

תקציר בנושא

איוורור תעשייתי – היבטי גיהות

מאת: רינה קנוביץ M.Sc

מהנדס יוסף שובל

ראשי פרקים עיקריים:

עקרונות כלליים

איוורור כללי

איוורור מקומי

בדיקה תקופתית של מיתקני איוורור



היבטי גיהות באיוורור תעשייתי

עקרונות כלליים של איוורור

מערכות האיוורור התעשייתי פותחו לצורך שמירה על טמפרטורה ולחות מתאימים במפעלים ובמקומות העבודה ולשיפור תנאי העבודה והנחות של העובדים. עם השנים גברה המודעות לנושא איכות האוויר בתוך המבנים, ובעקבותיה - התפתח תחום האיוורור התעשייתי ולמערכות האיוורור נוספו תפקודים נוספים:

- סילוק אדים וגזים נפצים, ושמירה על ריכוז גזים נמוך מסף הנפיצות;
- הרחקת מזהמים הנפלטים לאולם העבודה ושמירה על רמות נמוכות של מזהמים, אשר אין חשש שתיפגענה בבריאות העובד.

קיימות 2 שיטות עיקריות של איוורור תעשייתי:

- איוורור כללי-מיהול.
- איוורור מקומי.

זרימת האוויר

זרימת אוויר בין שתי נקודות מתרחשת כאשר נוצר הפרש לחצים ביניהן. כאשר מתהווה הפרש לחץ נוצר כוח המניע את זרימת האוויר מאזור הלחץ הגבוה לאזור הלחץ הנמוך.

את ספיקת האוויר הזורם (Q) ומהירות הזרימה (V) דרך שטח (A) ניתן לבטא בנוסחה: $Q=A \cdot V$

$$Q = \text{ספיקת אוויר במטר מעוקב לשנייה} \frac{m^3}{sec}$$

$$V = \text{מהירות במטרים לשנייה} \frac{m}{sec}$$

$$A = \text{שטח במטרים מרובעים}$$

לחץ אוויר סטטי - הלחץ השורר באוויר הסגור בחלל, ללא זרימה;

לחץ דינמי - לחץ האוויר הנוצר כתוצאה מזרימת האוויר;

לחץ כללי - הלחץ הכללי ברגע מסוים, שווה ללחץ הסטטי + הלחץ הדינמי.

איוורור כללי

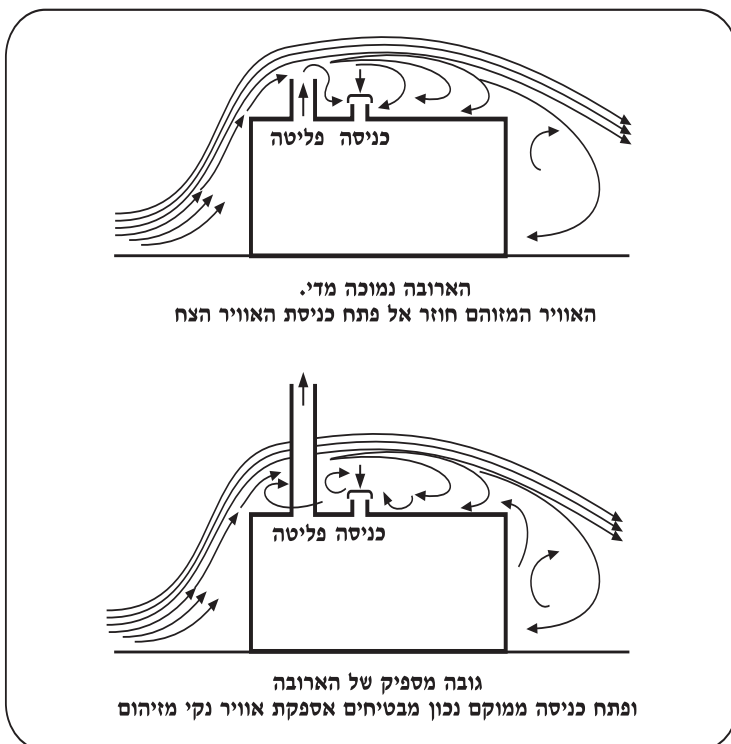
האיוורור הכללי מבוסס על עיקרון המיהול - סילוק של אוויר מזוהם וכניסת אוויר נקי, בכמות המאפשרת להוריד את ריכוזי המזהמים לרמות נמוכות, שאין בהן סיכון.

מערכת איוורור כללי בנויה מ-2 מערכות הפועלות במקביל:

- **מערכת לסילוק אוויר מזוהם** - מערכת של מפוחי יניקה מסוגים שונים;
- **מערכת להחדרת אוויר נקי** ("אוויר משלים") - מקור האוויר המשלים יכול להיות אוויר חיצוני החודר דרך פתחים (חלונות, דלתות, פתחי איוורור ייעודיים וכו'), בעקבות היווצרות ו/או יצירת אזורי לחץ נמוך בחללי העבודה. מומלץ שהכנסת האוויר המשלים למבנה תהיה מכנית, כך שיהיה ניתן לשלוט באוויר ולתכנן את כיווני הזרימה שלו ואת הכמויות הנכנסות. בנוסף, ניתן גם לחמם את האוויר או לקררו - בהתאם לעונות השנה.

