

# סיכוני הלם מים בתחנות שאיבה

רפי אגמי *B.sc*  
יועץ למערכות זורמים

# •הלם מים

## •שינוי פתאומי במהירות עמודת המים (שימור מסה ושימור תנע)

•פתאומי :

$$t < 2 * L / C$$

$$T = \text{משך זמן הארוע}$$

$$L = \text{אורך הקו}$$

$$C = \text{חפיזות גל}$$

•**משאבות**

- כיבוי משאבה פתאומי
- תחילת עבודת משאבה

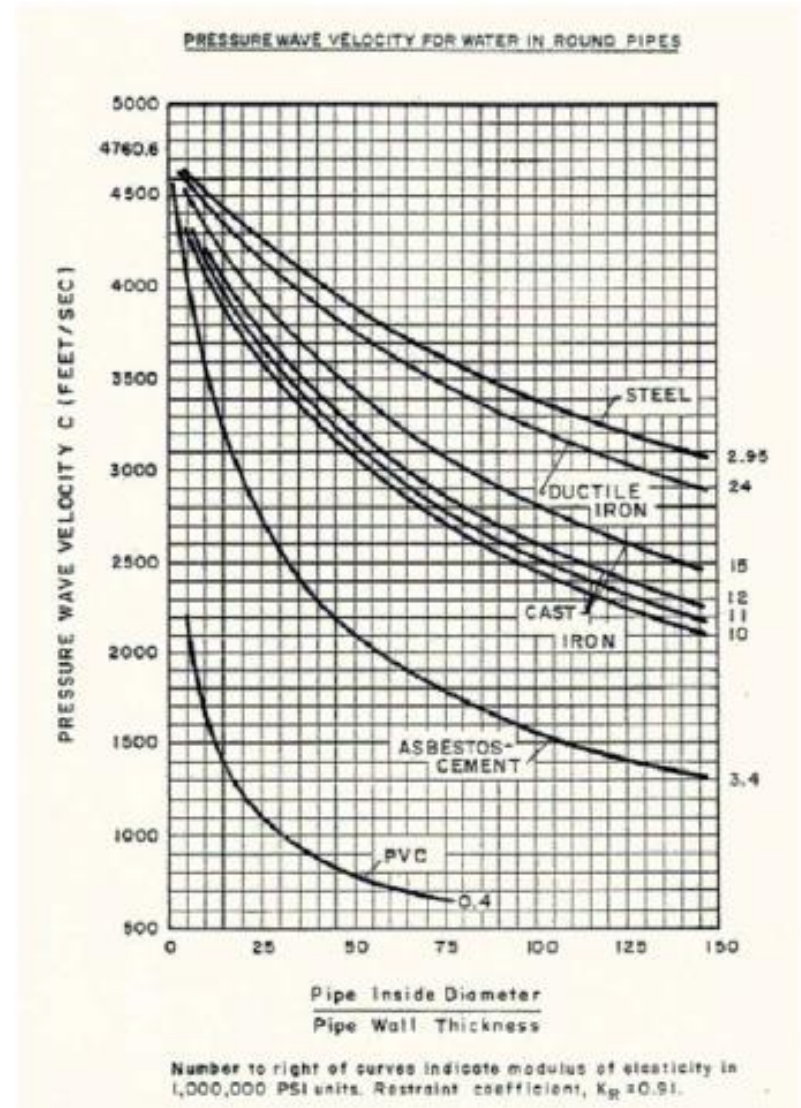
•**מגופים**

- סגירה מהירה של מגוף
- פתיחת מגוף
- **שינויי צריכה**

• חפיזות גל ההלם :

$$C = \sqrt{\frac{1}{\rho \times \left( \frac{1}{E\nu} + \frac{(D/e)}{E} \right)}}$$

- $E\nu$  - מודול האלסטיות של הנוזל
- $\rho$  - צפיפות הנוזל
- $D$  - קוטר הצינור
- $e$  - עובי הדופן של הצינור
- $E$  - מודול האלסטיות של הצינור



$$\Delta P = \rho \times (\Delta V \times C + \Delta V^2) \quad \text{שימור תנע (אווילר):}$$

$$\Delta H \times \rho \times g = \rho \times \Delta V \times (C + \Delta V) \approx \rho \times \Delta V \times C$$

## נוסחת ז'וקובסקי:

$$\Delta H = \frac{C}{g} \times \Delta V$$

$C$  [m/sec] -- חפיזות גל הלים

$g$  [m/sec<sup>2</sup>] -- תאוצה גרביטציונית

$\Delta V$  [m/sec] -- שינוי המהירות

$\Delta H$  [m] -- שינוי עומד

• כלל אצבע:

$$\bullet \Delta V = 1 \text{ מ'ש}$$

$$\bullet \Delta H = 10 \text{ בר}$$

# עקרונות יסוד להבנה:

## • הפרדה בין תנועות:

- הפרעת לחץ רגעית קצרה מאד:  
דומה למכת פטיש על דופן הצינור
- לא תגרום לתנועת מים
- לא תגרום להגדלה כוללת של  
המאמצים בגוף הצינור
- לא תגרום לתהליך כשל בחומר  
לא פריך (פלדה, פלסטיק)

• תנועת עמודת מים  
עשיריות עד אחדות  
[מטר לשניה]

• תנועת הפרעת לחץ  
מאות עד אלפים  
[מטר לשניה]

## • אפשרית תנועה בלתי תלויה

# עקרונות יסוד להבנה:

מקור אנרגיה לתהליך כשל: (הטבע חזק הרבה יותר)

מהירות סופית מוגבלת :  
• עשירות עד אחדות  
[מטר לשניה]

יכולת האצה של משאבה :  
• עשירות עד אחדות  
[מטר לשניה בשניה]



יכולת האצה של הגרביטציה :  
• אחדות עד עשרות  
[מטר לשניה בשניה]

מהירות סופית  
• עדיף לא לדעת :....  
[מטר לשניה]



# סוגי הלם מים

## 1. הלם ראשוני:

- עמודת המים מאיצה (חיובי)
- עמודת מים נעצרת ע"י שסתום אויר בסוף שלב מילוי (חיובי).
- עמודת מים מאיטה ע"י מגוף נסגר (חיובי או שלילי)
- עמודת מים מאיטה בגלל הפסקת שאיבה (שלילי)

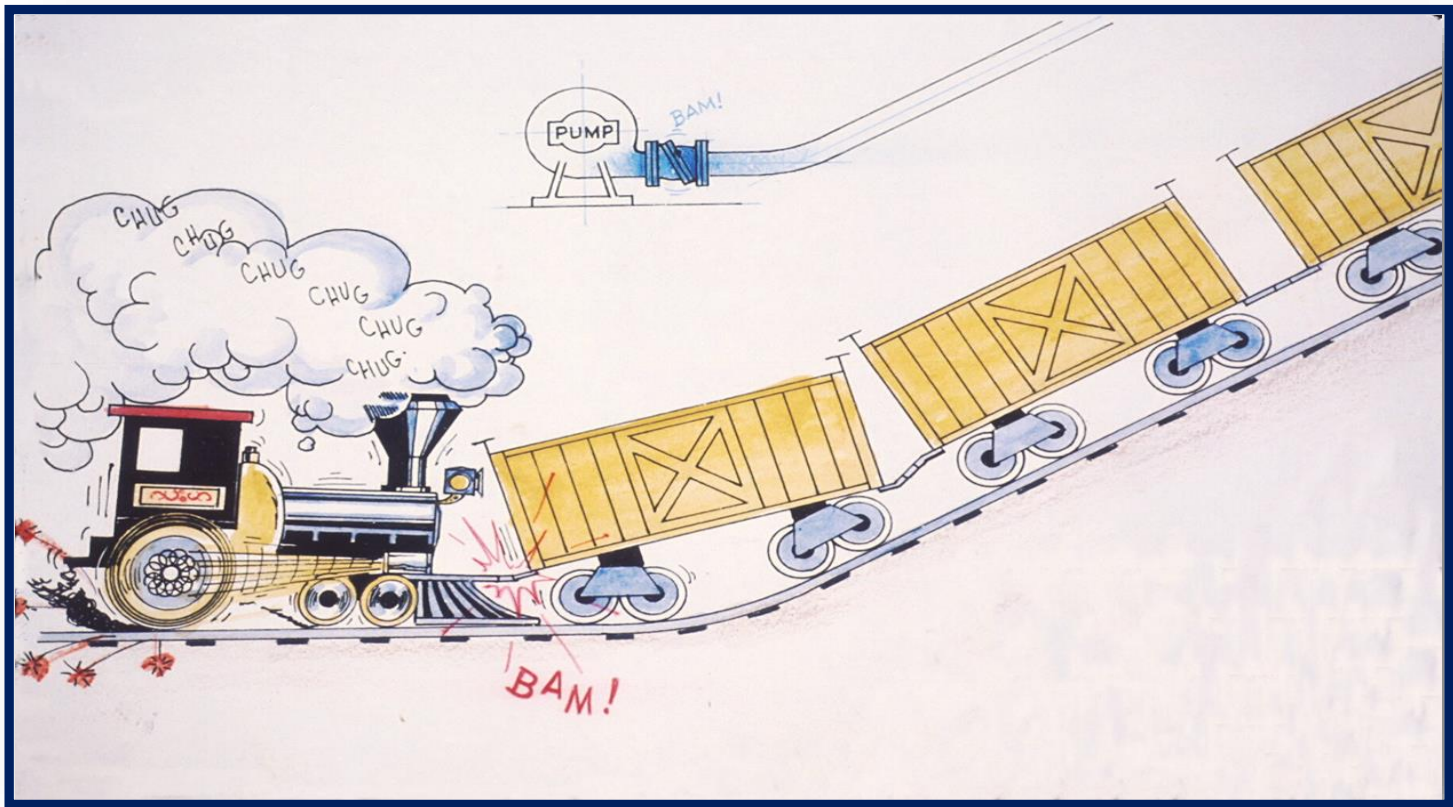
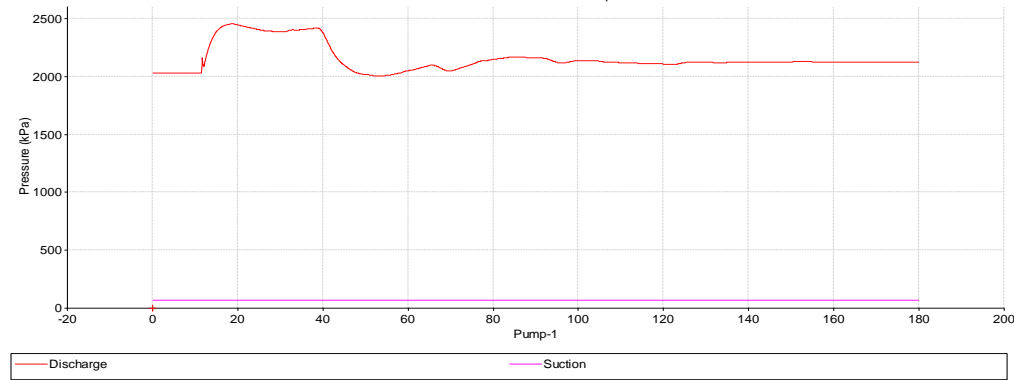
## 2. הלם משני :

