

# תורת העיבוד השבבי

# 2

משרד העבודה  
האגף להכשרה מקצועית



## תהליכי ייצור

מוטי מרקוביץ

 **מאה**  
המחלקה לפיתוח  
פדגוגי טכנולוגי



תורת העיבוד השבבי 2

# תהליכי ייצור

## מוטי מרקוביץ

תשפ"ג - 2023

כתיבה, עריכה ועריכת איורים: **מוטי מרקוביץ**, תעשיות בית-אל. מומחה לעיבוד שבבי, MA בחינוך. ניהול הפקה ועריכת פורמט גרפי: **ד"ר ענת בר-כהן**, מאה © המחלקה לפיתוח פדגוגי טכנולוגי, האגף להכשרה מקצועית ופיתוח כוח אדם, משרד העבודה. הנחייה מקצועית: **רינהרד לנגאור**, ממונה מערכת החינוך, תעשיות בית-אל. בדיקה מקצועית:

**אדריאנה הדדי**, מפקחת ארצית למקצועות מערכות טכנולוגיות, ייצור ומיכון, האגף להכשרה מקצועית ופיתוח כוח אדם, משרד העבודה. **יוסי אלמלם**, מפקח למקצועות מערכות טכנולוגיות, ייצור ומיכון, האגף להכשרה מקצועית ופיתוח כוח אדם, משרד העבודה.

**פרופ' רפי ורטהיים**, מכללת אורט בראודה.

**אינג' אלי פלד**, מנכ"ל חברת אינטרטול.

**אינג' רם נחום**, מנכ"ל חברת נ.ב.ט. השחזות ועיבוד שבבי בע"מ.

**מיכאל קורוץ**, מפעל GTI, תעשיות בית-אל.

**שמואל קורוץ**, מפעל GTI, תעשיות בית-אל.

**יהודה קלו ליבנה**, מנהל מרכזי ההכשרה, קבוצת בית-אל.

**עמרן פאעור**, מרכז הכשרה צוה לבון, חברת ישקר.

הנחייה דידיקטית, עימוד והגהה: **מתודיקה למידה אפקטיבית בע"מ**.

עריכה לשונית: **מירב אברהמי**.

עיצוב גראפי: **סטודיו גם וגם**.

הדפסה: **המדפיס הממשלתי**.

## תודות מיוחדות

• **לאלברכט פוקס**, מנכ"ל תעשיות בית-אל, על הפיכת הרעיון להוצאת סדרת הספרים למציאות.

• **לעובדי תעשיות בית-אל**, שבחנו וייעצו מקצועית במהלך הפיתוח.

• **לחברת סימטרון בע"מ** על אישור השימוש בחומר הלימודי ובתמונות.

• **לחברת ישקר בע"מ** על אישור השימוש בתמונות ובקטלוגים.

© כל הזכויות שמורות ל **מאה** © המחלקה לפיתוח פדגוגי טכנולוגי.

מ"ק 854020, 2057666

אין להעתיק, לתרגם, לשכפל, לאחסן במאגרי מידע, לשדר או לקלוט בכל אמצעי אלקטרוני, אופטי או אחר - שום חלק מהחומר בספר זה.

לא ייעשה שימוש מסחרי מסוג כלשהו ללא רשות בכתב מאת הנהלת **מאה** © המחלקה לפיתוח פדגוגי טכנולוגי.

מהדורה ראשונה תשפ"ג - 2023

הוצאה לאור: **מאה** © המחלקה לפיתוח פדגוגי טכנולוגי

בית ליאו גולדברג, דרך מנחם בגין 86 תל אביב 6713833

טלפון 03-7347482/3; פקס 03-7347627; דוא"ל [mea@economy.gov.il](mailto:mea@economy.gov.il)

[www.gov.il/he/Departments/DynamicCollectors/mea-catalog-books?skip=0](http://www.gov.il/he/Departments/DynamicCollectors/mea-catalog-books?skip=0)

## תוכן העניינים

7	רשימת האיורים
17	רשימת התרשימים
18	רשימת הטבלאות
20	הקדמה
22	פתח דבר
<b>23</b>	<b>2.1 תנאי שיבוב בחריטה, כרסום וקידוח</b>
23	2.1.1 מטרות הפרק
23	2.1.2 מבוא
24	2.1.3 נתוני שיבוב - הקדמה
26	2.1.4 מהירות החיתוך
26	2.1.4.1 הקדמה
28	2.1.4.2 הגורמים המשפיעים על מהירות החיתוך
29	2.1.4.3 קביעת מהירות החיתוך $V_c$
34	2.1.5 הסל"ד R.P.M בעיבוד השבבי - הקדמה
34	2.1.5.1 הקדמה
39	2.1.6 מהירות קידמה $V_f$
39	2.1.6.1 מבוא
39	2.1.6.2 סוגי קדמות בעיבוד השבבי
39	2.1.6.3 מהירות קידמה במ"מ לסיבוב $V_f \text{ mm/rev}$
40	2.1.6.4 מהירות קידמה במ"מ לדקה $V_{fmm/min}$
42	2.1.6.5 מהירות קידמה ב- $^\circ/\text{min}$ (מעלות לדקה)
44	2.1.7 מרקם פני שטח בחריטה
44	2.1.7.1 הקדמה
45	2.1.7.2 מרקם פני השטח (טיב השטח)
47	2.1.7.3 סימון דרגת מרקם השטח בשרטוט
47	2.1.7.4 כרסום מתלווה וכרסום מנוגד
49	2.1.8 תנאי שיבוב למקדח
52	2.1.9 טבלאות לקביעת נתוני שיבוב
60	2.1.10 דוגמאות חישוב (סל"ד וקדמה) בכרסום, חריטה וקידוח
60	2.1.10.1 תרגילים בכרסום
61	2.1.10.2 תרגילים בחריטה
62	2.1.10.3 תרגילים בקידוח
63	2.1.11 ההיגש $a_p$
63	2.1.11.1 הקדמה

65	קביעת ההיגש בחריטה	2.1.11.2
71	קביעת ההיגש בכרסום	2.1.11.3
81	<b>סיכום</b>	<b>2.1.12</b>
<b>87</b>	<b>קידוח, שיקוע וקידוד</b>	<b>2.2</b>
87	<b>מטרות הפרק</b>	<b>2.2.1</b>
87	<b>מבוא</b>	<b>2.2.2</b>
88	<b>מקדחים ספירליים</b>	<b>2.2.3</b>
88	חלקי המקדח הספירלי	2.2.3.1
92	הנחיות להשחזת מקדח ספירלי	2.2.3.2
94	השחזות מיוחדות במקדחים ספירליים	2.2.3.3
94	סוגים של מקדחים ספירליים	2.2.3.4
96	תנאי שיבוב בקידוח	2.2.3.5
98	מקדחים מיוחדים	2.2.3.6
106	<b>שקענים</b>	<b>2.2.4</b>
106	הקדמה	2.2.4.1
106	שימושי השקענים	2.2.4.2
107	סוגי שקענים	2.2.4.3
111	<b>מקדדים</b>	<b>2.2.5</b>
111	הקדמה	2.2.5.1
111	מבנה המקדד	2.2.5.2
112	פעולת הקידוד	2.2.5.3
112	חלקי המקדד	2.2.5.4
113	התנועות בקידוד	2.2.5.5
114	סוגי מקדדים	2.2.5.6
116	סוגי מקדדים והשימושים בהם	2.2.5.7
117	תנאי שיבוב בקידוד	2.2.5.8
118	<b>סיכום</b>	<b>2.2.6</b>
119	<b>שיטות לייצור תבריגים, כלי תברוג ומדידות תבריגים</b>	<b>2.3</b>
119	<b>מטרות הפרק</b>	<b>2.3.1</b>
119	<b>שיטות לייצור תבריגים</b>	<b>2.3.2</b>
121	<b>כלי תברוג</b>	<b>2.3.3</b>
121	המברז	2.3.3.1
123	סוגי מברזים	2.3.3.2
124	מערכות מברזים	2.3.3.3
125	מברזים מיוחדים	2.3.3.4
125	סוגי מברזים וסימונם	2.3.3.5

126	.....(מחרוקת/אום תברוג)	2.3.3.6	
<b>127</b>	..... <b>ייצור תבריגים בכלי תיברוג</b>	<b>2.3.4</b>	
127	..... ייצור תבריגים פנימיים במברז ידני	2.3.4.1	
129	..... ייצור תבריגים חיצוניים בתברזה ידנית	2.3.4.2	
130	..... ביצוע תבריג חיצוני ופנימי במחרטה באמצעות מתקנים	2.3.4.3	
<b>132</b>	..... <b>ייצור תבריגים במחרטה ובכרסומת</b>	<b>2.3.5</b>	
132	..... הקדמה	2.3.5.1	
133	..... חריטת תבריגים במחרטה קונבנציונאלית	2.3.5.2	
144	..... חריטת תבריגים במחרטת CNC	2.3.5.3	
147	..... חריטת תבריג שמאלי	2.3.5.4	
<b>149</b>	..... <b>סיבולת ואפיציות בתבריגים</b>	<b>2.3.6</b>	
149	..... הקדמה	2.3.6.1	
149	..... סיבולת (טולרנס)	2.3.6.2	
153	..... מרקם פני השטח (טיב השטח)	2.3.6.3	
154	..... אפיצות (התאמה)	2.3.6.4	
156	..... אפיצות לתבריגים בתקן האמריקאי	2.3.6.5	
<b>157</b>	..... <b>בדיקת תבריגים</b>	<b>2.3.7</b>	
157	..... הקדמה	2.3.7.1	
157	..... מדידת התבריג	2.3.7.2	
<b>163</b>	..... <b>סיכום</b>	<b>2.3.8</b>	
<b>165</b>	..... <b>מתקנים וקביעים בייצור ובמדידה</b>	<b>2.4</b>	
<b>165</b>	..... <b>מטרות הפרק</b>	<b>2.4.1</b>	
<b>165</b>	..... <b>מבוא</b>	<b>2.4.2</b>	
<b>167</b>	..... <b>השימוש במתקנים וקביעים</b>	<b>2.4.3</b>	
167	..... יתרונות וחסרונות השימוש במתקנים ובקביעים בתהליך העיבוד	2.4.3.1	
167	..... כדאיות של הכנת מתקנים וקביעים	2.4.3.2	
168	..... אמצעים להכנת מתקנים וקביעים	2.4.3.3	
<b>169</b>	..... <b>מתקנים</b>	<b>2.4.4</b>	
169	..... תפקידי המתקן	2.4.4.1	
169	..... יתרונות השימוש במתקנים	2.4.4.2	
169	..... דוגמאות למתקנים	2.4.4.3	
<b>170</b>	..... <b>קביעים (מתקני דפינה)</b>	<b>2.4.5</b>	
170	..... תפקידי הקביעים	2.4.5.1	
170	..... השימוש בקביעים	2.4.5.2	
<b>170</b>	..... <b>אמצעים להכנת מתקנים וקביעים</b>	<b>2.4.6</b>	
170	..... שימוש בדפינה פניאומטית	2.4.6.1	

170	2.4.6.2 שימוש בדפינה הידראולית	
<b>172</b>	<b>מתקנים מודולריים</b>	<b>2.4.7</b>
<b>173</b>	<b>יציבות מיקום העובדים במתקן/בקביע</b>	<b>2.4.8</b>
174	2.4.8.1 בחירת משטח כבסיס עיקרי	
175	2.4.8.2 פני תמיכה (תומך נקודתי)	
177	2.4.8.3 אמצעי עזר לדפינה (הידוק) של העובד במתקן	
<b>177</b>	<b>סיכום</b>	<b>2.4.9</b>
<b>179</b>	<b>תהליכי ייצור, התהליך הטכנולוגי</b>	<b>2.5</b>
<b>179</b>	<b>מטרות הפרק</b>	<b>2.5.1</b>
<b>179</b>	<b>מבוא</b>	<b>2.5.2</b>
<b>181</b>	<b>סוגי תהליכי ייצור</b>	<b>2.5.3</b>
<b>184</b>	<b>התהליך הטכנולוגי</b>	<b>2.5.4</b>
184	2.5.4.1 הקדמה	
185	2.5.4.2 מרכיבי גיליון התהליך הטכנולוגי	
194	2.5.4.3 דוגמאות לשיקולים בבחירת תהליך הייצור	
<b>201</b>	<b>רישום בגיליון תהליך טכנולוגי</b>	<b>2.5.5</b>
<b>236</b>	<b>סיכום</b>	<b>2.5.6</b>
<b>243</b>	<b>חישוב זמני עיבוד בחריטה וכרסום</b>	<b>2.6</b>
<b>243</b>	<b>מטרות הפרק</b>	<b>2.6.1</b>
<b>243</b>	<b>מבוא</b>	<b>2.6.2</b>
<b>244</b>	<b>זמן ייצור בחריטה</b>	<b>2.6.3</b>
<b>249</b>	<b>זמן ייצור בכרסום</b>	<b>2.6.4</b>
249	2.6.4.1 זמן ייצור ישיר בכרסום	
249	2.6.4.2 דוגמאות לחישוב מהלך הכרסום	
254	2.6.4.3 דוגמאות לחישוב זמן ייצור בכרסום	
<b>255</b>	<b>חישוב זמן כללי לעיבוד</b>	<b>2.6.5</b>
<b>256</b>	<b>סיכום</b>	<b>2.6.5</b>
<b>257</b>	<b>רשימת מקורות</b>	

## רשימת האיורים

23	הגדרת מהירות	איור 2.1.1
24	הגדרת סיבובים	איור 2.1.2
24	השוני בין מהירות וסיבובים	איור 2.1.3
25	נתוני שיבוב בחריטה	איור 2.1.4
25	נתוני שיבוב בכרסום קנה	איור 2.1.5
25	נתוני שיבוב בכרסום מצח	איור 2.1.6
25	נתוני שיבוב בכרסום גלילי	איור 2.1.7
26	נתוני שיבוב בקידוח	איור 2.1.8
26	מהירות החיתוך $v_c$	איור 2.1.9
27	הנוסחה לחישוב מהירות החיתוך $V_c$	איור 2.1.10
28	חישוב היקף מעגל	איור 2.1.11
31	שינוי זמן עיבוד על חשבון מהירות חיתוך	איור 2.1.12
33	מהירות החיתוך " $V_c$ " כתלות בקוטר המוצר	איור 2.1.13
33	הגדרת מהירות החיתוך " $V_c$ " במחרטת CNC	איור 2.1.14
35	נוסחה לחישוב הסל"ד "n"	איור 2.1.15
36	תרגיל דוגמה לחישוב הסל"ד n בחריטה	איור 2.1.16
36	תרגיל דוגמה לחישוב הסל"ד n בכרסום	איור 2.1.17
37	תרגיל דוגמה לחישוב הסל"ד n בקידוח	איור 2.1.18
37	דיאגרמת סל"ד	איור 2.1.19
39	קידמה במ"מ לסיבוב f	איור 2.1.20
39	קידמה במ"מ לדקה בחריטה	איור 2.1.21
40	קידמה במ"מ לדקה בכרסום	איור 2.1.22
40	נוסחה לחישוב הקדמה במ"מ לדקה	איור 2.1.23
40	דוגמה לחישוב הקדמה במ"מ לדקה	איור 2.1.24
41	מעבר ממ"מ לסיבוב למ"מ לדקה	איור 2.1.25
41	תרגיל למעבר ממ"מ לסיבוב למ"מ לדקה	איור 2.1.26
41	מעבר ממ"מ לדקה למ"מ לשן	איור 2.1.27
41	תרגיל דוגמה לחישוב קידמה במ"מ לשן	איור 2.1.28
42	מהירות הקדמה בתנועה בציר C	איור 2.1.29
43	חישוב היקף המעגל	איור 2.1.30
43	חישוב הקדמה ל- $1^\circ$	איור 2.1.31
43	חישוב מהירות הקדמה ב- $^\circ/\text{min}$	איור 2.1.32
43	חישוב תרגיל דוגמה	איור 2.1.33
44	השפעת רדיוס הכלי על טיב השטח	איור 2.1.34
45	הגדרת טיב השטח	איור 2.1.35

45	נוסחה לחישוב טיב שטח Rt	איור 2.1.36
45	נוסחה לחישוב גובה החספוס Ra	איור 2.1.37
46	דוגמה לחישוב טיב שטח ממוצע Ra	איור 2.1.38
46	דוגמה לחישוב הקדמה לקבלת טיב שטח	איור 2.1.39
47	סימון טיב שטח בשרטוט המוצר	איור 2.1.40
47	סימון שטח בלתי מעובד	איור 2.1.41
47	כרסום מתלווה וכרסום מנוגד בכרסום גלילי	איור 2.1.42
48	כרסום שווה וכרסום נגדי בכרסום מצח	איור 2.1.43
49	כרסום בקדמה מנוגדת	איור 2.1.44
49	כרסום בקדמה מתלווה - שווה	איור 2.1.45
49	קידוח במקדחה	איור 2.1.46
50	קידוח במחרטה	איור 2.1.47
51	מקדח עם שימות מתק"ש	איור 2.1.48
51	מקדח עם קירור דרך הכלי	איור 2.1.49
51	מקדח עם ראש מתק"ש מתחלף	איור 2.1.50
63	היגש בחריטה ap	איור 2.1.51
63	היגשים בכרסום היגש עומק והיגש רוחב ap ae	איור 2.1.52
64	היגש בקידוח	איור 2.1.53
64	שבב רצוי	איור 2.1.54
65	שטח חתך השבב בחריטה	איור 2.1.55
67	נוסחה לחישוב שטח חתך השבב	איור 2.1.56
67	נוסחת יסוד לחישוב כ"ס	איור 2.1.57
67	נוסחה לחישוב הכוח הדרוש לחיתוך	איור 2.1.58
67	החלפת ה-"F" ב-A K <sub>s</sub>	איור 2.1.59
68	הפיכת ה-"V" למטר בשנייה	איור 2.1.60
68	התחשבות בנצילות המכונה "e"	איור 2.1.61
69	נוסחה לחישוב ההיגש "ap"	איור 2.1.62
69	תרגיל דוגמה לחישוב שטח חתך השבב	איור 2.1.63
69	חישוב ההיגש "ap"	איור 2.1.64
69	נוסחה לחישוב היגש מקסימלי	איור 2.1.65
71	ההיגש בכרסום	איור 2.1.66
72	שטח חתך השבב בכרסום גלילי בקדמה מתלווה או בקדמה מנוגדת	איור 2.1.67
72	שטח חתך השבב בכרסום מצח	איור 2.1.68
73	היגשים בכרסום	איור 2.1.69
73	ההיגש לשן fz	איור 2.1.70
73	צורת שטח חתך השבב בכרסום	איור 2.1.71
75	חישוב שטח חתך השבב הממוצע בכרסום	איור 2.1.72

75	חישוב היגש לפי כוח חיתוך סגולי	איור 2.1.73
76	מציאת היגש לפי כוח חיתוך סגולי	איור 2.1.74
76	נוסחה לחישוב הספק	איור 2.1.75
76	נוסחת ההספקים בכרסום	איור 2.1.76
77	נתוני השיבוב בכרסום	איור 2.1.77
77	נוסחה לחישוב נפח השבב	איור 2.1.78
79	נוסחה לחישוב היגש/כמות סגולית	איור 2.1.79
79	פתרון תרגיל בנתון של כמות סגולית	איור 2.1.80
87	המקדח, המקדד, השקען והמברז	איור 2.2.1
88	פעולות קידוח, שיקוע וקידוד	איור 2.2.2
88	חלקי המקדח הספירלי	איור 2.2.3
88	אמצעי דפינה למקדחים קנה גלילי	איור 2.2.4
89	מעברי קונוס מורס	איור 2.2.5
89	חולץ קונוס מורס	איור 2.2.6
90	גוף המקדח	איור 2.2.7
90	תפקיד הלולין במקדח	איור 2.2.8
90	סוגי לולין במקדח	איור 2.2.9
91	זוויות ושפות המקדח	איור 2.2.10
91	מדידי מקדחים	איור 2.2.11
92	השחזה נכונה	איור 2.2.12
93	השחזות לא נכונות	איור 2.2.13
94	צורות השחזה במקדחים ספירליים	איור 2.2.14
94	מדידת קוטר המקדח	איור 2.2.15
94	מקדח מפלדה מהירה HSS מצופה	איור 2.2.16
95	מקדח ספירלי עם קצה מתק"ש מולחם	איור 2.2.17
95	מקדח ספירלי עם קצה מתק"ש מתחלף	איור 2.2.18
95	מקדח ספירלי סוליד (מתק"ש מלא)	איור 2.2.19
96	מקדח ספירלי 3 להבים עם קירור דרך הכלי	איור 2.2.20
96	קירור דרך הכלי	איור 2.2.21
96	תנועות בקידוח במקדחה וכרסומת	איור 2.2.22
97	תנועות בקידוח במחרטה	איור 2.2.23
97	כוחות ותנועות בזמן הקידוח	איור 2.2.24
97	מצבי קידוח	איור 2.2.25
98	מקדח קוני	איור 2.2.26
98	מקדח עם מברז	איור 2.2.27
99	מקדח הגדלה HSS	איור 2.2.28
99	מקדח הגדלה שימות מתק"ש	איור 2.2.29

99	מקדח מדורג	איור 2.2.30
100	מקדח מרכזי (מרכז)	איור 2.2.31
100	סוגים של מקדחים מרכזיים	איור 2.2.32
101	ראש קידוח (חריטה)	איור 2.2.33
101	חריטת פאזה בבלוק מנוע עם ראש קידוח	איור 2.2.34
102	מערכת כלי קידוח	איור 2.2.35
103	מקדח ספירלי לקדחים עמוקים	איור 2.2.36
104	מקדח עומק חד-שפתי	איור 2.2.37
104	שיטת קידוח BTA	איור 2.2.38
106	סוגי שקענים	איור 2.2.39
107	סוגי ראשי ברגים	איור 2.2.40
108	סוגי שקענים קוניים	איור 2.2.41
108	גדלים שונים של שקענים	איור 2.2.42
109	שקען שיקוע גלילי בעל פין הובלה מתחלף	איור 2.2.43
109	שיקוע ראש של בורג אלן	איור 2.2.44
109	שיקוע אחורי עם שימת מתק"ש	איור 2.2.45
109	שקען ליישור	איור 2.2.46
111	סוגי מקדדים	איור 2.2.47
111	הדיוק המתקבל בעיבוד במקדד	איור 2.2.48
111	קידוד גלילי וקידוד קוני	איור 2.2.49
112	חלוקת השיניים במקדד	איור 2.2.50
112	חלקי המקדד הידני	איור 2.2.51
113	סוגי קנה לדפינת המקדד	איור 2.2.52
113	מבנה המקדד	איור 2.2.53
113	סוגים של ספירלה במקדדים	איור 2.2.54
114	מקדד מתכוונן	איור 2.2.55
115	עיבוד במקדד מתכוונן	איור 2.2.56
115	מקדד עם שימות מתק"ש ופסי הובלה	איור 2.2.57
117	גרף לתוספת עיבוד לקידוד	איור 2.2.58
119	ערגול בורג	איור 2.3.1
119	ייצור בורג בערגול לעומת עיבוד שבבי	איור 2.3.2
120	תבריג פנימי ותבריג חיצוני	איור 2.3.3
120	מברז ומחרוקת	איור 2.3.4
120	חריטת תבריג במחרטה	איור 2.3.5
122	מבנה המברז וזוויותיו	איור 2.3.6
122	תיברוז ידני	איור 2.3.7
122	תיברוז במכונה	איור 2.3.8

123.....	מברזי מכונה - כיוון הפיתול - שימוש	איור 2.3.9:
123.....	מברז ספירלי חד - מברז גאן ישר	איור 2.3.10:
123.....	מברז ספירלי	איור 2.3.11:
124.....	מברז לחץ	איור 2.3.12:
124.....	מערכת מברזים ידנית/סריאלית	איור 2.3.13:
125.....	מברז עם מקדח	איור 2.3.14:
125.....	מברז קוני	איור 2.3.15:
127.....	תברזה	איור 2.3.16:
127.....	ביצוע תברג במחרוקת	איור 2.3.17:
127.....	תברזה פתוחה ותברזה סגורה	איור 2.3.18:
127.....	צורה חיצונית של תברזה	איור 2.3.19:
127.....	תברזה מתכווננת	איור 2.3.20:
128.....	ידיות למברזים	איור 2.3.21:
128.....	הכנת קדח מתאים לתברג ומדר (שקע) והצבת המברז בניצב לקדח	איור 2.3.22:
128.....	הצבת המברז בניצב לקדח	איור 2.3.23:
128.....	סיבוב המברז במהלך התברוז	איור 2.3.24:
129.....	מתקן אוטומטי לתברוז במכונה	איור 2.3.25:
129.....	הברגים בידית לתברזה	איור 2.3.26:
129.....	מיקום בורג ההרחבה בתברזה פתוחה	איור 2.3.27:
130.....	מתקן לייצור תברג פנימי במחרטה	איור 2.3.28:
131.....	מתקן לייצור תברג חיצוני במחרטה	איור 2.3.29:
132.....	ייצור של תברג בעיבוד שבבי במחרטה	איור 2.3.30:
133.....	ייצור תברג פנימי וחיצוני בחריטה	איור 2.3.31:
133.....	ייצור תברג בכרסומת ממוחשבת CNC	איור 2.3.32:
134.....	הכנת חומר העובד לביצוע תברג	איור 2.3.33:
136.....	דוגמה לחישוב הסל"ד	איור 2.3.34:
136.....	הצבת הסכין לתברוג חיצוני בניצב	איור 2.3.35:
136.....	הצבת הסכין לתברוג פנימי בניצב	איור 2.3.36:
137.....	בדיקת פסיעת התברג	איור 2.3.37:
137.....	עומק התברג והפסיעה בתברג משולש	איור 2.3.38:
138.....	שיטת השיקוע הרוחבית	איור 2.3.39:
138.....	שיטת הצידוד הרגילה	איור 2.3.40:
138.....	שיטת הצידוד המהיר	איור 2.3.41:
139.....	שיטת הטיית הגררה העליונה	איור 2.3.42:
139.....	חריטת התברג במחרטה קונבנציונאלית	איור 2.3.43:
140.....	שעון הברגות אינצי' וחיבורו לבורג המוליך	איור 2.3.44:
140.....	שעון הברגות מ"מ	איור 2.3.45:

141	מצב ב'	איור 2.3.46
141	מצב ג'	איור 2.3.47
141	מצב ד'	איור 2.3.48
141	מצב ה'	איור 2.3.49
141	מתקן נסיגה לביצוע תברגים	איור 2.3.50
142	מידות וסכין לחריטת תברג ריבועי	איור 2.3.51
142	חריטת תברג ריבועי בשלבים	איור 2.3.52
142	מידות וסכין לחריטת תברג טרפזי	איור 2.3.53
143	חריטת תברג טרפזי בשלבים	איור 2.3.54
143	תברג מרובה בעל 2 התחלות	איור 2.3.55
144	סרגל קונוסים	איור 2.3.56
144	מחזור חריטת תברג	איור 2.3.57
145	נתונים לייצור תברג במחרטת CNC	איור 2.3.58
146	תכנית לביצוע תברג במחרטת CNC	איור 2.3.59
146	חישוב R בתברג קוני	איור 2.3.60
147	זווית השחרור לתברג שמאלי וימני	איור 2.3.61
148	כיוון סיבובי הכוש בהברגה חיצונית ימנית	איור 2.3.62
148	כיוון סיבובי הכוש בהברגה חיצונית שמאלית	איור 2.3.63
149	כיוון סיבובי הכוש בהברגה פנימית ימנית	איור 2.3.64
149	כיוון סיבובי הכוש בהברגה פנימית שמאלית	איור 2.3.65
149	סימון תברגים עם סיבולת	איור 2.3.66
150	מיקום הסיבולת ביחס למידה הנומינלית	איור 2.3.67
150	גודל הסיבולת בהתייחס למספר הצמוד לאות	איור 2.3.68
152	השפעת הקוטר הנומינאלי על הסיבולת	איור 2.3.69
153	סימון מרקם פני השטח	איור 2.3.70
154	מצבי אפיצות (התאמות)	איור 2.3.71
154	האפיצות בין הבורג והאום	איור 2.3.72
155	סוגי אפיצויות	איור 2.3.73
155	אפיצויות בשיטת הגל האחיד	איור 2.3.74
155	אפיצויות בשיטת הקדח האחיד	איור 2.3.75
156	סימון מלא של התברג אמריקאי	איור 2.3.76
157	מדידת קוטר חיצוני במד זחיה	איור 2.3.77
158	זיהוי הפסיעה	איור 2.3.78
158	מדידת הפסיעה	איור 2.3.79
158	מדידת פרופיל והפסיעה בקומפרטור	איור 2.3.80
158	טעויות בבדיקת הפסיעה	איור 2.3.81
159	מדיד תברגים פנימיים במדיד GO - NO GO	איור 2.3.82

159	מדוד תבריים חיצוניים GO - NO GO	איור 2.3.83
160	מדידת קוטר יעיל במיקרומטר תבריים	איור 2.3.84
160	מדידת קוטר יעיל במיקרומטר חוטים	איור 2.3.85
161	דוגמאות לחישוב המידה M	איור 2.3.86
162	שבלונה למדידת זווית התברייג	איור 2.3.87
163	שבלונה למדידת זווית תברייג משולש	איור 2.3.88
163	שבלונה למדידת זווית תברייג טרפזי	איור 2.3.89
165	מתקן קידוח	איור 2.4.1
165	מתקן קידוח - שימוש	איור 2.4.2
166	קביע לקידוח ולכרסום	איור 2.4.3
166	קביע בכרסום	איור 2.4.4
166	מתקן להרכבת מכונית	איור 2.4.5
166	מתקן מדידה של שילוב גלגלי שיניים	איור 2.4.6
167	גרף המתאר את כדאיות הכנת מתקנים	איור 2.4.7
168	קביע (מתקן דפינה) בכרסום	איור 2.4.8
168	קביע (מתקן דפינה) בחריטה	איור 2.4.9
168	תנועות אפשריות לתזוזת הגוף במרחב	איור 2.4.10
169	מתקן דפינה לקידוח	איור 2.4.11
171	דפינה בקביע הידראולי	איור 2.4.12
172	רכיבי ערכת בניית מתקן מודולרי	איור 2.4.13
172	מערכת בעלת חריצי T	איור 2.4.14
172	מערכת בעלת קדחים	איור 2.4.15
174	התנועות במרחב	איור 2.4.16
174	מתקן הדפינה לדפינת הקובייה שבאיור 2.4.16	איור 2.4.17
175	6 נקודות התמיכה דוגמה א	איור 2.4.18
175	נקודות התמיכה דוגמה ב	איור 2.4.19
175	פין תמיכה למשטח מעובד	איור 2.4.20
176	פין תמיכה למשטח בלתי מעובד	איור 2.4.21
176	פין תמיכה לעובדים שעלולים לזוז	איור 2.4.22
176	דפינה בפין "הלום"	איור 2.4.23
177	נקודות התמיכה וההידוק א'	איור 2.4.24
177	נקודות התמיכה וההידוק ב'	איור 2.4.25
179	השלבים בתהליך הייצור	איור 2.5.1
180	תיאור תהליך הייצור	איור 2.5.2
181	פס ייצור להרכבת גוף מכונית	איור 2.5.3
181	מכונה מיוחדת לייצור גלגלי שיניים	איור 2.5.4
182	מכונת הזרקה	איור 2.5.5

182.....	מבלט כבישה	איור 2.5.6:
182.....	מתקן דפינה	איור 2.5.7:
183.....	השלבים בתהליך הטכנולוגי	איור 2.5.8:
185.....	המרכיבים שבתהליך הטכנולוגי	איור 2.5.9:
187.....	שרטוט המוצר (כמות - 100 חלקים)	איור 2.5.10:
187.....	קידוח שני הקדחים בהצבה אחת	איור 2.5.11:
188.....	קידוח קדח $\varnothing 6$ פעולה 1	איור 2.5.12:
188.....	קידוח קדח $\varnothing 8$ פעולה 2	איור 2.5.13:
188.....	שרטוט המוצר	איור 2.5.14:
189.....	ביצוע הקידוח בפעולה אחת ובשתי הצבות	איור 2.5.15:
189.....	ביצוע הקידוח בשתי פעולות	איור 2.5.16:
189.....	שרטוט מוצר בחריטה	איור 2.5.17:
189.....	ביצוע מוצר בחריטה בשתי הצבות	איור 2.5.18:
191.....	שרטוט המוצר לחריטה חיצונית	איור 2.5.19:
191.....	ביצוע מדרגות חיצוניות בחריטה - סדר העיבוד הנכון לשרטוט באיור 2.5.19	איור 2.5.20:
191.....	2.5.19	
191.....	ביצוע מדרגות חיצוניות בחריטה - סדר העיבוד הלא הנכון לשרטוט באיור 2.5.19	איור 2.5.21:
191.....	2.5.19	
192.....	שרטוט המוצר לחריטה פנימית	איור 2.5.22:
192.....	תהליך הייצור לביצוע איור 2.5.22	איור 2.5.23:
193.....	שרטוט המוצר	איור 2.5.24:
193.....	שרטוט תרשים הדפינה והעיבוד למוצר באיור 2.5.24	איור 2.5.25:
193.....	שרטוט שלבי העיבוד למוצר באיור 2.5.24	איור 2.5.26:
195.....	שרטוט מוצר ארוך בחריטה	איור 2.5.27:
195.....	תהליך ייצור של איור 2.5.27 אופציה 1	איור 2.5.28:
196.....	תהליך ייצור של איור 2.5.27 אופציה 2	איור 2.5.29:
196.....	שרטוט מוצר בחריטה	איור 2.5.30:
196.....	תהליך ייצור של איור 2.5.30	איור 2.5.31:
197.....	שרטוט מוצר - חריץ מדויק	איור 2.5.32:
197.....	שלבי עיבוד חריץ מדויק של שרטוט 2.5.32	איור 2.5.33:
197.....	שרטוט המוצר - כרסום	איור 2.5.34:
198.....	שרטוט המוצר (קוביה)	איור 2.5.35:
198.....	תהליך טכנולוגי לעיבוד המוצר באיור 2.5.35 הכולל: פעולה 1, הצבה 1, שלב 1	איור 2.5.36:
198.....	2.5.35	
198.....	תהליך טכנולוגי לעיבוד המוצר באיור 2.5.35 הכולל: פעולה 1, הצבה 2, שלב 1	איור 2.5.37:
198.....	2.5.35	
199.....	תהליך טכנולוגי לעיבוד המוצר באיור 2.5.35 הכולל: פעולה 1, הצבה 3, שלב 1	איור 2.5.38:

תהליך טכנולוגי לעיבוד המוצר באיור 2.5.35 הכולל: פעולה 1, הצבה 4,	איור 2.5.39
שלב 1 ..... 199	
תהליך טכנולוגי לעיבוד המוצר באיור 2.5.35 הכולל: פעולה 1, הצבות 5-6,	איור 2.5.40
שלבים 1-2 ..... 199	
שרטוט המוצר - מהדק ..... 200	איור 2.5.41
תהליך טכנולוגי לעיבוד המוצר באיור 2.5.41 הכולל: פעולה 1, הצבה 1,	איור 2.5.42
שלב 1 ..... 200	
תהליך טכנולוגי לעיבוד המוצר באיור 2.5.41 הכולל: פעולה 2, הצבה 1,	איור 2.5.43
שלבים 1-5 ..... 201	
תהליך טכנולוגי לעיבוד המוצר באיור 2.5.41 הכולל: פעולה 3, הצבה 1,	איור 2.5.44
שלב 1 ..... 201	
מוצר בחריטה - וכלי העיבוד לייצורו ..... 202	איור 2.5.45
נתונים של המוצר ..... 203	איור 2.5.46
שרטוט מוצר בכרסום - איזומטריה והיטלים ..... 215	איור 2.5.47
שרטוט מוצר משולב בחריטה וכרסום ..... 223	איור 2.5.48
שרטוט מוצר בחריטה - ייצור במחרטה ממוחשבת CNC ..... 226	איור 2.5.49
שרטוט מוצר בכרסום - ייצור בכרסומת ממוחשבת CNC ..... 229	איור 2.5.50
שרטוט מוצר בחריטה - ייצור במחרטה קונבנציונאלית כולל תנאי שיבוב .. 230	איור 2.5.51
שרטוט מוצר בכרסום - ייצור בכרסום קונבנציונאלי כולל תנאי שיבוב .... 232	איור 2.5.52
חישוב עומק החיתוך ..... 244	איור 2.6.1
נתוני העיבוד בחריטה ..... 244	איור 2.6.2
אורך החריטה בחריטת אורך ..... 244	איור 2.6.3
אורך החריטה בחריטת מצח ..... 245	איור 2.6.4
אורך חריטת מצח במוצר עם קדח ..... 245	איור 2.6.5
נוסחה לחישוב אורך השלב הכללי ..... 246	איור 2.6.6
נוסחה לחישוב אורך השלב במ"מ לדקה ..... 246	איור 2.6.7
נוסחה לחישוב זמן חריטה ..... 246	איור 2.6.8
דוגמת חישוב זמן חריטה ..... 247	איור 2.6.9
דוגמת חישוב זמן חריטה במצח ..... 247	איור 2.6.10
פתרון חישוב זמן חריטה במצח באיור 2.6.10 ..... 247	איור 2.6.11
דוגמת חישוב זמן חריטה ..... 248	איור 2.6.12
פתרון חישוב זמן חריטה איור 2.6.12 ..... 248	איור 2.6.13
נוסחה לחישוב זמן ישיר בכרסום ..... 249	איור 2.6.14
מהלך כרסום בכרסום גלילי ..... 250	איור 2.6.15
חישוב מהלך בכרסום בכרסום גלילי ..... 250	איור 2.6.16
תרגיל חישוב מהלך כרסום בכרסום גלילי ..... 250	איור 2.6.17
מהלך כרסום בכרסום מצח ..... 251	איור 2.6.18

251.....	חישוב מהלך כרסום בכרסום מצח.....	איור 2.6.19:
252.....	תרגיל חישוב מהלך כרסום בכרסום מצח.....	איור 2.6.20:
252.....	כרסום חריץ סגור בכרסום קנה.....	איור 2.6.21:
252.....	חישוב מהלך כרסום בכרסום חריץ סגור.....	איור 2.6.22:
252.....	תרגיל חישוב מהלך כרסום בכרסום חריץ סגור.....	איור 2.6.23:
253.....	מעברי הכרסום בעיבוד שטח.....	איור 2.6.24:
253.....	נוסחאות מעברי הכרסום בעיבוד שטח.....	איור 2.6.25:
254.....	חישוב K וחישוב i.....	איור 2.6.26:
255.....	חישוב זמן כרסום בכרסום גלילי.....	איור 2.6.27:
255.....	חישוב זמן כרסום בכרסום מצח.....	איור 2.6.28:
255.....	חישוב זמן כרסום חריץ בכרסום קנה.....	איור 2.6.29:
256.....	נוסחה לחישוב פעולות נוספות.....	איור 2.6.30:
256.....	נוסחה לחישוב זמן כולל.....	איור 2.6.31:

## רשימת התרשימים

24	קביעת תנאי שיבוב	תרשים 2.1.1
70	מציאת היגש בחריטה	תרשים 2.1.2

## רשימת הטבלאות

27	סוגי שבבים	טבלה 2.1.1
29	תחום של מהירויות חיתוך בהתייחסות לחומר נתון	טבלה 2.1.2
30	נתוני שיבוב עבור שימות מתק"ש לפי חומרי הגלם וסוג עיבוד	טבלה 2.1.3
32	מקדם טיילור	טבלה 2.1.4
34	מהירויות חיתוך $V_c$ בכרסום	טבלה 2.1.5
38	סל"ד	טבלה 2.1.6
44	סימון וערכים של Ra	טבלה 2.1.7
46	דרגות עיבוד למרקם פני שטח	טבלה 2.1.8
48	השוואה בין כרסום מתלווה וכרסום מנוגד	טבלה 2.1.9
50	השפעת עומק הקידוח על תנאי השיבוב	טבלה 2.1.10
52	תחום קדמות בכרסום במ"מ לשן fz לפי סוג מתק"ש/סוג חומר עובד	טבלה 2.1.11
53	נתוני שיבוב לכרסום קנה (אצבע) קומול (COMOL) 2 שיניים	טבלה 2.1.12
	נתוני שיבוב לכרסום קנה (אצבע) ריסוק קומול (COMOL) 4-6 מספרי	טבלה 2.1.14
55	שיניים	
56	נתוני שיבוב לכרסומי מצח קומול (COMOL)	טבלה 2.1.15
	מהירויות חיתוך $V_c$ וקדמות במ"מ לסיבוב $f_v$ mm/rev לעיבוד פלדות בחריטה	טבלה 2.1.16
57	עם שימות מתק"ש ישקר: IC757, IC815, IC848, IC835, IC656	
	מהירויות חיתוך $V_c$ וקדמות במ"מ לסיבוב $V_f$ mm/rev לעיבוד פלדות	טבלה 2.1.17
57	בחריטה עם שימות מתק"ש ישקר: IC40T, IC35T	
58	נתוני שיבוב לחריטה בסכיני פלדה מהירה HSS	טבלה 2.1.18
59	נתוני שיבוב לקידוח במקדחים מפלדה מהירה HSS	טבלה 2.1.19
60	נתוני שיבוב לקידוח במקדחים מתק"ש 3 שיניים	טבלה 2.1.20
66	"כוח חיתוך סגולי" $K_s$	טבלה 2.1.21
77	כמות סגולית q (תפוקה נפחית)	טבלה 2.1.22
	קידמה במ"מ לסיבוב והיגש והשפעתם על צורת השבב המתקבל	טבלה 2.1.23
80	(ההתייחסות לחומר נתון)	
93	שגיאות בהשחזה	טבלה 2.2.1
98	נתוני קידוח בחומרים שונים	טבלה 2.2.2
102	בעיות ופתרון בקידוח	טבלה 2.2.3
110	בעיות בפעולת השיקוע ופתרון	טבלה 2.2.4
116	ריכוז סוגי מקדדים והשימוש בהם	טבלה 2.2.5
126	סימון מברזים ושימושים	טבלה 2.3.1
131	בעיות נפוצות בתהליך התברוז (ידני ובמכונה) ופתרונות אפשריים	טבלה 2.3.2
135	הצבת המכונה לתברייג אינצ'י	טבלה 2.3.3
135	הצבת המכונה לתברייג מ"מ	טבלה 2.3.4

136	מהירויות חיתוך $V_c$ מומלצות במטר לדקה לחריטת תבריגים	טבלה 2.3.5
151	סיבולת ISO לגלים	טבלה 2.3.5
151	סיבולת ISO לקדחים	טבלה 2.3.6
153	חלקית של סיבולת כללית IT	טבלה 2.3.7
153	סימון טיב השטח ודרגות העיבוד	טבלה 2.3.8
156	מצבים של אפיצויות בשיטת הקדח האחיד	טבלה 2.3.9
162	למידות M לתבריג תקני BSW	טבלה 2.3.10
171	רשימת חלקים למתקן דפינה הידראולי שמופיע באיור 2.4.12	טבלה 2.4.1
184	השוואה בין שיטות הייצור השונות	טבלה 2.5.1
190	סימונים מוסכמים של דפינות בתהליך הייצור	טבלה 2.5.2
202	רישום בתהליך הטכנולוגי	טבלה 2.5.3

ספר זה הוא חלק מסדרה של ספרי לימוד המיועדים ללימוד תורת המקצוע לעיבוד שבבי: חריטה, כרסום והשחזה. הספרים חולקו לקובץ של נושאים מרכזיים המשלימים אחד את השני, לצורך הכשרת בעל מקצוע לתחום העיבוד השבבי, הקונבנציונלי והממוחשב-CNC. **הספר הנוכחי** עוסק בתחום של **תהליכי ייצור** בעיבוד שבבי בחריטה ובכרסום, בהכנת התהליך הטכנולוגי והכרת פעולות נלוות המבוצעות במכונות אלה: קידוח, שיקוע, קידוד, תברוז ועוד.

עיבוד שבבי נחשב לאחד התהליכים החשובים בשרשרת הייצור. תהליך זה מבוסס על הסרת שבבים מגוש מתכת כדי לייצור את המוצר. מכונות העיבוד השבבי בהן משתמשים הן מכונות קונבנציונאליות או ממוחשבות-CNC, המאפשרות שליטה מדויקת בייצור החלקים התעשייתיים. מגוון החלקים שניתן ליצור ממתכות ומאל-מתכות הוא רחב. גם מנת הייצור יכולה להשתנות, מייצור של חלקים בודדים למכלולים ועד לייצור המוני. כתוצאה מכך, תהליכי הייצור של מתכות כוללים מגוון רחב של מיומנויות, תהליכים וכלים. תהליכי עיבוד מתכת יכולים להיות מסווגים לתהליכי עיבוד שבבי, יציקה, עיבוד פלסטי, חיתוך או חיבור, תהליכי מטלורגית אבקות והדפסות תלת ממד.

תהליך העיבוד נעשה על ידי בעל מקצוע באמצעות הפעלת המכונות באופן ידני או באמצעות תוכנות מחשב ייעודיות. לכל אורך תהליך הייצור, חשוב לוודא שקיים פיקוח שוטף על כל שלב ושלב בייצור, תוך ביצוע בקרת איכות למוצר ובדיקה שעומד בכל דרישות הלקוח. התהליך הטכנולוגי בעיבוד השבבי כולל את רצף הפעולות בסדר הנכון לקבלת המוצר המוגמר על פי דרישות הלקוח, ושרטוט המוצר כמפורט להלן:

1. בחירת מכונת הייצור.
2. תכנון של תהליך הייצור בשלבים.
3. בחירת כלי עיבוד לכל שלב.
4. חישובים של תנאי השיבוב לכל כלי בכל שלב.
5. תכנון הדפינה, שימוש במתקנים וקביעים.
6. תכנון ובחירת אמצעי המדידה במהלך הייצור.
7. תהליך ביקורת איכות סופי של המוצר.

**התהליך הטכנולוגי הוא חלק מתהליך הייצור**, וקשור ישירות לביצוע פעולות העיבוד השונות הדרושות להפיכת חומר הגלם למוצר המוגמר. הדרישות למוצר המוגמר מוגדרות בשרטוט המוצר ובנתונים שמסביבו, ומכתיבות את התהליך הטכנולוגי שיש לבצע. לאחר תכנון מוצר במשרד ת.פ.י (תכנון פיתוח הייצור), מכינים שרטוטי פרט של כל החלקים המרכיבים את מכלול המוצר. לכל חלק במכלול מגדירים דרישות על פי תפקידו ביחס לשאר החלקים ולמכלול הכולל, מגדירים דרישות טכנולוגיות ומכינים שרטוט ייצור. עבור כל שרטוט בוחנים באילו צורת עיבוד ניתן לבצע: חריטה, כרסום, השחזה, ארוזיה ופעולות נוספות בהתאמה לדרישות שבמוצר.

מכינים תהליך טכנולוגי לייצור, שבו מוגדרות כל הפעולות משלב קביעת חומר הגלם, דרך תהליך ייצורו ועד בדיקתו הסופית. בגיליון התהליך הטכנולוגי מציינים את מתקני הדפינה, כלי שיבוב ותנאי שיבוב, כלי מדידה ועוד. ספר זה עוסק במרכיבי התהליך הטכנולוגי והכנת דפי תהליך טכנולוגי בחריטה ובכרסום.

סדרת הספרים יוצאת לאור על-ידי **מאה** המחלקה לפיתוח פדגוגי טכנולוגי, האגף להכשרה מקצועית ופיתוח כוח אדם, משרד העבודה בשיתוף תעשיות בית-אל.

## פתח דבר

נושא **תהליכי ייצור** בעיבוד השבבי הוא חלק מהותי בהכרת כל נושא טכנולוגיית הייצור השבבי המתקדם בתעשיית המתכת.

זה מכבר הורגש חסרונו של ספר לימוד בעברית המשלב חומר מעשי וחומר עיוני בצורה מונגשת לכל הלומדים בהכשרות המקצועיות, התיכונים המקצועיים והמכללות. הספר נכתב בהתאמה לתוכנית הלימודים של קורסי ההכשרה המקצועית של משרד העבודה, והוא כולל התייחסות למגוון נושאים טכניים נלווים, כמו תורת החומרים, מדידות, תהליכי ייצור בלתי שבבי ועוד.

הספר מקיף את כל הנושאים הללו בשיטה פדגוגית המותאמת לרמות מפעיל, כוון ותכנת מכונות, עיבוד שבבי קונבנציונלי ו-CNC, וכן לאנשי סגל הגיבוי הטכני ולאנשי אבטחת האיכות. כל נושא מלווה בתיאור הציוד הנדרש ומרכיביו, לצד הסבר על אופן היישום והביצוע של תהליך הייצור במצבים השונים, וכן רקע טכני משלים בנושאים עיוניים נלווים. חומר הלימוד יוצא לאור כסדרת ספרים המקיפה את **תורת העיבוד השבבי**. כל ספר עוסק בנושא מרכזי של התחום.

בנוסף לספר, זמין גם מאגר שו"ת בעיבוד שבבי, המציע שאלות לתרגול כהכנה למבחנים. לצורך כתיבת הספר המקצועי גייסנו כמחבר את מר מוטי מרקוביץ, בעל ניסיון של עשרות שנים בתחום, כולל ניסיון רב בהדרכה ובכתיבת תוכניות לימוד בנושא. בין היתר כיהן בעבר כמפקח ארצי של מתכת מכונות במשרד העבודה.

תודתי נתונה גם לצוות המקצועי ובמיוחד ל**מארה** המחלקה לפיתוח טכנולוגי פדגוגי ולד"ר ענת בר-כהן.

אני סמוכה ובטוחה שספר זה ישמש אמצעי לימוד יעיל, ויסייע ללומדים בקורסי ההכשרה מקצועית בתחום העיבוד השבבי.

**הדדי אדריאנה**

מפקחת ארצית מערכות טכנולוגיות, ייצור ומיכון

## 2.1 תנאי שיבוב בחריטה, כרסום וקידוח

### 2.1.1 מטרות הפרק

הקניית ידע על:

- טבלאות למהירויות חיתוך והשימוש בהן.
- אופן חישוב הסל"ד (סיבובים לדקה).
- קביעת קדמות ואופן חישובן.
- בחירת קידמה לטיב שטח נדרש.
- חישוב ההיגש.
- אומדן ההספק הנדרש לביצוע פעולת עיבוד.

### 2.1.2 מבוא

לפני עיבוד של מוצר יש לקבוע את נתוני השיבוב איתם נבצע את העיבוד. נתונים אלה מוגדרים על ידי יצרן הכלים. לאחר קביעתם וביצוע חישובים נדרשים, יש להזין נתונים אלה במכונה. קביעת תנאי שיבוב נכונים מבטיחה עיבוד נכון ויעיל, שמירה על כלי החיתוך, קבלת השבב הרצוי, קבלת טיב שטח נדרש, אורך חיי כלי גבוהים ושמירה על המכונה. לקביעה נכונה של תנאי השיבוב יש חשיבות רבה, גם משום שתנאי השיבוב משפיעים על עלויות הייצור, כך שהם יכולים להקטין משמעותית את משך זמן העיבוד.

#### איור 2.1.1: הגדרת מהירות

$$V = \frac{L}{T}$$

=V מהירות  
L = דרך (אורך)  
T = זמן

#### להלן הגדרות למושגים בהם נשתמש בהמשך

**מהירות** - v (Velocity)

מהירות מוגדרת **כדרך** (אורך) שמבצע גוף במשך **זמן** מסוים. **לדוגמה:** קמ"ש (קילומטר לשעה), מטר לדקה, מטר לשנייה וכדומה. הנוסחה המקובלת להגדרת מהירות מופיעה באיור 2.1.1.

**סיבובים** - n (במכונות CNC מסומן כ-S)

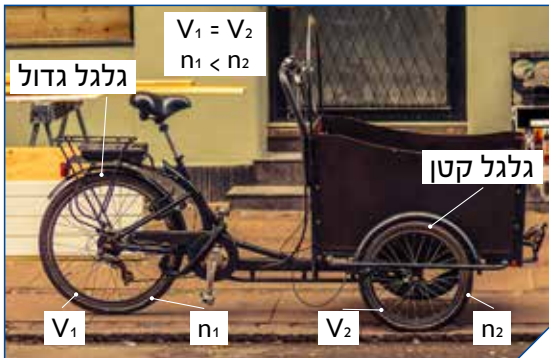
מספר הסיבובים שעושה גוף במשך זמן מסוים. **לדוגמה:** סיבובים בדקה, סיבובים בשנייה, סיבובים ביום וכדומה. הגדרת הסיבובים היא כאשר הגוף אינו מבצע תנועה ואינו עובר דרך. לכן סיבובי הכלי או העובד אינם מוגדרים כמהירות אלא כסל"ד (סיבובים לדקה, R.P.M Revolutions per minute) ויש המכנים אותה מהירות סיבוב.

איור 2.1.2 מתאר גלגל מסתובב כדי להמחיש את ההבדל בין מהירות לסיבובים. נקודה A ונקודה B מסתובבות באותה כמות סיבובים, אך המהירות ההיקפית (הדרך) של נקודה B גדולה מזו של נקודה A.

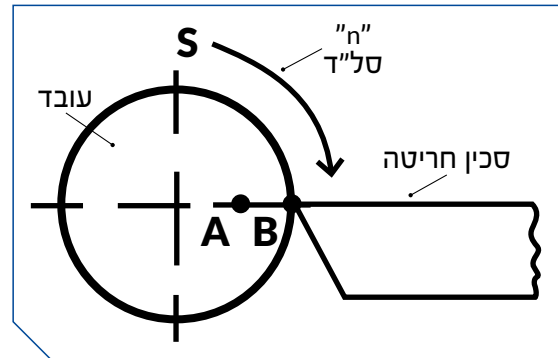
למעשה, הנקודה שעל היקף העובד היא הנקודה שמעניינת אותנו, והיא המהירות שבה מסיר הכלי את השבבים מהעובד.

דוגמה הממחישה את השוני בין סיבובים למהירות נמצא באופניים בעלי גלגלים בקטרים שונים (איור 2.1.3). במקרה זה, מהירות הגלגלים שווה, שהרי הם מבצעים את אותה הדרך באותו הזמן, כלומר  $V_1 = V_2$ . אבל מספר הסיבובים של כל גלגל "n" שונה. הגלגל בעל הקוטר הקטן נדרש להסתובב יותר סיבובים כדי לבצע את אותה הדרך כמו הגלגל הגדול ומכאן:  $n_2 > n_1$ .

איור 2.1.3: השוני בין מהירות וסיבובים



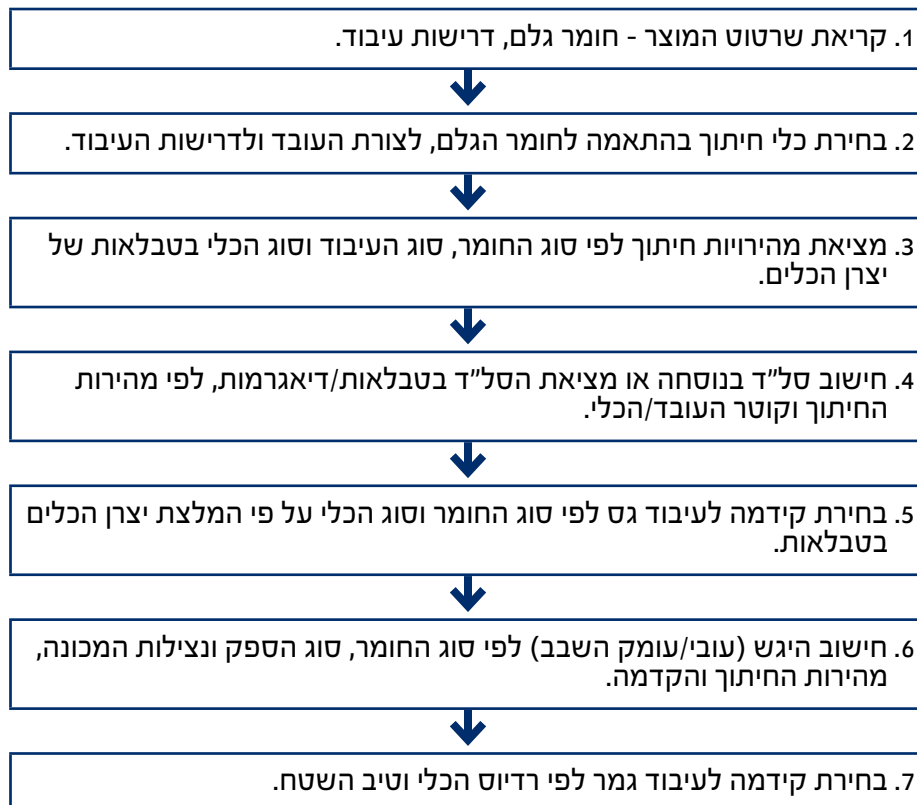
איור 2.1.2: הגדרת סיבובים



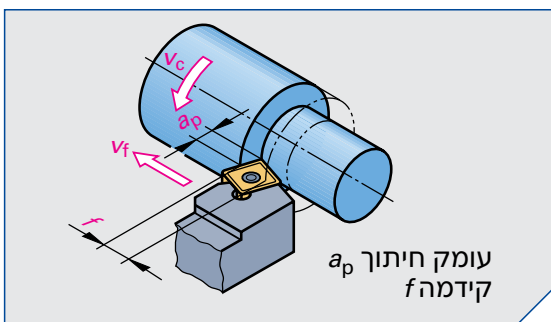
### 2.1.3 נתוני שיבוב - הקדמה

לתהליך הבחירה והחישוב של נתוני שיבוב יש סדר קבוע. תרשים 2.1.1 מתאר את סדר קביעת נתאי השיבוב עבור ייצור מוצר.

תרשים 2.1.1: קביעת נתאי שיבוב



איור 2.1.4: נתוני שיבוב בחריטה



איור 2.1.4: נתוני השיבוב בחריטה

- סל"ד S: סיבובי הכוש/העובד.
- קידמה Vf: מהירות התקדמות הכלי בשיבוב אחד של העובד.
- היגש ap: עומק השבב במ"מ.

נתוני השיבוב בכרסום - איורים 2.1.5-2.1.7

כרסום קנה - איור 2.1.5

כרסום מצח - איור 2.1.6

כרסום גלילי - איור 2.1.7

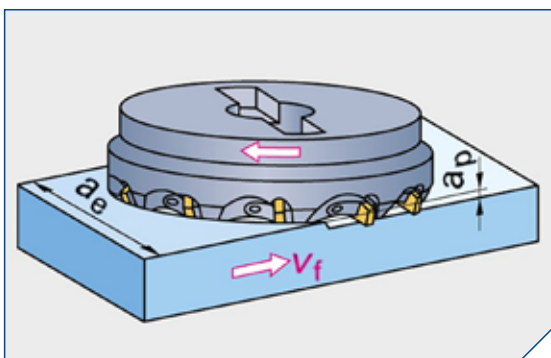
• סל"ד S: סיבובי הכוש/הכרסום.

• קידמה Vf: מהירות התקדמות של העובד (השולחנות) במ"מ לדקה.

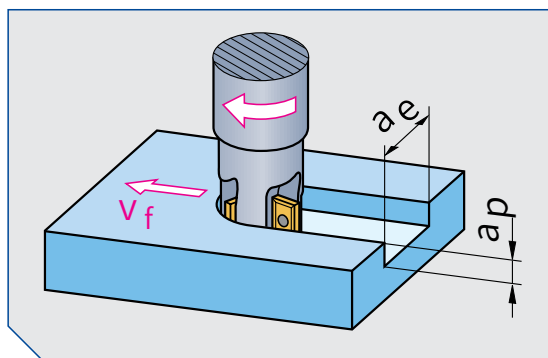
• היגש עומק ap: עומק השבב במ"מ.

• היגש רוחב ae: רוחב הכרסום.

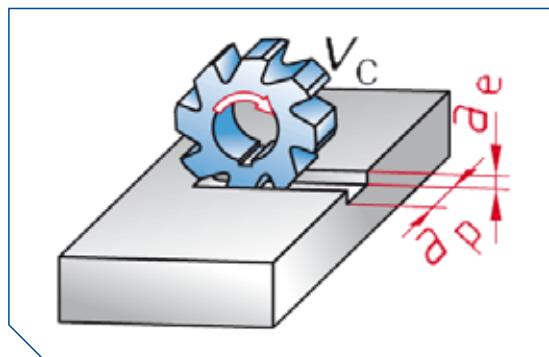
איור 2.1.6: נתוני שיבוב בכרסום מצח



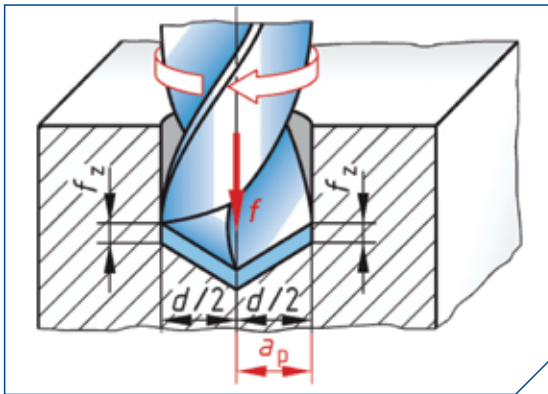
איור 2.1.5: נתוני שיבוב בכרסום קנה



איור 2.1.7: נתוני שיבוב בכרסום גלילי



איור 2.1.8: נתוני שיבוב בקידוח



נתוני השיבוב בקידוח - איור 2.1.8

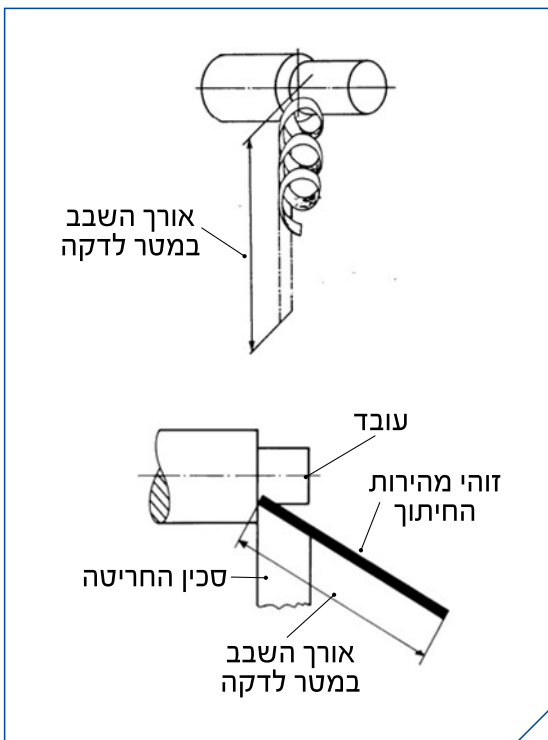
- סל"ד S: סיבובי הכוש/העובד.
- קידמה fz: מהירות התקדמות הכלי/העובד בסיבוב אחד של העובד/הכלי.
- היגש ap: בקידוח מלא - מחצית קוטר המקדח במ"מ.

2.1.4 מהירות החיתוך

2.1.4.1 הקדמה

מהירות החיתוך היא הגורם העיקרי המשפיע על תנאי השיבוב והספק הייצור. מהירות החיתוך נקבעת על פי ניסיון מעבדתי ונתונה בטבלאות של יצרן הכלים כהמלצה לעיבוד. הנתונים בטבלאות מבוססים על אורך חיי כלי לזמן עיבוד נקוב (במכונות CNC הנתונים בזיכרון הבקרה). כאשר מעבדים חלקים בודדים או בעת ייצור סדרה לא גדולה, נשתמש בטבלאות היצרן כבסיס לקביעת מהירות החיתוך. נשתמש בניסיון שלנו כבעלי מקצוע להתאמה סופית תוך כדי עיבוד. זאת משום שתנאי העיבוד בהם נבדקו הכלים במעבדה (סוג המכונה, צורת הדפינה, נוזל הקירור) אינם בהכרח זהים למצב בו אנו עובדים. לכן, לעתים הנתון של מהירות החיתוך אינו חד משמעי אלא נתון לבחירתנו. עבור ייצור המוני כדאי יהיה לבדוק את נתוני השיבוב המתאימים למקרה הספציפי במעבדה.

איור 2.1.9: מהירות החיתוך vc



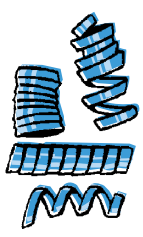





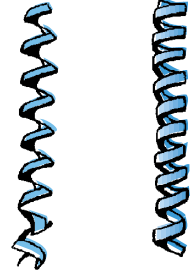

מהירות החיתוך "Vc" (Velocity cutting)

מהירות החיתוך היא מהירות היקפית. מהירות זו מגדירים באותיות "Vc" והיא נתונה במטרים לדקה (100 מטר לדקה וכדומה). הסיבה שקבעו את הנתון במטר לדקה ולא במ"מ לדקה כמקובל בעיבוד שבבי, היא כדי לקבל מספרים קצרים.

מהירות חיתוך היא הדרך במטרים שעושה היקף העובד (הכלי) כלפי הכלי החותך (העובד) במשך דקה.

השבב בחריטה הוא שבב מקוטע או מסולסל כמתואר באיור 2.1.9 למעלה. בטבלה 2.1.1 מתוארים סוגי שבבים. בכרסום, השבב יהיה תמיד קטוע, בשל מבנה הכרסום. כדי להבין מהי מהירות החיתוך, נניח שהיינו מקבלים בחריטה שבב ישר כמתואר באיור 2.1.9 למטה, ולאחר דקה אחת היינו מודדים את אורכו במטרים. התוצאה הייתה שווה למהירות החיתוך.

טבלה 2.1.1: סוגי שבבים

			
שבבים-סליליים קצרים וגליליים	שבבים-סליליים ספירליים	שבבים ספירליים	שבבים מקוטעים
<b>טוב</b>			
			
שבבי סרט	שבבים מפותלים	שבבים-סליליים ארוכים	
<b>לא טוב</b>			

את מהירות החיתוך ניתן לחשב באמצעות הנוסחה שבאיור 2.1.10.

איור 2.1.10: הנוסחה לחישוב מהירות החיתוך  $V_c$

$V_c$  = מהירות החיתוך במטר לדקה.  
 $\pi = 3.14$  מספר קבוע המגדיר את היחס בין קוטר הגליל והיקפו.  
 $D$  = קוטר העובד במ"מ.  
 $n$  = סל"ד.  
 $1000$  = הופך את התוצאה ממ"מ למטר.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

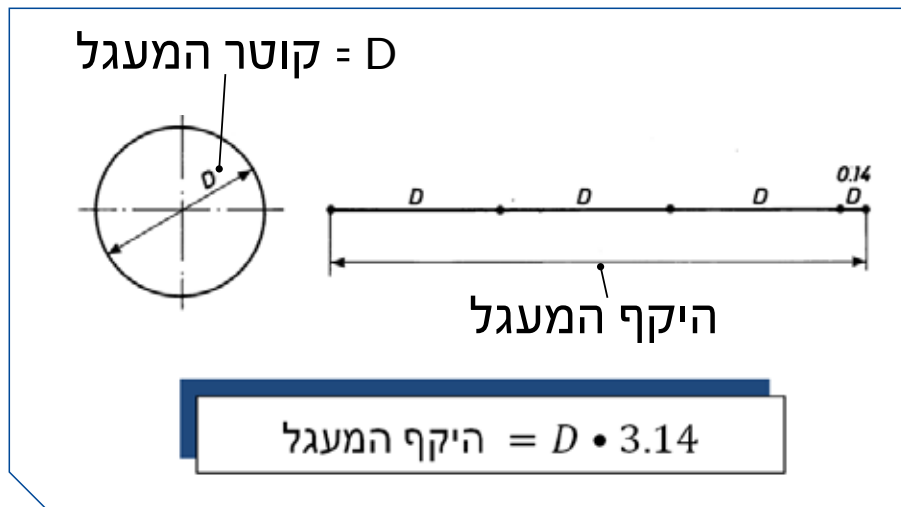
הסבר לנוסחת המהירות " $V_c$ " - איור 2.1.10

$\pi \cdot D$  = היקף העובד, אורך השבב במ"מ הנחתך בסיבוב אחד (איור 2.1.11).

$\pi \cdot D \cdot n$  = אורך השבב הנחתך במ"מ לדקה,  $n$  מייצג סיבובים לדקה.

$\frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$  = אורך השבב הנחתך במטר לדקה.  
 המספר 1000 בנוסחה הופך את המ"מ של הקוטר למטר, כדי לקבל מספר קצר.

איור 2.1.11: חישוב היקף מעגל



#### 2.1.4.2 הגורמים המשפיעים על מהירות החיתוך

את הנתון של מהירויות החיתוך המומלצות מקבלים בטבלאות של יצרן הכלים. הוא זה שקובע אותם לפי ניסויי מעבדה של עיבוד עם הכלי הנתון ועם חומר העובד וגודל השבב (עיבוד גס/עדין). להלן נפרט את הנתונים שבטבלת מהירויות החיתוך המשפיעים על קביעת מהירות החיתוך הכלי

- **החומר ממנו מיוצר הכלי:** פלדה מהירה, מתק"ש, קרמיקה וכדומה. בסכיני מתק"ש מהירות החיתוך גדולה עד פי 10 מאשר בכלים מפלדה מהירה.
- **מידותיו:** קוטר, אורך, מספר השיניים.
- **צורתו:** בכרסום - כרסום קנה, גלילי, מצח, זוויתי, ריסוק וכדומה. בחריטה - סכין חיצוני, פנימי, גידוע, הברגות וכדומה.

#### סוג החומר המעובד

פלדות קשות, פלדות רכות, חומרים אל-ברזליים, פלדות פחמן, פלדות מסוגסגות, יציקות, מתכות אל-ברזליות, חומרים אל מתכתיים ועוד.

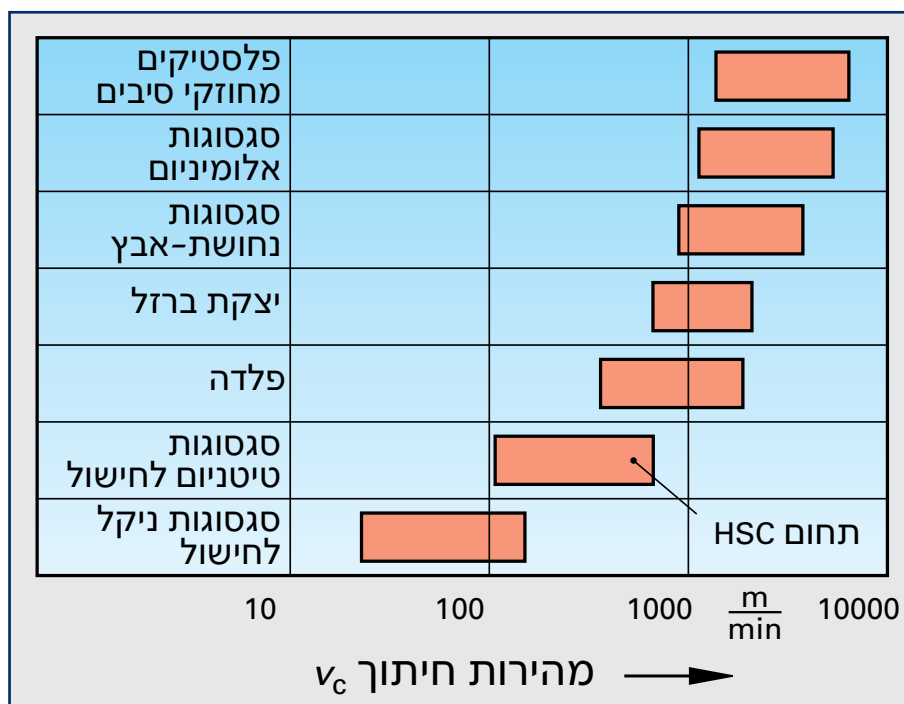
#### סוג העיבוד

- לפי שטח חתך השבב (עיבוד גס, עיבוד גמר).
- לפי הקדמה (בכרסום: קידמה שווה/נגדית).

#### גורמים נוספים

קירור, יציבות המכונה, הספק ונצילות המנוע, דפינת המוצר ודפינת הכלי ועוד, משפיעים גם הם על קביעת מהירות החיתוך. בטבלה 2.1.2 מתואר הקשר בין מהירות החיתוך לחומר המעובד.

טבלה 2.1.2: תחום של מהירויות חיתוך בהתייחסות לחומר נתון



### 2.1.4.3 קביעת מהירות החיתוך $V_c$

עיבוד במהירות חיתוך מתאימה היא תנאי יסודי והכרחי. כך יתקבל מוצר בתנאים אופטימליים מבחינת זמן העיבוד, שמירה על כלי החיתוך, טיב השטח והמכונה. עיבוד במהירות חיתוך לא מתאימה עלולה לגרום לשבירת הכלי, לשריפתו, לזמן עיבוד ארוך ובלאי מואץ של הכלי והמכונה.

את מהירות החיתוך קובעים בטבלאות של יצרן הכלים, לפי סוג החומר המעובד, סוג הכלי המעבד (השימה) וסוג העיבוד. בטבלה לדוגמה 2.1.3 של יצרן הכלים (ישקר), עבור שימת מתק"ש IC808 (מקבוצת ISO P) בעיבוד של פלדה לא מסוגסת, בדרגת קשיות ברנל שבין 130-180HB, ההמלצה לעיבוד גס היא 160 מטר לדקה ולעיבוד גמר 240 מטר לדקה.

אם נביט בטבלה 2.1.3 ביחס לאותה השימה עבור חומרים אחרים, נראה שמהירויות החיתוך משתנות לפי דרגת הקושי של העובד. לדוגמה, בעיבוד של סגסוגת פלדה קשה עם אותה השימה, מהירויות החיתוך יהיו: לעיבוד גס 130 מטר לדקה ולעיבוד גמר 170 מטר לדקה.

עוד ניתן ללמוד מהטבלה, שלא כל שימה תתאים לעיבוד של חומרי גלם שונים (הסבר בפרק שימות). למשל השימה IC5400 אינה מתאימה לעיבוד של ברזל יציקה. מכאן, מהירות החיתוך היא תלות של סוג השימה, סוג החומר המעובד וסוג העיבוד (גס/גמר).

בנוסף, ניתן לומר שבעיבוד גס מהירות החיתוך תקטן בהשוואה לעיבוד גמר, ובחומרים קשים מהירות החיתוך תקטן בהשוואה לחומרים רכים.

גורם נוסף המשפיע על בחירת מהירות החיתוך הוא משך העיבוד באותה השימה. ככל שזמן העיבוד יהיה ארוך יותר מהירויות החיתוך יקטנו ולהיפך.

טבלה 2.1.3: טבלת נתוני שיבוב עבור שימות מתק"ש לפי חומרי הגלם וסוג עיבוד

Vc - מהירות חיתוך במטר לדקה						סוג החומר המעובד					קבוצה לפי תקן
IC 830		IC 5400		IC 808		קבוצת חומר לפי סימון ישקר	קשיות חומר הגלם	הגדרת החומר		תיאור חומר הגלם	ISO ISO513/ DIN
גס	גמר	גס	גמר	גס	גמר			DIN W.-Nr.	AISI/SAE/ASTM		
150	170	160	200	160	240	1	HB 130 - 180	1.004	1020	פלדה לא מסוגסת	P
130	150	140	160	150	180	8	HB 260 - 300	1.6582	4340	סגסוגות פלדה	
100	120	110	130	110	140	9	HRc 35 - 42	1.5710	4340	סגסוגות פלדה	
130	150	120	150	130	170	10	HB 200 - 220	1.2344	H13	סגסוגות פלדה קשה	
180	220	-	-	180	240	16	HB 250	0.6025 (GG25)	Claas40	ברזל יציקה אפור	K
160	180	-	-	160	200	17	HB 200	0.7060 (GGG25)	Claas 65-45-12	ברזל יצוק	
60	80	80	110	80	110	38.1	HRc 45-49	1.2343	H11	פלדה קשה	H
-	-	-	-	50	70	38.2	HRc 50-55	1.2330	P20	ברזל יצוק	

**משך זמן העיבוד בפינה חותכת**

בטבלאות של יצרן הכלים, יש התייחסות למהירות החיתוך הנתונה בזמן עיבוד מוגדר, עבור פינה חותכת. הזמן משתנה ויכול להיות בדקות או בשעות, בהתאם למשתנים הגורמים לבלאי של הכלי במהלך השיבוב. נתוני השיבוב מתבססים על אורך חיים, לדוגמה של **15 דקות לפינה חותכת**. המשמעות היא שלאחר זמן זה השימה מתבלה ויש להחליף פינה.

ניתן להגדיל את זמן העיבוד על ידי הקטנת מהירות החיתוך ואז זמן העיבוד של הכלי גדל יחד עם זמן העיבוד של המוצר שגדל. יש חיסכון מצטבר של **עלויות השימה ועלויות זמן ריקם**, הנובע מעצירת המכונה והחלפת שימה, מול עלות זמן ייצור שגדל (נפח שיבוב קטן). במכונות אוטומטיות ומכונות CNC יש לקחת בחשבון כללי של רווח והפסד את עלות הזמן של החלפת השימה/הכלי, מול עלות השימה ולקבוע זמן ומהירות חיתוך מתאימים כדי להשיג תוצאה אופטימלית.

לצורך הקטנת מהירות החיתוך והגדלת זמן העיבוד בשימה משתמשים בנוסחאות מתאימות (איור 2.1.12) ובמקדם טיילור (טבלה 2.1.4) שבאמצעותו ניתן לחשב מהירות חיתוך חדשה עבור זמן עיבוד נקוב.

### שינוי זמן העיבוד/הקטנת מהירות החיתוך

#### דוגמה לחישוב

נתונה שימת מתק"ש: IC5400.

החומר המעובד: פלדה לא מסוגסגת בקשיות 200HB.

לפי טבלה 2.1.3 (בהנחה שהטבלה נתונה עבור 15 דקות לפינה חותכת), עבור עיבוד גס.

מהירות החיתוך המומלצת היא:  $V_c=160$  מטר לדקה.

מקדם טיילור (נתון בטבלה 2.1.4) בהתייחס לקשיות העובד יהיה:  $K = 0.2$ .

יש לחשב ולשנות את מהירות חיתוך מ-15 דקות לפינה חותכת ל-120 דקות עיבוד לפינה.

### פתרון

#### שלב 1 - חישוב N בנוסחה 1 באיור 2.1.12 למעלה

$$N = 160 \cdot 15^{0.2} = 275$$

#### שלב 2 - חישוב $V_{c2}$ בנוסחה 2 באיור 2.1.12 למטה

$$V_{c2} = \frac{275}{120^{0.2}} = 105$$

מהירות החיתוך החדשה שתתקבל, עבור שעתיים בעיבוד בשימה הנתונה, תהיה 105 מטר לדקה.

### איור 2.1.12: שינוי זמן עיבוד על חשבון מהירות חיתוך

$V_{c1}$  = מהירות החיתוך המומלצת לזמן של  $T_1$ .  
 $K$  = מקדם טיילור הנתון בטבלה.  
 $T_1$  = זמן נתון בטבלה.  
 $N$  = ערך מתקבל להצבה בנוסחה 2.

$$N = V_{c1} \cdot T_1^k$$

$V_{c2}$  = מהירות החיתוך החדשה עבור זמן של  $T_2$ .  
 $N$  = ערך מתקבל מנוסחה 1.  
 $K$  = מקדם טיילור הנתון בטבלה.  
 $T_2$  = זמן חדש רצוי.

$$V_{c2} = \frac{N}{T_2^k}$$

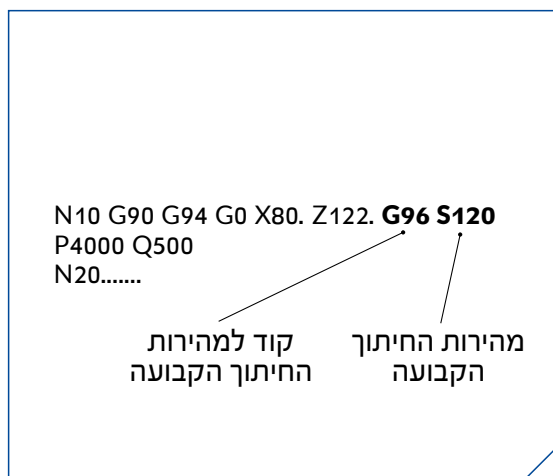
טבלה 2.1.4: מקדם טיילור

מקדם טיילור k	קשיות בריל HB	חומר העובד
<b>פלדות פחמן</b>		
k = 0.2	150	0.2%C
	190	0.45%C
	250	0.83%C
<b>פלדות מסוגסגות</b>		
k = 0.2	עד 200	
	200 - 250	
k = 0.25	275 - 325	
	325 - 375	
	375 - 425	
<b>פלבים (נירוסטה)</b>		
k = 0.3	135 - 175	פריטי
	175 - 225	
	275 - 325	מרטנסיטי
	375 - 425	
	135 - 175	אוסטניטי
<b>פלדות יצוקות</b>		
k = 0.2	עד 150	פחמן
	150 - 200	מסוגסגות
	200 - 250	
	250 - 300	

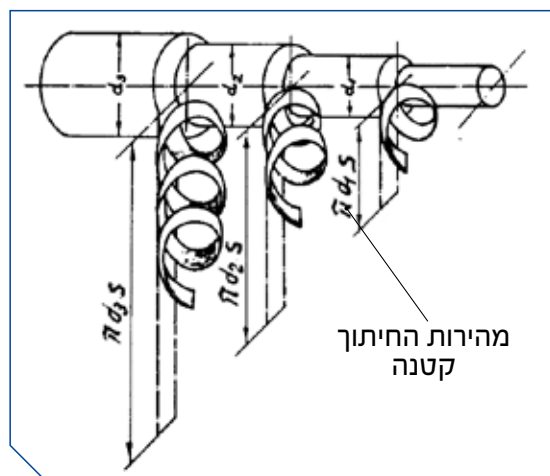
**מהירות חיתוך בחריטה**

בחריטה, מהירות החיתוך משתנה בכל תהליך השיבוב, בשל שינוי בקוטר העובד שקובע את מהירות החיתוך. למעשה, ככל שהקוטר של העובד הולך וקטן מהירות החיתוך קטנה (איור 2.1.13), לכן כאשר הקוטר קטן יש להגדיל את הסל"ד כדי לשמור על אותה מהירות החיתוך. במחרטה ממחושבת, הבקרה יודעת לשמור על מהירות חיתוך שקבענו בתוכנית ולשנות את הסל"ד בהתאם לקוטר שבו נמצא הכלי. הקוד בתוכנית CNC (איור 2.1.14) שקובע את מהירות חיתוך הוא: G96 S... (ליד ה-S... כותבים את מהירות החיתוך שבחרנו. קיימות מכונות שבהן כותבים "V").

איור 2.1.14: הגדרת מהירות החיתוך "Vc" במחרטת CNC



איור 2.1.13: מהירות החיתוך "Vc" כתלות בקוטר המוצר



יש אפשרות להגדיר למחרטת CNC סל"ד קבוע. למשל במצב קידוח, שם הכלי נמצא בנקודת "ס". הפקודה תהיה: **G97 S...** (ליד ה-S... כותבים את הסל"ד שבחרנו). בעיבוד במחרטה קונבנציונאלית נדרש בעל המקצוע להתייחס לקוטר העובד, כאשר הוא קובע את הסל"ד של המחרטה כדי לשמור על מהירות חיתוך מומלצת.

### מהירות החיתוך בכרסום

מהירות החיתוך בכרסום נשאר קבועה בכל מהלך העיבוד, כאשר עובדים עם אותו הכלי ובאותו חומר העובד. מה שקובע את מהירות החיתוך הוא קוטר הכרסום, שאינו משתנה במהלך העיבוד כמו בחריטה.

יש השפעה ניכרת לסוג הכרסום, מספר השיניים, צורתו, מידותיו וגודל השבב בקביעת מהירות החיתוך. לדוגמה (טבלה 2.1.5): עבור עיבוד פלדה SAE4340 HRC28 שימת מתק"ש **IC830** בעיבוד עם כרסום קנה  $\varnothing 50$  בעל שלוש שיניים, נתוני העיבוד הם - מהירות החיתוך: 100 מטר לדקה, אורך חיי כלי: 50 דקות לפינה חותכת.

שימו לב שבטבלה 2.1.5 ניתנו נתונים נוספים -

- סימון ונתוני השימה.
- קידמה במ"מ לשן.
- קידמה במ"מ לדקה המחושבת עבור 3 שיניים, במהירות חיתוך של 100 מטר לדקה עם כרסום קוטר  $\varnothing 50$ .
- סוג הקירור בנתונים הללו.
- נפח הסרת החומר במ"מ<sup>3</sup> לדקה (הסבר לשימוש בהמשך).

טבלה 2.1.5: טבלה למהירויות חיתוך  $V_c$  בכרסום

חומר גלם: SAE4340 HRC 28 מחזיק הכלי: T445 SM D050-47-3-32-13	
50	קוטר הכלי במ"מ
3	מספר שיניים
T480 LNM 1306 PNTR	סימון ונתוני השימה
IC830	שימה (הרכב המתק"ש)
100	מהירות חיתוך במטר לדקה $V_c$
0.20	(קידמה במ"מ לשן) FZ
382	קידמה במ"מ לדקה של השולחנות
45	עומק החתך במ"מ
30	רוחב החתך מ"מ
אוויר	קירור
50	אורך חיי הכלי בדקות
515	נפח הסרת חומר במ"מ <sup>3</sup> לדקה

## 2.1.5 הסל"ד R.P.M בעיבוד השבבי - הקדמה

סל"ד - סיבובי הכוש בדקה R.P.M (Revolutions Per Minute)

## הסל"ד מושפע

**בחריטה:** ממהירות החיתוך וקוטר העובד.

**בכרסום:** ממהירות החיתוך וקוטר הכלי.

**בקידוח:** ממהירות החיתוך וקוטר המקדח.

את סיבובי הכוש המשתנים משיגים בעזרת מנוע, תיבת הילוכים ורצועות. במכונות קונבנציונאליות, לא תמיד ניתן להציב במדויק את הסל"ד שחושב, לכן מציבים את הסל"ד הקרוב ביותר שקיבלנו.

## הגדרת הסל"ד במכונות ממוחשבות C.N.C

- בחריטת CNC ניתן להגדיר סל"ד קבוע או מהירות חיתוך קבועה.
- בכרסום CNC הגדרת הסל"ד היא קבועה וכאשר מגדירים בתוכנית לכרסום S1200 הכוונה ל-1200 סל"ד.
- במכונות CNC ניתן להגדיר כל גודל של סל"ד.

איור 2.1.15: נוסחה לחישוב הסל"ד "n"

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

נוסחת מהירות החיתוך

$$V_c \times 1000 = \pi \cdot D \cdot n$$

שינוי נושא בנוסחה שלב 'א'

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D}$$

שלב 'ב' נוסחת הסל"ד

$$n = \frac{V_c \cdot 320}{D}$$

נוסחת הסל"ד בקיצור

n = סל"ד.  
 $V_c$  = מהירות החיתוך במטר לדקה.  
 $\pi$  = קוטר 3.14 מספר קבוע המגדיר את היחס בין הגליל והיקפו (איור 2.1.11).  
 $D$  = קוטר העובד במ"מ.  
 1000 = הופך את התוצאה ממ"מ למטר.  
 320 = חלוקה של 1000 ב-3.14, נתונים קבועים בנוסחה.

### קביעת הסל"ד

לאחר בחירת מהירות החיתוך מתוך הטבלאות יש לקבוע את סיבובי הכוש (כלי או עובד) כדי להתאימו למהירות החיתוך שנקבעה.

את סיבובי הכוש נוכל לקבוע לפי אחת מהאפשרויות:

- חישוב בנוסחה.

- בעזרת דיאגרמות וטבלאות מתאימות.

חשוב לדעת, בקביעת מהירות חיתוך עבור כרסום בקוטר גדול והחלפתו לכרסום בעל קוטר קטן, תצטרכו להגדיל את מספר סיבוביו בהשוואה למה שקיבלתם, כדי לעבוד באותה מהירות חיתוך (בנוסף, הסל"ד משפיע על הקדמות, יוסבר בהמשך).

באיור באיור 2.1.15 למטה מופיעה הנוסחה לחישוב הסל"ד. נוסחה זו מתקבלת מהנוסחה של מהירות החיתוך " $V_c$ " (איור 2.1.15 למעלה), לאחר שינוי נושא בנוסחה. את מהירות החיתוך לא מחשבים אלא מקבלים בטבלאות. מחשבים את הסל"ד.

הסל"ד (סיבובים לדקה) הוא מספר הסיבובים שהכלי או העובד מסתובבים במשך זמן של דקה. מספר סיבובי הכלי או העובד מושפעים משני גורמים:

### • מהירות החיתוך.

### • קוטר המוצר בחריטה/קוטר הכלי בכרסום ובקידוח.

שימו לב לקשר בין קוטר העובד ומספר הסיבובים:

כאשר אנו מבצעים עיבוד של חומר זהה עם אותו הכלי ובאותם תנאי שיבוב, ככל שקוטר העובד בחריטה או קוטר הכרסום בכרסום קטנים, יש צורך להעלות את הסל"ד כדי לשמור על מהירות החיתוך הנתונה (לשמור על אורך השבב המתקבל).

בנוסחה באיור 2.1.15 למעלה:  $n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D}$   
 ה-1000, ה- $\pi$  וה- $V_c$  קבועים. מכאן:

"n" הוא פונקציה של "D" והוא זה המשפיע על מהירות החיתוך.

במחרטות ממוחשבות CNC מגדירים את מהירות החיתוך והבקרה של המכונה המחשבת את הסל"ד לפי קוטר העיבוד.

