

# הלוגיקה של SELOGICA

מאת דודי כהן\*

שיתוף פעולה הדוק עם האקדמיה, וכן בדוקטור של כבוד מטעם האוניברסיטה הטכנית של מינכן ב-2014.

## קבלת פנים צוננת

הרברט קרייבולר הזמין את MARTIN HOYER (הוייר), אז עובד חדש בחברה, להוביל את הפרויקט. נדרשו לצוות ארבע שנים כדי לאפיין את המערכת וליצור את הארכיטקטורה שלה (ציור המחזור, צורת הדפים, הגרפיקה, האייקונים וכו'). אולם כשהתוצאה הוצגה

לראשונה בפני הנהלת החברה, ב-1992, היא לא אהבה אותה, בלשון המעטה. רק הרברט קרייבולר, ה"אבא" העקשן של המערכת, סירב להרים ידיים ושכנע את הנהלת "ארבורג" להמשיך בפרויקט. הפיקוד החדש קיבל את השם SELOGICA ועברה לשלב הבא - פיתוח התוכנה והחומרה. לשם פיתוח התוכנה גויסו מיטב המוחות באוניברסיטאות של גרמניה בתחום המתמטיקה ושקדו במקביל על

האלגוריתמים המתמטיים, שיאפשרו לתוכנה לחשב אוטומטית את הזמן הנדרש לכל שלב במחזור ההזרקה ואת הייתכנות של רצפים שונים של תהליכי הזרקה. לצורך הכנת החומרה, "ארבורג" נאלצה לבנות מפעל לתכנון וייצור של כרטיסי התוכנה כי לא היה שום יצרן שיכול היה לספק את צרכיה בקצב הנדרש. במהלך כשלוש שנים נרשמו קרוב למאה פטנטים, ובסופו של דבר יצאו הפיקודים הניסיוניים הראשונים לעולם, כאמור, בתחילת 1995.

## הדורות הראשונים

הדור הראשון של SELOGICA הושק יחד עם המכונות מסדרה ALLROUNDER V. הפיקוד כלל מסך שפופרת והרבה מאוד דפים והתאפיין בסרבול במציאת הדפים, אך בגמישות גדולה יחסית

יצרנית מכונות ההזרקה הגרמנית ARBURG רואה את עצמה כחברה מהפכנית מראשית דרכה - החל משנת 1956, בה הושקה מכונת ההזרקה הקטנה לשימוש ביתי, ושנת 1961, בה הושקה מכונת ה-ALLROUNDER, אשר יכולה לעבוד במצבים אופקיים ואנכיים שונים של יחידת הנעילה ויחידת ההזרקה, דרך פיתוח מכונות ליישומים ייחודיים שונים, כגון הזרקה רב-רכיבית, הזרקה אבקת והזרקה סיליקון, וכלה בהשקת המכונה להדפסה תלת-ממדית, ה-FREEFORMER, בשנת 2013.

תחום נוסף, בו הייתה "ארבורג" חלוצה, הוא תחום הבקרה. בתחילת 1995 השיקה החברה, לאחר שנים רבות של פיתוח, את מערכת הבקרה SELOGICA, שהייתה גם היא מהפכנית בהשוואה למערכות שהיו קיימות בשוק עד אז, משום שהיא אפשרה למפעיל ליצור רצף של תהליך על ידי הזנת סמלים (אייקונים) על המסך.

הכול החל בשנת 1988 כשהוחלט בחברה לבנות תוכנת בקרה, שלא תהיה מבוססת על מסכים עם שורות של מספרים ואותיות, אלא על סמלים בלבד, שניתן לערוך אותם בצורות שונות על גבי המסך. תוכנה זו הייתה אמור להחליף את התוכנות הקודמות של החברה - HYDRONICA, MULTRO ו-NICA ו-DIALOGICA - שהיו מבוססות על מעבד 8080 של "אינטל" וממשיכיו (המעבד הראשון בעולם, שהושק בשנת 1974 ב"אינטל" חיפה, חולל מהפכה בעולם המחשוב העולמי ופתח את תור המחשוב האישי).

