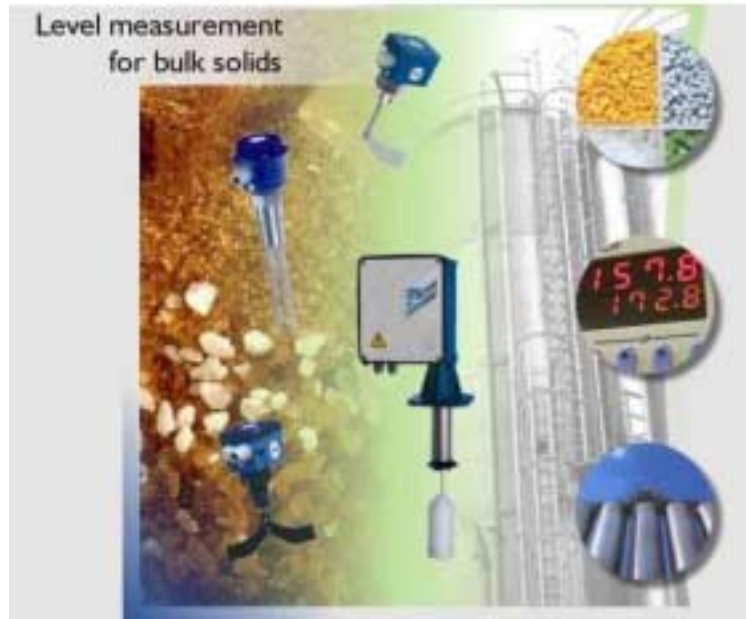


בקרת מפלס במוצקים גיא נחום - מגטרון



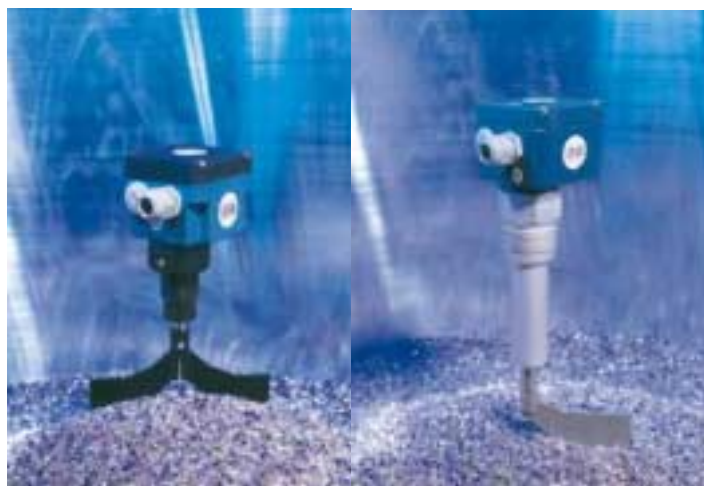
חלק נכבד בבקרת התהליך התעשייתי הנו מדידות מפלסים של נוזלים ומוצקים. קיימות שיטות שונות למדידת ובקרת מפלס, יש שיטות המתאימות לנוזלים כגון מצופים שונים ואחרות המתאימות למוצקים כגון: מפסקי מפלס **סיבוביים**, **רוטטים**, יו – יו. קיימות שיטות המתאימות גם לנוזלים וגם למוצקים כמו מערכות מדידה **אולטרסוניות**, **רדאר**, **קיבולי**. בחירת מערכת המדידה חשובה לא פחות מתכנון התהליך ותכנון מערכת הפיקוד, מערכת בקרה אשר שיטות המדידה שנבחרו לה אינם מתאימות לא תתפקד כיאות גם אם כל יתר המערכות תוכננו בקפידה.

במאמר זה נשים את הדגש על המאפיינים למוצקים ונעסוק בהרחבה על השיטות למדידת מפלס נקודתית במוצקים בלבד – מפסקי מפלס מסתובבים עם כנף, רוטטים, קיבולי, ונזכיר את השיטות למדידה רציפה במוצקים – אולטרסוני, רדאר, יו – יו. , כאשר נגדיר בתחילה מהו "מוצק".
חומר המוגדר כמוצק יכול להיות גרגירים \ אבקות \ אבנים וכדומה , כך למשל:
תעשיית הפלסטיק : גרגירי פלסטיק או אבקות פלסטיק לסוגיו.
תעשיית המזון : קמח, קטניות, סוכר, קפה, שוקולד.
תעשיית המתכת : ברזל, שבבים וכדומה.
בענף הבנייה : חצץ, אבנים, חול, סיד, מלט .