### עמודת המים חוזרת ונעצרת בפתאומיות

- קריסת קויטציה לאחר ניתוק עמודת מים
- סגירה מאוחרת של שסתום אלחוזר.

# הלם מים ראשוני : תחילת עבודה משאבה

קו משאבי שדה התנעה 2 שניות

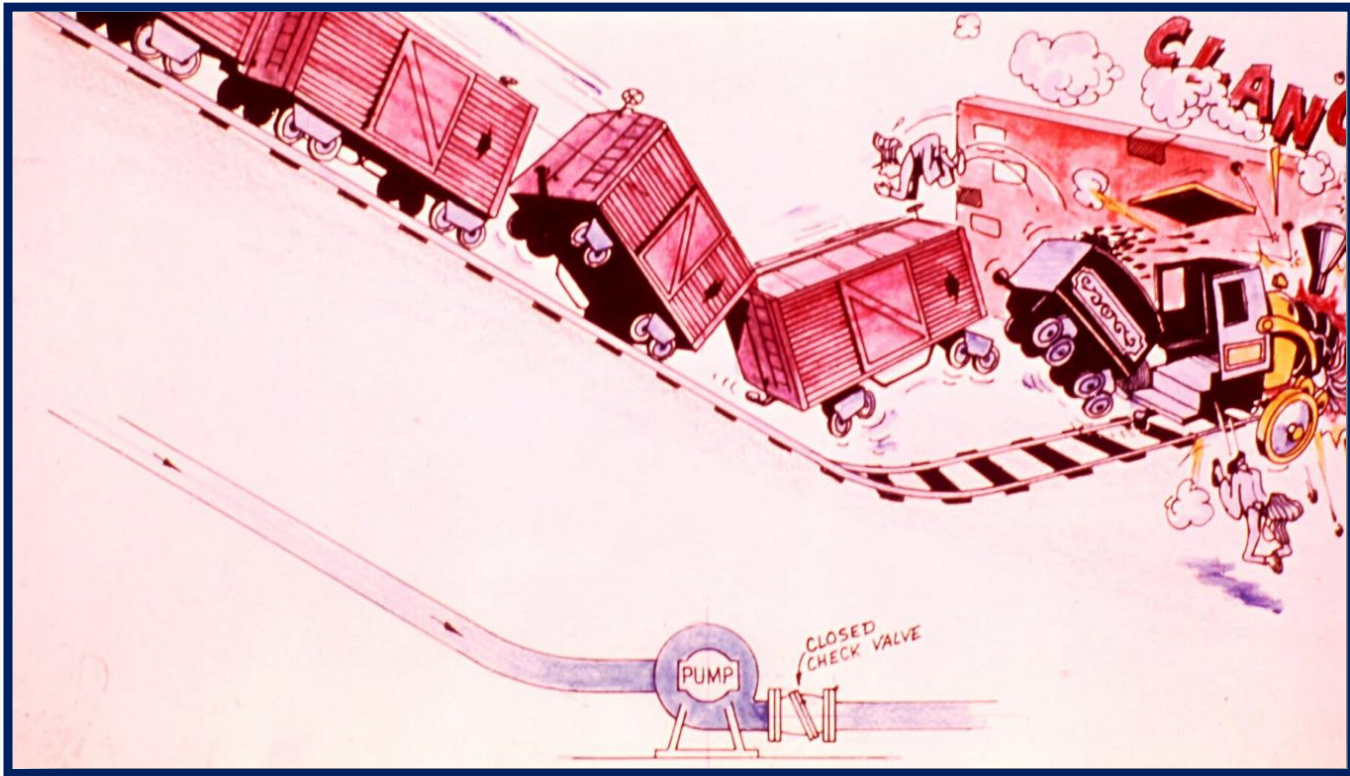




הלם מים ראשוני :

## •תנאי סגירה מהירה של מגוף

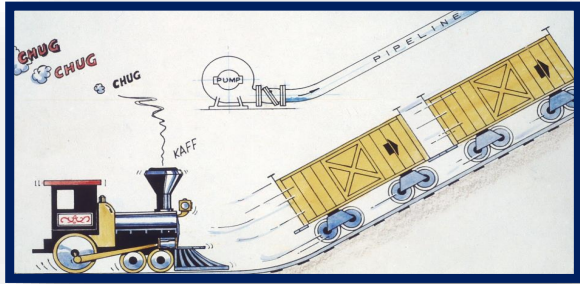
•מתרחש בעקבות עצירה פתאומית של עמוד המים במעלה המגוף



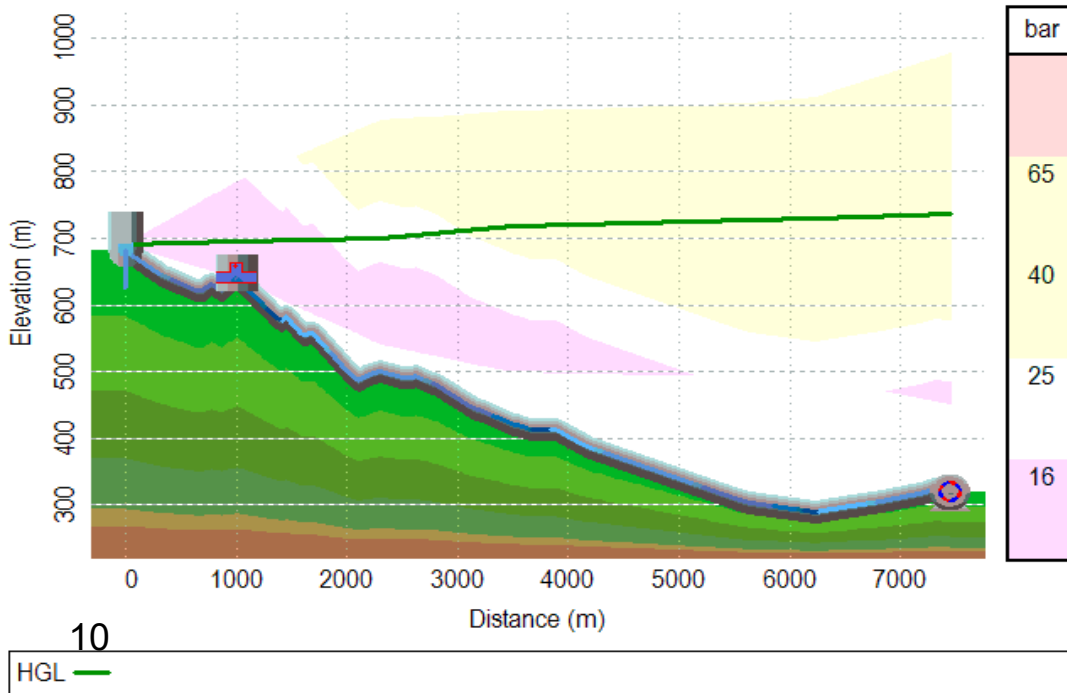
•ניתן בקלות למניעה ע"י הגבלת קצב סגירה של המגוף

# הלם מים ראשוני :

## כיבוי משאבה פתאומי (עצירת עמוד מים)



çöðéá òéí àì àñã 2 [Time/Case 0.5976] [1 hrs 21 min 21 sec]



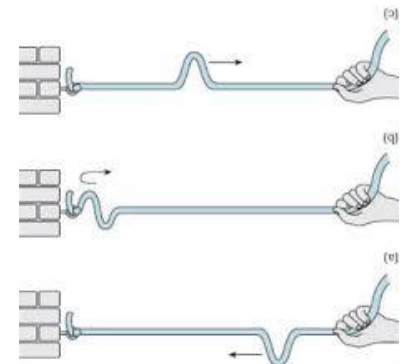
1. עמוד המים ממשיך בכח האינרציה (תנע)

2. שימור התנע יוצר נפילת לחץ במורד המשאבה

3. הפרעת הלחץ (השלילי) רצה במורד הקו, (בד"כ מעלה הגרויטציה) פוגשת את פני המים במאגר הסניקה בלחץ אטמוספרי קשיח.

