

מדי מפלס אולטראסוניים

מהו מד מפלס אולטראסוני?

מד מפלס אולטראסוני הוא מכשיר למדידת גובה נזלים או מוצקים בתצורה לא פולשנית, ללא מגע ישיר עם החומר הנמדד. עקרון הפעולה מבוסס על שידור גלי קול בתדרים גבוהים (אולטראסוניים) לעבר פני החומר וקבלת ההחזרים (אקו). זמן ההחזרה מומר אוטומטית לערך מרחק, שממנו נגזר גובה המפלס. תאר לעצמך שיש לך קפיץ או קבוצה של כדורים קטנים שכולם נוגעים זה בזה — אלו הם המולקולות של האוויר. כשגל קול עובר — זה כמו שמישהו דוחף כדור אחד — הוא נוגע בכדור שליידו ודוחף אותו, ואז הוא דוחף את הבא אחריו, וככה נוצרת שרשרת של דחיפות — בדיוק כמו גלים במים או כמו דומינו. אז מה קורה בעצם?

- **גל קול הוא דחיפה ולחיצה:** הוא לא לוקח מולקולות ומעיף אותן קדימה, אלא רק **מהדק ומשחרר** אותן במקום שלהן, ממש מהר.

- כל מולקולה זזה קצת קדימה ואחורה — אבל לא נודדת רחוק, היא נשארת פחות או יותר באותו מקום.
- החבילה של הדחיפות נעה קדימה — וזה הגל!

גל הקול מטייל באוויר על ידי זה שהוא מסדר את המולקולות בלחיצות קטנות ומהירות אחת אחרי השנייה. זה לא מזיז את האוויר כולו קדימה — אלא יוצר סדר של תנודות זעירות.

התדר הוא כמה פעמים בשנייה אותם כדורים דוחפים אחד את השני קדימה ואחורה.

איך זה נראה:

- **תדר נמוך**

הכדורים זזים קדימה ואחורה **לאט יותר** — נגיד 20 פעמים בשנייה (20 הרץ).
הגלים ארוכים יותר והמרחק בין הדחיסות גדול יותר.

- **תדר גבוה**

הכדורים זזים קדימה ואחורה **הרבה יותר מהר** — נגיד 40,000 פעמים בשנייה (40 קילוהרץ, כמו חיישן אולטראסוני). הגלים קצרים יותר, ויש הרבה יותר דחיסות ושחרורים במרחק קצר. ככל שהתדר **גבוה יותר**, הגלים צפופים יותר והכדורים עובדים יותר קשה לדחוף ולהחזיר. תדר גבוה מאפשר לגל "לגעת" בפרטים קטנים — לכן מדידה בתדר גבוה יותר נותנת דיוק טוב יותר לטווחים קצרים. בקיצור: **התדר קובע כמה מהר הכדורים רוקדים במקום.**

איך הכדורים מחזירים את גל הקול?

תדמיון שגל הקול הוא כמו גל של דחיות בכדורים — הוא נוסע קדימה, דוחף עוד כדורים בדרך, עד שהוא מגיע לקיר או פני נוזל.

בנקודה הזאת:

- הקיר (או פני הנוזל) **לא יכולים לזוז** כמו האוויר.
- אז כשהכדורים ליד הקיר דוחפים אותו — אין להם לאן לדחוף קדימה
- לכן הם **קופצים חזרה אחורה** — הדחיה חוזרת לאחור כמו כדור קופץ מקיר!

בפועל, זה אומר שהלחץ שנוצר לא יכול להמשיך — אז חלק ממנו "קופץ" חזרה דרך אותו שדה של מולקולות אוויר וזה ההד שחיישן אולטראסוני קולט.

מדי מפלס אולטראסוניים פועלים בדרך כלל בתחום של **20 קילוהרץ ועד 70 קילוהרץ**, כאשר תדרים נמוכים יותר (20–30 קילוהרץ) מיועדים למרחקי מדידה גדולים יותר ולתנאים קשים (כמו אבק או חומרים סופגי קול), בעוד שתדרים גבוהים יותר מספקים רזולוציה גבוהה יותר למדידות מדויקות לטווח קצר.

