

מעברי בעלי-חיים בכבישים

מסמך רקע לקביעת מדיניות

הוכן על-ידי אלונה בקי M.Sc.

מטעם

הועדה לבחינת מעברי בעלי חיים בכבישים,

"החברה לזואולוגיה בישראל (ע"ר)"

עבור "רשות הטבע והגנים"

חברי הועדה:

ד"ר ירון זיו, יו"ר, אוניברסיטת בן גוריון

פרופ' צביקה אברמסקי, אוניברסיטת בן גוריון

ד"ר עמוס בוסקילה, אוניברסיטת בן גוריון

ד"ר דוד זלץ, אוניברסיטת בן גוריון

פרופ' יורם יום-טוב, אוניברסיטת תל אביב

ד"ר משה ענבר, אוניברסיטת חיפה

יוני 2000

מ/ר/ות

תודתי נתונה לכל אלה שתרמו מזמנם ומומחיותם ע"מ לסייע במהלך הכנת מסמך זה. לחברי הועדה לבחינת מעברי בעלי חיים בכביש חוצה ישראל, על המידע, הספרות והזמן שהשקיעו, אשר אפשרו את כתיבת עבודה זו. לאלה מאנשי רשטג"ל אשר סיפקו מידע הקיים ברשותם. כן ברצוני להודות לכל מי שתרם מידע והמליץ על מאמרים, ובמיוחד לגורמים השונים שנענו לבקשתי ושלחו מאמרים ופרסומים פנימיים שאינם זמינים בארץ: Hans Bekker ממשרד התחבורה ההולנדי ויו"ר COST 341, ד"ר Holzgang מהמכון האורניטולוגי בשוויץ, ד"ר Zeigler ממשרד התחבורה בפלורידה, ד"ר Hewitt מאוניברסיטת טקסס, ו Marnie Criley מ- Wildland CPR. תודה מיוחדת לד"ר ירון זיו, העומד בראש הועדה, על המידע, סבלנות ועזרה בשלבים השונים של הכנת העבודה.

תוכן עניינים

2	תוכן עניינים
3	1. רקע כללי
5	2. השפעת כבישים
5	2.1 הצגת הבעיה
5	2.1.1 דריסה
6	2.1.2 השפעה התנהגותית
6	2.1.3 שינוי הסביבה הפיזית
7	2.1.4 שינוי הסביבה הכימית
7	2.1.5 תפוצת מינים אקזוטיים ומזיקים
7	2.1.6 שינוי בתי גידול ושימוש מוגבר על-ידי בני אדם
7	2.1.7 קטועות בתי גידול (fragmentation)
9	2.2 דוגמאות ממחקרים על השפעות כבישים בקבוצות שונות של בע"ח
9	2.2.1 יונקים גדולים
9	2.2.2 טורפים
9	2.2.3 יונקים קטנים
10	2.2.4 עופות
10	2.2.5 זוחלים
11	2.2.6 דו-חיים
11	2.2.7 פרוקי רגליים
11	2.3 נתונים מישראל
13	3. פתרונות לצמצום השפעת כבישים
13	3.1 כללי
13	3.2 פתרונות מיושמים בעולם (היבט הנדסי ותגובות בע"ח)
14	3.2.1 מעברים עיליים מסוג Ecoduct
15	3.2.2 מעברים תחתיים
17	3.2.3 שימוש משני במעברים קיימים (כדוגמת מעברי מים ומעברים חקלאיים)
19	3.2.4 מאפייני כביש נוספים
19	3.3 פתרונות ספציפיים לבעיות בקבוצות שונות של בע"ח
19	3.3.1 יונקים גדולים
21	3.3.2 טורפים
22	3.3.3 יונקים קטנים
22	3.3.4 עופות
23	3.3.5 זוחלים
23	3.3.6 דו-חיים
26	3.3.7 פרוקי רגליים
28	4. סיכום - המלצות מהספרות לגבי התאמת כבישים למעבר בע"ח
28	4.1 נתונים לתכנון מעבר עילי בפרט ומעברים בכלל
31	4.2 תדירות מיקום מעברים
32	5. סקירת פתרונות מיושמים / מומלצים בישראל עד כה
32	5.1 אמצעים מיושמים
33	5.2 המלצות קיימות לגבי כבישים בארץ
34	5.3 פתרונות מומלצים עד עתה לתוואי כביש חוצה ישראל (כביש 6)
36	6. המלצות ומסקנות הוועדה
36	7. נספחים
36	נספח 1. אתרי אינטרנט מומלצים בנושא
37	נספח 2. מעברי בעלי-חיים בכבישים, המלצות חטיבת מדע וממשק, רשות שמורות הטבע
38	נספח 3. תמונות ומבנה של מעברי בע"ח שונים
39	נספח 4. תרשימי מעברים לדו-חיים
40	נספח 5. מעקה בטיחות מכבלי פלדה של חברת BRIFEN
41	נספח 6. מגוון המינים בישראל במידה ולא יוקמו מעברים לבע"ח
42	8. ביבליוגרפיה
46	8.1 מכתבים ומסמכים לא מדעיים

1. רקע כללי

דרכים מכסות אחוז ניכר משטח כדור הארץ. כיום, ידוע כי השפעתן האקולוגית של דרכים היא משמעותית, אולם, במדינות רבות עדיין אין יישום מעשי של אמצעים לצמצום השפעתם של כבישים ותכנון סביבתי נאות. העדויות על השפעתם השלילית של כבישים כה ברורות (ראה להלן), עד כי במדינות מפותחות (וביחוד בארה"ב ואירופה) הוחל בנקיטת צעדים ומדיניות תחוקתית המגבילה את צפיפות הכבישים המותרת ומעודדת פיתוח אסטרטגיות לצמצום השפעתם (Hourdequin, 2000). למרות שעל חלק גדול מההשפעות השליליות של כבישים ישנו מחקר ותיעוד מקיף, קיבוץ המידע ויישומו לשמירת טבע עדיין מהווה אתגר, משום שכבישים והשפעתם מגוונים ביותר. דרכים משתנות באורכן, רוחבן, שטח פניהן (אספלט, עפר, חצץ), ועומס התנועה בהם. בנוסף, מיקומן, צפיפותן, פיזורן במרחב ובתי הגידול שהן חוצות אף הן מעצבות את השפעתן האקולוגית, כמו-גם מטרות הדרך וטיב התנועה. עדיין ניתן ללמוד רבות מהמחקרים שנעשו עד כה בנושא (Hourdequin, 2000). ככלל, קיים מתאם גבוה בין נוכחותם של כבישים לבין שינויים בהרכב בע"ח, גודל אוכלוסיות ותהליכים הידרולוגיים וגיאומורפיים שמעצבים מערכות יבשתיות ואקוטריות (Trombulak & Frissell, 2000). ההשפעה של כבישים עלולה לעתים להיות ניכרת רק לאחר שעבר פרק זמן ארוך מאז סלילתם (Findlay & Bourdages, 2000; Wilcox & Murphy, 1985).

בארה"ב, כ- 13,100,000 ק"מ של כבישים הרסו לפחות שטח של כ- 48,000 קמ"ר של אזורים יבשתיים ואקוטריות, שתמכו בעבר בחי וצומח (Trombulak & Frissell, 2000). 15-20% משטחי המדינה מושפעים אקולוגית על-ידי כבישים (Forman and Alexander, 1998). בעקבות נתונים אלה, שירות היערות האמריקאי מכין בימים אלו מדיניות לניהול אקולוגי של כבישים (Hourdequin, 2000). מדינות שונות אף מטפלות בנושא באופן עצמאי. לדוגמא, משרד התחבורה בפלורידה נוקט באמצעים שונים להורדת מספר הדריסות של פנתרים ואף מקיים מדי שנה כנס בנושא כבישים ובע"ח (ראה נספח 1: מס' 4).

באירופה, 14 מדינות החברות ב-IENE (Infra Eco Network Europe) התאגדו לפעילות במסגרת הקהילה האירופית (Cost 341) על-מנת לפרסם דוח מקיף וליצור מאגר נתונים משותף כדי לצמצם את השפעתם השלילית של כבישים (תוך שתוף פעולה בין חוקרים, משרדי תחבורה ומהנדסי כבישים). במדינות אלה נבנים כיום מעברי בע"ח בקביעות על-מנת לגרום ל"דה-פרגמנטציה" (איחוי) של בתי גידול (Bekker, 1998; Holzgang et al., submitted ms.). בהולנד, ישנו איסור על כל פרגמנטציה (קטוע בתי גידול) נוספת באזורים ירוקים, וישנו יעד לסיום בניית מעברים (בנוסף על הקיימים) וצמצום 90% מההשפעות הקטוע של הכבישים הקיימים עד שנת 2010. כל זאת במימון ואחריות המשרד הממונה על כבישים (Bekker, 1998; Forman and Alexander, 1988). בשווייץ, בניית מעברים לבע"ח עשויה להיות התניה מחייבת לסלילת כביש (Grossenbacher, 1989). בגרמניה, כבישים מהירים, הבנויים מ-2-4 מסלולים לכל כיוון ועם אזור הפרדה במרכז של כ- 4 מ' (עם צמחיה או מעקה), מכילים גידור ומעברי בע"ח כחלק אינטגרלי משאר שירותי הכביש (The Autobahn, אתר אינטרנט). הן בארה"ב והן באירופה ניתנים תמיכה ומימון על-ידי משרדי התחבורה למחקר ויישום פתרונות לצמצום נזקי כבישים (Bekker, 1998; Wells et al., 1998). לדוגמא, בשנת 1999 הקונגרס האמריקאי אישר מימון של 3 מיליארד דולר למימון פרויקטים לצמצום נזקי כבישים (Matthews, 1999).

בישראל, אורך הכבישים המהירים כיום הוא כ- 5,260 ק"מ. צפיפות כלי הרכב בכבישים היא מהגבוהות בעולם, כאשר מספר כלי הרכב עומד כיום על 1,730,000 (הלשכה מרכזית לסטטיסטיקה, מידע בע"פ).

מבחינה אקולוגית, ייחודה של ישראל (שמבחינה זואוגיאוגרפית מהווה נקודת מפגש של שלוש יבשות) הוא במגוון בתי הגידול שתומכים בעושר חברות צמחים ומגוון מיני בע"ח עשיר מאוד ביחס לשטחה. כבר ברמה הנוכחית של קיטוע ידי אדם, נגרם נזק בלתי הפיך לבתי גידול ולחברות החי והצומח שבהם (כדוגמת אזור חולות ראשון לציון). למרות נתונים אלה, אין בישראל מעברים שנבנו במיוחד לצורך בע"ח, פרט לפתרון מקומי חלקי במעקות הפרדה מבטון במספר כבישים.

כביש חוצה ישראל (כביש מס' 6) מתוכנן לעבור ולחצות את ישראל מצפון לדרום, כשממנו מסתעפים כבישי רוחב. אורכו המתוכנן של הכביש 300 ק"מ ובחלקו יהיה בעל 4 נתיבים לכל כיוון (סה"כ כביש ברוחב 8 נתיבים). הכביש יתפוס, יחד עם השוליים, רצועה ברוחב של יותר מ- 100 מ' (פרבולוצקי, 1999). כביש חוצה ישראל נושא בחובו פוטנציאל להרס נוסף של הסביבה הטבעית בישראל על החי והצומח שבה, ויצירת קיטוע של בתי גידול בקנה מידה שלא נראה בעבר בארץ מבחינת כבישים. זאת על-ידי הריסת בתי גידול, קיטוע בתי גידול והפרעה לניידות הטבעית של בעלי חיים בטבע. צמצום נזק זה הוא לא רק רצוי, אלא הכרחי לשמירה על נכסי הטבע של המדינה.

כבישים יוצרים מספר רב של בעיות, ובהתאם קיימים כיוונים שונים של פתרונות. מטרת עבודה זו היא לסקור את הידוע מבחינה מדעית בנושא השפעות כבישים על מעבר בע"ח הן מבחינה התנהגותית והן מבחינת סיכויי הדריסה. ובהמשך סקירת אמצעים לצמצום ההשפעות השליליות שכבישים טומנים בחובם. למעשה, הבעיות העיקריות בהן העבודה מתמקדת הן הקיטוע ומדור בתי גידול הנגרמים על-ידי כבישים. בעבודה זו, אין הרחבה בנושא השפעות כבישים על צמחים, אולם פתרונות לבע"ח יפתרו גם חלק מהבעיות של צמחים (כגון האבקה ותפוצה), בהיותם חלק ממערכת אקולוגית אחת שאינה ניתנת להפרדה. הדגש בעבודה הוא בבעיות ופתרונות שרלוונטיים יותר לישראל. המטרה היא ליצור קובץ מידע זמין שיאפשר דיון בפתרונות מומלצים וגיבוש מדיניות בנושא מעברי בע"ח לכבישים בישראל ככלל, ולכביש מס' 6 בפרט.

2. השפעת כבישים

2.1 הצגת הבעיה

דרכים, בין אם דרכי עפר ובין אם כבישי אספלט, הן בעלות השפעה מכרעת על תנועה ותמותת בע"ח (Forman & Alexander, 1998; Norman et al., 1998; Trombulak & Frissell, 2000), שאינה מוגבלת לבעלי חיים קרקעיים, אלא רלוונטית אף למעופפים כציפורים ופרפרים (Van der Zande et al., 1992; Munguira & Thomas, 1980). מעבר למבנה הכביש עצמו, בכבישים מהירים שונים נבנית הפרדה במרכז הכביש על-מנת לצמצם את הסכנה לנהגים. אמצעים המשמשים להפרדה כוללים איי צומח, מעקות בטון אטומים, מעקות מתכת פתוחים, כבלים מפלדה. לאמצעים השונים יש משמעות הן לגבי סיכון בע"ח והן לגבי יצירת חיץ (למעבר, ולטווח ראייה) בנוסף על החיץ שעצם הכביש יוצר (Carbaugh et al., 1975).

Trombulak & Frissell (2000) הבדילו בשבעה אופנים כלליים בהם כבישים משפיעים על מערכות יבשתיות ואקוטיות (ראה גם: (Andrén, 1994; Schonewald-Cox & Buechner, 1989 :

1. תמותה מוגברת כתוצאה מבניית הכביש
 2. תמותה מוגברת עקב דריסות
 3. שינוי בהתנהגות בעלי חיים
 4. שינוי הסביבה הפיזית
 5. שינוי הסביבה הכימית
 6. תפוצת מינים אקזוטיים
 7. שינוי בתי גידול ושימוש מוגבר על-ידי בני אדם.
- תופעת הקטנת שטח בית הגידול וחלוקתו לתתי אזורים בהם מצויות אוכלוסיות הנתונות לבידוד גנטי ואקולוגי קרויה קיטוע (fragmentation). קיטוע בתי גידול נחשב לבעיה העיקרית ביצירת כבישים ומהווה אחת הבעיות העקריות בשמירת טבע בעולם.

2.1.1 דריסה

דריסת בעלי חיים הוא גורם תמותה משמעותי לגבי הרבה מאוד מיני בע"ח, ברוב חלקי העולם המאוכלסים. מעטים, אם בכלל, בעלי החיים החסינים בפני מפגע זה (אבל ראה: Yom-Tov, 1997). למרות זאת, פרט להשפעה מקומית, לעתים נדירות היקף הדריסות מגביל את גודל האוכלוסיה (Forman and Alexander, 1998).

