

שאלה 1

א. חישוב מאמצים

$$h=100 \text{ mm}, \quad b=50 \text{ mm}, \quad s=5 \text{ mm}$$

$$F_Z = F_Y = F \cdot \cos(45) = 35 \cdot \cos(45) = 24,749 \text{ N}$$

$$\rho_{sy} = \rho_{tz} = \frac{F \cdot \cos(45)}{4b+2h-2s} = \frac{24,749 \text{ N}}{4 \cdot 50 + 2 \cdot 100 - 2 \cdot 5} = 63.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$\rho_{by} = \frac{M_{by}}{Z_b} = \frac{3,712,000}{13,333} = 278 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

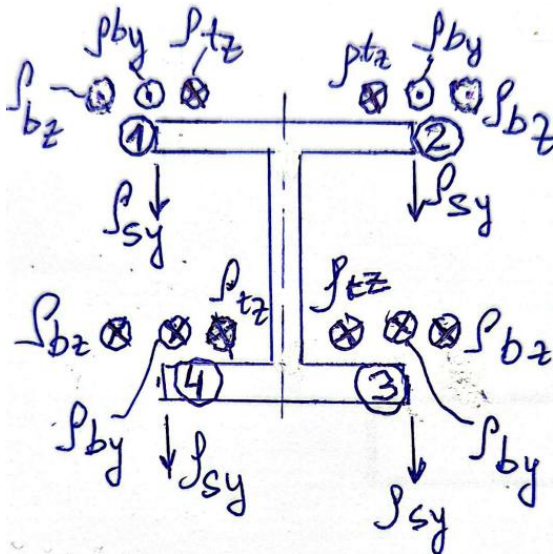
$$Z_b = 2bh + \frac{h^2}{3} = 2 \cdot 50 \cdot 100 + \frac{100^2}{3} = 13,333 \text{ mm}^2$$

$$M_{by} = F_Y \cdot l_z = 24,749 \cdot 150 = 3,712 \text{ Nm}$$

$$\rho_{bz} = \frac{M_{bz}}{Z_b} = \frac{1,856,000}{13,333} = 139 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$M_{bz} = F_Z \cdot \left(\frac{h}{2} + 25\right) = 24,749 \cdot (50 + 25) = 1,856 \text{ Nm}$$

ב. תרשים מאמצים



הנקודות המסוכנות הן נקודות 3 ו-4 בהן המאמצים  $\rho_{tz}$ ,  $\rho_{by}$  ו-  $\rho_{bz}$  פועלים בכיוונים זהים.

ג. המאמץ המרבי ועובי התפר

$$\rho_e = \sqrt{(\rho_s)^2 + (\rho_{by} + \rho_{tz} + \rho_{bz})^2} = \sqrt{(63.5)^2 + (278 + 63.5 + 139)^2} = 484 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$K = \frac{1.4 \cdot \rho_e}{[\sigma]} = \frac{1.4 \cdot 484}{120} = 5.6 \text{ mm}$$

עובי התפר

ד. סיבוב הפרופיל ב-  $90^\circ$

מאמצי הכפיפה  $\rho_{by}$  ו-  $\rho_{bz}$  יגדלו, בשל הקטנה משמעותית של מומנט ההתנגדות  $Z_b$  של הפרופיל. לפיכך המאמץ השקול ועובי התפר יגדלו משמעותית.

## שאלה 2

### א. חישוב תגובות בסמכים

$$F_t = 6000 \text{ N}, F_r = 2400 \text{ N}, F_a = 2800 \text{ N}, D_2 = 300 \text{ mm}, \sigma_y = 600 \text{ MPa}, d = 40 \text{ mm}$$

### חישוב תגובות -

$$\sum M_B = 0 \rightarrow F_a \cdot 150 + F_r \cdot 120 - A_y \cdot 320 = 0 \rightarrow A_y = 2212.5 \text{ N} \quad \text{מישור אנכי}$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow B_y = 2400 - 2212.5 = 187.5 \text{ N}$$

$$\sum F_z = 0 \rightarrow A_z = F_a = 2800 \text{ N}$$

$$\sum M_B = 0 \rightarrow F_t \cdot 120 - A_x \cdot 320 = 0 \rightarrow A_x = 2250 \text{ N} \quad \text{מישור אופקי}$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow A_x = 6000 - 2250 = 3750 \text{ N}$$

