

## תרגיל 2 דו"ח PLC - קבוצה 24

### פרטי המגשים -

תום דמארי 206586315, אמיר יום טוב 313299968, מיה יערי 208731851, עמית רוזנבאום 314866567

### מטרת הפרויקט

מטרת התרגיל הינה להתנסות בתכנות בקר מתוכנת PLC באמצעות מימוש דיאגרמת סולם. בתרגיל מימשנו מערכת בקרה אוטומטית לייצור קרמבו למפעל "קרמבו שלי" על ידי 4 שלבים עיקריים. ראשית, היה עלינו לוודא כי כמות חומרי הגלם שיגדיר המשתמש עבור מכלי המלאי תספיק לייצור של משטח קרמבו אחד לפחות. במידה וישנה עמידה בתנאים תתבצע העברה של חומרי הגלם אל מכלי המלאי. ממכלי המלאי העברנו את הכמויות הנדרשות למכלי העבודה. לאחר מכן, התחלנו בביצוע שלבי העבודה כאשר בשלב הראשון מדובר בתהליך זילוף הקצפת על תחתיות הביסקוויטים במכונה א'. בשלב השני מתבצע תהליך שינוע של הקרמבו ממכונה א' למכונה ב'. בשלב השלישי ישנה טבילה של הקרמבו בשוקולד במכונה ב'. בשלב האחרון ארזנו את הקרמבו המוכנים. בתום האריזה הוספנו בדיקה של חוסר במכלי המלאי של חומרי הגלם כך שבמקרה של מחסור יסתיים יום העבודה.

### הנחות יסוד

1. המשתמש יזין כמויות חומרי הגלם עבור כל מיכל מלאי לפני תחילת יום העבודה (לפני הלחיצה על X7).
2. המשתמש יחל את שינוע הקרמבו על ידי הרמה של מתג X2 בתום פעולת הזילוף (כאשר חיישן המצלמה X2 שולח אות פעולת הזילוף הושלמה בהצלחה).
3. יום העבודה לא יתחיל אם לא הוכנסו כמויות חומרי גלם למכלי המלאי אשר עומדים בתנאים. במקרה בו אין עמידה בתנאים, על המשתמש להפעיל את התוכנית מחדש ולהכניס קלטים תקינים אשר עומדים בתנאים המוגדרים.
4. מתגים X1, X3, X4 לא יורמו בשלב פעולת הזילוף כאשר אין עמידה בתנאים המבוקשים עבור הטמפרטורה וזיהוי המשטח. מתגים אלו מתארים את פעולת החיישנים בחלק תיאורטי א'.
5. במטרה לאפשר את בחירת המשתמש נבחר להחמיר בתנאי ההתחלה עבור כמות מספקת של חומרי גלם ולכן נדרוש מספיק שוקולד כדי לאפשר ציפוי כפול למשטח הקרמבו.
6. לאחר השימוש במכונה א' לזילוף הקצפת, המשתמש יוריד את המתג X1 ובכך ידמה את מצב בתום פעולת הזילוף בו החיישן X1 אינו מזהה משטח.
7. בשלב טבילת הקרמבו בשוקולד, במידה והקלט שהוזן ב-analog אינו תקין (אינו בטווח 0-10) נדרוש לבצע דגימה חדשה על ידי המשתמש ולאחריה לחיצה על מתג X6. כל עוד לא יוזן קלט תקין פעולת ייצור הקרמבו לא תוכל להימשך. לראות עינינו אין קרמבו ללא ציפוי שוקולד.
8. רק אם כל התנאים מתקיימים לתחילת יום העבודה, תבוצע הכנסה של חומרי הגלם למכלי המלאי.
9. בסיום איטרציה המשתמש ישחרר את הכפתור הקפיצי X1 ויוודא הורדה של המתגים הבאים: x5, x2, x0, x6.

## תיאור מצבי הקיצון ושיטת הפתרון

### • תחילת יום העבודה, הזנת מלאים ובדיקות קלט של המשתמש -

1. בעת הזנת מלאי למערכת וידאנו שהקלט עומד בתנאי לתחילת יום העבודה לפיו צריך להיות מספיק חומר גלם עבור ייצור משטח קרמבו אחד לפחות. עם זאת, ייתכן מצב בו יש מספיק חומר גלם לייצור משטח קרמבו עם ציפוי רגיל אך לא כפול והמשתמש יבחר בציפוי כפול. כדי להתמודד עם מצב זה בחרנו להחמיר עם תנאי ההתחלה ולדרוש כי יהיה מספיק חומר גלם לייצור משטח קרמבו עם ציפוי כפול.
2. במידה ומוכנס קלט לא תקין לרגיסטרים (לדוגמה, קלט שלילי) תהליך היצור לא ימשך.

שיטת הפתרון של שני מצבי הקיצון: לאחר הזנת המלאים והרמה של X7 המערכת בודקת את המלאי שהוזן. היא תבדוק האם כמות הקצפת שהוזנה גדולה מ-300, האם כמות השוקולד שהוזנה גדולה מ-240 וכמות הביסקוויטים גדולה מ-6. במידה והערך לא עומד בבדיקה, התהליך לא ימשך. לכל אחת מהבדיקות חיברנו בטור נורת חיווי עזר משלה (M10, M11, M12). יצרנו חיבור טורי נוסף של כל התנאים שצריכים להתקיים. רק אם שלושת התנאים מתקיימים תידלק נורת Y7 בעזרת חיווי העזר M1 ותישאר דלוקה לכל אורך יום העבודה.

### • זילוף קצפת על תחתיות הביסקוויט במכונה א' (תרגיל תיאורטי א') –

1. נרצה לאכוף את ההעברה של קצפת ממיכל המלאי למיכל העבודה בתחילת יום העבודה כך שתוכל להתבצע אך ורק אם יש מספיק חומרי גלם לייצור מגש קרמבו אחד לפחות. לכן, ניעזר בבדיקה הראשונית ונדרוש כתנאי מקדים על ידי חיבור בטור של נורת החיווי M1 ב N.O (צריכה להיות דולקת כאינדיקציה לעמידה בתנאים לתחילת יום העבודה) עם לחצן קפיצי X11.
2. לחיצה על X10 תידלק מכונה א', אך פעולת הזילוף תפעל כתלות בחיישן המגע, בחיישני הטמפרטורה (טמפרטורה מתחת ל-15, טמפרטורה מעל 15) ובחיישן המצלמה כפי שתואר בסיפור. בחרנו לבצע מידול לכל חיישן בעזרת מתג (X1 עבור sen\_1, X3 עבור sen\_15, X4 עבור sen\_30) כאשר הרמה של המתג משמעותה שהחיישן נדלק והורדה שהחיישן נכבה. בפועל, אנו מבצעים את השינוי במצב החיישנים באמצעות המתגים ואילו בתיאוריה השינוי מתבצע אוטומטית.