בע"ח פגיעים במיוחד לדריסות בתקופות הגירה ונדידה. אומנם התנגשויות של מכוניות עם בע"ח גדולים הן בד"כ הבולטות יותר, אך כנראה שהשפעת דריסות על אוכלוסיות של בע"ח קטנים משמעותית יותר (Keller & Pfister, 1997). בנוסף ליונקים, בע"ח הנפגעים מדריסות כוללים עופות, נחשים ושאר זוחלים וכן דו-חיים ופרוקי רגליים (במיוחד חרקים). באזורים רבים, דריסה הנה גורם מוות מהותי ולפעמים עיקרי של בע"ח (ראה סקירה אצל Trombulak & Frissell, 2000; Foster & Humphrey, 1995; Inbar & Mayer, 1999), ולכן להיקף הדריסות יכולה להיות השפעה דמוגרפית רבה (Trombulak & Frissell, 2000). לדוגמא, כביש חוצה קנדה (Trans-Canada Highway),

העובר בתחומי שמורת הטבע Banff, אחראי לכ- 50% ממקרי המוות של בע"ח בשמורה (Clevenger, 1998). תדירות הדריסות אינה בהכרח תלויה בנפח התנועה באופן ישיר (ראה: Inbar & Mayer, 1999; Oxley et al., 1974). ישנם גורמים נוספים, כגון שעות פעילות ומבנה הכביש שיחד עם נפח התנועה משפיעים על שיעור הדריסות.

גם להפרדה במרכז הכביש יש השפעה על היקף הדריסות. Puglisi et al. (1974) מצאו כי מספר ההתנגשויות למייל בין מכוניות לאיילים היה גבוה פי שניים בכבישים מהירים עם גדר מפרידה במרכז לעומת כבישים אחרים. גם Bellis & Graves (1971) מצאו כי לשטח ההפרדה יש משמעות בתדירות הדריסות. אם ההפרדה אפשרה מעבר, איילים נחשפו לדריסה בנתיב הנגדי - ואם לא, הם נלכדו על הכביש. פס מרעה באזור ההפרדה אף הוא משך איילים והגדיל את סיכוני הדריסה (Bellis & Graves, 1971).

2.1.2 השפעה התנהגותית

שינוי התנהגותי והימנעות מכבישים בעיקר כתוצאה מרעש כלי הרכב, הנה בעלת משמעות אקולוגית גדולה יותר מדריסות (Forman and Alexander, 1998). מעבר לכך, היות הכביש חוצץ פיזי המפריד בין אוכלוסיות, הוא הגורם המהותי ביותר, בעל השלכות דמוגרפיות וכנראה אף גנטיות נרחבות (Forman and Alexander, 1998) (ראה בהמשך). בע"ח ככלל, נמנעים מאכילה ומחיה בקרבת כבישים. מחקרים בנושא זה נעשו בין השאר על איילים, דובים, זאבים, מכרסמים, ציפורים, דו חיים וחרקים (Trombulak & Frissell, 2000; Van der Zande et al., 1980). כבישים יכולים גם לשנות את דגמי התנועה והגירה של בע"ח, שבמקום לחצות את הכבישים, ילכו לאורכם. למעשה, כבישים משמשים הן כחוצץ והן כפרוזדור לתנועת בעלי חיים (Klein, 1971; Korn, 1993; Norman et al., 1998; Schonewald-Cox & Buechner, 1989; Van der Zande et al., 1980; Vermeulen, 1994). בע"ח שנחקרו והראו נטייה ברורה להימנע מחציית כבישים כוללים חלזונות, דו-חיים, מכרסמים, ויונקים בינוניים וגדולים (Trombulak & Frissell, 2000). מחקרים אף הראו השפעה שלילית של כבישים על חסרי חוליות שוכני קרקע (macroinvertebrate soil fauna), שהנם בעלי תפקיד חשוב בתהליכי מחזור ומהווים חוליה מקשרת בשרשרת המזון (Haskell, 2000; Vermeulen, 1994). נראה שמעט מאוד אורגניזמים אינם מושפעים באופן התנהגותי כזה או אחר מהימצאותם של כבישים.

2.1.3 שינוי הסביבה הפיזית

עצם סלילת הכביש גורמת לניצול והרס בתי גידול, ירידה במגוון המבני (structural diversity), והקטנת שטחי טבע קיימים וקיטועם (Mader, 1984). כביש ברוחב 30 מ' מכסה שטח של 30,000 מ"ר על כל קילומטר של אורכו. רשת כבישים החוצה בתי גידול וסביבות שונות משפיעה על מבנה ותהליכים פיזיים ביניהם: מבנה והרכב הקרקע, טמפרטורה, תאורה, אבק, הידרולוגיה ותהליכי ניקוז, בליה ובניה (Forman and Alexander, 1998; Trombulak & Frissell, 2000). השינויים הפיזיים הנגרמים במקום ובסמוך לכביש יוצרים אפקט שוליים (edge effect) שתוצאותיו עלולות להיות מורגשות מעבר לזמן סלילת הכביש ולסביבתו המיידית (Haskell, 2000; Schonewald-Cox & Buechner, 1989; Trombulak & Frissell, 2000).

2.1.4 שינוי הסביבה הכימית

בניה ושימוש בכבישים מוסיפים לפחות חמש קבוצות כימיקלים לסביבה: מתכות כבדות, מלחים, מולקולות אורגניות, אוזון ונוטריינטים (Trombulak & Frissell, 2000). כימיקלים אלה פוגעים הן בחי והן בצומח (ראה Mader, 1984), אולם היבט זה לא ידון כאן באופן ישיר.

2.1.5 תפוצת מינים אקזוטיים ומזיקים

כבישים יכולים להוות מפתח לתפוצת מינים אקזוטיים ומזיקים, על-ידי כך שהם משמשים כפרוזדור תפוצה והגירה. תפוצתם של מזהמים ביולוגים כפתוגנים, לאורך כבישים יכולה לפגוע אף במערכות טבעיות הרחוקות מהכביש (Huey, 1941; Parentes & Jones, 2000; Schonewald-Cox & Buechner, 1989). כבישים משמשים לתפוצת מינים אקזוטים על-ידי שלושה מנגנונים: יצירת בתי גידול מלאכותיים, הקלת פלישה בעקבות דחיקה או הרחקה של מינים טבעיים והקלת התנועה של מינים אקזוטיים ומלווי אדם (Trombulak & Frissell, 2000).

2.1.6 שינוי בתי גידול ושימוש מוגבר על-ידי בני אדם

כבישים מקלים את גישתם של בני אדם לאזורים שהיו מבודדים. חשוב מכך, כבישים מקלים על ניצול משאבי טבע. ניתן לחלק את השימוש בבתי גידול על-ידי בני אדם, שהתאפשר תודות לכבישים, לשלוש קטגוריות: ציד ודיג, בילוי, ושינוי בניצול השטח, מים ושאר משאבים טבעיים (Trombulak & Frissell, 2000).

2.1.7 קיטוע בתי גידול (fragmentation)

רוב הקטגוריות שנדונו לעיל מהוות גורמים בגרימת קיטוע של בית הגידול. קיטוע בית גידול מתרחש כאשר שינוי אזור, לרוב מעשה אדם, קוטע בית גידול קיים למספר בתי גידול קטנים יותר ובכך קוטע רצף של מערכת או חברה ביוטית (Schonewald-Cox & Buechner, 1989). למעשה, תהליך של קיטוע מורכב הן מאיבוד והן מבידוד והקטנת בתי גידול (Andrén, 1994; Wilcox & Murphy, 1985). קיטוע גורם לשינוי תהליכים א-ביוטים וביוטיים, החל משינוי תצורות קרקע והתנהגות בע"ח וכלה בשינוי איכות אוויר, מים, זרימות מערכתיות והרכבי חברות (Andrén, 1994; Schonewald-Cox & Buechner, 1989). הבעיה חמורה במיוחד כאשר הקיטוע מתרחש בבית גידול שאמור להיות שמור (כמו שמורת טבע). כאשר המקטעים מבודדים וקטנים מדי, הם אינם יכולים לתמוך באוכלוסיה בת קיימא והמין נכחד (Andrén, 1994; Soulé et al., 1988, 1991; Schonewald-Cox & Buechner, 1989). לימוד תיאורטי של קיטוע בתי גידול נעשה בד"כ תוך שימוש ב"ביוגיאוגרפיה של איים" (MacArthur & Wilson, 1967; Brown, 1971) וכן בעזרת "דינמיקה של אוכלוסיות-על" (Levins, 1969). הגורמים להכחדה באוכלוסיות קטנות הם גנטיים, דמוגרפיים, או קטסטרופות סביבתיות (Soulé & Simberloff, 1986; Wilcox & Murphy, 1985). הגורמים המשפיעים על שרידות אוכלוסיה וקובעים מהו הגודל המינימלי לאוכלוסיה בת קיימא ("minimum viable population") מורכבים מאוד. הערכות מושכלות של גודל האוכלוסיה המינימלי למינים רבים, עומדות לרוב על כמה מאות פרטים (Soulé & Simberloff, 1986). הבעיה אינה נותרת בגדר הכחדת אוכלוסיה, אלא

יכולה להשפיע ולגרום להכחדות נוספות (כשמדובר במין מפתח), על-ידי השפעה ברמת החברה (Wilcox & Murphy, 1985). לדעת חוקרים רבים, מחסומים פיזיים וקיטוע של בתי גידול הם האיום המשמעותי ביותר כיום למגוון הביולוגי והגורם העיקרי האחראי להכחדות המינים הרבות בהווה (Forman & Alexander, 1998; Wilcox & Murphy, 1985; Wilcove et al., 1986). חלק גדול מהקיטוע מעשה ידי אדם מתרחשת כתוצאה מדרכים וכבישים (Schonewald-Cox & Buechner, 1989), המהווים חוצץ פיזי על-ידי דריסות וחוצץ התנהגותי עקב תאורת הכביש, רעש וכדומה (Forman & Alexander, 1998). כבישים תורמים לקיטוע אוכלוסיות הן על-ידי חלוקתן לתת-אוכלוסיות קטנות ומבודדות (גורמים לשינוי התנהגותי הבא לידי ביטוי בכך שנטייתם של בע"ח לחצות ולחיות ליד כבישים קטנה), והן על-ידי תמותה מוגברת (Schonewald-Cox & Buechner, 1989; Mader, 1984; Trombulak & Frissell, 2000; Van der Zande et al., 1980). קיטוע כאשר בתי גידול מהותיים מבחינה מרחבית ננטשים כתוצאה מתמותת יתר, או ירידה באכלוס (Trombulak & Frissell, 2000). מאחר ומאגר גנטי מגוון חשוב לשרידות אוכלוסיות בע"ח החיים בתנאי סביבה "קשים", לדרכים יכולה להיות השפעה מכרעת על שרידות אוכלוסיות אלה עקב הקטנת המאגר הגנטי כתוצאה מירידה בגודל האוכלוסיה (Oxley et al., 1974). קיטוע הוא הגורם החשוב ביותר שיש לקחת בחשבון בתכנון כבישים. בגלל טיבם של קשרים ותהליכים אקולוגיים, ברגע שמין של בע"ח אחד נכחד אזי ישנה סבירות גבוהה לאפקט "דומינו" שיגרום להכחדת בע"ח נוספים (Ziv, 1998). לכן, כאשר מנסים לאמוד את סכנות ההכחדה כתוצאה מקיטוע, יש לקחת בחשבון הן את הגורמים הא-ביוטיים וביוטיים והן את בטויים ברמת האוכלוסיה והחברה (Wilcox & Murphy, 1985).

לסיכום, כבישים יוצרים מחסומים על-ידי התהליכים הבאים (Mader, 1984):

- 1) מיקרואלים שונה מעל הכביש (כולל טמפ', לחות ואידוי), שמשפיע עד למרחקים של 30 מ' ויותר מהכביש.
- 2) הפרעות כגון רעש, אבק, תאורה, מזהמים ומליחות מוגברת בשולי הכביש.
- 3) שולי הכביש מהווים בית גידול מלאכותי ושאינו יציב בגלל טיפול תקופתי.
- 4) היווצרות תחרות המגדילה את אזור ההפרעה כתוצאה מהיות שולי הכביש וקירבתו מאוכלסים לעתים קרובות על-ידי מינים שונים מאשר בשאר בית הגידול.
- 5) דריסת בע"ח.

קיטוע על-ידי כבישים יפגע קרוב לודאי, במינים בעלי התכונות הבאות: 1) מינים שאינם מסתדרים בשולי בתי גידול, 2) מינים הדורשים מרחב מחיה גדול (מעבר לקיים במקטע אחד), 3) מינים נדירים בעלי צפיפויות נמוכות, 4) מינים אשר אינם נוטים לחצות דרכים (או שאין ביכולתם), 5) מינים שתרים אחר כבישים לצורכי חום או מזון, 6) מינים רגישים למגע עם אדם (Schonewald-Cox & Buechner, 1989).

2.2 דוגמאות ממחקרים על השפעות כבישים בקבוצות שונות של בע"ח

2.2.1 יונקים גדולים

השפעות קיטוע וכבישים נחקרו בעיקר במפריסי פרסה. השפעות פרגמנטציה ניכרות, לדוגמא, באוכלוסיות של עזי ההרים, שנחשפו לפעילות בנית כביש ונטשו אזורים אלה באופן זמני (Singer & Doherty, 1985). בסקנדינביה, איילים הפסיקו לנדוד ולעבור באזורי בנית כבישים והכביש תפקד למעשה כחוצץ מוחלט (Klein, 1971). דריסות מהוות גורם מוות חשוב באיילים (Klein, 1971; Reed et al., 1975). בארה"ב בשנת 1991 מתו לפחות 500,000 איילים על-ידי דריסה (Romin & Bissonette, 1996). גם מספר מקרי המוות באדם (כ-120 בשנה) והנזק לרכוש הנגרם מתאונות עם איילים הוא רב (Reed et al., 1975).

2.2.2 טורפים

נתונים על השפעת כבישים בקרב טורפים קיימים בין השאר על דובים, שועלים, וחתוליים שונים (Beier, 1993; Trombulak & Frissell, 2000; קניגשטיין, 1994). דריסות הן הגורם ל-49% ממקרי המוות המדווחים של פנתרי פלורידה (*Felis concolor*). במחקר על שועלים במרכז ארה"ב, נמצא כי דריסות מהוות את אחד משלושת גורמי התמותה העיקריים. רוב התמותה כתוצאה מדריסות (95%) אירעה בקרב השועלים הצעירים (Storm et al., 1976).