בתוכנות תיב"ם בכרסום, אפשר להכניס את מהירות החיתוך ליד הכלי שאתו עובדים והמחשב יבצע את החישוב של הסל"ד.

**מסקנה:** את הסל"ד קובעים לפי מהירות החיתוך וקוטר המוצר או הכרסום. לאחר קביעת מהירות החיתוך יש לחשב (או למצוא בטבלאות/בדיאגרמות) את סיבובי הכוש כדי להתאימו למהירות החיתוך שנקבעה.

**דוגמאות לחישוב הסל"ד**

**איור 2.1.16: תרגיל דוגמה לחישוב הסל"ד n בחריטה**

**נתון:** תהליך העיבוד - **חריטה**  
**חומר העובד:** פלב"ם מרטנסיטי 300HB  
**סוג העיבוד:** גמר  
**קוטר העיבוד:** 40 מ"מ  
**הכלי:** שימת מתק"ש IC80T  
**פתרון**  
 מהירות החיתוך מתוך טבלאות: 220 מטר לדקה.  
 חישוב הסל"ד:

$$\pi = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D}$$

$$\pi = \frac{220 \cdot 1000}{3.14 \cdot 40} \quad \mathbf{1752 \text{ r.p.m}}$$

**איור 2.1.17: תרגיל דוגמה לחישוב הסל"ד n בכרסום**

**נתון:** תהליך העיבוד - **כרסום**  
**חומר העובד:** פלדה פחמנית SAE 1020  
**קשיות:** 150HB  
**סוג העיבוד:** גס  
**קוטר וסוג הכרסום:** כרסום מצח שימות מתק"ש  
 בקוטר 60 מ"מ  
**הכלי:** שימת מתק"ש IC808  
**פתרון**  
 מהירות החיתוך מתוך טבלאות: 160 מטר לדקה.  
 חישוב הסל"ד:

$$\pi = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D}$$

$$\pi = \frac{160 \cdot 1000}{3.14 \cdot 60} \quad \mathbf{849 \text{ r.p.m}}$$

**איור 2.1.18: תרגיל דוגמה לחישוב הסל"ד n בקידוח**

**נתון:** תהליך העיבוד - **קידוח**  
 חומר העובד: פלדה פחמנית SAE 1030  
 קשיות: 175HB  
 קוטר המקדח: 18 מ"מ  
**הכלי:** מקדח H.S.S.  
**פתרון**  
 מהירות החיתוך מתוך טבלאות: 23 מטר לדקה.  
 חישוב הסל"ד:  

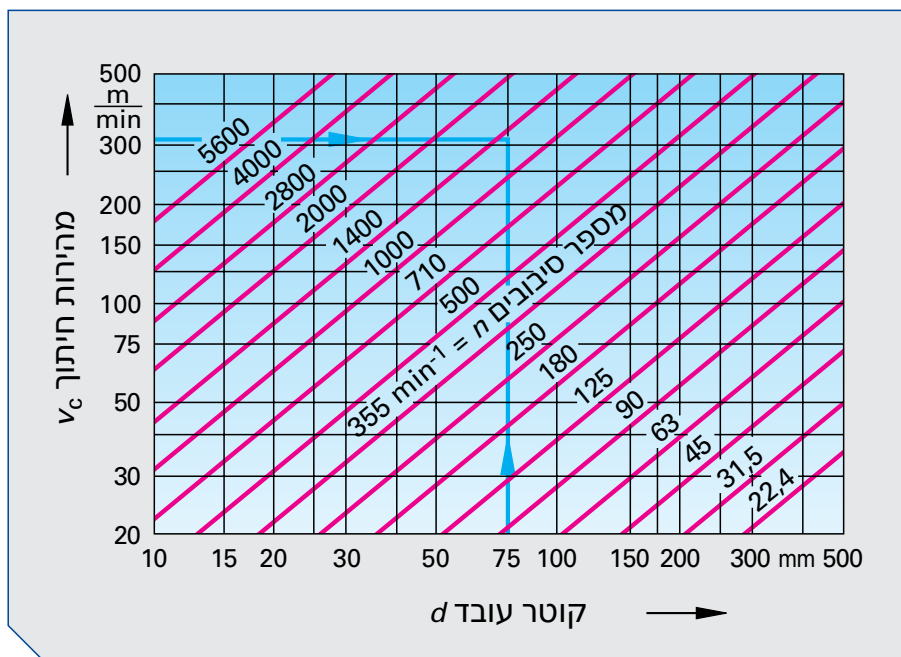
$$\pi = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D}$$

$$\pi = \frac{23 \cdot 1000}{3.14 \cdot 18} \quad \mathbf{407 \text{ r.p.m}}$$

**שימוש בדיאגרמה**

באיור 2.1.19 מתוארת דיאגרמה של קביעת הסל"ד, ללא הצורך להשתמש בנוסחה ולחשב. בדוגמה בדיאגרמה (מודגש בצבע כחול) קוטר העובד/הכלי הוא 75 מ"מ, ומהירות החיתוך (מהירות היקפית) שקיבלנו מתוך טבלאות יצרן הכלים היא 300 מטר לדקה. בנקודת המפגש של שני הקווים הכחולים מסתכלים בין הקווים האלכסוניים, ומקבלים את מספר הסיבובים (הסל"ד), במקרה שלנו הוא קרוב ל-1400 RPM.

**איור 2.1.19: דיאגרמת סל"ד**



**שימוש בטבלה**

יש טבלאות בהן ניתן למצוא את הסל"ד (טבלה 2.1.6). בעמודה הימנית מציבים את קוטר הכלי/ העובד, בשורה העליונה מציבים את מהירות החיתוך שהתקבלה מטבלאות יצרן הכלים. נקודת החיבור שלהם היא הסל"ד.

**לדוגמה:** מהירות חיתוך "Vc" 25 מטר לדקה, קוטר העובד/הכלי 10 מ"מ הסל"ד יהיה: 796 RPM.  
**דוגמה נוספת:** קוטר כלי/עובד 50 מ"מ מהירות חיתוך 100 מטר לדקה, הסל"ד יהיה: 637 RPM.

**טבלה 2.1.6: טבלת סל"ד**

150	120	100	80	60	50	40	30	25	20	15	Vc	
סל"ד											πD	D
								2654	2123	1592	9.42	3
							2381	1984	1587	1190	12.6	4
						2548	1911	1592	1247	955	15.7	5
						2128	1596	1330	1064	798	18.8	6
					2273	1818	1364	1136	909	682	22.0	7
				2390	1992	1594	1195	996	797	598	25.12	8
				2120	1767	1413	1060	883	707	530	28.3	9
			2548	1911	1592	1274	955	796	637	478	31.4	10
			2122	1592	1326	1061	796	663	531	398	37.7	12
		2273	1818	1364	1136	909	682	568	455	341	44.0	14
	2386	1988	1590	1193	994	795	596	497	398	298	50.3	16
	2123	1770	1416	1062	885	708	531	443	354	265	56.5	18
2388	1911	1592	1274	955	796	637	478	398	318	239	62.8	20
2171	1737	1447	1158	868	724	597	434	362	298	217	69.1	22
1989	1592	1326	1061	796	663	531	398	332	265	199	75.4	24
1836	1469	1224	979	734	612	490	367	306	245	184	81.7	26
1705	1364	1136	909	682	568	455	341	284	227	170	88.0	28
1592	1274	1062	849	637	513	425	318	265	212	159	94.2	30
1364	1091	909	727	545	455	364	273	227	182	136	110	35
1190	952	794	635	476	397	317	238	198	159	119	126	40
1064	851	709	567	426	355	284	213	177	142	106	141	45
955	764	637	510	382	318	255	191	159	127	96	157	50
867	694	578	462	347	289	231	173	145	116	87	173	55

## 2.1.6 מהירות קידמה $V_f$

### 2.1.6.1 מבוא

מהירות קידמה " $V_f$ " היא מהירות התנועה הקווית.

הקדמה היא המהירות שבה נע הכלי לאורך השטח טעון העיבוד (בתוכניות CNC מהירות הקדמה מוגדרת באות F). כיוון שהערכים מייצגים דרך בזמן לכן, הקדמה מוגדרת כמהירות.

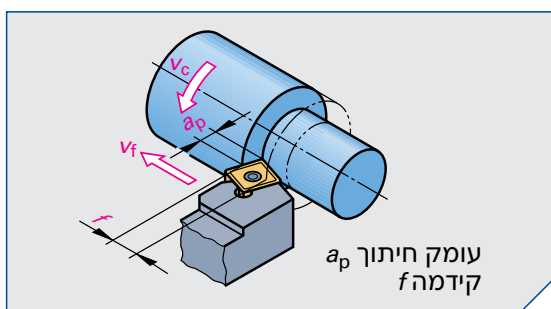
### 2.1.6.2 סוגי קדמות בעיבוד השבבי

- קידמה במ"מ לסיבוב  $vf \text{ mm/rev}$  (איור 2.1.20).
- קידמה במ"מ לדקה  $vf \text{ mm/min}$  (איורים 2.1.21 ו-2.1.22).
- קידמה במ"מ לשן המוגדרת  $fz$ .
- קידמה  $^\circ/\text{min}$  (מעלות לדקה)  $f$ .

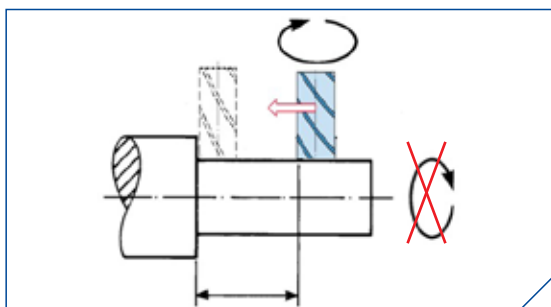
את שיעור הקדמה קובעים לפי סוג החומר המעובד, סוג העיבוד וסוג הכלי. כמו כן, שיעור הקדמה מושפע גם מהספק המכונה ויציבות הדפינה.

את הקדמה אפשר למצוא נתונה בטבלאות של יצרן הכלים. בכרסום נהוג להשתמש בקדמה במידות של מ"מ לדקה. לכרסום יש כמה שיניים, ולכן הקדמה בטבלאות נתונה **במ"מ לשן  $fz$**  (יש המסמנים ft). את הקדמה יש לחשב במ"מ לדקה עבור כל כרסום בנפרד, לפי כמות השיניים שיש על היקפו. כשמבצעים עיבוד בציר רביעי, כמו למשל בשולחן מסתובב, נשתמש בקדמה של **מעלות לדקה** בהתאמה למרחק של הכרסום ממרכז השולחן המסתובב. לסכין החריטה יש שן אחת שחותכת ולמקדח הסטנדרטי שתי שיניים, לכן הקדמה היא במ"מ לסיבוב.

#### איור 2.1.20: קידמה במ"מ לסיבוב $f$



#### איור 2.1.21: קידמה במ"מ לדקה בחריטה



#### 2.1.6.3 מהירות קידמה במ"מ לסיבוב

##### $V_f \text{ mm/rev}$

מהירות קידמה במ"מ לסיבוב (איור 2.1.20) הנהוגה בחריטה ובקידוח נקבעת בחריטה לפי היחס שבין סיבוב אחד של העובד להתקדמות הכלי ובקידוח בין סיבוב אחד של המקדח להתקדמותו.

הקדמה בטבלאות של יצרן הכלים נתונה במ"מ לסיבוב ואותה מציבים במחרטה הקונבנציונאלית, ולרוב גם במכונת ה-CNC.

הקדמה במ"מ לסיבוב מתבצעת כאשר העובד מסתובב. במקרים שבהם העובד אינו מסתובב, למשל, בעיבוד עם כרסום במחרטה ממוחשבת CNC בעלת שלושה צירים, נבצע קידמה במ"מ לדקה (איור 2.1.21). הקדמה במ"מ לסיבוב

במחרטה קונבנציונאלית נשמרת גם כאשר הסל"ד משתנה, כיוון שיש קשר ישיר בין סיבובי הכוש ובין התקדמות הכלי.

### 2.1.6.4 מהירות קידמה במ"מ לדקה Vfmm/min

מהירות קידמה במ"מ לדקה (איור 2.1.22) נקבעת לפי ההתקדמות במ"מ של הכלי כלפי העובד, או העובד כלפי הכלי במשך דקה. קידמה זו מקובלת בכרסום. קיימים כרסומים שונים, הן במבנה שלהם והן בכמות השיניים (הלהבים) ובהיקפם. ככל שיש יותר שיניים בהיקף הכרסום מהירות הקדמה במ"מ לדקה תגדל, בעוד שהקדמה לשן תישמר ולהיפך. הקדמה נתונה בטבלאות היצרן במ"מ לשן, ואנו מתאימים את הקדמה לפי כמות השיניים בכרסום. כמו כן, יש קשר ישיר בין סיבובי הכרסום לקדמה - ככל שהסל"ד יגדל הקדמה תגדל. מכאן, יש להתאים את סל"ד הכרסום לקדמה של השן, בהתאמה לכמות השיניים בהיקף הכרסום. את הקדמה הנתונה בטבלאות יצרן הכלים במ"מ לשן יש לתרגם לקדמה במ"מ לדקה, על ידי הנוסחה שבאיור 2.1.23. את התוצאה שמקבלים מזינים במכונה הקונבנציונאלית או מציבים בתוכנית למכונת CNC.

### 2.1.23 הסבר לנוסחה - איור

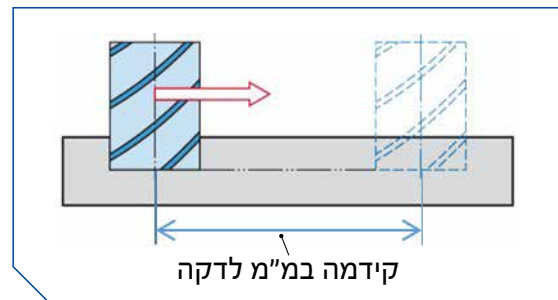
- התקדמות המוצר בסיבוב אחד:  $f_z \cdot Z$
- התקדמות המוצר במ"מ במשך דקה:  $f_z \cdot Z \cdot n$

### איור 2.1.23: נוסחה לחישוב הקדמה במ"מ לדקה

$$f_{\text{mm/min}} = f_z \cdot Z \cdot n$$

קידמה במ"מ לדקה =  $V_f$  mm/min  
 $f_z$  = קידמה לשן.  
 $Z$  = מספר שיניים בכרסום.  
 $n$  = סל"ד הכוש (כלי / עובד).

### איור 2.1.22: קידמה במ"מ לדקה בכרסום



### דוגמה לחישוב קידמה במ"מ לדקה (איור 2.1.24)

#### איור 2.1.24: דוגמה לחישוב הקדמה במ"מ לדקה

**נתון**

$f_z = 0.025$  מ"מ לשן.  
 $Z = 6$   
 $n = 850$  סל"ד.

**פתרון**

הנוסחה:  $V_{f \text{ mm/min}} = f_z \cdot Z \cdot n$   
**מ"מ לדקה 127**  $= 0.025 \cdot 6 \cdot 850$

כדי לקבוע את נתוני העיבוד של הקדמה, יצרן הכלים מספק טבלאות של נתוני שיבוב המומלצים על ידו, עבור כל כלי וכל צורות העיבוד. נתוני שיבוב אלה נקבעו על ידי יצרן הכלים בתנאי מעבדה. יש טבלאות שונות המגדירות את הקדמה. יש טבלאות שבהן הקדמה נתונה במ"מ לשן ( $f_z$ ), ולפעמים נתונה הקדמה במ"מ לסיבוב או במ"מ לדקה. לא תמיד הנתון בטבלה מתאים לנו.

**לדוגמה**

הקדמה נתונה במ"מ לסיבוב  $V_f$  mm/rev ואנו מעוניינים להפוך אותה למ"מ לדקה  $V_{fmm/min}$ . נבצע זאת באמצעות הנוסחה שבאיור 2.1.25. דוגמה להפיכת קידמה ממ"מ לסיבוב למ"מ לדקה באיור 2.1.26.

לפעמים נתונה הקדמה בטבלה במ"מ לדקה  $V_f$  mm/min עבור כלי בעל קוטר נתון וכמות להבים ידועה. במקרה כזה, אם ברצוננו למצוא את הקדמה לשן  $f_z$ , נשתמש בנוסחה שבאיור 2.1.27 כדי לחשב באמצעות הנתון את הקדמה עבור כרסום בעל כמות שיניים אחרת (ראו דוגמה לחישוב קידמה לשן באיור 2.1.28).

נוסחה זו מתקבלת לאחר שינוי הנושא בנוסחה:  $V_{fmm/min} = f_z \cdot Z \cdot n$

**איור 2.1.26: תרגיל למעבר ממ"מ לסיבוב למ"מ לדקה**

**נתון:**  
 $V_f$  mm/rev = 0.15 במ"מ לסיבוב.  
 $n = 800$  r.p.m.  
 הנוסחה:  $V_{fmm/min} = V_f$  mm/rev  $\cdot n$   
**מ"מ לדקה**  $V_{fmm/min} = 0.15 \cdot 800 = 120$

**איור 2.1.25: מעבר ממ"מ לסיבוב למ"מ לדקה**

$$V_{fmm/min} = V_{fmm/rev} \cdot n$$

קידמה במ"מ לדקה =  $V_f$  mm/min  
 קידמה במ"מ לסיבוב =  $V_f$  mm/rev  
 $n$  = סל"ד הכוש (כלי/עובד).

**איור 2.1.28: תרגיל דוגמה לחישוב קידמה במ"מ לשן**

**נתון**  
 $V_f$  mm/min = 200 מ"מ לדקה.  
 $Z = 4$  שיניים.  
 $n = 800$  r.p.m.  
**מ"מ לשן**  $f_z = \frac{V_f}{Z \cdot n} = \frac{200}{4 \cdot 800} = 0.0625$

**איור 2.1.27: מעבר ממ"מ לדקה למ"מ לשן**

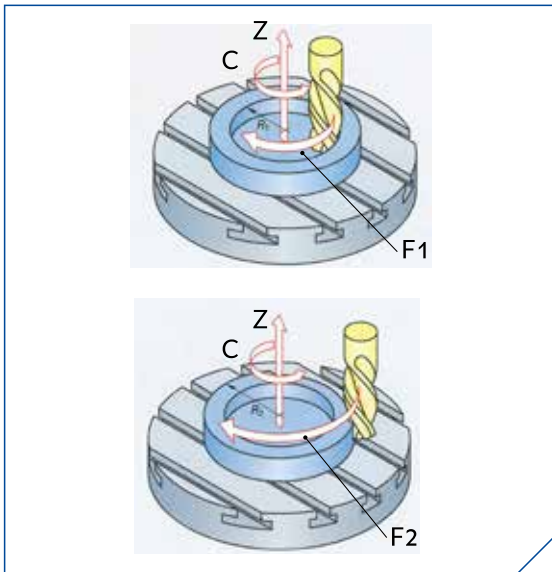
$$f_z = \frac{V_{fmm/min}}{Z \cdot n}$$

קידמה לשן =  $f_z$   
 קידמה במ"מ לדקה =  $V_f$  mm/min  
 $Z$  = מספר שיניים בכרסום.  
 $n$  = סל"ד הכוש (כלי/עובד).

**חשוב לזכור**, בחריטה שבה הקדמה היא במ"מ לסיבוב, נשמרת מהירות הקדמה גם אם נשנה את הסל"ד, כיוון שיש קשר ישיר בין סיבובי הכוש להתקדמות הכלי. ככל שנגדיל את הסל"ד, הקדמה תגדל בהתאמה. בכרסום שבו הקדמה היא במ"מ לדקה, קשר זה לא מתקיים ולכן הגדלת הסל"ד לא תשנה את הקדמה. בכרסום, שינוי הסל"ד בלבד ישנה את הקדמה. לכן יש לשנות את הסל"ד כדי לשמור על קידמה רצויה. **לדוגמה**, אם נגדיל את הסל"ד ונשאיר את הקדמה במ"מ לדקה - הקדמה לשן תקטן. אם נקטין את הסל"ד ונשאיר את הקדמה במ"מ לדקה - הקדמה לשן תגדל ותהיה סכנה לשבירת הכלי. לכן, בכרסום, שינוי של נתון אחד - קידמה או סל"ד - יגרור אחריו צורך בשינוי הנתון השני כדי לשמור על תנאי השיבוב כפי שקבענו.

**2.1.6.5 מהירות קידמה במ"מ לדקה או במ"מ לסיבוב (מעלות לדקה)**

**איור 2.1.29: מהירות הקדמה בתנועה בציר C**



מהירות קידמה במ"מ לדקה או במ"מ לסיבוב מתייחסת למרחק שעושה השולחן/כוש בקו ישר. מהירות קידמה זו אינה מתאימה לעיבוד כשמבצעים תנועה סיבובית באמצעות ציר רביעי או חמישי.

בכל נקודה שנבחר על הציר הסיבובי, מספר הסיבובים יהיה זהה. אולם ככל שנתרחק ממרכז הסיבוב, הדרך שהכלי עובר תהיה ארוכה יותר (בדומה למהירות החיתוך). לכן, את מהירות הקדמה בצירים הסיבוביים נקבע בערכים של  $^{\circ}/\text{min}$  (מעלות - דרך, לדקה - זמן).

כדי להמחיש את השוני בקדמות השונות נניח שאנו מגדירים את אותה הקדמה F בעיבוד של הכיס

(אמבטיה) באיור 2.1.29 למעלה, ובאותה הקדמה מבצעים את העיבוד של הגליל החיצוני - איור 2.1.29 למטה.

אם רוצים שמהירות הקדמה תהיה שווה בשני המקרים ומותאמת לקדמה הנתונה במ"מ לדקה, אז הקדמה בגליל החיצוני צריכה להיות גדולה יותר מזו שבעיבוד הכיס הפנימי, זאת מכיוון שההיקף של הגליל (הדרך שעובר הכרסום) גדול יותר. מכאן, יש להתאים את מהירות הקדמה לקוטר שבו אנו מבצעים את תנועת העיבוד, כשהכלל הוא: ככל שמתרחקים ממרכז ציר הסיבוב, הדרך שמבצעים גדלה. כדי לשמור על אותה קידמה, הקדמה במעלות לדקה ( $^{\circ}/\text{min}$ ) צריכה לגדול גם היא.

באיור 2.1.29 למעלה מבוצע עיבוד של כיס (אמבטיה) בקוטר  $R_1$  ובאיור 2.1.29 למטה מבוצע עיבוד של גליל בקוטר  $R_2$ . הדרך שעובר הכרסום המבצע את הגליל בסיבוב שלם גדולה מזו של הכיס.

**ממצב זה באיור 2.1.29 מתקבל**

$$R_1 < R_2$$

$$F_2 < F_1$$

כאמור, בשימוש בציר סיבובי, מהירות התנועה צריכה להיות מוגדרת בערכים של מעלות לדקה ( $^{\circ}/\text{min}$ ).

הקדמה נתונה בטבלאות יצרן הכלים במ"מ לדקה  $V_f$ . קידמה זו צריך להיות מתורגמת למעלות בדקה ( $^{\circ}/\text{min}$ ). קידמה זו מחושבת בהתאם לקדמה הרצויה במ"מ לדקה  $V_f$ , בהתייחס לאורך הקשת המבוצעת במ"מ - היא למעשה אורך העיבוד.

**חישוב קידמה %/min (מעלות לדקה)**

אורך העיבוד של מעגל שלם בקוטר נתון מחושב לפי הנוסחה של חישוב היקף המעגל (איור 2.1.30).

כדי לקבל את הקדמה במ"מ במעלה, מחלקים את הקדמה להיקף המעגל ב-360 מעלות.

הנוסחה באיור 2.1.31 משמאל מגדירה את הקדמה במ"מ לדקה ובנוסחה מימין הצבנו במקום L את החישוב של היקף המעגל  $d \cdot \pi$ . כיוון שהנתון של  $V_f$  ידוע מהטבלאות, אפשר לבצע שינוי נושא בנוסחה: מבודדים את F ומקבלים את חישוב הקדמה F במעלות בדקה

(%/min), כמתואר באיור 2.1.32.

**איור 2.1.30: חישוב היקף המעגל**

$$L = d \cdot \pi$$

L = היקף המעגל.  
 d = קוטר המעגל המבוצע במ"מ.  
 $\pi = 3.14$  מספר קבוע המגדיר את היחס בין קוטר הגליל והיקפו.

לבצע שינוי נושא בנוסחה: מבודדים את F ומקבלים את חישוב הקדמה F במעלות בדקה

**איור 2.1.32: חישוב מהירות הקדמה ב-%/min**

$$F = \frac{V_f \cdot 360}{d \cdot \pi}$$

F = מהירות קידמה במעלות לדקה %/min.  
 $V_f$  = מהירות הקדמה במ"מ לדקה.  
 360 = סה"כ מעלות בסיבוב שלם.  
 d = קוטר הקשת / מעגל המבוצע במ"מ.  
 $\pi = 3.14$  מספר קבוע המגדיר את היחס בין קוטר הגליל והיקפו.

**איור 2.1.31: חישוב הקדמה ל-1°**

$$V_f = \frac{F \cdot L}{360}$$

$$V_f = \frac{F \cdot d \cdot \pi}{360}$$

$V_f$  = מהירות הקדמה במ"מ לדקה.  
 F = מהירות קידמה במעלות לדקה, %/min.  
 L = היקף המעגל המבוצע במ"מ.  
 360 = סה"כ מעלות בסיבוב שלם.  
 d = קוטר העיבוד.  
 $\pi = 3.14$

**דוגמה לחישוב**

חשבו את הקדמה במעלות לדקה (%/min) עבור כרסום גליל בציר רביעי מסתובב. הקדמה הנתונה בטבלאות יצרן הכלים היא 160 מ"מ לדקה, רדיוס העיבוד הוא של 120 מ"מ.

**איור 2.1.33: חישוב תרגיל דוגמה**

$$F = \frac{V_f \cdot 360}{d \cdot \pi} = \frac{160 \cdot 360}{120 \cdot 3.14} = 142.79^\circ/\text{min}$$

נבחר את הקדמה לעיבוד:  
 $142^\circ/\text{min} = F$

**נתון**

$V_f = 160$  מ"מ לדקה

$\emptyset D = 120$  מ"מ

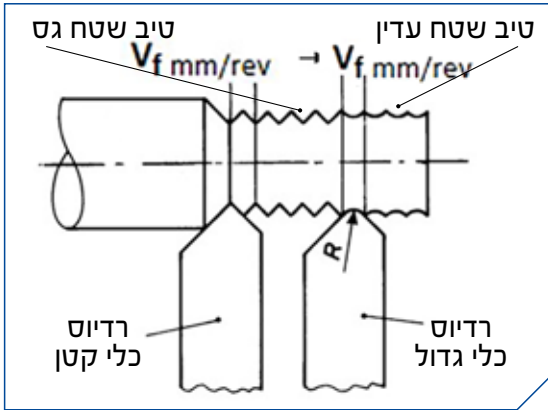
? = F

פתרון באיור 2.1.33

## 2.1.7 מרקם פני שטח בחריטה

### 2.1.7.1 הקדמה

איור 2.1.34: השפעת רדיוס הכלי על טיב השטח



הגורמים המשפיעים על מרקם פני השטח (טיב השטח) הם: סוג החומר המעובד וקשיותו, סוג הכלי, תהליך העיבוד, דיוק המכונה, טמפרטורת העיבוד, היגש ויציבות הדפינה. הגורמים העיקריים והישירים הם **הקדמה ורדיוס הכלי**.

החישובים המופיעים בהמשך מתייחסים לרדיוס פינה של כלי עד 1.6 מ"מ. ברדיוס של כלי גדול יותר מופיעות רעידות בחומר, נוצר גידול בכוחות השיבוב ומרקם פני השטח המתקבל גרוע. מכאן, שיש קשר ישיר בין הקדמה שנקבעה, רדיוס

הסכין ומרקם פני השטח המתקבל (כמתואר באיור 2.1.34).

למעשה, ככל שהקדמה לסיבוב תקטן ורדיוס הסכין יגדל (עד לגודל רדיוס שלא גורם לרעידות), מרקם פני השטח שיתקבל יהיה טוב יותר. זאת משום שהסכין שווה זמן ממושך יותר על פני השטח המעובד. את נתוני הקדמה עבור השבב הסופי יש לקבוע בהתאם לדרישות של מרקם פני השטח, כפי שמופיעות בשרטוט המוצר.

ההמלצה לרדיוס כלי עבור עיבוד גס: רדיוס כלי של 0.5 מ"מ. ובעיבוד גמר רדיוס כלי של עד 0.3 מ"מ.

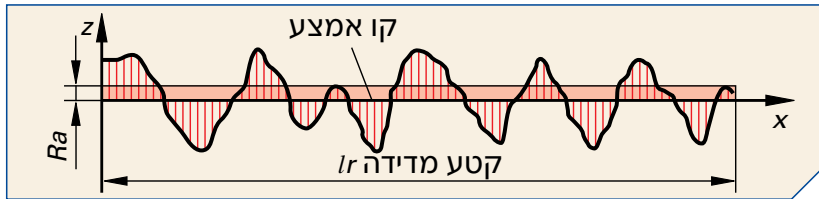
### טבלה 2.1.7: סימון וערכים של Ra

גס			בינוני			עדין			עדין מאוד			סוג העיבוד
N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1	סימון טיב השטח תקן ISO תקן ישראלי
50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025	ערכי Ra באלפית המ"מ
2000	1000	500	250	125	63	32	16	8	4	2	1	ערכי Ra באלפית האינץ'

**2.1.7.2 מרקם פני השטח (טיב השטח)**

מרקם פני השטח (איור 2.1.35) לפי תקן ISO נמדד בערך של  $R_a$ , שהוא ממוצע גובה החספוס של השטח הנמדד במיקרונים (אלפית המ"מ) או במיקרו אינץ' (אלפית האינץ'). התקן מגדיר 12 דרגות חספוס המתוארות בטבלה 2.1.7, כאשר הדרגה N1 היא מרקם פני השטח הטוב יותר והדרגה N12 היא מרקם פני השטח הגס ביותר. ניתן לקבוע את מרקם פני השטח שיתקבל בעיבוד, כאשר ידוע רדיוס הכלי והקדמה במ"מ לסיבוב, לפי הנוסחאות באיורים 2.1.36-2.1.37.

**איור 2.1.35: הגדרת טיב השטח**



דוגמה לחישוב של מרקם פני השטח המתקבל בנתונים מוגדרים באיור 2.1.38. התוצאה שהתקבלה בחישוב של 2.8125 מתייחסת למרקם של פני השטח בדרגות שבין N7 ל-N8 (טבלה 2.1.7).  
**הערה:** ניתן לקבוע את רדיוס הכלי הנדרש או את הקדמה, על מנת לקבל את טיב השטח הדרוש במוצר. חישוב הנתונים הנדרשים לקבלת טיב השטח הרצוי, יבוצע עבור השבב הסופי בלבד.

**איור 2.1.37: נוסחה לחישוב גובה החספוס  $R_a$**

$$R_a = \frac{R_t}{4}$$

$$R_t = 4 \cdot R_a$$

$R_a$  = גובה החספוס ממוצע (נתון מתוך טבלה 2.1.7).  
 $R_t$  = גובה החספוס במיקרון מטר.

**איור 2.1.36: נוסחה לחישוב טיב שטח  $R_t$**

$$R_t = \frac{1000 \cdot V_{fmm/rev^2}}{8 \cdot R}$$

$R_t$  = גובה החספוס במיקרון מטר.  
 $R$  = רדיוס הפינה בסכין במ"מ.  
 $V_{fmm/rev}$  = קידמה במ"מ לסיבוב.

נוסחה המתאימה עבור קידמה גדולה מ-0.05 מ"מ לסיבוב

לדוגמה, כאשר נתון רדיוס פינה של סכין חריטה, ומרקם פני השטח הנדרשים בשרטוט המוצר, יש באפשרותנו לקבוע את הקדמה במ"מ לסיבוב על מנת לקבל את מרקם פני השטח הדרוש (איור 2.1.39).

החישוב המתקבל אינו מבטיח קבלת מרקם פני השטח שחושב. הדבר תלוי גם בסוג המכונה שבאמצעותה מבצעים את העיבוד.

**איור 2.1.39: דוגמה לחישוב הקדמה לקבלת טיב שטח**

$$V_{f \frac{mm}{rev} \max} = \sqrt{\frac{R_t \cdot 8 \cdot r}{1000}}$$

נוסחה לחישוב קידמה מקסימלית לקבלת טיב שטח רצוי

**נתון**  
 טיב שטח נדרש: N8 שזה  $R_a=3.2$  לפי טבלה 2.1.7  
 רדיוס פינה חותכת בסכין - 1.2 מ"מ.  
 חשב את הקדמה לקבלת טיב השטח הנדרש.

**פתרון**  
 • חישוב גובה החספוס  $R_t$   
 $R_t = 4 \cdot R_a = 4 \cdot 3.2 = 12.8$   
 • חישוב קידמה מקסימלית  
 $V_{f \frac{mm}{rev} \max} = \sqrt{\frac{R_t \cdot 8 \cdot R}{1000}} = \sqrt{\frac{12.8 \cdot 8 \cdot 1.2}{1000}} = 0.35$

**איור 2.1.38: דוגמה לחישוב טיב שטח ממוצע  $R_a$**

**נתון:** קידמה 0.3 מ"מ לסיבוב.  
 רדיוס פינה חותכת בסכין = 1 מ"מ.

**פתרון:**  
 • חישוב טיב שטח  $R_t$   
 $R_t = \frac{1000 \cdot 0.3^2}{8 \cdot 1} = 11.25$   
 • חישוב טיב שטח ממוצע  $R_a$   
 $R_a = \frac{11.25}{4} = 2.8125 \mu m$

**הערה**

לא בכל סוג עיבוד ניתן לקבל את מרקם פני השטח הנדרש. לרוב על פי הדרישה בשרטוט של מרקם פני השטח, אנחנו בוחרים את מכונת\סוג העיבוד.  
 טבלה 2.1.8 מתארת את דרגות העיבוד למרקם פני השטח לפי סוג העיבוד המבוצע.

**טבלה 2.1.8: דרגות עיבוד למרקם פני שטח**

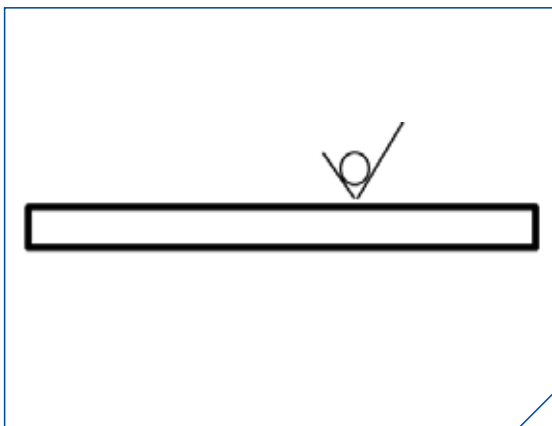
דרגות העיבוד	סוג העיבוד
N5-N11	חריטה
N8-N9	קדיחה
N2-N6	קידוד
N5-N11	כרסום
N8-N11	הקצעה
N2-N8	השחזה
N1-N5	בירוק
N1-N6	ליטוש
N2-N3	מירוק פנימי
N1-N2	מירוק חיצוני

### 2.1.7.3 סימון דרגת מרקם השטח בשרטוט

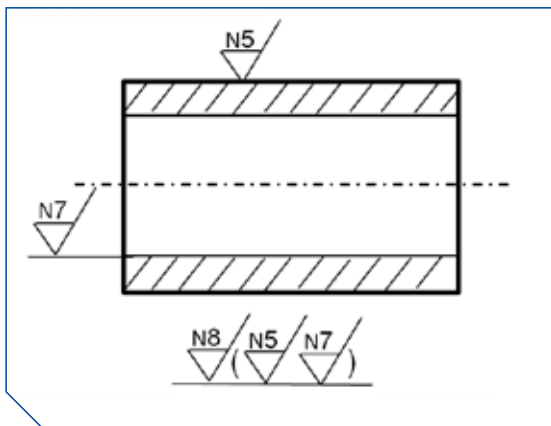
בשרטוט המוצר חייבת להינתן הדרישה למרקם של פני השטח (טיב השטח) לגבי כל משטח במוצר (איור 2.1.40). כאשר המרקם של פני השטח אחיד בכל המשטחים, ניתן לסמנו מחוץ לשרטוט כמרקם פני השטח כללי. אם קיימים כמה מרקמי פני שטח, יש לסמן את מרקם פני השטח, על השטח הנדרש בשרטוט. מחוץ לשרטוט מסמנים את מרקם פני השטח הכללי ובסוגריים את כל מרקמי פני השטח האחרים המופיעים בדרישות המוצר.

דרגת מרקם פני שטח היא זו שקובעת את תהליך העיבוד הסופי של המשטח המעובד. לפי דרישה זו בוחרים את המכונה, סוג התהליך, כלי העיבוד ותנאי השיבוב. במקרים שבהם לא נדרש לבצע עיבוד של השטח, מסמנים זאת כמו באיור 2.1.41.

איור 2.1.41: סימון שטח בלתי מעובד



איור 2.1.40: סימון טיב שטח בשרטוט המוצר

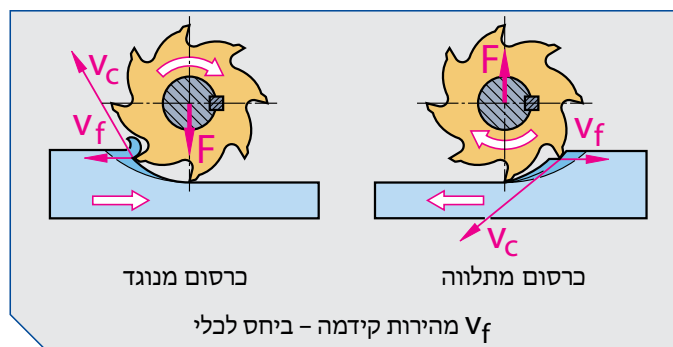


### 2.1.7.4 כרסום מתלווה וכרסום מנוגד

• כרסום מתלווה (שווה, מטפס)

תנועת החיתוך שמתקבלת כששיבוב הכלי ותנועת המוצר (השולחנות) מתבצעות באותו הכיוון. באיור 2.1.42 מימין מתואר כרסום מתלווה בכרסום גלילי. באיור 2.1.43 מתואר כרסום מתלווה וכרסום מנוגד בכרסום מצח.

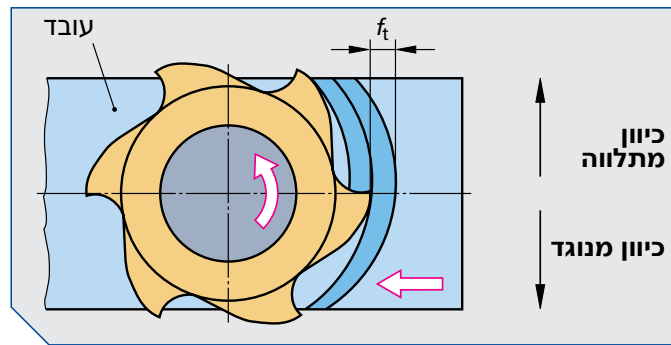
איור 2.1.42: כרסום מתלווה וכרסום מנוגד בכרסום גלילי



• **כרסום מנוגד**

תנועת החיתוך שמתקבלת כשסיבוב הכלי ותנועת המוצר (השולחנות) מתבצעות בכיוונים מנוגדים. באיור 2.1.42 משמאל מתואר עיבוד מנוגד בכרסום גלילי. באיור 2.1.43 מתואר עיבוד בכרסום מנוגד בכרסום מצח.

**איור 2.1.43: כרסום שווה וכרסום נגדי בכרסום מצח**



באיור 2.1.42 מתוארים הכוחות הפועלים על הכרסום/עובד: במקרה של כרסום מתלווה, הכרסום לוחץ את העובד לשולחן הכרסומת. בכרסום מנוגד הכרסום מפעיל כוח להוצאת הכרסום מהדפינה. לרוב נעדיף להשתמש בכרסום מתלווה. כרסום מתלווה עדיף לשימוש כי הוא תורם להגדלת אורך חיי הכלי, לשיבוב קל יותר, וגם השבבים יוצאים מאזור החיתוך ועוד. ראו השוואה בין כרסום מתלווה לכרסום מנוגד בטבלה 2.1.9.

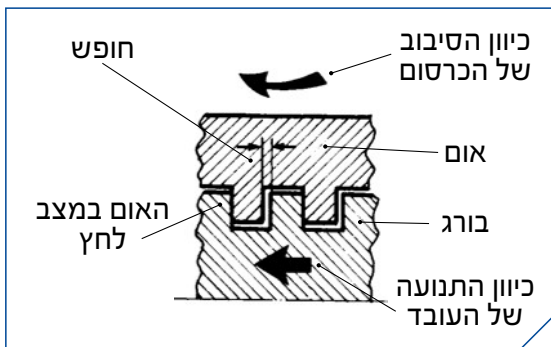
**טבלה 2.1.9: טבלת השוואה בין כרסום מתלווה וכרסום מנוגד**

כרסום מנוגד (כיוונים מנוגדים)	כרסום מתלווה - מטפס (CLIMB) שווה (כיוונים זהים)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• הכרסום נוטה להרים את העובד.</li> <li>• נגרם חיכוך גבוה (כתוצאה מהחלקת השן על העובד ותוך כדי היווצרות השבב).</li> <li>• השבבים נדחפים לפני הכרסום וסותמים את אזור החיתוך.</li> <li>• בלאי גבוה בלהבי החומר.</li> <li>• שבב קטן בהתחלה וגדל בהדרגה.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• הכרסום לוחץ את העובד אל השולחן.</li> <li>• שיבוב קל - פחות חיכוך - חדירה מהירה וחיובית אל תוך החומר.</li> <li>• השבבים נמשכים אחרי הכרסום ומשתחררים מאזור החיתוך.</li> <li>• אורך חיים גדול עד - 50%.</li> <li>• שבב גדול בהתחלה וקטן בהדרגה.</li> </ul>

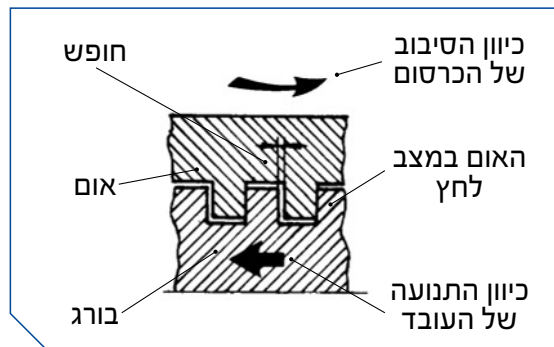
ככלל, יש עדיפות לעבוד בקדמה מתלווה. תהליך העיבוד השבבי בכרסום מתלווה מותנה בביטול החופש בין הבורג המוליך לאום השולחן. ביטול החופש יכול להיעשות בעזרת אום כפול או התקן מיוחד. בקדמות הידראוליות תופעה זו לא קיימת.

בעיבוד בקדמה מנוגדת מתקדם המוצר בכיוון הנגדי, לכיוון שיני הכרסום הבאות במגע עם המוצר. כתוצאה מכך, הבורג והאום נמצאים לחוצים תמיד בכיוון אחד (איור 2.1.44). בכל מהלך העיבוד, ה"חופש" הקיים ביניהם מתבטל ואין רעידות במהלך השיבוב. כשעובדים בקדמה מתלווה, מתקדם המוצר עם כיוון שיני הכרסום הבאות במגע עם המוצר. כתוצאה מכך, עם כל מגע של שן, הכרסום לוחץ את הבורג המוליך אל האום ומבטל את החופש הקיים ביניהם (איור 2.1.45). בהפסקות שבין שן לשן בעיבוד, המוצר ממשיך להתקדם והחופש נוצר מחדש. במגע של הכרסום עם השן הבאה, השן מושכת את השולחן בגודל החופש ונוצרת קפיצה של השולחן עקב דחיפת השולחן (החופש) על ידי הכרסום. תהליך זה קורה בכל כניסה חדשה של שן הכרסום לחומר המעובד, דבר הגורם לטיב שטח גרוע, לסכנה של שבירת הכרסום ולבלאי מואץ של הכרסום.

איור 2.1.45: כרסום בקדמה מתלווה - שווה



איור 2.1.44: כרסום בקדמה מנוגדת



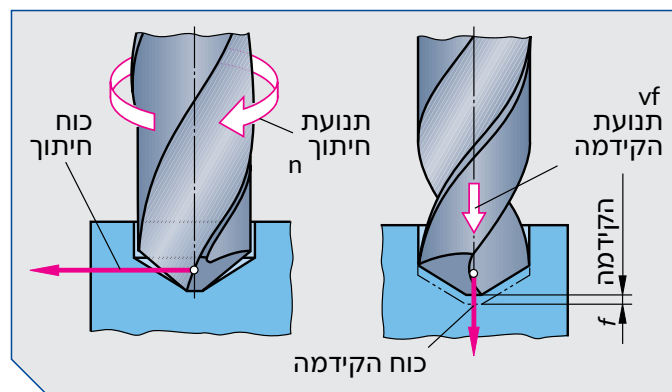
## 2.1.8 תנאי שיבוב למקדח

יש שוני בתנועות העיבוד בין קידוח במקדחה לקידוח במחרטה, כמפורט להלן:

### קידוח במקדחה - איור 2.1.46

בקידוח במקדחה הכלי מבצע את התנועה הסיבובית "n" ואת התנועה הקווית "vf".

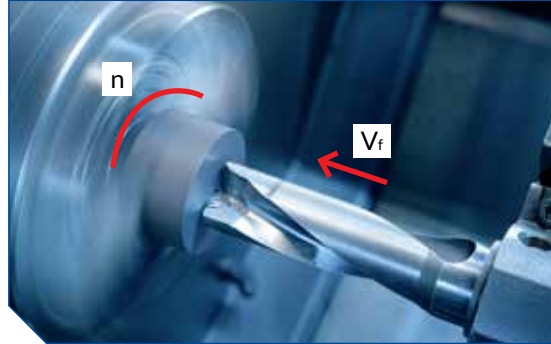
איור 2.1.46: קידוח במקדחה



**2.1.47 קידוח במחרטה איור**

בקידוח במחרטה העובד מבצע את התנועה הסיבובית "n" והמקדח את התנועה הקווית "Vf".

**איור 2.1.47: קידוח במחרטה**



הקדמה במקדחים נתונה במ"מ לסיבוב - Vf mm/rev.

**עומק הקידוח משפיע על נתוני השיבוב**

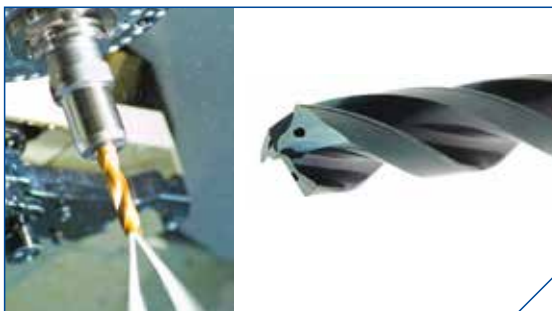
תנאי השיבוב של מהירות חיתוך וקדמות שבטבלאות מתאימים לקידוח לעומק עד פי 3 מקוטר המקדח. כלומר, עבור מקדח  $\varnothing 10$  העומק יהיה עד 30 מ"מ. עבור קידוחים עמוקים יותר יש צורך בהקטנת מהירות החיתוך והקדמה כמומלץ בטבלה 2.1.10. בנוסף, מומלץ להוציא את המקדח מהקדח במהלך הקידוח כדי לשחרר שבבים ולקרר.

**טבלה 2.1.10: השפעת עומק הקידוח על תנאי השיבוב**

השינוי בקדמה	השינוי במהירות החיתוך	עומק הקדח
n = טבלה nX 0.9	Vc = טבלה VcX 0.9	3XD
n = טבלה nX 0.8	Vc = טבלה VcX 0.8	4XD
_____	Vc = טבלה VcX 0.7	5XD
_____	Vc = טבלה VcX 0.67	6XD

במכונות CNC ניתן לבחור שגרת קידוח (סברוטניה). לפי שגרה זו, המקדח נסוג החוצה לאחר עומק שקבענו וחוזר להמשך קידוח. מקדחי מתק"ש מלא (SOLID) בעלי שלוש שיניים או מקדח עם שימות מתק"ש (איור 2.1.48) מתאימים לקידוח בפלדת שריון, ברזל יציקה לסוגיו ומתכות צבעוניות ונתיכהן. כמו כן, קיימים מקדחים בעלי קדח לנוזל הקירור (איור 2.1.49) המגיע לעומק הקידוח ומאפשר הגדלת תנאי השיבוב. יש גם מקדחים מיוחדים לקידוח עמוק וקידוח בקטרים גדולים.

איור 2.1.49: מקדח עם קירור דרך הכלי



איור 2.1.48: מקדח עם שימות מתק"ש



**עם מקדח מתק"ש משיגים את הדברים הבאים**

- דיוק הקדח המתקבל H6.
- קידוח ללא מקדחי מרכז.
- מהירות עיבוד גבוהה יותר.
- חיי אורך כלי ארוכים יותר.
- בלאי כלי נמוך.
- יכולת לקדוח חומרים עד קושי של 55HRc.

יש מקדחים ממתק"ש עם ציפוי מוזהב של טיטניום ניטריד Tin. בטבלה 2.1.19 מופיעים תנאי שיבוב למקדחים מפלדה מהירה HSS. בטבלה 2.1.20 תמצאו טבלה לתנאי שיבוב למקדחי מתק"ש 3 שיניים. יש מקדחים בעלי גוף שבקצהו אפשרות להרכיב את ראש המקדח העשוי ממתק"ש (איור 2.1.50). על אותו מחזיק ניתן להרכיב ראשי קידוח מסוגים שונים, בהתאם לסוג החומר המעובד. סוגי מתק"ש לעיבוד חומרים שונים מסומנים בסימונים מוסכמים בתקן, בהתאם לחומר המעובד שאיתו מומלץ לקדוח:

- P** - פלדות.
- M** - פלדות אלחלד (נירוסטה).
- K** - ברזל יצוק ומתכות אל-ברזיליות.
- N** - מתכות אל ברזיליות, פלסטיק ועץ.
- S** - סגסוגות וסגסוגות טיטניום.
- H** - פלדה מוקשה.

איור 2.1.50: מקדח עם ראש מתק"ש מתחלף



## 2.1.9 טבלאות לקביעת נתוני שיבוב

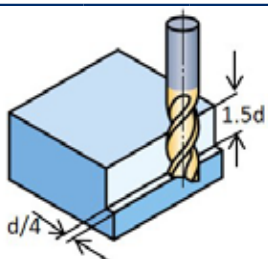
טבלה 2.1.11: תחום קדמות בכרסום במ"מ לשן fz לפי סוג מתק"ש/סוג חומר עובד

fz קדמות במ"מ לשן לפי סוג שימה						סוג החומר המעובד					קבוצה לפי תקן
IC 330	IC 830	IC 810	IC 5400	IC 808	IC 5100	קבוצת חומר לפי סימון ישקר	קשיות חומר הגלם	הגדרת החומר		תיאור חומר הגלם	ISO 513/ DIN
								DIN W.-Nr.	AISI/SAE/ASTM		
0.08-0.35	0.08-0.30	0.08-0.25	0.08-0.25	0.08-0.25	0.08-0.25	1	130 - 180 HB	1.004	1020	פלדה לא מסוגסת	P
0.08-0.35	0.08-0.30	0.08-0.20	0.08-0.20	0.08-0.20	0.08-0.20	8	260HB - 300	1.6582	4340	סגסוגת פלדה	
0.08-0.25	0.08-0.25	0.08-0.15	0.08-0.15	0.08-0.15	0.08-0.12	9	42 - 35 HRc	1.5710	4340	סגסוגת פלדה	
0.08-0.20	0.08-0.20	0.08-0.1	0.08-0.15	0.08-0.15	0.08-0.12	10	220-200 HB	1.2344	H13	סגסוגת פלדה קשה	
-	0.15-0.25	0.15-0.35	-	0.15-0.25	0.15-0.25	16	250 HB	(GG25) 0.6025	Claas40	ברזל יציקה אפור	K
-	0.15-0.20	0.15-0.25	-	0.12-0.20	0.12-0.20	17	200 HB	(GGG25) 0.7060	Claas 65-45-12	ברזל יצוק	
0.08-0.12	-	-	-	-	-	34	HRc 36	3.7165 (Ti6Al4v)	Incone I718	HTSI	S
0.08-0.12	-	-	-	-	-	37	HRc34	2.4668	AMS R56400	סגסוגת טיטניום	
-	0.05-0.10	-	0.05-0.1	0.05-0.10	-	38.1	45-49 HRc	1.2343	H11	פלדה קשה	H
-	-	-	-	0.05-0.08	-	38.2	50-55 HRc	1.2330	P20	ברזל יצוק	

טבלה 2.1.12: טבלה נתוני שיבוב לכרסום קנה (אצבע) קומול (COMOL) 2 שיניים

קוטר הכרסום במ"מ					n rpm סל"ד Vf mm/min מ"מ לדקה	מהירות החיתוך Vc מטר לדקה	סוג החומר ק"ג/ממ"ר
32	20	12	6	3			
1500	2400	4000	8000	16000	n rpm Vf mm/min	150	אלומיניום (חמרן)
300	499	500	200	100	n rpm Vf mm/min	80	פליז רך
800	1300	2100	4200	8500	n rpm Vf mm/min	50	פליז קשה - נחושת
160	260	200	160	80	n rpm Vf mm/min	17	ברזל יציקה קשה
500	800	1300	2600	5300	n rpm Vf mm/min	42	פלדה 60-45
90	125	125	100	60	n rpm Vf mm/min	34	פלדה 75-60
170	270	450	900	1800	n rpm Vf mm/min	28	פלדה 90-75
20	35	35	25	15	n rpm Vf mm/min	21	פלדה 110-90
420	670	1100	2200	4500	n rpm Vf mm/min	18	פלדה 125-110
80	140	120	75	55	n rpm Vf mm/min	16	פלדה 145-125
340	540	900	1800	3600	n rpm Vf mm/min	12	פלדה 165-145
50	100	90	65	40	n rpm Vf mm/min	25	אל חלד רך AISI 303
280	450	750	1500	3000	n rpm Vf mm/min	16	אל חלד קשה AISI 416 AISI 420
50	75	75	50	36	n rpm Vf mm/min	24	סגסוגת ניקל N200 N201
210	330	550	1100	2200	n rpm Vf mm/min		
40	65	65	40	18	n rpm Vf mm/min		
180	290	480	950	1900	n rpm Vf mm/min		
30	50	40	25	14	n rpm Vf mm/min		
160	250	420	850	1700	n rpm Vf mm/min		
20	25	18	14	10	n rpm Vf mm/min		
120	190	320	650	1300	n rpm Vf mm/min		
10	10	10	8	6	n rpm Vf mm/min		
250	400	650	1300	2600	n rpm Vf mm/min		
30	42	38	25	20	n rpm Vf mm/min		
160	250	420	850	1700	n rpm Vf mm/min		
17	28	23	16	13	n rpm Vf mm/min		
240	380	650	1300	2500	n rpm Vf mm/min		
28	43	30	26	20	n rpm Vf mm/min		

טבלה 2.1.13: טבלה נתוני שיבוב לכרסום קנה (אצבע) קומול (COMOL) 4-6 מספרי שיניים

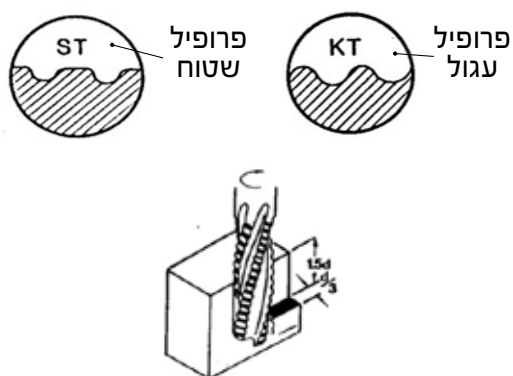


- הערות כלליות**
- עבור כרסומי קנה ארוכים יש להקטין את הקדמה  $V_f$  mm/min ב-50% בקירוב.
  - הנתונים בטבלה מתייחסים לכרסום מתלווה (שווה, CLIMB).
  - בכרסום נגדי (כיוונים הפוכים) יש להקטין את הסל"ד  $n$  והקדמה  $V_f$  mm/min ב-25%.

קוטר הכרסום במ"מ					n rpm סל"ד $V_f$ mm/min מ"מ לדקה	מהירות החיתוך $V_c$ מטר לדקה	סוג החומר ק"ג/ממ"ר
32	20	12	6	3			
1500	2400	4000	8000	16000	n rpm $V_f$ mm/min	150	אלומיניום (חמרון)
1350	1000	1200	800	600	n rpm $V_f$ mm/min	80	פליז רך
800	1300	2100	4200	8500	n rpm $V_f$ mm/min	50	פליז קשה - נחושת
600	400	500	500	250	n rpm $V_f$ mm/min	17	ברזל יציקה קשה
500	800	1300	2600	5300	n rpm $V_f$ mm/min	42	פלדה 60-45
300	250	200	200	100	n rpm $V_f$ mm/min	34	פלדה 75-60
170	270	450	900	1800	n rpm $V_f$ mm/min	28	פלדה 75-90
60	30	25	30	20	n rpm $V_f$ mm/min	21	פלדה 110-90
420	670	1100	2200	4500	n rpm $V_f$ mm/min	18	פלדה 125-110
300	200	175	175	100	n rpm $V_f$ mm/min	16	פלדה 145-125
340	540	900	1800	3600	n rpm $V_f$ mm/min	12	פלדה 165-145
280	450	750	1500	3000	n rpm $V_f$ mm/min	25	אל חלד רך AISI 303
180	120	120	120	60	n rpm $V_f$ mm/min	16	אל חלד קשה AISI 416 AISI 420
210	330	550	1100	2200	n rpm $V_f$ mm/min	24	סגסוגת ניקל N200 N201
100	75	75	75	35	n rpm $V_f$ mm/min		
180	290	480	950	1900	n rpm $V_f$ mm/min		
70	60	50	50	30	n rpm $V_f$ mm/min		
160	250	420	850	1700	n rpm $V_f$ mm/min		
50	40	35	35	25	n rpm $V_f$ mm/min		
120	190	320	650	1300	n rpm $V_f$ mm/min		
35	30	25	25	15	n rpm $V_f$ mm/min		
250	400	650	1300	2600	n rpm $V_f$ mm/min		
120	100	80	50	25	n rpm $V_f$ mm/min		
160	250	420	850	1700	n rpm $V_f$ mm/min		
60	50	50	35	20	n rpm $V_f$ mm/min		
240	380	650	1300	2500	n rpm $V_f$ mm/min		
90	80	80	80	40	n rpm $V_f$ mm/min		

טבלה 2.1.14: טבלה נתוני שיבוב לכרסום קנה (אצבע) ריסוק קומול (COMOL) 4-6 מספרי שיניים

קוטר הכרסום במ"מ						n rpm סל"ד Vf mm/min מ"מ לדקה	מהירות החיתוך Vc מטר לדקה	סוג החומר ק"ג/ממ"ר
32 KT	32 ST	20 KT	20 ST	12 KT	12 ST			
170 90	170 75	270 45	270 40	450 35	450 30	n rpm Vf mm/min	17	ברזל יציקה קשה
420 450	420 380	670 300	670 250	1100 250	1100 210	n rpm Vf mm/min	42	פלדה 60-45
170 380	340 300	540 260	540 210	900 210	900 180	n rpm Vf mm/min	34	פלדה 75-60
280 270	280 220	450 180	450 150	750 170	750 140	n rpm Vf mm/min	28	פלדה 90-75
210 150	210 125	330 110	330 90	560 100	560 85	n rpm Vf mm/min	21	פלדה 110-90
180 100	180 90	290 90	290 75	480 70	480 60	n rpm Vf mm/min	18	פלדה 125-110
160 75	160 65	250 60	250 50	420 50	420 45	n rpm Vf mm/min	16	פלדה 145-125
120 50	120 45	190 45	190 40	320 35	320 30	n rpm Vf mm/min	12	פלדה 165-145
250 180	250 150	400 150	400 125	660 110	660 100	n rpm Vf mm/min	25	אל חלד רך AISI 303
160 90	160 75	250 75	250 65	420 70	420 60	n rpm Vf mm/min	16	אל חלד קשה AISI 416 AISI 420
240 135	240 110	380 120	380 100	640 115	640 95	n rpm Vf mm/min	24	סגסוגת ניקל N201

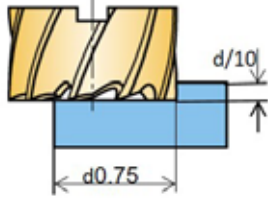


**הערות כלליות**

- הנתונים בטבלה מתייחסים לכרסום מתלווה (שווה, CLIMB). בכרסום מנוגד (כיוונים הפוכים) יש להקטין את הסל"ד n והקדמה Vf mm/min ב-25%.

טבלה 2.1.15: טבלה נתוני שיבוב לכרסומי מצח קומול (COMOL)

קוטר הכרסום במ"מ					n rpm סל"ד Vf mm/min מ"מ לדקה	מהירות החיתוך Vc מטר לדקה	סוג החומר ק"ג/ממ"ר
125	100	75	50	30			
380 800	480 900	630 1000	950 1100	1600 1200	n rpm Vf mm/min	150	אלומיניום (חמרן)
200 240	260 260	340 340	500 400	850 500	n rpm Vf mm/min	80	פליז רך
130 140	160 140	210 190	320 230	530 290	n rpm Vf mm/min	50	פליז קשה - נחושת
40 20	50 25	70 30	110 40	180 50	n rpm Vf mm/min	17	ברזל יציקה קשה
110 110	130 120	170 140	270 170	450 220	n rpm Vf mm/min	42	פלדה 60-45
86 70	110 80	140 100	220 120	360 150	n rpm Vf mm/min	34	פלדה 75-60
70 40	90 45	120 60	180 70	300 90	n rpm Vf mm/min	28	פלדה 90-75
50 25	70 27	90 36	130 40	220 55	n rpm Vf mm/min	21	פלדה 110-90
45 20	55 23	75 30	110 35	190 46	n rpm Vf mm/min	18	פלדה 125-110
30 10	40 11	70 27	100 32	170 40	n rpm Vf mm/min	16	פלדה 145-125
120 35	190 30	50 15	75 18	130 23	n rpm Vf mm/min	12	פלדה 160-145
64 45	80 50	110 65	160 80	270 100	n rpm Vf mm/min	25	אל חלד רך AISI 303
40 20	50 32	70 27	100 32	170 40	n rpm Vf mm/min	16	אל חלד קשה AISI 416 AISI 420
60 34	75 38	100 50	150 60	250 75	n rpm Vf mm/min	24	סגסוגת ניקל N200 N201



**הערות כלליות**

- עבור כרסומי מצח ריסוק שטוח מגדילים את הקדמה Vf mm/min ב-30%.
- עבור כרסומי מצח ריסוק עגול מגדילים את הקדמה Vf mm/min ב-60%.
- עבור כרסום היקפי עומק השבב הוא D/20.

טבלה 2.1.16: מהירויות חיתוך  $V_c$  וקדמות במ"מ לסיבוב  $f_v$  mm/rev לעיבוד פלדות בחריטה עם שימות מתק"ש ישקר: IC757, IC815, IC848, IC835, IC656

חומר העובד		קשיות בריןל	שפוע עקומת טיילור	מבוסס על אורך חיי כלי של 15 דקות לפינה חותכת)																
				קידמה במ"מ לסיבוב $F_{rev}$																
				IC757		IC815		IC848		IC835		IC656								
פלדות פחמן	0.2%C	150	K=0.2	290	225	160	340	260	200	310	235	180	260	210	150	230	190	135	120	95
	0.45%C	190		240	195	135	290	250	175	265	225	160	220	180	125	190	155	115	115	80
	0.83%C	200		215	170	115	275	220	150	250	200	135	190	155	105	170	140	100	70	60
פלדות מסוגסגות	עד 200	K=0.2	215	170	115	310	240	165	280	220	150	190	155	105	170	140	100	70	60	
	200-250		200	155	105	275	215	140	250	195	130	180	140	100	155	125	90	60	55	
	275-325		155	120	70	215	165	95	195	150	85	140	110	70	125	100	65	55	40	
	325-375	K=0.25	130	90	55	175	120	70	160	110	65	115	80	55	100	70	50	40	35	
	375-425		100	65	40	135	90	55	125	80	50	90	60	40	80	60	35	30	25	
פלב"ם (נירוסטה)	מרטנסיטי 175-225	K=0.3	230	185	150	275	220	180	250	200	165	220	180	140	215	180	135	115	100	
	אוסטניטי 275-325		170	130	110	205	155	130	185	140	120	165	125	110	160	120	100	85	70	
	135-175		-	-	-	220	175	120	200	160	110	180	160	110	185	165	135	110	100	
פלדות יצוקות	עד 150	K=0.2	150	125	90	200	165	125	180	150	115	150	125	90	125	100	80	65	50	
	150-200		115	90	70	140	120	100	130	110	90	115	90	70	100	80	65	45	35	
	מסוגסגות 200-250		100	80	55	125	105	75	115	95	70	100	80	55	85	70	50	40	35	

טבלה 2.1.17: מהירויות חיתוך  $V_c$  וקדמות במ"מ לסיבוב  $V_f$  mm/rev לעיבוד פלדות בחריטה עם שימות מתק"ש ישקר: IC40T, IC35T

(מבוסס על אורך חיי כלי של 15 דקות לפינה חותכת)

חומר העובד	קשיות בריןל	שפוע עקומת טיילור	IC35T				IC40T			
			קידמה במ"מ לסיבוב $F_{rev}$							
			0.1	0.15	0.2	0.3	0.1	0.15	0.2	0.3
פלדות פחמן	0.2%C	K=0.2	450	430	400	330	410	390	360	300
	0.45%C		390	370	350	280	350	330	320	250
	0.83%C		360	330	300	260	320	300	270	230
פלדות מסוגסגות	עד 200	K=0.2	360	330	300	260	320	300	270	230
	200-250		320	300	250	230	290	270	230	210
	275-325		270	230	200	150	240	210	180	140
	325-375	K=0.25	210	180	160	130	190	160	140	120
	375-425		190	160	140	110	170	140	130	100
פלב"ם (נירוסטה)	פריטי 135-175	K=0.3	450	420	380	330	410	380	340	300
	מרטנסיטי 175-225		320	280	250	200	290	250	230	180
	275-325		210	190	170	130	190	170	150	120
	375-425		155	145	130	90	140	130	120	80
אוסטניטי 135-175	220	200	180	160	200	180	160	140		
פלדות יצוקות	עד 150	K=0.2	380	350	320	180	340	320	290	250
	150-200		290	270	250	200	260	240	230	180
	מסוגסגות 200-250		275	250	220	180	250	230	200	160
	250-300		210	190	170	130	190	170	150	120

טבלה 2.1.18: טבלה נתוני שיבוב לחריטה בסכיני פלדה מהירה HSS

מס	סוג החומר המעובד	קשיות HB	סוג עיבוד	מהירות חיתוך $V_c$ במטר לדקה	קידמה $V_f$ mm/rev במ"מ לסיבוב	עומק שבב (היגש) במ"מ $a_p$
<b>פלדות פחמניות</b>						
1	1005 - 1025SAE	110	גס גמר	44 56	0.38 0.17	3 0.63
2	1027 - 1050SAE	175	גס גמר	30 40	0.38 0.17	3 0.63
3	1055 - 1090SAE	200	גס גמר	23 32	0.38 0.17	3 0.63
<b>פלדות מסג: SAE</b>						
4	5160, 4140, 4340	225	גס גמר	23 30	0.38 0.17	3 0.63
<b>פלדות אל-חלד (פלבים, נירוסטה)</b>						
5	- 302SAE	225	גס גמר	24 30	0.38 0.17	3 0.63
6	- 414SAE	325	גס גמר	18 21	0.38 0.17	3 0.63
<b>יציקות ברזל</b>						
7	<b>יציקת ברזל רכה</b> ASTM class 20	135	גס גמר	44 56	0.38 0.17	3 0.63
8	<b>יציקת ברזל בינונית</b> ASTM class 30-40	200	גס גמר	24 36	0.38 0.17	3 0.63
9	<b>יציקת ברזל קשה</b> ASTM class 55-60	280	גס גמר	11 15	0.38 0.17	3 0.63
<b>פלדות כלים</b>						
10	SAE W1	175	גס גמר	35 46	0.38 0.17	3 0.6
11	SAE 01	200	גס גמר	23 26	0.38 0.17	3 0.6
<b>מסגי אלומיניום</b>						
12	<b>כוח חדירה 500 ק"ג*</b>	75*	גס גמר	182 250	0.38 0.17	3 0.6
<b>מסגי נחושת</b>						
13	<b>אלקטרוליט 110</b>	50 RB	גס גמר	80 50	0.38 0.63	3 0.6
14	<b>פליז 210</b>					
15	<b>ארד (ברונזה) 614</b>					
16	<b>חומרים פלסטיים</b>		גס גמר	182 250	0.38 0.17	3 0.6

טבלה 2.1.19: טבלה נתוני שיבוב לקידוח במקדחים מפלדה מהירה HSS

מס	סוג חומר העובד	קשיות HB	מהירות חיתוך במטר לדקה Vc	קידמה במ"מ לסיבוב Vf mm/rev לפי קוטר מקדח				
				עד Ø25 מ"מ	עד Ø19 מ"מ	עד Ø13 מ"מ	עד Ø6 מ"מ	עד Ø3 מ"מ
<b>פלדות פחמניות</b>								
1	SAE1005 - 1025	110	30	0.08	0.15	0.25	0.33	0.4
2	SAE1027 - 1050	175	23	0.08	0.13	0.23	0.33	0.35
3	SAE1055 - 1090	200	21	0.08	0.13	0.23	0.30	0.35
<b>פלדות מסג: SAE</b>								
4	4140, 4340, 5160, 8640	225	17	0.08	0.1	0.18	0.25	0.3
<b>פלדות אל-חלד (פלב"ם, נירוסטא)</b>								
5	SAE - 302	210	17	0.05	0.1	0.18	0.25	0.3
6	SAE - 414	325	15	0.08	0.1	0.18	0.23	0.23
<b>יציקות ברזל</b>								
7	יציקת ברזל רכה ASTM class 20	135	50	0.08	0.15	0.25	0.38	0.48
8	יציקת ברזל בינונית ASTM class 30-40	200	29	0.08	0.13	0.25	0.38	0.48
9	יציקת ברזל קשה ASTM class 55-60	280	15	0.05	0.1	0.18	0.25	0.3
<b>פלדות כלים</b>								
10	SAE W1	175	29	0.05	0.1	0.18	0.25	0.3
11	SAE 01	200	14	0.025	0.08	0.13	0.18	0.2
<b>מסגי אלומיניום (חמרן)</b>								
12	נוח חדירה 500 ק"ג*	*75	75	0.08	0.18	0.3	0.4	0.48
<b>מסגי נחושת</b>								
13	אלקטרוליט 110	50 RB	21	0.08	0.15	0.25	0.33	0.4
14	פליז 210							
15	ארד (ברונזה) 614							
16	חומרים פלסטיים		100	0.08	0.18	0.3	0.4	0.48

טבלה 2.1.20: נתוני שיבוב לקידוח במקדחים מתק"ש 3 שיניים

תחום היגש לסיבוב Fz בהתאם לקוטר המקדח						נתונים		
Ø17-20	Ø14-17	Ø11-14	Ø8-11	Ø5-8	Ø3-5	מהירות חיתוך /מטר דקה V	סוג מתק"ש מומלץ	סוג חומר גלם מעובד
0.25-0.30	0.20-0.30	0.16-0.25	0.12-0.20	0.08-0.15	0.06-0.10	70-100	P-40	פלדות 700-1000 N/mm <sup>2</sup>
0.15-0.20	0.13-0.18	0.12-0.16	0.10-0.15	0.06-0.10	0.04-0.08	60-90	P-40	פלדות מעל 1000 N/mm <sup>2</sup>
0.09-0.11	0.08-0.10	0.06-0.09	0.05-0.08	0.03-0.07	0.02-0.04	35-50	P-40	פלדות מטופלות HRC 40-45
0.14-0.18	0.12-0.16	0.10-0.13	0.07-0.12	0.04-0.08	0.03-0.05	50-70	P-40	יציקות עד 350 HB
0.09-0.11	0.08-0.10	0.06-0.09	0.05-0.08	0.03-0.07	0.02-0.04	40-60	P-40	יציקות בין 350-400 HB
0.09-0.11	0.08-0.10	0.06-0.09	0.05-0.08	0.03-0.07	0.02-0.04	30-40	K-10-20	יציקות מעל 450 HB
0.09-0.11	0.08-0.10	0.06-0.09	0.05-0.08	0.03-0.07	0.02-0.04	25-40	P-40	פלדת מנגן
0.18-0.25	0.17-0.20	0.14-0.18	0.10-0.15	0.06-0.12	0.04-0.08	50-60	K-10-20	ברונזה קשה
0.20-0.30	0.20-0.25	0.14-0.22	0.10-0.18	0.06-0.12	0.04-0.08	30-40	K-10-20	טיטניום Ti6AL4V

2.1.10 דוגמאות חישוב (סל"ד וקדמה) בכרסום, חריטה וקידוח

2.1.10.1 תרגילים בכרסום

תרגיל 1 - חישוב לכרסום קנה מפלדה מהירה

יש לכרסם פלדה רכה, SAE 1020 ק"ג לממ"ר, בעיבוד גס בכרסום קנה (אצבע) מפלדה מהירה COMOL. קוטר הכרסום 10 מ"מ, לכרסום ארבע שיניים (להבים).

חשבו את מספר הסיבובים "n" בדקה של כרסום, ואת הקדמה של השולחן במ"מ לדקה Vf mm/min.

נתון



סוג החומר: פלדה 50 ק"ג לממ"ר.

סוג הכלי: כרסום קנה H.S.S קומול.

• D = קוטר הכלי Ø10 מ"מ.

• Z = כמות שיניים בכלי: 4.

פתרון

**שלב א':** מציאת מהירות חיתוך מהטבלה לפי סוג החומר, סוג הכלי וסוג העיבוד.

$$V_c = 42 \frac{\text{מטר}}{\text{דקה}} \quad 2.1.13 \text{ טבלה}$$

כיוון שבטבלה אין נתונים עבור כרסום Ø10 מ"מ, נחשב את נתוני העיבוד.

**שלב ב':** חישוב הסל"ד.

$$n = \frac{42 \cdot 1000}{3.14 \cdot 10} \quad n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = 1337 \text{ סל"ד}$$

סל"ד המצוי בכרסומות הקונבנציונאלית הקרוב ביותר לתוצאה שהתקבלה הוא 1300 סל"ד.

**שלב ג':** חישוב מהירות הקדמה Vf mm/min של השולחן.

הנתונים עבור כרסום פלדה מהירה קומול בטבלה 2.1.13. אין כרסום Ø10.

ההמלצה עבור כרסום Ø12 היא: סל"ד: 1100, מהירות הקדמה: 175 מ"מ לדקה.

נמצא את הקדמה לשן בנתונים הללו:

$$f_z = \frac{V_f \text{ mm/min}}{Z \cdot n} \quad \text{בשינוי נושא בנוסחה ז': } V_f \text{ mm/min} = f_z \cdot Z \cdot n$$

$$f_z = \frac{175}{4 \cdot 1100} = 0.0397$$

הקדמה לשן מתוך החישוב תהיה = 0.04 מ"מ לשן.  
חישוב הקדמה:

$$V_f \text{ mm/min} = f_z \cdot Z \cdot n = 0.04 \cdot 4 \cdot 1300 = 208 \text{ מ"מ לדקה}$$

### תרגיל 2 - חישוב לכרסום מצח שימות מתק"ש

יש לכרסם פלדה מסוגסגת SAE4340 בקשיות של 40Hrc, בכרסום מצח עם 4 שימות מתק"ש IC808 ובעיבוד גס. קוטר הכרסום 63 מ"מ.  
מצאו בטבלאות את מהירות החיתוך והקדמה וחשבו את סל"ד הכרסום.

#### נתון

סוג החומר המעובד: פלדה מסוגסגת SAE4340 40Hrc.  
סוג העיבוד: גס.

סוג הכלי: כרסום מצח שימות מתק"ש IC808.

קוטר הכלי: 63 מ"מ.

Z - כמות שימות בכרסום: 4.



#### פתרון

**שלב א':** בחירת מהירות חיתוך לפי הטבלה 2.1.3 -  $V_c = 110$  מטר לדקה.

קידמה במ"מ לשן לעיבוד גס לפי טבלה 2.1.11 -  $f_z = 0.15$ .

#### שלב ב'

חישוב סל"ד הכרסום: 
$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D}$$

$$n = \frac{150 \cdot 1000}{3.14 \cdot 63} = 556 \text{ rpm}$$

נקבע את הסל"ד למכונות CNC - 556 סל"ד (בכרסומת קונבנציונאלית בהתאם לאפשרויות שניתן להציב בכרסומת).

**שלב ג':** חישוב הקדמה של השולחן.

$$V_f \text{ mm/min} = f_z \cdot Z \cdot n$$

$$V_f \text{ mm/min} = 0.15 \cdot 4 \cdot 556 = 333 \text{ מ"מ לדקה}$$

### 2.1.10.2 תרגילים בחריטה

#### תרגיל 1 - חישוב לחריטה עם סכין מפלדה מהירה

יש לחרוט אלומיניום בסכין מפלדה מהירה בעיבוד גמר.

קוטר החריטה 40 מ"מ.

מצאו בטבלאות את מהירות החיתוך  $v_c$  והקדמה  $V_f \text{ mm/rev}$  וחשבו את סל"ד העובד.

**שלב א':** בחירת מהירות חיתוך לפי טבלה 2.1.18: הקדמה היא  $V_f = 0.17 \text{ mm/rev}$  (מ"מ לסיבוב) ומהירות החיתוך המומלצת היא 250 מטר לדקה.

**שלב ב':**

חישוב סל"ד העובד:

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D}$$

$$n = \frac{250 \cdot 1000}{3.14 \cdot 40} = 1990 \text{ rpm}$$

### תרגיל 2 - חישוב לחריטה עם שימת מתק"ש

יש לחרוט פלדה SAE1020, בעלת קשיות 150HB, בסכין חריטה עם שימת מתק"ש IC835 בעיבוד בינוני. קוטר החריטה  $\varnothing 35$  מ"מ. מצאו בטבלאות את מהירות החיתוך והקדמה וחשבו את סל"ד העובד.

**שלב א':** בחירת מהירות חיתוך לפי הטבלה 2.1.16. הקדמה היא  $V_f = 0.5 \text{ mm/rev}$  מ"מ לסיבוב ומהירות החיתוך המומלצת היא 210 מטר לדקה.

**שלב ב':**

חישוב סל"ד העובד:

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D}$$

$$n = \frac{210 \cdot 1000}{3.14 \cdot 35} = 1910 \text{ rpm}$$



סכין חריטה עם שימת מתק"ש

### 2.1.10.3 תרגילים בקידוח

#### תרגיל 1 - חישוב לקידוח עם מקדח מפלדה מהירה

יש לקדוח בפלדת אל-חלד (נירוסטה) SAE302, בעלת קשיות 210HB, במקדח מפלדה מהירה HSS לא מצופה. קוטר המקדח  $\varnothing 12$  מ"מ. מצאו בטבלאות את מהירות החיתוך והקדמה וחשבו את סל"ד המקדח.

**שלב א':** בחירת מהירות חיתוך לפי טבלה 2.1.19. הקדמה היא  $V_f = 0.18 \text{ mm/rev}$  מ"מ לסיבוב ומהירות החיתוך המומלצת היא 17 מטר לדקה.

**שלב ב':**

חישוב סל"ד המקדח:

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D}$$

$$n = \frac{17 \cdot 1000}{3.14 \cdot 12} = 451 \text{ rpm}$$



מקדח HSS לא מצופה

### תרגיל 2 - חישוב לקידוח עם מקדח 3 שיניים מתק"ש

יש לקדוח בברונזה קשה בעלת קשיות: 210HB במקדח מתק"ש K10. קוטר המקדח  $\varnothing 8$  מ"מ. מצאו בטבלאות את מהירות החיתוך והקדמה וחשבו את סל"ד המקדח. **שלב א':** בחירת מהירות חיתוך לפי טבלה 2.1.20. הקדמה היא  $V_f \text{ mm/rev} = 0.1$  מ"מ לסיבוב, ומהירות החיתוך המומלצת היא 50 מטר לדקה.

#### שלב ב':

חישוב סל"ד המקדח:

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D}$$

$$n = \frac{50 \cdot 1000}{3.14 \cdot 8} = 602 \text{rpm}$$



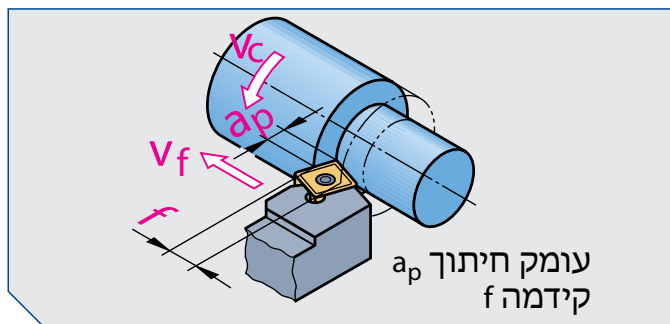
מקדח 3 שיניים מתק"ש

## 2.1.11 ההיגש $a_p$

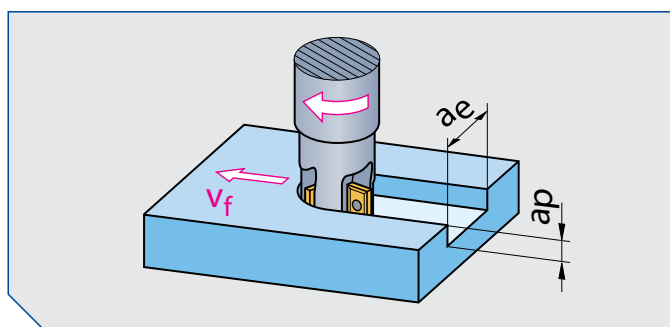
### 2.1.11.1 הקדמה

ההיגש (עומק החיתוך, עובי השבב) הוא גודל השכבה שהכלי חותך מהחומר. בחריטה, כיוון שהעובד מסתובב, בהיגש של 1 מ"מ מסירים 2 מ"מ מקוטרו של העובד. גודלו של ההיגש נתון במ"מ ונקבע לפי סוג הכלי ואורך השפה החותכת, וכן מהספק המכונה ונצילותה.

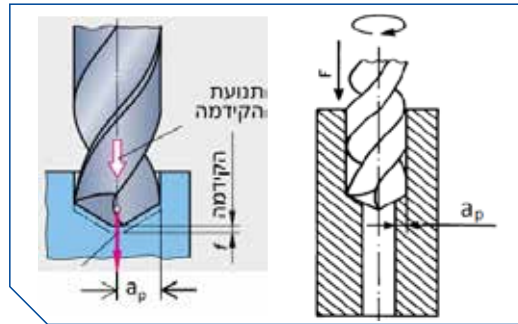
#### איור 2.1.51: היגש בחריטה $a_p$



#### איור 2.1.52: היגשים בכרסום בהיגש עומק והיגש רוחב $a_p$ $a_e$



איור 2.1.53: היגש בקידוח



**התלות בין קידמה והיגש**

מבין כל הגורמים המשתתפים בתהליך השיבוב בחריטה, לקדמה ולהיגש ההשפעה הגדולה ביותר על צורת השבב ואופן שבירתו. ההיגש משפיע על מידת רחב השבב והקדמה על עובי השבב. ככל שהשבב עבה יותר כך הוא שביר יותר.

צורת השבב הרצויה בתהליך השיבוב בחריטה היא שבבים קטנים בצורת פתיתים (איור 2.1.54 מימין). שבבים אלה אינם מסוכנים ונוחים לפינוי. שבב מסתלסל וארוך (איור 2.1.54 משמאל) נחשב לשבב מסוכן ותופס מקום רב.

יש קשר ישיר בין הקדמה וההיגש בכך שהמכפלה שלהם היא **שטח חתך השבב**. שטח חתך השבב הוא נתון מחושב שיכול להתקבל על ידי שינוי בקדמה על חשבון ההיגש ולהיפך, ובכך להשפיע על צורת השבב.

בשל תהליך השיבוב בעיבוד בכרסום, השונה מחריטה, השבב המתקבל אינו מסתלסל ולפיכך אין בעיה של שבירת השבב. יחד עם זאת יש חשיבות לקביעת היחס שבין הקדמה וההיגש, בהתייחס לכוחות הפועלים על הכלי במהלך השיבוב. היחס הרצוי בין ההיגש והקדמה הוא 4:1 עד 10:1, הנתון הקטן הוא של הקדמה.

איור 2.1.54: שבב רצוי



## 2.1.11.2 קביעת ההיגש בחריטה

### שטח חתך השבב "A" - איור 2.1.55

שטח - Area

שטח חתך השבב בחריטה הוא מכפלה של הקדמה במ"מ לסיבוב  $V_f$  mm/rev בהיגש  $a_p$  במ"מ.

### החישוב באמצעות הנוסחה

A - שטח חתך השבב בממ"ר.

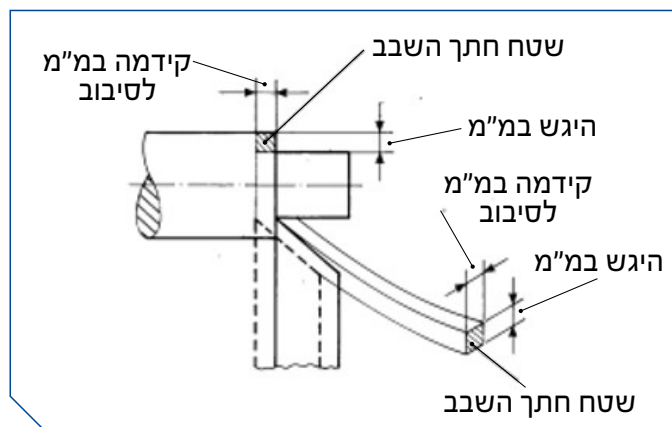
$V_f$  mm/rev - קידמה במ"מ לסיבוב.

$a_p$  - היגש במ"מ.

$$A = V_f \text{ mm/rev} \cdot a_p$$

לדוגמה, בקדמה של 0.1 מ"מ לסיבוב ובהיגש של 2 מ"מ, שטח חתך השבב יהיה 0.2 ממ"ר.

### איור 2.1.55: שטח חתך השבב בחריטה



### כוח חיתוך סגולי "K<sub>s</sub>"

לכל חומר התנגדות שונה לחיתוך. התנגדות זו מציינת את הכוח הדרוש להסיר שבב של 1 ממ"ר מהחומר הנתון. זהו כוח חיתוך סגולי, המסומן ב- $K_s$  ונתון ביחידות של ק"ג לממ"ר. כוח זה מושפע מצורת הכלי, זווית הקביעה של הכלי, גודל השבב וסוג החומר המעובד.

בטבלה 2.1.21 מתוארת טבלה לערכי  $K_s$  בהתייחס לסוג החומר וקדמה לשן. לדוגמה, בעיבוד פלדת פחמן בקשיות של 190HB ברינל בקדמה של 0.1 מ"מ לשן, ה- $K_s$  הוא 355 ק"ג לממ"ר. מהנתונים בטבלה עולה שככל שהחומר בדרגת קשיות גבוהה יותר, כך יידרש כוח רב יותר לחתוך ממנו את אותו גודל שבב.

את הכוח לחיתוך מספקת לנו מכונת העיבוד. על כן, ניתן לומר שאת גודל שטח חתך השבב אנו קובעים לפי הספק המנוע של המכונה ונצילותה, בהתחשב בכוח חיתוך סגולי ומהירות החיתוך.

טבלה 2.1.21: טבלה "כוח חיתוך סגולי" K<sub>s</sub>

התנגדות סגולית K <sub>s</sub> $\frac{kg}{mm^2}$ לחומרים שונים							
חומר העובד	קשיות ברינל HB	קידמה F <sub>z</sub> במ"מ לשן					
		0.1	0.2	0.3	0.4		
פלדות	0.25%C	150	320	270	245	230	
פחמן	0.45%C	190	355	300	275	255	
	0.83%C	250	390	330	300	280	
פלדות מסוגסגות	עד 200		355	300	275	255	
	200	250	390	330	300	280	
		275	325	430	360	330	310
		325	375	460	390	360	330
		375	425	485	410	375	350
		425	475	500	430	390	370
פלב"ם (נירוסטה)	פריטי	135	175	310	260	235	220
		175	225	415	350	320	300
	מרטנדיטי	275	325	470	400	365	340
		375	425	530	450	410	385
	אוסטניטי	135	175	415	350	320	300
פלדות יצוקות	פחמניות	עד 150		285	240	220	205
		150	200	315	265	240	225
	מסוגסגות	200	250	340	290	265	245
		250	300	370	320	290	270

**הגדרות**

- **הספק "P"** - יכולת לבצע עבודה במשך זמן מסוים. במכונות לעיבוד שבבי המנועים מוגדרים ביחידות של כ"ס (כוח סוס) Hp (Horse power).
  - **כ"ס (כוח סוס)** - הכוח הדרוש להרים משא של 75 ק"ג לגובה של מטר אחד בזמן של שנייה אחת. מוגדר כ-75 ק"ג לשנייה (1 קילו וואט = 1.34 כ"ס).
  - **נצילות "e"** - שיעור הכמות המופקת ממשהו לעומת הכמות שהושקעה בו. את הנצילות מבטאים על פי רוב באחוזים, למשל 80%.
- למעשה, הספק המנוע אינו מועבר במלואו לנקודת החיתוך מפני שעליו להפעיל מכלולים נוספים. נצילות מכונת העיבוד הולכת ופוחתת במהלך השנים כתוצאה מהשימוש בה. ככל שגדל הבלאי בחלקי המכונה, כך יש צורך בכוח גדול יותר בהפעלתה.

