

הנחיות לתכנון רחובות בערים

מבני מיסעות כבישים, משטחים ומדרכות



אוגוסט 2000

תמוז תש"ס

הנחיות לתכנון רחובות בערים

ל.ק.י - מהנדסי תחבורה יועצים
L.C.I – TRANSPORTATION ENGINEERS
CONSULTANTS



ביצוע
ועריכה
:

צוות הפרוייקט : דר' אילן ישי
דר' משה ליבנה
דר' יוסף קראוס

פיתוח התוכנה : דר' משה ליבנה

הנחיה ולווי : אינג' קרל רוס

ועדת היגוי : אינג' משה סוקולובסקי
אינג' יעקב אינבר
אינג' דן איתן

פ ת ח ד ב ר

קורא יקר,

החברת שבידך מביאה את החלק השלישי לתכנון רחובות עירוניים. חלק זה דן בתכנית מבנה של מיסעות התשתית התחבורתית של רחובות עירוניים.

הנחיות אלו מבוססות בעיקר על הניסיון שהצטבר בשכונות מגורים בארץ. לניסיון זה צורף גם ידע תיאורטי מתקדם וכן ניסיונם של אחרים, כפי שצוינו בחומר העזר שלווה הנחיות אלו.

בהכנת ההנחיות הושקע מאמץ רב במטרה להפכן הלכה למעשה ולשם כך דרוש שיתוף פעולה מצדך. הניסיון שיירכש בשימוש בהנחיות יאפשר את שיפורן והפיכתן לכלי תכנוני יעיל יותר. לכן נהיה אסרי תודה באם תביא לידיעת צוות ההיגוי את הערותיך והצעותיך השונות. ניתן להפנות השגות והערות ישירות ל- ל.ק.י.-מהנדסי תחבורה יועצים, ת.ד. 3896, חיפה 31037, פקס': 04-8245763, ד.אלקט': lci@netvision.net.il.

קרל רום

מנהל תחום כבישים ופתוח

משרד הבינוי והשיכון

חלק 3

מבני מיסעות כבישים, משטחים ומדרכות

תוכן עניינים

1.1	מבוא	1.1	1.
1.1	הקדמה	1.1	
1.2	מבנה ההנחיות	1.2	
1.2	מבנה מיסעה וחתך טיפוסי	1.3	
1.3	ציורים לסעיף 1	1.4	
2.1	משתני התנועה	2.1	2.
2.1	כללי	2.1	
2.1	סיווג הרחובות העירוניים	2.2	
2.3	עומסי הסרנים ופילוגם	2.3	
2.6	קטגוריות התנועה באזורים עירוניים שונים	2.4	
2.11	תנועה שקולה	2.5	
2.12	עמיסה סטטית בחניות	2.6	
2.12	תנועת הקמה	2.7	
2.13	תנועה בצמתים	2.8	
2.14	בחירת קטגוריית התנועה לתכנון	2.9	
2.14	ציורים לסעיף 2	2.10	
3.1	חקירת שתית וסקר חומרים	3.1	3.
3.1	הקדמה	3.1	
3.2	מטרות חקירת השתית	3.2	
3.3	חקירה כללית או ראשונית	3.3	
3.7	חקירה מוקדמת	3.4	
3.9	חקירה מפורטת	3.5	
3.12	סיכום	3.6	
4.1	מדרונות חפירה ומילוי	4.1	4.
4.1	הקדמה	4.1	
4.1	מדרונות חפורים	4.2	
4.4	סוללות מילוי ויציבותם	4.3	
4.6	תהליך הסלילה של מדרונות חפורים וסוללות	4.4	

5.1	תכנית מיסעות כפיפות	5.
5.1	עקומי תכינה	5.1
5.3	עומק הידוק השתית ושיעורו	5.2
5.4	עובי מסעות באיזורים צחיחים	5.3
5.5	מבנה מסעות על חרסיתות תופחות	5.4
5.6	המרת השכבות הגרנולריות של המסעה	5.5
5.7	דרישות הידוק שתית – תנועות כבדות	5.6
5.9	מריחות וריסוסי ביטומן	5.7
5.9	מבני מיסעות לחניות	5.8
5.10	מבני מיסעות למדרכות	5.9
5.10	תכינה בשלבים	5.10
5.11	שימוש בעקומי התכינה	5.11
5.11	ציורים לסעיף 5	5.12
6.1	תכנית מבני מסעות מאבנים משתלבות	.6
6.1	כללי	6.1
6.1	מבנה טיפוס	6.2
6.2	עקומי תכינה	6.3
6.2	דרישות איכות ממרכיבי המיסעה	6.4
6.3	ניקוז והידוק	6.5
6.3	פתרון בעיות מיוחדות בשתית	6.6
6.4	בחירת צורת האבנים האופטימלית	6.7
6.5	נוהלי ביצוע	6.8
6.5	תיחום המיסעה המשתלבת	6.9
6.6	שימוש באבנים משתלבות באיזורי שיפועים גדולים	6.10
6.7	אחזקה ושימוש חוזר באבנים	6.11
6.8	מבנה מיסעות למדרכות	6.12
6.8	ציורים לסעיף 6	6.13
7.1	חומר עזר	7.
7.1	כללי	7.1
7.1	מפרטים ותקנים	7.2
7.1	הנחיות תכנוניות לגיאומטריה ומבנה	7.3
7.2	שיטות תכינה	7.4

חלק ג'

מבני מיסעות כבישים, משטחים ומדרכות

1. מבוא

1.1 הקדמה

החלק הראשון של ההנחיות לתכנון רחובות בערים, דן בנושאי התכן הגיאומטרי של מערכת הכבישים העירוניים והחלק השני של ההנחיות הנ"ל, דן בנושאי התכן הגיאומטרי של צמתים עירוניים (במפלס אחד). כהמשך טבעי, מוקדש החלק השלישי של ההנחיות הנ"ל להצגה ופירוט של ההנחיות הנוגעות למבני מיסעות התשתית התחבורתית, הכוללת כבישים, רחבות ומדרכות.

המשמעות של המושג מבני מיסעות הינה מקיפה, וכוללת את כל האלמנטים הגיאומטריים והמיבניים הקשורים בסלילת הכביש, עבודות העפר, יציבות המדרונות, יציבות החפירות (או החציבות), מבנה המיסעה, טיב החומרים ועמידות האלמנטים השונים לאורך ימים בהשפעה המזיקה של הזמן, תהפוכות האקלים ועומסי התנועה.

ההנחיות המוצגות בפרקים הבאים של חלק זה מבוססות בעיקר על נסיון ישראלי מקומי ברשויות המקומיות ובמשרד הבינוי והשיכון, אך הן יונקות גם ממקורות אחרים כגון: מינהל הדרכים הפדראלי האמריקאי, מחלקת עבודות ציבוריות (מע"צ) בישראל ומחלקות דומות באוסטרליה, דרום אפריקה וכו', חיל ההנדסה האמריקאי, המעבדה הבריטית לדרכים ותחבורה, המכון הטכניוני לחקר התחבורה וכד'.

באופן כללי, ההנחיות קשורות בכל השלבים השונים הקשורים בהקמת התשתית התחבורתית – החל בסקרים המוקדמים, דרך תהליך התכנון וכלה בבצוע ובסלילה. בכל מקרה הנחיות תכנוניות אלה חייבות להיות מלוות על-ידי "המפרט הכללי הבין-משרדי לסלילת כבישים, רחבות ומסלולים בשדות תעופה" – מס' 51, וכן על-ידי המפרט המיוחד לעבודה הנדונה.

1.2 מבנה ההנחיות

מבנה ההנחיות בחלק זה קשור ועוקב אחר השלבים השונים המתייחסים להקמת רשת הכבישים, החניות, המדרכות והשבילים. הנושאים השונים שייסקרו בפרקים השונים הינם כדלקמן:

- א. ניתוח וסיווג גורמי התנועה.
- ב. חקירת שתית וסקר חומרים.
- ג. קביעת ערכים תכנוניים לשתית ולעבודות העפר.
- ד. עבודות עפר ושיפועי מדרונות.
- ה. תכנית מבנה המיסעה, עבור כבישים, רחובות, מדרכות, רחבות ורחובות משולבים הבנויים:
 - (1) ממיסעות כפיפות אספלטיות.
 - (2) ממיסעות מאבנים משתלבות.

1.3 מבנה מיסעה וחתך טיפוסי

האלמנטים הפיסיים השונים במבנה המיסעה מיוצגים בחתך לרוחב. בציור מס' 1.1 (ציורי ההנחיות מופיעים לאחר כל סעיף בהתאמה) מוצג חתך טיפוסי במבנה מיסעה כפיפה של כביש באיזור בלתי בנוי. האלמנטים המאפיינים חתך טיפוסי זה הינם, כדלקמן:

- א. מדרונות בחפירה או חציבה.
- ב. סוללות מילוי מהודקות.
- ג. תעלות ניקוז אורכיות.
- ד. שתית טבעית.
- ה. שתית מעובדת.
- ו. שכבות מצע.
- ז. שכבת תשתית.
- ח. ציפוי יסוד.
- ט. שכבה אספלטית מקשרת.
- י. ריסוס מאחה.

- יא. שכבה אספלטית נושאת.
- יב. שוליים סלולים.
- יג. שוליים בלתי סלולים.

החתך הטיפוסי בציור מס' 1.1 מייצג אלמנטים רבים הנכללים במבנה המיסעה. קיימים מקרים רבים בהם בחתך רוחב מסוים, או לאורך כל המיסעה, חסרים אחד או אחדים מכלל האלמנטים שהוזכרו מעלה. לדוגמא: חתך במילוי ללא סוללות מילוי מהודקות וללא תעלות ניקוז אורכיות או מבנה מיסעה לתנועה קלה ללא שכבת תשתית וללא שכבה אספלטית מקשרת.

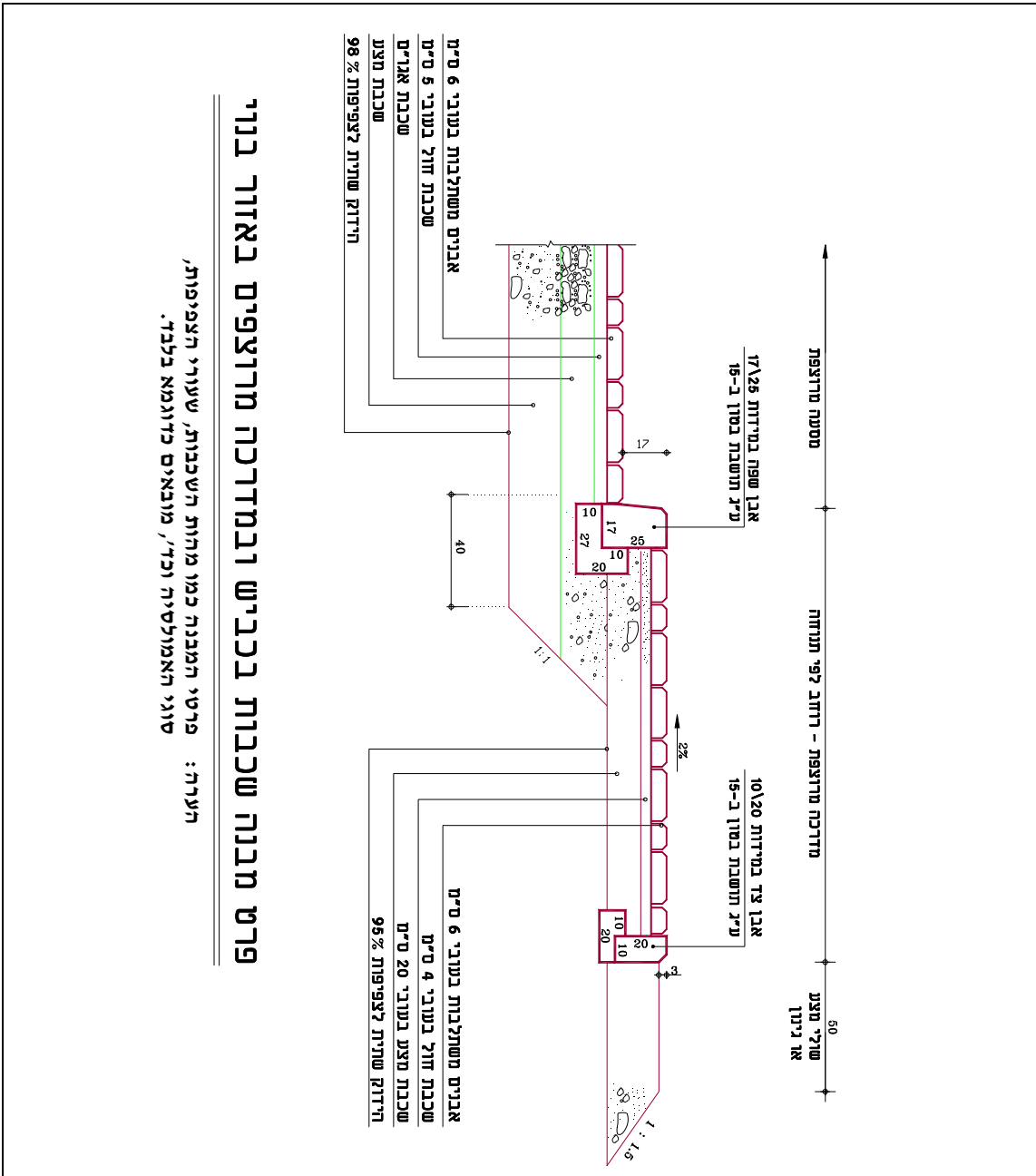
מצד שני, קיימים מקרים מיוחדים בהם יש להוסיף אלמנטים נוספים, כגון: גדר לאורך השפה העילית של מדרון החפירה התלול למניעת סכנת נפילה של אנשים, מעקות בטיחות במקרה של מילויים גבוהים, אבני שפה לתעול הניקוז וכד'.

החתך הטיפוסי בציור מס' 1.1 מתאר מבנה טיפוסי של מיסעה כפיפה באזור בלתי בנוי. באזורים בנויים יכול החתך אלמנטים נוספים כגון: אבני שפה, מדרכות, אבני צד, מערכות תיעול וכד' (לעניין זה ראה חתכים טיפוסיים לדוגמא, בציורים מס' 1.2 ועד 1.5). בכל מקרה, החתך לרוחב, המפורט הן מבחינת האלמנטים השונים והן מבחינת המימדים, יותאם לדרוגו של הכביש המסוים וכן לאופי השרות.

1.4 ציורים לסעיף 1

ציורי סעיף מס' 1 מובאים לאחר רשימת כותרות הציורים המפורטת להלן:

- ציור מס' 1.1 דוגמא לחתך רוחבי טיפוסי בדרך דו-נתיבית באזור בלתי בנוי
- ציור מס' 1.2 פרט מבנה שכבות בכבישים ובמדרכות באזור בנוי (כביש אספלטי ומדרכה מאבנים משתלבות)
- ציור מס' 1.3 פרט מבנה שכבות בכבישים ובמדרכות באזור בנוי (כביש ומדרכות מאבנים משתלבות)
- ציור מס' 1.4 פרט מבנה שכבות בכבישים ובמדרכות באזור בנוי (כביש ומדרכה אספלטיים)

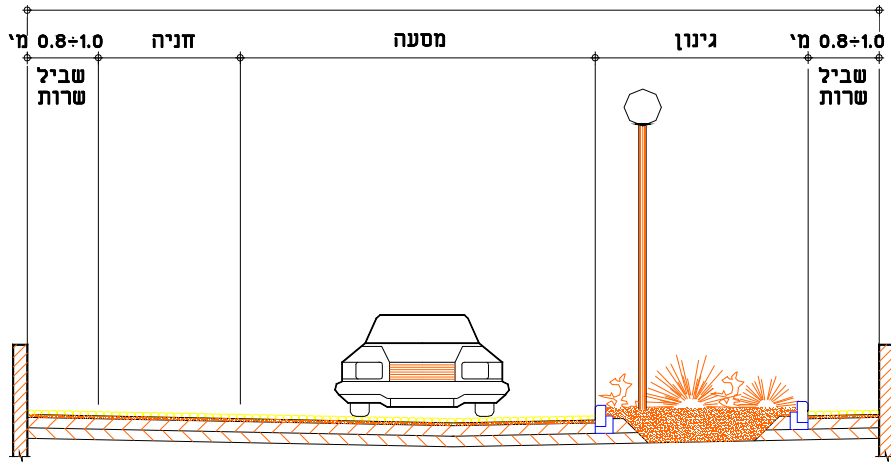


פרט מבנה שכבות בכביש ובמדרכה מרוצפים באזור בנוי

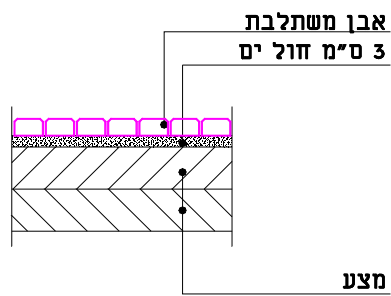
הערות: פריטי המבנה כמון מהות השכבות, שעורי הצפיפות, סוגי האמולסיה וכד', מובאים לדוגמא בלבד.

ציור מס' 1.3

ומדרכות מאבנים משתלבות בכבישים ובמדרכות באזור בנוי (כביש ומדרכות)



חתך טיפוסי



הערה: פרטי המבנה כמו מהות השכבות וכד', מובאים כדוגמא בלבד.

ציור מס' 1.5 דוגמא לחתך טיפוסי ברחוב משולב

2. משתני התנועה

2.1 כללי

מטרת מיסעת הדרך היא לשרת את תנועת כלי הרכב, כמשתמשים בלעדיים. משום כך ידיעת אופי משתני התנועה היא הכרחית לתכינת המיסעה. משתני התנועה הינם מורכבים ביותר והם כוללים את כל האינפורמציה המיוחסת לעומסי כלי הרכב המופעלים על המיסעה. תתי-הסעיפים הבאים מסכמים את אינפורמציות התנועה הדרושה לתכינה, תוך כדי, השוואת משתני התנועה לתכינה:

- א. עומסי הסרנים ופילוגם (אופי התנועה המעורבת).
- ב. תצורת הגלגלים או הסרנים של כלי הרכב.
- ג. לחץ מגע (לחץ חישוק) של גלגלי כלי הרכב השונים.
- ד. נפח ופילוג תנועת המשאיות במשך יום, חודש ושנה.
- ה. מהירות כלי הרכב.
- ו. פילוג רוחבי (נתיבי) של תנועת המשאיות בכביש.
- ז. אופי העומס (סטטי, דינאמי, עצירה או תאוצה).

משתני התנועה הם רבים ושונים ומרביתם תלויים באנשים, חוקים, טכנולוגיה וזמן. כל משתנה הינו מורכב ביותר לכשעצמו והקומבינציות ביניהם כמעט אין סופיות. משום כך, יהיה זה בלתי אפשרי להכליל כמותית את כל המשתנים הללו בנפרד במערכת התכינה, ולכן דרושות צורות פשוט להכללה ואיחוד מספר המשתנים לגורם תכינתי כולל.

בסעיפים הבאים מובאות שיטות שימושיות הנהוגות להכללה ואיחוד של משתני התנועה הנ"ל, כנתוני קלט במערכות חדישות לתכינת מיסעות, עם הדגש מיוחד לשכונות מגורים.

2.2 סיווג הרחובות העירוניים

משתני התנועה קשורים באופן מובהק בסיווג הרחובות העירוניים. לדוגמא, רחוב עורקי מכיל, בדרך-כלל, תנועה כבדה יותר ורבה יותר מרחוב מקומי. לכן, מן הראוי להביא כאן שוב את הגדרת סיווג הרחובות העירוניים. ההגדרות הבאות לקוחות מתוך החלק הראשון של ההנחיות לתכנון רחובות בערים:

א. דרך פרברית מהירה – זוהי דרך העוברת מחוץ לשכונות ולרובעים. מעבירה תנועה רבה של כלי-רכב למרחקים ארוכים בתוך העיר, ומשרתת תנועה העוברת דרך העיר אל צירי התנועה הבין-עירוניים. דרך פרברית מהירה מתחברת לרחובות עורקיים או לדרך פרברית מהירה אחרת.

ב. רחוב עורקי – זהו רחוב הנמצא בשולי השכונות והרובעים, מחבר בין הרובעים, משרת תנועה עוברת ומפזר את התנועה מהדרך הפרברית המהירה או מן הדרכים הבין-עירוניות אל רשת הרחובות המאספים.

