

בדיקת לחות בחומרי בניה

סקירת שיטות בדיקה ומכשירי בדיקה

חשיבותה של קביעת תכולת הלחות בחומרי בניה עולה במהירות. גורמים כגון לוח-זמנים צפוף להשלמת פרויקטים חדשים של בניה, לעיתים קרובות ללא מתן זמן מספיק לשלב הייבוש; בידוד שצריך לעמוד בדרישות העדכניות לשימור אנרגיה, הכוללות בידוד תרמאלי מלא עם חלונות ודלתות החוסמים מעבר אוויר; איורור בלתי מספיק של חלק ממרכיבי הבנין הדורש מדידות לחות תכופות בזמן הבניה כמו-גם במקרה של נזק לאחר סיום הבניה; - כל אלה דורשים מדידות לחות של חומרי הבניה.

יוצג כאן תיאור בסיסי של שיטות המדידה השונות ושל מכשירי המדידה המתאימים לקביעת תכולת הלחות בחומרי בניה.

שיטת מדידה גרבימטרית (ייבוש בתנור)

כדי לבצע מדידה בזמן שימוש בשיטת ייבוש בתנור, לוקחים דוגמא מהחומר הנבדק ושוקלים אותה. לאחר ייבוש לאורך זמן (עד 24 שעות או יותר), ולאחר שהושג משקל קבוע, שוקלים את הדוגמא שוב. משתמשים בהפרש בין המשקלים שנמדדו כדי לחשב את הלחות המקורית, לפי הנוסחא הבאה:

(משקל רטוב - משקל יבש) X 100

משקל יבש

חשוב לציין כאן שרק תוצאות של מדידת לחות המבוטאות באחוזים על-ידי משקל יחסי למשקל היבש, נחשבות כנכונות מבחינה מדעית.

בתהליך מדידה זה, שבתיאוריה הוא מאד מדויק, קיימים מספר חסרונות:

1. התהליך הרסני .
2. זמן המדידה ארוך.
3. ציוד המדידה יקר.
4. בתוצאות מדידת הלחות, יכולות לבוע שגיאות ממגוון של מקורות חבויים.

כאשר נלקחות דוגמיות להכנה לבדיקה, לעיתים קרובות הן מכילות לחות גם של פני השטח וגם של הליבה, ועל-כן אינן מספקות תשובה לגבי השאלה החשובה של הבדלים בתכולת הלחות בין האזורים הפנימיים והחיצוניים של החומר. הצורך המובנה הזה של דוגמיות נפרדות מאזורים נפרדים הינו קשה להטמעה עם השיטה הגרבימטרית. הבדיקה הבסיסית של התכולה המקסימלית של הלחות של

An APPROVED MINISTRY of DEFENSE SUPPLIER

השכבה התחתונה הינה כל-כך קשה לביצוע שלמעשה, עקב ההרס המתלווה, היא אף פעם לא מבוצעת.

בהקשר הזה, יש גם לציין שככל שהדוגמא קטנה יותר, בולט יותר חוסר הדיקו בתוצאות עקב חימום החומר.

עם זאת, אי-דיוקים גדולים יותר בקביעת של תכולת הלחות המעשית מגיעה מהשימוש בקידוחים המושגים המבוצעים על-ידי שימוש במקדחים רגילים. במקרה זה, אי-הדיוקים הנובעים מהחימום והייבוש המידי של החומר המתרחשים בתהליך השגת הדוגמית, הינם כה גדולים שאין צורך לאמר יותר מזה באשר לחוסר התאימות המובן מאליו של תהליך שכזה. השינוע והאחסון של דוגמיות הנלקחות יוצר עוד מקור רציני לטעות. חיוני לסגור דוגמיות מיידית באריזה כמו שקיות פלסטיק אטומות לאוויר, ולבצע ייבוש מהר ככל האפשר. אלא שלמעשה, דוגמיות בדר"כ נארזות במיכל גדול, עם זמן המתנה ארוך לתהליך הייבוש. הדבר מוביל לקבלת תוצאות של תכולת הלחות שהיא הרבה יותר נמוכות, בעקבות הייבוש הלא רצוי של הדוגמית בזמן השינוע והאחסון.

