

מישטוח רצפות בטון בטיחות בתנועת מלגזות

מאת נ. ניילוגנס, ג'. ספרינגפילד, ו. רפיט, ד. טיילור



התקלות במשטח בטון

תנועת מלגזות על פני רצפת בטון - בעיה לא שטוחה בכלל.

חברת "שושני את וינשטיין" המתמחה במתן פתרונות עבור רצפות בטון תעשייתיות מעל 40 שנה, מציגה מאמר המתאר את הבעיות שמתמודדים איתן בחברה. החברה מעורבת בפרויקטים החל משלב התכנון דרך ליווי הביצוע, תוך שיתוף והתייעצות עם מומחים בעלי שם עולמי.

מתברר כי משטחי רצפות בטון, על גבי מצע, נוטים להתעקל ולהתרומם בתפרים ומסביב להיקף. לפעמים מאבד משטח הבטון מגע עם חומר המצע. הבעיה חמורה מאחר שבמבנים תעשייתיים כגון מפעלים ומחסנים רצפות הבטון חייבות להישאר חלקות ושטוחות, על מנת לאפשר למלגזות ולכלי הרמה גבוהים ולציוד מקצועי אחר לפעול בביטחות ובדיוק.

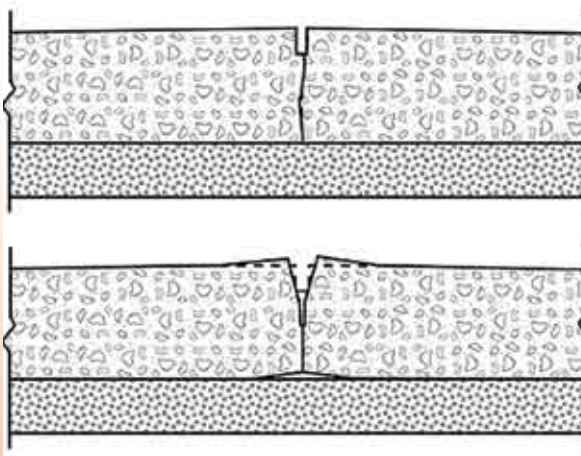
לעיתים קרובות, בתפר שהתהווה בו עיקול, די בשוני קל בגובה, לגרום למלגזות לגרד את משטח הרצפה. בנוסף, השוליים עשויים להתפצל לשבבים או להיסדק, אם תמיכת היסוד של המצע נשחקת. כתוצאה, רצפות עשויות להתדרדר במהירות, דבר שגורם בעיות בטיחות ומצריך תיקונים.

ההתרוממות ניכרת במיוחד באזור התפרים, אך עשויה להופיע גם בסדקים ובתפרי ניסור. (איור 1). בפינות המשטח, ההתעקלות כלפי מעלה עשויה להגיע עד 25 מ"מ, אבל ברוב המשטחים שבהן מבוצעים תיקונים, השוליים מתרוממים 5 עד 10 מ"מ מהמשטח המקורי. בתפרי עבודה שאין בהם הכנות למעבר משאות, ההתרוממות גורמת בדרך כלל לאיבוד של מגע עם המצע בערך ב-20% מאורך משטח הבטון בין תפרי העבודה (איור 2), וכפול מזה בתפרי ניסור (תפר דמה).

הסיבה:

הסיבה הבסיסית להתרוממות היא התכווצות משתנה, שמתרחשת בפלטה כשמשטח העל החשוף מתכווץ, והליבה לא. התכווצות זו נובעת לרוב מייבוש, אך עשויה להיגרם גם על ידי קרבונציה (פחמון) של בטון על פני המשטח, או, בתערובות עשירי-מלט בעלי חוזק רב, מספיחת נוזלים פנימית (כיווץ אוטוגני, שנוצר מאליו), שמתרחשת כשהמלט מתרכב עם מים.

