

דוגמאות החישוב וכן תאור הסרגל המוכאים בדפים אלה -
 מתאימים לסרגל מדגם א' שבו הספיקה המקסימלית היא 400 מ"ק/ש.

קטרי הצנורות בכל הדגמים - נחונים ע"פ המדה המסחרית
 הנהוגה כדלקמן: בקטרי צנורות בטון (מ-18" ומעלה) - מתאימה
 המדה הנומינלית למדה האמתית. - בקטרי צנורות פלדה מ-14"
 ומעלה, קטנה המדה האמתית מהנומינלית ב-1/2". יתר הקטרים
 (פלדה ואזבסט) נחונים בהתאם לטבלה הבאה :

מדה נומינלית	2"	3"	4"	6"	8"	10"	12"	14"	16"
קוטר צנורות אזבסט (מ"מ)	50	75	99	152	201	252	301	353	404
קוטר צנורות פלדה (מ"מ)		81	106	158	209	263	313		

מאת אינג' א. קלי

ה ק ד מ ה

המכשיר לחישוב רשתות, עשוי לייעל פעולות חישוב רבות של מהנדס המים - החל מחישוב הפסד עומד בצנור בודד וכלה בחישוב טבעת המכילה צנורות רבים המוליכים ספיקות שונות.

בחישוב העומד בצנור בודד, מבטל המכשיר את הצורך למצוא תחילה את הפסד העומד היחסי ולהכפילו אח"כ באורך הצנור: שתי פעולות אלה מצטמצמות, ע"י המכשיר, לאחת.

ישנן בעיות הקשורות במספר רב של צנורות, למשל: חישוב "עקום התנגדות" (עקום השתנות הפסד העומד על פי השתנות הספיקה) של קו המספק או קולט ספיקות בדרכו. בבעיה מסוג זה, יש לראות כל קטע שבין 2 נקודות של הספקה או קליטה - בצנור בפרד - ולחשב אותו בנפרד; אך בעזרת מכשיר זה ניתן לראות את כל הסרייה כיחידה אחת וניתן לקרוא את הפסדי העומד בכל אחד מהקטעים מבלי לחשב בנפרד; ויותר מזאת: כאשר יש לחזור על החישוב לגבי ספיקות שונות אחרות (פעולה אופינית בחישוב עקום התנגדות של קו מים) - מצטמצמת פעולה זאת להזזת לוח וקריאה מחודשת של התוצאות ללא כל חישובים.

בבעיות מסוימות, מופיעות 2 ויותר סריות של צנורות אשר אין לדעת מראש איך תתחלק ביניהן הספיקה הנכנסת למערכת; בעיה זאת היא בעיית ה"טבעת" ופתרונה מיגע במיוחד משום שהוא מבוסס על תהליך של נסוי ותקון. בבעיות מסוג זה, יעילותו של מכשיר חישוב זה בולטת יותר כפי שיוסבר להלן.

1. המכשיר וחלקיו

המכשיר מסתמך על נוסחת Hazen-Williams בקביעת הפסד העומד בכל

צנור:

$$H = 1.131 \times 10^{15} \times (Q/C)^{1.852} \times D^{-4.87} \times L \quad * (1)$$

h : הפסד העומד במטרים, Q : הספיקה במ"ק/ש', D : קוטר הצנור במ"מ,

L : אורך הצנור במטרים, c : קופיציאנט החכוך של הצנור.

המכשיר מורכב ממסגרת, סרטים ולוח-נע. הלוח הנע עשוי לנוע בתוך המסגרת

בכוון אורכי. הסרטים הנם רצועות אינ-סופיות המקיפות את המסגרת לרחבה; הן עשויות לנוע על המסגרת בכוון אורכי - ע"י החלקה לאורך המסגרת ובכוון רחבי - ע"י סבוב בכוון בו הן מקיפות את המסגרת. על הסרטים מסומנות 2 סקלות: סקלה של הפסדי עומד במטרים (לאורך השפה השמאלית של כל סרט) וסקלה של קטרים (לאורך השפה הימנית של הסרט) קטרים של פלדה מסומנים באדום, של אסבסט כחול. כל הסרטים זהים ביניהם.