גורם אחר שיש לשקול אותו ביישום של השיטה הגרבימטרית הוא שבזמן הייבוש בטמפ. גבוהה, לא רק שהמים החופשיים שבתוך הדוגמית נעלמים ממנה עקב אידיוי אלא עוד מרכיבים כמו שומנים מינרליים, שמנים ומים הנעלמים כתוצאה מהתגבשות, מה שמוביל לתוצאות שגויות. בנוסף, יש לשים לב לטמפרטורות ייבוש שונות, כלומר: מקסימום 40°C מעלות לחומרים הכוללים גבס, ו-103°C לשכבות מלט. עקב זמן הייבוש, אספקט חשוב אחר הוא הזמן הארוך יחסית - כ-12-48 שעות - החולף בין לקיחת הדוגמא להשגת התוצאות.

לסיכום היתרונות והחסרונות של שיטת הבדיקה הגרבימטרית, אפשר לאמור שבתנאי מעבדה, תוך הקפדה על ביצוע התהליכים, ניתן להשיג תוצאות מדויקות. אולם כאשר משתמשים בשיטה בפועל, השיטה מקושרת עם כמה מקורות נסתרים לטעות. בנוסף, לשיטה הגרבימטרית יש יכולת יישום מוגבלת עקב ההרס הבלתי נמנע לחומר בזמן לקיחת הדגימה. מסיבות אלה, שיטה זו אינה מתאימה לשימוש אצל לעובדי בנין ומשתמשים בה בעיקר לבדיקות מעבדה מיוחדות.

שיטת בדיקה CM – Calcium Carbide

שיטה זו טובה למדידת חומרי בניה אבקתיים. כדי להכין דוגמית לבדיקה בשיטת ה-CM תמיד צריך קודם כל לקחת דוגמית של החומר לבדיקה. לאחר מכן יש לטחון את הדוגמית לחלקיקים בקוטר הקטן מ-2 מ"מ. לאחר מכן שוקלים את הדוגמית ומניחים אותה במיכל מתכת יעודי המצוייד במד-לחץ, עם קפסולות של קרביד וכדורי מתכת. סוגרים את הבקבוק היטב ומנערים בכוח כך שהאמפולות של הקרביד יישברו על-ידי כדורי המתכת. התגובה הכימית גורמת לעלית הלחץ בתוך הבקבוק, והלחץ

An APPROVED MINISTRY of DEFENSE SUPPLIER

Office:
21st, Atir-Yeda St. Kfar-Saba 4464316, Israel
Mail:
P.O.Box 3008 Hod-Hasharon 4513001, Israel

Phone: +972-9-7674431
Fax: +972-9-7676898
Web: www.rbmltd.co.il
e-mail: rbmltd@rbmltd.co.il

ISO 9001:2015
RONET
Quality Management System

משרדים:
עתיר יעד 21, כפר-סבא 4464316
דואר:
ת.ד. 3008, הוד-השרון, 4513001

נמדד על-ידי מד-לחץ שבנוי בתוך הבקבוק. מהלחץ הנמדד ניתן לחשב בעזרת נוסחא את תכולת הלחות של הדוגמא שהוכנסה לבקבוק. כדי לבצע נכון בדיקה לפי CM, יש לקחת את הדוגמית לא מפני השטח שהם בדר"כ יבשים, אלא יותר מהשכבה התחתונה של המדגם הנבדק. חסרונות השיטה:

1. כל בדיקה לוקחת זמן רב יחסית, כ-30-45 דקות, דבר שעלול לגרום לצמצום מספר המדידות למינימום אפשרי. כאשר מדובר במדידת שטחים גדולים, זה יכול להוביל למסקנות שגויות לחלוטין.
2. לקביעת תכולת הלחות, נדרשות טבלאות המרה לכל חומר נבדק, שיראו את אחוזי ה-CM. יש לציין שערכים של אחוזי ה-CM אינם זהים לאחוז משקלי, מאחר ולוקחים בחשבון רק מים חופשיים לחלוטין, ולא מים שקשורים אל החומר. אחוז ה-CM לכן אינו נחשב לשיטה מדעית.
3. דיוק המדידה תלוי במיומנות של מבצע הבדיקה. לכן שגיאות מדידה נוספות עלולות להגרם בשל: דיגום לא נכון, שקילה שגויה של החומר הנבדק, שימוש בכדורי מתכת לא מתאימים/שגויים או מעטים מידי וכשל באטימות בקבוק המדידה. ידועים גם מקרים של עירבוב דוגמאות. השימוש בשיטת ה-CM הינו נפוץ. עם זאת, רק משיקולים תיאורטיים, אפשר לראות שהיא לגמרי לא מגיעה לדיוק המדידה שניתן להשיג על-ידי שיטת היבוש הגרבימטרית כאשר היא מבוצעת בתנאים אופטימליים. החסרונות ומקורות אפשריים לשגיאה הם למעשה זהים לאלה הקשורים בשיטת היבוש בתנור (כלומר: הרס לא רצוי של החומר, למשל של קירות גבס ורצפות מלט, קושי בהשגת דוגמיות משכבות שונות, שגיאות המקושרות למעיכה של החומר הנבדק וכד'). מאחר ואגרטים שונים נמצאים היום בשימוש בכל השכבות, ולמשל, מגוון של חומרי גלם אנהידריים נמצאים בשימוש בשכבות אנהידריות, לא ניתן לשלוט במקורות נוספים העלולים לגרום לשגיאות מדידה.

שיטת מדידה על-ידי התנגדות

זוהי למעשה, שיטת מדידה שבה משתמשים לעיתים תכופות להגדיר תכולת לחות בעץ וחומרי בניה. שיטה זו מבוססת על העובדה שהתנגדות החשמלית של כמעט כל מוצק מושפעת מתכולת הלחות של החומר. ההתנגדות החשמלית נמצאת ביחס הפוך לתכולת הלחות בחומר. מכשירים למדידת תכולת הלחות שפועלים לפי שיטה זו למעשה מודדים את ההתנגדות החשמלית של חומר מסוים, ומציגים את המדידה גם ישירות או כערך מחושב של אחוזים - כלומר אחוז ממשקל. אם תכולת הלחות היא נמוכה, יתועד שינוי רב בהתנגדות החשמלית עם שינוי בתכולת הלחות. לעומת זאת, כאשר תכולת הלחות היא גבוהה (כלומר: במקרה של עץ עם לחות מכל 60%) השינוי בהתנגדות החשמלית עם שינוי בתכולת הלחות הוא די זניח. לפיכך, כאשר תכולת הלחות מוגדרת על-ידי שיטת

An APPROVED MINISTRY of DEFENSE SUPPLIER

ההתנגדות, ניתן להגיע לערכי מדידה מדויקים אם תכולת הלחות נמוכה, אבל רק מגבול מסוים, המשתנה לפי החומר ולכן אי אפשר להגדירו במדויק. לכן ערכי מדידה נהיים פחות מדויקים בצורה ניכרת. השונות הזו התלויה בחומר נוצרת עקב העובדה שהשוני המתועד בהתנגדות החשמלית מושפע לא רק מתכולת הלחות של החומר אלא גם מגורמים שניוניים נוספים כמו טמפרטורת החומר, הרכבו הכימי ובמידה פחותה: צפיפות החומר.

על-מנת להתחשב בהשפעות שונות אלה התלויות בסוג חומר הבניה או העץ, יש מיכשור מודרני למדידת לחות העובד לפי תהליך מדידת התנגדות ומצויד בפיצוי טמפרטורות ויכולת לכוון לפי סוגים שונים של חומר. לגבי רוב חמרי הבניה, יצרני המכשיר המובילים בדרך כלל מספקים טבלות המרה המאפשרות למשתמש להמיר ערכים דיגיטלים או ערכים המוצגים על גבי הסקאלה לאחוזי לחות (כלומר: אחוז מתוך משקל) בהתאמה לסוג החומר. מכשירי מדידה שמספקים פחות מידע מצוידים רק בסקאלה צבעונית, תצוגת LED או דומה, והם אינם מחשבים את המוליכות החשמלית השונה של חומרי בניה שונים.