2.2.3 יונקים קטנים

השפעות כבישים כגורם תמותה וכחץ לתפוצת יונקים קטנים וכתוצאה כמשפיעים על מבנה חברה, הוא נושא שנדון רבות (לדוגמא: Adams & Geis, 1983; Mader, 1984; Oxley et al., 1974; Swihart & Slade, 1984). Oxley et al. (1974), בדקו את השפעת הכבישים על התנועה של יונקים, שוכני יערות, קטנים ובינוניים. במחקרם הם מצאו כי חציית כבישים התבצעה בשעות הפעילות הנורמליות של המינים השונים ומכך הסיקו כי לא היה שינוי בדגמי הפעילות של אוכלוסיות שקרובות לכבישים. עם העליה ברוחב השוליים והכביש (Clearance - מרחק החציה בין בתי הגידול שמשני צדי הכביש, מרווח השטח הפנוי) קטן מספר החציות על-ידי יונקים. הנתונים הראו כי דרכים הגבילו תנועת יונקים. הסיבה לכך יכולה להיות כמות התנועה, שטח פני הדרך, ומרחק החציה. ככל שנפח ומהירות התנועה על הכביש גדלו, התמותה כתוצאה מדריסות גברה. נראה ששטח פני הדרך (עפר או אספלט) כשלעצמו לא היווה גורם מעכב משמעותי, מאחר ויונקים הסכימו לחצות דרכים אלו. נמצא כי מרחק החציה הוא הגורם המשמעותי ביותר המגביל תנועת יונקים שוכני יער. נדיר היה למצוא מכרסמים שחצו כבישים בעלי 4 נתיבים. יונקים נמנעו כמעט לחלוטין ממעבר כשמרחק החציה היה גדול מ-20 מ'. התצפיות מראות כי כבישים מהירים בעלי מחסום במרכזם, עם מרחק חציה של 90 מ' ומעלה (כפי שכביש חוצה ישראל עתיד להיות, פרבולוצקי, 1999), מהווים מחסום כמעט מוחלט לתפוצת יונקים קטנים המקביל לגופי מים הרחבים פי שניים (Oxley et al., 1974). אומנם הקטנת מרחק החציה תגרום ליותר תנועה של יונקים שוכני יער בין שני חלקי הכביש, אך עם זאת תגדיל את הפגיעות לדריסות (Oxley et al., 1974). כמו כן, נמצא שאפילו מרחק חציה של 3 מ' בדרך שמעט כלי רכב משתמשים בה מהווה גורם מעכב משמעותי לחצית מכרסמים ויונקים קטנים (Mader, 1984; Swihart & Slade, 1984).

כבישי אספלט ככלל, ושולי דרכים ושטחי ההפרדה במרכזם, המספקים ירק, אפשרו למכרסמים שונים להרחיב את תחום מחייתם ותפוצתם (Adams, 1984; Adams & Geis, 1983; Baker, 1971; Huey, 1941). במחקר על-ידי Adams (1984), נמצא כי ישנם מיני מכרסמים המשתמשים בשולי הכביש ובשטחי ההפרדה שבמרכז הכביש בתור אזור המחיה. אומנם צפיפות המכרסמים הכללית בשטחים אלה דומה לצפיפות בבית גידול מיוער סמוך לכביש, אך הרכב החברה נבדל בין שני בתי הגידול, וההסבר לכך קרוב לודאי טמון בכביש (Adams, 1984). הגדלת המזון הזמין למכרסמים בשולי דרכים מגבירה פגיעות מכרסמים בגלל סכנת הדריסה הכרוכה בקרבה לכביש (Adams & Geis, 1983; Oxley et al., 1974). קיפודים, שהם בעלי חיים שקלים להיפגע על-ידי דריסות בגלל תנועתם האיטית ותחומי המחיה הנרחבים שלהם, נפגעים במיוחד מדריסות בזמן היקיצה מתנומת חורף ובתקופת הרבייה (Brockie, 1960 in Golan, 1960).

2.2.4 עופות

השפעות קיטוע ניכרות בחוליתנים ככלל, ובציפורים בפרט. עובדה זו אמנם משקפת הטיה בגלל שהספרות הקיימת עוסקת בקבוצות אלו. אך מעבר לכך, בגלל אוכלוסיותיהם הקטנות בד"כ יונקים וציפורים הם בין הקבוצות שיש להם סבירות גבוהה להיעלם ממקטעים מבדודים (Wilcove et al., 1986). ההפרעה הנגרמת על-ידי כביש לאוכלוסיות ציפורים יכולה להגיע למרחקים גדולים. ישנם לא מעט מיני ציפורים המגיבים לקיום כביש על-ידי נוכחות בצפיפויות נמוכות מאוד, על-ידי שינוי התנהגות, או על-ידי המנעות מקינון ליד דרכים. רק לאחר קילומטר ולעתים יותר האוכלוסיה מתאזנת וחוזרת לכושר הנשיאה הטבעי שלה (Schonewald-Cox & Buechner, 1989; Van der Zande et al., 1980). השפעת כבישים על ציפורים נגרמת כנראה בעיקר עקב מיקרואקלים קיצוני (ביום, טמפ' גבוהות שגורמות לעליית אויר חם מעל לכביש, ובלילה קר יחסית) והחוסר או שינוי בצמחיה בקרבת הכביש (Van der Zande et al., 1980). נמצאה גם השפעה על ציפורים עקב הפרעה כתוצאה מתאורה מלאכותית אליה מיני ציפורים מסוימים נמשכים (Reed, 1987). לעתים, כשכבישים עוברים בשטחי חקלאות נרחבים ללא צמחיה טבעית, שולי הכביש מהווים בית גידול אטרקטיבי לקינון ציפורים, למרות חסרונותיו (Camp & Best, 1994). נשרים לעומת רוב שאר העופות, מעדיפים אזורי מחיה בקרבת כבישים, כנראה בגלל כמות הנבלות הגדולה כתוצאה מדריסות (Coleman and Fraser, 1989).

2.2.5 זוחלים

כבישים משפיעים על אוכלוסיות זוחלים, כולל נחשים, לטאות וצבי יבשה (Guyot & Clobert, 1994; Dodd et al., 1989; Rosen & Lowe, 1994). הן על-ידי פרגמנטציה והן על-ידי דריסות (Rosen & Lowe, 1994). הסיבות לדריסות הרבות טמונות, בין השאר, בכך שזוחלים כלטאות ונחשים מנצלים כבישים לצורכי תרמורגולציה, כשהם מתחממים על משטח הכביש, ובכך שתנועתם איטית (Rosen & Lowe, 1994). יש מיני זוחלים יותר פגיעים מאחרים, בגלל דגם ההתנהגות היומי ועונתי (Dodd et al., 1989). בצבי יבשה, שחיים תקופה ארוכה עם התברגות מינית מאוחרת וקצב רבייה נמוך, השפעת כבישים משמעותית אף יותר (Congdon et al., 1993).

2.2.6 דו-חיים

דו-חיים, לעתים רבות, משנים את מקום מחיתם בעונות השונות. קרפדות, צפרדעים וסלמנדרות יכולים לנדוד למרחקים גדולים לאתרי הרבייה. בתקופות הנדידה דו-חיים פגיעים ביותר ומושפעים הן מדריסות והן מקיטוע בית הגידול (DWW, 1995). דו-חיים חשופים מאוד לדריסות מפני שאורח חייהם משלב לעתים מזומנות הגירה בין בתי גידול אקוויים ויבשתיים, מפני שהפרטים אינם בולטים לעין ומפני שתנועתם איטית (Schlupp & Podlousky, 1994; Trombulak & Frissell, 2000). בארה"ב ישנן אוכלוסיות של סלמנדרות שנמצאות בסכנת הכחדה כתוצאה מדריסה (Jackson, 1989). דו-חיים שעוברים כבישים לא רק מסתכנים בדריסה, אלא אף מסכנים בני אדם. בגרמניה, לדוגמא, דווח על תאונת שרשרת רצינית בעקבות דריסה והחלקה על קרפדה שחצתה את הכביש (Langton, 1989).

כבישים מהווים מחסום ומשפיעים באופן שלילי על דגם הפיזור והסתברות התפוצה של צפרדעים לבתי גידול שונים (Vos & Chardon, 1998). נמצא כי אפילו כביש ברוחב 6 מ' יכול להוות מחסום בלתי עביר לקרפדות צעירות ולא רק בגלל השפעת התנועה. הגורמים לכך הם כנראה התחממות האספלט וירידה בלחות בשעות היום (Müller & Steinwarz, 1987 in Podlousky, 1989).

2.2.7 פרוקי רגליים

כבישים לא פוסחים בהשפעתם אף על קטני ארץ. Mader (1984) מצא כי חיפושיות שוכנות יער נמנעו כמעט לחלוטין מלחצות כביש מהיר ברוחב 6 מ' ומעלה (במינים מסוימים אף לא חציה אחת נרשמה). במחקר של Munguira & Thomas (1992) נמצא כי לשולי דרכים, המכוסים בעשביה, יש חשיבות כאתר רבייה ומחיה לפרפרים ועש באזורים שאינם בעלי עדיפות לשימור. בנוסף, לא נראה כי כבישים מהווים מחסום או איום רציני על-ידי דריסות לרב המינים שנחקרו (21 מינים), ועדיין תשעה מבין מיני הפרפרים נמנעו מלחצות את הכביש (Munguira & Thomas, 1992). כמו כן פרטים נפגעו בזמן חציית כביש, כנראה בגלל מערבולות אור הנצורות על-ידי המכוניות וגורמות להפרעה בתעופת פרפרים (Munguira & Thomas, 1992). יש להדגיש כי ייתכן ומיני הפרפרים הנפוצים שנמצאו מחליפים מינים נדירים, שפגיעותם לכביש רבה יותר; מצב זה מתרחש כשכביש עובר בשמורות טבע ואזורים בעלי ערכיות אקולוגית גבוהה. ישנם מינים נדירים הנמנעים לחלוטין מחציית כבישים (ראה רשימה אצל Munguira & Thomas, 1992). ראוי לזכור כי בד"כ אין דיווחים על דריסת פרוקי רגליים, מאחר ובשל גודלם הם אינם בולטים לעין, פגיעתם ברכב לרוב אינה מורגשת וכן המודעות הציבורית לגביהם נמוכה.

2.3 נתונים מישראל

הקצב הנוכחי של עליה מתמדת בקיטוע והתפתחות מסכנים את השרידות של אוכלוסיות החי והצומח שעוד נותרו בארץ. אין הרבה מחקרים ונתונים לגבי השפעות פרגמנטציה בארץ, אך ישנם בתי גידול שלמים שנהרסו, על החי והצומח שבהם, אשר יכולים להעיד על כך (כדוגמת בית הגידול של חולות ראשון לציון).

מעבר לבעיית הקיטוע, דריסה היא אחד הגורמים החריפים ביותר לקטל חיות הבר בארץ. מעל 90% מתמותת חיות בר המדווחת במחשב רשות שמורות הטבע היא כתוצאה מדריסות (מ, ש. נתוני רש"ט).

מגוון המינים שנפגעים מדריסות בארץ רחב, וכולל בין השאר (בסדר יורד, ע"פ מספר הדיווחים):

יונקים - תן, גירית מצויה, צבוע מפוספס, שועל מצוי, דלק, נמייה, סמור, צבי ישראלי, דרבן, חתול ביצות, זאב, קיפוד מצוי, ומכרסמים ממינים שונים;

עופות - אוח, לילית מדבר, תנשמת, עקב חורף, כוס ומיני עופות מים וציפורי שיר;
זוחלים - עין חתול אדמדם, אפעה, זעמן דק, כוח אפור, תלום קשקשים מצוי, חרדון צב מצוי, זעמן שחור, מטבעון מדבר, קמטן, נחושית עינונית, צב רך (מאוד!);

דו-חיים - סלמנדרה מצויה.

אלו רק חלק מהמינים שנפגעים בארץ על-ידי דריסות (גרינברג, 1979; מן, ש. , נתוני רש"ט; קניגשטיין, 1994).

במעקב אחר דריסות זאבים וצבועים בכביש הערבה נמצא כי זאבים נדרסים בעיקר ליד שדות חקלאיים ומצבורי אשפה, וכי רוב הזאבים הנדרסים הם זכרים וכן צעירים (בתקופת הקיץ כשהם נלווים לבוגרים). בצבועים נמצא גידול במספר הדריסות לאורך השנים (עבדי, 1991 אצל קניגשטיין, 1994). קניגשטיין (1994) חקרה דריסת טורפים בכבישי עמק החולה ומצאה כי יש יחס ישר בין נפח התנועה לשיעור הדריסות. מחקרה מתבסס על 283 תצפיות של 9 מיני טורפים (מתוך 11 החיים בעמק החולה). כמו כן היא מצאה כי ישנו ריכוז מקרי דריסה באזור בתי גידול אקוויטיים. דבר המוסבר בכך שאזורים אלה הם מוקדי משיכה בשל המים ואפשרויות שיחור המזון בקרבתם. ישנם דיווחים על דריסות רבות בקיפודים, בייחוד עם היקיצה מתרדמת חורף ותקופת הרביה (Golani, 1986). גרינברג (1979) דיווח נתונים מאיסוף נחשים דרוסים במהלך ארבע שנים בכביש עין גדי - ירושלים. במחקרו נאספו 158 פרטים של נחשים מ-15 מינים שונים. רוב הדריסות אירעו בלילה ובקיץ, כנראה תשקיף של שעות ועונות הפעילות (גרינברג, 1979). בכבישי הארץ מתרחשות דריסות רבות באזורים בהם ממוקמים מעקות בטון מסוג ניו-ג'רסי, ביניהן דריסות של בע"ח נדירים יותר כגיריות (מנדלסון, 1990, 1992, א, ב, 1995; Yom-Tov, 1997).

במחקר של פימנטל (1994) בנושא השפעת התחבורה על חולייתנים בארץ נמצא כי יש יחס ישר בין מהירות הנסיעה ונפח התנועה להסתברות הדריסה. הסתברות הדריסות הגבוהה ביותר נצפתה, בסדר יורד, בכביש מהיר דו מסלולי, כביש מהיר, כביש עירוני, כביש לא עירוני. נמצא מתאם הפוך בין צפיפות מעברי המים להסתברות הדריסות. לא נמצאו כלל דריסות במקטע אחד (עבדת - שדה בוקר) המסומן בתמרור מס' 47 (זהירות חיות בר). כמו-כן נמצא כי בכבישים עם גדר הפרדה יש יותר דריסות מאשר בכבישים עם קיר הפרדה. לא נמצא הבדל בין מעקות בטון בעלי או חסרי מעברים בגודל 50X5 ס"מ. מאחר והסקר בוצע תוך כדי תנועה וע"י סורקים ללא הכשרה מדעית בתחום, יש להתייחס לנתונים הנ"ל בזהירות רבה. במיוחד יש להתייחס לעובדה כי קשה מאוד לזהות יונקים קטנים, זוחלים ודו-חיים בשיטה זו.

3. פתרונות לצמצום השפעת כבישים

3.1. כללי

תכנון וניהול כבישים ופעולות שימור טבע צריכים להיות מותאמים ולענות על מלוא היקף ההשפעה האקולוגית של כבישים על מערכות אקוטיות ויבשתיות. בגלל המורכבות והיקף ההשפעה הרחב של כבישים, סביר להניח כי לעולם לא יתאפשר למגר ולמנוע לחלוטין את השפעתם השלילית. אי לכך, קריטי וחשוב מאוד לשמר אזורים רחבי ידיים ללא דרכים, בעלי בית גידול טבעיים. הפתרונות השונים המוצעים לצמצום השפעת דרכים אינם יכולים לשמש להצדקת הרס בתי גידול ושלילת כבישים חדשים. בכל מקרה, יש להתנגד ולדחות נתיב של כביש, המתוכנן לעבור דרך בתי גידול חשובים ולהרוס מאפיינים קריטיים לקיום חברת בעלי החיים (Trombulak & Frissell, 2000). פתרונות צריכים להיות מתוכננים ברמה כלל ארצית, ובהמשך תכנון מפורט יותר ברמה האזורית (Keller & Pfister, 1997).

מינים הנזקקים למעברים (לפי Keller & Pfister, 1997) הם מינים אשר:

- סובלים מתמותה גבוהה כתוצאה מדריסות;
- מהגרים;
- דורשים שטח נרחב (הן ברמה האינדיבידואלית והן ברמת האוכלוסיה);
- תפוצתם מוגבלת על-ידי תשתיות מעשה אדם.