- בשעת בחירת מערכת המדידה/ בקרה יש לקחת בחשבון מספר גורמים המאפיינים מוצקים :
- (1) **משקל נפחי – צפיפות :** משקל נפחי של מוצקים נע מ 8 גרם לליטר (g/l) - קל-קר לדוגמא (פוליסטירן) . ועד יותר מ 5000 גרם לליטר (g/l) בברזל מוצק לדוגמא.
הכלל: ככל שהחומר קל יותר מפסק הגובה (מסתובב או רוטט) צריך להיות רגיש יותר אך מצד שני חומר כבד ביותר גורם ללחץ מיכני כבד במיכל ועל המכשיר עצמו.
 - (2) **גודל פיזי :** אבקות וגרגירים קטנים נמדדים ביחידות של מיקרומטר כאשר לאבנים יש קוטר ממוצע של 50 מ"מ.
זהו מאפיין חשוב בבחירת סוג הכנף במפסקי גובה מסתובבים היות ודרוש שטח חתך גדול עם החומר על מנת לקבל את המומנט שיעצור את הכנף.
כנף גדולה יותר דרושה למוצקים קטנים קמח לדוגמא וכנף קטנה מספיקה למוצקים גדולים – חצץ לדוגמא.

- (3) **מילוי :** באבקות בעת מילוי או ריקון המיכל ישנה אפשרות להצטברות חומר סביב מפסקי הגובה כאשר זה יכול להחמיר כאשר ישנה לחות או רטיבות במיכל. הבעיה יכולה לצוץ במפסקי הגובה המסתובבים אשר מותקנים בצורה רוחבית-מן הצד בלבד. תיאורטית יש לבדוק אם ייתכן מצב שהחומר שנשאר על הכנף לאחר ריקון המיכל גורם לעצירת הכנף ולמתן התראה קבועה. מעשית זה לא קורה היות ויש צורך במומנט גבוה יותר מקצת חומר על הכנף.
- (4) **שחיקה :** שחיקה נגרמת בתנועת החומר – שינוע \ מילוי \ ריקון וכאשר החומר הינו חומר שוחק כמו חול , חציץ וכדומה. חומרים שוחקים יכולים לפגוע פיזית במפסקי הגובה ולכן במקרה כזה יש לקחת חומרי מבנה חזקים כמו Stainless Steel , ו\או להגן על מפסק הגובה ע"י התקנת מעין 'גג' שהינו פלטת מתכת אשר מגינה על המפסק גם משחיקה וגם מעומס מכני כבד.
- (5) **קורוזיה כימית :** על החלקים במפסק הגובה שיש להם מגע עם חומר קורוזיבי להיות עמידים לחומר עצמו וכן לאדים הנפלטים ממנו. קיימים חומרי מבנה של פלדה מגולוונת, Stainless Steel, ואטמים מטפלון, ויטון וכדומה.
- (6) **לחות :** יכולה להשפיע כאשר ייתכן מצב בו יצטבר חומר לחרטוב על מפסק הגובה.
- (7) **אבק :** אבק הנגרם בעת מילוי\ריקון\ בעת התהליך יכול לחדור למכשיר עצמו ולכן יש לדרוש מפסק גובה אטום במיוחד עם מספר אטמים למניעת כניסת האבק שיכול לפגוע במכשיר.
- (8) **מקדם דיאלקטרי :** החשיבות למקדם הדיאלקטרי של החומר היא במדידה בשיטה קיבולית ורדאר, במוצקים נע מ 1.5 באבקות פלסטיק, עד 10 בזכוכית, כאשר למים מקדם של כ 80.
- (9) **טמפרטורה :** טווח הטמפרטורה נע בין 30- עד 350 מעלות צלסיוס.
- (10) **לחץ :** הלחץ במכלי אחסון גדולים יכול להיות מיליברים ספורים כאשר במכלי תהליך הלחץ יכול לנוע בטווח של 0.6 עד 10 באר ואף יותר מזה.
- (11) **מאפייני התפוצצות :** במוצקים מסוימים האבק והחומר הינם נפיצים וישנה דרישה לציוד מוגן התפוצצות-אי לכך מפסק הגובה חייב להיות בתקן המתאים לאותו אזור. התקנים המקובלים הינם : ATEX, FM, GasEx, DustEx .