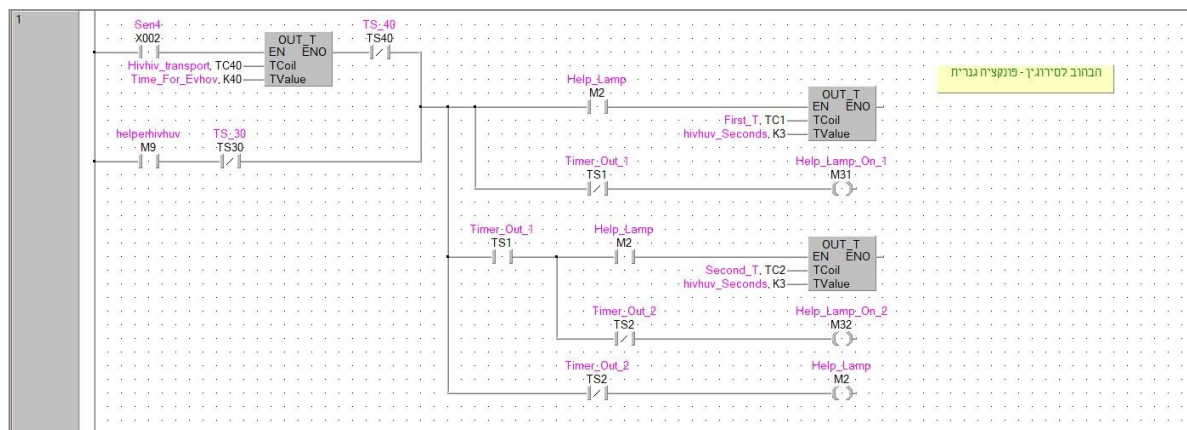
### • שינוע הקרמבו ממכונה א' למכונה ב' –

1. שינוע הקרמבו ממכונה א' לב' (הבהוב נורות לסירוגין של Y0, Y1) מתחיל בתום סיום פעולת הזילוף, אנחנו בחרנו לייצג זאת על ידי העברת אות מחיישן המצלמה X2 מכיוון שעל פי הסיפור מקרה של חלק תיאורטי א' כאשר חיישן המצלמה X2 נדלק פעולת הזילוף תסתיים ותחל פעולת השינוע. חיברנו את החיישן ב N.O לפני הבהוב של כל נורה כתנאי מקדים לתהליך זה.
2. מדובר בשתי נורות ולכן נדרש כי לכל נורה יהיה lane משלה. לאור העובדה כי ישנו טיימר משותף יחיד הסופר את משך ההבהוב ולא ניתן לחבר את שתי הנורות יחדיו אליו, בחרנו לבצע את המידול של השינוע בעזרת פונקציה גנרית של הבהוב נורות עזר M31, M32 לסירוגין כך נתאים לכל נורה Y0, Y1 את אחת הנורות עזר תוך מיקום הטיימר המשותף כחלק מהתנאים בפונקציה הגנרית וכך נוכל לאכוף התמודדות זו.

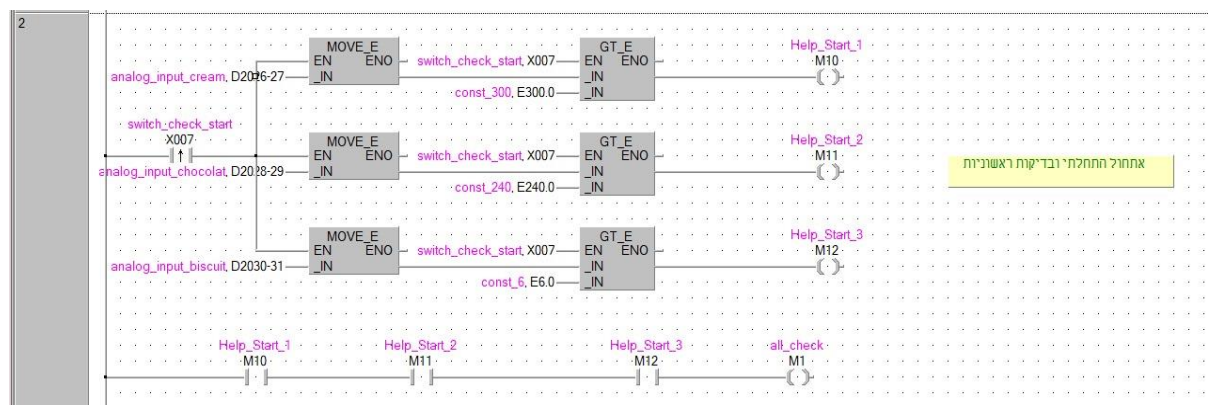
- **טבילת הקרמבו בשוקולד במכונה ב'** - בעת הזנת קלט המשתמש ב-analog input, במקרה בו הזן קלט שאינו עומד בתנאים הנדרשים לא תתבצע טבילה של הקרמבו בשוקולד. במצב זה התהליך ייעצר עד אשר המשתמש יכניס קלט תקין (0 עד 10), על ידי הורדה והרמה חוזרת של כפתור X6 לדגימה נוספת. הנחנו כי לא נוכל לסיים את תהליך ייצור הקרמבו עד שיושלם הציפוי. כדי לאכוף הזנה של קלט תקין הוספנו בדיקה על טווח הקלט על ידי שימוש בפונקציה GE\_E. כאשר אם ה-analog input נמצא בטווח שבין 0 ל-5 נורת העזר M18 תידלק לחיווי הבחירה בציפוי רגיל. לעומת זאת, אם הקלט נמצא בטווח שבין 5 ל-10 נורת העזר M20 תידלק לחיווי הבחירה בציפוי כפול. בהתאם לנורת החיווי שתידלק תתבצע הוספה של שוקולד למיכל העבודה (ADD\_E), החסרה של השוקולד ממכל המלאי (SUB\_E) וממיכל העבודה (SUB\_E) בסיום התהליך.
- **אריזת הקרבו המוכנים** – נרצה להימנע ממצב בו אריזת הקרמבו מתרחשת במידה ולא מתקיימים התנאים לתחילת יום והשלבים הקודמים לה (זילוף וציפוי שוקולד). לכן, יצרנו נורת חיווי M70 כאינדיקציה לסיום תהליך ציפוי השוקולד ובחיישן המצלמה X2 לחיווי סיום שלב הזילוף, שניהם ב-N.O מחוברים בטור עם X0 כדי לוודא כי לא מתרחש מצב קיצון זה.
- **בדיקת חוסר בחומר גלם** – בעת השימוש במלאי, חיסרנו את כמות חומרי הגלם שהועברו ממכלי המלאי למכלי העבודה. בתום כל איטרציה, וידאנו כי מפעל "קרמבו שלי" לא נכנס למלאי שלילי באמצעות פונקציות השוואה טרם תחילת האיטרציה הבאה ושימוש בנורת עזר M9 אשר מהווה חיווי לחוסר בחומר גלם בכך שהיא נדלקת כאשר קיים חוסר בלפחות אחד ממכלי המלאי השונים (קצפת, שוקולד ותחתיות בייסקוויטים). ניעזר בה ליציאה ממעגל ההחזקה לנורה Y7 ומידול סיום היום על ידי הבהוב של הנורה במשך 3 שניות ואז כיבוי שלה.

### טבלת תיאור משתנים

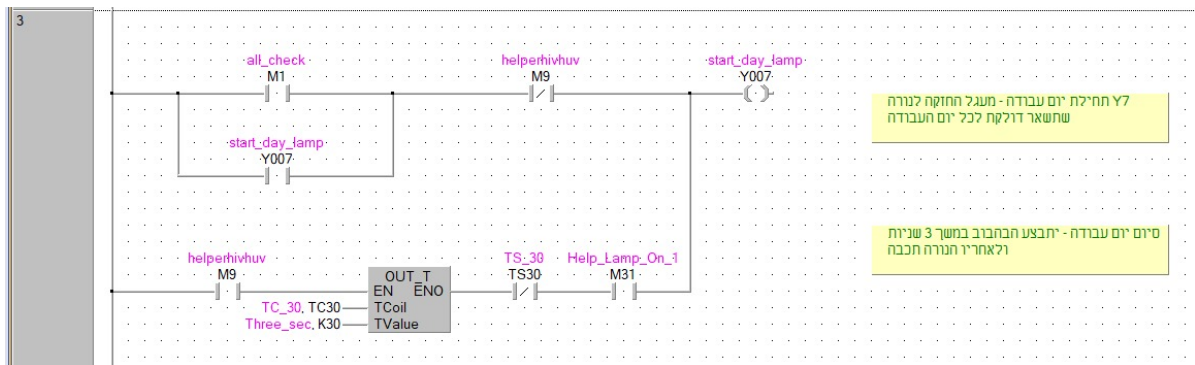
סוג הרגיסטר	שם המשתנה	DEVICE
רגיסטרי הזנת המלאי	analog_input_cream	D2026
	analog_input_chocolat	D2028
	analog_input_biscuit	D2030
רגיסטרי המלאי השונים	CREAM_CONTAINER	D2006
	BISCUITS_CONTAINER	D2012
	CHOCOLATE_CONTAINER	D2022
רגיסטרי מיכלי העבודה	Splash_bag	D2010
	Tray	D2014
	CHOCOLATE_DIPPING	D2020
רגיסטר כמות יחידות הקרמבו	finished_crembos	D2018