ג. רחוב מאסף – זהו הרחוב המרכזי בשכונה, אשר יכול גם לחבר שכונות ברובע, מפזר תנועה מהרחוב העורקי אל רחובות מקומיים או אל שימושי הקרקע השונים בשכונה, משרת תנועה עוברת ותנועה ניגשת ומתחבר אל רחובות מקומיים, עורקיים או מאספים אחרים.

ד. רחוב מקומי – זהו רחוב העובר בתוך השכונה, משרת כמות קטנה של תנועה, אשר ברובה היא תנועה ניגשת, ומשמש לגישה ישירה אל המבנים ושימושי הקרקע השונים בהם קיימת פעילות. הסיווג של רחוב מקומי הינו רחב וכולל בתוכו רחובות רבים ובהם כאלה המכונים: רחוב שירות, רחוב שירות מוגבל ורחוב משולב. (רחוב משולב הינו רחוב בו הולכי הרגל משולבים בתנועת כלי הרכב במרחב משותף, שיכול לכלול גם משטחים המיועדים למשחקי ילדים, חניה וכד'. רחוב משולב בנוי בדרך-כלל מאבנים משתלבות).

סיווג הרחובות המובא לעיל מתאים בשלמותו רק לערים גדולות. ציור מס' 2.1 להלן מתאר מקטע טיפוסי של מערכת הרחובות העירוניים בעיר גדולה. יחד עם זאת, מן הראוי לציין, כי במציאות העירונית קיימים מצבים בהם לא ניתן להתאים את סווג הרחוב בצורה חד-משמעית על-פי כל המאפיינים המובאים בהגדרות לעיל. תופעה זו קיימת על-פי רוב באיזורים עירוניים, המאופיינים על-ידי עירוב של שימוש קרקע למסחר ולמגורים, ונוגעת בעיקר לרחוב מאסף. עקב תהליכים היסטוריים הקשורים בהתפתחות העיר, כולל הסוג של הרחוב המאסף מגוון רחב של רחובות, כגון: רחוב דו-נתיבי או ארבע-נתיבי, רחוב עם פעילות אינטנסיבית של מסחר והולכי-רגל, ורחוב עם פעילות מעטה של מסחר והולכי-רגל. לכן, ניתן למצא מספר רחובות קיימים אשר משלבים בתוכם תכונות של רחוב עורקי ורחוב מאסף או רחוב מקומי ומאסף. עובדה זו אינה רצויה, ובתכנון של רחובות חדשים על המתכנן לשאוף להגדרה חד-משמעית של סוג הרחוב. כדי לסווג באופן ברור יותר את הרחוב, מובאים להלן בטבלה מס' 2.1 מספר מאפיינים הקשורים לכל סוג של רחוב. מאפיינים אלו מקורם בתחומים הבאים:

(1) מאפיינים תכנוניים, הקשורים לתכנון המירקם העירוני בכללו, (2) מאפיינים תנועתיים, הקשורים לאופי התנועתי והתחבורתי של רשת הרחובות ו-(3) מאפיינים הנדסיים, הקשורים לתכן המפורט של הרחוב. המאפיינים הנדסיים של הרחובות העירוניים הינם נושאם של פרקים 3 ו-4, המובאים בהמשך.

כאמור, לא תמיד מתקיימים בסוג רחוב מסויים כל המאפיינים המוזכרים בטבלה, אולם על המתכנן לשאוף, כי ברחוב השייך לסיווג נתון יתקיימו מרבית המאפיינים שבטבלה מס' 2.1.

2.3 עומסי הסרנים ופילוגם

על-מנת למנוע ריכוז מאמצים הרסני במיסעה כתוצאה מעומס יתר של גלגלי כלי הרכב, קיימות בארץ וברחבי העולם הגבלות על העומס המותר לטרן. הגבלות אלה חייבות להיאכף תוך כדי פיקוח משטרתית מתאים הכולל שקילות משאיות עמוסות בדרכים וענישת העבריינים.

העומס המקסימלי המותר בארץ על-פי תקנות התעבורה הוא 13 טונות לטרן יחיד ו-21 טונות לצמד סרנים (טנדס). במציאות קיימת מגמה מתמדת של הובלת מטענים בעומס יתר, אשר לעיתים הוא מובהק. עומס יתר זה מהווה את אחת הסיבות לבלייה המהירה של הכבישים בארץ, גם כאשר מביאים חלק של גורם זה בעת התכניה של המיסעות השונות.

בנוסף לעומס הטרן המקסימלי חשוב לדעת את פילוג סוגי כלי הרכב הנעים בדרך-כלל בשכונת מגורים, וזאת על-מנת להביא בחשבון את אופי התנועה בתיכנון המיסעה הרציונלי. סוגי התנועה של כלי הרכב הכבדים האפשריים בשכונת מגורים הם: תנועה כללית, איסוף אשפה, אוטובוסים בקווי שרות ותנועה בזמן הבניה.

בשכונות מגורים, חלק ממספר הנסיעות מתייחס למספר יחידות הדיור המשורתות (NDU) והחלק האחר מתייחס למספר יחידות הדיור השקולות לתכנון (DDU), כדלקמן:

$$DDU = NDU + 400 \times SM + 100 \times SC \quad (2.1)$$

טבלה מס' 2.1 מאפיינים של סוגי הרחובות העירוניים

מאפיין	סוג רחוב		
	רחוב מקומי	רחוב מאסף	רחוב עורקי
מאפיינים תכנוניים			
1. יעוד	מחבר בין שימושי הקרקע השונים	מחבר בין השכונות ברובע	מחבר בין רובעים
	מחבר בין ערים או בין אזורים		

מטרופולין מתחברת לרחוב עורקי או לדרך פרברית מהירה אחרת מיועדת להעברת כמויות גדולות של רכב, במהירות גבוהה	מחבר רחוב מאסף עם דרך פרברית מהירה או מתחבר עם רחוב עורקי אחר	משמש רחוב מרכזי בשכונה משרת תנועה מקומית של השכונה והרובע מחבר רחוב מקומי עם רחוב עורקי או מתחבר לרחוב מאסף אחר	בשכונה משרת תנועה מקומית של השכונה מתחבר לרחוב מאסף או לרחוב מקומי אחר מספק נגישות ישירה למגרשים	
חיצוני חיצוני	חיצוני חיצוני או פנימי	פנימי או חיצוני פנימי	פנימי פנימי	2. מיקום ביחס: לשכונה לרובע
לא	לא	כן – בהגבלה	כן	3. אפשרות גישה ישירה לשימושי קרקע
שימושים שאינם רגישים למטרדי רעש שימושי קרקע ללא גישת הולכי-רגל	שימושי קרקע שונים ללא גישה ישירה מן הרחוב אל החזיתות או הכניסות	מגורים, מרכז מסחרי, מוסדות ציבור מרכזיים, כגון: בייס-על-יסודי, מרכז קהילתי, מרפאה	מגורים, שטחים ירוקים, מוסדות, שכונות, כגון: בתי- ספר, גני ילדים	4. שימושי קרקע הגובלים עם הרחוב או הדרך
מאפיינים תנועתיים ותחבורתיים				
מלאה אין צמתים במפלס אחד	צמתים מוסדרים ומרומזרים	חלק מהצמתים מרומזרים	אין כלל	5. בקרת גישות
אין חניה	אין חניה	חניה מקבילה במפרצים וחניה ניצבת במפרצים מופרדים מן התנועה העוברת	חניה חופשית. כמעט ללא הגבלות (כולל התקנת חניה ניצבת)	6. אפשרות חניה לאורך הרחוב
זרימה חופשית	זרימת חופשית פרט לצמתים ומעברי חציה	זרימה מוגבלת	זרימה מאולצת	7. אופי זרימת התנועה
0%-5%	5%-15%	10%-25%	50%-70%	8. אחוז מהאורך הכללי של רשת הכבישים העירונית
15%-35%	30%-65%	25%-30%	עד 10%	9. אחוז מכלל הנסיעות המתבצעות במערכת (בק"מ/רכב)
לא	כן בנתיב בלעדי לתחבורה ציבורית או במפרצים	כן	לא	10. קיום תחנות אוטובוס
מעל 30,000	5,000-30,000	1,000-10,000	קטן מ-1,000	11. נפח תנועה יומי (אופייני)
מעל 5,000	500-700	250-300	----	12. מרחקים אופייניים בין צמתים עם רחובות מאותו סוג (מ')
1,000-2,500	250-350	75-100	----	13. מרחקים אופייניים בין צמתים עם רחובות במדרג נמוך יותר (מ')
עוברת	עוברת	מקומית ועוברת	מקומית	14. אופי התנועה אותה משרת הכביש
לא במסגרת זו			ראה פרקים 3-4 בחלק א' של ההנחיות	15. מאפיינים הנדסיים

כאשר :

- DDU – מספר יחידות הדיור השקולות לתכנון ;
- NDU – מספר יחידות הדיור המשורתות בפועל ;
- SM – משתנה בינארי; ערכו הוא 1.0 אם המיסעה משרתת מרכול שכונתי, ואפס אם לא ;
- SC – משתנה בינארי; ערכו הוא 1.0 אם המיסעה משרתת מרכז קניות שכונתי, ואפס אם לא.

מספר הנסיעות המבוצעות בשכונת מגורים מחושב בעזרת טבלה מס' 2.2. כמו-כן, מביאה טבלה זו את מאפייני הרכב (לאמור את משקל הסרנים ומספר הגלגלים), הקשורים בנסיעות אלו. מן הראוי לציין, כי הערכים המובאים בטבלה מבוססים על עבודת מחקר "תכינת מיסעות גמישות ברחובות שכונתיים-עירוניים בישראל", שבוצעה עבור משרד הבינוי והשיכון.

טבלה מס' 2.2 חישוב מספר הנסיעות (לשני הכיוונים) ברחוב מקומי וברחוב מאסף

מספר נסיעות של אוטובוסים לשני הכיוונים		מספר נסיעות של משאיות לשני הכיוונים			מאפייני הרכב	
ליום ליחידת DDU	ליום אחד לקו אופייני	כולל ליחידת NDU ברחוב מקומי או מאסף	ליום ליחידת DDU ברחוב מאסף	ליום ליחידת DDU ברחוב מקומי	מספר גלגלים כולל	קבוצת עומס סרן בטונות
7	6	5	4	3	2	1
---	---	---	0.067	0.035	2	2.6
					4	4.0
---	---	---	0.028	0.015	2	5.0
					4	9.5
---	---	---	0.002	0.002	2	5.8
					4	10.2
---	---	9.0	---	---	2	5.5
					4	11.0
---	---	11.0	---	---	2	6.0
					8	22.0
0.02	100.0	---	---	---	2	6.5

					4	10.5
--	--	--	--	--	---	------

בטבלה מס' 2.2 מספר נסיעות ליום של משאיות (עמודות 3 ו-4) מבטא את התנועה הצפויה בימי חול בלבד. באופן משלים, מספר נסיעות כולל של משאיות (עמודה 5) מבטא את סיכום התנועה הצפויה בזמן הקמת האתר. מספר הנסיעות של האוטובוסים בא לידי ביטוי רק כאשר קיים (או קיימים) קו (או קווי) אוטובוס בסביבה. התנועה הצפויה היא על-פי אחת משתי האפשרויות הבאות: (א) מספר נסיעות ליום חול ממוצע לקו אוטובוס אחד אופייני או (ב) נסיעות (לשני הכיוונים) ליום חול ממוצע ל-100 יחידות דיור לתכנון (DDU). באוטובוסים אלו, משקל הסרן האחורי (דו-גלגל) הוא 10.5 טון ומשקל הסרן הקדמי הוא 6.5 טון.

על-מנת לקבל את מספר הנסיעות השנתי יש להכפיל את מספר הנסיעות היומי ב-300. באופן מקביל, על-מנת לקבל את מספר הנסיעות למשך כל תקופת התכנון יש להביא בחשבון את אחוז גידול התנועה בשעור של 1%. גידול (במודל של ריבית דריבית) זה הוא לתנועה הכללית בלבד. במילים אחרות, סכום הנסיעות של התנועה הכללית, למשך כל תקופת התכנון שווה למכפלת מספר הנסיעות השנתי בערך $(1.01^{19}-1)/100$, השווה ל-21%.

לבסוף, את המרת מספר הנסיעות הנ"ל למספר תנועות בנתיב הקריטי, מבצעים על-ידי מכפלת התוצאה הסופית בערכי ההמרה המוצגים בטבלה מס' 2.3.

טבלה מס' 2.3 ערכי המרת מספר הנסיעות למספר התנועות בנתיב הקריטי

סה"כ רוחב המיסעה בשני הכיוונים במטר	ערך התרגום
קטן מ - 5.0	1.00
5.0 - 6.0	0.70
6.0 - 12.0	0.50
גדול מ - 12.0	0.45

2.4 קטגוריות התנועה באזורים עירוניים שונים

בסעיף זה מובאים הפרמטרים השונים הקשורים בהגדרת קטגוריית התנועה באזורים עירוניים שונים (סימול קטגוריית התנועה הוא בהתאם לטבלה מס' 2.6). פרמטרים אלו הם:

עבור רחוב משולב ורחוב ללא מוצא:

- תנועה מזדמנת (1) – תנועה המשרתת מקסימום 150 יחידות דיור.
- תנועה קלה מאד (2) – תנועה המשרתת בין 150 עד 450 יחידות דיור, כאשר בשכונה מצוי מרכז קנייה.
- תנועה קלה (3) – תנועה המשרתת בין 450 יחידות דיור עד 1,500 יחידות דיור, כאשר בשכונה מצוי מרכול שכונתי.

עבור רחוב מאסף:

- תנועה בינונית קלה (4) – תנועה המשרתת עד 2,000 יחידות דיור, כאשר בשכונה מצויה תנועת אוטובוסים על-פי מספר נסיעות ליחידת DDU ומערכת אחת של מרכול ומרכז קניות שכונתיים.
- תנועה בינונית כבדה (5) – תנועה המשרתת בין 2,000 יחידות דיור עד 15,000 יחידות דיור, כאשר בשכונה מצוי קו אוטובוס אחד ומערכת אחת של מרכול ומרכז קניות שכונתיים.

עבור רחוב עורקי:

עוצמת התנועה עבור רחוב זה מחושבת בשלב זה על-פי ידיעת נפח התנועה הכללי (כולל רכב פרטי), לרבות אחוז המשאיות ואחוז האוטובוסים. עבור רחוב זה מוגדרות בהמשך שתי תנועות: תנועה כבדה (6) ו- תנועה כבדה מאוד (7). התנועה המינימלית עבור רחוב זה הינה תנועה בינונית כבדה (5), עם מספר התנועות השקולות של סרן סטנדרטי לפי AASHTO, כמובא בטבלה מס' 2.6.

על-פי הנתונים של סעיף 2.3 (לרבות טבלאות מס' 2.2 ו-2.3) ניתן לקבוע את הערכים של תנועות הסרנים השונים בנתיב הקריטי לאורך כל תקופת התכנון (20 שנה). ערכים אלו עבור חמשת קטגוריות התנועה הראשונות (המתאימים לרחובות מקומיים ומאספים בלבד), מובאים בטבלה מס' 2.4.

טבלה מס' 2.4 מספר תנועות הסרנים בנתיב הקריטי לאורך כל תקופת

התכנון ברחובות מקומיים וברחובות מאפסים

מספר תנועות כולל בנתיב הקריטי עבור קטגוריית התנועה הבאה					מאפייני הרכב	
בינונית כבדה	בינונית קלה	קלה	קלה מאוד	קלה מזדמנת	מספר גלגלים כולל	קבוצת עומס סרן בטונות
3,241,817	522,874	207,589	60,091	22,944	2	2.6
1,354,789	218,514	88,967	25,753	9,833	2	5.0
135,000	18,000	13,500	4,050	1,350	2	5.5
96,771	15,608	11,862	3,434	1,311	2	5.8
165,000	22,000	16,500	4,950	1,650	2	6.0
312,163	156,082	---	---	---	2	6.5
3,241,817	522,874	207,589	60,091	22,944	4	4.0
1,354,789	218,514	88,967	25,753	9,833	4	9.5
96,771	15,608	11,862	3,434	1,311	4	10.2
312,163	156,082	---	---	---	4	10.5
135,000	18,000	13,500	4,050	1,350	4	11.0
165,000	22,000	16,500	4,950	1,650	8	22.0

משלים עבור רחוב עורקי, התפלגות עומסי הסרנים של כלי הרכב הכבדים (אוטובוסים ומשאיות), נקבעת על-פי ההתפלגות הסטנדרטית שאומצה על-ידי מע"צ עבור שיטת התכנה למבני מיסעות כפיפות בדרכים בינעירוניות (ראה טבלה מס' 2.5). התפלגות סטנדרטית זו מתוקנת עבור תנועה אורבנית בעזרת שני מקדמי התיקון הבאים:

מקדם התיקון למשאיות (TF), המוגדר ככופל ההגדלה במספר הסטנדרטי של סרני הטנדם הכבדים (8 גלגלים בסרן), למאה משאיות.

מקדם התיקון לאוטובוסים (BF), המוגדר ככופל ההגדלה במספר הסטנדרטי של סרני הדו-גלגל הכבדים (4 גלגלים בסרן) למאה אוטובוסים.

נוסחאות חישוב אלו להתפלגות המתוקנת של עומסי הסרנים הן:

משאיות:

$$TA_j = 1.0 \times TD_j \quad (א2.2)$$

עבור, j שווה 1, 2 ו-3-

$$TA_j = TF \times TD_j \quad (ב2.2)$$

עבור, j שווה 8, 12, 13 ו-14

$$TA_j = TRF \times TD_j \quad (ג2.2)$$

עבור, j שווה 4, 5, 6, 7, 9 ו-10

$$TRF = \frac{\sum_4^{14} TD_j - TF \times \left(TD_8 + \sum_{12}^{14} TD_j \right)}{\sum_4^7 TD_j + \sum_9^{11} TD_j} \quad (ד2.2)$$

כאשר,

- j – מיספור הקטגוריה של קבוצת עומס הסרן (על-פי העמודה הראשונה של טבלה מס' 2.5);
- TD_j – מספר סרנים סטנדרטי למאה משאיות עבור כל קבוצת עומסי סרן במיספור הנ"ל של j;
- TA_j – מספר סרנים מתוקן למאה משאיות עבור קבוצת עומסי סרן במספור הנ"ל של j;
- TF – כופל ההגדלה במספר הסטנדרטי של סרני הטנדם הכבדים (8 גלגלים בסרן) למאה משאיות;
- TRF – מקדם הפחתה למשאיות על-מנת לשמור את $\sum TA_j$ קבוע גם לאחר התיקון (לאמור לשמור את השוויון לפיו $\sum TA_j$ זהה ל- $\sum TD_j$).

אוטובוסים:

$$BA_j = 1.0 \times BD_j \quad (א2.3)$$

עבור, j שווה 2

$$BA_j = BRF \times BD_j \quad (ב2.3)$$

עבור, j שווה 4 ו-5

$$BA_j = BF \times BD_j \quad (ג2.3)$$

עבור, j שווה 6

$$BRF = \frac{\sum_4^6 BD_j - BF \times BD_6}{\sum_4^5 BD_j} \quad (ד2.3)$$

כאשר,

- BD_j – מספר סרנים סטנדרטי למאה אוטובוסים עבור כל קבוצת עומסי סרן במיספור j (על-פי העמודה הראשונה של טבלה מס' 2.5);
 - BA_j – מספר סרנים מתוקן למאה אוטובוסים עבור כל קבוצת עומסי סרן במיספור הנ"ל של j;
 - BF – כופל ההגדלה במספר הסטנדרטי של סרני הדו-גלגל הכבדים (4 גלגלים בסרן) למאה אוטובוסים;
 - BRF – מקדם הפחתה לאוטובוסים על-מנת לשמור את ΣBA_j קבוע גם לאחר התיקון (לאמור לשמור את השוויון לפיו ΣBA_j זהה ל- ΣBD_j).
- על-פי תוכנת TRUKS אפשר להראות, כי עבור דרכים עורקיות TF=0.5 ו-BF=1.0. התפלגות המתוקנת באמצעות שני ערכים אלו מובאת אף היא בטבלה מס' 2.5.

