



**A.A.H PLAST LTD**

Plastic & F.R.P works for industry

א.א.ח פלסט בע"מ - הזרוע 16 עמק שרה באר שבע.  
[www.aahplast.com](http://www.aahplast.com)

**צינורות HDPE**

**מערכת צנרת ואביזרים פוליאיתילן להולכת  
מים בלחץ ושפכים**

מפרט טכני ומדריך התקנה למערכת צינורות פוליאיתילן

## הבהרה כללית

מפרט טכני כללי זה נועד לספק מידע כללי בנוגע לצינורות HDPE ולהוראות ההתקנה שלהם. המידע המוצג מבוסס על תקנים בינלאומיים, מחקרים רלוונטיים, וניסיון רב שנים שנצבר בתחום. עם זאת, חשוב להבהיר כי מסמך זה אינו מהווה אחריות כלשהי מצד חברת א.א.ח פלסט, ואין בו כדי להחליף תכנון מפורט וייעודי הנדרש לכל פרויקט באופן עצמאי.

על המשתמשים במסמך זה לוודא כי כל פרויקט מתוכנן בצורה מקיפה, תוך התחשבות במאפיינים הספציפיים של האתר והיישום, ובהתאם להנחיות התקנים והדרישות המקומיות. יש להתייעץ עם מהנדסים מורשים ולקבל אישורים נדרשים מכל הגורמים המקצועיים לפני תחילת העבודה.

המידע הכלול במפרט זה מסופק כפי שהוא (**As-Is**) ולפיכך א.א.ח פלסט אינה אחראית לכל נזק, ישיר או עקיף, שעלול להיגרם כתוצאה משימוש או הסתמכות על מסמך זה. המידע עשוי להשתנות בהתאם לטכנולוגיות חדשות, חידושים בתעשייה, ותנאי השטח הספציפיים. אנו ממליצים על בדיקות תקופתיות והתאמת תכניות ההתקנה בהתאם לצרכים המיוחדים של כל פרויקט ופרויקט.

## מבוא

צינורות פוליאתילן בצפיפות גבוהה (HDPE) הם פתרון תרמופלסטי קל משקל ועמיד, המשלב עמידות ללחצים פנימיים של מים ולחצי קרקע חיצוניים. בזכות מאפיינים אלה, צינורות ה-HDPE נחשבים לבחירה אידיאלית עבור יישומים רבים, עם אורך חיים ארוך במיוחד. עם זאת, כמו בכל התקנה של מערכת בשטח, קיימים אמצעי זהירות שיש לנקוט בעת ההתקנה. פעולות אלה נועדו להפחית את הסבירות לנזקים ולוודא את תפקוד המערכת בצורה מיטבית לאורך שנים רבות.

## מה הוא צינור ה-HDPE?

צינור HDPE, העשוי מפוליאתילן בצפיפות גבוהה (חומר סינתטי מבודד), נחשב לאחד הפתרונות המתקדמים והעמידים ביותר להעברת נוזלים וגזים. צינור זה מסווג לפי חוזק ולחץ (Pn4 עד Pn32), בהתאם להתפתחויות טכנולוגיות שנעשו בשנים האחרונות. מאז שנות ה-50, צינורות ה-HDPE עברו סדרות בדיקות מחמירות, במיוחד בתחום הובלת מי שתייה, על מנת לוודא את בטיחותם ואת התאמתם לתקני הבריאות. תוצאות הבדיקות הוכיחו כי צינורות HDPE אינם מהווים סיכון לבריאות האדם ואין להם השפעות שליליות.

כיום, מערכת צינורות HDPE היא אחת מהמובילות בשוק בזכות עמידותה, ידידותה לסביבה, יעילותה, והתחזוקה הקלה שהיא דורשת. צינורות אלה מספקים פתרון יעיל, חסכוני וקל לשימוש, והם מיוצרים על ידי חברת א.א.ח פלסט, תוך הקפדה על איכות ואמינות לאורך זמן.

## מפרט טכני של צינור HDPE (צינור פוליאתילן בצפיפות גבוהה)

נוסחת הלחץ של 1000 צינורות פוליאתילן

$$Pk = \frac{10 \cdot Ec}{4 \cdot 1 - U^2} \cdot \left[ \frac{S}{rm} \right]^3$$

PK – לחץ קריטי

EC – גמישות

U – מספר משוכל של תרמופלסטים

S – נפח (במילימטרים)

RM – קוטר ממוצע לצינור (במילימטרים)

### חומר גלם של צינור פוליאתילן

צינורות פוליאתילן, אשר הושקו לראשונה עם פיתוח ה-PE 32 בשנות ה-50, עברו שדרוגים טכנולוגיים והותאמו לאורך השנים ליישומים רבים ושונים. הדור השלישי של פוליאתילן, המוכר בשם PE-100, עשוי מחומרי גלם איכותיים המתאימים במיוחד לשימושים מגוונים כגון מערכות למי שתייה, מתקני התפלה, מתקנים לטיפול ביולוגי, צנרת לבריכות שחייה, קווי פריקה לים, קווי מים, תחנות דלק, מערכות השקיה, קווי אוויר דחוסים וקווי חימום וקירור.

הודות לצפיפותו הנמוכה יחסית, הפוליאתילן מהווה פתרון חסכוני ויעיל מבחינת ביצועים בתחומים רחבים, כולל מערכות ניקוז וביוב. הנוסחה הכימית של הפוליאתילן היא  $(C_2H_4)_n$ , והוא מהווה תרכובת של פולימר תרמופלסטי המורכב מ-97% נפט גולמי. למעשה, ייצור חומרי הגלם עבור צינורות אלה תלוי בזמינות ובמחיר של הנפט הגולמי.

צפיפותו של הפוליאתילן מתחלקת לשלוש קבוצות עיקריות, בהתאם לאחוז המבנה הגבישי, המעניק לכל קבוצת צפיפות מאפיינים ייחודיים לשימושים תעשייתיים שונים.

• חומר גלם פוליאתילן בצפיפות נמוכה (LDPE)

• חומרי גלם פוליאתילן בצפיפות בינונית (MDPE)

• חומרי גלם פוליאתילן בצפיפות גבוהה (HDPE)

### השפעת חומרי הגלם ותכונותיו של הפוליאתילן

בהשוואה לסוגי פוליאתילן תרמו פלסטיים אחרים, פוליאתילן בצפיפות גבוהה (HDPE) מציג תכונות מצוינות המתאימות ליישומים רבים. עם תוחלת חיים ארוכה ועלות ייצור נמוכה יחסית HDPE, מהווה כ-97% מהחומר הגולמי לייצור מוצרי פוליאתילן. זמינות חומרי הגלם והמחיר תלויים במידה רבה בנפט הגולמי, שהוא מרכיב מרכזי בתהליך הייצור.

תכונות אלו מעניקות לפוליאתילן יתרונות משמעותיים בהשוואה לפולימרים אחרים, כגון עמידות כימית, יציבות מבנית ויכולת עמידה בתנאי סביבה משתנים, מה שמקנה לו יתרון כלכלי ותפעולי במגוון רחב של יישומים.

