ארגון עובדי המים
Israel Water Works Association

יסודות הידראוליקה

זיו אוהר M.Sc
אקווה די הנדסה בע״מ
ziv@aqua-di.co.il

אקווה די
הנדסה בע"מ

קורס מקצועי למשאבות ומערכות שאיבה
ארגון עובדי המים פברואר 2018

ראשי פרקים

- מכניקת הזורמים – חוקי השימור:
  - שימור מסה
  - שימור אנרגיה
- אנרגיה במערכות מים
- משוואת ברנולי
- הספק משאבה ונצילות
- הפסדי אנרגיה בזרימה
- זרימה בצינור בחתך מלא – נוסחת הייזן ווילאמס
- דוגמה + הדגמת אפליקציה לחישוב יכולת זרימה או הפסדי אנרגיה
- זרימה בחתך חלקי – נוסחת מאנינג

חוקי השימור

שימור המסה:

$$\frac{\partial}{\partial t}\iiint \rho d\forall + \iint (\rho \vec{V} \cdot d\vec{A}) = 0$$

או בעברית:

ספיקה נכנסת – ספיקה יוצאת = נפח שהצטבר

יסודות – שימור האנרגיה

$$\frac{\partial}{\partial t}\iiint(Energy)dv+\iint\rho\left(e+\frac{p}{\rho}+\frac{u^2}{2}+gz\right)(\vec{u}\cdot\vec{n})dA=Q_T-\underline{P}$$

שינוי האנרגיה בנפח הבקרה

שטפי אנרגיה דרך הפתחים

שטף חום שנכנס לתוך נפח הבקרה

הספק שיוצא מנפח הבקרה

הספק משאבה $P=\frac{\gamma Q\Delta H}{\eta}$

יסודות - נצילות

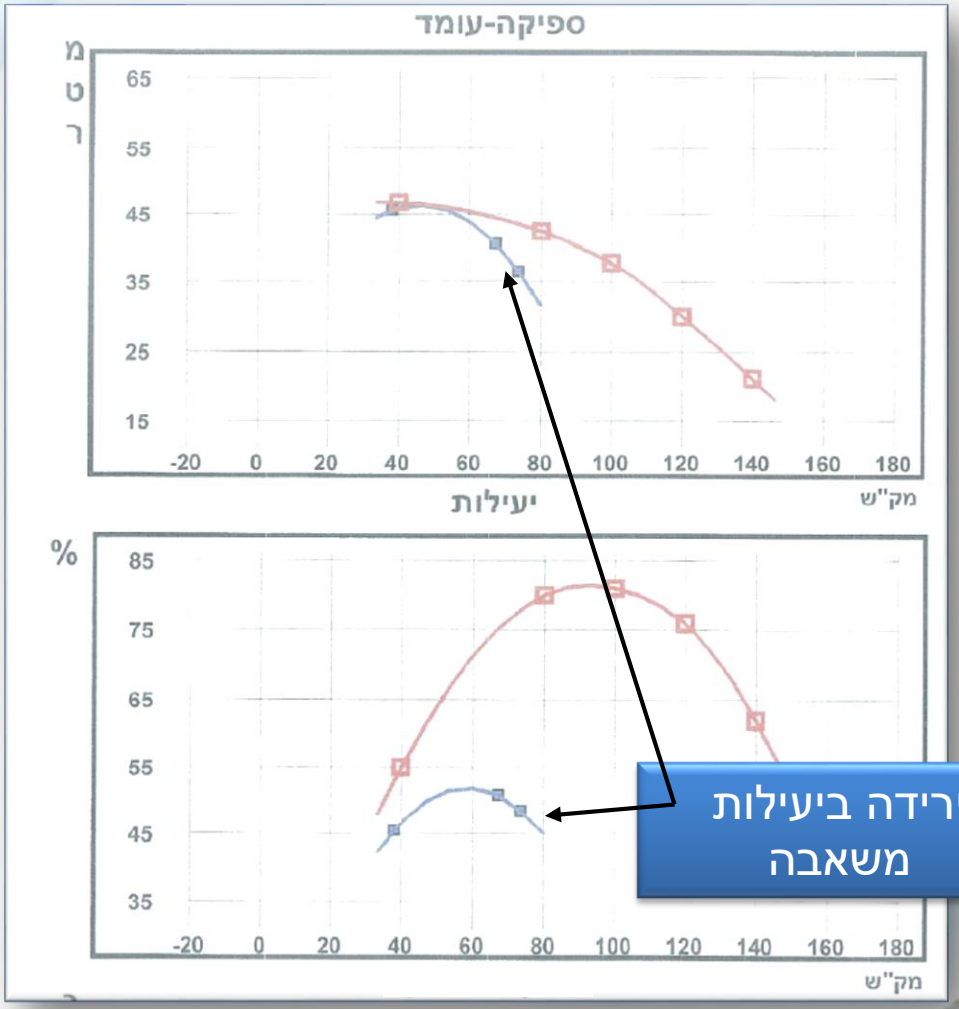
- הנצילות η מוגדרת כיחס בין ההספק המתקבל להספק המושקע (התיאורטי)

$$\eta_{ww} = \frac{P_{\text{מדוד}}}{P_{\text{תיאורטי}}}$$

$$\eta_{ww} = \eta_{pump} \cdot \eta_{motor} \cdot \eta_{vsd}$$

עקומי משאבות

עקום היצרן
עקום מדוד בשטח



ירידה ביעילות משאבה

מקובל לייצג משאבות ע"י המשוואה:

$$\Delta H_p = a - bQ^c$$

חוק ברנולי

$$H_i = \frac{p_i}{\gamma} + \frac{u_i^2}{2g} + z_i$$

עומד כולל בנק' i

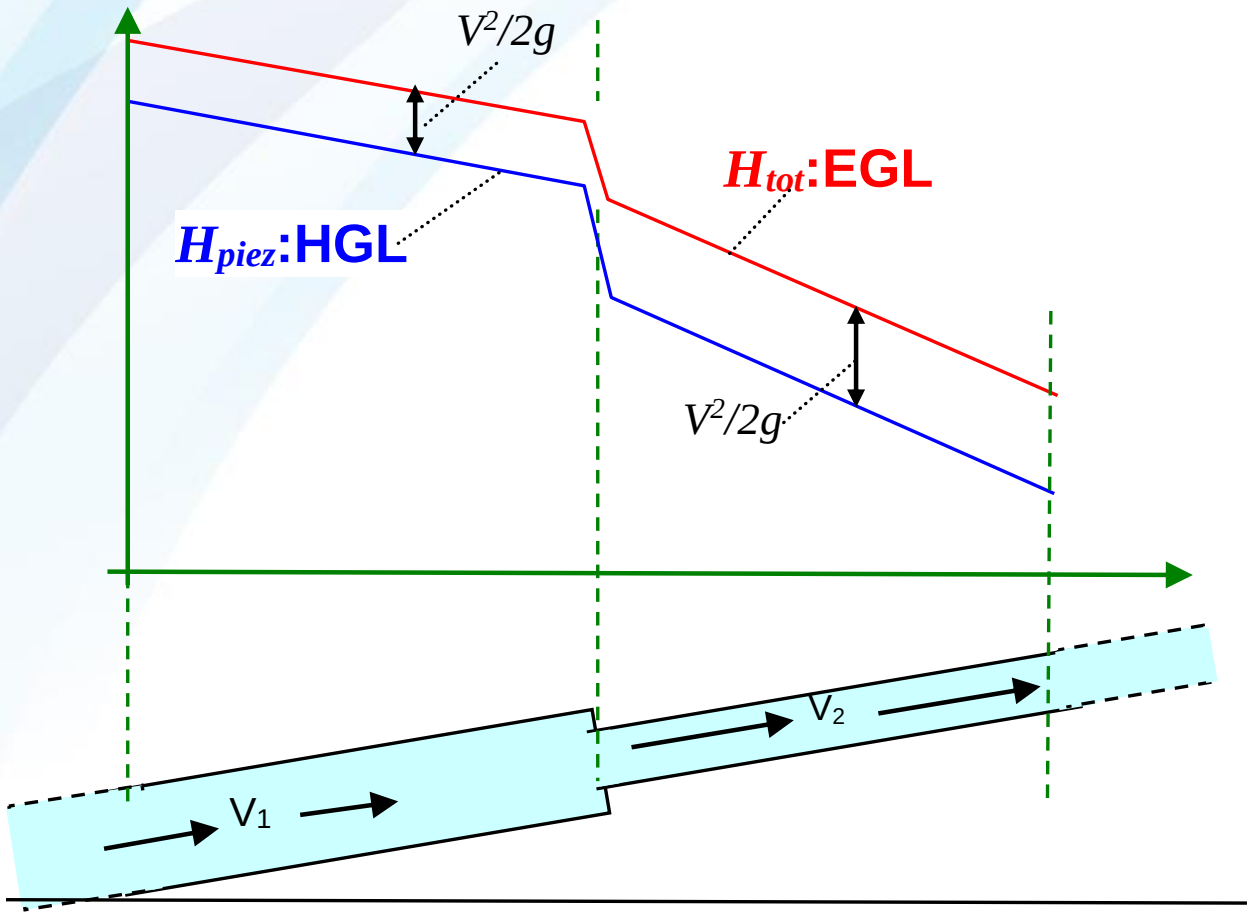
עומד הלחץ בנק' i

העומד המהירותי בנק' i

עומד הרום בנק' i

עומד – אנרגיה ליח' משקל של הזורם (אנרגיה בממד של אורך [L])

קוי עומד – קו אנרגיה וקו עומד פיאזומטרי



<u>קוי עומד לאורך מובל עם שינוי קוטר.</u>

מהלך קווי העומד תמיד בשיפוע יורד באופן בלתי תלוי בשיפוע הטופוגרפי (במקרה המוצג זוהי עליה). במעבר הקוטר הפסד עומד מקומי (ראה בהמשך). בקטע הימני קוי עומד תלולים יותר (הפסדי עומד גדולים יום יותר) בשל הקוטר הקטן . העומד המהירותי בקטע הימני מהירות גדולה יותר (שימור מסה) ולכן עומד מהירותי מוגדל. לאורך צינור אחיד קוי העומד ליניאריים.

הפסדי אנרגיה בזרימה

- ניתן לסווג את הפסדי האנרגיה בזרימה ל:
  - הפסדים אורכיים הנגרמים לאורך הזרימה בצינור
  - הפסדי אנרגיה מקומיים הנגרמים כתוצאה מאביזרים שונים או כיפוף בצנרת.

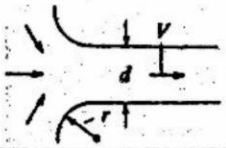
$$H_2 = H_1 - \Delta H_f$$

הפסדים מקומיים

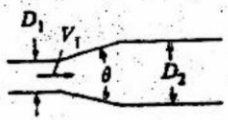
- הפסד עומד מקומי, בדומה לתוספת (משאבה), באה לידי ביטוי במרכיב הלחץ:

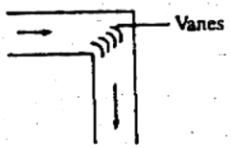
$$\Delta p_L = K\frac{\rho V^2}{2}$$

- כאשר הקבוע K נקבע ע"י היצרן בהתאם לסוג הצנרת והאביזר.