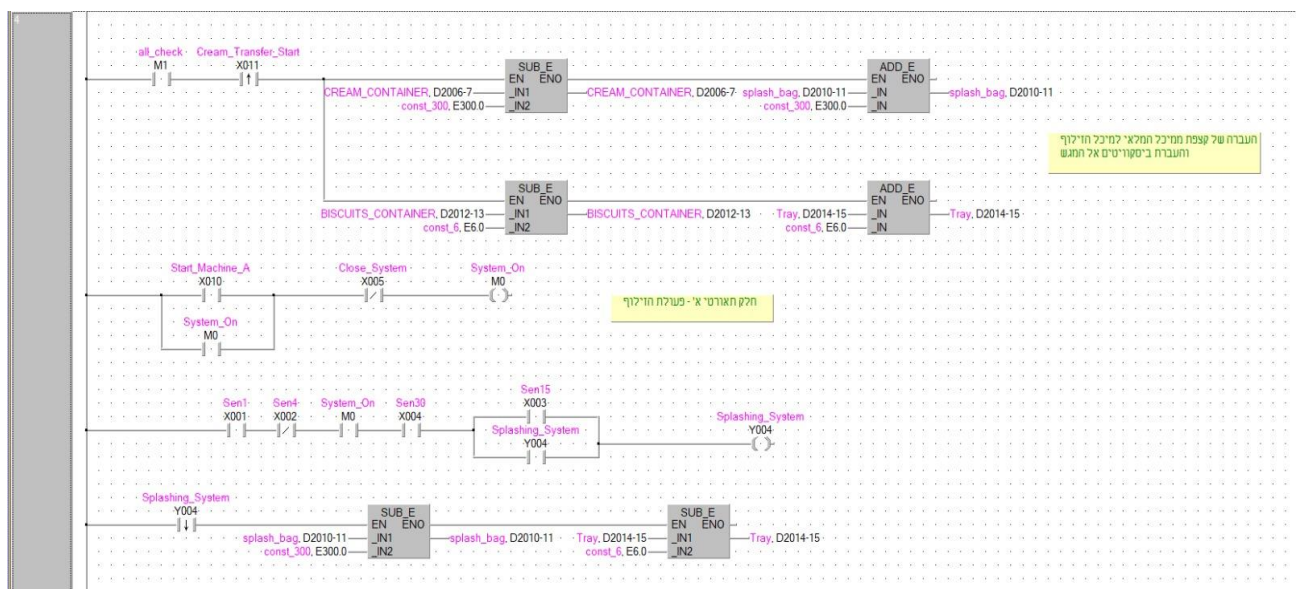
**הבהוב לסירוגין (פונקציה גנרית) -** בחרנו לבצע מידול של הבהוב לסירוגין כפונקציה גנרית מכיוון שאנו משתמשים בה עבור שני תהליכים שונים במהלך יום העבודה. התהליך הראשון הינו שינוע הקרמבו ממכונה א' למכונה ב' במהלכו נורות Y0 וY1 צריכות להבהב לסירוגין למשך 4 שניות ומכיוון שמדובר בטיימר משותף לשתי הנורות בחרנו למקם אותו בבלוק זה. התהליך הנ"ל מתחיל על ידי שליחת אות מחיישן המצלמה X2 המורה על סיום פעולת הזילוף. התהליך השני הינו סיום יום העבודה בעקבות הפעלת נורת העזר M9 כאינדיקציה למחסור בחומר גלם, נורה Y7 מהבהבת למשך 3 שניות ולאחר מכן נכבית. בחרנו לממש את ההבהוב לסירוגין על ידי שימוש בשתי נורות עזר M32, M31 אשר יהבהבו לסירוגין, בהתאם לשיטה שנלמדה בכיתה, כל אחת בתורה למשך 3 מילי שנייה.



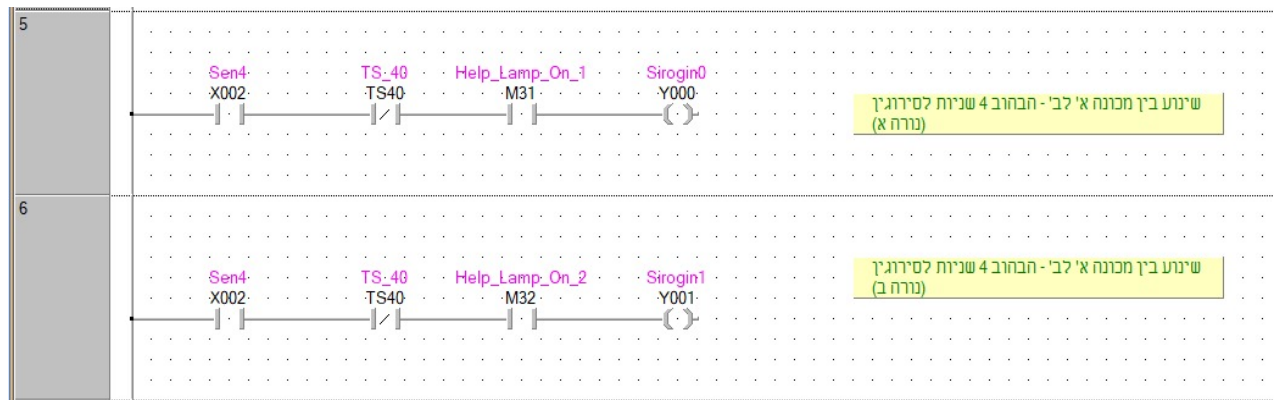
**אתחול יום העבודה ובדיקות ראשוניות -** שלב זה מתחיל בלחיצה על לחצן X7 (לחצן קפיצי) ולכן אנו משתמשים בפולס בעלייה. לפני כן, יזין המשתמש קלטים רצויים עבור כמות חומרי הגלם במכלי המלאי של הקצפת, השוקולד והביסקוויטים. הקלטים ישמרו ברגיסטרים ויעברו בדיקת תקינות באמצעות פונקציית ההשוואה GT\_E כאשר לכל אחת מהבדיקות חיברנו בטור נורת עזר משלה (M10, M11, M12). יצרנו חיבור טורי נוסף בין שלושת נורות העזר כך שנורה M1 מהווה חיווי אודות קיומם של כל התנאים הנדרשים לתחילת יום.



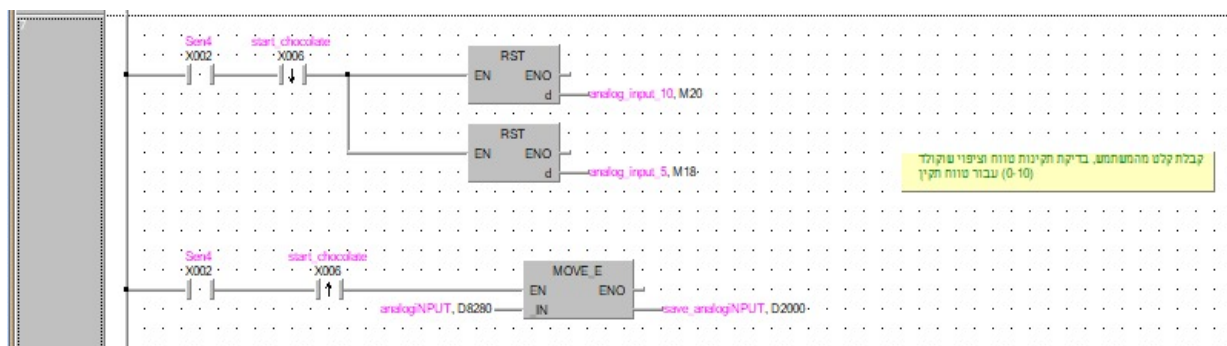
**נורה Y7 -** על מנת שהנורה תפעל לכל אורך היום השתמשנו במעגל החזקה ועל מנת לוודא עמידה בתנאים השתמשנו בחיווי העזר M1 לתקינות קלטי המלאים בתחילת היום וגם בחיווי עזר M9 אשר מהווה אינדיקציה במהלך היום למצב של חוסר בחומרי גלם ולכן כל עוד הוא כבוי (N.C) מעגל ההחזקה ישמר ונורה Y7 תידלק. אחרת, יעבור זרם ב-M9 (N.O) יתבצע הבהוב של שניות בנורה Y7 שיצרנו באמצעות טיימר שלאחריו הנורה תיכבה.