## היתרונות העיקריים של צינורות HDPE

- **עמידות בתנאי מזג האוויר** – צינורות HDPE עמידים בפני תנאים סביבתיים שונים, מה שמאפשר את השימוש בהם במגוון רחב של אתרים וסביבות.
- **עמידות גבוהה לקרעים ולחצים** – צינורות HDPE מתאפיינים בעמידות יוצאת דופן לקרעים וללחצים גבוהים, דבר המבטיח אמינות ובטיחות לאורך זמן.
- **עמידות כימית גבוהה** – בשל המבנה הכימי הייחודי, צינורות HDPE עמידים בפני כימיקלים רבים, ונפגעים רק על ידי חומצה חנקתית.
- **התנגדות לקרע תחת מתחים גבוהים** – גם במצבי מתח גבוה, צינורות HDPE מפגינים התנגדות גבוהה לקרעים, מה שמספק יתרון נוסף לבטיחות המערכת.
- **עמידות בטמפרטורות קיצוניות** – צינורות HDPE שומרים על תפקודם בטווח טמפרטורות רחב, בין -30 ל-60 מעלות צלזיוס.
- **מניעת קורוזיה** – בזכות המבנה הכימי שלהם, צינורות HDPE עמידים בפני קורוזיה, ולכן מתאימים במיוחד להעברת נוזלים בסביבה מאתגרת.
- **משקל קל ועלות שילוח נמוכה** – בזכות משקלם הקל, עלויות השילוח של צינורות HDPE נמוכות יחסית, מה שתורם לחסכון בעלויות הפרויקט.
- **עמידות גבוהה בהשוואה לצינורות מתכת** – צינורות HDPE מציעים רמת עמידות גבוהה יותר מרוב צינורות המתכת, במיוחד בתנאים קורוזיביים.
- **הפחתת רעש זרימה** – המבנה הפנימי של צינורות HDPE תורם להפחתת רעשי הזרימה, דבר שמספק סביבה שקטה ונעימה יותר.
- **בידוד חשמלי ותרמי** – צינורות HDPE מציעים בידוד חשמלי מלא, כמו גם בידוד תרמי, המהווה יתרון משמעותי בתנאים תעשייתיים.
- **אינם רעילים וידידותיים לסביבה** – צינורות HDPE אינם מכילים חומרים רעילים ואינם מזיקים לסביבה, מה שמאפשר שימוש בטוח גם במערכות מי שתייה.
- **מתאים לפסולת רדיואקטיבית** – צינורות HDPE מתאימים לשימוש גם בהולכת פסולת רדיואקטיבית, בזכות עמידותם לתנאים קיצוניים ויציבותם הכימית.





## פוליאיתילן דו-מודאלי (PIPE)

פוליאיתילן לצינורות, המתבסס על טכנולוגיה מתקדמת, החל את ייצורו בשנות ה-50 כחלק מהדור השני של הפוליאיתילן, והתפתח לאורך השנים. בשנות ה-90 פותחה טכנולוגיית הפוליאיתילן הדו-מודאלי, שמאפשרת שיפור משמעותי בביצועים ובעמידות.

פוליאיתילן דו-מודאלי מתאפיין בכוח וביכולת עבודה יוצאת דופן, שנובעים מהמבנה הכפול שלו, המשלב תכונות מכניות וכימיות המותאמות לדרישות תעשייתיות מתקדמות. להלן כמה מהתכונות הייחודיות של פוליאיתילן דו-מודאלי:

- **עמידות גבוהה בפני סדקים** – פוליאיתילן דו-מודאלי מציע עמידות מצוינת בפני סדקים, מה שמאריך את חיי הצינור ומבטיח אמינות גבוהה.
- **חתך רוחב רחב יותר** – מבנה הצינור מאפשר חתך רוחב רחב, מה שתורם לשיפור משמעותי ביעילות ההולכה.
- **נפח ומהירות זרימה מוגברים** – צינורות העשויים מפוליאיתילן דו-מודאלי מגבירים את נפח ומהירות זרימת הנוזל, מה שמשפר את ביצועי המערכת.

- עמידות בפני התקמות – מבנה החומר מפחית את הסיכון להתקמות של הצינור, גם תחת לחצים חיצוניים.

PE 32		s: 18.3 mm m:5.09 kg/m
PE 63		s: 18.3 mm m:5.09 kg/m
PE 80		s: 18.3 mm m:5.09 kg/m
PE 100		s: 18.3 mm m:5.09 kg/m

#### התנגדות לקרינה אולטרה-סגולה (קרינת שמש)

פוליאתילן חשוף לקרינת השמש עלול להיחלש בהיעדר הגנה מתאימה, דבר שעלול לגרום לפגיעה במבנה הצינור ולקרעים. כדי למנוע זאת, מוסיפים בין 2% ל-3% פחמן שחור לתערובת הפוליאתילן במהלך תהליך הייצור. תוספת זו מספקת הגנה משמעותית מפני קרינת UV, ומבטיחה עמידות לאורך זמן גם בתנאים של חשיפה ממושכת לשמש.

#### מיון צינור פוליאתילן

צינורות פוליאתילן מדורגים על פי ערך חוזק החומר (MRS - Minimum Required Strength) בהתאם לחומרי הגלם והתוספים המשמשים בתהליך הייצור. ערך חוזק זה נקבע לפי היכולת של הצינור לעמוד בלחץ פנימי מתמשך במשך 50 שנים בטמפרטורה של 20 מעלות צלזיוס. דירוג זה מספק אינדיקציה לעמידות הצינור וליכולת שלו לשמור על יציבות וביצועים לאורך זמן בתנאים שונים.

הסוג של חומר הגלם	ערך חוזק החומר
PE 32	3.2
PE 40	4.0
PE 63	6.3
PE 80	8.0
PE 100	10

## תכונות טיפוסיות לחומר גלם HDPE

	Specification	STANDARD	Unit	Value
	Intensity	ISO 1183	gr/cm <sup>3</sup>	0,95
	Melting flow rate (MFR) 190/5	T 003	gr/10 min	0,2 – 0,4
	Melting flow rate (MFR) 190/5	T 005	gr/10 min	0,4 – 0,7
<b>Mechanical specifications</b>	Melting flow rate (MFR) 190/5	T 010	gr/10 min	0,7 – 1,3
	Tensile stress (akma)	<a href="#">ISO 527</a>	Kg/cm <sup>2</sup>	255
	Elongation (creep)	ISO 527	%	9
	Elongation (break)	ISO 527	%	>600
	Modulus of Elasticity	ISO 527	Kg/cm <sup>2</sup>	11216
<b>Thermal Specifications</b>	Softening Temperture	ISO 306	°C	77
	Deflection Temperture	ISO 75	°C	75
	Coefficient of Thermal Expansion	DIN 53732	1 / °C	0,00018
	Thermal Conductivity (20 oC)	DIN 52612	W / m°C	0.4
	Flamibility	<a href="#">DIN 4102</a>	--	B2
<b>Electrical Specifications</b>	Specific Volume Resistance	VDE 0303	Ohm.cm	>1016
	Özgül Yüzey Direnci	VDE 0303	Ohm	>1013
	Dielectric coefficient	VDE 0303	kV / mm	70

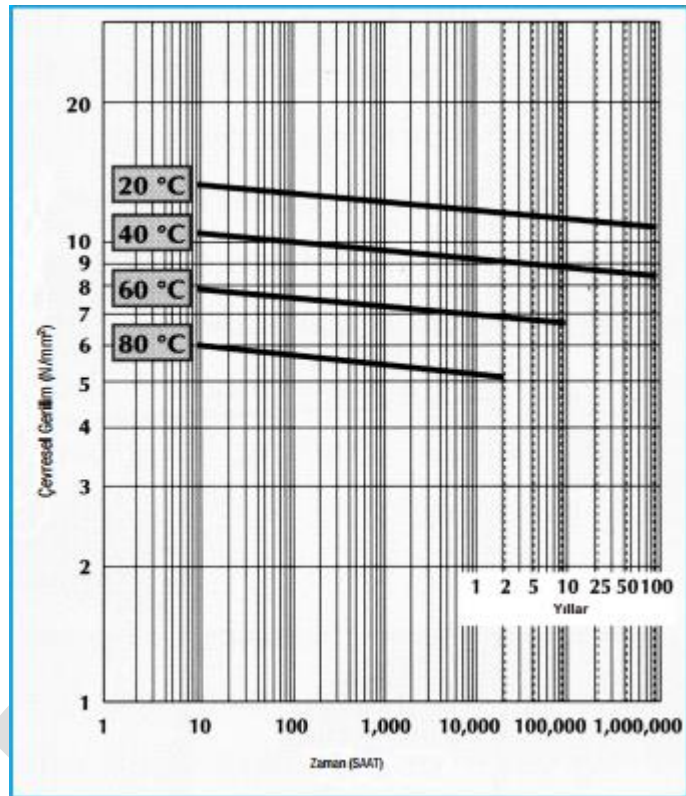
### גורמים חיצוניים המשפיעים על אורך חיי צינורות HDPE

צינורות HDPE (צינורות פוליאתילן) מושפעים ממספר גורמים חיצוניים שיכולים להשפיע על אורך חייהם, ביניהם:

- **תנאי עבודה שונים** – צינורות HDPE מתפקדים במגוון רחב של טמפרטורות, לחצים ומאפיינים סביבתיים, מה שיכול להשפיע על עמידותם לאורך זמן.
- **חומרי גלם וריאקציות כימיות** – ייצור הצינורות מתבסס על תגובות כימיות של חומרי גלם, דבר המעניק להם את עמידותם ואת תכונותיהם המיוחדות.
- **התאמת מבנה הקרקע** – במהלך הנחת הצינור, יש להתאים את מבנה הקרקע לתנאים הנוכחיים כדי להבטיח את עמידות הצינור לאורך זמן.