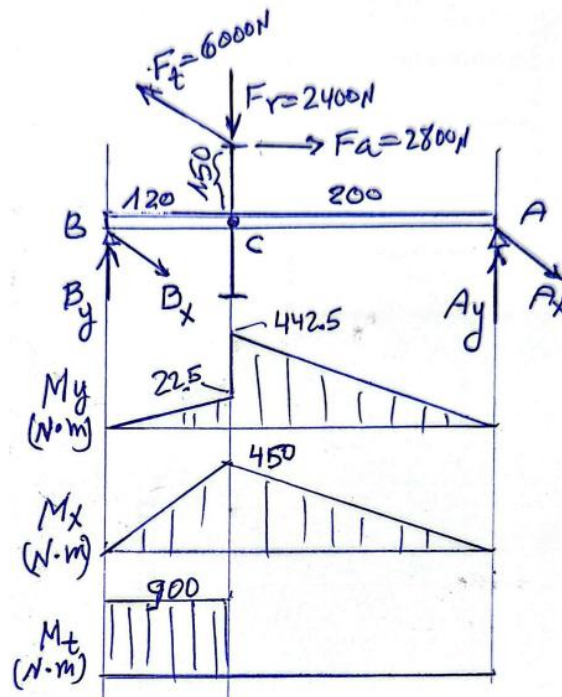
$$M_{C_{y\ell}} = B_y \cdot 120 = 187.5 \cdot 120 = 22.5 \text{ Nm}$$

### ב. מהלך מומנטים

$$M_{C_{y\gamma}} = A_y \cdot 200 = 2212.5 \cdot 200 = 442.5 \text{ Nm}$$

$$M_{C_X} = A_x \cdot 200 = 2250 \cdot 200 = 450 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_t = F_t \cdot 150 = 6000 \cdot 150 = 900 \text{ Nm}$$



### ג. מקדם הביטחון

$$M_{eC} = \sqrt{M_{Xc}^2 + M_{Cy}^2 + M_t^2} = \sqrt{450^2 + 442.5^2 + 900^2} = 1099 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_e = \frac{M_{eC}}{Z_b} = \frac{32 \cdot M_{eC}}{\pi d^3} = \frac{32 \cdot 1099000}{\pi \cdot 40^3} = 175 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{\sigma_y}{\sigma_e} = \frac{600}{175} = 3.43$$

א. מאמצים מרביים ברצועות

$$\alpha = 180 - 2 \cdot \beta = 180 - 2 \cdot 7.43 = 165.14^\circ \rightarrow \alpha = \frac{165.1}{180} \cdot \pi = 2.88 \text{ rad},$$

$$\beta = \sin^{-1} \frac{D - d}{2 \cdot A} = \sin^{-1} \frac{300 - 150}{2 \cdot 580} = 7.43^\circ$$

$$v = \frac{\pi d n}{60 \cdot 1000} = \frac{\pi \cdot 150 \cdot 1500}{60 \cdot 10^3} = 11.78 \frac{m}{s} \rightarrow \sigma_c = 0$$

$$F_t = \frac{P}{v} \cdot 1000 = \frac{10}{11.78} \cdot 1000 = 849 \text{ N}$$

$$S_1 = \frac{F_t}{1 - \frac{1}{e^{\mu\alpha}}} = \frac{849}{1 - \frac{1}{e^{0.35 \cdot 2.88}}} = 1337 \text{ N}$$

תמסורת שטוחה

$$\sigma_e = \sigma_t + \sigma_b = \frac{S_1}{b \cdot h} + \frac{Eh}{D} = \frac{1337}{50 \cdot 6} + \frac{60 \cdot 6}{150} = 6.9 \text{ MPa} < [\sigma]$$

$$S_1 = \frac{F_t}{1 - \frac{1}{e^{\frac{\mu\alpha}{\sin 18}}}}} = \frac{1337}{1 - \frac{1}{e^{\frac{0.35 \cdot 2.88}{\sin 18}}}}} = 883 \text{ N}$$