בעת תכנון מערכת לאיוורור כללי יש להקפיד על קיום מספר דרישות:

- המפוח היונק ימוקם קרוב, ככל שניתן, למקור זיהום האוויר;
- העובדים לא יימצאו בין מקור הזיהום למפוח היונק;
- האוויר המשלים יעבור דרך האזור המזוהם;
- יש למנוע היווצרות אזורים "מתים" בחלל המאוויר (אזורים שבהם אין החלפת אוויר);
- המיתקן אשר מספק אוויר משלים ימוקם במרחק מתאים מהמפוח היונק, כך שלא ייווצר מצב שבו יישאב החוצה אוויר נקי, לפני המיהול;
- פתחי היציאה של המפוח היונק ופתחי הכניסה של האוויר המשלים יהיו רחוקים מספיק זה מזה, וימוקמו כך שתימנע כניסה מחדש של אוויר מזוהם שסולק (ראו איור מס' 1).
- כמות האוויר המשלים תהיה שווה לכמות האוויר שנשאב החוצה. לעתים מגדילים את כמות האוויר הנכנס ב-10% (פעולה המותרת רק כאשר אולם העבודה מרוחק מאולמות אחרים, אחרת עודף הלחץ עלול להסיע מזהמים לאולמות הסמוכים).



איור מס. 1: מיקום פתחי כניסה לאוויר משלים, וגובה הארובה

חישוב ספיקת האוויר

חישוב ספיקת האוויר לצורכי איורור נעשה עפ"י הנוסחה: $Q = N \cdot K (D/C)$

Q = ספיקת האוויר הכללי (מ"ק לשנייה);

N = מספר תחנות העבודה;

D = כמות המזהם של כל חומר, הנפלטת ביחידת זמן, בהנחה שהפליטה קבועה (ק"ג/שנייה);

קיים קושי בחישוב קצב ייצור המזהמים (חישוב הערך D), ובדרך כלל ניתן רק להעריכו.

C = ריכוז מותר לכל מרכיב (ק"ג למ"ק).

K = מקדם בטחון, בערכים שבין 2 ל-10, אשר צריך להביא בחשבון את רעילותם של המזהמים, מיקומם של העובדים

ביחס למקורות הזיהום ואיכות פיזור האוויר בחללי העבודה. כאשר הערכים גבוהים (בסביבות ה-10) - עלות

איורור האולמות בשיטת מיהול תהיה יקרה ויש לחשוב על דרכים חלופיות.

חישוב מספר החלפות האוויר

החלפת אוויר לשעה היא מדד של איורור כללי, המחושב על פי מספר הפעמים שבהן מוחלף כל האוויר הכלוא בחלל,

בפרק זמן של שעה אחת, לפי הנוסחה: $N = \frac{Q \cdot 3,600}{V}$

N = מספר החלפות אוויר בשעה;

Q = ספיקה (מ"ק לשנייה);

V = נפח החלל (מ"ק).

מומלץ שלא להשתמש בנוסחה הזאת לחישובי הספיקה, מכיוון שהנוסחה מתייחסת רק לממדי האולם ואיננה מתחשבת

במידת רעילותו של החומר ובקצב פליטתו לאוויר.

להלן דוגמאות לערכים מומלצים, המשתנים לפי מקום העבודה וסוגה:

מקום	החלפה איטית (פעמים בשעה)	החלפה מהירה (פעמים בשעה)
משרדים, אולמות הרצאה	6	20
חדר דוודים	15	60
יציקות מתכת	20	60
מאפיות	12	60
אחסון כימיקלים	6	15

הנתונים האלה הם בחזקת המלצה כללית. חייבים להתחשב במידת רעילותם של המזהמים, כדי להתאים את הבקרה על

האוויר במקום העבודה ולמנוע עלייה בריכוז מזהמים מעל לערכים המותרים.

מהירות זרימת האוויר

מהירויות זרימת האוויר אשר מעניקות תחושת נוחות לעובד נקבעו בניסויים שונים. באותם ניסויים נקבע שהמהירות הגבוהה ביותר של זרימת אוויר בחללי עבודה לא תעבור את הגבול העליון שהוא:

15 מטר לדקה = 0.25 מטר לשנייה

כשהגבול התחתון הוא:

9 מטר לדקה = 0.15 מטר לשנייה

מהניסויים התברר ש:

- כאשר מהירות זרימת האוויר נמוכה מהגבול התחתון (0.15 מ' / שנייה) העובדים חשים אי-נוחות ומתלוננים על יובש והרגשת מחנק. לעומת זאת - כאשר מהירות זרימת האוויר גבוהה מהגבול העליון (0.25 מטר / שנייה), העובדים מתלוננים על "רוח פרצים", אי-נוחות, הצטננויות ועוד.
- ככל שטמפרטורת האוויר גבוהה יותר - רצוי להגביר את מהירות זרימת האוויר (בגבולות ההמלצות שפורטו).
- השפעת עליית מהירות הזרימה על תחושת הנוחות של העובד איננה ליניארית.