המשדר שולח **אלומת קול צרה יחסית** בצורת חרוט. הזווית הטיפוסית של האלומה היא בין 5° ל- 12° , בהתאם לעיצוב המהדר (הכוונה היא לרכיב בתוך החיישן האולטראסוני שאחראי להמיר אנרגיה חשמלית לגלי קול ולהפך. זהו בעצם הרכיב הפיזי שמבצע את השידור והקליטה של הגלים (מעין רמקול זעיר וגם מיקרופון באותו גוף)). ולתדר העבודה. האלומה צריכה שדה ראייה נקי ממכשולים כדי למנוע החזרות שווא מקירות או מצידוד בתוך המיכל. אחת המגבלות של מדי מפלס אולטראסוניים היא **רגישות להפרעות או היעלמות האות** בסביבה עם **אבק רב או אדים צפופים**.

חלקיקי האבק פוגעים בהתפשטות גלי הקול, מפזרים אותם או בולעים חלק מהאנרגיה, מה שמקטין את עוצמת ההחזר וחושף את המערכת לשגיאות או לאובדן אות.

איך התדר משפיע על אבק?

תאר לך שיש לך את שדה הכדורים (המולקולות של האוויר), וביניהם פזורים גם גרגרי אבק קטנים. עכשיו:

- **גל קול בתדר נמוך (למשל 20 קילוהרץ)**
=> הגל דוחף את הכדורים לאט יחסית, בגלים ארוכים ורחבים.
=> הוא פחות מושפע מהגרגרים הקטנים — כי הגרגר קטן בהרבה מהמרחק בין גלי הדחיה.
=> התוצאה: הגל עוקף או עובר בין חלקיקי האבק מבלי להתפזר הרבה.
- **גל קול בתדר גבוה (למשל 70 קילוהרץ)**
=> הגלים קצרים וצפופים — המרחק בין הדחיסות קטן יותר.
=> גרגר האבק כבר די גדול יחסית לאורך הגל!

=>הגרגר מתנהג כמו קיר קטן — חלק מהגל מתפזר לצדדים, חלק נבלע בתוך הגרגר.
=>התוצאה: יותר פיזור, פחות חוזר לחיפון — ולכן החיפון מקבל החזר חלש יותר.

מד מפלס אולטראסוני תלוי במדיום (אוויר) להעברת גלי הקול.

בואקום אין גז שמעביר את הגלים ולכן המדידה **בלתי אפשרית** — גלי הקול לא יוכלו לנוע במיכל ריק.

מדי מפלס אולטראסוניים פועלים לרוב בתנאי לחץ נמוך עד בינוני (לרוב עד כמה ברים (BAR)). לחץ גבוה משנה את צפיפות

הגז ואת מהירות הקול, ודורש קיזוזים בחישוב או שימוש בחיפונים עם קומפנסציה פנימית.

לרוב בתנאי לחץ גבוה משתמשים בטכנולוגיות אחרות (כגון רדאר).

מפלס מוצקים לעומת נוזלים

- **מפלס נוזלים:** לרוב מתאים במיוחד לאולטראסוניקה, היות ופני הנוזל מהווים מחזיר קול חלק ואחיד. המדידה יציבה ובעלת דיוק גבוה.
- **מפלס מוצקים:** מדידה אפשרית אך דורשת התחשבות בכך שפני החומר אינם חלקים ויכולים להיות זוויתיים, בתנועה, או ליצור אבק. לכן קיים סיכוי לרעש מדידה או להחזרים חלשים. במקרה זה נבחר לרוב תדר נמוך עם אלומה רחבה יותר.

יתרונות

- ✓ **ללא מגע** — אין בלאי מכני ואין זיהום של המוצר.
- ✓ **התקנה פשוטה** — החיפון מותקן מעל פני החומר, לרוב בקצה המיכל.
- ✓ **תחזוקה מינימלית** — אין חלקים נעים.
- ✓ **מדידה רציפה** — מתאימה לבקרה בזמן אמת.
- ✓ **עלויות תפעול נמוכות** — יחסית לשיטות מכניות.

חסרונות

- ✗ **רגישות לאבק ואדים** — עלולה לגרום להחזרים חלשים או שגויים.
- ✗ **מוגבלות בתנאי ואקום** — בלתי אפשרית בואקום מלא.
- ✗ **מוגבלות בלחצים גבוהים** — דורש טיפול מיוחד או טכנולוגיה חלופית.
- ✗ **תלות בתנאים סביבתיים** — שינויים בטמפרטורה או בהרכב הגז יכולים להשפיע על מהירות הקול ולגרום לשגיאות.