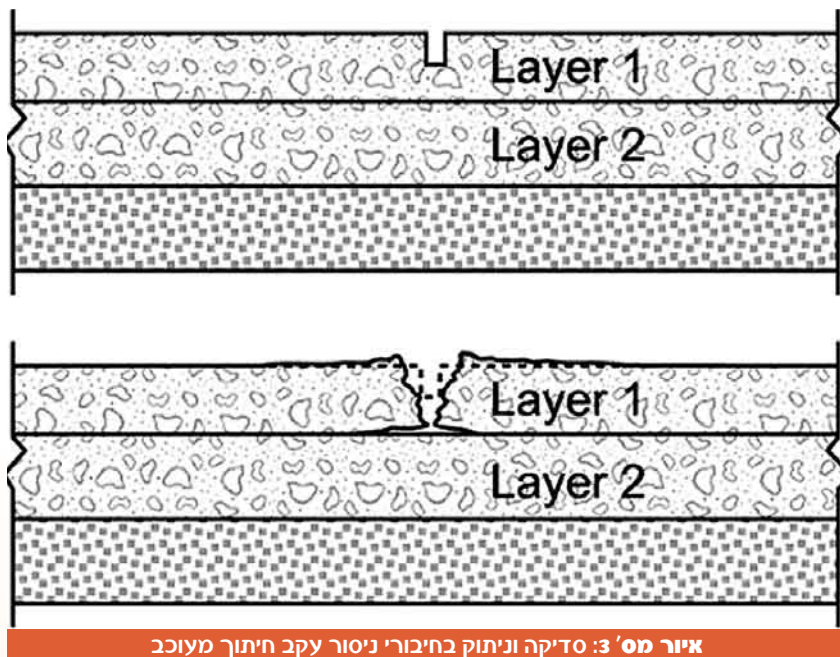
בטון, כמו חומרי בנייה רבים, אינו יציב על פני השטח כשהוא נתון לשינויים ברטיבות. מאחר שפלטות חדשות מתייבשות



איור מס' 1: התקלות בתפר ניסור

מאפייני התכנון גבוהים מטבעו (כגון סוג ב-30), עשוי להגביר את ההתכווצות הכללית ב-25%. זיהום האגרנט או שימוש באגרנט שמועד להתכווצות ולהתרחבות, עשויים לגרום לבעיות התכווצות חמורות בכל תערובות הבטון. לכן חשוב לשלב כמות מקסימלית ככל הניתן של תכולת אגרנט גס, על מנת לשמור שכמות תרחיף המלט בערבוב תהיה מינימלית, ועם זאת לשמור על עבידות סבירה, להקלה על היציקה. לתערובות בטון עשירות במלט יש אחוזי התכווצות גבוהים, והשימוש בתערובות בטון עם שקיעה גבוהה עשויה להגביר את ההתכווצות ב-10%. בתערובות עשירות, החום הנוצר כאשר המלט מתרכב עם מים מגביר גם הוא את העיקול, בגלל הבדלי הטמפרטורה בין המשטח לליבת הפלטה. המשטח העליון של הפלטה מתכווץ כשהוא מתקרר ומתקשה, בעוד הפנים נשאר חם ומתרחב. במהלך עבודות בנייה בחורף, יכולות גם טמפרטורות תערובת בטון גבוהות להגביר את התופעה. בנוסף, חלק מתוספי התערובת מפחיתי המים, מגבירים התכווצות הלכה למעשה. אף התאידות מהירה ממשטח תערובות נזולים, מעודדת התכווצות משתנה.

גימור-יתר של משטח הבטון על ידי שימוש חוזר ונשנה במאלג' (הליקופטר) על מנת ליצור משטח דחוס עמיד בפני שחיקה, עשוי לגרום לבלילת המלט לעלות ולחלקי אגרנט גדולים יותר לשקוע, מה שמוביל אף הוא לעיקול, בגלל שיעור ההתכווצות הגבוה יותר על פני השטח. התקשות לא נאותה מגבירה התכווצות משתנה, אם מניחים לפני השטח להתייבש מהר מדי. וכשמטעכים בניסור התפרים, מתרחשת



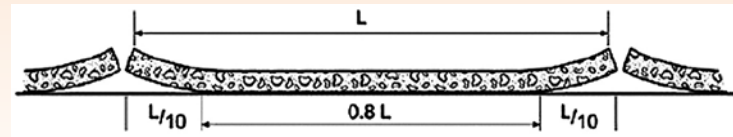
איור מס' 3: סדיקה וניתוק בחיבורי ניסור עקב חיתוך מעוכב

התנתקות בתחתית אזור הניסור (איור 3).

סביבות פנימיות יבשות במיוחד, הנובעות מחורפים קרים ברוב אזורי קנדה, מגבירות את כמות הרטיבות בפלטות שזה עתה נבנו, ומעודדות עיקול. מחממי מקרן מעל דלתות מסוף העמסה מייבשים משטחי פלטות במהירות, במיוחד במהלך החורף הראשון, ומחמרים את הנטייה לעיקול.