בהשוואה לשיטות של יבוש בתנור או CM, שיטת מדידת ההתנגדות מציעה מספר יתרונות חשובים ליישום המעשי:

1. המדידה וקבלת תוצאות המדידה מתבצעים במהירות ולכן ניתן לבצע עשרות מדידות בזמן

שלוך לבצע מדידה בודדת בשיטה גרבימטרית או CM.

2. השיטה היא שיטת אל-הרס שאיננה גורמת לפגיעה במדגם הנבדק.

3. המדידה איננה מצריכה מיומנות בביצועה כמו בשיטה הגרבימטרית או CM.

4. קל לבצע מדידות במיוחד בנקודות קריטיות.

ואמנם, ניתן לראות שמכשירי המדידה מבוססים על עיקרון זה הינם עדיפים בעיני משתמשים רבים ושונים.

יתרון חשוב שלמעשה הינו חלק בתהליך קבלת ההחלטות, במיוחד בתחום של תהליך הערכה של

בניה ועץ, הוא העובדה שעם שימוש שבעזרת שימוש באלקטרודה מתאימה אפשר לבצע מדידת

התנגדות בעומקים שונים ולקבל את תכולת הלחות מליבת החומר ולא רק מפני השטח.

אין להתעלם מבעיה המיוחסת לשימוש בשיטת ההתנגדות היא העובדה שאין זה אפשרי להבטיח את

האפקט המדויק של הבדלים בהרכב הכימי ובצפיפות החומר לגבי כל אחד מסוגי חומרי הבניה. לכן

לכמה סוגים של חומרי בניה לא קיימות טבלאות תיקון דיוק. עם זאת, גם במקרים אלה, על-ידי מדידות

השוואתיות של אותו סוג חומר, המשתמש יכול לבדוק את התוצאות המושגות בעזרת תהליך מדידה

אחר. לגבי חומרי בניה המכילים כמות נכבדה של מלח, עקב המוליכות החשמלית של המלח, יוצגו

An APPROVED MINISTRY of DEFENSE SUPPLIER

Office:

21st, Atir-Yeda St. Kfar-Saba 4464316, Israel

Mail:

P.O.Box 3008 Hod-Hasharon 4513001, Israel

Phone: +972-9-7674431

Fax: +972-9-7676898

Web: www.rbmltd.co.il

e-mail: rbmltd@rbmltd.co.il



משרדים: עתיר ידע 21, כפר-סבא 4464316

דואר: 3008, הוד-השרון, 4513001

טל. 09-7674431

פקס 09-7676898

ערכי מדידה גבוהים יותר שאינם משקפים את תכולת הלחות האמיתית. במקרה מיוחד זה המדידה יכולה להשתנות על-ידי שיטת ייבוש בתנור, עם אנאליזה של המלחים.

שיטת מדידת הקיבוליות Capacitive measurement

בשנים האחרונות, עלתה חשיבותה של שיטת מדידה אחרת המאפשרת מדידת תכולת לחות ללא הרס. לכן נתפסת שיטה זו כאידיאלית מנקודת מבטו של המבצע. זוהי שיטת מדידת הקיבוליות, המבוססת על העקרון של שדה חשמלי. השדה הנמדד נוצר בין האלמנט האקטיבי - פרוב המדידה, שבנוי בצורה כדורית, לבין החומר הנמדד. הלחות גורמת לשינוי בשדה החשמלי הנמדד, ושינוי זה מתורגם לתכולת לחות שמוצגת במכשיר המדידה. המדידה הינה יחסית, כלומר: מוצג ההפרש בין חומר הבניה הלח ליבש. עם זאת, בעזרת טבלת ההמרה, לגבי תהליך יבוש נורמלי אפשר להגדיר את הלחות המוחלטת כאחוז מהמשקל או להגדיר את הלחות כאחוז CM. עומק המדידה תלוי בצפיפות של חומר הבניה הנמדד, למשל: במקרה של חומר מאד קל, עומק המדידה יכול להיות עד 10-12 ס"מ. עם זאת לחומר כמו בטון, שהוא בעל משקל סגולי גבוה, עומק המדידה הוא רק 2-3 ס"מ.