הוגה הרעיון היה הרברט קרייבולר (KRAIBUHLER), אז מנהל הפיתוח בחברה ולימים סמנכ"ל טכנולוגיה והנדסה של "ארבורג" עד פרישתו ב-2014, ומי שזכה בשנת 2012 לפרס מכובד מהאוניברסיטה המובילה בעולם בתחום הפלסטיקה בעיר אאכן על מפעל חייו ותרומתו לתעשיית הפלסטיקה העולמית תוך

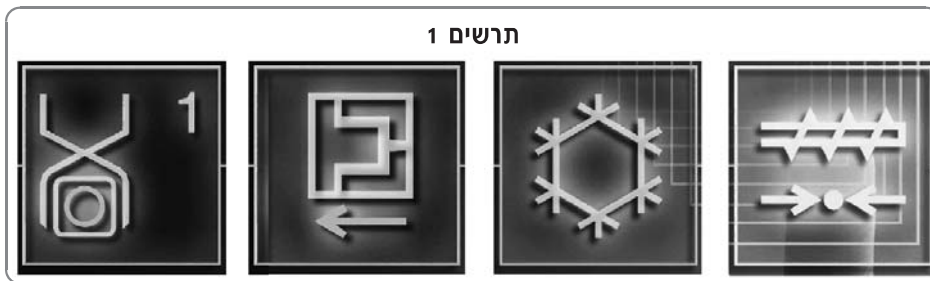
\* הכותב הוא ממנהלי חברת "סופאד", ספקית של ציוד היקפי ומכונות לתעשיית הפלסטיקה. המייצגת בין היתר את יצרנית מכונות ההזרקה הגרמנית ARBURG, אשר פיתחה את תוכנת SELOGICA לבקרה ואופטימיזציה של הייצור בקווים להזרקה פלסטיקה על כל רכיביהם, כולל רכיבי המכונה, רכיבי התבנית, הציוד ההיקפי ורובוטים. המעוניינים במידע נוסף על הנושא מוזמנים לפנות ישירות לדודי, טל' 052-3334740.

רבות להפעיל את הגרעין - פנימה, החוצה, לפני פתיחת התבנית, אחרי פתיחת התבנית, כאשר יש משאבה, כאשר אין משאבה.

התוכנה בודקת אוטומטית ובזמן אמיתי את הסבירות של רצף התנועות ואם יש חשש להתנגשות, המכונה תמנע אפשרות זו. בכך היא תמנע מהמפעיל לבחור באופציה לא נכונה, אשר עלולה לפגוע בתבנית או בבטיחות התהליך.

מאידך, התוכנה מצביעה בפני המפעיל/מתכנת על אפשרויות לבצע פעולות במקביל במסגרת מחזור ההזרקה, ובכך היא מאפשרת אופטימיזציה של התהליך, קיצור זמנים, הגברת התפוקה וחיסכון באנרגיה.

בתרשים 1 ניתן לראות כמה סמלים פשוטים להבנה (משמאל לימין): רובוט פעולה 1; פתיחת תבנית; קירור; לחץ אחזקה.



### ההמשכיות מדור לדור

ב-2004 יצאה לשוק גרסת הדור השלישי של התוכנה, שנקראה SELOGICA DIRECT. גרסה זו מבוססת על מסך מגע והיא מהירה יותר בתגובותיה. בתחילה צוידו בגרסה זו רק המכונות החשמליות, לאחר מכן גם מכונות GOLDEN EDITION ומכונות סדרה S הגדולות, ולבסוף היא הותקנה בכל המכונות ב-2005.

ב-SELOGICA DIRECT סודרו הדפים בצורה הרבה יותר נוחה כפועל יוצא מהערות הלקוחות, וניתן להגיע בלחיצת אצבע לדפי העבודה הרלוונטיים. המסך גדול והסמלים רחוקים וגדולים במידה מספקת כדי שלא תהיה אפשרות גם לבעלי כפות ידיים ואצבעות גדולות ללחוץ על שני כפתורים בו-זמנית. המסך גם מצופה בחומר, שניתן לעבוד עליו עם ידיים מלוכלכות ולנקותו עם סמרטוט יבש ללא השארת סימנים.

