

חישוב קיבולת ומאפייני תפעול



פרק 4 – חישוב קיבולת ומאפייני תפעול

4.1 כללי

בחישוב הקיבולת ומאפייני התפעול במעגל תנועה מתייחסים לכל זרוע כניסה בנפרד, ולא עבור כל צומת כיחידה. קיבולת הכניסה מוגדרת כמספר המירבי של כלי רכב היכולים להיכנס למעגל מגישה מסוימת, בנפח תנועה נתון של כלי רכב סביב המעגל.

מאחר שבמעגל תנועה ניתנת זכות קדימה לתנועה הנעה במעגל, קיבולת הכניסה יורדת כאשר נפח התנועה במעגל גדל, מאחר ואז קיימות פחות הזדמנויות לרכב הממתין בכניסה להשתלב במעגל.

4.2 חישוב קיבולת זרוע

ההנחיות מאמצות נוסחת הקיבולת המתאימה לתנאי הארץ מיוצגת במודל של לזר שמואלי/ פולוס משנת 1997.

נוסח המודל הישראלי להגדרת קיבולת הכניסה במעגל תנועה, הנו אקספוננציאלי שלילי יורד, התלוי בנפח התנועה הסובבת ובקוטר החיצוני של מעגל התנועה. המשוואה הכללית המתארת מודל זה היא **ראה איור מס' 4.1**:

$$Q_e = A * e^{B*V_c}$$

כאשר:

- Q_e קבולת הכניסה למעגל תנועה בזרוע הנבדקת (ית"ן לשעה)
- V_c נפח התנועה "המסתובבת" מסביב לכיכר (ית"ן לשעה) - נפח סובב מוגדר כאותם כלי רכב אשר יפריעו לתנועה בזרוע הנבדקת מלהיכנס לתחום המעגל.
- D_c הקוטר החיצוני (מטרים)
- B, A מקדמים תלויים ב- D_c

המקדם A משקף את "נקודת ההתחלה" של המודל, דהיינו את קבולת הזרוע בנפח סובב נמוך מאוד, שואף לאפס. במקרה זה קבולת הכניסה נקבעת בעיקר כתוצאה מהתנאים הסביבתיים והגיאומטריה, דהיינו בעיקר מגודל מעגל התנועה ומידת היכולת של כלי הרכב להיכנס אליה בחופשיות.

קוטר המעגל החיצוני D_c נבחר כפרמטר המיצג את גיאומטריית המעגל. **המקדם A** כויל כפונקציה של הקוטר החיצוני של מעגל התנועה. **הקבוע B** משקף את עקמומיות המודל האקספוננציאלי שנוסח ומשקף לכן את שעור ומידת ההשפעה של התנועה הסובבת על קיבולת הכניסה.

המקדמים A ו-B כוילו בעזרת תצפיות ב-7 מעגלי תנועה בקטרים שונים, ברחבי הארץ. התצפיות כללו את נפחי התנועה במעגל שהוגדרה כתנועה הסובבת וכן הנפחים הנכנסים והנתונים הגאומטריים של המעגל. כל המעגלים שנצפו היו בעלי נתיב אחד בזרועות הכניסה ונתיב מעגלי אחד. המדידות נערכו בשעת השיא.

לאחר כיוול הפרמטרים:

$$A = 394 * D_c^{0.31}$$

$$B = -0.00095$$

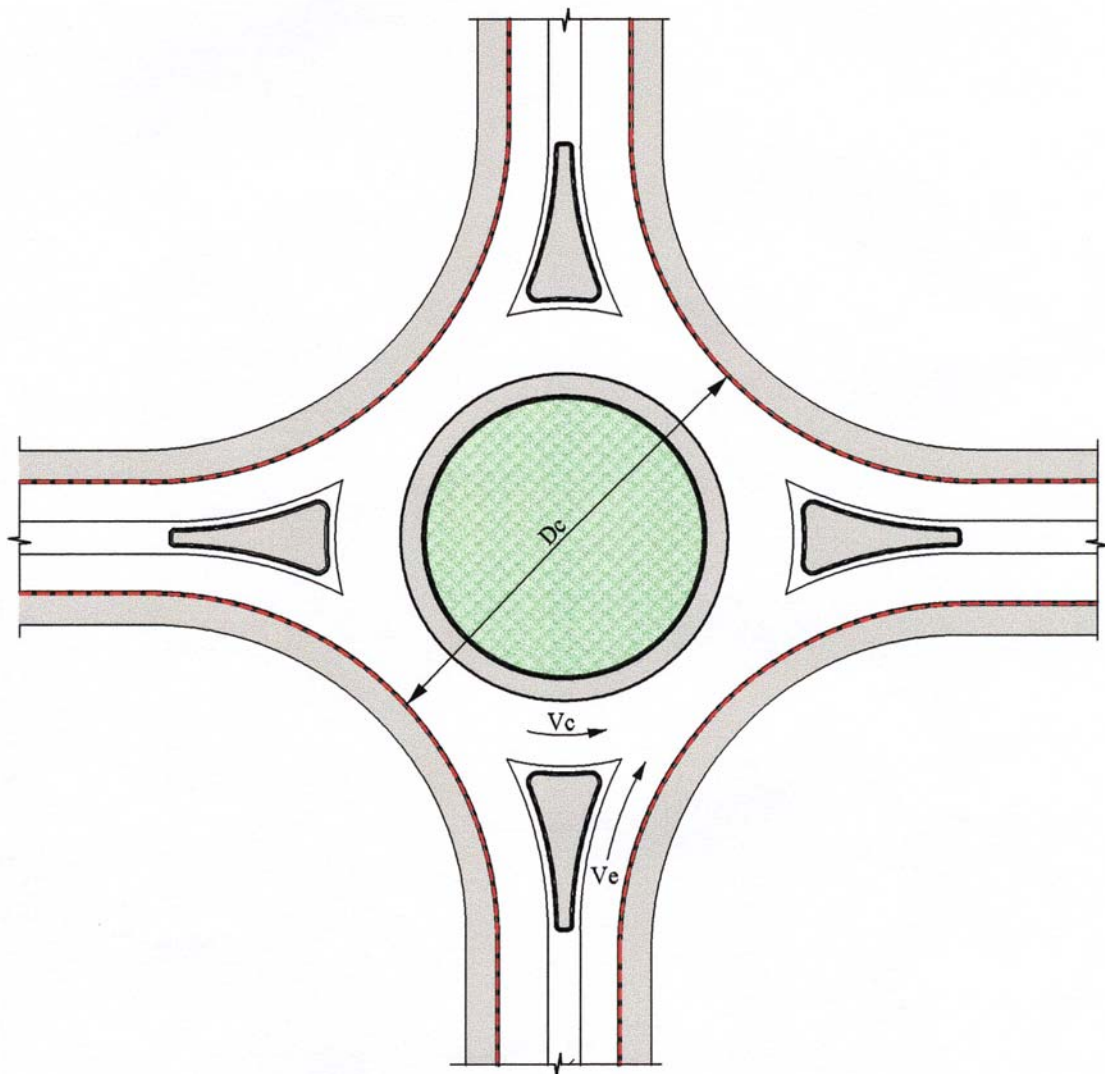
נוסחת קיבולת הכניסה המתקבלת על פי מודול פולוס-שמואלי הינה:

$$Q_e = 394 * D_c^{0.31} e^{-0.00095V_c}$$

איור מס' 4.2 מציג את גרף קיבולת הכניסה לפי מודול פולוס-שמואלי כפונקציה של הקוטר החיצוני של מעגל התנועה D_c .

הפער הקריטי הממוצע שהתקבל מהתצפיות הוא כ-4.1 שניות. יחד עם זאת התברר שהפער הקריטי משתנה באופן משמעותי כפונקציה של זמן ההמתנה במעגל.

חישוב קיבולת זרוע בעלת שני נתיבים בכניסה ושני נתיבים במעגל יהיה מכפלת הקיבולת של זרוע אחת במקדם 1.5. במקרה של נתיב כניסה יחיד למעגל דו נתיבי תוכפל הקיבולת בזרוע ב-1.15. חוסר האיזון בין נתיבי הכניסה לנתיבי המסעה אינו מומלץ מאחר והתועלת היא שולית. **סה"כ קיבולת המעגל** יהיה סכום קיבולות כל הזרועות.