טבלה מס' 2.5 התפלגות סטנדרטית ומתוקנת של עומסי הסרנים של כלי הרכב הכבדים

מספר סרנים מתוקן למאה אוטובוסים	מספר סרנים מתוקן למאה משאיות	מקדם התיקון לסרני אוטובוסים	מקדם התיקון לסרני משאיות	מספר סרנים למאה אוטובוסים	מספר סרנים למאה משאיות	מספר גלגלים כולל	קבוצת עומס סרן בטונות	מיספור קבוצת עומסי סרן
---	33.8	---	1.00	---	33.8	2	3	1
100.0	50.4	1.00	1.00	100.0	50.4	2	5	2
---	15.7	---	1.00	---	15.7	2	7	3
42.6	40.9	1.00	1.08	42.6	37.7	4	7	4
42.6	10.5	1.00	1.08	42.6	9.7	4	9	5
14.8	15.3	1.00	1.08	14.8	14.1	4	11	6
---	5.7	---	1.08	---	5.3	4	13	7
---	1.2	---	0.50	---	2.3	4	15	8
---	18.2	---	1.08	---	16.8	8	14	9
---	18.2	---	1.08	---	16.8	8	18	10
---	5.9	---	1.08	---	5.4	8	22	11
---	4.0	---	0.50	---	8.0	8	26	12
---	3.6	---	0.50	---	7.2	8	30	13
---	0.2	---	0.50	---	0.3	8	34	14
200.0	223.5			200.0	223.5	סה"כ:		

הערות:

1. בסיווג הנ"ל, אפשריים שינויים בהתאם לנוכחות קווי אוטובוסים ברחוב המקומי, נוכחות קווי אוטובוסים נוספים ברחוב המאסף וכו'.
 2. אין התייחסות בהנחיות אלה לכבישים הנמצאים באיזורים תעשייתיים.
 3. בכבישים עירוניים בהם משתלבת תנועה של הרשת הארצית (תנועה עוברת) עוצמת התנועה נקבעת על-פי ידיעת נפח התנועה הכולל העובר ברחוב זה. במקרה זה התפלגות הסרנים היא לפי טבלה מס' 2.5. התנועה המינימלית עבור רחוב בו משתלבת תנועה עוברת ארצית היא תנועה כבדה.
- לסיום יש לזכור, שמספר התנועות אינו מבטא את נפח התנועה. באותם המיקרים בהם מבנה השכונה יוצר תנאים חריגים, יש לחשב את התנועה השקולה מתוך חיזוי התנועה הכללית (כולל רכב פרטי), בדרך המוצעת לחשוב התנועה השקולה ברחוב העורקי.

2.5 תנועה שקולה

מספר שיטות תכינה מתבססות על המרת התנועה המעורבת של כלי הרכב השונים בתנועות שקולות של סרן סטנדרטי השווה ל-18,000 ליבראות (8.2 טון). המרה כזו נעשית כאן על-פי שיטת AASHTO.

מקדמי האקווילנציה בשיטה זו מחושבים בעזרת שני הביטויים הבאים:
עבור סרן יחיד חד-גלגל ודו-גלגל:

$$ESAL_{Aj} = W_{Pj} \left(\frac{P_j}{8.2} \right)^4 \quad (2.4)$$

עבור סרן כפול דו-גלגל:

$$ESAL_{Aj} = W_{Pj} \left(\frac{P_j}{14.8} \right)^4 \quad (2.5)$$

כאשר,

- $ESAL_{Aj}$ מספר תנועות שקולות לפי AASHTO של הסרן j;
- W_{Pj} מספר תנועות בפועל של הסרן j;
- P_j עומס בטונות של הסרן j.

פלט חישובי המרות התנועה המתבסס על הנתונים של סעיף 2.4 ושתי הנוסחאות הנ"ל מובא בטבלה מס' 2.6. פלט זה מתייחס, כמובן, עבור חמשת קטגוריות התנועה הראשונות. עבור

שתי הקטגוריות האחרונות (תנועה כבדה ותנועה כבדה מאוד) ערכי מספר התנועות השקולות של סרן סטנדרטי מהווים את ההגדרה לקטגוריית תנועה אלו.

כדאי להעיר, כי מספר התנועות השקולות של סרן סטנדרטי שנקבע בטבלה מס' 2.6 לתנועה כבדה מקביל לנפח תנועה (לשני הכיוונים) של 12,500 ביממה בכביש רב-נתיבי עם 4.0% משאיות ו-2.0% אוטובוסים וגידול תנועה של 4.0% לאורך 20 שנה. באופן דומה, מספר התנועות השקולות של סרן סטנדרטי שנקבע בטבלה הנ"ל לתנועה כבדה מאוד מקביל לנפח תנועה (לשני הכיוונים) של 120,000 ביממה בכביש רב-נתיבי עם 4.0% משאיות ו-2.0% אוטובוסים וגידול תנועה של 4.0% לאורך 20 שנה.

טבלה מס' 2.6 מספר התנועות השקולות לפי AASHTO בנתיב הקריטי לאורך כל תקופת התכנון (20 שנה)

מספר תנועות של סרן סטנדרטי (על-פי AASHTO 18,000 ליבראות)	סימול התנועה	קטגוריית התנועה
$0.0 \times 10^4 - 3.8 \times 10^4$	1	מזדמנת
$3.8 \times 10^4 - 1.0 \times 10^5$	2	קלה מאוד
$1.0 \times 10^5 - 3.6 \times 10^5$	3	קלה
$3.6 \times 10^5 - 1.2 \times 10^6$	4	בינונית קלה
$1.2 \times 10^6 - 5.5 \times 10^6$	5	בינונית כבדה
$5.5 \times 10^6 - 1.5 \times 10^7$	6	כבדה
$1.5 \times 10^7 - 8.0 \times 10^7$	7	כבדה מאוד

2.6 עמיסה סטטית בחניות

במקרה של חניות או משטחים עם עמיסה סטטית, תוערך התנועה או בהתאם לכבישי הגישה המובילים או יוצאים מאזורים אלה, או כאשר מספר כלי הרכב החונים לזמן ארוך יחשב כמספר יומי של כלי-רכב עוברים (ראה גם סעיף 5.8).

2.7 תנועת הקמה

כבישים רבים בשכונות מגורים נסללים טרם הקמת השכונה. במקרה זה, בתקופת השרות הראשונה, חשופה המיסעה לתנועת ההקמה הכבדה הקשורה בעומסי חומרי הבנייה ופתוח

השטח. בכל מקרה, יש להעריך תנועת הקמה זו ולהתחשב בה, כנקודת מוצא להערכה זו אפשר להשתמש בטבלה מס' 2.2. כמו-כן, מומלץ במקרה זה לסלול את המיסעה בשלבים ולהשאיר את סלילת השכבות העליונות רק לאחר סיום החלק הארי של הבנייה והאכלוס ולאחר תיקון נזקי המיסעה, שנבעו מתנועת ההקמה.

במקרה של מיסעה גמישה אספלטית הסלילה בשלבים יכולה להתבצע בסלילת השכבות הגרנולריות בלבד בשלב הבנייה, תוספת של טפול שטח (כגון דייס ביטומני) בשלב האכלוס וסלילת השכבות האספלטיות לאחר סיום הבנייה והאכלוס. בשלבי הבניים והאכלוס ניתן להחליף את אחת השכבות הגרנולריות בתשתית אספלטית ובכך לספק תנאי סביבה חיוביים בשלבי האכלוס. (פרוט נוסף ראה בסעיף 5.10).

במקרה של מיסעה מאבנים משתלבות ניתן גם כאן לבצע את הסלילה בשלבים בדומה למיסעה הגמישה האספלטית, ולהמתין לסלילת שכבת ההנחה ושכבת הריצוף לאחר סיום הבנייה והאכלוס. במקרה של מיסעה משתלבת, קיימת בעייה של חדירת מים וכליאתם בין שכבת הריצוף לשכבות האטומות שנסללות בעת הבנייה (תשתית אספלטית או דייס ביטומני).

2.8 תנועה בצמתים

את תכינת מבנה המיסעה באזור הצומת יש לבצע עבור סכום התנועות החוצות את הצומת. אזור הצומת מוגדר בשטח החופף. בנוסף לכך יש לבצע בזרועות הכניסה (או היציאה) באורך של 50 מטר מכל צד את המעבר מהעובי הרגיל לעובי המתוגבר של הצומת.

2.9 בחירת קטגורית התנועה לתכנון

את קטגורית התנועה לתכנון, המוצבת בעקומים לתכינת מבנה המיסעה (ר' סעיף 5.1) ניתן לקבוע בכמה אופנים:




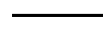

- א. בהסתמך על סוג הרחוב ומספר יחידות הדיור כמתואר בסעיף 2.4.
 - ב. כאשר קיימים נתוני תנועה חזויים כמותיים (המאפשרים את חישוב סכום הערכים של התנועה השקולה ($\Sigma ESAL_A$)). קטגורית התנועה נקבעת ישירות בהתאם לטבלה מס' 2.6.
- את קטגורית התנועה לתכנון ניתן גם לחשב ישירות עבור כל איפיון תנועה, וזאת באמצעות תוכנת האקסל המצורפת להנחיות אלו.

2.10 ציורים לסעיף 2

ציור סעיף מס' 2 מובא לאחר ציון כותרתו להלן:

ציור מס' 2.1 רשת הרחובות העירוניים על סיווגה



-  דרך פרברית מהירה
-  רחוב עורקי
-  רחוב מאסף
-  רחוב מקומי
-  אזור מגורים

ציור מס' 2.1 רשת הרחובות העירוניים על סיווגה

3. חקירת שתית וסקר חומרים

3.1 הקדמה

מידע על טיב הקרקע והחומרים באיזור הקמת השכונה, הרחוב, המשטח, יישור הקרקע או מבנה הנדסי כלשהו דרוש עבור התכנון, התכן, הביצוע והאחזקה של המבנה. מסיבה זו, חקירת השתית וסקר החומרים מתחילים בשלבים הראשונים של התכן ונמשכים עד לגמר ביצוע הפרוייקט. טיב החומרים הינו חשוב (א) בבחירת מיקומו של התוואי, או במיקום מבנים אחרים; (ב) בתכן המפורט של המבנה. חוסר נתונים על תכונות הקרקע, השתית והחומרים עלול לייקר את עלות הפרוייקט ולגרום אף לשיבושים במהלך ביצועו. באופן כללי ולמרות שהדבר יכול להראות כ"בזבזני", חשוב "להעמיק" את החקירות ולהרחיבם מאשר להסתפק במידע חסר. הצטמצמות בעלות חקירת השתית וסקר החומרים עלול להביא למבנה בלתי רצוי.

יש לציין שרובו של פרק זה מתבסס על החומר המובא ברשימות בלימוד "פרקים בתכן מבני מיסעות כפיפות", ולרוב אף כלשונו ממקור זה.

השלבים השונים שבחקירת השתית וסקר חומרים הם:

א. חקירה כללית או ראשונית: המידע והנתונים שמתקבלים בשלב זה נועדים להערכת כדאיות הנדסית וכלכלית של מבנה המיסעה ועבודות העפר. במילים אחרות, החקירות צריכות לאפשר ציון היתרונות והחסרונות של החלופות השונות, בדרגת מהימנות סבירה ולבחור את ה"טובות" ביותר. מתוך כך, החקירה הראשונית כוללת לרוב איסוף מידע קיים, סיורים, ובמקרים מיוחדים בלבד כמות מוגבלת ביותר של בדיקות קרקע על-פני השטח ובעומק מוגבל מתחת לפני השטח.

ב. חקירה מוקדמת: נועדה לספק נתונים לתכן מוקדם של החלופות הנבדקות או הנבחרות. תכנון שלב זה נעשה בעזרת הנתונים של החקירה הכללית וכולל חקירת השתית הן על-פני השטח והן מתחת לפני השטח. החקירה עדיין משתרעת על איזור גדול וצריכה לאפשר שרטוט חתכים של קרקע לאורך ולרוחב התוואי או בשטח המבנה.

ג. חקירה מפורטת: נועדה לספק נתונים לתכן המפורט. תכנית הבדיקות המפורטת מתייחסת לשטח הסלילה בלבד.

ד. מעקב: המעקב תוך כדי ביצוע הפרוייקט נועד לבדוק את ההנחות שנעשו בשלב הקודם ולהשלים מידע, ואף לגרום לשינויים המתחייבים ממעקב זה תוך כדי ביצוע הפרוייקט.

כל שלב של החקירה, חייב להיכלל בדו"ח מפורט, כדי שהמידע יוכל לשמש להמשך החקירה לאחזקת המבנה, ולמקור מידע לתכנון מבנים סמוכים.

כדאי לציין, כי אין השלבים הנ"ל מהווים מסגרת קשיחה: במקרים מסוימים, ולדוגמה, כאשר תנאים ייחודיים מכתיבים את מיקומו של התוואי, ניתן לאחד את השלבים ב' ו-ג' או לוותר על שלב ב' (חקירה מוקדמת) ועל-ידי כך לחסוך בעלות החקירה, מבלי לפגוע באיכותה. במקרים אחרים, הניסיון המקומי המצטבר והידע בשטח של המהנדס יכול להביא לצמצום החקירה, על-ידי הכוונת החקירה לאזורים הבעייתיים הלא ידועים.

חקירת השתית וסקר החומרים הם נושא מורכב למדי הדורש ידע, ניסיון בשטחים שונים ורבים כמו גיאומכניקה, תכן מבנה דרכים, גיאולוגיה שימושית, גיאופיזיקה שימושית. כן נדרשת תושייה הנדסית וסקרנות מקצועית. חקירת השתית דורשת צוותים מאומנים ובעלי ידע וניסיון רחבים מאוד.

3.2 מטרות חקירת השתית

באופן כללי, מטרת חקירת השתית היא לקבוע לאורך התוואי או על-פני השטח ובסמוך לו את חתך הקרקעות ותכונותיהם אשר משפיעות על התכן, ההקמה ואחזקת רשת הכבישים. חקירת השתית וסקר החומרים צריכים לספק את המידע הדרוש לתכן הדרך בנקודות הבאות:

א. בבחירת תוואי הרחוב (אם תוכנית הבינוי מאפשרת דרגות חופש לכך), ו/או בדיקת התאמתו לבניית הדרך.

ב. בחיפוש או בחירה של חומרי המילוי והמבנה.

ג. בתכן החתך לרוחב ושיפועי המדרונות.

ד. בניקוז עילי ותת-קרקעי.

ה. בתכנון עיבוד השתית ותכנון עובי המבנה.
ו. בטיפולים מיוחדים כגון ייצוב השתית ו/או החומרים המצויים להתאמתם לשמש למבנה המיסעה.

החקירה מכוונת להשגת המטרות הבאות:

א. מיפוי הקרקעות השונות כולל קביעת מיקום, עובי, תיאור, מיון, טקסטורה וכיוון השכבתיות של הקרקעות. מיפוי זה כולל גם נתונים גיאולוגיים של היווצרות הקרקעות והרכבם: במקרה של המצאות שכבת סלע, יש לקבוע את עומקה, עוביה, סוגה, מידת הסדקותה ושפועה.

ב. מיפוי מי התהום הרגילים והתלויים ותכולת המלחים במים.

ג. לימוד החומרים.

אופן ביצוע החקירה מפורט בהמשך בכל שלב ושלב בחקירת השתית.

3.3 חקירה כללית או ראשונית

שלב זה מכונה בספרות: "חקירת שטח" והוא כולל (א) איסוף מידע קיים, (ב) סיורים באתר ו-(ג) איסוף של הניסיון המקומי.

3.3.1 איסוף מידע קיים

איסוף חומר החקירות המנוהלות על-ידי מוסדות שונים במדינה, ומרוכז בדרך-כלל בצורה שניתן להשיגו ולהיעזר בו. יש להשיג את המידע הקיים לפני עריכת כל סיור באתר על-ידי פניה בכתב למוסדות. להלן רשימת המקורות לקבלת המידע הראשוני:

א. משרד התשתיות הלאומיות, נציבות המים, ירושלים.

ב. משרד התשתיות הלאומיות, השירות ההידרולוגי, ירושלים.

ג. משרד הבינוי והשיכון, המרכז למיפוי ישראל, הלשכה הראשית, תל-אביב.

ג. משרד הבינוי והשיכון, המנהל לתכנון והנדסה, ירושלים.

ד. משרד התחבורה, מחלקת עבודות ציבויות, האגף לחומרים ומחקר, תל-אביב.

ה. משרד התשתיות הלאומיות, המכון הגיאולוגי, ירושלים.

ו. רשות שמורות הטבע, המשרד הראשי, ירושלים.

- ז. משרד התשתיות הלאומיות, רשות הניקוז, תל-אביב.
- ח. משרד התחבורה, השרות המטאורולוגי, בית דגן.
- ט. משרד ראש הממשלה, הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה.
- י. האגף ההנדסי ברשות המקומית בתחומה נמצא האתר.

הנתונים הנ"ל משמשים חומר רקע להכנת חלופות אפשריות וראשוניות לתוואי הדרך או למיקום משטחים. הכנות אלו מיועדות לכוון את הסיורים באתר, הן מאפשרות לצמצם במידת מה את איזור החקירה ומצביעות על איזורים בעיתיים ו/או מבנים קיימים הדורשים תשומת לב מיוחדת. הנתונים הנ"ל יכולים גם לתת תוצאות חקירות שתית מפורטות בשטחים סמוכים או מייצגים באזור.

בכל מקרה יש להשתדל ולרכז לפני בצוע הסיור הראשון בשטח את החומר והאינפורמציה הבאה:

- א. מפה טופוגרפית מעודכנת בקנה המידה הגדול ביותר האפשרי אך לא פחות מ-1:20,000. עדיפה מפה בקני"מ 1:5,000 או הגדלה של מפה 1:20,000 לקני"מ הנ"ל.
- ב. המיפוי הגיאולוגי המעודכן ביותר הקיים לפחות בקני"מ 1:20,000.
- ג. עקומות עצמת גשם (משך, עוצמה ותדירות).

3.3.2 סיורים באתר

הסיורים באתר מכוונים לבדוק ולהשלים את המידע הקיים על-ידי הסתכלות, לאורך החלופות הראשוניות השונות ובסמוך להן. לסיורים אלה, יש להצטייד במצפן, מצלמה, עט, שקיות ניילון ללקיחת דגימות, זכוכית מגדלת, פטיש, מד שיפוע, סרגל מדידה וכו'. במהלך הסיור נרשמות העובדות אשר עוזרות בהערכת סוג ותכונות החומרים בחתך. להלן מספר עובדות בעלות עניין רב להעשרת המידע הדרוש:

- א. חתכים שבחפירות בכבישים סמוכים, מסילות ברזל, אפיקים של נהרות, מדרונות חשופים וכו'.
- ב. סימנים של הרס, גלישות או העתקים.
- ג. שיפועים טבעיים של העפר.
- ד. סוג הצמחיה, צפיפותה וסימני אירוזיה.
- ה. טיב החומר באפיקים וסימנים המעידים על גובה הזרימה.
- ו. נביעות ומעיינות וכל סימן שמצביע על גובה מי תהום ועל יציאת המדרונות הטבעיים.

ז. סימנים של שינויי-חתך.

ברוב המקרים, המידע המתקבל מהסיורים מאפשר לשרטט חתכי קרקע משוערים לאורך התוואי או השטח. החתכים כוללים את המרכיבים העיקריים ועוביים המשוער. על-פי מיונם ההסתכלותי של החומרים, אפשר להעריך את תכונותיהם המיכניות של הקרקעות השונות.

בנוסף לאמור מעלה, הסיור באתר מכוון לבדוק את:

- א. התאמתם של חומרי החפירה למילוי הסוללות.
- ב. הימצאות חומר מתאים מבורות השאלה.
- ג. הימצאות חומר העשוי להתאים לדרישות טיב של מצע.
- ד. עבירות של ציוד מיכני ו/או של ציוד לבדיקות (קידוחים, בורות).
- ה. אספקת מים לעבודות עפר.

כל המידע המתקבל עד שלב זה של החקירה הראשונית צריך לאפשר תכן ראשוני של האלטרנטיבות השונות, בדיקת כדאיות ובחירת האלטרנטיבות ה"טובות" מהיבט של מבנה המיסעה. לדוגמה, הערכת התכונות המיכניות מכוונת לקבוע שיפועי המדרונות הגבוליים (או אפשרות לביצוע חפירות ללא התמוטטות המדרונות), עובי משוער של מבנה הדרך וסוג הניקוז והביסוס במבנים השונים. בדיקות של התאמת החומר למילוי והימצאות בורות השאלה וכד' נועדות לכוון את תכנון הקו האדום: אם כמות חומר המילוי היא מוגבלת מתוכנן הקו האדום כך שכמות המילוי הדרושה היא מינימלית. המידע על הזרימה באפיקים הינה נחוצה לתכנון הניקוז העילי והתת-קרקעי.