מפסקי גובה מסתובבים בתצורת כנף:



הוכיחו את עצמם מזה שנים רבות בכל תחומי התעשייה.
 הפשטות במבנה והקלות להבין את עקרון הפעולה וכן עמידותם במוצקים רבים עשו אותם להכרחיים
 בתעשייה התהליכית כמו התעשייה הכימית, פלסטיק, מזון, בניה ועוד...
עקרון הפעולה:

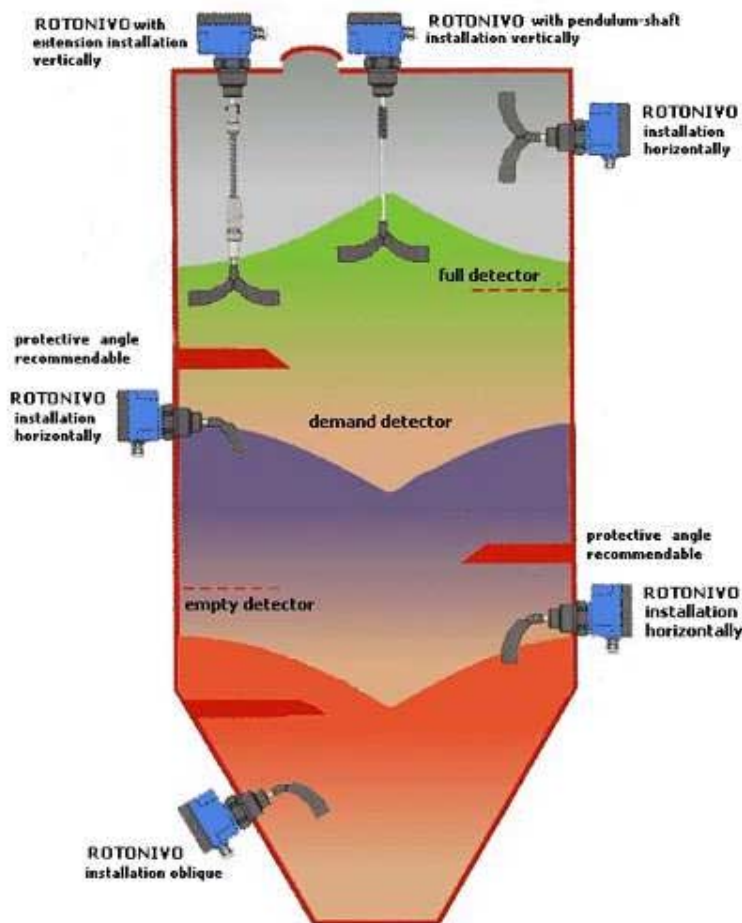
כנף המורכבת על מוט מסתובבת ע"י מנוע חשמלי בקצב של כ 1 סיבוב לדקה וכאשר היא פוגשת בהתנגדות
 חומר המכסה אותה נוצר מומנט הפוך אשר גורם בתחילה להפסקת פעולת המנוע ולאחר מכן לסגירת מגע
 חשמלי ולמתן התראה.

חברת **UWT גרמניה** המתמחה במדידות מפלסים עבור מוצקים פיתחה 'מיסב חיכוך' – Friction Clutch
 אשר תפקידו להגן על המנוע בעת עומס כבד הנובע מהצטברות חומר ע"י החלקת הכנף אך בו זמנית
 להמשך עבודה תקינה ומתן התראה.