הטבלה הבאה כוללת ערכים של מהירויות זרימת אוויר, והשפעת המהירויות השונות של זרימת אוויר על תחושת הנוחות של העובדים:

מהירות זרימת האוויר	סוג ההשפעה
0.15 מ' / שנייה	נוחות לרוב העובדים.
0.25 מ' / שנייה	גבול תחום הנוחות.
0.325 מ' / שנייה	אי-נוחות. זרימת אוויר במהירות כזאת גורמת להעפת ניירות מהשולחנות.
1.5-0.375 מ' / שנייה	מהירויות מותרות רק לזמן קצר ובתנאים מיוחדים. לדוגמה: לצורך סילוק מזהמים, באמצעות אוויר חיצוני.
מעל 1.5 מ' / שנייה	מותרת רק בתנאי חום גבוה, ולמשך זמן קצר בלבד.

לסיכום

יתרונותיו של האיוורור הכללי: מיתקני איוורור כללי ממוקמים רחוק מעמדות העבודה, ואינם מפריעים לתהליכי הייצור. **חסרונות ומיגבלות:** יש צורך בספיקה של כמויות אוויר גדולות; קיים קושי בחיזוי ובשליטה על זרימת האוויר; קשיים בהערכה נכונה של קצב ייצור המזהמים; קיים קושי להבטיח הגנה נאותה לעובדים השוהים בקרבת מקור הזיהום ועוד.

עקב הקשיים הללו, יש להגביל את השימוש במערכות לאיוורור כללי רק למקרים הבאים:

- כאשר רמת הרעילות של המזהמים נמוכה;
- רמת המזהמים הנפלטת לאוויר החיצוני נמוכה;
- מקורות הזיהום מפוזרים על פני אולם העבודה והפליטות קטנות;
- מקור פליטת המזהמים איננו קרוב לאזור הנשימה של העובד;
- איוורור מקומי איננו אפשרי;
- כהשלמה לאיוורור המקומי.

בתנאים הבאים (הנפוצים בתעשייה) יש להתקין איוורור מקומי:

- כאשר רמת הרעילות של המזהמים גבוהה;
- העובד נמצא קרוב למקור הזיהום;
- פליטת המזהם מרוכזת לאזור מסוים, ובריכוזים גבוהים.

איוורור מקומי

באיוורור מקומי נלכדים המזהמים עד כמה שאפשר קרוב למקום היווצרותם, לפני שהם מתפזרים באולם כולו, ולפני שיש ביכולתם להגיע לדרכי הנשימה של העובדים.

האיוורור המקומי מבוסס על מספר עקרונות פשוטים:

- סגירה של אזור היווצרות הזיהום, ככל שניתן.
- מיקום מיתקן היניקה קרוב ככל האפשר למקור הזיהום;
- מיקום מיתקן היניקה כך, שהעובד לא יימצא במסלול תנועת האוויר;
- ניצול תכונות התנועה הטבעית של המזהם;
- יצירת מהירות זרימה נאותה ללכידת המזהמים;
- איוון בין נפחי האוויר הנשאב ביניקה, לבין האוויר הנכנס דרך פתחים מתאימים;
- מיקום פתח כניסת האוויר הצח הרחק מאזור פליטת המזהמים.

מיתקני היניקה המקומית מגבילים את אזור פיזור המזהמים, ומאפשרים לסלק את המזהמים בשאיבת כמות קטנה בלבד של אוויר מתוך האולם.

מערכת יניקה מקומית מורכבת מ-5 חלקים (אזור מס' 2):

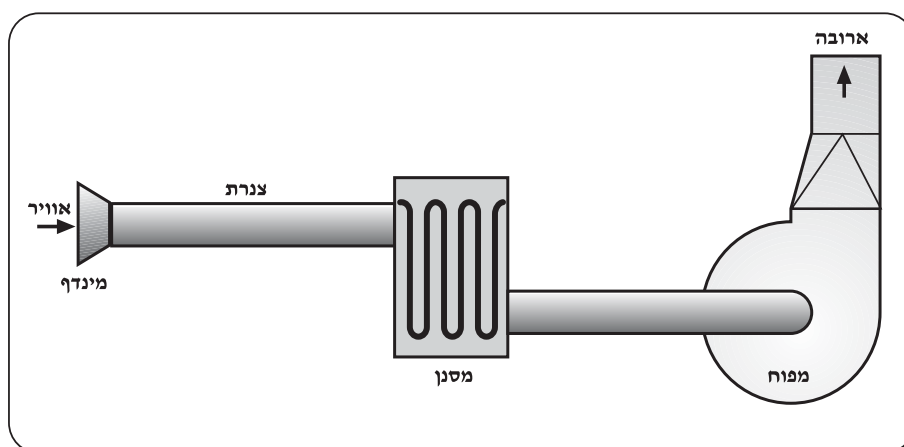
המינדף או אמצעי אחר לקליטת המזהמים;

צנרת - מערכת צינורות להובלת המזהם אל נקודת הפליטה;

מסנן - לקליטת המזהם כדי למנוע שחרור שלו לאוויר החיצוני;

מפוח - ליצירת תת-לחץ במערכת, הגורם לתנועת האוויר;

ארובה - אמצעי לפליטת האוויר מתוך המבנה החוצה.



אזור מס' 2: מערכת יניקה מקומית

מינדפים

המינדף הוא מבנה המקיף, באופן חלקי או מלא, את האזור שבו נפלט המזהם ודרכו הוא נישא לצינור שבמערכת. ככל שהמינדף סגור יותר - הוא יעיל יותר וחסכוני. למרות זאת, מינדף סגור איננו מתאים לשימוש ברוב התהליכים התעשייתיים. מינדף שאיננו סגור יוצר צורך ביניקת כמויות גדולות של אוויר, מה שגורם להפרעה בתהליכי העבודה עקב זרמי אוויר הנוצרים בסביבה.