4. הפרעת הלחץ מוחזרת אל מעלה הקו בהיפוך מופע (לחץ חיובי)

לא עמודת המים חוזרת

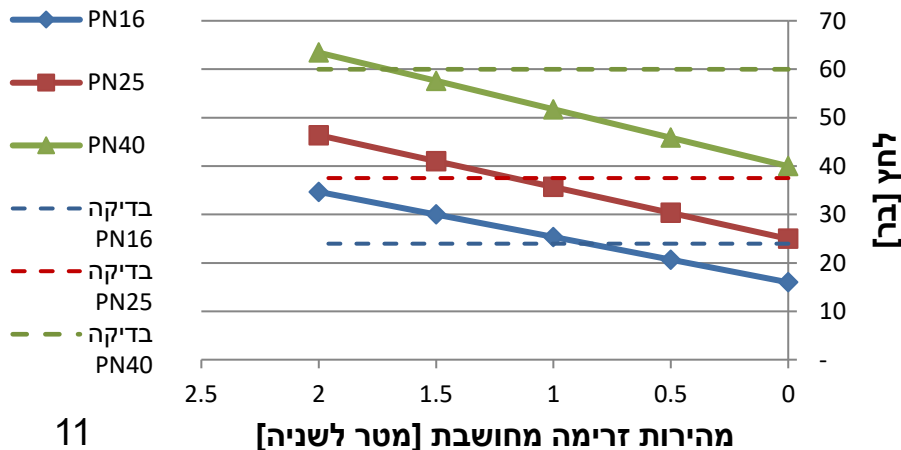


# הלם מים ראשוני :

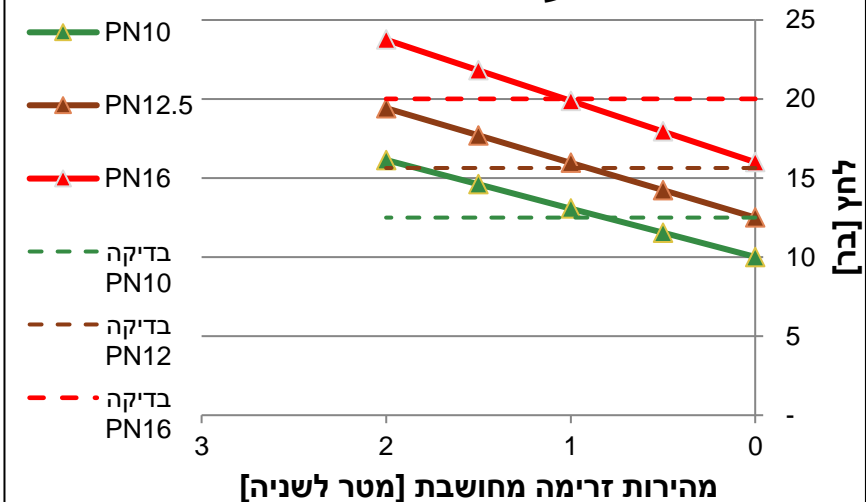


- מופיע בד"כ במצבים של מהירות מתוכנת בתחום אופיני של 0.5 עד 2 מטר לשניה.
- לחצי המעבר נמוכים מהתאורטיים בגלל שגם השינויים המהירים אינם ממש פתאומיים ומתאפשר פיזור אנרגיה בתהליך השינוי.
- בד"כ נספג בתחום לחץ הבדיקה (ולא לגמרי במקרה):

לחצי מעבר פלדה 24"

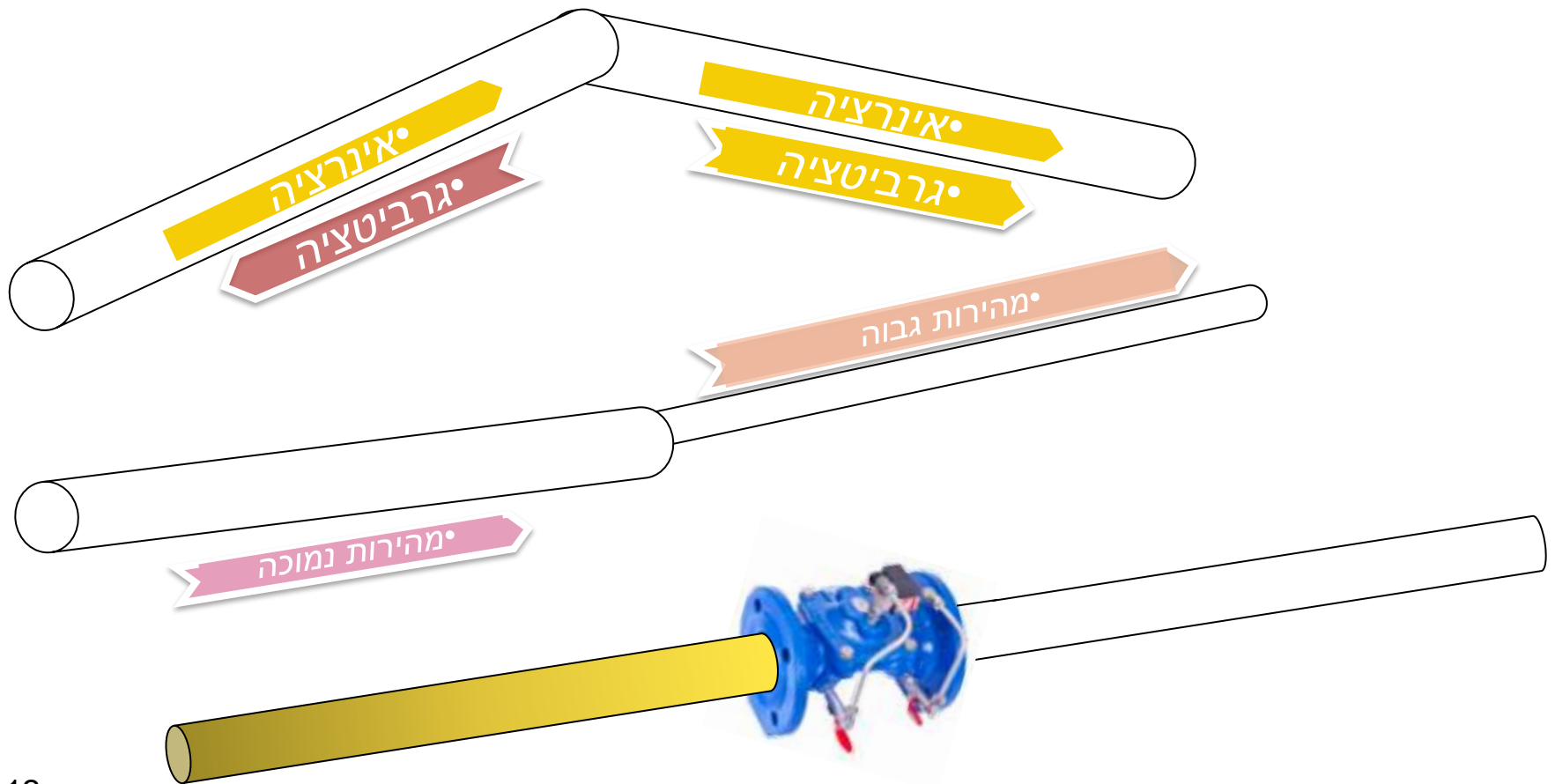


לחצי מעבר HDPE 250mm



# הלם מים משני :

## •ניתוק עמודת מים

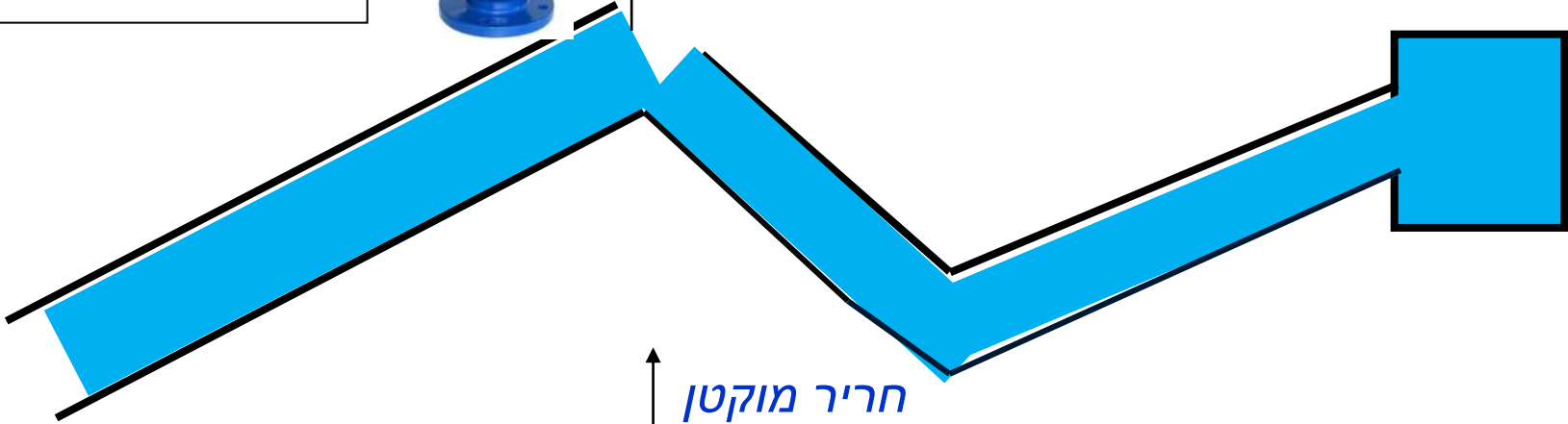


# •מניעת הלם כתוצאה מניתוק עמודת מים

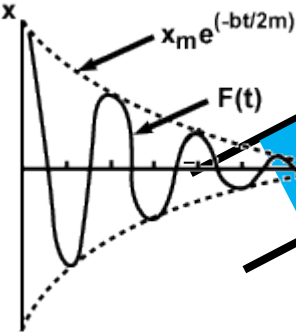
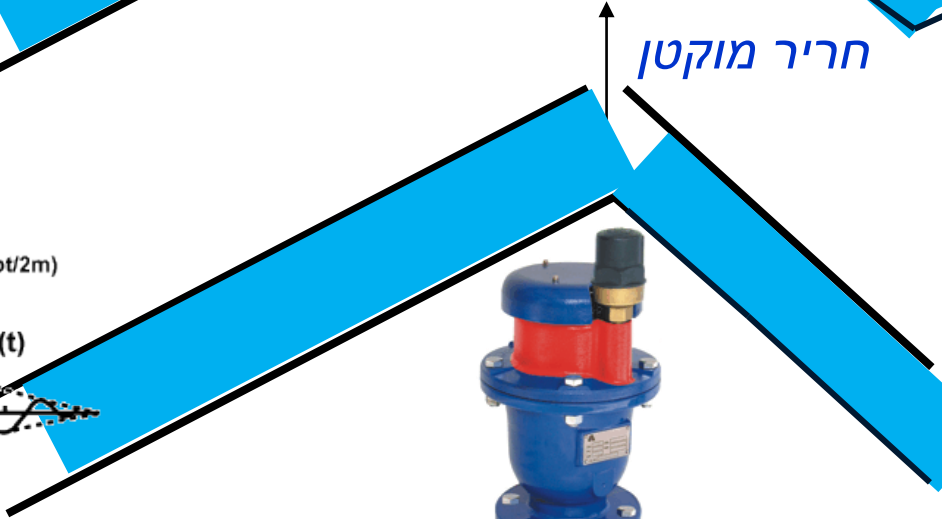
•ניצול יניקת אויר לקו  
ליצירת כרית לריסון הלם