מפתחי גרסת ה-SELOGICA DIRECT שמו לעצמם שתי מטרות בתחום ההמשכיות בין גרסאות התוכנה:

1. למפעיל מכונה, המכיר את ה-SELOGICA הקלסית, יידרשו שעתיים הדרכה לכל היותר כדי להכיר את הפיקוד החדש. ואכן, ההיגיון שביסוד הגרסה החדשה היה זהה לזה שביסוד הגרסה הקודמת, והמעבר מגרסה לגרסה היה קל ופשוט הודות לאתר חיפושים, שאפשר למפעיל לקשר את שמות הפונקציות בגרסה החדשה עם שמותיהן בגרסה הקלסית.

לפיקודים מקבילים באותן שנים. הוא עבד על CPU איטי יחסית לימינו (מהירות עיבוד של 20 מילישניות לעומת 10 מילישניות בדור 2 וחמש מילישניות בדור הנוכחי).

הרעיון היה לאפשר למשתמש ליצור תצוגה גרפית של תהליך הייצור על כל הרכיבים המשתתפים בו ולתת לו חופש מלא לתכנת סדרה רצופה של פרמטרים, כשהתוכנה מובילה אותו שלב אחרי שלב. התוכנה עצמה מראה את הפקודות האפשריות בכל שלב והיכן ניתן להכניסן. היא גם עוצרת את תהליך התכנות כשהיא מגלה טעות.

בשלב ראשון, הלקוחות בעולם התקשו לעכל את החידוש, ובמדינות רבות נצפתה אי שביעות רצון מצד המשתמשים. בשנת 1996 שקלו ב"ארבורג" לבטל את פרויקט ה-SELOGICA. דווקא בישראל, ובעיקר במפעלי "נטפים", המערכת התקבלה באהדה והוטמעה ללא קושי, והיצרנים הישראליים למדו במהירות להפיק

מהמערכת את מירב התועלת. יתרה מזו, כשהם שמעו על כוונת המפתחים ב"ארבורג" לבטל את SELOGICA, הם הודיעו, שהם לא מוותרים עליה, ואף העלו הצעות מועילות לשיפורים.

בנקודת זמן מסוימת פעל בישראל המספר הגדול ביותר של מערכות SELOGICA בעולם. גם הקורסים ש"ארבורג" הציעה ליצרנים הישראליים, שבאו להשתלם בתוכנה במפעל בגרמניה, היו

שונים מהקורסים שהוצעו לנציגי מדינות אחרות.

בשנת 1996 הוציאה "ארבורג" לשוק את מכונות סדרה ALLROUNDER JUBILEE עם פיקוד SELOGICA דור 2, שהועבר למסך LCD שטוח, מספר הדפים בו צומצם ונפתחה האפשרות להגיע לדפים דרך הסמלים ב-SEQUENCE (כלומר בסדרה רצופה). למשל, אם מסמנים את סמל "סגירת תבנית" ולוחצים על כפתור "דף נתונים", מקבלים מתחת לתמונת ה-SEQUENCE את דף סגירת התבנית.

התוכנה גם עברה לעבוד על CPU חזק יותר, כאמור, והודות לכך ניתנו ללקוחות אפשרויות של בקרה וביצוע במקביל למחזור הסטנדרטי. למשל, ניתן להתחיל את נשיפת האוויר במקביל למהלך הזרקן קדימה (בתלות בדרך) ולסיים את נשיפת האוויר תוך כדי סגירת התבנית במחזור הבא (בתלות בדרך).