על הלוח הנע נתונה סקלה רוחבית של אורכי הצנורות (במטרים); סמני סקלה זאת במשכים לכל אורך הלוח הנע. כ"כ נתונה על הלוח הנע סקלה אורכית של ספיקות (במ"ק/ש') ועקום; סקלת הספיקות והעקום הנם סימטריים לגבי קו אנכי העובר במרכז הלוח הנע; קו זה מציינן ספיקת 0 וממנו נמשכת סקלת הספיקות לשני הכוונים עד ל-400 מ"ק/ש' לכל כוון. נוסף על אלה נמצאת על הלוח הנע מימין סקלה רוחבית קטנה של ערכי C . c לצנורות פלדה: 90, לצנורות אזבסט או בטון: 135

(* - נוסחת H.W. בצורתה המטרית ע"פ: טבלאות הידרוליות מאת פרופ' מ.ש. אירמאי הוצאת הטכניון 1952.

לשם פתרון הטבעת, נמספר תחילה את האלמנטים שלה בכוון מסויים (כנגד כוון השעון), נקח סרטים כמספר האלמנטים (ציור 3). יתר הסרטים אינם דרושים לפתרון זה והם מוזזים לקצה המכשיר שמאלה (אינם נראים בציור). מבין 4 הסרטים הדרושים לפתרון, כל סרט מבטא אלמנט, הסרט הימיני מבטא את האלמנט מס' 1 הסרט השמאלי מבטא את האלמנט מס' 4. מסובבים את הסרטים בכוון רחבי באופן שבכל סרט, סמוך הקוטר יתלכד עם סמוך האורך שעל הלוח הנע - למשל: סמוך ה"4 שעל הסרט מס' 1, מתלכד עם הקו של 100 מ' שעל הלוח הנע ובכך מבטא הסרט הזה את אלמנט 1 שבו הקוטר "4 והאורך 100 מ'. לאחר זאת, מזיזים את סרט 2 בכוון אורכי באופן שהמרחק בין סרט 1 וסרט 2 יהיה - בקב"מ של סקלת הספיקות - כמו הספיקה היוצאת בין אלמנט 1 לאלמנט 2; לו היתה בכבסת ספיקה בצומת זאת (ולא יוצאת) היה סרט 2 מוזז ימינה מסרט 1 (ולא שמאלה). בצורה זאת קובעים את מקומם של כל הסרטים. סרט 1 מוזז ימינה מסרט 4 ב-300 מ"ק/ש' שכן בצומת שבין 1 ל-4 בכבסת ספיקה של 300 מ"ק/ש'.

לאחר סדור הסרטים, יש להזיז את הלוח הנע (ציור 5) עד למצב שבו האגף הימיני של העקום חותר אותו סכום של הפסדי עומד (על סקלות הפסדי העומד) - כמו האגף השמאלי: כל אגף חותר 5.5 מ'. מצב זה נותן את פתרון הטבעת: העקום חותר, כאמור, על כל סרט את הפסד העומד באלמנט, השפה השמאלית של כל סרט חותכת על סקלת הספיקות את הספיקות הזורמות וכוון הזרימה מסתברמך שכל הסרטים הנחתכים ע"י אגף אחד של העקום - מראים כוון אחד והאחרים - כוון הפוך.

סרט 1 מראה 70 מ"ק/ש', סרט 2: 20 מ"ק/ש', סרט 3: 130 מ"ק/ש', סרט 4: 230 מ"ק/ש'.

באלמנטים 1, 2, הזרימה הינה בכוון אחד וב-3, 4 - בכוון הפוך. נתוני הפתרון נראים בציור 7.

במקרה ש $C.h.w. \neq 90$ (בצנורות פלדה) יוחלף סמוך הקוטר בצנור בנקודה אחרת שעל סקלת הקטרים; בקודה זאת תמצא בעזרת סקלת C הנמצאת בקצה הימיני של הלוח הנע: מרחק הנקודה מעל או מתחת לסמוך הקוטר הוא כמו מרחק ה-c המבוקש מעל או מתחת ל- $C = 90$ על גבי סקלת C.

במקרה של כמה צנורות בקטרים שונים שאין ביניהם יציאת ספיקה, צריך להפכם לקוטר שקול. אם למשל נתון קוטר "4 באורך 100 מ' ונדרש להפכו לאורך שקול של קוטר אחד - מזיזים סרט אחד למצב שבו סמוך "4 מתלכד עם סמוך 100 מ' (כמו בדוגמה שבסעיף 5) וכל סמוכי הקטרים שבאותו סרט מתלכדים עם סמוכי אורכים שהם הארכים השקולים המבוקשים.