ככל שהמידע המתקבל עד שלב זה הוא מפורט יותר ומהימן יותר, בחירת החלופות הטובות יותר אף היא מהימנה יותר.

במספר סוגי עבודות, ובייחוד באלה בהם האזור הטופוגרפי והנושא הקרקעי הינם מורכבים, יש לשתף בשלבי קביעת תכונות השתית גיאולוג הנדסי, לצרפו לסיורים הראשוניים ולקבל דו"ח גיאוהנדסי מפורט כבר בשלב הראשוני של חקירת השתית. עבודות אלה הן:

- א. עבודות המבוצעות באתר בניה בתול.
- ב. עבודות המבוצעות בסמוך לאתר בניה קיים, כאשר היקפן הכולל עולה על סכום מסויים שיקבע.
- ג. אתרים שבהם הקרקע היא חרסיתית או תופחת או טינית – מתמוטטת ו/או קיים חשש לקרקע בלתי יציבה.

ד. שטחים שהטופוגרפיה שלהם היא הררית ובעלת שיפועים אורכיים או צידיים העולים על 20%.

ה. שטחים שבהם עומקי החפירה/חציבה המשוערים עולים על 4 מ' ו/או גובהי סוללות המילוי עולים על 5 מ'.

3.3.3 איסוף ידע של הניסיון המקומי

במקרים שקיימים מבנים סמוכים לתוואי (כבישים, מסילות ברזל, מבנים), ניתן לשאוב נתונים נוספים מהחקירות של המבנים במוסדות המתאימים. בכל מקרה מהנדסי הכבישים והחומרים של מע"צ, של משרד השיכון והבינוי ואנשי הישובים הסמוכים יכולים לספק מידע מתוך ניסיונם האישי באיזור הקמת הפרוייקט, לגבי תוצאות מחקירות שתית קודמות, כמויות גשמים, משטר זרימה בנחלים, גלישות, סיסמולוגיה, תנאי אקלים מיוחדים ותופעות מיוחדות לאיזור. איסוף הניסיון המקומי בא להשלים את התמונה הכללית ולמנוע מצב שבו תופעות מקומיות לא יילקחו בחשבון.

בגמר החקירה הראשונית, יש להכין דו"ח מפורט הכולל את כל הממצאים, את השוואת האלטרנטיבות, את הנימוקים לבחירת החלופה ה"טובה" ולהמליץ על תכנית של החקירה המוקדמת.

3.4 חקירה מוקדמת

החקירה המוקדמת נועדה לקבוע בעזרת קידוחים או אמצעים אחרים את חתכי הקרקע לאורך התוואים או שטחים הנבחרים. תיאור הקרקע בחתכים נעשה על-ידי מיון באחת השיטות המקובלות (שיטה אחידה או שיטת AASHTO). על-פי מיונם של החומרים, אפשר להעריך את תכונותיהם המיכניות, בדיוק מספיק לשלב זה של החקירה. הקידוחים כוללים גם מספר בדיקות שדה של החדרת תקנית בחולות, מכנף גזירה בחרסיתות, הדקר הדרום אפריקאי (DCP) בקרקעות שונות, ושל תכולת רטיבות. בדיקות אלו מאפשרות להעריך טוב יותר את התכונות המיכניות של החומרים.

במסגרת החקירה המוקדמת יש לבצע סקר גיאולוגי מוקדם שיכלול הגדרה של סוגי הסלע לרבות עומק הסלע, עובי השכבות, נטייתן, מידת הסידוק וכווננו וזאת בנוסף למיון הקרקעות למטרות הנדסיות. תוכנית החקירה המוקדמת בפרוייקטים המיוחדים חייבת להיעשות תוך התייעצות עם גיאולוג הנדסי, מהנדס מעבדה, או יועץ מנוסה.

החקירה המוקדמת הינה מעין הכנה לחקירה המפורטת. מסיבה זו, תכנית החקירה ודרך ביצועה צריכה להיות כך שהחקירה המוקדמת תשולב בחקירה המפורטת, במידה והפרוייקט יאושר. אמצעי החקירה המוקדמת הם פשוטים וזולים יחסית: קידוחים ובדיקות גיאופיזיות. אין כללים קשיחים לקביעת מיקום הקידוחים או הבדיקות, אולם בשלב זה של החקירה, יש לחלק את התוואי או השטח לאיזורים בעלי חתך קרקע דומה ולטפל באיזורים אלה כיחידות. חלוקה זו אפשר לקבוע מתוך החקירה הראשונית ולבחון אותה בשלב זה של החקירה המוקדמת. בכדי שתכנית הבדיקות תשתלב בחקירה המפורטת, רצוי לבצע את הקידוחים בצורה אחידה (במרחקים שווים לאורך תוואי הדרך או יצירת רשת באיזור של שכונה או מערכת כבישים).

באופן כללי הקריטריונים למרחק בין הקידוחים ולעומקם הם כדלקמן:

א. ביחידות של חתך הומוגני, המרחק המכסימלי בין קידוחים הוא כ-1,000 מטר. באיזורים של שינויים בחתך הקרקע, יש להקטין מרחק זה בכדי לקבוע גבולות החומרים השונים. אופי האזור האורבני מקטין בדרך-כלל את המרחק בין הקידוחים וכאן יש להתחשב בתחום הרחוב, במרחק בין צמתים וכד'.

ב. עומק הקידוח הוא כעומק איזור ההשפעה של מבנה המיסעה והמדרונות. באופן מעשי, באיזורים בהם מתוכנן חישוף פני השטח בלבד (מילוי או חפירה מינימליים), עומק הקידוח המקובל הוא 2.0-3.0 מ'. עומק זה גדל ל- 4.0 מ' במילוי שגובהו עד 4.0 מ', ועד ל- 1.5 פעם גובה המילוי במילוי שגובהו הוא מעל ל-4 מ'.

במקרה וקיימת בעיית קונסולידציה עומק זה יגדל ל- (2-3) פעם גובה המילוי. במקרה של חפירה, עומק הקידוח יהיה פעמיים עומק החפירה, ולא פחות מ-3.0 מ' מתחת לפני רום פני השתית המתוכננים.

בכל מקרה שמתגלה סלע מתחת לפני השתית המתוכננים, יש לחדור לתוך הסלע 1.0 מטר לפחות.

בהקשר להמלצות הנ"ל חשוב לציין את הנקודות הבאות:

א. כל העומקים הנ"ל מתייחסים למקרה של קרקע יציבה. במקרה שהקידוח מגלה שכבת קרקע בלתי יציבה (כבול וכו'), יש להמשיך את הקידוח עד מעבר לשכבה הבלתי יציבה.

ב. המלצה לחדור לתוך שכבת סלע 1.0 מטר לפחות באה לבדוק האם הסלע שנתגלה בקידוח הינו מצביע על שכבת סלע רציף ולא על גושים בודדים או שכבות דקות.

ג. בקידוחים בהם מתגלים מי-תהום יש לעקוב אחרי מפלס מי-תהום על-ידי התקנת פיאזומטרים ולרשמו בדו"ח.

כל קידוח חייב בדווח הכולל תאור החומרים השונים, עומקים ותוצאות הבדיקות למיון, דהיינו: דרוג, גבולות נזילות ופלסטיות, תכולת הרטיבות ותוצאות בדיקות שדה במקרה ונעשו. דגימות של החומרים בכל העומקים נלקחים בתוך קופסאות המיועדות לכך. דגימות אלו מאפשרות למהנדס החקירות להשוות את חומרי הקדוח לחומרים שהוא ראה בסיוורים באתר ולבדוק את המיון המעבדתי.

על בסיס תוצאות החקירה המוקדמת, אפשר לשרטט חתכי קרקע לאורך התוואי או השטח ולסמן את הגבולות של החומרים, בין הקידוחים השונים. בשלב זה נעשית בדיקה של העלאה או הורדת הקו האדום ונקבע המיקום המדויק של התוואי, השיפועים בחפירות ובמילויים, מעבירי מים וכו'.

תוצאות החקירה המוקדמת מרוכזות בדו"ח אשר כולל גם המלצות לתכנית של החקירה המפורטת.

3.5 חקירה מפורטת

כאמור, החקירה המפורטת מבוצעת לאחר שתואי הדרך או גבולות השטח נקבעים סופית ולאחר שאיזור התואי או השטח נחקר בשלבים הקודמים. בשלב זה של החקירה, המידע מכוון את התכן המפורט של הדרך או של מערכת הדרכים. במילים אחרות, החקירה המפורטת מרחיבה את החקירה המוקדמת בכך שאיזורי השינוי של החומרים נקבעים ביתר דיוק, שחתך הקרקע מאומת על-ידי קידוחים נוספים ושהתכונות המכניות של החומרים נקבעים בדיוק רב יחסית, בהתאם לדרישת התכן המפורט.

התכן המפורט המתייחס בדרך-כלל ליחידות הקרקע השונות המצויות לאורך התואי או השטח (לכל יחידה בנפרד) והוא מבוסס על ערכים תכנוניים של תכונות הקרקע. מסיבות טכניות של ביצוע, נקבע כי האורך המינימלי של כל יחידה הוא ק"מ אחד בקירוב. לפני הצגת תהליך החקירה המפורטת, מן הראוי לדעת את סוגי הבדיקות הדרושות לשם התכן המפורט וכן את אופן קביעת הערך התכנוני.

3.5.1 סוגי הבדיקות הדרושות לתכן המפורט

כאמור, התכן המפורט כולל את תכן מדרונות המילוי והחפירות, עבוד השתית וסוג ועובי שכבות המבנה.

תכן המדרונות בחפירה ובמילוי נעשה בהתאם לתורת מכניקת הקרקע ולשם כך, דרושות בדיקות גזירה מרחבית או גזירה ישירה לקביעת הקוהזיה c וזווית החיכוך הפנימי ϕ (לעניין זה ראה גם פרק 4 להלן: מדרונות חפירה ומילוי). כמו-כן, תכן איזורים בעיתיים, ביצות, חרסיתות תופחות, סוללות מילויים גבוהות וכו', דורש בדיקות מיוחדות כגון קונסולידציה, לחץ תפיחה וכו'.

לתכן עבוד השתית ומבנה המיסעה דרושות הבדיקות הבאות:

1. דרוג וגבולות נזילות ופלסטיות למיון הקרקע.
2. צפיפות שדה של הקרקע במצבה הטבעי לקביעת עומק וצורת עיבוד של השתית.
3. המת"ק המעבדתי של השתית.
4. פילוג המת"ק הטבעי של השתית לעומק.
5. פרופיל העומק של תכולת הרטיבות בקרקע.

התכן המפורט כולל גם את תכן שכבות המיסעה ולכן החקירה המפורטת כוללת חיפוש ובדיקת חומרים מקומיים לשמש כחומר מילוי, חומר מצע וסלע לכרייה וגריסה לייצור שכבות התשתית ושכבות אספלטיות. חומרי המילוי והמצע מבורות השאלה נבדקים לרוב למיון, ולמת"ק (דרוג, גבולות נזילות ופלטיות, מקדם חלחול ומת"ק תכנוני). שטחי סלעים נבדקים להרכב מינרלוגי, מוצקות (Soundness), קשיות וגודל הגושים, אפשרות פיצוץ וגריסה. הסלע נגרס ונערכים בו הבדיקות הבאות: (א) הרכב אחרי גריסה; (ב) שיעור הגריסות והשחיקות של החומר הגס; (ג) שווה ערך החול והפלסטיות של החומר הדק; (ד) מת"ק ומרשל של תערובת וכו'. החקירה של אתר המחצבה מצריכה חקירה גיאולוגית בנוסף לחקירה הגיאומכנית שאינה נדונה כאן.

בנוסף לכך, התכן המפורט כולל גם בחינת דרגת העבידות או קשיי חפירה של קרקע מעורבת בסלעים או קרקע מלוכדת. לצורך זה, יש לבדוק את ההספק של הכלים המכניים לעבודות עפר בקרקעות שונות.

כדאי לציין, כי סוג הבדיקות הנדרש לתכן המפורט ובמיוחד לבדיקות צפיפות שדה, מת"ק באתר ועבידות, מכתובות חפירת בורות. חקירת השתית בעזרת בורות עדיפה (מאחר וחתך הקרקע הינו גלוי ובדיקתו מהימנה יותר מאשר בקידוחים), אולם בשל המחיר הגבוה של חפירת בורות, מספרם מצומצם למינימום הדרוש. לכן מומלץ שבורות יחפרו בדרך-כלל באזורי שתית רדודה, דהיינו במקומות בהם רום הקרקע הטבעית מזדהה עם רום פני השתית המתוכננים או במקרים בעייתיים במיוחד.

3.5.2 קביעת הערכים התכנוניים

את תוצאות הבדיקות השונות יש לתרגם לערכים תכנוניים המהווים את הבסיס לתכניתם של האלמנטים השונים, במבנה המיסעה.

כאמור, הערך התכנוני מייצג יחידה. קביעתו הינה פשוטה יותר כאשר יחידת הקרקע היא אחידה, אולם במקרים רבים, קרקעות שונות מפוזרות לאורך התוואי או השטח ומכסות רק שטחים קטנים המתחלפים לסרוגין. במקרים אלו, יש לקבוע איזה סוג קרקע מייצג את היחידה. לשם כך יש לבדוק את פילוג הקרקעות בקטע ולבחור את סוג הקרקע אשר "ישלוט" בתכנון, בהתאם לשיקולים הנדסיים.

כאשר השתנות הקרקעות אינה מאפשרת קביעת סוג קרקע שולט הרי יש לבצע נתוח סטטיסטי של התוצאות לבחירת הערך התכנוני. באופן כללי נבחר הערך התכנוני על-פי

אחוזון מסויים של המדגמים המיוצגים בתוצאות. המדד לבחירת האחוזון המתאים בקביעת הערך התכנוני הוא יחס הוצאות ההקמה והאחזקה, והוא מיוחס כמובן לאורך החיים של אלמנט מבנה המיסעה הנדון. לפי הנחיות ה- Asphalt Institute ונסיון מקומי עשיר, ערך האחוזון לתכינה הוא:

60%	עבור 10^4 תנועות שקולות ומטה של סרן סטנדרטי (18 kips):
75%	עבור 10^4 תנועות שקולות כנ"ל עד 10^6 תנועות כנ"ל:
85%	עבור 10^6 תנועות שקולות כנ"ל ומעלה:

3.5.3 הנחיות כלליות לחקירה המפורטת

הדיון המובא מעלה מאפשר לקבוע תכניות בדיקות לחקירה המפורטת. מוסדות שונים ממליצים על הנחיות סטנדרטיות עם אפשרות של שינוי בהתאם לשיקולים של מהנדס החקירות. העומקים המומלצים בחקירה המוקדמת הינם מתאימים גם לחקירה המפורטת. המרחקים בין קידוחים ו/או בורות וצורת פיזורם משתנים כדלקמן:

בכבישים יבוצעו קידוח ו/או בור כל 300 מ' עד מכסימום 600 מ' או מרחקים קטנים יותר בהתאם לאופי השטח, מערכת הרחובות וכד'. בכל יחידה גיאולוגית (בעלת מיון שונה להבדיל מיחידה תכנונית), יש לבצע לפחות שני קידוחים אם אורכה של היחידה הוא גדול מ-100 מ'.

הקידוחים כוללים בדיקות חוזק באתר (Vane Test, SPT או DPA), והוצאת מדגמים בלתי מופרים לביצוע בדיקות מעבדתיות כמפורט בראשית הסעיף. הבורות כוללים את בדיקת: הדקר הדרום אפריקאי (DCP); צפיפות-רטיבות השדה; עבידות החומר; וכמו-כן, הוצאת מדגמים מופרים (ובמיוחד לבדיקת מערכת מת"ק מעבדתי) ובלתי מופרים. הקידוחים או הבורות יבוצעו לאורך התוואי. במקרים של טופוגרפיה קשה ושינוי חתך הקרקע, יש להוסיף קידוחים מחוץ לתוואי עצמו.

במקרה שיש לאתר מקורות חומרים למילוי ולמצעים, יש ליצור רשת קידוחים ו/או בורות במרווחים של 50-100 מ' ובעומק הדרוש בהתאם לכמויות הדרושות. בזמן ביצוע העבודה, גבולות בור השאלה נקבעים ביתר דיוק על-ידי בורות ו/או קידוחים במרחקים קטנים יותר, 25 מ'.

בגמר החקירה המפורטת יש לרכז את תוצאות החקירה בדו"ח המסכם את כל שלביה (הראשונית, המוקדמת והמפורטת). דו"ח זה כולל את תאור הקידוחים, החתכים לאורך

ולרוחב של הקרקע לאורך הכביש או השטח והמסקנות לגבי קושי הקרקע מבחינת ביצוע. ברור כי דו"ח זה חייב להיעשות על-ידי המהנדס האחראי על החקירה.

3.6 סיכום

בפרק זה תוארו השלבים השונים של חקירת השתית וסקר חומרים עם דגש למטרת כל שלב ודרך השגת המטרה. הובאו מספר הנחיות כלליות עבור מערכות כבישים. הנחיות אלו הם להכוונה בלבד, כאשר תכנית החקירה תוכן בהתאם לתנאים הספציפיים השוררים באיזור המיועד להקמת המבנה. יש לציין כי מקובל, שעלות החקירה תהיה 0.5%-1% מעלות הפרוייקט בתנאים רגילים (עלות החקירה תהיה גבוהה יותר בשטחים קשים מבחינה טופוגרפית וגיאולוגית). מידת ההצלחה של ניהול החקירה נבדק בזמן ביצוע הפרוייקט, על-ידי השוואה בין המצב החזוי לבין המצב האמיתי המתגלה תוך-כדי העבודה.

לסיום, מן הראוי להעיר כי שילוב חקירת שתית זו עם החקירה המיועדת לביסוס המבנים וקירות התומכים, היא רצויה על-מנת להגדיל את אמינות התוצאות וההמלצות מחד ולהקטין את עלות החקירה מאידך.

4. מדרונות חפירה ומילוי

4.1 הקדמה

השלב הראשון בתהליך הסלילה להשגת "צורת הדרך" (פני השתית) הוא עבודות העפר. עבודות העפר מורכבות מפעולות חפירה ומילוי. באופיין של עבודות העפר בתשתיות כבישים ומשטחים, הרי מרבית המדרונות נסללים ללא תמיכה. כאשר דרושה תמיכה, היא לרוב קבועה (ואינה זמנית בעת הסלילה) ומורכבת בעיקר מקירות תומכים לסוללות מילוי, מסלעות, בסיס מבולדרים אמצעי הגנה לסוללות חפורים בלתי יציבים, שריון המדרונות החפורים, וכד'.

פרק זה דן בעיקר בתכנונם ויציבותם של מדרונות חפירה ומילוי חסרי תמיכה והמיועדים למשך חיים ארוך יחסית. לצורך העניין מוצע גם לעיין בתקן ישראלי ת"י 940 "ביסוס מבנים".

4.2 מדרונות חפורים

4.2.1 אמצעי הזהירות

ההתחשבות באמצעי הזהירות בעת בצוע חפירה למדרונות מבנה המיסעה חייבת להלקח בחשבון עוד בשלב התכנון, כל זאת במטרה למנוע פגיעה באדם וגרימת נזק לרכוש.

חובה לנקוט אמצעי זהירות, שימנעו התמוטטות, התקלפות או התגבבות בדפנות החפירה, או התנפחות מסוכנת של קרקעיתה, העלולים לגרום למפולת, שקיעה, הרכנה, החלקה, תזוזה או להשתתה במבנים סמוכים, או לפגיעה ביסודותיהם. בהתאם להסתברות הסיכון ולעצמתו, יש לתכנן את אמצעי הזהירות שלהלן:

- א. גדרות, תאורה, מעקות בטיחות, שלטי אזהרה ומדרגה רחבה בין החפירה לבין המבנה, שיש להגן עליו.
- ב. הקמת מבנים בדפנות החפירה: סמכי עץ, תימוכי עץ, קורות פיגומים, מחיצות סוכרות, כלונסאות בטון יצוקים בקידוחים באתר וכדומה.
- ג. תימוך תחתון של המבנים הסמוכים.