Description	Sketch	Additional Data	K
Pipe entrance		r/d	K_e
		0.0	0.50
		0.1	0.12
$h_L = K_e V^2/2g$		>0.2	0.03

Description	Sketch	D_2/D_1	K_C $\theta = 60°$	K_C $\theta = 180°$
Contraction		0.0	0.08	0.50
		0.20	0.08	0.49
		0.40	0.07	0.42
		0.60	0.06	0.32
		0.80	0.05	0.18
$h_L = K_C V_2^2/2g$		0.90	0.04	0.10

Description	Sketch	D_1/D_2	K_E $\theta = 10°$	K_E $\theta = 180°$
Expansion		0.0		1.00
		0.20	0.13	0.92
		0.40	0.11	0.72
		0.60	0.06	0.42
$h_L = K_E V_1^2/2g$		0.80	0.03	0.16

90° miter bend		Without vanes	$K_e = 1.1$
		With vanes	$K_e = 0.2$

		r/d	
90° smooth bend		1	$K_e = 0.35$
		2	0.19
		4	0.16
		6	0.21
		8	0.28
		10	0.32

Threaded pipe fittings	Globe valve—wide open	$K_e = 10.0$
	Angle valve—wide open	$K_e = 5.0$
	Gate valve—wide open	$K_e = 0.2$
	Gate valve—half open	$K_e = 5.6$
	Return bend	$K_e = 2.2$
	Tee	
	straight-through flow	$K_e = 0.4$
	side-outlet flow	$K_e = 1.8$
	90° elbow	$K_e = 0.9$
	45° elbow	$K_e = 0.4$

הפסד עומד מקומי ע"י אוויר כלוא

הפסדים אורכיים בקווים

- הנוסחה השכיכה ביותר לזרימה בחתך מלא הינה נוסחת הייזן-ויליאמס:

$$\Delta H_f = 1.131 \cdot 10^9 \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} \cdot D^{-4.87} \cdot L$$

סוג צינור	מקדם חלקות הייזן ויליאמס (C)
פלדה ישן	80-100
פלדה חדש	120-130
פלדה עם ציפוי פנימי	140
פוליאתילן	140
PVC	150

כאשר:

ΔHf - הפסד עומד בצינור [m]

Q – ספיקה [m³/hr]

C – מקדם הייזן ויליאמס

D – קוטר הצינור [mm]

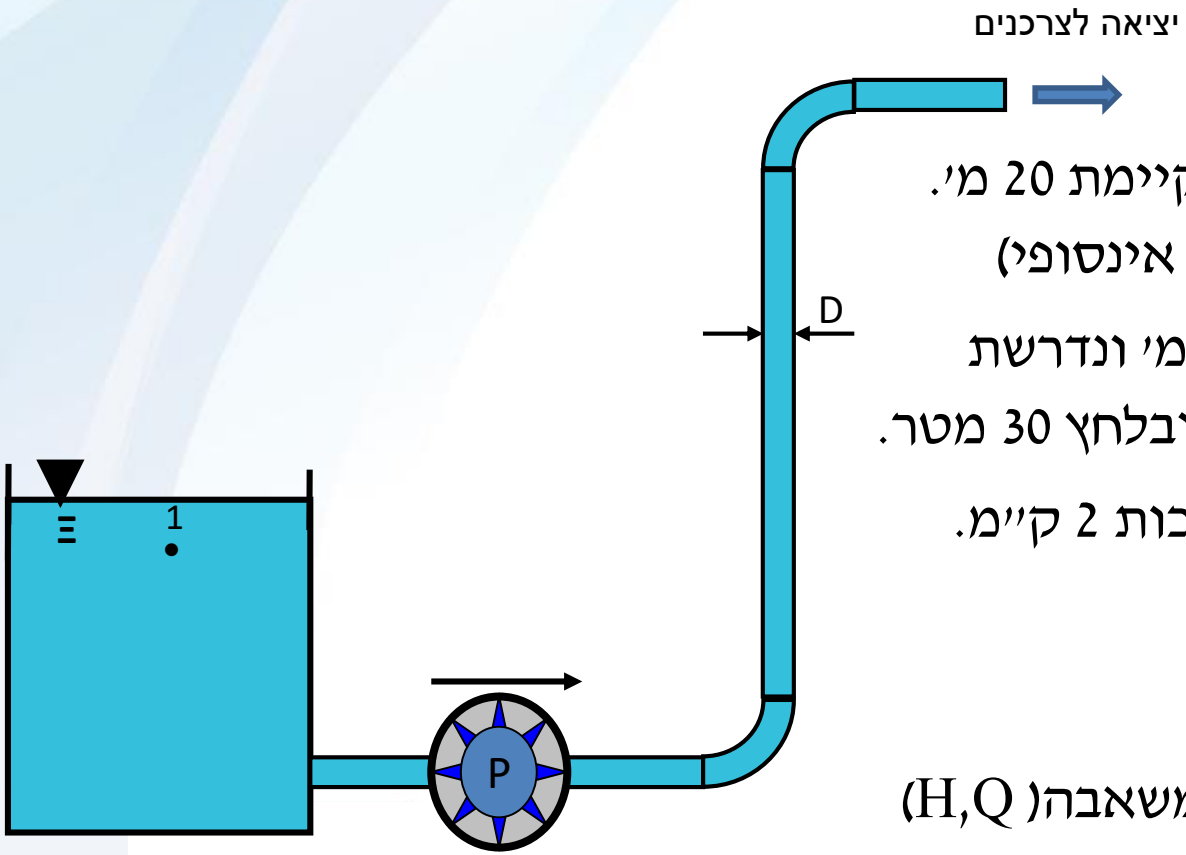
L – אורך הצינור או אורך אקוויולנטי [m]