חריר נומינלי



חריר מוקטן



twin-tube shock-absorber

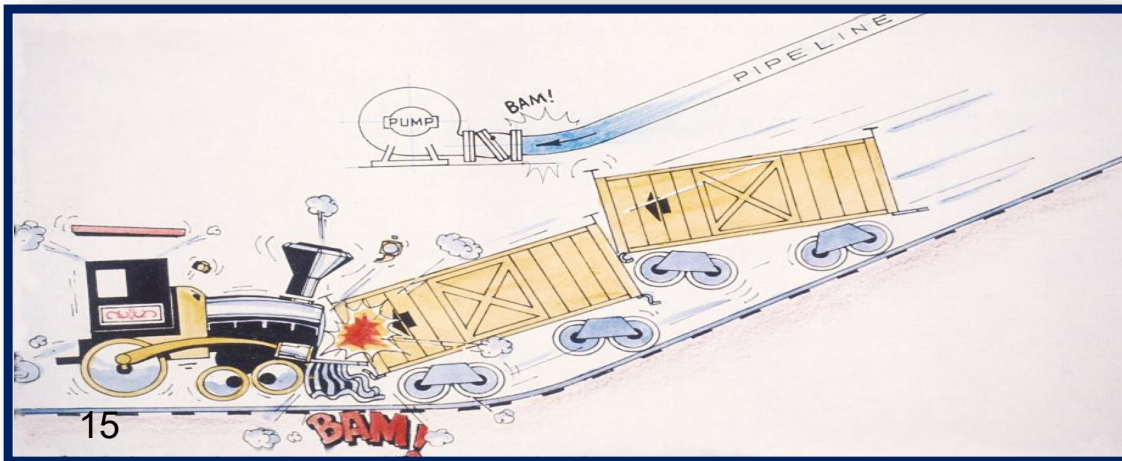
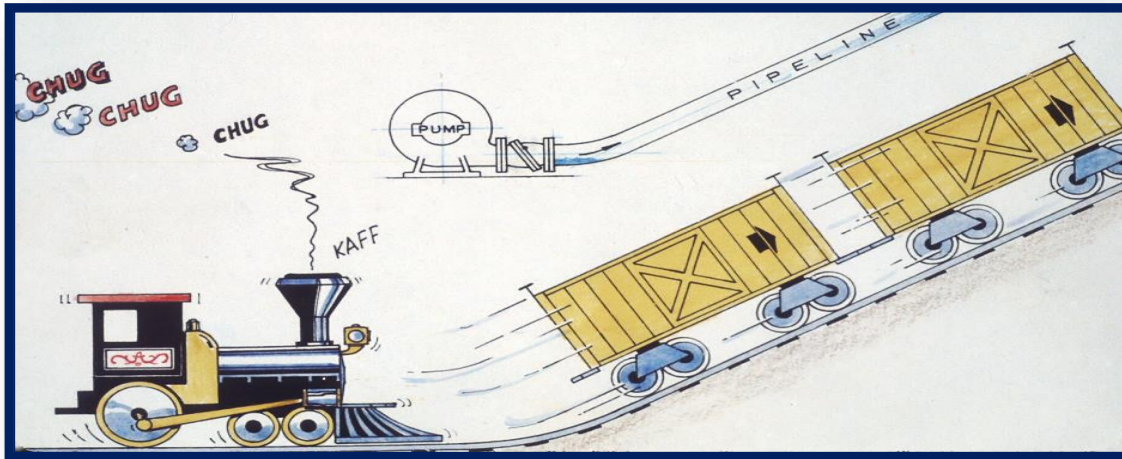
# הלם מים משני:

## (ניתן למניעה..)

- יש מהירויות גבוהות עם **מקור אנרגיה נוסף:**
  - טריקת שא"ח ( זרימה חוזרת **האצה** גרביטציונית )
  - ניתוק עמודת מים (קריסת קוויטציה **בלחץ** אטמוספרי)
- עצירת זרימה פתאומית
  - טריקת שסתום אויר
  - סגירת לא מבוקרת של פורק לחץ



# סיבה נפוצה להלם משני: פיגור בסגירה של שסתום אלחוזר



1. בכיבוי משאבה  
עמוד המים ממשיך בכח  
האינרציה
2. עמוד המים נעצר ע"י  
גרביטציה (תאוצת הכובד)
3. עמוד המים מתחיל לגלוש  
חזרה למטה בגלל תאוצת  
הכובד. וצובר מהירות **ככל  
שמתעכב סגירת השסתום  
אל חוזר.**
4. עמוד המים נעצר ע"י שסתום  
אל חוזר
5. נוצר הלם פרופורציוני  
למהירות הירידה ברגע סגירת  
השסתום  
(למעשה הלם ראשוני חיובי  
של "מערכת אחרת" עם  
מהירות זרימה וקצב עצירה  
גבוהים מאד)

# יש סיבות לפיגור בסגירה !

## Application Of Valve Types

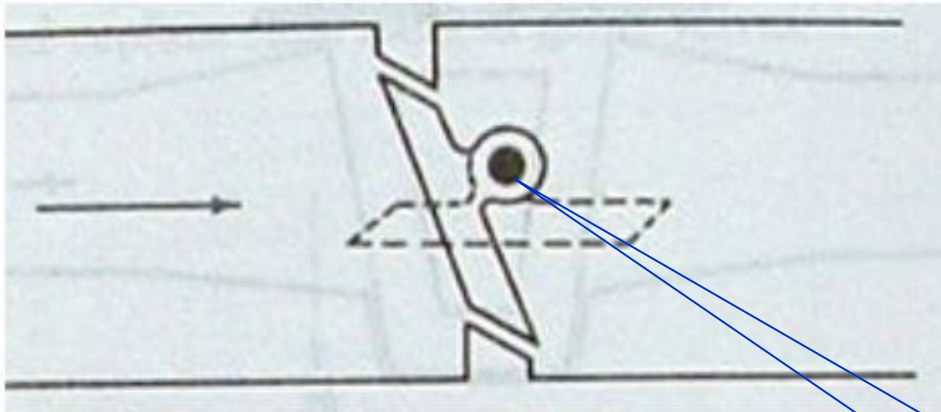
הידרודינמיות:  
זרימה הפוכה עלולה ליצור  
כוח עילוי למדף.  
(דגש על התקנה אנכית)

דינמיות:  
משקל המדף מפעיל מומנט  
סגירה קטן.

מכניות:  
הפרעה לתנועת המדף.  
חיכוך על ציר התנועה

ציר משתתף בעומס  
הסטטי וחייב להיות  
גדול  
מיסב חיכוך גדול יוצר  
התנגדות גדולה:

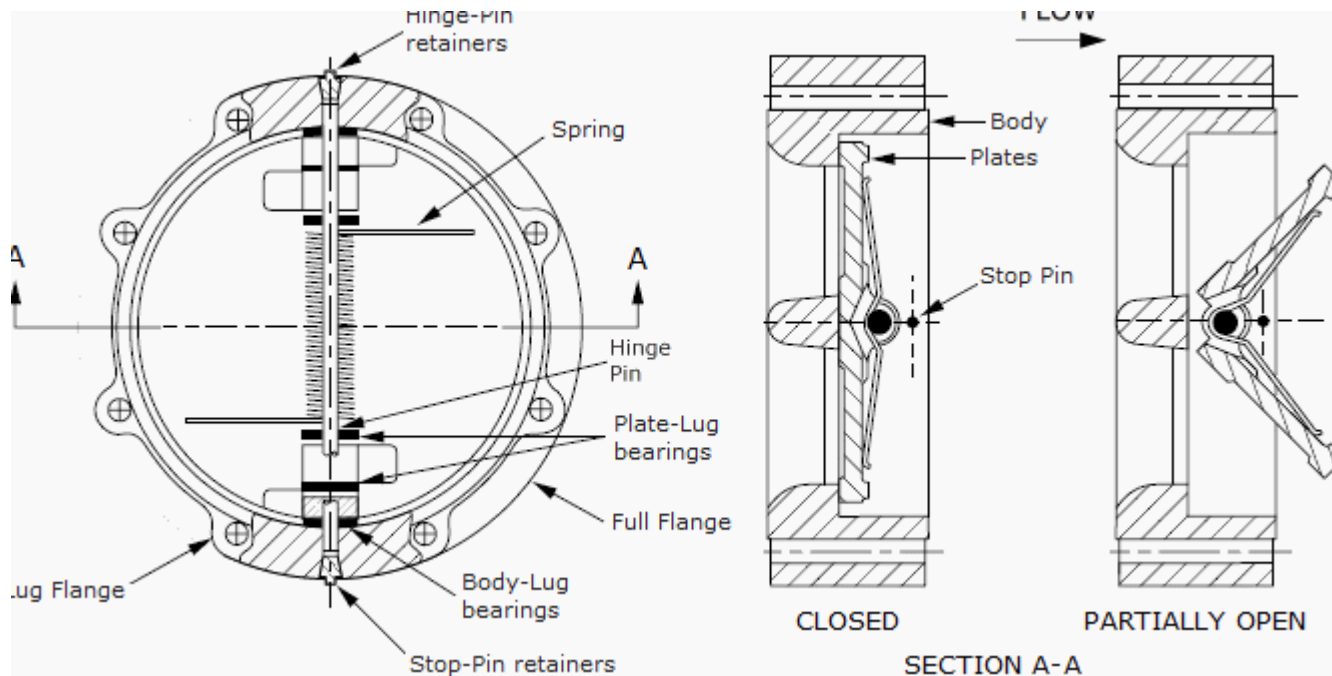
Check valves



Tilting disk check valve







קפיץ "שטוח" (מקדם נמוך)  
 מפעיל כח גם במהירות זרימה נמוכה.