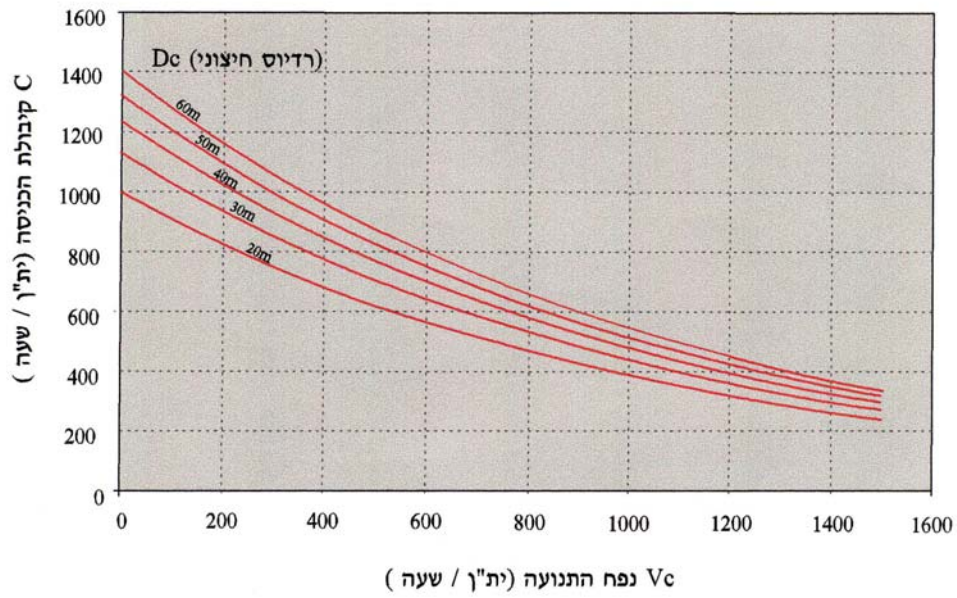


איור מס' 4.1: תרשים סכמטי של זרמי התנועה במעגל תנועה

נפח כניסה - V_e

נפח סובב - V_c

קוטר חיצוני - D_c



**איור מס' 4.2 - מודל לקבולת הכניסה במעגל תנועה בתלות
בנפח התנועה הסובבת בקטרים חיצוניים
שונים במעגל תנועה חד - נתיבי.**

4.3 מאפייני תפעול

4.3.1 עיכוב ממוצע לרכב ואורך תור

העיכוב הממוצע לרכב נחשב לאחר ממאפייני התפעול החשובים בצמתים, ובהתאם לכך נגזרת רמת השירות. העיכוב נחלק לשניים: העיכוב התנועתי והעיכוב הגיאומטרי. העיכוב התנועתי נחלק אף הוא לשניים: זמן ההמתנה בתור עד ההגעה למקום הראשון בתור והזמן לקבלת פער מתאים בתנועה הראשית (זמן השירות).

העיכוב הגיאומטרי נובע מעצם ההאטה של כלי הרכב בשל הגיאומטריה של הצומת והאצה למהירות רגילה לאחר החציה. במעגלי תנועה העיכוב הגיאומטרי הוא משמעותי יותר בשל ההיסט הגיאומטרי המתקיים במעגל תנועה.

עיכוב ואורך תור

הנוסחה לאומדן העיכוב כדלקמן (מתוך ה- H.C.M):

$$d = \frac{3600}{C_{mx}} + 900T \cdot \left[\frac{Ven}{C_{mx}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{Ven}{C_{mx}} - 1\right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_{mx}}\right)\left(\frac{Ven}{C_{mx}}\right)}{450T}} \right] + 5$$

כאשר:

- d - עיכוב ממוצע לרכב (שניות/כ"ר)
- V_{en} - נפח שעותי בזרוע \times (כ"ר בשעה)
- C_{mx} - קיבולת שעתית בזרוע \times (כ"ר בשעה)
- T - זמן המדידה (שעות) (עבור שעה $T=1$)

איור מס' 4.3 מציג את העיכוב הממוצע לכלי רכב כפונקציה של הנפח הנכנס (V_x) והקיבולת השעתית (C_{mx}).

כאשר: $\frac{Ven}{C_{mx}} \geq 1.0$ הקווים הופכים מקווקווים.

אורך התור מהווה אינדיקציה לרמת השירות בזרוע נתונה. במצבים בהם אורך התור בשעות השיא הוא קריטי, יש לשקול הרחבת מעגל התנועה ל-2 נתיבים (כולל הרחבתזרועות הגישה בהתאם).