ניתן לסווג את המינדפים ב-3 קבוצות (איור מס' 3):



איור מס' 3: סוגי מינדפים

מינדפי קליטה (Receiving hood)

נקראים גם "מינדפים פסיביים". הם מתאימים לתהליכים שבהם למזהמים הנפלטים יש מהירות תנועת עצמית. התנועה הטבעית מנוצלת להובלת המזהם לתוך מיתקן הקליטה. לדוגמה: **מינדף חופה** (מינדף עילי), שהוא מינדף קליטה המתאים לתהליכים חמים, המשחררים גזים ואדים אשר עולים באופן טבעי. מינדף עילי צריך להיות מותקן קרוב ככל שניתן למקור פליטת הגזים/האדים. שטח הפנים של מינדף עילי צריך להיות גדול ב-25% משטח האוויר החם העולה מהמקור המזהם. ✓ יש להימנע מהתקנת מינדף עילי בתהליכים שבהם העובד רוכן מעל המקור המזהם (איור מס' 9).

מינדפי מעטפת (Enclosing hood)

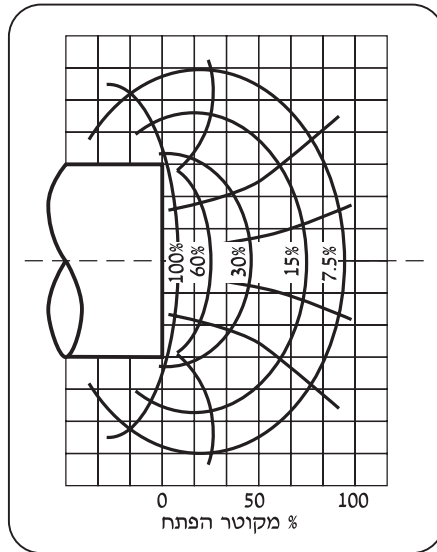
יוצרים חלל סגור, כמעט לחלוטין, המקיף את מקור הזיהום. לדוגמה: תא כפפות ומינדף מעבדתי. המעטפת מאפשרת יניקה בספיקות נמוכות, ושליטה מירבית על המזהם.

מינדפי השראה (Capture hood)

נקראים גם "מינדפים אקטיביים". לכידת המזהמים במינדפים אלה נעשית באמצעות יניקת האוויר מהאזור המזהם. את עוצמת היניקה קובעים על פי מהירות פליטת המזהם. מהירות היניקה צריכה למנוע את פיזור המזהם לסביבה ולהבטיח שהוא ינוע לעבר מערכת היניקה ויישאב לתוכה.

מהירות הלכידה (V_c - Capture Velocity) היא מהירות יניקת האוויר המזהם, אשר מצליחה להתגבר על תנועות אוויר אחרות בחלל העבודה, ולהביא את המזהם אל המינדף. מהירות הלכידה תלויה במספר לא קטן של גורמים:

- **סוג העבודה** - בתהליכי עבודה שבהם המזהמים משתחררים לאוויר במהירות נמוכה (לדוגמה: עבודות ריתוך; ציפויים) מהירות הלכידה תהיה נמוכה: 0.5-1.0 מ' לשנייה (f.p.m 100-200) כאשר המזהמים משתחררים במהירות פליטה גבוהה (בעבודות כגון ליטוש או ניקוי בהתזת חול), נדרשות מהירויות לכידה גבוהות יותר - 2.5-10.0 מ' לשנייה.
- **רעילות החומר וכמותו** - כאשר רעילות החומר נמוכה וכמות המזהם המשתחרר בתהליך קטנה - ניתן להסתפק במהירויות לכידה נמוכות.
- **זרמי אוויר באולם העבודה** - זרמי אוויר באולם (שיוצרים מאווררים שהוצבו לצורכי קירור; או משבי רוח החודרים דרך פתחים; או תנועה של אנשים או ציוד בחלל; או התקני אוורור אחרים באולם), עלולים להשפיע על מהירות הלכידה הנדרשת לקליטה יעילה של המזהם.
- **המרחק בין פתח היניקה למקור פליטת המזהם** - מהירות האוויר לצורך השאיבה תלויה במרחק שבין המקור המזהם והמינדף. ככל שמרחקים מפתח היניקה - מהירות זרימת האוויר נמוכה יותר. מהירות היניקה יורדת באופן משמעותי כבר במרחק קצר מאוד מפתח המינדף, לדוגמה: מהירות תנועת האוויר בנקודה הנמצאת במרחק השווה לקוטר פתח המינדף היא רק 7% ממהירות האוויר בכניסה למינדף (איור מס' 4).