**חישוב שטח חתך השבב**

נביא להלן דוגמאות משטח חתך השבב בחריטה. את שטח חתך השבב שניתן להסיר במחרטה אפשר לחשב לפי הנוסחה באיור 2.1.56, כאשר ידועים לנו ההספק (P) ונצילות המכונה (e) וכוח חיתוך סגולי (K<sub>s</sub>) ומהירות החיתוך (V<sub>c</sub>) עבור עיבוד של חומר מסוים (בנוסחה התחתונה באיור 2.1.56 הכפלנו את 75X60 והתקבל 4500).

**איור 2.1.56: נוסחה לחישוב שטח חתך השבב**

$A =$  שטח חתך השבב בממ"ר.  
 $P =$  הספק המנוע בכ"ס.  
 $e =$  נצילות המחרטה באחוזים.  
 $K_s =$  כוח חיתוך סגולי בק"ג לממ"ר.  
 $V_c =$  מהירות החיתוך במטר לדקה.  
 \* את הערך 4500 מקבלים מהמכפלה של:  $60 \times 70 = 4500$  שהם מספרים קבועים.

$$A = \frac{P \cdot 75 \cdot 60 \cdot e}{k_s \times v_c}$$

$$A = \frac{P \cdot 4500 \cdot e}{k_s \cdot V_c}$$

**הסבר לנוסחה**

- באיור 2.1.57 נוסחת יסוד לחישוב הספק בכ"ס. בנוסחה זו מתקבל ה-"P" ביחידות של כ"ס.
- באיור 2.1.58 מופיעה נוסחה לחישוב הכוח הדרוש לחיתוך המורכבת מכוח חיתוך סגולי "K<sub>s</sub>", ומשטח חתך השבב "A".

**איור 2.1.58: נוסחה לחישוב הכוח הדרוש לחיתוך**

$$F = k_s \cdot A$$

$K_s =$  כוח חיתוך סגולי בק"ג לממ"ר.  
 $A =$  שטח חתך השבב בממ"ר.

**איור 2.1.57: נוסחת יסוד לחישוב כ"ס**

$$P = \frac{F \cdot V}{75}$$

$P =$  הספק המנוע בכ"ס  
 $F =$  הכוח הדרוש לחיתוך בק"ג.  
 $V_c =$  מהירות במטרים לשנייה.  
 \* החלוקה ל-75 כדי לקבל את התוצאה P בכ"ס.

- לתוך נוסחת היסוד (שבאיור 2.1.57) של חישוב ההספק, במקום "F" נציב את הכוח הדרוש לחיתוך (בנוסחה 2.1.58) ונקבל את הנוסחה באיור 2.1.59.

**איור 2.1.59: החלפת ה-"F" ב-"K<sub>s</sub> A"**

$$P = \frac{k_s \cdot A \cdot V_c}{75}$$

- מכיוון שה-"V<sub>c</sub>" (מהירות החיתוך) נתונה ביחידות של מטר לדקה ויש צורך להציב לנוסחה יחידות של מטר לשנייה, עלינו לחלק את מהירות החיתוך ב-60 (בכל דקה יש 60 שניות), כדי להפוך את הדקות לשניות. מכאן נקבל את הנוסחה שבאיור 2.1.60.

איור 2.1.60: הפיכת ה- "V" למטר בשנייה

$$P = \frac{K_s \cdot A \cdot V_c}{75 \cdot 60}$$

• הנוסחה באיור 2.1.60 הייתה מתאימה אילו נצילות המחרטה (e) הייתה 100%. מכיוון שנצילות המחרטה תמיד קטנה מ-100%, יש להביא בחשבון בחישוב בנוסחה את הנצילות, ומכאן נקבל את הנוסחה שבאיור 2.1.61.

איור 2.1.61: התחשבות בנצילות המכונה "e"

$$P = \frac{k_s \cdot A \cdot V_c}{75 \cdot 60 \cdot e}$$

**הערה:** הנצילות "e" תוצב בנוסחה כשבר עשרוני - לדוגמה: 80% = 0.8.  
על ידי שינוי נושא בנוסחה הנ"ל נקבל את נוסחת חישוב השטח "A", שבאיור 2.1.56.

### 2.1.62 תרגיל לדוגמה - איור

חשבו את שטח חתך השבב המקסימלי לחריטת פלדה מסוגסגת בעלת קשיות בברינל = 300HB, עם שימת מתק"ש IC35T בעיבוד בינוני.  
לפי טבלה 2.1.17 מהירות החיתוך "V<sub>c</sub>" המומלצת היא 200 מטר לדקה, והקדמה במ"מ לסיבוב היא 0.2. הספק המנוע של המחרטה 8 כ"ס ונצילות המחרטה 85%.  
את ההתנגדות הסגולית - K<sub>s</sub> עבור החומר שבתרגיל לדוגמה, בנתוני סיבוב של 0.2 מ"מ לסיבוב, מתקבל מטבלה 2.1.21 הערך של K<sub>s</sub>=360.  
שטח חתך השבב A שהתקבל בחישוב לפי הנוסחה שבאיור 2.1.56 הוא 0.2125 מ"מ<sup>2</sup>. נתון זה צריך להיתרגם ליחס שבין קידמה והיגש.  
את הקדמה מקבלים כנתון מתוך הטבלאות של יצרן הכלים. נשאר לנו לחשב את ההיגש (עומק השבב) המקסימלי שנוכל להסיר במחרטה, בהתאם לשטח חתך השבב כפי שקיבלנו בחישוב.  
ידוע שחישוב שטח חתך השבב A הוא המכפלה של קידמה בהיגש:

$$A = V_f \text{ mm/rev} \cdot a_p$$

משינוי הנושא בנוסחה זו, כאשר נבודד את ההיגש a<sub>p</sub> נקבל את הנוסחה שבאיור 2.1.62.

**2.1.64 תרגיל דוגמה לחישוב היגש מקסימלי - איור**

בהמשך לחישוב של שטח חתך השבב שעשינו (איור 2.1.63), בו התקבלה התוצאה של 0.2125 ממ"ר שטח חתך השבב. הקדמה שנקבעה היא 0.2 ממ"ר לסיבוב. בנתונים הללו נחשב את ההיגש המקסימלי  $a_p$  איור 2.1.64 שיחושב לפי הנוסחה שבאיור 2.1.62. בחישוב מתקבל הערך של 1.0625 ממ"ר.

נציב בנוסחה שבאיור 2.1.56, במקום A את  $a_p \cdot V_f \text{ mm/rev}$  ונקבל לאחר שינוי נושא הנוסחה את הנוסחה למציאת ההיגש באופן ישיר - איור 2.1.65.

**איור 2.1.63: תרגיל דוגמה לחישוב שטח חתך השבב**

**נתון**  
 $K_s = 360$  ק"ג לממ"ר (לפי טבלה 2.1.21).  
 $V_c = 200$  מטר לדקה.  
 $P = 4$  כ"ס.  
 $e = 85\% = 0.85$ .

**פתרון**  
 $A = \frac{P \cdot 4500 \cdot e}{K_s \cdot V_c} = \frac{4 \cdot 4500 \cdot 0.85}{360 \cdot 200} = 0.2125$  ממ"ר

**איור 2.1.62: נוסחה לחישוב ההיגש "ap"**

$$a_p = \frac{A}{V_f \text{ mm/rev}}$$

$a_p$  = ההיגש במ"מ.  
 $A$  = שטח חתך השבב בממ"ר.  
 $V_f \text{ mm/rev}$  = קידמה במ"מ לסיבוב.

גם בחישוב בנוסחה הישירה (איור 2.1.65 למטה) התוצאה שהתקבלה בחישוב היא 1.0625 ממ"ר, היגש מקסימלי. כלומר נוכל להסיר מהעובד שבב בעומק של עד 1.0625 ברדיוס. מכיוון שמדובר בחריטה, הרי שהקוטר של המוצר יפחת ב-2.125 ממ"ר בקוטר. גודל השבב הוא פונקציה של מהירות חיתוך, קידמה והיגש. בחירת הנתונים הנכונים לעיבוד חומר מסוים מתחילה בבחירת מהירות החיתוך המומלצת, והקדמה הרצויה מטבלאות יצרן הכלים. כדי להשלים את הנתון של ההיגש אנו מחשבים באמצעות הנוסחה באיור 2.1.63 או משתמשים בדיאגרמה למציאת ההיגש במ"מ טבלה 2.1.22.

**איור 2.1.65: נוסחה לחישוב היגש מקסימלי**

$$a_p = \frac{P \cdot 4500 \cdot e}{K_s \cdot V_c \cdot V_f \text{ mm/rev}}$$

$$a_p = \frac{4 \cdot 4500 \cdot 0.85}{360 \cdot 200 \cdot 0.2} = 1.0625$$

**איור 2.1.64: חישוב ההיגש "ap"**

**נתון**  
 $A = 0.2125$  ממ"ר לפי חישוב באיור 2.1.62.  
 $V_f \text{ mm/rev} = 0.2$  ממ"ר לסיבוב טבלה 2.1.17.

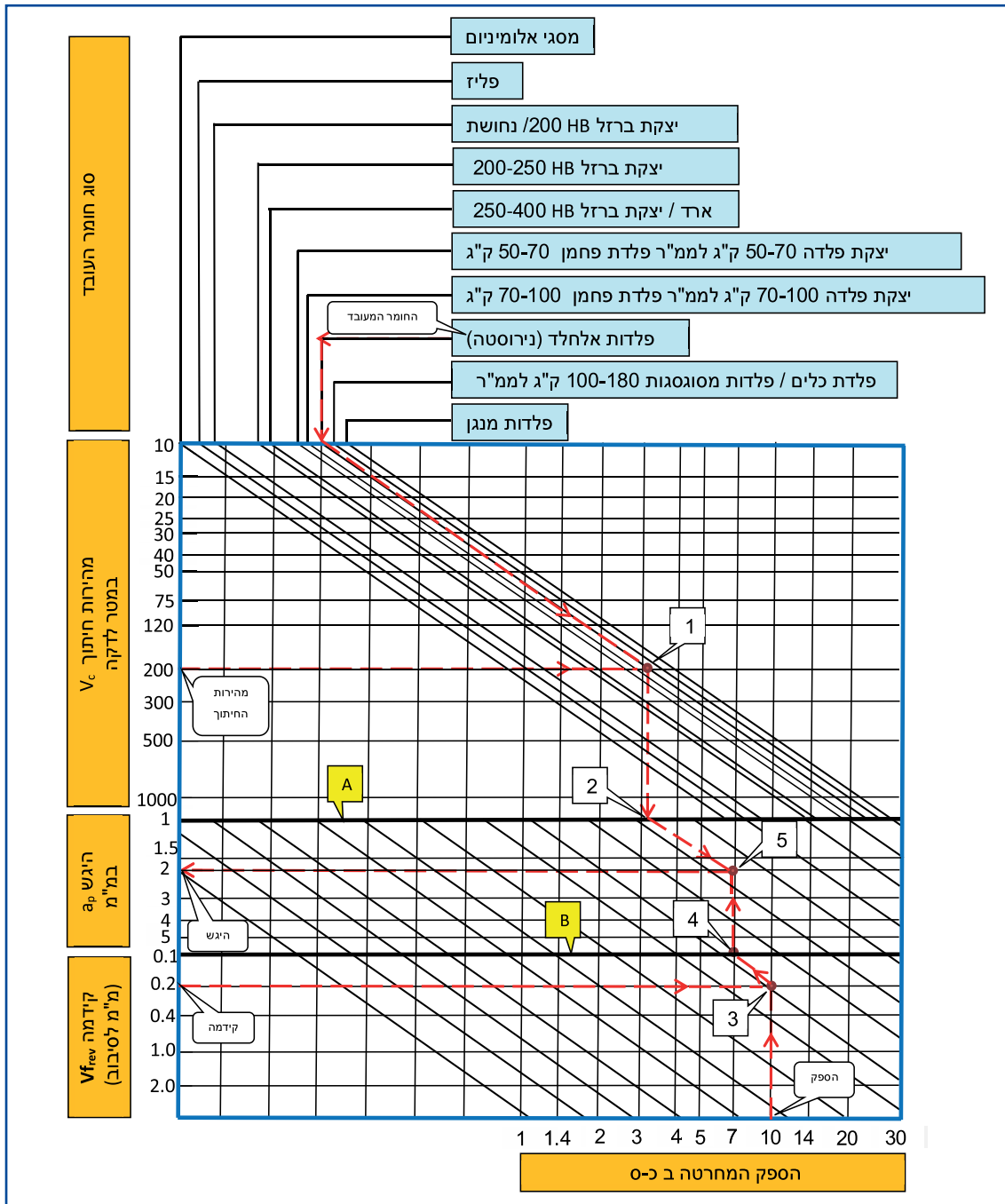
**פתרון**  
 $a_p = \frac{0.2125}{0.2} = 1.0625$  ממ"ר

**דוגמה לשימוש בדיאגרמה**

מצאו בטבלה 2.1.22 את ההיגש (עומק השבב) המקסימלי שניתן להסיר, בנתונים הבאים:

- החומר המעובד פלדת אל חלד.
- מהירות החיתוך 200 מטר לדקה.
- קידמה: 0.2 מ"מ לסיבוב.
- הספק המחרטה 10 כ"ס.

**תרשים 2.1.2: מציאת היגש בחריטה**



### 2.1.22 שלבים לשימוש בדיאגרמה טבלה

#### שלב ראשון

- מציבים את החומר המעובד.
- מעבירים קו אלכסוני.
- מציבים את מהירות החיתוך במטר לדקה.
- מעבירים קו מקביל.
- במפגש של שני הקווים (מסומן בספרה 1 באיור) מורידים אנך לקו A (הנקודה מסומנת בספרה 2).

#### שלב שני

- מציבים קידמה במ"מ לסיבוב.
- מציבים כ"ס של המחרטה.
- בחיתוך של שני הקווים (ספרה 3 באיור) מעבירים קו אלכסוני בזווית של 45 מעלות עד לקו המסומן באות B.
- מתקבלת הנקודה המסומנת באיור כספרה 4.

#### שלב שלישי

- מעלים אנך מנקודה 4 ומורידים אלכסון (45 מעלות).
- מנקודה 2 מקבלים מפגש המסומן באיור כספרה 5.

#### שלב רביעי

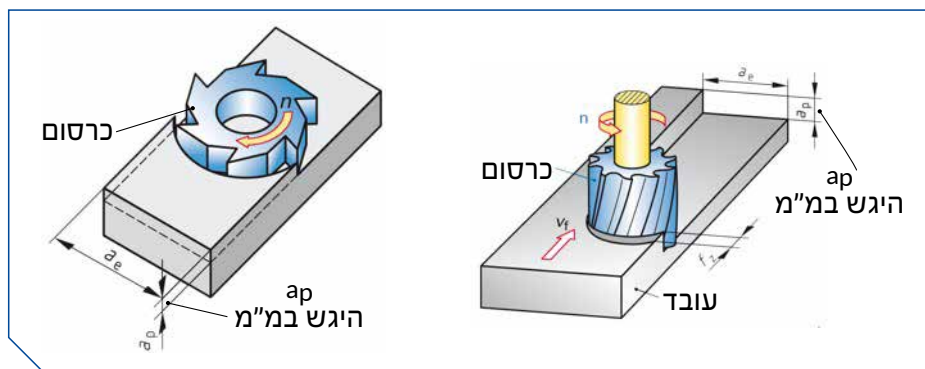
- מנקודת המפגש 5 מעבירים קו אופקי לעמודה השמאלית, שם מופיע עומק השבב המקסימלי שניתן להסיר בנתונים שהצבנו (במקרה שלנו 2 מ"מ).

### 2.1.11.3 קביעת ההיגש בכרסום

ההיגשים  $a_p$  - איור 2.1.66

ההיגש בכרסום  $a_p$  הוא עומק השיבוב במ"מ. גודל ההיגש בכרסום נקבע על פי סוג החומר המעובד, סוג הכרסום, קוטר הכרסום וצורתו, אורך השפה החותכת, והספק הכרסומת ונצילותה.

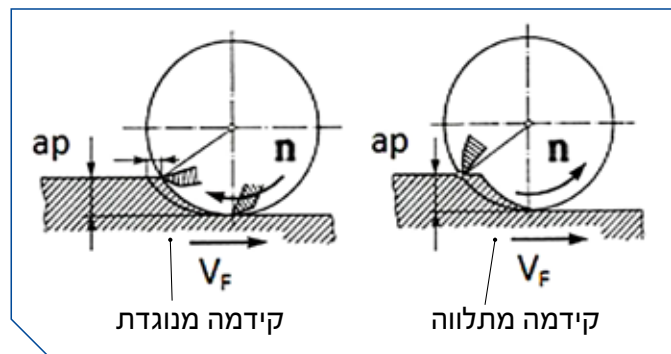
איור 2.1.66: ההיגש בכרסום



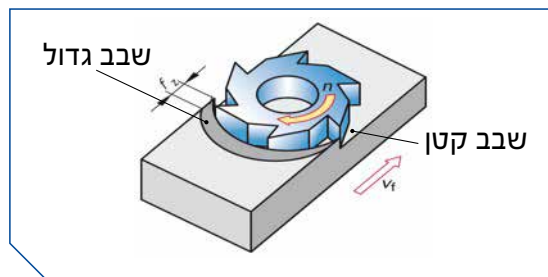
**שטח חתך השבב**

בכרסום, שטח חתך השבב אינו אחיד לאורך כל שלבי העיבוד ולא ניתן לקבוע אותו במדויק כמו בחריטה. בעיבוד בכרסום גלילי בקדמה מתלווה (שווה), השבב עבה בתחילה וקטן בסיום (איור 2.1.67 מימין). בעיבוד בכרסום גלילי ובקדמה מנוגדת, השבב בהתחלה קטן ובהדרגה הולך וגדל (איור 2.1.67 משמאל). גם בעיבוד בכרסום מצח (איור 2.1.68) השבב משתנה במהלך תנועת הקדמה. כיוון ששטח החתך בכרסום אינו קבוע, משתמשים בשטח חתך שבב ממוצע המחושב בעזרת הנוסחה באיור 2.1.72.

**איור 2.1.67: שטח חתך השבב בכרסום גלילי בקדמה מתלווה או בקדמה מנוגדת**



**איור 2.1.68: שטח חתך השבב בכרסום מצח**



**נפח השבב**

נפח השבב המוסר מהחומר מורכב מהנתונים הבאים:

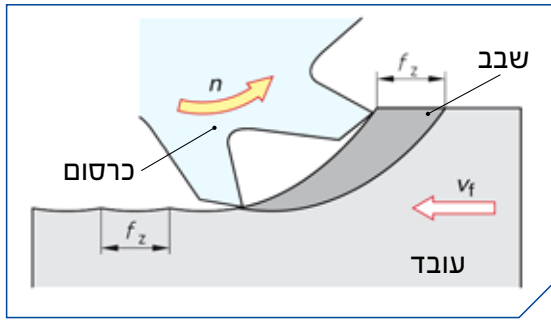
- ההיגש במ"מ "ap" - איור 2.1.69.
- רוחב העיבוד במ"מ "ae" - איור 2.1.69.
- קידמה לשן במ"מ "fz" - איור 2.1.70.

חישוב נפח השבב בכרסום לשן אחת של הכרסום יהיה:

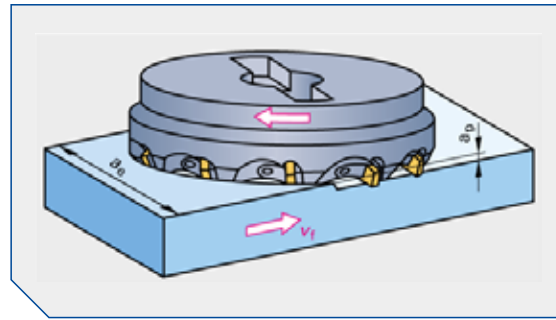
$$ap \cdot ae \cdot fz$$

צורת חתך השבב איננה מלבן, אלא בצורת יתד (איור 2.1.71). מכאן ברור שהתוצאה שתתקבל בחישוב גדולה מנפח השבב האמתי.

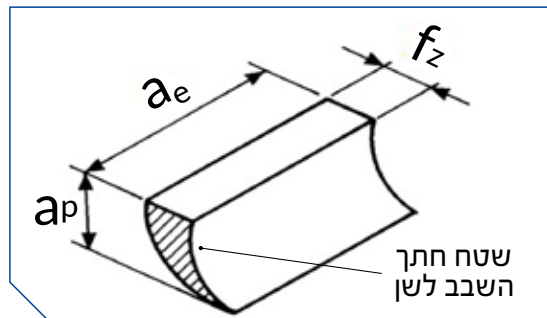
איור 2.1.70: ההיגש לשן  $f_z$



איור 2.1.69: היגשים בכרסום



איור 2.1.71: צורת שטח חתך השבב בכרסום



בכרסום ניתן לחשב את ההיגש באמצעות התפוקה הנפחית (q). התפוקה הנפחית היא כמות השבבים במ"מ<sup>3</sup> (נפח) שאפשר להסיר בדקה אחת, בכוח השווה לכ"ס אחד מהחומר הנתון.

### הספק בכרסום P

ההספק הוא היכולת לבצע עבודה במשך זמן מסוים. ההספקים בכרסומת בדרך כלל מוגדרים בכ"ס. הספק ניתן להגדרה גם בקו"ט (קילוואט).

### הקשר בין כ"ס לקו"ט

$$1.34 \text{ כ"ס} = 1 \text{ קו"ט}$$

כאשר מגדירים הספק בכרסום, מתייחסים להספק של כוח החיתוך של הכלי, שהוא ההספק של המנוע המסובב את הכוש. כוח זה הוא הכוח העיקרי הפועל בכרסום. יש מנועים נוספים בכרסומות המיועדים לביצוע של קדמות השולחנות. גם את אלה יש להביא בחישוב ההספקים.

### חישוב הכוח הדרוש לשיבוב

שתי דרכים לחישוב ההיגש:

- כוח חיתוך סגולי "K<sub>s</sub>" (נתון בשטח מ"מ<sup>2</sup>).
- תפוקה נפחית "q" (נתון בנפח מ"מ<sup>3</sup>).

**מציאת כוח חיתוך סגולי  $K_s$  בכרסום**

כוח חיתוך סגולי בכרסום " $K_s$ " הוא ההתנגדות הסגולית לשיבוב, נתונה בק"ג לממ"ר. נתון זה מתייחס לשטח ולא לנפח. כוח חיתוך סגולי תלוי בחומר המעובד ובקדמה לשן " $fz$ " של הכרסום. התנגדות זו מבטאת מהו הכוח הדרוש בק"ג לשיבוב, בכרסום של ממ"ר שבב. ה-" $K_s$ " הנתונים בטבלה של יצרן הכלים שבטבלה 2.1.21 מתייחסים לכרסום עבור קדמות לשן ולסוג החומר המעובד.

לדוגמה, עבור כרסום פלדה פחמנית SAE1045 במהירות קידמה של 0.3 מ"מ לשן, ההתנגדות הסגולית תהיה: 275 ק"ג לממ"ר (טבלה 2.1.21). יש גורמים נוספים המשפיעים על ה-" $K_s$ ", כמו זוויות הכלי, בלאי הכלי, נוזלי קירור ועוד. גורמים אלה יובאו בחשבון בייצור סדרות גדולות.

**2.1.73 הסבר לנוסחה לחישוב ההיגש  $ap$  - איור**

• נפח השבב במ"מ<sup>3</sup> במצב מקסימלי, מבלי לקחת בחשבון שהשבב קטן בהתחלה וגדל בסוף ולהיפך, עבור שן אחת, יהיה:

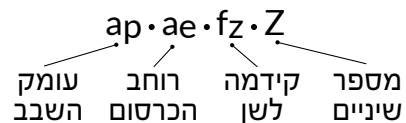
$$ap \cdot ae \cdot fz$$

(מכפלה של 3 מידות במ"מ = מ"מ<sup>3</sup>).

• בשונה מסכין חריטה שהוא בעל להב אחד, מבנה הכרסום הוא כזה שעל היקפו יש כמה להבי חיתוך (שיניים) המסומנים באות " $Z$ ". בכל סיבוב אחד של הכרסום הוא משבב כמה שבבים בהתאם למספר השיניים שבהיקפו.

לדוגמה, בכרסום עם ארבע שיניים על היקפו, הכרסום בסיבוב אחד יבצע 4 שבבים ולפיכך נפח השבב שיוסר מהחומר יהיה כפול ארבע. לכן נכפיל את התוצאה במספר השיניים שעל היקף הכרסום, מספר השיניים מוגדר ב-" $Z$ ".

מכאן, **נפח השבב** בסיבוב אחד של הכרסום יהיה:



איור 2.1.73: חישוב היגש לפי כוח חיתוך סגולי

$$a_p = \frac{p \cdot 4500 \cdot e \cdot \pi \cdot D}{K_s \cdot a_e \cdot f_z \cdot Z \cdot V_c}$$

$a_p$  = היגש במ"מ.  
 $P$  = הספק המנוע בכ"ס.  
 $e$  = נצילות המנוע באחוזים.  
 $\pi = 3.14$   
 $D$  = קוטר הכרסום.  
 $K_s$  = כוח חיתוך סגולי בק"ג לממ"ר.  
 $a_e$  = רוחב השבב (רוחב הכרסום).  
 $f_z$  = קידמה לשן במ"מ.  
 $Z$  = מספר שיניים בכרסום.  
 $V_c$  = מהירות חיתוך במטר לדקה.  
 $D$  = קוטר הכרסום במ"מ.

איור 2.1.72: חישוב שטח חתך השבב הממוצע בכרסום

$$A = \frac{a_e \cdot a_p \cdot f_z \cdot Z}{\pi \cdot D}$$

$A$  = שטח חתך (ממוצע) של השבב בממ"ר  
 $a_e$  = רוחב השבב (רוחב הכרסום).  
 $a_p$  = היגש במ"מ.  
 $f_z$  = קידמה לשן במ"מ.  
 $Z$  = מספר שיניים בכרסום.  
 $\pi = 3.14$   
 $D$  = קוטר הכרסום במ"מ.

• כדי לקבל את **שטח חתך השבב**, נחלק את נפח השבב שהתקבל בסיבוב בהיקף של הכרסום. כיוון שחילקנו את התוצאה בקוטר המוצר הנתון במ"מ, מתקבלת התוצאה במ"מ<sup>2</sup> (חלוקה של מ"מ<sup>3</sup> במ"מ מתקבל מ"מ<sup>2</sup>).  
 מכאן, שטח חתך השבב "A" בממ"ר בנוסחה המתוארת באיור 2.1.72.  
 נציב בנוסחה שהוסברה בנושא חריטה (איור 2.1.56) את ה-"A" מאיור 2.1.72 המתייחס לכרסום:

שטח חתך השבב  
בחריטה איור 2.1.56

$$A = \frac{P \cdot 4500 \cdot e}{K_s \cdot V_c}$$

שטח חתך השבב  
בכרסום איור 2.1.72

$$A = \frac{a_e \cdot a_p \cdot f_z \cdot Z}{\pi \cdot D}$$

↓ נקבל את הנוסחה הבאה: ↓

$$\frac{a_e \cdot a_p \cdot f_z \cdot Z}{\pi \cdot D} = \frac{P \cdot 4500 \cdot e}{K_s \cdot V_c}$$

מכיוון שברצוננו לקבל את הנוסחה לחישוב היגש "a<sub>p</sub>" (כל שאר הנתונים ידועים), נבצע שינוי נושא בנוסחה ונקבל את הנוסחה שבאיור 2.1.73 לחישוב היגש (עומק השבב) "a<sub>p</sub>".

**תרגיל לדוגמה - איור 2.1.74**

נתונה כרסומת בעלת הספק של 6 כ"ס ונצילות של 80%. מבצעים בעזרתה עיבוד פלדת פחמן בינונית, 0.45% פחמן. נקבעה קידמה "f<sub>z</sub>" של 0.2 מ"מ לשן, קוטר הכרסום "D" = 50 מ"מ, עם 4 שיניים בהיקפו "Z".  
 רוחב השיבוב "a<sub>e</sub>" 30 מ"מ.  
 מהירות החיתוך "v<sub>c</sub>" היא 300 מטר לדקה.

חשבו את ההיגש המקסימלי "ap" שניתן לעבוד בכרסומת זו ובנתוני שיבוב אלו. ההספקים שיובאו להלן יתייחסו להספק של המנוע המפעיל את הכוש.

**איור 2.1.74: מציאת היגש לפי כוח חיתוך סגולי**

**נתון**

p = 6 כ"ס.  
 e = 80% = 0.8  
 D = 50 מ"מ.  
 $K_s = 300$  ק"ג לממ"ר לפי טבלה 2.1.23.  
 ae = 30 מ"מ.  
 fz = 0.2 מ"מ לשן.  
 Z = 4.  
 Vc = 300 מטר לדקה.

**פתרון**

$$a_p = \frac{6 \cdot 4500 \cdot 0.8 \cdot 3.14 \cdot 50}{300 \cdot 30 \cdot 0.2 \cdot 4 \cdot 300} = 1.57 \text{ מ"מ}$$

**חישוב ההספק "P" הדרוש לעיבוד**

לפעמים נתוני העיבוד נקבעו בתהליך הייצור. במפעל קיימות כמה מכונות בעלות הספקים שונים. כדי לבחור את המכונה המתאימה לבצע את העיבוד הנדרש. נציב את הנתונים שבחרנו לנוסחאות ההספק ונקבל את ההספק הדרוש. נוכל להשתמש בנוסחאות ההספק על ידי שינוי נושא בנוסחה, כך שאם נעבוד בכרסומת בעלת הספק ידוע, נוכל לחשב מהו ההיגש המקסימלי לעבודה. הנוסחה לחישוב ההספק שבאיור 2.1.76 כבר הוסברה בפרק זה בנושא חריטה. ידוע מקודם ששטח הממוצע של חתך השבב "A" בכרסום (איור 2.1.72) שווה ל:

$$A = \frac{ae \cdot a_p \cdot fz \cdot Z}{\pi \cdot D}$$

נציב בנוסחאות ההספקים שבאיור 2.1.75 את הביטוי השווה לו מהנוסחה לעיל, במקום "A", ונקבל את נוסחת ההספקים בכרסום באיור 2.1.76.

**איור 2.1.76: נוסחת ההספקים בכרסום**

$$P = \frac{K_s \cdot a_p \cdot a_e \cdot f_z \cdot Z \cdot V_c}{\pi \cdot D \cdot 60 \cdot 75 \cdot e}$$

P = הספק המנוע בכ"ס.  
 Ks = כוח חיתוך סגולי בק"ג לממ"ר.  
 ae = רוחב השבב (רוחב הכרסום).  
 ap = היגש במ"מ.  
 fz = קידמה לשן במ"מ.  
 Z = מספר שיניים בכרסום.  
 Vc = מהירות חיתוך במטר לדקה.  
 π = 3.14  
 D = קוטר הכרסום במ"מ.  
 e = נצילות המנוע באחוזים.

**איור 2.1.75: נוסחה לחישוב הספק**

$$A = \frac{ae \cdot a_p \cdot f_z \cdot Z}{\pi \cdot D}$$

חישוב שטח חתך השבב

$$P = \frac{K_s \cdot A \cdot V_c}{75 \cdot 60 \cdot e}$$

חישוב הספק

**נפח השבב Q**

נפח השבב בכרסום פירושו כמות או נפח השבבים המוסרים מהעובד בדקה אחת. כמות זו היא תוצאה של המכפלה:

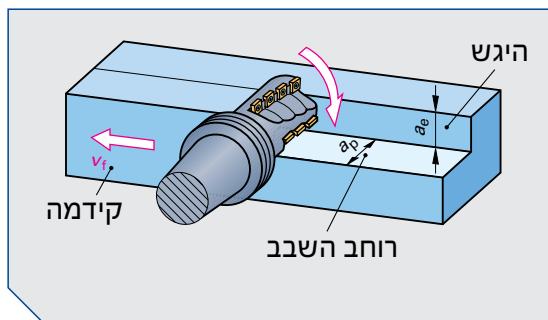
$a_e$  (היגש)  $\cdot a_p$  (רוחב השבב)  $\cdot v_f$  (קידמת השולחן בדקה) איור 2.1.77.  
בדרך מתמטית אפשר לכתוב את הנוסחה שבאיור 2.1.78.

**איור 2.1.78: נוסחה לחישוב נפח השבב**

$$Q = a_e \cdot a_p \cdot V_{fm} \text{ m}^3/\text{min}$$

$Q$  = כמות השבבים המוסרת במשך דקה אחת. במ"מ<sup>3</sup> (נפח השבבים).  
 $a_e$  = היגש במ"מ.  
 $a_p$  = רוחב השבב במ"מ (רוחב הכרסום).  
 $V_{fm}$  = קדמת השולחן במ"מ לדקה.

**איור 2.1.77: נתוני השיבוב בכרסום**



**טבלה 2.1.22: טבלה כמות סגולית q (תפוקה נפחית)**

קידמה מתלווה (שווה)	קידמה נגדית	הקדמה
		חומר העובד
15000	12000	פלדה 60 - 50 ק"ג לממ"ר
12500	10000	פלדה 70 - 60 ק"ג לממ"ר
9500	7500	פלדה 80 - 70 ק"ג לממ"ר
7500	6000	פלדה 110 - 80 ק"ג לממ"ר
5500	4500	פלדה 140 - 110 ק"ג לממ"ר
25000	20000	יצקת ברזל עד - 200 בריןל
19000	15000	יצקת ברזל מעל - 200 בריןל
14000	11000	יצקת פלדה
19000	15000	ברונזה
37000	30000	פליז
60000	50000	אלומיניום + יצקת אלומיניום

**כמות סגולית (תפוקה נפחית) q**

הכמות הסגולית או התפוקה הנפחית היא כמות השבבים במ"מ<sup>3</sup> (נפח) שאפשר להסיר בדקה אחת, בכוח השווה ל-1 כ"ס מהחומר הנתון. ההבדל בין כוח חיתוך סגולי לתפוקה נפחית (כמות סגולית) הוא בכך שכוח חיתוך סגולי מתייחס להסרת שבב **בשטח** ואילו התפוקה הנפחית מתייחסת **לנפח**. כמות זו תלויה בסוג החומר המעובד והתנגדותו לחיתוך ובקדמה, נגדית או שווה. ערכי הכמות הסגולית בטבלה 2.1.23.

**לדוגמה:** עבור עיבוד של פלדה בעלת 55 ק"ג לממ"ר חוזק למשיכה, בכרסום נגדי, עם כרסומת עם מנוע בעל הספק של 1 כ"ס. לפי הנתון בטבלה 2.1.23 ניתן להוריד שבב של 12000 ממ"ר במשך זמן של דקה אחת. אם נבחר לבצע את העיבוד בכרסומת בעלת 4 כ"ס שהיא בעלת הספק של פי 4 מזו שבדוגמה, נוכל להסיר פי 4 נפח שבבים.

**חישוב גודל השבב לפי כמות סגולית q**

את נפח השבב בהתחשב בהספק המנוע "P", כמות סגולית "q" של המוצר ונצילות המכונה "e" ניתן לחשב בנוסחה:

$$Q = P \cdot q \cdot e$$

P - הספק המנוע בכ"ס.

q - כמות סגולית במ"מ/כ"ס לדקה.

e - נצילות המכונה.

**חישוב ההיגש לפי כמות סגולית q**

נציב לנוסחה של חישוב גודל השבב לפי כמות סגולית, את חישוב גודל השבב המתקבל:

$$Q = a_e \cdot a_p \cdot V_f \cdot m^3/\text{min} \quad Q = P \cdot q \cdot e$$

$$\begin{matrix} \downarrow & & \downarrow \\ a_e \cdot a_p \cdot V_f \cdot m^3/\text{min} = & P \cdot q \cdot e \end{matrix}$$

כיוון שברצוננו למצוא את ההיגש "ae", נבצע שינוי נושא בנוסחה, נבודד את ה-ae ונקבל את הנוסחה לחישוב ההיגש שבאיור 2.1.79 למטה.

איור 2.1.79: נוסחה לחישוב היגש/כמות סגולית

$a_e =$  היגש במ"מ.  
 $P =$  הספק המנוע בכ"ס.  
 $q =$  כמות סגולית במ"מ.  
 $a_p =$  רוחב השטח המכורסם במ"מ.  
 $e =$  נצילות המכונה בעשרוני.  
 $V_f m^3/min =$  קידמת השולחן במ"מ לדקה

$$a_e \cdot a_p \cdot V_{fm^3/min} = P \cdot q \cdot e$$

$$a_e = \frac{P \cdot q \cdot e}{a_p \cdot V_{fm^3/min}}$$

**תרגיל לדוגמה**

חשבו את עומק השבב "ae" לכרסום מתלווה של פלדה 50 ק"ג לממ"ר חוזק למשיכה, בכרסומת עם מנוע של 3 כ"ס. נצילות הכרסומת היא 75%, רוחב השטח המכורסם  $a_p = 50$  מ"מ והקדמה נקבעה ל-100 מ"מ לדקה.  
 פתרון התרגיל באיור 2.1.80.

איור 2.1.80: פתרון תרגיל בנתון של כמות סגולית

נתון

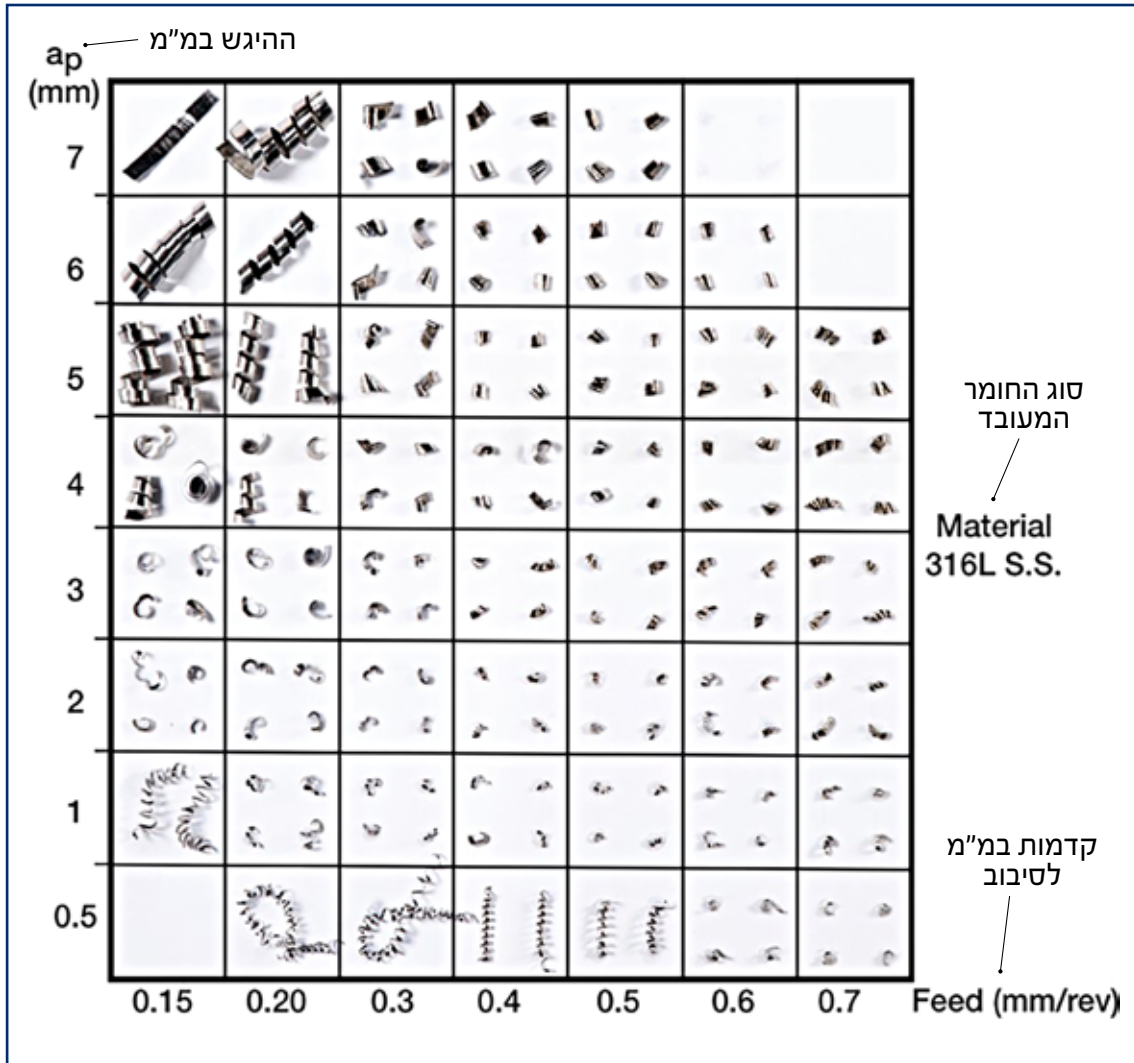
$q = 15000$  מ"מ / כ"ס לדקה לפי טבלה 2.1.23  
 $P = 3$  כ"ס.  
 $e = 75\% = 0.75$   
 $a_p = 50$  מ"מ.  
 $V_f m^3/min = 100$  מ"מ לדקה.

**פתרון**

$$a_e = \frac{P \cdot q \cdot e}{a_p \cdot V_f m^3/min} = \frac{3 \cdot 15000 \cdot 0.75}{50 \cdot 100} = 6.75 \text{ מ"מ}$$

בחריטה יש קשר בין צורת השבב המתקבל להיגש, לקדמה (טבלה 2.1.24) ולשובר שבבים.

טבלה 2.1.23: קידמה במ"מ לסיבוב והיגש והשפעתם על צורת השבב המתקבל (ההתייחסות לחומר נתון)



## 2.1.12 סיכום

בפרק זה עסקנו בתנאי השיבוב בחריטה, כרסום וקידוח. קביעה נכונה של תנאי השיבוב היא תנאי הכרחי ליעילות הייצור ולשמירה על המכונה והכלים. בפרק הובאו דוגמאות לטבלאות מסוגים שונים, כדי לתרגל ולהכיר את השימוש בהן. במהלך הזמן נוספות טבלאות חדשות של יצרני הכלים כתוצאה מפיתוח של כלי שיבוב חדשים. יש גם טבלאות כלליות המגדירות תחומי מהירות חיתוך לפי חומרים שונים. בנספחים 1 ו-2 (בסוף הפרק), מרוכזות כל ההגדרות והנוסחאות שנלמדו בפרק.

### סדר הפעולות בקביעת נתוני השיבוב

- בחירת מהירות החיתוך לפי הטבלה, בהתייחס לנתונים הבאים:
  - סוג החומר המעובד.
  - סוג הכלי המעבד.
  - סוג העיבוד.
- בחירת הקדמה לפי טבלאות יצרן הכלים ולפי העיבוד:
  - בחריטה ובקידוח - במ"מ לסיבוב.
  - בכרסום - במ"מ לשן וחישוב הקדמה במ"מ לדקה.
- שימו לב שבעיבוד הגמר צריך להתאים את הקדמה לטיב השטח הנדרש בשרטוט.
- חישוב הסל"ד או מציאתו בדיאגרמות וטבלאות.
- מציאת ההיגש, לפי חישוב.

יש עוד כלי עיבוד שלא פורטו בפרק זה ונמצאים בשימוש בעיבוד שבבי, כמו שקענים, מקדדים, מברזים ועוד. עבורם יש טבלאות של יצרן הכלים ומהן ניתן להוציא את נתוני השיבוב. העיקרון שהוסבר בפרק זה דומה בכל כלי השיבוב.

נספח 1: ריכוז הגדרות ומושגים שנלמדו בפרק

הערות	הערכים	הפרוש	הסימון
נתונה בטבלת יצרן הכלים ומבוססת על חישוב מעבדתי.	מטר לדקה	מהירות חיתוך	- Vc Velocity cutting
הסל"ד מחושב או נמצא בטבלאות/דיאגרמות.	סיבובים לדקה	R.P.M Revolutions Per Minute	n
גודל חדירת הכלי לעובד.	במ"מ	היגש (עומק השבב)	ap
בכרסום רוחב העובד/מקסימום קוטר כרסום, לא קיים בחריטה.	במ"מ	רוחב העיבוד	ae
מהירות תנועת השולחן במ"מ לדקה, נהוג בכרסום. במכונות CNC מוגדר כ-F.	במ"מ לדקה	מהירות קידמה	Vf m <sup>3</sup> m/ min
מהירות התקדמות הכלי בסיבוב, נהוג בחריטה ובקידוח. במכונות CNC מוגדר כ-F.	במ"מ לסיבוב	מהירות קידמה	Vf m <sup>3</sup> m/ rev
מהירות התקדמות הכלי לשן אחת בכרסום. יש המסמנים אותה ב-ft.	במ"מ לשן	קידמה לשן	(ft) fz
ערך לשינוי מהירות החיתוך מזמן נתון לזמן רצוי. נתון בטבלאות יצרן הכלים.		מקדם טיילור	k
משתמשים בבדיקת טיב שטח.	במיקרון מטר	גובה החספוס	Rt
לפי תקן ISO נתון בטבלאות בהתאמה לטיב השטח הנדרש.	במיקרון מטר (אלפית המ"מ)	ממוצע גובה החספוס של השטח הנמדד	Ra
	מ"מ <sup>2</sup>	שטח חתך השבב	Area - A
נדרש לחישוב גודל השבב שניתן להסיר בכ"ס לפי המכונה הנתונה.	ק"ג לממ"ר	כוח חיתוך סגולי. הכוח הדרוש להסיר שבב של 1 ממ"ר מהחומר.	Ks
יכולת לבצע עבודה במשך זמן מסוים.	כ"ס או קילו וואט. 1 קילו וואט = 1.34 כ"ס	הספק	P
מגדיר את כוח הספק המכונה.	75 ק"ג לשנייה	כוח סוס = הכוח הדרוש להרים משא של 75 ק"ג לגובה של 1 מטר בזמן של 1 שנייה.	- Hp Horse power

הערות	הערכים	הפרוש	הסימון
מתייחס להספק המתקבל לעבודה בהתחשב בהפסדים בדרך.	באחוזים	<b>נצילות</b> = שיעור הכמות המופקת ממשהו לעומת הכמות שהושקעה בו	e
	בק"ג	הכוח הדרוש לחיתוך.	F
נפח השבבים המוסר בכרסום לצורך חישוב גודל השבב.	מ"מ <sup>3</sup> לדקה	נפח השבבים המוסרת במשך דקה אחת.	Q
נפח השבבים במ"מ <sup>3</sup> שאפשר להסיר בדקה בכוח השווה ל-1 כ"ס לצורך חישוב גודל השבב.	מ"מ <sup>3</sup> לדקה	כמות סגולית (תפוקה נפחית) בהתייחס לחומר העובד.	q

**נספח 2: ריכוז נוסחאות שנלמדו בפרק**

הסבר	הנוסחה	חישוב של
$V_c =$ מהירות החיתוך במטר לדקה. $D =$ קוטר העובד במ"מ. $n =$ סל"ד.	$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$	<b>מהירות חיתוך</b>
$N =$ ערך מתקבל להצבה בנוסחה 2. $V_{c1} =$ מהירות החיתוך במטר לדקה עבור זמן נקוב בטבלה. $T_1 =$ זמן ל- $V_{c1}$ $K =$ מקדם טיילור הנתון בטבלה. $V_{c2} =$ מהירות החיתוך החדשה במטר לדקה. $T_2 =$ זמן ל- $V_{c2}$	$N = V_{c1} \cdot T_1^K$ $V_{c2} = \frac{N}{T_2^K}$	<b>שינוי זמן העיבוד</b> כשידוע זמן לפינה חותכת לפי מהירות חיתוך נתונה, מקדם טיילור וזמן חדש רצוי.
$n =$ סל"ד. $V_c =$ מהירות החיתוך במטר לדקה. $D =$ קוטר העובד במ"מ.	$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D}$ $n = \frac{V_c \cdot 320}{D}$	<b>סל"ד</b> כשידוע מהירות החיתוך מטבלאות וקוטר העובד/הכלי במ"מ.
$V_f =$ קידמה במ"מ לדקה. $f_z =$ קידמה לשן. $Z =$ מספר שיניים בכרסום. $n =$ סל"ד הכוש (כלי/עובד).	$V_f \text{ m}^3/\text{min} = f_z \cdot Z \cdot n$	<b>קידמה במ"מ לדקה</b> כשידוע קידמה במ"מ לשן, מספר השיניים בכרסום והסל"ד.

הסבר	הנוסחה	חישוב של
<p>קידמה במ"מ = <math>V_f \text{ m}^3/\text{min}</math> לדקה.</p> <p>קידמה במ"מ = <math>V_f \text{ m}^3/\text{rev}</math> לסיבוב.</p> <p>סל"ד הכוש (כלי/עובד) = <math>n</math></p>	$= V_f \text{ m}^3/\text{rev} \cdot n$	<p><b>קידמה במ"מ לדקה</b> כשידוע קידמה במ"מ לסיבוב והסל"ד.</p>
<p>קידמה לשן = <math>f_z</math></p> <p>קידמה במ"מ = <math>V_f \text{ m}^3/\text{min}</math> לדקה.</p> <p>מספר שיניים בכרסום = <math>Z</math></p> <p>סל"ד הכוש (כלי/עובד) = <math>n</math></p>	$f_z = \frac{V_f \text{ m}^3/\text{min}}{Z \cdot n}$	<p><b>קידמה במ"מ לשן</b> כשידוע קידמה במ"מ לדקה, מספר השיניים בכרסום והסל"ד.</p>
<p>קידמה במעלות לדקה = <math>F</math> /min °</p> <p>קידמה במ"מ לדקה = <math>V_f</math></p> <p>מעלות בסיבוב שלם = 360</p> <p>קוטר הקשת / מעגל = <math>d</math></p>	$F = \frac{V_f \cdot 360}{d \cdot \pi}$	<p><b>קידמה במעלות לדקה</b> כשידוע קידמה במ"מ לדקה וקוטר הקשת / מעגל מבוצע.</p>
<p>גובה חספוס במיקרון = <math>R_t</math></p> <p>ממוצע גובה חספוס = <math>R_a</math></p> <p>קדמת השולחן במ"מ לדקה = <math>V_f \text{ m}^3/\text{min}</math></p> <p>רדיוס הכלי = <math>R</math></p>	$R_t = 4 \cdot R_a$ $R_t = \frac{1000 \cdot V_f^2 \text{ m}^3/\text{rev}}{8 \cdot R}$	<p><math>R_t</math> (ממוצע גובה חספוס) כאשר ידוע <math>R_a</math> (גובה חספוס ממוצע שמופיע בטבלאות בהתאמה לטיב השטח).</p>
<p>קדמת השולחן במ"מ לדקה = <math>V_f \text{ m}^3/\text{min}</math></p> <p>גובה חספוס במיקרון = <math>R_t</math></p> <p>רדיוס הכלי = <math>R</math></p>	$V_f \text{ m}^3/\text{rev} = \sqrt{\frac{R_t \cdot 8 \cdot R}{1000}}$	<p><b>קידמה לקבלת טיב שטח</b> קידמה מקסימלית במ"מ לסיבוב לקבלת טיב שטח רצוי לאחר שחושב <math>R_t</math> (גובה החיספוס במיקרון) וידוע רדיוס הכלי.</p>
<p>שטח חתך השבב = <math>A</math></p> <p>הספק המנוע בכ"ס = <math>P</math></p> <p>נצילות המחרטה באחוזים = <math>e</math></p> <p>כוח חיתוך סגולי בק"ג למ"מ<sup>2</sup> = <math>K_s</math></p> <p>מהירות החיתוך במטר לדקה = <math>V_c</math></p>	$A = \frac{P \cdot 4500 \cdot e}{K_s \cdot V_c}$	<p><b>שטח חתך השבב</b> כשידוע הספק ונצילות המכונה, כוח חיתוך סגולי ומהירות החיתוך.</p>
<p>היגש במ"מ = <math>a_p</math></p> <p>שטח חתך השבב = <math>A</math></p> <p>קידמה במ"מ לסיבוב = <math>V_f \text{ m}^3/\text{rev}</math></p>	$a_p = \frac{A}{V_f \text{ m}^3/\text{rev}}$	<p><b>היגש</b> כשידוע שטח חתך השבב והקדמה במ"מ לסיבוב.</p>

הסבר	הנוסחה	חישוב של
<p><math>P</math> = הספק המנוע בכ"ס.  <math>e</math> = נצילות המחרטה באחוזים.  <math>K_s</math> = כוח חיתוך סגולי בק"ג למ"מ<sup>2</sup>.  <math>V_c</math> = מהירות החיתוך במטר לדקה.  <math>V_f</math> = קידמה במ"מ/rev לסיבוב.</p>	$a_p = \frac{P \cdot 4500 \cdot e}{K_s \cdot V_c \cdot V_f \text{ m}^3/\text{min}}$	<p><b>היגש בחריטה</b>                      כשידוע כוח חיתוך סגולי <math>K_s</math>, הספק ונצילות המכונה, מהירות חיתוך וקדמה במ"מ לדקה.</p>
<p><math>Q</math> = נפח השבבים במ"מ<sup>3</sup> לדקה.  <math>P</math> = הספק המנוע בכ"ס.  <math>q</math> = כמות סגולית במ"מ<sup>3</sup>/כ"ס לדקה.  <math>e</math> = נצילות המכונה.</p>	$Q = P \cdot q \cdot e$	<p><b>נפח השבבים במ"מ<sup>3</sup> לדקה</b>                      כשידוע הספק ונצילות המכונה וכמות סגולית (תפוקה נפחית).</p>
<p><math>a_p</math> = היגש במ"מ.  <math>P</math> = הספק המנוע בכ"ס.  <math>e</math> = נצילות המנוע באחוזים.  <math>\pi = 3.14</math>  <math>D</math> = קוטר הכרסום.  <math>K_s</math> = כוח חיתוך סגולי בק"ג למ"מ<sup>2</sup>.  <math>a_e</math> = רוחב השבב.  <math>f_z</math> = קידמה לשן במ"מ.  <math>Z</math> = מספר שיניים בכרסום.  <math>V_c</math> = מהירות חיתוך במטר לדקה.</p>	$a_p = \frac{P \cdot 4500 \cdot e \cdot \pi \cdot D}{K_s \cdot a_e \cdot f_z \cdot Z \cdot V_c}$	<p><b>היגש בכרסום</b>                      כשידוע כוח חיתוך סגולי <math>K_s</math>, הספק ונצילות המכונה, רוחב השבב, קידמה במ"מ לשן, מספר השיניים בכרסום ומהירות החיתוך.</p>
<p><math>P</math> = הספק המנוע בכ"ס.  <math>K_s</math> = כוח חיתוך סגולי בק"ג למ"מ<sup>2</sup>.  <math>a_e</math> = רוחב השבב.  <math>a_p</math> = היגש במ"מ.  <math>f_z</math> = קידמה לשן במ"מ.  <math>Z</math> = מספר שיניים בכרסום.  <math>V_c</math> = מהירות חיתוך במטר לדקה.  <math>\pi = 3.14</math>  <math>D</math> = קוטר הכרסום במ"מ.  <math>e</math> = נצילות המנוע באחוזים.</p>	$p = \frac{K_s \cdot a_p \cdot a_e \cdot f_z \cdot Z \cdot V_c}{\pi \cdot D \cdot 60 \cdot 75 \cdot e}$	<p><b>הספק נדרש בכרסום</b>                      לפי כוח חיתוך סגולי <math>K_s</math>.</p>
<p><math>a_e</math> = היגש במ"מ.  <math>P</math> = הספק המנוע בכ"ס.  <math>q</math> = כמות סגולית במ"מ<sup>3</sup>.  <math>a_p</math> = רוחב השטח המכורסם.  <math>e</math> = נצילות המכונה בעשרוני.  <math>V_f</math> = קידמת השולחן במ"מ לדקה.</p>	$a_p = \frac{P \cdot q \cdot e}{a_p \cdot V_f \text{ m}^3/\text{min}}$	<p><b>חישוב היגש בכרסום</b>                      כשידוע <math>q</math> (כמות סגולית, תפוקה נפחית), הספק המכונה ונצילותה, רוחב השבב והקדמה במ"מ לדקה.</p>



## 2.2 קידוח, שיקוע וקידוד

### 2.2.1 מטרת הפרק

הקניית ידע על:

- סוגי מקדחים והשימוש בהם.
- סוגי שקענים והשימוש בהם.
- סוגי מקדדים והשימוש בהם.

### 2.2.2 מבוא

בפרק זה נעסוק בכלי קידוח (מקדחים), כלי שיקוע (שקענים) וכלי קידוד (מקדדים). כל הכלים האלה משמשים לעיבוד בקדחים (איור 2.2.1). למברזים יוחד פרק נפרד.

### הגדרות

#### מקדח

המקדח הוא כלי עגול בעל שתי שפות חותכות או יותר, שיוצר קדחים עגולים במגוון מידות.

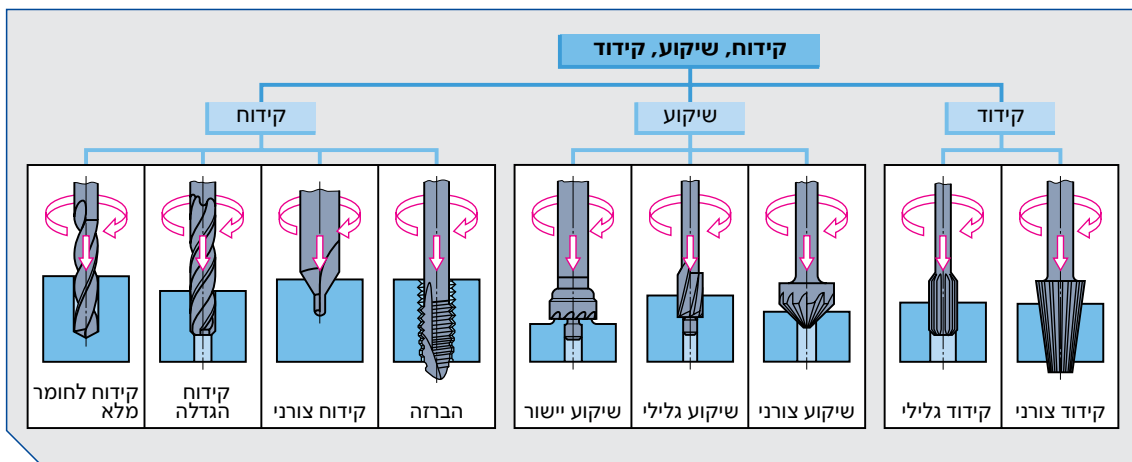
#### שקען

השקען הוא כלי עגול בעל שפה חותכת (שן) אחת או יותר. השפה יוצרת שקעים בזוויות שונות, או שקעים גליליים.

#### מקדד

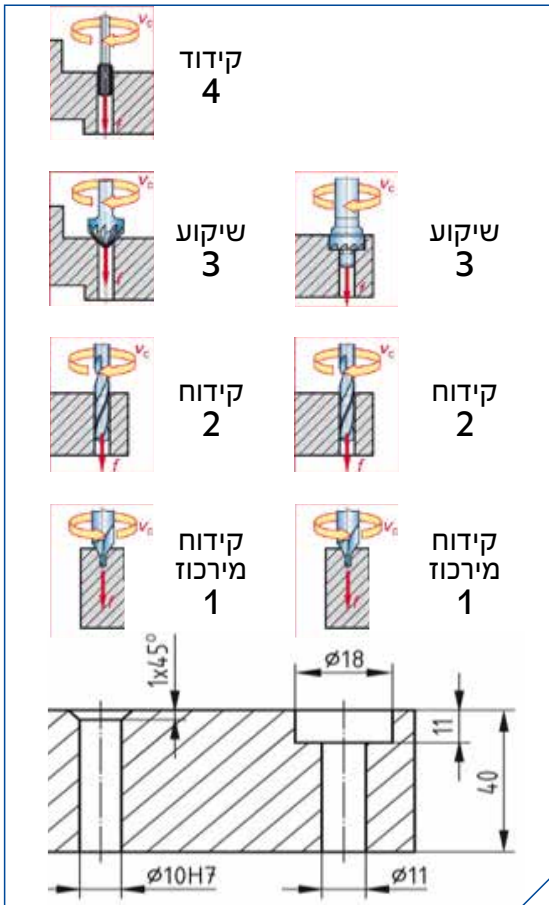
המקדד הוא כלי עגול בעל מספר שיניים זוגי. החלוקה של השיניים בהיקף המקדד לא סימטרית, כדי להבטיח שלא יהיו רעידות וכדי לקבל טיב שטח גבוה. תפקיד המקדד לייצר קדח במידה מדויקת וטיב שטח בדרגת דיוק גבוהה (N6 - N2).

איור 2.2.1: המקדח, המקדד, השקען והמברז



הערה: כדי לבצע תברוג פנימי קודחים קדח מכין ומשתמשים במברז (איור 2.2.1). המברז נחשב לכלי עיבוד של קדח ולכן הוא נמצא ברשימה של קידוח, שיקוע וקידוד. ביצוע תברוגים פנימיים באמצעות מברזים הוא תהליך מורכב וייחודי ועל כן יוסבר עליו בפרק 2.3 העוסק בשיטות לייצור תברוגים פנימיים. באיור 2.2.2 מוצגת דוגמה למוצר בעל קדחים שונים ודרישות עיבוד שונות. בקדח הימני מבוצע קידוח ושיקוע גלילי ובקדח השמאלי מבוצע קידוח שיקוע וקידוד.

**איור 2.2.2: פעולות קידוח, שיקוע וקידוד**



**2.2.3 מקדחים ספירליים**

המקדח הספירלי הוא הכלי הנפוץ ביותר לקידוח בתחום הקטרים עד 20 מ"מ ובעומקי קידוח עד פי 5 מקוטר המקדח. מקדח זה מורכב מהקנה, ומהחלק החותך עם חוד המקדח.

**2.2.3.1 חלקי המקדח הספירלי**

המקדח הספירלי כולל 2 חלקים (איור 2.2.3):  
 1. קנה המקדח  
 2. גוף המקדח

**1. קנה המקדח**

תפקיד הקנה הוא לדפון את המקדח במכונה. קנה המקדח יכול להיות:  
 א. קנה גלילי (איור 2.2.3 למעלה)  
 ב. קנה קוני (איור 2.2.3 למטה)

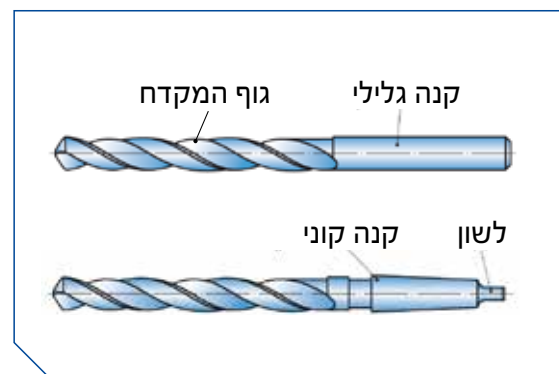
**א. במקדח בעל קנה גלילי (איור 2.2.3**

למעלה), הדפינה במכונה תהיה בתפסנית רגילה, אוטומטית או קפיצית (קולטים), כפי שניתן לראות באיור 2.2.4.

**איור 2.2.4: אמצעי דפינה למקדחים קנה גלילי**



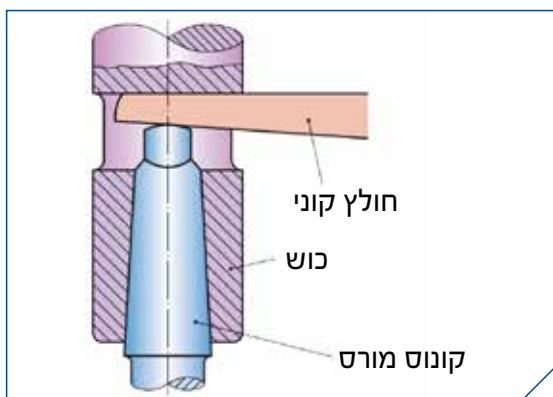
**איור 2.2.3: חלקי המקדח הספירלי**



ב. **מקדח בעל קנה קוני** (קונוס מורס) המוצג באיור 2.2.3 למטה, מגיע בקטרים גדולים, מעל לקוטר 12. דופנים את המקדח הקוני ישירות בכוש המכונה, אם הקונוס בכוש תואם את הקונוס במקדח. אם אין התאמה משתמשים במעברי קונוס לדפינה (איור 2.2.5), להגדלה או להקטנה של הקונוס.

בקצה הקונוס נמצאת הלשון, שמאפשרת חילוץ של המקדח מתוך הקונוס הפנימי באמצעות חולץ קוני (באיור 2.2.6 מתואר חילוץ המקדח מכוש המכונה).

איור 2.2.6: חולץ קונוס מורס



איור 2.2.5: מעברי קונוס מורס



### קונוס מורס

קונוס מורס הוא קונוס תקני בעל זווית שגודלה כ-1.5°, ויש לו גדלים שונים. גודל קונוס המורס מותאם לגודלו של קוטר המקדח ומסומן בספרות מ-0-7, כאשר קונוס מורס 0 הוא הקטן ביותר. קיימים מעברי קונוס כגון 4-3, 4-2, 3-2 וכדומה. בקדח שבכוש רכב המחרטה, כוש המקדחה ומכונות נוספות נמצא קונוס מורס.

### הנחיות תפעוליות למקדח קוני

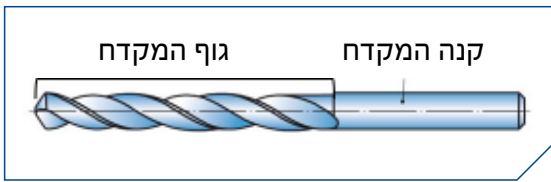
#### א. דפינת המקדח הקוני

- חשוב להקפיד לנקות את משטחי הקונוסים לפני הרכבה.
- חשוב להכניס את המקדח למעבר או למכונה, כאשר לשון המקדח בכיוון הנכון.
- כדי להכניס מקדח למעבר קונוס, יש להחזיק את המקדח כלפי מעלה ולהכות בלוח העץ על לשון המעבר.
- בהכנסת המקדח למכונה מחזיקים את המקדח ביד, לאחר שהוכנס לכוש בכיוון הנכון. אפשר להשתמש בלוח עץ שעליו לוחצים את המקדח.

#### ב. שחרור המקדח הקוני מהכוש או ממעבר הקונוס

- כדי לשחרר את המקדח מהמעבר או מהמקדחה נשתמש בחולץ קוני (איור 2.2.6).
- את החולץ מכניסים לחריץ שבקונוס המעבר או בכוש של המקדחה ואז מכים עליו עם פטיש כדי לשחררו מהקונוס.
- השחרור של המקדח במחרטה נעשה על ידי סיבוב בורג הרכב לאחור, כדי שהבורג ילחץ את הקונוס החוצה.

איור 2.2.7: גוף המקדח



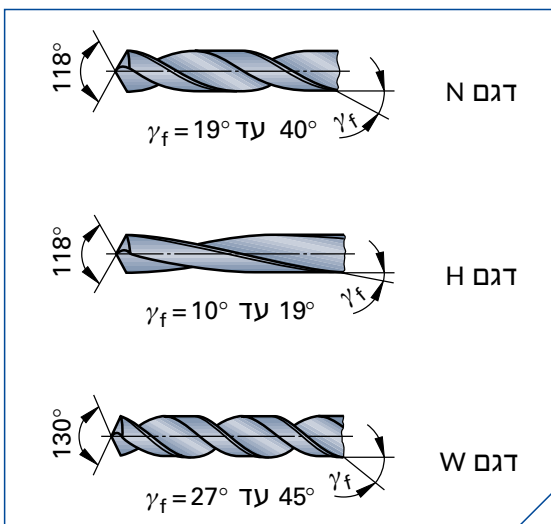
2. גוף המקדח (איור 2.2.7)

- גוף המקדח מורכב מהחלקים הבאים:
- א. לוליון (ספירלה)
- ב. זוויות המקדח
- ג. שפות חותכות

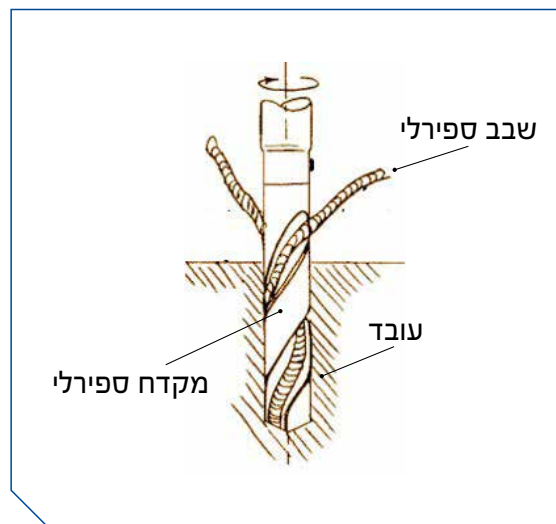
א. לוליון

- לוליון המקדח מיועד להוצאת השבב מהקדח (איור 2.2.8).
- זווית הלוליון של המקדחים משתנה בהתאם לסוגי החומרים המעובדים (איור 2.2.9):
- דגם N מיועד לקידוח בפלדה רכה, יציקה אפורה ופלדות אל-חלד (נירוסטה).
- דגם H מיועד לקידוח חומרים קשים ופריכים, פלדות בעלות חוזק גבוה וחומרים מרוכבים.
- דגם W מיועד לקידוח חומרים רכים וצפידים, כמו סגסוגות אלומיניום נחושת ואבץ.

איור 2.2.9: סוגי לוליון במקדח



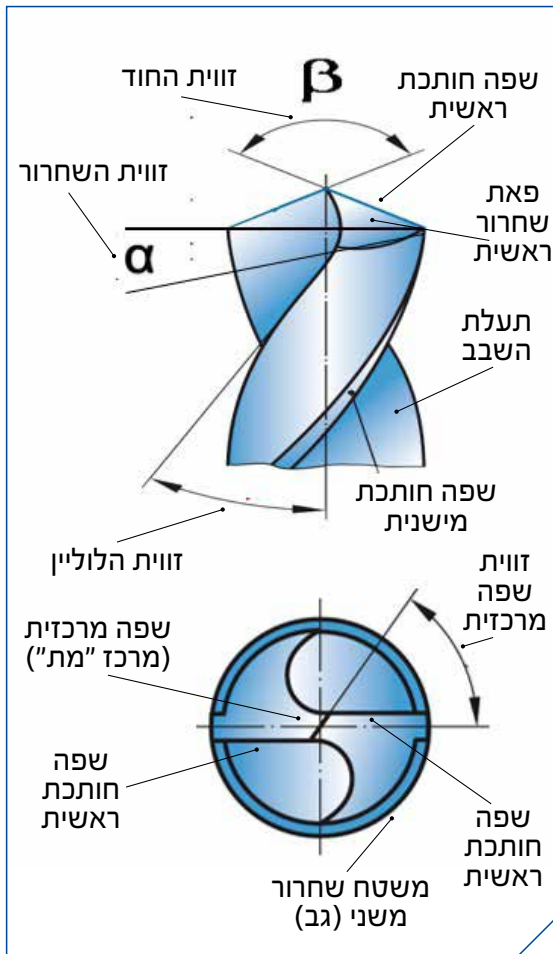
איור 2.2.8: תפקיד הלוליון במקדח



ב. זוויות המקדח (איור 2.2.10)

- למקדח יש את הזוויות הבאות:
- זווית השחרור  $\alpha$
- זווית החוד  $\beta$
- זווית שפה מרכזית

איור 2.2.10: זוויות ושפות המקדח



**זווית השחרור  $\alpha$**  (איור 2.2.10)

זווית השחרור היא הזווית המתקבלת על ידי השחזת שטחי השחרור הראשיים.

**גודל הזווית**

הזווית צריכה להיות גדולה מספיק כדי לשחרר את השפות החותכות ממשטח הקידוח, למנוע את שחיקתן ולאפשר קידמה גדולה. אולם אסור שתהיה גדולה מידי, כדי שלא תחליש את השפה החותכת וכדי שתמנע רעידות. במקדחים בזווית חוד של  $118^\circ$ , התנאי לקבלת זווית שחרור נכונה הוא קבלת זווית של  $135^\circ$  בין השפה החותכת הראשית ובין השפה החותכת המרכזית. לצורך כך יש מדידים מתאימים (איור 2.2.11).

**זווית החוד  $\beta$**  (איור 2.2.10)

הזווית שבין השפות החותכות הראשיות נקראת זווית החוד.

**גודל הזווית**

- לרוב, זווית החוד במקדחים ספירליים היא  $118^\circ$ .
- בזווית של  $90^\circ$  משתמשים לקידוח פלסטיק קשה.
- למתכות קלות שיוצרות שבבים ארוכים, הזווית היא  $140^\circ$ .

איור 2.2.11: מדידי מקדחים



**זווית שפה מרכזית** (איור 2.2.10)

הזווית שבין השפה החותכת הראשית לבין השפה החותכת המרכזית נקראת "זווית שפה מרכזית". גודלה  $55^\circ$  או המשלימה שלה שהיא  $135^\circ$ .

ג. **שפות חותכות** (איור 2.2.10)

למקדח יש את השפות החותכות הבאות:

- שפה חותכת ראשית.
- שפה מרכזית (מרכז "מת").
- שפות חותכות משניות.

**שפה חותכת ראשית** איור 2.2.10

השפה החותכת הראשית במקדח היא זו שמבצעת את חיתוך השבבים ויוצרת את הקדח. במקדח רגיל בעל שתי שיניים, קיימות שתי **תעלות שבבים** לולייניות נגדיות שיוצרות את השפות החותכות הראשיות.

**שפה מרכזית** (מרכז "מת") איור 2.2.10

שפה מרכזית היא השפה **שבין** שתי השפות החותכות. היא נמצאת במרכז המקדח, לא מסתובבת ולא מבצעת חיתוך, ולכן נקראת "מרכז מת". השפה החותכת המרכזית למעשה מקשה על תהליך השיבוב, מכיוון שהיא רק מועכת את החומר.

**שפות חותכות משניות** איור 2.2.10

שפות חותכות משניות נמצאות בקוטר החיצוני של המקדח לאורך תעלות השבבים. במקדח רגיל בעל שתי שיניים, קיימות שתי תעלות שבבים לולייניות נגדיות שלאורכן שתי שפות חותכות משניות.

כדי שלא תיווצר שחיקה במהלך הקידוח בין השפות החותכות המשניות של המקדח ובין הקדח, המקדח בנוי בצורה קונית לכל אורכו, המידה של קוטר המקדח הולכת וקטנה לכיוון הקנה של המקדח ב-0.02-0.08 מ"מ על אורך של 100 מ"מ.

**2.2.3.2 הנחיות להשחזת מקדח ספירלי**

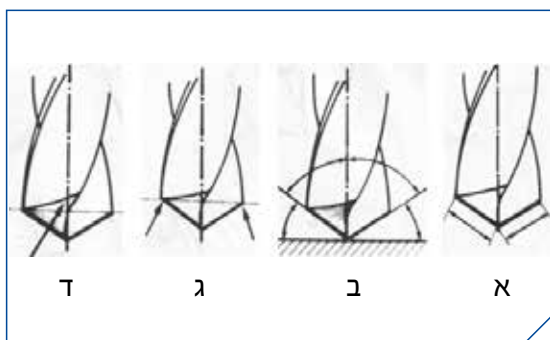
את החוד של המקדח הספירלי משחזים בזווית בהתאם לנדרש. אם לא נקפיד על השחזה נכונה ולפי הזוויות הדרושות, תהיה לכך השפעה ישירה על דיוק המידה, טיב השטח המתקבל ואורך חיי הכלי (בלאי הכלי). לכן, חשוב מאוד להשחזת את המקדח בצורה נכונה ומדויקת, על מנת למנוע עיבוד קדח לא נכון.

אם נפלטים שני שבבים השווים בגודלם (איור 2.2.8), המקדח מושחז נכון. אם נפלט שבב אחד או שני שבבים לא שווים, המקדח מושחז לא נכון.

**בהשחזת המקדח** יש להקפיד על הדברים הבאים:

- אורך שווה של השפות החותכות (איור 2.2.12 א').
- זוויות שוות לשפות החותכות (איור 2.2.12 ב').

**איור 2.2.12: השחזה נכונה**

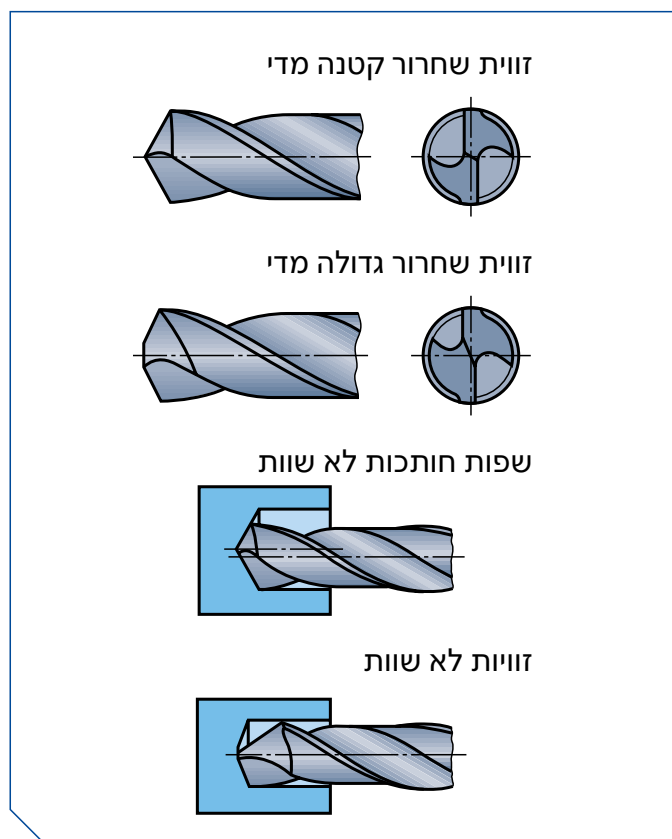


- פינות שוות בגובה (איור 2.2.12 ג').
  - שפת שחרור נמוכה משפה חותכת (איור 2.2.12 ד').
- תוצאות אפשריות לשגיאות בהשחתת המקדח מוצגות בטבלה 2.2.1.

**טבלה 2.2.1: שגיאות בהשחתה**

התופעה/הסיכון	השגיאה בהשחתה
<ul style="list-style-type: none"> <li>• המקדח עלול להישבר</li> <li>• הכוח הנדרש לקדמה גבוה</li> </ul>	זווית שחרור קטנה מדי
<ul style="list-style-type: none"> <li>• השפה החותכת נשברת, והמקדח נתפס בקדח</li> </ul>	זווית שחרור גדולה מדי
<ul style="list-style-type: none"> <li>• מתקבל קדח גדול מקוטר המקדח</li> <li>• השבבים אינם שווים</li> </ul>	שפות חותכות לא שוות בגודלן
<ul style="list-style-type: none"> <li>• בלאי מהיר של המקדח</li> <li>• נוצרת שחיקה מהירה של השפה החותכת</li> </ul>	זוויות של השפות החותכות לא שוות

**איור 2.2.13: השחתות לא נכונות**



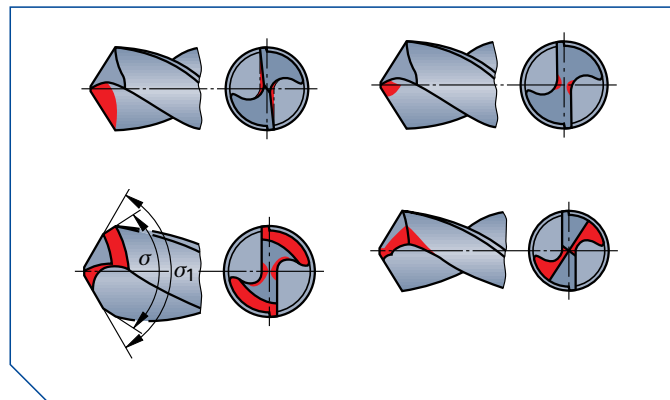
### 2.2.3.3 השחזות מיוחדות במקדחים ספירליים (איור 2.2.14)

השפה המרכזית (המרכז ה"מת") מקשה על החיתוך, כיוון שהיא מעלה את כוח הקדמה. ניתן להשחזי את המקדח בצורה מסוימת עבור יישומים מיוחדים, כדי להקל על חדירת המקדח.

#### צורות השחזה

- שפה מרכזית מוקטנת (איור 2.2.14 למעלה, מימין).
- שפה מרכזית מוקטנת עם שפה חותכת ראשית מתוקנת (איור 2.2.14, למעלה, משמאל).
- השחזת צלב (איור 2.2.14, למטה, מימין).
- השחזה מיוחדת עבור יצקת אפורה (איור 2.2.14, למטה, משמאל).

איור 2.2.14: צורות השחזה במקדחים ספירליים



איור 2.2.15: מדידת קוטר המקדח



#### בדיקת המקדח הספירלי

בדיקת קוטר המקדח תיעשה בשוליים של המקדח (איור 2.2.15).  
בדיקת זוויות ואורכי השפות החותכות תעשה באמצעות המדיד שבאיור 2.2.11.

### 2.2.3.4 סוגים של מקדחים ספירליים

#### 1. מקדחים ספירליים מפלדה מהירה (HSS)

מקדחים אלה מיועדים לשימוש בכל החומרים מלבד פלסטיק. טיב השטח המתקבל בקדח טוב (N7-N8), ויכולת ההשחזה החוזרת קלה.

איור 2.2.16: מקדח מפלדה מהירה HSS מצופה



אם בהרכב הפלדה המהירה יש תוספת של קובלט, המקדח עמיד יותר בבלאי ונשמרת קשיות גבוהה בחום. המקדחים ניתנים לציפוי, בעיקר בטיטניום ניטריד (צבע זהב).

אם המקדח מצופה, יש לו קשיות ועמידה בפני שחיקה, בלאי וחום (איור 2.2.16).

2. **מקדחים ספירליים ממתק"ש (וידיה)**

יש שלושה סוגים של מקדח ספירלי ממתק"ש:

א. מקדחים ספירליים בעלי שימות חיתוך המולחמות על גוף העשוי מפלדה מהירה (איור 2.2.17).

**איור 2.2.17: מקדח ספירלי עם קצה מתק"ש מולחם**



ב. מקדחים בעלי שימות מתק"ש מתחלפות (איור 2.2.18).

**איור 2.2.18: מקדח ספירלי עם קצה מתק"ש מתחלף**



ג. מקדחים העשויים ממתק"ש מלא (סוליד) (איור 2.2.19).

**איור 2.2.19: מקדח ספירלי סוליד (מתק"ש מלא)**



למקדחים בעלי שימות מתק"ש מתחלפות יש עמידות גבוהה יותר בבילאי, בשחיקה ובחום, ולכן אורך החיים שלהם גדול יותר בהשוואה למקדחי הפלדה המהירה HSS (גם בעת קידוח בחומרים קשים).

למקדחים העשויים ממתק"ש מלא (סוליד) יש קשיחות גבוהה, ולכן ניתן לקדוח בהם ללא מקדח מרכזי, במהירויות חיתוך גבוהות, ואף במשטחים משופעים של עד  $8^\circ$ . מקדח מסוג מתק"ש מלא מתאים לקידוח חומרים קשים במיוחד. דיוק הקדח במקדח מסוג זה מגיע עד סיבולת של IT8.

### 3. מקדחים ספירליים בעלי שלושה להבים, עם קירור דרך הכלי

יש מקדחים שבהם קיימים קדחים למעבר ישיר לנוזל הקירור (איור 2.2.20). במקדחים אלה, נוזל הקירור מגיע ישירות ובלחץ לאזור החיתוך (איור 2.2.21). קירור ישיר לאזור החיתוך משפר משמעותית את תהליך השיבוב ומקטין את בילאי המקדח. פתרון זה יעיל ביותר לקידוח עמוק ולקידוח בחומרים קשים, בהם לקירור יש משמעות גדולה. הדבר כמובן מותנה בשימוש במכונה ובמחזיק כלים מתאימים, שניתן להזרים דרכם את נוזל הקירור.

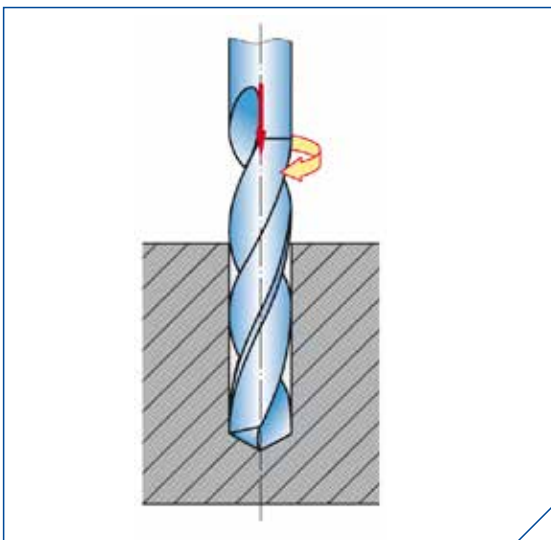
איור 2.2.21: קירור דרך הכלי



איור 2.2.20: מקדח ספירלי 3 להבים עם קירור דרך הכלי



איור 2.2.22: תנועות בקידוח במקדחה ובכרסומת



### 2.2.3.5 תנאי שיבוב בקידוח

#### תנועת החיתוך

**בקידוח במקדחה ובכרסומת**, המקדח מסתובב והוא זה שמבצע תנועת חיתוך סיבובית (איור 2.2.22).

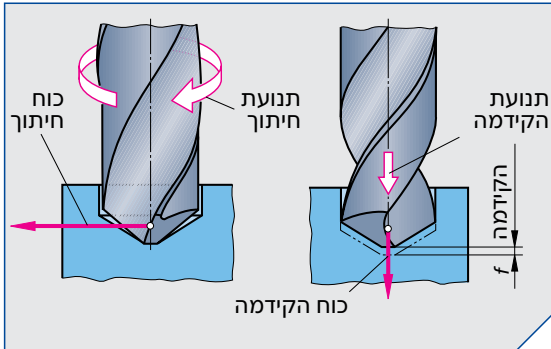
**במחרטה**, העובד מסתובב והוא המבצע את תנועת החיתוך הסיבובית (איור 2.2.23).

#### תנועת הקדמה Vf

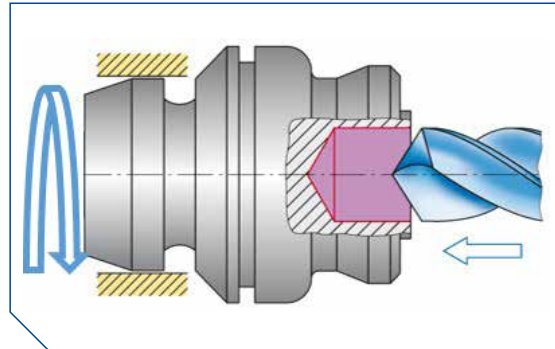
תנועת הקדמה במקדח מתרחשת בקו ישר ובכיוון הציר המרכזי של המקדח (איור 2.2.24).

השפות החותכות של הכלי חודרות לעובד על ידי כוח הקדמה. הקדמה במקדח נתונה במ"מ לסיבוב  $Vf \text{ m}^3/\text{m}/\text{rev}$ .

איור 2.2.24: כוחות ותנועות בזמן הקידוח



איור 2.2.23: תנועות בקידוח במחרטה



**ההיגש ap**

ההיגש נקבע לפי קוטר המקדח במ"מ (לא מתייחסים לזווית החוד הגורמת להיגש לגדול). כשקודחים בקדח קיים על מנת להגדיל אותו, ההיגש יהיה הקוטר של המקדח פחות הקוטר של הקדח הקיים לחלק ל-2.

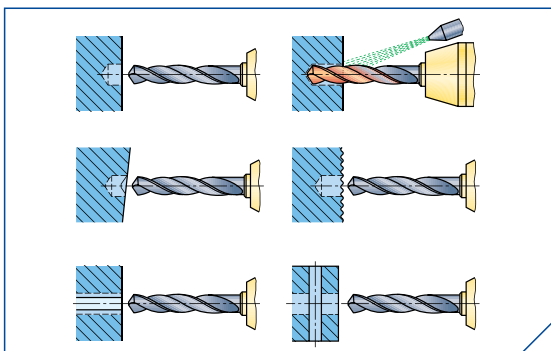
לדוגמה: קדח קיים בקוטר 20 מגדילים לקוטר 30, ההיגש יהיה:

$$\text{מ"מ} = \frac{30 - 20}{2} = 5 \text{ ההיגש}$$

**מהירות החיתוך**

מהירות החיתוך  $V_c$  במקדח תלויה בסוג החומר ממנו מיוצר המקדח (HSS, מתק"ש, עם ציפוי) ובחומר המעובד (פלדות, מתכות צבעוניות, חומרים פלסטיים וכדומה). למהירות החיתוך יש השפעה מרכזית על אורך חיי המקדח. ניתן למצוא אותה בטבלאות של יצרן הכלים (חישובים של תנאי השיבוב בקידוח ראו בפרק 2.1 תנאי שיבוב).

איור 2.2.25: מצבי קידוח



**תנאי קידוח/מצבי קידוח**

תהליך הקידוח מושפע מתנאי המשטח עליו רוצים לבצע את הקידוח (איור 2.2.25). לא בכל מצב ניתן לקדוח ישירות על משטח העובד. להלן תנאי משטח מיטביים לקידוח:

- כשהמשטח ישר ויש קירור טוב (איור 2.2.25 למעלה) אפשר לעבוד תחת תנאי השיבוב הרגילים, המופיעים בטבלאות יצרן הכלים.