המפסקים המסתובבים הינם ללא אחזקה שוטפת והתקנתם פשוטה ביותר – ע"י הברגה או עוגן מיוחד.
 ישנם 2 סוגים עיקריים:

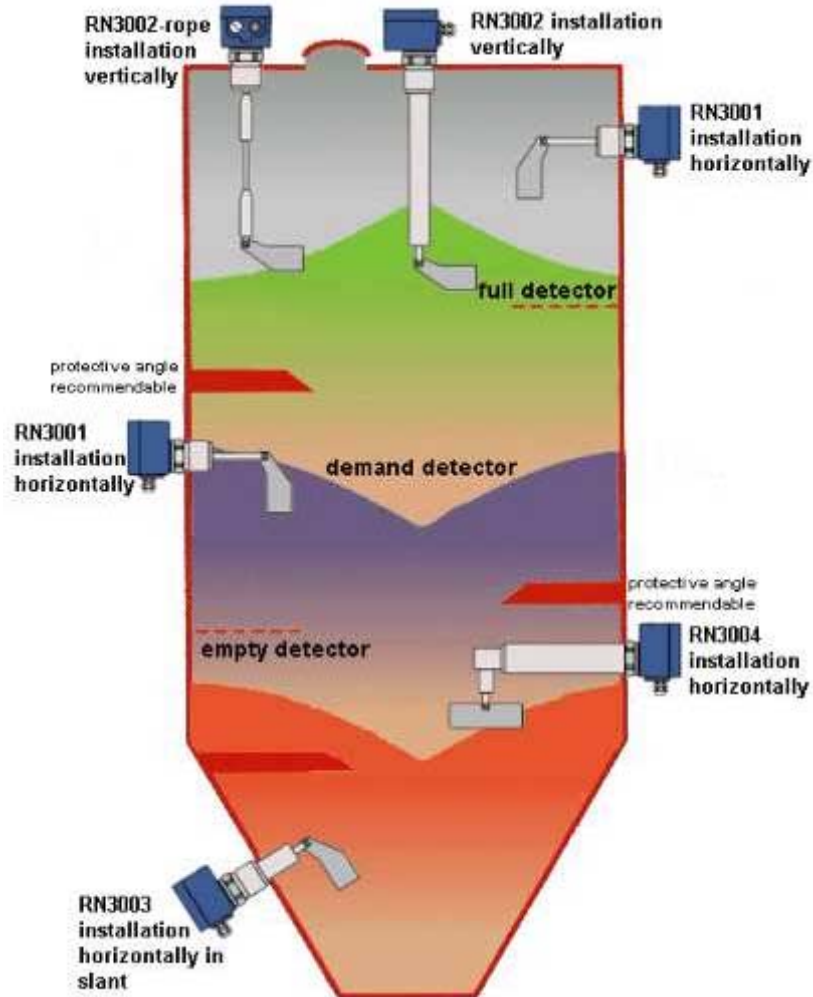
(א) **פלסטי** : מוגדר כ Low Cost היות והחומר ממנו עשוי המפסק והכנף הינו פלסטיק קשיח כאשר כיום
 ישנה אפשרות לקבל כנף מתכתית עבור מפסק פלסטי.

מתאים לאפליקציות קלות כמו בתעשיית הפלסטיק, המזון ומוגבל לטמפרטורה של עד 80 מעלות צלס'.
 צורת ההתקנה אנכית \ אופקית וניתן להארכה ע"י מוט מתכת או כבל פלדה קשיח כאשר טווח רגישותו
 75 גרם לליטר ומעלה.



(ב) **מתכתי** : דגם מסיבי יותר – זיווד אלומיניום קשיח , מוט וכנף עשויים Stainless Steel אשר עמיד לחומרים שוחקים כמו חול, חצץ עם טווח רגישות של 20 גרם לליטר ומעלה עם אפשרות לטמפרטורות גבוהות של עד 350 מעלות צלסיוס.

ניתן להתקינו בתור מפסק עליון או דרישה וכן ניתן להאריכו ע"י מוט או כבל פלדה. להתקנה גם בתור מפסק תחתון אשר מומלץ להתקנה במכלי אחסון גדולים היות ובמיכלים אלה ישנו עומס אדיר על החלק התחתון של המיכל ולכן עדיף מפסק מוקשה עם כנף אנכית ולא אופקית. במצבים בהם ישנה הצטברות חומר על המפסק מומלץ לקחת מפסק גובה מסתובב עם צינור הגנה אינטגרלי.