### בדיקות ייתכנות

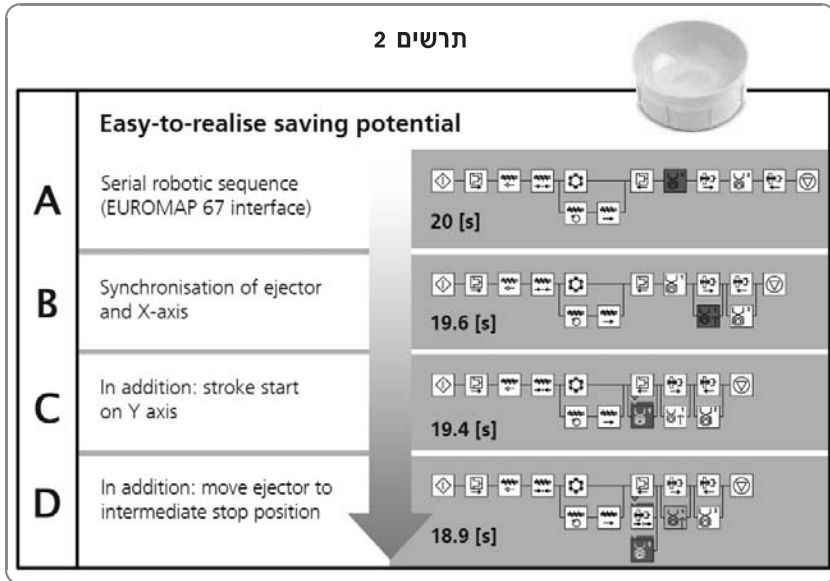
#### אוטומטיות ואפשרויות עבודה במקביל

בהדרגה הלכה התוכנה וכבשה לבבות בעולם בזכות מגוון האפשרויות שהיא מציעה, שייתכן שהמפעילים לא היו מודעים להן ללא השימוש בתוכנה. למשל, כאשר המפעיל משלב גרעין בתהליך ולוחץ על האייקון של הגרעין, נפתחות בפניו אפשרויות

כאשר "ארבורג" מספקת את המכונה עם המערכת הרובוטית, התוכנה הרובוטית מאוחסנת על כרטיס CF יחד עם התוכנה של המכונה. פירוש הדבר, שאין צורך בניהול נפרד של תוכנת הרובוט. "ארבורג" מספקת את מערכות השינוע הרובוטיות, שפעולתן משולבת בתוכנת ה-SELOGICA, כחבילות מוכנות להפעלה.

## SELOGICA היום - אוניברסלית ועדיין חדשנית ורעננה

SELOGICA היא תוכנה, המיועדת לשימוש אוניברסלי בתכנות ובקרה של כל תהליכי ההזרקה המוכרים, ואין צורך בתוכנית נפרדת לכל תבנית. התוכנה מתאימה לכל סוג מכונה, בין אם הידראולית, חשמלית או היברידי. למשל, כאשר מעבירים את הייצור ממכונה הידראולית למכונה חשמלית, התוכנה מסוגלת להמיר את נתוני התבנית והתהליך ליכולות של המכונה החשמלית.



יתרה מזו, SELOGICA מציעה דרך מהירה וקלה לתכנת ולשלוט גם על מערכות הייצור הנלוות, כולל ציוד היקפי ורובוטים בכל רמות המורכבות, והיא חוסכת זמן ועלויות הודות לטווח הרחב של אפשרויות סינכרוניזציה של תנועות הרובוט והמכונה. התוצאה היא, שניתן לתכנת מראש זמני מחזור קצרים יותר. הניהול של נתוני התכנות פשוט מאוד ויש רק תיעוד נתונים אחד לכל קו הייצור או תא הייצור.

לצד מבחר רחב של אפשרויות לאופטימיזציה של התהליך, לבקרה ולתיעוד, המשולבות בתוכנה, היא מאפשרת גם לשפר גם את נצילות האנרגיה של המכונה, הקו או תא הייצור. היא מבצעת ניתוח מפורט של צריכת האנרגיה במהלך המחזור על חלקיו השונים ומאפשרת למפעיל לצפות בהשפעות המיידיות של שינויים באופן ההפעלה של המכונה על הצריכה.