בתכן אמצעי הזהירות מתחשבים בגורמים שלהלן :

- א. עומק החפירה.
- ב. סוג הקרקע והאחידות בפרופיל הקרקע.
- ג. משטר מי התהום.
- ד. משך שמישות החפירה ופגיעותה לגורמים מזיקים : התייבשות, גשמים, שטפונות וסחף, רעידות אדמה וסיכוני טבע אחרים.
- ה. סוג המבנים הסמוכים וחשיבותם. מתחשבים במיוחד ברגישות המבנים לשקיעות הבדליות.
- ו. סכנות הנובעות מתהליכי העבודה : פיצוצים, תיקוע כלונסאות, ריטוטים הנגרמים על-ידי ציוד מיכני או על-ידי התחבורה, עומס נוסף על הקרקע בגלל צבורת של חומרי בנייה, שפוכת עפר מחפירות וכדומה.
- ז. פגיעות החפירה והמבנים הסמוכים אליה לתוצאות הנובעות מצנרת שבורה של מים או של ביוב.
- ח. השפעות של שאיבה ושל הורדת פני מי התהום קרקע.

4.2.2 יציבות המדרון החפור

המדרונים בחפירות קבע ללא תמיכה יובטחו מפני אפשרות כשל של החלקה, כשל של סחיפה או כשל בשל גורמים אחרים, על-ידי יצירת שיפועים מתונים למדי, דירוג במדרגות, כיסוי בחומר יציב יותר או כיסוי בצמחיה, או על-ידי שימוש באמצעים אחרים.

בדרך-כלל מתכננים את מדרוני החפירה במקדם בטיחות להחלקה של 1.5. מקדם הבטיחות להחלקה בקרקע חרסיתית, שחוזק הגזירה שלו לא נבדק ביסודיות, לא יהיה קטן מ-2.

להלן הגורמים העיקריים, שיש להתחשב בהם בתכן של שיפוע המדרונים והמשפיעים במידה ניכרת על יציבותם :

- א. סוג הקרקע.
- ב. אחידות הקרקע.
- ג. כוח הגזירה ושעור הקטנתו במשך הזמן.
- ד. שכוב הקרקע.
- ה. נטיית השכבות.
- ו. מדרונות הקרקע באתר.

- ז. שפוע המדרון.
- ח. גובה המדרון.
- ט. משטר הנקוז.
- י. העומס המוסף בקצה העליון של המדרון.
- יא. עוצמת רעידות האדמה.

בתכן המדרון, שאינו גבוה מ-4 מטרים, המצוי באתר אופקי או באתר בעל שיפוע מתון (6:1), ושאינו בו השפעת מי תהום, אפשר להיעזר בשיפועים הנקובים בטבלה מס' 4.1. אך מכל מקום יש לשקול לגופו של עניין בתכן מדרון גבוה יותר ובתכן מדרון המושפע על-ידי המים בקרקע, מתחשבים בתוצאות הסקר באתר, בתוצאות הבדיקות במעבדה ובחישובים לניתוח היציבות, וזאת בעזרת אחת משיטות החישוב המקובלות בהנדסת קרקע.

**טבלה מס' 4.1 שיפוע מומלץ למדרונות חפירה רדודה בתנאים רגילים
(כהמלצה כללית בלבד)**

זווית השיפוע של המדרון	השיפוע (אופקי : אנכי)	חומר החפירה
80°	6.0 : 1.0	סלע שלם
70°	2.8 : 1.0	סלע סדוק
45°	1.0 : 1.0	סלע בקוע
40°	1.0 : 1.2	חול מצומנט
30°	1.0 : 1.7	קרקע לא קשיר
26°	1.0 : 2.0	קרקע טין
18°	1.0 : 3.0	קרקע חרסית

דוגמאות לשיפועים מעשיים יציבים (שיפועים שבוצעו בפועל) במדרונות חפירה או חציבה מובאות להלן:

1.0 : 1.0	קירטון חווארי	-	3.0 : 1.0	-	אבן גיר
1.0 : 1.0	אבן חול	-	3.0 : 1.0	-	דולומיט
1.0 : 2.0	חרסית עם צרורות בכמויות משתנות	-	2.5 : 1.0	-	גיר קרטוני מלווה בשכבת סלע
			2.0 : 1.0	-	גיר קרטוני

יש לציין, כי הערכים הנ"ל הם להדגמה בלבד ואינם מתכון קבוע לכל תנאי התכנון האפשריים.

במקומות שנוק עלול להיגרם בהם עקב זרימת מים עיליים, מתקינים תעלות מגן או נוקטים אמצעי מגן אחרים. כמו-כן, בחפירה שעומקה הוא בין 6 עד 8 מטר מתקינים בדרך-כלל מדרגה ("ברמה") ברוחב של 2-4 מטר עם שיפוע קל הפוך, ואמצעי ניקוז מתאימים לברמה.

מידרוג זה של המדרון בחפירות עמוקות עשוי לסייע ליציבות, לניקוז נאות, להגבלת הסחף ולהקלה בעבודה.

חפירה באתר מדרוני עלולה לפגוע ביציבות של המדרון. כאשר חופרים חפירה באתר מדרוני, בודקים את היציבות הכללית של הקרקע במדרון. כאשר מתכננים עבודות מעל לחפירה קיימת, צריך לבדוק את יציבות החפירה בהשפעת העומס המוסף וגורמים אחרים. כאשר מתכננים עבודות מתחת לחפירה קיימת, צריך לבדוק את השפעת העבודות האלה על יציבות החפירה.

4.3 סוללות מילוי ויציבותם

מדרון המילוי או מדרון הסוללה ייוצבו מפני כשל של גלישה, מפני כשל של מפולת, מפני סחיפת העפר על-ידי מי הגשם או מפני גורמים אחרים. מייצבים את המדרון על-ידי בחירת חומר נאות למילוי, על-ידי הידוק, על-ידי בחירת שיפוע מתאים, דירוג מדרגות, שכבת כיסוי, צמחיה וכדומה.

בחירת השיפוע הנאות למדרון תלויה במאפייני חומר הסוללה, בצפיפותו ובגובה הסוללה. זווית השיפוע הנאותה יכולה להימצא בתחום שבין 35° למילוי סלעים לבין 15° לקרקע חרסית.

בתכן המדרון, שאינו גבוה מ-5 מטרים ובתנאי שתית רגילים (כמו חרסית בלתי תופחת וכו') לרבות גם שתית ללא השפעת מי-תהום), אפשר להיעזר בשיפועים, הנקובים בטבלה מס' 4.2. בתכן המדרון בסוללה גבוהה יותר ובתכן המדרון המושפע על-ידי המים בקרקע מתחשבים בתוצאות הסקר באתר, בתוצאות הבדיקות במעבדה ובחישובים לניתוח יציבות המדרון וקרקע השתית.

טבלה מס' 4.2 שיפוע מומלץ למדרוני סוללות נמוכות בתנאים רגילים (כהמלצה כללית בלבד)

זווית השיפוע של המדרון	השיפוע (אופקי : אנכי)	חומר החפירה
34°	1.0 : 1.5	מילוי אבן
26°	1.0 : 2.0	קרקע לא קשיר
26°	1.0 : 2.0	קרקע טין
22°	1.0 : 2.5	קרקע חרסית רזה
22°	1.0 : 2.5	קרקע חרסית חולית
18°	1.0 : 3.0	קרקע חרסית שמנה
18°	1.0 : 3.0	קרקע חולית

מתכננים את מדרון הסוללה במקדם בטיחות של 1.5.

אפשר לקבוע את שיפועי המדרון של הסוללה, הבנויה חומרים לא-קשירים, לפי זווית ההשתפכות ובהתחשב בגורמים אחרים, כגון סחיפה וכוחות הבצבוץ.

מדרון הסוללה בקרקע קשיר, כגון קרקע טין או קרקע חרסית, יהיה יציב גם לגבי ההחלקה המעגלית. להלן הגורמים העיקריים המשפיעים על תכן הסוללה בקרקע קשיר:

- א. סוג הקרקע.
- ב. חוזק הגזירה של הקרקע בתנאים הגרועים ביותר.
- ג. גובה הסוללה.
- ד. שיפוע המדרון.
- ה. הקטנה אפשרית של חוזק הגזירה במשך הזמן.
- ו. בצבוץ אפשרי מן המדרון.
- ז. היווצרות לחץ יתר של מי הנקבובים במשך בניית הסוללה.
- ח. העומס המוסף המתוכנן בקצה העליון של הסוללה.

בדרך-כלל, אפשר להשתמש בקרקעות מכל סוג שהוא לבניית סוללה שאינה גבוהה מ-5 מטרים, בתנאי שנוקטים את האמצעים הנאותים של הידוק הקרקע, בחירת שיפוע המדרון ושאר האופיינים.

מידרוג המדרון של סוללות גבוהות עשוי לסייע ליציבות, לניקוז נאות, להגבלת הסחף ולהקלה על העבודה.

4.4 תהליך הסלילה של מדרונות חפורים וסוללות

תהליך הסלילה של המדרונות החפורים ושל סוללות המילוי והבקרה על האיכות יתבצעו בהתאם ל"מפרט הכללי לסלילת כבישים, רחבות ומסלולים בשדות תעופה – מס' 51", וכן בהתאם להוראות המפרט המיוחד המתייחס לתנאים המיוחדים בשטח.

5. תכנית מיסעות כפיפות

5.1 עקומי תכינה

תכנית העובי הכולל של מבנה הכביש הכפוף הקונבנציונאלי על שכבותיו השונות נעשית בהתאם לעקומי התכינה המובאים בציור מס' 5.1. ציור זה מבוסס על שיטת מע"צ העדכנית. בנוסף לכך, קביעת עובי השכבות של המבנה העליון וטיבן נעשית על-פי המובא בציור מס' 5.2.

התשתית הגרנולרית בתנועות הקלות מורכבת מאגו"מ סוג ב' (לפי מפרט מס' 51) ובתנועות האחרות מאגו"מ סוג א'.

כידוע שיטת התכינה העדכנית של מע"צ מתבססת על הנחות, נוסחאות והנחיות המפורטות על-ידה. להקלת התהליך החישובי משמשת תוכנת ה-Flex-Design, כלי עזר חשוב. כמו-כן, אפשר להראות, כי עבור חישוב העובי הכולל של שכבות המבנה הכפוף, הנוסחה הבאה מניבה מבחינה מעשית תוצאות זהות לאלו של תוכנת ה-Flex-Design הנדונה במע"צ:

$$H = 15.021 \times (\log \text{ESAL}_M)^{1.143} \times (\text{CBR})^{-0.556} \quad (5.1)$$

כאשר:

H – הוא העובי הכולל של המבנה הדרוש בס"מ;

CBR – הוא ערך מת"ק השתית באחוזים;

ESAL_M – הוא שעור התנועות השקולות של סרן סטנדרטי לפי שיטת התכינה של מע"צ.

את ערכו של שעור התנועות השקולות לפי שיטת התכינה של מע"צ ניתן לקבוע על-פי נתוני טבלה מס' 5.1. טבלה זו מלמדת, כי יחס התנועות תלוי הן בשעור מת"ק השתית והן בשעור עוצמת התנועה, הקשור לכל קטגוריית תנועה נתונה או עבור שעורי תנועה כלשהם ברחובות עורקיים. קביעת ערכו של שעור התנועות השקולות לפי שיטת התכינה של מע"צ נעשית בעזרת הביטויים הבאים (ראה גם ציורים 5.3 א ו- 5.3 ב):

$$\log(\text{ESAL}_M) / \log(\text{ESAL}_A) = m \times \log(\text{ESAL}_A) + n \quad (א5.2)$$

$$m = m_0 + 2 \times \Delta m \times \frac{BP}{TP} \quad (ב5.2)$$

$$n = n_0 + 2 \times \Delta n \times \frac{BP}{TP} \quad (ג5.2)$$

$$m_0 = 0.0509 \times \text{CBR}^{-0.2202} \quad (75.2)$$

$$n_0 = 0.7795 \times \text{CBR}^{0.0314} \quad (75.2)$$

$$\Delta m = -0.0000042 \times \text{CBR}^3 + 0.0001 \times \text{CBR}^2 - 0.00083 \times \text{CBR} - 0.001 \quad (75.2)$$

$$\Delta n = 0.000038 \times \text{CBR}^3 - 0.000945 \times \text{CBR}^2 + 0.008561 \times \text{CBR} - 0.00942 \quad (75.2)$$

כאשר :

$\log(\text{ESAL}_M)$ – לוג שעור התנועות השקולות (18 קילו-ליבראות) לפי שיטת התכינה של מע"צ ;

$\log(\text{ESAL}_A)$ – לוג שעור התנועות השקולות (18 קילו-ליבראות) לפי שיטת התכינה של אאשטהו ;

CBR – שעור מת"ק השתית באחוזים ;

BP – אחוז האוטובוסים מכלל נפח התנועה ;

TP – אחוז המשאיות מכלל נפח התנועה .

הערה : נוסחאות 5.2 א עד 5.2 ז נקבעו עבור (א) טווח אחוז אוטובוסים שראשיתו אפס וסופו מחצית אחוז המשאיות (לאמור BP שווה אפס, עד ל-BP/TP שווה 0.5), ו-(ב) טווח ערכי מת"ק בשתית שראשיתו 2% וסופו 10%.

כאמור, עבור כל קטגורית תנועה קיים מבנה עליון מינימלי המוגדר בצירור מס' 5.2. מבנה זה בא לידי ביטוי בערכי מת"ק שתית הגבוהים מ-8% לערך. יחד עם זאת, ניתן להשמיט את עובי המצע המינימלי כאשר מת"ק השתית עולה על 30%. ברור כי השמטה זו באה לידי ביטוי החל מתנועה קלה ומעלה.

עובי האספלט המוחלף במבנה העליון הנ"ל נקבע על-פי הניסיון שנרכש במשרד הבינוי והשיכון. לעיתים עובי זה נמוך מהעובי הנקבע לפי קריטריון ההתעייפות של מע"צ. ניתן כמובן לקבוע עובי אספלט שיענה גם לקריטריון זה בעזרת תוכנת האקסל המצורפת להנחיות.

עובי השתית הגרנולרית נקבעת מראש על-פי המובא בצירור מס' 5.2. עבור התנועות הקלות שכבה זו מורכבת מאגו"מ סוג ב' (שתי התנועות הקלות ביותר מורכבות לפי מפרט 51 אפילו ממצע סוג א'), ועבור התנועות הכבדות (תנועה כבדה ותנועה כבדה מאוד) השתית מורכבת מאגו"מ סוג א' (על-פי מפרט 51). עובי שכבת המצע מסוג א' נקבע אף הוא מראש על-פי צירור מס' 5.2. יתרת המצע הבא להשלים את העובי הכללי הדרוש למבנה המתוכנן עשויה מצע סוג ב'.

טבלה מס' 5.1 היחס בין מספר התנועות השקולות לפי שיטת התכינה של מע"צ לבין מספר התנועות השקולות לפי AASHTO

קטגוריית התנועה ומספר התנועות השקולות לפי AASHTO							מת"ק השתית %
מזדמנת [1]	קלה מאד [2]	קלה [3]	בינונית קלה [4]	בינונית כבדה [5]	כבדה [6]	כבדה מאד [7]	
3.8×10^4	1.0×10^5	3.6×10^5	1.2×10^6	5.5×10^6	1.5×10^7	8.0×10^7	
1.18	1.30	1.50	1.66	2.01	4.91	9.97	2
1.15	1.23	1.37	1.62	1.80	3.54	6.42	4
1.14	1.20	1.32	1.62	1.73	2.92	4.96	6
1.14	1.19	1.30	1.62	1.69	2.55	4.13	8
1.13	1.18	1.28	1.62	1.67	2.29	3.59	10

הערה: עבור קטגוריות התנועה 1 עד 5 (כולל) אחוז המשאיות והאוטובוסים הוא כמתקבל מתוך טבלה מס' 2.2. באופן משלים, עבור קטגוריות התנועה 6 עד 7 (כולל) אחוז האוטובוסים שווה למחצית אחוז המשאיות.

עקומי התכינה (ציורים 5.1 ו-5.2) מניבים לעיתים עובי שכבה בלתי מעשית למצע סוג ב'. מוכתב כי העובי המינימלי הוא 12.0 ס"מ. לכן כאשר מתקבל עובי הקטן מעובי מינימלי זה יש לצרפו אל שכבת המצע העליונה (מצע סוג א').

5.2 עומק הידוק השתית ושיעורו

עומק הידוק השתית ושיעורו נקבעים על-פי ציור מס' 5.4 המעובד מנתוני חיל ההנדסה האמריקאי. לעניין זה מבחינים בין שני מקרים, כדלקמן:

- א. שתית במילוי – שיעור ההידוק משתנה עם גובה המילוי בהתאם לציור מס' 5.4. יחד עם זאת, שיעור ההידוק אינו יורד מהערכים המובאים בטבלה מס' 5.5.
- ב. שתית בחפירה – הצפיפויות הטבעיות של שתית זו חייבות להיות שוות או גבוהות מאלו המובאות בציור מס' 5.4. אם תנאי זה אינו מתקיים בשתית הנדונה יש לבצע בשתית אחת משלושת הפעולות הבאות או את השילוב בין הפעולות הבאות: (1) להדק את פני השתית בעזרת כלים מיוחדים על-מנת לקבל בה פילוג צפיפויות העונה לציור מס' 5.4 או

(2) לחפור את השתית לעומק הנקבע מציור מס' 5.4 ולהחזיר את החומר החפור בשכבות מהודקות לשעור שנקבע לעיל עבור שתית במילוי, או (3) לעבות את המבנה לשעור שיוביל את הצפיפויות בשתית לעמוד בקריטריון של ציור מס' 5.4.

בדרך-כלל במקרים שאינם מוכתבים על-ידי ציור מס' 5.4, עומק עיבוד השתית הוא 15-20 ס"מ. עומק העיבוד ושעור ההידוק של שאר השכבות הוא בהתאם למפרט הבין-משרדי מס' 51 (כמו-כן, ראה גם סעיף 5.6 בהמשך).

5.3 עובי מסעות באיזורים צחיחים

באיזורים צחיחים ניתן להקטין את עובי המסעה הכפיפה הקונבנציונאלית ב-20%. הקטנה זו באה תמיד על חשבון שכבות המצע התחתונות ביותר. הקטנה זו בעובי, נובעת מקריטריון הרוויה התקנית של מבחן המת"ק (רוויה 4- ימים במים), קריטריון שהינו חמור יחסית לתנאי הצחיחות באיזורים הנ"ל.

איזורים צחיחים הינם אותם איזורים בהם מתקיימים אחד מהתנאים הבאים (בעת ובעונה אחת בלבד):

א. כמות המשקעים הטבעית הינה קטנה משעור של 100 מ"מ לשנה.

ב. רטיבות השתית הטבעית הינה קטנה מהרטיבות האופטימלית המתאימה לחומר השתית.

ג. הימצאות מי תהום הינה בעומק הגדול מחמישה מ' מפני הקרקע.

יחד עם הקטנת העובי הנ"ל, אסור שעובי המצע יקטן מהעובי המינימלי המובא בטבלה מס' 5.2. בדומה לעובי השכבות, ניתן גם להקטין את עומק עבוד השתית ב-10% (ראה סעיף 5.2).

טבלה מס' 5.2

עובי מינימלי לשכבת המצע התחתונה באיזורים צחיחים

סימול התנועה	סיווג התנועה	עובי השכבה המינימלית ב- ס"מ
1	מזדמנת	12
2	קלה מאוד	12
3	קלה	12
4	בינונית קלה	12
5	בינונית כבדה	15
6	כבדה	15
7	כבדה מאוד	15

5.4 מבנה מסעות על חרסיתות תופחות

מבנה מיסעות על חרסיתות תופחות נקבע יותר מעוצמת הפעילות של החרסית מאשר מעוצמת תסבולתה לגזירה בהשפעת התנועה. על-מנת להתגבר על הפעולות ההרסניות הנגזרות מפוטנציאל התפיחה או מפוטנציאל ההתכווצות של החרסית מקובל לנקוט באמצעים הבאים:

- א. קיום עובי מבנה מינימלי למבנה הקונבנציונאלי (כולל שולי הכביש) הגורם לריסון התפיחה עד לערך של 3.0 ס"מ מכסימום, עם או בלי ממברנות איטום המכסות את שתית המיסעה.
- ב. בקטעים בהם לא מצוי ניקוז תת-קרקעי, כיסוי שולי הכביש או המדרכות בשכבה אוטמת מים.
- ג. התקנת ניקוז עילי לסילוק מהיר של המים העליונים להקטנה, ככל האפשר, של כמות המים החודרים לשתית.
- ד. התקנת ניקוז תת-קרקעי יעיל לסילוק מהיר של המים המגיעים לפני השתית מחוץ לתחום הכביש דרך שכבות המיסעה הגרנולריות.
- ה. עיבוד השתית בתנאים אופטימליים המקטינים את פוטנציאל התפיחה והגנת השתית המעובדת בממברנות איטום המשתרעות אל מעבר לשולי או מדרכות הכביש, באותם

קטעים בהם לא מצוי ניקוז תת-קרקעי. הערה: פתרון זה ישים רק כאשר מערכות תת-קרקעיות אינן מפריעות לכיסוי השטח בעזרת המימברנות הנ"ל.