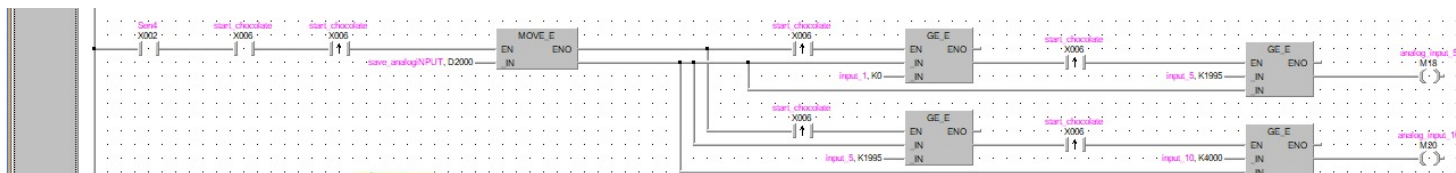
- סיום פעולת הזילוף יכול להתרחש במקרה של תקלה (חיווי העזר M0 יכבה) או במקרה שבו הסתיים הזילוף על כלל הקרמבו (חיישן המצלמה X2 נדלק ולכן N.C), סיום זה יוביל לכיבוי של נורה Y4. לסיום, בחרנו לבצע את ההחסרה של חומרי הגלם בהם השתמשנו (300 גרם קצפת משקית הזילוף ו-6 ביסקוויטים ממגש העבודה) באמצעות הפונקציה SUB\_E.



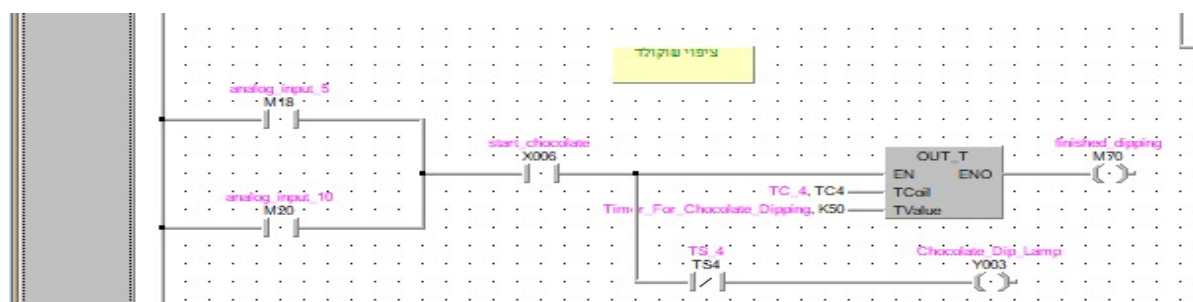
**שינוע בין מכונה א' לב' - מעבר של הביסקוויט עם הקצפת ממכונה אל מכונה ב**, נעלה את מתג x2 וכתוצאה מכך נפעיל זרם בנורות העזר m31 וm32 השייכות לפונקציה הגנרית שיצרנו בlane1 כתוצאה מעליית המתג x2 - הנורות y0 וy1 ידלקו לסירוגין בהתאם למצב של נורת העזר המתאימה לכל אחת (Y1-M32, Y0-M31) ועד הגעה לזמן היעד של 4 שניות. מכיוון שמדובר בשתי נורות פיצלנו לשני בלוקים שונים ולכן את הטיימר של 4 השניות מיקמנו כחלק מתנאי ההתחלה לפונקציה הגנרית וכאן נשתמש בTS40 כדי לוודא שהנורות יבהבו למשך 4 שניות בלבד וגם בX2 כחיווי לתחילת השינוע.



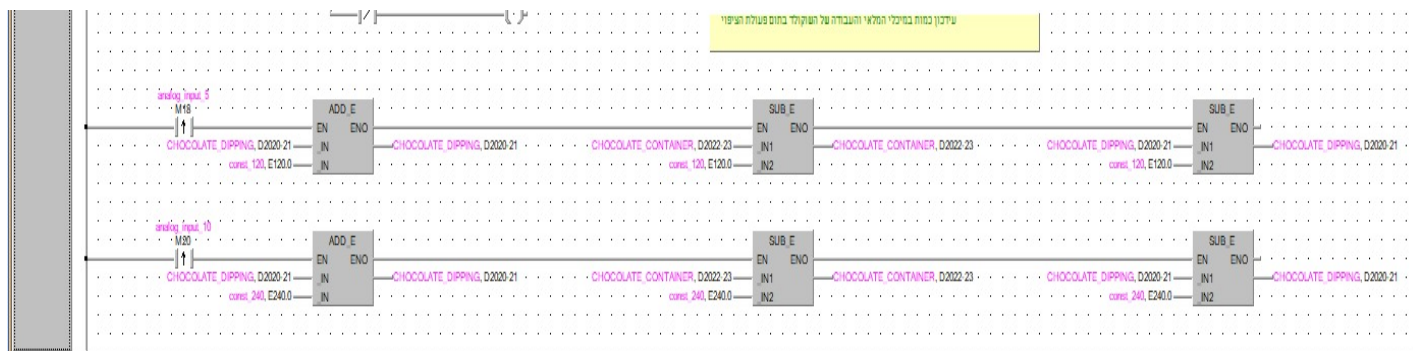
**קבלת קלט מהמשתמש - הרמה של X2 משמעותה שנשלח אות מהמצלמה על כך שהתבצע זילוף על כלל הקרמבו שבמשטח**, נוודא כי האתחול והדגימה יתבצעו רק בתום פעולת הזילוף. יצרנו אתחול של חיווי העזר עבור הקלט שהזין המשתמש לציפוי השוקולד (M20, M18) באמצעות פונקציית RST. את הפונקציות חיברנו ל-X6 בפולס בירידה כדי שהפעולה תתרחש רק לאחר סיום טבילת הקרמבו בשוקולד. בנוסף, השתמשנו גם ב-MOVE\_E אשר חיברנו ל-X6 בפולס בעלייה כך שבלחיצה עליו תתבצע דגימה של קלט מהמשתמש דרך analog input וישמר ברגיסטר D2000.



**בדיקת טווח הקלט מהמשתמש - הרמה של מתג X6** תתחיל את פעולת טבילת הקרמבו בשוקולד. בשלב הראשון נשתמש בפונקציית MOVE\_E כדי לקבל את הערך מהרגיסטר אותו נשלח לבדיקות הטווח לסיווג לציפוי רגיל או כפול. ערכנו את הבדיקה באמצעות פונקציה GE\_E כך שאם הקלט גדול שווה מ-0 או קטן שווה מ-5, נורה M18 תידלק לחיווי ציפוי רגיל. אם הקלט גדול שווה 6 וקטן שווה 10 תידלק נורה M20 לחיווי ציפוי כפול.



**ציפוי השוקולד - הדלקה של M18 או M20** תאשר שיטת עמידה בטווח המבוקש (כלומר הציפוי שהוזן על ידי המשתמש הוא בין 0 ל10) ולכן אם X6 מורם (מאחר והוא NO) ציפוי השוקולד יוכל להתחיל. זמן טבילת הקרמבו עבור המשטח עומד על 5 שניות בדיוק במהלך תידלק נורה Y3. ביצענו את המידול באמצעות טיימר עם ערך קבוע מתאים המחובר במקביל לY3. כאשר יסתיים התהליך תידלק נורת העזר M70 לחיווי סיום טבילת הקרמבו בשוקולד.