2. כל תוכנית שנשמרה במכונות "ארבורג" עם פיקוד SELOGICA DIRECT על ה-SELOGICA, ואכן, הזיכרונות של התבניות עוברים מגרסה לגרסה משנת 1995 עד היום באמצעות כרטיסי CF, וכך אין צורך לתכנת את הנתונים מחדש.

ב-2010 הושק אשף העזרה באתחול (SETUP), המנחה את העובד שלב אחרי שלב כיצד לרתום את התבנית למכונה בצורה תקינה, כאשר המכונה מכוונת בעצמה את מהלכי התבנית, הזרקן וכו'. כך, פונקציית העזרה של SELOGICA מאפשרת אתחול מהיר, פשוט ואמין של המכונות מבלי שהמפעיל יידרש להכיר כל פרט של מערכת הבקרה. עוד כולל מודול העזרה פונקציות "למידה" לכל רצף ההזרקה, והתוכנה ממש מוליכה את מפעיל המכונה יד ביד דרך כל שלבי ההמשך.

## גם הרובוט בפנים

באותה שנה גם התאפשר השימוש בתוכנה בשלט רחוק, כך שהמפעיל יכול לנוע סביב המכונה או תא הייצור ולשלוט על כל הפרמטרים. חידוש נוסף שהושק באותה שנה היה שילוב רובוט 6 צירים בתוכנת הבקרה. כל מחזור העבודה של הרובוט שולב במחזור ההזרקה, והתוכנה אף אפשרה לבצע כונון עדין של עבודת הרובוט. שילוב זה מאפשר למפעילי המכונה לשלוט בפעולות המורכבות של הרובוט באמצעות הפקודות המוכרות להם, במקום דרך הפיקוד המקורי שלו, אשר מחייב התמחות בבקרה שונה.

גם הרצפים של הרובוט מתוכנתים בעזרת סמלים, כך שאין צורך בידע מוקדם לצורך התכנות, ומי שמורגל לעבודה עם מערכת SELOGICA לא יתקשה להכין את הרובוט לייצור. שילוב הרצפים של הרובוט ברצפים של המכונה מבוצע בדיוק כמו קביעת הרצפים האחרים. למשל, ניתן לתכנת את

הזמנים להתערבויות של הרובוט בתהליך בין מצב של "תבנית פתוחה" למצב של "תבנית סגורה" לפי הצורך.

בקובץ התרשימים, המסומן במספר 2, ניתן לראות כיצד משפיע מיקום הרובוט בתהליך על זמן המחזור: A - הרובוט נכנס בסוף הפתיחה לפני פעולת הזרקן; B - הרובוט נכנס במקביל לפעולת הזרקן קדימה; C - הרובוט נכנס במקביל לתנועת הפתיחה של התבנית; D - הרובוט נכנס במקביל לפתיחה, ועד לעצירת ביניים בתנועת הזרקן קדימה.

השילוב של מערכת הבקרה הרובוטית ב-SELOGICA נעשה כך, שלאחר יצירת התוכנית הרובוטית, כל שאר הפעולות מבוקרות ממכונת ההזרקה דרך לוח הבקרה שלה, כולל הפעלה וכיבוי, התחלת הייצור ועצירתו, בחירת מצבי פעולה, זיהוי התראות והרשאות הפעלה.

המחזור תוך לחיצה על מתג הפונקציה המתאים. המסך שיוצג יראה רק את הפרמטרים הסבירים לתכנות במסגרת מחזור הייצור הנתון, דבר המקל מאוד על המפעיל.