אורך התור(מבוטא במספר כלי רכב) הממוצע בזרוע מחושב לפי:

$$L = \frac{V \cdot d}{3600}$$

כאשר:

L- מספר כלי רכב המצטברים בתור

V – נפח התנועה בזרוע הנתונה (כ"ר בשעה)

d – עיכוב תנועתי ממוצע לרכב (שניות)

אורך התור לתכנון הוא אורך התור של האחוזון ה-95.

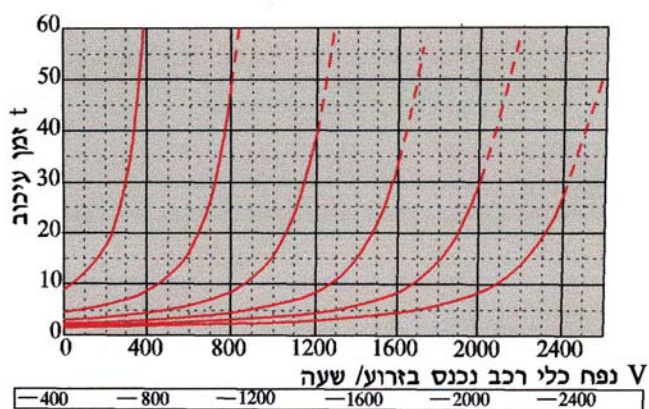
איור מס' 4.4 מציג את אורך התור לזרוע (האחוזון ה-95) כפונקציה של היחס נפח/קיבולת (V_{en}/C_{max}). ההמלצה היא להשתמש בגרף זה בתחום בו היחס נפח/קיבולת נמוך מ-0.85.

4.3.2 רמות שירות

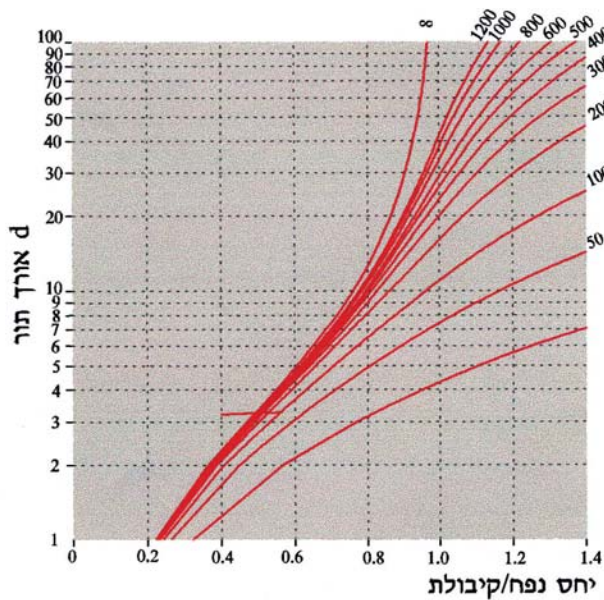
התפיסה של רמות שירות (Level of Service-LOS) מבוססת על זמני העיכוב לרכב. העיכוב לצורך קביעת רמת השירות כולל את רכיב העיכוב הגיאומטרי. HCM קובע שני סוגים של עיכוב – לצמתים מרומזרים ולצמתים מסוג זכות קדימה (כולל מעגלי תנועה).

הסיבה לכך נעוצה לפי ה- HCM בציפיות השונות לזמן המתנה של הנהג בסוגים השונים של הצמתים.

טבלה מס' 4.1 מציגה את רמות השירות בתלות בזמני עיכוב.



איור מס' 4.3- עיכוב תנועת לרכב (שניות) כפונקציה של קיבולת הזרוע ונפח התנועה הנכנס עבור נפחים מקסימלים של 800, 400, 2400, 2000, 1600, 1200 כלי רכב/בשעה (H.C.M)