- כשהמשטח לא אחיד (איור 2.2.25 באמצע מימין) או בשיפוע של עד  $20^{\circ}$  (איור 2.2.25 באמצע משמאל), יש להקטין את הקדמה עד שהמקדח קודח בקוטרו המלא ויוצאים שני שבבים מתעלות המקדח. אפשרות נוספת היא ליישר את המשטחים בכרסום ורק אחר כך לקדוח.
- כשקודחים קדח שבניצב לו קיים כבר קדח (איור 2.2.25 למטה מימין) או כשקודחים בקדח קיים לצורך הרחבה (איור 2.2.25 למטה משמאל), יש להקטין את הקדמה ואת מהירות החיתוך.
- טבלה 2.2.2 מציגה את גודל זוויות המקדח וסוג נוזל החיתוך לפי חומר העובד.

**טבלה 2.2.2: נתוני קידוח בחומרים שונים**

חומר העובד	זווית החוד	זווית הפיתול	נוזל החיתוך
<b>יצקת</b>	$118^{\circ}$	$30^{\circ}$	יבש/אוויר דחוס
<b>פלדה</b>	$118^{\circ}$	$30^{\circ}$	שמן חיתוך/אמולסיה
<b>אלומיניום קשה</b>	$140^{\circ}$	$40^{\circ}$	נפט/אמולסיה
<b>פליז</b>	$130^{\circ}$	$32^{\circ}$	יבש
<b>נחושת</b>	$120^{\circ}$	$40^{\circ}$	שמן חיתוך/אמולסיה
<b>פלדת מנגן</b>	$150^{\circ}$	$40^{\circ}$	נפט/אמולסיה

**איור 2.2.26: מקדח קוני**

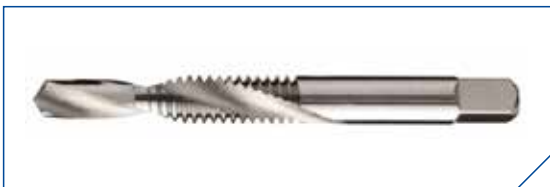


**2.2.3.6 מקדחים מיוחדים**

**מקדח קוני**

יש מקדחים קוניים (לא לצורך קידוח קוני) שבהם ניתן לבצע קדחים במידות שונות (איור 2.2.26). מקדחים אלה מיועדים בעיקר לקידוח בפחים דקים ובחומרים רכים. ככל שנחדור לעומק נקבל קוטר גדול יותר.

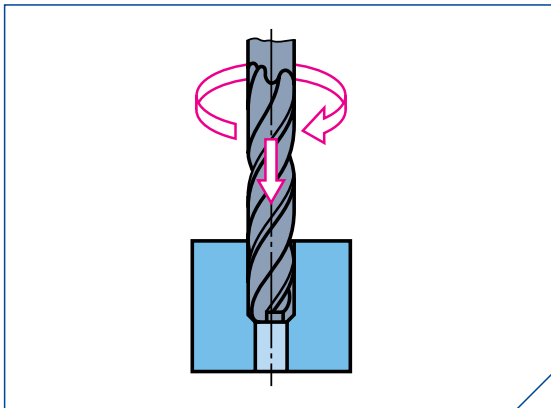
**איור 2.2.27: מקדח עם מברז**



**מקדח עם מברז (איור 2.2.27)**

מקדח עם מברז מאפשר קידוח ותברוז בכלי אחד. קוטר המקדח מתאים לקוטר הפנימי של התבריג.

איור 2.2.28: מקדח הגדלה HSS



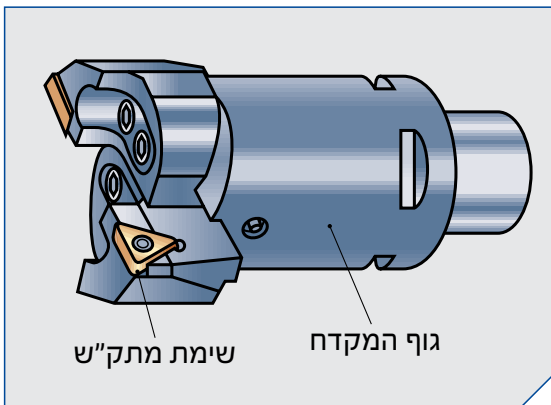
**מקדח/קידוח הגדלה (איור 2.2.28)**

קידוח הגדלה הוא תהליך קידוח לשם הגדלת קדחים קיימים, קדחים יצוקים או מנוקבים. מקדח הגדלה משמש בעיקר להגדלת קדחים בקטרים גדולים.

**מבנה מקדח הגדלה HSS**

- המקדח הוא בעל שפה אחת עד ארבע שפות חותכות.
- קוטר פאזת החיתוך (קונוס הכניסה) הוא במידה המתאימה לכך שקוטר הקדח הקיים חייב להיות לפחות 70% מהקוטר הסופי.
- מידת קוטר ההרחבה קבועה.
- תנאי השיבוב נבחרים כמו למקדחים מפלדה מהירה HSS.

איור 2.2.29: מקדח הגדלה שימות מתק"ש



**מבנה מקדח הגדלה שימות מתק"ש**

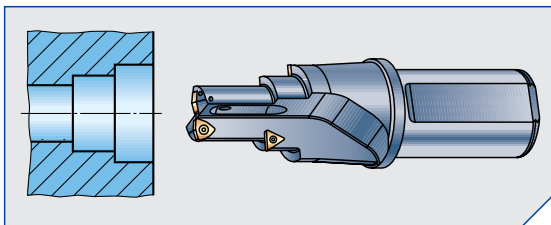
- המקדח להגדלה עם שימות מתק"ש מתחלפות מיועד להרחיב קדח קיים לקוטר גדול יותר (איור 2.2.29). המקדח בנוי מגוף (כמו כרסום) עליו מורכבים שימות מתק"ש מתחלפות.

**מקדח מדורג (איור 2.2.30)**

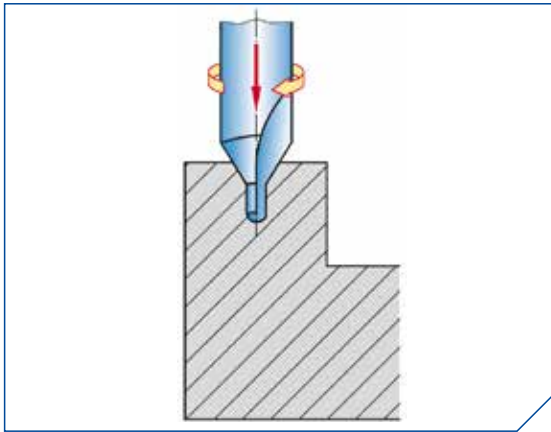
זהו כלי ייחודי שמותאם לעיבוד צורה נתונה במידות נתונות. כאשר נדרשת כמות גדולה של חלקים בייצור סדרתי או המוני, יש לשקול הכנת מקדח ייחודי.

מבנה המקדח: על גוף המקדח מחוברות שימות מתק"ש, ובכל מדרגה שתי שימות מתק"ש. המקדח מבצע קדח מודרג בשלב אחד ולעיתים אין צורך בעיבוד נוסף.

איור 2.2.30: מקדח מדורג



איור 2.2.31: מקדח מרכזי (מרכז)



מקדח מרכזי (איור 2.2.31)

1. הכנת קדחים מרכזיים משני צדי העובד, המתאימים לעוקץ של מכונת העיבוד לצורך דפינה בין עוקצים.
2. ביצוע קידוח מקדים לטובת דיוק מיקום הקדח המיועד.

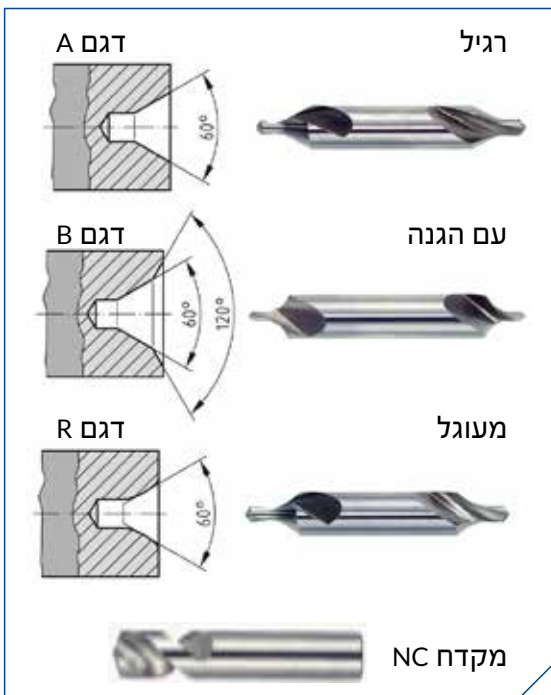
קדחים מרכזיים מתאימים לקונוס של העוקץ ומאפשרים לתמוך עובד ארוך על ידי עוקץ שנכנס

לקדח המרכזי בעובד. בנוסף, ניתן לבצע עיבוד בדפינה בין עוקצים (לרוב בעבודות גמר בחריטה ובהשחזה). היתרון של דפינה בין עוקצים הוא בכך שמרכזיות העובד נשמרת גם לאחר שנוציא את העובד מהדפינה ונדפון אותו שוב.

ניתן להשתמש במקדח מרכזי כהכנה לקידוח קדח במקדח רגיל, על מנת לדייק את מיקום הקדח המיועד. מקדח מרכזי מאופיין בקשיחות רבה (אינו מתכופף בשעת החדירה לעובד) ולכן הוא משמש גם לביצוע הקידוח המקדים.

מקדחים מרכזיים מיוצרים בזווית חוד של  $60^\circ$  או  $120^\circ$ . כיוון שקיימים גדלים שונים של מקדחי מרכזי, צריך תמיד להתאים את קוטר המקדח לקוטר העובד (ראו טבלה בפרק של אמצעי דפינה בחריטה, ספר 3 פרק 2).

איור 2.2.32: סוגים של מקדחים מרכזיים



סוגי מקדחים מרכזיים (איור 2.2.32)

**דגם A**

מקדח מרכזי רגיל, המשמש בעיקר להכנת מיקום מדויק לקדח.

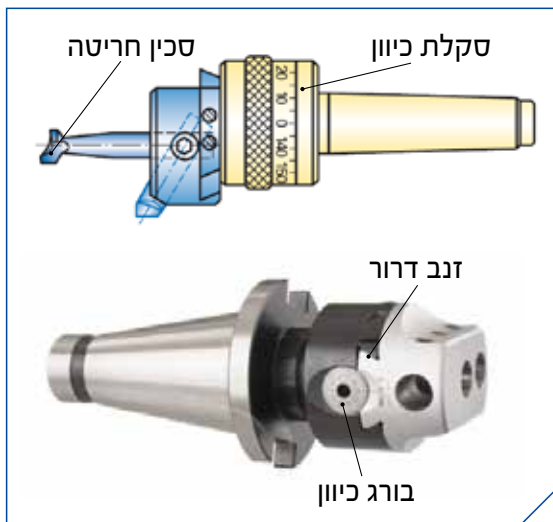
**דגם B**

מקדח מרכזי המכין את הקדח תוך הגנה מפני פגיעה. משמש בעיקר כאשר העובד עובר תהליכי עיבוד ורוצים להבטיח שהקדח המרכזי לא ייפגע.

**דגם R**

מקדח מרכזי היוצר רדיוס בקדח המרכזי. משמש לעיבוד קונוס (חרוט) באמצעות הזזת הרכב בחריטה או בהשחזה בין עוקצים.

**איור 2.2.33: ראש קידוח (חריטה)**



**איור 2.2.34: חריטת פאזה בבלוק מנוע עם ראש קידוח**



**מקדח NC**

משמש במכונות CNC (איור 2.2.32 למטה). מיוצר בזווית חוד של 90°-120° ויכול ליצור יחד עם המרכז גם את השקע (מדר-פאזה). לדוגמה, לייצור תברג או יצירת פינה לא חדה בקדח.

**ראש קידוח** (ראש חריטה) (איור 2.2.33) ראש הקידוח מיועד לבצע חריטה של קדח לדיוק גבוה, לאחר שהקדח כבר מוכן. כלי זה משמש לחריטה של קדחים בכרסומת.

**תהליך השימוש והכנת ראש הקידוח לעבודה**

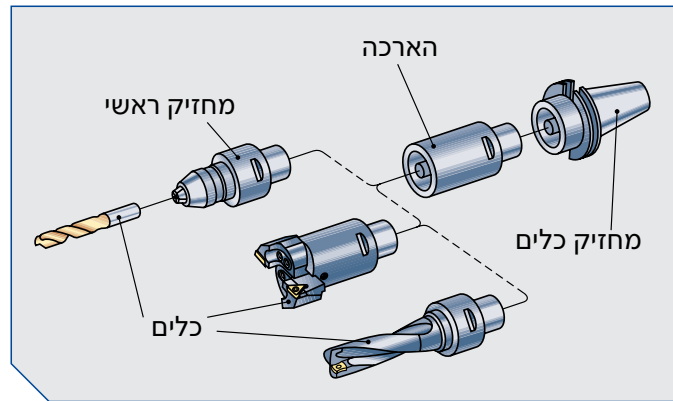
- מרכיבים על ראש קידוח סכין חריטה בעלת קנה עגול (ממתק"ש או מפלדה מהירה), במצבים שונים.
- הסכין ניתנת לתזוזה מהמרכז-החוצה ופנימה (ראו "מסילות זנב דרור", איור 2.2.33 למטה).
- ככל שנתרחק עם הכלי (סכין החריטה) מהמרכז, נקבל קדח יותר גדול.
- בראש הקידוח קבוע בורג אלן, באמצעותו ניתן להזיז ולכוון את סכין החריטה לקוטר הקידוח הנדרש (קיימת סקלה עם נוניוס המאפשרת דיוק ההזזה של הסכין בטווח של מיקרונים).
- לאחר הזזת הסכין נועלים אותה כדי שלא תזוז.
- את התנועה של הזזת הסכין יש לבצע בכל שבב, במידה הרצויה לו.
- יש לזכור שמדובר בחריטה, ולכן תזוזה של 0.1 מ"מ תגדיל את הקדח ב-0.2 מ"מ.
- יש ראשי קידוח אוטומטיים המסוגלים לבצע גם חריטה של מצח באופן אוטומטי. כך, הסכין זזה תוך כדי סיבוב הכלי בצורה אופקית, בקדמה נתונה.
- בכלי זה משתמשים בעיקר בעיבוד קדחים בכרסומת, בעיקר בחלקים גדולים, כבדים ומסובכים לדפינה. למשל בלוק של מנוע שיש לחרוט בו את הצילינדר (באיור 2.2.34 מתואר ביצוע מדר, פאזה, בצילינדר של מנוע).

**מערכת כלי קידוח (איור 2.2.35)**

המערכת מורכבת ממחזיק הכלים המחובר למכונת העיבוד בהתאם לקדח שבכוש המכונה (במקרה שבאיור, מתואר מחזיק כלים עם קונוס ISO, שמאפשר לדפון בו כלי קידוח שונים, כאשר ההחלפה נעשית במהירות ובדיוק רבים).

ניתן לדפון את הכלים המתוארים באיור ורבים אחרים לתוך מחזיק הכלים או להארכה. במידת הצורך מוסיפים הארכה (לא חובה).

**איור 2.2.35: מערכת כלי קידוח**



בעיות בפעולות הקידוח ופתרון מתוארים בטבלה 2.2.3. בחלק התחתון של הטבלה מתוארים בעיות ופתרון בשימוש במקדחי מתק"ש.

**טבלה 2.2.3: בעיות ופתרון בקידוח**

מס'	הבעיה	פתרונות
1	בלאי חזק בשפות חותכות ראשיות.	לבדוק נוזל חיתוך מתאים ולהגביר אספקתו.
2	בלאי חזק בפאזות.	<ul style="list-style-type: none"> <li>לבדוק נוזל חיתוך.</li> <li>לשפר יציבות כלי והעובד.</li> </ul>
3	בלאי בקצה השפות חותכות.	<ul style="list-style-type: none"> <li>להוריד קידמה.</li> <li>לבדוק נוזל חיתוך.</li> <li>לשפר יציבות כלי והעובד.</li> </ul>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>חוד המקדח הרוס.</li> <li>שבר המקדח.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>לבדוק מהירות חיתוך.</li> <li>לבדוק נוזל חיתוך.</li> <li>לשפר יציבות כלי והעובד.</li> </ul>
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>קוטר הקדח גדול מידי.</li> <li>שבר המקדח.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>לבדוק אורך שפות חותכות.</li> <li>להעלות מהירות חיתוך.</li> <li>לשפר יציבות כלי והעובד.</li> </ul>
6	חסימת תעלות שבבים.	<ul style="list-style-type: none"> <li>להעלות מהירות חיתוך.</li> <li>להגביר אספקת חומר קירור והסיכה.</li> <li>להוציא את המקדח מהקדח.</li> </ul>
7	תנודות, רטט.	לשפר יציבות כלי והעובד.

מס'	הבעיה	פתרונות
8	סטייה מצורת הקדח.	<ul style="list-style-type: none"> <li>לבדוק זוויות המקדח.</li> <li>לשפר יציבות כלי והעובד.</li> </ul>
9	אורך חיי כלי קצר.	<ul style="list-style-type: none"> <li>להקטין מהירות חיתוך.</li> <li>לבדוק נוזל חיתוך מתאים ולהגביר אספקתו.</li> <li>לשפר יציבות כלי והעובד.</li> </ul>
<b>בעיות בלאי במקדחי מתק"ש</b>		
10	היווצרות שפות חותכות נבנות.	<ul style="list-style-type: none"> <li>מהירות חיתוך נמוכה.</li> <li>להגביר אספקת חומר קירור והסיכה.</li> </ul>
11	התפוררות בשפה החותכת.	<ul style="list-style-type: none"> <li>חיתוך מקוטע,</li> <li>להגביר אספקת חומר קירור והסיכה.</li> <li>חומר העובד פריך.</li> </ul>
12	בלאי בקצה השפה החותכת ובפאזה.	<ul style="list-style-type: none"> <li>מהירות חיתוך גבוהה.</li> <li>קידמה נמוכה מידי.</li> <li>חומר כלי לא מתאים.</li> <li>להגביר אספקת חומר קירור והסיכה.</li> </ul>
13	בלאי בפאזות.	<ul style="list-style-type: none"> <li>להגביר אספקת חומר קירור והסיכה.</li> <li>מהירות חיתוך גבוהה.</li> <li>העובד קשה מידי.</li> </ul>
14	בלאי בשפה המרכזית	<ul style="list-style-type: none"> <li>מהירות חיתוך נמוכה.</li> <li>קידמה גבוהה.</li> <li>רוחב השפה המרכזית קטן.</li> </ul>

### קידוח עומק

בקידוח עמוק אנו עלולים להתקל בבעיות הבאות:

- יציבות וחוזק המקדח הארוך מול קוטרו.
- הוצאת השבבים מתוך הקדח.
- קירור המקדח באזור החיתוך.

הכלים המובאים המוגדרים לקידוח עומק מבצעים את הקידוח בחומר מלא, כאשר עומק הקדח הוא גדול מ-3D.

#### איור 2.2.36: מקדח ספירלי לקדחים עמוקים



#### מקדחים ספירליים לקדחים עמוקים (איור 2.2.36)

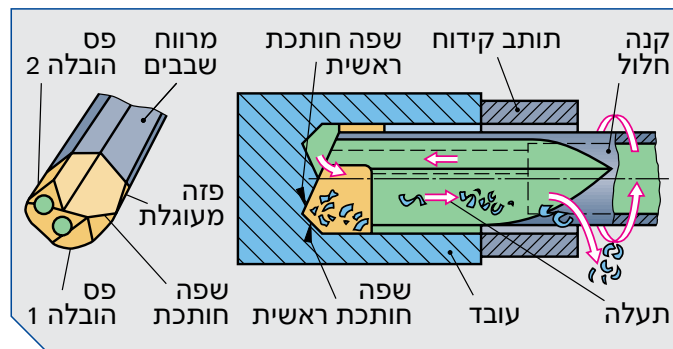
המקדח הספירלי לקידוח עמוק מיוצר מפלדה מהירה HSS, ומתאים במיוחד לקידוח עמוק עד קוטר 30.Ø

בעזרת מקדחים אלה והמבנה שלהם, משיגים את היציבות הנדרשת במהלך הקידוח בשל חוזק הליבה של המקדח, ואת היכולת לסלק את השבבים מהקדח, בשל המרווחים הגדולים בתעלות המקדח. בקידוח בפלדה, עומקי הקידוח עשויים להיות עד 15D (עומק של 15 פעמים קוטר המקדח) וביציקה אפורה עד 25D, ללא עזרה בהוצאת השבבים. בחומרים המייצרים שבבים קצרים, כמו למשל יצקת אפורה ועומקי קידוח עד 10D, משתמשים במקדחי מתק"ש בעלי תעלות שבבים ישרות.

**תהליך קידוח חד-שפתי (איור 2.2.37)**

בתהליך קידוח עומק חד-שפתי, קודחים אל תוך החומר המלא באמצעות ראש קידוח ממתק"ש בעל שפה חותכת אחת, ולרוב שני פסי הובלה. ראש הקידוח יושב על קנה חלול, שלתוכו יוצרה תעלה חיצונית קטנה בערגול. בתחילת הקידוח, מקדח העומק ממורכז בתוך תותב קידוח, על ידי פסי ההובלה שנמצאים על הקנה. לאחר מכן הוא ממרכז את עצמו בתוך הקדח. נוזל הקירור והסיכה יוצא בלחץ גבוה מחוד המקדח ושוטף את השבבים דרך התעלה שבקנה אל מחוץ לקדח.

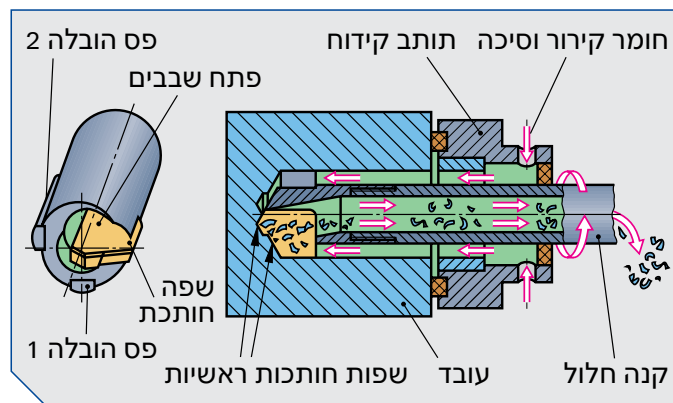
**איור 2.2.37: מקדח עומק חד-שפתי**



**שיטת קידוח BTA (איור 2.2.38)**

בשיטת הקידוח BTA (Boring end Trepanning Association) נקדחים קדחים מקוטר -  $\varnothing 6$  ועד  $\varnothing 1500$  אל תוך חומר מלא. נוזל הקירור והסיכה מובל מבחוץ לאורך הקנה פנימה ויוצא עם השבבים מתוך הקנה.

**איור 2.2.38: שיטת קידוח BTA**



### יתרונות טכנולוגיית קידוח עמוק

- טיב פני שטח גבוה.
- קצב הסרת חומר גבוה.
- קירור וסיכה במקום החיתוך.
- סטיית קדח מינימלית.
- פחות גרדים בקדחים ניצבים.

### בחירת מקדח

בחירת המקדח תלויה בכמה גורמים:

- דרישות הקדח
- איכות
- כמות (כלכליות היצור)
- תנאי הקידוח
- סוג המכונה
- הספק המכונה
- מצב המכונה

### שיקולים בבחירת הכלי

1. דגם המקדח צריך להתאים לקוטר, עומק הקידוח והיישום הנדרשים.
2. דגם המקדח צריך להתאים לטיב השטח ולדיוק העיבוד (סיבולת נתונה), בהתאם לדרישות שבשרטוט.
3. סוג החומר ממנו מיוצר המקדח צריך להתאים ויכול לקדוח את חומר העובד.
4. בשימוש במקדחי מתק"ש - סוג חומר השימה צריך להתאים לסוג חומר העובד ולסוג הכלי (גיאומטריית השימה וסוג הדפינה).
5. סוג הדפינה של המקדח במכונה צריך להתאים לנדרש (לדוגמה: קנה גלילי בתפסנית הידראולית).

## 2.2.4 שקענים

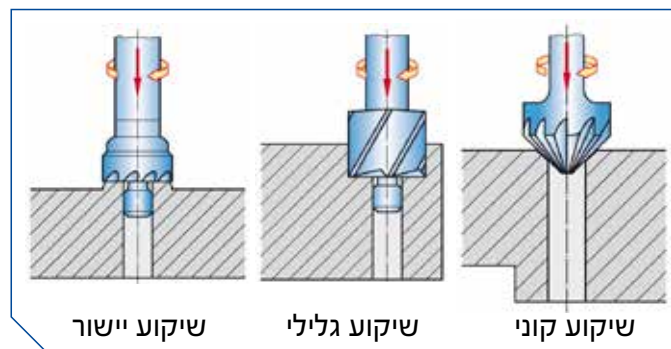
### 2.2.4.1 הקדמה

השקען הוא כלי חיתוך סיבובי בעל להב אחד או יותר. בדומה לכרסום, השקען מיועד לעבד קצוות צורתיים של קדחים קיימים (איור 2.2.39) באופנים הבאים:

- שיקוע קוני (איור 2.2.39 מימין)
- שיקוע גלילי (איור 2.2.39 באמצע)
- שיקוע יישור (איור 2.2.39 משמאל)

בהשוואה למקדחים, יש לכלי השיקוע זוויות שחרור קטנה יותר ומשטח שחרור גדול יותר. הדבר גורם לשקען להישען על שטח החיתוך ולמנוע סימני רעידות על המשטח המעובד. השקענים מיוצרים מפלדה מהירה ומתק"ש מולחם או שימות מתחלפות.

איור 2.2.39: סוגי שקענים



### 2.2.4.2 שימושי השקענים

- השקענים מיועדים לבצע כמה פעולות וצורות בקצה הקדח, כמו:
- הורדת קנובת (גרדים).
  - הכנת מדר (פאזה) בקדח קיים לייצור של תברג פנימי.
  - הכנת שקע לראשי ברגים (קוני וישר).
  - ישור שטח בניצב לקדח הקיים.

#### 1. הורדת קנובת

- לאחר קידוח במקדח, המקדח יוצר קנובת (גרד).
- את הקנובת חשוב להסיר כדי למנוע פגיעה או הפרעה בהצמדת חלקים בהרכבה.
- את הורדת הקנובת מהקדחים יש לבצע גם אם לא מופיעה בשרטוט הנחייה לכך.
- את הקנובת יש להוריד בכל חלקי העובד, גם בפינות חדות ולא רק בקדחים.
- הורדת קנובת בקדח יכולה להיעשות בשקען או באמצעות מגרד מסתובב.

**2. הכנת מדר בקדח קיים לביצוע תברג פנימי**

- א. הכרחי שבקצה הקדח שמבצעים בו תברג פנימי תהיה פאזה, משתי סיבות:
  - א. להקל על כניסת המברז בתהליך התברוז.
  - ב. להגן על השן הראשונה של התברג מפני פגיעה במהלך השימוש במוצר.

**איור 2.2.40: סוגי ראשי ברגים**



**3. הכנת שקע לראשי ברגים**

- א. סוגים של ראשי ברגים (איור 2.2.40) המשמשים להידוק חלקים. קיימת דרישה לברגים שיש לשקע בתוך החומר, כדי שראש הבורג לא יבלוט מפני השטח.

**סוגים של ראשי הברגים**

- א. ברגים שנדרש עבורם שקע קוני (איור 2.2.40 מימין).
- ב. ברגים שנדרש לבצע עבורם שקע ישר מדרגה (איור 2.2.40 משמאל).

**4. יישור שטח בניצב לקדח קיים**

- א. בגופים יצוקים בהם יש קדחים לחיבור חלקים באמצעות ברגים לא שקועים. דרוש לעבד את המשטח שראש הבורג נלחץ עליו (איור 2.2.39 משמאל).

**2.2.4.3 סוגי שקענים**

קיימים סוגים שונים של שקענים:

- שקען קוני
- שקען שיקוע גלילי
- שקען אחורי
- שקען ליישור

**1. שקען קוני (איור 2.2.41)**

משמש למטרות הבאות:

- בכדי לעבד שקעים קוניים בקדחים
- בכדי ליצר מדר (פאזה) בתחילת הקדח הקיים
- בכדי להכין שקעים למסמרות קוניים
- עבור שקעים לראשי ברגים קוניים

זווית הקודקוד של השקען נקבעת לפי תקנים של ראשי ברגים ומסמרות. למשל:

- 120° עבור שקע למסמרות פח.
- 90° עבור שקע לברגים קוניים.

- 75° עבור ראשי מסמרות.
- 60° להסרת קנובת (גרדים).

**איור 2.2.41: סוגי שקענים קוניים**



**איור 2.2.42: גדלים שונים של שקענים**



**סוגי שקענים קוניים (איור 2.2.41)**

שני סוגים של שקענים קוניים:

1. שקענים רבי שיניים.
2. שקענים בעלי שן אחת.

שקענים משני הסוגים מיועדים לביצוע מדר בקצה של קדח, ולביצוע שקע של ראש בורג קוני או מסמרה קונית.

במהלך ביצוע שקע עבור בורג/מסמרה שקועים, יש לבדוק שראש הבורג/מסמרה נמצאים 0.5 מ"מ נמוך יותר מפני המשטח.

בשקען רב שיניים חשוב להקפיד להציב את השקען במרכז הקדח לפני ביצוע השקע. אם לא כן, השקע שיתקבל לא יהיה סימטרי לקדח.

שקען בעל שן אחת מקטין את תנאי השיבוב (הקדמה) בהשוואה לשקען הרב שיניים, אולם יתרונו הוא בכך שהוא ממרכז את עצמו והשקע יוצא תמיד מרכזי.

קוטר השקע שאפשר לבצע בשקען מסוים תלוי בגודל השקען (הקוטר הגדול).  
מגוון הגדלים של השקענים מפורט באיור 2.2.42.

**2. שקען שיקוע גלילי**

השקען הגלילי מיועד לקדוח שקעים גליליים (איור 2.2.43 מימין) עבור ברגים בעלי ראש גלילי כמו בורגי אלן (איור 2.2.44).

באיור 2.2.44 מימין מתואר בורג שראשו שקוע.

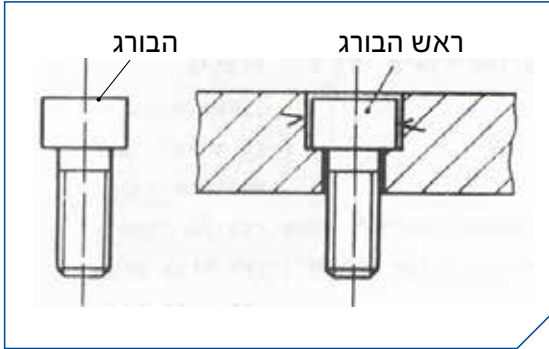
יש לבצע את השקע תמיד בעומק בו ראש הבורג יהיה נמוך מפני המשטח של העובד, וקוטרו של השקע יהיה גדול מהקוטר של ראש הבורג.

לשקען השיקוע הגלילי יש מוביל (איור 2.2.43) בקוטר הקדח, כדי להבטיח מרכזיות השקע ולייצב את השקען. המוביל יכול להתחלף בהתאם לקוטר הקדח. יש בורג הידוק של המוביל אל השקען.

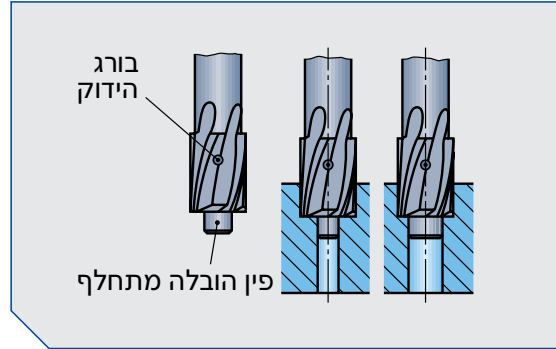
אין להשתמש במוביל שקוטרו קטן מהקדח. הדבר יגרום לכך שהשקען לא יסתובב באופן

מרכזי (יזרוק), דבר שיגרום לרעידות ועלול לשבור את השקען.

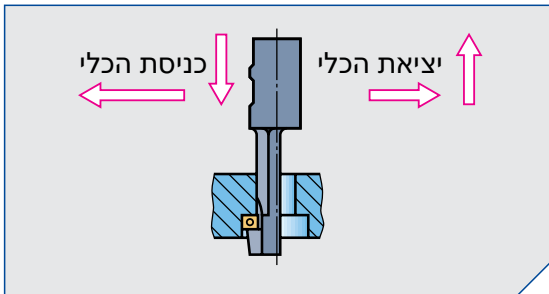
איור 2.2.44: שיקוע ראש של בורג אלן



איור 2.2.43: שקען שיקוע גלילי בעל פין הובלה מתחלף



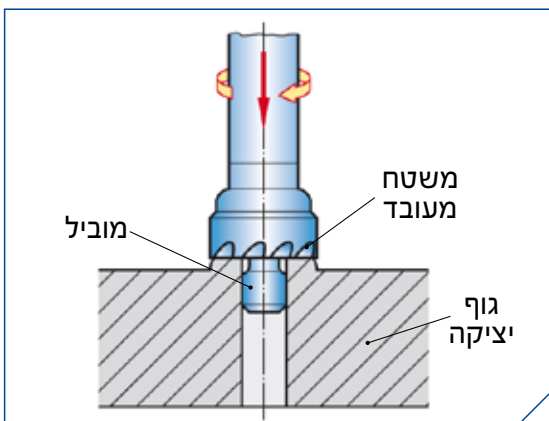
איור 2.2.45: שיקוע אחורי עם שימת מתק"ש



3. שקען אחורי

לפעמים העובד דפון בצורה כזו שהשקע הנדרש נמצא בתחתית העובד, כמתואר באיור 2.2.45. במצב כזה, לא ניתן או לא נוח להפוך את העובד לצורך ביצוע השקע מלמעלה, לכן נשתמש בשקען אחורי. אפשר להשתמש גם בראש חריטה עם סכין חריטה, כאשר נכניס את השקען לקדח ונזיז את ראש החריטה לקוטר הנדרש.

איור 2.2.46: שקען ליישור



4. שקען ליישור

השקען ליישור (איור 2.2.46) מיועד ליישר שטח עליון של קדח שיהיה ישר ובניצב לקדח המיועד להכנסת בורג, לצורך הידוק של כמה חלקים. הוא שימושי בעיקר בגופים המיוצרים ביציקה, כאשר השטח בתהליך היציקה אינו מתקבל ישר. גם לשקען זה יש מוביל המותאם לקוטר הקדח.

**תנאי השיבוב בעיבוד עם שקענים**

- מהירות החיתוך שווה או קטנה מאשר בקידוח, כאשר חישוב הסל"ד יקבע על פי הקוטר הגדול של השקע המבוצע.
- **הקדמה** תהיה קטנה ב-50% מאשר בקידוח.

**בעיות בפעולת השיקוע ופתרון**

כאשר נוצרת בעיה במהלך ייצור השיקוע ולא מתקבלת התוצאה הנדרשת, מומלץ לפעול לפתרון הבעיה על פי ההנחיות שבטבלה 2.2.4.

**טבלה 2.2.4: בעיות בפעולת השיקוע ופתרון**

מס'	הבעיה	פתרונות
1	<b>פני שטח גרועים.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• הגדל מהירות חיתוך.</li> <li>• הקטן קידמה.</li> </ul>
2	<b>קדח לא עגול.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• הקטן קידמה.</li> <li>• בדוק חופש צירי וסיבובי בכוש המכונה.</li> <li>• בדוק השחזת שקען.</li> </ul>
3	<b>התהוות גומות זעירות שקעים ומגרעים (גימום) בשפות חותכות.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• הקטן קידמה.</li> </ul>
4	<b>היווצרות שפה נבנית.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• הגדל מהירות חיתוך.</li> </ul>
5	<b>בלאי חזק בשפה החותכת הראשית.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• הקטן מהירות חיתוך.</li> </ul>
6	<b>רעידות.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• הקטן מהירות חיתוך.</li> <li>• הגדל קידמה.</li> </ul>
7	<b>אי מרכזיות בין הקדח לשקע.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• מרכז את השקען למרכז הקדח.</li> <li>• התאם את פין הובלה לקוטר הקדח.</li> </ul>

## 2.2.5 מקדדים

### 2.2.5.1 הקדמה

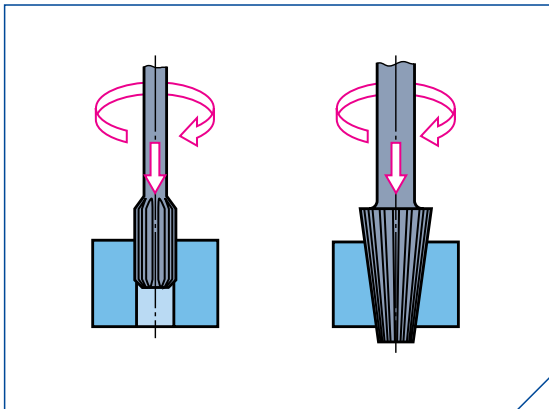
מקדד הוא כלי שיבוב סיבובי, רב להבים, סוגי מקדדים מתוארים באיור 2.2.47.

איור 2.2.47: סוגי מקדדים

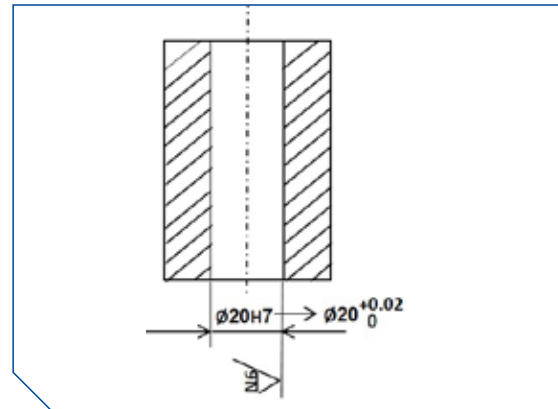


תפקיד המקדד הוא לעבד קדחים בדרגת דיוק גבוהה (אלפיות המ"מ) ובטיב שטח גבוה (N3 - N6). באיור 2.2.48 מתוארת בשרטוט דרישה לדיוק של 0.02 מ"מ וטיב שטח N6, אותם ניתן לקבל בעיבוד במקדד. במקדדים ניתן לבצע קדח גלילי (איור 2.2.49 משמאל) או קדח קוני (איור 2.2.49 מימין).

איור 2.2.49: קידוד גלילי וקידוד קוני



איור 2.2.48: הדיוק המתקבל בעיבוד במקדד

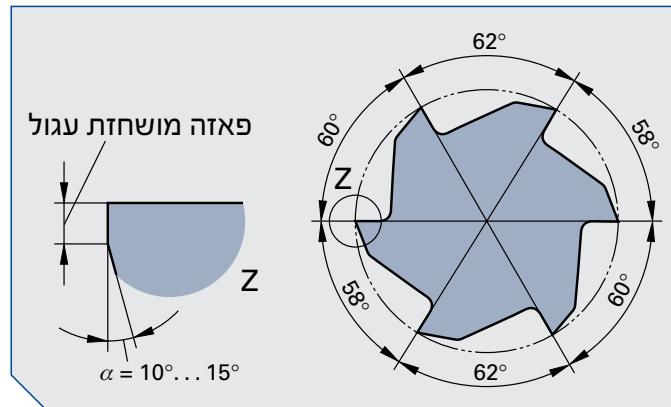


### 2.2.5.2 מבנה המקדד

המקדדים מיוצרים לרוב במידות ובסיבולות בשיטת הקדח האחיד (H..) (ראו הסבר בפרק סיבולות ואפיציות, ספר 4 פרק 3). הם מיוצרים מפלדה מהירה, ממתק"ש מלא, או מיהלום רב גבישי, ורבים מהם בעלי אספקת חומר קירור וסיכה פנימית.

מקדדים עשויים בדרך כלל ממספר שיניים זוגי, ובהם חלוקת השיניים אינה שווה, וחוזרת על עצמה אחרי כל חצי היקף. כלומר, ניתן למדוד את קוטר המקדד על שתי שיניים נגדיות (איור 2.2.50). הסיבה לכך היא שחלוקה בצורה כזאת מונעת תנודות וסימני רעידות ומבטיחה עיגוליות של הקדח.

**איור 2.2.50: חלוקת השיניים במקדד**



**2.2.5.3 פעולת הקידוד**

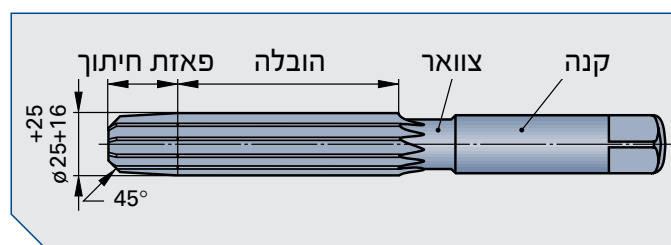
פעולת הקידוד מתבצעת לאחר ביצוע של קידוח בקוטר קטן מזה של המקדד, כדי להשאיר תוספת עיבוד לצורך הקידוד. תוספת זו עבור הקידוד תלויה בקוטר הקדח ובסוג המקדד (מקדד שינון ישר, מקדד ספירלי או מקדד קילוף), והיא נעה בתחום שבין 0.2-0.8 מ"מ (איור 2.2.58). התוספת לקידוד תיבחר כך שמצד אחד יתקבל עומק שיבוב מינימלי ומצד שני עיבוד של כל השטח, במקביל למניעת עומס יתר על המקדד בשל הורדת שבב גדול מידי.

**2.2.5.4 חלקי המקדד (איור 2.2.51)**

**1. קנה**

הקנה של המקדד יכול להיות גלילי (איור 2.2.52 למעלה) ונדפן בתפסנית קפיצית או בתפסנית קידוח כמו מקדח. לחלופין, קנה קוני (איור 2.2.52 למטה) שנדפן ישירות לכוש המכונה, או באמצעות מעברים מתאימים. למקדדים הידניים ולחלק ממקדדי המכונה יש בקצה ריבוע (איור 2.2.51), המאפשר דפינה בידית למברזים.

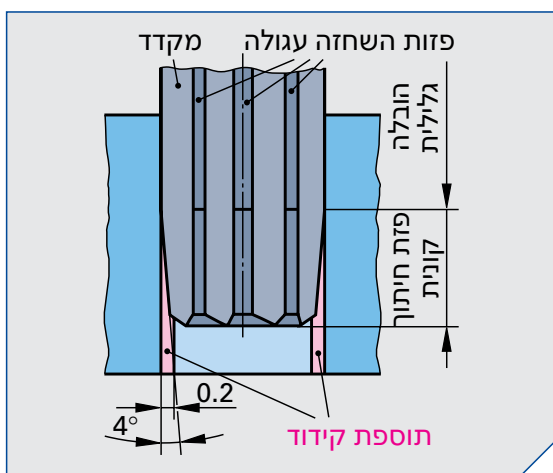
**איור 2.2.51: חלקי המקדד הידני**



**איור 2.2.52: סוגי קנה לדפינת המקדד**



**איור 2.2.53: מבנה המקדד**



**איור 2.2.54: סוגים של ספירלה במקדדים**



**2. צוואר**

הצוואר (איור 2.2.51) קטע גלילי ללא להבים בין הקטע החותך לקנה.

**3. הובלה**

קטע הובלה בקוטר הסופי של הקדח המבצע את ההחלקה של הקדח לדרגת דיוק טיב שטח גבוה ועיגוליות של הקדח.

**4. פאזת חיתוך**

עבודת השיבוב מבוצעת בעיקר על ידי פזת החיתוך של המקדד, בשעה שהשפות החותכות בהיקף יוצרות את דיוק המידה, דיוק הצורה הגיאומטרית (העיגוליות) ואת טיב פני השטח (איור 2.2.53).

**5. סוגי ספירלה במקדדים**

במקדדים ספירליים קיימות שתי אפשרויות, ספירלה ימנית וספירלה שמאלית. באיור (איור 2.2.54) מתואר מקדד ישר ומקדדים ספירליים לכיוונים שונים (ימניים ושמאליים).

**2.2.5.5 התנועות בקידוד**

תנועת החיתוך בקידוד היא סיבובית, של המקדד או של העובד, ותנועת הקדמה היא קווית, של המקדד או של העובד (איור 2.2.49). במקרים מיוחדים, בהם הספירלה היא ימנית, תנועת החיתוך היא נגד כיוון השעון.

**חשוב לזכור:** כיוון הסיבוב של המקדד נקבע לפי כיוון הספירלה שלו.

לרוב, כיוון העיבוד הוא עם כיוון השעון, אבל תמיד כיוון הסיבוב בהוצאת המקדד נשאר לאותו הכיוון שבו בוצע העיבוד.

במקדד ידני כדי להוציא את המקדד מהקדח המקודד, מושכים את המקדד כלפי מעלה תוך כדי סיבוב לכיוון העיבוד.

### 2.2.5.6 סוגי מקדדים

קיימים סוגי המקדדים הבאים:

- מקדדי מכונה
- מקדדים ידניים
- מקדדים מתכווננים
- מקדדים בעלי שפה חותכת אחת או שניים

#### 1. מקדדי מכונה

מקדדי מכונה (איור 2.2.54) הם מקדדים בעלי פזת חיתוך וקטעי הובלה קצרים יותר, מאחר שההובלה מבוצעת על ידי כוש המכונה. באמצעות מקדדי מכונה ניתן לקדד גם קדחים עיוורים. השיבוב העיקרי מבוצע על ידי קטע החיתוך הראשוני, שקוטרו מעט קטן מקוטרו של הקטע הראשי. את המקדד דופנים בכוש המכונה בהתאם לסוג הקנה - גלילי או קוני.

#### 2. מקדדים ידניים

במקדדים הידניים אורך פזת החיתוך הוא 1/4 מאורך השפות החותכות, כדי לאפשר הובלה מדויקת של המקדד בתוך הקדח. העיבוד במקדד ידני נעשה על ידי דפינתו בידיית למברזים.

#### איור 2.2.55: מקדד מתכוון



#### 3. מקדדים מתכווננים (איור 2.2.55)

המקדד המתכוון, בשונה ממקדד קבוע שבו המידה המתבצעת קבועה ואינה ניתנת לשינוי. במקדד מתכוון, להבי החיתוך ניתנים לכיוון ואפשר לבצע באותו המקדד כמה שבבים להגדלת קוטר הקדח עד למידה הרצויה בטווח. מוגבל בגודל המקדד. קיימים גדלים של מקדדים המותאמים לטווח מידות קדח.

המקדד בנוי מגוף, שסביבו כמה חריצים קוניים, לתוכם מוכנסים הלהבים. בצד אחד של הלהבים שיפוע קוני התואם את השיפוע שבחריצי הגוף המקדד. לכל אורכו של המקדד נמצא תבריג, עליו נעים שני אומים - אחד מכל צד של הלהבים. בקצה הלהבים החותכים יש קונוס הנכנס לקונוס נגדי שבתוך האום. כאשר נפתח אום אחד ונסגר אום שני, להבי המקדד נעים בתוך החריץ הקוני ומגדילים או מקטינים את המידה החיצונית של המקדד.

**איור 2.2.56: עיבוד במקדד מתכוונן**



מקדד מתכוונן מגיע עם מערכת המאפשרת לקדד שני קדחים על ציר אחד (איור 2.2.56). קיים שרזול עם קדח המותאם לקוטר גוף המקדח, ובחלקו החיצוני קונס המיועד לרכז את המקדד במרכז של שני הקדחים. לדוגמה, באיור 2.2.56 מתואר גוף בצורת צלב שמחבר גל הינע. לצורך קידוד גוף זה, מכניסים את המקדד לקדח הראשון, מלבישים את קונס המירכוז שמציב את המקדד במרכז הקדח השני (איור 2.2.56 למטה), ומבצעים את הקידוד של הקדח הראשון. הקונס מציב את המקדד במרכז ומבטיח שהקדחים יהיו מיושרים על אותו קו ציר.

**איור 2.2.57: מקדד עם שימות מתק"ש ופסי הובלה**

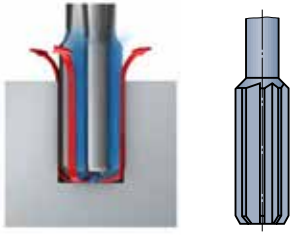
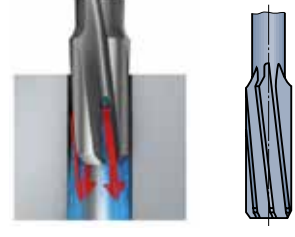

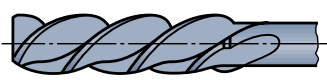


**ד. מקדדים בעלי שפה חותכת אחת או שתיים (איור 2.2.57)**

מקדדים בעלי שפה חותכת הם מקדדים בעלי שימות מתק"ש מתחלפות. הדפינה של השימות על גוף המקדד היא בדומה לדפינה של שימות בסכיני חריטה וכרסומים. במקדדים אלה יש פסי הובלה בהיקף המשמשים להובלת המקדד בתוך הקדח. השימות המתחלפות ופסי ההובלה עשויים מתק"ש.

2.2.5.7 סוגי מקדדים והשימושים בהם

טבלה 2.2.5: ריכוז סוגי מקדדים והשימוש בהם

איור	שימוש	שם המקדד
	<p>מיועד לקידוד קדחים עגולים שלמים ולא קטועים (ללא חריצים), עבור חומרים קשים ופריכים, יציקת ברזל, פליז.</p> <p>מיועד גם לקידוד קדחים עיוורים שמקודדים עד התחתית כיוון שהשבבים יוצאים החוצה מהקדח.</p>	<p><b>מקדד מחורץ ישר</b></p>
	<p>מקדד עם הספירלה מתאים לביצוע קידוד בקדח עובר, כיוון שהשבבים נדחפים קדימה ויש להם מקום לצאת.</p>	<p><b>מקדד ספירלי</b></p>
	<p>מקדד עם מפתל שמאלי בעל זווית פיתול של בערך <math>7^\circ</math> מיועד לקדחים עוברים, קדחים עם חריצים/תעלות וקדח חוצה.</p> <p>מקדדים אלה הם כלים שחותכים ימינה (תנועת החיתוך היא עם כיוון השעון).</p> <p>נוזל הקירור והסיכה מגיעים ביתר קלות אל השפות החותכות.</p> <p>במפתל ימני הכלי נמשך אל תוך הקדח.</p>	<p><b>מקדד עם מפתל שמאלי <math>7^\circ</math></b></p>
	<p>מקדד קילוף עם מפתל שמאלי, בערך <math>45^\circ</math>, מיועד לקדחים עוברים, קדחים עם חריצים/תעלות וקדח חוצה.</p> <p>מקדדים אלה הם כלים חותכים ימינה (תנועת החיתוך היא עם כיוון השעון).</p> <p>נוזל הקירור והסיכה מגיעים ביתר קלות אל השפות החותכות.</p> <p>במפתל ימני הכלי נמשך אל תוך הקדח.</p>	<p><b>מקדד קילוף עם מפתל שמאלי <math>45^\circ</math></b></p>

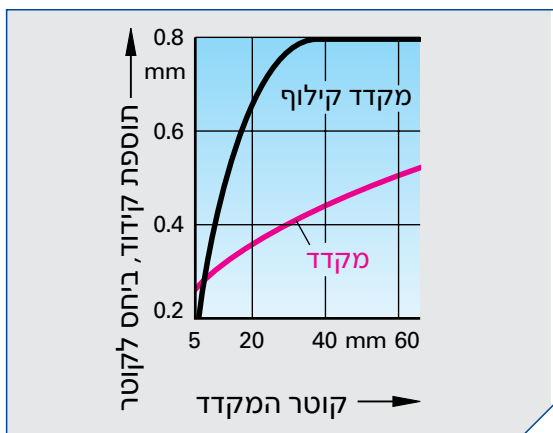
שם המקדד	שימוש	איור
<b>מקדדים קוניים</b>	מקדדים קוניים משבבים לכל אורך השפות החותכות והם משמשים לקידוד קוני של קונוסי מורס תקינים או פינים קוניים. מקדד קוני ספירלי מיועד לקדחים עוברים, קדחים עם חריצים/תעלות וקדח חוצה.	
<b>מקדד ריסוק</b>	מיועד לביצוע קידוד ראשוני גס של קונוס.	
<b>מקדד מתכוונן</b>	מקדד זה מאפשר ביצוע קידוד בטווח מידות. להבי החיתוך של המקדד ניתנים לכיוון ולכן ניתן לבצע עיבוד של קדח בכמה שבבים, עד קבלת המידה הרצויה.	
<b>מקדדים בעלי שפה חותכת אחת או שתיים</b>	במקדדים אלה קיימת שימת מתק"ש אחת או שתיים, הנדפנת על גוף המקדד. במקדדים אלה קיימים פסי הובלה בהיקף המשמשים להובלת המקדד בתוך הקדח.	

### 2.2.5.8 תנאי שיבוב בקידוד

מהירות החיתוך היא כמחצית ממהירות החיתוך בקידוח.

**הקדמה** תלויה בחומר העובד, בכלי, בקוטר הקדח ודרישת טיב השטח, והיא נעה בתחום שבין 0.05-1.00 מ"מ לסיבוב.

#### איור 2.2.58: גרף לתוספת עיבוד לקידוד



#### תוספת לקידוד

כאמור, לצורך הכנת קדח לקידוד יש להשאיר תוספת לעיבוד, כדי שהמקדד יבצע את עיבוד השטח. כיוון שהמקדד אינו בנוי להסרת חומר רב, צריך להתאים את קוטר ההכנה של המקדח לקידוד, כך שמצד אחד לא יהיה קטן - כדי שהמקדד יוכל לבצע את העיבוד, ומצד שני שלא יהיה גדול - כדי לאפשר למקדד לנקות את כל שטח הקדח. תוספת החומר במתכות מתוארת בגרף שבאיור 2.2.58.

ככל שקוטר הקדח גדל, תוספת החומר לקידוד גדלה. כדי לאפשר למקדד לבצע עיבוד מלא של הקדח, הן במידה והן בצורה הגיאומטרית. לדוגמה לפי איור 2.2.58, עבור מקדד בקוטר  $\varnothing 20$ , התוספת לקידוד תהיה כ-0.3 מ"מ. כלומר המקדח שנבחר כהכנה לקידוד יהיה  $\varnothing 19.7$ .

### 2.2.6 סיכום

בפרק זה עסקנו בתהליך העיבוד השבבי של קדחים באמצעות קידוח (מקדחים), שיקוע (שקענים) וקידוד (מקדדים). תהליכים וכלים אלה נפוצים ביותר בעיבוד השבבי ונמצא אותם כמעט בכל מוצר המיוצר בעיבוד שבבי. הכלים שהובאו בפרק זה נמצאים בשימוש נרחב אצל החרט, הכרסם ואף המשחזן.

את הבחירה של הכלים עושה בעל המקצוע, בהתחשב בדרישות שבשרטוט המוצר, ולכן עליו להכיר את כל תהליכי העיבוד האפשריים. מלבד פרק זה, חשוב להתייחס גם לפרק שעוסק בתנאי שיבוב ובטיחות.

זכרו, בחירת הכלי הנכון לעיבוד חשובה כדי לקבל את דרישות העיבוד כפי שהן מופיעות בשרטוט המוצר.

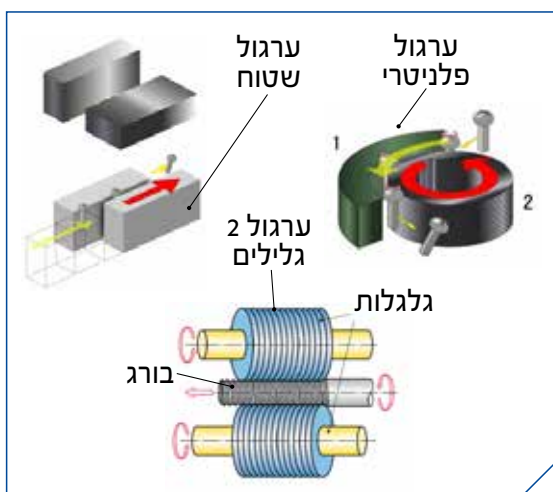
## 2.3 שיטות לייצור תבריגים, כלי תברוג ומדידות תבריגים

### 2.3.1 מטרות הפרק

הקניית ידע על:

- שיטות לייצור תבריגים.
- כלי תברוג.
- ייצור תבריגים בכלי תיברוג.
- יצור תבריגים במחרטה ובכרסומת.
- סיבולות ואפיצויות בתבריגים.
- שיטות ואמצעים לבדיקת תבריגים.

איור 2.3.1: ערגול בורג



איור 2.3.2: ייצור בורג בערגול לעומת עיבוד שבבי



### 2.3.2 שיטות לייצור תבריגים

ניתן לייצר תבריגים באחת מהשיטות הבאות

1. ערגול.
2. עיבוד שבבי.
3. יציקה.
4. חישול (כבישה).
5. הדפסה תלת-מימד.

בפרק זה נתמקד בייצור תבריגים בעיבוד שבבי.

#### 1. ייצור תבריגים בערגול

השיטה לייצור תבריגים בערגול (איור 2.3.1) מבוססת על לחיצה של חומר לצורה של התבריג, ללא עיבוד שבבי.

בתהליך זה, משתמשים בחומר גלם עגול שקוטרו זהה לקוטר היעיל של הבורג וזאת משום שכמות החומר שיש ללחוץ תהיה שווה לזו שיש להוסיף.

ביצוע התבריג נעשה במכונה, שעליה מותקנות לחיים מחוסמות (איור 2.3.1 למעלה, משמאל). על הלחיים יש חריצים התואמים את פרופיל התבריג שנעים בתנועה קווית אחד נגד השני, או באמצעות גל וקדח המסתובבים אחד כלפי

השני בצורה מעגלית (פלנטרית) (איור 2.3.1 למעלה, מימין), או שתי גלגלות שנעות בתנועה סיבובית בכיוונים הפוכים ושעליהם חריצים מתאימים לתבריג (איור 2.3.1 למטה).

שיטות אלה מתאימות לייצור המוני של ברגים סטנדרטיים. באיור 2.3.2 מתואר ההבדל בין ערגול ועיבוד שבבי (חיתוך) בין מידות חומר הגלם שיש להכין לייצור התברגי: בעיבוד שבבי קוטר הגליל שעליו מבצעים תברגי זהה לקוטר התברגי החיצוני, ובערגול הקוטר זהה לקוטר היעיל.

2. ייצור תברגים בעיבוד שבבי (חיתוך)

ניתן לבצע תברגים (איור 2.3.3) באמצעות מברזים ומחרוקות (איור 2.3.4), במחרטה בעזרת סכין חריטה (איור 2.3.5) ובכרסומת ממוחשבת בכרסום לתברגים. קיימות גם מכונות אוטומטיות ייחודיות לייצור תברגים בעיבוד שבבי.

בעיבוד שבבי מחלקים את כלי התברוג כך:

- **מברזים:** כלי תיברוג (איור 2.3.4 למעלה) שבעזרתם מייצרים תברגים פנימיים (אומים) (איור 2.3.3 מימין).
- **תברזה, מחרוקת:** כלי תיברוג (איור 2.3.4 למטה) שבעזרתם מייצרים תברגים חיצוניים (ברגים) (איור 2.3.3 משמאל). בשימוש בכלי תברוג מתבצעת פעולה של שיבוב.

איור 2.3.4: מברז ומחרוקת



איור 2.3.3: תברגי פנימי ותברגי חיצוני



איור 2.3.5: חריטת תברגי במחרטה



## 3. ייצור תבריגים ביציקה

השימוש בשיטה זו אינו נפוץ לתבריגים מפלדה מפני שהוא תהליך קשה ולא כדאי. לעומת זאת, שיטה זו מיועדת בעיקר עבור אל-מתכות. לדוגמה, בהזרקת פלסטיק לתבניות, עבור בקבוקי מזון, משקאות, מוצרי טיפוח אישי וכדומה.

ניתן לצקת תבריגים ממתכת בעלי פסיעה גדולה. בתהליך היציקה החומר מחומם לנוזל ומוכנס לתוך תבנית. תבריגים יצוקים בחלקי מתכת ניתן להשלים על ידי עיבוד שבבי או להשאיר אותם במצב יצוק, כתלות ביישום. עבור חלקים שבהם אין צורך בדיוק ובגימור פני השטח, לא נבצע עיבוד שבבי כדי לחסוך בעלויות.

## 4. ייצור תבריגים בחישול (כבישה)

תהליך ייצור תבריג בכבישה נעשה על ידי לחיצת חומר הגלם במכש, לתוך תבנית. חומר הגלם יכול להיות במצב חם או קר. תהליך זה שימושי לבורגי הידוק, בדרגות דיוק לא גבוהות.

## 5. ייצור תבריגים במדפסת תלת-מימד

ייצור תבריגים של מודלים או חלקים המופקים ממדפסות תלת-ממדיות בטכנולוגיית Multi-Jet Printing מאפשר לנו להדפיס את המודל התלת-ממדי, כאשר הוא כבר מכיל תבריג פונקציונאלי המוכן לשימוש ישירות לאחר ההדפסה (ללא צורך בהברזה או ברכיבים חיצוניים). ההברגה תצא מדויקת, חלקה וחדה מספיק בכדי להיות פונקציונאלית לחלוטין ולאפשר הברגה של ברגים מודפסים או סטנדרטיים לתוך המודל. הברגה מסוג זה לא נועדה לשימוש שוחק לאורך תקופה ארוכה.

## 2.3.3 כלי תיברוג

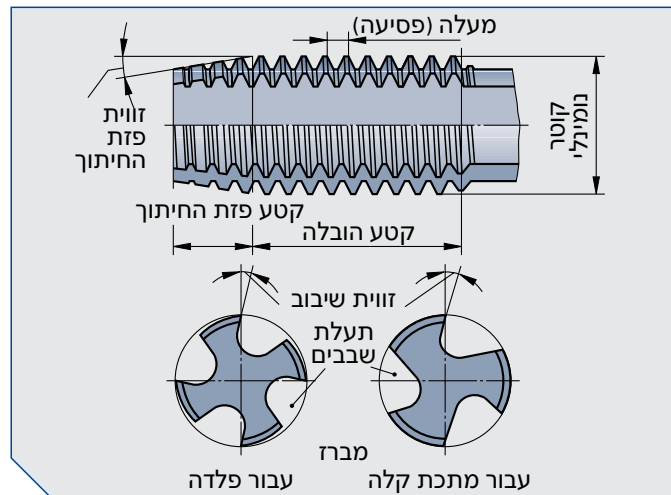
### 2.3.3.1 המברז

המברז (איור 2.3.4 למעלה) הוא בורג מחוסם, המיוצר מפלדה מהירה (H.S.S) או מתק"ש (וידיה) ולעיתים גם מצופה. המברז משמש לייצור הברגות פנימיות בקדחים מוכנים. פעולה זו נקראת **תברוג או תיברוז**. באיור 2.3.4 למטה, מתוארת מחרוקת (תברזה) המבצעת הברגות חיצוניות (הסבר בעניינה יופיע בהמשך).

**מבנה וחלקי המברז** מוצגים באיור 2.3.6: קטע פאזת החיתוך (החלק המושחז בשיפוע קצה המברז) מבצע את פעולת החיתוך ומקל על תחילת ביצוע התבריג. החריצים המושחזים לאורך המברז פועלים כשחרור לשבבים הנוצרים במהלך ביצוע התבריג.

מברז עם 3 תעלות משמש לעיבוד חומרים רכים ומברז עם 4 תעלות משמש לפלדות (איור 2.3.6 למטה).

איור 2.3.6: מבנה המברז וזוויותיו



חיתוך תבריגים פנימיים במברז יכול להתבצע בצורה ידנית (איור 2.3.7) או באמצעות מכונה (איור 2.3.8).

אפשר להשיג מברזים בעלי 2, 3, ו-4 חריצי שחרור. הקוטר הגדול של המברז הוא מידתה החיצונית של ההברגה השלמה הראשונה, בסיום הקונוס המושחז. רוב המברזים בנויים בצורה קונית הולכת וקטנה לכיוון קנה המברז, על מנת להקל על פעולת התברוג. בקצה המברז ישנו ריבוע המיועד לדפינת המברז בידיית מברזים.

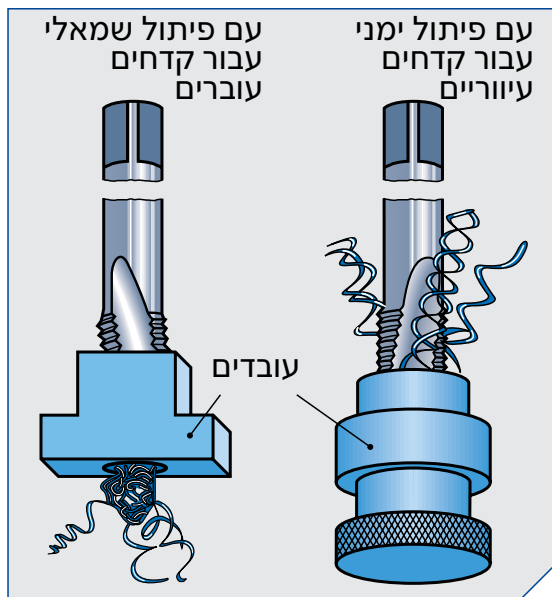
איור 2.3.8: תיברוז במכונה



איור 2.3.7: תיברוז ידני



**איור 2.3.9: מברזי מכונה - כיוון הפיתול - שימוש**



**איור 2.3.10: מברז ספירלי חד - מברז גאן ישר**



החריצים של מברז גאן יכולים להיעשות פחות עמוקים ובכך להגדיל את חוזק המברז. מברזים ספירליים חדים יכולים להיות מופעלים במהירות יחסית גבוהה ודורשים פחות כוח כדי לבצע את פעולת החיתוך.

**איור 2.3.11: מברז ספירלי**



מברז זה משמש לייצור הברגות בקדחים בעלי חריץ. הספירלה מבצעת גשר על החריץ ומאפשרת לחתוך את ההברגה. היא גם משמשת לייצור הברגות עמוקות בחומרים מחושלים כמו אלומיניום, מגנזיום, נחושת ויציקות. מברז זה ספירלי לכל אורכו. הספירלה מוציאה בתהליך השיבוב את השבבים החוצה אל מחוץ לקדח ומונעת את סתימת הקדח (כאשר מברזים בקדח עיוור וקיימת סכנה שהשבבים יתאספו בתחתית הקדח).

**כיוון הספירלה במברזי מכונה**

מברזי מכונה ישרים או ספירליים חותכים תבריג למידה הסופית בחיתוך אחד. עבור קדחים עוברים נשתמש במברזים בעלי פיתול שמאלי. עבור תבריגים עיווריים, אשר גורמים לשבבים לצאת מתחתית הקדח, נשתמש בפיתול ימני (איור 2.3.9).

**2.3.3.2 סוגי מברזים**

**1. מברז עם קצה ספירלי חד (איור 2.3.10)**

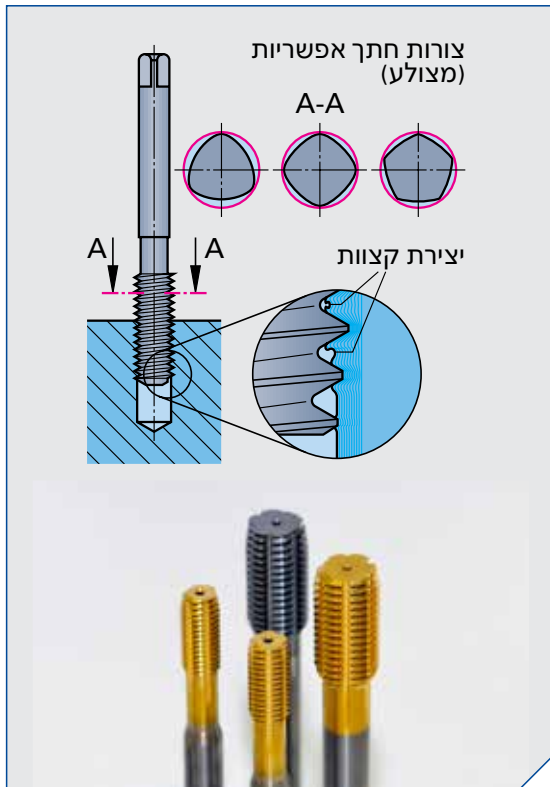
מברז זה לעיתים נקרא מברז גאן ומשמש בעיקר לפעולות תברוג בקדחים עוברים, או קדחים עיווריים עם מספיק מקום לשבבים מתחת להברגה.

כאשר מסובבים את המברז, השבבים נדחפים לפני המברז. מכיוון שכך, בתוך הקדח יש סכנה של קדח שנסתם, אך נמנעים משחיקה של המברז ושבר.

**2. מברז ספירלי (איור 2.3.11)**

מברז זה משמש לייצור הברגות בקדחים בעלי חריץ. הספירלה מבצעת גשר על החריץ ומאפשרת לחתוך את ההברגה. היא גם משמשת לייצור הברגות עמוקות בחומרים מחושלים כמו אלומיניום, מגנזיום, נחושת ויציקות. מברז זה ספירלי לכל אורכו. הספירלה מוציאה בתהליך השיבוב את השבבים החוצה אל מחוץ לקדח ומונעת את סתימת הקדח (כאשר מברזים בקדח עיוור וקיימת סכנה שהשבבים יתאספו בתחתית הקדח).

איור 2.3.12: מברז לחץ



3. **מברז לחץ** (איור 2.3.12)

מברז זה לא חותך הברגות כמו מברז רגיל. הוא כלי עיצוב ופעולתו דומה לגלגול. התוצאות של תברוג על ידי כלי זה הן טיב שטח משופר. אין שבבים שנתקעים בתחתית הקדח וההברגה יותר חזקה, כיוון שהסיבים שנמצאים במתכת לא חתוכים אלא מעוצבים. ראו צורות חתך אפשריות למברז לחץ (איור 2.3.12 למטה).

4. **מברז בעל קצה ספירלי ללא חריצים**

מברז זה הוא חזק ויציב יותר ממברזים רגילים, אך עובי החומר לייצור ההברגה מוגבל לקוטר המברז, מכיוון שאין מקום להסיר את השבבים. מברז זה מתאים לפעולות אוטומטיות בפח ובחומרים רכים וגמישים.

2.3.3.3 **מערכות מברזים**

1. **מערכת מברזים ידנית**

במערכת מברזים ידנית (איור 2.3.13 למעלה) יש לרוב שלושה מברזים (לתברגים עדינים בעלי שן קטנה המערכת מורכבת משני מברזים בלבד).

**מברז 1** - משמש להתחלת התברוג, כיוון שיש לו השחזה קונית ארוכה בקצה המאפשרת לו התחלה אנכית בקדח.

**מברז 2** - דומה למברז 1, אך ההשחזה הקונית בקצה קצרה יותר. מברז זה מבצע את עיקר השייבוב של התברוג.

**מברז 3** - משמש לגימור של הברגות בקדחים עיוורים. ההברגה השלמה עד לקצה המברז מאפשרת תברוג עד תחתית הקדח.

כל מברז במערכת מבצע הברגה במידה הרצויה, וההבדל ביניהם הוא רק באורך הקטע המושחז. לתברגים שעוברים בעומק קטן מאורך המברז אפשר לסיים את התברוג עם המברז הראשון בלבד.

איור 2.3.13: מערכת מברזים ידנית/סריאלית



## 2. מערכת מברזים סריאלי

במערכת זו (איור 2.3.13 למטה) שלושה מברזים, אך הקוטר של הברגות שונה ממברז אחד לשני.

**מברז 1** - הקוטר הקטן ביותר.

**מברז 2** - קוטר גדול יותר.

**מברז 3** - הקוטר בגודל הסופי של הברגה הרצויה.

מברזים אלה משמשים להברזת חומרים קשים. המברזים מסומנים בפסים על קנה המברז. למברז הראשון חריץ אחד, למברז השני שני חריצים ולמברז הסופי שלושה חריצים, או שהוא ללא סימון.

איור 2.3.14: מברז עם מקדח



## 2.3.3.4 מברזים מיוחדים

### 1. מברז עם מקדח

המברז באיור 2.3.14 מבצע בו זמנית את הקדח ואת התבריג. אורך המקדח מגביל את עומק התבריג. מיועד לביצוע תבריג בקדח עובר ובחומרים דקים.

### 2. מברז קוני לצינורות

מברז קוני להברגת צינורות (איור 2.3.15) משמש לייצור של הברגות קוניות. הברגות אלה מאפשרות הברגה אטומה לחיבור צנרת של נזלים או גזים. השיפוע הקוני בתקן הבין לאומי הוא  $1^{\circ}47'$ .








המידה של המברז היא המידה המתייחסת לגודל הצינור, ותואמת את קוטר החיצוני של הצינור. היא כתובה באינצ'ים -  $1/4"$ ,  $1/2"$  וכדומה.

בתברוג עם מברז זה כל שן חותכת מתכת עד לסיום הברגה. הדבר דורש עוצמה רבה יותר בניגוד למברז רגיל, שבו רק השיניים הראשונות מבצעות את פעולת התברוג. יש גם מברזים ישרים לייצור הברגות צינור.

## 2.3.3.5 סוגי מברזים וסימונם

סוג ההתקן וגודל התבריג מסומנים על המברז. יש מברזים המיוצרים מהרכב חומרים שונים, כולל ציפויים. כדי לדעת לאילו חומרים מיועד המברז, מסמנים את מברזי המכונה בטבעת צבע על המברז (טבלה 2.3.1). כל צבע מגדיר את החומרים בהתאמה לסוג החומר שבו מומלץ לבצע את הברגה. ההתאמה מתייחסת הן לחומר המברז והן למבנה ולזוויות, כמפורט בטבלה 2.3.1.

טבלה 2.3.1: סימון מברזים ושימושים

חומר העובד וסימון	סימון וסוגי מברזים	מתאים לשימוש	המברז
נורמל N	אינו מסומן בטבעת צבע. גאן ישר, תיעול ספירלי, ציפוי TICN .TIN ,V-treatment	לפלדות פחמן, לפלדת שמן, לפלדות גרפית, ליציקות אפורות.	
לאל מתכות W	מסומן בטבעת בצבע צהוב. גאן ישר, תיעול ספירלי.	לאל-מתכות: אלומיניום, מגנזיום, עופרת, פלסטיק, טיטניום, נחושת.	
לנירוסטה Z	מסומן בטבעת בצבע כחול. גאן ישר, תיעול ספירלי, תיעול ישר, ציפוי TICN.	לפלדות בעלות מקדם שחיקה גבוה, פלדות אל-חלד (נירוסטה), סגסוגות טיטניום, נחושת.	
לחומר קשה H	מסומן בטבעת בצבע אדום. גאן ישר, תיעול ספירלי, ציפוי TICN .VS,V-treatment	פלדות מחוסמות, עשירות בניקל, כרום ובחומרים בעלי מקדם שחיקה גבוה.	
לחומר קשה ושוחק S	מסומן בטבעת בצבע ירוק. גאן ישר, תיעול ספירלי, ציפוי VS.	פלדות קשות, עשירות פחמן, בעלות מקדם שחיקה גבוה, פלדות אל חלד (נירוסטה)	
לחומר בקושי גבוה SA	מסומן בטבעת בצבע ירוק. גאן ישר, תיעול ספירלי, ציפוי VS.	פלדות קשות עד 49RC	
לסגסוגות טיטניום TL	מסומן בטבעת צבע שחור. גאן ישר, תיעול ספירלי, ציפוי VS	לסגסוגות טיטניום.	

2.3.3.6 התברזה (מחרוקת/אום תברוג)

התברזה (איור 2.3.16) הינה אום העשוי מפלדה מהירה (H.S.S) או מתק"ש. היא מיועדת לייצור תבריגים חיצוניים (ברגים) על גליל בעל קוטר חיצוני של הבורג. פעולה זו נקראת **תברוג** (איור 2.3.17). התברזה בנויה כך שהתבריג החותך מופסק בהיקפו על ידי כמה קדחים חלקיים, היוצרים את השפות החותכות את השבב של התבריג. כמו כן, קדחים אלה משמשים להרחקת השבבים.

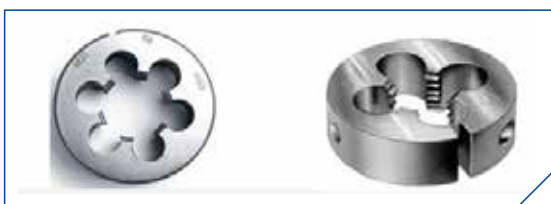
איור 2.3.17: ביצוע תבריג במחרוקת



איור 2.3.16: תברזה



איור 2.3.18: תברזה פתוחה ותברזה סגורה



איור 2.3.19: צורה חיצונית של תברזה



איור 2.3.20: תברזה מתכווננת



### חלוקה לסוגי תברזות על פי מבנה

- א. תברזה פתוחה שניתנת לכיוון (איור 2.3.18 מימין).
- ב. תברזה סגורה (איור 2.3.18 משמאל).
- ג. תברזות בעלות מתאר חיצוני שונה:
  - משושה (איור 2.3.19 מימין).
  - עגול (איור 2.3.19 באמצע).
  - ריבועי (איור 2.3.19 משמאל).
- ד. תברזה מתכווננת לקטרים שונים, בעלת לחיים מתחלפות לגודל שן שונה, מיועד בעיקר לביצוע תבריגים בצינורות (איור 2.3.20).

לתברזה, כמו למברז, בחלק הראשון יצרו קונוס על מנת להקל על חדירת התברזה וביצוע התבריג.

## 2.3.4 ייצור תבריגים בכלי תיברוג

### 2.3.4.1 ייצור תבריגים פנימיים במברז ידני

#### 1. הכנות וכללים לייצור התבריג

- בעת ייצור תבריג פנימי בעזרת מברז, יש להקפיד על הכללים הבאים:
- א. יש לבחור ידית מברזים בהתאם לגודל המברז (איור 2.3.21 מימין). אין להשתמש בידיית גדולה עבור מברז קטן. באיור 2.3.21 משמאל מופיעה ידית עם רצ'ט.
  - ב. יש להכין קדח מתאים לגודל התבריג הדרוש ולפי חומר העובד (איור 2.3.22).
  - ג. יש להכין שקע (פאזה, מדר - איור 2.3.22) **לפני** ביצוע התבריג, בהתאמה לגודל התבריג.

איור 2.3.22: הכנת קדח מתאים לתבריג ומדר (שקע) והצבת המברז בניצב לקדח



איור 2.3.21: ידיות למברזים



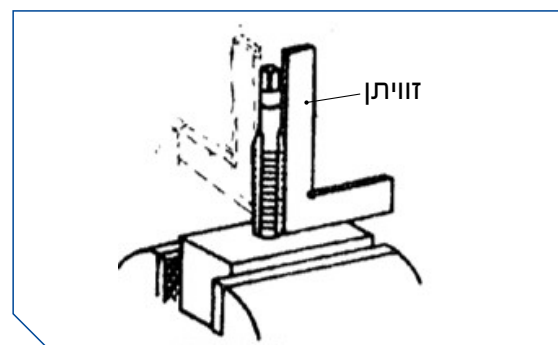
2. סדר הפעולות לייצור תבריג פנימי באופן ידני

- א. הכנסת מברז 1 לתוך הקדח והצבתו בניצב לקדח (איור 2.3.23).
  - ב. סיבוב המברז תוך לחץ סביר עד לנעיצת המברז בקדח (איור 2.3.23).
  - ג. סיבוב המברז לסירוגין בתנועות קצרות, פעם לייצור השבב בכיוון אחד (איור 2.3.24 משמאל) ופעם שנייה לכיוון הנגדי לשבירת השבב (איור 2.3.24 מימין). התיאור באיורים מתייחס לתבריג ימני.
  - ד. בגמר התברוג במברז ראשון, יש לחזור על אותה פעולה במברז שני ולאחריו בשלישי. אם המברז הראשון קשה לסיבוב, יש לעבור למברז השני רק לקטע שבוצע, ולחזור למברז הראשון ולהמשיך.
  - ה. השתמשו בשמן חיתוך מתאים לחיתוך תבריגים בכל מהלך התברוג.
- הערה:** המברז הוא כלי שביר, ולכן יש להימנע מעומס יתר העלול לגרום לשבירתו. הוצאת מברז שנשבר לעיתים בלתי אפשרית, על כן יש לנהוג בעדינות במהלך התברוג.

איור 2.3.24: סיבוב המברז במהלך התברוג



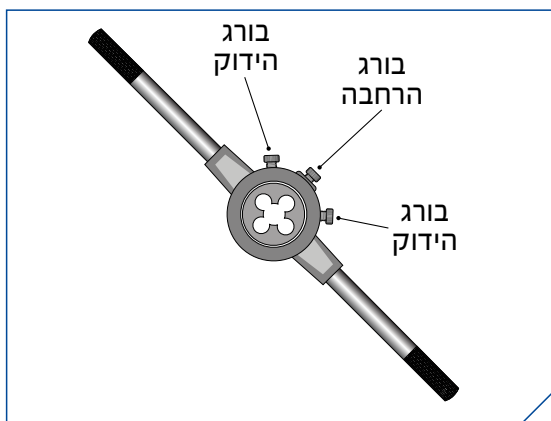
איור 2.3.23: הצבת המברז בניצב לקדח



**איור 2.3.25: מתקן אוטומטי לתברוז במכונה**



**איור 2.3.26: הברגים בידיית לתברזה**



**איור 2.3.27: מיקום בורג הרחבה בתברזה פתוחה**



**3. ייצור תבריג פנימי במתקן לתברוז**

באיור 2.3.25 מתואר מתקן, המיועד לביצוע תבריגים חיצוניים בעזרת מברזים במכונה (מקדחה, כרסומת, מחרטה).

מתקן זה ייחודי בכך שקיים בתוכו מצמד הניתן לכיוון ללחץ רצוי. אם העומס על המברז גדול בעת ביצוע התבריג, המצמד מחליק, המברז נעצר ולא מופעל עליו לחץ. בכך נמנעת שבירת המברז.

**2.3.4.2 ייצור תבריגים חיצוניים בתברזה ידנית**

**1. הכנות וכללים לייצור התבריג**

בחיתוך תבריגים חיצוניים בצורה ידנית בעזרת תברזה, יש לבצע את הפעולות הבאות:

- א. יש להכין את הגליל עליו צריכה להיות הברגה בקוטרו החיצוני של הבורג.
- ב. בתחילת התבריג יש ליצור מדר (פאזה) בהתאמה לגודל התבריג.
- ג. יש לבחור ידית מתאימה לתברזה (איור 2.3.26).

**2. בתברזה פתוחה יש לבצע את הפעולות הבאות**

א. שחרור בורגי ההידוק (איור 2.3.26) והכנסת התברזה לידיית התברזה, כך שהקונס בתחילת התברזה (איור 2.3.27) יהיה כלפי חוץ ובורג ההרחבה יימצא בחריץ התברזה (איור 2.3.27).

ב. מחזקים את בורג ההרחבה והתברזה נפתחת (קוטר הפנימי גדל). פעולה זו מקלה על ביצוע התבריג בשלב הראשון, בדומה למברז הראשון בתבריג פנימי.

ג. הצבת התברזה על חומר הגלם וביצוע פעולה סיבובית של התברזה, תוך לחץ לצורך ייצור תחילת התבריג.

ד. סיבוב התברזה לסירוגין בכיוונים נגדיים על מנת לשבור את השבבים, ביצוע עד האורך הנדרש של התבריג.

ה. סיבוב התברזה להוצאתה מהבורג.

ו. פתיחת בורג ההרחבה וסגירה שווה של בורגי ההידוק לפי הנדרש (איור 2.3.26), וביצוע חוזר של סיבוב התברזה לסירוגין עד קבלת תבריג מושלם. יש להשתמש בשמן חיתוך מתאים לחיתוך תבריגים בכל מהלך התברוג.

### 2.3.4.3 ביצוע תבריג חיצוני ופנימי במחרטה באמצעות מתקנים

#### 1. מבנה המתקן ואופן פעולתו

אחת מהאפשרויות לביצוע תבריגים במחרטה קונבנציונאלית עם כלי תברוג (מברז ותברזה) הוא בעזרת מתקנים מיוחדים, המורכבים על רכב המחרטה במקום העוקץ ועליו מרכיבים את המברז או התברזה.

המתקן המתואר באיור 2.3.28 מיועד לדפינת מברז והמתקן המתואר באיור 2.3.29 מיועד לדפינת תברזה. שני המתקנים מורכבים משני חלקים: חלק אחד קבוע וחלק נוסף נע.

החלק הקבוע: בצדו האחד קיים קונוס מורס המתאים לקונוס מורס שברכב המחרטה, ובהמשכו יש גל שעליו מחליק החלק הנע.

בחלק הנע יש קדח המתאים לקוטר הגל הקבוע, המחליק עליו בהתאמה זחיחה. בחזית החלק הנע יש סידור לחיבור המברז/מחרוקת.

#### 2. סדר הפעולות לייצור תבריג פנימי במתקן

##### במחרטה (איור 2.3.28)

א. דופנים את המברז במתקן ואת המתקן ברכב המחרטה.

ב. מציבים את המברז מכונה כשהוא בתוך הקדח, וכדי שהמברז לא יסתובב (החלק הנע) יש ידית למניעת סיבוב שמשעינים על הגררה (איור 2.3.28). לוחצים קלות על המברז בעזרת קנה הרכב, ומפעילים את המחרטה בסיבובים איטיים. במידת



הצורך מבצעים שחרור של המברז ושבירת השבב על ידי סיבובו לכיוון ההפוך.

ג. יש אפשרות שבמקום הידית למניעת סיבוב השרוול (החלק הנע), נמצא חריץ לכל אורכו של החלק הנע, ובקדח של החלק הקבוע יש "שגם", שנכנס לחריץ ומונע מהשרוול להסתובב (כמו בכוש הרכב).

ד. יש להשתמש בשמן חיתוך מתאים לחיתוך תבריגים בכל מהלך התברוג.

3. סדר הפעולות לייצור תברג חיצוני במתקן במחרטה (איור 2.3.29)

א. דופנים את המחרוקת במתקן ואת המתקן ברכב המחרטה.



ב. מציבים את המחרוקת כשהיא בתחילת הגליל עליו מבצעים את התברג.

ג. לוחצים קלות על המחרוקת בעזרת קנה הרכב, ומפעילים את המחרטה בסיבובים איטיים. במידת הצורך יש לבצע שחרור של המחרוקת ושבירת השבב על ידי סיבוב לכיוון הפוך.

ד. במתקן המתואר באיור 2.3.29 נמצא חריץ לכל אורכו של החלק הנע, ובקדח של החלק הקבוע "שגם", שנכנס לחריץ ומונע מהשרוול להסתובב.

ה. יש להשתמש בשמן חיתוך מתאים לחיתוך תברגים בכל מהלך התברוג.

בטבלה 2.3.2 מתוארות הבעיות הנפוצות בתהליך התיברוג ופתרונות אפשריים.

טבלה 2.3.2: בעיות נפוצות בתהליך התיברוג (ידיני ובמכונה) ופתרונות אפשריים

פתרונות	סיבות לשבירת מברזים/ בעיות תברוג
<ul style="list-style-type: none"> <li>הורדת מהירות החיתוך/סל"ד.</li> <li>שימוש במברז בעל שיפוע ארוך יותר.</li> <li>שימוש במברזים בעלי יותר חריצים.</li> <li>שימוש בשימון טוב יותר והוספת כמות מספקת תחת לחץ באזור החיתוך.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>חומר קשה או נקודות קשות</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>שימון נכון והוספת כמות מספקת תחת לחץ באזור החיתוך.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>שימון לא מספיק</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>הורדת מהירות החיתוך.</li> <li>הקטנת סל"ד.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>תברוג מהיר מדי</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>יש לבדוק את יישור המברז מול הקדח המיועד לתברוג.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>המברז אינו ניצב לקדח</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>החלפת כלי תברוג.</li> <li>שיפור שימון.</li> <li>שימוש במברזים מצופים.</li> <li>בדקו את יישור המברז בקדח התברג.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>כלי התברוג שחוק/קהה</li> <li>בלאי גבוה של כלי התברוג</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>שימוש בשימון טוב יותר והוספת כמות מספקת תחת לחץ באזור החיתוך.</li> <li>הורדת מהירות החיתוך.</li> <li>שימוש במברז שחותך יותר בחופשיות, כמו לדוגמה מברז בעל קצה ספירלי, מברז ספירלי, מברז בעל שיניים לסירוגין או מברזים מצופים.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>שבבים חוסמים את החריצים</li> <li>סוג מברז לא מתאים</li> </ul>

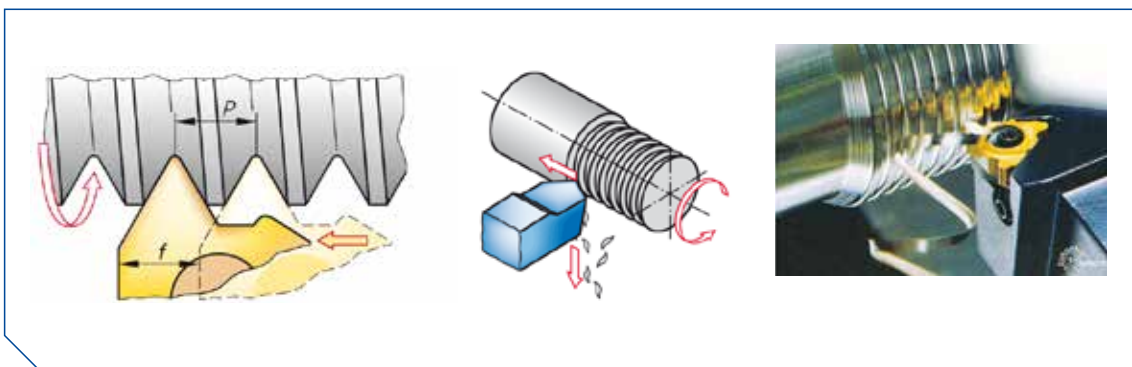
פתרונות	סיבות לשבירת מכרזים/ בעיות תברוז
<ul style="list-style-type: none"> <li>• השחזת המברז או החלפתו.</li> <li>• שימוש במברז בעל חריצים גדולים יותר לשבבים.</li> <li>• אם אפשר, קדיחת קדח עמוק יותר.</li> <li>• שימוש במברז שמסיר את השבבים.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• הברגות קרועות או גסות</li> <li>• מברז קהה</li> <li>• סתימת שבבים</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• הורדת מהירות התברוג.</li> <li>• שימוש במברז שחותך בחופשיות רבה ככל הניתן.</li> <li>• שיפור השימון.</li> <li>• החזקת החלק כך שלא יוכל להתרחב במהלך התברוג.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• חומר בעל קירות דקים</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• החלפה לידיית קטנה יותר או החזקת הידיית כך שהמומנט יהיה קטן יותר והכוח המופעל על המברז יפחת.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• הברגות קטנות</li> <li>• הידיית למברזים גדולה</li> <li>• מדי לגודל המברז</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• החלפת הכוש (ספינדל) או את המחזיק, או תיקון שלהם.</li> <li>• הרחבת הקדח למידה הנכונה.</li> <li>• שימוש במברז בעל חריצים עמוקים יותר, מברז ספירלי או מברז בעל קצה ספירלי.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• כוש משוחרר או מחזיק בלוי</li> <li>• קדח קטן מדי</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• אם אפשרי, קדיחת קדח עמוק יותר.</li> <li>• הסרת השבבים באמצעות לחץ אוויר (זהירות: במהלך ביצוע פעולה זו יש לעמוד בצד ולהשתמש תמיד במשקפי מגן).</li> <li>• שימוש במברזים ספירליים להוצאת השבבים מחוץ לקדח.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• מברז פוגע בתחתית הקדח או בשבבים שהצטברו</li> </ul>

### 2.3.5 ייצור תבריגים במחרטה ובכרסומת

#### 2.3.5.1 הקדמה

כדי לקבל תבריג חיצוני ופנימי בעיבוד שבבי במחרטה (איור 2.3.30) או בכרסומת (איור 2.3.32), המכונה צריכה לבצע סימולטנית כמה תנועות הקשורות אחת בשנייה, ביחס ובהתאמה לתבריג הנדרש.