על-מנת לפתור את בעיית הדריסות מספיק, לכאורה, לגדר את הכביש כך שכניסת בע"ח תימנע, אך פתרון זה יגרום לקיטוע של אוכלוסיות בעלי החיים. בניית מעברים ללא גידור לעומת זאת, לא מונעת את בעיית הדריסות ולא מנתבת את בעלי החיים לשימוש במעבר. אי לכך, פתרון מקיף מורכב מגידור ובניית מעברים בו זמנית (Klein, 1971). בכל מקרה מומלץ מאוד להעביר כבישים מתחת לקרקע (במנהרות) באזורים הרגישים (ראה נספח 3; Van der Zande et al., 1980).

3.2 פתרונות מיושמים בעולם (היבט הנדסי ותגובות בע"ח)

בגלל הבעיות שנסקרו לעיל, הפתרונות בד"כ מתרכזים במציאת אפשרות לגשר על בידוד בית הגידול, שנגרם על-ידי הכביש. זאת על-ידי יצירת קשר שיאפשר מעבר בע"ח. המעבר צריך להיות בנוי כך שהוא יאפשר לאורגניזמים לעבור בתדירות גבוהה דיה על מנת לשמר את האינטראקציות האקולוגיות-דמוגרפיות והגנטיות הנדרשות לקיום המין, החברה והאקוסיסטמה (Beier & Loe, 1992; Ogden, 1992).

פתרונות שונים לצמצום השפעתם השלילית של כבישים יושמו בעולם וקצרו מידה שונה של הצלחה. שימוש במעברי בעלי חיים עיליים ותחתיים הוא אחד האמצעים שנמצא בשימוש מאז שנות ה-70 (Keller & Pfister, 1997; Reed et al., 1975; Romin & Bissonette, 1996). ככלל, נדרש זמן למינים להסתגל למעבר ולהשתמש בו (Reed et al., 1975). Cleverger & Waltho (2000) חקרו את יעילותם של מעברי בעלי חיים מסוגים שונים על כביש חוצה קנדה (Trans-Canada Highway) בשמורת הטבע Banff. בקנדה, מעברי בע"ח, עיליים ותחתיים, בצרוף גידור, הקטינו את תדירות

הדריסות של מינים מסוימים והעלו את עבירות הכביש לחיות (Clevenger, 1998). נמצא כי מינים שונים התייחסו באופן שונה למעברים בעלי מאפיינים שונים.

אחד התנאים החשובים ביותר הוא מיקום המעבר על מסלול תנועה קיים של בעלי חיים -- כלל זה נכון במיוחד לגבי מפריסי פרסה ודו-חיים (Beier & Loe, 1992; Clevenger, 1998; Foster & Humphrey, 1995; Klein, 1971; Rodriguez et al., 1996). כאשר אין אפשרות לבצע מחקר מקיף על הרגלי האוכלוסיה, הדרישה ההכרחית למיקום אפקטיבי של המנהרות ומעברים הוא אפשרות חיזוי של העדפות בית גידול ומכאן של מסלולי נדידה של בעלי החיים (Clevenger, 1998; Oldham, 1989).

המרכיב העיקרי בחיזוי זה הוא כנראה אחוז כיסוי ודגם פיזור הצמחיה (Oldham, 1989). ההמלצות בנוגע למעברים (ופרוזדורים ככלל) כוללות (Wells et al., 1998 על-פי Crooks, 1997): עקירה ופינוי של צמחים אקזוטיים, אכלוס המעבר על-ידי צמחיה מקומית על-מנת לספק מסתור לבע"ח, פינוי ושמירה על נתיבי ודרכי הגישה של בע"ח (תוך אספקת צמחיה למסתור), ניקוז מים המצטברים במעבר, גידור וניתוב לכיוון המעברים.

לגבי גינון בשולי הכביש ובאיי תנועה במרכזו, יש לדאוג לגינון טבעי בלבד. זאת על-מנת למנוע פלישת מינים אקזוטים וצורך בשימוש בכימיקלים לגינון וטיפול (שפוגעים בבית הגידול מסביב), ולצמצם את מידת הפרגמנטציה שהכביש יוצר. לעומת זאת צומח טבעי יכול למשוך גם חי לקרבת הכביש ולהגביר את בעיית הדריסות (Norman et al., 1998).

3.2.1 מעברים עיליים מסוג Ecoduct

האקודוקט (גשר ירוק) הוא מעבר עילי שמתוכנן במיוחד כמסדרון לבע"ח, על-ידי חיבור שטחים משני צדי הכביש, במבנה שהוא חלק משלים לבית הגידול הקיים (ראה נספח 3). מעברים אלה בד"כ בעלי צורה פרבולית והכביש עובר דרכם במנהרה. רוחב מינימלי מומלץ הוא 8-12 מ' (Bekker, 1998). אך ככלל מומלץ רוחב של כ- 50 מ' (Holzgang et al., submitted m.s.). איילים לא השתמשו במעברים ברוחב 7 מ', וחזירי בר לעומת זאת למדו להשתמש בהם לאחר תקופת חשיפה (Keller & Pfister, 1997). באירופה (הולנד, גרמניה, שווייץ והונגריה) רוחב המעברים נע בין 20 מ' ל- 200 מ' (Bekker, 1998). ידוע כי כל האקודוקטים נמצאים בשימוש חיות בר, אך אין עדיין מספיק נתונים ומידע לגבי תדירות השימוש למרות שנראה שזו עולה כשמרחיבים את האקודוקט מ 50 ל- 100 מ' (Keller & Pfister, 1997). Keller & Pfister (1997) חקרו שימוש בחמישה אקודוקטים בגרמניה, תוך התמקדות ביונקים, חיפושיות וחגבים, וארבעה אקודוקטים בצרפת, תוך התמקדות בעכבישים. במחקרם נמצא כי אקודוקטים הם אמצעי יעיל למיגור קיטוע על-ידי כבישים וכי רוחב האקודוקט קריטי ליעילותו. למינים מסוימים אקודוקט רחב משמש כחלק מבית הגידול. בזמן תכנון המעבר יש לדאוג למגוון בתי גידול שישקף את הסביבה הסובבת ויתאים למגוון בע"ח מקומיים. לדוגמא: שטחים פתוחים ושטחי מסתור, כתמים יבשים ורטובים, ואזורים מוצלים ומוארים. כמו כן יש לדאוג להמשך רציף של בית הגידול מהפרוזדור שמוביל לאקודוקט ועל האקודוקט עצמו. אם מדובר באזורים מיוערים, יש לדאוג שסביבת היער תהיה גם על האקודוקט (Keller & Pfister, 1997).

3.2.2 מעברים תחתיים

אפיונים מבניים של מעבר תחתי כוללים בין השאר: רוחב, גובה, אורך, ומפתח $Openess =$ (רוחב/גובה)/אורך. למעברים תחתיים במבנה גשר חשוב הגישור $Bridge =$ (גובה/רוחב)/אורך (Reed & Ward, 1985). בכל סוגי המעברים חשובה גם רמת רעש באמצע המעבר ומשני צדדיו (Clevenger & Waltho, 2000). לדעת Foster & Humphrey (1995) לא ברור כי יש להעניק משקל שווה לרוחב ולגובה המעבר, ויתכן כי מעבר לגובה מינימלי, רוחבו חשוב מגובהו.

השימוש במעברים תחתיים, במיוחד בשילוב עם מעברי מים (ראה נספח 3), חסכני יותר משימוש במעברים עיליים. באוסטרליה נבנו מעברים תחתיים מתחת להרבה כבישים מהירים ומיקומם נקבע לפי מסדרונות תנועה והגירה של בעלי חיים (Norman et al., 1998). במעקב (בעזרת מצלמות, עקבות, ובע"ח דרוסים) אחר שלושה מעברי בע"ח מתחת לכביש מהיר, הנמצא בשימוש נרחב, נמצא כי מגוון גדול של בע"ח מקומיים השתמשו במעברים השונים, כולל שועלים, מכרסמים, נחשים ומאקרופודים. עם זאת, בסה"כ רק חלק מהמצאי בכל בית גידול ניצל את המעבר. גודל המעברים נע בין קוטר של 1.5 ועד 10 מ'. מגוון המינים הגדול ביותר היה במעבר בקוטר 10 מ', בעוד תדירות השימוש הגבוהה ביותר נמצאה במעבר בקוטר 1.5 מ'. מסקנת המחקר היא שיש חשיבות לבניית מעברים במגוון גדלים וצורות. בזמן בניית המעברים יש להתייחס באופן מיוחד לנתיבי תנועה של בע"ח, גודל המעבר, גידור, בית הגידול (רצוי לשאוף שמעברים יקשרו ויעברו במגוון בתי גידול לאפשר שימוש על-ידי מגוון בע"ח רחב), המצע ובית הגידול בתוך ובשולי המעבר (צמחיה וכדו') והמרחק בין המעברים (Beier & Loe, 1992; Keller & Pfister, 1995; Norman et al., 1998). ישנו יתרון במיקום מעברים מעל נתיבי נחלים וניקוז טבעיים שמשמשים בד"כ למעבר בע"ח. במקרים אלה יש לתכנן את המעבר כך שלא יוצף (Norman et al., 1998). במעבר תחתי ב-Carmel Mountain נעשה שימוש על-ידי איילים, חתוליים (mountain lions), bobcats) וקוויטים (Wells et al., 1998) על-פי (Ogden, 1992). במחקר על מעברים באזור סן-דייגו נמצא כי המעברים התחתיים היו בעלי כיסוי צמחיה רב ורמת רעש של 40-56 דציבלים. שיעור הדריסות היה הנמוך ביותר למעברים תחתיים מסוג גשרים והלך ועלה למעברי צינורות, ולמעברים מלבניים 'box culverts' (Wells et al., 1998) על-פי (Ogden, 1992).

המלצות בנושא מעברים בשמורת כרמל בקליפורניה (Wells et al., 1998) כוללות:

- סימון אזורי המעבר על-ידי שלטים לנהגים;
- שימוש בגידור ניתוב בגובה של 3 מ' לפחות (פחות מכך יאפשר מעבר איילים);
- תיחזוק את הגידור בקביעות;
- קיום מעברים תחתיים מסוג גשר שהם המומלצים ביותר;
- מניעת תאורה;
- קיום צמחיה למסתור במעברים;
- כשהגשרים אינם גבוהים, רצוי לדאוג שהאורך לא יהיה יותר מכפול הגובה;
- רצוי לדאוג למרווח בין הנתיבים הנגדיים שיאפשר חדירת אויר ואור טבעי למעברים שתחת הכביש (Foster & Humphrey, 1995; Clevenger, 1998);
- לוודא שימוש מינימלי במעברים על-ידי בני אדם;
- לוודא שהמעברים אינם מובילים לבית גידול ללא מוצא שמהווה מבלע (Beier & Loe, 1992);

- בניית המעבר ע"פ המין הרגיש ביותר ועם מקסימום הדרישות למעבר וסביר שאז שאר המינים יעברו גם הם (Clevenger, 1998).
 - ולבסוף, ביצוע מעקב ובדיקת שימוש במעברים על-ידי בע"ח.
- אין דעה מוחלטת לגבי חשיבות המצע בתחתית המעבר (מצע בטון או טבעי), אם כי יש נטיה בין החוקרים להמליץ על מצע טבעי (Norman et al., 1998; Reed et al., 1975).

• **מנהרות בע"ח גדולות:** מימדיהם של מעברים גדולים תלויים בבע"ח המטרה שעבורו הם מתוכננים. בהולנד, בעל החיים שעבורו נבנו המעברים הגדולים הוא האייל (Roe deer), למרות שהוא אינו מין בסכנת הכחדה, זהו "מין מטרה" (target species) טוב מפני שהוא מצוי בכל המדינה, יש עליו הרבה אינפורמציה ומעברים שמתאימים בגדלם ובצורתם לאיילים נמצאו מתאימים למגוון גדול של בע"ח אחרים. בנוסף, מין זה הנו בעל עניין לחלקים גדולים של הציבור: שומרי טבע, ציידים והציבור הכלל. מעבר לכך, מעברי איילים חשובים גם לבטיחות הנהגים. הכלל שנקבע לקביעת גודל המעברים לאייל roe deer הוא מפתח מינימלי של 0.75 מ'. גודל זה נקבע על סמך מחקרים שונים באירופה והוא יכול להשתנות לאיילים אחרים (Bekker, 1998).

בנוכחות פעילות אדם הסבירות שטורפים ישתמשו במעברים קטנה לעומת הסבירות שאיילים ישתמשו במעברים (Clevenger & Waltho, 2000). לגבי טורפים נמצא קשר חזק יותר בין השימוש במעבר ומאפייני האזור. לעומת זאת במפריסי פרסה נמצא מתאם גבוה יותר עם מבנה המעבר עצמו. ככלל גם אם מעברים מתוכננים ע"פ טופוגרפיה, איכות בית הגידול והמיקום, ההצלחה תהיה מועטה אם לא תהיה הגבלה של פעילות אדם במעברים (Clevenger, 1998; Clevenger & Waltho, 2000). כביש חוצה קנדה באזורים הנחקרים של שמורת Banff, הוא כביש ארבע מסלולי, עם גדר בגובה 2.4 מ' למניעת כניסת בע"ח. ישנם אזורים בהם הכביש הוא דו-מסלולי וללא גדר. באזור המגודר ישנם 22 מעברי בע"ח תחתיים ושני מעברי בע"ח עיליים (לאורך 45 ק"מ של כביש). התאמת המעברים נבדקה בשלוש רמות - מין ספציפי, קבוצות מינים, יונקים גדולים. בוצע מעקב אחר שימוש ב- 11 מעברים תחתיים: 9 מעברי בטון (cement open-span underpasses) ו-2 מעברי מתכת. המעברים כללו ארבעה מעברי בטון תחתיים (box culvert wildlife crossing underpasse) בגובה 2.4 מ' וברוחב 3.0 מ' - שלושה באורך 65 מ', ואחד עם פתח באמצע כשכל אחד מחצאיו הוא באורך 32 מ' (Ingram, 1999). אלה מעברים ביציקה מוקדמת בעלי יתרון של עמידות לאורך זמן ונוחות התקנה. מצע המעבר היה בעיקרו חול בעומק של כ- 7.5 ס"מ לאפשר מעבר נוח וטבעי יותר לבע"ח (Ingram, 1999). במשך כ- 3 שנים נרשמו כ- 14,600 מעברי יונקים גדולים מתוכם 78% מפריסי פרסה, 5% טורפים ו- 17% בני אדם. ב- 95-98% מהמקרים בע"ח נתון אשר נכנס למעבר יצא מצדו השני (Clevenger & Waltho, 2000). אורך המעבר היה המאפיין החשוב ביותר שהשפיע על שימוש בידי איילים (elk). ברמה השנייה, המאפיינים החשובים ביותר שהשפיעו על טורפים גדולים הם מרחק לישוב הקרוב (מתאם חיובי) ואח"כ שימוש בידי אדם (מתאם שלילי) ורק לאחר מכן מאפיינים מבניים ומרחביים של המעבר. בהקשר זה נמצא כי היה שימוש רב יותר במעברים המחולקים באמצע (Clevenger, 1998). לעומת זאת, לגבי מפריסי פרסה נמצא כי מאפיינים מבניים ומרחביים היו בעלי ההשפעה הגדולה ביותר על השימוש במעבר, ובמיוחד (ע"פ הסדר) מפתח, רעש, רוחב, מרחק מתוואי ניקוז, ורק אח"כ שימוש על-ידי אדם (כנראה כי אלו פרטים המורגלים