צינורות PE100 לדוגמה, מתוכננים לעמידות של לפחות 50 שנים בטמפרטורה של 20 מעלות צלזיוס, בהתאם לחישובי תוחלת החיים, במידה ואין אירועים חריגים. תכונות הפוליאתילן מאפשרות חיבורים כימיים עם חומרי HDPE מה שמוסיף לעמידות ולגמישות של המערכת.

### דיאגרמה המראה קיים בשנים כפונקציה ולחץ עבודה:



### הרכבה בשטח, אחסון והובלה של צינורות פוליאתילן

#### אחסון הצינורות

כדי להבטיח את שלמותם ועמידותם של צינורות HDPE לאורך זמן, יש להקפיד על הנחיות האחסון הבאות:

- אחסון אופקי ובטוח – יש לאחסן את הצינורות במצב אופקי, הרחק מחפצים חדים או חפצים שעלולים לפגוע במעטפת החיצונית שלהם.
- שימוש באריזות סגורות – מומלץ לאחסן את הצינורות באריזות סגורות, המספקות הגנה נוספת מפני פגעי הסביבה ומפני חשיפה לאבק ולכלוך.
- מניעת מגע עם חומרים מזהמים – יש להימנע ממגע ישיר בין הצינורות לבין אביזרי שפכים, לכלוך או קרקע חשופה, כדי למנוע חדירת מזהמים ופגיעה במבנה הצינור.
- אחסון מוצל ומוגן מפני קרינה ישירה – מומלץ לאחסן את הצינורות במקום מוצל ומוגן, כדי להימנע מחשיפה ישירה לקרינת שמש שעלולה לפגוע בעמידותם לאורך זמן.

## פריקה ושינוע של צינורות HDPE

כדי להבטיח את תקינותם של צינורות HDPE במהלך הפריקה והשינוע, יש לפעול לפי ההנחיות הבאות:

1. **הכנת אזור אחסון ייעודי** – לפני פריקת הצינורות, יש להכין אזור אחסון ייעודי באתר העבודה. האזור צריך להיות מישורי, נקי מפסולת ומסכנות כגון סלעים, ברזלים או חפצים חדים שעלולים לפגוע בצינורות.
2. **אופן אספקת הצינורות** – צינורות א.א.ח פלסט מסופקים במוטות, או בחבילות קשורות או במשטחים, בהתאם לסוג הצינור ולכמותו. ניתן לפרוק את הצינורות באמצעות כלי הרמה מכניים כמו מלגזה, מעמיס טלסקופי או מנוף. יש להשתמש ברצועות הרמה תקינות ולהימנע משימוש בשרשראות ברזל, שעלולות לגרום לנזק לצינורות.
3. **הקפאה ועמידות בטמפרטורות נמוכות** – יש לקחת בחשבון כי בטמפרטורות נמוכות, צינורות HDPE הופכים להיות רגישים יותר למכות ונפילות. לכן, יש להימנע מגרירתם על הקרקע בתנאים אלו כדי למנוע נזקים.
4. **חיתוך והכנה של הצינורות** – חיתוך הצינורות יש לבצע בעזרת מסור מתאים, תוך הקפדה על תמיכה דו-צדדית. חיתוך בטמפרטורות נמוכות עלול לגרום לצינור להישבר או להתכופף.
5. **שינוע הצינורות** – במהלך השינוע, יש לוודא כי אורך רכב ההובלה מתאים לאורך המלא של הצינורות, ויש לתלות אותם באופן יציב כדי למנוע נזקים במהלך הנסיעה.
6. **פריקה מרכב ההובלה** – עם הגעת הצינורות לאתר, יש להורידם בזירות באמצעות חבלים או רצועות, ולא להשליך אותם או את האביזרים הנלווים לקרקע. מומלץ להשתמש במלגזות או במנופים לצורך הפריקה, ולהקפיד על שיטת ההזזה המומלצת לשמירה על תקינות הצינורות.

### תמיכות ותליה

#### תמיכה לצינורות במצב תלוי (רצפה פתוחה/באוויר)

במהלך התקנת צינורות HDPE יש לקחת בחשבון מספר גורמים כמו מרווחי התמיכות, קו ההנחה, הטמפרטורות הסביבתיות, וגודל ומאפייני הצינור, בהתאם לסוג הנוזל הזורם בו. עבור צינורות בקנה מידה קטן, נדרשת תמיכה רציפה, אם כי לעיתים ניתן להיעזר במיסבים.

כדי להבטיח יציבות מרבית, מומלץ להשתמש בתושבת אוסף שתספק תמיכה של לפחות 120 מעלות בחלק התחתון של הצינור. חשוב לכוון את הצינור בצורה מדויקת כדי למנוע עומסים מיותרים על המיסבים ולשמור על עמידות הצינור.

#### נוסחה לחישוב טווח התמיכה:

$$100 \div \left( \frac{E \times I \times d \times 3840}{(fW_p + W) \times 5} \right)^{1/4} = L$$

#### פירוט המונחים:

- L טווח התמיכה (מטרים)
- E מודול יאנג (MPa)
- I מומנט האינרציה של הצינור (סמ"ר<sup>4</sup>)
- d קוטר חיצוני של הצינור (סמ"ר)



• **Wp** משקל יחידת הצינור (ק"ג/מ)

• **Wf** משקל יחידת הנוזל (ק"ג/מ)

**הערות:** לצורך תכנון נכון של מערכות התמיכה, מומלץ להיעזר בטבלת הערכים האופייניים של צינורות PE 100. טבלה זו מספקת מידע על תכונות הצינורות, כמו עמידות ללחץ ולטמפרטורה וגמישות, והיא חיונית לתכנון מערכות תמיכה שמבטיחות עמידות לאורך זמן ובתנאי שימוש שונים.

טמפרטורה C°	-29	-18	4	16	23	38	49	60
משקל (פיקסלים)	476	413	270	206	194	159	103	79

### הנחת צינורות בקרקע

הנחת צינורות בקרקע היא עבודה מורכבת המצריכה תכנון הנדסי מדויק. תהליך זה מחייב הנחיה מקצועית של מהנדס המתמחה בתחום, שכן נדרשות החלטות לגבי שיטות יישום שונות המותאמות לכל פרויקט באופן ספציפי. ההסברים וההנחיות המובאים כאן יספקו מידע בסיסי על התהליך.

### חומרים ותהליכים לקבורת הצינור

1. **בסיס מצויד:** לאחר סיום החפירה, יש לבדוק שעומק התעלה מספק להנחת הצינור בבטחה.
2. **הכנת שכבת הקרקע:** יש להתאים את מצב הקרקע בהתאם לטבלה המצורפת, המספקת ערכים אופייניים לעומק הנדרש לפי סוג הקרקע ויישום הצינור.
3. **מילוי ראשוני ומשני:** לאחר הנחת הצינור בתעלה, יש למלא את התעלה בגובה העולה לפחות 15 ס"מ מעל הצינור. שכבת המילוי הראשונית מסייעת בהארכת חיי הצינור.
4. **מילוי ראשי:** איכות חומר המילוי וטכניקת היישום הן קריטיות בשלב זה. קוטר הצינור המולא מהתחתית ועד 75% מהגובה יש להקפיד על הצבת המילוי בצורה נכונה למניעת פגיעה בצינור.
5. **מילוי משני:** מיושם כאשר נדרש למלא לרמה גבוהה יותר לצורך עמידות בקרקע עם צינורות תת-קרקעיים אחרים, או במקרה שהמילוי הראשוני אינו מספיק.
6. **מילוי סופי:** בעודו בעל השפעה מועטה על מבנה הצינור והלחצים עליו, יש להקפיד על חומר מילוי איכותי למניעת פגיעה בעת דחיסה או הנחת מדרכות ושבילים מעל התעלה.