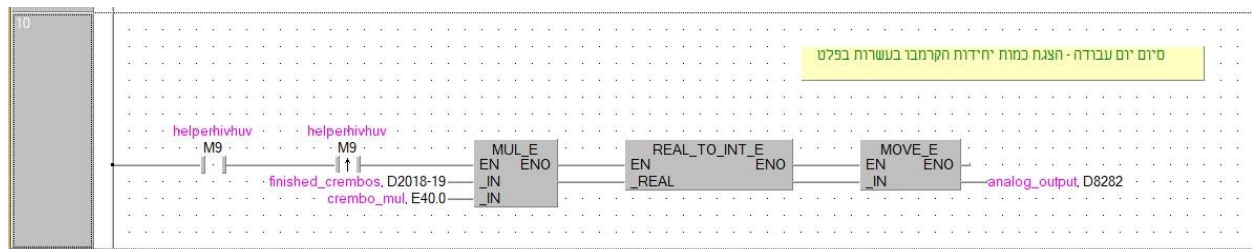
**עדכון מכילי המלאי והעבודה של השוקולד** - בעת הדלקה של M18 יתבצע ציפוי רגיל ולכן יתווספו 120 גרם שוקולד למיכל הטבילה באמצעות פונקציית ADD\_E ויוחסרו 120 גרם ממילי השוקולד באמצעות פונקציית SUB\_E. מאחר ובשלב זה נעשה שימוש בשוקולד שהכנסנו למיכל הטבילה עבור ציפוי הקרמבו נרצה להחסיר 120 גרם שוקולד מיד לאחר מכן ממילי הטבילה. במידה ותידלק M19 יתבצע אותו תהליך בהתאמה עם הוספה והחסרה של 240 גרם ממילי הטבילה והמלאי.







**בדיקת מחסור בחומר גלם –** הבדיקה תתבצע בסיום כל איטרציה כאשר נורת עזר M16 נדלקת מדובר בחיווי לסיום אריזת הקרמבו המוכנים. מדובר בבדיקה לזיהוי חוסר במקרה בו אין מספיק חומרי גלם עבור ייצור משטח קרמבו אחד לפחות. לאור העובדה כי משטח בודד מכיל 6 יחידות קרמבו, נדרוש לפחות 300 גרם קצפת, 240 גרם שוקולד ו6 תחתיות ביסקוויט. השתמשנו בפונקציית ההשוואה LT\_E כאשר הערך הראשון הינו כמות חומר הגלם ברגיסטר המלאי והערך השני הינו קבוע המייצג את הכמות המינימלית הנדרשת כאשר אם הערך הראשון קטן מהשני יוחזר הערך TRUE. חיברנו לכל בדיקה נורת עזר לחיווי החוסר. נורה M9 תדלק עבור מחסור בלפחות אחד ממכלי המלאי השונים ותהווה חיווי לסיום יום העבודה.



**סיום יום עבודה -** שלב זה יחל בתנאי שנורת עזר M9 נדלקת כחיווי לסיום יום עקב מחסור בחומר גלם. בסיום היום נרצה להציג ב-analog output את כמות יחידות הקרמבו (בבודדים) שיוצרו במפעל במהלך היום ביחידות של עשרות. לאור העובדה כי הערכים אשר מוצגים על גבי הבקר PLC דורשים המרה על ידי כפולה בערך ב400, ונדרש לחלק ב10 עבור ייצוג בעשרות – שילבנו לשימוש בפונקציה אחת MUL\_E אשר תקבל כקלט את כמות יחידות הקרמבו (בבודדים) וערך 40 למכפלה. בנוסף, מכיוון שהרגיסטר D2018 בו נשמרה כמות יחידות הקרמבו מסוג Float נדרש לבצע המרה לWord ולכן נשתמש בפונקציית ההמרה REAL\_TO\_INT\_E ולאחריה MOVE\_E כדי להציג את הערך הנדרש ב-ANALOG OUTPUT.

### **סיכום ומסקנות:**

בעזרת תרגיל זה התנסנו בתכנות בקר מתוכנת (PLC) באמצעות דיאגרמות סולם. בנוסף, למדנו לא רק כיצד לעבוד עם הלוגיקה שעומדת מאחורי PLC ואוטומציה, אלא גם כיצד החומר התאורטי שלמדנו בהרצאות בא לידי ביטוי בלוגיקה של הפנ התכנותי. כמו כן, למדנו להכיר לעומק את תכנת Gx Worx2.

במהלך העבודה נתקלנו בפעולות ומצבים שלא נלמדו בכיתה. אי לכך ובהתאם לזאת נדרשנו להפעיל חשיבה יצירתית תוך ניתוח מעמיק של תהליכים דומים שאכן נלמדו בכיתה ולהשליך מכך על המקרה אותו אנו צריכים ליישם בפועל. ככלל, השכלנו מעבר לתחום הידע שלנו, לעיתים תוך שימוש ב-HELP ואף הכרנו פונקציות חדשות שסייעו לנו בביצוע המטלה. יתר על כן, למדנו את לגבי המשמעות של הכניסות והיציאות של כלל הפונקציות והרגיסטרים ששימשו אותנו במהלך העבודה.

טרם תחילת ההתעסקות בתוכנה, בחרנו לבצע את החלק התיאורטי דרכו הבנו את הלוגיקה והזרימה של הנתונים, דבר אשר סייע לנו לרכוש תפיסה נכונה של סדר התרחשות התהליכים והבנתם לעומק. כתוצאה מהחלטה זו, בתחילת העבודה עם המערכת ידענו איך לבצע מידול סיפורי המעשה בצורה נכונה על ידי שימוש בביטוי המינימלי שהתקבל בתום כל תהליך ויישום מתאים שלו במערכת.

ראוי לציין כי בהתאם להמלצת המתרגל נמנענו משימוש ברגיסטרים צמודים על מנת לאפשר גמישות ולמנוע באגים בהרצת התוכנית.

## חלק תיאורטי:

### תרגיל תיאורטי חלק א'-

עבור הדלקה של מכונה א' יש ללחוץ על כפתור הפעלה קפיצי X10. במכונה א' מוצב חיישן מגע אשר מזהה כאשר משטח קרמבו מגיע למיקום רצוי לזילוף. כאשר מכונה א' מופעלת וחיישן זה מזהה משטח, פעולת הזילוף תוכל להתחיל לפעול כתלות בטמפ'. מכיוון שהקצפת רגישה לטמפ' גבוהות פעולת הזילוף תחל כאשר הטמפ' נמוכה מ-15 מעלות, ובמידה והטמפ' עולה מעל 30 מעלות פעולת הזילוף תיפסק עד אשר הטמפ' יורדת שוב מתחת ל-15. פעולת הזילוף תסתיים כאשר יישלח אות ממצלמה אשר מבצעת עיבוד תמונה באופן רציף המחווה על כך שהתבצע זילוף על כלל הקרמבו שבמשטח. במידה ומתגלה תקלה במכונה א' ניתן לעצור אותה מיידית ע"י הרמת מתג X5. לאחר מצב זה, פעולת הזילוף תוכל להתחיל מחדש מההתחלה לאחר הפעלה נוספת (וקיום כל התנאים הנדרשים). כל זמן שפעולת הזילוף פועלת תידלק נורה Y4.