תמסורת טריזית

$$\sigma_e = \frac{S_1/4}{A} + \frac{Eh}{D} = \frac{883/3}{100} + \frac{60 \cdot 10}{150} = 6.2 \text{ MPa} < [\sigma]$$

ב. מתיחה מוקדמת ברצועות

$$Q = (S_1 + S_2) \cos \beta, \quad S_2 = S_1 - F_t$$

$$S_{2 \text{ שטוחה}} = 1337 - 849 = 488 \rightarrow Q_{\text{שטוחה}} = (1337 + 488) \cdot \cos 7.43^\circ = 1770 \text{ N}$$

$$S_{2 \text{ טריזית}} = 883 - 849 = 34 \rightarrow Q_{\text{טריזית}} = (883 + 34) \cdot \cos 7.43^\circ = 909 \text{ N}$$

ג. רצועה נבחרת

נבחר ברצועה הטריזית בעיקר בשל כוחות המתיחה מוקדמת, אשר נמוכים בה משמעותית מאלו שברצועה השטוחה. כוחות מתיחה גבוהים יוצרים מאמצים גדולים יותר משמעותית במסבים ובגלי התמסורת. גם המאמץ הכולל  $\sigma_e$  ברצועה הטריזית נמוך יותר מזה שבשטוחה בכ- 10%, אבל זה בעל משמעות פחותה.

ד. מומנט מרבי לצרכן

$$M_{\text{צרכן}} = 9550 \cdot \frac{P \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}{n \cdot i^2} = 9550 \cdot \frac{10 \cdot 0.9 \cdot 0.97}{1500 \cdot 0.5^2} = 222.32 \text{ N} \cdot \text{m}$$

#### שאלה 4

$\emptyset 32 \times 6 \rightarrow d = 32 \text{ mm}, p = 6 \text{ mm}, d_1 = 26 \text{ mm}, d_2 = 29 \text{ mm}, Q = 80,000 \text{ N}, \lambda_0 = 80$

א. בדיקת מאמץ מורכב

$$\gamma = \text{tg}^{-1} \left( \frac{p}{\pi d_2} \right) = \frac{6}{\pi \cdot 29} = 3.77^\circ$$

$$\varphi = \text{tg}^{-1} \left( \frac{\mu}{\cos \alpha} \right) = \text{tg}^{-1} \left( \frac{0.12}{\cos 0^\circ} \right) = 6.84^\circ$$

$$\begin{aligned} \sigma_e &= \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_1^2} \cdot \sqrt{1 + 3 \left[ 2 \frac{d_2}{d_1} \tan(\gamma + \varphi) \right]^2} \\ &= \frac{4 \cdot 80000}{\pi \cdot 26^2} \cdot \sqrt{1 + 3 \left[ 2 \cdot \frac{29}{25} \tan(3.77 + 6.84) \right]^2} = 186 \text{ MPa} < [\sigma] = 200 \text{ MPa} \end{aligned}$$

הבורג עומד בדרישות החוזק למאמץ מורכב

ב. בדיקה לקריסה

$$\lambda = \frac{\mu_{cr} L}{0.25 d_1} = \frac{2 \cdot 350}{0.25 \cdot 26} = 107.7 > \lambda_0$$

נבדוק לפי נוסחת אוילר

$$Q_{\max} = \frac{\pi^2 EI}{(\mu_{cr} L)^2 S} = \frac{\pi^3 E d_1^4}{(\mu_{cr} L)^2 64 \cdot S} = \frac{\pi^3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 26^4}{(2 \cdot 350)^2 \cdot 64 \cdot 4} = 22,591 \text{ N} < 80,000 \text{ N}$$

הבורג לא יעמוד בתנאי היציבות לקריסה.