מפסקי גובה רוטטים:

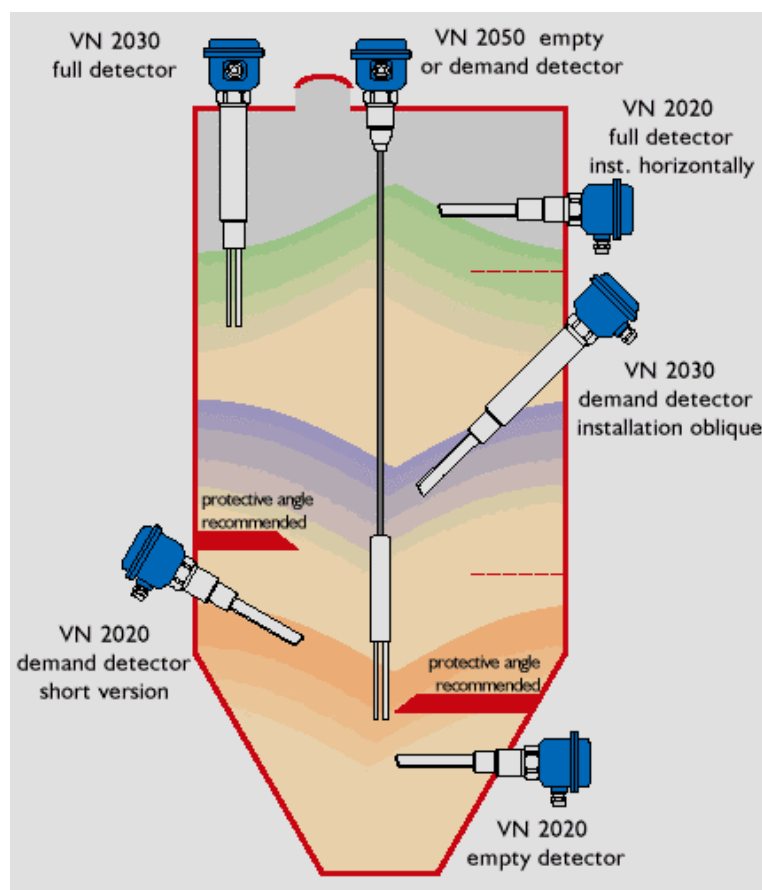


אבקות וחומרים שונים בתעשייה הינם בעלי צפיפות קטנה מ 20 גרם לליטר ולכן אין אפשרות למדידה ע"י מפסקים מסתובבים עקב הרגישות הנדרשת, לכן קיים הצורך במפסקי מפלס רגישים יותר.

עקרון הפעולה: מפסקי הגובה הרוטטים בנויים בצורת מזלג \ מוט כאשר גביש פיזו אלקטרי מייצר רטט בתדר של 125 הרץ וכאשר חומר מגיע לטווח של בין 2 מוטות המזלג או למוט הבודד התדר יורד וגורם לסגירת מגע חשמלי ולמתן התראה.

יתרון של המפסק הרוטט הינו למעשה ניקוי עצמי של המזלג ללא התערבות חיצונית עקב הרטט שהוא מייצר.

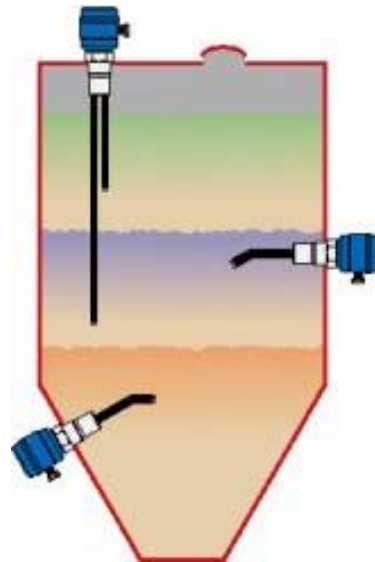
חברת **UWT גרמניה** פיתחה מפסקים רוטטים רגישים ביותר לתחום של 8 גרם לליטר (קל קר לדוגמא). ניתן להתקנם בצורה אופקית או אנכית וניתן לקבל גם מפסק רוטט עם הארכה של עד 20 מטר . חומרי המבנה הם אלומיניום קשיח , Stainless Steel .