איור 2.3.30: ייצור של תבריג בעיבוד שבבי במחרטה



**איור 2.3.31: ייצור תבריג פנימי וחיצוני בחריטה**



**במחרטה** (קונבנציונאלית או CNC) מתקבל קו בורגי (איור 2.3.30) על ידי תיאום בין שתי התנועות הבאות:

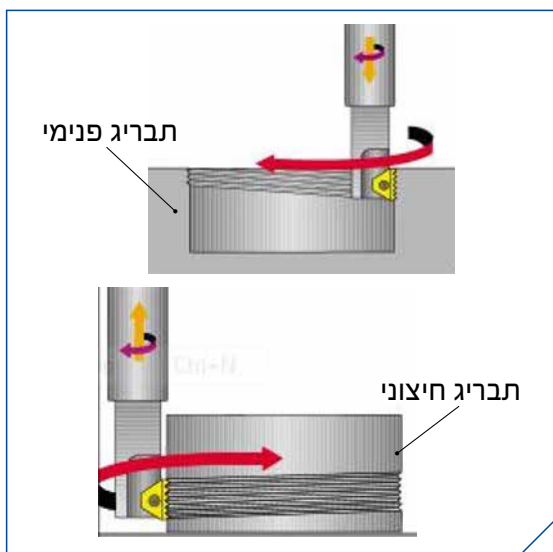
- תנועה סיבובית של הכוש (עובד).
- תנועה קווית  $V_{frev}$  (קידמה) ותנועת היגש של הכלי (סכין הברגות).

את צורת השן מקבלים בעזרת סכין בצורת פרופיל השן (איור 2.3.31) (ראו ספר 3 פרק 4 בנושא שימות לתבריגים). זווית השיבוב (החזה)

צריכה להיות  $0^\circ$  כדי להעתיק את הפרופיל הנכון של השן.

כאשר זווית השיבוב של הסכין שלילית או חיובית, הזווית של הסכין מחושבת כדי לקבל את זווית התבריג הנכונה.

**איור 2.3.32: ייצור תבריג בכרסומת ממוחשבת CNC**



**בכרסומת ממוחשבת CNC** ביצוע תבריג מחייב תיאום בין התנועות הבאות (איור 2.3.32):

- תנועה סיבובית של הכוש (סכין או כרסום הברגות) ותנועה קווית  $V_{frev}$ . התנועה מותאמת לגודל של פסיעת התבריג.
- בכרסומת עם ציר רביעי מסתובב, העובד מבצע תנועה סיבובית. בכרסומת בעלת 3 צירים מתבצעת התנועה הסיבובית על ידי שילוב תנועות של שני הצירים (אינטרפולציה) כדי לקבל תנועה מעגלית.

**2.3.5.2 חריטת תבריגים במחרטה קונבנציונאלית**

התבריגים המיוצרים במחרטה הם:

- תבריג משולש.
- תבריג ריבועי.
- תבריג טרפזי.
- תבריג מרובה.
- תבריג קוני.

התבריג יכול להיות תבריג ימני (רגיל) או תבריג שמאלי (הסבר בהמשך).

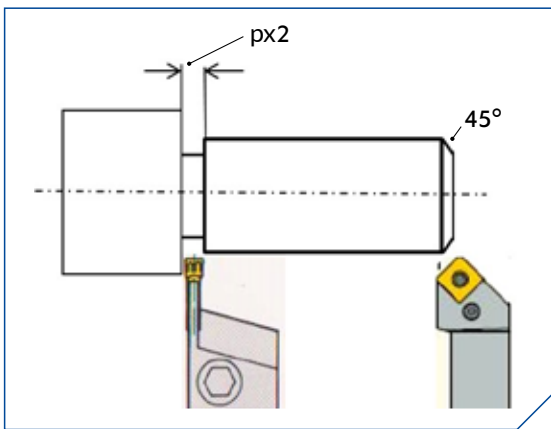
קיימים עוד סוגים של תבריגים (כמו תבריג שיני מסור, תבריג מעוגל וכדומה), בהיותם בשכיחות נמוכה לא מובאים בפרק.

1. הכנות לחריטת תבריגים

**לביצוע תברוג במחרטה קונבנציונאלית יש לבצע את הפעולות הבאות:**

- א. הכנת חומר גלם (הקטע שעליו נמצא התבריג).
- ב. כיוון המכונה לביצוע התבריג הנדרש.
- ג. בחירת כלי העיבוד.
- ד. שיטת הדפינה.
- ה. הצבת הכלי במחרטה.
- ו. בחירת תנאי השיבוב.

**איור 2.3.33: הכנת חומר העובד לביצוע תבריג**



א. הכנת חומר העובד

- יש לבצע את חריטת הקוטר החיצוני בתבריג חיצוני ואת הקוטר הפנימי בתבריג פנימי, לפי הנתונים בטבלת התבריגים ובהתאמה לסוג התבריג.
- יש לבצע **חריטת שחרורים** במידת הנדרש כשרוחב שחרור התקני שווה לשתי פסיעות (איור 2.3.33). קוטרו של חריץ השחרור קטן במעט מקוטרו הפנימי של התבריג.

- **חריטת מדר** (פאזה) איור 2.3.33 בתחילת התבריג ב-45°. קוטרו הקטן של המדר יהיה קטן במעט מקוטרו הפנימי של התבריג.

ב. כיוון המכונה לביצוע התבריג הנדרש

- **הצבת תיבת ההיגשים** (תשלובת נורטון) לפי המעלה (P) של התבריג, בהתאם לטבלה המוצגת בדופן המחרטה (טבלאות 2.3.3, 2.3.4). בכל מחרטה טבלה משלה. יש לשים לב בטבלה למצב גלגלי החליפין המורכבים.
- בדיקת גלגלי החליפין שיש להרכיב כדי לקבל את התבריג המתאים והחלפתם על פי הצורך.
- **לדוגמה**, עבור ביצוע תבריג אינצי' עם 12 כריכות באינץ', יש להציב את ידיות המחרטה לפי הטבלה 2.3.3 באופן הבא: E, BD, 6, K ומצב גלגלי החליפין כמתואר בטבלה 2.3.3 מימין. גלגל בעל 36 שיניים למעלה וגלגל בעל 90 שיניים למטה, הגלגל המחובר את שתי גלגלי השיניים (הגלגל בעל 127 שיניים) מיועד להעברת התנועה בלבד ואינו משפיע על יחס התמסורת. גלגל זה מוגדר "גלגל ביניים".
- דוגמה נוספת, עבור ביצוע תבריג מ"מ בעל מעלה של מ"מ אחד, יש להציב את ידיות המחרטה לפי הטבלה 2.3.4, באופן הבא: C, G, 3, K ומצב גלגלי החליפין כמתואר בטבלה 2.3.4 מימין. גלגל בעל 36 שיניים למעלה וגלגל בעל 127 שיניים למטה. הגלגל בעל 90 השיניים הוא גלגל ביניים ואין לו חשיבות ליחס התמסורת, תפקידו להעביר את התנועה.

- שילוב הבורג המוליך במקום המוט המוליך, כך שיסתובב בכיוון הנכון לסוג התבריג (תבריג ימני או תבריג שמאלי).

**טבלה 2.3.3: הצבת המכונה לתבריג אינצי'**

טבלה על דופן המחרטה

n/1"	C			BD			
	E	F	G	E	F	G	
K	6	96	48	24	12	6	3
	8	92	46	23	11 1/2	5 3/4	2 7/8
	7	88	44	22	11	5 1/2	2 3/4
	2	80	40	20	10	5	2 1/2
	1	76	38	19	9 1/2	4 3/4	2 3/8
II	3	72	36	18	9	4 1/2	2 1/4
	9	64	32	16	8	4	2
	5	56	28	14	7	3 1/2	1 3/4
	4	52	26	13	6 1/2	3 1/4	1 5/8

מצב גלגלי חליפין

**טבלה 2.3.4: הצבת המכונה לתבריג מ"מ**

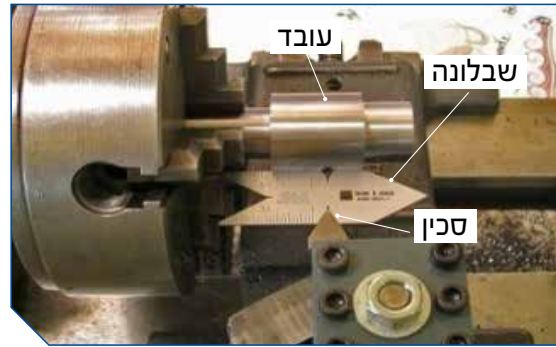
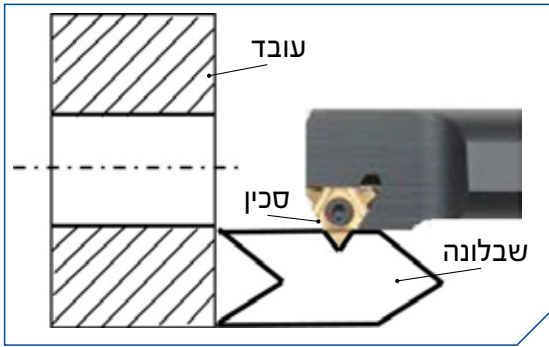
טבלה על דופן המחרטה

mm.	C		AD		C		BD			
	E	E	F	F	G	E	F	H	G	
K	6		0.24	0.375	0.48	0.75	1.5	3	5.5	6
	J	2		0.28		0.56	0.875	1.75	3.5	7
K	2	0.225	0.288	0.45	0.576	0.9	1.8	3.6	6.6	7.2
	3	0.25	0.32	0.5	0.64	1	2	4		8
J	9		0.35		0.7			4.375		8.75
K	9		0.36		0.72	1.125	2.25	4.5	8.25	9
J	5		0.4	0.625	0.8	1.25	2.5	5		10

מצב גלגלי חליפין

- ג. בחירת כלי העיבוד (מחזיק ושימה), בהתאם לסוג התבריג (פנימי, חיצוני, מ"מ, אינצי', פרופיל התבריג).
- ד. בחירת שיטת הדפינה לייצור התבריג.
- ה. הצבת הכלי
  - הצבת הכלי בגובה המרכזים.
  - כיוון הסכין בניצב לציר העובד באמצעות שבלונה מתאימה לזווית ולפרופיל התבריג, לתבריג חיצוני (איור 2.3.35) ולתבריג פנימי (איור 2.3.36).

איור 2.3.35: הצבת הסכין לתברוג חיצוני בניצב | איור 2.3.36: הצבת הסכין לתברוג פנימי בניצב



1. בחירת תנאי שיבוב

קביעת סל"ד מתאים לפי הטבלה של מהירויות החיתוך המומלצות, ומופיעה בטבלה 2.3.5. החישוב לפי הנוסחה:  $n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D}$  דוגמה לחישוב הסל"ד באיור 2.3.34 (הסבר מפורט בספר 2 פרק 1 תנאי שיבוב).

איור 2.3.34: דוגמה לחישוב הסל"ד

**דוגמה:** נתון חומר גלם מפלדת אל-חלד.  
 שימת מתק"ש: P30  
 סוג התבריג: M20 (מטרי)  
 מהירות החיתוך:  
 $V_c$  מתוך הטבלה = 80-100 (נבחר 80)  
**חישוב הסל"ד:**  
 $n = \frac{80 \cdot 1000}{3.14 \cdot 20} = 1273 \text{ rpm}$

טבלה 2.3.5: מהירויות חיתוך  $V_c$  מומלצות במטר לדקה לחריטת תבריגים

החומר המעובד						סוג חומר הסכין ISO תקן
אלומיניום פליז משוך בקליט	ברונזה נחושת	יציקת פליז יציקת ברזל פלדה חשילה	פלדות			
			פלדה רכה	פלדת אלחלד	פלדות מטופלות טרמית	
			150 - 180	125 - 150	100 - 130	P10
			80 - 120	110 - 130	80 - 100	P15
			80 - 120	80 - 100	60 - 80	P30
120 - 180	90 - 120	70 - 90				K20
30 - 40	30 - 35	27 - 32	24 - 30	20 - 25	15 - 20	HSS - M42

ההיגש יבוסס על הפסיעה ועל החומר. מכיוון שהכוחות על השימה גדלים כאשר הפרופיל נעשה עמוק יותר, מומלצים היגשים קטנים יותר. היגשים מומלצים לא יהיו פחות מ-0.05 מ"מ. מהירויות החיתוך הנתונות בטבלה מבוססות על אורך חיים של 20-30 דקות ללהב חותך אחד במרבית המקרים.

2. תהליך לביצוע תבריג משולש

- א. מגישים את הסכין על פני החומר ומסירים שבב קטן (רק לסימון) לצורך בדיקת מעלה התבריג. משתמשים במד הברגות (איור 2.3.37), מניחים את מד הברגות על הסימן שנוצר מהשבב הראשון ובודקים אם המעלה שהתקבל תואם את מעלה התבריג.
- ב. מחזירים את הסכין לתחילת התבריג, באחת מהאפשרויות להחזרת הסכין לחריץ שיוסברו בהמשך.

איור 2.3.37: בדיקת פסיעת התבריג



- ג. חוזרים לעומק בשבב נוסף, תוך שחרור הסכין לצדדים לפי אחת מהשיטות שיפורטו בהמשך. זאת על מנת לא להעמיס על שני צדי הסכין, דבר שיגרום ל"קריעת" השן. ממשיכים בשבב נוסף עד שמגיעים לעומק הסופי של השן.
- ד. מבצעים בדיקת התבריג לפי נתוניו (הסבר בהמשך).

3. נתוני התבריג המשולש (איור 2.3.38)

א. עומק התבריג

את עומק התבריג  $h_3$  (איור 2.3.38) ניתן למצוא בטבלאות, או לחשב לפי סוג התבריג ובעזרת אחת מהנוסחאות הבאות, כשה-P (מעלה) מוצב במ"מ:

- תבריג משולש  $55^\circ$ , גב התבריג מעוגל

$$h_3 = 0.6495 \times P$$

- תבריג משולש  $55^\circ$ , גב התבריג שטוח

$$h_3 = 0.566 \times P$$

- תבריג משולש  $60^\circ$  אמריקאי

$$h_3 = 0.6134 \times P$$

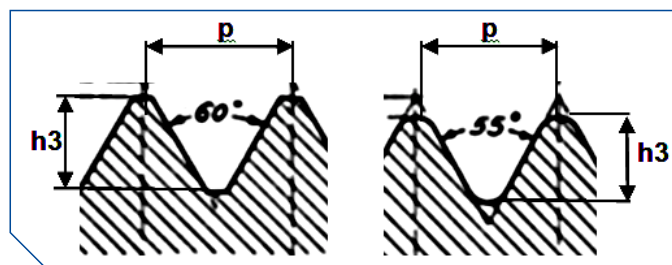
- תבריג משולש  $60^\circ$  מטרי ISO

$$h_3 = 0.6134 \times P$$

- תבריג משולש  $60^\circ$  מטרי, SI

$$h_3 = 0.6495 \times P$$

איור 2.3.38: עומק התבריג והפסיעה בתבריג משולש



**ב. חישוב קוטר הפנימי של התברג**

לחישוב הקוטר הפנימי של התברג נשתמש בנוסחה הבאה:

$$d_1 = d - 2 \times h_3$$

$$d_1 = \text{קוטר פנימי.}$$

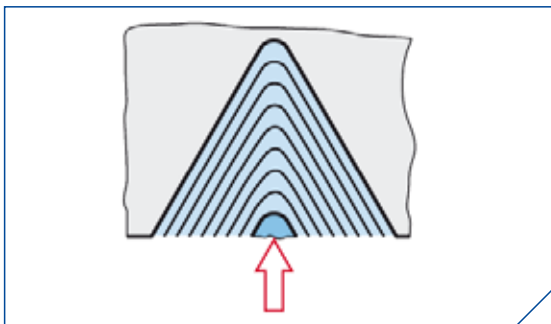
$$d = \text{קוטר גדול (חיצוני).}$$

$$h_3 = \text{עומק השן.}$$

**4. שחרור הסכין**

בשעת חיתוך התברג פועל הסכין בתנאים קשים, בעיקר בחיתוך פלדות. שבבים שאינם מתפוררים נפגשים ולוחצים על הסכין משני צדיו והסכין עלול לקרוע את הכריכה. ככל שנעמיק בביצוע התברג, משטח המגע בין החומר לסכין גדל ואתו העומס על הסכין יעלה. כדי להתגבר על תופעה זו ניתן לבצע הגשה מתאימה של הסכין כדי לשחרר את הלחץ.

**איור 2.3.39: שיטת השיקוע הרחבית**

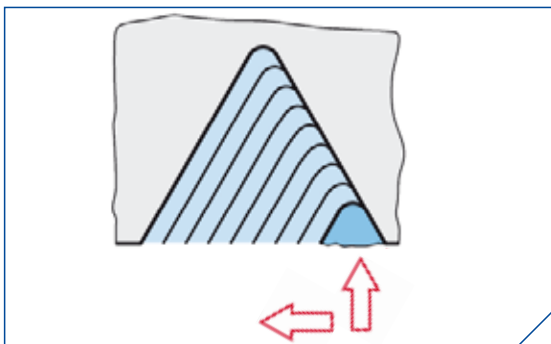


**להלן מובאות השיטות לשחרור הסכין**

**א. שיטת השיקוע הרחבית (ללא צידוד)**

בשיטת השיקוע הרחבית ההגשה נעשית לעומק בניצב לציר התברג, ולמעשה ללא שחרור (איור 2.3.39). שיטה זו מתאימה לתברגים בחומרים פריכים ולתברגים בעומק קטן.

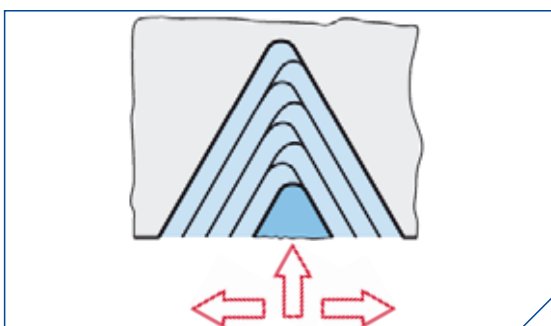
**איור 2.3.40: שיטת הצידוד הרגילה**



**ב. שיטת הצידוד הרגילה**

בשיטה זו ההגשה של הסכין נעשית לעומק ולצד אחד באופן קבוע (איור 2.3.40). השלמת פרופיל התברג נעשית בחדירה לעומק בלבד, כדי לקבל טיב שטח והעתקה נכונה של פרופיל התברג על ידי פרופיל הסכין.

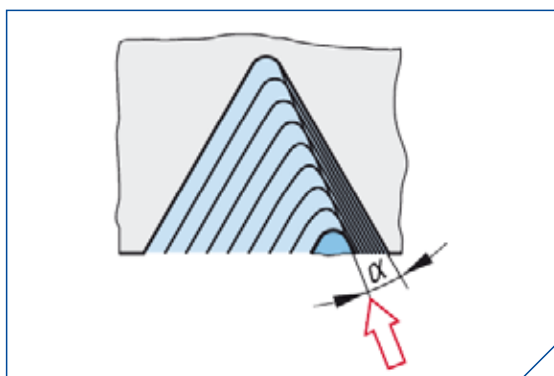
**איור 2.3.41: שיטת הצידוד המהיר**



**ג. שיטת הצידוד המהיר**

בשיטה זו (איור 2.3.41) ההגשה של הסכין נעשית לעומק ולצדדים לסירוגין. זאת כדי שהסכין תחתוך תמיד רק מצד אחד. השלמת פרופיל התברג נעשית בחדירה לעומק בלבד כדי להעתיק את פרופיל הסכין בתברג.

איור 2.3.42: שיטת הטיית הגררה העליונה



ד. שיטת הטיית הגררה העליונה

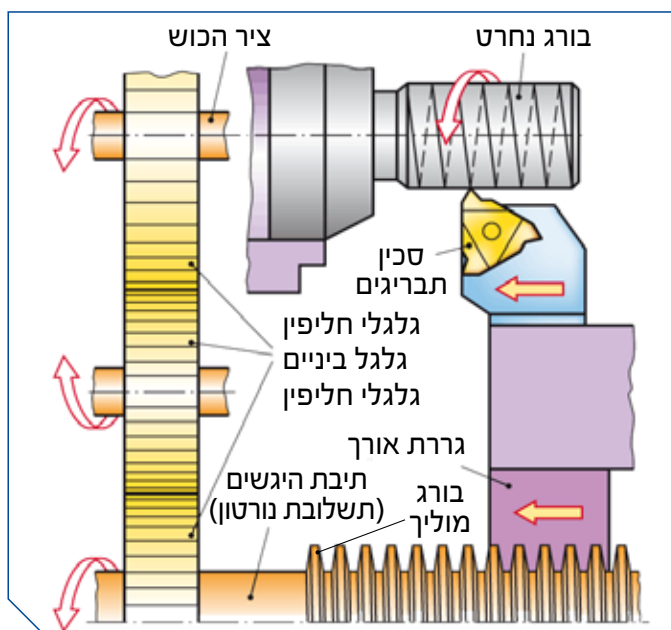
מציבים את הגררה העליונה במחצית זווית פרופיל השן (איור 2.3.42). החדירה נעשית לעומק ולצד בעת ובעונה אחת, מכיוון שבשיטה זו החדירה מתבצעת בזווית (על ידי הגררה העליונה כמו בחריטת בקונוס). השלמת פרופיל התבריג נעשית בחדירה לעומק בלבד על ידי גררת הערב (גררת הרחב) כדי להעתיק את פרופיל הסכין בתבריג.

5. תהליך ביצוע התבריג

באיור 2.3.43 מתואר ביצוע התבריג במחרטה קונבנציונאלית: תנועת גררת האורך המזיזה את סכין ההברגות מקבלת את התנועה מכוש המחרטה דרך גלגלי החליפין, תיבת היגשים והבורג המוליך.

המעלה (התקדמות הסכין בסיבוב אחד של הבורג) של התבריג הנחרט מתקבלת מהיחס שבין סיבובי הכוש ובין התקדמות הגררה. תפקידה של תשלובת נורטון (המורכבת ממערכת גלגלי שיניים הניתנים לחיבור בכמה אפשרויות) הוא לאפשר ביצוע יחסים רבים של מעלה, לייצור תבריגים שונים. היחס שבין מעלת הבורג המוליך למעלת הבורג הנחרט קובע את אפשרויות החזרת הסכין לחריץ התבריג בכל שלב כמפורט להלן.

איור 2.3.43: חריטת התבריג במחרטה קונבנציונאלית



6. אופן החזרת הסכין לחריץ התבריג (בכל התבריגים)

פעולת התברוג בסכין חריטה נעשית על ידי הסרת שבבים אחד אחרי השני. לאחר הסרת השבב, מוציאים את הסכין מחריץ התבריג, מחזירים את הסכין לנקודת ההתחלה ומגישים אותו שוב לתוך החריץ, להסרת השבב הבא.

**שתי אפשרויות להחזרת הסכין לתחילת התבריג:**

- א. על ידי **סיבוב הכוש לכיוון הפוך** מזה שביצענו את התבריג מבלי להפריד את האום החצוי.
- ב. **שימוש בשעון הברגות**, הפרדת האום החצוי והחזרת הסכין לתחילת התבריג באופן ידני.

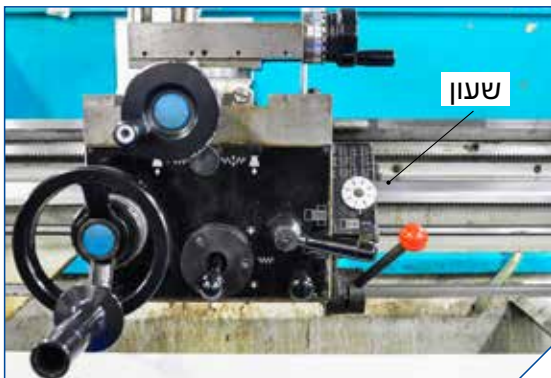
**א. סיבוב הכוש בכיוון הפוך**

כאשר מבצעים תבריג אינצי' במחרטה בעלת בורג מוליך מ"מ, או תבריג מ"מ במחרטה עם בורג מוליך אינצי', לא ניתן להפריד את האום החצוי ולהבטיח שהסכין תחזור לחריץ ההברגה. לכן, לאחר שילוב האום החצוי בשבב הראשון, מחזירים את הסכין לתחילת התבריג להורדת שבב נוסף על ידי סיבובי הכוש בכיוון הפוך לזה שביצענו את התבריג, מבלי להפריד את האום החצוי מהבורג המוליך. גם כאשר חורטים תבריג קצר, ניתן להשתמש בשיטה זו להחזרת הסכין לתחילת התבריג. אם התבריג ארוך, פעולה זו תגזול זמן רב.

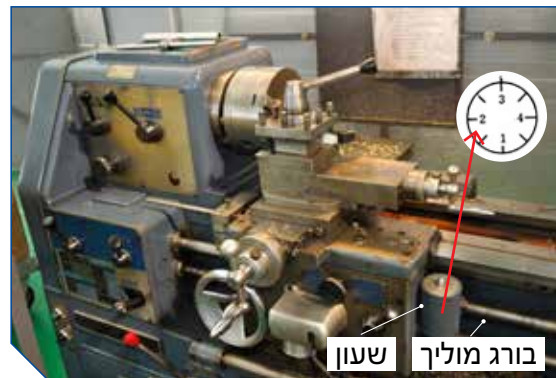
**ב. שימוש בשעון הברגות**

במקרים של ביצוע תבריג בתקן כמו של הבורג המוליך במחרטה, מפרידים את האום החצוי מהבורג המוליך, ומחזירים את הסכין בצורה ידנית לתחילת התבריג. כדי שהסכין תיכנס לתוך חריץ התבריג, יש להתחשב ביחס שבין התבריג הנחרט והבורג המוליך של המחרטה. לצורך כך, יש להשתמש בשעון הברגות המחובר לבורג המוליך בעזרת גלגל שיניים, ובחלקו העליון דסקה עם שנתות, במחרטה עם בורג מוליך אינצי' (איור 2.3.44) או במחרטה עם בורג מוליך מ"מ (איור 2.3.45).

איור 2.3.45: שעון הברגות מ"מ



איור 2.3.44: שעון הברגות אינצי' וחיבורו לבורג המוליך



**מצבי שימוש בשעון הברגות**

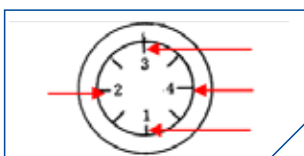
**מצב א':** מספר הכריכות של הבורג המוליך מתחלק בלי שארית למספר הכריכות של התברג הנחרט. במקרה זה אין צורך בשימוש בשעון, הסכין תמיד תחזור לחריץ התברג. לדוגמה, בורג מוליך 4 כ"א (כריכות לאינץ') וחריטת תברג 12 כ"א ( $12:4=3$ ).

**איור 2.3.46: מצב ב'**



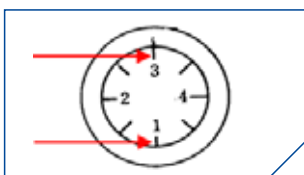
**מצב ב':** מספר הכריכות של הבורג המוליך במחרטה מתחלק עם שארית זוגית. במקרה זה אפשר להיכנס על כל קו (8 אפשרויות, איור 2.3.46). לדוגמה, בורג מוליך 4 כ"א וחריטת תברג 14 כ"א ( $14:4=3$ ) ושארית זוגית של 2.

**איור 2.3.47: מצב ג'**



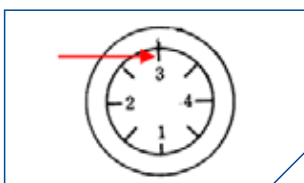
**מצב ג':** מספר הכריכות של הבורג המוליך מתחלק עם שארית לא זוגית. במקרה זה אפשר להיכנס על כל קו שני (רק בקווים השלמים או רק בקווים החצאים, איור 2.3.47). לדוגמה, בורג מוליך 4 כ"א וחריטת תברג 13 כ"א ( $13:4=3$ ) ושארית לא זוגית של 1.

**איור 2.3.48: מצב ד'**



**מצב ד':** מספר הכריכות באינץ' של הבורג הנחרט הוא מספר עם חצי, כשבפסיעה יש  $1/2$ , כמו 11.5 כ"א - אפשר להיכנס רק בשני קווים נגדיים (שתי אפשרויות, איור 2.3.48).

**איור 2.3.49: מצב ה'**



**מצב ה':** מספר הכריכות באינץ' של הבורג הנחרט הוא מספר עם רבע, כשבפסיעה יש  $1/4$ , כמו 7.75 או 3.25 כ"א - צריך להיכנס רק באותו הקו (אפשרות אחת, איור 2.3.49).

**איור 2.3.50: מתקן נסיגה לביצוע תברגים**



**7. נסיגת הסכין בסיום שבב (בכל התברגים)**

לאחר ביצוע שבב, יש לסגת עם הסכין אל מחוץ לחריץ התברג, ולהחזיר את הסכין לתחילת התברג להורדת שבב נוסף. ניתן לבצע את נסיגת הסכין בעזרת גררת הערב, או במתקן מיוחד (איור 2.3.50).

יתרונו של מתקן זה הוא שבסיום ביצוע שבב, מוציאים את הסכין מחריץ התברג בעזרת ידית נסיגה (ולא בעזרת גררת הערב). מחזירים את הסכין לתחילת התברג.

כדי לבצע שבב נוסף נחזיר באמצעות הידית של המתקן את הסכין שתחזור לעומק הקודם שבצענו, נוסיף באמצעות גררת הערב שבב נוסף אותו נבצע. תהליך זה ממשיך עד שמגיעים לעומק הסופי של התברייג הנדרש.

**8. חריטת תברייג ריבועי**

חריטת תברייג ריבועי נעשית בעזרת סכין הדומה לסכין חריצים (איור 2.3.51).

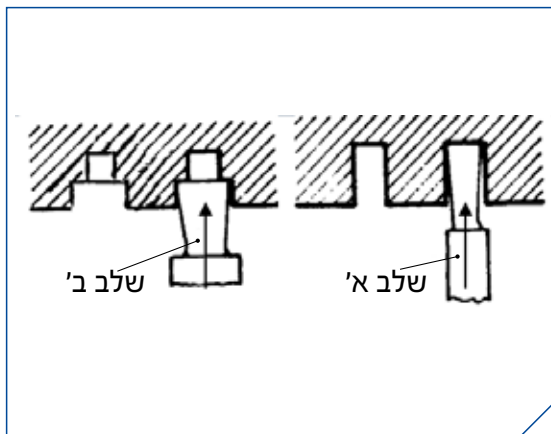
מידות התברייג הריבועי הן (איור 2.3.51):

• עומק התברייג  $h_3 = l - 1/2$  פסיעת התברייג  $(P/2)$ .

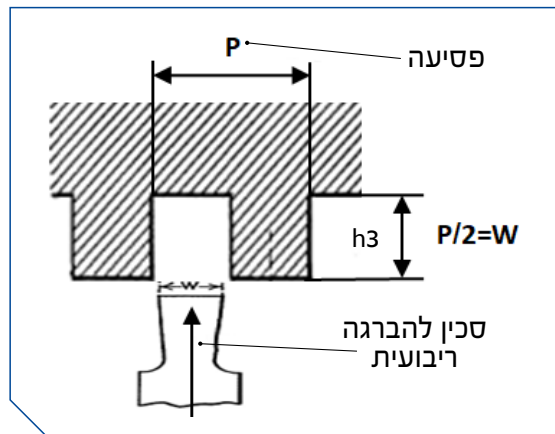
• רוחב התברייג  $W = l - 1/2$  פסיעת התברייג.

תנוחת הסכין צריכה להיות כך שהשפה החותכת תהיה מקבילה לציר התברייג. תברייג בעל שן קטנה ניתן לבצע בסכין ברוחב השן ואילו תברייג בעל שן גדולה ניתן לבצע בכמה שלבים כמתואר באיור 2.3.52, שלב א' ושלב ב'.

**איור 2.3.52: חריטת תברייג ריבועי בשלבים**

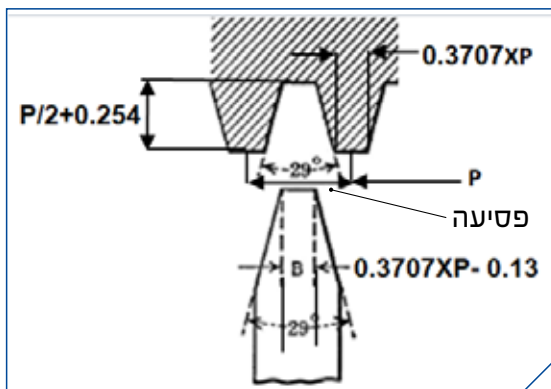


**איור 2.3.51: מידות וסכין לחריטת תברייג ריבועי**



**9. חריטת תברייג טרפזי**

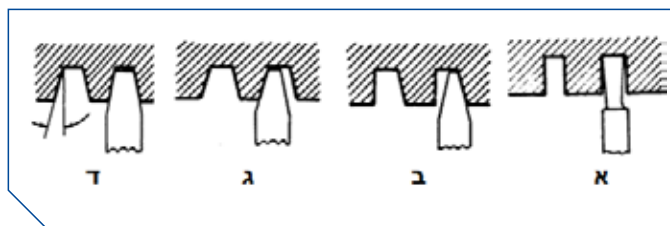
**איור 2.3.53: מידות וסכין לחריטת תברייג טרפזי**



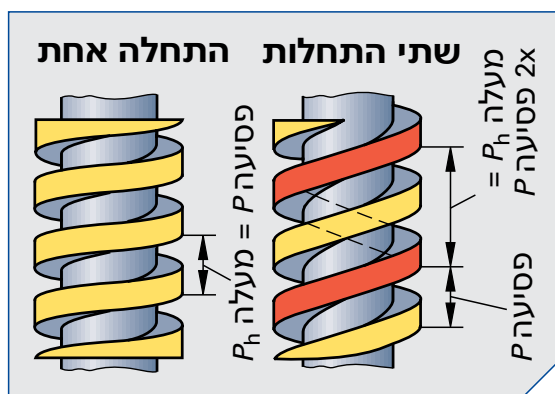
באיור 2.3.53 מופיעות מידות לחריטת תברייג טרפזי (הדוגמה באיור היא לתברייג בתקן אינצ'י  $29^\circ$ , יש גם תברייג בתקן, שהזווית שלו היא  $30^\circ$ ).

לביצוע תברייג עד פסיעה של 3.5 מ"מ, חורטים בשלב אחד בעזרת סכין בעלת פרופיל של התברייג. לחריטת תברייג בעל פסיעה גדולה יותר חורטים את התברייג בשלבים, כמתואר באיור 2.3.54 א-ד.

איור 2.3.54: חריטת תברג טרפזי בשלבים



איור 2.3.55: תברג מרובה בעל 2 התחלות



10. תברג מרובה

תברג מרובה הוא תברג בעל כמה התחלות באיור 2.3.55 מימין מתואר תברג ריבועי בעל 2 התחלות. הביצוע של תברג מרובה דומה לביצוע של תברג רגיל. השוני הוא בכך שבתבנת נורטון (תבנת קדמות) מכוונים את המעלה של התברג (שהוא הפסיעה X מספר התחלות) ולא את הפסיעה. מעלה = התקדמות הבורג לתוך האום בסיבוב אחד.

פסיעה = המרחק שבין שן לשן.  
בתברג מרובה הנוסחה היא:

מעלה = פסיעה X מספר התחלות  $P = S \times Z$   
 $Z$  = מספר התחלות  $S$  = פסיעה  $P$  = מעלה

ביצוע של תברג מרובה

- א. מבצעים את הכריכה הראשונה עד לעומק המתאים לפסיעת התברג (לא למעלה של התברג). כתוצאה מכך נשאר רווח בין שני חריצי התברג, עקב אי השלמת העומק.
- ב. מזיזים את הסכין באמצעות הגררה העליונה בגודל הפסיעה של התברג ומתחילים שוב בביצוע כריכה נוספת מההתחלה.
- ג. אם התברג הוא בעל שלוש התחלות, חוזרים על ביצוע התברג שלוש פעמים. לדוגמה, יש לחרוט תברג בעל פסיעה של 3 מ"מ עם שלוש התחלות:
  - א. מכוונים את המעלה לביצוע תברג עם מעלה של 9 מ"מ, מבצעים את החריץ הראשון לעומק של תברג עם פסיעה של 3 מ"מ.
  - ב. עם סיום העומק, מזיזים את הסכין 3 מ"מ ומתחילים מחדש לבצע את התברג לעומק של 3 מ"מ.
  - ג. בסיום חוזרים פעם נוספת להשלמת התברג.
  - ד. התברג בסיבוב אחד יתקדם 9 מ"מ, בעוד שעומק התברג יהיה כמו תברג של 3 מ"מ.
  - ה. תברג מרובה מקנה מהירות תנועה גבוהה, ביחד עם שמירה על חוזק של לב הבורג.

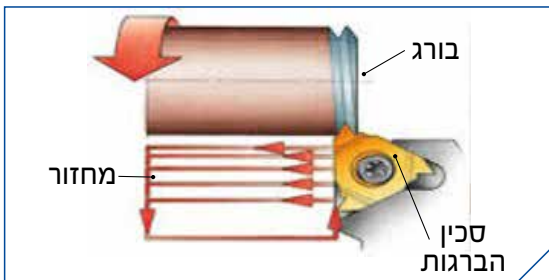
איור 2.3.56: סרגל קונוסים



**תברייג קוני**

אפשר לבצע תברייג קוני במחרטה קונבנציונאלית כאשר יש במחרטה מתקן לחריטה קונית (סרגל קונוסים, איור 2.3.56). המתקן מכוון לזווית הקונוס של התברייג ומבוצע כמו תברייג רגיל. את הסכין מציבים בהתאם לתקן של הקונוס. במחרטת CNC ביצוע תברייג קוני נעשה בקלות.

איור 2.3.57: מחזור חריטת תברייג



**2.3.5.3 חריטת תברייגים במחרטת CNC**

**1. תברייג רגיל**

ייצור תברייג במחרטת CNC נעשה במחזור (סברוטטינה, שגרה) נתון של הבקרה (איור 2.3.57).

המחזור מבצע את חריטת התברייג בכמה שלבים לעומק (בספר 6 פרק 7 ישנו הסבר מפורט על ביצוע תברייגים במכונות CNC).

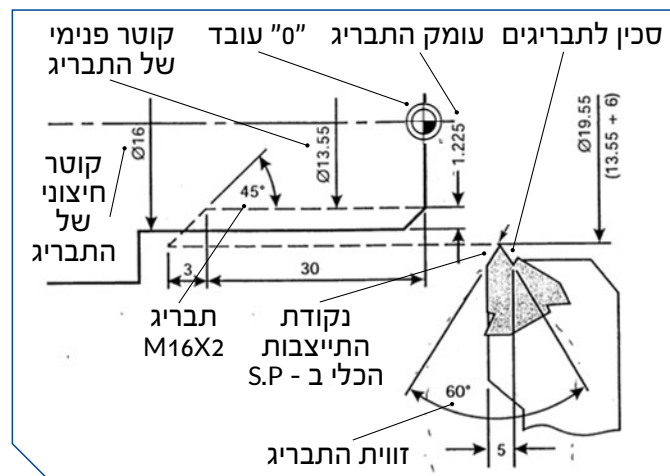
במחזור כותבים את הפרמטרים הדרושים לייצור התברייג (באיור 2.3.58 נתון תברייג מטרי רגיל (M16X2).

מחזור ההברגות, מבצע את תהליך השיבוב של התברייג, בדומה לעיבוד תברייג במחרטה קונבנציונלית, כולל את שחרור הסכין מחריץ התברייג באחת מהדרכים שבחרנו. במחזור לעיבוד תברייג אנחנו מגדירים את נתוני הביצוע של התברייג.

**מחזור תיברוג מבצע את הפעולות בסדר הבא**

- א. התמקמות מהירה של הכלי בתחילת התברייג בנקודת S.P (Start Point) (איור 2.3.58), במרחק מחושב בציר Z ובציר X. קביעת נקודה זו קשורה לסל"ד הכוש וסיום התברייג (עם חריץ שחרור או יציאה בזווית 45°).
  - ב. חדירת הסכין לעומק שבב ראשון כפי שקבענו.
  - ג. ביצוע השבב לאורך הנדרש (אורך התברייג).
  - ד. נסיגת הסכין מהחומר לגובה מעל לתברייג.
  - ה. חזרת הכלי לתחילת התברייג.
  - ו. חזרת הסכין לעומק שבוצע בתוספת היגש (עובי השבב) שקבענו ושחרור הכלי בשיטה שבחרנו.
- המחזור לביצוע תברייג מבצע את העיבוד בשלבים לעומק (כמו במחרטה קונבנציונלית), כשבכל שלב מתבצעת הורדת שבב נוסף להגדלת העומק של התברייג. המחזור משאיר חומר לביצוע השבב הסופי שמסיים את עומק התברייג הנדרש ומשלים את פרופיל השן.

איור 2.3.58: נתונים לייצור תבריג במחרטת CNC



התכנית המתוארת באיור 2.3.59 מפרטת את נתוני התבריג שבאיור 2.3.58. נתוני התבריג מוגדרים בתוכנית בשתי שורות נפרדות ורצופות. בכל מחרטה ממוחשבת יוגדרו נתוני התבריג באופן כזה או אחר.

### הסבר על תוכנית CNC המובאת באיור 2.3.59

**שורה 60:** תנועה מהירה (G00), הגדרת הקדמה במ"מ לסיבוב (G97), הגדרת נקודת התייצבות של הכלי לתחילת התבריג (S.P) ב- X19.5 וב-Z5, הפעלת כוש ב-1600 סל"ד (S1600), הגדרת מקום הכלי בצריח (פוקט 4) ובטבלת הכלים (שורה 4) (T0404), הפעלת כוש עם כיוון השעון ומי קירור (M13).

**שורה 70:** הגדרת נתונים לביצוע מחזור הברגה (G76), הגדרת נתוני עיבוד לביצוע התבריג. הנתונים הם:

2 שבבים (מעברים) בסיום התבריג.

1.5 מ"מ התרחקות הכלי בסוף התבריג.

זווית התבריג 60°.

עומק השבב המינימלי בשבב גמר יהיה 0.1 מ"מ.

עומק שבב הגמר יהיה 0.05 מ"מ.

### שורה 80:

השלמה של הגדרת נתוני התבריג וביצוע התבריג. הנתונים הם:

קוטר הפנימי של התבריג 13.55 מ"מ.

אורך תנועת הכלי עד סיום התבריג 33 מ"מ.

התבריג מקביל, אין הפרש בקטרים (לא קוני).

עומק התבריג הוא 1.225 מ"מ.

עומק שבב מינימלי יהיה 0.4 מ"מ.

פסיעת התבריג 2 מ"מ.

**איור 2.3.59: תכנית לביצוע תברייג במחרטת CNC**

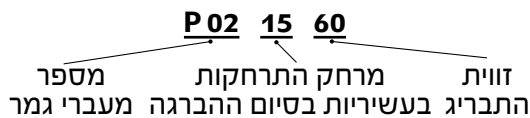
לאחר התמקמות הכלי בנקודת ההתחלה (שורה 60) יש שתי שורות לביצוע תברייג. באחד (שורה 70) מגדירים את נתוני התברייג ובשני שלאחריו (שורה 80) משלימים את הנתונים.

**תכנית לחריטת תברייג:**

N60 G00 G97 X19.5 Z5 S1600 T0404 M13;  
**N70 G76 P021560 Q100 R0.05;**  
**N80 G76 X13.55 Z-33 R0 P1225 Q400 F2;**  
 N90 G00 X400 Z350 T0400;  
 N100 M01;

**בשורה הראשונה (שורה 70) הנתונים הם**

G76 = מחזור הברגות  
 P = נתונים לביצוע התברייג, מחולק לשלושה חלקים:



Q = עומק שבב מינימלי של התברייג בעיבוד גס.  
 R = עומק שבב גמר של התברייג.

**בשורה השניה (שורה 80) הנתונים הם**

X = קוטר פנימי (קטן) של התברייג.  
 Z = אורך ההברגה (כולל מרחק היציאה).  
 R = בתברייג קוני, ההפרש במידה בין תחילת התברייג לסיומו (ערך מחושב), בתברייג רגיל  $\alpha = 0$ .  
 P = עומק כללי של התברייג במיקרונים באינקרמנטלי.  
 Q = עומק שבב מינימלי בעיבוד גס במיקרונים.  
 F = פסיעת התברייג במ"מ.

**שורות 90-100:** תנועה מהירה מנקודת S.P אל מקום שנבחר לסיבוב הצריח ועצירת התוכנית.

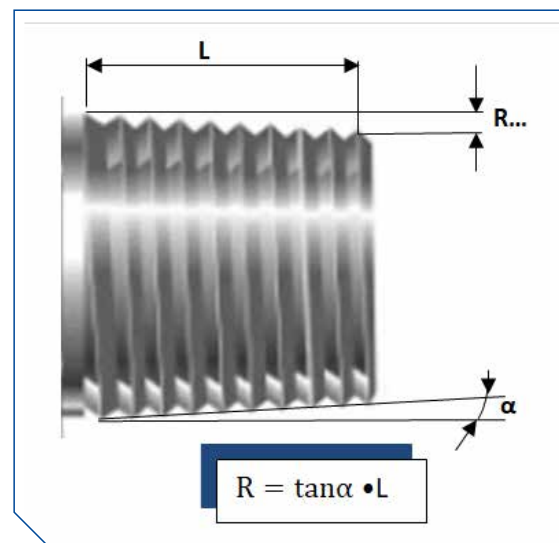
**2. תברייג קוני במחרטת CNC**

חריטת תברייג קוני במחרטת CNC תיעשה על ידי שילוב תנועה סיבובית של הכוש עם התקדמות הסכין (הצריח), באינטרפולציה קווית (ליניארית) בצירים X ו-Z (כמו בייצור קונוס). האינטרפולציה מתאימה לקוניות של התברייג, כשההתקדמות של הכלי בכל סיבוב של העובד מותאמת למעלה התברייג.

**ייצור התברייג**

- א. חורטים את הקטע הקוני שעליו מונח התברייג בחריטה קווית רגילה.
- ב. מבצעים מחזור הברגות כמו בתברייג רגיל, ומוסיפים לשורה השנייה את הפרמטר R... (ראו שורה 80 בדוגמה באיור 2.3.59). בפרמטר זה נתון ההפרש שבין הקטרים, המחושב לפי זווית התברייג הקוני  $\alpha$  ואורכו L, לפי הנוסחה שבאיור 2.3.60 למטה.

**איור 2.3.60: חישוב R בתברייג קוני**



#### 2.3.5.4 חריטת תבריג שמאלי

תבריג שמאלי הוא תבריג שהסגירה שלו היא נגד כיוון השעון. הוא מיוצר במטרה למנוע פתיחתו בחלקים מסתובבים עם כיוון השעון - בסיבוב עם כיוון השעון התבריג השמאלי נסגר. לדוגמה, האום המהדק את להבי המאוורר.

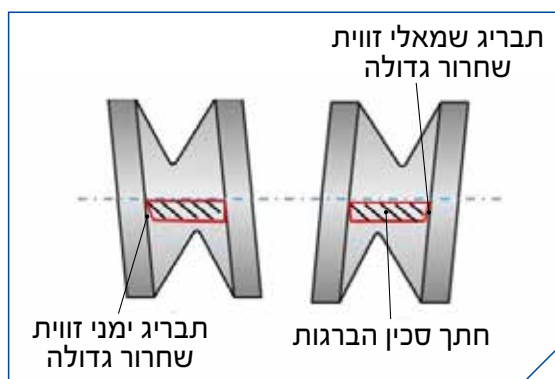
שימוש נוסף נמצא לבורג שמאלי במותחן כבלים - בסיבוב לכיוון אחד, בורג אחד נפתח והשני נסגר. כמו כן, בתבריגים לגז מייצרים תבריגים שמאליים משיקול בטיחותי, כדי שלא יחברו תבריגים רגילים למערכת גז, וכדי שהפתיחה תהיה הפוכה מהמקובל ותמנע בכך ממי שלא מוסמך לטפל במערכות אלה.

תהליך ייצור התבריג דומה לזה של התבריג הימני.

#### 1. ביצוע תבריג שמאלי במחרטה קונבנציונלית

כאשר בחריטה במחרטה קונבנציונלית עם סכין המוצבת כלפי מעלה. בביצוע תבריג ימני הסכין נעה מימין לשמאל (לכיוון התפסנית), בעוד שבתבריג שמאלי התנועה הקווית של הסכין היא משמאל לימין. בשני המקרים סיבובי הכוש יהיו לאותו הכיוון כלומר עם כיוון השעון.

#### איור 2.3.61: זווית השחרור לתבריג שמאלי וימני



#### 2. ביצוע תבריג שמאלי במחרטת CNC

התנועה הקווית של הסכין תלויה בהצבת הסכין בצריח הכלים, דבר המשפיע על סיבובי הכוש.

- הסכין מוצב בצריח אחורי במצב שהחוד של הסכין למעלה (איור 2.3.63 a) או בצריח קדמי חוד הסכין למטה (איור 2.3.63 b), סיבובי הכוש יהיו נגד כיוון השעון (M4) וכיוון התנועה של הסכין יהיה לכיוון התפסנית.

- זוויות השחרור של הסכין משוחררת בהתאם לזווית של מעלה התבריג. איור 2.3.61 מתאר סכין בתוך חריץ של תבריג שמאלי ותבריג ימני, כאשר כיוון זווית מעלה התבריג משפיע על כיוון של זוויות השחרור הצדדיות של הסכין.

#### 3. כיוון סיבובי הכוש בביצוע תבריגים

את כיוון סיבובי הכוש במחרטת CNC קובעים בהתאם לדפינת הסכין (חיצוני או פנימי) בצריח המחרטה.

#### א. תבריגים חיצוניים

##### מקרה א' - תבריג ימני

הסכין החיצונית מורכבת בצריח אחורי, השימה כלפי מטה (איור 2.3.62 b). כיוון סיבובי הכוש יהיו עם כיוון השעון M3.

**מקרה ב' - תברייג ימני**

הסכין החיצונית מורכבת בצריח קדמי, השימה כלפי מעלה (איור 2.3.62 1a). כיוון סיבובי הכוש יהיו עם כיוון השעון M3.

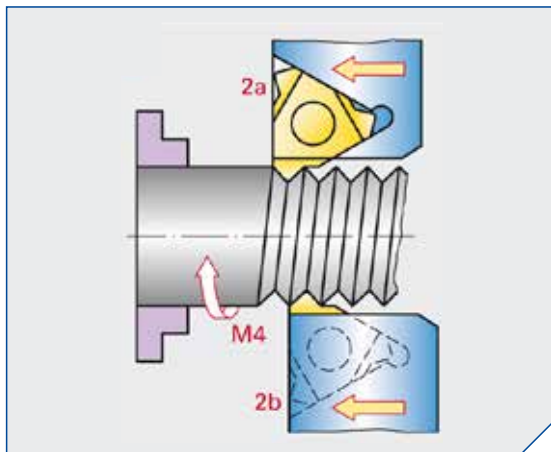
**מקרה ג' - תברייג שמאלי**

הסכין החיצונית מורכבת בצריח אחורי, השימה כלפי מעלה (איור 2.3.63 2a). כיוון סיבובי הכוש יהיו נגד כיוון השעון M4.

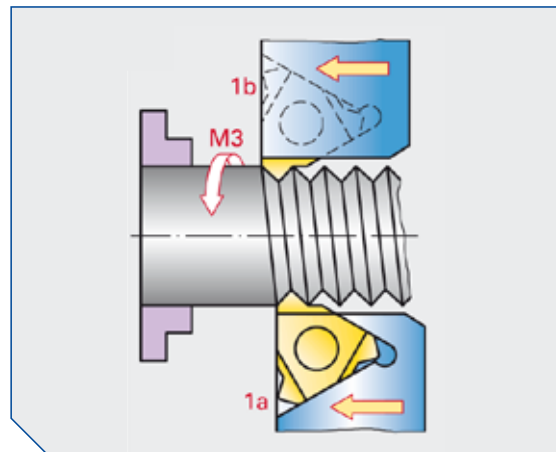
**מקרה ד' - תברייג שמאלי**

הסכין החיצונית מורכבת בצריח קדמי, השימה כלפי מטה (איור 2.3.63 2b). כיוון סיבובי הכוש יהיו נגד כיוון השעון M4.

**איור 2.3.63: כיוון סיבובי הכוש בהברגה חיצונית שמאלית**



**איור 2.3.62: כיוון סיבובי הכוש בהברגה חיצונית ימנית**



**ב. תברייגים פנימיים**

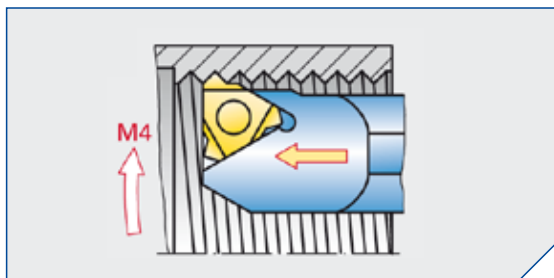
**תברייג פנימי ימני**

הסכין הפנימית מורכבת כשהשימה מורכבת כמתואר באיור 2.3.64, כיוון סיבובי הכוש יהיה עם כיוון השעון M3.

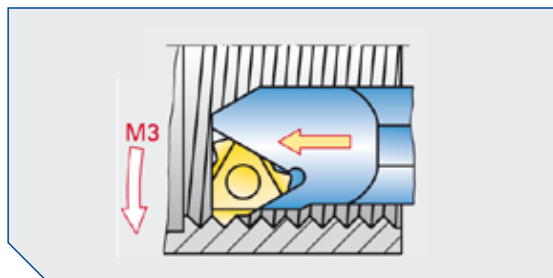
**תברייג פנימי שמאלי**

הסכין הפנימית מורכבת כאשר השימה מורכבת כמתואר באיור 2.3.65, כיוון סיבובי הכוש יהיה נגד כיוון השעון M4.

איור 2.3.65: כיוון סיבובי הכוש בהברגה פנימית שמאלית



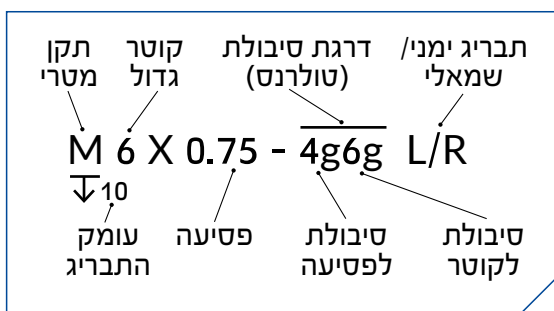
איור 2.3.64: כיוון סיבובי הכוש בהברגה פנימית ימנית



## 2.3.6 סיבולת ואפיציות בתבריגים

### 2.3.6.1 הקדמה

איור 2.3.66: סימון תבריגים עם סיבולת



בכדי לקבוע תקן להתאמת תבריגים בדיוקים שונים, בהתאם לשימושו הפונקציונאלי של התבריג (תבריג של מיקרומטר צריך להיות מדויק יותר מתבריג לחיבור פחים), תקן ISO קבע מערכת סיבולת ואפיציות המסומנות בהגדרת הבורג (איור 2.3.66).

נתוני דיוק התבריג משפיע על דיוק התאמת התבריג החיצוני לתבריג הפנימי. נתאר ונסביר להלן את הדרישות הבאות:

- סיבולת.
- אפיצות.
- מרקם פני שטח (טיב שטח).

### 2.3.6.2 סיבולת (טולרנס)

#### 1. סיבולת ISO בשיטת הגל והקדח האחיד

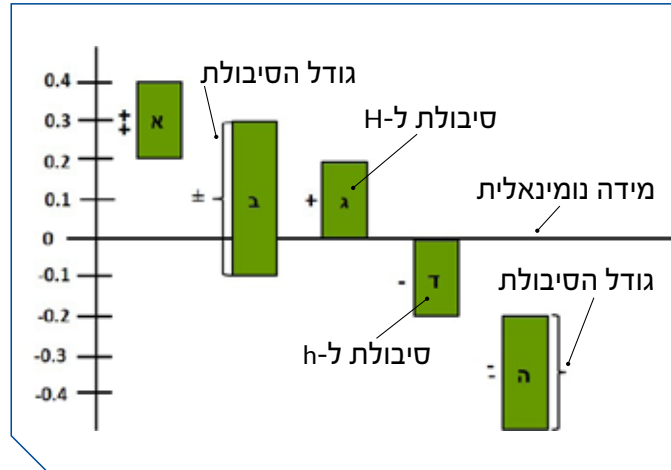
סיבולת היא טווח (תחום) המידה בה נתון חלק אחד. הסיבולת מתייחסת לסטייה מעל למידה הנומינלית (מידה נקובה) או מתחת לה. ISO מסמן את הסיבולות במספרים ובאותיות. לקדח ניתן אות גדולה ולידה מספר, כמו: H6, M7 ולגל (ציר) ניתן אות קטנה ולידה מספר, כמו: k5 n8.

האות מציינת את מיקום הסיבולת ביחס למידה הנומינלית (איור 2.3.67). האפשרויות הקיימות:

- א. הסיבולת מהמידה הנומינלית נתונה ב ++
- ב. הסיבולת מהמידה הנומינלית נתונה ב - +
- ג. הסיבולת מהמידה הנומינלית נתונה ב +

- ד. הסיבולת נתונה מהמידה הנומינלית ב - ד
- ה. הסיבולת נתונה מהמידה הנומינלית ב - ה

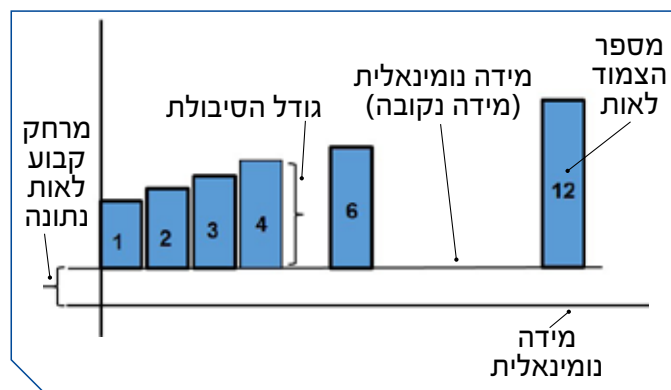
איור 2.3.67: מיקום הסיבולת ביחס למידה הנומינלית



המספר בצמוד לאות מציין את **גודל הסיבולת**. ההתחלה של המידה בהתייחס לאות נתונה נשארת באותו מרחק קבוע מהמידה הנומינלית שנקבעה. המידה גדלה בהתאם למספר הצמוד אליה (איור 2.3.68), כאשר 1 היא סיבולת קטנה ו-12 סיבולת גדולה. המספר 6 לדוגמה, משמש סיבולת לתבריגים סטנדרטיים. כל מספר מעל 6 מסמל **סיבולת גדולה יותר**, וכל מספר קטן מ-6 מסמל **סיבולת קטנה יותר**.

הספרה הצמודה לאות מציינת תמיד **גודל קבוע של סיבולת**. לדוגמה: הסיבולת של H7 והסיבולת של e7 תהינה זהות בגודלן בכל מידה נומינלית. מיקום הסיבולת ולא גודלה משתנה בהתאמה למיקום האות ביחס למידה הנומינלית.

איור 2.3.68: גודל הסיבולת בהתייחס למספר הצמוד לאות



לדוגמה, במידה נומינלית שבין 6-10 עבור הסיבולות של M6, H6-i n6, k6 טבלה 2.3.5 וטבלה 2.3.6 וכל האחרים המוגדרים בספרה 6, גודל הסיבולת לפי טבלת סיבולות תהיה: 0.009 מ"מ.

ההבדל יהיה במיקום הסיבולת ביחס למידה הנומינלית לדוגמה:

ב- k6 (טבלה 2.3.5) הסיבולת היא:  $+0.010 + 0.001 + (0.009)$

ב- n6 (טבלה 2.3.5) הסיבולת היא:  $+0.019 + 0.010 + (0.009)$

ב- H6 (טבלה 2.3.6) הסיבולת היא:  $+0.009 + 0.000 + (0.009)$

ב- M6 (טבלה 2.3.6) הסיבולת היא:  $-0.003 - 0.012 + (0.009)$

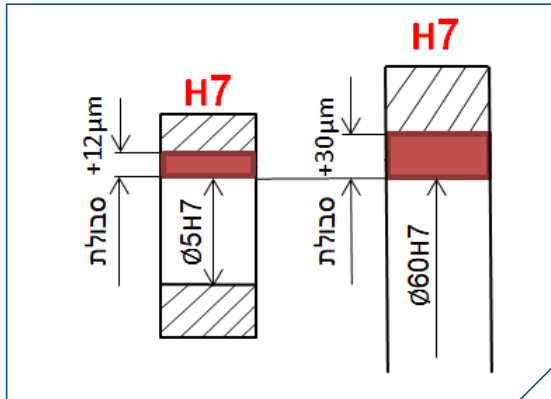
**טבלה 2.3.5: סיבולת ISO לגלים**

דרגה	ערך ב-יחיד (מ"מ 0.001)																								
	5					6						7				8				9		10		11	
מידה נומינלית	h5	n5	p5	g6	h6	j6	k6	m6	n6	r6	s6	f7	h7	e8	h8	u8	x8	d9	h9	h10	a11	c11	h11	h12	
1...3	0	+8	+10	-2	0	+4	+6	+8	+10	+16	+20	-6	0	-14	0	-	+34	-20	0	0	-270	-60	0	0	
3...6	0	+13	+17	-4	0	+6	+9	+12	+16	+23	+27	-10	0	-20	0	-	+46	-30	0	0	-270	-70	0	0	
6...10	0	+16	+21	-5	0	+7	+10	+15	+19	+28	+32	-13	0	-35	0	-	+56	-40	0	0	-280	-80	0	0	
10...14	0	+20	+26	-6	0	+8	+12	+18	+23	+34	+39	-16	0	-32	0	-	+67	-50	0	0	-290	-95	0	0	
14...18	-8	+12	+18	-17	-11	-3	+1	+7	+12	+23	+28	-34	-18	-59	-27	-	+40	-93	-43	-70	-400	-205	-110	-150	
18...24	0	+24	+31	-7	0	+9	+15	+21	+28	+41	+48	-20	0	-40	0	-	+87	-65	0	0	-300	-110	0	0	
24...30	-9	+15	+22	-20	-13	-4	+2	+8	+15	+28	+35	-41	-21	-73	-33	-	+54	-117	-52	-84	-430	-240	-130	-180	
30...40	0	+28	+37	-9	0	+11	+18	+25	+33	+50	+59	-25	0	-50	0	-	+99	+119	0	0	-310	-120	0	0	
40...50	-11	+17	+26	-25	-16	-5	+2	+9	+17	+34	+43	-50	-25	-89	-39	-	+60	+80	-142	-62	-100	-470	-280	-160	-210
50...65	0	+33	+45	-10	0	+12	+21	+30	+39	+60	+72	-30	0	-60	0	-	+133	+168	-100	0	0	-340	-140	0	0
65...80	-13	+20	+32	-29	-19	-7	+2	+11	+20	+61	+53	-60	-30	-106	-46	-	+87	+122	-174	-74	-120	-530	-330	-190	-250
80...100	0	+38	+52	-12	0	+13	+25	+35	+45	+73	+93	-36	0	-72	0	-	+148	+192	-120	0	0	-380	-170	0	0
100...120	-15	+23	+37	-34	-22	-9	+3	+13	+23	+51	+71	-71	-35	-126	-54	-	+102	+146	-207	-87	-140	-600	-390	-220	-300
120...140	0	+45	+61	-14	0	+14	+28	+40	+52	+88	+117	-43	0	-85	0	-	+178	+232	-145	0	0	-460	-200	0	0
140...160	-18	+27	+43	-39	-25	-11	+3	+15	+27	+63	+92	-83	-40	-148	-63	-	+170	+248	-245	-100	-160	-710	-450	-250	-350
160...180										+90	+125						+253	+343				-520	-210		
										+65	+100						+190	+280				-770	-460		
										+93	+133						+273	+373				-580	-230		
										+68	+108						+210	+310				-830	-480		
180...200	0	+51	+70	-15	0	+16	+33	+46	+60	+106	+151	-50	0	-100	0	-	+308	+422	-170	0	0	-660	-240	0	0
200...225	-20	+31	+50	-44	-29	-13	+4	+17	+31	+77	+122	-96	-46	-172	-72	-	+236	+350	-285	-115	-185	-950	-530	-290	-400
225...250										+109	+159						+330	+457				-740	-260		
										+80	+130						+258	+385				-1030	-550		
										+113	+169						+356	+497				-820	-280		
										+84	+140						+284	+425				-1110	-570		

**טבלה 2.3.6: סיבולת ISO לקדחים**

דרגה	ערך ב-יחיד (מ"מ 0.001)																								
	6					7							8				9				10		11		12
מידה נומינלית	H6	J6	M6	N6	P6	F7	G7	H7	K7	M7	N7	R7	S7	E8	H8	E9	H9	N9	P9	D10	H10	C11	D11	H11	H12
1...3	+6	+2	-2	-4	-6	+16	+12	+10	0	-2	-4	-10	-14	+20	+14	+39	+25	-4	-6	+60	+40	+120	+80	+60	+100
3...6	0	-4	-8	-10	-12	+6	+2	0	-10	-12	-14	-20	-24	+6	0	+14	0	-29	-31	+20	0	+60	+20	0	0
6...10	+8	+5	-1	-5	-9	+22	+16	+13	+3	0	-4	-11	-5	+28	+18	+50	+30	0	-12	+78	+48	+145	+105	+75	+120
10...14	0	-3	-9	-13	-17	+10	+4	0	-9	-12	-16	-23	-27	+10	0	+20	0	-30	-42	+30	0	+70	+30	0	0
14...18	+9	+5	-3	-7	-12	+28	+20	+15	+5	0	-4	-13	-7	+35	+22	+61	+36	0	-15	+98	+58	+170	+130	+90	+150
18...24	0	-4	-12	-16	-21	+13	+5	0	-10	-15	-19	-28	-32	+13	0	+25	0	-36	-51	+40	0	+80	+40	0	0
24...30	+11	+6	-4	-9	-15	+34	+24	+18	+6	0	-5	-16	-21	+43	+27	+75	+43	0	-18	+120	+70	+205	+160	+110	+180
30...40	0	-5	-15	-20	-26	+16	+6	0	-12	-18	-23	-34	-39	+16	0	+32	0	-43	-61	+50	0	+95	+50	0	0
40...50	+13	+8	-4	-11	-18	+41	+28	+21	+6	0	-7	-20	-27	+53	+33	+92	+52	0	-22	65	+84	+240	+195	+130	+210
50...65	0	-5	-17	-24	-31	+20	+7	0	-15	-21	-28	-41	-48	+20	0	+40	0	-52	-74	0	0	+110	+65	0	0
65...80	0	+10	-4	-12	-21	+50	+34	+25	+7	0	-8	-25	-34	+64	+39	+112	+62	0	-26	+180	+100	+280	+240	+160	+250
80...100	+16	-6	-20	-28	-37	+25	+9	0	-18	-25	-33	-50	-59	+25	0	+50	0	-62	-88	+80	0	+120	+80	0	0
100...120	+19	+13	-5	-14	-26	+60	+40	+30	+9	0	-9	-30	-42	+76	+46	+134	+74	0	-32	+220	+120	+330	+290	+190	+300
120...140	0	-6	-24	-33	-45	+30	+10	0	-21	-30	-39	-58	-72	+30	0	+60	0	-74	-106	+100	0	+140	+100	0	0
140...160												-32	-48									+340	+100		
												-62	-78									+150			
160...180	+22	+16	-6	-16	-30	+71	+47	+35	+10	0	-10	-38	-58	+90	+54	+159	+87	0	-37	+260	+140	+390	+340	+220	+350
180...200	0	-6	-28	-38	-52	+36	+12	0	-25	-35	-45	-73	-93	+36	0	+72	0	-87	-124	+120	0	+120	+120	0	0
200...225	+25	+18	-8	-20	-36	+83	+54	+40	+12	0	-12	-48	-77	+106	+63	+185	+100	0	-43	+305	+160	+450	+395	+250	+400
225...250	0	-7	-33	-45	-61	+43	+14	0	-28	-40	-52	-88	-117	+43	0	+85	0	-100	-143	+145	0	+300	+145	0	0
												-50	-85									+460			
												-90	-125									+210			
												-53	-93									+480			
												-93	-133									+230			
180...200	+29	+22	-8	-22	-41	+96	+61	+46	+13	0	-14	-60	-105	+122	+72	+215	+115	0	-50	+355	+185	+530	+460	+290	+460
200...225	0	-7	-37	-51	-70	+50	+15	0	-33	-46	-60	-106	-151	+50	0	+100	0	-115	-165	+170	0	+240	+170	0	0
225...250												-63	-113									+550			
												-109	-159									+260			
												-67	-123									+570			
												-113	-169									+280			

**איור 2.3.69: השפעת הקוטר הנומינאלי על הסיבולת**



**השפעת הקוטר הנומינאלי על הסיבולת**  
 גודל המידה הנומינלית משפיע על גודל הסיבולת. ככל שהמידה גדלה, הסיבולת גדלה בהתאמה. לדוגמה, באיור 2.3.69 הסיבולת של H7 בקוטר 5 מ"מ היא 0.012 מ"מ, ובקוטר של 60 מ"מ היא 0.030 מ"מ.

**דוגמה לסיבולת עבור תבריק מטרי: M16X2**  
**חישוב סיבולת של הקוטר היעיל (מתוך הטבלאות)**

- קוטר יעיל מקסימלי של האום: 14.913
- קוטר יעיל מינימלי של האום: 14.701
- הסיבולת: 0.212

**חישוב סיבולת של הקוטר החיצוני (מתוך הטבלאות):**

- קוטר חיצוני מקסימלי של הבורג: 15.962
- קוטר חיצוני מינימלי של הבורג: 15.682
- הסיבולת: 0.280

**הסיבולת באום** נתונה תמיד במידה הנומינלית ומעל למידה הנקובה (H) כלומר בפלוס (+).  
 הסיבולת בבורג נתונה תמיד במידה הנומינלית ומתחת למידה הנקובה, כלומר במינוס (-).  
 בדרך זו מובטח תמיד שהשינוי מהמידה הנקובה יביא לחופש גדול יותר ולא להיפך.

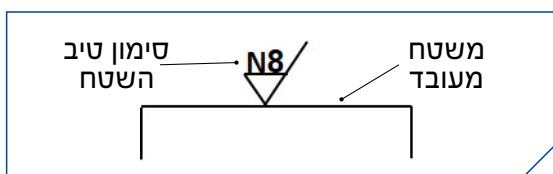
**2. סיבולת כללית IT**

סיבולת כללית IT (ISO Tolerance, טבלה 2.3.7) היא סיבולת כללית המחולקת ל-16 דרגות דיוק. בתבריקים, מקובל שהסיבולת הכללית היא  $\pm IT16/2$ . **בסיבולת זו ככל שהמידה במוצר גדלה, הסיבולת גדלה וכשהמידה קטנה הסיבולת קטנה.** הערכים נתונים בטבלאות ומתייחסים לקבוצה של מידות, ככל שהמספר המציין את הסיבולת גדול יותר שדה הסיבולת גדול. לדוגמה, דרגת סיבולת 12/2 קטנה מדרגת סיבולת 16/2. ערך הסיבולת הוא  $\pm$  מהמידה הנומינלית.  
 הערכים הנתונים בטבלה הם במ"מ.

טבלה 2.3.7: טבלה חלקית של סיבולת כללית IT

עיבוד שבבי (חריטה, כרסום, השחזה וכד') מדויק ובינוני						מידה נומינלית מ..... עד.....
16	15	14	13	12	11	
$\pm IT16/2$	$\pm IT15/2$	$\pm IT14/2$	$\pm IT13/2$	$\pm IT12/2$	$\pm IT11/2$	0.....3
0.3	0.2	0.125	0.07	0.05	0.03	3.....6
0.375	0.24	0.15	0.09	0.06	0.0375	6.....10
0.45	0.29	0.18	0.11	0.075	0.045	10.....18
0.55	0.35	0.215	0.135	0.09	0.055	18.....30
0.65	0.42	0.26	0.165	0.105	0.065	30.....50
0.8	0.5	0.31	0.195	0.125	0.08	50.....80
0.95	0.6	0.37	0.23	0.150	0.095	80.....120
1.1	0.7	0.435	0.27	0.175	0.11	

איור 2.3.70: סימון מרקם פני השטח



2.3.6.3 מרקם פני השטח (טיב השטח)

את מרקם פני השטח מסמנים בשרטוט כמתואר באיור 2.3.70. מרקם פני השטח המקובל בברגים המיוצרים בעיבוד שבבי הוא N7-N8 (טבלה 2.3.8).

טיב השטח מתייחס לחספוס פני השטח

המעובד. המספר המסומן ליד ה-"N" קטן, טיב השטח טוב, וככל שהמספר גדל טיב השטח גס ומחוספס יותר.

תהליך העיבוד ומכונת העיבוד משפיעים על טיב השטח המתקבל, ולכל מכונה וסוג עיבוד יש את היכולת שלהם לקבל טיב שטח מסוים (הסבר בספר 4 פרק 3 סיבולות ואפיצויות).

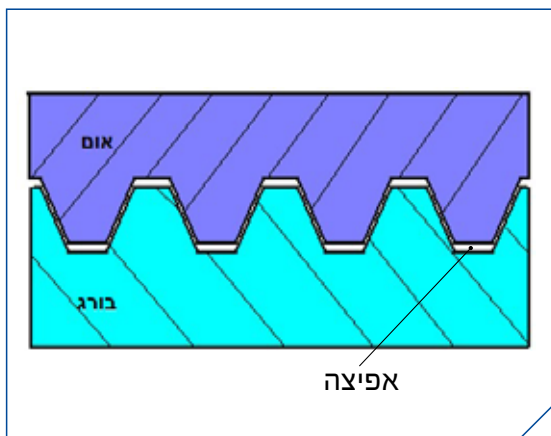
טבלה 2.3.8: סימון טיב השטח ודרגות העיבוד

גס			בינוני			עדין			עדין מאוד			סוג העיבוד	
N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1		
50	25	12.5	6.3	3.2	1.8	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025	תקן (תקן ISO - ישראלי)	
													גובה ממוצע החספוס Ra במיקרונים (אלפית המ"מ)

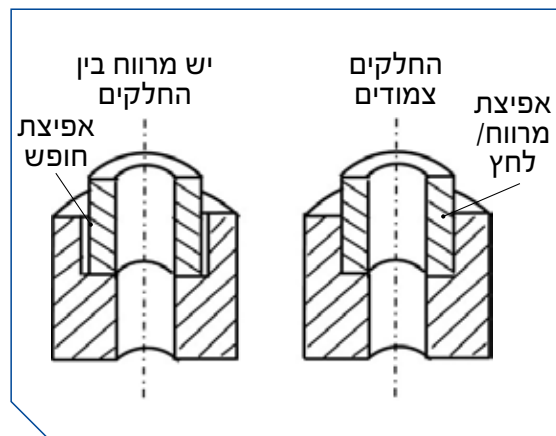
**2.3.6.4 אפיצות (התאמה)**

בעוד שסיבולת מתייחסת לחלק הבודד, האפיצות מתייחסת למצב ההתאמה שבין שני חלקים המורכבים אחד בתוך השני (איור 2.3.71). גודל האפיצות תלוי במידות של שני החלקים, במיקומם ביחס למידה הנומינלית ובטיב פני השטח הבאים במגע. כדי לקבל אפיצות מסוימת, יש לקבוע את הסיבולות של החלקים המורכבים. ככל שהאפיצה (ההתאמה) בין החלקים הנדרשת מדויקת יותר, דרגות הסיבולת של החלקים יהיו צפופות יותר. גם לאפיצה יש תחום של סיבולת, כלומר אם נקבעה אפיצת מרווח בין 0.1 ל-0.14, משמעותה שהמרווח שבין הקדח לגל יהיה בין המידות האלה (כלומר בסיבולת של 0.04). הקוטר שקובע את דיוק התברייג ואת האפיצה (איור 2.3.72) הוא הקוטר היעיל (אפקטיבי) בבורג ובאום. גם ניתנת הסיבולת המדויקת, שהיא זו שנמדדת.

**איור 2.3.72: האפיצות בין הבורג והאום**



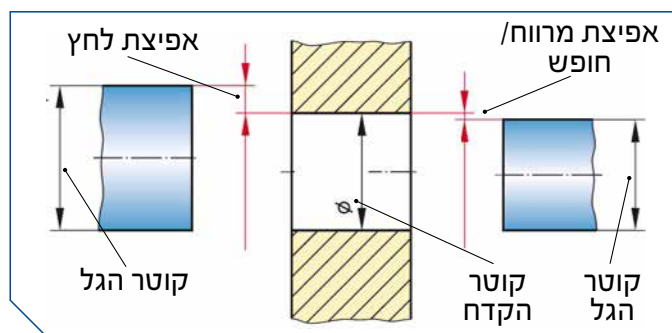
**איור 2.3.71: מצבי אפיצות (התאמות)**



**שלושה מצבים ראשיים לאפיציות**

- א. **אפיצות חופש** (נוחה)  
אין מגע בין החלקים בהרכבה. כל חלק יכול לנוע בנפרד מבלי לגעת בחלק השני. לדוגמה, מכסה מגן של חלק מסתובב.
- ב. **אפיצות מעבר** (מרווח, זחיחה, מחליקה, תאומה)  
יש מגע בין החלקים בהרכבה, אולם כל חלק יכול לנוע בנפרד תוך חיכוך בין החלקים. לדוגמה, מסב החלקה.
- ג. **אפיצות מדחק** (לחץ)  
החלקים מחוברים בלחץ והתנועה היא של שני החלקים ביחד. לדוגמה, חיבור של מיסבים סובבים.  
בכל אחד מקבוצות האפיצות לעיל יש דרגות אפיצות משניות, המחולקות בטבלאות של אפיציות.

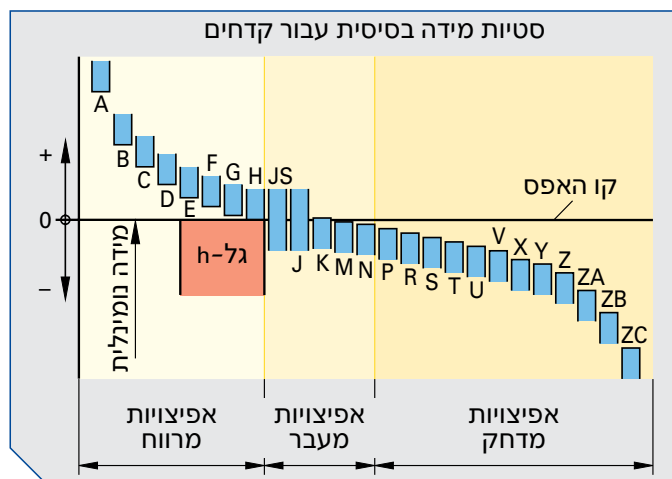
איור 2.3.73: סוגי אפיציות



**שיטת הגל/הקדח האחד**

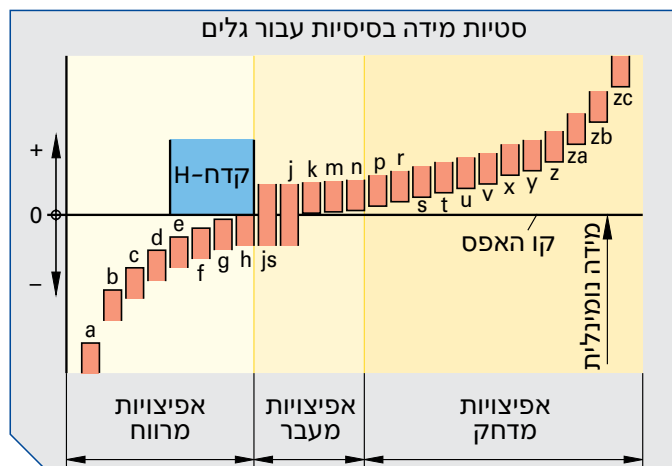
בשיטת הגל האחד הגל (הבורג) מיוצר בסיבולת h (איור 2.3.74).

איור 2.3.74: אפיציות בשיטת הגל האחד



בשיטת הקדח האחד הקדח (האום) מיוצר בסיבולת H (איור 2.3.75).

איור 2.3.75: אפיציות בשיטת הקדח האחד



מה שמייחד את האותיות H ו-h הוא שהסיבולת הנתונה היא מהמידה הנומינלית (המידה הנקובה). בקדח הסיבולת תהיה ל+ (פלוס) ובגל ל- (מינוס).

בשיטת הגל והקדח האחיד, בוחרים לאום סיבולת באות H, ולבורג סיבולת באות h. מתוך טבלת אפיציות בוחרים את האות שתיתן סיבולת לאפיצות הרצויה. האפיציות המתקבלות בהגדרת האותיות הן (איורים 2.3.75-74): מרווח (a-h), מעבר (j-n) ומדחק (p-zc). לדוגמה, האות e מסמלת מרווח גדול, האות g מסמלת מרווח קטן, ו-h מסמלת שאין מרווח. הברגות פנימיות מסמנים באותיות גדולות G (מרווח קטן) ו-H (ללא מרווח). לדוגמה, בטבלה 2.3.9 האום מיוצר ב-H6 והבורג מיוצר ב-g6, ולכן תתקבל אפיצה זחיחה.

**טבלה 2.3.9: מצבים של אפיציות בשיטת הקדח האחיד**

דרגת הסיבולת לתברג		סוג האפיצה
חיצוני (בורג)	פנימי (אום)	
h4	H4	מחליקה (מדויקת)
g6	H6	זחיחה (תאומה, רגילה)
g8	H7	נוחה (חופשית)

דוגמה לאפיצה עבור בורג: 16 NF 3/4".  
 מתוך טבלאות תברגים, מתקבלים:  
 קוטר יעיל מינימלי של האום: 18.019  
 קוטר יעיל מקסימלי של הבורג: 17.981  
 אפיצה מינימלית: 0.038  
 קוטר יעיל מקסימלי של האום: 18.184  
 קוטר יעיל מינימלי של הבורג: 17.854  
 אפיצה מקסימלית: 0.330

**2.3.6.5 אפיצות לתברגים בתקן האמריקאי**

**איור 2.3.76: סימון מלא של התברג אמריקאי**



את האפיצות לתברגים בתקן האמריקאי מסמנים באותיות A ו-B (איור 2.3.76). האות A מתייחסת לתברג חיצוני והאות B מתייחסת לתברג פנימי. בנוסף לאות, מסמנים מספר המציין את גודל האפיצה הנדרשת. יש שלוש דרגות של דיוק, והן מסומנות: 1-3. הספרה 1 מציינת את הסיבולת הגדולה ביותר,

הספרה 2 היא סיבולת בינונית והספרה 3 היא הסיבולת המדויקת ביותר. למידע מפורט יותר על סיבולות ואפיצויות בתברגים ספציפיים, יש לפנות לטבלאות תברוג.

## 2.3.7 בדיקת תברגים

### 2.3.7.1 הקדמה

השימוש העצום בחלקי חילוף ושיטות ייצור המוני הציבו דרישות חמורות ביחס למידות, לטיב פני השטח, לחוזק ולתכונות נוספות של המוצרים בהתאמה לתפקוד החלק. תברגים עמוקים או שטוחים מדי, בעלי פסיעה או זוויות שאינן מדויקות או מרווח שאינו נכון, לא יתאימו לחלקים הנגדיים. התעשייה המודרנית לא תוכל להתקיים אם לא תהיה התאמה מלאה של כל החלקים, על כן, יש לעמוד בדרישות המידות ולבדוק אותן.

### 2.3.7.2 מדידת התברג

להלן המידות בתברג בדרגת החשיבות הגבוהה, שקובעות את דיוק התברג (האפיצות המתקבלת בין הבורג והאום) ושאותן צריך למדוד באופן מדויק:

- קוטר אפקטיבי (יעיל).
- פסיעת התברג.
- זווית התברג.

מידות נוספות כמו קוטר חיצוני בתברג חיצוני, קוטר פנימי בתברג פנימי, עומק התברג, רוחב גב ושורש התברג וצורתם, הן מידות שהסיבולות בהן גדולות יותר והשפעתן על דיוק התברג נמוכות.

### איור 2.3.77: מדידת קוטר חיצוני במד זחיה



### דרכים למדידת מידות התברג

#### מדידת הקוטר החיצוני של הבורג

למדידת הקוטר החיצוני של הבורג (איור 2.3.77) או הקוטר הפנימי של האום נשתמש באמצעי המדידה הקיימים למדידת חוץ/פנים, כמו מד זחיה ומד בירגי (מיקרומטר).

### מדידה וזיהוי הפסיעה

למדידה וזיהוי הפסיעה נשתמש במסרק הברגות (איור 2.3.78 למעלה). יש מסרקי הברגות לפסיעה במ"מ, בכריכות באינץ' ועבור תברגים בעלי פרופילים שונים כמו לתברג טרפזי (איור 2.3.78 באמצע). ניתן גם לזהות את הפסיעה באמצעות בורג שידועה הפסיעה שלו (איור 2.3.78 למטה), או באמצעות מד זחיה. לצורך בדיקה מדויקת של הפסיעה נשתמש בשעון מיוחד (איור 2.3.79). לבדיקת הפסיעה אפשר להשתמש גם בקומפרטור (איור 2.3.80), מכשיר אופטי המקרין את הבורג בהגדלה על מסך, או במכונת מדידה XYZ (מכונה ממוחשבת לבדיקת מידות).

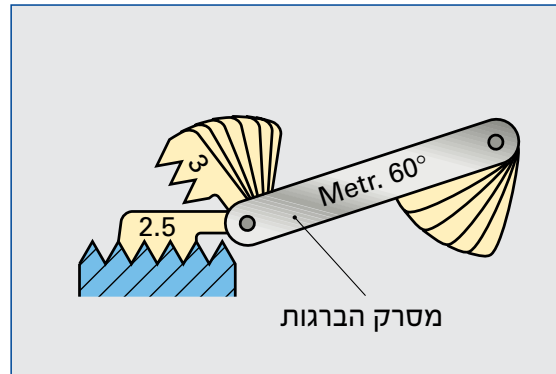
איור 2.3.79: מדידת הפסיעה



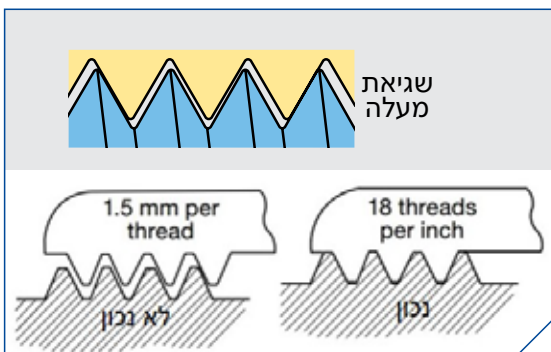
איור 2.3.80: מדידת פרופיל והפסיעה בקומפרטור



איור 2.3.78: זיהוי הפסיעה



איור 2.3.81: טעויות בבדיקת הפסיעה



**שימוש בשבלונה**

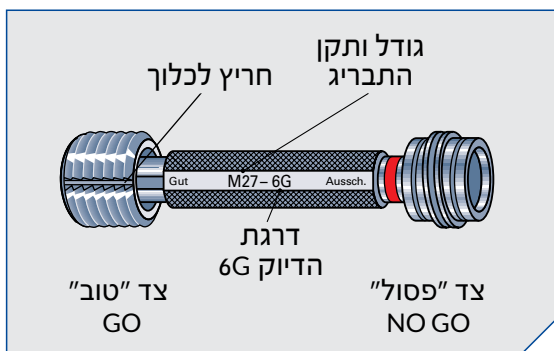
בבדיקת הפסיעה בשבלונה צריך להקפיד על התאמה מלאה של השבלונה לחרוץ התברייג, כמתואר באיור 2.3.81 למטה מימין. יש סכנה לטעות בין תברייג אינצ'י לתברייג מילימטרי, כמתואר באיור 2.3.81 למטה - כאשר בודקים תברייג אינצ'י בעל 18 כריכות באינץ' (הפסיעה היא 1.411 מ"מ) במסרק הברגות של תברייג מטרי עם פסיעה של 1.5 מ"מ.