יותר לאדם, בהיותם קרובים לעיר). לגבי החברה הביוטית בכללותה המאפיינים החשובים היו מפתח ולאחר מכן מרחק ממקום יישוב ושימוש על-ידי אדם (Clevenger & Waltho, 2000). מכאן החשיבות הרבה להגביל פעילות אדם על-מנת להבטיח שימוש במעברים (Clevenger, 1998; Clevenger & Waltho, 2000). במחקר נוסף באותו אזור נמצא כי המעבר שהיה בשימוש הגדול ביותר היה מעבר מתחת לגשר גדול המאופיין בגובה רב ומפתח גדול ביותר (Clevenger, 1998). טורפים נטו יותר להשתמש במעברים ליד אזורי ניקוז, בעוד מפריסי פרסה נמנעו מהם. כנראה שזה מפני שאלו נתיבים ידועים של תנועת בע"ח והשימוש במעברים מביא לידי ביטוי יחסי טורף-נטרף ולא דווקא מאפיינים מבניים (Clevenger & Waltho, 2000). גם מאנגליה ישנם עדויות על השפעת יחסי טורף-נטרף על שימוש במעברים, כאשר קיפודים נמנעים משימוש במעברים בהם משתמשים גיריות (Doncaster in Clevenger & Waltho, 2000). ככלל, בע"ח שהשתמשו במעברים כוללים איילים (elk, deer), קוויטים, דובים, שועלים וחתוליים (Clevenger, 1998). נמצא כי השימוש במעברים חדשים הוא בעיקר על-ידי טורפים כשועלים, כלבים וחתולים וההשערה היא כי המנהרות משמשות מקום מארב לטרף (Hunt et al., 1987). אי לכך יש לדאוג לצמחיה שתספק מסתור בסביבות המעבר (Hunt et al., 1987). בעוד הצמחיה מספקת מסתור, היא עלולה גם להסתיר את פתח המעבר ולכן יש לדאוג לאיזון ברמת הצמחיה (Norman et al., 1998). יש לשאוף להתאים את מצע המעבר למין המטרה (לדוגמה מצע סלעי או חולי ע"פ העדפות הבע"ח; Norman et al., 1998).

• **מנהרות בע"ח קטנות** - בהולנד הותקנו מעברים רבים בקוטר 0.30-0.40 מ' לשימוש גיריות, שהם מין מוגן ותחת סכנת הכחדה (ראה נספח 3). גורם התמותה העיקרי בגיריות הוא דריסות, דבר שדרבן הקמת מעברים בשבילם. על מנת שהמעברים יהיו יעילים היה צורך לדאוג לגידור וניתוב בע"ח למעברים. בהולנד, מעברים אלה נמצאים בשימוש נרחב הן על-ידי גיריות והן על-ידי מינים נוספים (Bekker, 1998).

• **מנהרות דו-חיים** - מנהרות לדו-חיים נפוצות במיוחד בגרמניה (ראה נספח 4). מנהרות אלה הן בקוטר של 1 מ' לפחות כתלות באורכן. משותף לכל מנהרות אלה שהן צריכות להיטמע היטב בסביבה ושניתוב בעלי החיים יהיה מדויק והמצע יהיה לח. מעברים אלה הם משלושה סוגים שונים - מנהרה דו כיוונית; שתי מנהרות חד כיווניות צמודות (לכיוונים הפוכים); כנ"ל אך עם מלכודת בפתח המנהרה כדי "להכריח" את בעלי החיים לעבור דרכה (Bekker, 1998). האחרונות נמצאו כיעילות מאוד, אך מומלץ להעדיף את המעברים הדו-סיטריים, ללא המלכודות, מפני שאלה יכולות להיות בשימוש של מגוון מינים רחב יותר (Bekker, 1998). בשווייץ קיים תקן לבניית מנהרות לדו-חיים ומחלקת הכבישים השוויצרית מחויבת לנהוג על פיו (Krikowski, 1989).

3.2.3 שימוש משני במעברים קיימים (כדוגמת מעברי מים ומעברים חקלאיים)

• **מעברים על כבישים עיליים וגשרים** - לעתים נדירות נצפו בע"ח שמשתמשים במעברים עיליים וגשרים שלא נבנו במיוחד לצורך מעבר בע"ח (Bekker, 1998).

• **מעברי כבישים תחתיים (viaducts) ומנהרות** - נמצאים בשימוש נרחב של בע"ח (ראה נספח 3). על-מנת לעודד שימוש על-ידי יונקים קטנים יש לדאוג לכיסוי מצע מתאים ולמסתור כגון, גזעי עצים, חלקי צינורות ואדמה (Bekker, 1998). השימוש מוגבר אם מוסיפים צמחיה, ומסכים להגנה והסתרה (DWW, 1995). מעל תעלה בעמק "כרמל" בקליפורניה נבנו 2 גשרים בגובה של כ- 2.5 מ' וברוחב של כ- 12.5 מ'. עדיין אין מידע לגבי שימוש ומעבר בע"ח תחת גשרים אלה (Wells et al., 1998).

• **מעברי מים** - שימוש במעברים אלו תלוי במינים המקומיים, הסביבה הסובבת, וכן גודל המעבר והניתוב אל פתחו שהם קריטיים. ניתן לשפר מעברים אלה לשימוש בע"ח על-ידי יצירת מצע מתאים, מסתור ומגוון מבני ככלל (Bekker, 1998). כשהמעברים הם מעל נחל איתן, יש לדאוג לגדות נחל רחבות מספיק למעבר בע"ח. כשהמעברים הם למעשה מעברי מים שמוצלים גם לטובת בעלי חיים חשוב לדאוג לניקוז המעבר ואולי אף להגבהה חלקית, במיוחד אם הוא מיועד גם לבע"ח קטנים כמכרסמים (ראה נספח 3; Norman et al., 1998; Yanes et al., 1995) מצאו כי על החיות שהשתמשו במעברי מים נמנים דו-חיים, לטאות, נחשים, יונקים קטנים, חולדות, קיפודים, ארנבות וטורפים שונים. תדירות השימוש הושפעה על-ידי גודל המעבר, רוחב הכביש, גובה הגדר ומורכבות בית הגידול הסמוך.

מאחר ומעברים הבנויים במיוחד לשימוש על-ידי בעלי חיים יקרים ולא תמיד יש אפשרות לבנותם, מתעורר צורך לבחון התאמת מעברים שנבנו לצרכים אחרים (כגון מעברי מים וחקלאות). Rodriguez et al. (1996) ביצעו מחקר לגבי שימוש במעברים, מתחת למסילת רכבת, שלא נבנו מלכתחילה לבעלי חיים. המעברים שהם בדקו היו מבטון וכללו גשרים (מעברים תחתיים גדולים מעל נהר), מעברי מים ומעברים תחתיים לשימושי אדם (למרות כי נמצאה תדירות קטנה של שימוש על-ידי אדם). במחקרם נמצא כי: על בעלי החיים שהשתמשו במעבר נמנים טורפים, מכרסמים, יונקים קטנים וזוחלים. מפריסי פרסה לא השתמשו במעברים כנראה עקב חוסר התאמה בגודל, במיקום, היעדר כיסוי צומח ושימוש על-ידי אדם. טורפים הראו העדפה למעברי מים עם כיסוי צומח בכניסה; יונקים קטנים הראו העדפה למעברים קטנים (עד 2 מ' רוחב) עם כיסוי צומח (כנראה על-מנת להימנע מטורפים); שפנים נמנעו מהמעברים, בעוד שארנבות השתמשו ברוב סוגי המעברים; וזוחלים העדיפו מעברים בינוניים וגשרים עם אפשרות מעבר בין שמש לצל על קיר אנכי. לא נמצאו סימני מעבר של דו-חיים, אך כן נמצאו ראשונים של קרפדות כשהמעברים היו מוצפים. גם במחקר זה נמצא כי הגורם העיקרי המשפיע על שימוש במעבר הוא מיקומו ביחס לבית הגידול וזמני פעילות החיות (Rodriguez et al., 1996). במחקר דומה שנערך באוסטרליה נחקרו מעברי מים בגדלים שבין 15X90 ס"מ ועד 240X300 ס"מ. נמצא כי חתולי בר ומכרסמים השתמשו בכל סוגי המעברים. נראה כי יונקים השתמשו במעברים בהתאם לגודלם וכי בית הגידול בסביבות המעבר משפיע על השימוש בו (Hunt et al., 1987). נראה כי ניתן להתאים מעברים לבעלי חיים על-ידי הסבה גם אם לא נבנו מלכתחילה לצורך כך. במקרה זה יש לדאוג למסתור וכיסוי צומח, קשר עם בית הגידול, וצמצום שימוש בידי אדם (Rodriguez et al., 1996). לדעת Hancock (1983, in Golan 1986) מעברי בטון עדיפים על צינורות מתכת מפני שבע"ח לא אוהבים את הרעש שתנועתם יוצרת בשימוש בצינורות מתכת.

3.2.4 מאפייני כביש נוספים

לגבי דריסות, ככלל, התמותה עולה עם העליה בנפח התנועה (אבל ראה: Inbar & Mayer, 1999). בכבישים בהם הצמחיה גזומה ורחוקה יותר מהכביש, הסבירות להידרס קטנה בד"כ לגבי קבוצות בע"ח מסוימות מפני שבית הגידול פחות אטרקטיבי ושדה הראיה הן של בעלי החיים והן של הנהגים נרחב יותר. כבישים בהם יש בית גידול שונה בשוליהם ובמרכזם יכולים לשמש אטרקציה לבע"ח מסוימים ולהוות למעשה מבלע אוכלוסיתי - sink (Trombulak & Inbar & Mayer, 1999; Frissell, 2000; Vermeulen, 1994).

לגבי גידור, אין מידע מוחלט על אורך הגידור הנדרש. יש לדאוג שהגידור עובר את אזורי הריכוז של המין (Foster & Humphrey, 1995). Reed et al. (1979 in Foster & Humphrey, 1995) ממליצים כי הגדר תמשך לפחות 0.8 ק"מ לכל צד מעבר למקום ריכוז האוכלוסיה. חלק גדול מהגדרות לא מילאו את תפקידן עקב חוסר תחזוקה. בהקמת גדר יש לוודא תחזוקה שוטפת ומעקב למקרי של בע"ח שנלכדים על הכביש בין הגדרות (ראה נספח 3; Foster & Humphrey, 1995; Norman et al., 1998). גדרות בשימוש כוללות: גדרות מתכת שחלקן העליון רפוי או מחובר לעמודים שמעוקמים כך שהגדר תפנה כלפי חוץ מהכביש, גדר שבחלקה העליון יש כמטר של רצועת מתכת או פלסטיק חלקה, וגדר חשמלית (Norman et al., 1998).

3.3 פתרונות ספציפיים לבעיות בקבוצות שונות של בע"ח

3.3.1 יונקים גדולים

השימוש במעברים עיליים אצל יונקים גדולים, הוא בעיקר תלוי רוחב ומיקום המעברים. פרטי המבנה וכן המצע והצמחיה פחות קריטיים לגביהם (Pfister et al., 1997). מעברים הצרים מ-20 מ' היו באופן סינרגיפיקנטי בשימוש קטן יותר מהמעברים הרחבים. בנוסף, מעברים צרים נחצים בד"כ במהירות ובעירנות מוגברת מצד בעל החיים. דבר זה נכון במיוחד לגבי מפריסי פרסה (Pfister et al., 1997).

מעברים תחתיים בשילוב גידור הוכיחו את עצמם כיעילים לאיילים ממינים שונים (Reed et al., 1975; Romin & Bissonette, 1996). לגבי מפריסי פרסה גודל מעברים תחתיים עולה בחשיבותו על מאפייני בית הגידול באזור המעבר (Foster & Humphrey, 1995). במחקרים שונים נמצא כי מפריסי פרסה לא נוטים להשתמש במעברים נמוכים מ-2.4 מ' (Reed et al., 1975). גם המפתח חשוב ומעברים בעלי מפתח גדול היו בשימוש רב יותר. Reed et al. (1975) ממליצים על גובה ורוחב של לפחות 4.27 מ' ואורך מינימלי. מומלץ אף על מפתח מינימלי של 0.6 מ' לאיילים (Mule deer). מעברים תחתיים בצורת גשר בגובה של כ-4 מ', רוחב 18 מ' ואורך 14 מ' עוררו התנגדות פחותה מצד האיילים לעומת מעברים סגורים יותר (Reed, 1981). (Reed et al., 1975) שחקרו איילים (Mule deer), בדקו התאמת מעבר במימדים 31X3X3 מ'. המעבר עבר מתחת לכביש מהיר בעל ארבעה מסלולים. במעבר היו שני חריצים לאור יום (ברוחב 0.5 מ' ובאורך 0.9 מ'), שמוקמו במרחק שווה משני הפתחים וכוסו בסבכות. חריצים אלה התגלו כשליליים מאחר ואפשרו כניסת מים, לכלוך ורעש מהכביש. גידור הכביש נעשה בעזרת גדר בגובה 2.44 מ' עם מעברים חד כיווניים על-מנת לאפשר מעבר איילים שנתקעו בין הגדרות. רוב האיילים שהגיעו לגדר או למעבר עברו דרכו. 39%

מהאוכלוסיה המקומית לא השתמשו במעבר. נמצאה העדפה לאזור במעבר שהיה מכוסה באדמה.

איילים מסוג Mule deer (*Odocoileus hemionus*), Elk (*Cervus elaphus*), Moose (*Alces alces*) משתמשים במעברים תחתיים כתלות במיקום המעבר, גודלו, הגידור ושדה הראיה. לעומת זאת Caribou (*Rangifer tarandus*) נוטים להשתמש פחות במעברים ו Pronghorns (*Antilocapra americana*) לא משתמשים כלל במעברים (ראה סקירה ב Singer & Doherty, 1985). במונטנה, ארה"ב נבנה מעבר תחתית לשימוש עז ההרים. מבנה המעברים הוא של גשר גדול אחד בגובה 3-8 מ', רוחב 23 מ' ואורך 11 מ' (שנבנה במיוחד לעזים) והשני בגובה 3 מ', רוחב 3 מ' ואורך 11 מ' (מעבר מעל נחל שעבר הסבה לעזים) והם ממוקמים היכן שאירעו רוב חציות האוכלוסיה לפני הבניה. הגידור נעשה מצד אחד על-ידי קיר ומצד שני על-ידי גדר. על-מנת למנוע הפרעה על-ידי אדם הוקמה נקודת תצפית בפיקוח ובאזור שאינו מפריע לעזים. פעילות הבניה הופסקה בשעות ובעונות של שיא הפעילות על-מנת לצמצם את ההפרעה (Singer & Doherty, 1985). בתגובה לפעילות בניה, עזים שינו את מקום החציה ב- 100-35 מ' וחצו בעיקר בזמנים של הפסקת פעילות הבניה ובזמן שפחות מכוניות עברו. הצלחת המעברים מיוחסת לגודלם, מיקומם על נתיב התנועה של העזים, גידור והסתרת הכביש, נטיעת מחטניים ליד המעברים וצמצום הפרעה על-ידי אדם (Singer & Doherty, 1985).