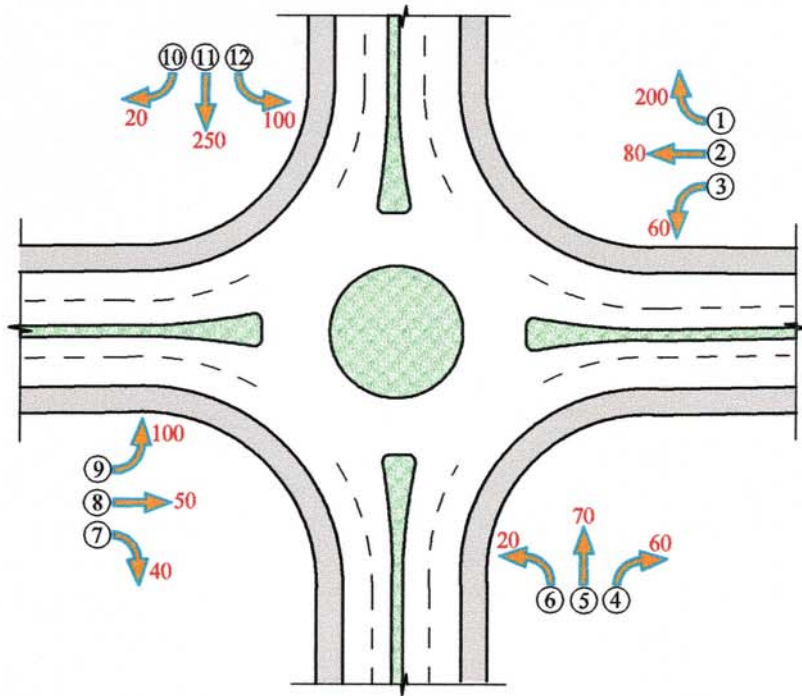


איור מס' 4.4- אורך התור (אחוזון 95) בזרוע כניסה לצומת מעגלי כפונקציה של נפח הכניסה ויחס נפח / קיבולת V/C (H.C.M)

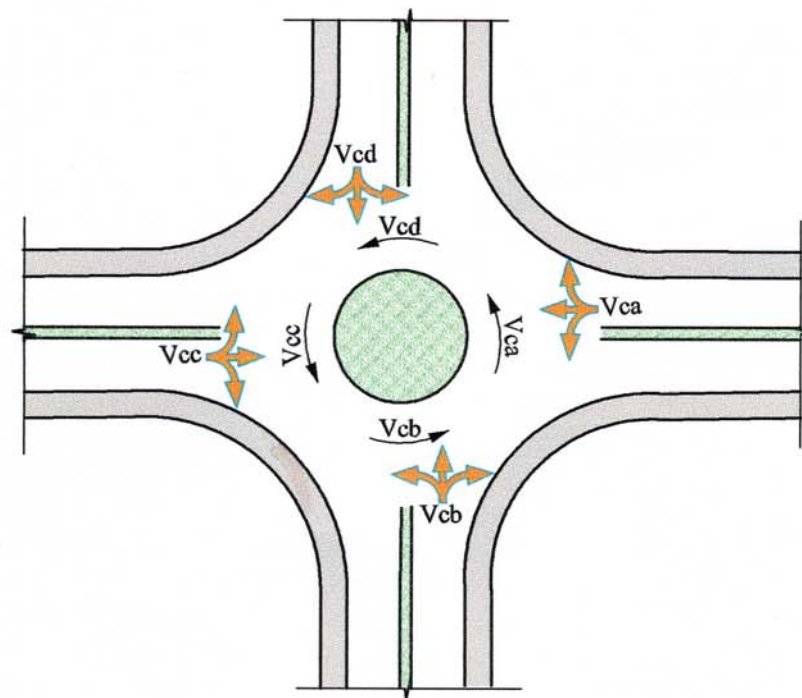
טבלה מס' 4.1 – הגדרת רמות שרות כפונקציה של משך העיכוב (H.C.M)

רמת שרות	עיכוב ממוצע לרכב בשניות(כולל עיכוב גאומטרי)	
	צמתים מרומזרים	צמתים עם בקרת זכות קדימה
A	$d_c \leq 10$	$d_c \leq 10$
B	$10 < d_{ic} \leq 20$	$10 < d_{ic} \leq 15$
C	$20 < d_{ic} \leq 35$	$15 < d_{ic} \leq 25$
D	$35 < d_{ic} \leq 55$	$25 < d_{ic} \leq 35$
E	$55 < d_{ic} \leq 80$	$35 < d_{ic} \leq 50$
F	$80 < d_{ic}$	$50 < d_{ic}$

חישוב קיבולת במעגל תנועה.



א. - תרשים התנועות בצומת.



א. - תרשים התנועות במעגל התנועה.

ציור מס' - דוגמא לחישוב קיבולת במעגל תנועה.