4. דוגמה נוספת (רשת הנזונה מ-2 ברכות)

נתונה רשת הנזונה מ-2 ברכות (ציור 8) בעיה זאת נפתרת בצורה דומה לבעית טבעת - אולם בעוד שפתרון טבעת מבוסס על כך שב-2 קצותיה שורר אותו עומד - כאן מבוסס הפתרון על כך שב-2 הקצוות שורר הגדל עומדים - (8.7 מטרים).

סדור הסרטים עבור פתרון בעיה זאת הוא כמו בציור 3; לאחר סדור הסרטים מוזז הלוח הנע עד למצב שבו אגף אחד של העקום (השמאלי) חותר הפסד עומד ב-8.7 מ' יותר מאשר השני (ציור 4).

ציור 9 מראה את מצב הזרימות המתקבל: הברכה הנמוכה מספקת 20 מ"ק/ש', הגבוהה: 280 מ"ק/ש'.

5. פתרון טבעות מורכבות

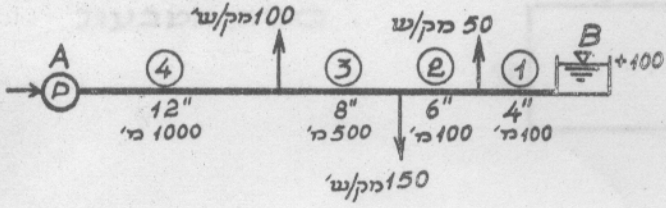
פתרון רשתות המהוות יותר מסבעת סגורה אחת - כרוך בגשוש יותר ארוך. להלן 2 דוגמאות לפתרון רשת בעלת 2 טבעות.

א) פתרון רשת של 3 אגפים (ציור 10). עורכים את הסרטים של כל אחד משלושת האגפים בנפרד, לאחר זאת, מביחים ספיקה מסוימת הנכנסת לאגף 1 וקוראים (ע"י אגף אחד של העקום) מהו הפסד העומד שיהיה באגף זה. לאחר זאת, מזיזים את העקום לקבוצת הסרטים של אגף 2 ומוצאים את הספיקה שתיצור באגף זה אותו הפסד עומד. את הספיקה באגף 3 קובעים ב-2 דרכים: א) כמו באגף 2. ב) כהבדל בין כלל הספיקה הנכנסת לרשת לספיקות הנכנסות לאגפים 2,3. אם הספיקות באגף 3 שחושבו ב-2 הדרכים השונות - מזדהות - הרי ההנחה בדבר הספיקה הנכנסת לאגף 1 היתה נכונה; אם לא - יש לקחת את הממוצעת ביניהן ולחזור על הפעולה - הפעם מאגף 3. ממשיכים בדרך זאת עד להשגת הדיוק הרצוי.

ב) פתרון רשת של 2 טבעות (ציור 11). פותרים תחילה את הרשת כאילו אלמנט (צנור) 2 אינו קיים - (פתרון מס' 1). לאחר זאת, רואים מהו הפרש הלחצים בין צומת 1-2-3 לבין צומת 2-4-5 - נביח: $2 h_1$; לוקחים את חצי ההפרש הזה: h_1 (זהו הממוצע בין ההפרש לבין מצב שבו אין הפרש בכלל) ובודקים מהי הספיקה המתאימה - באלמנט 2 - להפסד לחץ בשעור h_1 ; הספיקה המתאימה היא Q_1 וכוונה אל העומד הקטן, נביח אל צומת 2-4-5. פותרים את הטבעת שנית באופן שבצומת 1-2-3 יוצאת ספיקה הגדולה ב- Q_1 מזו שבחשוב הקודם ובצומת 2-4-5 יוצאת ספיקה הקטנה ב- Q_1 מזו שבחשוב הקודם, קוראים שנים את הפרש הלחצים כב"ל, נביח: h_2 ומחשבים את הממוצע $\frac{1}{2} (h_1 + h_2) = h_3$ וחוזרים על הפעולה עד ש $h_n = h_{(n+1)}$ (עד למידת הדיוק הרצויה).