**הערה:** ניתן גם לבדוק את הפסיעה באמצעות מד זחיה (קליבר). בשלב ראשון כדאי לזהות אם התברייג הוא אינצ'י או מילימטרי. במקרים בהם הקוטר החיצוני הוא במ"מ שלם, כמו 8 מ"מ שיכול להיות גם 5/16", נפתח את מד הזחיה ל-1" (25.4) ונבדוק אם קבוצת שיניים נכנסת בתחום המידה. אם כן, נספור אותן ונדע את מספר הכריכות באינץ'. אם לא, סביר להניח שהתברייג הוא מ"מ. כדי לדייק במציאת גודל הפסיעה במ"מ, מומלץ למדוד את המרחק בין מספר שיניים (למשל 10), לחלק את המידה שהתקבלה ב-10 ונקבל את הפסיעה במ"מ.

**מדידת התברג באמצעות מדידים GO-NO GO**

מדידים גבוליים לתברגים הם כלי מדידה המותאמים במיוחד למדידת תברגים. אפשר למדוד בעזרתם בעת ובעונה אחת את הקוטר החיצוני, את הקוטר הפנימי, את הפסיעה ואת הפרופיל של התברג. המדידים הגבוליים מיוצרים בדיוק התואם את דיוק התברג הנמדד. במדידים אלה אין אפשרות לקבל את המידה שבה הבורג או האום יוצרו, אלא הבדיקה קובעת אם הבורג/האום יוצרו בתחום המידות הנדרש.

**איור 2.3.82: מדיד תברגים פנימיים במדיד GO - NO GO**



לדוגמה, בבדיקה של תברג פנימי (אום) עם מדיד (איור 2.3.82), חלק אחד של המדיד הוא GO (החלק הארוך), צריך להתברג בתברג. המשמעות - המידות של האום גדולות מהמידות שבמדיד. החלק הקצר הוא NO GO (אינו צריך להתברג), קרי, האום קטן מהמידות של המדיד, כיוון שהמדיד יוצר בהתאמה לסיבולת של האום. מצב זה מבטיח תקינות התברג הנמדד.

באיור 2.3.83 מתוארים מדידים גבוליים לבדיקת תברגים חיצוניים. מדיד אום בצד ימין מיוצר

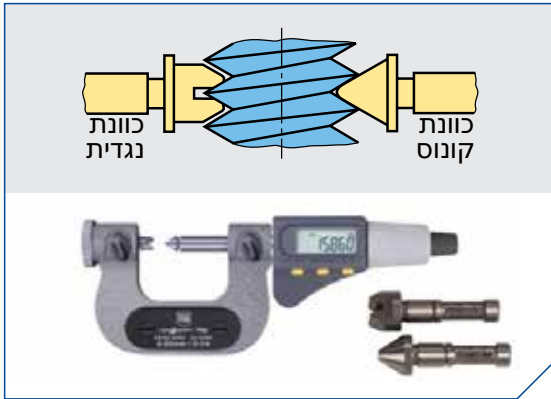
בזוגות GO ו-NO GO, ובאיור 2.3.83 באמצע מופיע מדיד פרסה. באיור 2.3.83 משמאל מתוארת הבדיקה של תברג חיצוני, באמצעות מדיד פרסה.

**איור 2.3.83: מדיד תברגים חיצוניים GO - NO GO**



**מדידת התברייג באמצעות מיקרומטר תברייגים**

**איור 2.3.84: מדידת קוטר יעיל במיקרומטר תברייגים**

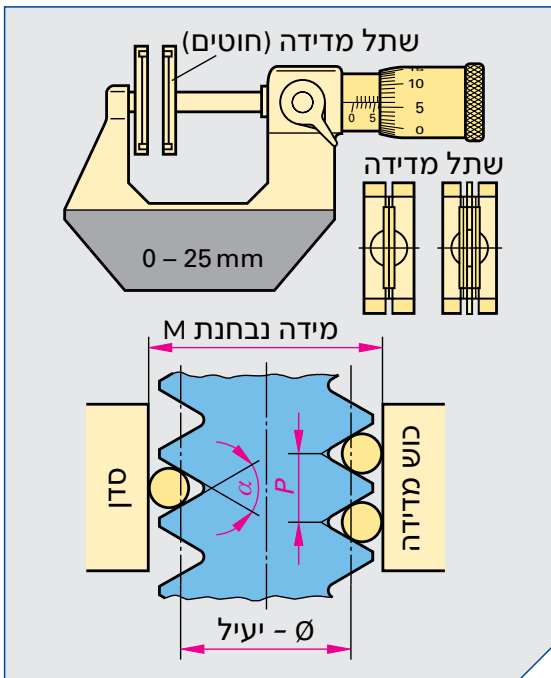


באמצעות מיקרומטר התברייגים אפשר למדוד במדויק את הקוטר היעיל של התברייג. מבנה המיקרומטר זהה לזה של מיקרומטר רגיל, ויכול להיות בעל תוף מדידה מכני רגיל, או בעל צג דיגיטלי (איור 2.3.84 למטה). קיימים מיקרומטרים חיצוניים ומיקרומטרים פנימיים. השוני במבנה הוא בסדן ובכוש, כאשר בסדן שהוא החלק הקבוע מצוי חריץ בצורת V (כוננת נגדית, ראו איור 2.3.84 למעלה). בכוש שהוא החלק הנע (כוננת קונוס) עשוי בצורת קונוס לפי זווית הפרופיל של שן התברייג הנמדד.

יש מערכת של סדנים וכושים (איור 2.3.84 למטה מימין) הניתנים להחלפה, בהתאמה לתברייג הנמדד. הקריאה שבמיקרומטר היא המידה של הקוטר היעיל ללא צורך בחישובים.

**מדידת תברייג במיקרומטר עם חוטים**

**איור 2.3.85: מדידת קוטר יעיל במיקרומטר חוטים**



המדידה מבוצעת בעזרת שלושה חוטים בעלי קוטר שווה, ידוע ומדויק. יש מערכת של חוטים בעלי קטרים שונים, אותם יש להתאים לבדיקת מידות של תברייגים שונים (למשל לתברייגים עמוקים נדרשים חוטים עבים). החוטים נמצאים במנסרה המתחברת לכוש ולסדן המיקרומטר. החוטים במנסרה חופשיים על מנת שיוכלו להתאים את עצמם לזווית המעלה של השן. הנוסחה לחישוב המידה M שהיא המידה מעל לחוטים תלויה בתברייג הנמדד.

מניחים שניים מהחוטים בשני חריצים סמוכים זה לזה, ואת החוט השלישי בחריץ הנמצא בצד שכנגד, מול שני החוטים (איור 2.3.85 למטה). במיקרומטר מודדים את המרחק M (מידה נבחנת, ראו איור 2.3.85 למטה). את ערך של

המידה מוצאים בטבלאות, או מחשבים בעזרת נוסחאות.

דוגמאות לחישוב מופיעות באיור 2.3.86 - מציאת המידה המבוקשת מעל לחוטים (M). חישוב המידה מבוצע לפי הנוסחאות שמופיעות בהמשך. ניתן למצוא מידה זו בטבלאות ללא חישוב (דוגמה בטבלה 2.3.8).

**הנתונים בנוסחאות**

M = המידה במ"מ הנמדדת מעל לחוטים.

N = מספר כריכות באינץ' של התברג.

P = הפסיעה של התברג במ"מ.

W = קוטר החוט במ"מ.

**הנוסחה לחישוב "M" עבור תברג מטרי 60°**

$$M = D + (3 \cdot W) - (1.5155 \cdot P)$$

**הנוסחה לחישוב "M" עבור תברג אמריקאי 60°**

$$M = D + (3 \cdot W) - \frac{38.5}{N}$$

**הנוסחה לחישוב "M" עבור תברג בריטי 55°**

$$M = D + (3.1657 \cdot W) - \frac{40.6609}{N}$$

**הנוסחה לחישוב "M" לפי קוטר אפקטיבי**

$$M = D_2 + (3.1657 \cdot W) - (0.9605 \cdot P)$$

**הנוסחה לחישוב "M" עבור תברג טרפזי**

$$M = D + (4.864 \cdot W) - (2.366 \cdot P)$$

**איור 2.3.86: דוגמאות לחישוב המידה M**

דוגמה לחישוב עבור  
תברג מטרי M20X2  
קוטר החוט שנבחר (W) = 1.5 מ"מ  
 $M = 20 + (3 \cdot 1.5) - (1.5155 \cdot 2)$   
 $M = 20 + 4.5 - 3.031 = 21.469$

דוגמה לחישוב עבור  
תברג אינצ'י בריטי 1/2W  
קוטר החוט שנבחר (W) = 1.5 מ"מ  
 $M = 12.7 + (3.1657 \cdot 1.5) - \frac{40.6609}{12} = 14.06$

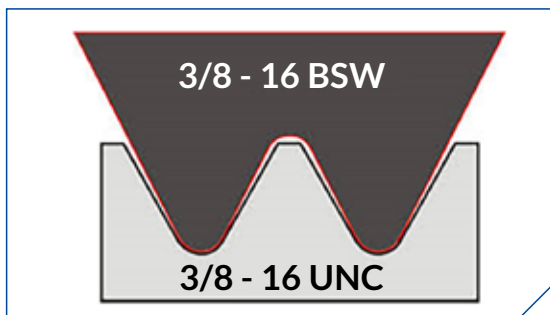
**טבלה 2.3.10: טבלה למידות M לתברג תקני BSW**

המידה במ"מ M	קוטר החוט במ"מ W	קוטר חיצוני גדול של התברג באינצ'ים D
7.48	1	1/4
8.84	1	3/16
10.15	1	3/8
14.06	1.5	1/2
16.93	1.5	5/8
19.73	1.5	3/4 ←
22.45	1.5	7/8
28.23	2.5	1

בטבלה 2.3.10 מוצגים נתוני M ללא צורך בחישוב. הטבלה מתייחסת לתברג בריטי גס BSW. המידות של התברג נתונות באינצ'ים. לדוגמה, עבור תברג 3/4", קוטר החוט יהיה 1.5 מ"מ והמידה M שצריכה להתקבל היא: 19.73 מ"מ.

**בדיקת זווית התברג**

**איור 2.3.87: שבלונה למדידת זווית התברג**

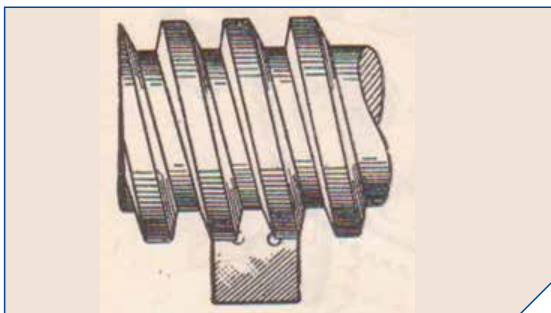


קיימים תברגים תקניים, שהקוטר החיצוני והפסיעה שלהם זהים. מה ששונה ביניהם זה זווית התברג. לדוגמה: איור 2.3.87 תברג בריטי גס 3/8" BSW - יש לו 16 כריכות באינץ', וגם לתברג אמריקאי גס 3/8" UNC שגם לו יש 16 כריכות באינץ'.

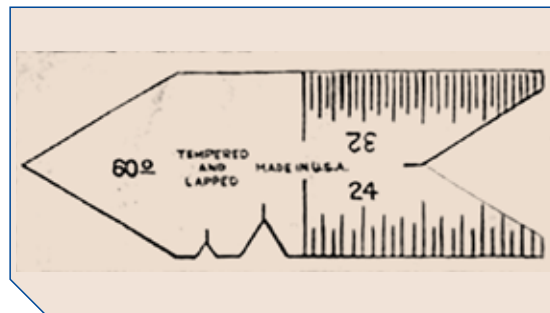
כדי לקבוע את סוג התברג, יש לבדוק את זווית התברג - בתברג הבריטי הזווית היא 55°

ובתברג האמריקאי הזווית היא 60°. את הזווית ניתן למדוד בשבלונה מתאימה (איור 2.3.88). שבלונה לבדיקת תברג טרפזי מתוארת באיור 2.3.89.

איור 2.3.89: שבלונה למדידת זווית תבריג טרפזי



איור 2.3.88: שבלונה למדידת זווית תבריג משולש



### 2.3.8 סיכום

בפרק זה עסקנו בהכרת השיטות לייצור תבריגים, והדרכים לבדיקתם. כיום, המכונות הממוחשבות, המחרטות, הכרסומות ומרכזי עיבוד CNC לוקחים חלק נרחב בייצור תבריגים בעיבוד שבבי. פירוט בנושא מופיע בספר 6 - תכנות CNC. ייצור תבריגים מחייב ידע תיאורטי רחב, יחד עם ניסיון מעשי רב. יש לבחור את חומר הגלם ממנו מיוצר התבריג בהתאם לשימוש. יש לחשב את מידותיו כך שיעמוד בכוחות הפועלים עליו. קיימים גם תקנים של מידות אומים, סוגי דיסקאות ואמצעים להגנה בפני פתיחה התבריג.



## 2.4 מתקנים וקביעים בייצור ובמדידה

### 2.4.1 מטרות הפרק

הקניית ידע על:

- מתקנים, קביעים ואופן השימוש בהם.
- מתקנים מודולריים.
- עקרונות דפינה יציבה של עובדים במרחב.

### 2.4.2 מבוא

בפרק זה נתמקד בהכרת המתקנים והקביעים ובשימוש בהם (לא נעסוק בתכנונם וייצורם). המתקנים והקביעים מיועדים לדפינת העובד והם משמעותיים בתהליך הייצור - משפיעים על דיוק המוצר ומקצרים את הזמן הדרוש לדפינתו של העובד ומכאן את עלויות הייצור.

#### ההבדל בין מתקן וקביע

**מתקן:** מתקן דפינה המשמש לדפינת עובד במצב יציב ומדויק ומוביל את הכלי.

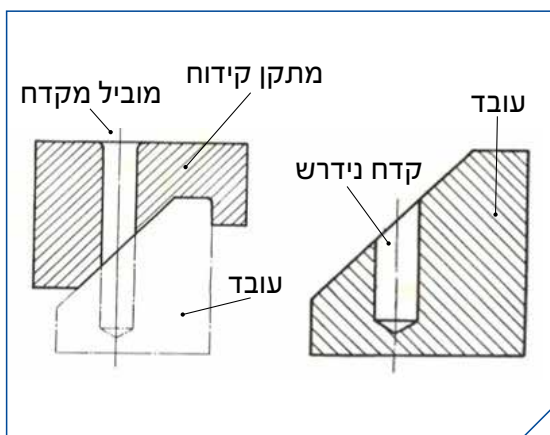
**קביע:** מתקן דפינה המשמש לדפינת עובד במצב יציב ומדויק ואינו מוביל את הכלי.

המתקנים (מתקני קידוח) מוצגים באיורים 2.4.1-2.4.2 והקביעים (מתקני דפינה) מוצגים באיורים 2.4.3-2.4.4.

בנוסף לכך, קיימים מתקני מדידה אשר מבטיחים את דיוק המדידה ופשטות התפעול.

שימו לב, באיורים 2.4.1-2.4.2 הכלי (במקרה זה המקדח) מובל למיקום הקידוח ולכן מוגדר מתקן. באיורים 2.4.3-2.4.4 הכלים (כרסומים ומקדח) אינם מובלים ואת הצבתם לצורך העיבוד מבצע בעל המקצוע ולכן אלה מוגדרים קביעים.

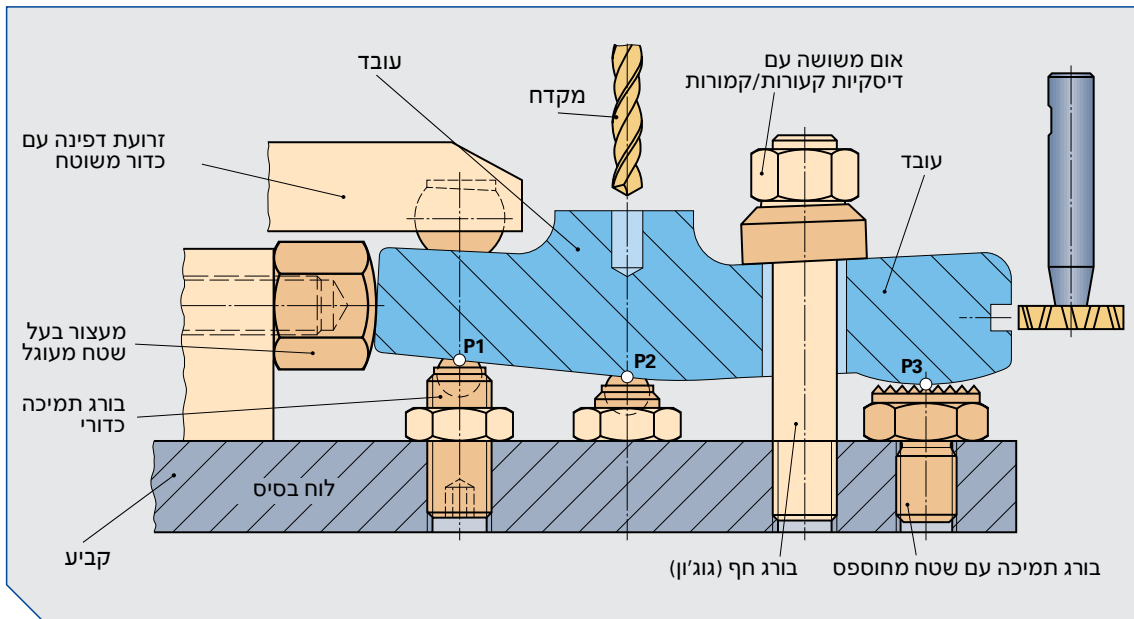
איור 2.4.2: מתקן קידוח - שימוש



איור 2.4.1: מתקן קידוח



איור 2.4.3: קביע לקידוח ולכרסום



איור 2.4.4: קביע בכרסום



חשיבות המתקנים והקביעים בייצור הקונבנציונלי והממוחשב (CNC) היא היכולת לבצע עיבוד מדויק של מוצר, מבלי להזדקק לבעל מקצוע מיומן שיידפון ויכוון את העובד. כך מפחיתים את הסיכון לדפינה לא נכונה של העובד, שעלולה לגרום לפסילתו.

את המתקנים והקביעים אפשר לחלק לקבוצות הבאות, על פי הייעוד שלהם:

- מתקנים וקביעים המיועדים **לדפינת העובד** ביחס לכלי החיתוך, לצורך עיבודו כמו מתקני קידוח ועיבוד (איורים 2.4.2-4).
- מתקנים המיועדים **להרכבת מכלול** של חלקים, כמו מתקן להרכבת מכונית (איור 2.4.5).
- מתקנים המיועדים לביצוע **מדידה**, כמו מתקן לבדיקת שילוב של גלגלי שיניים (איור 2.4.6).

איור 2.4.5: מתקן להרכבת מכונית



איור 2.4.6: מתקן מדידה של שילוב גלגלי שיניים



### 2.4.3 השימוש במתקנים וקביעים

יש מקרים של עיבוד מוצרים בהם קשה עד בלתי אפשרי לבצע את דפינת העובד ועיבודו מבלי להשתמש במתקן או בקביע. לדוגמה, באיור 2.4.2 מימין, מתואר מוצר שעבורו יש לקדוח קדח על משטח שיפועי. לא ניתן לקדוח ישירות עם מקדח, כיוון שהמקדח יחליק על השטח ויתכופף. אם רוצים לקדוח ללא מתקן יש לבצע כרסום הכנה, דבר שיהיה כרוך בתוספת זמן משמעותית לייצור המוצר (אם מדובר בכמות גדולה של חלקים). לכן, במקרה זה, נוכל להכין מתקן קידוח (כמתואר באיור 2.4.2 משמאל) שיאפשר לקדוח ישירות עם מקדח רגיל. יש להדק את העובד למתקן כדי להבטיח את מיקומו המדויק (הסבר בהמשך).

#### 2.4.3.1 יתרונות וחסרונות השימוש במתקנים ובקביעים בתהליך העיבוד יתרונות

- תפוקת עיבוד גדולה יותר (קיצור זמן הייצור).
- יש עובדים שאינם ניתנים לעיבוד ללא מתקן.
- שיפור דיוק העיבוד, ההרכבה והמדידה.
- ניצול גדול יותר של מכונת העיבוד.
- תנאי עיבוד משופרים.
- פשטות שימוש (מאפשר לאדם בעל הכשרה בסיסית להפעיל את המכונה).
- שיפור הבטיחות.
- אפשרות לאוטומציה של תהליכי העיבוד.
- במתקני מדידה, יעילות ודיוק המדידה.

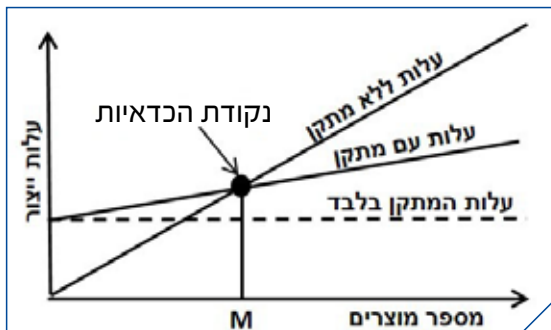
**חסרונם** של המתקנים והקביעים הוא בעלות הגבוהה של התכנון והייצור שלהם.

#### 2.4.3.2 כדאיות של הכנת מתקנים וקביעים

לפני שבונים מתקן או קביע, יש לבצע חישוב של כדאיות הייצור. בחישוב מובאים בחשבון כמות החלקים שנדרש לייצר ועלות הייצור של החלקים ללא מתקנים, אל מול עלות ייצור החלקים עם מתקנים (כולל עלות הכנת המתקן).

החישוב מביא בחשבון את החיסכון עקב שימוש במתקנים וקביעים, את כמות המוצרים המינימלית שבה כדאי להשתמש במתקנים, את

איור 2.4.7: גרף המתאר את כדאיות הכנת מתקנים



עלות הייצור של יחידה אחת ללא מתקנים וקביעים, את עלות הייצור של יחידה אחת עם מתקנים וקביעים, ואת עלות התכנון והייצור של המתקנים הנדרשים לייצור המוצר. כדי שיהיה כדאי להכין מתקנים וקביעים, יש לעבור את "נקודת הכדאיות" בגרף המוצג באיור 2.4.7.

### 2.4.3.3 אמצעים להכנת מתקנים וקביעים

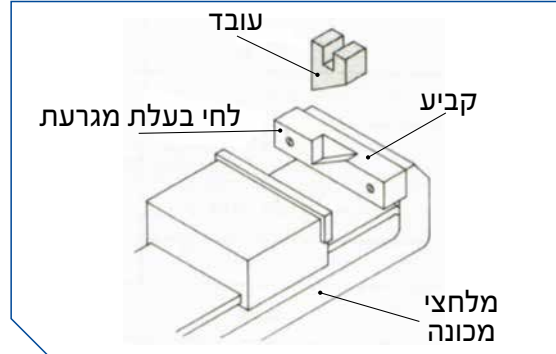
ניתן להשתמש ברכיבים סטנדרטיים לבניית מתקנים וקביעים, בעיקר באמצעי הדפינה וההידוק הקיימים שאיתם אפשר להרכיב מתקן/קביע. חלק מהקביעים הם אמצעי הדפינה הסטנדרטיים הקיימים שהוסברו בפרקים שעסקו באמצעי דפינה בחריטה ובכרסום, כמו מלחצי מכונה, תפסנית המחרטה, ראש מחלק, שולחן מסתובב וכדומה. באמצעות שינוי פשוט ניתן להפוך אותם לקביעים.

באיור 2.4.8 השתמשנו במתקן דפינה סטנדרטי (מלחצי מכונה), החלפנו את אחת מהלחיים בלחי שבה יצרנו מגרעת המתאימה לדפינת העובד, והפכנו את המלחציים לקביע על מנת לכרסם את החריץ. באיור 2.4.4 מתואר קביע (ציר דפינה), שהוא מתקן דפינה המורכב על ראש מחלק/שולחן מסתובב, ומיועד לכרסום גלגל השיניים. באיור 2.4.9 מתואר קביע שהוא מתקן דפינה המורכב מתפסנית מרכז עם לחיים (בקים) רכים. חרטנו את הלחיים הרכים לקוטר העובד ויצרנו מדרגה הממקמת את העובד במקום קבוע. באיור 2.4.3 מתואר מוצר בעל צורה מיוחדת, שאינה ניתנת לדפינה באמצעים הרגילים. המוצר דפון במתקן דפינה מיוחד שבו מבצעים קידוח מלמעלה וכרסום מהצד. באיור 2.4.10 מתואר עובד שנדרש לכרסם את שני המשטחים. שימו לב לנקודות המשען ומקומות ההידוק המסומנים באות W - מול כל נקודת משען יש מהדק (הסבר בהמשך).

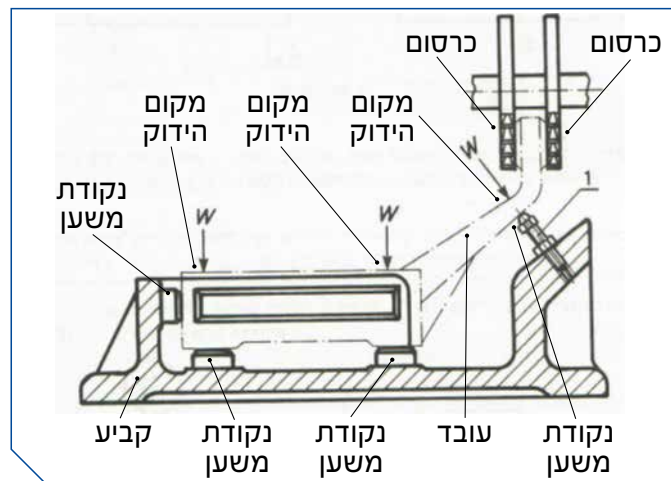
איור 2.4.9: קביע (מתקן דפינה) בחריטה



איור 2.4.8: קביע (מתקן דפינה) בכרסום



איור 2.4.10: תנועות אפשריות לתזוזת הגוף במרחב



## 2.4.4 מתקנים

מתקנים (ג'יגים, JIG) (איור 2.4.11)

איור 2.4.11: מתקן דפינה לקידוח



### 2.4.4.1 תפקידי המתקן

- להבטיח דפינת העובד בתנוחה יציבה, בטיחותית ובנוחיות המתאימה לעיבודו.
- להוביל את הכלי.

### 2.4.4.2 יתרונות השימוש במתקנים

- דפינת מוצרים מורכבים, שלא ניתן לדפון באמצעי הדפינה הרגילים, כמו מלחצי מכונה, תפסניות וכדומה.
- מהירות הדפינה וקיצור זמן "ריקם" של העיבוד, ובכך קיצור זמן כולל של הייצור.
- הבטחת דיוק החזרה של העובד למקומו הנכון.
- דפינה בטוחה ויציבה של העובד.
- מניעת עיוות העובד במהלך הדפינה.
- הובלת הכלי למקומו הנכון, כך שאין צורך בסימון ובכיוון. מקטין את משך העיבוד ומבטיח את הדיוק באחידות המוצרים.
- הקטנת עלויות הייצור - הכנת המתקן כדאית כאשר הייצור עם מתקן הוא יותר מהיר ולכן גם יותר זול, ולכן ניתן לומר שעיבוד באמצעות מתקן מוזיל את עלויות הייצור.
- אפשרות לעבוד עם בעלי מקצוע פחות מיומנים לצורך עיבוד החלק, שכן המתקן מוביל את הכלי.

### 2.4.4.3 דוגמאות למתקנים

באיור 2.4.11 מתואר מתקן דפינה לקידוח של שלושה קדחים במרחקים נתונים. לדפינת העובד משתמשים באמצעי דפינה סטנדרטי (מלחצי מכונה) ומכינים מתקן שיוביל את המקדח במדויק. יש לשים לב שבקדח של המתקן שמים תותבים מחומר קשה, על מנת שלא יישחק במהלך הקידוח. לפעמים מתקן קידוח יכול לשמש לקדחים במידות שונות, על ידי החלפת המובילים (תותבי קידוח) לקטרים שונים ובתנאי שהמתקן בצורתו מתאים. בנוסף למתקן המתואר באיור 2.4.11, יש למקם את הגוף במקום הנכון. לצורך כך ניתן להשתמש במקבעים (מעצורים, סטופרים) סטנדרטיים או בייצור עצמי, אותם נתקין במשטח ממנו נתונות המידות של הקדחים.

## 2.4.5 קביעים (מתקני דפינה)

### 2.4.5.1 תפקידי הקביעים

- לדפון את העובד במיקום נכון.
- להבטיח דיוק בהחזרת העובד בדפינה חוזרת.

הקביע דומה למתקן דפינה במבנה, ויתרונותיו זהים, למעט העובדה שהקביע אינו מוביל את הכלי. תפקידו של הקביע הוא להבטיח אחידות בייצור של חלקים רבים, בעיקר במכונות CNC, שם יש מיקום של ה"בית" ממנו נתונות המידות וכל תזוזה במיקום העובד תשנה את מידות העובד שיתקבלו והמוצר ייפסל. לפעמים הקביעים הכרחיים, שכן לא ניתן לבצע את העיבוד בלעדיהם.

### 2.4.5.2 השימוש בקביעים

השימוש בקביעים ייעשה במקרים הבאים:

- בייצור סדרתי או המוני שבו העיבוד עם מתקן מוזיל את עלויות הייצור (קיימת כדאיות כלכלית להכנת הקביע) - דפינת העובד מדויקת ומהירה.
- במקרים של גופים מסובכים, בהם כלי הדפינה הסטנדרטיים לא מתאימים לדפינת העובד, בשל צורתו הגיאומטרית (איור 2.4.3).

יש קביעים המשמשים לבדיקת מידות (מתקני מדידה) באופן קל, נוח ומדויק בעיקר ברצפת הייצור, כאשר אין צורך במיומנויות מדידה לצורך בדיקת מידות המוצר.

## 2.4.6 אמצעים להכנת מתקנים וקביעים

מתקני הדפינה יכולים להיות מיוצרים באופן עצמי או מורכבים באופן משולב עם אמצעי דפינה כמו: מערכות מכאניות (מהדקים, ברגים, זרועות), מערכות פניאומטיות (בוכנות וכדומה) ומערכות הידראוליות (צילינדר דפינה, שסתומי בקרה, משאבות), המשולבות עם יחידות כוח אלקטרו-הידראוליות. מתקני דפינה פניאומטיים והידראוליים מקצרים משמעותית את הזמנים העקיפים ולכן משתמשים בהם בייצור סידרתי.

### 2.4.6.1 שימוש בדפינה פניאומטית

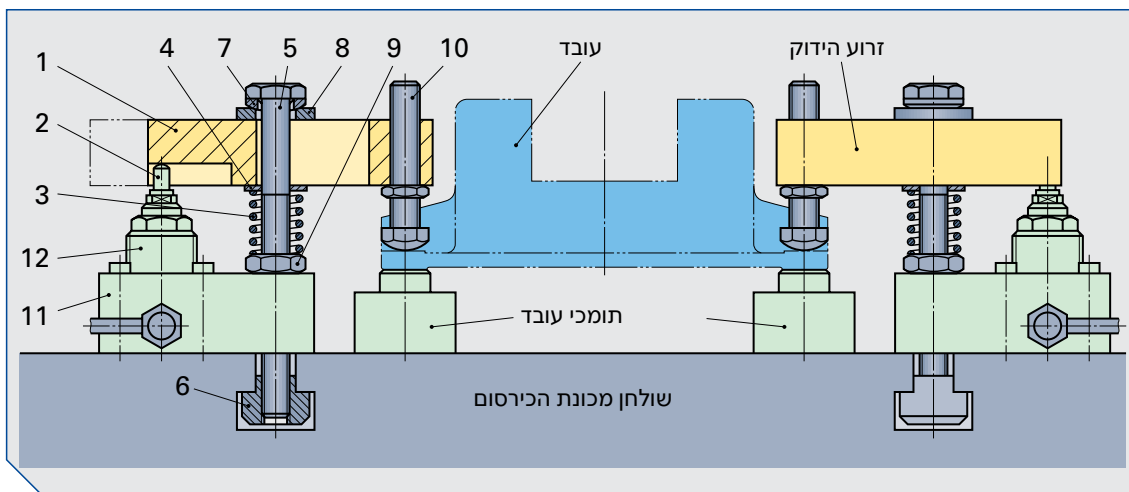
צילינדר דפינה פניאומטיים מתאימים לתנועות סגירה ופתיחה מהירות של מתקני הדפינה. בגלל דחיסות האוויר הם משולבים לרוב עם מהדקי מנוף - מפרק, בעלי נעילה עצמית.

### 2.4.6.2 שימוש בדפינה הידראולית

עובדים נדפנים באמצעות אמצעי דפינה הידראוליים במתקנים או ישירות על שולחן המכונה (איור 2.4.12). את פירוט חלקי הקביע לדפינת העובד המופיע באיור 2.4.12 ניתן למצוא בטבלה 2.4.1: זרוע ההידוק (1) פועלת כמנוף דו כיווני ומעבירה בכך את כוח הלחיצה של הצילינדר ההידראולי (12)

אל בורג הדפינה (10), הלוחץ על העובד. ניתן לכוון את כוח הדפינה באמצעות הלחץ בצילינדר ההידראולי. כאשר הבוכנה עם בורג הלחיצה (2) חוזרת, ניתן למשוך את זרוע ההידוק לאחור באופן ידני. כעת העובד מונח באופן חופשי וניתן להוציאו מהמתקן. בעובדים שונים בעוביים, זרוע ההידוק תתמקם מעט באלכסון. הדסקית הכדורית (7) והדסקית הקעורה (8) מפצות על תנוחתה האלכסונית של זרוע ההידוק ביחס לבורג ראש משושה (5).

איור 2.4.12: דפינה בקביע הידראולי

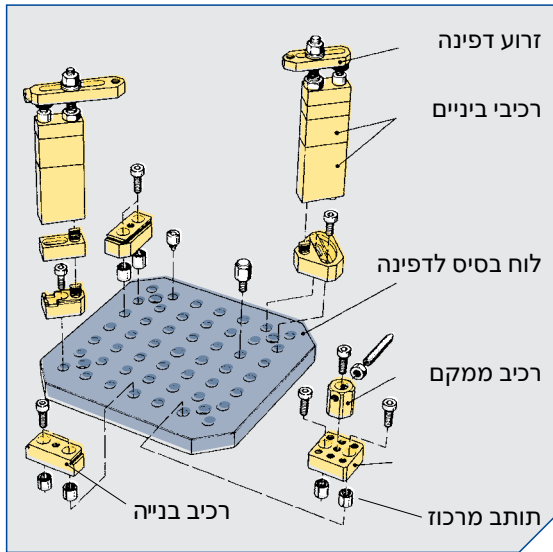


טבלה 2.4.1: רשימת חלקים למתקן דפינה הידראולי שמופיע באיור 2.4.12

שם קצר לפי תקן ו/או סוג החומר	שם	כמות	מס'
C45E	זרוע הידוק	1	1
16MnCr5	בורג לחיצה	1	2
DIN 2098-1.6X15X70	קפיץ לחיצה	1	3
ISO 7090-13-200HV	דסקית	1	4
USO 4014-M12X130-8/8	בורג ראש משושה	1	5
DIN 508-M12X25	אום	1	6
DIN 6319-C13	דסקית כדורית	1	7
DIN 6319-C13	דסקית קעורה	1	8
ISO 6768-M12	אום משושה	1	9
16MnCr	בורג הידוק	1	10
S235JR (St37-2)	הבסיס	1	11
Ø16X12	צילינדר הידראולי להברגה	1	12

## 2.4.7 מתקנים מודולריים

איור 2.4.13: רכיבי ערכת בניית מתקן מודולרי



מתקנים מודולאריים בנויים מחלקים המותאמים אחד לשני וניתנים לחיבור ביניהם. רכיבים אלה: לוח בסיס, זוויות, אמצעי בנייה, מיקום, תמיכה, דפינה וחיבור, מחוברים יחד למתקן באמצעות חיבורים הניתנים לפירוק (איור 2.4.13). מתקנים אלה מתאימים במיוחד לייצור גמיש. בגמר השימוש מפרקים את המתקן, על מנת להשתמש בו מאוחר יותר לטובת הכנת מתקן אחר. ניתן להתאים מתקנים מודולריים בפשטות לעובדים בעלי צורות שונות והם מתאימים לשימוש בייצור סדרות קטנות ובינוניות על כל סוגי המכונות.

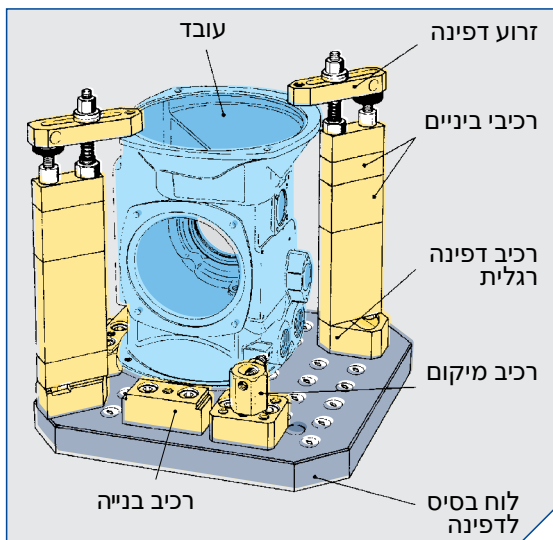
### סוגי מבנה של מתקנים

#### במתקנים מודולאריים מבדילים בין:

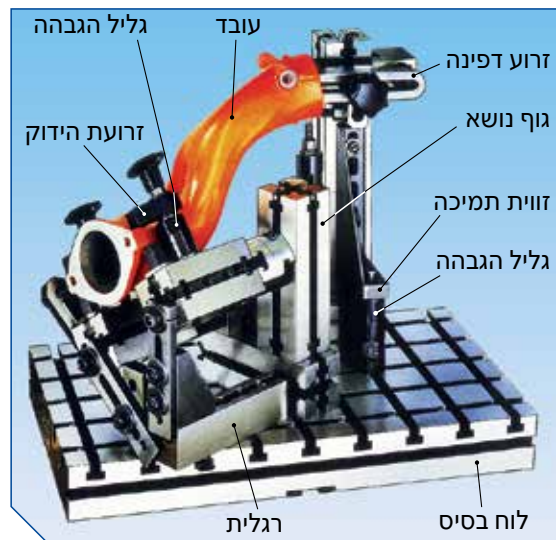
- ערכות חריצי T
- ערכות קדחים

**במערכת חריצי T** לוח הבסיס וכל רכיבי הבנייה הם בעלי חריצי T (איור 2.4.14). חיבור הפריטים מתבצע באמצעות אמצעים המתחברים לחריצי ה-T. במהלך הרכבת המתקן ניתן להזיז את הרכיבים לבנייה לאורך חריצי ה-T על פי בחירה. במערכת בעלת קדחים כל הפריטים מחוברים באמצעות פינים מדויקים וברגים (איור 2.4.15). למתקנים אלה רמת דיוק גבוהה מאוד של חזרתיות המיקום.

איור 2.4.15: מערכת בעלת קדחים



איור 2.4.14: מערכת בעלת חריצי T



## 2.4.8 יציבות מיקום העובדים במתקן/בקביע

לגוף מוצק יש עד שש דרגות חופש (שש אפשרויות תזוזה). כדי למקם גוף כלשהו במרחב ולהבטיח את דפינת חומר הגלם במתקן הדפינה, כך שלא יזוז במהלך העיבוד, יש לשלול מהעובד את כל אפשרויות חופש התנועה שלו במרחב.

### חופש התנועה של העובד הוא ל-6 כיוונים:

- 3 תנועות קוויות, המוגדרות בשלושה צירים קווים של  $X, Y, Z$  (איור 2.4.16).
- 3 תנועות סיבוביות, סביב הצירים הסיבוביים של  $A, B, C$  בהתאמה (איור 2.4.16)
  - סביב ציר  $X$  מוגדר ציר סיבובי  $A$ .
  - סביב ציר  $Y$  מוגדר ציר סיבובי  $B$ .
  - סביב ציר  $Z$  מוגדר ציר סיבובי  $C$ .

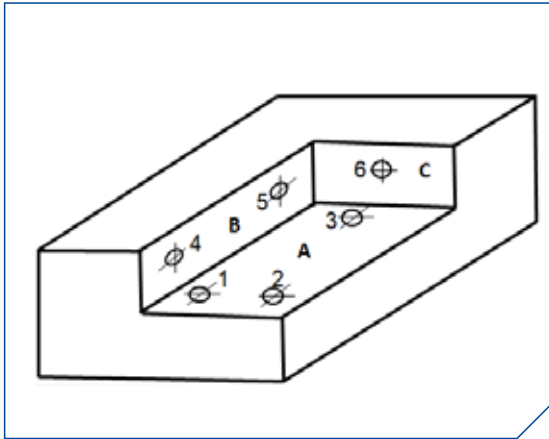
בתנאי עיבוד מקובלים יש לשלול לפחות שלוש דרגות חופש, כלומר יש להשתמש בשלוש נקודות תמיכה לפחות.

צריך להבחין בין **הצבת** העובד במתקן ללא יכולת תזוזה ובין **הידוק** העובד. בתכנון המתקן יש להביא בחשבון את כיוון הכוחות הפועלים במהלך השיבוב על ידי הכלי. **לצורך הצבת העובד במתקן** הדפינה צריכות להיות במתקן נקודות מגע, שיבטיחו את יציבותו ואת מיקומו (זאת על מנת למנוע מהעובד לזוז).

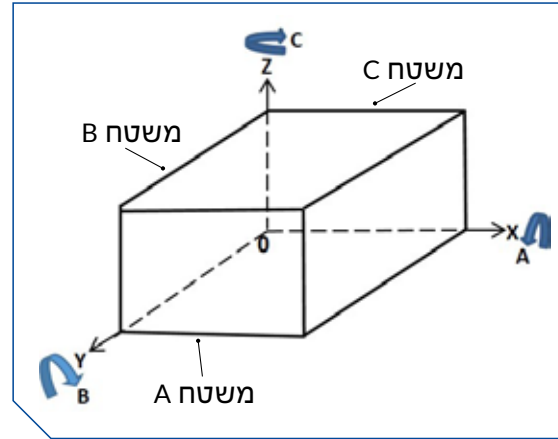
- לשם כך ובהתייחס לדפינת הקובייה שבאיור 2.4.16, במתקן הדפינה באיור 2.4.17 יהיו:
- 3 נקודות משען בתחתית העובד (בסיס), במשטח  $A$ . על הנקודות להיות מרוחקות אחת מהשנייה ככל שניתן ולא להיות בקו אחד. המשטח שייקבע לשלוש הנקודות יהיה הבסיס העיקרי שעליו מונח העובד (במקרה הנתון משטח  $A$ ).
  - 2 נקודות מגע במשטח  $B$ .
  - 1 נקודת מגע במשטח  $C$ .
- מצב זה מבטיח הישענות יציבה של העובד בבסיס על כל שלוש הנקודות, ומבטיח מיקום יציב של העובד במרחב.

באיור 2.4.18 מסומנות 6 נקודות התמיכה ובחירת הבסיס העיקרי. יש להבטיח שיהיו במתקן או בקביע אמצעים להדק את העובד לאותן נקודות בצורה נכונה. יש מהדקים סטנדרטיים רבים, המותאמים להידוק המוצר לנקודות התמיכה שתוארו בפרק "אמצעי דפינה בכרסום". לפעמים בונים מהדקים ייחודיים לעובד מסוים, ובלבד שהמהדקים לא יפריעו למהלכים הנדרשים של כלי העיבוד. בחירת משטחי מיקום נכונים הם תנאי ראשון לתכנון מתקנים וקביעים.

איור 2.4.17: מתקן הדפינה לדפינת הקובייה  
שבאיור 2.4.16



איור 2.4.16: התנועות במרחב



מקובל לסמן בשרטוט המוצר בתהליך הטכנולוגי את הבחירה של משטחי המיקום כמתואר באיורים 2.4.18-2.4.19.

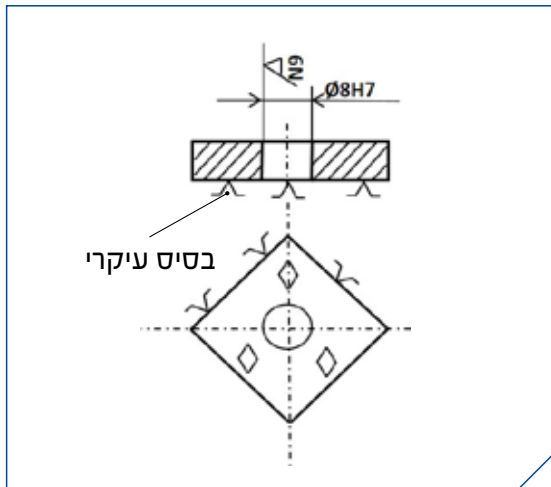
#### 2.4.8.1 בחירת משטח כבסיס עיקרי

נבחר את אחד המשטחים המישוריים של העובד, ונעדיף שיהיה מקביל למשטח של שולחן מכונת העיבוד - הוא זה שיהיה **בסיס עיקרי** (איור 2.4.18-2.4.19).

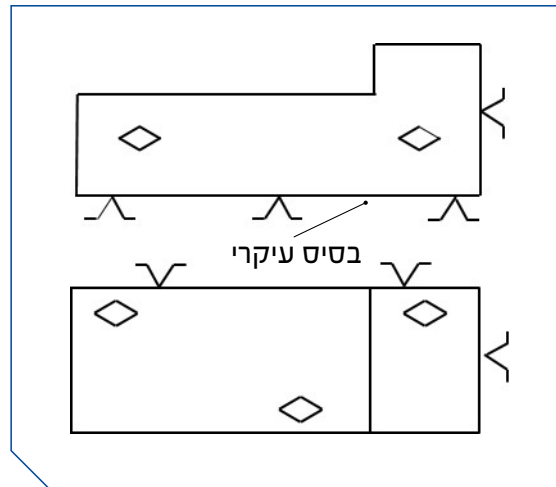
יש להבחין בין דפינת עובדים במקרים הבאים:

- **המשטח שנבחר כבסיס עיקרי הוא מעובד וחלק**, ואז משטח הדפינה במתקן יכול להיות גם משטח שטוח מלא או מחורץ. צריך להקפיד תמיד שמשטח הדפינה יהיה קטן מהמשטח של העובד, כדי שהשחיקה של משטח הדפינה במהלך העיבוד תהיה אחידה.
  - **משטח הדפינה שנבחר כבסיס עיקרי אינו מעובד ואינו חלק**. במקרה זה יש להניח את העובד על שלושה פינים, אותם אנו קובעים על פי מה שרצוי לנו, כל עוד יוצרים מישור אחד כפי שהוסבר לעיל. הסיבה לכך היא שכאשר משטח הדפינה אינו מעובד ונניח אותו על משטח ישר, העובד יישען רק בשלוש הנקודות הבולטות ביותר שלו. נקודות אלה יהיו שונות מעובד אחד לאחר, דבר העלול לפגוע בהידוק של העובד למתקן.
- נניח ששלושת הנקודות קרובות אחת לשנייה וההידוק אל משטח זה נמצא מחוץ לנקודות הללו. הכוח הלוחץ (המהדק) ינסה להפוך את העובד ובכל מקרה יגרום להצבת העובד בזווית. מה שיקרה בפועל, הוא שעבור כל עובד תהיה דפינה שונה ולא אחידה ואת זה נרצה למנוע. לאחר שקבענו את שלושת נקודות התמיכה נוכל להציב את המהדק מול נקודות אלה, ובכך נבטיח אחידות בדפינה.

איור 2.4.19: נקודות התמיכה דוגמה ב



איור 2.4.18: 6 נקודות התמיכה דוגמה א



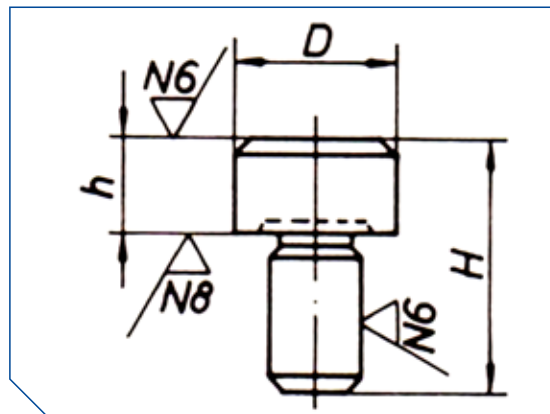
### 2.4.8.2 פני תמיכה (תומך נקודתי)

יש כמה סוגים של פני תמיכה, המיועדים להתקנה בבסיס המתקן ומתחת למשטח העיקרי. לפי התמיכה יש שטח מגע קטן עם העובד. תומכים אלה מבטיחים קביעה אמינה, אולם כשנדרשים כוחות הידוק גדולים יכולים משטחי המוצא של העובד להיפגע. כמו כן, יכולות להיות תזוזות עקב הכוחות הגדולים הפועלים במקומות המגע.

### בחירת הפינים תלויה במשטח העיקרי ובפעולת העיבוד:

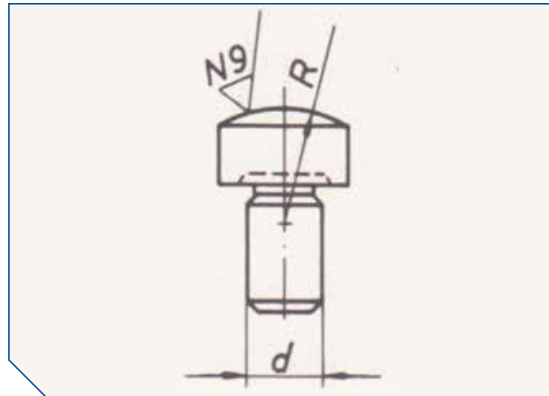
- פינים בעלי שטח עליון שטוח (איור 2.4.20) מיועדים למשטחים שעברו עיבוד.

איור 2.4.20: פין תמיכה למשטח מעובד



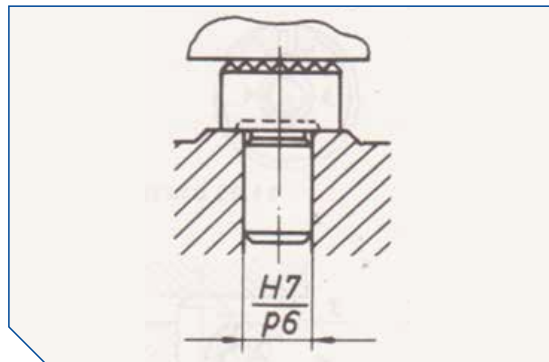
- פינים בעלי משטח מעוגל (איור 2.4.21) מיועדים למקרים שבהם המשטח העיקרי שבחרנו אינו מעובד.

איור 2.4.21: פין תמיכה למשטח בלתי מעובד



פינים שהשטח העליון שלהם מחורץ (איור 2.4.22), מיועדים למקרים שבהם יש חשש לתזוזת הגוף עקב כוחות חיתוך גדולים. פיני תמיכה אלה משפרים את העמידות בפני כוחות שיבוב גדולים.

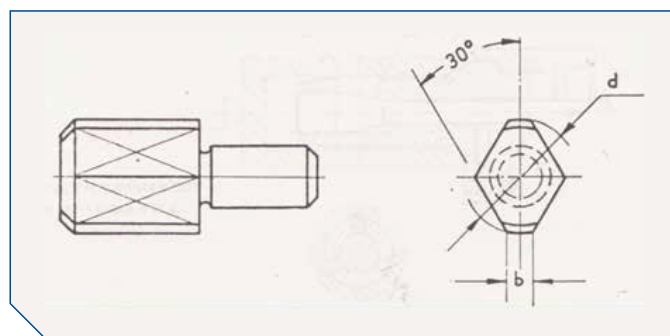
איור 2.4.22: פין תמיכה לעובדים שעלולים לזוז



ניתן למקם פיני תמיכה מתכווננים בהתאם למשטח המוצא של העובד. פינים אלה ניתנים לכוונון בעזרת ברגים, קפיצים, יתדות או אמצעים אחרים. הפין המתכוון ניתן להזזה עד למגע עם משטח המוצא של העובד.

פין "יהלום" (איור 2.4.23) מיועד למיקום בתוך קדח קיים. הפין חתוך משני צדיו, מה שמאפשר הגדלת הסיבולת של המרחק בין מרכזי הקדחים בעובד, או בין מרכז קדח לשטח ישר.

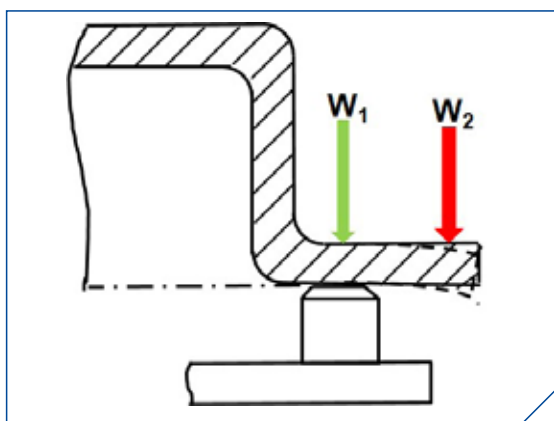
איור 2.4.23: דפינה בפין "יהלום"



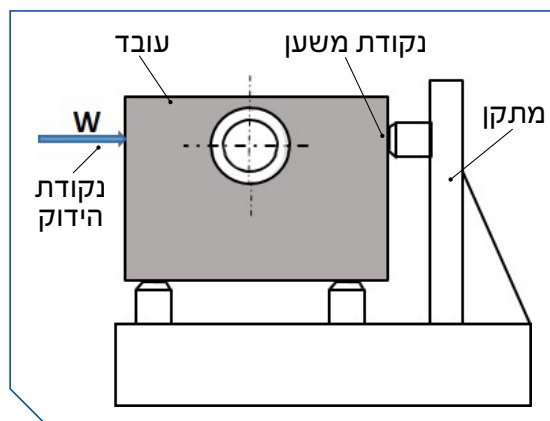
### 2.4.8.3 אמצעי עזר לדפינה (הידוק) של העובד במתקן

אמצעי העזר להידוק העובד במתקן יכולים להיות התקנים סטנדרטיים שניתן לרכוש, או התקנים ייחודיים שבנויים במיוחד למתקן מסוים. את אמצעי ההידוק מציבים כך שהכוח המופעל על העובד יהיה מול התומכים, ובכיוון הנכון (איור 2.4.24).  
הידוק בנקודה שאינה מול תומך (איור 2.4.25 נקודה W2) תגרום לתזוזת העובד ממיקומו הנכון, וכן לאי יציבות במהלך העיבוד.

איור 2.4.25: נקודות התמיכה וההידוק ב'



איור 2.4.24: נקודות התמיכה וההידוק א'



### 2.4.9 סיכום

ביצוע העיבוד בעזרת מתקנים וקביעים הוא אחד האמצעים היעילים ביותר לקבל דיוק והספק גבוהים בעיבוד חלקי מכונות. בייצור המודרני, המבוקר על ידי מכונות ממוחשבות ומערכות אוטומציה ורובוטיקה, יש חשיבות רבה ליכולת המתקנים והקביעים להוביל למיקום המדויק, האחיד והמהיר של החלקים המעובדים. יתרון נוסף של המתקנים והקביעים הוא שבעזרתם יוכלו גם עובדים לא מקצועיים לבצע את העיבוד. השימוש במתקנים וקביעים נקבע על פי שיקולים כלכליים על אף שלעיתים צורת העובד היא כזו שמחייבת הכנת מתקן. כפי שהוסבר בפרק, ניתן לבנות מתקנים וקביעים ייחודיים לעובד מסוים (הדבר מצריך ידע רחב בתכנון המתקן) או להשתמש במתקנים המורכבים מחלקים מודולאריים. יש מערכות ממוחשבות לבניית מתקנים, כולל מתקנים מודולאריים (בתוכנת ה-CAD יש ספרייה של חלקי המתקן המסייעת לבנייתו).



## 2.5 תהליכי ייצור, התהליך הטכנולוגי

איור 2.5.1: השלבים בתהליך הייצור

תהליך הייצור של מוצר
הגדרת המוצר/תפקיד/סביבת שימוש
תיכון (תכנון) המוצר
הכנת שרטוטי ייצור, מידות ודרישות עיבוד
הכנת אב טיפוס (למכלולים, לסדרות גדולות)
קביעת חומרי גלם ובדיקות מכאניות נדרשות
בחירת שיטת העיצוב של המוצר: עיבודים פלסטיים, ריתוך, עיבוד שבבי, יציקה, ציפויים, טיפול תרמי וכדומה (לפי דרישות המוצר וגודל הסדרה)
<b>תהליך טכנולוגי לייצור המוצר, הכולל:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• בחירת מכונת הייצור</li> <li>• תכנון של תהליך הייצור בשלבים</li> <li>• בחירת כלי עיבוד לכל שלב</li> <li>• חישובים של תנאי השיבוב לכל כלי בכל שלב</li> <li>• תכנון הדפינה, שימוש במתקנים וקביעים</li> <li>• תכנון ובחירת אמצעי המדידה במהלך הייצור</li> <li>• תהליך ביקורת איכות סופי של המוצר</li> </ul>
חישוב זמני ייצור והכנת הצעת מחיר לייצור
ייצור המוצר על פי התהליך הטכנולוגי
הכנת שרטוט ודף ביקורת ובדיקת המוצר
הרכבת המוצר (אם צריך) וביקורת סופית של המכלול
אריזה/אחסון/משלוח המוצר

### 2.5.1 מטרת הפרק

הקניית ידע על:

- שלבי תהליך הייצור
- סוגי תהליכי ייצור.
- תיק ייצור.
- אופן רישום תהליך טכנולוגי בחריטה ובכרסום והנתונים הרשומים בתהליך.

### 2.5.2 מבוא

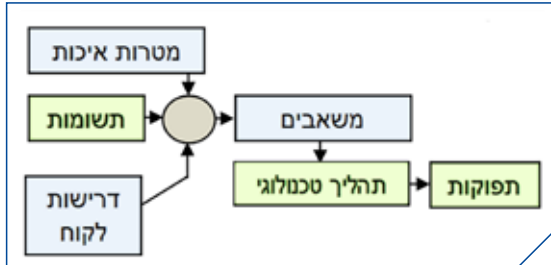
#### תהליך הייצור

- תהליך הייצור הוא אוסף הפעילויות המבוצעות בעובד (עובד הוא חומר הגלם לייצור המוצר), מחומר הגלם ועד המוצר המוגמר (איור 2.5.1). לפעמים הייצור הוא של חלק בודד, ולפעמים עבור מספר רב של חלקים המורכבים למכלול אחד. לצורך הייצור יש להכין **תיק ייצור**, הכולל תיעוד מלא של התהליך, ובכלל זה:
- דרישות הלקוח (הגדרת המוצר ותפקודו).
  - שרטוטים ודרישות טכנולוגיות.
  - חומרי הגלם.
  - חלקים סטנדרטיים קנויים.
  - קבצי תלת ממד של המוצר הסופי.
  - שרטוטי הרכבה ושרטוטי פרט של המוצר וחלקיו, כולל הוראות ייצור (תהליך טכנולוגי) לכל חלק וחלק.
  - מפרט הכולל את כל החלקים המרכיבים את המוצר "BOM" (Bill of Materials) וסדר הרכבת החלקים ליצירת המוצר המוגמר.
  - חישוב עלויות ייצור ישירות ועלויות זמן ריקם.
  - הצעת מחיר ללקוח והסכם ביצוע.
  - תיקונים שאושרו על ידי הלקוח במהלך העבודה.
  - יעוד ביקורת בתהליך הייצור ובסיומו עד קבלת המוצר המוגמר, אריזתו ומסירתו ללקוח.

המוצר יכול להיות מכלול של חלקים המורכבים יחד, כמו: מכונת, מכונת עיבוד, מלחציים, פרט בודד אחד כמו בורג, גלגל שיניים, או פרט מתוך מכלול שלא מורכב על ידי המייצר.

**פס ייצור**

**איור 2.5.2: תיאור תהליך הייצור**



פס ייצור הוא תהליך לייצור מוצר בשיטת רכבת (לא בהכרח ברצף), כאשר לאורך פס הייצור יש תחנות בהן נוספים חלקים לפריט כלשהו שנמצא במכלול המוצר. הפריט בתהליך יורכב בסוף למוצר המוגמר. לדוגמה, על מנת ליצור בסוף התהליך מוצר סופי, כמו בייצור מכונות המוצג באיור 2.5.3, יש פס ייצור עיקרי ופסי ייצור משניים.

בפסי הייצור המשניים מרכיבים למשל את חלקי המנוע לכדי מנוע מושלם, בפס המשנה העיקרי מרכיבים את המנוע לגוף המכונת ביחד עם חלקים נוספים. איכות הייצור תלויה בכמה גורמים: איכות האנשים העוסקים בייצור, איכות אמצעי הייצור וכדומה.

**תיכון המוצר (Product Design)** במהלך תהליך התיכון **קובעים את התכונות ואת המאפיינים של המוצר**. מטרת התהליך היא לתת מענה מקסימלי לצורכי הלקוח, ולהפוך את דרישת הלקוח למוצר, תוך בדיקת היתכנות ביצוע ותפקוד המכלול (המכלול הוא המוצר המורכב). את תהליך התיכון מבצעים על מוצרים מוחשיים, באמצעות דגמים או באמצעות תוכנות מחשב תיב"ם CAD - CAM. **CAD - Computer Aided Design** (שרטוט), **CAM - Computer Aided Manufacturing** (ייצור).

כדאיות ייצור המוצר מותנית במרכיבים שונים (איור 2.5.2), כמו דרישות הלקוח/המוצר ומטרות האיכות (הדיוקים הנדרשים), והמשאבים המושקעים בייצור המוצר (עלויות ייצור ישיר ועקיף, עלויות חומרי גלם). כדי שתהיה כדאיות בייצור התוצאה הסופית צריכה להיות כזו שהתשומות (ההוצאות) הכלליות יהיו נמוכות מהתפוקות (כמות החלקים והרווח המתקבל).

## 2.5.3 סוגי תהליכי ייצור

יש שלושה סוגי תהליכי ייצור כאשר לכל אחת משיטות הייצור יש אפיונים שונים המתאימים לייצור מוצרים שונים, בעיקר בהתייחס לכמות החלקים הנדרשת לייצור.

1. ייצור המוני

2. ייצור סדרתי

3. ייצור בודד

1. ייצור המוני

ייצור המוני הוא ייצור של מוצרים בשיטות מתקדמות ועבור כמות חלקים גדולה, כמו הרכבת מכוניות. משתמשים בפס הייצור ברובוטים ואוטומציה (איור 2.5.3).

בונים מכונות מיוחדות לייצור המוני, שהותאמו לייצור מוצר מסוים, כמו מכונה לייצור גלגלי שיניים (איור 2.5.4). המכונה יודעת לייצר גלגלי שיניים בלבד.

בייצור המוני מרבית להשתמש באוטומציה (פנאומטיקה, הידראוליקה ובקרים), בשילוב מנועים המפעילים את המערכות ומבצעים את התנועות באמצעות בקרים ותוכנות CNC. כמו כן, משתמשים ברובוטים לצורך שינוע החלקים במהלך העיבוד וביצוע פעולות עיבוד כמו ריתוך, חיבור חלקים ועוד. אמצעים אלה מאפשרים ייצור בכמויות גדולות ללא מגע יד אדם וללא צורך בבעלי מקצוע ברמה גבוהה ברצפת הייצור. התהליך יכול להתבצע במשך פרקי זמן ארוכים ללא צורך בהפסקה.

איור 2.5.4: מכונה מיוחדת לייצור גלגלי שיניים



איור 2.5.3: פס ייצור להרכבת גוף מכונית

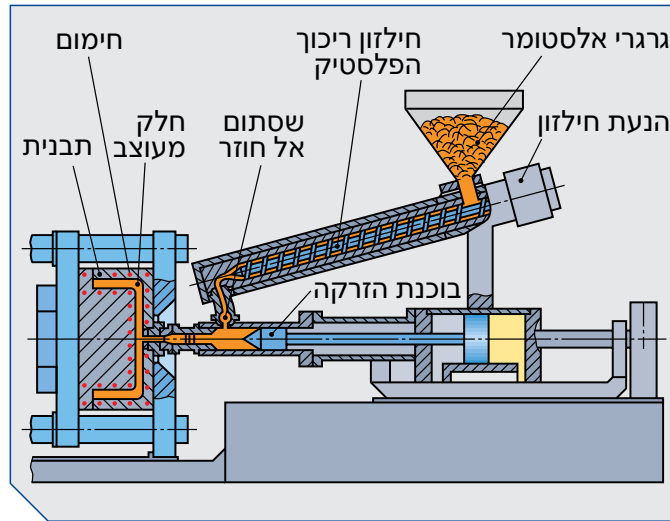


בייצור המוני משתמשים גם בשיטות של עיבודים בלתי שבביים, כמו יציקה באמצעות תבניות התואמת את המוצר. באיור 2.5.5 מתוארת מכונה להזרקת פלסטיק. יש תבניות המיועדות לחומרים אל-מתכתיים (פלסטיק, גומי) ולחומרים מתכתיים (אלומיניום, ברונזה, פלדה).

בעיבודים פלסטיים שונים כמו תבניות כבישה (מבלטים, איור 2.5.6).

בייצור המוני, עלויות הייצור של חלק בודד או מכלול נמוכות משמעותית בהשוואה לייצור סדרתי או ייצור בודד, אך האמצעים וההשקעה הראשונה גבוהים. לכן, שיטה זו מתאימה לייצור כמויות גדולות של חלקים. ייצור זה מתאפיין בתפוקה גבוהה ובייצור רצוף במשך זמן ממושך.

איור 2.5.5: מכונת הזרקה

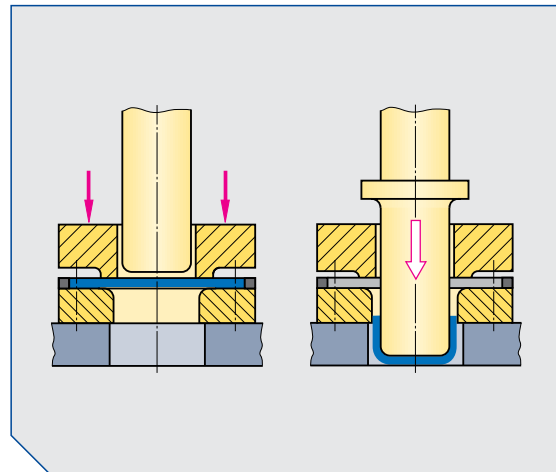


בייצור המוני, הציוד מבוסס על מכונות אוטומטיות וחצי אוטומטיות, על מכונות CNC ועל מרכזי עיבוד. נעשה שימוש נרחב גם באמצעי דפינה מהירים ומדויקים שמוכנים במיוחד למוצר הספציפי. באיור 2.5.7 מתואר מתקן דפינה לעיבוד בכרסום.

איור 2.5.7: מתקן דפינה



איור 2.5.6: מבלט כבישה



2. ייצור סדרתי (Mass Production)

ייצור מוצרים בסדרות קטנות עד בינוניות לפי הזמנה או עבור מלאי מסוים. הסדרות המיוצרות יכולות להיות שונות בגודלן, בסוג המשאבים הדרוש, בסדר העיבוד ובתכונות המוצר (גם אם באותו תחום).

ניתן להבחין בין 2 סוגי תהליכי ייצור סדרתיים:

**1. תהליך סדרתי מחזורי**

זהו תהליך של ייצור מוצר שיחזור על עצמו בהמשך. לדוגמה: מפעל לייצור כלי עיבוד מכין סדרה של מחזיקי כלים מסוג מסוים בכמות נדרשת לשיווק, ועובר לייצור כלי אחר ממגוון הכלים שלו. הסדרה של הכלי הקודם תחזור לייצור במועד אחר וסדרה זו נחשבת כתהליך סדרתי מחזורי.

**2. הליך סדרתי חד פעמי**

זהו תהליך שהסיכוי שיחזור על עצמו באותם תנאים הוא קטן.

**איור 2.5.8: השלבים בתהליך הטכנולוגי**

- |  |
|--|
| 1. בחירת מכונת הייצור בהתייחס לצורת החלק והדרישות הטכנולוגיות  |
| 2. תכנון תהליך הייצור של כל שלב בעיבוד בהתייחס לדרישות הטכנולוגיות של מידות, טיב השטח, סיבולות גיאומטריות ועוד     |
| 3. בחירת כלי עיבוד בהתאמה לסוג העיבוד  |
| 4. מציאת נתוני עיבוד מטבלאות יצרן הכלים וחישובים של סל"ד, קידמה והיגש בכל שלב, כולל לעיבוד גמר בהתאם לדרישות המוצר |
| 5. תכנון ובחירה של אמצעי הדפינה, מתקנים וקביעים במהלך העיבוד   |
| 6. תכנון ובחירה של אמצעי המדידה, מתקני מדידה במהלך העיבוד  |
| 7. קביעה של תהליך אבטחת איכות ובדיקות בסיום העיבוד/הרכבה   |

תעשיית בניית המכונות מושתתת בעיקר על ייצור סדרתי, המהווה כ-80% מכל הייצור. מבחינת האפיונים הטכנולוגיים, הייצור הסדרתי ממוקם בין ייצור בודד לייצור המוני. בייצור סדרתי משתמשים בציוד אוניברסלי ובציוד מיוחד גם יחד (במכונות CNC ובמרכזי עיבוד ואוטומציה). בנוסף, נעשה שימוש נרחב בציוד טכנולוגי שאפשר להתאימו ולהחליפו מהר. חומרי הגלם סטנדרטיים מוכנים בערגול בחום ובקור, ביציקה רגילה ומדויקת, בחישול ובהבלטה.

פועלים מיומנים מפעילים מכונות רגילות קונבנציונאליות ו-CNC, ומכינים את המכונה לייצור, בשילוב עובדים ברמה מקצועית נמוכה (מפעילים) העושים פעולות במכונות מכוונות. על פי גודל הסדרה תהליכי הייצור יעשו דומים לתהליכי ייצור המוני או ייצור בודד.

**3. ייצור בודד**

בתהליך זה מיוצרים מוצרים בודדים לפי הזמנה, מיוצרים במפעל אחד-אחד או בסדרות של כמה עשרות. תהליך הייצור במפעל מניב תפוקה נמוכה.

בתהליך הייצור מבוצעות פעולות שונות בשטח עבודה אחד, הציוד אוניברסלי ומתחלק לקבוצות לפי סוגי העיבוד: מחרטות, כרסומות, משחזות וכדומה. חומרי הגלם הם סטנדרטיים ומוכנים בשיטות שלא דורשות השקעה גדולה, כמו ערגול בחום/בקור, חישול ויציקה. את הדיוק הדרוש והתוספות הנדרשות משיגים בעיבוד שבבי. בתהליך ההרכבה נעשה שימוש נרחב בעבודות התאמה ידניות. בשל כל זאת יש צורך בפועלים שרמתם המקצועית גבוהה.

דוגמה לייצור בודד היא בניית תבנית הזרקה למכונת הזרקה, שעשויה בחלקה מרכיבים קנויים המיוצרים בתהליך של ייצור סדרתי, ובחלקה האחר מיוצרת בייצור בודד המותאם למוצר המוזרק. לייצור התבנית נדרש בעל מקצוע מיומן.

**טבלה 2.5.1: השוואה בין שיטות הייצור השונות**

מס'	המאפיין	בודד	סדרתי	המוני
1	כמות הייצור	קטנה	בינונית	גדולה
2	משך התהליך	קצר	בינוני	ממושך
3	סוגי המכונות	אוניברסליות	אוניברסליות ומיוחדות	מיוחדות
4	מתקנים וקביעים	רק במקרים מיוחדים	במתקנים וקביעים סטנדרטיים	הכנת מתקנים וקביעים מותאמים למוצר
5	אמצעי מדידה	סטנדרטיים	מדידים ואמצעים סטנדרטיים	סטנדרטיים ומיוחדים המותאמים למוצר
6	אוטומציה/רובוטיקה	לא בשימוש	בשימוש חלקי	בשימוש נרחב
7	הכנת תהליך טכנולוגי ותייעוד	פשוט	הכנת תהליך מובנה, סדר פעולות	הכנת תהליך מפורט
8	השקעה בהכנות לייצור	נמוכות	גבוהות	גבוהות מאוד
9	מחיר ליחידת ייצור	גבוה	נמוך	נמוך מאוד
10	מיומנות מקצועית נדרשת	גבוהה מאוד	גבוהה	נמוכה

**2.5.4 התהליך הטכנולוגי**

**2.5.4.1 הקדמה**

התהליך הטכנולוגי בתעשיית המתכת כולל את רצף הפעולות בסדר הנכון לקבלת המוצר המוגמר, על פי דרישות הלקוח ועל פי שרטוט המוצר. איור 2.5.9 מתאר את המרכיבים שבתוך תהליך הטכנולוגי.

התהליך הטכנולוגי הוא חלק מתהליך הייצור, הקשור ישירות לביצוע פעולות העיבוד השונות הדרושות להפיכת חומר הגלם למוצר המוגמר. יש גורמים שונים בדרישות למוצר המוגמר, כולם מוגדרים בשרטוט המוצר ובנתונים שמסביבו. אלה מכתיבים את תהליך הטכנולוגי שיש לבצע על מנת לעמוד בדרישות אלה.

**איור 2.5.9: המרכיבים שבתהליך הטכנולוגי**

<p><b>פעולה:</b> כל הפעילויות (הדפינות והעיבודים השונים) המבוצעות על העובד, כל עוד הוא על אותה המכונה. הפעולה מסתיימת כשהעובד מסיים את העיבוד על המכונה ומורד ממנה.</p>
<p><b>הצבה:</b> אופן הדפינה עבור שלב או כמה שלבים (דפינה במלחציים, תפסנית מרכז, מתקן דפינה וכדומה). הדפינה מסתיימת כאשר משנים אותה (יכולות להיות כמה הצבות בפעולה אחת).</p>
<p><b>שלב:</b> ביצוע עיבוד מוגדר כמו מדרגה, קידוח, תברוג, חריץ וכדומה (בהצבה אחת יכולים להיות כמה שלבים).</p>

לאחר תכנון מוצר מורכב (במשרד ת.פ.י - תכנון פיתוח הייצור), מכינים שרטוטי פרט של כל החלקים המרכיבים את מכלול המוצר. לכל חלק במכלול מגדירים דרישות על פי תפקידו ותפקודו ביחס לשאר החלקים ולמכלול הכולל, מגדירים דרישות טכנולוגיות ומכינים שרטוט ייצור.

בוחנים כל שרטוט במוצר, ובודקים איזו צורת עיבוד ניתן לבצע: חריטה, כרסום, השחזה, ארוזיה וכדומה. מכינים תהליך טכנולוגי שבו מופיע פירוט של התהליך. בתהליך הטכנולוגי יוגדרו המרכיבים של התהליך בהגדרות של **פעולה, הצבה ושלב**. תיאור ומשמעות של ההגדרות הללו באיור 2.5.9. בתהליך הטכנולוגי בוחרים את המכונה שבה מבצעים את המוצר ובהתאם את שם החלק ומספרו, סוג החומר, טיפולים תרמיים, ציפויים

ודרישות מיוחדות וכדומה. מכינים תהליך טכנולוגי לייצור המוצר. בתהליך כותבים ומשרטטים את כל התהליך החל משלב קביעת חומר הגלם דרך תהליך ייצורו ועד בדיקתו הסופית. בגיליון מציינים גם את מתקני דפינה שמשתמשים בתהליך הייצור, כלי השיבוב, תנאי השייבוב, כלי מדידה וכדומה.

אין טופס אחיד ומוגדר להכנת תהליך טכנולוגי, ובמפעלים שונים נמצא טפסים שהוכנו בהתאמה למפעל, אולם במרביתם מופיעים אותם המרכיבים. בפרק זה נביא דוגמאות של רישום תהליך טכנולוגי על מרכיביו השונים בחריטה ובכרסום.

**2.5.4.2 מרכיבי גיליון התהליך הטכנולוגי**

בגיליון התהליך הטכנולוגי יופיעו נתונים רבים הקשורים לתהליך ייצור המוצר הכוללים את הפרטים של המפעל המייצר, מזמין החלק, שם המחלקה המייצרת בתוך המפעל, שם המכלול, שם החלק ומספרו הסידורי, סוג החומר ממנו מיוצר החלק, מידות חומר הגלם, קשיות נדרשת, דרישות מיוחדות, טיפולים תרמיים, ציפויים וכדומה.

בגוף התהליך הטכנולוגי מתואר ייצורו של המוצר, התהליך מורכב מהנתונים הבאים:

1. **פעולה.**
2. **הצבה.**
3. **שלב.**

בהמשך נתייחס לנתונים הללו בפרוט.

## 1. פעולה

הפעולה מגדירה באיזו מכונה מבצעים את הפעולות בחלק זה של ייצור המוצר (בשלב ייצור המוצר ייתכנו כמה פעולות המבוצעות במכונות שונות עד להשלמת המוצר). הגדרת הפעולה מתייחסת למצב שבו ממשיכים לייצר את העובד במכונה נתונה, כולל דפינות שונות. **הפעולה מסתיימת כשהעובד עובר למכונה אחרת.**

בפעולה יש הצבות ושליבים שונים. את הפעולה מקובל לסמן במספר 1 או 010 כדי לאפשר הכנסת פעולות נוספות לאחר השלמת התהליך.

כמות הפעולות לייצור המוצר נקבעת לפי דרישות המוצר: דיוק וטיב השטח הנדרש, כמות החלקים שיש לייצר, סוג המכונה ועוד. למשל, עבור מוצר שבו יש עיבוד בחריטה ובכרסום, אם נבצע את המוצר במרכז עיבוד CNC (יכולת עיבוד של חריטה וכרסום) ניתן יהיה לבצע את העיבוד בפעולה אחת, ובמכונות קונבנציונאליות נדרש לשתי פעולות.

במחרטות ממוחשבות CNC בעלות שלושה צירים נוכל לבצע עיבוד של חריטה וכרסום (פעולה אחת) ועם כרסומת בעלת ארבעה צירים ויותר נוכל לבצע בפעולה אחת הצבות שונות, באמצעות סיבוב הצירים. אם טיב השטח הנדרש גבוה, יהיה צורך בעיבוד בפעולה נוספת של השחזה.

## 2. הצבה (דפינה)

הצבה מגדירה את צורת הדפינה של העובד עבור ביצוע שליבים בעיבוד. אפשרויות בחירת הדפינה לביצוע השליבים המתוארים בהמשך מגוונות ורבות: תפסנית מרכז, תמיכת עוקץ, לחיים רכים, תפסנית אל-מרכזית, דפינה בין עוקצים, מלחצי מכונה, מתקן דפינה, פלטה מגנטית ועוד.

**את ההצבה מגדירים בכל פעולה במספרים 1,2,3.** בחירת סוג הדפינה היא נתון חשוב מאוד לדיוק, יעילות ובטיחות הייצור, ולקבלת מוצר על פי הדרישות.

**סדר תהליך העיבוד קובע את סוג הדפינה.** למשל, בעיבוד גס בחריטה נשתמש בדפינה יציבה ולא בחריטה בין עוקצים (שבה נשתמש לעיבוד הסופי). אם ביצענו בחריטה עיבוד גמר על משטח בטיב שטח גבוה, לא נוכל לדפון על משטח זה בתפסנית עם לחיים קשים שיפגעו בשטח המעובד. לכן, נצטרך לבצע דפינה בלחיים רכים או דפינה בתפסנית גובתא (תפסנית גובתא היא תפסנית קפיצית, המונעת פגיעה בשטח המעובד ודופנת את העובד באופן מרכזי). כמו כן, דרישות גיאומטריות של מרכזיות, ניצבות וכדומה קובעות את שיטת הדפינה.

**יש לשמור על הכללים לגבי שימוש בעוקץ:** כאשר העובד בולט פי שלושה מאורכו נדרשת תמיכת עוקץ, וכאשר המוצר ארוך פי 10 מקוטרו יש צורך בתוספת של משענת. לעיתים בתהליך הייצור יש צורך לבצע דפינה חוזרת של העובד. יש חשיבות רבה לכך שבדפינה החוזרת, המוצר יחזור לאותו המצב (למשל לא יזרוק בחריטה, או לא יהיה דפון כמו בתחילה) ולכן משתמשים גם במקבעים (סטופרים) מתאימים, המבטיחים דפינה חוזרת מדויקת. יש להתחשב בכל הנתונים הללו ולציין זאת בתהליך הטכנולוגי.

יש סימון מוסכם לדפינות מוכרות וידועות המתוארות בטבלה 2.5.2 בהמשך - סימונים אלה משמשים ברישום בגיליון התהליך הטכנולוגי. הסימונים מציינים את סוג הדפינה של המוצר ואת מיקומה. אם לא משתמשים בסימונים הללו יש לציין זאת בתיאור אמצעי הדפינה (ראו דוגמאות בטבלה).

### דוגמאות לאופן קביעת מספר הפעולות והצבות

כדי להבין את השיקולים לקביעת פעולות והצבות מובאים להלן דוגמאות אפשריות לתהליכי ייצור:

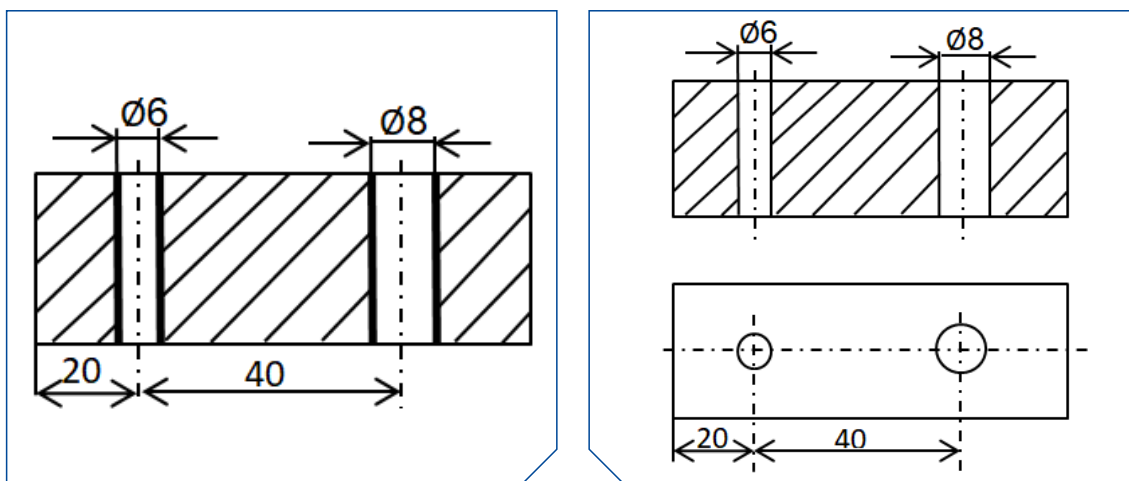
#### 1. דוגמה לביצוע המוצר בשתי פעולות

אם דרישת טיב השטח במוצר מסוים מעידה שיש צורך בביצוע השחזה (לדוגמה נדרשת דרגת טיב שטח של N4) את פעולת השיבוב הראשונה נבצע על מכונה כמו מחרטה או כרסומת. במכונות אלה לא ניתן לקבל את דרגת טיב שטח הנדרשת ולכן יש להעביר את המוצר למשחזת עגולה או משחזת שטחים שבאמצעותה ניתן לקבל את טיב השטח המבוקש. לפיכך, במצב כזה תהיינה שתי פעולות:  
פעולה 1 - עיבוד במחרטה או כרסומת.  
פעולה 2 - עיבוד במשחזת.

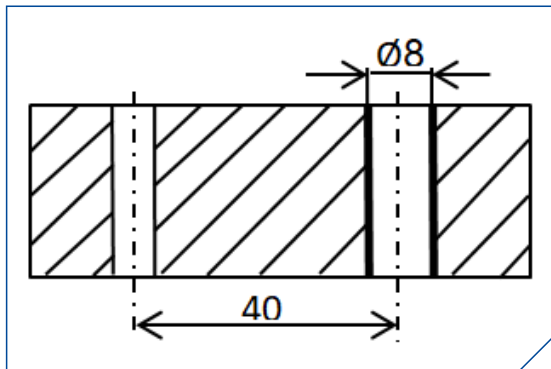
#### 2. דוגמה לביצוע מוצר בשתי פעולות או בפעולה אחת עם שתי הצבות

במקרים של ייצור כמות של חלקים כמו בשרטוט באיור 2.5.10, כאשר יש צורך בקידוח של שני קדחים בעלי קוטר שונה עבור כמות חלקים:  $\phi 6$  ו- $\phi 8$ . אפשר לבחור בשתי דרכים לייצור:  
א. **החלפת כלי** - במקרה זה אפשר לבחור להחליף את המקדח ולסיים את שני הקדחים בהצבה אחת (איור 2.5.11). נקבל פעולה אחת והצבה אחת.  
ב. **החלפת עובד** - אפשר גם לקדוח את כל הקדחים  $\phi 6$  בכל העובדים, מבלי להחליף מקדח (איור 2.5.12) שזו תהיה פעולה אחת, ולאחר מכן להחליף מקדח ולקדוח את כל הקדחים  $\phi 8$  (איור 2.5.13) - שזו תהיה פעולה שנייה.

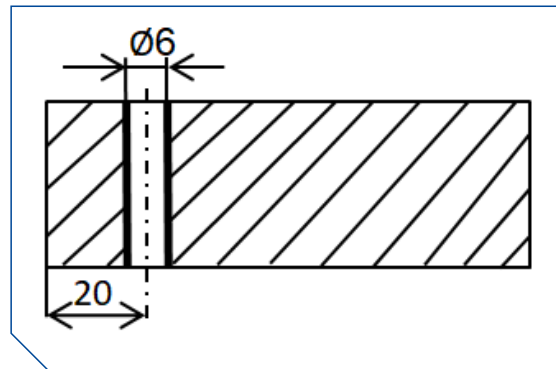
איור 2.5.10: שרטוט המוצר (כמות - 100 חלקים) איור 2.5.11: קידוח שני הקדחים בהצבה אחת



איור 2.5.13: קידוח קדח  $\varnothing 8$  פעולה 2



איור 2.5.12: קידוח קדח  $\varnothing 6$  פעולה 1

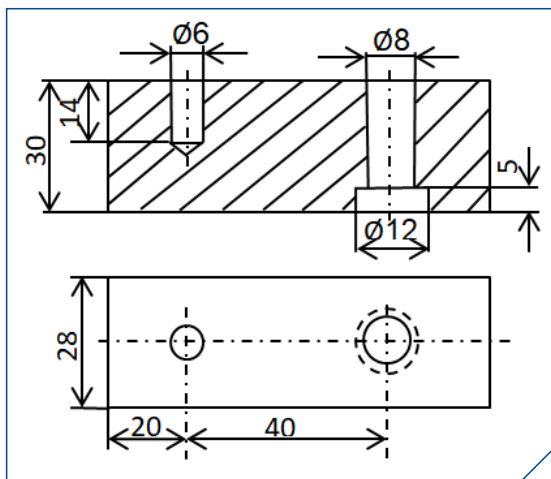


כיצד נבחר את התהליך הרצוי מבין שתי הדוגמאות?

לצורך בחירת התהליך הנכון נוספים שיקולים של עדיפות מבחינת זמן ייצור, הזמן הדרוש להחלפת מקדח או הזמן לדפינה חוזרת. כמו כן, נוספים שיקולים טכנולוגיים של דיוק העיבוד - כשמבצעים דפינה חוזרת יש להבטיח דפינה במיקום נכון. שיקולים אלה ואחרים עומדים בפני המתכנן בשעה שהוא מתכנן את התהליך הטכנולוגי ובוחר את התהליך הנכון והיעיל ביותר.