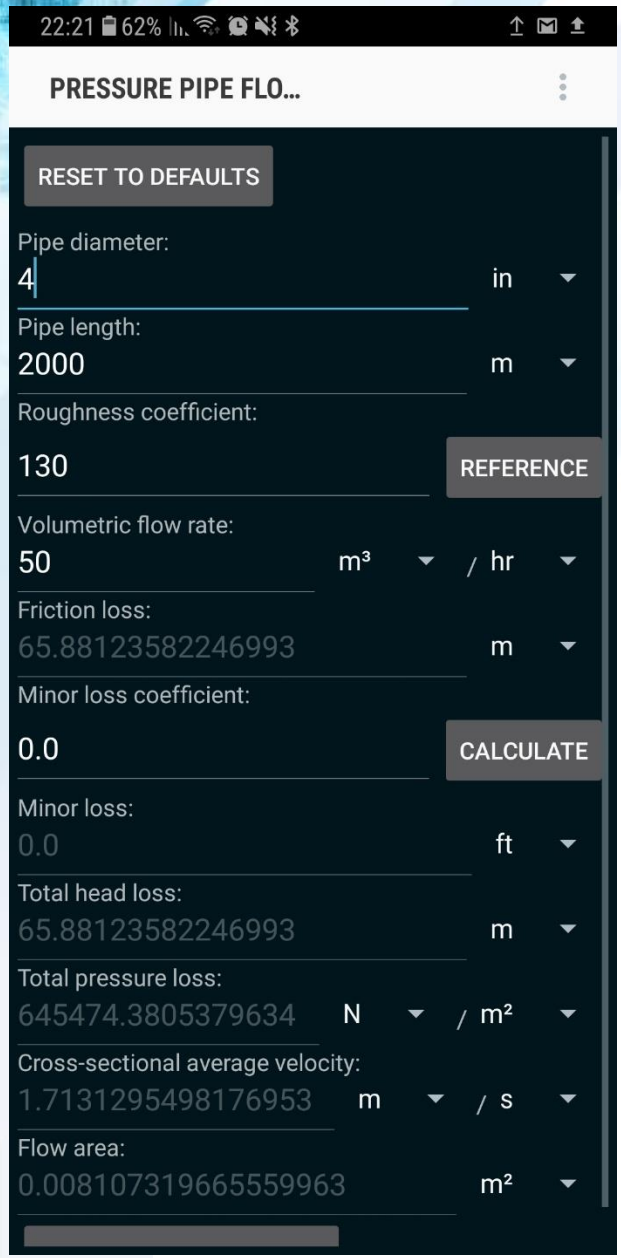
קישור למחשבון:

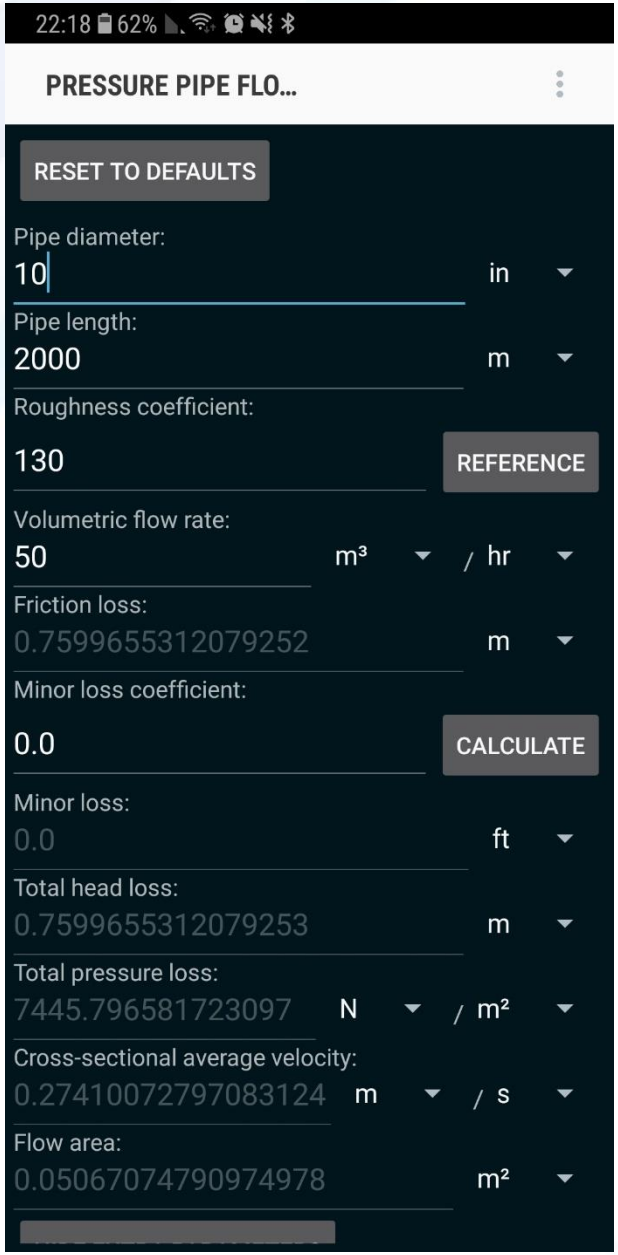
http://www.calctool.org/CALC/eng/civil/hazen-williams_p