ביוטה, ארה"ב, ישנו נסיון להקמת מערכת חדשה של מעברי חציה לאיילים (Lehnert & Bissonette, 1997). המערכת זולה יותר, קלה יותר להתקנה ואמורה להיות ידידותית יותר לאיילים מאשר מעברים תחתיים. אלו מעברים בכבישים מהירים בעלי שניים או ארבעה מסלולים. מדובר במעברי חציה מסומנים שמנתבים את האיילים לכיוון מעברים אלו ומזהירים נהגים על קיום המעברים. המערכת בנויה כך שיש גידור המונע גישה לכביש. מעברי החציה בנויים בעזרת מעברי בקר (צינורות) לרוחב הכביש וביניהם מרווח. הגידור מנתב את האיילים למעבר הנמצא בין שני מעברי הבקר. לפני מעבר החציה יש אזהרות לנהגים על קיום מעבר החציה וכן סימון מעבר החציה בקווים (שיתכן ועזרו גם להנחיית האיילים). תוצאות נסיון זה הראו כי נהגים לא האטו את מהירותם לקראת המעברים. אומנם החוקרים מצביעים על ירידה במספר הדריסות על-ידי איילים. מעבר לכך תכנון הניסוי לוקה מבחינה סטטיסטית ואין מסקנות לגבי יעילות שיטה זו. מסקנות החוקרים הם שנראה כי מעברים תחתיים או עיליים יעילים יותר (Lehnert & Bissonette, 1997).

לסיכום הידוע על מעברים למפריסי פרסה (Singer & Doherty, 1985):

1. יש למקם את הגשרים ומעברים בנתיבי חציה קודמים של בעלי החיים (Klein, 1971; Reed et al., 1975);
2. אל למעברים להיות מגבילים;
3. תמותה מוגברת כתוצאה מדריסות לא גורמת לנטישת מקום מחיה;
4. ההפרעה מכביש מהיר פחותה כשיש כיסוי או הגנה על המעבר;
5. הגידור צריך להגביל מעבר בצורה מוחלטת ובכיוון התנועה הכללי של מפריסי הפרסה;
6. רעש ופעילות אדם (בעיקר ציד והתעללות) עלולים לגרום לנטישת אזור זמנית ע"י בע"ח;

7. ישנה העדפה ברורה למעברים הגדולים ומוגנים יותר;

8. ישנה העדפה למעברים הממוקמים בבית גידול תלול יותר ועם שדה ראייה רחב יותר.

בין האמצעים שנחקרו על מנת לפתור השפעת כבישים על מפריסי פרסה נכללים שלטי אזהרה, גדרות, מעברים והגברת מודעות ציבורית. שלטי אזהרה לגבי איילים חוצים, בין אם מוארים תקופתית (Pojar et al., 1975) ובין אם לא, או תאורה כללית של הכביש (Reed & Woodard, 1981) כנראה שלא הורידו באופן משמעותי את אירועי הדריסה באיילים. אומנם נהגים ראו את השלטים, אך תגובתם מבחינת ערנות והורדת מהירות לא היתה מספקת לצמצום אחוזי הדריסות (Pojar et al., 1975). שלטי אזהרה יכלו להיות אפקטיביים במידה ונהגים היו מורידים את מהירות הנסיעה, אך מאחר ושלטים נוטים להימצא בשכיחות לאורך קטע נסיעה גדול, נהגים הופכים לאדישים כלפיהם ואז יעילות השלטים יורדת (Romin & Bissonette, 1996). למרות זאת מומלץ להציב שלטים פשוטים על מנת להגביר את מודעות הציבור ומסיבות משפטיות (Pojar et al., 1975). מראות (Van de Ree reflectors) ומשורקות אזהרה אולטראסוניות, המורכבות על גבי רכבים, לא הועילו כלל לפתרון הבעיה (Romin & Bissonette, 1996). הדעות חלוקות לגבי יעילות מחזירי אור מסוג Swareflex (ראה סקירה ב- Romin & Bissonette, 1996 וכן Reeve & Anderson, 1993; Schafer & Penland, 1985). מחזירי אור אלו פועלים כך שבליה כשהם מוארים על-ידי אור מרכב עובר, הם מחזירים אור אדום בזווית ישרה היוצרת "גדר אופטית" שאמורה לגרום לאיילים להישאר חסרי תנועה (כתגובה לאור האדום) עד שהרכב עובר והגדר "נעלמת" (Schafer & Penland, 1985). Schafer & Penland (1985) מצאו כי אחוז התמותה כתוצאה מדריסות ירד משמעותית עם מחזירי האור, בעוד ש Reeve & Anderson (1993) לא מצאו הבדל בין אחוז הדריסות עם או בלי מחזירי אור. כנראה שיעילות מחזירי אור אלו משתנה בהתאם למין המטרה, בית הגידול, התנהגות האיילים, נפח, סוג, ומהירות התנועה (Reeve & Anderson, 1993). השימוש באמצעים השונים צריך להיות תלוי מין, מקום ותנאים (Romin & Bissonette, 1996). תאורת כביש בליה לא שינתה את מקומות החציה של איילים והם המשיכו לחצות גם באזורים המוארים של הכביש (Reed & Woodard, 1981).

3.3.2 טורפים

מגוון מבני המעברים בשימוש טורפים הוא רחב. המעברים העיליים נמצאו מתאימים במיוחד לגיריות (Pfister et al., 1997), ועם זאת הן יכולות להשתמש במעברים תחתיים צרים עד כדי קוטר של 0.25 מ' (Van Haaften, 1985 in Rodriguez et al., 1996). ככלל, כנראה שמעברים תחתיים שהם ארוכים ונמוכים וללא שדה ראייה מעכבים שימוש ע"י טורפים (Foster & Humphrey, 1995). Clevenger & Waltho (2000) אכן מצאו כי בשועלים היה מתאם חיובי בין שימוש במעבר וגובהו. אך, לגבי טורפים אחרים הם לא מצאו כמעט השפעה מבנית על השימוש במעבר. Foster & Humphrey (1995) בדקו שימוש במעברים תחתיים על-ידי פנתרים בפלורידה. נבנו 24 מעברים לאורך 64 ק"מ של כביש מהיר מגודר. המרחק בין המעברים בקטע הנלמד היה 1.43 ק"מ בממוצע. כל מעבר בנוי משני גשרים ומעבר מתחת לכביש מהיר, בעל ארבעה נתיבים וחצוי באמצעיתו. כל גשר בנוי מבטון, באורך 36.6 מ' וברוחב 13.1 מ' ובין הגשרים יש מרחק של 22.3

מ'. מנקודת מבט של בעל החיים - המעבר בחלקו התחתון הוא ברוחב 21-26 מ', בגובה 2.1-2.4 מ' ואורכו הכולל 48.5 מ' (כולל מרווח באמצע של 22.3 מ'). הגידור בנוי מגדר מתכת בגובה 3 מ' ובראשה שלושה חוטי תיל. מצע המעברים הוא ברובו חול וחצץ עם מעט עשבים. מעקב אחר השימוש במעברים בוצע בעזרת מצלמות ואור אינפרא אדום. נמצא כי ישנה העדפה למעברים מחולקים באמצע. המעברים הגדולים (ברוחב גדול מ- 20 מ' וגובה גדול מ- 3 מ') שימשו לטווח טורפים וביניהם פנתרים, לינקס, איילים, ראקון, תנינים ודובים. האיילים היו השכיחים ביותר. מינים שונים השתמשו במעבר בשעות שונות של היממה (פנתרים בלילה, ואיילים בבוקר) חלק מבעלי החיים השתמשו במעברים לצורך מעבר בלבד (כפנתרים ואיילים), בעוד אחרים השתמשו במעבר הן לחציה והן לאכילה (כדוגמת הראקון).

3.3.3 יונקים קטנים

יונקים קטנים (כמו גם חרקים) השתמשו במעברים עיליים (אקדוקטים) רק כאשר בית גידול דומה לבית הגידול בו הם חיים נמצא על הגשר. אם מדובר לדוגמה במינים שוכני יער, יש לדאוג שאזור מיוער יהיה גם על המעבר (Pfister & Keller, 1997). במחקרים לגבי שימוש במעברים תחתיים נמצא כי ככלל, מנהרות ליונקים קטנים (ודו-חיים) אפקטיביות ביותר בקוטר 1 מ' ומעלה. הבעיה במנהרות בקוטר 1 מ' ומעלה היא שלצורך כך על הכביש להיות בעל סוללה גבוהה (שתאפשר גם גובה מספק מבחינה בטיחותית מעל למנהרה של כ- 1 מ'; Krikowski, 1989). בניית מעברים תחתיים ליונקים קטנים יש להתייחס לפרטים הבאים (DWW, 1995):

- יצירת נתיב אטרקטיבי לכיוון המעבר. נתיב זה יכול לכלול משוחות, וטופוגרפיה שמספקת מסתור, או תעלות מקבילות לכביש;
- בהתקנת גידור יש לדאוג לסימון נתיב "הגיוני" למעבר וכן אפשרות מילוט מהכביש;
- הקטנת הפרעה ויזואלית מהכביש והפרעת אור בקרבת הכניסה למעבר. רצוי להתקין מיסוד של הכביש על-ידי צומח צפוף. דבר המאפשר מסתור והרחקת בני אדם (דרוש גובה של לפחות 1.5 מטר למיסוד יעיל).

3.3.4 עופות

למרות שלכאורה נראה כי עופות לא מוגבלים לשימוש במעברים, נמצא כי גשרים ירוקים משמשים אותם כנתיב מנחה לחציית כבישים (Pfister et al., 1997). במקרה של כביש המוקף בשטחים חקלאיים, על-מנת לשמר את השוליים כבית גידול אטרקטיבי לקינון ציפורים יש לדאוג לצמחיה טבעית, גיזום והפרעה מינימליים. גם גידור ועמודים מנוצלים לעתים כמצע תומך לקינון ציפורים (Camp & Best, 1994).

3.3.5 זוחלים

הניסיונות לצמצום נזקי כבישים בזוחלים כוללים גידור עם בניית מעברים וכן העברת זוחלים לאתר חליפי (Guyot & Colbert, 1997; Yanes et al., 1995). העברת צבים לאתר חליפי נמצאה

מוצלחת גם במחקרים לאורך זמן, בין אם הם הוחזרו לאתר המקורי (Guyot & Colbert, 1997) ובין אם הועברו לאתר חדש (Hamblen, 1994). ככלל, נמצא כי זוחלים משתמשים במעברים לחצית כבישים (ראה לעיל וכן Yanes et al., 1995). במעקב אחר זוחלים בקליפורניה נמצא כי מיני נחשים מסוימים משתמשים באופן סלקטיבי במעברים, או בודקים תנועה לפני חציה. התנהגות זו הוסברה כתהליך נלמד, או כברירה נגד פרטים שלא השתמשו באמצעים אלה (Dodd et al., 1989). גידור למניעת צבים על הכביש שנמצא יעיל עשוי מרשת מתכת, שחלקה התחתון בנוי מרשת עדינה יותר עד לגובה 40 ס"מ מפני הקרקע, וכן 10 ס"מ הקבועים בתוך הקרקע. גדר זו נמצאה יעילה כנגד צבים צעירים ובוגרים (Guyot & Colbert, 1997). מעברים בשימוש צבי יבשה כוללים מנהרה ומעברי מים. מעברים אלה הורידו את אחוז התמותה מכבישים בצורה משמעותית תוך אפשרות מעבר בין שני חלקי הכביש (Guyot & Colbert, 1997).

3.3.6 דו-חיים

ישנם מספר דרכים לצמצום השפעת כבישים על דו-חיים. אלה כוללים: חסימת דרכים בפני רכב בעתות של הגירה מוגברת (שבד"כ מתבצעת בלילה), יצירת בריכות הטלה חליפיות, ובניית מנהרות למעבר (Podlousky, 1989; Schlupp & Podlousky, 1994).

■ **חסימת דרכים בפני רכב** - סגירת דרכים בלילות בהם יש הגירה אל ומבריכות רביה, או בתקופה שיש הרבה צעירים. לשיטה זו היתרונות המהותיים של שמירת ההתנהגות הטבעית של בעלי החיים, תוך שינוי והתערבות מינימליים בסביבתם הטבעית. בשיטה זו הפרטים אינם צריכים להסתגל למעברים מוכתבים, או להתרגל לסביבה חדשה. גם אם יש לחזור על התהליך מדי עונת רביה, ההשקעה מינימלית. שיטה זו מיושמת בהצלחה בגרמניה. סגירת הדרכים למשך 10 לילות בשעות 19:00-20:00 ו 06:00-07:00 מספיקה באזור התפוצה בגרמניה, אך ההחלטה צריכה להיות פרטנית למין ומקום (Podlousky, 1989).

■ **בריכות רביה חליפיות** - במקרה שהכביש מפריד רק בין בריכת ההטלה לבית הגידול המשמש בכל שאר העונות, וכשאינן כל אפשרות אחרת לשמירת האוכלוסיה, יש לשקול הקמת בריכות הטלה חליפיות מאותו עבר של הכביש שבו הפרטים חיים רוב הזמן. במקרה זה יש לדאוג לגדרות שימנעו את מעבר בעלי החיים לעברו השני של הכביש. אומנם בבניית גדרות אלה יכול להיווצר בידוד אוכלוסייתי, אך לגבי מינים מסוימים שאינם משתמשים במנהרות כדוגמת סלמנדרות, זו יכולה להיות אפשרות השימור היעילה (Ryser & Grossenbacher, 1989). גדרות שהוכחו עצמן כיעילות הם מחסומי מתכת (מהסוג למניעת התנגשות כלי רכב) בצירוף מלכודות בצורת תעלה, הממוקמים במרחק של כ- 2 מ' מהכביש (Schlupp & Podlousky, 1994). מבנה הבריכה האידיאלי: שטח של לפחות 500-1000 מר', יחס אורך מזרח-מערב של 1:2 לעומת אורך צפון-דרום (מפני שדו-חיים מעדיפים להטיל ביצים בגדות שטופי השמש). מעבר לכך, עיצוב הבריכה צריך להיעשות בהתאם לדרישות המין לשלבי ההתפתחות השונים ועל-פי אפשרויות בית הגידול, תוך המנעות מפגיעה בבית הגידול (Dexel, 1989; Podlousky, 1989; Schlupp & Podlousky, 1994). תוצאות מחקר שבוצע על-ידי Schlupp & Podlousky (1994) מראות היענות של צפרדעים וקרפדות ושימוש בבריכות החדשות (למרות שאלו מינים בעלי טריטוריאליזם גבוה).

■ **מעברים** - בזמן הנדידה לאתרי הרבייה ובעונות השונות דו-חיים עוקבים אחר נתיבים קבועים במשך שנים רבות (DWW, 1995). אי לכך האפקטיביות של מעבר נקבעת בחלקה הגדול על-ידי קרבת המעבר החדש לנתיב הנדידה המקורי. ככל שהמעבר קרוב יותר לנתיב המקורי ולבריכת ההטלה הוא יהיה יעיל יותר (DWW, 1995).