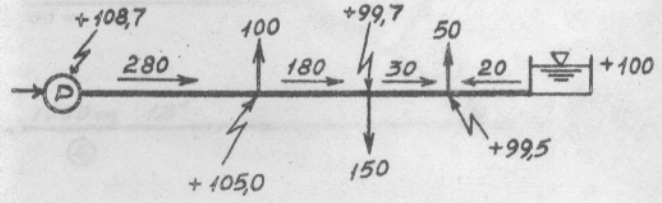
ציור 1

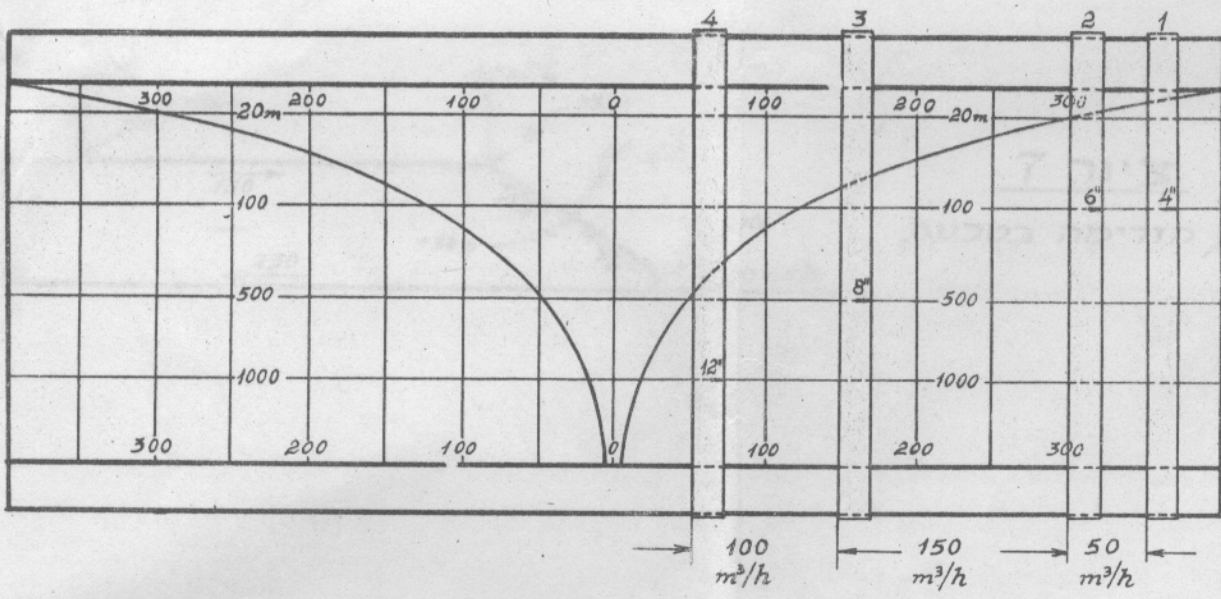
משאבה המספקת למערכת צנורות



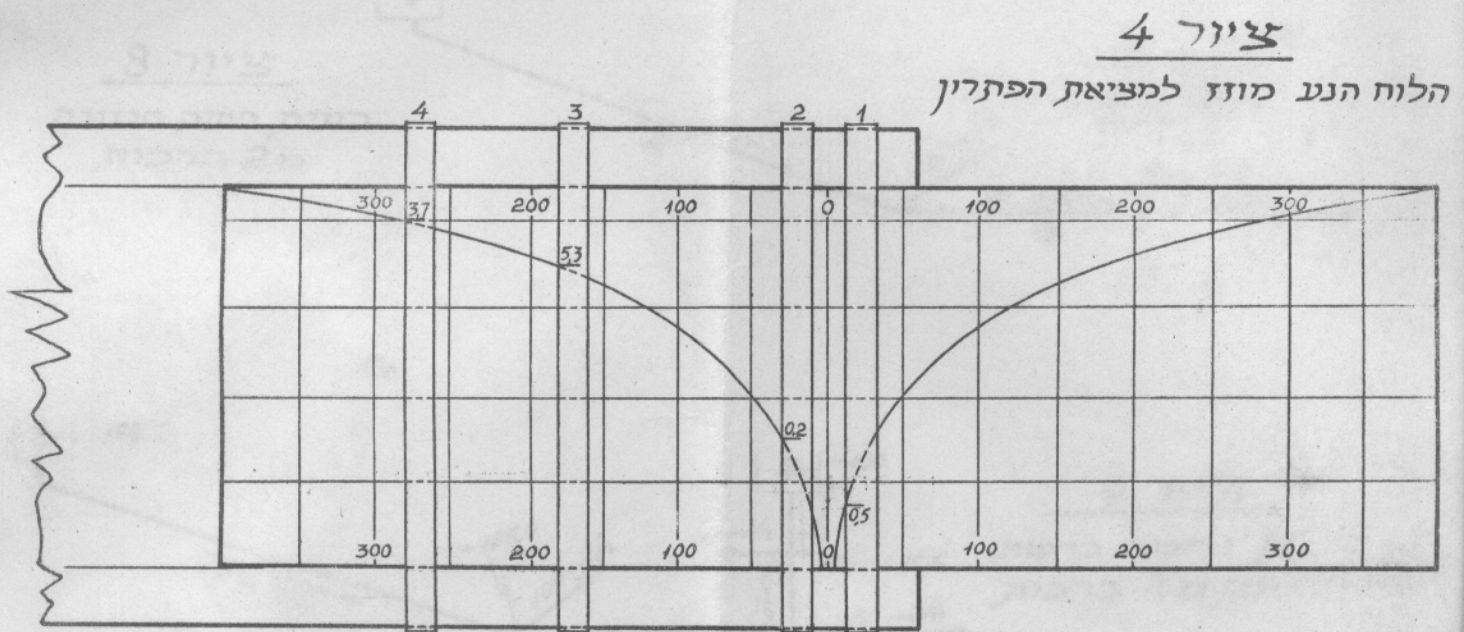
ציור 2

סכמת זרימה במקרה שהמשאבה מספקת 280 מ³/ש

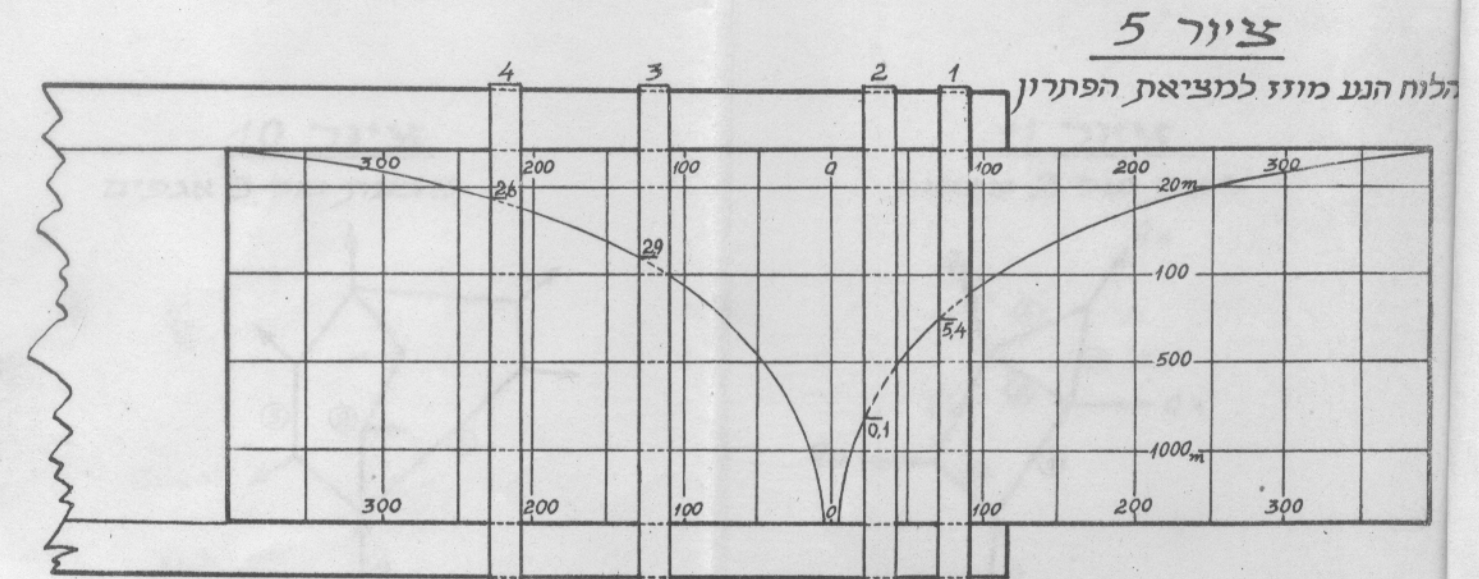