### א. הגדרת משתני הקלט והפלט:

משתנה	כניסה/יציאה	תפקיד	מצב כאשר ערכו 1
X10	כניסה	כפתור הפעלה	הדלק מכונה
Sen_1	כניסה	חיישן מגע	משטח קרמבו מגיע למיקום רצוי לזילוף
Sen_15	כניסה	חיישן טמפרטורה	טמפ מתחת ל15 מעלות
Sen_30	כניסה	חיישן טמפרטורה	טמפ מתחת ל30 מעלות
Sen_4	כניסה	חיישן ממצלמה	התבצע זילוף על כלל הקרמבו שבמשטח
X5	כניסה	מתג כיבוי	עצור מערכת (תקלה במכונה)
Y4	יציאה	נורת חיווי להפעלת הזילוף	הזילוף פועל (נורה דולקת)
M0	יציאה	חיווי עזר להפעלת המכונה	המכונה פועלת

$$M_{0_{t+1}} = X_{10} * \overline{X_5} + M_{0_t} \quad \text{חיווי עזר להדלקת המכונה (מתג מופעל ומכונה תקינה):}$$

חיווי להפעלת הזילוף:

1. במצב שבו משטח הקרמבו מגיע למיקום רצוי לזילוף ניתן להתחיל את פעולת הזילוף ולכן sen\_1 נדרש להיות בעל הערך 1.

2. במצב שבו התבצע זילוף על כלל הקרמבו שבמשטח נדרש להפסיק את פעולת הזילוף ולכן sen\_4 נדרש להיות בעל הערך 0.

3. על מנת שהזילוף יפעל  $M_{0_{t+1}}$  נדרש להיות בעל ערך 1 (המכונה דולקת).

ב. טבלת אמת ומפת קרנו למציאת הביטוי המינימלי עבור פעולת הזילוף:

Sen_15	Sen_30	Y4t	Y4t+1	תיאור המצב
0	0	0	0	טמפ הקצפת גבוהה מ30 וגבוהה מ15, פעולת הזילוף לא פועלת ולכן גם לא צריכה לפעול
0	0	1	0	טמפ הקצפת גבוהה מ30 וגבוהה מ15, פעולת הזילוף פועלת ולכן נדרש להפסיק את פעולת הזילוף
0	1	0	0	טמפ מעל 15 ומתחת ל30, פעולת הזילוף לא פועלת ולא נדרש להפעילה כי הטמפרטורה לא ירדה מתחת ל15 מעלות
0	1	1	1	טמפ מעל 15 ומתחת ל30, פעולת הזילוף פועלת וצריכה להמשיך לעבוד
1	0	0	N/A	לא יתכן מצב שבו הטמפ מתחת ל15 מעלות וגם מעל ל30 מעלות
1	0	1	N/A	
1	1	0	1	הטמפ מתחת ל15 מעלות ולכן נדרש להפעיל את הזילוף
1	1	1	1	הטמפ מתחת ל15 מעלות, פעולת הזילוף פועלת וצריכה להמשיך לעבוד

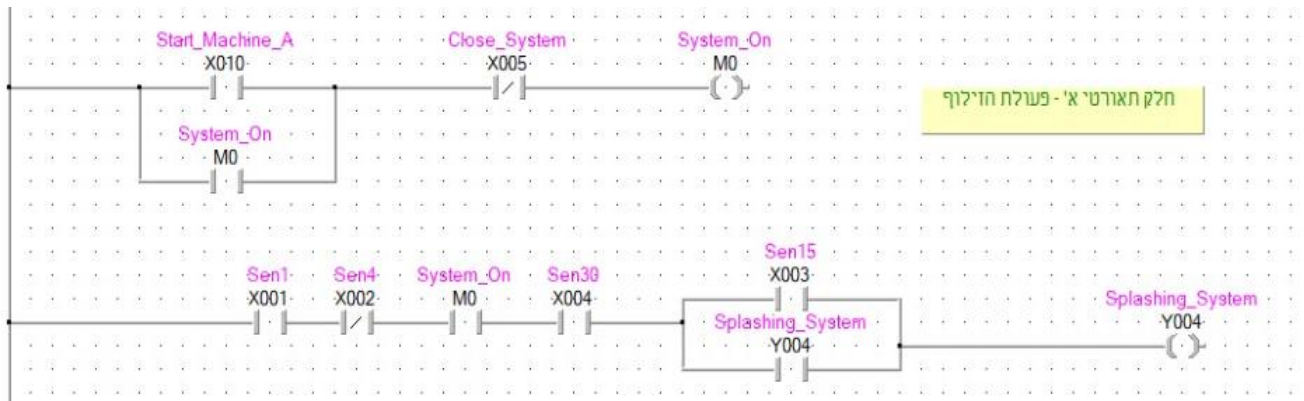
#### מפת קרנו עבור פעולת הזילוף

Sen_15, sen_30	00	01	11	10
Y4t				
0	0	0	1	0
1	0	1	1	0

$$Y_{4_{t+1}} = sen_1 \cdot \overline{sen_4} \cdot M_{0_{t+1}} \cdot (sen_{15} \cdot sen_{30} + sen_{30} \cdot Y_{4_t})$$

$$Y_{4_{t+1}} = sen_1 \cdot \overline{sen_4} \cdot M_{0_{t+1}} \cdot sen_{30} \cdot (sen_{15} + Y_{4_t})$$

**ג. מימוש ביטוי מצומצם בדיאגרמת סולם (בלוק 4 בדיאגרמת סולם של התרגיל המעשי):**



**תרגיל תיאורטי חלק ב'-**

מפעל חמים וטעים מייצר מוצר חדשני, מהפכני וממכר, במבה עם מילוי פיסטוק וציפוי שוקולד לבן. עבור הדלקה של המכונה יש ללחוץ על כפתור הפעלה קפיצי X10. כדי שהבמבה לא תתפוצץ מבפנים אבל המילוי יורגש על הכמות המוזרקת להיות 10 גרם לבמב אחד. בחרנו שלא לכלול את תהליך מילוי המזרק. כאשר המכונה מופעלת, יתחיל להתמלא המזרק עד אשר יזהה חיישן המשקל כי הגיע ל-10 גרם. המזרק יונח בזווית של כ-90 מעלות, כאשר חיישן המגע יחוש את הבמב תתחיל פעולת המילוי. במב שסיים להתמלא יועבר למסוע המסתובב לעבר מפל השוקולד הלבן. המסוע יסובב את הבמב כשווארמה מתחת למפל השוקולד למשך כשתי שניות. בסיום הנסיעה יונח הבמב על המגש ותעודכן ספירת הבמבות לשקית ורק אז יתחיל התהליך עבור הבמב הבא. מאחר ואנחנו לא קמצנים ואושר הלקוח זה בראש מעייננו כאשר תגיע הספירה ל-50 במבות, נורת האריזה תידלק ותכולת המגש תועבר לאריזה מפוארת. לאחר סיום האריזה, נבצע אתחול מחדש ואיפוס של המשתנים לקראת אריזה חדשה באמצעות לחיצה על כפתור קפיצי X7. רק לאחר מכן יכנס במב חדש המיועד לאריזה חדשה. במידה ומתגלה תקלה במכונה ניתן לעצור אותה מיידית ע"י הרמת מתג X5.

**א. הגדרת משתני הקלט והפלט:**

משתנה	כניסה/יציאה	תפקיד	מצב כאשר ערכו 1
10X	כניסה	כפתור הפעלה	הדלק מכונה
Sen_1	כניסה	חיישן שקילה	כמות המילוי הנשקלת מגיעה לכ-10 גרם
Sen_2	כניסה	חיישן מגע	במב מגיע לעמדת ההזרקה
Sen_90	כניסה	חיישן זווית	מזרק בזווית של כ-90 מעלות
CC1	כניסה	ספירת כמות הבמבות על המגש	במב נכנס למגש
T0	כניסה	טיימר 2 שניות שהבמב צופה	הטיימר הגיע ליעד (לא שומר זיכרון)
X5	כניסה	מתג כיבוי	עצור מערכת (תקלה במכונה)
X7	כניסה	כפתור אתחול לאריזה הבאה	מתחיל ייצור הבמבות לאריזה חדשה
Y4	יציאה	חיווי לסיום הכנת הבמב	הבמב מולא וצופה
Y5	יציאה	נורת האריזה	כמות הבמבות מגיעה ל-50
M0	יציאה	חיווי עזר להפעלת הזילוף	המכונה פועלת

חיווי עזר להדלקת המכונה (מתג מופעל ומכונה תקינה):  $M_{0_{t+1}} = X_{10} * \overline{X_5} + M_{0_t}$

### חיווי להפעלת המילוי :

1. במצב שבו המזרק נמצא בזווית של כ-90 מעלות תוכל פעולת המילוי להתחיל ולכן  $sen_{90}$  נדרש להיות בעל ערך 1.
2. במצב שבו הבמב מגיע לעמדת ההזרקה ויש מגע בינו לבין המזרק ניתן להתחיל את פעולת המילוי ולכן  $sen_2$  נדרש להיות בעל הערך 1.
3. על מנת שהמילוי יפעל  $M_{0_{t+1}}$  נדרש להיות בעל ערך 1 (המכונה דולקת).