ו. העדפת קטעי חפירה על קטעי מילוי, והרחקת צמחיה עם שורשים יונקי מים (כגון אקליפטוסים) מסמיכות יתרה לקצה מיסעת הכביש.

ז. החלפת קרקע במילוי מאושר להגדלת המשקל הנגדי של המבנה לריסון התפיחה (באם המילוי המאושר עשוי מחומר גרנולרי יש לדאוג לניקוזו).

יחד עם זאת חשוב לציין, כי נקיטת הפעולות הנ"ל אינה פותרת כליל את הבעיות הקיימות של המסעה הנגזרות מתכונות התפיחה או ההתכווצות של השתית החרסיתית, אלא דוחה ומעכבת את תחילת פעולתן ההרסנית ומורידה את קצב הידרדרות המיסעה.

5.5 המרת השכבות הגרנולריות של המסעה

במקרים אחדים, בהתחשב במציאותם או אי מציאותם של חמרי מסעה שונים, או בהתחשב בגורמים אחרים, מן הצורך להשתמש בצרופי חומרים שונים לשכבות המסעה (שכבות מסעה מיוצבות בצמנט, מסעה כל-אספלטית וכו').

העובי של שכבות המסעה המיוצבות נקבע על-ידי חלוקת העובי התכנוני של השכבות הגרנולריות (כמופיע בציורים 5.1-5.2) במקדמי המרה. מקדמי ההמרה המומלצים עבור התנאים המתקיימים הם בהתאם לערכים המובאים בטבלאות 5.3 ו-5.4. ערכים אלה מהווים שקלול של ערכים שונים המובאים על-ידי המוסדות המובילים בטכנולוגיה זו.

טבלה מס' 5.3 **מקדמי המרת השכבות לעובי מצע סוג ב'**

מקדם המרה	תיאור החומר
1.00	מצע סוג ב'
1.25	מצע סוג א'
1.50	תשתית סוג ב'
1.65	תשתית סוג א'
לפי ציור מס' 5.5	תשתית מיוצבת בצמנט
2.50	בטון אספלט

טבלה מס' 5.4 מקדמי המרת השכבות לעובי תשתית סוג

ב'

מקדם המרה	תיאור החומר
1.00	תשתית סוג ב'
1.10	תשתית סוג א'
1.50	תשתית אספלטית
1.65	בטון אספלט

חשוב להדגיש, כי ההמרות הנ"ל תופסות רק לכיוון טיוב השכבות לאמור, רק למקרים בהם חומרים נתונים מוחלפים בחומרים טובים יותר. המרות בכיוון הפוך אינן מותרות בהחלט.

5.6 דרישות הידוק שתית – תנועות כבדות

בנוסף לאמור בסעיף 5.2, דרגת הידוק הנדרשת עבור שכבות שתית מעובדות (עבוד מחדש של קרקע שתית או שכבות מילוי) נתונה בטבלה מס' 5.5.

טבלה מס' 5.5 דרישות הידוק לשתית מעובדת על-פי מפרט מס' 51

שיעור הידוק מינימלי (% מודיפייד AASHTO)	עומק מפני השתית	מיון השתית לפי AASHTO
100%	שווה או קטן מ-20 ס"מ	A-1, A-3 (עם עובר נפה #200 מקסימום 5%)
98%	גדול מ-20 ס"מ	A-1, A-3 (עם עובר נפה #200 מקסימום 5%)
96%	שווה או קטן מ-20 ס"מ	A-2-4, A-3 (עם עובר נפה #200 מעל 5%)
95%	גדול מ-20 ס"מ	A-2-4, A-3 (עם עובר נפה #200 מעל 5%)
95%	שווה או קטן מ-100 ס"מ	A-2-5, A-2-6, A-2-7, A-4, A-5
93%	גדול מ-100 ס"מ	A-2-5, A-2-6, A-2-7, A-4, A-5
93%	בכל עומק שהוא	A-6 עד A-7-6(5)
89%	בכל עומק שהוא	גדול מ-A-7-6(5)

הערה: בחרסית השמנה עם מיון אאשטהו של A-7-6(5) ומעלה יהיה תחום ההידוק המותר בין 89% לבין 92%, וברטיבות של PL (גבול פלסטייות) פלוס מינוס 2%.

דרישות ההידוק בטבלה מס' 5.5 חייבות להבדק כנגד ההגבלות הבאות:

א. בקרקעות תופחות ומתמוטטות או בקרקעות מתמוטטות (בעקב רוויה) יש לבדוק את הצפיפות הדרושה נגד שינויי הנפח המותרים בשעור 2% במערכת המת"ק.

ב. בקרקעות הרגישות להידוק יתר (קרקעות A ו-B לפי טבלה מס' 5.6) יש לוודא שהצפיפות והרטיבות המומלצות לא יפלו בתחום בו יורד החוזק (מת"ק) עם העליה בצפיפות.

הקרקעות הרגישות להידוק יתר נקבעות על-פי שיטת המיון המתבססת על תוצאות נסיון מערכת מת"ק, כפי המוצג בטבלה מס' 5.6.

תכולת הרטיבות הרצויה להידוק השתית המעובדת היא זו המתאימה לרטיבות שווי המשקל בקרקע. בתנאי הארץ, רטיבות שווי משקל זו נמצאת מתחת לאזור הרטיבות האקטיבית בקרקע (כ-4.00 מטר עומק).

טבלה מס' 5.6 סיווג הקרקעות בהתאם לשקולי הציפוף וההידוק

ס י ו ג					
C		B		A	
ס כ נ ת ה י ד ו ק י ת ר					
לא קיימת כלל		לא משמעותית		משמעותית	
תלול בצפיפויות גבוהות בלבד ובכל תחום תכולות הרטיבות.		כמעט אופקי בכל תחום הצפיפויות ותכולת הרטיבות (מלבד בצפיפויות גבוהות בהם השיפוע מתהפך).		תלול רק בצפיפויות גבוהות בצד היבש של האופטימום. שיפוע מנוגד (הקטנת חוזק עם עליית הצפיפות) בצד הרטוב של האופטימום.	
שיפוע הקו המקשר בין המת"ק לצפיפות בתכולת רטיבות קבועה (ערכי המת"ק נקבעו לאחר רוויה תקנית).					

ההמלצות הבאות משמשות לקביעת התחום העליון של תכולת הרטיבות הדרושה לעבוד השתית- w (התחום התחתון יהיה באופן מעשי 4% רטיבות פחות מתחום עליון זה):

$$w = PL + 2\%$$

כאשר, PL הוא גבול הפלסטיות של הקרקע.

בקרקות חרטיות בלתי תופחות ובקרקות טיניות תכולת הרטיבות היא התכולה האופטימלית המתאימה לצפיפות הנדרשת בתוספת 1%.

בקרקות גרנולריות יש לקחת את תכולת הרטיבות המתאימה להשגת הצפיפות הנדרשת.

5.7 מריחות וריסוסי ביטומן

במבנה המסעה הגמישה יש לבצע מריחות ביטומן בפן-הביניים בין שכבות שונות כדלקמן:

- א. ציפוי יסוד – רסוס ביטומני בין שכבת התשתית והשכבה האספלטית מעליה.
- ב. ציפוי מאחה – רסוס ביטומני בין שכבות אספלטיות עוקבות, או בין שכבה אספלטית מקורצפת והרבוד מעליה.
- ג. רסוס מיוחד – רסוס ביטומני בפני שכבת המצע או השתית כאשר היא נשאר גלויה ללא שכבה אספלטית מעליה.

כל הריסוסים למיניהם מבוצעים בעזרת תחליבי אספלט מתאימים (אמולסיות ביטומן). יש להמנע מכל שימוש באספלטים שפיכים (Cutbacks).

להלן פרוט ההנחיות לביצוע הריסוסים השונים:

א. ציפוי יסוד:

ציפוי היסוד (Prime Coat) יבוצע מאמולסיה אספלטית מסוג PCE או שווה-ערך. תכונות החומר, דרישותיו ואופן יישומו מפורטים הן במפרט הבין-משרדי מס' 55 בסעיף 55053, והן במפרט הבין-משרדי מס' 51 בסעיף 510452.

ב. ציפוי מאחה:

הציפוי המאחה (Tack Coat) יבוצע מאמולסיה אספלטית מסוג TCE, כאשר היא מדוללת במים. תכונות החומר, דרישותיו ואופן יישומו מפורטים הן במפרט הבין-משרדי מס' 55 בסעיף 55053, והן במפרט הבין-משרדי מס' 51 בסעיף 510452.

5.8 מבני מיסעות לחניות

מבני המיסעות לחניות בשכונות מגורים יתוכננו בהתאם לקטגוריית התנועה של הכביש או הרחוב להם הן סמוכות. במקרה ומהות החנייה חורגת מאופי הכביש הסמוך, יוערך סיווג התנועה במיוחד לחנייה זו.

5.9 מבני מיסעות למדרכות

מבני המיסעות למדרכה יהיו בהתאם לטבלה מס' 5.7 הבאה:

טבלה מס' 5.7 מבנה המיסעות למדרכה בתלות במת"ק השתית

עובי שכבות המיסעה	פרוט השכבה	
4.0 ס"מ אספלט מדרכות	שכבה אספלטית עליונה	
25.0 ס"מ	3-5%	עובי שכבות מצע עבור מת"ק:
20.0 ס"מ	6-8%	
15.0 ס"מ	>8%	

5.10 תכניה בשלבים

כאשר בעת בניית האתר צפויות תנועות חריגות של משאיות וכלים מכניים כבדים הבאים לשרת את אתר הבניה, יש צורך לסלול את המיסעות המתוכננות בשני שלבים: (א) שלב הבניה באתר ו-(ב) השלב הסופי (בגמר הבניה).

א. שלב הבניה

בשלב זה מומלץ לסלול את כל שכבות המיבנה למעט שכבות האספלט העליונות. כמו-כן, מומלץ להמיר את התשתית הגרנולרית בתשתית אספלטית לפי מקדמי ההמרה המובאים בטבלה מס' 5.4.

ב. שלב סופי

בשלב זה יש בראש וראשונה לתקן את הפגמים שנוצרו בתשתית האספלטית ולאחר מכן לרצף את המיסעה בשכבות האספלט לפי התכנית המקורית.

5.11 שימוש בעקומי התכנית

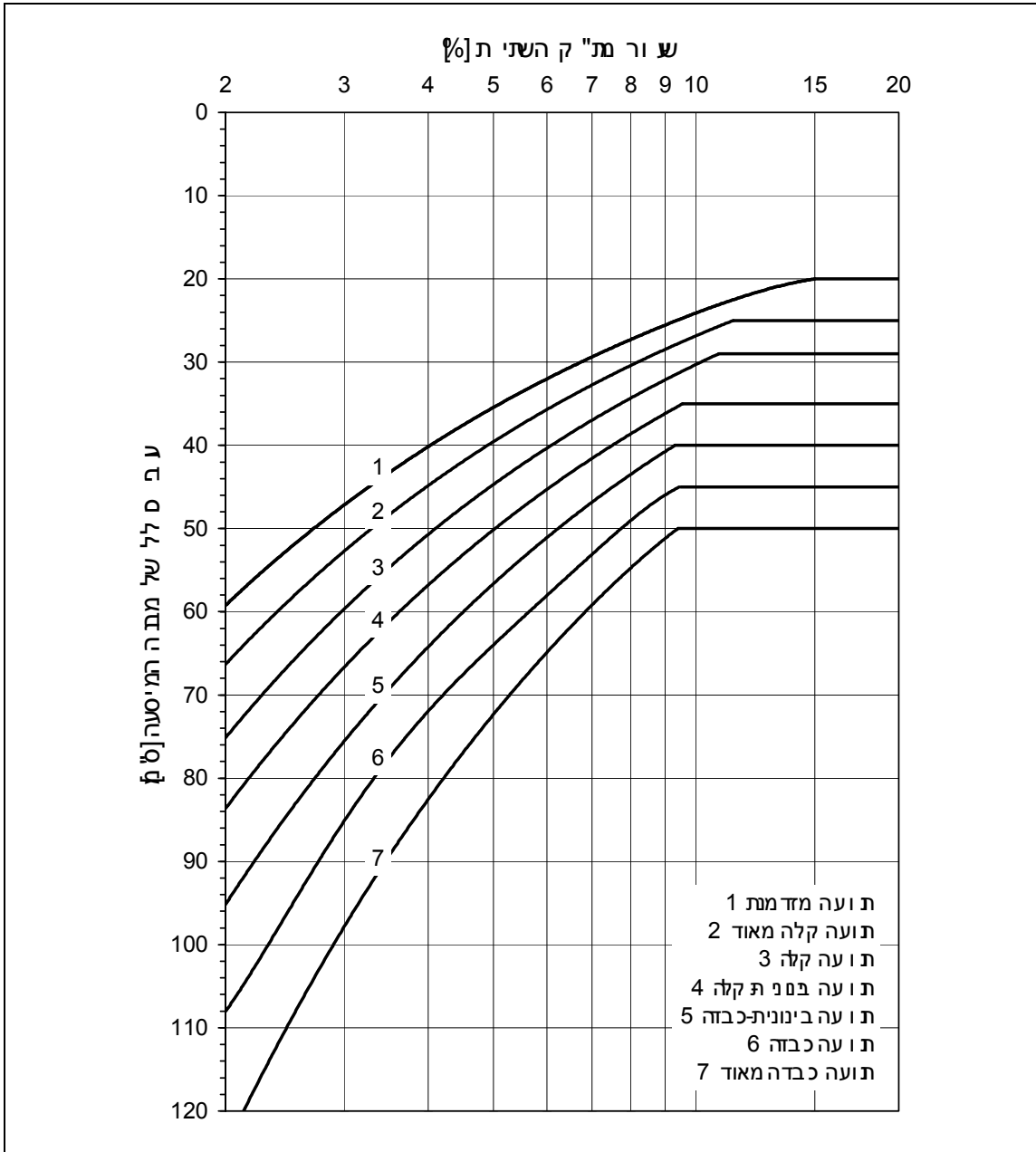
השימוש בעקומי התכנית (ציורים 5.1 ו-5.2) יתבצע על-ידי הצבת שני פרמטרי התכנית:

- א. קטגוריית התנועה בהתאם לפרק 2.
- ב. מת"ק השתית התכנוני המתקבל מחקירת השתית.

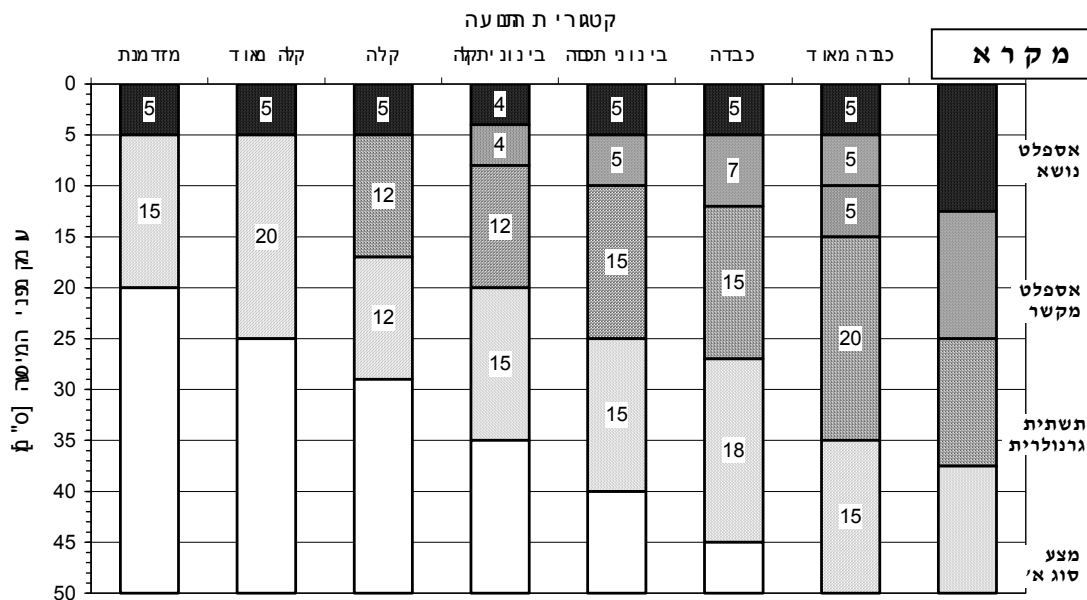
5.12 ציורים לסעיף 5

ציורי סעיף מס' 5 מובאים לאחר רשימת כותרות הציורים המפורטת להלן:

- | | |
|--------------|---|
| ציור מס' 5.1 | עקומי תכנית למבני מיסעות כפיפות (אספלט) על-פי קטגוריית התנועה |
| ציור מס' 5.2 | פרטי המבנה העליון של מיסעות כפיפות (אספלט) על-פי קטגוריית התנועה |
| ציור מס' 5.3 | הקשר בין יחס הלוג של התנועות השקולות לבין שיעור התנועה השקולה לפי אאשטהו, כאשר (א) אחוז האוטובוסים שווה למחצית אחוז המשאיות ו-(ב) אחוז האוטובוסים שווה לאפס |
| ציור מס' 5.4 | עומק הידוק השתית במיסעות כפיפות קונבנציונליות |
| ציור מס' 5.5 | מקדמי המרה עבור חומרים מיוצבים בצמנט |



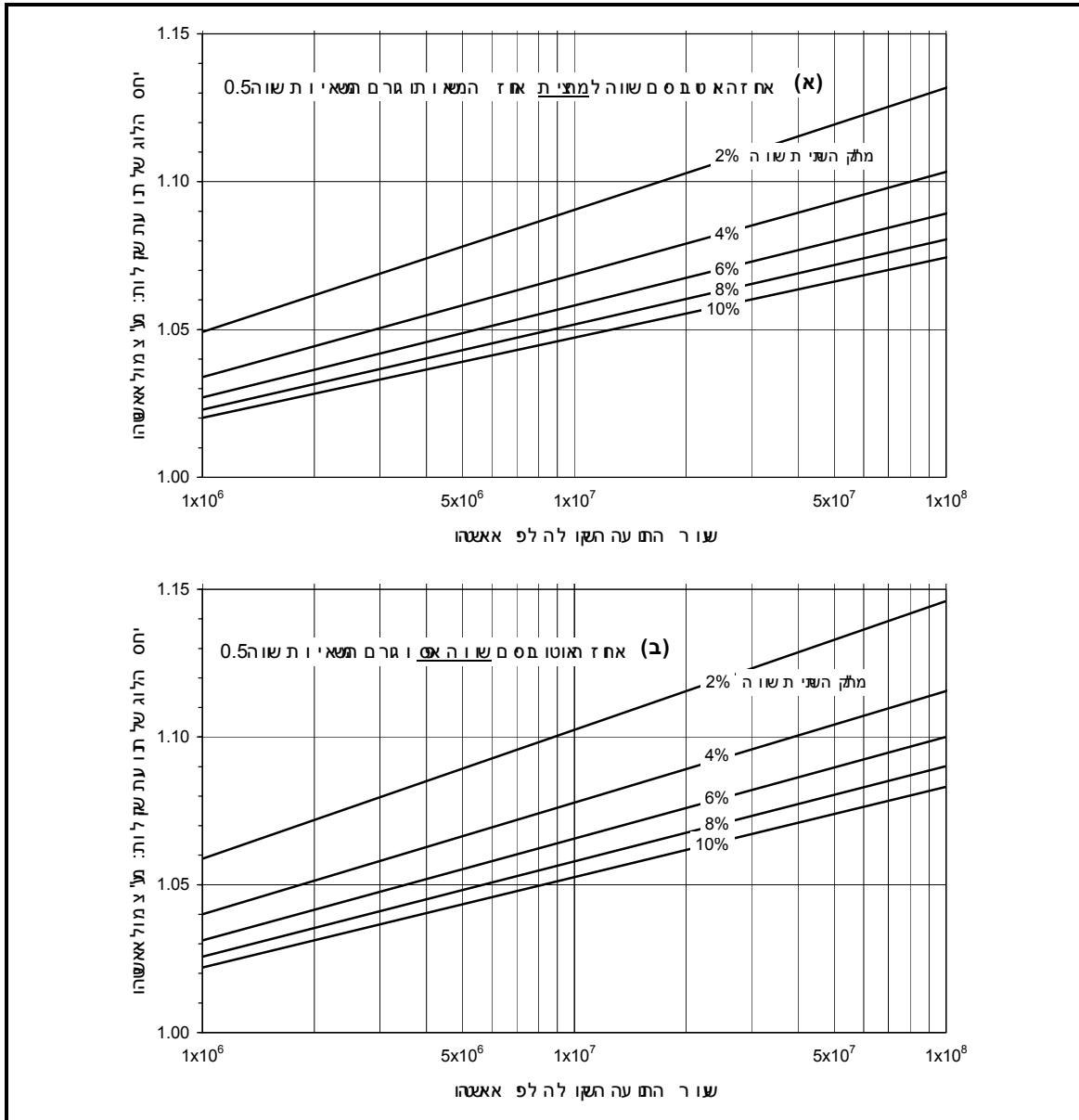
5.1 ציור מס' 5.1 עקומי תכניה למבני מיסעות כפיפות (אספלט) על-פי קטגוריות התנועה



הערה: יתרת המבנה המתקבלת מציור מס' 5.1 מורכבת משכבות מצע סוג ב'.