### הנחיות התקנה לצינורות PE

באופן כללי, התקנת צינורות PE דורשת הקפדה על שיטות יישום כלליות המבטיחות עמידות בתנאי עומס יתר ויציבות מספקת לצינורות הלחץ.

### שיטות יישום פשוטות לצנרת HDPE

התקנה מוצלחת דורשת עמידה בתנאים הבאים:

1. קוטר הצינור עד 600 מ"מ.

2. ערך SDR של 26 או פחות.
3. גובה מילוי שבין 0.75 מטר ל-5 מטר.
4. מרחק מינימלי של 60 ס"מ מקו מי התהום.

#### עבודות חפירה

עבודות חפירה בתעלות הן מסוכנות עבור העובדים, ולכן יש לנקוט בכל אמצעי הזהירות הנדרשים לשמירה על בטיחותם. חשוב לוודא שקצוות התעלה נשמרים בזווית בטוחה כדי למנוע התמוטטות שעלולה לסכן חיים. בתכנון אורך התעלה, יש להתחשב בקוטר ובעומק הצינור, כפי שמפורט בטבלה שלנו.

						קוטר הצינור (מ"מ)	גודל הצינור (מ"מ)
	<b>4</b>	<b>3.4</b>	<b>2.8</b>	<b>2.1</b>	<b>1.5</b>	<b>1</b>	
	12.2	10.7	9.1	7.6	6.1	4.6	<b>15 - 80</b>
	15.2	13.7	12.2	10.7	9.1	7.6	<b>100 - 200</b>
	18.3	16.8	15.2	13.7	12.2	10.7	<b>250 - 350</b>
	21.3	19.8	18.3	16.8	15.2	13.7	<b>400 - 550</b>
	24.4	22.9	21.3	19.8	18.3	0	<b>600 - 1050</b>
	33.5	30.5	27.4	24.4	0	0	<b>1200</b>

## עבודות מילוי וביסוס

לאחר שהתעלה נחפרה, יש למלא אותה בצורה אחידה בעזרת חומרי מיסב המתאימים לקרקע. במקרים בהם תחתית התעלה היא קרקע סלעית, יש למלא אותה עד לגובה של 10-15 ס"מ מעל התחתית. חומר המילוי המומלץ הוא חול או תערובת של חצץ וחול שאינו דביק.

עומק התעלה הכולל צריך להיות לפחות 70-80 ס"מ, בהתאם לסוג הפרויקט, והחומרים למילוי יהיו חול או תערובת חצץ וחול. במקרה של הארקה (הטמנת הצינור בקרקע לצורך יציבות), אין צורך בהפרעות נוספות. במקרים אחרים, יש לוודא שימוש בחול ליצירת שכבה יציבה.

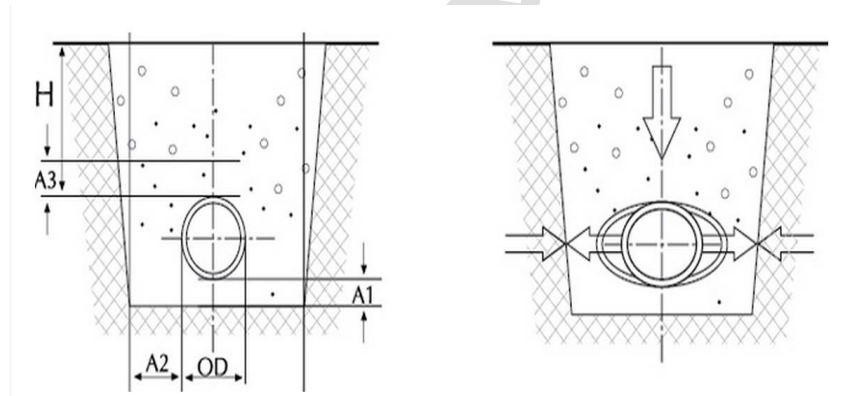
חישובי עובי המילוי

עובי שכבת הביסוס חייב להיות לפחות  $A1 = 100 \text{ מ"מ} + \text{DN}/10$ , כאשר DN מייצג את קוטר הצינור.

המילוי בצד (A2) יעשה בשכבות של 30 ס"מ, עם דחיסה עד לרמת קומפקטיות של לפחות 92%-95%. תהליך זה יש לחזור עליו כל 30 ס"מ בגובה המילוי.

פריסת הצינורות

יש להקפיד על פריסת הצינורות בצורה מדויקת, כדי להבטיח ייצוב מיטבי ועמידות לאורך זמן.



## הגנה ממים

במהלך התקנת צינורות HDPE בתעלות עם מפלס מים, יש לוודא כי מפלס המים נוח ובטוח מתחת לפתח הצינור. מפלס מים מתאים יכול להקל על עבודות חפירת בארות או על פעולות שאיבה אם נדרש.

## רצפת צינור מעוקלת

לאחר חיבור הצינור לאוגנים ואביזרי חיבור, יש להקפיד על מרחק מתאים עבור רדיוס הכיפוף של הצינור – בין פי 5 לפי 100 מקוטר הצינור. ייתכן שיהיה צורך להשתמש בתומכי קשת לצורך הגנה, אך יש להסירם לאחר המילוי האחרון כדי לאפשר לצינור לתפקד ללא תמיכות נוספות.

## הצבת צינורות בתעלה

לצינורות בקוטר 200 מ"מ ומשקל 9 ק"ג למטר ניתן לבצע התקנה ידנית, אך עבור צינורות כבדים יותר יש להשתמש בציוד מתאים כמו כלי הרמה. במהלך החדרת הצינור לתעלה, יש לוודא שאין עובדים בקרבת מקום, לצורך בטיחות.

## מילוי ראשי

יש למלא את התעלה בחומרים מתאימים ולוודא כי המילוי נעשה בצורה הדוקה מסביב לצינור. במהלך תהליך המילוי, יש לבדוק את מיקום הצינור ולוודא שהוא מיושר כראוי.

## חיבורים והתאמות לצינור HDPE

במצבי לחץ גבוה, צינורות HDPE עשויים לעמוד בכוחות פנימיים ובלחצים סביבתיים משתנים. מערכת צינור HDPE שומרת על יציבותה גם בתנאים מאתגרים, ואין צורך באמצעי נגד נוספים כנגד דחיפה פנימית. במקרים של חיבורי אטימה, הצינור עמיד בפני דפורמציה אלסטית בתנאים תרמיים, אך ללא סיכון לדליפה.

### התקנת צינורות HDPE מתחת למים

צינורות HDPE מתאימים במיוחד ליישומים מתחת למים, הודות לתכונותיהם הקלות והגמישות. הנה מספר יתרונות עיקריים ותהליכי התקנה בסיסיים:

- **משקל קל:** צינורות HDPE קלים משמעותית מצינורות פלדה ובטון, דבר המקל על המשלוח והטיפול.
- **ציפה:** צפיפותם של צינורות HDPE קרובה לזו של מי ים, מה שמאפשר להם לצוף במים מתוקים. לצורך קיבוע מתחת למים, ניתן להוסיף משקולות.
- **גמישות והתאמה לקרקעית:** צינורות HDPE גמישים ומסוגלים להתאים את עצמם לתנאי הקרקע התחתונה.
- **עמידות לגלים ועיוותים:** הצינורות עמידים בפני תנועות הקרקע והגלים, ומספקים יציבות במים.