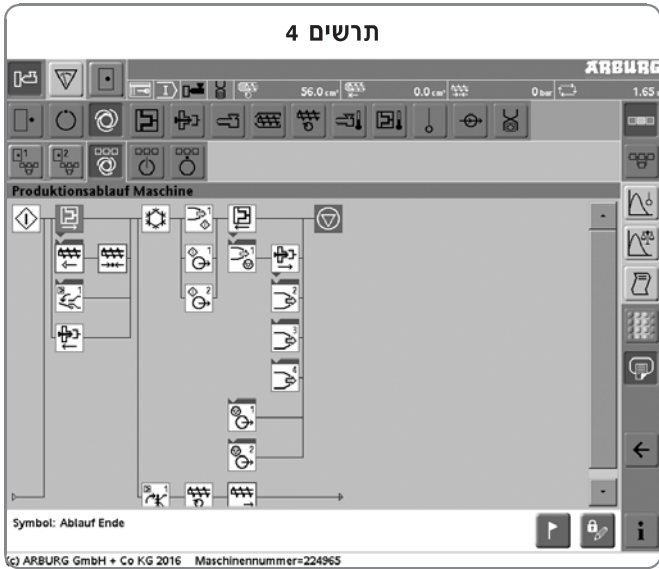
למעשה, כל מה שהמפעיל נדרש הוא להזין הוא סוג חומר הגלם ומשקל מנת ההזרקה. בעקבות זאת המכונה מחשבת אוטומטית את הפרמטרים של הטמפרטורות, הלחצים והמהירויות על סמך בסיס נתונים של חומרי גלם שונים, המצוי בתוכנה.

בשלב הרביעי המפעיל מגדיר אילו פרמטרים במערכת הבקרה יחושבו אוטומטית. ניתן, למשל, לקבוע, שרק הטמפרטורה של יחידת ההזרקה תשתנה אוטומטית כאשר מחליפים חומר גלם וכל הפרמטרים האחרים יישארו ללא שינוי.

בשלב החמישי והאחרון ניתן לגרום לתוכנה "ללמוד" את התהליך. המפעיל מבצע את כל השלבים ומאשר אותם והם נשמרים בזיכרון של התוכנה.

### שני יישומים לדוגמה

בחרתי להציג שני יישומים, שבהם יש אפשרות רחבה לביצוע פעולות במקביל, וה-SELOGICA מציעה דרך קלה ופשוטה לנצל את האפשרויות הללו בצורה מיטבית:



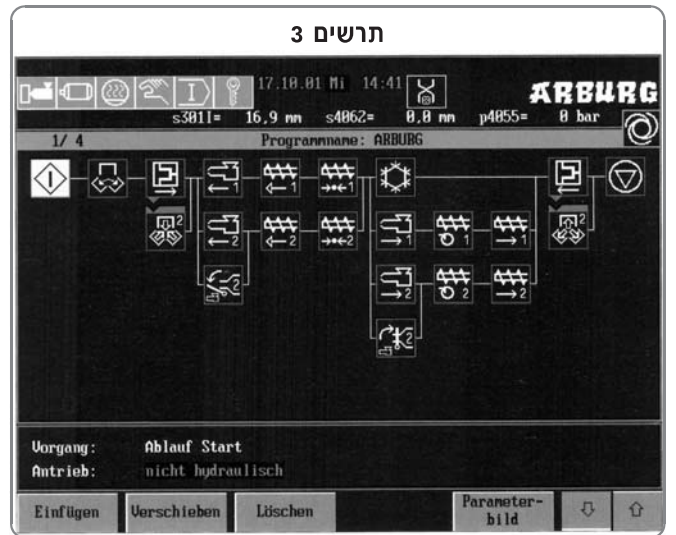
למשל, בתרשים 3 אנו רואים תהליך הזרקה של מוצר דו-רכיבי, כאשר הפעולות המתרחשות במקביל מופיעות אחת מתחת לשנייה. להלן רצף הפעולות בתהליך (משמאל לימין): לאחר סיבוב התבנית, היא נסגרת; תוך כדי סגירה נכנס גרעין מספר 2; יחידות הזרקה 1 ו-2 נצמדות לתבנית ובמקביל נפתחת דזת-שסתום של צילינדר 2; לאחר מכן מתבצעות הזרקה ראשונה ושנייה במקביל ומתרחש מעבר ללחץ אחזקה בשתי היחידות; בגמר שתי פעולות ההזרקה מתחיל קירור, ובמקביל אליו מתקיימות פעולות פלסטיפיקציה של שתי יחידות ההזרקה

התוכנה תורמת גם ליציבות ולהדירות של התהליך ולהגנה על התבנית על ידי בקרה מדויקת של טמפרטורות, לחצים, מהירויות ומיקומים.