קפיץ חזק, מתח התחלי גבוה  
 להשגת אטימה בלחץ נמוך

**יש סיבות להקדמה !**

# תחנת שאיבה או משאבה בודדת

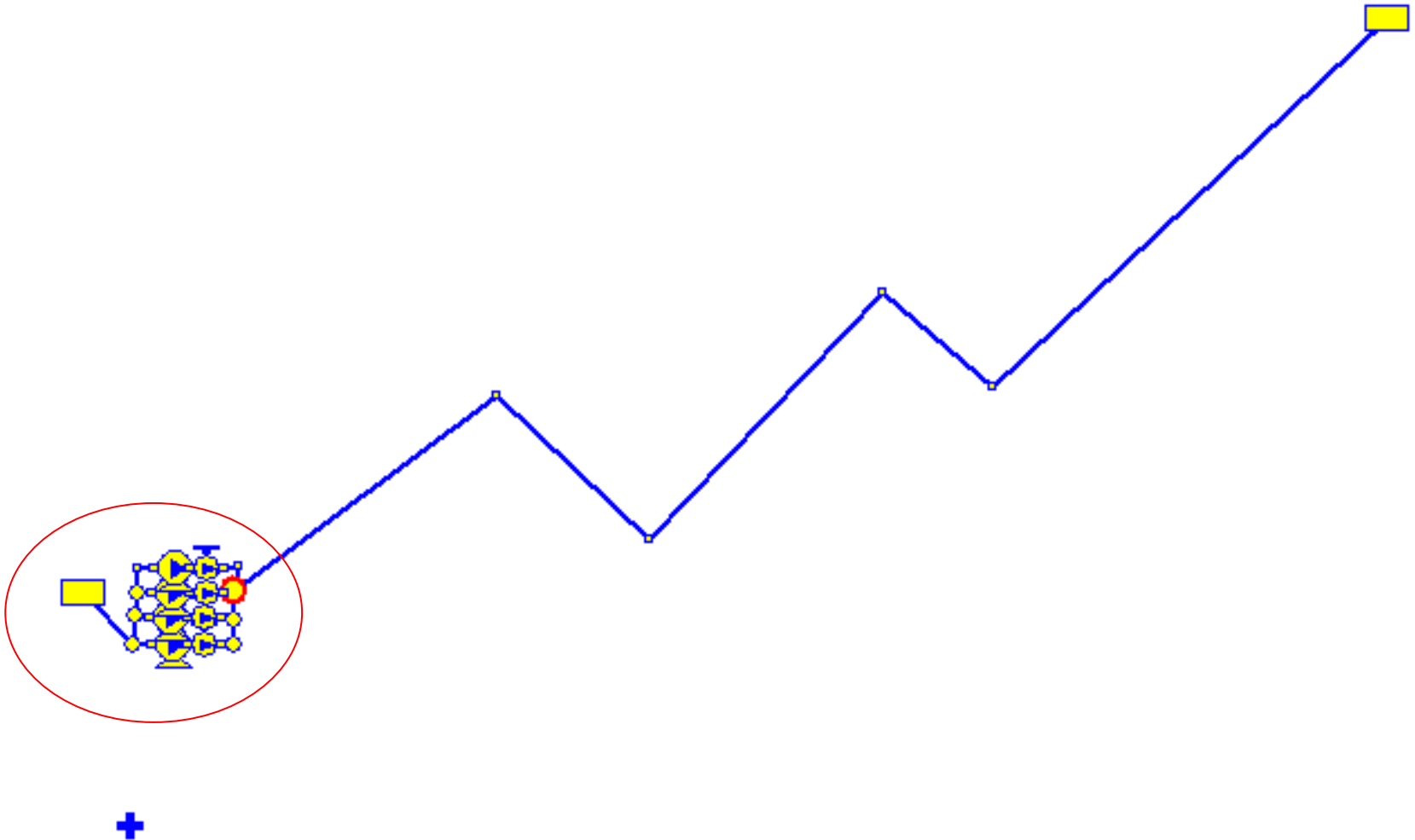
## מול קו סניקה



במקרה זה הדממת כל התחנה משפיעה על מסת מים גדולה של כל המערכת. ועל כן תאוצת ( *DECELERATION* ) עמודת המים קטנה יחסית , מסדר גודל 0.1 עד 1 מטר לשניה בשניה, וכך גם האצה ( *ACCELERATION* ) בכיוון החוזר.

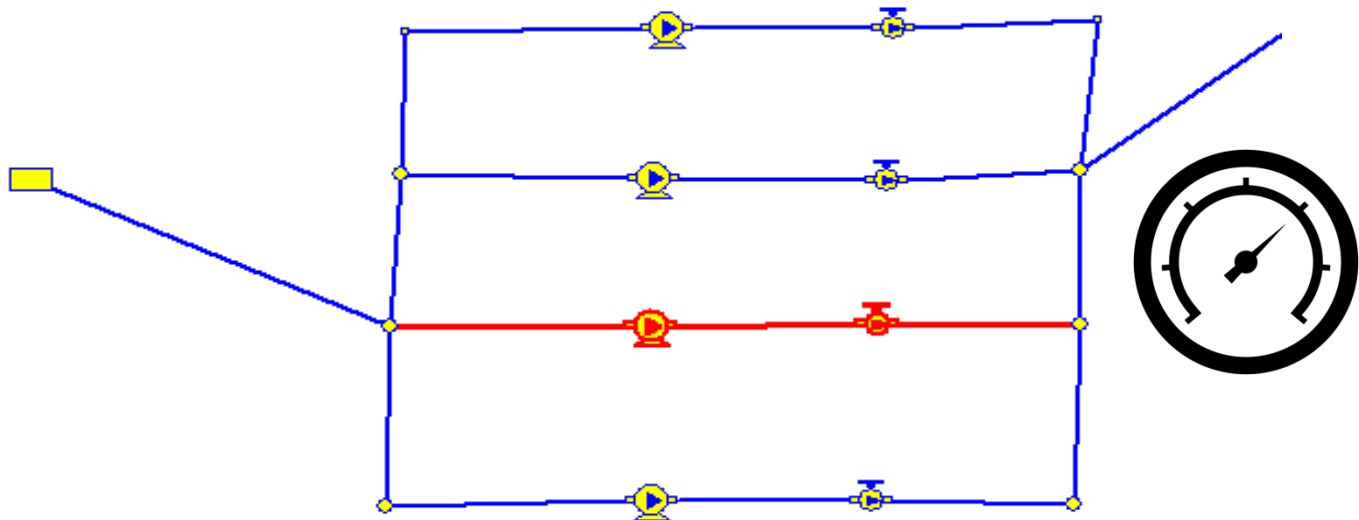
במצב זה לשא"ח "יש זמן" להסגר בסינכרון עם תנועת המים ולתפקד כשסתום אידאלי (המכונה גם *Zero Velocity Valve*)

# לא תמיד הכל פשוט



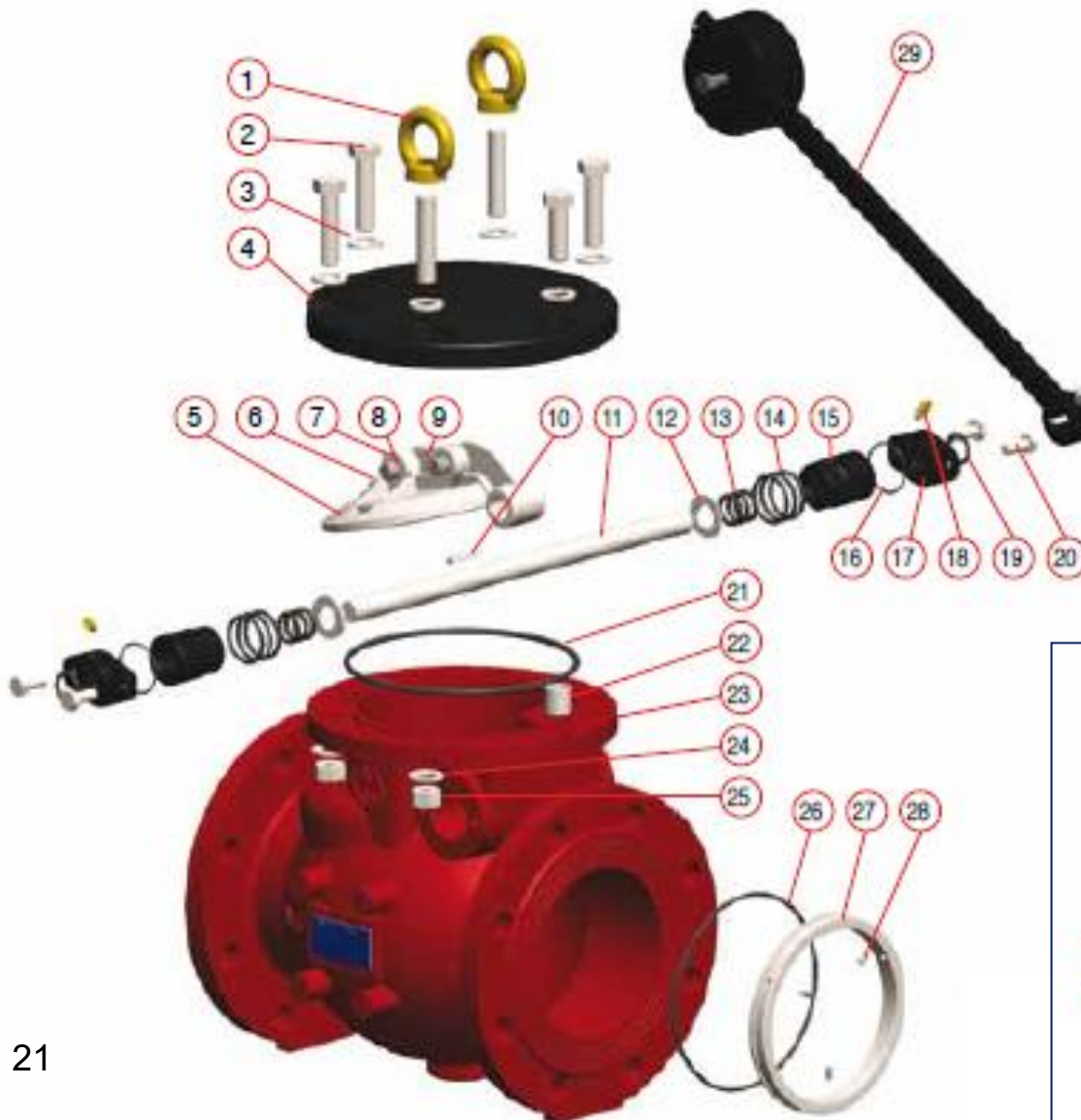
# מערכת "חדשה"