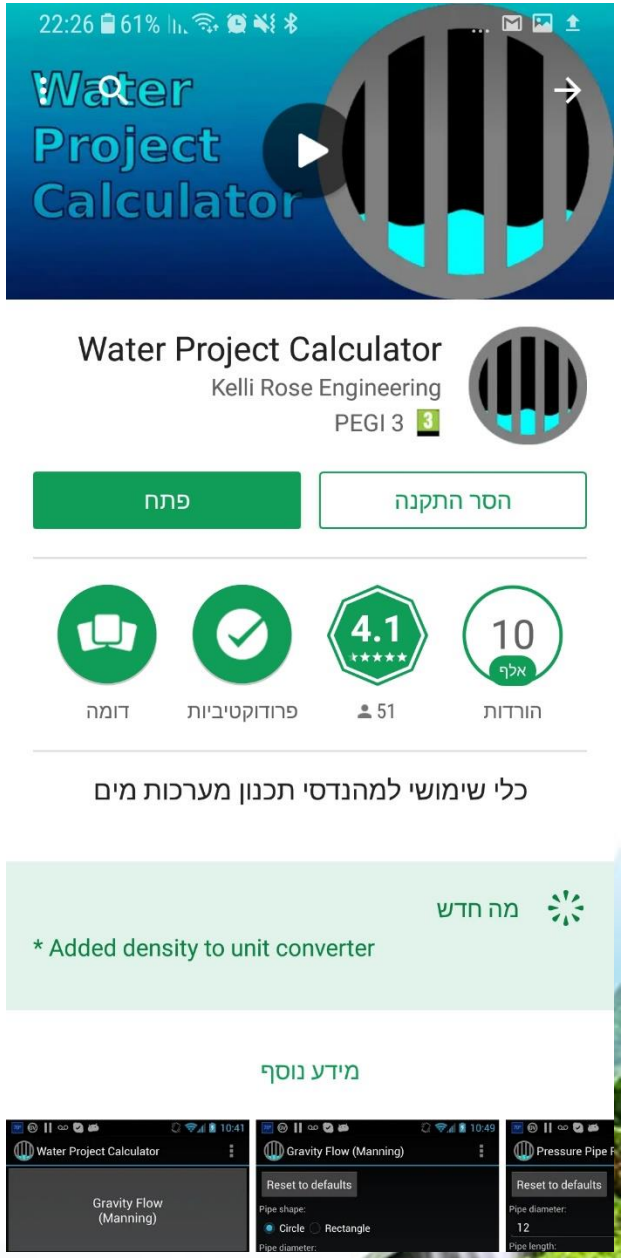
דוגמא 1 – תכן משאבה

- נדרש לתכנן מערכת שאיבה:
  - נתון:
    - עומד ברכה תחתונה קיימת 20 מ'. (נניח עומד קבוע ונפח אינסופי)
    - רום חלקת הצרכן 30 מ' ונדרשת ספיקה של 50 מק"ש ובלחץ 30 מטר.
    - אורך הצינור בין הברכות 2 ק"מ.
  - יש לתכנן את:
    - קוטר הצינור (D)
    - נקודת העבודה של המשאבה (H,Q)




22:21 62%
PRESSURE PIPE FLO...
RESET TO DEFAULTS
Pipe diameter:
4
in
Pipe length:
2000
m
Roughness coefficient:
130
REFERENCE
Volumetric flow rate:
50
m³
/ hr
Friction loss:
65.88123582246993
m
Minor loss coefficient:
0.0
CALCULATE
Minor loss:
0.0
ft
Total head loss:
65.88123582246993
m
Total pressure loss:
645474.3805379634
N
/ m²
Cross-sectional average velocity:
1.7131295498176953
m
/ s
Flow area:
0.008107319665559963
m²


22:18 62%
PRESSURE PIPE FLO...
RESET TO DEFAULTS
Pipe diameter:
10
in
Pipe length:
2000
m
Roughness coefficient:
130
REFERENCE
Volumetric flow rate:
50
m³
/ hr
Friction loss:
0.7599655312079252
m
Minor loss coefficient:
0.0
CALCULATE
Minor loss:
0.0
ft
Total head loss:
0.7599655312079253
m
Total pressure loss:
7445.796581723097
N
/ m²
Cross-sectional average velocity:
0.27410072797083124
m
/ s
Flow area:
0.05067074790974978
m²

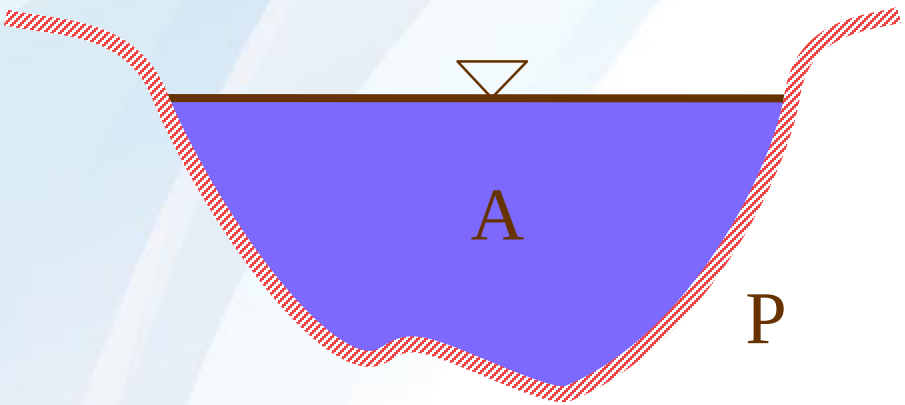

22:26 61%
Water Project Calculator
Water Project Calculator
Kelli Rose Engineering
PEGI 3
פתח
הסר התקנה
דומה
פרודוקטיביות
4.1
51
10
אלף
הורדות
כלי שימושי למהנדסי תכנון מערכות מים
מה חדש
* Added density to unit converter
מידע נוסף
Water Project Calculator
Gravity Flow (Manning)
Reset to defaults
Pipe shape:
Circle
Rectangle
Pressure Pipe
Reset to defaults
Pipe diameter:
12