זרוע A

$$Ve_A = (1) + (2) + (3)$$

$$Ve_A = 200 + 80 + 60 = 340$$

$$Vc_A = (5) + (6) + (9)$$

$$Vc_A = 70 + 20 + 100 = 190$$

זרוע B

$$Ve_B = (4) + (5) + (6)$$

$$Ve_B = 60 + 70 + 20 = 150$$

$$Vc_B = (8) + (9) + (12)$$

$$Vc_B = 50 + 100 + 400 = 550$$

זרוע C

$$Ve_C = (7) + (8) + (9)$$

$$Ve_C = 40 + 50 + 100 = 190$$

$$Vc_C = (11) + (12) + (3)$$

$$Vc_C = 250 + 400 + 60 = 710$$

זרוע D

$$Ve_D = (10) + (11) + (12)$$

$$Ve_D = 20 + 250 + 400 = 670$$

$$Vc_D = (2) + (3) + (6)$$

$$Vc_D = 80 + 60 + 20 = 160$$

$$D = 20_m$$

חישוב קיבולת הזרועות ע"פ שמואלי/פולוסA קיבולת זרוע

$$Q_A = 394 * D^{0.31} e^{-0.00095V_C}$$

$$Q_A = 394 * 20^{0.31} e^{-0.00095*190} = 832$$

B קיבולת זרוע

$$Q_B = 394 * D^{0.31} e^{-0.00095V_C}$$

$$Q_B = 394 * 20^{0.31} e^{-0.00095*550} = 591$$

C קיבולת זרוע

$$Q_C = 394 * D^{0.31} e^{-0.00095V_C}$$

$$Q_C = 394 * 20^{0.31} e^{-0.00095*710} = 508$$

D קיבולת זרוע

$$Q_D = 394 * D^{0.31} e^{-0.00095V_C}$$

$$Q_D = 394 * 20^{0.31} e^{-0.00095*160} = 856$$

הערכת זמן עיכוב , אורך תור ורמת שרות

$$d = \frac{3600}{C_{mx}} + 900T \cdot \left[\frac{V_{en}}{C_{mx}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{V_{en}}{C_{mx}} - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_{mx}} \right) \left(\frac{V_{en}}{C_{mx}} \right)}{450T}} \right]$$

A זרוע

$$d = \frac{3600}{832} + 900 \cdot \left[\frac{340}{832} - 1 + \sqrt{\left(\frac{340}{832} - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{832} \right) \left(\frac{340}{832} \right)}{450}} \right] + 5 = 12.3_{\text{sec}}$$

ע"פ טבלה מס' 1. 4 רמת השרות היא B
אורך התור יהיה

$$L = \frac{V * d}{3600}$$

$$L = \frac{340 * 12.3}{3600} = 1.16_{VHP}$$

B זרוע

$$d = \frac{3600}{591} + 900 \cdot \left[\frac{150}{591} - 1 + \sqrt{\left(\frac{150}{591} - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{591} \right) \left(\frac{150}{591} \right)}{450}} \right] + 5 = 12.7_{\text{sec}}$$

ע"פ טבלה מס' 4.1 רמת השרות היא B
אורך התור יהיה

$$L = \frac{V * d}{3600}$$

$$L = \frac{150 * 12.7}{3600} = 0.53_{VHP}$$

זרוע C

$$d = \frac{3600}{508} + 900 \cdot \left[\frac{190}{508} - 1 + \sqrt{\left(\frac{190}{508} - 1\right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{508}\right)\left(\frac{190}{508}\right)}{450}} \right] + 5 = 16.28_{\text{sec}}$$

ע"פ טבלה מס' 4.1 רמת השרות היא C
אורך התור יהיה

$$L = \frac{V * d}{3600}$$

$$L = \frac{190 * 16.28}{3600} = 0.86_{VHP}$$

זרוע D

$$d = \frac{3600}{856} + 900 \cdot \left[\frac{670}{856} - 1 + \sqrt{\left(\frac{670}{856} - 1\right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{856}\right)\left(\frac{670}{856}\right)}{450}} \right] + 5 = 23.8_{\text{sec}}$$

רמת שרות ע"פ טבלה מס' 4.1 היא D
אורך התור יהיה

$$L = \frac{V * d}{3600}$$

$$L = \frac{670 * 23.8}{3600} = 4.42_{VHP}$$