### שלבי תכנון והתקנה ליישומים מתחת למים

1. **קביעת קוטר הצינור:** בהתבסס על סוג הנוזל וחישובי הזרימה, יש לקבוע את הקוטר הפנימי המתאים של הצינור.
2. **התאמה לתנאי עבודה:** יש לוודא שהצינור מותאם לטמפרטורה וללחצים הצפויים.
3. **חישוב משקל וציפה:** יש לחשב את משקל הצינור ואת הציפה הנדרשת כדי להבטיח שהצינור ישקע במים בצורה מבוקרת. לדוגמה:

$$W_{\text{ציפה}} - [W_{\text{הומר}} + W_{\text{צינור}}] = F$$

משקל משוער של בלוקים מבטון מזוין (ק"ג)		התמודדות עם כמות אחוז האוויר בצינור מרווחי חסימת משקל עד			קוטר החיצוני של הצינור (מ"מ)
מים מתוקים	באוויר	20%	15%	10%	
4	6	1,5	2	3	90
5	9	1,5	2	3	110
8	14	1,5	2	3	140
9	16	1,5	2	3	160

12	21	1,5	2	3	180
15	25	1,5	2	3	225
25	43	1,5	2	3	280
33	57	1,5	2	3	315
59	102	2	3	4,5	355
66	114	2	3	4,5	400
96	165	2	3	4,5	450
106	182	2	3	4,5	500
142	245	2	3	4,5	560
162	280	2	4	4,5	630
238	410	3	4	6	710
302	520	3	4	6	800
377	650	3	4	6	900
470	810	3	4	6	1000
658	1135	3	4	6	1200
893	1540	3	4	6	1400

1172	2020	3	4	6	1600
------	------	---	---	---	------

### הכנות והנחת צינורות HDPE בתהליך טבילה במים

לפני טבילת הצינור במים, יש להכין רמפה מתאימה לחוף. חשוב לוודא שרצפת הצינור נקייה לפני ההכנסה למים, כדי למנוע נזקים למשטח הצינור במהלך ההתקנה.

לצורך הכנת מיטת תעלה תת-מימית וביצוע בקרות למעבר מהיבשה למים, יש לחפור את התעלה בעומק ובאורך המתאימים, כך שתספק הגנה נוספת לצינור מפני תקלות אפשריות. עומק החפירה וגובה המילוי (בין 30 ל-50 ס"מ) נועדו לייצב את הצינור ולהגן עליו גם מפני תנאים קיצוניים, כמו זרמי ים חזקים.

במהלך יצירת יחידת צינור אחת, יש למקם את קצוות הצינורות כך שיתחברו במדויק, ולהפחית ככל הניתן את משקלן של המשקולות המונחות על גבי הצינור. במידה ומשקל נוסף הכרחי, יש להימנע ממגע ישיר של הצינור עם מים.

### חיבור בלוקי משקל

לצורך התקנת המשקולות באופן יציב על גבי הצינור, נדרש ציוד מתאים ותחבורה להובלת הבלוקים ולאחזתם. יש למקם את בלוקי המשקל בצורה מסודרת לאורך הצינור, כך שיאפשרו את שקיעתו במים בצורה יציבה ומבוקרת. חשוב שהרמפה תהיה סמוכה ככל האפשר לקו המים כדי להקל על תהליך השקיעה.

### תהליך הורדת הצינור למים

לאחר חיבור בלוקי המשקל, ניתן להוריד את הצינור במורד הרמפה. בזכות יציבות הרמפה, הצינור יישאר יציב במים ויש לוודא שימוש ברצועות רחבות במקום חבלים כדי למנוע נזקים למבנה הצינור.

### שקיעת הצינור בנקודה המיועדת

לאחר הכנסת הצינור למים, הוא ממשיך בתהליך השקיעה במיקום הייעודי. יש להרים את קצה הצינור כדי למנוע כיפוף יתר ולשלוט על הוצאת האוויר בצורה מבוקרת. אין להשתמש באוויר דחוס ביותר מ-50% מהלחץ המקסימלי, מאחר שלחץ מים מוגזם עלול לסכן את שלמות הצינור.

### הכנת המעבר מהיבשה למים

יש לוודא את הפרטים הבאים להבטחת התקנה בטוחה ויעילה:

- שימוש בצינור HDPE המתאים.
- בדיקה שאין חסימות במשקל אשר עלולות לגרום לחוסר יציבות.
- ווידוא שהצינור אינו בא במגע עם חומרים שעלולים לגרום לנזקים.
- הסרה זמנית של חומרי המילוי לצורך בדיקה על ידי מומחים.

## התפשטות תרמית

מקדם ההתפשטות התרמית של צינורות **HDPE** גבוה פי 10 מזה של צינורות מתכת, מה שאומר כי צינורות **HDPE** מתרחבים ומתכווצים יותר בתגובה לשינויים בטמפרטורה.

לשימוש בטווח ארוך, יש להגביל את הטמפרטורה המרבית בצינורות לחץ לרוב ל-60 מעלות צלזיוס. בטבלה הבאה מוצגים ערכי הלחץ המותרים לשימוש בטמפרטורות שונות:

גורם כפל	מקסימום טמפרטורה קבועה (C)	גורם כפל	מקסימום טמפרטורה קבועה (C)	גורם כפל	מקסימום טמפרטורה קבועה (C)
0.73	38	1.49	4	2.54	-29
0.64	43	1.32	10	2.36	-23
0.58	49	1.18	16	2.18	-18
0.50	54	1.00	23	2.00	-12
0.43	60	0.93	27	1.81	-7
		0.82	32	1.65	

## השפעות תרמיות והתכווצות

שינויים בטמפרטורה עלולים לגרום להתרחבות ולהתכווצות בצינורות **PE** ובתפרים המולחמים. עם זאת, צינורות **PE** אינם דורשים מערכות הרחבה או התקני התפשטות מיוחדים, שכן מבנה החומר מאפשר גמישות מספקת.

מקדם ההתפשטות של צינורות **PE 100** גבוה יותר ממקדם ההתפשטות של חומרים אחרים, ולכן חשוב לשים לב לנקודות הבאות:

צינורות **PE 100** החשופים לטמפרטורה מסוימת עשויים להתרחב ולבצע תנועות דמויות "נחש" או להפעיל לחץ על נקודות קבועות במערכת.

נדרשים חיבורים גמישים בעת חיבור צינורות **HDPE**, כדי לפזר מתחי התפשטות ולהבטיח עמידות מבנית לאורך זמן.

## טכניקות ריתוך וצימוד לצינורות פוליאתילן:

קיימות מספר שיטות חיבור מוכרות לצינורות פוליאתילן, (PE) אשר כל אחת מתאימה לצרכים ולמפרטים שונים:

1. ריתוך פנים (Butt Welding - BW)
2. ריתוך באמצעות אביזרי אלקטרופיוז'ן
3. חיבור באמצעות תותבים ואוגנים

### ריתוך אלקטרופיוז'ן (Electrofusion Welding)

שיטת ריתוך אלקטרופיוז'ן מתבצעת על ידי חימום חלקי הצינור באמצעות זרם חשמלי שמחמם את חוטי הנוחשת באביזר. השיטה מאפשרת חיבור אמין של צינורות HDPE תוך שמירה על תקן ת"י 4427 של מכון התקנים הישראלי. האזור המרותך צריך להיות מוגן מפני תנאי מזג אוויר קשים, והטמפרטורה האידיאלית לשימוש בשיטה זו היא בין 5° ל-50° צלזיוס.

### שלבים נדרשים לריתוך אלקטרופיוז'ן (EF)

לפני התחלת תהליך ריתוך, יש לבדוק ולוודא את ההיבטים הבאים:

- אישור כי סוג האביזרים והצינורות תואם זה לזה בהתאם להנחיות היצרן.
- וידוא שהאביזרים נמצאים באריזות סגורות ולא ניזוקו במהלך המשלוח.
- אישור הסמכה לריתוך אלקטרופיוז'ן.
- וידוא כי מכונת הריתוך עברה כיוול לפחות פעם בשנה.
- בדיקה כי קוטר הצינור והאביזרים תואמים.
- חיתוך הצינור בזווית ישרה ליצירת ציר מדויק בין הקצוות.
- שימוש במגרדת להסרת שכבת החמצון החיצונית, תוך שמירה על קוטר הצינור המקורי.
- החדרת הצינור לאביזרים ללא רווחים, לצורך ביצוע הריתוך מלא ותקין.
- ניקוי הצינור לאחר הגירוד באמצעות אלוהול (אתנול), והימנעות ממגע לאחר הניקוי.
- קיבוע שני קצוות הצינור במהלך הריתוך באמצעות אביזרי קיבוע.
- לאחר הריתוך, יש להזמין את יצרן הצינורות לבדיקת שירות בשטח.
- בצינורות קבורים, יש לבצע בדיקת שדה ואישור היצרן לפני כיסוי הקו וביצוע בדיקת מים (טסט).

### יתרונות ריתוך אלקטרופיוז'ן לצינורות PE

- מאפשר חיבור יציאות מהצינור הראשי בקלות.
- מתאים לתיקונים מהירים.
- ניתן לשימוש במקומות צרים במיוחד ובמקומות שאין גישה לבצע ריתוך פנים.