### פעולת הכנת במב

Sen_1	To	Y4t	Y4t+1	תיאור המצב
0	0	0	0	המזרק ריק, פעולת המילוי והציפוי לא החלה.
0	0	1	N/A	לא ייתכן מצב שבו המזרק ריק, פעולת הציפוי לא בוצעה והבמב מוכן
0	1	0	1	המזרק ריק, פעולת הציפוי בוצעה והבמב טרם מוכן (בדרך למגש).
0	1	1	1	המזרק ריק, פעולת הציפוי בוצעה והבמב מוכן על המגש.
1	0	0	0	המזרק מלא, פעולת הציפוי לא בוצעה והבמב טרם מוכן.
1	0	1	N/A	לא ייתכן מצב שבו המזרק מלא, פעולת הציפוי טרם בוצעה וגם הבמב מוכן.
1	1	0	N/A	לא ייתכן מצב שבו המזרק מלא, פעולת הציפוי בוצעה והבמב לא מוכן.
1	1	1	N/A	לא ייתכן מצב שבו המזרק מלא, הציפוי הסתיים והבמב מוכן.

### מפת קרנו עבור הכנת הבמב:

Sen_1 ,T0	00	01	11	10
Y4t				
0	0	1	0	0
1	0	1	0	0

$$Y_{4_{t+1}} = sen_{90} \cdot sen_2 \cdot M_{0_{t+1}} \cdot (\overline{sen_1} \cdot T_0)$$

## הנחות:

1. בתום כל הכנה של במב בודד נמלא את המזרק ב10 גרם טרם יציאת במב חדש (בחרנו שלא להתמקד בתהליך זה).
2. טרם הלחיצה על X7 לטובת אתחול התהליך לטובת כניסת במב חדש, כלל החיישנים יאופסו. בפועל, המתגים המתאימים יכובו טרם האתחול –  $sen\_1(X1)$ ,  $sen\_2(X2)$ ,  $sen\_90(X3)$ .

## חיווי לאריזת הבמבות:

תיאור המצב	Y5t+1	Y5t	Y4t	CC1
תהליך הכנת הבמב טרם הסתיים, לכן במב מוכן טרם הגיע למגש וכמות הבמבות הכוללת קטנה מ50 ולכן הנורה צריכה להישאר כבויה	0	0	0	0
לא יתכן מצב שבו תהליך הכנת הבמב טרם הסתיים, מספר הבמבות הכולל טרם הגיע ל50 והנורת האריזה דולקת	N/A	1	0	0
תהליך הכנת הבמב הנוכחי הסתיים, כמות הבמבות הכוללת טרם הגיעה ל50 ולכן הנורה צריכה להישאר כבויה	0	0	1	0
לא יתכן מצב שבו הבמב מולא וצופה, הנורה דולקת אך כמות הבמבות טרם הגיעה ל50	N/A	1	1	0
לא ייתכן כי הבמב ה-50 הגיע למגש, במב חדש יצא לדרך (נצפה כי החיווי לבמב מוכן יהיה דלוק)	N/A	0	0	1
	N/A	1	0	1
הבמב האחרון מוכן, המונה ספר 50 במבות ולכן הנורה צריכה להידלק	1	0	1	1
הבמב ה-50 מוכן, הגיע למגש ולכן הנורה צריכה להישאר דולקת	1	1	1	1



מפת קרנו לחייוי אריזת הבמבות:

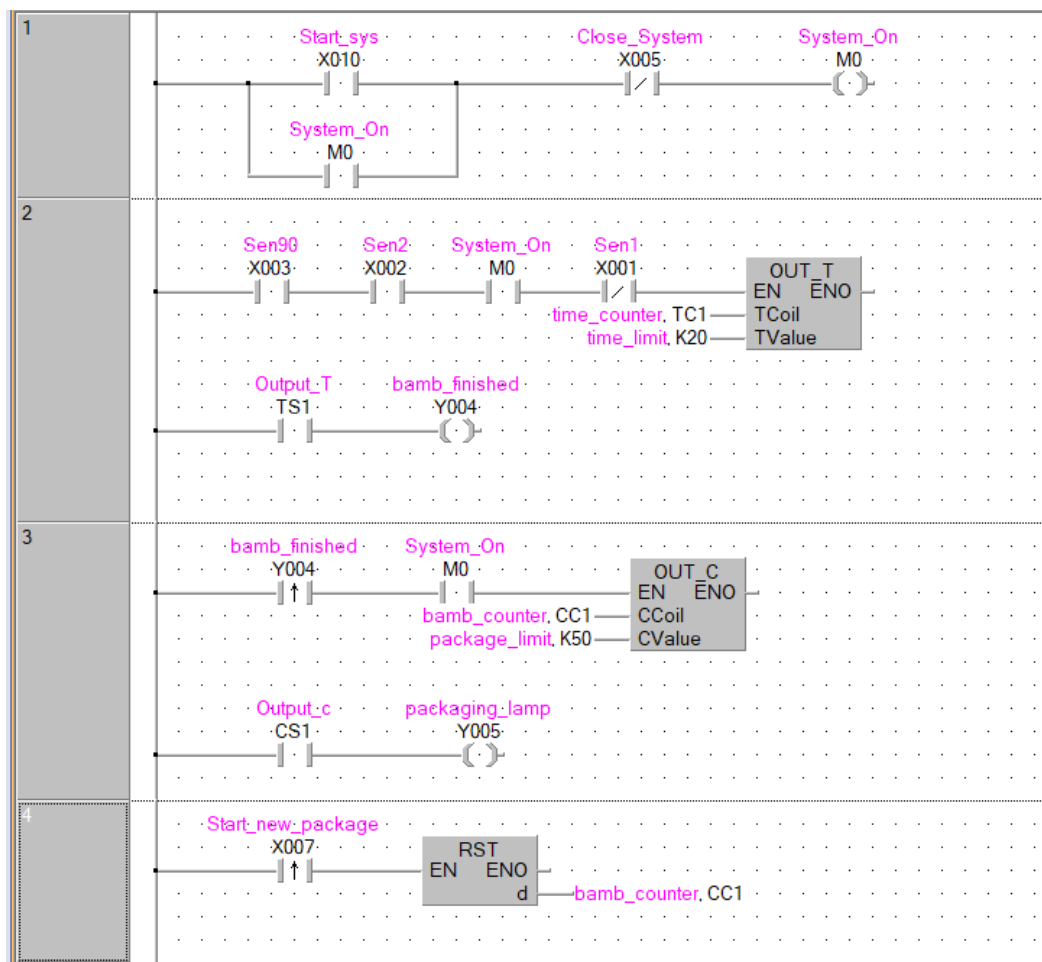
CC1, Y4t Y5t	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	0	0	1	0

$$Y_{5t+1} = M_{0t+1} \cdot (Y_{4t} \cdot CC_1)$$

הנחות:

1. רק לאחר שנורת האריזה נדלקת יחל תהליך יציאה של במב לשקית חדשה, זמן מעבר.
2. רק לאחר שנורת האריזה תכבה יתאפס התהליך לאריזת במבה חדשה.
3. הקאונטר סופר עד 50 ואז נהיה 1 והנורה תידלק.