איור מס. 4:
ירידה במהירות השאיבה ביחס למרחק
מפתח היניקה (באחוזים מקוטר הפתח)

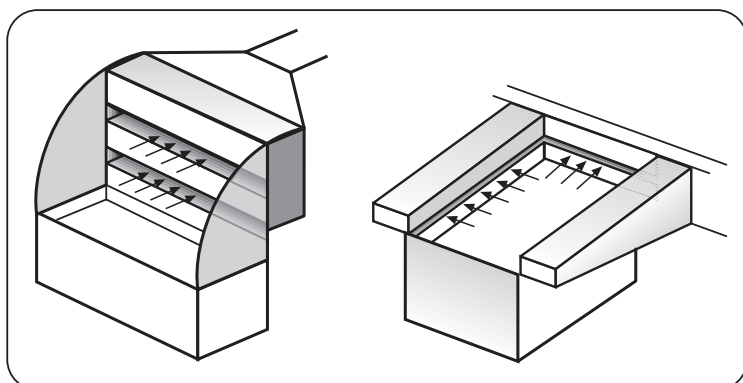
- יש לתכנן מהירויות לכידה נמוכות - כאשר החומרים אינם רעילים; קצב ייצור המזהם נמוך ופתח המינדף גדול.
 - יש לתכנן מהירויות לכידה גבוהות - כאשר קיימים זרמי אוויר בחדר; החומרים רעילים; קצב ייצור המזהם גבוה ופתח המינדף קטן.
- דוגמאות למהירויות לכידה מומלצות ע"פ סוג העבודות והתנאים הסביבתיים בטבלה הבאה:

מהירויות זרימת אוויר הנחוצות במיתקני יניקה

אופי פיזור המזהם והתנאים הסביבתיים	דוגמאות לתהליכים	סוג המהירות	תחום מהירות*	
			f.p.m	מ'/שנייה
פליטת המזהמים ללא מהירות התחלתית, באזור ללא זרמי אוויר	אמבטים לניקוי חלקים; דגריזרים	לכידה **	100-50	0.5-0.25
פליטת המזהמים בתוך מיתקן סגור	במינדפי מעבדה; תנורי ייבוש	פנים ***	125-75	0.60-0.35
פליטת המזהמים בתוך מיתקן סגור	במינדפי מעבדה; רעילות גבוהה	פנים	150-120	0.75-0.60
שחרור מזהמים באזור ללא זרמי אוויר	הלחמה	לכידה	125-75	0.60-0.35
פליטת מזהמים במהירות נמוכה, לאזור עם זרמי אוויר חלשים	בתאי צביעה; עבודות ריתוך	לכידה	200-100	1.0-0.5
פליטת מזהמים במהירות בינונית, לאזור עם זרמי אוויר במהירות בינונית	במינדפים עיליים; ציוד גריסה	לכידה	500-200	2.5-1.0
פליטת מזהמים במהירויות גבוהות, לאזור עם זרמי אוויר חזקים	השחזה; ניקוי חול	לכידה	2000-500	10.0-2.5
	במינדפי סדק	סדק	2000	10.0

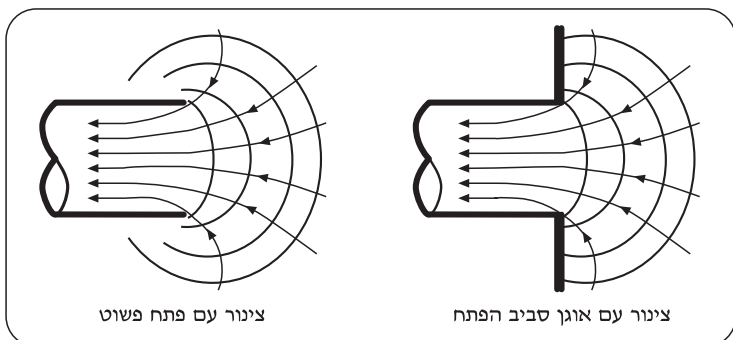
- * תחום המהירויות הנמוך מתאים לחומרים בעלי רעילות נמוכה, קצב ייצור נמוך ומינדפים גדולים.
- תחום המהירויות הגבוה מתאים לחומרים בעלי דרגת רעילות גבוהה, קצב ייצור גבוה, זרמי אוויר חזקים ומינדפים קטנים.
- ** מהירות לכידה - המהירות נמדדת במקום פליטת המזהמים.
- *** מהירות פנים - המהירות נמדדת בפתח המינדף.

מהירות הלכידה של מזהם קשורה גם בצורתו של פתח היניקה במינדף. הפתח יכול להיות עגול, מלבני או חריץ ארוך וצר (היחס בין האורך לרוחב גדול מ-5 (איור מס' 5).



איור מס' 5: מינדפי סדק

■ **מינדפי סדק** - בעלי חריץ ארוך וצר - מתוכננים, בד"כ, כדי להשיג מהירות לכידה אחידה על פני שטח גדול. המינדפים הללו בנויים מחריץ צר ומאחוריו תא יניקה (Plenum). מהירות זרימת האוויר יורדת בתא היניקה, ומהירות האוויר בסדק צריכה להיות גדולה פי 2, לפחות, מהמהירות בתא היניקה.



איור מס' 6: קווי זרימה

כדי ליצור זרימת אוויר יעילה יותר שתהיה ממוקדת באזור המזוהם נוהגים, לעתים, להוסיף אוגנים ("צווארון") סביב פתחי היניקה של המינדפים (איור מס' 6). האוגנים מאפשרים להפחית את הספיקה ב-25%. כדי להפיק יעילות מירבית-רוחב האוגן צריך להיות זהה לקוטר המינדף.