ג. כוח הכבישה המרבי המותר הוא 22,591 N

ד. בחירת תבריג מתאים :

מנוסחת אוילר עבור כוח כבישה 80,000 N :

$$d_1 = \sqrt[4]{\frac{Q \cdot S \cdot (\mu_{cr} L)^2 \cdot 64}{\pi^3 E}} = \sqrt[4]{\frac{80000 \cdot 4 \cdot (2 \cdot 350)^2 \cdot 64}{\pi^3 \cdot 2 \cdot 10^5}} = 35.7 \text{ mm}$$

נבחר בורג  $\emptyset 42 \times 6 \rightarrow d_1 = 37 \text{ mm}$  במטרה לשמור על פסיעת בורג המכבש ללא שינוי

## שאלה 5

א. מספר סיבובים :

עיבוד מוקדם בחריטה - מנספח נתוני החריטה :

$$SAE 1030, H.S.S, f = 0.2 \frac{mm}{rev} \rightarrow V_c = 55 \frac{m}{min}$$

$$n = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 55}{\pi \cdot 38} = 460 \text{ rpm} \rightarrow n = 500 \text{ rpm}$$

קידוח – מנספח נתוני הקידוח :

$$SAE 1030, H.S.S, \phi 13 \rightarrow f = 0.23 \frac{mm}{rev} \rightarrow V_c = 23 \frac{m}{min}$$

$$n = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 23}{\pi \cdot 13} = 563 \text{ rpm} \rightarrow n = 550 \text{ rpm}$$

ב. זמני עיבוד

עיבוד מוקדם בחריטה :

העיבוד כולל שלב 1 של חריטה לקוטר 36 לאורך 126 מ"מ, 2 שלבים של חריטה לקוטר 26 לאורך 61 מ"מ ו-3 מצחים

$$L_1 = 126 + 2 \cdot 3 = 132, \quad L_2 = 61 + 3 = 64 \text{ mm}$$
$$L_3 = \frac{38 - 26}{2} + 3 = 9 \text{ mm}, \quad L_4 = \frac{38}{2} + 2 \cdot 3 = 25$$

$$L = L_1 + 2 \cdot L_2 + L_3 + 2 \cdot L_4 = 132 + 2 \cdot 64 + 9 + 2 \cdot 25 = 373 \text{ mm}$$

$$t = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{373}{500 \cdot 0.2} = 3.73 \text{ min}$$

קידוח : מהלך אחד

$$L = 38 + 3 = 41 \text{ mm}$$

$$t = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{41}{550 \cdot 0.23} = 0.32 \text{ min}$$

ג. הספק נדרש

$$P_Z = K_S \cdot f \cdot a = 2700 \cdot 0.2 \cdot 3 = 1620 \text{ N}$$

לעיבוד מוקדם בחריטה

$$V_c = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{\pi \cdot 38 \cdot 500}{1000} = 59.7 \frac{m}{min} \rightarrow N = \frac{P_Z \cdot V_c}{1000 \cdot 60 \cdot \eta} = \frac{1620 \cdot 59.7}{1000 \cdot 60 \cdot 0.80} = 2 \text{ kW}$$

$$P_Z = K_S \cdot f \cdot a = 2700 \cdot 0.23 \cdot \frac{13}{2} = 4036 \text{ N}$$

לקידוח

$$N = \frac{P_Z \cdot r \cdot Z \cdot n}{1000 \cdot 9550 \cdot \eta} = \frac{4036 \cdot 3.25 \cdot 2 \cdot 550}{1000 \cdot 9550 \cdot 0.80} = 1.89 \text{ kW}$$

ד. אם כלי עיבוד מתק"ש :

- מהירות העיבוד  $V_c$  תגדל ← מהירות הסיבוב  $n$  תגדל ← זמן העיבוד  $t$  יקטן, ההספק הנדרש  $P$  יגדל