מסה קטנה מהירות נמוכה - תנע קטן מול לחץ גבוה – קצב האטה גדול - יש טריקה - אבל הלים לא נורא



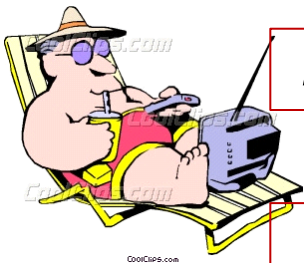
# שא"ח מתאים באיכות טובה

- ימנע טריקה.
- ימנע בזבז
- אנרגיה



- תנועת ציר חופשית
- מיסבים יעילים
- משקולות מכוונות
- אטימה טובה
- הפסדי עומד נמוכים

# מיפוי מצבי סיכון בתרחיש נפילת כח משאבה



נפילת כח במשאבה

ירידת לחץ  
במורד המשאבה

מעל אטמוספרי  
ללא ניתוק

גל לחץ חוזר  
(היפוך פאזה,)

הלם מים (חיובי) ראשוני  
בדר"כ בתחום לחצים נסבל  
(אמפליטודה מוקטן)

סגירת אל חוזר

מקדימה

מאחרת

ניתוק עמודת מים

עמודת מים חוזרת  
גרויטציה

מניעת קויטציה  
וריסון

קריסת  
קויטציה

עמודת מים מהירה נעצרת  
בפתאומיות

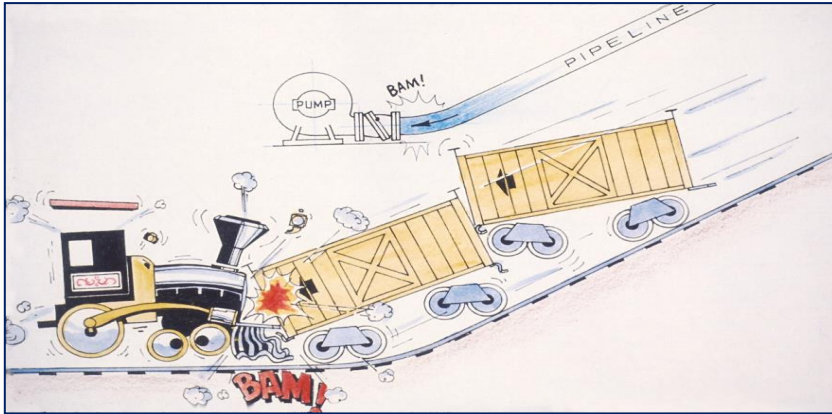
הלם מים (חיוב) שניוני  
בדר"כ הרסני



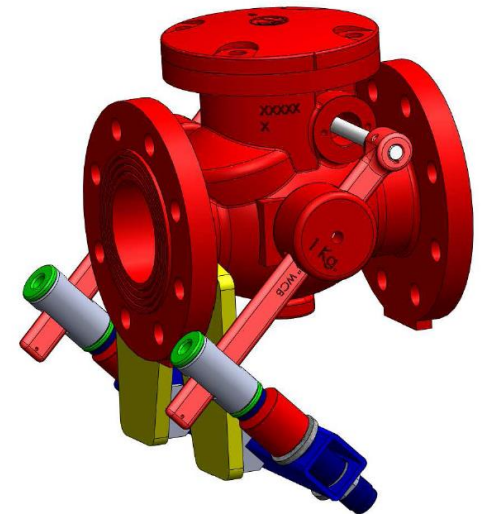
# מניעת פיגור בסגירת שא"ח :

## תנועת מדף חופשית בכל מצב

### זרועות ומשקולות האצה



- כאשר יש מכה צריך משקולות האצה!
- בהתקנה אנכית תמיד משקולות
- משקולות תמיד לכיוון סגירה!  
(הפוך מאינטואיציה)
- אופציה ריסון חיצוני



# התקנת שסתום אל חוזר

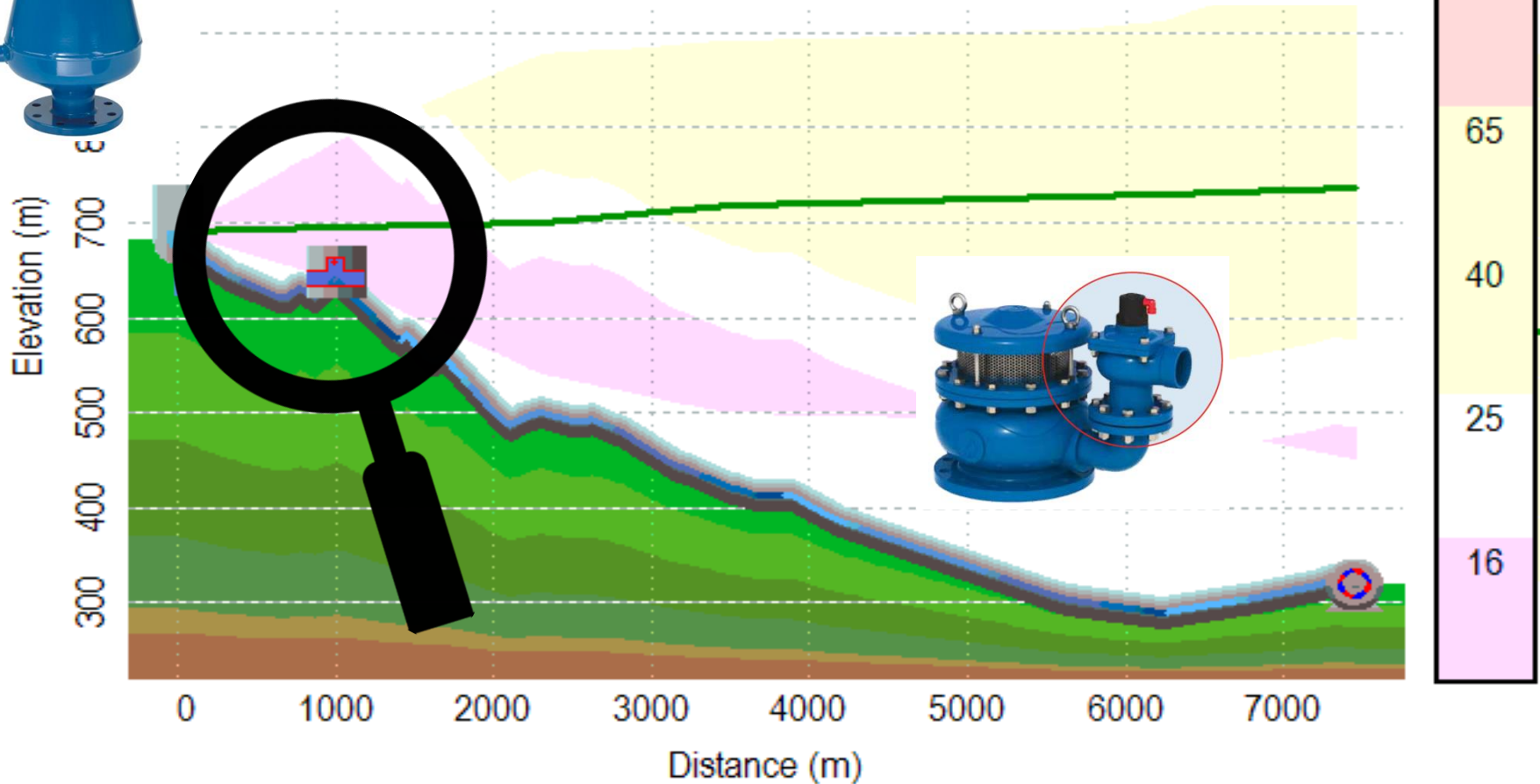
- מרווח פעולה לזרוע
- מחסום בטיחות זרוע
- גישה לשרות
- שחרור אויר במעלה
- שחרור לחץ במורד





# שסתום אויר / שובר ואקום מתאים :

- ימנע קוויטציה בנקודת ניתוק עמודת מים
- יסייע לריסון תנודות הלחץ
- יחליף בהצלחה מיכלי השוואה