קיימים פתחי יניקה בעלי צורות שונות והספיקה של כל אחד מהם תלויה בשטח הפנים של הפתח ובמרחקו ממקור הזיהום.

בטבלה הבאה מובאות מספר דוגמאות לחישובי הספיקה בפתחי יניקה שונים:

סוג המינדף	תיאור	נפחי אוויר
	חריץ	$Q = 3.7 LVX$
	חריץ עם אוגן	$Q = 2.6 LVX$
	פתח פשוט	$Q = V(10X^2 + A)$
	פתח עם אוגן	$Q = 0.75V(10X^2 + A)$

A = שטח החתך בכניסה של חזית המינדף

L = אורך החריץ

V = מהירות לכידה

X = מרחק ממקור הזיהום

תעלות

המזהם שנלכד במינדף מועבר למערכת תעלות (צינורות) המובילה אל המסנן, המפוח וממנו אל הארובה. הגורם החשוב בתכנון התעלות הוא **"מהירות ההעברה"**, כלומר: מהירות האוויר הדרושה להעברת החומר המזהם דרך התעלות, ללא שקיעה של מזהמים על הדפנות. בתכנון של מערכת יניקה קובעים תחילה את מהירות הלכידה הדרושה לקליטת המזהם ואת הספיקה המתאימה. מידות התעלות נקבעות על פי הנתונים האלה ובהתאם למהירות ההעברה הדרושה. מהירות ההעברה תלויה בגודל המזהמים, צורתם, צפיפותם והכוחות האלקטרוסטטיים הפועלים ביניהם. קיימות טבלאות הממליצות על ערכי מהירות ההעברה, בהתאם לסוג המזהם. לדוגמה: עבור אבק דק מומלצת מהירות של 10 מטרים לשנייה; לאבק רגיל - 17 מ'/שנייה; ולגבי אבק כבד וגס - 20 מ'/שנייה.

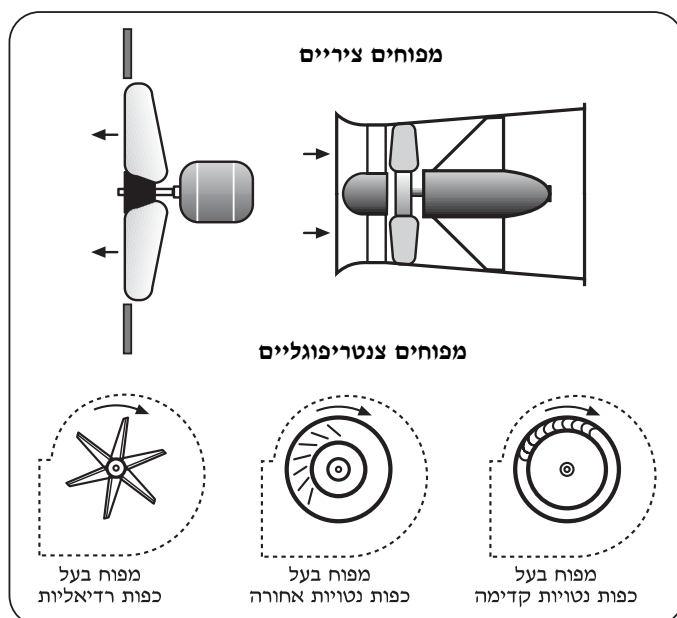
מהירות העברה נמוכה מדי - עלולה לגרום לשקיעת חלקיקים על הדפנות ובעקבותיה לסתימת הצנרת;
מהירות העברה גבוהה מדי - תוביל לשחיקת הצינורות, איבוד של אנרגיה רבה (כתוצאה מהחיכוך) וצריכת אנרגיה גבוהה של המפוחים.

מהירות זרימת האוויר בתעלות איננה זהה לרוחב כל חתך הצינור: המהירות לאורך הדפנות היא אפס (0). ככל שמתקרבים למרכז הצינור - המהירות גדלה. במרכז הצינור המהירות היא מירבית. לכן, כאשר מדובר במהירות ההעברה בתוך תעלה-הכוונה למהירות הממוצעת.

אוויר הנע בצינור עובר, בד"כ, טורבולנציה (עירבול) ומאבד אנרגיה. האנרגיה הקינטית הופכת לאנרגיה של חום, רעש ורטט. אבדן האנרגיה כתוצאה מחיכוך תלויה באורך הצנרת, פניות, הסתעפויות ושינויים בחתך הצינור (הצרה או התרחבות). איבוד האנרגיה מושפע גם מפני השטח של הדפנות הפנימיות (מחוספסים או חלקים), צורתו הגיאומטרית של חתך התעלה (היעילים ביותר הם החתכים העגולים), מהירות זרימת האוויר וצפיפותו.

מפוחים

המפוחים במערכת לאיוורור מקומי מיועדים ליצור בתוך המערכת לחץ נמוך יותר מהלחץ האטמוספרי, כדי שהאוויר ינוע לכיוון המינדף. הלחץ הסטטי (לחץ האוויר בחלל הסגור) השלילי שיוצר המפוח מתורגם ללחץ דינמי ולאיבוד אנרגיה. קיימים 2 סוגים של מפוחים: מפוחים ציריים ומפוחים צנטריפוגליים.