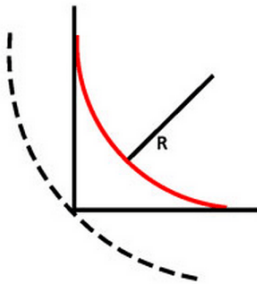
## ריתוך פנים (Butt Welding - BW)

ריתוך פנים, או "BW" הוא אחת השיטות הנפוצות לחיבור צינורות ואביזרי פוליאטילן. בשיטה זו מחממים את קצוות הצינורות באמצעות לחץ, ומצמידים אותם זה לזה עד לקבלת היתוך אחיד. ריתוך פנים מתאים לצינורות בקוטר של עד 1200 מ"מ, ומבוצע בהתאם לתקן. **DVS 2207**.

### תנאים לריתוך פנים

- **מקור חום:** טמפרטורת צלחת החימום צריכה להיות בין  $200^{\circ}$  ל- $220^{\circ}$  צלזיוס, ויש לבצע ניטור רציף של הטמפרטורה.
- **עובי קיר:** הטמפרטורה וחום הריתוך משתנים בהתאם לעובי קיר הצינור, על פי טבלה המפרטת את הקשר בין חום הריתוך לעובי הקיר.

**(ב) לחץ חימום:** במהלך תהליך החימום, משטח הצינור צריך להיות מבוסס על צלחת החימום. לחץ החימום המומלץ הוא  $P=0.02N/MMC$  והוא נשמר ברמה קבועה.



**(ג) זמן חימום:** זמן החימום מחושב לפי הנוסחה:

$$\text{זמן חימום (שניות)} = \text{עובי הצינור (מ"מ)} \times 10$$

**(ד) גובה שפת ההיתוך:** בעת חימום הצינורות, עובי הקיר הנמס יוצר שכבת חימום המתפשטת. גובה השפה (H) מחושב כך:

$$H = 0.55 \text{ מ"מ} + (e \times 0.1)$$

כאשר e הוא עובי דופן הצינור במילימטרים (ראו בטבלה 1/2).

**(ה) זמן החלפה:** הזמן שבין סיום חימום הצינור להסרתו מהצלחת החימום קריטי ויש לבצעו במהירות ובזהירות כדי למנוע זיהום או פגיעה במשטח הצינור (ראו לוח 4.1).

**(ו) זמן הרכבה:** לאחר ההחלפה, יש לשלב את משטח הצינור לריתוך בתוך זמן קצר ביותר (קרוב לאפס) כדי להבטיח היתוך מיטבי (ראו לוח 1.5).

**(ז) זמן קירור בלחץ:** יש לשמור על הצינור בלחץ במהלך הקירור למשך הזמן הנדרש, בהתאם לעובי הדופן (ראו לוח 1/5).

**(ח) טמפרטורת לוח החימום:** טמפרטורת לוח החימום צריכה להיות בטווח של 210-220 מעלות צלזיוס.

**(ט) זמני חימום וקירור:** זמני החימום והקירור משתנים בהתאם לעובי דופן הצינור, כמפורט בטבלה המצורפת.

זמן קירור תחת לחץ (דקות)	זמן לחיצה לקבלת לחץ הריתוך מרבי (שניות)	זמן מרבי להוצאת גוף החימום (שניות)	זמן חימום (שניות)	עובי דופן (מ"מ)
6	5	5	45	0.....4.5
6-10	5.....6	5.....6	45.....70	4,5.....7
10-16	6.....8	6.....8	70.....120	7.....12
16-24	8.....11	8.....10	120.....190	12.....19
24-32	11.....14	10.....12	190.....260	19.....26
32-45	14.....19	12.....16	260.....370	26.....37
45-60	19.....25	16.....20	370.....500	37.....50
60-80	25.....35	20.....25	500.....700	50....70

הערכים המופיעים בטבלה מיועדים למטרות מידע כללי בלבד. ייתכנו שינויים בהתאם לסוג הציוד ולתנאי מזג האוויר.

### שליבים נדרשים לריתוך פנים (BW)

לפני התחלת תהליך ריתוך הצינור, יש לוודא את השלמת הצעדים הבאים:

1. **הסמכה לריתוך פנים:** יש לוודא כי צוות העובדים עבר הסמכה מתאימה לריתוך פנים.
2. **כיוול מכונת הריתוך:** מכונת הריתוך צריכה לעבור כיוול לפחות פעם בשנה כדי להבטיח דיוק ואמינות.
3. **אימות קוטר ומידות:** יש לבדוק את קוטר הצינור ואת מידותיו, ולוודא כי הפרש עובי הדופן בין הצינורות אינו עולה על 10%.
4. **חיתוך וקידוד:** יש לבצע חיתוך בזווית ישרה ליצירת ציר מדויק בין שני קצוות הצינור, ולבצע קידוד לצינור אם נדרש.
5. **ניקוי לאחר קידוד:** לאחר ביצוע הקידוד, יש לנקות את הקצוות באמצעות אלכוהול (אתנול) ולהימנע ממגע לאחר הניקוי כדי לשמור על פני שטח נקיים להיתוך.

6. **שחרור לאחר קירור:** יש לשחרר את הצינור ממכונת הריתוך רק לאחר שהסתיים זמן הקירור המלא, בהתאם להנחיות.

7- לאחר ביצוע ריתוכים יש לזמן את יצרן הצינורות לבצע ביקורת שירות שדה.

8- צינורות קבורים אין לכסות את הקו לפני ביצוע ביקורת שירות שדה וקבלת אישור יצרן וביצוע טסט מים לקו.

### מכונות והציוד המשמשים בתהליך ריתוך פנים

מכונת ריתוך פנים כוללת מספר רכיבים עיקריים הנדרשים לתהליך ריתוך תקין ואיכותי של צינורות HDPE:

- **יחידת קידוד:** רכיב המיועד להבטיח כי פני הצינור חלקים ושטוחים לפני תהליך הריתוך. היחידה מסירה לכלוך ושכבת תחמוצת שעלולה להשפיע לרעה על איכות הריתוך.
- **מלחציים (באקים):** רכיב המשמש לאחיזה ותפיסה של הצינורות במהלך הריתוך, כדי לשמור על הצינור במצב קבוע ויציב.
- **יחידת חימום (פלטת חימום):** יחידה זו מתחממת ומעבירה חום לשני קצוות הצינור בו-זמנית. היא כוללת בקר לקביעת הטמפרטורה, שיש לבדוק את תקינותו במהלך הכיול השנתי.
- **יחידה הידראולית:** יחידה זו אחראית על הפעלת הלחץ הנדרש בתהליך ההרכבה ומאפשרת את תנועת המלחציים בצורה אופקית לצורך ביצוע גילוח וחימום.

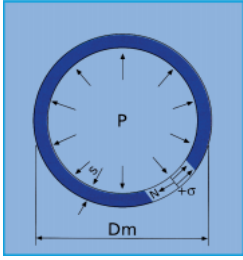
### חיבור אוגן

לחיבור אוגן בצינורות HDPE יש לנהוג לפי ההנחיות הבאות:

- **רתיכת תותבים:** יש לרתך תותבים בקצוות הצינור, כאשר האוגן הראשי נתמך בלחץ מסוים על ידי האוגן האחורי ומחוזק באמצעות ברגים, דיסקיות ואומים. פעולה זו נועדה למנוע דליפה.
- **אוגנים מחליקים:** יש להשתמש באוגנים מחליקים ממתכת (פלדה או ברזל), וניתן לצפותם בפלסטיק להגנה נוספת. בין התותבים יש להניח אטם בעובי של לפחות 4 מ"מ, העשוי מחומר EPDM.
- **סגירת ברגים:** יש להשתמש במפתח מומנט לסגירת הברגים בהתאם להנחיות שבטבלת סגירת האוגנים לפי תקני ASA או DIN.