25  
HGL

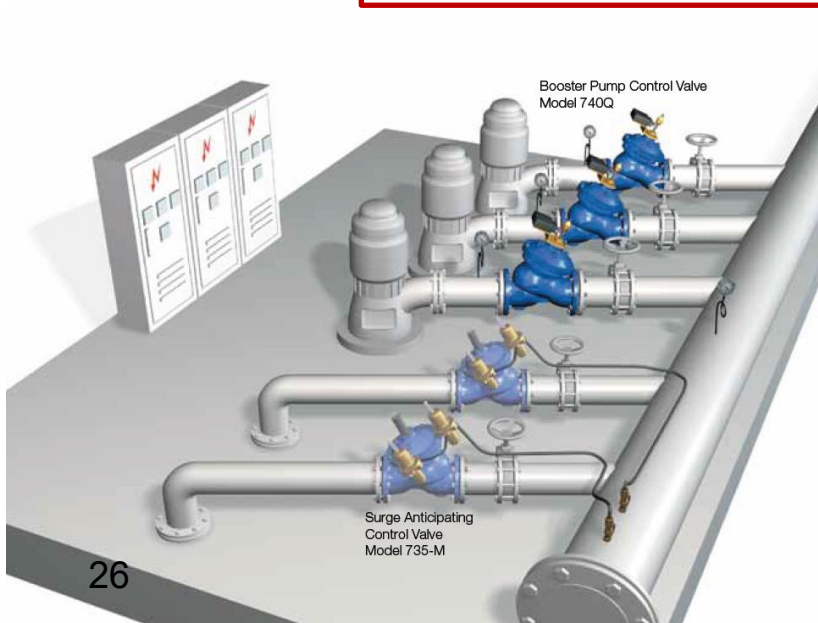
# גישה ראשונה: מניעת הלם ראשוני:

שליטה / מיתון מהירות הזורם.  
"התנעה והדממה מבוקרות"

- מתנע רך / בקר תדר
- מגוף משאבה



יש מחיר אנרגטי !!



צריך לדעת איזה  
משאבה מותר לשנוק  
ואיזה לא !

מה קורה בנפילת כח,  
כולל מתח לפיקוד !?

# גישה ראשונה: מניעת הלם ראשוני:



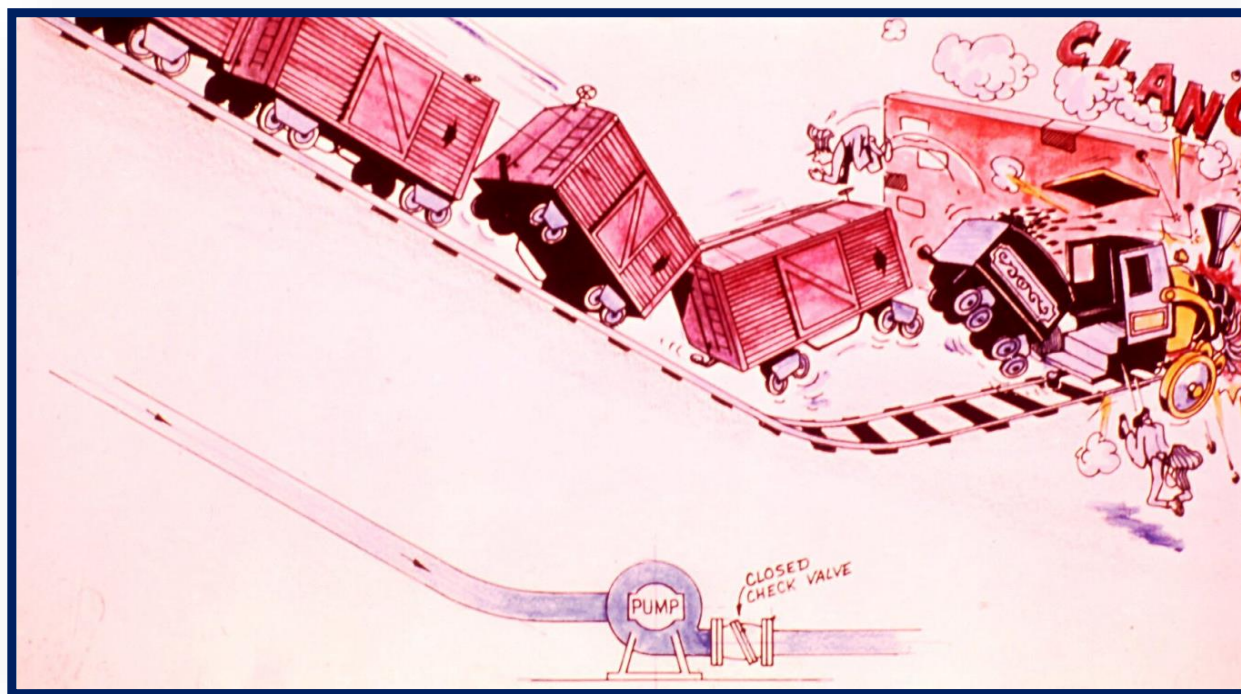
## מיתון השינוי "המשך פעולת המשאבה"

מחיר:  
השקעה  
תחזוקה

- צבירת אנרגיה מכנית  
גלגל תנופה
- צבירת אנרגיה חשמלית  
קבלים (בקר תדר גדול)
- צבירת אנרגיה לחץ  
במיכלי הלם סגורים  
מחוברים בצמוד למורד האלחוזר
- ניתן עקרונית למנוע גם ניתוקי עמודה  
לאורך הקו



# מניעת סגירה מהירה של מגוף



זמן פעולה מהלך מלא  $\leq$  עשר פעמים זמן קריטי ,  
או לפי חישוב מדויק על בסיס אופיין המגוף

# גישה שניה: טיפול בהלם:

## ספיגה או פיזור אנרגיית ההלם לאחר היווצרה



- פורקי לחץ (מכניים / הידראוליים)

- צופי הלם

- רק למצבי נפילת משאבה

- לא גדול מידי (מהירות זרימה גבוהה)

- לא נסגר מהר (הלם ראשוני חדש..)

- לא יחד עם מיכל הלם !!

- שסתום אל חוזר מפקד

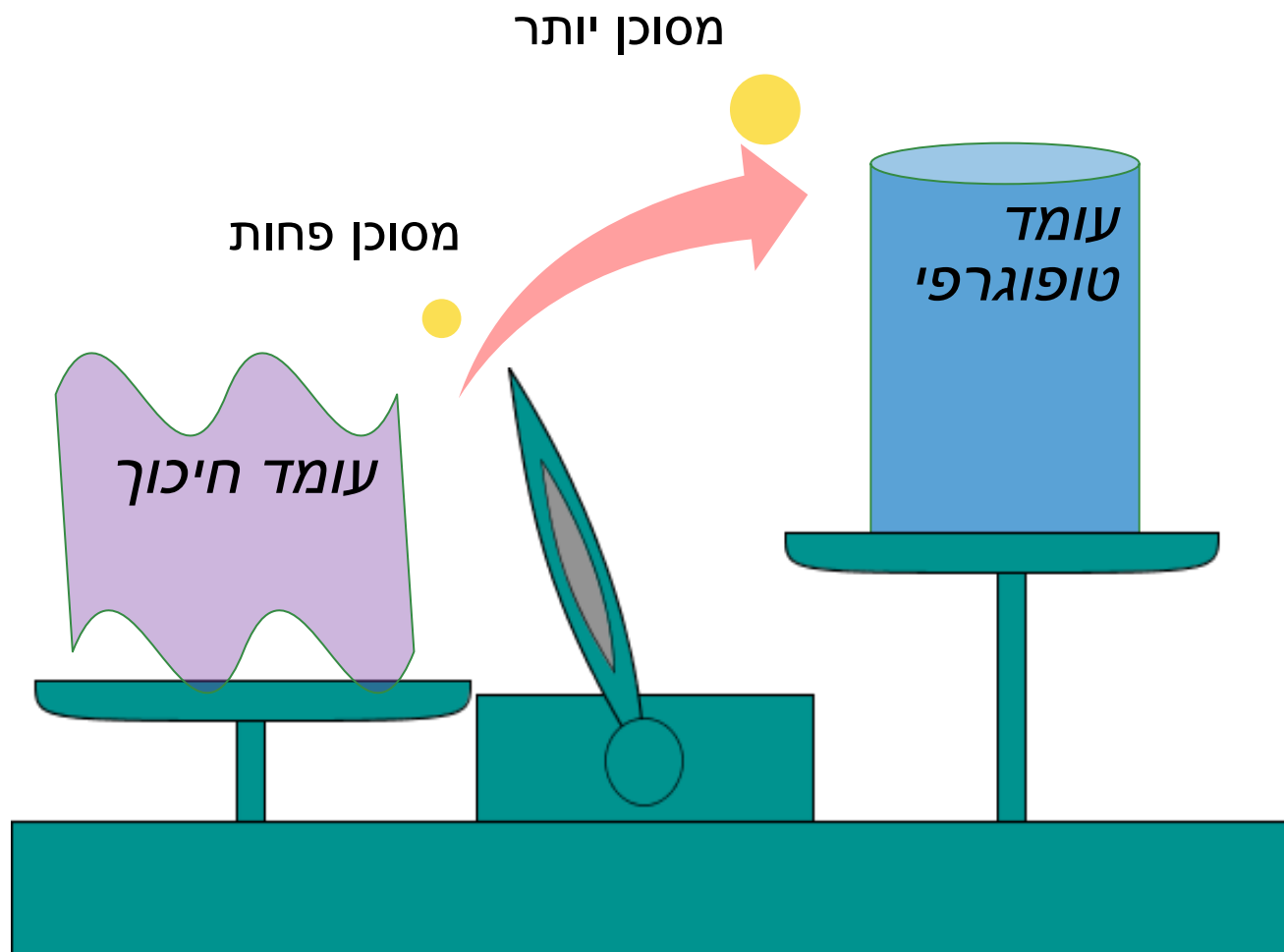
- תחזוקה קשה ויקרה

- לא במקום תנועת מדף חופשית !!!