זרימה בתעלה פתוחה

- משוואת מאנינג:

$$Q = \frac{1}{n} A R_h^{2/3} S_o^{1/2}$$

- Q – ספיקה
- n – מקדם חספוס
- A – שטח הזרימה
- $R_h = \frac{A}{P}$
- P - "ההיקף הרטוב"
- S – שיפוע הקרקעית



<u>טווח מקדמי n מקובלים:</u>

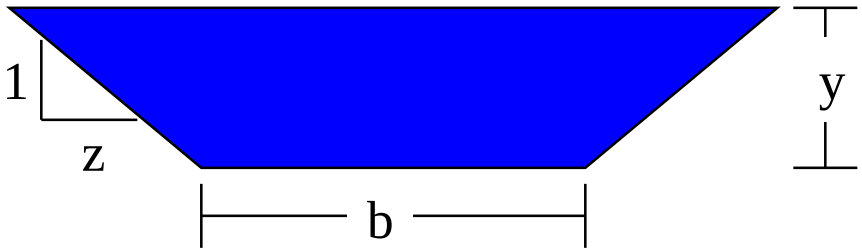
•יצקת ברזל	•0.015 - 0.012
•פלדה	•0.013 - 0.011
•פלדה מגולבנת	•0.017 - 0.013
•זכוכית	•0.013 - 0.009
•צינור בטון	•0.016 - 0.012
•תעלת בטון	•0.018 - 0.012
•תעלה בקרקע	•0.033 - 0.025

תעלה טרפזית

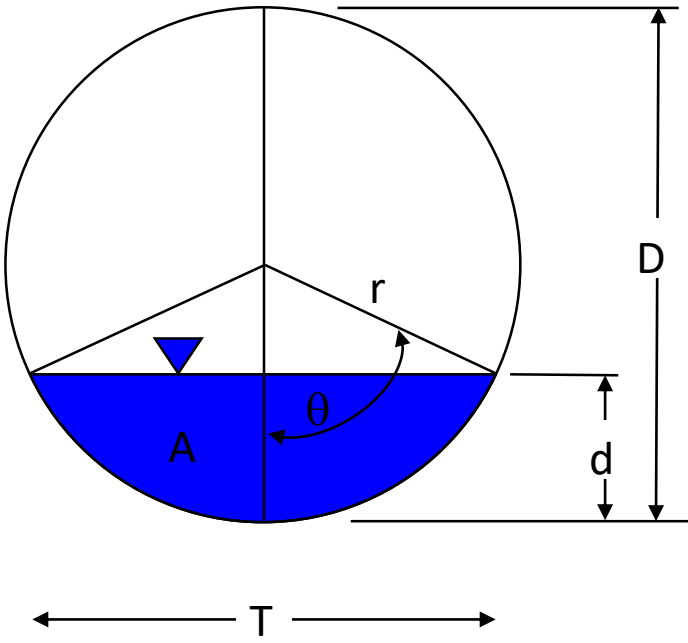
- לרוב אנו נרצה לפתור בעיה אחרת –

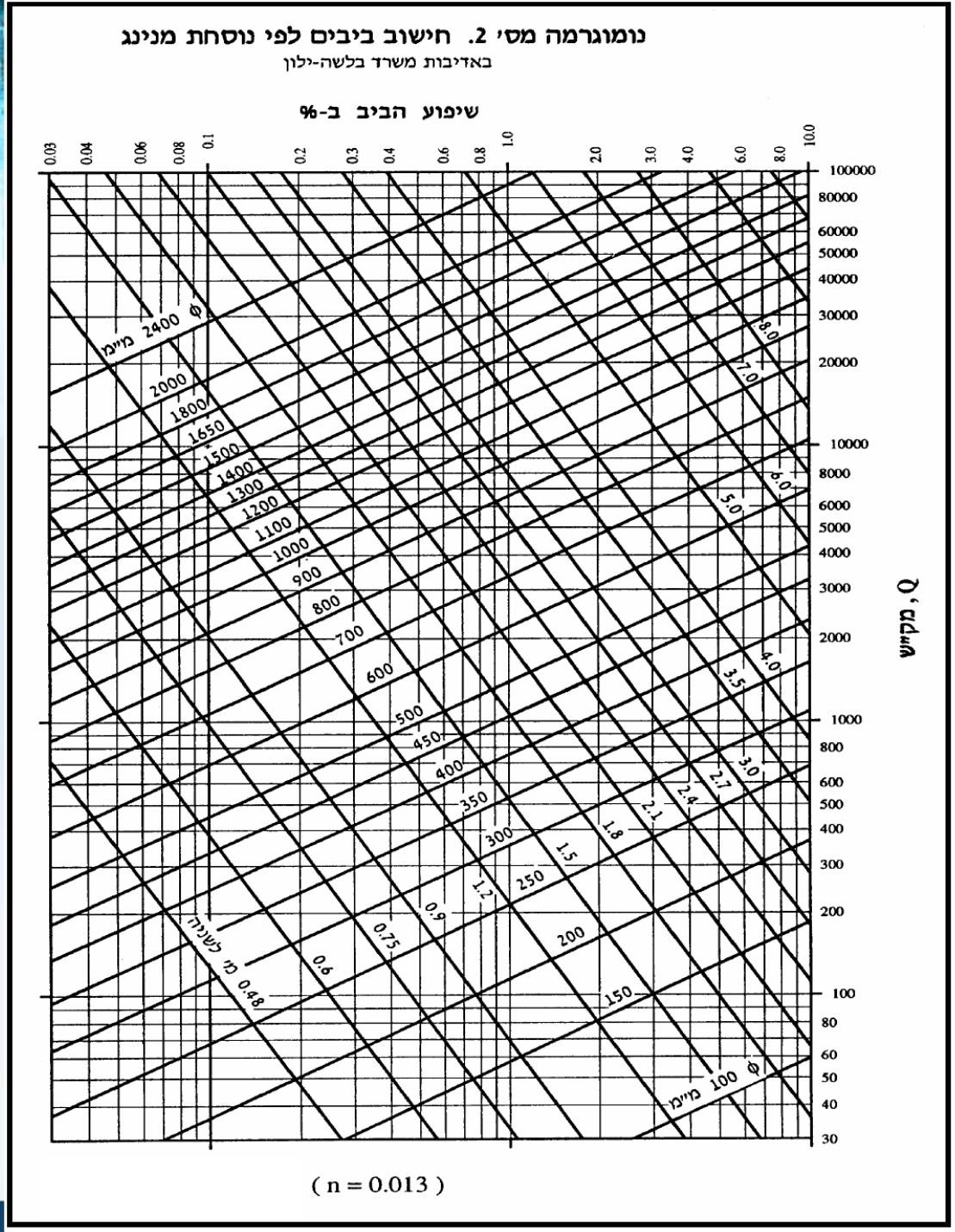
מה יהיה מפלס המים בתעלה או בצינור בספיקה כלשהיא?