מניעת התרוממות:

למרות שניתן לתקן התרוממות כמעט בכל משטחי בטון, עדיף למנוע אותם. על ידי הפחתה ושליטה בהתכווצות, ניתן למזער למינימום התרוממות והתעקלויות במשטחי בטון. יחסים נאותים בין רכיבי התערובת, יציקה וטיפול, ובמיוחד האפשרה, ושימוש בתוספי תערובת שמפחיתים או מפצים על ההתכווצות, עשויים לעזור.



איור מס' 2:

התעקלות שפת המשטח מובילה לאיבוד של 20% מגע עם המצע.

מפני השטח כלפי מטה, הרטיבות ההדרגתית של הפלטה מובילה להתכווצות משתנה.

הקרבונציה מוסיפה להתכווצות, אבל ניתן להפחית אותה על ידי שימוש בציפוי למשטחים, כגון סילרים ואמצעי אשפורה מתאימים. ההתכווצות המשתנה עשויה להחמיר אם שיטות הגימור גורמות למלט ולאגרנט העדין להתרכז בפני השטח. החום הנוצר כשבטון טרי מתקשה, עשוי גם הוא להחמיר התכווצות משתנה, בתערובות עשירות במלט. ציפוי בטון מודבקים או העשויים מקשה אחת (מונוליתיים), מועדים לעיקול כשהם מתקשים ומתכווצים ביחס לפלטת הבסיס, גם בבנייה חדשה וגם באזורי תיקונים.

הגורמים:

הגורמים שמשפיעים על רמת ההתרוממות במשטח הם אלה שקובעים את הלחות היחסית ואת דרגת הרטיבות בתוך הפלטה. אלה כוללים את חומר המצע, מאפייני תערובת הבטון, הטיפול בבטון והתנאים הפנים-מבניים אחרי הבנייה.

כללית, מצע של משטח בטון מורכב מאחד מתוך שלושה חומרים: 20 מ"מ של אבן כתושה נקייה, אבן גרוסה מודרגת עם חומר עדין מוגבל, או חצץ טבעי. כל שלושת החומרים מאפשרים סינון של מים עודפים מתערובת הבטון. אבן גרוסה נקייה אמנם פועלת כחוצץ נימי, אבל אבן גרוסה מדרגת וחצץ טבעי, מאפשרים תנועה נימית של מי תהום כלפי משטח הפלטה התחתון. בגלל תנועה זו של מי תהום, הפך להיות מקובל להניח חוצץ יריעות פוליאתילן אטום על המצע, לפני שיוצקים את פלטת הבטון. ובעוד היריעה עשויה למנוע מהמים להיכנס מהצד התחתון של הפלטה, הוא גם מונע ממים עודפים של התערובת להתנקז מהבטון החדש, מה שמחמיר את ההתעקלות. אפילו כאשר העובדים מחררים את החוצץ כדי לעודד ניקוז, יריעת הפוליאתילן מפחיתה את החיכוך בין המצע לפלטה, וההתכווצות הכללית של הפלטה נוטה להתגבר.

מאפייני תערובת בטון כגון יחס מים-צמנט (W/C), סוג המלט, סוג האגרנט, סוגי התוספות, תכולת המלט וטמפרטורת התערובת, משפיעים כולם על מידת ההתכווצות של הבטון. תערובות בטון עם תכולת מלט גבוהה יחס מאוד נמוך של מים/צמנט (פחות מ-0.30), יוצרות סבירות גבוהה להפחתת התכווצות אוטוגנית משמעותית. תערובות עם יחס W/C גבוה מדי, מכילות כמות עודפת של מים חופשיים, מה שמגביר את הנקבוביות ומוביל להתכווצות כללית רבה. השימוש בבטון שהינו בעל

שליטה בתהליכים

השליטה בהתכווצות ובהתעקלות מושפעת מתכולת המים, הטמפרטורה, סוג המלט והרכיבים שלו, ואגרנטים בתערובת הבטון. תכולת המים בבטון הטרי צריכה להיות פחותה ככל שמאפשרת רמת העבידות הנחוצה. השימוש ביחס W/C נמוך, תוספי תערובת מפחיתי מים רחבי טווח, אגרנטים גדולים ככל הניתן, ונפח מקסימלי של אגרנט מדורג גס ליחידת נפח של בטון, שומרים על תכולת מים נמוכה. הטמפרטורה המקסימלית של תערובת הבטון צריכה להיות בשליטה במהלך היישום, עדיף פחות מ-10 מעלות צלזיוס. אם דרישות המבנה מאפשרות, עיצוב התערובת צריך להיות מבוסס על חוזק של 60 או 90 יום, על מנת להפחית כמות של תרחיף מלט בתערובת.