D mm	SDR 26 – PN6		SDR 17 – PN10		SDR 13.6 – PN12.5		SDR 11 – PN16	
	S mm	Kg/m	S mm	Kg/m	S mm	Kg/m	S mm	Kg/m
90	3.3	0.96	5.4	1.53	6.7	1.86	8.2	2.23
110	4.0	1.43	6.6	2.28	8.1	2.75	10.0	3.30
160	5.8	3.00	9.5	4.75	11.8	5.78	14.6	7.00
200	7.2	4.73	11.9	7.40	14.7	8.99	18.2	10.92
225	8.2	6.15	13.4	9.38	16.6	11.45	20.5	13.76
250	9.0	7.34	14.8	11.55	18.4	14.07	22.7	17.01
280	10.2	9.21	16.6	14.39	20.6	17.69	25.4	21.32
315	11.7	11.57	18.7	18.27	23.2	22.26	28.6	26.88

## נוסחת חישוב עובי דופן נדרש לצינור HDPE



נשתמש בנוסחאות הבאות כדי לחשב את החוזק והעובי הנדרשים של דופן הצינור בהתאם ללחץ הפנימי:

1. חישוב החוזק: (N)

$$\frac{mP \cdot D}{2} = N$$

כאשר:

- $N$  = חוזק (לחץ חצי בדופן הצינור)
  - $p$  = לחץ פנימי הפועל על הצינור
  - $mD$  = קוטר ממוצע של הצינור
2. חישוב הקוטר הממוצע (Dm):

$$s - D = \frac{D + d}{2} = mD$$

כאשר:

- $D$  = הקוטר החיצוני של הצינור
  - $d$  = הקוטר הפנימי של הצינור
  - $s$  = עובי הדופן הנדרש
3. חישוב המאמצים (σ):

$$\frac{mP \cdot D}{s \cdot 2} = \sigma$$

כאשר:

- $\sigma$  = מאמץ פנימי המופעל בדופן הצינור
4. חישוב עובי הדופן הנדרש (s):

$$\frac{mP \cdot D}{\sigma \cdot 2} = s$$

כאשר: S = עובי הדופן הנדרש לצינור כדי לעמוד בלחץ הפנימי

### הסברים נוספים:

- $D$ : הקוטר החיצוני הממוצע של הצינור.
- $p$ : הלחץ הפנימי הפועל בתוך הצינור.
- $N$ : החוזק הדרוש כדי לעמוד בלחץ הפנימי.
- $mD$ : הקוטר הממוצע, המוגדר כמרחק הממוצע בין הדפנות החיצוניות והפנימיות של הצינור.
- $\sigma$ : המאמץ הפנימי המופעל על דופן הצינור.

### לחץ הידרוסטטי חיצוני

במקרה של לחץ חיצוני המופעל על דופן הצינור, ניתן להשתמש בנוסחאות הבאות לחישוב החוזק והמאמצים הנדרשים:

#### 1. חישוב החוזק ( $N$ ) עבור לחץ חיצוני:

$$\frac{mP_b \cdot D}{2} = N$$

כאשר:

- $N$  = חוזק הדרוש כדי לעמוד בלחץ החיצוני
- $P_b$  = הלחץ החיצוני המופעל על הצינור
- $mD$  = הקוטר הממוצע של הצינור

#### 2. מאמץ בדופן הצינור ( $\sigma$ ) תחת לחץ חיצוני:

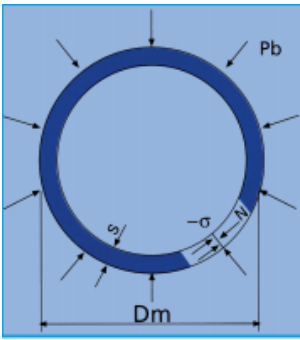
$$\frac{mP_b \cdot D}{2} = \sigma$$

כאשר:

- $\sigma$  = המאמץ הפנימי המופעל על דופן הצינור עקב לחץ חיצוני

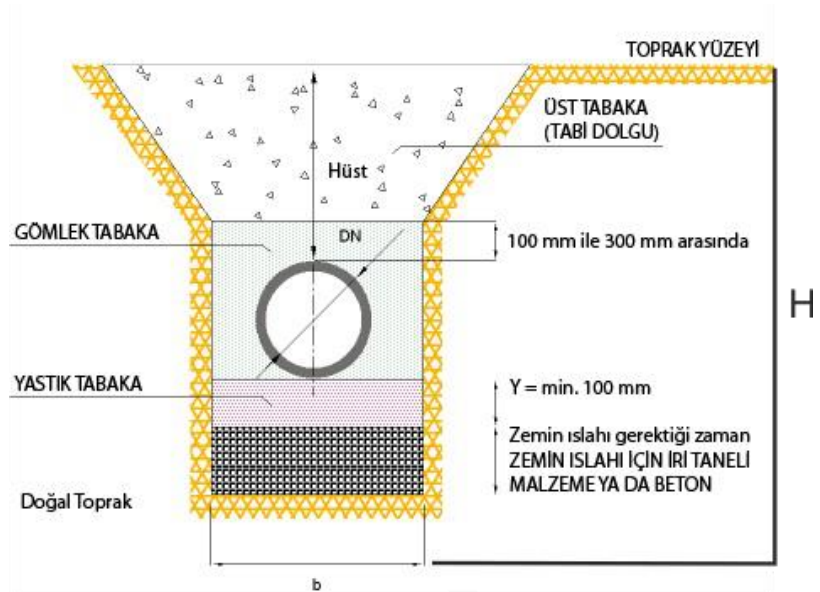
### הסברים נוספים:

- $mD$ : הקוטר הממוצע של הצינור, המחושב כמרחק הממוצע בין הדפנות החיצוניות והפנימיות.
- $P_b$ : הלחץ החיצוני הפועל על הצינור.
- $N$ : החוזק הנדרש כדי לעמוד בלחץ החיצוני.
- $\sigma$ : המאמץ בדופן הצינור שנובע מלחץ חיצוני.



דרגת קשיחות הטבעת (SN)						קוטר חציון ממוצע		קוטר חיצון נומינלי (DN)
4	8	16	32	64	128			
הסדרה (S)								
12.5	10	8	6.3	5	4			
מנת הממדים (SDR)								
26	21	17	13.6	11	9			
עובי הדופן הנומינלי (e)						מקס'	מינ'	
-	-	-	1.5	1.9	2.3	20.3	20	20
-	-	-	1.9	2.3	2.8	25.3	25	25
-	-	1.9	2.4	2.9	3.6	32.3	32	32
-	-	2.4	3	3.7	4.5	40.4	40	40
-	2.4	3	3.7	4.6	5.6	50.5	50	50
2.4	3	3.8	4.7	5.8	7.1	63.6	63	63
2.9	3.6	4.5	5.5	6.8	8.4	75.7	75	75
3.5	4.3	5.4	6.6	8.2	10.1	90.9	90	90
4.2	5.3	6.6	8.1	10	12.3	111	110	110
4.8	6	7.4	9.2	11.4	14	126	125	125
5.4	6.7	8.3	10.3	12.7	15.7	141.3	140	140
6.2	7.7	9.5	11.8	14.6	17.9	161.5	160	160
6.9	8.6	10.7	13.3	16.4	20.1	181.7	180	180
7.7	9.6	11.9	14.7	18.2	22.4	201.8	200	200
8.6	10.8	13.4	16.6	20.5	25.1	227.1	225	225
9.6	11.9	14.8	18.4	22.7	27.9	252.3	250	250
<b>יחס קוטר הליפוף המינימלי</b>								
38	30	24	20	20	20	-	-	-

## חתך רוחב להנחת צינור HDPE בתעלה



### הגדרות מונחים:

- **H** עומק התעלה (בס"מ) – עומק כללי של החפירה מהקרקעית ועד לפני הקרקע.
- **Hüst** המרחק בין רצפת התעלה לנקודה העליונה של הצינור (בס"מ).
- **b** רוחב התעלה (בס"מ).
- **A** גובה שכבת הכרית (בס"מ) – שכבת הבסיס שתומכת בצינור.
- **D** קוטר חיצוני של הצינור (במ"מ).
- **2A** זווית נשיאה (במעלות) – זווית ההשפעה או הנשיאה של שכבת הכרית סביב הצינור.