א. מידה מתקבלת -  $X^{\pm\Delta X}$ 

$$X_{max} = 95_{max} - 45_{min} - 30_{min}$$

$$X_{max} = 95.2 - 44.7 - 29.8 = 20.7 \text{ mm}$$

$$X_{min} = 95_{min} - 45_{max} - 30_{max}$$

$$X_{min} = 94.8 - 45.3 - 30.2 = 19.3 \text{ mm}$$

$$T = 20.7 - 19.3 = 1.4 \text{ mm} \quad \frac{T}{2} = 0.70 \text{ mm}$$

$$X = \frac{X_{max} + X_{min}}{2} = \frac{20.7 + 19.3}{2} = 20$$

$$X^{\pm\Delta X} = 20^{\pm 0.7}$$

ב. מידה טכנולוגית -  $Y^{\pm\Delta Y}$ 

$$Y_{max} = 45_{max} - 22_{max} - 12_{max}$$

$$Y_{max} = 45.3 - 22.1 - 12.2 = 11 \text{ mm}$$

$$Y_{min} = 45_{min} - 22_{min} - 12_{min}$$

$$Y_{min} = 44.7 - 22 - 11.8 = 10.9 \text{ mm}$$

$$T = 11 - 10.9 = 0.1 \quad \frac{T}{2} = 0.05 \text{ mm}$$

$$Y = \frac{Y_{max} + Y_{min}}{2} = \frac{11 + 10.9}{2} = 10.95$$

$$Y^{\pm\Delta Y} = 10.95^{\pm 0.05} \quad Y = 11^{\begin{smallmatrix} +0 \\ -0.1 \end{smallmatrix}} \quad \leftarrow \text{תשובה מתקבלת גם כן}$$

ג1. האפיצות  $\text{Ø}10 \frac{H7}{m6}$  היא אפיצות מעבר בשיטת הקדח האחיד

ג2. האפיצות "ההפוכה" תהיה בשיטת הגל האחיד  $\text{Ø}10 \frac{M7}{h6}$

ג3. הבחירה בשיטת האפיצות תלויה בחלקים המורכבים. כשמדובר בחלקים קנויים מספק, נתאים עצמנו לסיבולת של החלק הקנוי. במקרה של מסב למשל, הקוטר החיצוני של המיסב מגיע עם סיבולת h לכן האפיצות עם בית המסב תהיה בשיטת הגל האחיד, לעומת זאת הקוטר הפנימי של המסב מגיע עם סיבולת H, לכן האפיצות עם הגל תהיה בשיטת הקדח האחיד.

## שאלה 7

א. מידות מוצא של חומר הגלם יהיו מוט עגול במידות  $\emptyset 70 \times 34$

ב. החריץ מבוצע באמצעות כרסום דיסקה בעובי 2 מ"מ ובקוטר 120 מ"מ לפחות (בהנחת קוטר קנה של עד 20 מ"מ)

ג. סדר פעולות:

פעולות חריטה:

1. חריטת מצח שמאל
2. חריטת קוטר חיצוני  $\emptyset 66$
3. קידוח וחריטה פנימית  $\emptyset 20$
4. חריטת מדרגה  $\emptyset 40$  לאורך 12, תוך הקפדה על דרישות הניצבות והמרכזיות. שלבים 3, 4, בדפינה אחת.
5. חריטת מדרגה  $\emptyset 32$  לאורך 6
6. חריטת מצח ימין לאורך סופי + פאזה
7. שבירת פינות  $0.5 \times 45^\circ$

פעולות כרסום וקידוח

1. כרסום חריץ ברוחב 2 ולעומק 14 מציר החלק
2. קידוח קדח מכין לתברג
3. כרסום שקע  $90^\circ$  בקוטר 12.5  $\emptyset$
4. כרסום מדרגה  $\emptyset 7$
5. הברזה M6
6. כרסום מדרגה לעומק 6 ממ ברוחב 10 מ"מ
7. כרסום שיפוע 10 ממ לאורך המדרגה
8. שבירת פינות כרסום  $0.5 \times 45^\circ$

ג. הסבר 2 דרישות התנוחה

- זו דרישת ניצבות. משמעותה, סטית הניצבות בין הקדח  $\emptyset 20$  - משטח A, לבין המצח של המדרגה המסומנת בחץ, יהיה בתחום של 0.1 מ"מ

- מבטיחים ביצוע דרישה זו בתהליך הייצור, על ידי חריטת המדרגה הנ"ל וקדח  $\emptyset 20$  בדפינה אחת.

- בודקים דרישה זו באמצעות מגע של החוגן ע"ג מצח המדרגה וסיבוב החלק תוך כדי דפינת החלק באמצעות משטח A

ג2. - זו דרישת מרכזיות. משמעותה, ציר הקוטר  $\emptyset 40$  ימצא בתוך גליל שקוטרו 0.05 mm וצירו חופף את

הציר התיאורטי של הקדח  $\emptyset 20$  - A

- מבטיחים ביצוע דרישה זו בתהליך הייצור, על ידי חריטת הקוטר  $\emptyset 40$  וקדח  $\emptyset 20$  בדפינה אחת.