ציור 3
 סדור הסרטים
 על המכשיר

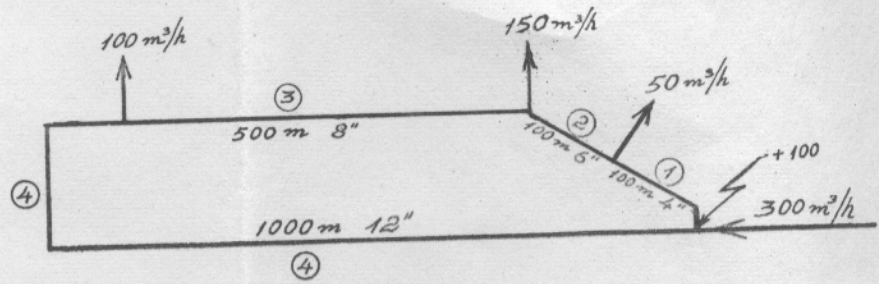


ציור 4
 הלוח הנע מוזז למציאת הפתרון

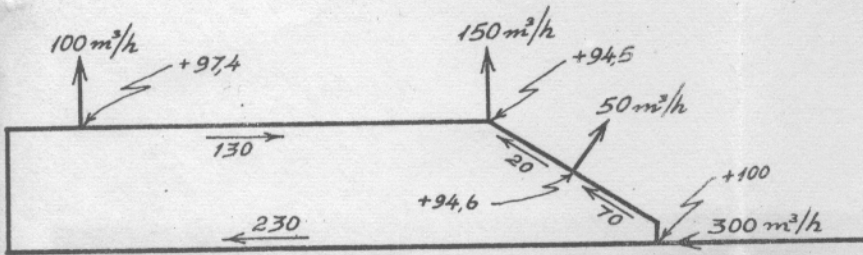


ציור 5
 הלוח הנע מוזז למציאת הפתרון

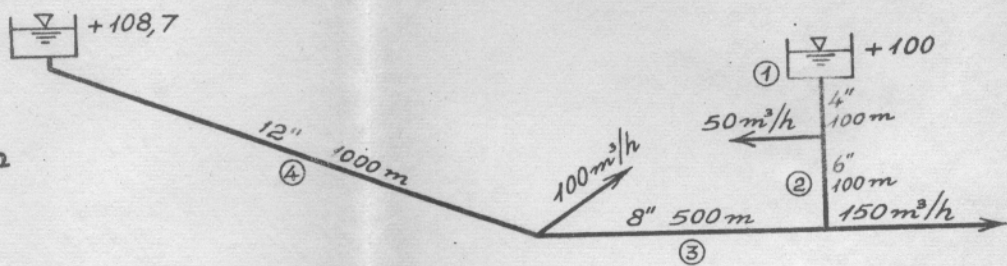
ציור 6