חלק מהפורטלנד צמנט ניתן להחליף בסיגים או באפר פחם מרחף, להפחתת ייצור חום מהתרכבות המלט עם מים. בדרך כלל משתמשים בתחליפים בשיעור של 25%, אבל במזג אוויר חם או באזורים טרופיים, מוחלפים עד 50%. יש להימנע משימוש באגרנטים בעלי התכווצות גבוהה מטבעם.

טיפול נכון הוא המפתח להפחתת ההתרוממות במשטחי רצפות בטון. הימנעות משימוש בריעת פוליאתילן מעל המצע, עשויה לעזור בהפחתת התכווצות והתעקלויות. יש לעשות כל מאמץ להימנע מיציקת משטחי בטון באיכות גבוהה לפני שגג הבניין מוקם. בנוסף, עדיף שגם הקירות כבר יהיו בנויים, וזאת בכדי לספק למשטחים מחסה מההשפעות המייבשות של הרוח. יש להימנע מגימור יתר או מכל תהליך שמפעיל לחץ על האגרנט הגס, ויוצר ריכוז של תרחיף מלט וחלקיקים על פני השטח. על הבטון להתקשות כראוי לפני שמניחים לו להתייבש עד תום.

כותרת משנה: אפשרויות השליטה בהתרוממות ועריכת תיקונים

מפני שהתעקלות של המשטח במידה מסוימת היא בלתי נמנעת, שימוש נכון בתפרי הניסור עשוי להפחית את הצורך בתיקונים. ניתן להשתמש במסורי "חיתוך רך" ברגע שהעובדים יכולים לגשת אל משטח הרצפה, ונראה כי החיבורים שהם מייצרים מספקים מגע ומונעים מעבר לאורך הסדקים המתרחשים בתחתית הפלטה.

מהנדסים רבים מאמינים שחיזוק השכבה העליונה של המשטח עשוי למנוע התעקלות, אך כמות החיזוק הנדרשת לרסן התעקלות, הופכת את האופציה הזו ללא כלכלית. בנוסף, יציקת בטון עם לייזר סקריד, הפכה את השימוש ברשתות לבלתי רצויה. במקום בו משטח התעקל, אפילו במקרה של הבדל בן 7 מ"מ גובה התפר, ניתן למנוע תיקונים באמצעות הפעלה טובה של מלגזה. שימוש נכון במשטחים ושמירת שני המלגזה מספיק גבוה מעל הרצפה, הגבלת מהירות כלי ההרמה ועומסים מוגבלים, כל אלה יכולים לעזור לשימור המשטח במצב סביר. גרירת משטחים על

פלטה מכופפת עשויה לגרום לקצות התפרים להתפצל לשבבים אם יש שוני קטן ביותר בגובה, ולגרום לניקורים מכוערים בתפרים אם קיימים ראשי מסמר בולטים. איבוד תמיכת מצע גורם לתנועת המשטח כשמלגזה עוברת על התפר, והתוצאה היא שהקצוות מתחילים להיסדק ולהתבלות, ולאחר מכן נוצרים סדקים מקבילים למחבר. בלאי מסוג זה מצריך על פי רוב תיקון.

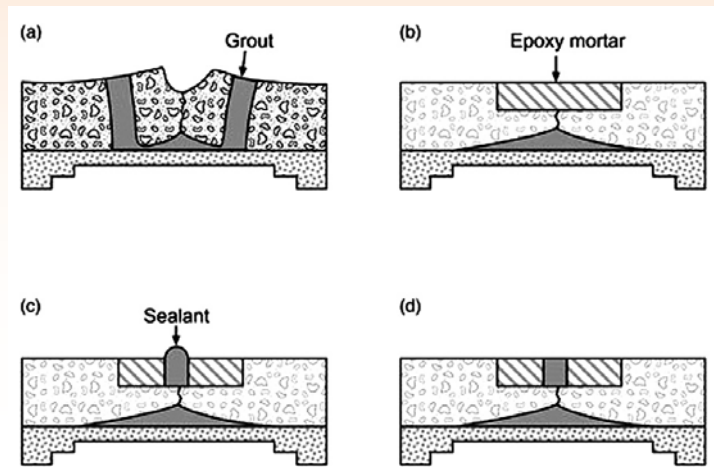
תיקון

ההחלטה לתקן משטח רצפת בטון מבוססת על הביצוע העתידי המצופה מהרצפה, ועל יחס עלות-תועלת של התיקון.