- בודקים דרישה זו באמצעות מגע של החוגן ע"ג הקוטר  $\varnothing 40$  וסיבוב החלק תוך כדי דפינת החלק באמצעות משטח A.

### שאלה 8

הוצאות חד"פ: עיבוד שבבי –  $B_1=20,000$  S יציקה מדוייקת  $B_2=160,000$  S

א. עלות ייצור ל- 3000 יחידות

עלות ייצור ליחידה:

עיבוד שבבי  $A_1$ :

$$A_1 = \left[ \frac{240 \cdot (40 + 7)}{60} + 0.5 \cdot 12 \right] \cdot \frac{100}{100 - 6} = 173.05 \text{ ש"ח}$$

יציקה מדוייקת  $A_2$

$$A_2 = \left[ \frac{150 \cdot (20 + 5)}{60} + 0.45 \cdot 12 \right] \cdot \frac{100}{100 - 4} = 91.5 \text{ ש"ח}$$

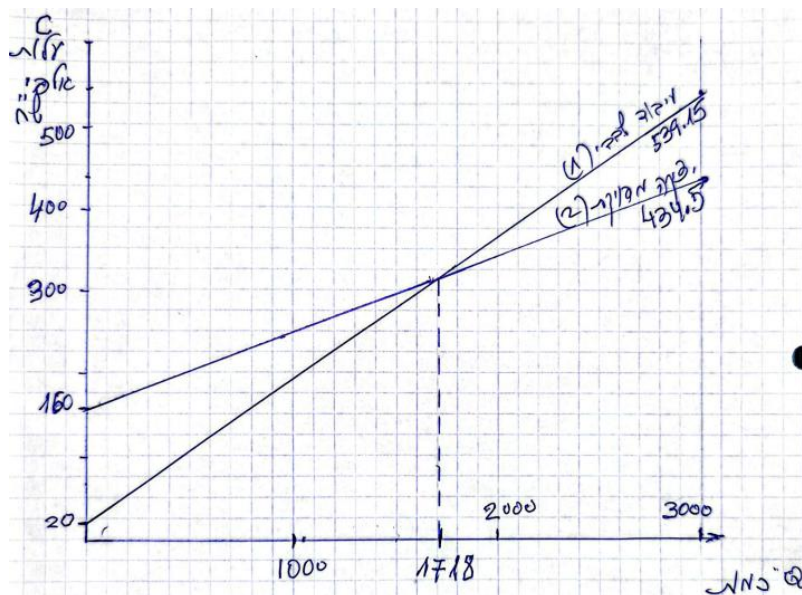
עיבוד שבבי

$$c_1 = B_1 + A_1 \cdot 3000 = 20000 + 173.05 \cdot 3000 = 539,150 \text{ ש"ח}$$

יציקה מדוייקת

$$c_2 = B_2 + A_2 \cdot 3000 = 160000 + 91.5 \cdot 3000 = 434,500 \text{ ש"ח}$$

ב1. תאור גראפי



ב2. נקודות האיזון – Q

$$Q = \frac{B_2 - B_1}{A_1 - A_2} = \frac{160000 - 20000}{173.05 - 91.5} = 1718$$

עד 1718 יחידות עדיף ייצור בעיבוד שבבי.

מעל 1718 יחידות עדיף ייצור ביציקה מדוייקת+עיבוד שבבי

ג. הזמנת 1000 יחידות

$$N_1 = 300 \cdot \frac{60}{40+7} \cdot 0.94 = 360 \quad \text{כמות ייצור ב 300 שעות בעיבוד שבבי :}$$

$$N_2 = 300 \cdot \frac{60}{20+5} \cdot 0.96 = 691 \quad \text{כמות ייצור ב 300 שעות ביציקה מדויקת :}$$

$$N = N_1 + N_2 = 1051 \quad \text{המפעל יעמוד בדרישות ההזמנה}$$

חלק ב': שאלות רב ברירה (20 נקודות)

שאלה	תשובה נכונה
9	א
10	א
11	ב
12	ג
13	ד
14	ד
15	ג
16	ג
17	ג
18	ב