$$Q = \frac{1}{n} A R_h^{2/3} S_o^{1/2}$$

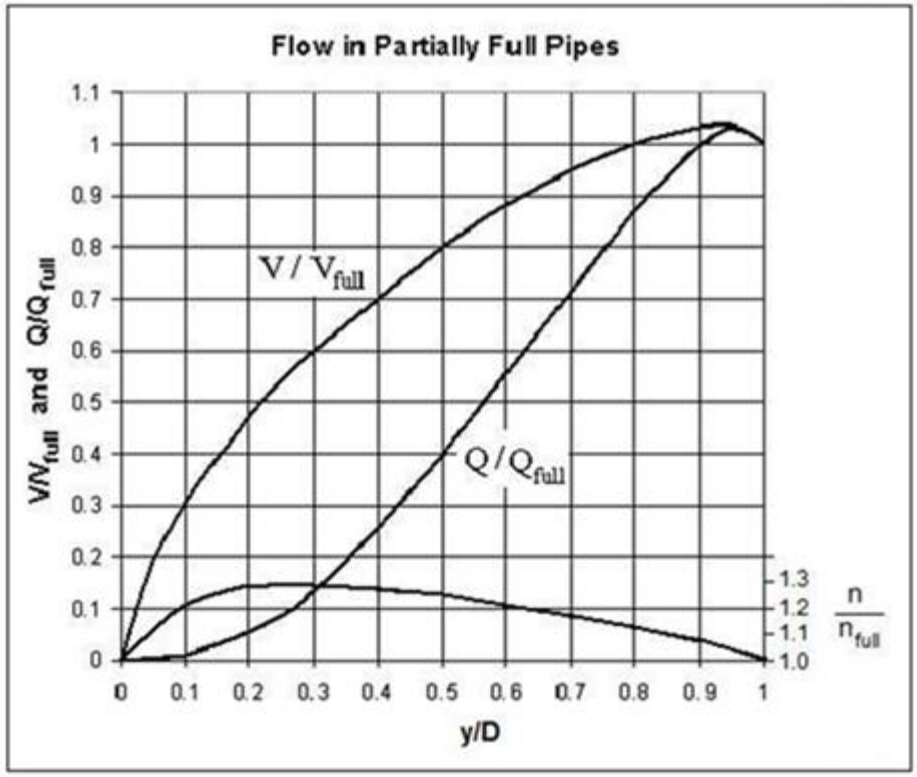


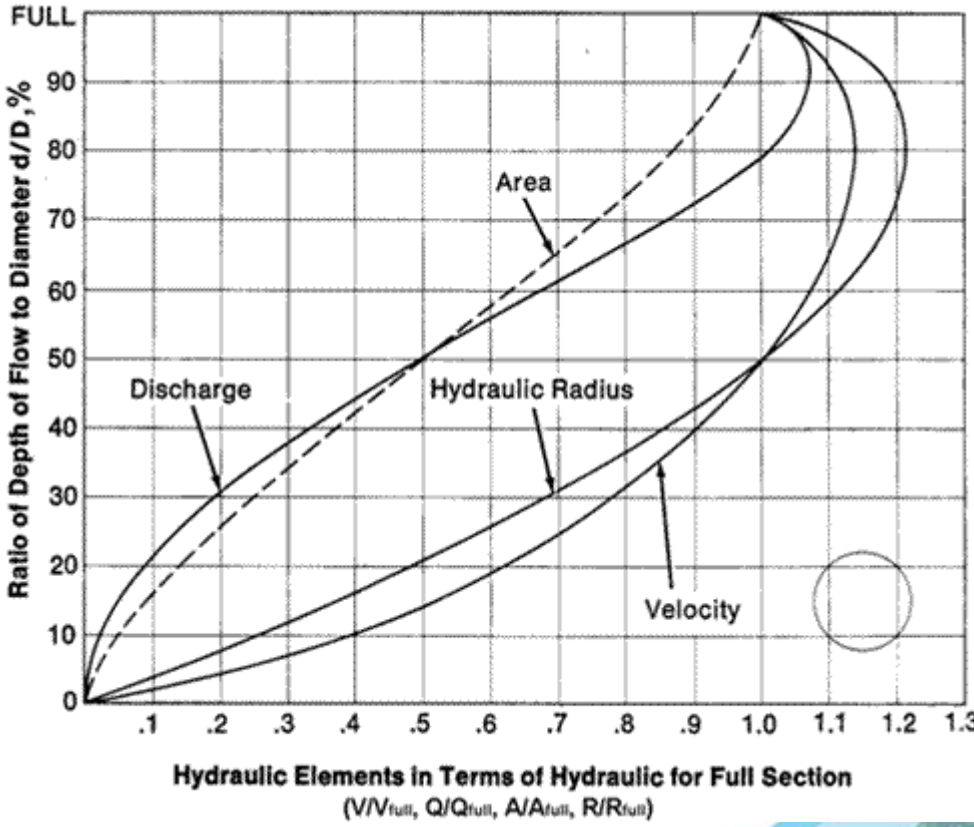
זרימה בחתך עגול



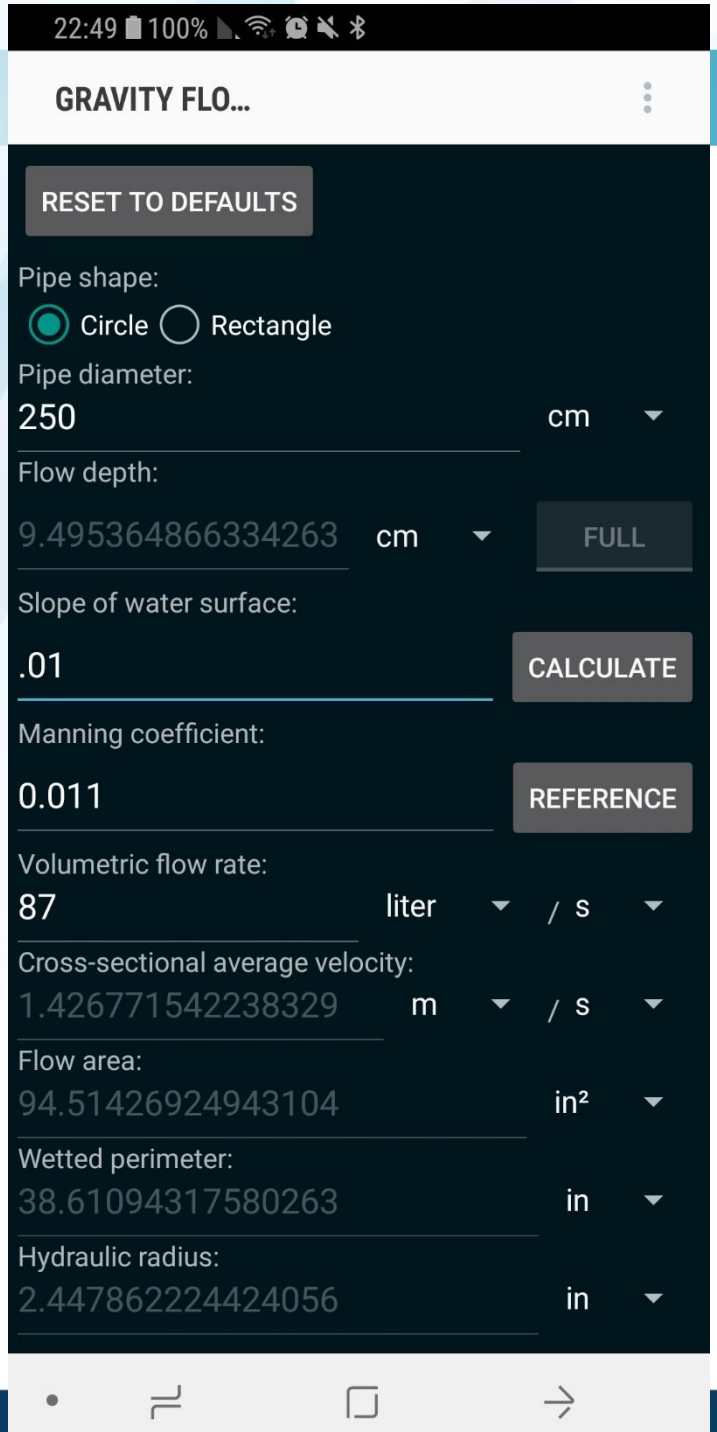


זרימה בחתך עגול





דוגמה למאסף


22:49 100%
GRAVITY FLO...
RESET TO DEFAULTS
Pipe shape:
Circle
Rectangle
Pipe diameter:
250
cm
Flow depth:
9.495364866334263
cm
FULL
Slope of water surface:
.01
CALCULATE
Manning coefficient:
0.011
REFERENCE
Volumetric flow rate:
87
liter
/ s
Cross-sectional average velocity:
1.426771542238329
m
/ s
Flow area:
94.51426924943104
in²
Wetted perimeter:
38.61094317580263
in
Hydraulic radius:
2.447862224424056
in

ארגון עובדי המים
Israel Water Works Association

תודה!

זיו אוהר M.Sc
אקווה די הנדסה בע״מ
ziv@aqua-di.co.il

אקווה די
הנדסה בע"מ

קורס מקצועי למשאבות ומערכות שאיבה
ארגון עובדי המים פברואר 2018