גיל המשטח והתנועה המדודה של שולי תפר המשטח כשמלגזה עוברת על השוליים, מצביעים האם התיקון נחוץ. תנועה של פחות מ-2.5 מ"מ נחשבת סבירה, ושל למעלה מ-5 מ"מ נחשבת חמורה ומצריכה תיקון. בין 2.5 ל-5 מ"מ נחשב "תחום אפור".1. תיקונים במשטח עם תנועה של 5-2.5 מ"מ עשויים לשפר את ביצועי הרצפה, אבל לא לעמוד ביחסי עלות-תועלת וללא טיפול, הרצפות עשויות להתדרדר, אבל עדיין להיות סבירות.

תיקון משטח הרצפה בזמן שהיא עדיין מתעקלת, עשוי לסבך את הבעיה. תנאי הלחות של המשטח משתנים - מרוויה כשהבטון טרי, לייבוש מבוקר בזמן שימוש. אחרי שהפלטה מתייצבת בכל הקשור למחזור הלחות שלה (בצורה אופיינית, אחרי שתי עונות חימום), ניתן למדוד את התזוזה, וניתן לבחור שיטת תיקון. יש מגוון טכניקות בהן משתמשים לטיפול או להתמודדות עם התעקלות משטחים: המתנה, הצפה של המשטח העליון, התקנת תפרים נוספים, ליטוש, מילוי בדייס צמנטי וליטוש, טילוא והתקנת מיתדים.

- בעוד המשטח מתייבש והרטיבות הופכת יותר אחידה, ההתעקלות מופחתת לעיתים קרובות ללא התערבות. זחילת המשטח תחת משקלו העצמי, מפחית גם הוא את מידת ההתעקלות. מדידה ובקרה של תנועות



איור מס' 4: רצף פעולות בתיקון תפר מתקל

- א. מילוי החלל בד"ס צמנטי
 - ב. ניסור ומילוי
 - ג. חיתוך מחדש ומילוי התפר ד. התוצאה: תפר שטוח וחלק
- ניתן להשתמש בתפרים לבדם או בשילוב עם פרוצדורות אחרות, כדי לשפר העברת משאות ולהוריד למינימום תנועה משתנה. בגלל המחיר, מוטב להשתמש בהם באזורים של תנועה כבדה של משטח בעובי 150 ס"מ לפחות, שבהם תשתית רכה הופכת את המילוי בד"ס ללא מספק.

- המשטח עוזרות להחליט אם תיקונים הכרחיים.
- הרטבת החלק העליון של המשטח, מפחיתה זמנית או מבטלת את מידת ההתעקלות. לפעמים חותכים תפרים נוספים כשהמשטח ישר אחרי הרטבה.
- חיתוך תפרים נוספים בפינות המשטח או קווי האמצע של הפאנל (**איור 4**) אחרי עונת החימום הראשונה, עשוי להפחית את ההתעקלות עד 50%. תיקון זה אינו מתאים לרצפות עם תנועת מלגזות. אחרי עונת החימום השנייה, ניתן ללטש שוליים ופינות למרחק של עד 60-180 ס"מ מהשוליים המעוקלים. מפני שהליטוש הופך את המשטח לדק יותר, תיקון זה עשוי לא להתאים לאזורים עם תנועת מלגזות.
- אופיינית משתמשים במילוי בד"ס צמנטי וליטוש על רצפות הנתונות לתנועת מלגזות תכופה וכבדה. חורים נקדחים בשוליים מוגבהים ובפינות, וחללים שמתחת לפלטה ממולאים בד"ס. אחרי שהד"ס מתקשה, מלטשים את השוליים המעוקלים לפרופיל הרצפה הנדרש.
- חללים מתחת למשטח ממולאים בד"ס כמצוין לעיל, והאזור המכוסף מתוקן על ידי ניסור מסביב האזור שיש להטליא, שברית שבבים בבטון מתחת לפרופיל הרצוי, וטילוא לגובה הרצוי (**איור 4**). הטלאת עומק חלקית זו יחד עם מילוי בד"ס, מתאימה לאזורים עם תנועת מלגזות.

לסיכום

פלטות משטחי בטון נוטות להתעקל כלפי מעלה במחברים ובהקף, מה שגורם לבעיות במבנים מסחריים ותעשייתיים. כתוצאה מכך, רצפות עשויות להתבלות במהירות, לגרום לבעיות בטיחות ולהזדקק לתיקון. למרות שניתן לתקן את רוב הפלטות, אפשר למזער התעקלות על ידי שליטה קפדנית במרכיבי תערובת הבטון, ועל ידי טיפול אופציות התיקון הזמינות תלויות בתנאי השירות ובחומרת הבעיה. ■