3. דוגמה לביצוע מוצר בכרסום בפעולה אחת עם שתי הצבות או בשתי פעולות כשבכל פעולה הצבה אחת

איור 2.5.14: שרטוט המוצר

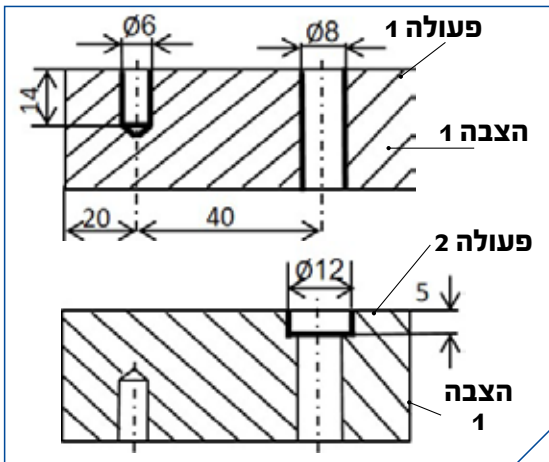


במקרה של ייצור מוצר בייצור סדרתי (כמות של חלקים) עבורו נדרש לבצע בתהליך הטכנולוגי כמה הצבות כמו במוצר באיור 2.5.14, כשלא ניתן לבצע את הקדחים והשקע באותה הצבה בגלל מגבלות העיבוד, אפשר לבחור לבצע בשתי דרכים:

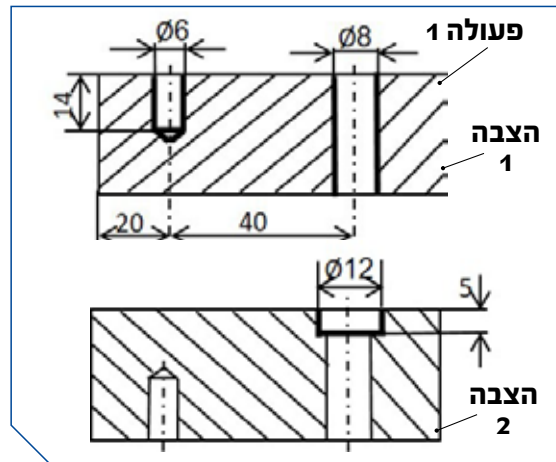
א. **פעולה אחת עם שתי הצבות** (איור 2.5.15). בהצבה ראשונה קודחים את שני הקדחים ובהצבה שנייה מבצעים את השקע.

ב. **שתי פעולות** כשבכל פעולה הצבה אחת. אם נבצע עיבוד של שני הקדחים בהצבה אחת לכל החלקים (איור 2.5.16 למעלה), וזו תהיה **פעולה ראשונה**. לאחר מכן נבצע את השקע  $\varnothing 12$  בכל החלקים (איור 2.5.16 למטה), וזו תהיה פעולה שנייה בהצבה אחת. גם כאן ייחשב הדבר **כשתי פעולות**, אפילו אם הן מבוצעות באותה המכונה.

איור 2.5.16: ביצוע הקידוח בשתי פעולות



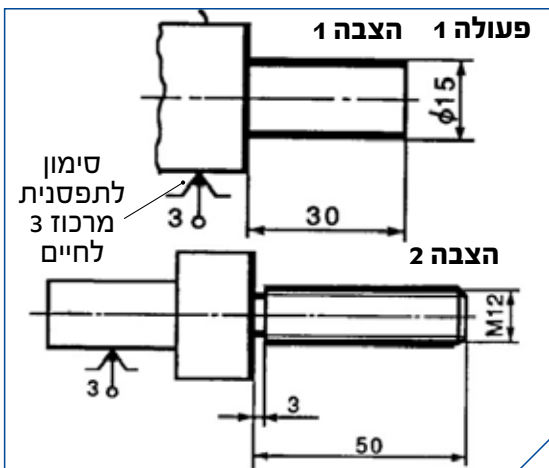
איור 2.5.15: ביצוע הקידוח בפעולה אחת ובשתי הצבות



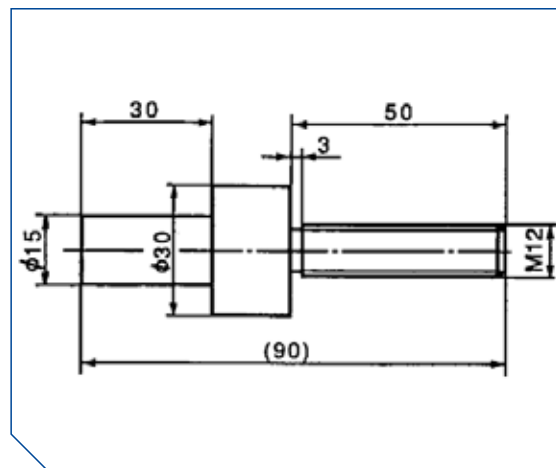
4. דוגמה לביצוע מוצר בחריטה בפעולה אחת עם שתי הצבות או בשתי פעולות כשבכל פעולה הצבה אחת

באיור 2.5.17 מתואר גוף בחריטה אפשר לבחור לבצע בשתי דרכים:  
 א. ביצוע בפעולה אחת ושתי הצבות (כמתואר באיור 2.5.18), כאשר הופכים את העובד לאחר ביצוע המדרגה הראשונה.  
 ב. ביצוע בפעולה אחת והצבה אחת כאשר נדפון חומר גלם ארוך, נבליט אותו מהתפסנית כ-100 מ"מ, נבצע את העיבוד עם סכין מתאימה ונחתוך. במקרה זה יש לתמוך את העובד עם עוקץ בגלל שאורכו (הבולט מהתפסנית של העובד) גדול פי שלושה מקוטרו.

איור 2.5.18: ביצוע מוצר בחריטה בשתי הצבות



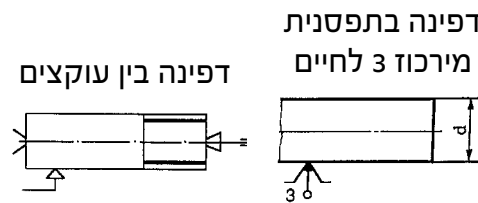

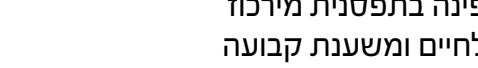

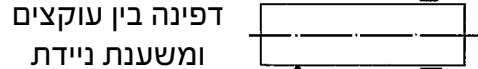

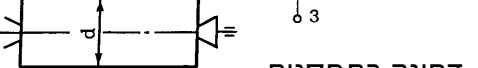







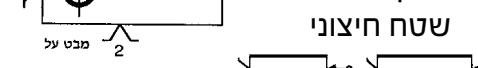



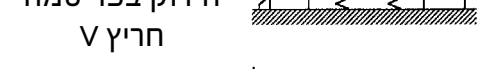



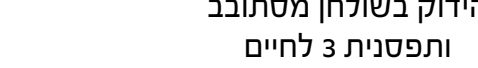

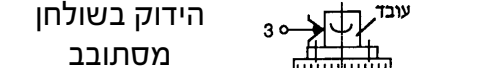

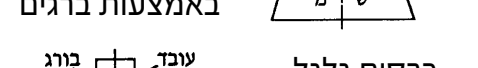





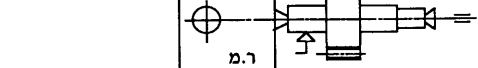








איור 2.5.17: שרטוט מוצר בחריטה



5. דוגמה לביצוע מוצר בחריטה בשתי פעולות

לפעמים נבחר לבצע עיבוד גס במכונה אחת (אולי במכונה הלא מדויקת עם בעל המקצוע הפחות מיומן) ולהעביר את העובד לסיום העיבוד בעיבוד גמר במכונה אחרת, מדויקת יותר. במקרה כזה נקבל שתי פעולות.

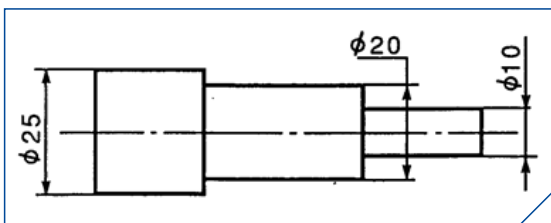
טבלה 2.5.2: סימונים מוסכמים של דפינות בתהליך הייצור

דוגמאות לסימון בדפי תהליך	הסבר לסימן	הסימן
<p>דפינה בתפסנית מירכוז 3 לחיים</p> 	סימון של משטח העיבוד	
<p>דפינה עם עוקץ קבוע</p> 	דפינה עם עוקץ מסתובב ומתכוונן	
<p>דפינה בתפסנית מירכוז 3 לחיים ומשענת קבועה</p> 	דפינה עם משענת (לונטה) קבועה	
<p>דפינה בתפסנית גובתא</p> 	דפינה עם משענת (לונטה) ניידת	
<p>מיקום והידוק לקדיחה</p> 	דפינה עם מקבע ניח המציין את מספר נקודות המשען	
<p>הידוק לכרסום שטח חיצוני</p> 	דפינה עם מקבע מתכוונן נייד	
<p>הידוק בפריסמה חריץ V</p> 	דפינה בתפסנית מרכז. המספר מציין את מספר הלחיים (בקים) בתפסנית	
<p>הידוק בשולחן מסתובב ותפסנית 3 לחיים</p> 	דפינה בתפסנית 4 לחיים לא מרכזית	
<p>הידוק בשולחן מסתובב באמצעות ברגים</p> 	דפינה בדיסקת פנים (פלנש שייבה)	
<p>כרסום גלגל שיניים, דפינה בין עוקצים עם ראש מחלק</p> 	דפינה בתפסנית קפיצית (גובתא)	
<p>עובד</p> 	סימון לנקודת הידוק וכיוון ההידוק	
<p>עובד</p> 	בורג (אביזר בורגי)	
<p>עובד</p> 	שולחן מכונת העיבוד או אביזר מקביל לו	
<p>עובד</p> 	קפיץ (אביזר קפיצתי)	
<p>עובד</p> 	פריסמה (מנסרה) עם חריץ קבוע V	
<p>עובד</p> 	פריסמה (מנסרה) עם חריץ V מתכוונן ומשתנה, נצמד בקפיץ	
<p>עובד</p> 	שולחן מסתובב	
<p>עובד</p> 	ראש מחלק	
<p>עובד</p> 	משטח הידוק אלקטרומגנטי	
<p>עובד</p> 	משטח הידוק בתת - לחץ (וואקום)	
<p>עובד</p>	מקבע משתנה (מתאזן)	

3. שלב

השלב מגדיר ביצוע של פרט אחד מתוך המוצר כמו: חריטת מדרגה, קידוח, כרסום חריץ וכדומה. לשלב יש לפעמים גם מעברים (היגש = עובי שבב) שהם כמות השבבים שיש לבצע כדי להגיע למידה הסופית. לפעמים מסמנים בתהליך הטכנולוגי גם את המעברים לעיבוד גס ולעיבוד גמר.

**איור 2.5.19: שרטוט המוצר לחריטה חיצונית** , בכל הצבה יכולים להיות כמה שלבים, המוגדרים במספרים 1,2,3 וכך הלאה.



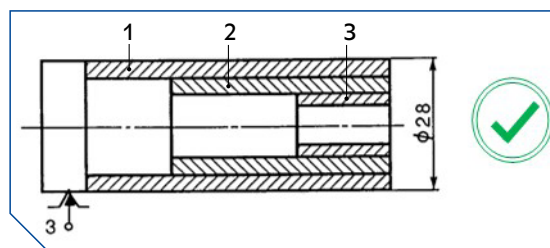
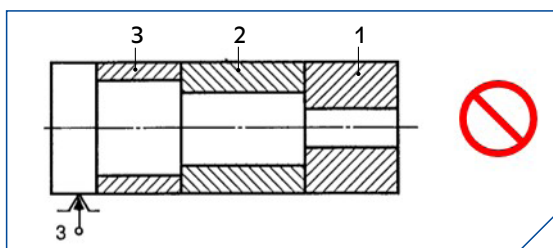
בחירת השלבים חשובה ביותר בתהליך העיבוד. לדוגמה, קידוח בחריטה יתבצע ראשון (בעיקר בקטרים גדולים), כיוון שקיימת סכנה שבמהלך הקידוח העובד יזוז. לפעמים נבחר לבצע עיבוד גס ולאחריו עיבוד גמר. באיור 2.5.19 מתואר מוצר בעל 3 מדרגות בקטרים שונים. הביצוע של המוצר יעשה במחרטה.

תהליך ביצוע המדרגות, בדרך הנכונה, מתואר באיור 2.5.20, כאשר המדרגה המסומנת כמספר 1 בקוטר הגדול  $\varnothing 25$  תבוצע ראשונה (חומר הגלם הוא בקוטר 28) ואחריה המדרגה המסומנת מס' 2,  $\varnothing 20$  ולבסוף המדרגה המסומנת מס' 3,  $\varnothing 10$ .

באיור 2.5.21 מתוארת אפשרות נוספת, שאינה נכונה, לעיבוד המדרגות, כאשר חורטים את המדרגות לפי המספור: ראשונה מדרגה 1 לאחר מכן מדרגה 2 ולבסוף מדרגה 3. אותו כלל תקף גם בעיבוד של קדח מודרג (חריטה פנימית), אבל הפוך: קודם נחרוט את הקדח בקוטר הקטן ולאחריו הקוטר הבא וכך הלאה.

**איור 2.5.20: ביצוע מדרגות חיצוניות בחריטה - סדר העיבוד הנכון לשרטוט באיור 2.5.19**

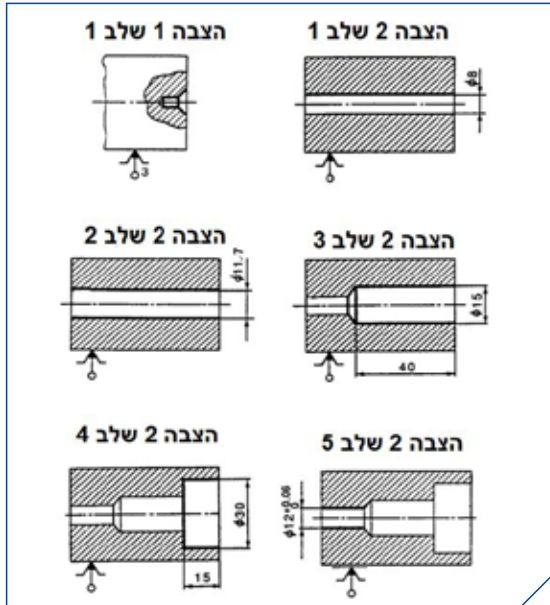
**איור 2.5.21: ביצוע מדרגות חיצוניות בחריטה - סדר העיבוד הלא הנכון לשרטוט באיור 2.5.19**



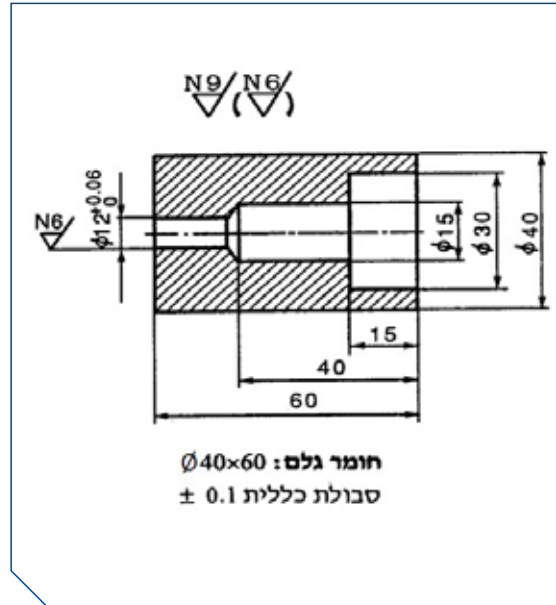
תהליך העיבוד של המוצר המתואר באיור 2.5.22 יהיה בסדר הבא (איור 2.5.23):

- 1 - קידוח מרכזי.
- 2 - קידוח קדח הכנה  $\varnothing 8$ .
- 3 - קידוח קדח  $\varnothing 11.7$  - הכנה לקידוד.
- 4 - קידוח במקדח  $\varnothing 15$ .
- 5 - חריטה פנימית  $\varnothing 30$ .
- 6 - קידוד במקדד  $\varnothing 12$ .

איור 2.5.23: תהליך הייצור לביצוע איור 2.5.22



איור 2.5.22: שרטוט המוצר לחריטה פנימית



בבחירת התהליך הטכנולוגי וכלי העיבוד, חשוב מאוד להתייחס לדרישות הדיוק של הפרט המבוצע. לדוגמה, כאשר יש לבצע חריץ או פתח מדויק בכרסום, לא נשתמש בכרסום שרוחבו הוא רוחב החריץ, מפני שקיימת סכנה שהמידה תהיה גדולה. על כן, במקרה כזה נבחר כרסום קטן יותר לביצוע החריץ ונשלים את המידה בהזזת הכרסום.

### מרכיבי הגיליון של התהליך הטכנולוגי

גיליון הטכנולוגי קיימים הנתונים הבאים אותם יש למלא:

- שם ותיאור התהליך.
- תרשים העיבוד.
- הציווד הדרוש.
- תנאי שיבוב.

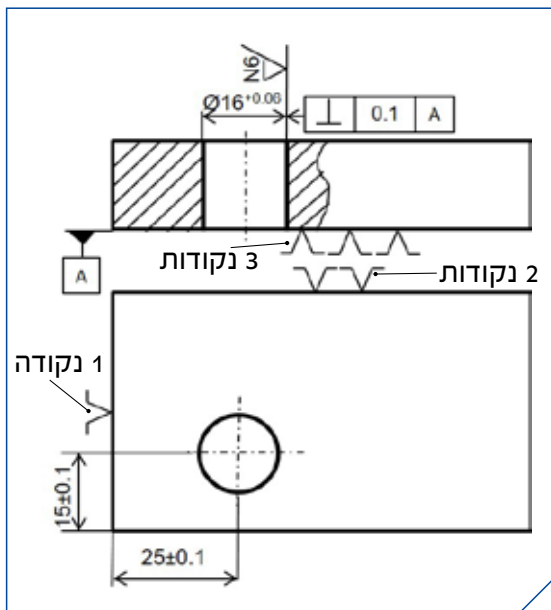
### א. שם ותיאור התהליך

- בחלק זה מגדירים במילים את התהליך המבוצע בהתאם לשורה המוגדרת:
- בשורה אחת עם הפעולה נגדיר את סוג העיבוד: כרסום, חריטה, השחזה וכד'.
- בשורה אחת עם ההצבה נגדיר את סוג ההצבה: דפינה בתפסנית מרכז 3 לחיים, תפסנית עם לחיים רכים, דפינה במלחצי מכונה, דפינה במתקן דפינה, דפינה בפלטה מגנטית וכד'.

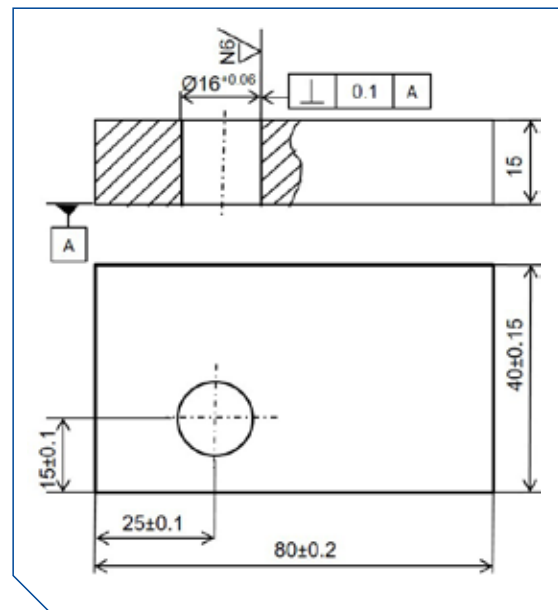
ג. תרשים העיבוד

את תרשים העיבוד נשרטט במקום שהוגדר לכך בדף התהליך. את המוצר באיור 2.5.24, נתאר בגיליון התהליך שיכלול את העובד כפי שהוא בשלב ההצבה הנוכחי, ונדגיש את כל השלבים המבוצעים בהצבה זו, כולל רישום כל המידות הרלוונטיות, בכלל זה סיבולות למידה, סיבולות גיאומטריות וטיב שטח הדרושים לביצוע העיבוד וכן מיקומי הדפינה (איור 2.5.25).

איור 2.5.25: שרטוט תרשים הדפינה והעיבוד למוצר באיור 2.5.24

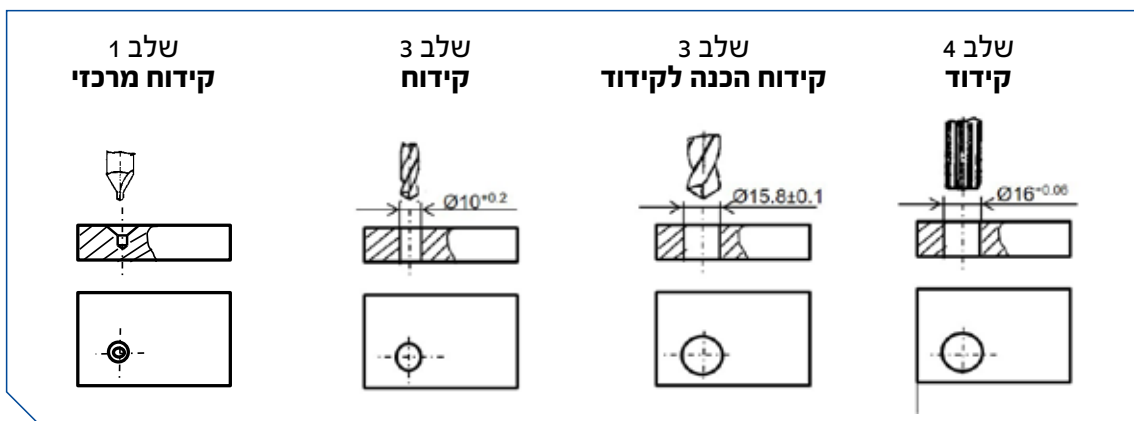


איור 2.5.24: שרטוט המוצר



בתעשייה נמצא דפי תהליך טכנולוגי שבהם מתואר כל שלב בכל פעולה ובשרטוט נפרד. באיור 2.5.26 מתוארים שלבי העיבוד כפי שיכולים להופיע בגיליון תהליך הייצור לקידוח הקדח שבאיור 2.5.24.

איור 2.5.26: שרטוט שלבי העיבוד למוצר באיור 2.5.24



ג. **הציוד הדרוש**

בחלק זה של התהליך נגדיר באותה השורה ובהתאמה את הנתונים הבאים:  
**בשורה של הפעולה**, מתחת לכותרת של מכונת העיבוד, נגדיר את **סוג המכונה**: מסור,  
 מחרטה קונבנציונאלית, כרסומת אנכית קונבנציונאלית, כרסומת CNC וכד' (במפעלים,  
 מקובל לפעמים לכתוב גם את מספר המכונה).

**בשורת ההצבה**, מתחת לאמצעי דפינה, נגדיר את **אמצעי הדפינה בדפינה הנוכחית**:  
 תפסנית מרכז 3 לחיים, מלחצי מכונה ומקבילונים, פלטה מגנטית, ראש מחלק, שולחן  
 מסתובב, מתקן דפינה וכדומה. ניתן להשתמש בסימונים שמופיעים בטבלה 2.5.2.

**בשורה של השלב**, מתחת לכלי החיתוך, נגדיר את **כלי החיתוך בו נשתמש בשלב הנוכחי**:  
 סכין מתק"ש חיצוני, מקדח מרכזי, כרסום קנה  $\varnothing 12$  עם 4 שיניים, סכין הברגות  $60^\circ$  וכדומה.  
 ניתן להגדיר בפירוט את סוג הכלי ואת השימה. מתחת לכלי המדידה של כל שלב, נגדיר  
 את סוג כלי המדידה המתאים למידה המבוצעת בשלב זה.

ד. **תנאי שיבוב**

בחלק זה של התהליך, נגדיר באותה שורה ובהתאם לכל כלי ושלב בתהליך את הנתונים  
 הבאים:

$V_c$  = מהירות החיתוך שנבחרה מטבלאות יצרן הכלים עבור הכלי המוגדר, בהתייחס לסוג  
 העיבוד.

$n$  (S) = סל"ד הכוש, המחושב בהתאמה למהירות החיתוך, לקוטר המוצר בחריטה ולקוטר  
 הכלי בכרסום.

$V_f$  = מהירות הקדמה שחושבה:

$V_{fm} \cdot m / \text{rev}$  = עבור חריטה: במ"מ לסיבוב.

$V_{fm} \cdot m / \text{min}$  = עבור כרסום ישר במ"מ לדקה או בכרסום בציר סיבובי במעלות לדקה ( $^\circ / \text{min}$ ).

$a_p$  = היגש (עומק השבב) במ"מ.

**לא בכל גיליון תהליך טכנולוגי יופיעו כל הנתונים שתוארו לעיל.**

2.5.4.3 **דוגמאות לשיקולים בבחירת תהליך הייצור**

מה שקובע את בחירת התהליך הטכנולוגי לביצוע המוצר הם נתוני המידות, הסיבולות וטיב השטח  
 הנדרשים בשרטוט המוצר.

להלן מובאים דוגמאות לשיקולים בבחירת תהליך הייצור:

א. **קידוח קדח מדויק**

נתון שרטוט של מוצר (איור 2.5.24) שבו יש לבצע קדח מדויק בדרגת טיב שטח גבוהה N6. כמו  
 כן, נדרשת ניצבות של הקדח למשטח הבסיס. לצורך הדוגמה נניח שהמנסרה כבר מעובדת  
 במידות הסופיות.

כדי לבצע את הקדח לפי הדרישה שבשרטוט, נדפון את המוצר כאשר משטחי המיקום יהיו כדלקמן (איור 2.5.25): במשטח הבסיס A יהיו שלוש נקודות משען. באחד ממשטחי הגוף, הניצבים למשטח התחתון, יהיו שתי נקודות הצבה ובמשטח הניצב לו תהיה נקודת משען אחת. מצב זה יבטיח מיקום מדויק של המוצר לצורך קבלת דרישות המוצר.

התהליך הטכנולוגי מתואר באיור 2.5.26 וסדר הפעולות הוא כדלקמן:

**שלב 1** - קידוח במקדח מרכזי כדי לקבל דיוק במיקום הקדח.

**שלב 2** - קידוח במקדח  $\phi 10$ .

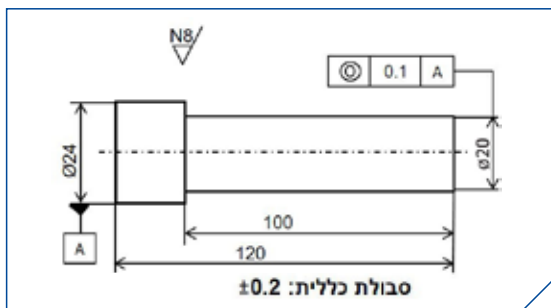
**שלב 3** - קידוח במקדח  $\phi 15.8$  כהכנה לקידוד.

**שלב 4** - קידוד במקדח  $\phi 16$  לקבלת טיב השטח והמידה הנדרשים.

הערה: באמצעות מקדד מקבלים טיב שטח גבוה ודיוק הקדח.

**ב. חריטת מדרגות עם תמיכת עוקץ בהצבה אחת**

**איור 2.5.27: שרטוט מוצר ארוך בחריטה**

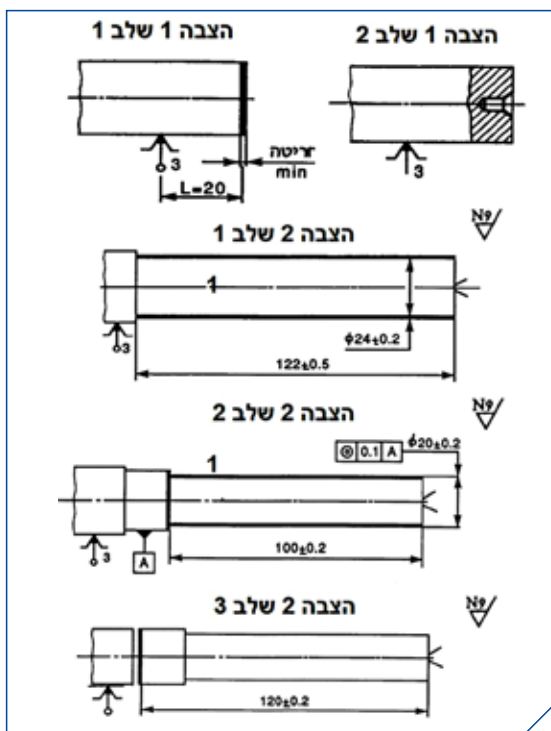


באיור 2.5.27 נתון שרטוט בעל סיבולת כללית נתונה  $\pm 0.2$ , עם דרישת מרכזיות של 0.1 בין  $\phi 20 \pm 0.2$  לבין  $\phi 24 \pm 0.2$ .

אחת הדרכים לממש דרישה זו היא באמצעות חריטה של שני הקטרים בדפינה אחת ולכן נבחר בייצור ממוט ארוך.

כיוון שאורך החלק שיבלוט מהתפסנית גדול פי שלושה מקוטר הגליל המעובד, יש להוסיף דפינה של עוקץ. הכלל אומר שאם אין מציינים בשרטוט הייצור במפורש שאסור לקדוח קדח מרכזי בעובד, ניתן לקדוח קדח מרכזי לצורך דפינה בעוקץ.

**איור 2.5.28: תרשים תהליך ייצור של איור 2.5.27 אופציה 1**



התהליך הטכנולוגי מתואר באיור 2.5.28 וסדר הפעולות כדלקמן:

**הצבה 1**

דפינה במצב מינימלי ליישור המצח.

**שלב 1** - חריטת מצח מינימום.

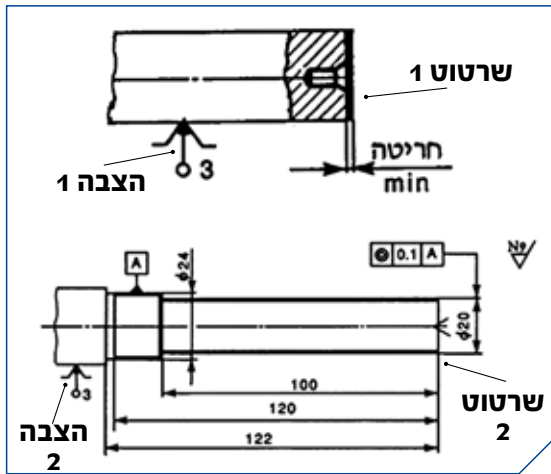
**שלב 2** - קידוח במקדח מרכזי.

**הצבה 2**

דפינת העובד עם תמיכת עוקץ (ראה סימון לתמיכת עוקץ).

**שלב 1** - חריטת מדרגה של  $\phi 24 \pm 0.2$  באורך

**איור 2.5.29: תרשים תהליך ייצור של איור 2.5.27 אופציה 2**



הכללי של המוצר, בתוספת כ-2 מ"מ,  $122 \pm 0.5$  מ"מ במקום 120 מ"מ (לכן הסיבולת שניתנה היא גבוהה  $\pm 0.5$ ).

**שלב 2** - חריטת המדרגה  $\phi 20 \pm 0.2$  לאורך  $100 \pm 0.2$ .

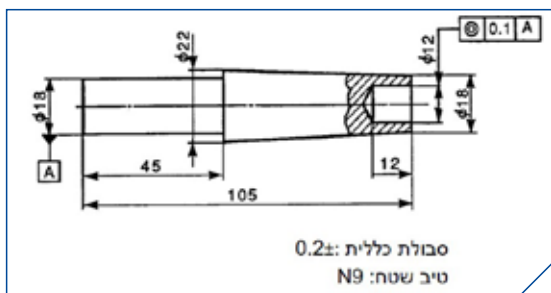
**שלב 3** - חיתוך העובד באורך הנדרש בסכין חיתוך/גידוע.

בתהליך הטכנולוגי אין צורך לשרטט כל שלב בשרטוט נפרד כמתואר באיור 2.5.28.

ניתן לשרטט כמה שלבים יחד כמתואר באיור 2.5.29, וכל התהליך משרטט בשני שרטוטים בלבד.

חשוב לכתוב בכל שרטוט את כל הדרישות כולל מידות וסיבולת לכל מידה, טיב שטח ודרישה לסיבולת גיאומטריות כמו מצב או צורה. בעל המקצוע שמייצר את המוצר רואה את השרטוט ועובד לפיו.

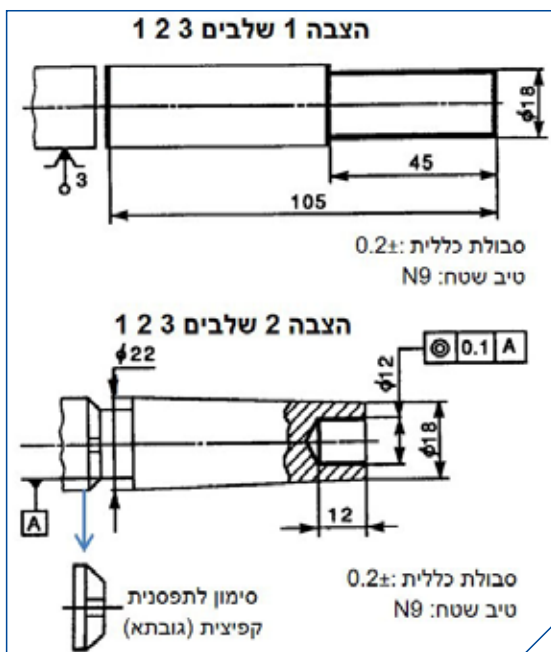
**איור 2.5.30: שרטוט מוצר בחריטה**



**ג. חריטה קונית בשתי הצבות**

באיור 2.5.30 נתון שרטוט, שבו דרישת מרכזיות של 0.1 בין הקדח  $\phi 12 \pm 0.2$  לגליל ב- $\phi 18 \pm 0.2$  (משטח A). יש להתחיל בחריטת המדרגה  $\phi 18$  ולא בקונוס, אחרת לא נוכל לדפון את החלק על המשטח הקוני.

**איור 2.5.31: תרשים תהליך ייצור של איור 2.5.30**



התהליך הטכנולוגי יהיה כמתואר באיור 2.5.31: **הצבה 1:** דפינת העובד בתפסנית מרכז 3 לחיים. שלבים:

**שלב 1** - יישור מצח.  
**שלב 2** - עיבוד סופי של המדרגה  $\phi 18$ .  
**שלב 3** - חיתוך אורך המוצר הסופי (אפשר גם לקחת חומר חתוך למידת אורך כללית).

**הצבה 2:** דפינת העובד על  $\phi 18$ . כדי לקבל את הדרישה למרכזיות ומבלי לפגוע בטיב השטח המעובד בעיבוד סופי של המדרגה  $\phi 18$ , נשתמש בדפינה עם לחיים רכים או תפסנית גובתה (במקרה שלנו הבחירה הייתה בתפסנית גובתה, ראו סימון בשרטוט התהליך).

**שלבים:**

**שלב 1** - קידוח קדח מרכזי.

**שלב 2** - חריטת של הקדח למידה הסופית.

**שלב 3** - חריטת הקונוס.

**ד. ביצוע חריץ בכרסומת**

התהליך הטכנולוגי לעיבוד חריץ בכרסום (איור 2.5.32, פעולה שכיחה בכרסום) מותנה בדיוק מידת רוחב החריץ, טיב השטח ודרישות המיקום:

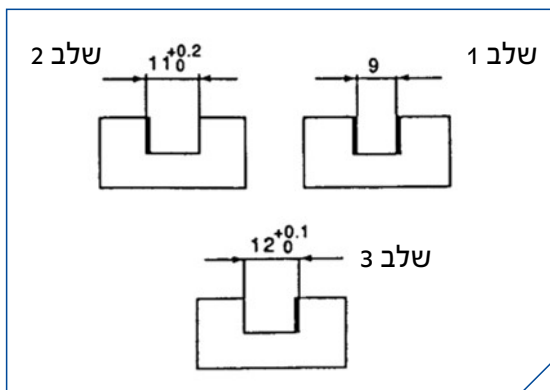
- אם הדיוק של המידה נמוך  $12 \pm 0.5$  וטיב השטח בינוני N8, העיבוד יכול להתבצע בכרסום  $\phi 12$  בשלב 1.
- אם הדיוק של המידה בינוני  $12 \pm 0.1$  וטיב השטח גבוה N, העיבוד יתבצע ב-2 שלבים: בשלב ראשון בכרסום  $\phi 10$  ושלב שני בכרסום  $\phi 12$ .
- אם הדיוק של המידה גבוה  $12 + 0.1$  לפי השרטוט באיור 2.5.32, וטיב השטח גבוה N6. העיבוד יתבצע ב-3 שלבים (איור 2.5.32).

**שלב 1** - עיבוד חריץ ברוחב קטן מרוחב החריץ, לדוגמה בכרסום  $\phi 9$ .

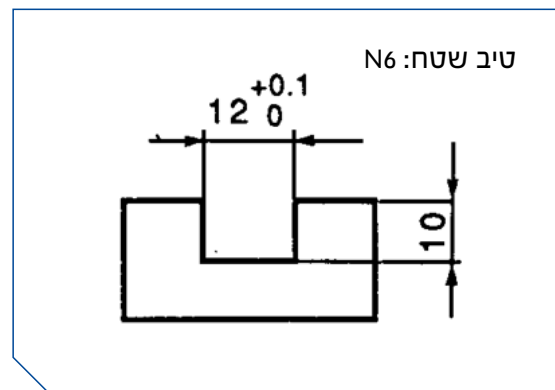
**שלב 2** - באותו הכרסום, מרחיבים לצד אחד את החריץ.

**שלב 3** - משלימים את רוחב החריץ מצידו השני.

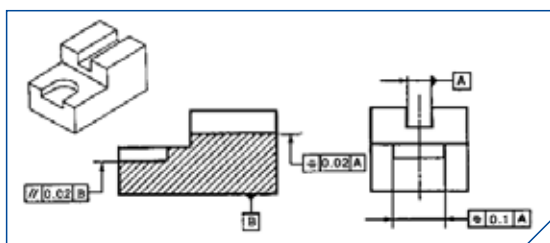
**איור 2.5.33: שלבי עיבוד חריץ מדויק של שרטוט 2.5.32**



**איור 2.5.32: שרטוט מוצר - חריץ מדויק**



**איור 2.5.34: שרטוט המוצר - כרסום**



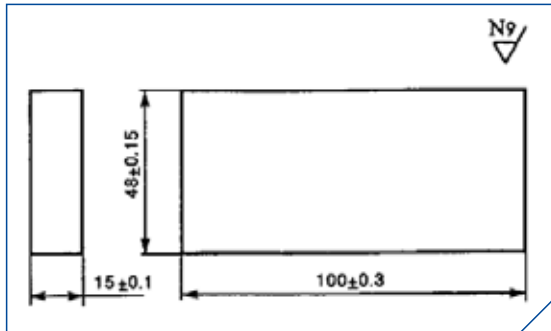
**ה. כרסום מוצר עם סיבולות גיאומטריות**

בחלקים שבהם יש משטחים בעלי סיבולות תנוחה מדויקות, יש להשתדל למקם את העובד כך שניתן יהיה לעבד כמה שיותר משטחים באותה ההצבה, כדי לשמור על הדרישות הגיאומטריות.

באיור 2.5.34 נדרשות מקבילות וסימטריות

של משטחים במוצר כלפי משטח B, ולכן לאחר עיבוד כללי של התיבה למידות סופיות, נבחר למקם את העובד על משטח B ולעבד בדפינה אחת את כל המשטחים. תחילה את המדרגה ולאחר מכן את שני החריצים.

איור 2.5.35: שרטוט המוצר (קוביה)



1. כרסום מנסרה (תיבה)

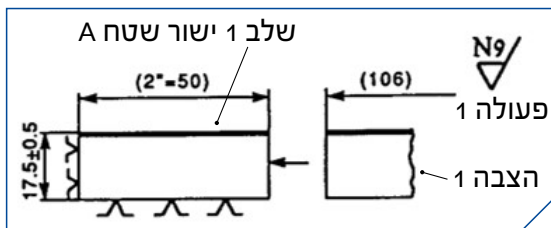
באיור 2.3.35 יש לכרסם את המנסרה המרובעת תוך הקפדה על מקבילות וניצבות של התיבה. זוהי לעיתים קרובות פעולת הכנה ראשונית לפני שאר העיבודים בכרסום. יש לבחור בסדר העיבוד שיבטיח קבלת המקבילות והניצבות. השימוש באמצעי הדפינה הבאים: מלחציים אוניברסליים, מקבילונים וגליל.

**שלבי העיבוד**

לכל קובייה קיימות 6 פאות (שטחים) אותן צריך ליישר. השטחים צריכים להיות ניצבים אחד לשני וגם מקבילים בהתאם לדרגת הדיוק הנדרש. כדי לבצע עיבוד של ששת השטחים ולקבל את הדרישות הללו, צריך לרוב לבצע כמה הצבות, כאשר בכל הצבה מיישרים את אחד השטחים עד סיום העיבוד של כל ששת המשטחים בקובייה. בכל הצבה יש להקפיד על תהליך נכון לקבלת דרישות ניצבות ומקבילות.

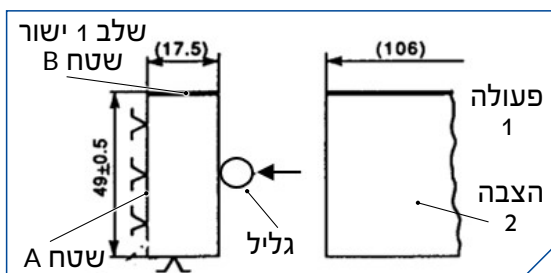
התהליך הטכנולוגי לעיבוד (איורים 2.5.36-40) כמפורט להלן: במקרה זה יהיו 6 הצבות כשבכל הצבה שלב 1 של יישור השטח.

איור 2.5.36: תהליך טכנולוגי לעיבוד המוצר באיור 2.5.35 הכולל: פעולה 1, הצבה 1, שלב 1



**הצבה 1** - יישור בכרסום מצח (איור 2.5.36) של אחד המשטחים הרחבים (שטח A), שימש כבסיס להמשך העיבוד. במידת הצורך, שימוש במקבילונים להגבהת חומר הגלם מעל גובה הלחיים של המלחציים, כדי לאפשר עיבוד השטח.

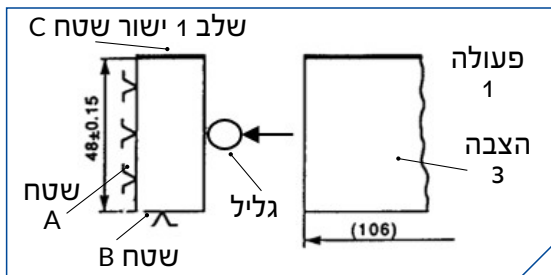
איור 2.5.37: תהליך טכנולוגי לעיבוד המוצר באיור 2.5.35 הכולל: פעולה 1, הצבה 2, שלב 1



**הצבה 2** - דפינת השטח המעובד A בלחיצה כלפי משטח המלחציים הקבוע (איור 2.5.37). בנוסף, שימוש במקבילונים במידת הצורך ושימוש בגליל שייחץ את המשטח המעובד A כלפי המשטח הקבוע של המלחציים (על מנת להבטיח ניצבות של המשטח המעובד אל המשטח הראשון שכבר עובד). תפקיד הגליל הוא ליצור קו לחיצה אחד במקום

ההשקה של הגליל עם השטח שאינו מעובד, ולהבטיח הצמדת שטח A למלחציים.

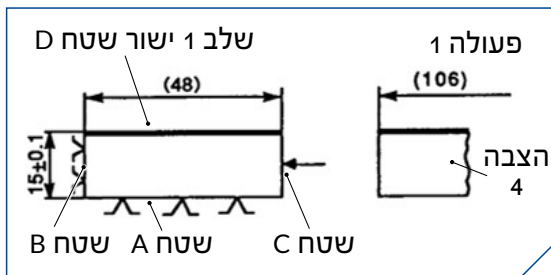
**איור 2.5.38: תהליך טכנולוגי לעיבוד המוצר באיור 2.5.35 הכולל: פעולה 1, הצבה 3, שלב 1**



**הצבה 3** - הפיכת העובד, הצמדת השטח B למשטח הבסיס של המלחציים (במידת הצורך להניח מקבילונים להגבהה) והצמדת שטח A ללחי הקבועה של המלחציים.

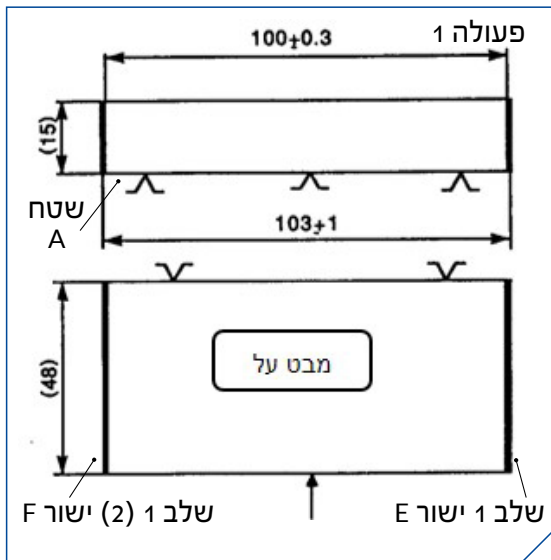
כדי להבטיח הצמדה של משטח A למשטח המלחציים נשתמש בגליל (איור 2.5.38). הצבה זו תבטיח ניצבות של המשטח C למשטח A ומקבילות של המשטח C למשטח B.

**איור 2.5.39: תהליך טכנולוגי לעיבוד המוצר באיור 2.5.35 הכולל: פעולה 1, הצבה 4, שלב 1**



**הצבה 4** - הפיכת העובד כך שדפינת השטח המעובד A מוצמד למשטח הבסיס של המלחציים (איור 2.5.39). במידת הצורך, שימוש במקבילונים כך שמשטח B ו-C נדפנים בלחיים של המלחציים. אין צורך להשתמש בגליל כיוון שהשטחים כבר מעובדים. הצבה זו תבטיח ניצבות של המשטח D למשטחים B ו-C ומקבילות של המשטח D למשטח A.

**איור 2.5.40: תהליך טכנולוגי לעיבוד המוצר באיור 2.5.35 הכולל: פעולה 1, הצבות 5-6, שלבים 1-2**



**הצבה 5** - דפינת העובד כך שמשטח A (או D) מוצמדים במקביל לבסיס המלחציים (איור 2.5.40). שימוש במקבילונים במידת הצורך. הדפינה תיעשה כך שמשטח E יבלוט מצד המלחציים.

עיבוד משטח E באמצעות כרסום קנה מהצד. במקרה זה יש להקפיד על כך שמלחצי המכונה מאופסים כלפי שולחן הכרסומת, כדי לקבל ניצבות של משטחים E ו-F כלפי D-I A.

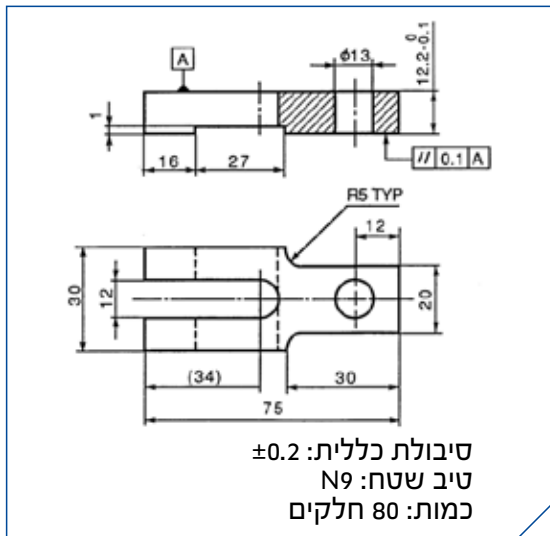
**הצבה 6** - היפוך העובד (איור 2.5.40) על מקבילונים כך שמשטח F יבלוט מהצד ועיבוד משטח F באמצעות כרסום קנה מהצד.

**הערה:** אם אורך העובד גדול מרוחב המלחציים, ניתן לבצע את עיבוד משטחים E ו-F בהצבה אחת.

**ז. כרסום מהדק**

נתאר את התהליך הטכנולוגי של ייצור מוצר (איור 2.5.41) במקרה של ייצור סדרתי של 80 יחידות. באיורים 2.5.42-2.5.44 מתוארים תהליכי הייצור של המוצר המופיע באיור 2.5.41.

איור 2.5.41: שרטוט המוצר - מהדק



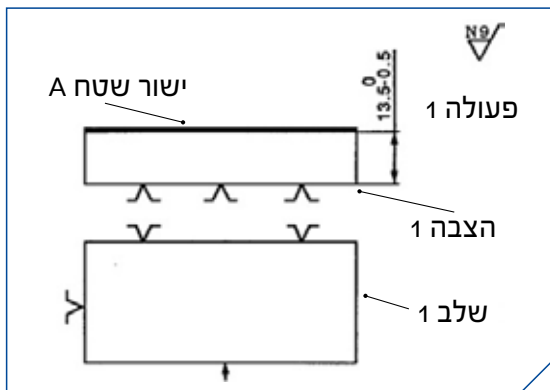
סיבולת כללית:  $\pm 0.2$   
 טיב שטח: N9  
 כמות: 80 חלקים

נתון חומר גלם בלתי מעובד במידות  $32 \times 14 \times 79$ .  
 העיבוד משולב בכרסומת קונבנציונאלית ובכרסומת CNC.  
 העיבוד בכרסומת קונבנציונאלית יהיה של שטח A (איור 2.5.41) כהכנה לדפינה בכרסומת CNC.  
 שאר העיבוד יבוצע בכרסומת CNC 3 צירים והדפינה תהיה באמצעות מתקן דפינה.

**פעולה 1 - עיבוד בכרסומת קונבנציונאלית**  
 (איור 2.5.42).

**הצבה 1** - דפינה במלחצי מכונה. במידת הצורך שימוש במקבילונים להגבהת חומר הגלם מעל גובה הלחיים של המלחציים.  
**שלב 1** - יישור שטח A בכרסום מצח (שישמש כבסיס להמשך העיבוד במכונת CNC).

איור 2.5.42: תהליך טכנולוגי לעיבוד המוצר באיור 2.5.41 הכולל: פעולה 1, הצבה 1, שלב 1



ישור שטח A  
 פעולה 1  
 הצבה 1  
 שלב 1

**פעולה 2 - עיבוד בכרסומת CNC** (איור 2.5.43).  
**הצבה 1** - דפינה במלחצי מכונה כששטח A מקביל לבסיס המלחציים ושקוע בתוך המלחציים (לא יותר מהמידה 10 מ"מ).  
 במידת הצורך שימוש במקבילונים להגבהה כדי לבצע את החריץ רחב 27 בעומק 1 מ"מ.

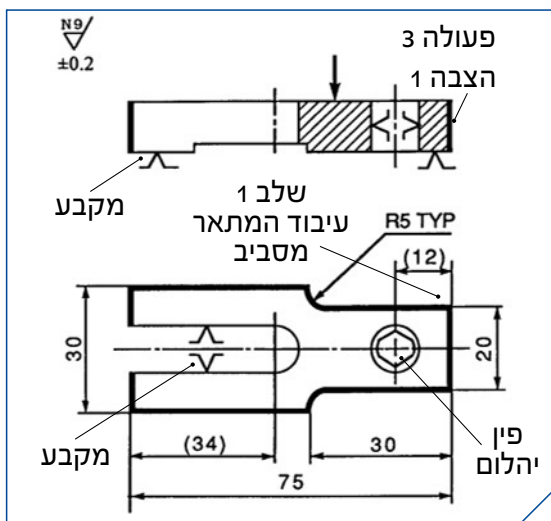
**שלבים**

- שלב 1** - כרסום שטח למידה  $12.2-0.1$  לקבלת עובי סופי כפי שנדרש בשרטוט.
- שלב 2** - קידוח במקדח מרכזי לקדח  $\phi 13$ .
- שלב 3** - קידוח במקדח  $\phi 13 \pm 0.2$ .
- שלב 4** - כרסום חריץ  $27 \pm 0.2$  לעומק 1.
- שלב 5** - כרסום חריץ  $12 \pm 0.2$  לאורך  $42 \pm 0.2$  (תוספת של 2 מ"מ לעומק החריץ על מנת שישארו 2 מ"מ לעיבוד המתאר מסביב).

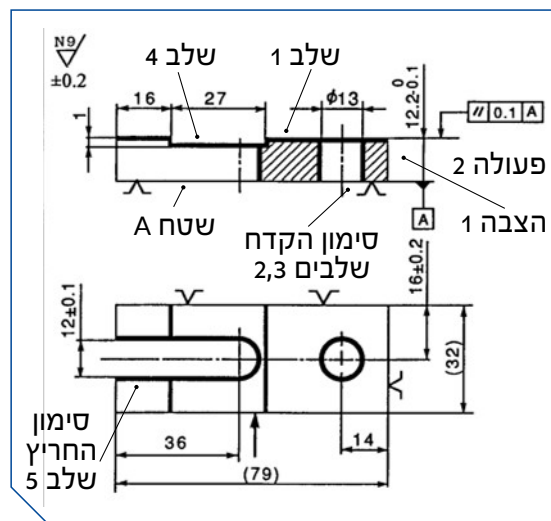
**פעולה 3 - עיבוד בכרסומת CNC**

**הצבה 1** - דפינה במתקן דפינה בקדח  $\phi 13$  באמצעות פין יהלום, ובשני מקבעים בחריץ, כולל מהדק שלוחץ את העובד למתקן.  
**שלב 1** - כרסום מתאר (קונטור) העובד.

איור 2.5.44: תהליך טכנולוגי לעיבוד המוצר באיור 2.5.41 הכולל: פעולה 3, הצבה 1, שלב 1



איור 2.5.43: תהליך טכנולוגי לעיבוד המוצר באיור 2.5.41 הכולל: פעולה 2, הצבה 1, שלבים 1-5



## 2.5.5 רישום בגיליון תהליך טכנולוגי

רישום בגיליון התהליך הטכנולוגי מתבצע בצורות שונות במפעלים השונים, כאשר בחלק מהמפעלים גיבשו דף המתאר את תהליך הייצור המתאים למפעל. הכנת הגיליון הטכנולוגי נועדה לתת לבעל המקצוע את הנתונים הנדרשים לייצור המוצר. התהליך הטכנולוגי נקבע במשרד ת.פ.י (תיכנון פיתוח ייצור) של המפעל לאחר שיקולים טכנולוגיים ומוותנה בכמה רכיבים:

- סוג חומר הגלם וצורתו (עיבוד ממוט, עיבוד מגוף מחושל, עיבוד של גוף יצוק).
- נתונים הנדרשים במוצר כמו: דיוק, טיב שטח וכדומה.
- כמות המוצרים שיש להכין (מוצר בודד, סדרתי או המוני).
- סוג המכונות שיש להשתמש בהן לייצור המוצר.
- סוג המכונה שנבחרה: קונבנציונלית או מכונת CNC (מספר הצירים במכונת CNC).

בחלק מהמפעלים מצורף דף תהליך לפעולה מסוימת בצמוד למכונה המבצעת את הפעולה. יש המוסיפים נתוני שיבוב וכלים, ויש המסתפקים בתיאור השלבים בשרטוט אחד או פריסה של כל שלב בשרטוט נפרד. נהוג להדגיש בקו עבה את קווי העיבוד באותה הפעולה. בדף התהליך נמצא לרוב את המושגים של **פעולה, הצבה ושלב**. יש לבצע את הרישום בצורה מדורגת כמפורט בטבלה 2.5.3.

באיורים 2.5.45 ו-2.5.46 מתוארים דפי תהליך בחריטה ובכרסום המיועדים ללימוד והבנה של התהליכים. בתהליכים המתוארים באיורים אלה הוספנו את כלי העיבוד. דפים אלה הם להמחשה בלבד (לרוב לא נמצא את תיאור הכלי בצורה זו בדפי התהליך הטכנולוגי, מסתפקים בהגדרתו). בהמשך מופיעים דוגמאות של דפי תהליך טכנולוגי.



איור 2.5.46: נתונים של המוצר

מידות חומר גלם: 132XØ90

כמות: 1

סוג חומר גלם: SAE1020

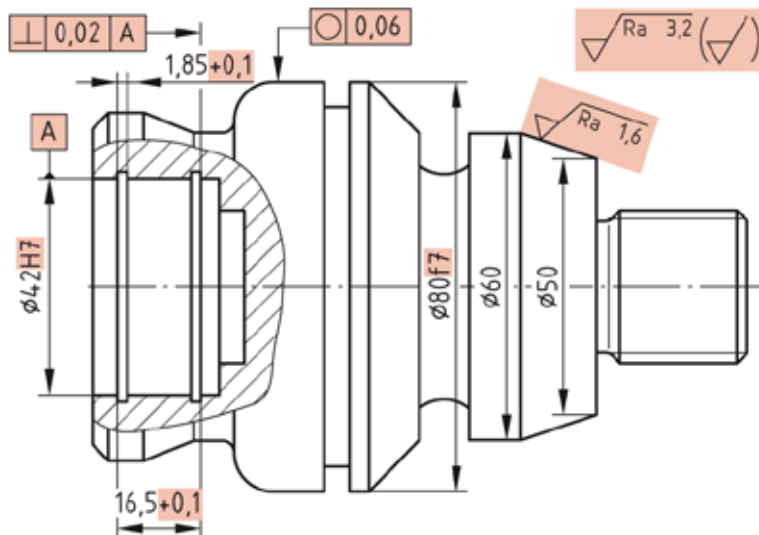
טיב השטח:

- טיב השטח:  $0.063 \text{ m}''\text{m} = \text{RZ}63\mu\text{m} = \text{N7} = \text{Ra}1.6$
- טיב השטח:  $0.0125 \text{ m}''\text{m} = \text{RZ}12.5\mu\text{m} = \text{N8} = \text{Ra}3.2$

הערות לביצוע המוצר

- העובד מבוצע ב-2 הצבות.
- ביצוע קידוח ייעשה בשלב ראשון לפני עיבוד חיצוני, כיוון שבמהלך הקידוח קיימת סכנה שהעובד יזוז ותיפגע המרכזיות.
- תהליך העיבוד מביא בחשבון את דרישת הניצבות שבשרטוט.

דרישות דיוק למוצר



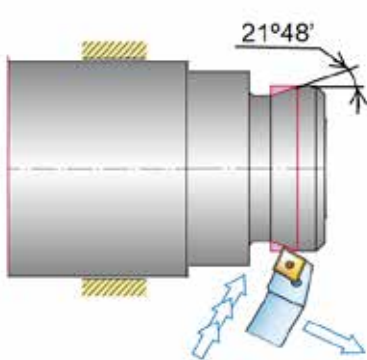
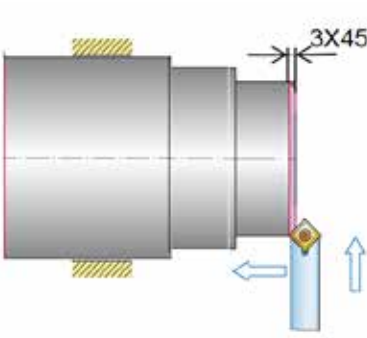
תהליך טכנולוגי לייצור - איור 2.5.46

חישוב תנאי שיבוב	כלי המדידה	כלי השיבוב	מתקני עזר	מכונת העיבוד	שם התהליך ותיאור	שלב	הצבה	פעולה	
<p><b>חישוב קידמה לפי טיב השטח הנדרש: f</b></p> <p>הנוסחה לחישוב קידמה:  <math>f = \sqrt{8 \cdot RZ \cdot RE}</math></p> <p>טיב השטח הכללי בשרטוט: Ra3.2  <math>RZ \ 12.5\mu m = 0.0125\ m''m</math>  <math>Ra \ 3.2\mu m</math></p> <p>רדיוס פינה בסכין החריטה = 0.4 מ"מ  <math>f = \sqrt{8 \cdot 0.0125 \cdot 0.4} = 0.2\ m''m</math></p> <p><b>חישוב היגש: ap</b></p> <p>מקובל שהיחס בין היגש לקדמה הוא בערך: <math>ap \sim</math> <b>היגש בעיבוד גמר:</b></p> <p><math>f \times 4</math> <b>היגש בעיבוד גס:</b> <math>f \times 7</math></p> <p><b>לעיבוד גמר:</b></p> <p><math>ap \sim 4 \cdot 0.2 = 0.8\ m''m</math></p> <p>ניתן להסיר עובי שבב של עד 0.8 מ"מ באופן מעשי נבחר בהיגש שבין: <b>0.5 - 0.8 מ"מ.</b></p> <p><b>חישוב סל"ד: n</b></p> <p>מהירות החיתוך <math>V_c = 350\ m/min</math> (מטר לדקה)  קוטר העובד <math>\varnothing D = 82\ m''m</math></p> $n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{350 \cdot 1000}{3.14 \cdot 90} = 1238\ rpm$ <p><b>בחרנו ב: 1250 rpm</b></p>				מחרטה קונבנציונאלית	חריטה			010	
				תפסנית מרכז 3 לחיים		דפינה בתפסנית	1		
		זחון	סכין חריטה חיצוני מתק"ש P10 רדיוס פינה 0.4m''m			חריטת מצח	1		
<b>תרשים העיבוד</b>									
<p><b>נתון:</b></p> <p>מהירות החיתוך <math>V_c = 40\ m/min</math> (מטר לדקה)  קידמה <math>f_{rev} = 0.05\ m/rev</math> (מ"מ לסיבוב)</p> <p><b>חישוב סל"ד:</b></p> <p>קוטר מקדח מרכזי לחישוב סל"ד: 6 m''m</p> $n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{40 \cdot 1000}{3.14 \cdot 6} = 2123\ rpm$ <p><b>בחרנו ב: 2000 rpm</b></p>	זחון	מקדח מרכזי HSS 3/16"X1/8" d1=3.175			קידוח מקדח מרכזי	2			
	<b>תרשים העיבוד</b>								

פועלה	הצבה	שלב	שם התהליך ותיאור	מכונת העיבוד	מתקני עזר	כלי השיבוב	כלי המדידה	חישוב תנאי שיבוב
		3	קידוח Ø28 לעומק 28 מ"מ			מקדח HSS Ø28	זחון	<p><b>נתון:</b> מהירות החיתוך <math>V_c = 70 \text{ m/min}</math> (מטר לדקה) קידמה <math>f_{rev} = 0.32-0.5 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{rev}</math> (מ"מ לסיבוב)</p> <p><b>חישוב סל"ד:</b> <math display="block">n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{70 \cdot 1000}{3.14 \cdot 28} = 796 \text{ rpm}</math></p> <p><b>בחרנו ב: 750 rpm</b></p>
<b>תרשים העיבוד</b>								
		4	חריטת מדרגה גס Ø81X60 היגש: 2.25 מ"מ (2 מעברים)			סכין חריטה חיצוני מתק"ש P10 רדיוס פינה חותכת 1.2 מ"מ	זחון	<p><b>חישוב קידמה לעיבוד גס:</b> בחרנו לעיבוד גס את טיב השטח: <math>RZ 63</math> <math>0.063 \text{ m}^3/\text{m} = RZ63 \mu\text{m} = Ra1.6 \mu\text{m}</math> <math>f = \sqrt{8 \cdot RZ \cdot RE} = \sqrt{8 \cdot 0.063 \cdot 1.2} = 0.78 \text{ m}^3/\text{m}</math></p> <p><b>חישוב קידמה לעיבוד גמר:</b> טיב השטח הכללי בשרטוט: <math>0.0125 = RZ12.5 \mu\text{m} = Ra3.2 \mu\text{m}</math></p>
		5	חריטת מדרגה גמר Ø80X60 היגש: 0.5 (1 מעבר)		מיקרומטר 75 - 100	סכין חריטה חיצוני מתק"ש P10 רדיוס פינה חותכת 0.4 מ"מ		<p><math>f = \sqrt{8 \cdot 0.0125 \cdot 0.4} = 0.2 \text{ m}^3/\text{m}</math></p> <p><b>חישוב היגש לעיבוד גס:</b> <math>a_p \sim 7 \cdot 0.78 = 5.5 \text{ m}^3/\text{m}</math></p> <p><b>חישוב היגש לעיבוד גמר:</b> <math>a_p \sim 4 \cdot 0.2 = 0.8 \text{ m}^3/\text{m}</math></p> <p><b>חישוב סל"ד לעיבוד גס:</b> מהירות החיתוך <math>V_c = 200 \text{ m/min}</math> (מטר לדקה) <math display="block">n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{200 \cdot 1000}{3.14 \cdot 90} = 707 \text{ rpm}</math></p> <p><b>בחרנו ב: 710 rpm</b></p> <p><b>חישוב סל"ד לעיבוד גמר:</b> מהירות החיתוך <math>V_c = 350 \text{ m/min}</math> (מטר לדקה) <math display="block">n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{350 \cdot 1000}{3.14 \cdot 81} = 1375 \text{ rpm}</math></p> <p><b>בחרנו ב: 1400 rpm</b></p>
<b>תרשים העיבוד</b>								

חישוב תנאי שיבוב	כלי המדידה	כלי השיבוב	מתקני עזר	מכונת העיבוד	שם ותיאור התהליך	שלב	הצבה	פעולה
<p><b>קדמות והיגשים לעיבוד גס/גמר:</b>                      כמו בהצבה 1 שלבים 4-5  <b>קדמות: גס:</b> 0.78m"m <b>גמר:</b> 0.2m"m  <b>היגשים: גס:</b> 5.5m"m <b>גמר:</b> 0.8m"m  <b>בחרנו לעיבוד גס:</b> 2.75 m"m  <b>בחרנו לעיבוד גמר:</b> 0.5 m"m</p> <p><b>חישוב סל"ד לעיבוד גס: n</b>                      מהירות החיתוך <math>V_c = 200 \text{ m/min}</math>                      (מטר לדקה)  <math display="block">n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{200 \cdot 1000}{3.14 \cdot 80} = 796 \text{ rpm}</math> <b>בחרנו ב: 800 rpm</b></p> <p><b>חישוב סל"ד לעיבוד גמר: n</b>                      מהירות החיתוך <math>V_c = 350 \text{ m/min}</math>                      (מטר לדקה)  <math display="block">n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{350 \cdot 1000}{3.14 \cdot 69} = 1375 \text{ rpm}</math> <b>בחרנו ב: 1600 rpm</b></p>	זחון	סכין חריטה חיצוני מתק"ש P10 רדיוס פינה 1.2m"m			חריטת מדרגה גס $\text{\O}69 \times 28$ היגש: 2.75 מ"מ (2 מעברים)	6		
<p><b>חישוב סל"ד לעיבוד גמר: n</b>                      מהירות החיתוך <math>V_c = 350 \text{ m/min}</math>                      (מטר לדקה)  <math display="block">n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{350 \cdot 1000}{3.14 \cdot 69} = 1375 \text{ rpm}</math> <b>בחרנו ב: 1600 rpm</b></p>	זחון	סכין חריטה חיצוני מתק"ש P10 רדיוס פינה 0.4m"m			חריטת מדרגה גמר $\text{\O}68 \times 28$ היגש: 0.5 מ"מ (1 מעבר)	7		
<b>תרשים העיבוד</b>								
<p><b>חישוב סל"ד: n</b>                      מהירות החיתוך <math>V_c = 75 \text{ m/min}</math>                      (מטר לדקה)  <math display="block">n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{75 \cdot 1000}{3.14 \cdot 60} = 398 \text{ rpm}</math> <b>בחרנו ב: 400 rpm</b></p>	זחון	סכין חריצים רחב 8 מתק"ש P10			חריטת חריץ רחב 8 מ"מ קוטר $\text{\O}60$	8		
<b>תרשים העיבוד</b>								

חישוב תנאי שיבוב	כלי המדידה	כלי השיבוב	מתקני עזר	מכונת העיבוד	שם ותיאור התהליך	שלב	הצבה	פעולה
<p><b>חישוב סל"ד: n</b>                      מהירות החיתוך <math>V_c = 75 \text{ m/min}</math>                      (מטר לדקה)  <math display="block">n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{75 \cdot 1000}{3.14 \cdot 80} = 298 \text{ rpm}</math>  <b>בחרנו ב: 300 rpm</b></p>	זחון חריצים	סכין חריצים רוחב 5 מ"מ מתק"ש P10			חריטת חריץ רוחב 5 מ"מ $\varnothing 70$	9		
<b>תרשים העיבוד</b>								
<p><b>תנאי שיבוב</b>                      מדיד רדיוסים חיצוני (קעור)                      עיבוד בסכין צורתית בעלת שטח מגע גדול עם העובד. יש לקבוע את הסל"ד על פי ניסיון.  <b>בחרנו להתחיל ב: 100 rpm</b>                      במהלך העיבוד ניתן לשנות את הסל"ד בהתאם לתוצאות העיבוד.</p>	מדיד רדיוסים חיצוני (קעור)	סכין רדיוסים קעור R8 מתק"ש P10			חריטת רדיוס 8	10		
<b>תרשים העיבוד</b>								

חישוב תנאי שיבוב	כלי המדידה	כלי השיבוב	מתקני עזר	מכונת העיבוד	שם ותיאור התהליך	שלב	הצבה	פעולה
<p><b>חישוב קידמה:</b>                      טיב השטח הכללי בשרטוט: Ra3.2  <math>0.0125m''m = RZ12.5\mu m = Ra3.2\mu m</math>  <math>f = \sqrt{8 \cdot 0.0125 \cdot 0.4} = 0.2 m''m</math></p> <p><b>חישוב היגש: ap</b>  <math>ap \sim 4 \cdot 0.2 = 0.8 m''m</math></p> <p><b>חישוב סל"ד לעיבוד גמר: n</b>                      מהירות החיתוך <math>V_c = 350 m/min</math>                      (מטר לדקה)  <math>n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{350 \cdot 1000}{3.14 \cdot 68} = 1638 \text{ rpm}</math></p> <p><b>בחרנו ב: 1600 rpm</b></p> <p><b>חישוב זווית הקונוס:</b>  <math>\tan \alpha = \frac{D-d}{2 \cdot l} = \frac{68-60}{2 \cdot 10} = 0.4</math>  <math>\alpha = 21^\circ 48'</math></p>	מדיד (מד מעלות) + זחון	סכין חריטה חיצוני מתק"ש P10 רדיוס פינה חותכת 0.4m''m			חריטת קונוס = $21^\circ 48'$ $21.801^\circ$ היגש: 0.8 מ"מ (5 מעברים)	11		
<b>תרשים העיבוד</b>								
								
<p><b>תנאי שיבוב</b>                      עיבוד מדר בסכין זוויתית בעלת שטח מגע בינוני עם העובד. יש לקבוע את הסל"ד על פי ניסיון.</p> <p><b>בחרנו להתחיל ב: 400 rpm</b>                      במהלך העיבוד ניתן לשנות את הסל"ד בהתאם לתוצאות העיבוד.</p>	זחון	סכין חריטה 45° מתק"ש P10			חריטת מדר (פאזה) 3X45°	12		
<b>תרשים העיבוד</b>								
								

חשוב תנאי שיבוב	כלי המדידה	כלי השיבוב	מתקני עזר	מכונת העיבוד	שם ותיאור התהליך	שלב	הצבה	פעולה
<p><b>חישוב קידמה:</b>                      טיב השטח הכללי בשרטוט: Ra3.2  <math>0.0125m^m = RZ12.5\mu m = Ra3.2\mu m</math>  <math>f = \sqrt{8 \cdot 0.0125 \cdot 0.4} = 0.2 m^m</math></p> <p><b>חישוב היגש:</b>  <math>a_p \sim 4 \cdot 0.2 = 0.8 m^m</math></p> <p><b>חישוב סל"ד לעיבוד <math>\varnothing 30</math> n:</b>                      מהירות החיתוך <math>V_c</math> (מטר לדקה)  <math>280 m/min = V_c</math>  <math>n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{280 \cdot 1000}{3.14 \cdot 30} = 2971 rpm</math></p> <p><b>בחרנו ב: 2800 rpm</b></p> <p><b>חישוב סל"ד לעיבוד <math>\varnothing 42</math> n:</b>  <math>n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{280 \cdot 1000}{3.14 \cdot 42} = 2122 rpm</math></p> <p><b>בחרנו ב: 2000 rpm</b></p>	זחון		סכין חריטה פנימי מתק"ש, P10 רדיוס פינה $0.4m^m$		חריטה פנימית $\varnothing 30 \times 30$ היגש: $0.5 m^m$ (2 מעברים)	13		
	זחון		סכין חריטה פנימי מתק"ש, P10 $0.4m^m$		חריטה פנימית $\varnothing 42 \times 25$ היגש: $0.5 m^m$ (12 מעברים)	14		
<b>תרשים העיבוד</b>								
<p><b>תנאי שיבוב</b>                      עיבוד חריץ פנימי בסכין במידה קטנה של 1.85 מ"מ, סכין חלשה. יש לקבוע את הסל"ד על פי ניסיון.</p> <p><b>בחרנו להתחיל ב: 100 rpm</b>                      במהלך העיבוד ניתן לשנות את הסל"ד בהתאם לתוצאות העיבוד.</p>	מיקחמטר חריצים 25-50 מיקחמטר חלחות 0-25	סכין חריטה לחריצים פנימיים, רוחב 1.85			חריטת חריצים פנימיים רוחב 1.85 מ"מ $\varnothing 44.5$	15		
<b>תרשים העיבוד</b>								

חישוב תנאי שיבוב	כלי המדידה	כלי השיבוב	מתקני עזר	מכונת העיבוד	שם ותיאור התהליך	שלב	הצבה	פעולה
<p><b>קדמות והיגשים לעיבוד גס/גמר:</b>                      כמו בהצבה 1 שלבים 4-5  <b>קדמות: גס: 0.78m"m גמר: 0.2m"m</b>  <b>היגשים: גס: 5.5m"m גמר: 0.8m"m</b></p>			תפסנית בלחיים רכים		דפינה בתפסנית מרכז	2		
<p><b>בחרנו לעיבוד גס: 3 m"m</b>  <b>בחרנו לעיבוד גמר: 0.5 m"m</b></p> <p><b>חישוב סל"ד לעיבוד גס: n</b>                      מהירות החיתוך <math>200 \text{ m/min} = VF</math>                      (מטר לדקה)  <math display="block">n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{200 \cdot 1000}{3.14 \cdot 80} = 796 \text{ rpm}</math></p> <p><b>בחרנו ב: 800 rpm</b></p>	זחון	סכין חריטה חיצוני מתק"ש P10, רדיוס פינה 1.2m"m			חריטת מדרגה גס $\text{\O}62 \times 65$ היגש: 3 מ"מ (3) (מעברים)	1		
<p><b>חישוב סל"ד לעיבוד גמר: n</b>                      מהירות החיתוך <math>350 \text{ m/min} = V_c</math>                      (מטר לדקה)  <math display="block">n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{350 \cdot 1000}{3.14 \cdot 62} = 1797 \text{ rpm}</math></p> <p><b>בחרנו ב: 1800 rpm</b></p>	זחון	סכין חריטה חיצוני מתק"ש P10, רדיוס פינה 0.4m"m			חריטת מדרגה גמר $\text{\O}60 \times 65$ היגש: 0.5 מ"מ (2) (מעברים)	2		
<b>תרשים העיבוד</b>								

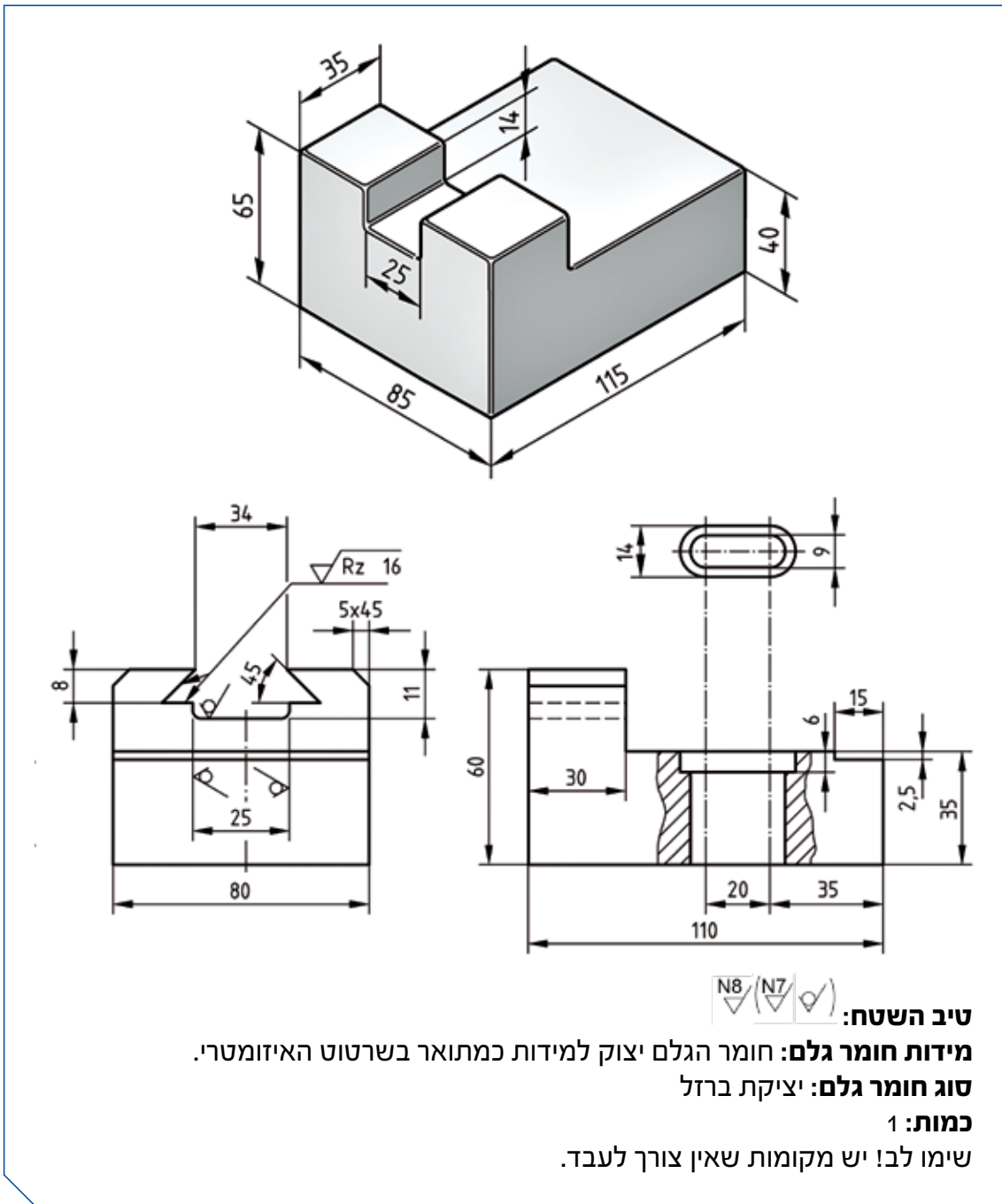
חשוב תנאי שיבוב	כלי המדידה	כלי השיבוב	מתקני עזר	מכונת העיבוד	שם ותיאור התהליך	שלב	הצבה	פעולה
<p><b>קדמות והיגשים לעיבוד גס/גמר:</b>                      כמו בהצבה 1 שלבים 4-5  <b>קדמות: גס:</b> 0.78m"m <b>גמר:</b> 0.2m"m  <b>היגשים: גס:</b> 2m"m <b>גמר:</b> 0.2m"m</p> <p><b>חישוב סל"ד לעיבוד גס: n</b>                      מהירות החיתוך <math>V_c = 200 \text{ m/min}</math>                      (מטר לדקה)  <math display="block">n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{200 \cdot 1000}{3.14 \cdot 60} = 1061 \text{ rpm}</math>  <b>בחרנו ב: 1000 rpm</b></p> <p><b>חישוב סל"ד לעיבוד גמר: n</b>                      מהירות החיתוך <math>V_c = 350 \text{ m/min}</math>                      (מטר לדקה)  <math display="block">n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{350 \cdot 1000}{3.14 \cdot 31} = 3594 \text{ rpm}</math>  <b>בחרנו ב: 3550 rpm</b></p>	זחון	סכין חריטה חיצוני מתק"ש ,P10 רדיוס פינה 1.2m"m			חריטת מדרגה גס $\text{Ø}32 \times 30$ קידמה: 0.78 מ"מ לסיבוב היגש: 2 מ"מ (7 מעברים)	3		
		סכין חריטה חיצוני מתק"ש ,P10 רדיוס פינה 0.4m"m			חריטת מדרגה גמר $\text{Ø}30 \times 30$ קידמה: 0.2 מ"מ לסיבוב היגש: 0.5 מ"מ (2 מעברים)	4		
<b>תרשים העיבוד</b>								

חישוב תנאי שיבוב	כלי המדידה	כלי השיבוב	מתקני עזר	מכונת העיבוד	שם ותיאור התהליך	שלב	הצבה	פעולה
<p><b>חישוב קידמה:</b>                      טיב השטח הכללי בשרטוט: Ra1.6  <math>0.063m''m = RZ6.3\mu m = Ra1.6\mu m</math>  <math>f = \sqrt{8 \cdot 0.063 \cdot 0.2} = 0.1 m''m</math></p> <p><b>חישוב היגש: ap</b> (בחרנו יחס של 1:3)  <math>ap \sim 3 \cdot 0.1 = 0.3 m''m</math> (בחרנו היגש של 0.2)</p> <p><b>חישוב סל"ד: n</b>                      מהירות החיתוך <math>V_c = 350 m/min</math>                      (מטר לדקה)  <math>n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{350 \cdot 1000}{3.14 \cdot 60} = 1857 \text{ rpm}</math></p> <p><b>בחרנו ב: 1800 rpm</b></p> <p><b>חישוב זווית הקונוס:</b>  <math>\tan \alpha = \frac{D-d}{2 \cdot l} = \frac{60-50}{2 \cdot 15} = 0.333</math>  <math>\alpha = 18^\circ 26'</math></p>	זחון + מד מעלות	סכין חריטה חיצוני מתק"ש P10, רדיוס פינה חותכת 0.2m''m			חריטת קונוס 18°26' קידמה: 0.1 מ"מ לסיבוב היגש: 0.2 מ"מ (5 מעברים)	5		
<b>תרשים העיבוד</b>								
<p><b>תנאי שיבוב</b>                      עיבוד מדר בסכין זוויתית בעלת שטח מגע גדול עם העובד. יש לקבוע את הסל"ד על פי ניסיון.</p> <p><b>בחרנו להתחיל ב: 200 rpm</b>                      במהלך העיבוד ניתן לשנות את הסל"ד בהתאם לתוצאות העיבוד.</p>	זחון + מד מעלות	סכין חריטה חיצוני 45° מתק"ש P10			העתקת קונוס 45°	6		
<b>תרשים העיבוד</b>								

חשוב תנאי שיבוב	כלי המדידה	כלי השיבוב	מתקני עזר	מכונת העיבוד	שם ותיאור התהליך	שלב	הצבה	פעולה
<p><b>תנאי שיבוב</b> עיבוד מדר בסכין זוויתית בעלת שטח מגע בינוני עם העובד. יש לקבוע את סל"ד על פי ניסיון.</p> <p><b>בחרנו להתחיל ב: 400 rpm</b> במהלך העיבוד ניתן לשנות את הסל"ד בהתאם לתוצאות העיבוד.</p>	זחון	סכין חריטה, 45°, מתק"ש P10			חריטת מדר (פאזה) 2.5X45°	7		
<b>תרשים העיבוד</b>								
<p><b>תנאי שיבוב</b> עיבוד בסכין צורתית עם שטח מגע גדול עם העובד נידרש לקבוע את סל"ד על פי ניסיון.</p> <p><b>בחרנו להתחיל ב: 100 rpm</b> במהלך העיבוד ניתן לשנות את הסל"ד בהתאם לתוצאות העיבוד.</p>	זחון + מדיד רדיוס	סכין חריצים רדיוס R8 מתק"ש P10			חריטת חריץ מעוגל R8 לקוטר Ø44 רוחב 10	8		
<b>תרשים העיבוד</b>								

חישוב תנאי שיבוב	כלי המדידה	כלי השיבוב	מתקני עזר	מכונת העיבוד	שם ותיאור התהליך	שלב	הצבה	פעולה
<p><b>חישוב סל"ד: n</b></p> <p>מהירות החיתוך <math>V_F = 75 \text{ m/min}</math> (מטר לדקה)</p> $n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{75 \cdot 1000}{3.14 \cdot 30} = 796 \text{ rpm}$ <p><b>בחרנו ב: 700 rpm</b></p>	זחון חריצים	סכין חריצים רוחב 4, מתק"ש P10			חריטת חריץ רוחב 4, $\varnothing 27$	9		
<b>תרשים העיבוד</b>								
<p><b>חישוב סל"ד: n</b></p> <p>מהירות החיתוך <math>V_c = 10 \text{ m/min}</math> (מטר לדקה)</p> $n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{10 \cdot 1000}{3.14 \cdot 30} = 106 \text{ rpm}$ <p><b>בחרנו ב: 100 rpm</b></p>	מסרק הברגות + מיקחמטר תבריגים או מדיד תבריגים	סכין מתק"ש הברגות $60^\circ$			חריטת תבריג M30X1.5 עומק התבריג: 0.92 מ"מ קידמה: 1.5 מ"מ לסיבוב היגש: 0.115 מ"מ (8 מעברים)	10		
<b>תרשים העיבוד</b>								

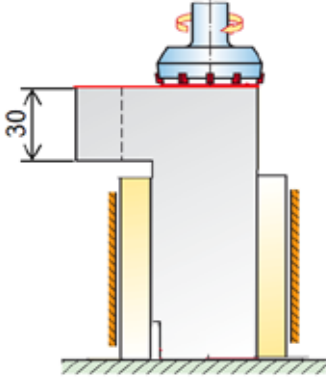
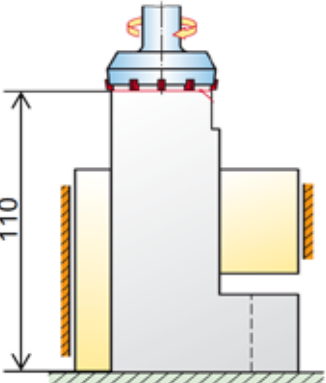
איור 2.5.47: שרטוט מוצר בכרסום - איזומטריה והיטלים

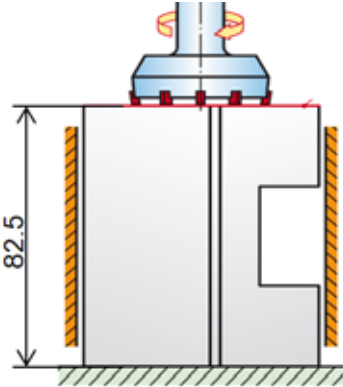
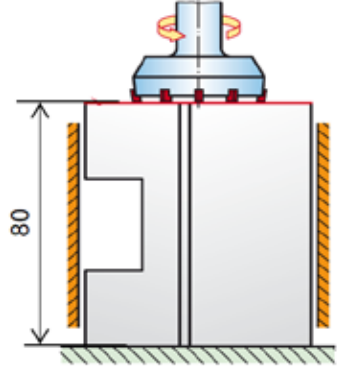


תהליך טכנולוגי לייצור - איור 2.5.47

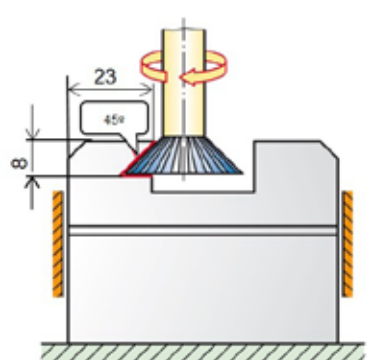
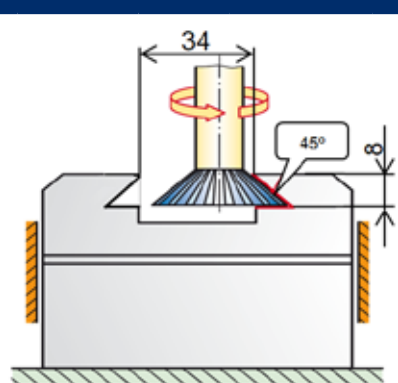
חישוב תנאי שיבוב	כלי המדידה	כלי השיבוב	מתקני עזר	מכונת העיבוד	שם ותיאור התהליך	שלב	הצבה	פעולה		
<p><b>חישובים של סל"ד וקדמה</b> נתון מטבלאות <math>v_c = 30</math> מטר לדקה <math>f_z = 0.05 - 0.15</math> מ"מ לשן (בחרנו: 0.1) <math>a_p = 3</math> מ"מ <math>Z = 12</math> שיניים</p> <p><b>חישוב סל"ד n</b> <math display="block">n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{30 \cdot 1000}{3.14 \cdot 125} = 76.4 \text{ rpm}</math></p> <p><b>בחרנו: 75 rpm</b></p> <p><b>חישוב קידמה VF:</b> <math display="block">V_f \frac{\text{mm}}{\text{min}} = f_z \cdot Z \cdot n = 0.1 \cdot 12 \cdot 75 = 90 \text{ m}''\text{m}/\text{min}</math></p>	זחון	כרסום קנה $\varnothing 125$ 12 שיניים HSS		כרסומת קונבנציונאלית	כרסום	1		010		
									מלחצי מכונה + מקבילונים	דפינה במלחציים
										כרסום משטח 1
										כרסום משטח 2
					כרסום משטח 3	3				
<b>תרשים העיבוד</b>										

חשוב תנאי שיבוב	כלי המדידה	כלי השיבוב	מתקני עזר	מכונת העיבוד	שם ותיאור התהליך	שלב	הצבה	פעולה
<p><b>חישובים של סל"ד וקדמה</b> נתון מטבלאות <math>v_c = 200</math> מטר לדקה <math>f_z = 0.05 - 0.15</math> מ"מ לשן (בחרנו: 0.15) <math>a_p = 3</math> מ"מ <math>Z = 12</math> שיניים</p> <p><b>חישוב סל"ד n</b> <math>n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{200 \cdot 1000}{3.14 \cdot 160} = 398 \text{ rpm}</math></p> <p><b>בחרנו: 400 rpm</b></p> <p><b>חישוב קידמה VF:</b> <math>V_{fmm/min} = f_z \cdot Z \cdot n = 0.15 \cdot 8 \cdot 400 = 480 \text{ m}^3/\text{min}</math></p>			מלחצי מכונה + בלוק לפי מידה נתונה		דפינה במלחציים	2		
	זחון	כרסום מצח $\varnothing 80$ שימות מתק"ש K10 8 שיניים			כרסום שטח	1		
<b>תרשים העיבוד</b>								