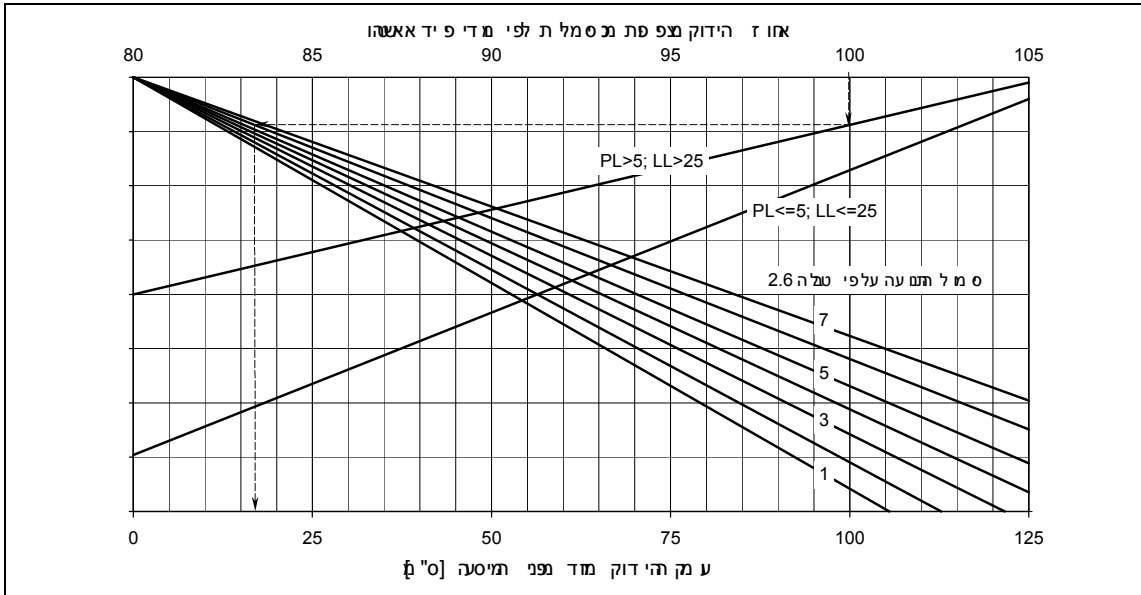
פרטי המבנה העליון של מיסעות כפיפות (אספלט) על-פי קטגוריות התנועה

ציור מס' 5.2

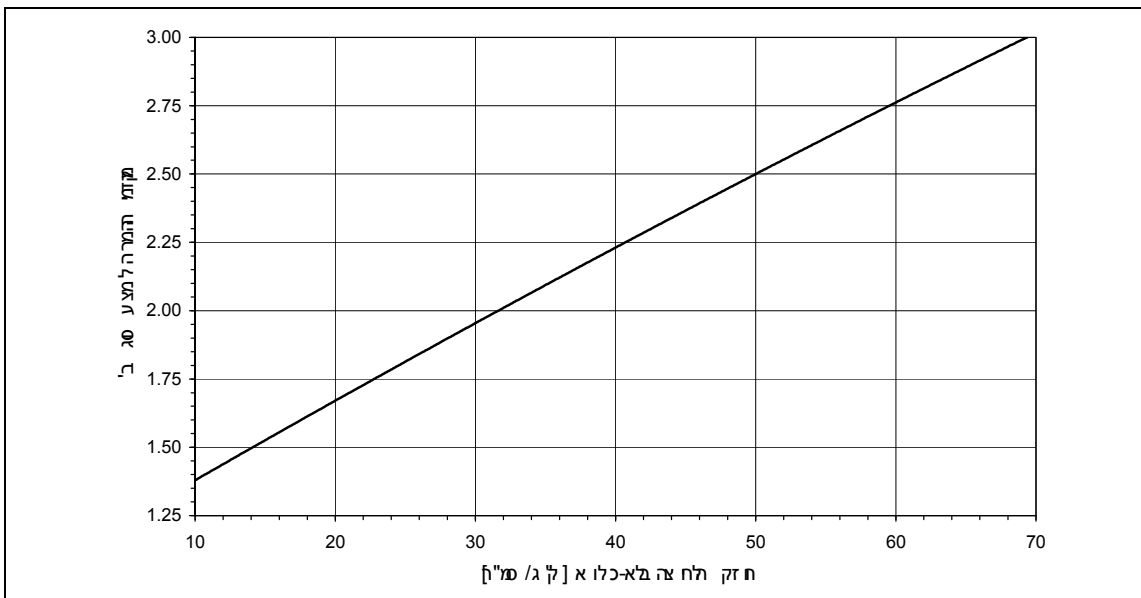


הקשר בין יחס הלוג של התנועות השקולות לבין שיעור התנועה השקולה לפי אשטהו, כאשר (א) אחוז האוטובוסים שווה למחצית אחוז המשאיות ו-(ב) אחוז האוטובוסים שווה לאפס

ציור מס' 5.3



ציור מס' 5.4 עומק הידוק השתית במיסעות כפיפות קונבנציונליות



ציור מס' 5.5 מקדמי התמרה עבור חומרים מיוצבים בצמנט

6. תכנית מבני מסעות מאבנים משתלבות

6.1 כללי

בשנים האחרונות מתרחב והולך השמוש באבנים משתלבות לשם ריצוף רחובות עירוניים בהם מהירות הנסיעה היא נמוכה, כמו רחובות ללא מוצא (רחובות משולבים), רחובות חניה וכו'. יתרון העיקרי של האבנים המשתלבות בשכונות מגורים הוא בתרומתן לעיצוב סביבתי ומטרות נוי אחרות.

6.2 מבנה טיפוסי

מבנה טיפוסי של מסעות מאבנים משתלבות נראה בציור מס' 6.1. כפי שניתן לראות, מבנה טיפוסי זה, כולל את השכבות הבאות:

- א. שכבת האבנים.
- ב. שכבת הנחה מחול, שמטרתה העיקרית לשמש כמשטח שבו מושקעות ומפולסות האבנים לגבהים ולשיפועים הרצויים.
- ג. שכבות תשתית ו/או מצע גרנולריות.
- ד. שתית מעובדת ושתית טבעית.

מובן שמבנה זה יכול גם להכיל שכבות תשתית או מצע מיוצבות בהתאם למקדמי ההמרה המובאים בטבלאות מס' 5.3 ו-5.4.

המבנה הנ"ל מבטיח צורת תגובה לתנועת הנייד, הדומה עקרונית לזו של מבנה כפוף. מרכיב הכח האנכי הפועל על האבנים מועבר ישירות לשכבת התשתית ועל-ידי מגע וחכוך גם לאבנים השכנות. בגלל גודלן הקטן של האבנים לא נוצרים כמעט מאמצי כפיפה העלולים לגרום לשבר באבן. כללית, משטח האבנים המשתלבות עובד כגוף פרקי, כאשר בין אבן לאבן עוברים מאמצי גזירה ולחץ בלבד.

6.3 עקומי תכינה

עקומי התכינה למסעות משתלבות בכבשים מובאים בציורים מס' 6.2 ו-6.31- עבור סדרת התנועות המוצגת בפרק 5, לאמור החל מתנועה מזדמנת וכלה בתנועה כבדה מאד. עקומי התכינה המובאים בציורים הנ"ל מבוססים על עקומי התכינה של מסעות כפיפות (ראה פרק 5) תוך יישום מקדמי ההמרה הבאים:

א. מקדם ההמרה בין אבנים לבטון אספלט – 1.25

ב. מקדם ההמרה בין שכבת החול שמתחת אבנים ומצע סוג א' – 0.00

על-פי מקדמי המרה אלה מתקבל, כי העובי הכולל של כל מבנה המיסעה המצופה באבנים משתלבות קטן ב-2 ס"מ מהעובי הכולל המתאים של מיסעה המצופה אספלט למעט בתנועה כבדה מאד שם ההפרש גדל ל-4 ס"מ.

קביעת עובי השכבות של המבנה העליון וטיבן נעשית על-פי המובא בציור מס' 6.3. כאן באה לידי ביטוי תשתית גרנולרית מטוייבת בצמנט (כ- 3%-2% צמנט) ותשתית גרנולרית מיוצבת בצמנט (כ- 6%-4% צמנט). כמו-כן, בתנועות הקלות התשתית הגרנולרית עשויה אגו"מ סוג ב'.

עקומי התכינה (ציורים מס' 6.2-6.3) מניבים גם כאן לעיתים עובי שכבה בלתי מעשית למצע סוג ב'. מוכתב כי העובי המינימלי הוא 12.0 ס"מ. לכן כאשר מתקבל עובי הקטן מעובי מינימלי זה יש לצרפו אל שכבת המצע העליונה (מצע סוג א').

6.4 דרישות איכות ממרכיבי המיסעה

דרישות האיכות ממרכיבי המיסעה המשתלבת מפורטים בתקן הישראלי ת"י 1571 – "מיסעות מאבני ריצוף מבטון". הדרישות לגבי השתית, המצע והתשתית תואמים את אלה המפורטות לגבי המיסעה הכפיפה. שימת לב יש לתת לדרישות המיוחדות המופיעות בתקן לגבי המרכיבים המיוחדים של המיסעה המשתלבת, דהיינו דרישות איכות לאבני הריצוף, לחול שכבת ההנחה ולחול המישקים.

6.5 ניקוז והידוק

הנסיון המעשי מצביע על החשיבות הרבה של גורם הניקוז במסעות מסוג זה. כמו בסוגי מסעות אחרים, נושא הניקוז מתחלק לשניים – לניקוז הנגר העילי ולניקוז התת-קרקעי. חשיבות ניקוזו של הנגר העילי נובעת מהעובדה שהמישקים שבין האבנים, ממולאים בחול, שלפחות בתחילת חיי המסעה, הינו חומר בעל כושר חלחול והעברת מים גבוה. בשלבים מאוחרים יותר של חיי המסעה, כתוצאה מהשפעת האקלים, עמסי התנועה, חדירת לכלוך כגון שאריות צמיגים וכו' לתוך המישקים, נוצר מעין "פקק" האוטם את המישקים בפני חדירת מים נוספת, עד אשר כושר החלחול של המסעה משתווה בקרוב לזה של מסעה גמישה המכוסה באספלט.

משיקולי ניקוז נאות של הנגר העילי מומלץ לכן, שבמסעות מאבנים משתלבות השיפוע הרוחבי המינימלי יהיה – 2.5% והשפוע האורכי המינימלי – 1%, כאשר שיעור השיפוע האורכי האפשרי הינו פחות מ-1% מומלץ להעלות את דרישת המינימום של השיפוע הרוחבי ל-3%. (הערה: לשימוש באבנים משתלבות באיזורי שיפועים גדולים, ראה סעיף 6.10).

באשר לניקוז התת-קרקעי – עניין זה נדרש באותם תנאי קרקע וסביבה, כבמסעות כפיפות או קשיחות.

דרישות ההידוק לשתיית ולשכבות המיסעה הגרנולריים הינם דומים לאלה המפורטים לגבי מיסעות כפיפות קונבנציונליות. לכך, דרישות ההידוק לשכבות המצע והתשתית מפורטות במפרט הבין-משרדי מס' 51, ודרישות העבוד לשתיית מפורטות בפרק 5 של הנחיות אלה.

6.6 פתרון בעיות מיוחדות בשתיית

הפתרונות המבניים המפורטים המוצגים בעקומי התכינה אינם מתחשבים במספר בעיות שעוללות להתפתח בשתיית פרובלמטיות. בעיות אלו דורשות פתרונות הנדסיים מיוחדים שהם כאמור מעבר לפתרונות הסטנדרטיים, כמפורט להלן:

- א. שינויי נפח ניכרים בשתיית (תפיחה מחד והתמוטטות מאידך).
- ב. תמיכה מיבנית לקויה הנובעת עקב בעיות כגון: יצוב מדרונות, סוגי קרקע לא אחידים לאורך התוואי וכו'.

ג. שתיות בעלות מלחים מסיסים שעלולים לפעפע אל שכבות המצע והתשתית ולגרום להתפוררותן או לירידה בצפיפותן.

כל הבעיות הללו, דורשות פתרונות מיוחדים ע"פ המומלץ בספרות המדעית הרלוונטית (הערה: לעניין העיבוד השגרתי של השתית, ראה סעיף 5.6).

6.7 בחירת צורת האבנים האופטימלית

נושא בחירת צורת האבן האופטימלית הינו נושא בעייתי ושנוי במחלוקת. הבחירה בסוג האבן האופטימלי צריכה להיות מוכתבת ע"פ השיקולים הבאים:

א. כושר פיזור עומסים הטוב ביותר.

ב. נוחות ביצוע.

לעניין כושר פיזור העומסים – קיימת מחלוקת חריפה בין שתי אסכולות: האסכולות שניתן לכנותן ה"אוסטרלית" וה"דרום אפריקאית" מחד, לבין האסכולות ה"בריטית" וה"הולנדית" מאידך. האסכולה הראשונה המסתמכת על נסויי מעבדה שונים, טוענת שאבנים משוננות, המקנות ייתוד גיאומטרי בכל ארבעת פאותיהן, מפזרות טוב יותר את העומסים, בעוד האסכולה השניה טוענת שלאבנים המשוננות אין שום עדיפות ומשטחים מוצלחים שבוצעו באבנים שפאותיהן חלקות – הן ההוכחה לכך. במצב הידע הנוכחי, לא ניתן להכריע לכאן או לכאן ולפיכך הדרישה היחידה המומלצת כרגע באשר לצורת האבן הינה שניתן יהיה להניח בשילוב דו-כיווני.

לעניין נוחות הביצוע – נושא זה כולל בתוכו את האספקטים הבאים:

א. עדיף שצורת האבן תהיה כזו, שהאבן תהיה "מונחת מעצמה" (Self-Locating), דהיינו, שעובד לא מיומן, לא יצטרך להתלבט לגבי אופן הנחת האבן בסמוך לקודמתה.

ב. צורת האבן חייבת להיות כזו שתאפשר בקרה טובה על רוחב המישקים (מרווחים) בין האבנים. לרוחב זה יש השפעה גדולה על תפקודה המכני של המסעה כולה, והרוחב האופטימלי המומלץ הינו בתחום של 2-5 מ"מ. לפיכך, אבנים בעלות פיאות חלקות עדיפות בנקודה זו. באבנים משוננות קיימת האפשרות שהתבלות התבניות במפעל תגרום לקשיים ביישום אבנים שצורתן זהה, אך הן מסדרות ייצור שונות וכתוצאה מכך, יוצרו רווחים גדולים מהרצוי.

לסיכום, שיקולים של נוחות ביצוע מצביעים על יתרון מסויים של האבנים שפיאותיהן חלקות, אולם שיקולים אלו לבדם, אינם יכולים להכתיב את צורת האבן האופטימלית.

6.8 נוהלי ביצוע

נוהלי הביצוע לגבי השכבות השונות במיסעות מאבנים משתלבות מפורטים גם הם בתקן הישראלי ת"י 1571, סעיף 7. הכנת השתית ועיבודה וסלילת שכבות המצע והתשתית יבוצעו בדומה למיסעה הכפיפה ובהתאם למפרט הבין-משרדי מס' 51. לעומת זאת, יישום שכבת ההנחה ואופן הנחת אבני הריצוף יעשה בהתאם לסעיפים 7.4 ו-7.5 בתקן.

6.9 תיחום המיסעה המשתלבת

תיחום שכבת הריצוף באלמנטי בטון (אלמנט השפה) הינו תנאי הכרחי לתפקוד תקין של המסעה. אי הקפדה בנושא זה עשויה להביא לתהליך איטי של זחילה לצדדים ופתיחת המישקים, חדירת מים לתוכם ובסופו של דבר להרס המסעה.

בדרך-כלל מקובל להשתמש באבן שפה ואבני גן קונבנציונאליות העונות לדרישות התקן הישראלי המתאים. במקרים מיוחדים, כגון מצב שבו המסעה נמצאת במילוי ונחשפת לעומסים כבדים במיוחד, יש צורך באמצעי תיחום מסיבי יותר כגון הפרט המופיע בציור מס' 6.4. תחום המיסעה המשתלבת מכוסה גם הוא בתקן הישראלי ת"י 1571.

6.10 שימוש באבנים משתלבות באיזורי שיפועים גדולים

אחד מהיתרונות של האבנים הינו האפשרות ליישמן בשיפועים גדולים (שיפוע גדול מ-7%) בהם יש קשיים ביישום חומרי מבנה קונבנציונאליים כבטון ובטון אספלט. באותם המקרים שבהם נעשה שימוש באבנים משתלבות באיזורי שיפועים גדולים (כגון כיסוי לסוללות או איזורים הרריים), עשויים המישקים שבין המרצפות לשמש כתעלות ניקוז זעירות. במקרה שכזה יש חשיבות רבה לסדור המרצפות משום שסדור מרצפות שבו קיימים מישקים ארוכים המקבילים לכיוון השפוע, עלול להביא לזרימה מהירה של מים בתוך המישקים ולארוזיה המהירה של חומר איטום המישקים. בהקשר לכך יש לשים לב לדרישות המיוחדות לחול בשכבת ההנחה, כמפורט בסעיף 6.4.

נושא סלילת המיסעה המשתלבת בשיפועים גדולים מעוגן גם הוא בתקן הישראלי ת"י 1571, בהתאם לאמור בתקן, מומלץ בתכנן וסלילה של מיסעות משתלבות בשיפועים גדולים להתחשב ולנקוט באחד או יותר מהפעולות הבאות, שמטרתן היא הגדלת היציבות ושיפור יעילות הנקוז:

- (1) הבטחת ניקוז יעיל של פני המיסעה על-מנת למנוע זרימה ממושכת של מים על-פני המיסעה על-ידי: מתן שיפועי צד מתאימים, תעלות ניקוז רדודות במרכז או בצדי המיסעה ותפיסות מים עיליות במרחקים קצרים.
- (2) שימוש באבני ריצוף בעלות צורות גיאומטריות שונות במקום צורות מלבניות וזאת להקניית נעילה הדדית יעילה יותר.
- (3) שימוש באבני ריצוף עבות יותר בשיפועים היותר תלולים (מעל ל-10%), להגדלת המגע האנכי בין אבני הריצוף.
- (4) הנחת אבני ריצוף בשילוב דו-כיווני בצורת "עצם-דג" (איזורה) ובזווית של 45° לכיוון השיפוע וזאת למניעת קווים ישרים לזרימת מים רצופה לאורך המישקים.
- (5) סלילת המיסעה בכיוון העליה (מלמטה למעלה), כדי לנצל את כוח הכובד של אבני הריצוף למגע טוב יותר ולמניעת הפתיחה של המישקים.
- (6) שימוש בשכבות מנקזות של תשתית ו/או מצע וניקוזן, כדי ליעל את זרימת המים החודרים והרחקתם, ולמנוע כוחות עילוי ומחתור כלפי מעלה. קו הדירוג של חומרי תשתית או מצע אלה יהיה סמוך לגבול הדירוג התחתון אך לא מעבר לו.

