	99	5990	1498
Mould zone4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	40000	<input type="checkbox"/>	5	99	5920	1480
Mould zone5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	40000	<input type="checkbox"/>	4	100	6055	1514
Mould zone6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	40000	<input type="checkbox"/>	3	99	6105	1526
Mould zone7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	40000	<input type="checkbox"/>	2	100	6300	1575
Mould zone8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	40000	<input type="checkbox"/>	1	108	6480	1620

HOT RUN TEMP CYL.OPT << page

אפשרות  
לעליה  
איטית של  
טמפרטורה

משך זמן  
לשהות במצב  
העלייה  
האיטית של  
טמפרטורה

שם השדה	משמעות השדה
ON/OFF	אזור חימום מופעל
CONTROL TUNE	אזור לכיול
UP ALL	עליה משותפת של כל האזורים המסומנים
INTEGRATOR WINDOW	חלון בו אין שינוי של המקדם של I (40000 = 20.0 מעלות)
WITH %	עבודה בחוג פתוח לפי אחוזים
%	ערך האחוזים בעבודה בחוג פתוח
P	תיקון שגיאת הערך המצוי בהתאם לפער השגיאה מהערך הרצוי
I	תיקון שגיאת הערך המצוי בהתאם למשך זמן השגיאה מהערך הרצוי
D	תיקון שגיאת הערך המצוי בהתאם לקצב שינוי השגיאה מהערך הרצוי

\* ערכי ה- PID נקבעים בזמן הכיול ו/או ניתנים לתיקון באופן ידני

## 7. סיכום ומסקנות

### 7.1 סיכום

בפרויקט זה הוחלף בלוק החימום של תוכנת מכונת ההזרקה והתבנית.

תוכנת מכונת ההזרקה שולטת על מספר פעולות פיסיקליות הקשורות לחימום:

- מהירות סיבוב הבורג ב-rpm.
- מהירות תנועה קווית (במטר לשניה) בזמן הזרקת פלסטיק לתבנית.
- חימום מוקדם של השמן ההידראולי לפני הפעלה אוטומטית של המכונה.

בפעולות אלו נדרשים בדיקות וקישורים אל בלוק החימום אותו החלפנו.

במקרים של תקלות – יש ליידע את המשתמש בסוג התקלה וסיבתה, ובדרכי שמירה על כללי בטיחות והימנעות מסכנת שריפה ושברים מכניים.

### 7.2 מסקנות

התקבלה מהלקוח דרישה לשינוי חלק מהתוכנה, תוך שינויים קטנים ככול האפשר מצד הנראות למשתמשים.

כדי לערוך שינויים בתוכנה קיימת, נדרשת הבנה של המפתחים בכל נקודות הציבור, תוך התייחסות למגבלות רבות, הקשורות לשפת התוכנה ועבודה עם ממשק משתמש מיושן VB6.

שינוי בתוכנה קיימת חוסך זמן עבודה משמעותי:

- חסכון בזמן בשלב התכנות (תכנון, תיקון, קידוד, תיקון באגים).
- חסכון בזמן בשלב ההטמעה של הקוד החדש בקרב המשתמשים (מרכזי משמרת, מחליפי תבניות, אנשי אחזקה ומחלקת חשמל, טכנולוגי הזרקה), היות וממשק המשתמש כמעט ללא שינויים.

בהתייחס לשיקולי עלות/תועלת הוחלט על תיקון הקוד הקיים, ולא על כתיבת קוד חדש מהתחלה, שאולי הייתה מובילה לתוצר טוב יותר, אך מייצרת מגבלות של משך זמן ארוך לתכנון ולהטמעה.

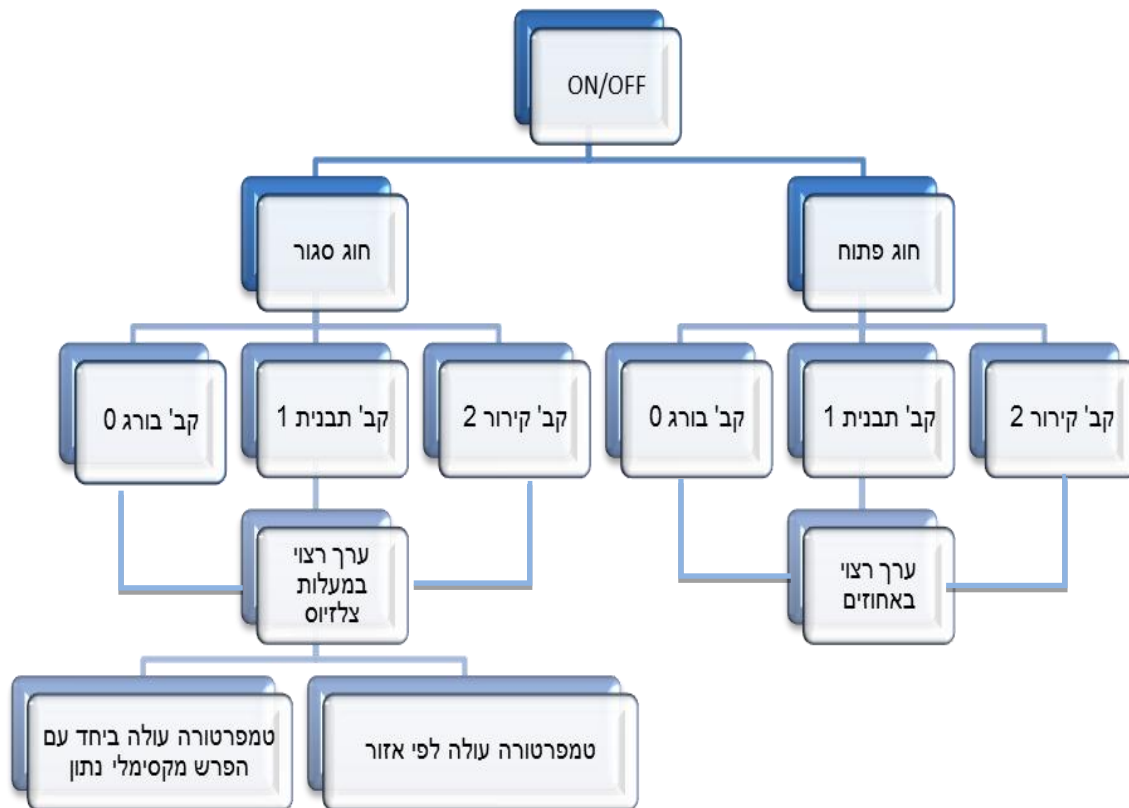
## 8. מקורות ונספחים

המקורות לקוחים מהמסמכים של החברה באתר החברה לרכיבי תוכנה ובקרה, שסיפקה את ציוד הבקרה, ואת תוכנת הפיתוח לפרויקט זה.

[/http://www.br-automation.com/en-gb](http://www.br-automation.com/en-gb)

<http://www.wikipedia.org/>

### נספח א - תרשים זרימה של אפשרויות חימום אזור אחד



## נספח ב - תרשים זרימה של מסכי טמפרטורה