בעית הטבעת



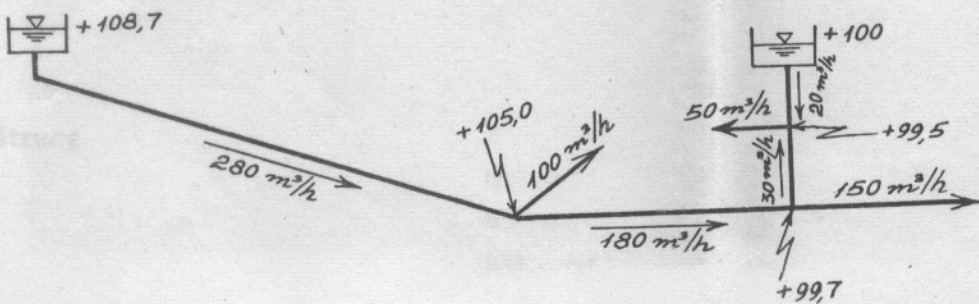
ציור 7
סכמת הזרימה בטבעת



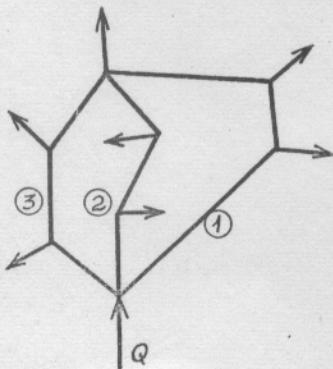
ציור 8
בעית רשת הנזונה
מ 2 ברכות



ציור 9
סכמת זרימה ברשת
הנזונה מ 2 ברכות



ציור 10
טבעת של 3 אגפים



ציור 11
רשת של 2 טבעות