- דיסקת פריצה (פיוז)



# חיזוי מצבי הלם:





במערכות שרב הלחץ נבנה ע"י התנגדות של מעברי המים, אין הלים בתרחיש נפילת כח.

לדוגמא :  
מעגלים סגורים  
לחימום או קרור

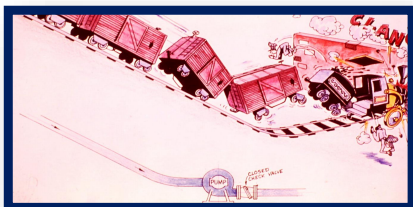


אבל יש גם יש  
סכנה בסגירת  
מגוף בלתי  
מבוקרת !!!



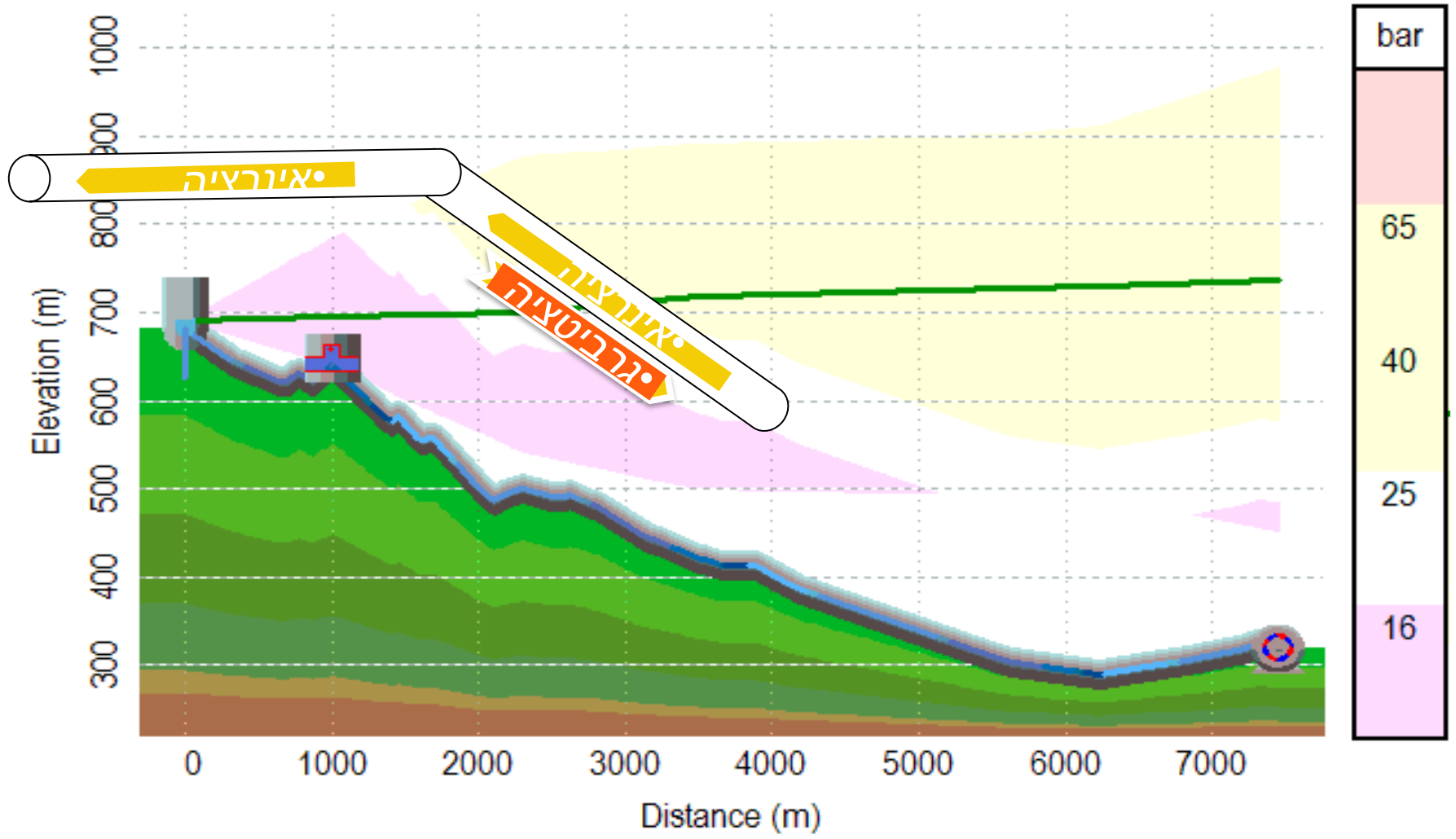
לדוגמא :  
מערכות פיזור להשקיה  
או לצינון

לדוגמא :  
מערכות סינון  
וטיפול במים



# חתך בצורת "כתף" חשוף יותר למצב של ניתוק עמודת מים

2 [Time/Case 0.5976] [1 hrs 21 min 21 sec]



32 HGL

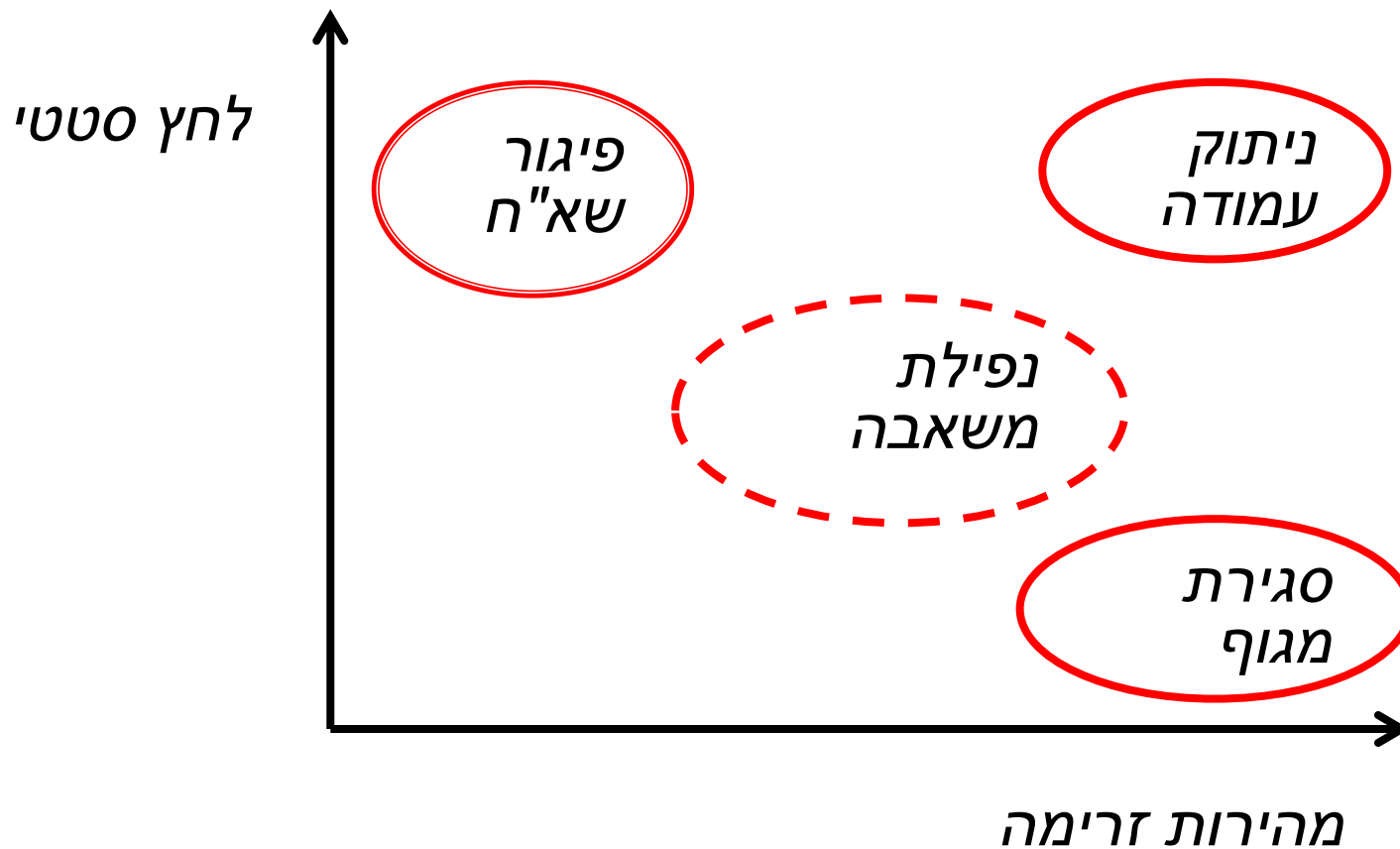


# הלחץ זה לא הכל..

- הפרעת לחץ רגעית יוצרת כוח צירי בלתי מאוזן על הצינור.
- כח בלתי מאוזן יגרור האצה (תנועה / רעידה) של קטע צינור ללא עיגון מלא.

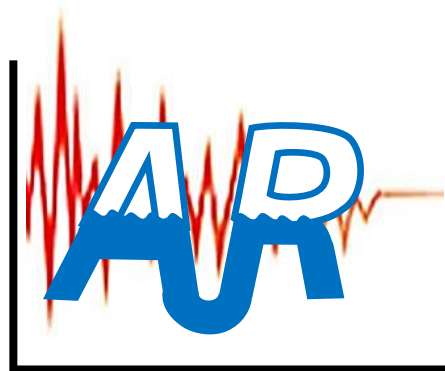


# איפה מסוכן יותר



# • תודה על ההקשבה!

• רפי אגמי B.Sc  
• יעוץ הנדסי למערכות זורמים  
• [rafiagami@gmail.com](mailto:rafiagami@gmail.com)



• 054-2566742  
• קיבוץ כפר גלעדי