איור מס' 7: סוגי מפוחים

■ **במפוח צירי** - האוויר נע במקביל לציר הסיבוב של כנף המפוח. המפוחים הציריים מיועדים להתגבר על מפלי לחץ נמוכים, ולהתקנה במערכות ללא תעלות או במערכת תעלות קצרה ולא מסועפת.

- **במפוח צנטריפוגלי** - האוויר חודר פנימה במקביל לציר כנף המפוח ויוצא מהמפוח בכיוון משיק לכיוון הסיבוב. מפוחים צנטריפוגליים יכולים ליצור מפלי לחץ גבוהים.

קיימים 4 סוגים של מפוחים צנטריפוגליים:

- מפוחים בעלי כפות נטויות לאחור - מיועדים לבניית מפלי לחץ גבוהים. הם יעילים מאוד ועלותם נמוכה.
- מפוחים בעלי כפות נטויות קדימה - מפוחים קטנים, מיועדים לבניית לחצים נמוכים.
- מפוחים בעלי כפות רדיאליות - מיועדים לשימוש עבור חלקיקים כבדים, בעלי נצילות נמוכה.
- מפוחים בעלי כפות אווירודינמיות - מיועדים לבניית מפלי לחץ גבוהים, בעלי נצילות טובה*.

בבחירת מפוח מתאים יש להתחשב בגורמים הבאים: נפח האוויר שאותו נדרש ללכוד; הלחץ הסטטי של המפוח; יעילות המפוח; סוג המזהם - גודל החלקיקים ומשקלם, האם המזהם נפיץ או דליק; תנאי הסביבה שבהם יפעל המפוח (לדוגמה: קורוזיביים). בנוסף לנושאים האלה יש להקדיש מחשבה לבעיית הרעש אשר עלולה להיווצר בפעולת המנוע.

הבטחת יעילותה של מערכת יניקה מקומית

כדי להבטיח את יעילות פעולתה של מערכת יניקה מקומית, יש להקפיד - בעת התכנון או בבדיקת המערכת - על הכללים הבאים:

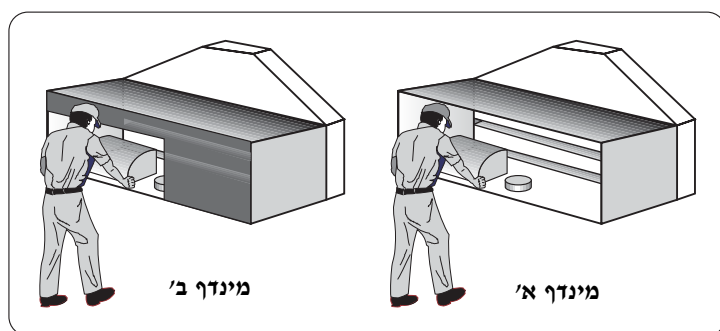
✓ יש לסגור, ככל שניתן, את אזור היווצרות הזיהום, תוך התחשבות בנחיות העבודה ובמיגבלות שיוצר התהליך. סגירת אזור הזיהום מאפשרת לכידה של המזהם לפני שהוא מתפזר לסביבה ומאפשר ספיקת כמויות קטנות יותר של אוויר; איור מס' 8 מתאר דרך להגברת יעילות יניקת האוויר במינדף מעטפת ע"י הקטנת פתח המינדף, כך שנוצר שטח פנים קטן יותר (מינדף ב'). שטח פנים קטן יותר מאפשר מהירות זרימה גדולה יותר באותה ספיקה, עפ"י הנוסחה: $V_1 A_1 = V_2 A_2$. לכן, מומלץ לסגור את המינדף ככל שניתן.

הספיקה מחושבת ע"י הנוסחה הבאה: $Q = A \cdot V$

Q = ספיקה (מ"ק/לשנייה)

A = שטח הפתח (מ"ר)

V = מהירות הזרימה המומלצת דרך פתח המינדף (מ'/לשנייה).

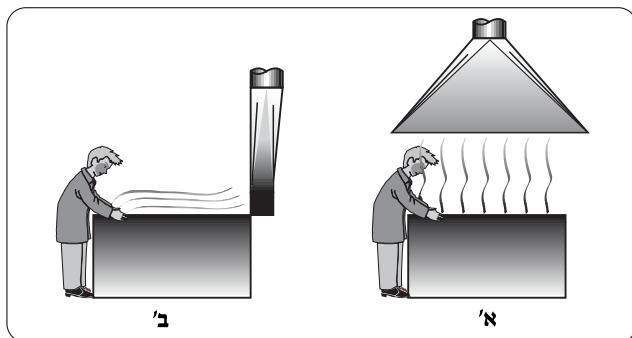


איור מס' 8:

הגדלת מהירות היניקה במינדפי מעטפת, ע"י הקטנת שטח הפנים של המינדף

- ✓ מערכת היניקה צריכה להיות ממוקמת קרוב ככל האפשר למקור פליטת המזהם. ככל שהיא קרובה יותר למקור הזיהום - ספיקת האוויר קטנה יותר (מהירות היניקה פוחתת בצורה משמעותית ככל שהמרחק גדל);
- ✓ מיתקן היניקה ימוקם כך שהעובד לא יימצא במסלול זרימת האוויר המזוהם. כאשר לא ניתן למקם את המערכת כך שהמזהמים לא יעברו דרך אזור הנשימה של העובד בדרכם אל המינדף - יש להתקין יניקה אחורית (איור מס' 9ב');