■ **מנהרות לדו-חיים** - כסדרה, דו-חיים הם בין הקבוצות הקרובות ביותר לכליה (Wilcove et al., 1986). נתון זה, בשילוב עם פגיעותם (ראה לעיל) הביאו לכך שישנו מחקר ענף והתמקדות בנושא מעברי דו-חיים. מנהרה לשימוש דו-חיים צריכה למלא את הפונקציות הבאות: לאפשר הגירה של בוגרים מבית הגידול הקבוע לבריכות ההטלה; לאפשר הגירת בוגרים מבריכת ההטלה; ולאפשר הגירת הצעירים מהבריכה לאחר שעברו מטמורפוזה. הרבה מהמנהרות הקיימות היום לא ממלאות את כל הפונקציות הנ"ל ולכן לא פותרות את הבעיה (ראה Podlousky, 1989). חלק מהותי מכל המנהרות הוא שימוש בצינורות ובמערכות ניתוב ראויות להבאת הפרטים לפתח המנהרה (Dexel, 1989; Feldmann & Geiger, 1989). שימוש במנהרות עשויות מצינורות בטון, בקוטר 80 ס"מ נמצא יעיל (Krikowski, 1989). גידור שהוכיח את עצמו כיעיל ביותר הוא גידור פלסטיק בגובה 1 מ' ומבנה של רשת צפופה (Meinig, 1989). יש לוודא, תכנון ע"פ מחקר ולימוד מנהגי ההגירה וגודל אוכלוסיית היעד (Podlousky, 1989).

בעקרון ישנם שני סוגי מנהרות דו-חיים:

1. מנהרות חד כיווניות - המערכת בנויה משתי מנהרות אחת לכל כיוון (DWW, 1995). בגרמניה לא מעודדים בניית מנהרות אלה בגלל המלכודת שבכניסה.
2. מנהרות דו-כיווניות - מנהרות אלה בנויות כתעלה או צינור העוברים מתחת לכביש. מנהרות בעלות קוטר גדול עדיפות. הקוטר המומלץ מתחיל מ- 100 ס"מ (לאורך קטן מ- 20 מ') ועד 150 ס"מ (כשאורכם גדול מ- 50 מ'). בגדלים אלה המנהרות אומנם אפקטיביות ביותר, אך אפילו מנהרות בקוטר 30 ס"מ ואורך 42 מ' שימשו למעברי דו-חיים בהצלחה (Brehm, 1989; Dexel, 1989; Krikowski, 1989). הוספת פתח בחלק העליון מאפשר את הצרת הקוטר, אך לפתח יש את החסרונות של כניסת רעש ולכלוך (DWW, 1995). ככלל, מיקום המעברים במרחק של 70 מ' אחד מהשני מומלץ כשקירות הניתוב מקבילים לכביש, ו 100 מ' כשקירות הניתוב הם בצורת V כלפי הפתח (DWW, 1995).

• **מנהרות חד כיווניות** - כיום, ישנן יותר מ- 25 מנהרות למעבר דו-חיים בשווייץ לבדה. רובן בנויות כמערכת חד-כיוונית, שבה בעל החיים נע לאורך גדרות עד שהוא מגיע לפתח המנהרה, שם יש מלכודת נפילה (אשנב אנכי המוביל למנהרה האופקית). הפרט נלכד במפתח והוא יכול לעזוב את המנהרה בכיוון אחד בלבד (Ryser & Grossenbacher, 1989).

ממגבלות מנהרות הדו-חיים החד כיווניות (Ryser & Grossenbacher, 1989): קשיים רציניים קשורים בגידור; חלק מהמחסומים אפשרו לפרטים צעירים לטפס ולעבור מעל הגדר או בעזרת סדקים, או בעזרת צמחיה תלויה מעל הגדר (Meinig, 1989; Ryser & Grossenbacher, 1989); עמודים ששימשו לתמיכת הגדרות גרמו לפרטים לחזור על עקבותיהם; מחסומים שקופים שאפשרו לראות דרכם היו אף הם בעלי השפעה רצינית; ופרטים שהגיעו למחסום בזווית ישרה מיאנו לנוע לאורכו וחלק גדול מהפרטים נשאר לתקופות זמן ארוכות ליד המחסום (עד 3 שבועות).

תוצאות אלה ממחישות כי הרכיב המכריע הראשון בכל סוגי המעברים הוא המחסום לכביש. הבעיה השנייה במקרה של דו-חיים היא שהרבה מהפרטים נמנעו ממלכודת הנפילה. אם מפני שנמנעו ממנה במכוון, ואם מפני שלא נעו לאורך הגדר. פרטים שנפלו למלכודת ניסו לטפס חזרה לכיוון האור ולעתים נשארו בה תקופות ארוכות ואפילו עד כדי מוות, במקום לנוע ולצאת דרך המנהרה (Ryser & Grossenbacher, 1989).

על מנת לפתור את בעיית המשיכה לאור, בניסוי שנערך בשווייץ נבנו 'אזורי אור וחושך'. על-ידי כיסוי גדרות הניתוב ממרחק של 1 מ' לפני פתח המנהרה וכיסוי צדה של מנהרת הניתוב האנכית, ניתן להשיג עד 100% ירידה בכמות האור. הפרטים המגיעים למנהרות אלה נופלים בחושך דרך מנהרת הניתוב ואז נמשכים לכיוון האור ביציאה (Krikowski, 1989). מנהרות הניסיון שנבנו (ארבע זוגות מנהרות - מנהרה נפרדת לכל כיוון) היו צינורות בטון בקוטר 40 ס"מ ואורכם נע עד 19 מ'. מנהרה אחת שהיתה באורך 26 מ' נבנתה בקוטר 60 ס"מ. המנהרות נבנו עם אזורי אור וחושך כנ"ל. תחתית מנהרת הנפילה, שהגיע באורכה ל 60 ס"מ, רופדה בשכבת שעם כדי למנוע פגיעה בדו-חיים הנופלים פנימה. נמצא כי מנהרות אלה היו בשימוש נרחב ומוצלח על-ידי דו-חיים (Krikowski, 1989). לגבי מינים המשתמשים במנהרה בלילה, שימוש באזורי אור וחושך כמוסבר לעיל, אינו רלוונטי. לדעת Krikowski (1989) קוטר המנהרה המוחלט פחות חשוב, אך יש לקחת בחשבון כי ככל שהמרחק לבריכת ההטלה קטן, ניתן להשתמש במנהרה בעלת קוטר קטן יותר.

לסיכום, ישנם מספר גורמים חשובים בבניית מעברי דו-חיים חד כיווניים: על המחסומים להיות נקיים ממכשולים, כולל צמחים, וצריך גידור נוסף כדי לנתב את הפרטים למעבר. המרחקים בין המנהרות צריכים להיות קטנים מ- 50 מ' כשהאוכלוסיה צפופה (אבל ראה גם אצל DWW, 1995). מחסומים צריכים להיות עמידים ומתוחזקים בקלות. על המנהרות להיות ישרות ושהאור הנכנס יהיה מקסימלי ביציאה ומינימלי בכניסה (Krikowski, 1989; Ryser & Grossenbacher, 1989).

• **מנהרות דו כיווניות, משוקעות בכביש - כשהכביש אינו בנוי על סוללה גבוהה מספיק קיים פתרון של שימוש במנהרות המשוקעות בתוך הכביש כדוגמת ה ACO (Brehm, 1989). השימוש במנהרה זו על-ידי דו-חיים הוכח כמוצלח (Brehm, 1989). כרגע נבדקת התאמת מנהרה מסוג ACO Q200 (Podlucky, 1989). מבנה מנהרת ACO Q200 (ראה נספח 4, תרשימים 1,2,3): המנהרה היא בקוטר 0.2 מ' ובעלת חריצים המאפשרים כניסת אור ואויר. גובהה 0.4 מ' וניתן להתקינה גם במקומות שסוללת הכביש נמוכה. חוזק המנהרה מאפשר את התקנתה גם בכבישים מהירים. דו-חיים מנותבים למנהרות בעזרת גדרות ומחסומים בצורת V ('swallow-tail' barrier). רצוי כי המנהרות יהיו מותקנות על הכביש בזווית ישרה, על נתיב ההגירה של המין. ניתן להקל על מציאת הפתח על-ידי רמזי רית, כגון שטיפת המנהרה במי בריכת ההטלה לפני תחילת ההגירה (Brehm, 1989). חסרונות מנהרה מסוג זה הם בעיקר שהיא מאפשרת חדירת לכלוך, מזהמים ורעש מפני הכביש. להסבר ודיון מקיף יותר במנהרת ACO Q200 ראה Brehm (1989). מנהרות דומות מסוג ACO Drain S200, המותאמות לאזורים הרריים ובעלי כבישים עם שוליים משופעות נבחנו על-ידי Meinig (1989) ונמצאו מתאימות לא רק לדו-חיים, אלא אף ליונקים קטנים, חרקים, ויתכן כי נחשים. במחקר שנערך על-ידי Dexel (1989) נמצא כי מנהרות דו-כיווניות רחבות וסגורות וכן**

מנהרות חצי-פתוחות המשוקעות בכביש (כדוגמת ה- ACO) הן המתאימות ביותר למעבר דו-חיים. Dixel (1989) הגיע לארבע מסקנות בעקבות מחקרו: (1) גידור מנחה צריך להיות קצר ככל האפשר ובכיוון ההגירה של הפרטים; (2) מנהרות דו-כיווניות בעלי קוטר רחב (מעל 1 מ', כך שיתאפשר מעבר חיות אחרות) הן הפתרון המועדף; (3) ציר המנחה צריך להיות בכיוון בריכת הרביה; (4) גידור מנחה נוסף צריך להיות ממוקם מספר מטרים לפני הכניסה למנהרה.

לסיכום הנחיות (DWW, 1995) בנוגע למעברי דו-חיים:

- מנהרות דו-כיווניות עדיפות;
- מנהרות בקוטר רחב עדיפות;
- מנהרות מלבניות עדיפות על עגולות;
- לקרפדה המצויה מנהרות ברוחב 30-40 ס"מ (עד לאורך 15 מ') מספיקות. אם ישנו פתח בחלק העליון, רוחב 20 ס"מ מספיק;
- שימוש בבטון עדיף על מתכת, PVC, וחומרים אחרים;
- רצוי למקם מנהרות במקביל לאלמנטים מנחים כתעלות, משוכות וכדו' אם ישנם, ואם לא רצוי לבנות אותם ככלי להתמצאות לדו-חיים;
- יש למקמם את המנהרה על הנתיב המקורי, או כמה שיותר בסמוך לו;
- יש לפזר שכבת אדמה, חול ורקבובית כמצע למנהרה;
- שיפוע המנהרה צריך להיות קטן מ- 1% למניעת ניקוז מים קבוע לתוך המנהרה;
- לא ידוע אם דו-חיים משתמשים במנהרות ארוכות מ- 60 מ';
- לצורך גידור ניתן להשתמש בחומרים חלקים שונים. יש צורך בגובה מינימלי של 40 ס"מ, רצוי 60 ס"מ עם שפה כפופה כלפי פנים. יש למנוע אפשרות טיפוס על הגדר בעזרת צמחים, ומנגד לאפשר מעבר מכיוון הכביש (DWW, 1995).

3.3.7 פרוקי רגליים

פרוקי רגליים השתמשו במעברים עיליים רק כאשר בית הגידול שמתאים לצרכיהם קיים על הגשר ובקשר ישיר לבית הגידול המקביל מחוץ לאזור הכביש, כלומר, כשהגשר נבנה כמסדרון בית גידול. נמצא כי גשרים משמשים אף חרקים מעופפים, כפרפרים, לצורך חציית כביש וכבית גידול. זאת מאחר והגשר משמש כקו מנחה לחציית הכביש ומאפשר המנעות (כמו במקרה של עופות) מהשפעות ערבול ומיקרואקלים הקיימים מעל לכבישים (Pfister et al., 1997). האקדודוקטים, שמעצם צורת בנייתם הם יחסית יבשים, היו בשימוש מועט ביותר על-ידי מינים בעלי זיקה לאזורי מים. למינים כאלה רצוי לבנות כבישים מוגבהים שהמעבר עובר מתחתם, באזורי נחלים ומים. מעברים צרים, אף הם אינם יעילים לקבוצות אלה (Pfister et al., 1997). נמצאה חשיבות של שולי הכביש למיני פרפרים מסויימים. אי לכך מומלץ להקפיד על שתילת צמחיה טבעית ויצירת בית גידול מגוון, צמצום שימוש בחומרי דישון והדברה בשולי כבישים וכן בניית שוליים רחבים במידת האפשר. זאת פרט למקרים בהם האלטרנטיבה היא בית גידול טבעי ושמור באותו השטח (Munguira & Thomas, 1992).

4. סיכום - המלצות מהספרות לגבי התאמת כבישים למעבר בע"ח

המידע שהצטבר עד כה, מצביע על כך שאקודוקטים (גשרים ירוקים) הם אמצעי יעיל ביותר לצמצום השפעות כבישים הכרוכות בקיטוע, לפחות ברמה המקומית, בכל קבוצות בעלי החיים היבשתיים. התנאי הוא שהגשרים ממוקמים ומתוכננים (מבחינת גודל ובתי גידול) בצורה אופטימלית. הגשרים אינם מספקים מענה מספק לבע"ח בעלי זיקה לבתי גידול רטובים (Pfister et al., 1997). נראה כי רק כבישים מוגבהים, ובנויים כך שישנו המשך רציף של בית הגידול מתחת לכביש, יעילים למעבר בע"ח במידה דומה לאקודוקטים, ומומלצים יותר ממעברים קטנים מסוגם של מעברי מים (Pfister et al., 1997; Reed, 1981).

4.1 נתונים לתכנון מעבר עילי בפרט ומעברים בכלל:

בשלב הראשון לתכנון אמצעים לצמצום השפעות הכביש יש לבחור במין אחד או יותר שיהיו מין המטרה סביבם מתרכז המאמץ (Bekker, 1998; Pfister et al., 1997). מין המטרה יכול להיות כל מין המושפע באופן מהותי מקיום הכביש ושיש אמצעים לצמצום זאת, כאשר יש עדיפות למינים בסכנת הכחדה, או בעלי רגישות גבוהה לשינויים סביבתיים ובידוד. שימוש במין וחברת מטרה חשובים כאשר צריך להצדיק בניית אקודוקט או מעבר מיוחד אחר. כמו כן, התפוצה ודגם התנועה של מין המטרה קובעים את מיקום המעבר ועיצובו (Pfister et al., 1997). יש לתכנן את המעברים ע"פ הביולוגיה של מין, או מיני המטרה וע"פ הידוע עד כה על שימוש במעברים. עוד בשלב זה חשוב להגדיר את מטרתו האקולוגית של המעבר. באופן כללי המטרה היא שמירת אוכלוסיות מקומיות של החי והצומח, אך באופן ספציפי הפונקציה האקולוגית יכולה להשתנות בהתאם לקבוצות שונות וצרכי מינים, המושפעים מתשתיות במידה שונה. דוגמאות למטרות שונות (לפי הגירה; פרוזדור לשימור שטח המחיה; צמצום תמותה כתוצאה מדריסות; ובית גידול חדש כפיצוי על הרס בתי גידול. (Pfister et al., 1997; Keller & Pfister, 1997): פרוזדור לקישור בין בתי גידול; פרוזדור לשימור נתיבי

לאחר שמין המטרה נבחר כמו-גם מטרות ויעדי המעברים, מומלץ לעבוד לפי הסדר הבא (Bekker, 1998):

1. חלוקת הכביש למקטעים;
2. תיאור מקטעי הכביש מבחינת מעמד חוקי, אקוטופ שמאפיין את האזור (נחל, אזור טבעי) ומצאי המינים שנבחרו בסעיף 1;
3. דירוג הערכיות האקולוגית של חלקים שונים במקטע המדובר;
4. בחירת האמצעי למיגור השפעות הכביש;
5. החלטה על סדר עדיפויות בביצוע על-פי הערכיות האקולוגית, מחיר ומעשיות ביצוע.