### תהליך התכנות ב-SELOGICA

נדרשים חמישה צעדים הגיוניים כדי ליצור את כל הרצף של מחזור ההזרקה:

כל תכנות מתחיל עם בחירת התצורה של המכונה והצגת מחזור ההזרקה על כל שלביו. על סמך נתונים בסיסיים אלה התוכנה מעמידה לרשות המפעיל את הרכיבים שניתן למקם על התרשים (יחידת הזרקה, מערכות הנעה, חולצים, רכיבי אוטומציה וציוד לתהליכים מיוחדים). לאחר מכן המפעיל בוחר את הנתונים הקשורים לתבנית, כגון מידות התבנית, מערכות ההנעה



(חשמליות, הידראוליות ופניאומטיות), הגרעינים, מספר מעגלי הטמפרטורה, ציוד עזר וכו'. המחזור מוצג על המסך כתרשים זרימה והמפעיל יכול לראות את המחזור השלם גם כשהוא מטפל בשלבים אינדיבידואליים.

בשלב השני המפעיל מונחה לרתום את התבנית. רצף שלבי הפעולה מוצג על ידי אשף האתחול והמפעיל פשוט צריך לבצע את השלבים בזה אחר זה ולאשר את ביצועם. רצפים משניים, כגון איפוס של צירי המכונה, נבחרים מדף מסך מרכזי ומופעלים בלחיצה על כפתור. לאחר מכן, מערכת הבקרה מבצעת את הפעולות הרלוונטיות באופן אוטומטי. תצוגה סכמטית משמשת כהדרכה נוספת ואין צורך בתכנות הפרמטרים. יתרה מזו, במסך של אשף האתחול ניתן להפעיל גם הפונקציות של ניטור ותיעוד של תהליך הייצור בלחיצת כפתור.

בשלב השלישי המפעיל קובע את הפרמטרים של הייצור. הגישה לנתונים מתבצעת באחת משתי דרכים: על ידי לחיצה על המתג השייך לסמל של רכיב כלשהו בתהליך, או ישירות מתרשים

וסגירה של דיזת-שסתום 2; בגמר פעולות אלו ובגמר זמן הקירור, התבנית נפתחת, ובמקביל לתנועה יוצא גרעין מספר 2. בתרשים 4 אנו רואים תהליך ייצור במכונת הזרקה חשמלית. כידוע, יתרון של המכונות החשמליות בכך, שהן מאפשרות לבצע פעולות במקביל. ה-SELOGICA מציגה בפני המפעיל את כל הפונקציות אשר יכולות לעבוד במקביל - מילוי, פתיחה, יניקת אוויר וזרקנים - וכך מאפשרת לו למצות את האפשרויות לבצע אופטימיזציה של תהליך ההזרקה ולקצר את מחזור ההזרקה. להלן רצף הפעולות בתהליך המוצג בתרשים:

במקביל לתנועת הסגירה של תבנית, הזרקן חוזר לאחור, דיזת-שסתום נפתחת בתלות מיקום התבנית, וההזרקה מתחילה לפני הנעילה הסופית (injection on fly) ועוברת ללחץ אחזקה. בשלב זה נסגרת הדיזה, מתחילה פעולת פלסטיפיקציה ומסתיימת ביניקה - פעולה זו יכולה להימשך לתוך המחזור הבא בזמן סגירת תבנית. במקביל, בתום זמן הקירור, מתחילות הפעולות הבאות:

1. אוויר 1 לפני פתיחה, ופתיחת התבנית;
  2. סיום אוויר 1 בהמשך לפתיחה - תלוי מהלך פתיחה;
  3. פקודות 1 ו-2 להפעלת הרובוט הצידי;
  4. נשפנים 2, 3, 4 במקביל לחולץ - תלוי מהלך;
  5. סיום פעולות 1 ו-2 של הרובוט הצידי.
- זמן המחזור לסך כל הפעולות, כולל תנועת הרובוט - 1.65 שנייה.