מפסקי גובה קיבוליים:



כידוע קיים קיבול חשמלי בין 2 אלקטרודות התלוי במידות פיזיות ובמקדם הדיאלקטרי של התווך בינם. אם האלקטרודות הן : גוף המיכל (אם הוא מתכתי) ואלקטרודות המדידה – הקיבול יהיה יחסי למפלס החומר. כיום ישנם דגמים שאינם תלויים בחומר ממנו עשוי המיכל ועובדים עצמאית, אך קיימת הדרישה למקדם דיאלקטרי מינימלי של החומר אותו אנו רוצים למדוד. ברוב המפסקים ניתן אף לכוון את הרגישות של המפסק בהתאם לחומר וכן את השהיית הפעלתו.



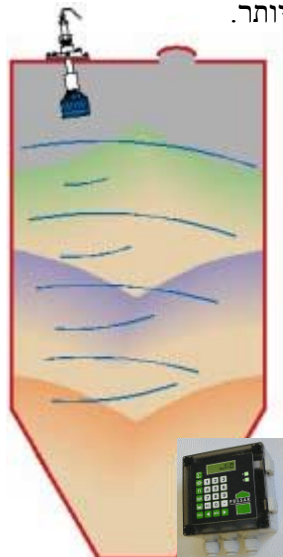
- עד כה עסקנו בהרחבה במדידת מפלס נקודתית עבור מוצקים, נזכיר את השיטות למדידה רציפה:

(1) שיטת המדידה האולטרסונית :



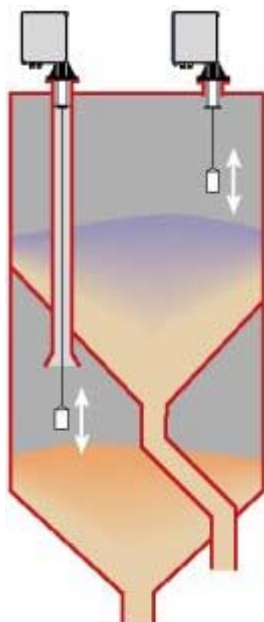
פועלת ע"י מדידת זמן התנועה של הקול ביחס למרחק, מתאימה לנוזלים, בוצה, מוצקים. תחום המדידה מס"מ בודדים ועד עשרות מטרים ואינה דורשת טיפול ואחזקה. מגבלותיה: גזים מעל החומר, אבק או קצף בכמות גדולה, ואקום, טמפרטורה.

במדידה של מוצקים היות ופני השטח לא אחידים בזמן מילוי או ריקון יש צורך בהתקנת הגשש האולטרסוני ע"י התקן כיוון מהיר אשר נותן את האפשרות לכוון את הגשש לכיוון מרכז המיכל בזווית מסוימת על מנת להשיג דיוק והחזר ההד טוב יותר.



(2) יו – יו :

מתאים למוצקים בלבד, המערכת בנויה ממנוע, כבל ומשקולת. המשקולת מחוברת לכבל \ לסרט פלדה ויורדת לעבר החומר כל פרק זמן שנקבע על ידנו, כאשר המשקולת מגיעה לחומר היא מפסיקה את פעולת המנוע ונעצרת לאחר מכן עולה בחזרה וחשוב של אורך הכבל עד לעצירה של המשקולת מתורגם למפלס החומר. במקרים ומדובר בחומרים קלים כמו אפר יש צורך להחליף את המשקולת ע"מ שלא תשקע עד לרצפת המיכל בהתקן דמוי מצנח שהינו קל ביותר יחסית למשקולת הרגילה.



לסיכום:

בבחירת מכשור לבקרת מפלס נקודתית או רציפה, בשיטת: כנף מסתובבת, רוטט, אולטרסוני, קיבולי או יו-יו יש לקחת בחשבון את כל המרכיבים בבחירת הפתרון הטוב ביותר לאפליקציה הן מבחינת חסרונות, יתרונות, מחיר, אחזקה שוטפת, אמינות ועד לחישוב יחס מחיר-תועלת-ביצועים עבור מכשור זה.