### קביעת מידות התעלה לפי קוטר הצינור:

- כאשר  $D = 600$  מ"מ:
- $20 = y$  ס"מ
- $20 \times 2 + D = b$  ס"מ
- כאשר  $D = 600$  עד  $1000$  מ"מ:
- $20 = y$  ס"מ
- $25 \times 2 + D = b$  ס"מ
- כאשר  $D < 1000$  מ"מ:
- $30 = y$  ס"מ
- $30 \times 2 + D = b$  ס"מ

**הערה:** הגבול העליון (מקסימום עובי שכבת המילוי העליונה) צריך להיות 50 ס"מ

## רוחב התעלה

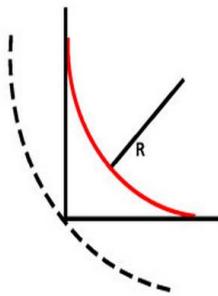
בעת חישוב רוחב התעלה, יש לקחת בחשבון את תכונות הקרקע כדי להבטיח תמיכה ויציבות בעומק ובממדים המתאימים. רוחב התעלה לצינורות PE100 צריך להתאים למאפייני הקרקע ולדרישות הפרויקט, ולספק מרווחים מתאימים מסביב לצינור לצורך מילוי ותמיכה נכונה.

D < 200	ל	600 מ"מ
200 < D < 600	ל	400+D מ"מ
600 < D < 1000	ל	500+D צריך להיות.

## חישוב כיפוף צינורות פוליאתילן

צינורות פוליאתילן יכולים להגיע לרדיוס כיפוף של עד 360 מעלות, מה שמאפשר גמישות רבה בעיצוב והתקנה. ניתן לעטוף צינורות פוליאתילן בקטרים שונים, בין 20 מ"מ ל-125 מ"מ, בהתאם לצרכי הפרויקט. גמישות זו מאפשרת גם התאמות מיוחדות בתהליך הייצור.

לפרטים נוספים ולמסמכים טכניים על צינורות HDPE, ניתן לבקר באתר האינטרנט שלנו: [www.aahplast.com](http://www.aahplast.com)



## שיטות בדיקת אבטחת איכות

צינורות PE 100 מיוצרים ונבדקים בהתאם לתקנים קיימים, כדי להבטיח את איכותם ואת עמידותם לאורך זמן. להלן שיטות הבדיקה העיקריות:

### 1. יציבות תרמית (קביעת זמן אינדוקציה לחמצון)

- בדיקה זו מבוצעת כדי לקבוע את יציבותו התרמית של הצינור, על ידי בחינת עמידותו בפני חמצון בטמפרטורה גבוהה. נוגדי חמצון מוספים לצינור כדי למנוע חמצון מוקדם של חומר ה-PE ולהבטיח אורך חיים גבוה.
- בתהליך הבדיקה, הצינור מחומם ל-200°C צלזיוס והדוגמה מוכנסת לכמוסה לבדיקת היציבות התרמית. אין להבחין בעיוות במשך 20 דקות לפחות מתחילת הבדיקה, דבר המעיד על יציבות חומר טובה.

### 2. ניתוח נפח פחמן שחור (ISO 6964)

- כמות הפחמן השחור בצינור PE 100 נמדדת כדי לוודא שהצינור עמיד בפני קרינת UV. פיזור הומוגני של הפחמן השחור נדרש במוצר, שכן חוסר אחידות עלול לגרום להתדרדרות מהירה של חלקי הצינור הנחשפים לתנאים סביבתיים.
- הבדיקה מתבצעת על ידי חימום הדגימה בתנור בטמפרטורה גבוהה בנוכחות גז חנקן. החלק הנותר לאחר השריפה מכיל את הפחמן השחור, ומשקלו מחושב להערכת כמות הפחמן בצינור.

### 3. בדיקת צפיפות (ISO 1183)

- בדיקה זו נועדה לחשב את משקל נפח היחידה של הצינור, PE 100 כדי להבטיח עמידה בדרישות התקן. הדגימה נשקלת באוויר ובנוזל בעל צפיפות ידועה, וניתוח מהירות השקיעה מתבצע לפי התקן.



	צפיפות גבוהה PE	בינוני צפיפות PE	צפיפות נמוכה PE
<b>intensity</b>	0,945-0,965 גרם / סמ	0,926-0,940 גרם / סמ	0,910-0,925 גרם / סמ
לחץ ייצור	700 אטמוספירה	1000-1500 אטמוספירה	1000-2000 אטמוספירה
טמפרטורת ייצור	<100 °C	100-150 °C	150-200 °C
כמות מולקולות השרשרת המסועפות	4-5 חתיכות / 1000	35-50 פיסות / 1000	80 פיסות / 1000
יחס מבנה קריסטל	90% יחס מבנה קריסטל	70% יחס מבנה קריסטל	60%
שיעור שקיפות	90-95%	85-90%	50-85%
נקודת המסה	135 °C	120 °C	95-105 °C
<b>MFI</b> (5 קג/190 °C)	0,22-0,60 dak 10/ג	0,85 dak 10/ג	<0,85 dak 10/ג
מתח בהפסקה ב 23 מעלות צלזיוס	>21 MPa	>15 MPa	>23 MPa
מודולוס של גמישות ב 23 מעלות צלזיוס	>600	>700	>1000

### בדיקת MFR (Melt Flow Rate) - ISO 1133

בדיקת קצב זרימת ההיתוך (MFR) נועדה לבחון את התנהגות החומר בטמפרטורה לפני עיבודו ליישומים שונים. הבדיקה מודדת את ערכי ה-MFI (Melt Flow Index)-ביחידות גרם / 10 דקות.

שלבי ביצוע הבדיקה:

- מכוונים את מכשיר החימום לטמפרטורה של 190 מעלות צלזיוס.
- מוסיפים את הדגימה לגליל העליון במכשיר.

- מבצעים חיתוך אוטומטי של החומר הזורם לאורך ממוצע של 15 מ"מ.
- מתעלמים מהחיתוך הראשון, ומחשבים את ערך ה-MFI-הממוצע מבין חמשת החיתוכים הבאים.

משוואת חישוב קצב זרימת ההיתוך:

$$\frac{M \cdot 600}{t} = MFR(T)$$

כאשר:

- $T$  = טמפרטורת הבדיקה (C°)
- $M$  = מסה ממוצעת של החיתוכים (גרם)
- $t$  = מרווחי זמן בין החיתוכים (שניות)

### בדיקת חוזק מתיחה (ISO 527)

בדיקת חוזק המתיחה נועדה לקבוע את העמידות וההתארכות של צינורות תרמופלסטיים בעת מאמץ מקסימלי.

שלבי ביצוע הבדיקה:

- מכינים דגימה מהרצועות שנחתכו במקביל לציר הצינור, ומחממים אותה ל-23 מעלות צלזיוס.
- מהדקים את הדגימה בין הלסת העליונה והתחתונה של מכונת הבדיקה.
- מודדים את עובי הדגימה ומחשבים את שטח החתך.
- מהירות המתיחה נקבעת לפי עובי הדגימה:
  - עבור  $e \geq 5$  מ"מ: 100 מ"מ לדקה
  - עבור  $5 < e \leq 12$  מ"מ: 50 מ"מ לדקה
  - עבור  $e < 12$  מ"מ: 25 מ"מ לדקה
- ההתארכות צריכה להיות לפחות 350% מהאורך המקורי.

**חוזק דחיסה לצינורות PE 100 בתנאי טמפרטורה וזמן עבור ערכי PN שונים (SDR)**

טמפרטורה (°C)	זמן (שנים)	PN4 (SDR 41)	PN10 (SDR 17)	PN16 (SDR 11)	PN20 (SDR 9)
25.2	20.2	12.6	5	5	10
24.8	19.8	12.4	4.9	10	10
24.2	19.3	12.1	4.8	25	10
23.8	19	11.9	4.7	50	10
21.2	16.9	10.6	4.2	5	20
20.8	16.6	10.4	4.1	10	20
20.3	16.2	10.1	4	25	20
20	16	10	4	50	20
18.8	14.4	9	3.6	5	30
17.7	14.1	8.8	3.5	10	30
17.2	13.8	8.6	3.4	25	30
16.9	13.5	8.4	3.3	50	30
15.4	12.3	7.7	3	5	40
15.2	12.1	7.6	3	10	40
14.8	11.8	7.4	2.9	25	40
14.5	11.6	7.2	2.9	50	40
13.4	10.7	6.7	2.6	5	50

13	10.4	6.5	2.6	10	50
11.8	9.5	5.9	2.3	25	50

טכניון ת.א.ת. ©