חישוב תנאי שיבוב	כלי המדידה	כלי השיבוב	מתקני עזר	מכונת העיבוד	שם התהליך ותיאור	שלב	הצבה	פעולה
כנ"ל			מלחצי מכונה		דפינה במלחציים	3		
	זחון	כרסום מצח $\varnothing 80$ שימות מתק"ש K10 8 שיניים			כרסום שטח לאורך המידה 30	1		
	<b>תרשים העיבוד</b>							
								
כנ"ל			מלחצי מכונה		דפינה במלחציים	4		
	זחון	כרסום מצח $\varnothing 80$ שימות מתק"ש K10 8 שיניים			כרסום שטח לאורך 110	1		
	<b>תרשים העיבוד</b>							
								

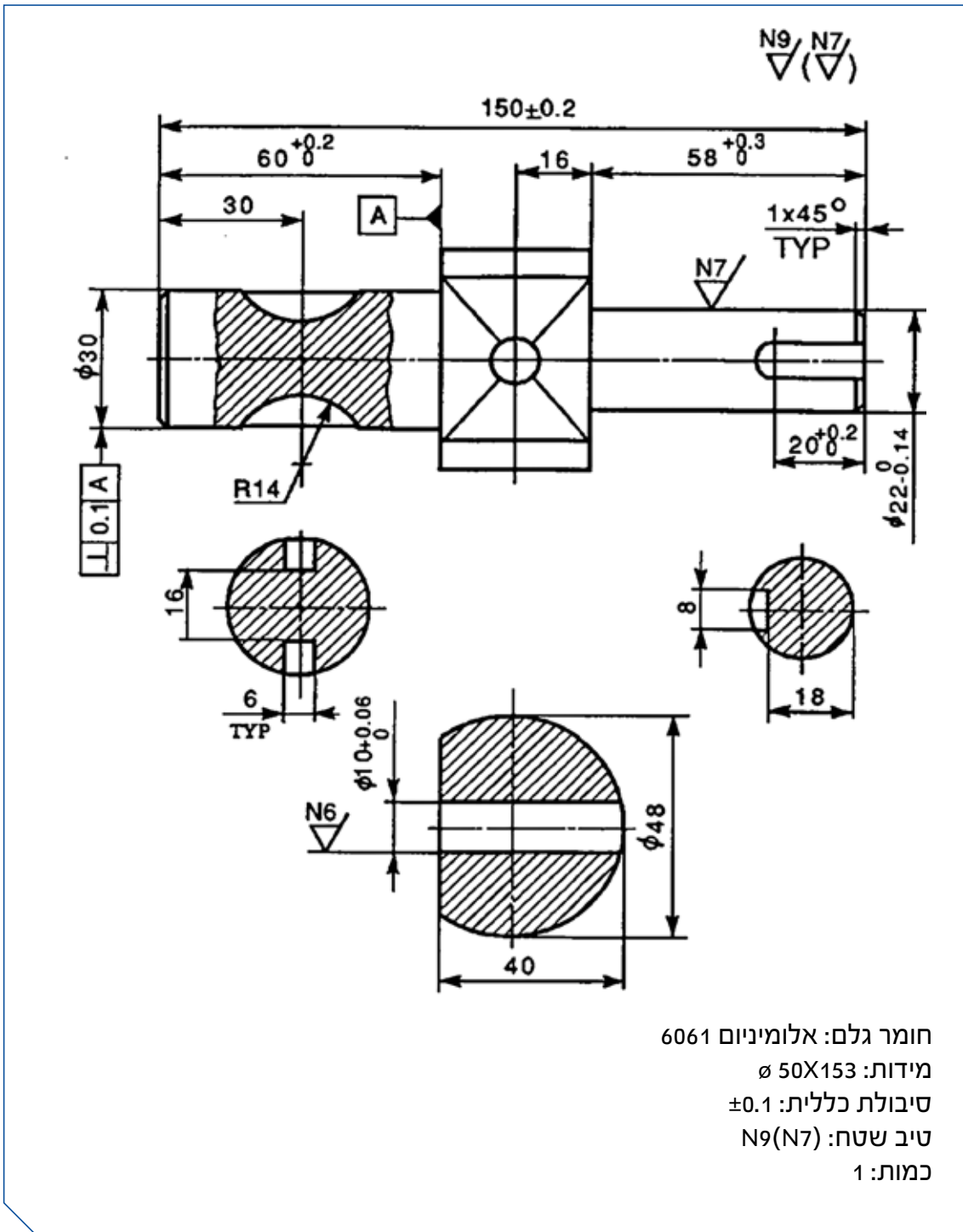
חישוב תנאי שיבוב	כלי המדידה	כלי השיבוב	מתקני עזר	מכונת העיבוד	שם ותיאור התהליך	שלב	הצבה	פעולה
כנ"ל			מלחצי מכונה		דפינה במלחציים	5		
	זחון	כרסום מצח $\varnothing 80$ שימות מתק"ש K10 8 שיניים			כרסום שטח לאורך 82.5	1		
	<b>תרשים העיבוד</b>							
כנ"ל		מלחצי מכונה			דפינה במלחציים	6		
	זחון	כרסום מצח $\varnothing 80$ שימות מתק"ש K10 8 שיניים			כרסום שטח לאורך 80	1		
	<b>תרשים העיבוד</b>							

חשוב תנאי שיבוב	כלי המדידה	כלי השיבוב	מתקני עזר	מכונת העיבוד	שם ותיאור התהליך	שלב	הצבה	פעולה
<b>חישובים של סל"ד וקדמה</b> נתון מטבלאות $v_c = 30$ מטר לדקה $f_z = 0.05 - 0.15$ מ"מ לשן (בחרנו: $0.1$ מ"מ לשן) $a_p = 3$ מ"מ $Z = 12$ שינים <b>חישוב סל"ד n</b> $n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{30 \cdot 1000}{3.14 \cdot 125} = 76.4 \text{ rpm}$ <b>בחרנו: 75 rpm</b> <b>חישוב קידמה Vf</b> $V_f \frac{\text{mm}}{\text{min}} = f_z \cdot Z \cdot n = 0.1 \cdot 12 \cdot 75 = 90 \text{ m}''\text{m}/\text{min}$			מלחצי מכונה	כרסומת קונבנציונאלית	דפינה במלחציים	7		
		זחון + מד מעלות/מדיד $45^\circ$	כרסום קנה HSS $\varnothing 125$ 12 שיניים			כרסום שיפוע $45^\circ \times 5$ צד ראשון	1	
<b>תרשים העיבוד</b>								
כנ"ל			מלחצי מכונה		דפינה במלחציים	8		
		זחון + מד מעלות/מדיד $45^\circ$	כרסום קנה HSS $\varnothing 125$ 12 שיניים			כרסום שיפוע $45^\circ \times 5$ צד שני	1	
<b>תרשים העיבוד</b>								

חשוב תנאי שיבוב	כלי המדידה	כלי השיבוב	מתקני עזר	מכונת העיבוד	שם ותיאור התהליך	שלב	הצבה	פעולה
<p><b>חישובים של סל"ד וקדמה</b> נתון מטבלאות <math>v_c = 30</math> מטר לדקה <math>f_z = 0.05 - 0.15</math> מ"מ לשן (בחרנו: 0.1) <math>a_p = 3</math> מ"מ <math>Z = 12</math> שיניים</p> <p><b>חישוב סל"ד n</b> <math>n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{30 \cdot 1000}{3.14 \cdot 40} = 238.7 \text{ rpm}</math></p> <p><b>בחרנו: 220 rpm</b></p> <p><b>חישוב קידמה Vf</b> <math>V_f \frac{\text{mm}}{\text{min}} = f_z \cdot Z \cdot n = 0.1 \cdot 16 \cdot 220 = 352 \text{ m}''\text{m}/\text{min}</math></p>			מלחצי מכונה		דפינה במלחציים	9		
		זחון + גליל	כרסום קנה זוויתי HSS $\varnothing 40 \times 10$ $45^\circ$ 16 שיניים			כרסום חריץ זוויתי צד ראשון, עומק 8, למידה 23	1	
<b>תרשים העיבוד</b>								
								
כנ"ל	זחון + גלילים 2	כרסום קנה זוויתי HSS $\varnothing 40 \times 10$ $45^\circ$ 16 שיניים			כרסום חריץ זוויתי צד שני, עומק 8, למידה 34	2		
	<b>תרשים העיבוד</b>							
								

חישוב תנאי שיבוב	כלי המדידה	כלי השיבוב	מתקני עזר	מכונת העיבוד	שם ותיאור התהליך	שלב	הצבה	פעולה
<p><b>חישובים של סל"ד וקדמה</b> נתון מטבלאות <math>v_c = 200</math> מטר לדקה <math>f_z = 0.08</math> מ"מ לשן (בחרנו: 0.1) <math>a_p = 3</math> מ"מ <math>Z = 12</math> שיניים</p> <p><b>חישוב סל"ד n</b> <math>n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{200 \cdot 1000}{3.14 \cdot 14} = 4547 \text{ rpm}</math></p> <p><b>בחרנו: 4500 rpm</b></p> <p><b>חישוב קידמה V<sub>f</sub></b> <math>V_f \frac{\text{mm}}{\text{min}} = f_z \cdot Z \cdot n = 0.08 \cdot 2 \cdot 4500 = 720 \text{ m}''\text{m}/\text{min}</math></p>			מלחצי מכונה		דפינה במלחציים	10		
	זחון	<p>כרסום קנה Ø14 מתק"ש K10 2 שיניים, חיתוך למרכז</p>			<p>כרסום חריץ ברוחב הכרסום 14 מ"מ לאורך 34 מ"מ</p>	1		
<b>תרשים העיבוד</b>								

איור 2.5.48: שרטוט מוצר משולב בחריטה וכרסום



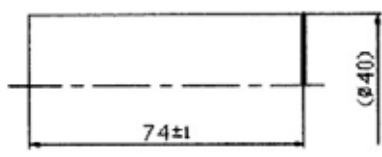
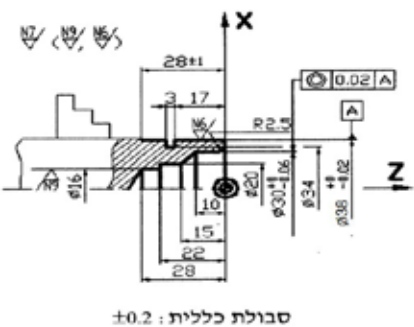
תהליך טכנולוגי לייצור - איור 2.5.48

כלי המדידה	כלי השיבוב	מתקני עזר	מכונת העיבוד	תרשים העיבוד	שם התהליך ותיאור	שלב	הצבה	פעולה
			מחרטה קונבנציונאלית		חריטה			010
		תפסנית מרכז 3 לחיים			דפינה בתפסנית	1		
זחון	סכין חריטה מתק"ש				חריטת מצח מינימום	1		
זחון	סכין חריטה מתק"ש				חריטת $\varnothing 48 \pm 0.1$ לאורך 94	2		
זחון	סכין חריטה מתק"ש				חריטת $\varnothing 30 \pm 0.1$ לאורך $60^{+0.2}$	3		
זחון	סכין $45^\circ$				חריטה מדר (פאזה)	4		
		תפסנית מרכז 3 לחיים			דפינה בתפסנית	2		
זחון	סכין חריטה מתק"ש				חריטת מצח לאורך $150 \pm 0.2$	1		
זחון	סכין חריטה מתק"ש				חריטה גסה $\varnothing 22.5$ לאורך 57.5	2		
מיקרומטר חיצוני 0-25	סכין חריטה מתק"ש גמר				חריטה סופית $\varnothing 22.5 \pm 0.14$	3		
זחון	סכין $45^\circ$				חריטה מדר (פאזה)	4		

פועלה	הצבה	שלב	שם ותיאור התהליך	תרשים העיבוד	מכונת העיבוד	מתקני עזר	כלי השיבוב	כלי המדידה
020			כרסום וקידוח		כרסומת אנכית			
		1	דפינה בראש מחלק			עוקץ וליבון		
		1	כרסום משטח ישר על $\varnothing 48$ למידה $40 \pm 0.2$					זחון
		2	קידוח מרכז					זחון
		3	קידוח $\varnothing 9.8$					זחון
		4	קידוד $\varnothing 10_{+0.06}$					מדיד קדח
		5	כרסום חריץ לשגם $8 \pm 0.2$ $X20 \pm 0.2$					זחון
		6	כרסום חריץ לשגם $6 \pm 0.2 X R14 \pm 0.2$ צד ראשון				כרסום T $\varnothing 28$	מיקרומטר חריצים
		7	כרסום חריץ לשגם $6 \pm 0.2 X R14 \pm 0.2$ צד שני					כרסום T $\varnothing 28$
030			הורדת קנבת (גרדים)				מגרד מסתובב	

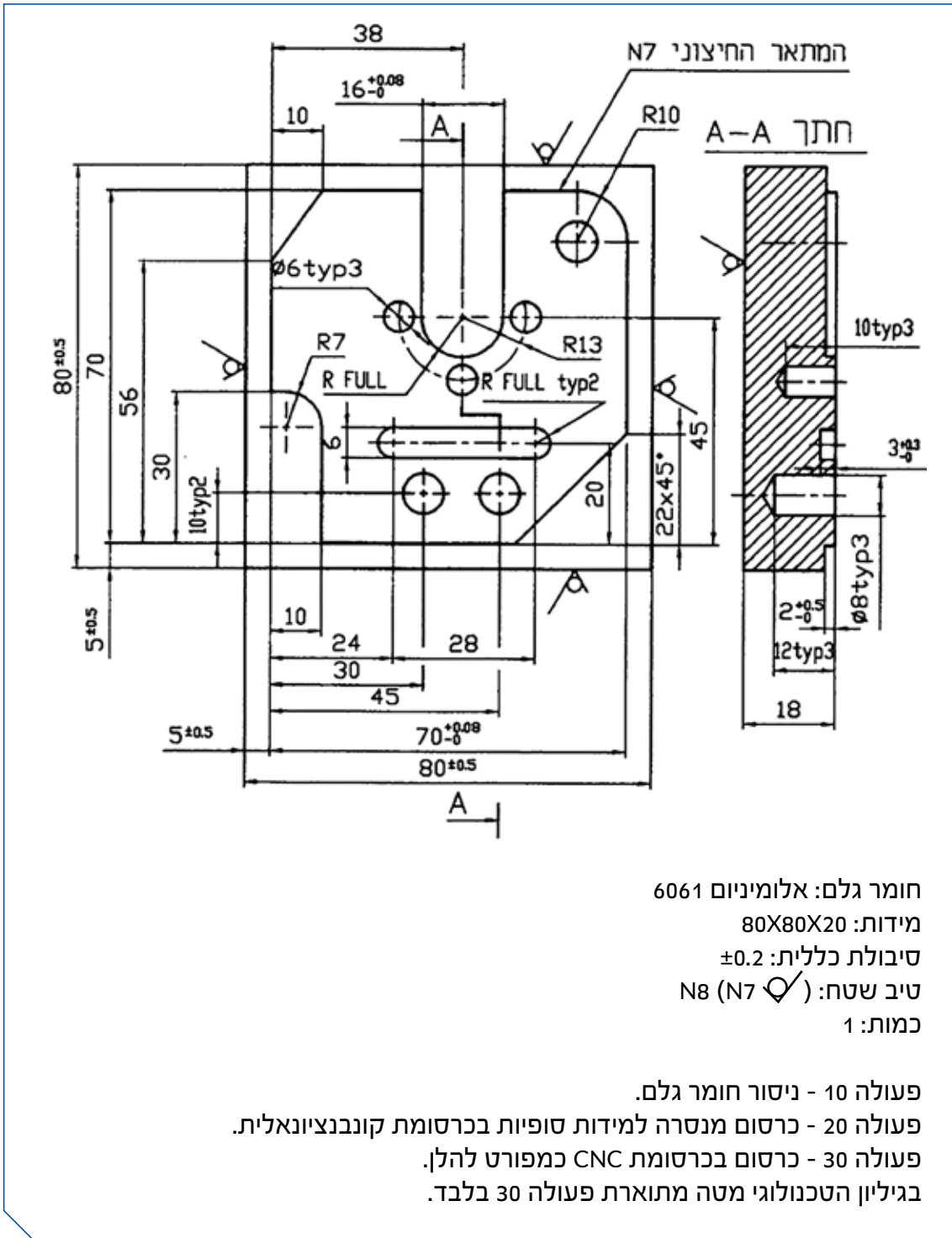


תהליך טכנולוגי לייצור - איור 2.5.49

כלי המדידה	כלי השיבוב	מתקני עזר	מכונת העיבוד	תרשים העיבוד	שם ותיאור התהליך	שלב	הצבה	פעולה
			מסור מכני		ניסור			010
		מלחצי מכונה			דפינה במלחציים	1		1
	מסורית זחון				ניסור חומר גלם למידות $\varnothing 42 \ 74 \pm 1$	1		
			מחרטת CNC		חריטה			020
		תפסנית מרכז 3 לחיים		 <p>סבולת כללית: <math>\pm 0.2</math></p>	דפינה בתפסנית	1		1
	סכין חריטה מצח				חריטת מצח min	1		
זחון	מקדח מרכזי				קידוח קדח מרכזי	2		
זחון	מקדח $\varnothing 16$				קידוח קדח $\varnothing 16 \pm 0.2$ לעומק $28 \pm 0.2$	3		
זחון	סכין חריטה פנימי מתק"ש				חריטת מדרגה פנימית $\varnothing 19 \pm 0.2$ לעומק $0.2 \pm 21.5$	4		
זחון	סכין חריטה פנימי מתק"ש				חריטת מדרגה פנימית $\varnothing 29 \pm 0.2$ לעומק $10 \pm 0.2$ כולל הקונוס	5		
	סכין חריטה פנימי מתק"ש				חריטת מתאר פנימי בעיבוד גמר	6		
מיקרומטר 0-25	סכין חריטה חיצוני מתק"ש				חריטת מדרגה חיצונית $\varnothing 40 \pm 0.02$ לאורך $28 \pm 1$	7		
מיקרומטר לחריצים	סכין חריצים רחב 3				חריטת חריץ $\varnothing 34 \pm 0.2$ ברוחב $3 \pm 0.2$	8		

כלי המדידה	כלי השיבוב	מתקני עזר	מכונת העיבוד	תרשים העיבוד	שם ותיאור התהליך	שלב	הצבה	פעולה
		תפסנית לחיים רכות ומעצור			דפינה בתפסנית	2		
זחון	סכין חריטה חיצוני מתק"ש			<p>סבולת כללית: <math>\pm 0.2</math></p>	חריטת מדרגה חיצונית $\text{Ø}20_{\pm 0.2}$ לאורך $40_{\pm 0.2}$	1		
זחון	סכין חריטה חיצוני מתק"ש				חריטת מדרגה $\text{Ø}16_{-0.1}$ לאורך $35_{\pm 0.2}$	2		
זחון	סכין חריטה חיצוני מתק"ש				חריטת מדרגה גס $\text{Ø}13_{\pm 0.2}$ לאורך $9_{\pm 0.2}$	3		
זחון	סכין חריטה חיצוני מתק"ש				חריטת קונוס $5_{\pm 0.2} \times 45^\circ$	4		
זחון	סכין חריטה חיצוני מתק"ש				חריטת כדור ומדרגה - סופי $\text{Ø}12_{\pm 0.2} \times 10_{\pm 0.2}$ וחריטת מדרגה (בצד להברגה) $2 \times 45^\circ$ (ימין)	5		
זחון	סכין חריצים (catgrip) רוחב 3				חירוץ חריץ $\text{Ø}12_{\pm 0.2} \times 5_{\pm 0.2}$ וחריטת מדרגה (בצד החריץ) $2 \times 45^\circ$	6		
מדיד הברגות M16	סכין חריטה חיצוני מתק"ש להברגות $60^\circ$				חריטת תבריג M16	7		
		מגרד מסתובב				צילוע $0.2 \times 45^\circ$		030

איור 2.5.50: שרטוט מוצר בכרסום - ייצור בכרסומת ממוחשבת CNC



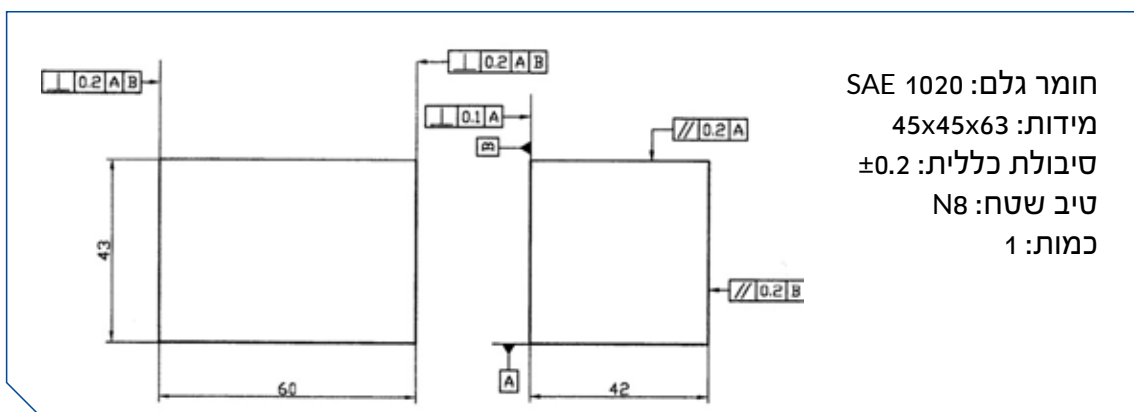


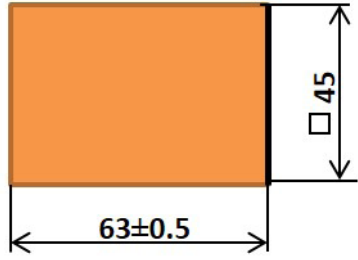
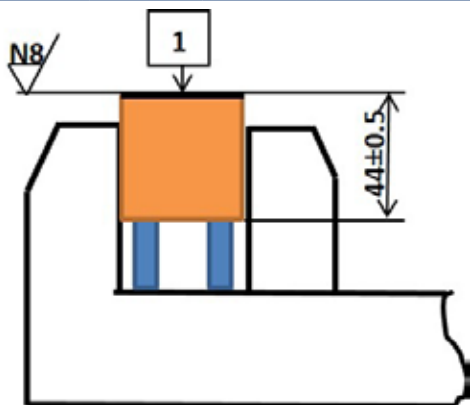
תהליך טכנולוגי לייצור - איור 2.5.51

נתוני שיבוב				סוג חומר הגלם: פלדה SAE 4340 מידות חומר גלם: $\varnothing 30 \times 104$ קשיות: Rc45				גיליון פעולות של התהליך הטכנולוגי		דף מספר 1 מתוך 1 דפים		
								שם החלק ומספרו הסידורי: ציר חיבור - 0845				
ap	Vf m <sup>3</sup> /m/rev	n	Vc	כלי המדידה	כלי השיבוב	מתקני עזר	מכונת העיבוד	שם ותיאור התהליך	שלב	הצבה	פעולה	
							מסור סרט	ניסור			010	
						מלחצי המסור		דפינה במלחציים		1		
				זחון	מסורית			ניסור לאורך $\varnothing 30 \pm 0.1$		1		
							מחרטה קונבנציונלית	חריטה			020	
						תפסנית מרכז 3 לחיים		דפינה בתפסנית		1		
1	0.1	2600	190	זחון	סכין מתק"ש			חריטת מצח מינימום		1		
1	0.1	2000	190	זחון	סכין מתק"ש			חריטת מדרגה $\varnothing 30$ אורך 55		2		
1	0.1	2250	190	זחון	סכין מתק"ש			חריטת מדרגה $\varnothing 27$ אורך 25		3		
<b>תרשים העיבוד</b>												
<p>N8</p> <p>תרשים לפעולה 2 הצבה 1</p>						<p>תרשים לפעולה 1</p>						

נתוני שיבוב				סוג חומר הגלם: פלדה SAE 4340 מידות חומר גלם: $\varnothing 30 \times 104$ קשיות: Rc45				גיליון פעולות של התהליך הטכנולוגי		דף מספר 1 מתוך 1 דפים	
								שם החלק ומספרו הסידורי: ציר חיבור - 0845			
ap	Vf m <sup>3</sup> m/rev	n	Vc	כלי המדידה	כלי השיבוב	מתקני עזר	מכונת העיבוד	שם ותיאור התהליך	שלב	הצבה	פעולה
						תפסנית מרכז 3 לחיים		דפינה בתפסנית	2		
1	0.1	2600	190	זחון	סכין מתק"ש			חריטת מצח לאורך 100	1		
1	0.1	2200	190	זחון	סכין מתק"ש			חריטת מדרגה $\varnothing 28$ אורך 30	2		
<b>תרשים העיבוד</b>											
				זחון	שופין שטוח			צילוע $45^\circ \times 0.2$			030

איור 2.5.52: שרטוט מוצר בכרסום - ייצור בכרסום קונבנציונאלי כולל תנאי שיבוב



נתוני שיבוב				סוג חומר הגלם: פלדה SAE 1020 מידות חומר גלם: 45x45x63				גיליון פעולות של התהליך הטכנולוגי		דף מספר 1 מתוך 2 דפים		
								שם החלק ומספרו הסידורי: 2.5.52		שם ותיאור התהליך		
ap	Vf m <sup>3</sup> m/ rev	n	Vc	כלי המדידה	כלי השיבוב	מתקני עזר	מכונת העיבוד	שם ותיאור התהליך	שלב	הצבה	פעולה	
							מסור סרט	ניסור			010	
						מלחצי המסור		דפינה במלחציים		1		
				זחון	מסורית			ניסור חומר גלם 45X45X63		1		
<b>תרשים העיבוד</b>												
												
							כרסומת קונבנציונלית	כרסום			020	
						מלחצי מכונה ומקבילונים		דפינה במלחציים		1		
0.5	280	900	140	זחון	כרסום מצח 50			כרסום מישור 1		1		
<b>תרשים העיבוד</b>												
												

נתוני שיבוב				סוג חומר הגלם: פלדה SAE 1020 מידות חומר גלם: 45x45x63				גיליון פעולות של התהליך הטכנולוגי		דף מספר 1 מתוך 2 דפים		
								שם החלק ומספרו הסידורי: 2.5.52		שם ותיאור התהליך		
ap	Vf m <sup>3</sup> /m/rev	n	Vc	כלי המדידה	כלי השיבוב	מתקני עזר	מכונת העיבוד	שם ותיאור התהליך		שלב	הצבה	פעולה
						מלחצי מכונה + גליל ומקבילונים		דפינה במלחציים		2		
0.5	280	900	140	זחון	כרסום מצח $\varnothing 50$			כרסום מישור 2		1		
<b>תרשים העיבוד</b>												
						מלחצי מכונה + גליל ומקבילונים		דפינה במלחציים		3		
0.5	280	900	140	זחון	כרסום מצח $\varnothing 50$			כרסום מישור 3		1		
<b>תרשים העיבוד</b>												

נתוני שיבוב				סוג חומר הגלם: פלדה SAE 1020 מידות חומר גלם: 45x45x63				גיליון פעולות של התהליך הטכנולוגי	דף מספר 1 מתוך 2 דפים		
								שם החלק ומספרו הסידורי: 2.5.52			
ap	Vf m <sup>3</sup> m/rev	n	Vc	כלי המדידה	כלי השיבוב	מתקני עזר	מכונת העיבוד	שם ותיאור התהליך	שלב	הצבה	פעולה
						מלחצי מכונה ומקבילונים		דפינה במלחציים		4	
0.5	280	900	140	זחון	כרסום מצח $\varnothing 50$			כרסום מישור 4		1	
<b>תרשים העיבוד</b>											
						מלחצי מכונה ומקבילונים		דפינה במלחציים		5	
0.5	280	900	140	זחון	כרסום מצח $\varnothing 50$			כרסום מישור 5		1	
<b>תרשים העיבוד</b>											

נתוני שיבוב				סוג חומר הגלם: פלדה SAE 1020 מידות חומר גלם: 45x45x63				גיליון פעולות של התהליך הטכנולוגי	דף מספר 1 מתוך 2 דפים		
								שם החלק ומספרו הסידורי: 2.5.52			
ap	Vf m <sup>3</sup> /m/rev	n	Vc	כלי המדידה	כלי השיבוב	מתקני עזר	מכונת העיבוד	שם ותיאור התהליך	שלב	הצבה	פעולה
						מלחצי מכונה ומקבילונים		דפינה במלחציים	6		
0.5	80	900	140	זחון	כרסום מצח $\varnothing 50$			כרסום מישור 6	1		
תרשים העיבוד											

### 2.5.6 סיכום

אחד המרכיבים של תהליך הייצור של המוצר או המכלול המורכב, הוא התהליך הטכנולוגי בו עסקנו בפרק זה.

התהליך הטכנולוגי קובע באופן מובנה את סדר הפעולות לייצור המוצר, בצורה שבה הדרישות הטכנולוגיות הנדרשות בשרטוט המוצר יקוימו. לרוב את קביעת התהליך הטכנולוגי מבצעים במשרד ת.פ.י. במפעל. בתהליך הטכנולוגי בוחרים את המכונות שבהן יבוצעו תהליכי העיבוד השונים, אמצעי הדפינה, כלי העיבוד, נתוני השיבוב, שלבי הייצור ואמצעי המדידה.

בבחירת תהליך טכנולוגי יש לדאוג שעלויות הייצור יהיו נמוכות ככל שניתן, כדי להוזיל את עלות המוצר ולאפשר תחרות במכרזים.

קיימים אמצעים להעביר את האינפורמציה של התהליך הטכנולוגי שחלקם תוארו בפרק זה, באמצעות דפי גיליון התהליך הטכנולוגי בהם מפורט המידע הדרוש הדרושה. מטרת דפי התהליך הטכנולוגי היא להגדיר לבעל המקצוע באופן שאינו משתמע לשתי פנים את כל הפעולות שעליו לבצע בכל שלב בתהליך.

נספח 1: מילון עברי-אנגלי למונחים בניהול מערכת הייצור

ההסבר	אנגלית	עברית
דגם של המוצר הסופי.	Prototype	<b>אב טיפוס</b>
פעולות לשימור הציוד.	Maintenance	<b>אחזקה</b>
שמירה על מוצרים עד המכירה.	Storage	<b>אחסון</b>
תכנון של המעבר מתחנה לתחנה במהלך הייצור, כדי לקבל זרימה של התהליך. זאת על מנת שהתפוקות בתחנה הקודמת יהיו תואמות לתחנה הבאה.	Process Balancing	<b>איזון תהליך</b>
כלל התכונות הנדרשות מהמוצר ובכלל זה דרישת התקן.	Quality	<b>איכות</b>
פעולה להבטחת אספקת כל הנדרש לייצור.	Supply	<b>אספקה</b>
ארגון כללי של הייצור שתפוקותיו הם המוצרים.	Products Organization	<b>ארגון ייצור</b>
תהליך מתמיד של מדידה ומעקב אחר התהליך.	Control	<b>בקרה</b>
שם כולל לגורמי תשומה המשתתפים בתהליך הייצור.	Factors of Production	<b>גורמי ייצור</b>
פרק הזמן הנדרש לייצור יחידה אחת.	Cycle Time	<b>זמן מחזור</b>
ידע, כלים, מכונות וטכניקות המשמשים בתהליך ההמרה של תשומות למוצרים.	Technology	<b>טכנולוגיה</b>
תהליך של המרת חומר גלם למוצרים מוגמרים.	Production	<b>ייצור</b>
ייצור מוצרים בסדרות גדולות.	Mass Production	<b>ייצור המוני/רציף</b>
הכמות המרבית של יחידות שניתן לייצר בתקופת זמן מסוימת במגבלת המשאבים הקיימים.	Capacity Production	<b>כושר ייצור</b>

הסבר	אנגלית	עברית
כל מוצר הנובע או נגזר מייצור או מתהליך ייצור של המוצר העיקרי. מוצר הלוואי הוא מוצר משני, המתקבל ללא כוונה תחילה, מייצור המוצר העיקרי.	By Product	<b>מוצר לוואי</b>
תוצרת גמורה.	Finished Goods	<b>מוצר מוגמר</b>
תוצאה של פעילויות הממירות חומרים ותשומות לתוצר המתאים לשימוש הצרכן.	Products	<b>מוצרים</b>
מוצרים הגמורים באופן חלקי, שנדרשת עבודת עיבוד נוספת ו/או חומרים נוספים לצורך הפיכתם למוצר מוגמר.	Goods in Process	<b>מוצרים בתהליך</b>
השלבים שעובר מוצר מהשלב שבו פותח והוחדר לשוק ועד דעיכתו ויציאתו מהשוק.	Product Life Cycle	<b>מחזור חיי מוצר</b>
הזמן שחולף בין קניית חומרי גלם למלאי ועד שאלה הופכים למוצר מוגמר בתהליך הייצור.	Production Cycle	<b>מחזור ייצור</b>
מערך עבודה המאורגן על פי מוצר, ותחנת עבודה מסודרת לפי סדר פעולות הדרושות לביצוע המוצר. מתאים לייצור המוני, וייצור של מוצרים דומים בעלי תהליכים זהים.	Product Oriented System	<b>מערך לפי מוצר</b>
מערך עבודה המאורגן לפי מוצר גדול שלא ניתן להזיזו, הציוד מסודר באופן קבוע מסביב למוצר.	Fixed Product Oriented System	<b>מערך לפי מוצר עומד</b>
משאב "צוואר בקבוק" המגביל את יכולת הייצור.	Critical Resource	<b>משאב קריטי</b>

הסבר	אנגלית	עברית
מונח רחב המתאר פעילויות, תהליכים, החלטות ותחומי אחריות. תפוקות הארגון מתייחסות לכל התוצרים הנובעים מהפעלת הארגון. זו קבוצה של פעילויות שיוצרות מוצרים על ידי המרה של משאבים לתפוקות.	Production Management/ Operations Management	<b>ניהול הייצור/ניהול התפעול</b>
נקודה שבה ההוצאות וההכנסות שוות.	Break Even Point	<b>נקודת איזון</b>
תהליך שבו הופך חומר גלם למוצר כתוצאה מסדרה עקבית ומתמשכת של פעולות, שבעקבותן עובר החומר משלב לשלב עד להשלמתו.	Processing	<b>עיבוד</b>
מאפשר ניהול תצורת המוצר בהתבסס על מהדורות החלקים השונים, הזמנת כל החלקים לייצור, קביעת סדרי עדיפויות בהזמנות ומעקב אחר חלקים חסרים.	<b>BOM - Bill Of Materials</b>	<b>עץ מוצר היררכי כולל רשימת חלקים</b>
תיאור סכמתי של החלקים השונים המרכיבים מוצר מוגמר.	Product Tree	<b>עץ מוצר הנדסי</b>
אוסף של תחנות עבודה הממוקמות בצורה עוקבת או מקבילה. כל אחת מהן מבצעת פעולה או אוסף של פעולות על המוצר בתהליכי עיבודו השונים, עד לקבלת המוצר הסופי.	Production Line	<b>קו ייצור</b>
הכמות המרבית של יחידות שניתן לייצר בזמן נתון.	Capacity	<b>קיבולת</b>
תהליך ההופך תשומות שונות כגון חומרי גלם, משאבי אנוש והון לתפוקות רצויות.	Production Process	<b>תהליך ייצור</b>

ההסבר	אנגלית	עברית
שרטוט ותכנון הייצור באמצעות מחשב.	<b>CAD/CAM</b> <b>Computer Aid</b> <b>Design/Manufacture</b>	<b>תיב"ם</b>
תכנון המוצר עוסק באופן שבו מיוצר המוצר שתוכנן, על ידי פירוט המשאבים ולוח הזמנים הדרוש לביצוע.	Product Planning	<b>תכנון המוצר</b>
עוסק בתהליך ההמרה הנדרש כדי לייצר את המוצר. מוביל ביצוע מותאם של הזרמת משאבים (תשומות), חומרים, מכונות, סוגי עובדים, ציוד, מתקני אחסון ועוד.	Process Planning	<b>תכנון התהליך/תכנון הייצור/תכנון התפעול</b>
עוסק בקביעת המאפיינים והתכונות של המוצר עצמו. תיכון המוצר הוא תהליך שבסופו נקבע אפיון המוצר, תוך קביעת כלל הפרטים הטכניים המגדירים אותו.	Product Design	<b>תיכון המוצר</b>
חשיבה מראש על תהליך ייצור פשוט יותר: סטנדרטיזציה של כלים, חומרים וכולי, על מנת לקצר ולפשט את תהליכי הייצור לייעול התהליך ולרווחיות המפעל.	Design of Manufacturing	<b>תיכון לייצור</b>
מונח כלכלי המתאר את סך כל התוצרים הסופיים המופקים מתהליך.	Output	<b>תפוקה</b>
תרשימים המשמשים לתכנון ולבקרת הביצוע של כל שלבי הפרויקט.	Gent Chart	<b>תרשים גנט</b>
כל המשאבים שיש לעשות בהם שימוש כדי לספק את התפוקות.	Resources	<b>תשומות/משאבים</b>

הסבר	אנגלית	עברית
<p>הכול בדיוק בזמן - חומרי הגלם מגיעים בדיוק כשנדרש, ייצור מוצר בתחנה הקודמת בדיוק כשעובר לתחנה הבאה וכדומה.</p>	<p><b>J.I.T</b> Just In Time</p>	<p><b>בדיוק בזמן</b></p>
<p>ארגון בינלאומי הקובע תקנים, נהלים ושיטות לניהול תהליכים בארגון. International Organization for Standardization</p>	<p><b>ISO</b> International Standards Organization</p>	<p><b>ארגון התקינה הבינלאומי</b></p>
<p>בקרת תהליכים סטטיסטית - מתבצע באופן מדגמי תוך כדי התהליך. לפי המדגם קובעים אם הוא תקין.</p>	<p><b>SPC</b> Statistical Process Control</p>	<p><b>בקרת תהליכים סטטיסטית</b></p>



## 2.6 חישוב זמני עיבוד בחריטה וכרסום

### 2.6.1 מטרות הפרק

הקניית ידע על:

- הגורמים המשפיעים על זמן הייצור.
- השגת יכולת אומדן זמני ייצור בעבודות חריטה.
- השגת יכולת אומדן זמני ייצור בעבודות כרסום.

### 2.6.2 מבוא

**עלות הייצור** של מוצר מורכבת מכמה פרמטרים:

- עלות תכנון וקביעת תהליכי ייצור.
- עלות חומר הגלם.
- עלות תכנון והכנת מתקני דפינה.
- עלות (בלאי) כלי חיתוך.
- עלות שעת מכונה, המורכבת מזמן עיבוד העובד וזמן ריקם (זמן ריקם = זמן דפינה, מהלכים ללא עיבוד, החלפת כלים, זמן בדיקה).
- עלות הכנת מתקני מדידה וביקורת.

**הזמן הכללי** הדרוש לייצור המוצר מורכב מכמה זמני לוואי, את חלקם ניתן לחשב באופן מדויק. סיכום של כלל הזמנים ביחד קובע את הזמן הדרוש לייצור המוצר, מתכננו עד שיווקו. אחד המרכיבים העיקריים הקובע את **מחירו** של המוצר הוא ללא ספק זמן הייצור, המתווסף לשאר העלויות.

בפרק זה נעסוק בזמן הייצור הישיר בפעולת העיבוד השבבי, בחריטה ובכרסום. דהיינו, הזמן שבמהלכו המוצר משנה את צורתו, עד קבלת המוצר המוגמר, בהתייחס לפעולת החיתוך בלבד, מבלי לקחת בחשבון את זמני הלוואי (זמן ריקם). כמו כן, נעסוק במציאת הזמן הכללי הדרוש לעיבוד מוצר.

#### הגדרות

**זמן ייצור ישיר** הוא הזמן הדרוש לכל פעולות השיבוב של העובד.

**זמן ייצור עקיף** הוא הזמן הדרוש לכל הפעולות שמלוות את פעולת העיבוד הישיר.

לדוגמה: הובלת החומר, הכנת המכונה, הידוק המוצר, מדידות, ניקוי וטיפול במכונה, חישובים והכנת מהלכי ייצור.

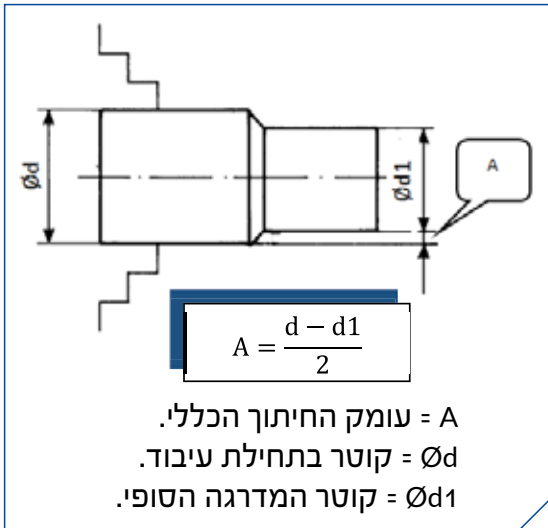
במכונות ממוחשבות CNC - הזמן הדרוש להכנת התוכנית (בתיב"ם או ידני).

זמן ייצור עקיף הוא משמעותי, ולעיתים עולה על הזמן הישיר. עם זאת, אינו ניתן למדידה ולחישוב מדויקים. לעומתו הזמן הישיר ניתן למדידה ולחישוב מדויקים, כיוון שמבוסס על נתונים ברי בדיקה.

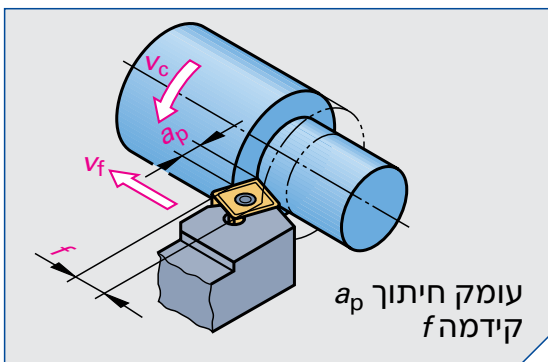
## 2.6.3 זמן ייצור בחריטה

### 2.6.3.1 הגורמים הקובעים את זמן החריטה הישיר

#### איור 2.6.1: חישוב עומק החיתוך



#### איור 2.6.2: נתוני העיבוד בחריטה



#### איור 2.6.3: אורך החריטה בחריטת אורך



#### • עומק החיתוך הכללי

עומק החיתוך הכללי הוא ההפרש בין הקוטר ההתחלתי ועד הקוטר הנדרש, חלקי 2. את הערך של עומק החיתוך הכללי מחשבים לפי הנוסחה באיור 2.6.1.

#### • ההיגש (עומק החיתוך) $a_p$

ההיגש (איור 2.6.2) מחולק להיגש בעיבוד גס והיגש בעיבוד גמר. **ההיגש בעיבוד גס** נקבע לפי טבלאות, ובהתייחס לקדמה במ"מ לסיבוב  $(V_{frev})$ , סוג החומר, סוג הכלי, הספק המכונה ונצילותה. **ההיגש לשלב הסופי** נקבע בהתחשב בטיב השטח הנדרש.

#### • קידמה במ"מ לסיבוב $(V_{frv})$

הקדמה המוגדרת באות "f" (איור 2.6.2), מתקבלת מטבלאות הכלים ומושפעת מסוג החומר המעובד, ממהירות החיתוך ומסוג העיבוד (גס או גמר).

#### • מהירות החיתוך

מהירות החיתוך (במטרים לדקה) המוגדרת באותיות "Vc", מתקבלת מטבלאות יצרן הכלים ומושפעת מסוג החומר המעובד, סוג הכלי המעבד וסוג העיבוד (גס או גמר).

#### • אורך החריטה

אורך החריטה כולל את תוספות המרחק מתחילת העיבוד עד המרחק בסיום העיבוד. מוגדר באות "L" ומחושב לפי הנוסחה באיור 2.6.3.

**בחריטה פדחתית (חריטת מצח) יש לחשב את האורך "L" כמתואר להלן**

**מצב א'**

במצב של חריטת מצח ללא קדח, החישוב לפי הנוסחה באיור 2.6.4.

**מצב ב'**

במצב של חריטת מצח עם קדח החישוב לפי הנוסחה באיור 2.6.5.

**חישוב זמן החריטה מתקבל מנוסחת המהירות**

$$V = \frac{L}{T} \begin{matrix} \text{דרך} \\ \text{מהירות} \\ \text{זמן} \end{matrix}$$

כאשר נשנה נושא בנוסחה למציאת זמן נקבל:

$$T = \frac{L}{V}$$

אורך השבב הכללי במ"מ שיש להוריד מחומר ←  
 אורך השבב במ"מ לדקה שמוסר מהחומר ←

**איור 2.6.5: אורך חריטת מצח במוצר עם קדח**

$$L = \frac{d - d1}{2} + la + lu$$

L = אורך החריטה.  
 d = קוטר המוצר.  
 d1 = קוטר הקדח.  
 la = מרחק לתחילת העיבוד.  
 lu = מרחק לסיום העיבוד.

**איור 2.6.4: אורך החריטה בחריטת מצח**

$$L = \frac{d}{2} + la$$

L = אורך החריטה.  
 d = קוטר המוצר.  
 la = מרחק לתחילת העיבוד.

**חישוב אורך השבב הכללי שיש להוריד מהעובד**

בחריטה, אורך השבב **בסיבוב אחד** שווה להיקף הגליל אותו אנו חורטים, מחושב בנוסחה  $(\pi \cdot d)$ . מכאן שאורך השבב במהלך אחד, שווה למספר ההיקפים הנמצאים לאורך החריטה, הכולל את התוספות (L). כדי להגיע מקוטר ראשוני לקוטר סופי, יש לבצע מספר שבבים לעומק (היגש) מוגדר (i), אותו נכפיל באורך השבב במהלך אחד, לפני הנוסחה באיור 2.6.6.

**חישוב אורך השבב שמוסר מהעובד במ"מ לדקה**

אורך השבב במ"מ לדקה מתקבל מהכפלת אורך השבב ( $V_c =$ מהירות החיתוך) בקדמה ( $V_{frev}$ ) לסיבוב.

אורך השבב במ"מ לדקה מחושב לפי הנוסחה באיור 2.6.7.

**איור 2.6.7: נוסחה לחישוב אורך השבב במ"מ לדקה**

$$V_c = \pi \cdot d \cdot S \cdot F_{rev}$$

$V_c =$  מהירות החיתוך במ"מ לדקה.\*  
 $\pi = 3.14$   
 $d =$  במ"מ = קוטר המוצר.  
 $S =$  סל"ד העובד.  
 $F_{rev} =$  קידמה במ"מ לסיבוב.  
 \* שימו לב שלא חילקנו את ה  $V_c$  ב-1000 ולכן התוצאה היא במ"מ לדקה.

**איור 2.6.6: נוסחה לחישוב אורך השבב הכללי**

$$\text{אורך השבב הכולל} = \pi \cdot d \cdot L \cdot i$$

$\pi = 3.14$   
 $d =$  במ"מ = קוטר המוצר.  
 $L =$  במ"מ = אורך החריטה כולל התוספות.  
 $i =$  מספר המעברים (השבבים).

**חישוב זמן חריטה T**

קיבלנו 2 נוסחאות:

**נוסחה א'** (איור 2.6.6) מחשבת את האורך הכללי.

**נוסחה ב'** (איור 2.6.7) מחשבת את המהירות.

בהתייחס לנוסחת המהירות  $T = \frac{L}{V}$ , נציב במקום  $L$  את הנוסחה א' (איור 2.6.6) ובמקום המהירות  $V$  את הנוסחה ב' (איור 2.6.7).

נוסחה א' -  $\pi \cdot d \cdot L \cdot i =$  אורך השבב הכללי.

נוסחה ב' -  $V_c = \pi \cdot d \cdot S \cdot F$ .

$$T = \frac{\pi \cdot d \cdot L \cdot i}{\pi \cdot d \cdot S \cdot F} = \frac{L \cdot i}{S \cdot F}$$

מכאן הנוסחה לחישוב זמן חריטה באיור 2.6.8.

**איור 2.6.8: נוסחה לחישוב זמן חריטה**

$$T = \frac{L}{S \cdot F} \cdot i$$

$T =$  זמן חריטה בדקות.  
 $S =$  סל"ד העובד (הכוש).  
 $F =$  קידמה במ"מ לסיבוב.  
 $i =$  מספר המעברים.

**הערה:** מספר המעברים מתייחס למספר השבבים המוסרים בתנאי עבודה שווים, כלומר אותה הקדמה ואותם הסיבובים. אם נתונים אלה משתנים יש לחשב כל שינוי באופן נפרד ולחבר.

**איור 2.6.9: דוגמת חישוב זמן חריטה**

**חישוב הסל"ד:**

$$S = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot d} = \frac{60 \cdot 1000}{3.14 \cdot 36} = 530 \text{ rpm}$$

**קביעת האורך L:**  
נוסיף 4 מ"מ לצורך כניסה ויציאה ונקבל את האורך של: 104 מ"מ

**חישוב זמן החריטה:**

$$T = \frac{L}{S \cdot F} \cdot i = \frac{104}{530 \cdot 0.4} \times 4 = 1.96 \text{ דקות}$$

**2.6.3.2 דוגמאות לחישוב זמן ייצור בחריטה**

- יש לחשב זמן חריטה של עובד בנתונים הבאים:
    - מספר מעברים (שבבים) = 4
    - קוטר העובד  $\varnothing 36$  מ"מ  $D =$
    - מהירות החיתוך 60 מטר לדקה  $V_c =$
    - קידמה במ"מ לסיבוב  $F_{rev} = 0.4$
- פתרון באיור 2.6.9.

- יש לחשב את הזמן הדרוש לחריטה פדחתית של המוצר המתואר באיור 2.6.10. נתוני העיבוד נקבעו כמפורט להלן:
    - מספר מעברים (שבבים) = 2
    - מהירות החיתוך 100 מטר לדקה  $V_c =$
    - קידמה במ"מ לסיבוב  $F_{rev} = 0.1$
- פתרון באיור 2.6.11

**איור 2.6.11: פתרון חישוב זמן חריטה במצח באיור 2.6.10**

**חישוב הסל"ד:**

$$S = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot d} = \frac{100 \cdot 1000}{3.14 \cdot 80} = 397.8 \text{ rpm}$$

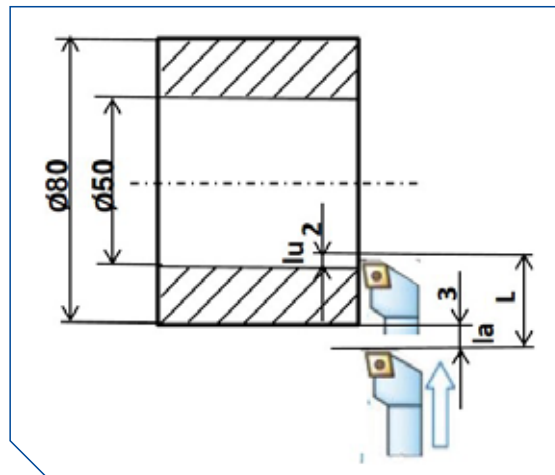
**קביעת האורך L:**

$$L = \frac{d - d_1}{2} + l_a + l_u = \frac{80 - 50}{2} + 3 + 2 = 20$$

**חישוב זמן החריטה:**

$$T = \frac{L}{S \cdot F} \cdot i = \frac{20}{397.8 \cdot 0.1} \times 2 = 1 \text{ דקה}$$

**איור 2.6.10: דוגמת חישוב זמן חריטה במצח**



**הערה:** בחישוב הסל"ד מובא בחשבון הקוטר הגדול של המוצר (המקסימלי), במקרה הנתון  $\varnothing 80$  מ"מ. לצורך חישוב הסל"ד, כיוון שאנו חורטים על מצח העובד, ככל שהקוטר קטן ניתן תיאורטית להגדיל את הסל"ד, דבר שאי אפשר לעשות במחרטה קונבנציונאלית. במחרטת CNC נעבוד במהירות חיתוך קבועה, ואז המחשב ישנה את הסל"ד ויתאים אותו לקוטר המוצר ולמהירות החיתוך שבחרנו. במחרטה קונבנציונלית יש לקבוע סל"ד ממוצע.

**דוגמה**

חשבו את זמן החריטה של המוצר המתואר באיור 2.6.12.  
נתוני העיבוד נקבעו כמפורט להלן:

**נתונים לעיבוד גס**

- עובי השבב בעיבוד גס = 2.5 מ"מ =  $a_p$
- מהירות החיתוך 85 מטר לדקה =  $V_c$
- קידמה במ"מ לסיבוב 0.5 =  $F_{rev}$

**נתונים לעיבוד גמר**

- עובי השבב בעיבוד גס = 0.5 מ"מ =  $a_p$
- מהירות החיתוך 110 מטר לדקה =  $V_c$
- קידמה במ"מ לסיבוב 0.1 =  $F_{rev}$

פתרון באיור 2.6.13

**איור 2.6.13: פתרון חישוב זמן חריטה**  
**איור 2.6.12**

**איור 2.6.12: דוגמת חישוב**  
**זמן חריטה**

**חישוב הסל"ד לעיבוד גס**

$$S = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot d} = \frac{85 \cdot 1000}{3.14 \cdot 60} = 450 \text{ rpm}$$

**חישוב הסל"ד לעיבוד גמר**

$$S = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot d} = \frac{110 \cdot 1000}{3.14 \cdot 50} = 700 \text{ r.p.m}$$

**חישוב מספר המעברים בעיבוד גס**

העומק הכללי מ"מ =  $A = \frac{d - d_1}{2} = \frac{60 - 50}{2} = 5$

מספר המעברים  $i = \frac{A}{a} = \frac{5}{2.5} = 2$

**חישוב זמן החריטה לעיבוד גס**

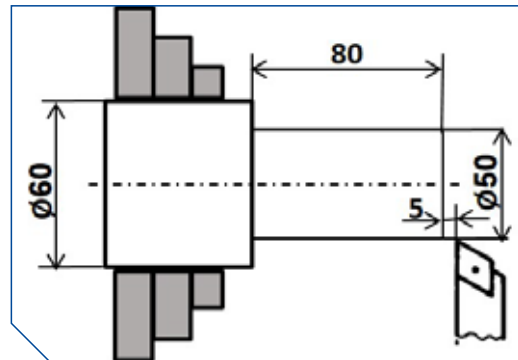
דקות  $T = \frac{L}{S \cdot F} \times i = \frac{85}{450 \cdot 0.5} \cdot 2 = 0.75$

**חישוב זמן החריטה לעיבוד גמר**

דקות  $T = \frac{85}{700 \cdot 0.1} \times 1 = 1.21$

**חישוב זמן החריטה לעיבוד גס וגמר**

$T = T_{\text{גס}} + T_{\text{גמר}} = 0.75 + 1.21 = 1.96$  כללי



## 2.6.4 זמן ייצור בכרסום

### 2.6.4.1 זמן ייצור ישיר בכרסום

זמן ייצור ישיר בכרסום הוא הזמן הדרוש לפעילות החיתוך בלבד.

#### איור 2.6.14: נוסחה לחישוב זמן ישיר בכרסום

$$t = \frac{L}{v_f} \cdot i$$

$t$  = זמן ייצור ישיר בדקות (min).  
 $L$  = מהלך הכרסום והתוספות במ"מ (הסבר בהמשך).  
 $v_f$  = קידמת השולחן במ"מ לדקה (mm/min).  
 $i$  = מספר המעברים המוסרים בתנאי עיבוד זהים.

הגורמים הקובעים זמן זה:

- אורך דרך הכרסום.
- מהירות קידמת השולחן.
- מספר המעברים (שבבים) לעיבוד שטח לרוחב ולעומק.

את זמן הייצור הישיר בכרסום (בדקות) נחשב בנוסחה באיור 2.6.14.  
 $L$  = אורך יציאה בעיבוד גמר

#### מהלך הכרסום

הדרך שעל הכרסום לעבור לשם גמר פעולת כרסום אחת, כוללת גם אורך מעבר של הכרסום משני צדי העובד.

#### אורך המעבר תלוי בגורמים הבאים

- עובי השבב (היגש): עומק שבב קטן/עומק שבב גדול.
- סוג העיבוד: גס/עדין.
- טיב השטח הדרוש: גס/עדין.
- סוג הכרסום: כרסום גלילי/כרסום מצח/כרסום קנה.

### 2.6.4.2 דוגמאות לחישוב מהלך הכרסום

להלן חישובים לקביעת מהלך הכרסום בעיבוד בסוגי כרסומים שונים. מהלך זה יכול להיות משמעותי לזמן העיבוד, כשמדובר בכמות גדולה של חלקים.

#### כרסום בכרסום גלילי

באיור 2.6.15 מתואר כרסום בעזרת כרסום גלילי.

אורך מהלך הכרסום  $L$  תלוי בכמה גורמים:

- אורך המוצר:  $l$
- קוטר הכרסום:  $\varnothing d$
- ההיגש:  $a_e$

התמקמות הכרסום הגלילי לפני חומר הגלם תלויה בקוטר הכרסום. ההתמקמות תהיה תמיד מחוץ לחומר הגלם.

ככל שקוטר הכרסום גדול, יש להציב את הכרסום בתחילת העיבוד רחוק יותר מחומר הגלם, ונוסיף מרחק ביטחון נוסף של מ"מ בודדים. גם בסיום העיבוד נידרש להוצאת הכרסום אל מחוץ לעובד (איור 2.6.15).

כדי למצוא את מהלך הכרסום נשתמש בנוסחאות באיור 2.6.16.

**חישוב מהלך  $l_s$  בכרסום גלילי (איור 2.6.15)**

בנוסחה א' שבאיור 2.6.16 הערכים של "a" ו-"u" הם קטנים (כ-2-5 מ"מ), המוספים למהלך הכללי למטרת כניסה ויציאה של הכרסום בתחילת העיבוד ובגמר העיבוד. המידה "l<sub>s</sub>" בנוסחה א' מושפעת מקוטר הכרסום, ויש לחשב אותה על פי הנוסחה ב' באיור 2.6.16. הנוסחה מתקבלת מחישוב המידה "l<sub>s</sub>" על בסיס משפט פיתגורס, במשולש המתואר כפרט "A" באיור 2.6.15.

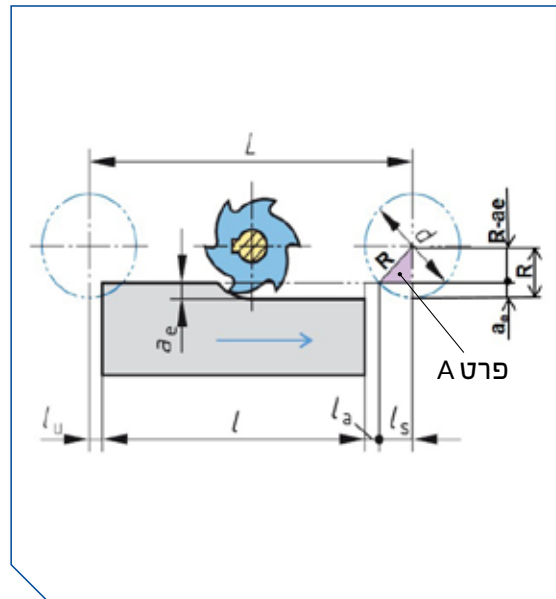
היתר במשולש = רדיוס הכרסום "R", הניצבים: "R-ae", "l<sub>s</sub>".

**איור 2.6.16: חישוב מהלך בכרסום בכרסום גלילי**

$L = l_u + l + l_a + l_s$	נוסחה א
משפט פיתגורס (פרט A)	
$R^2 = l_s^2 + (R - ae)^2$	נוסחה ב
$l_s = \sqrt{R^2 - (R - ae)^2}$	

L = מהלך הכרסום הכללי.  
 ae = היגש.  
 R = רדיוס הכרסום.  
 l<sub>u</sub>/l<sub>a</sub> = תוספת כניסה ויציאת הכרסום מאזור החיתוך.  
 l = אורך המוצר.  
 l<sub>s</sub> = מרחק התמקמות הכרסום לפני תחילת העיבוד.

**איור 2.6.15: מהלך כרסום בכרסום גלילי**



**איור 2.6.17: תרגיל חישוב מהלך כרסום בכרסום גלילי**

חישוב l<sub>s</sub>:  $l_s = \sqrt{R^2 - (R - ae)^2}$

$l_s = \sqrt{40^2 - (40 - 12)^2} = \sqrt{816} = 28.57$  מ"מ

11 ו- 12 נקבעו ל- 2 מ"מ כל אחד

חישוב L:  $L = l_u + l + l_a + l_s$

$L = 2 + 120 + 2 + 28.57 = 152.57$  מ"מ

דוגמה לחישוב מהלך הכרסום בכרסום גלילי נתון כרסום גלילי בקוטר 80 מ"מ (d) ועובי השבב (ap) 12 מ"מ. יש צורך לעבד מוצר שאורכו 120 מ"מ. חשבו תחילה את "l<sub>s</sub>" ומצאו את מהלך הכרסום הכולל.

פתרון באיור 2.6.17.

**כרסום בכרסום מצח**

באיור 2.6.18 מתואר כרסום, באמצעות כרסום מצח.

אורך מהלך הכרסום נקבע לפי סוג העיבוד, גס או עיבוד גמר, ותלוי בגורמים הבאים:

- אורך המוצר: l
- קוטר הכרסום: d
- רוחב הכרסום: ae

בעיבוד בכרסום מצח, בתחילת העיבוד נציב את הכרסום מרוחק מהעובד בערך של רדיוס הכרסום, ותוספת מרחק ביטחון של כמה מ"מ בודדים. גם ביציאת הכרסום נרחיק את הכרסום מהשטח המעובד בכל היקפו.

במקרה זה הערך של "L" יהיה שווה בגודלו לאורך המוצר l, בתוספת של קוטר הכלי "Ød". לכך מוסיפים את הערכים של lu + la. קביעת אורך בדרך זו מבטיחה יציאת כל הכרסום מפני השטח המעובד.

כדי למצוא את מהלך הכרסום נשתמש בנוסחה א' באיור 2.6.19.

את הערך "ls" מחשבים בנוסחה ב' באיור 2.6.19 כשמצב הכלי נמצא בדיוק בפניה של העובד, ואז בשימוש במשפט פיתגורס מתקבלת הנוסחה ב'.

**איור 2.6.19: חישוב מהלך כרסום בכרסום מצח**

$L1 = lu + l + la + R - ls$

נוסחה  
א

$L2 = lu + l + la + 2R$

נוסחה  
ב

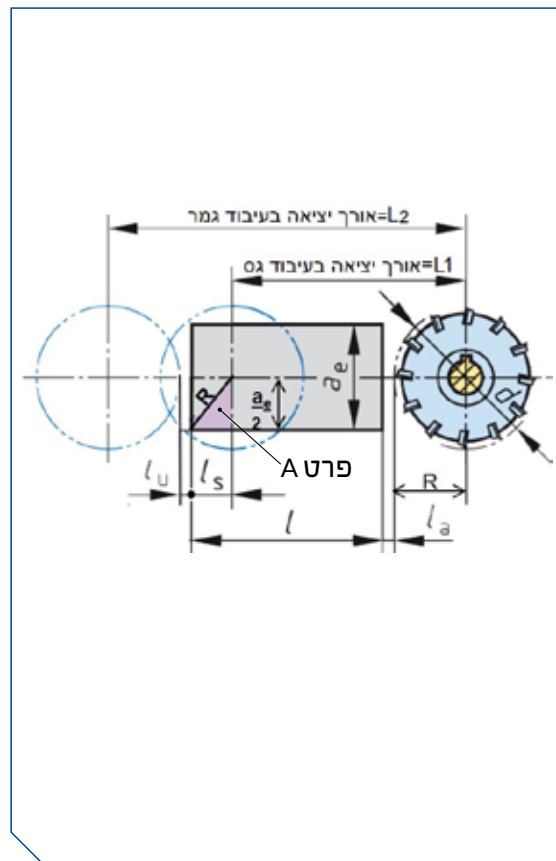
משפט פיתגורס (פרט A)

$R^2 = ls^2 + \left(\frac{ae}{2}\right)^2$

$ls = \sqrt{R^2 - \left(\frac{ae}{2}\right)^2}$

L1 = מהלך מחושב למהלך הכרסום בעיבוד גס  
 L2 = מהלך מחושב למהלך הכרסום בעיבוד גמר  
 lu = תוספת מרחק ליציאת הכרסום מהעובד בסוף העיבוד  
 l = אורך העובד  
 la = תוספת מרחק התמקמות הכרסום לפני בתחילת העיבוד  
 R = רדיוס הכרסום  
 ls = מרחק מחושב ליציאת הכרסום בעיבוד גס  
 ae = הרוחב המכורסם

**איור 2.6.18: מהלך כרסום בכרסום מצח**



**איור 2.6.20: תרגיל חישוב מהלך כרסום בכרסום מצח**

נוסחה: 
$$l_s = \sqrt{R^2 - \left(\frac{ae}{2}\right)^2}$$

חישוב  $l_s$ : 
$$l_s = \sqrt{25^2 - \left(\frac{30}{2}\right)^2} = \sqrt{400} = 20 \text{ מ"מ}$$

נוסחה: 
$$L1 = l_u + l + l_a + R - l_s$$

חישוב  $L1$ : 
$$L1 = 4 + 85 + 4 + 25 - 20 = 98 \text{ מ"מ}$$

**דוגמה לחישוב מהלך הכרסום בכרסום מצח**

נתון כרסום מצח בקוטר  $\varnothing 50$  מ"מ (d).  
 רוחב השטח המעובד 30 מ"מ (ae) ואורכו 85 מ"מ (l).  
 חשבו תחילה את "ls", בחרו מרחקי כניסה ויציאה וחשבו את מהלך הכרסום הכולל לעיבוד גס (L1).  
 הפתרון באיור 2.6.20.  
 הערה: חישוב מהלך לעיבוד גמר (L2) הינו אחר.

**כרסום חריץ סגור בכרסום קנה**

באיור 2.6.21 מתואר כרסום חריץ סגור בכרסום קנה (אצבע).

אורך מהלך הכרסום (L) תלוי בשני גורמים:

- אורך החריץ: l
- קוטר הכרסום: d

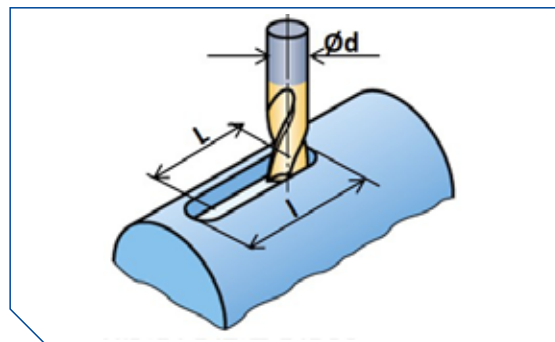
כדי למצוא את מהלך הכרסום נשתמש בנוסחה שבאיור 2.6.22.

**איור 2.6.22: חישוב מהלך כרסום חריץ סגור**

$$L = l - d$$

L = מהלך הכרסום הכללי.  
 l = אורך החריץ.  
 d = קוטר הכרסום.

**איור 2.6.21: כרסום חריץ סגור בכרסום קנה**



**איור 2.6.23: תרגיל חישוב מהלך כרסום בכרסום חריץ סגור**

**חישוב L:**

$$L = l - d$$

$$L = 65 - 10 = 55$$

**דוגמה לחישוב מהלך הכרסום בכרסום קנה**

נתון כרסום קנה בקוטר 10 מ"מ (d), יש לכרסם חריץ סגור באורך של 65 מ"מ (l). חשבו את מהלך הכרסום (L). פתרון באיור 2.6.23.

**המעברים i בכרסום**

כדי להגיע לצורה ולמידות הדרושות של המוצר, יש צורך בדרך כלל להסיר כמה שבבים לרוחב ולעומק המבוצעים באותם תנאי שיבוב.

- כמות המעברים (i) שיש צורך להסיר עד לסיום העיבוד, תלויה בעיבוד לרוחב ובעיבוד לעומק.
- עיבוד לרוחב תלוי בשני מצבים -
- רוחב העיבוד קטן או שווה לרוחב הכרסום.
- רוחב העיבוד גדול מרוחב הכרסום.

עיבוד לעומק תלוי במספר השכבות שיש להסיר עד שמגיעים למידה הסופית. נתונים של גודל השבב בכרסום מתקבלים מחישוב (ראו תנאי שיבוב בכרסום, פרק 2.1) המושפע מסוג החומר המעובד, סוג הכלי, סוג העיבוד והספק המכונה.

### חישוב מספר המעברים i

את כמות המעברים קובעים לפי מידות המוצר, מידות הכרסום ותנאי השיבוב. כאשר במקרה בו רוחב הכרסום קטן מרוחב השטח המעובד (B < b) (איור 2.6.24), יש צורך לבצע כמה מעברים לרוחב. אם צריך להסיר עובי חומר "A" (איור 2.6.24), שלא ניתן להסירו בפעם אחת, יש לבצע את המעברים לעומק כמה פעמים. את כמות המעברים הדרושה לעיבוד שטח לרוחב ולעומק, מחשבים בעזרת הנוסחה ב' באיור 2.6.25.

**איור 2.6.25: נוסחאות מעברי הכרסום בעיבוד שטח**

$K = \frac{A}{ae}$

נוסחה א

$i = \frac{B}{b} \cdot K$

נוסחה ב

K = מספר השבבים הדרושים לכרסום של כל העומק.

A = עומק כללי שיש להסיר עד למידה הסופית.

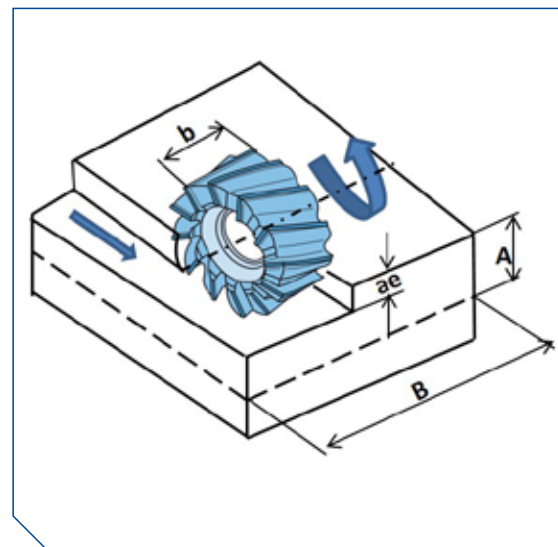
ae = היגש (עומק השבב בכל שלב).

i = מספר המעברים הכללי.

B = רוחב השטח המעובד במ"מ.

b = רוחב השטח המכורסם בפעם אחת במ"מ.

**איור 2.6.24: מעברי הכרסום בעיבוד שטח**



**הערה:** יש לחשב תחילה את כמות המעברים הנדרשת לעיבוד לרוחב.

"B" = רוחב המשטח המעובד ו-"b" = רוחב הכרסום (איור 2.6.24).

כאשר תוצאת החישוב אינה מספר שלם יש לעגל תמיד למעלה. לדוגמה, כאשר התוצאה שהתקבלה היא 8.2 יש להציב בנוסחה את ה-i כמספר 9. כמו כן כאשר  $b \geq B$  אזי  $i=K$ .

**חישוב ה- "א" (מספר המעברים הנדרש לעומק)**

את הערך של "א" קובעים לפי נתוני השיבוב, ולפי העומק הכללי הדרוש, עד קבלת המידה הדרושה. חישוב "א" נעשה לפי הנוסחה א' באיור 2.6.25. את מספר המעברים הדרוש לעיבוד שטח לרוחב ולעומק מחשבים בעזרת הנוסחה ב' באיור 2.6.25.

**איור 2.6.26: חישוב K וחישוב i**

חישוב K (מספר מעברים לעומק):  

$$K = \frac{A}{ae} = \frac{7}{2} = 3.5$$
 ה-K ייקבע ל-4

חישוב i:  

$$i = \frac{B}{b} \cdot K$$

חישוב מספר מעברים לרוחב:  $\frac{B}{b} = \frac{60}{16} = 3.75$   
 נעגל את מספר המעברים לרוחב ל-4

נחשב את i ונקבל:  $i = 4 \cdot 4 = 16$

**דוגמאות לחישוב K ו-i**

נתון מוצר שהרוחב הנדרש לכרסומו הוא 60 מ"מ (B). מכרסמים את המוצר בעזרת כרסום שרוחבו 16 מ"מ (b). העומק הכללי שיש להסיר הוא 7 מ"מ (A), וההיגש שנקבע הוא 2 מ"מ (ae). מצאו את מספר המעברים (i) למקרה זה. פתרון באיור 2.6.26.

מספר המעברים שיידרשו יהיה שישה עשר. 4 מעברים לרוחב בכל פעם ו-4 מעברים לעומק.

**2.6.4.3 דוגמאות לחישוב זמן ייצור**

**בכרסום**

**דוגמה לחישוב זמן כרסום בכרסום גלילי**

חשבו את הזמן (T) הדרוש לכרסום בכרסום גלילי בקוטר 80 מ"מ (d), עבור מוצר שאורכו 300 מ"מ (l), רוחבו 200 מ"מ (B), ועומק הכרסום הכללי 12 מ"מ (A). רוחב הכרסום 40 מ"מ (b) וההיגש הוא 6 מ"מ (ae), קידמת השולחן נקבעה ל-50 מ"מ לדקה (vf). פתרון באיור 2.6.27.

**דוגמה לחישוב זמן כרסום בכרסום מצח**

חשבו את הזמן הדרוש לכרסום בכרסום מצח בעיבוד גמר (הכרסום יוצא מהחומר) בקוטר 120 מ"מ (d), מוצר שאורכו 260 מ"מ (l) ורוחבו 80 מ"מ (B). על ביצוע העיבוד להיות בשבב אחד לעומק. הכרסום מכסה את כל שטח העיבוד (b=B) וקידמת השולחן נקבעה ל-60 מ"מ לדקה (vf). פתרון באיור 2.6.28.

איור 2.6.27: חישוב זמן כרסום בכרסום גלילי

**חישוב k:**  

$$K = \frac{A}{ae} = \frac{12}{6} = 2$$
 ה - K ייקבע - 2

**חישוב i:**  

$$i = \frac{B}{b} \cdot K = \frac{200}{40} \cdot 2 = 10$$

**חישוב מהלך הכרסום L**  
 l1 - l2 נקבעו ל - 3 מ"מ כל אחד

**חישוב ls:**  

$$ls = \sqrt{R^2 - (R - ae)^2}$$

$$ls = \sqrt{40^2 - (40 - 6)^2} = \sqrt{444} = 21.07 \text{ מ"מ}$$

**חישוב L:**  

$$L = lu + l + la + ls$$

$$L = 3 + 300 + 3 + 21 = 327 \text{ מ"מ}$$

**חישוב זמן הכרסום t**  
 דקות 
$$t = \frac{L}{F} \cdot i = \frac{327}{50} \cdot 10 = 65.4$$

איור 2.6.28: חישוב זמן כרסום בכרסום מצח

**מספר המעברים i = 1**  
 קוטר הכרסום גדול מרוחב הכירסום ונתון שביצוע הכירסום בשבב אחד לעומק.  
 חישוב אורך העיבוד מתייחס לעיבוד גמר כאשר נדרשת יציאת כל הכרסום מהעובד.

**חישוב מהלך הכרסום:**  
 l1 - l2 נקבעו ל - 2.5 מ"מ כל אחד

**חישוב L:**  

$$L2 = lu + l + la + 2R$$

$$L2 = 2.5 + 260 + 2.5 + 120 = 385$$

**חישוב זמן הכרסום t**  
 דקות 
$$t = \frac{L2}{F} \cdot i = \frac{385}{60} \cdot 1 = 6.42$$

דוגמה לחישוב זמן כרסום חריץ בכרסום קנה

חשבו את הזמן הדרוש לכרסם חריץ סגור שאורכו 60 מ"מ (l), בכרסום קנה שקוטרו 10 מ"מ (D), עומק החריץ 15 מ"מ וההיגש בכל שבב 3 מ"מ (ae). קידמת השולחן 40 מ"מ לדקה (vf). פתרון באיור 2.6.29.

2.6.5 חישוב זמן כללי לעיבוד

כאמור, כדי לקבל את הזמן הכללי של ייצור מוצר, יש צורך להוסיף לזמן העיבוד השבבי את גורמי הזמן הנוספים, שקשורים ישירות לתהליך הייצור. כל הזמנים שיתווספו יהיו בדקות.

את גורמי הזמן בעיבוד ניתן לחלק לשתי קבוצות

- זמן כללי המוקדש לפעולות נוספות עבור חלק בודד או סדרה של מוצרים.
- זמן הכרוך בייצור של יחידה אחת.

איור 2.6.29: חישוב זמן כרסום חריץ בכרסום קנה

**מספר המעברים**  
 כיוון שהביצוע של החריץ הוא רק לעומק, ה - K = 1  
 ה - K ייקבע - 5

$$K = \frac{A}{ae} = \frac{15}{3} = 5$$

**חישוב מהלך הכרסום**  
 מ"מ 
$$L = l - d = 60 - 10 = 50$$

**חישוב זמן הכרסום t**  
 דקות 
$$t = \frac{L}{Vf} \cdot i = \frac{50}{40} \cdot 5 = 6.25$$

**איור 2.6.30: נוסחה לחישוב פעולות נוספות**

$$t1 = \frac{t2}{X}$$

$t1$  = זמן לפעולות נוספות עבור חלק אחד.  
 $t2$  = סה"כ זמן לפעולות נוספות עבור כל הסדרה.  
 $X$  = כמות החלקים בסדרה.

**איור 2.6.31: נוסחה לחישוב זמן כולל**

$$T = t1 + t$$

$T$  = זמן כולל עבור ייצור חלק אחד.  
 $t1$  = זמן לפעולות נוספות עבור חלק אחד (איור 2.6.30).  
 $t$  = זמן העיבוד עבור חלק אחד.

**זמן כללי המוקדש לפעולות נוספות -  $t2$**

זמן זה מורכב מביצוע הפעולות הבאות:

- הזמן הדרוש להכנת תהליך הייצור (התהליך הטכנולוגי), הכולל חישובים. במכונות ממוחשבות הכנת תוכנית התיב"ם לייצור המוצר.
- הזמן הדרוש להכנת מקום העבודה: הכנת הכלים, מדידים, מתקני דפינה, חומר גלם וכדומה.
- הזמן הדרוש לכוון את המכונה, ובמקרים של סדרת חלקים, ייצור מוצר עד קבלת המוצר לפי הדרישות.

את הזמן היחסי שהושקע עבור ייצור חלק אחד (של הפעולות הנוספות) מחשבים בנוסחה באיור 2.6.30.

**זמן הכרוך בייצור יחידה אחת**

בזמן זה מביאים בחשבון את המרכיבים הבאים:

- זמן העיבוד השבבי שחושב עבור חלק אחד ( $t$ ).
- זמן של תנועות סרק (תנועות ללא עיבוד).

• זמן לעבודות עזר הדרושות לעיבוד חלק אחד: דפינת העובד, מדידה, הפעלה ועצירת המכונה, החלפת כלים.

• הזמן היחסי של הפעולות הנוספות  $t1$ , שחושב בנוסחה שבאיור 2.6.30.

את חישוב הזמן עבור ייצור של חלק אחד מחשבים לפי הנוסחה שבאיור 2.6.31.

**2.6.5 סיכום**

יש חשיבות רבה לקביעת זמן הייצור של המוצר על מנת לקבוע את עלות המוצר, שכר הפועלים, נורמות הייצור והפרמיות לפועל.

אפשר לצמצם את זמן הייצור על ידי הקטנת הזמנים שאינם קשורים בזמן הדרוש להסרת השבבים. זמן זה מוגדר כ"זמן ריקם": דפינת המוצר, החלפת כלים, מדידה, ניקיון.

כדי לדעת את מחירו של מוצר, יש לחשב את זמן ייצורו כחלק עיקרי ממרכיב העלות. זמן זה מוכפל בעלות של ערך שעת עבודה של המכונה, בהתאמה לסוג המכונה. זמן זה מושפע ממהירות החיתוך, מהנתונים הטכניים של המכונה, מדיוק העיבוד וממרחק השטח הנדרש. במערכות תיב"ם, זמן ייצור הכולל את תנועות העיבוד ומהלכי סרק מתקבל על ידי המחשב.

היצרן מנתח את הצירוף היעיל ביותר, שיבטיח ייצור של המוצר בזמן מינימלי, ובכך להקטין את עלויות הייצור.

### ספרים

בוקעי, א. ורול, מ. (1998). **תהליכי ייצור**. תל אביב: **מאה** © המחלקה לפיתוח פדגוגי-טכנולוגי, האגף להכשרה מקצועית ופיתוח כוח אדם, משרד העבודה והרווחה.

הרטמן, א. ורול, מ. (1982). **תכנון פרקי מכונות-יחידה 1**. תל אביב: **מאה** © המחלקה לפיתוח פדגוגי-טכנולוגי, האגף להכשרה מקצועית ופיתוח כוח אדם, משרד העבודה והרווחה.

הרטמן, א. ורול, מ. (1983). **תכנון פרקי מכונות-יחידה 2**. תל אביב: **מאה** © המחלקה לפיתוח פדגוגי-טכנולוגי, האגף להכשרה מקצועית ופיתוח כוח אדם, משרד העבודה והרווחה.

הרטמן, א. ורול, מ. (1982). **תכנון פרקי מכונות-יחידה 3**. תל אביב: **מאה** © המחלקה לפיתוח פדגוגי-טכנולוגי, האגף להכשרה מקצועית ופיתוח כוח אדם, משרד העבודה והרווחה.

הרטמן, א. ורול, מ. (1983). **תכנון פרקי מכונות-יחידה 4**. תל אביב: **מאה** © המחלקה לפיתוח פדגוגי-טכנולוגי, האגף להכשרה מקצועית ופיתוח כוח אדם, משרד העבודה והרווחה.

הרטמן, א. ורול, מ. (1984). **תכנון פרקי מכונות-יחידה 5**. תל אביב: **מאה** © המחלקה לפיתוח פדגוגי-טכנולוגי, האגף להכשרה מקצועית ופיתוח כוח אדם, משרד העבודה והרווחה.

טל, ב. (2017). **תורת מקצועות המתכת (מהד' 1)**. זכרון יעקב: רשת חינוך-תעשיות בית-אל בע"מ.

כהן, י. וקימלמן, א. (1962). **טכנולוגיה של המתכת א, ב, ג**. תל אביב: **מאה** © המחלקה לפיתוח פדגוגי-טכנולוגי, האגף להכשרה מקצועית ופיתוח כוח אדם, משרד העבודה והרווחה.

כץ, ד. (1975). **עיבוד שבבי כרסום**. תל אביב: **מאה** © המחלקה לפיתוח פדגוגי-טכנולוגי, האגף להכשרה מקצועית ופיתוח כוח אדם, משרד העבודה והרווחה.

מרקוביץ, מ. (2001). **כרסום קונבנציונאלי, חוברת תרגילים**. תל אביב: **מאה** © המחלקה לפיתוח פדגוגי-טכנולוגי, האגף להכשרה מקצועית ופיתוח כוח אדם, משרד העבודה והרווחה.

פלוריה, י. (1980). **פעולות כרסום שלב א'**. תל אביב: **מאה** © המחלקה לפיתוח פדגוגי-טכנולוגי, האגף להכשרה מקצועית ופיתוח כוח אדם, משרד העבודה והרווחה.

פלוריה, י. (1980). **פעולות חריטה שלב א'**. תל אביב: **מאה** © המחלקה לפיתוח פדגוגי-טכנולוגי, האגף להכשרה מקצועית ופיתוח כוח אדם, משרד העבודה והרווחה.

פלוריה, י. (1982). **עיבוד שבבי שלב א'**. תל אביב: מאה © המחלקה לפיתוח פדגוגי-טכנולוגי, האגף להכשרה מקצועית ופיתוח כוח אדם, משרד העבודה והרווחה.

פלוריה, י. (1982). **רכיבים לדפינה בכרסום שלב א'**. תל אביב: מאה © המחלקה לפיתוח פדגוגי-טכנולוגי, האגף להכשרה מקצועית ופיתוח כוח אדם, משרד העבודה והרווחה.

פלוריה, י. (1984). **קידוח, שיקוע וקידוד**. תל אביב: מאה © המחלקה לפיתוח פדגוגי-טכנולוגי, האגף להכשרה מקצועית ופיתוח כוח אדם, משרד העבודה והרווחה.

Bergner, O., Dambacher, M., Frömmer, G., Gresens, T., Lohr, J. Kretzschmar, R., & Wieneke, F. (2009). **Metalltechnik-Zerspantechnik**. Haan-Gruiten, Germany: Europa-Lehrmittel.

Paetzold, H. & Grotz, M. (2015). **Metalltechnik CNC-Technik in der Aus- und Weiterbildung**. Haan-Gruiten, Germany: Europa-Lehrmittel.

## איורים, תרשימים וטבלאות

כל האיורים, הטבלאות והתרשימים בספר זה הוכנו על ידי **מוטי מרקוביץ** למעט:

### הספר "תורת מקצועות המתכת"

2.1.70-2.1.68, 2.1.66, 2.1.54, 2.1.52, 2.1.51, 2.1.46, 2.1.43, 2.1.42, 2.1.35, 2.1.20, 2.1.19, 2.1.7-2.1.4  
 2.1.77, טבלה 2.1.1, 2.2.1, -2.2.7, 2.2.9, 2.2.13, 2.2.14, 2.2.15, 2.2.16, 2.2.21, 2.2.22, 2.2.25, 2.2.27,  
 2.2.33, -2.2.34, 2.2.35, 2.2.39, 2.2.41, 2.2.43, 2.2.45, 2.2.47, 2.2.49, 2.2.58, 2.3.1, 2.3.4, 2.3.6,  
 - 2.3.15, 2.3.22, 2.3.24, 2.3.30, 2.3.29, 2.3.43, 2.3.61, 2.3.72, 2.3.75, 2.3.78, 2.3.80, 2.3.82 -  
 ,2.4.1, 2.3.87  
 .2.6.2, 2.5.6, 2.5.5, 2.4.15 - 2.4.12, 2.4.6-2.4.3

### מאגר תמונות ISTOCK

2.1.3, קרדיט: Viacheslav Chernobrovin  
 2.1.47, קרדיט: Liuhsihsiang  
 2.3.5, קרדיט: Phuchit  
 2.3.16, קרדיט: FedotovAnatoly  
 2.3.17, קרדיט: Ladislav Kubeš  
 2.3.25, קרדיט: Nordroden  
 2.3.37, קרדיט: Ladislav Kubeš  
 2.3.44, קרדיט: zhanglianxun

curraheeshutter : קרדיט: 2.3.77 , 2.3.45

Traimak\_Ivan : קרדיט: 2.5.3

Uwe Moser : קרדיט: 2.5.4

### **הספר "טכנולוגיה של המתכת"**

.2.6.24 , 2.3.50 , 2.3.38 , 2.3.27 , 2.3.26 , 2.3.21-2.3.18 , 2.1.45-2.1.44 , 2.1.13

### **הספר "תהליכי ייצור"**

.2.5.2 טבלה , 2.4.11 , 2.4.10 , 2.4.8

קטלוג חברת ישקר 2017

, 2.1.21 טבלה , 2.1.17 טבלה , 2.1.16 טבלה , 2.1.11 טבלה , 2.1.5 טבלה , 2.1.3 טבלה , 2.1.50-2.1.48

.2.4.9 , 2.3.5 טבלה , 2.3.32 , 2.3.31 , 2.2.20-2.2.17 , 2.1.24 טבלה

### **הספר "Metalltechnik-Zerspantechnik"**

.2.5.47-2.5.45

### **הספר "Metalltechnik CNC-Technik in der Aus- und Weiterbildung"**

.2.6.11-2.6.5 , 2.3.65-2.3.62 , 2.1.29

\*לפרטים המלאים לגבי הספרים הנזכרים ברשימה, ראו ברשימה הביבליוגרפית.

# תהליכי ייצור

התהליך הטכנולוגי הוא חלק מתהליך הייצור והוא נקבע על פי הדרישות למוצר המוגמר. בתהליך הטכנולוגי בוחנים מהי צורת העיבוד המתאימה להגדרות המופיעות בשרטוט המוצר. מכינים דפי תהליך טכנולוגי לייצור, שבהם מוגדרות כל הפעולות משלב קביעת חומר הגלם, דרך תהליך ייצורו ועד בדיקתו הסופית. בגיליון התהליך הטכנולוגי מציינים את סוג המכונה, מתקני הדפינה וצורת הדפינה, כלי השיבוב, מחשבים את תנאי השיבוב, מגדירים את כלי המדידה ועוד.

הנושאים הנלמדים בספר: שימוש בטבלאות לבחירת תנאי השיבוב, חישובים נדרשים בחריטה, כרסום וקידוח, הכרת הפעולות הנלוות לעיבודים בחריטה ובכרסום: ייצור תבריגים, קידוח, שיקוע וקידוד, הכרת מתקנים וקביעים לייצור ולמדידה, הכנת דפי תהליך טכנולוגי וחישוב זמני עיבוד.

- 
- תורת העיבוד השבבי 1: תהליכי עיבוד.
  - תורת העיבוד השבבי 2: תהליכי ייצור.
  - תורת העיבוד השבבי 3: חריטה, כרסום והשחזה.
  - תורת העיבוד השבבי 4: מדידות.
  - תורת העיבוד השבבי 5: הפעלת מכונות CNC.
  - תורת העיבוד השבבי 6: תכנות מכונות CNC.
  - תורת העיבוד השבבי 7: תורת החומרים.
- 

מחיר: 67.30 ₪



0 2950854020 7  
דאנאקוד 295-854020