ג. מימוש הביטוי המצומצם בדיאגרמת הסולם:



## נספח א' – טבלת משתנים

Class	Label Name	Data Type	Constant	Device	Address	Comment	Remark	Relation with System Label
1	VAR_GLOBAL	all_check	Be	M1	1MX0.1			
2	VAR_GLOBAL	initiate_check_start	Be	K007	10X7			
3	VAR_GLOBAL	start_dip_lamp	Be	F007	10X7			
4	VAR_GLOBAL	CREAM_CONTAINER	Float (Single Precision)	D2006	1MX06.2006			
5	VAR_GLOBAL	Cream_Timer_Start	Be	K011	10X8			
6	VAR_GLOBAL	initiate_dip	Float (Single Precision)	D2010	1MX06.2010			
7	VAR_GLOBAL	BISCUTS_CONTAINER	Float (Single Precision)	D2012	1MX06.2012			
8	VAR_GLOBAL	TS	Float (Single Precision)	D2014	1MX06.2014			
9	VAR_GLOBAL	Start_Machine_A	Be	K010	10X8			
10	VAR_GLOBAL	System_On	Be	M6	1MX0.9			
11	VAR_GLOBAL	Chive_System	Be	K005	10X5			
12	VAR_GLOBAL	Spicehug_System	Be	F004	10X4			
13	VAR_GLOBAL	Sen1	Be	K001	10X1			
14	VAR_GLOBAL	Sen4	Be	K002	10X2			
15	VAR_GLOBAL	Sen30	Be	K004	10X4			
16	VAR_GLOBAL	Sen15	Be	K003	10X3			
17	VAR_GLOBAL	Timer_Out_1	Be	TS1	1MX3.1			
18	VAR_GLOBAL	Sen00	Be	F000	10X0			
19	VAR_GLOBAL	Sen01	Be	F001	10X1			
20	VAR_GLOBAL	First_T	Be	TC1	1MX5.1			
21	VAR_GLOBAL	Second_T	Be	TC2	1MX5.2			
22	VAR_GLOBAL	Timer_Out_2	Be	TS2	1MX3.2			
23	VAR_GLOBAL	help_stat_1	Be	M10	1MX0.10			
24	VAR_GLOBAL	help_stat_2	Be	M11	1MX0.11			
25	VAR_GLOBAL	help_stat_3	Be	M12	1MX0.12			
26	VAR_GLOBAL	Expres	Be	M40	1MX0.40			
27	VAR_GLOBAL_CONSTANT	Time_For_Schur	Word(Signed)	40				
28	VAR_GLOBAL	start_chocolate	Be	K006	10X6			
29	VAR_GLOBAL_CONSTANT	input_1	Word(Signed)	0				
30	VAR_GLOBAL_CONSTANT	input_3	Word(Signed)	195				
31	VAR_GLOBAL	TC_4	Be	TC4	1MX5.4			
32	VAR_GLOBAL	Chocolate_Dip_Lamp	Be	F003	10X3			
33	VAR_GLOBAL	TS_4	Be	TS4	1MX3.4			
34	VAR_GLOBAL	CRAMBO_PACKAGE_LIGHT	Be	F002	10X2			
35	VAR_GLOBAL	CC_5	Be	CC5	1MX6.5			
36	VAR_GLOBAL_CONSTANT	Count_5	Word(Signed)	5				
37	VAR_GLOBAL	CS_5	Be	CS5	1MX4.5			
38	VAR_GLOBAL	START_PACKAGING	Be	K000	10X0			
39	VAR_GLOBAL	M14_STOP_LAMP	Be	M14	1MX0.14			
40	VAR_GLOBAL_CONSTANT	Count_6	Word(Signed)	6				

Class	Label Name	Data Type	Constant	Device	Address	Comment
36	VAR_GLOBAL_CONSTANT	Count_5	5			
37	VAR_GLOBAL	CS_5		CS5	1MX4.5	
38	VAR_GLOBAL	START_PACKAGING		X000	10X0	
39	VAR_GLOBAL	M14_STOP_LAMP		M14	1MX0.14	
40	VAR_GLOBAL_CONSTANT	Count_6	6			
41	VAR_GLOBAL	M16_lamp		M16	1MX0.16	
42	VAR_GLOBAL	CS_6		CS6	1MX4.6	
43	VAR_GLOBAL	CC_6		CC6	1MX6.6	
44	VAR_GLOBAL_CONSTANT	input_10	4000			
45	VAR_GLOBAL	analog_input_10		M20	1MX0.20	
46	VAR_GLOBAL	analog_input_5		M18	1MX0.18	
47	VAR_GLOBAL	Check_New_Iteration_Cream		M24	1MX0.24	
48	VAR_GLOBAL	Check_New_Iteration_chocolate		M26	1MX0.26	
49	VAR_GLOBAL	Check_New_Iteration_Biscuits		M28	1MX0.28	
50	VAR_GLOBAL	CHOCOLATE_CONTAINER		D2022	1MD0.2022	
51	VAR_GLOBAL	CHOCOLATE_DIPPING		D2020	1MD0.2020	
52	VAR_GLOBAL	TS_30		TS30	1MX3.30	
53	VAR_GLOBAL	TC_30		TC30	1MX5.30	
54	VAR_GLOBAL_CONSTANT	Three_sec	30			
55	VAR_GLOBAL	helpervihuv		M9	1MX0.9	
56	VAR_GLOBAL	Help_Lamp		M2	1MX0.2	
57	VAR_GLOBAL	analog_input_cream		D2026	1MD0.2026	
58	VAR_GLOBAL	analog_input_chocolat		D2028	1MD0.2028	
59	VAR_GLOBAL	analog_input_biscuit		D2030	1MD0.2030	
60	VAR_GLOBAL	Help_Lamp_On_1		M31	1MX0.31	
61	VAR_GLOBAL	Help_Lamp_On_2		M32	1MX0.32	
62	VAR_GLOBAL	HvHiv_transport		TC40	1MX5.40	
63	VAR_GLOBAL	TS_40		TS40	1MX3.40	
64	VAR_GLOBAL_CONSTANT	crembo_mul	40			
65	VAR_GLOBAL_CONSTANT	const_120	120			
66	VAR_GLOBAL_CONSTANT	const_240	240			
67	VAR_GLOBAL_CONSTANT	const_300	300			
68	VAR_GLOBAL_CONSTANT	const_6	6			
69	VAR_GLOBAL	finished_crembos		D2018	1MD0.2018	
70	VAR_GLOBAL	analogINPUT		D8280	1MW0.8280	
71	VAR_GLOBAL	save_analogINPUT		D2000	1MW0.2000	
72	VAR_GLOBAL_CONSTANT	hivhuv_Seconds	3			
73	VAR_GLOBAL	finished_dipping		M70	1MX0.70	
74	VAR_GLOBAL_CONSTANT	Timer_For_Chocolate_Dipping	50			
75	VAR_GLOBAL	analog_output		D8282	1MW0.8282	
76						

## נספח ב' – WATCH1

Watch 1(Monitor Executing)						
Device/Label	Current Value	Data Type	Class	Device	Address	Comment
D2026	500.0000000	Float (Single Precision)		D2026	%MD0.2026	
D2028	250.0000000	Float (Single Precision)		D2028	%MD0.2028	
D2030	100.0000000	Float (Single Precision)		D2030	%MD0.2030	
D2006	200.0000000	Float (Single Precision)		D2006	%MD0.2006	
D2012	94.0000000	Float (Single Precision)		D2012	%MD0.2012	
D2022	10.0000000	Float (Single Precision)		D2022	%MD0.2022	
D2010	0.0000000	Float (Single Precision)		D2010	%MD0.2010	
D2014	0.0000000	Float (Single Precision)		D2014	%MD0.2014	
D2020	0.0000000	Float (Single Precision)		D2020	%MD0.2020	
D2018	6.0000000	Float (Single Precision)		D2018	%MD0.2018	