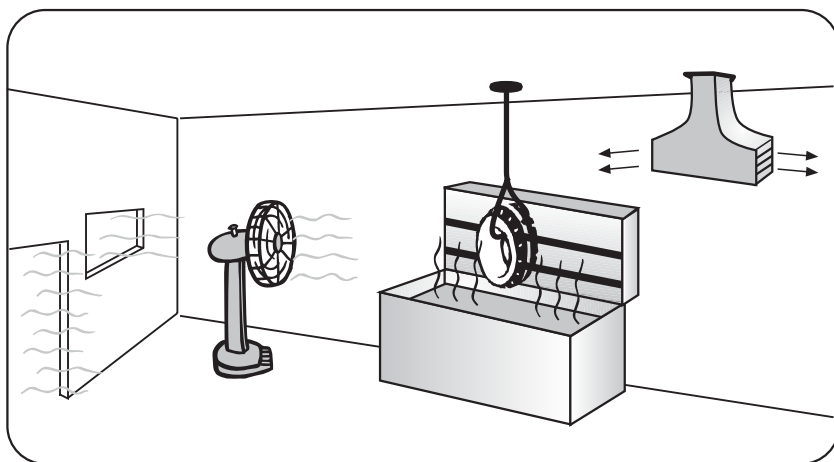
* נצילות - היחס בין ההספק התיאורטי המושקע בהזרמת האוויר, לבין ההספק בפועל של הזרימה המתקבלת.



איור מס' 9:

מיקום מערכת היניקה ביחס למקומו של העובד

- ✓ ניצול תנועה טבעית של המזהם. בהתקנת מינדפים עיליים, מעל לתהליכים "חמים" מנצלים את תכונות התנועה הטבעית של אוויר חם, הנוטה לעלות כלפי מעלה;
- ✓ יצירת מהירות זרימה אחידה באזור קליטת המזהם. מינדפי סדק, בעלי חריצים צרים, מאפשרים זרימה אחידה של אוויר. כאשר פתח המינדף רחב, זרימת האוויר מתרכזת בעיקר במרכזו.
- ✓ הכנסת אוויר משלים. מומלץ להשתמש באיוורור מאולץ להכנסת האוויר המשלים - כך ניתן לתכנן את כיוון זרימת האוויר; כמותו והטמפרטורות (ניתן לחמם/לקרר) בהתאם לעונה. בתכנון האוויר המשלים חשוב להרחיק, ככל שניתן, את פתח כניסת האוויר מאזור פליטת המזהמים.
- ✓ מניעת משבי רוח מקומיים. כל תנועת אוויר בחדר, שמהירותה גבוהה ממהירות הלכידה, משפיעה על יעילות המינדף (לדוגמה: יעילותו של מינדף שמהירות הלכידה שלו היא 0.5 מ"מ/שנייה (100 fpm) תושפע מכל תנועת אוויר בחדר שמהירותה גדולה יותר). הגורמים המתחרים ביניקה הם מאווררים (לקירור) המוצבים בחדר; משבי רוח הפורצים פנימה דרך חלונות ודלתות פתוחים; אנשים או ציוד אשר נעים בחדר ומערכות של אוויר משלים אשר מוצבות קרוב מדי למינדפים (איור מס' 10).



איור מס' 10:

גורמים מתחרים במהירות הלכידה

סיכום

איוורור מקומי עדיף, במרבית המקרים, על איוורור כללי. האיוורור המקומי מספק אוויר נקי יותר (המזהם מסולק מעמדת העבודה והאוויר איננו נמהל בו). מערכת יניקה מקומית יעילה יותר וחسכונית יותר מבחינה כלכלית בהשוואה למערכת איוורור כללי: מהירות תנועת האוויר הנדרשת קטנה מזו הדרושה באיוורור כללי, כך שכמות האוויר המשלים הנדרשת קטנה יותר.

בדיקה תקופתית של מיתקני האיוורור

הדרך הבטוחה ביותר לשמור על תיפעול יעיל של מערכות האיוורור, לאורך זמן ועם כמה שפחות תקלות, היא התחזוקה המונעת (תחזוקה תקופתית).

הפעולות הנדרשות לביצוע תחזוקה וביקורת תקופתיות כוללות:

- ✓ ניקוי חלקי מערכת האיוורור מאבק ולכלוך שהצטברו עליה;
- ✓ שימון וגירוז מיסבים, צירים סובבים ומנועים;
- ✓ בדיקות ראייה (ויזואליות) לגילוי פגמים, כגון: סדקים בחלקים שעליהם מופעלים מאמצים, חלקים שבורים וקורוזיה;
- ✓ פתיחת סתימות (אם נוצרו);
- ✓ בדיקת מהירות זרימת האוויר כדי לוודא שיעילות המערכת עומדת בדרישות התכנון.

היעדר בדיקות תקופתיות עלולה להביא לתקלות ולפגמים במערכות, ובעקבותיהם - חשיפת העובדים לאוויר מזוהם, הגורמת למחלות מקצוע ולירידה בייצור (הפסדים כלכליים למפעל).

לדרכי איוורור (כונה צריכה) ללא מיתקני אינקה מקומיים
באזורים שבהם נפאטים מזהמים, בנוסף לדרכי איוורור כללי.