בעת הצורך במדידת תכולת לחות בשכבות, בטון וכד', חשוב לשקול שימוש במכשיר מדידה אינטגרלי המאפשר לבצע מדידות לחות בשתי שיטות מדידה: מדידת התנגדות חשמלית וגם מדידת קיבוליות בעזרת אלקטרודה אקטיבית. למשל: אלקטרודה אקטיבית למדידת אל-הרס של תכולת לחות, כאשר האלקטרודה הכדורית ממוקמת במגע רק עם פני השטח של החומר. למרות שמדידת קיבוליות מציגה פיזור קריאות רחב יותר מאשר במדידות של התנגדות חשמלית, השיטה הקיבולית מציעה יתרון בעל חשיבות: מדידות כאלה יכולות להתבצע במספר רב של נקודות מדידה לצורך מטרת אורניציה, וכך ליצור פרופיל דו-מימדי של תכולת לחות לצורך מיקום מהיר של נקודות קריטיות.

מדידה תוך שימוש ב- Sorption Isotherms

שיטה שחשיבותה עולה שמתפשטת במהירות בסקנדינביה ובריטניה. מדובר במדידה של לחות אויר בחורי-קדח וקביעת לחות המבנה תוך שימוש ב- sorption isotherm. סנסור לחות-אוויר דק מוכנס לתוך חור קדח. לאחר תקופת התאמה, הלחות בחור הקדח נמדדת ותכולת הלחות של החומר מוגדרת על-ידי שימוש ב- sorption isotherm של חומר הבניה הרלוונטי.

מדידות משלימות לבניה ויישומים להערכה

בנוסף לקביעת לחות חומר הבניה, ביישומי בניה והערכה, נדרשת גם קביעה של ערכים שונים משלימים, למשל טמפ. אוויר, לחות אוויר וטמפ. פני השטח של החומר. מדידות של ערכים אלה

An APPROVED MINISTRY of DEFENSE SUPPLIER

מאפשרים, למשל, קביעה של גשרים תרמאליים (כלומר דליפות חום ופגמים בבידוד) והחישוב של מצבי dewpoint במצבים שונים של אקלים ולחות. לקביעת ערכים אנדיבידואלים אלה, יש טווח רחב של מכשירי מדידה ייחודיים. מנקודות מבט של עלות ושל תכונות טכניות, מכשיר משולב שבו משולבות 4 יכולות במכשיר אחד הינו מכשיר אידיאלי לשימוש בכל אתר בניה. מכשיר כזה יכול להגדיר את לחות החומר גם לפי שיטת ההתנגדות וגם לפי שיטת הקיבוליות, ומסוגל גם לבצע את המדידות המשלימות המתוארות מעלה.

נקודת מבט מיוחדת של הכנת ההערכות בשדה טכנולוגית הבניה היא שלעיתים אין זה מספיק להשתמש בדוגמת מדידה מסוימת ומקרית. כדי להעריך גורמים מסוימים יתכן ויהיה צורך לבצע מדידות המשכיות ולתעד ולהעריך את ערכי המדידה. בנוסף, יש לזכור שהידע והדרישות של מומחה שונות מאלה של העובד באתר הבניה המעורב בתהליך הבניה. במיוחד, יש לזכור שהערכה של מצב ההתקנה או התהליך דורשים לא רק תהליך מדידה ספיציפי; נסיון אישי וידע מפורט הנוגע להפעלה של מכשיר מדידה רלוונטי חשובים גם הם.

An APPROVED MINISTRY of DEFENSE SUPPLIER

Office: 21st, Atir-Yeda St. Kfar-Saba 4464316, Israel
Phone: +972-9-7674431
Fax: +972-9-7676898
Mail: P.O.Box 3008 Hod-Hasharon 4513001, Israel
Web: www.rbmltd.co.il
e-mail: rbmltd@rbmltd.co.il



משרדים: עתיר ידע 21, כפר-סבא 4464316
דואר: ת.ד. 3008, הוד-השרון, 4513001