- (7) ייצוב החול שבמישקים בבנטונייט או ריסוס בחומרי איטום מתאימים להקניית איטום ראשוני של המישקים.
- (8) יישום יריעה גיאוטכנית (חדירה, באריגה אקראית) מתחת לשכבת החול, לאמור מעל לשכבת התשתית או המצע.
- (9) שימוש בחול לשכבת ההנחה התואם את הדירוג לשיפועים מעל 7%.
- (10) במקרה והשיפוע התלול ארוך מ-30 מ', או לפני הצטלבויות, או במקומות שבהם עוצרים בתדירות גבוהה, או במקומות שינויי שיפוע אורכי, יש לצקת אלמנטי תמיכה מבטון מזויין לרוחב המיסעה. אלמנטי תמיכה אלה יהיו מחוררים כדי לאפשר זרימה מנקזת אורכית דרך שכבות המיסעה ולא יבלטו מעל לתחתית שכבת ההנחה.

6.11 אחזקה ושימוש חוזר באבנים

אחד היתרונות המשמעותיים של השימוש באבנים משתלבות הינו פשטות האחזקה והאפשרות להשתמש שמוש חוזר באבנים. עבודת האחזקה כוללת בדרך-כלל, תיקון מצעים שניזוקו, החלפת אבנים ניזוקות וחיסול צמחיה העשויה לצמוח בין האבנים על-ידי שימוש בחומרי הדברה. יצויין שהחלפת האבנים ושימוש חוזר באבנים, הינם דברים שגרתיים באחזקת מסעות מסוג זה.

נושא האחזקה ושימוש חוזר באבנים מעוגן גם הוא בתקן הישראלי ת"י 1571 בסעיף 8. בנושא האחזקה התקן מגדיר את סוגי הנזקים האופייניים למיסעה המשתלבת ומפרט את אופני התקון המומלצים לכל סוג. כן מציין התקן את הפעולות שיש לנקוט בהן לצורך הבטחת יעילות השימוש החוזר באבנים.

6.12 מבנה מיסעות למדרכות

מבנה המיסעות למדרכה יהיו בהתאם לטבלה מס' 6.1 הבאה.

טבלה מס' 6.1 מבנה המיסעות המשתלבות למדרכה בתלות במת"ק השתית

עובי שכבות המיסעה	פרוט השכבה	
6.0 ס"מ	שכבת אבנים משתלבות	
3.0 ס"מ	שכבת חול	
20.0 ס"מ	3-5%	עובי שכבות מצע עבור מת"ק:
15.0 ס"מ	6-8%	
12.0 ס"מ	>8%	

6.13 ציורים לסעיף 6

ציורי סעיף מס' 6 מובאים לאחר רשימת כותרות הציורים המפורטת להלן:

ציור מס' 6.1 מבנה מיסעה מאבנים משתלבות ופעולת הכוחות עליהן

ציור מס' 6.2 עקומי תכינה למבני מיסעות מאבנים משתלבות על-פי קטגוריות התנועה

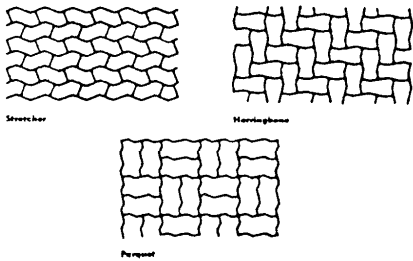
ציור מס' 6.3 פרטי המבנה העליון של מיסעות מאבנים משתלבות על-פי קטגוריות התנועה

ציור מס' 6.4 חתך טיפוסי במשטח אבנים משתלבות לעומסים כבדים (דוגמא)

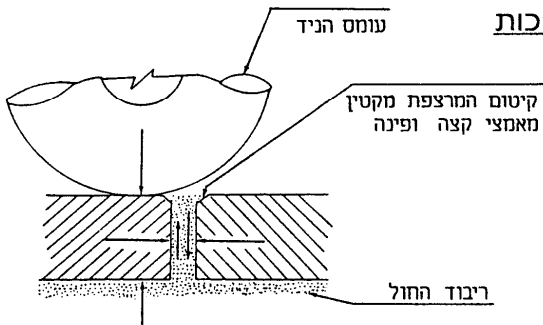
מבנה מסעה מאבנים משתלבות



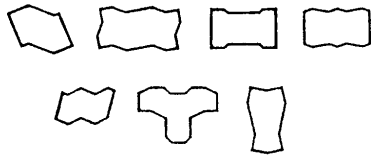
**דוגמאות שונות לצורות
 שילוב האבנים**



**מתווה להצגת האינטראקציה
 בין שתי אבנים סמוכות**

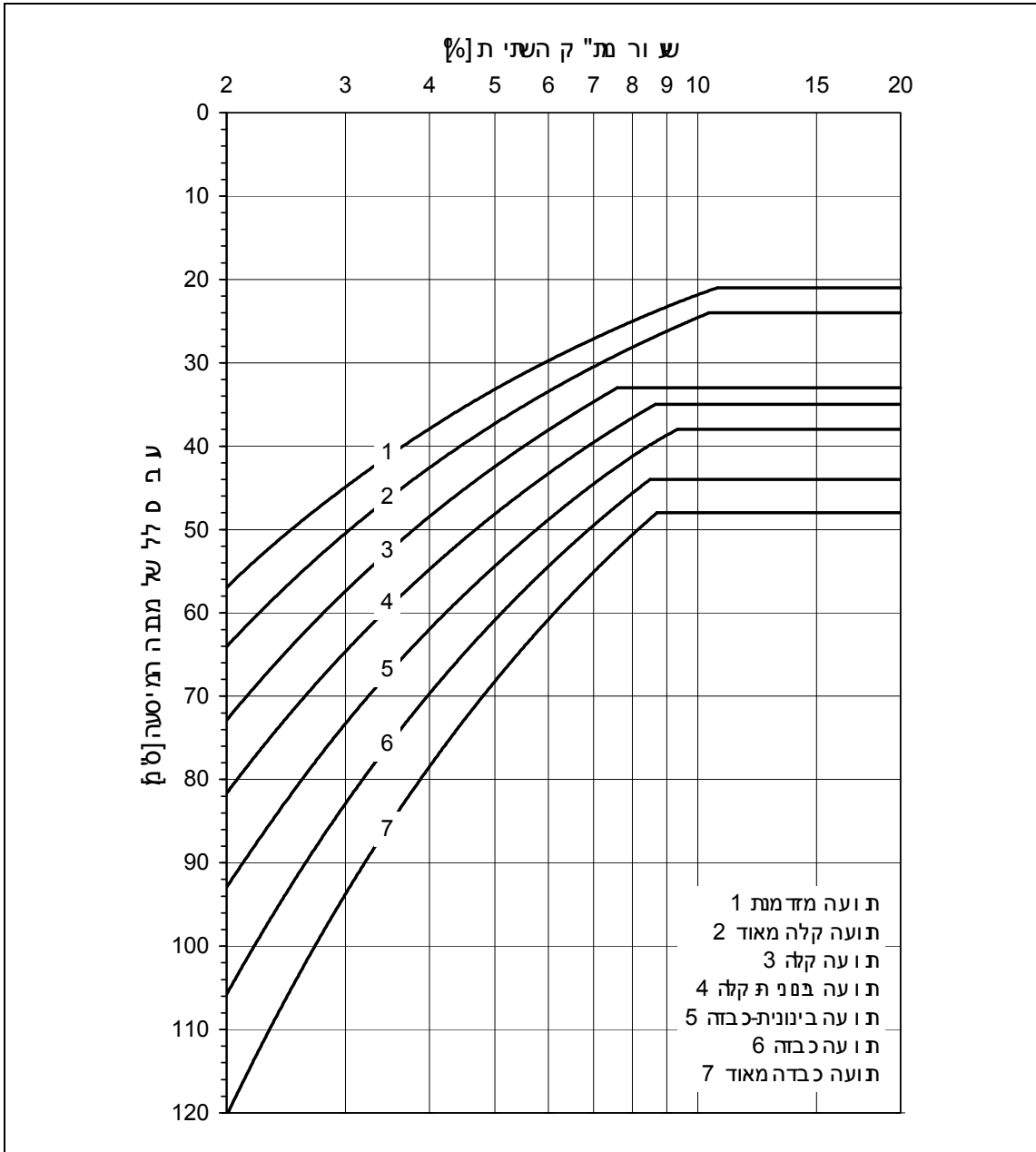


**מספר דוגמאות לצורות
 של האבנים**



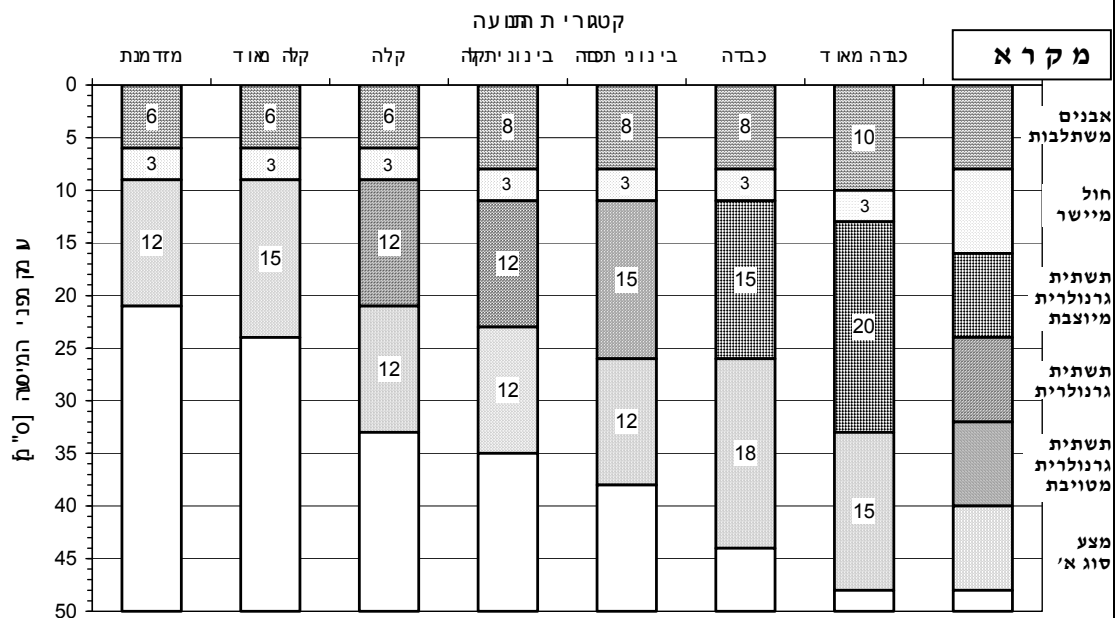
מבנה מיסעה מאבנים משתלבות ופעולת הכוחות עליהן

ציור מס' 6.1



עקומי תכינה למבני מיסעות מאבנים משתלבות על-פי קטגוריות התנועה

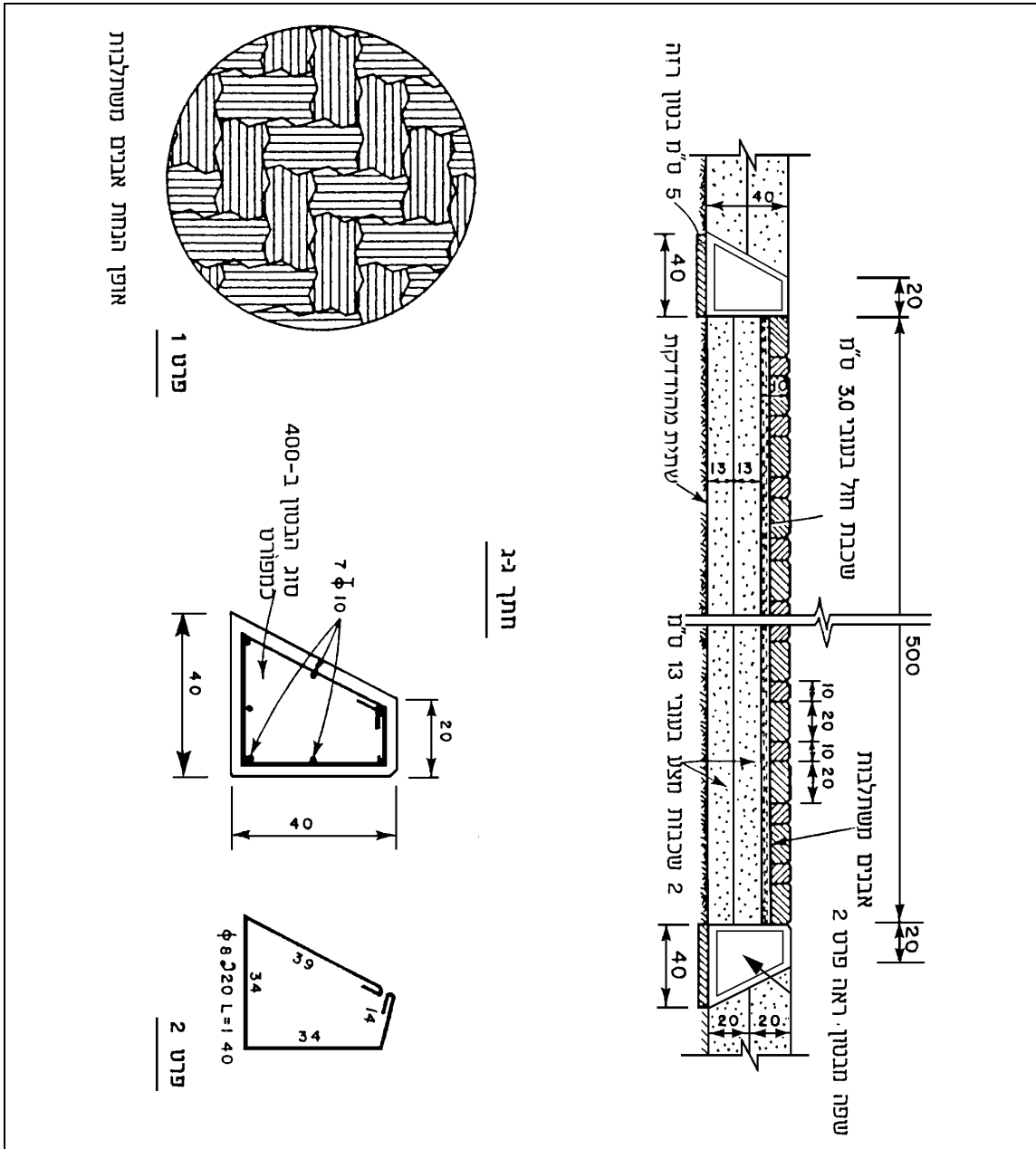
ציור מס' 6.2



הערה: יתרת המבנה המתקבלת מציור מס' 6.2 מורכבת משכבות מצע סוג ב'.

פרטי המבנה העליון של מיסעות מאבנים משתלבות על-פי קטגוריות התנועה

ציור מס' 6.3



חתך טיפוסי במשטח אבנים משתלבות לעומסים כבדים (דוגמא)

ציור מס' 6.4

7. חומר עזר

7.1 כללי

חומר העזר המשמש את ההנחיות הנוכחיות מובא בסעיף זה על-פי קבוצות הנושאים המפורטים בהמשך.

7.2 מפרטים ותקנים

מכון התקנים הישראלי, אגף התקינה, תקן ישראלי ת"י 941, "ביסוס מבנים", דצמבר 1978.
מכון התקנים הישראלי, אגף התקינה, תקן ישראלי – ת"י 1571, "מיסעות מאבני ריצוף מבטון", פברואר 1998.

משרד הבטחון, ההוצאה לאור, "מפרט כללי לאספקת חומרי תשתית ובנייה (פרק 55)", 1994.
משרד הביטחון, ההוצאה לאור, "מפרט כללי לסלילת מסלולים בשדות תעופה, כבישים ורחבות (פרק 51)", מהדורה שישית (מתוקנת), 1998.

7.3 הנחיות תכנוניות לגיאומטריה ומבנה

אוזן, י., "טיטות של הנחיות לתכינת מיסעות בכביש מס' 6: חישוב עובי שכבות במיסעות גמישות, מבני מיסעות על חרסיתות תופחות, חקירת שתית, אמינות התכנון וניקוז השכבות (פרק 5)", הוכן עבור חברת כביש חוצה ישראל בע"מ, 1995.

גלר, ר. ונסיכי, ש., "הנחיות זמניות לתכינת מבנה מיסעות בכבישים הבינעירוניים", מחלקת עבודות ציבוריות, האגף לחומרים ומחקר, פרסום מס' מפ' 93/3-, 1993.

משרד הבינוי והשיכון – משרד התחבורה, "הנחיות לתכנון רחובות בערים – חלק 1: תכן גיאומטרי של רחובות עירוניים (ללא צמתים)", אוגוסט 1983.

משרד הבינוי והשיכון – משרד התחבורה, "הנחיות לתכנון רחובות בערים – חלק 2: תכן גיאומטרי של צמתים עירוניים (במפלס אחד)", אוגוסט 1989.

נדביה, ד., "הנחיות לתכינת מיסעות של כבישי אספלט חדשים", פרסום מס' חק' 16-, המחלקה לחומרים ומחקר, מחלקת עבודות ציבוריות, 1969.

Departments of the Army and the Air Force, "Engineering and Design Flexible Pavements for Roads, Streets, Walks and Open Storage Areas", TM 5-822-5, AFM 88-7, Chap. 3, Washington, D.C., 1980.

The Asphalt Institute, "Thickness Design of Asphalt Pavements for Highways & Streets", Manual Series No. 1, (MS-1), 1991.

7.4 שיטות תכינה

אוזן, י. וגור, י., "תכינת מיסעות גמישות ברחובות שכונתיים-עירוניים בישראל", המכון לחקר התחבורה, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל, דו"ח מחקר מס' 89-143, 1989.

גור, י., "שיטת תכינה למבנה כבישים בין-עירוניים: דו"ח מחקר – מאפייני תנועת כלי-רכב כבדים בדרכים ביני"ע בישראל: תיאור וחיזוי לצורך תכן מיסעות", המכון לחקר התחבורה, הטכניון-מכון טכנולוגי לישראל, דו"ח מחקר מס' 92-244, הוכן עבור מחלקת עבודות ציבוריות, 1997.

ישי, א. וירון, ר., "ריצוף באבנים משתלבות על-גבי מיסעה אספלטית קיימת ברחובות", ל.ק.ג- מהנדסי תחבורה יועצים. הוכן עבור "ערים" – חברה לפתוח עירוני בע"מ, 1996.

ליבנה, מ., ישי, א. ואוזן, י., "פרקים בתכן מבני מיסעות כפיפות", המכון לחקר התחבורה, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל, פרסום מס' 79-24, 1979.

ליבנה, מ., ישי, א. ונסיכי ש., "תכינת מבנה מיסעות ממרצפות משתלבות – סקר ספרות למטרות יישום בארץ", המכון לחקר התחבורה, הטכניון, דו"ח מחקר מס' 85-83, 1985.

AASHTO, "Guide for Design of Pavement Structures", American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993.

Divinsky, M., Livneh, M., Nesichi, S., "Development of Adequate Generalized Regression Equations for the Israeli PWD Thickness Design Method of Asphalt Pavement Structures", Research Report No. 98-258, Transportation Research Inst., Technion, 1998.

Divinsky, M., Livneh, M., Nesichi, S., "Load-Equivalency Factors Based on the Extended CBR Method", Transportation Research Record No. 1684, 1999.

Divinsky, M., Livneh, M., Nesichi, S., "Calculation of Load-Equivalency Factors Based on the Israeli PWD Pavement Design Method", Research Report No. 98-269, Transportation Research Inst., Technion, 1999.

Ishai, I., Dalin, J.S. and Rubin, H., "The Stability of Concrete Block Pavements Under High-Velocity Water Flow", Proceeding, Fourth Int. Conf. on Concrete Block Paving, Auckland, New-Zealand, 1992.

Uzan, J., "A Pavement Design and Rehabilitation System", Transportation Research Record No. 1539, Transportation Research Board, 1996.