Pfister et al. (1997) ממליצים לענות על השאלות הבאות לפני בניית המעבר (תשובה לשאלות אלה תעזור בביצוע סעיפים 3,4 לעיל):

1. אילו מינים מושפעים ביותר מהכביש?
 2. אילו אוכלוסיות מחולקות ועד כמה בתי הגידול המופרדים דומים? ומה גודל השטח שנותר?
 3. היכן מצויים המינים המושפעים ביחס לכביש?
 4. היכן נוצרת הפרדה של קשרים תפקודיים (ברמת האוכלוסיה, החברה ובית הגידול)?
 5. עד כמה אפקט החיץ של הכביש גדול?
 6. היכן ולאיזה מינים דרוש מעבר?
 7. מהם דרישות בית הגידול של המינים המושפעים?
- על סמך התשובות לשאלות אלה יש להחליט האם, היכן וכיצד לבנות את המעבר וזאת רק במקרה ולא ניתן להימנע מבניית הכביש במקום בעל ערכיות אקולוגית גבוהה.
- כאשר הכביש חוצה שטח רחב ידיים עם בית גידול הומוגני יחסית, אין תשובה ברורה לשאלה האם עדיף גשר אחד רחב מאוד, או מספר גשרים צרים יותר. ברור כי גשר אחד רחב לא מהווה פתרון כשמדובר בשטחים נפרדים או עם בתי גידול שונים.

טבלה 1: סיכום המלצות לגבי המעברים (מנהרות לדו-חיים, ראה לעיל); הטבלה לפי Beier & Loe, 1992; Bekker, 1998; Clevenger, 1998; Foster & Humphrey, 1995; Holzgang et al., submitted ms.; Hunt et al., 1987; Krikowski, 1989; Norman et al., 1998; Pfister et al., 1997; Reed et al., 1975; Reed, (1981):

המלצה	אפיון
<ul style="list-style-type: none"> • ע"פ אפשרויות בית הגידול, ולא במרחקים גדולים מדי בין המעברים. • על נתיב תנועה קיים של הבע"ח (נכון במיוחד לגבי מפרי פרסה ודו-חיים). • במקום שהטופוגרפיה ומסתור שבית הגידול מספק מתקרבים לכביש. • רחוק ממקורות הפרעה כרעש, מזהמים, פעילות אדם ומינים מלווי אדם ככלבים וחתולים. • מספר מעברים קרובים בצורות ובגדלים שונים חלק על נתיב ניקוז וחלק לא. 	מיקום המעבר
<ul style="list-style-type: none"> • כיסוי צמחיה נרחב לאפשר מסתור, אך שלא יסתיר את המעבר וימנע גישה אליו. • ייצוג של בית הגידול הטבעי על הצמחיה והמסלע שבו. • כך שמיני הבע"ח ימשכו למעבר ולא לכביש. 	תכנון סביבתי ליד המעבר
<ul style="list-style-type: none"> • מזעור ההפרעה לבית הגידול ולצמחיה הטבעית בזמן סלילת הכביש. • שתילת צמחיה טבעית בלבד (מהמאגר הגנטי המקומי). 	תכנון צדי דרכים
<ul style="list-style-type: none"> • תוקם רק לשימוש בו זמני עם מעברים. • תמנע מעבר לכביש - גובה תלוי בבע"ח בין 0.5 מ' ל- 3 מ'. • ביצוע תחזוקה שותפת להבטחת שלמותה וחוסר לכידת בע"ח על הכביש. 	גידור מניעה
<ul style="list-style-type: none"> • במקרה של אקדוקט: רוחב מינימלי של 20 מ' ורצוי 50 מ'; וכן רצף של בית הגידול הטבעי על המעבר. • ישנה עדיפות למעברים גדולים בצורת גשר. • לגבי מעברים תחתיים: גודל של 3 - 5 מ' בקוטר, או גובה ארוחב בהתאם, הוא כנראה המתאים ביותר לטווח בע"ח; לאיילים כ- 4.5 מ' רוחב וגובה ומפתח מינימלי של 0.6; לחיות קטנות מאוד בקוטר של כ- 0.4 מ'; לחיות קטנות ובינוניות בקוטר של כ- 1 מ'. • מעברי בטון עדיפים על מתכת. • הבטחת שדה ראייה לא מופרע של בית הגידול או האופק בצדו הרחוק של המעבר. • הבטחת מעבר יבש לבע"ח על-ידי הגבהה או הטייה, כשמדובר במעבר גם למים. • תכנון המעבר ע"פ המין הרגיש ביותר כגון מין שנמצא בסכנת הכחדה ועם מקסימום הדרישות למגוון מינים רחב. • דאגה למבנים פנימיים כגזעים חלולים ואבנים לאספקת מסתור בפני טורפים. • מצע בהתאם לבע"ח לדוגמא: אדמה, חול, או בטון. 	מבנה המעבר
<ul style="list-style-type: none"> • יש לדאוג לתכנית תחזוקה שוטפת של המעבר, גידור ובית הגידול בצמוד למעבר. 	תחזוקה
<ul style="list-style-type: none"> • ברוב המקרים העדיפות היא לאקדוקט, ובמיוחד כשכביש עובר ע"ג אזור ומסדרון בשימוש מאסיבי לתנועת בע"ח, יש עדיפות להקמת אקדוקט או גישור על פני שימוש במעבר סגור (culvert). 	גשרים
<ul style="list-style-type: none"> • במעבר תחתי, יש יתרון למרווח אמצע פתוח אם הוא רחב על-מנת שהמעבר לא יראה כמנהרה, אך מרווח צר אינו יעיל לכניסת אור ועם זאת מאפשר ניקוז מים, לכלוך, רעש, ואור מכוניות מהכביש. 	מרווחי אמצע ואור יום
<ul style="list-style-type: none"> • על הרעש במעבר להיות פחות מ 60 דציבלים בזמן ששימוש צפוי. 	רעש
<ul style="list-style-type: none"> • יש להימנע לחלוטין מתאורה מלאכותית במעבר בפרט ובכביש בכלל. 	תאורה
<ul style="list-style-type: none"> • יש לדאוג לשימוש מינימלי על-ידי אדם 	שימוש בידי אדם

4.2 תדירות מיקום מעברים

משרד התחבורה ההולנדי פרסם קובץ הנחיות לבניית מעברים לבע"ח, המשמש מסמך עבודה לבניית המעברים בהולנד (DWW, 1995).

טבלה 2: הנחיות לתדירות מעברי בע"ח בהולנד (לפי Bekker, 1998 ; מבנה המעברים לפי DWW, 1995):

תדירות	סוג המעבר
1 לכל ק"מ באזורים טבעיים גדולים, אחרת 1 לכל 5 ק"מ.	מנהרות לבע"ח קטנים (קוטר < 0.40 מ')
ברכזים של האוכלוסיה 1 לכל ק"מ, באזורים אחרים 1 לכל 5 ק"מ.	מנהרות לדו-חיים
1 לכל 5 - 10 ק"מ.	מעברי איילים (Roe deer)
1 לכל 200-250 מ' לתנועה מקומית, 1 לכל 1-5 ק"מ לתפוצה.	מעברי גיריות (קוטר < 0.30 מ')
לפחות 1 בכל אזור טבעי בעל קנה מידה גדול	מעבר עילי מסוג אקדוקט
בכל מקום שרצוי מבחינה אקולוגית ואפשרי מבחינה הנדסית.	שימוש משני במעברים קיימים (מעברי מים וחקלאיים)

אחת הבעיות הנפוצות היא מתן פתרון כלשהו על-ידי בניית או שימוש במעבר, אך חוסר מעקב אחר יעילות הפתרון. יש להמשיך ולנטר שימוש במעבר לאחר בנייתו, על מנת לבדוק את יעילותו ולצורך מעברים נוספים ואו שיפור המעבר הקיים. בצרפת לדוגמא, המעברים הראשונים נבנו לשימוש בע"ח גדולים יותר, אך כיום מסתבר כי הם אינם בשימוש מפני שהם צרים מדי (Keller & Pfister, 1997). בגלל טבעם של הקשרים ברמת החברה ואקוסיסטמה, גם אם מעבר נבנה למין מסוים יש לקחת בחשבון את ההשפעות לגבי מינים נוספים וכלל החברה.

5. סקירת פתרונות מיושמים / מומלצים בישראל עד כה

5.1 אמצעים מיושמים

מעברים לבע"ח:

ככלל, אין בישראל מעברים עיליים או תחתיים שנבנו במיוחד לצורך מעבר בעלי-חיים. ישנה הסתמכות על מעברים תחתיים קיימים מבטון (מעברי מים ומעברים חקלאיים), לשימוש בע"ח. מעברים אלה ממוקמים בעיקר באזורי ניקוז ובאזורים חקלאיים. חלק מהמעברים גדול במיוחד, כגון, המעברים לכיוון חוף הים, בכניסה הדרומית לחיפה. במעברים מסוג זה יש סיכוי שבע"ח קטנים וגדולים יעברו (בוסקילה, מידע בע"פ).

מקרה אחד שבו הוקמו גידור למניעת מעבר לכביש בשילוב מעבר תחתי (מעבר מים), הוא באזור בריכת סאסא. בעבר היתה בעיה של דריסת סלמנדרות, שעוברות בין המטעים לבריכה דרך הכביש החוצץ. על-מנת לפתור בעיה זו, הוקמה לאחרונה מחיצת פוליגל בגובה של 0.5 מ' ואורך 60 מ', המונעת את מעבר הסלמנדרות לכביש. יש במקום מעבר מים תחתי לשימוש הסלמנדרות. ככל הנראה גדר זו יעילה והסלמנדרות אכן משתמשות במעבר, אך דרוש מעקב לאורך זמן לצורך הסקת מסקנות (אורטל, מידע בע"פ).

ליד מכון וינגייט ישנו מעבר תת-קרקעי עם רווח באמצעיתו, אך לא ידוע על מידת השימוש של בע"ח במעבר זה (בוסקילה, מידע בע"פ). ישנם מספר מקומות בהם עוברת מסילת רכבת מוגבהת על גשר צר וארוך (צפונית לצומת בית קמה; מול המוצא של המכתש הגדול, סמוך למפגש נחל חתירה עם כביש אורון; מעבר בר גיורא מעל נ. קטלב), שמתחתיו ישנו המשך רציף של בית הגידול. נראה שמצב זה מהווה דוגמא למעבר תחתי מתחת לגשרים עם מפתח גדול, שמתאים למעבר רציף של בע"ח.

מעקות הפרדה:

מלבד המחסום שכבישים בארץ יוצרים מעצם הכביש, ישנו שימוש נרחב במעקות בטון מסוג ניו-ג'רסי להפרדה במרכזי כבישים מהירים. מעקות אלה בנויים כגוש בטון רציף לאורך קילומטרים רבים של כביש. הם ממוקמים במרכז הכביש, לצורך הפרדה בטיחותית בין המסלולים הנגדיים. מבחינה אקולוגית, המעקות מהווים חוצץ, נוסף על הכביש, לבע"ח שבכל זאת מנסים לעבור את הכביש. מעבר לעובדה שהמעקה מונע מעבר לצדו השני של הכביש, הוא גורם, כנראה, לדריסה מוגברת של בע"ח שנלכדים במרכז הכביש.

ישנם כבישים בעלי הפרדה בעזרת מעקות מתכת פתוחים, שאינם מהווים מחסום לבע"ח שכבר נמצא על הכביש. בכבישים מעטים (על כביש החוף בכניסה הדרומית לחיפה) ניתן למצוא הפרדה בעזרת כבלי פלדה של חברת Brifen. זהו מעקה בעלות התקנה נמוכה ובטיחות גבוהה יחסית למעקות ניו-ג'רסי (הקרט, 1993). המעקה בנוי מכבלי פלדה, מתוחים על עמודים. מעקה זה, כמו מעקות מתכת פתוחים, מאפשר מעבר בע"ח שנמצאים על הכביש.

במספר כבישים (לדוגמא: כביש באר שבע - בית קמה) ישנם מפתחים צרים בגודל 50X5 ס"מ בבסיס מעקות ניו-ג'רסי. מעברים אלו נבנו במטרה לאפשר תנועת זוחלים ויונקים קטנים ועל-ידי כך לצמצם את השפעת המעקות כמחסום לבע"ח שכבר הגיעו לאמצע הכביש. מעברים אלו נבנו

ביוזמת החברה להגנת הטבע (בוסקילה, 1986). ישנם אזורים עם מעקה בטיחות מבטון לאורך צד הכביש (בעיקר באזורי ואדיות). הבעיה חמורה במיוחד כשהכביש עובר באזור בעל ערכיות אקולוגית גבוהה. ישנם מקרים שהושארו פתחים למעבר בע"ח במעקות אלו (בכביש בית אורן לדוגמא).

הן לגבי המעברים התחתיים הקיימים והן לגבי המעברים במעקות הבטון לא בוצע מחקר וניטור בדבר יעילותם לשימוש בעלי חיים, לכן טרם לקבוע בוודאות מבחינה מדעית את יעילותם כאמצעי לצמצום השפעות כבישים.

5.2 המלצות קיימות לגבי כבישים בארץ

מעברים:

מסמך המלצות בנושא מעברי בעלי-חיים בכבישים, המשמש כהנחיות עבודה ברשות לשמירת הטבע והגנים הלאומיים, נכתב בשנת 1993 על-ידי ד"ר תמר רון, בייעוץ פרופ' מנדלסון וד"ר פרנקנברג, ועודכן בשנת 1996 (רון, 1996; וראה נספח 2). על בסיס מסמך זה נעשו סיכומים עם מע"צ בעבר (רון, 1997). לא ידוע לי על ביצוע הנחיות אלה בפועל. בפגישות בעבר בין גורמי מע"צ והרשות לשמירת הטבע והגנים הלאומיים בנושא מעברי בע"ח בכבישים שונים הומלץ לרוב להשתמש במעברי מים קיימים, או שימור רצף פתוח מתחת לגשר קיים. לעתים הומלץ על בניית מעביר מים רחב מהרגיל לשימוש בע"ח (סגל, 1998 א, ב; שדות, 1999).

בנושא דו-חיים ישנן המלצות על מנת לפתור בעיה של דריסת סלמנדרות בשמורת תל דן (בכביש הגישה למסעדה, הפתוחה גם בלילות). הוחלט על נוכחות פקח, בניית גידור ומעבר לניתוב הסלמנדרות מתחת לכביש (אורטל, 1997, גולדשטיין, 1997). המלצות אלה אינן רלוונטיות יותר מפני שפסק השימוש בכביש הגישה החיצוני, בו עוברות הסלמנדרות (אורטל, מידע בע"פ). מאז הפסקת השימוש בכביש בשעות הלילה, לא נמצאו סלמנדרות דרוסות במקטע זה (אורטל, מידע בע"פ). ישנן המלצות נוספות לבניית מעברי דו-חיים תחת כבישים (אורטל, 1997 א, ב; קפלן, 1997).

מעקות בטיחות וגידור:

בנוגע למעקות הפרדה, מעקה בטון מסוג ניו-ג'רסי הוא מחסום בלתי עביר לרוב בעלי החיים. ברור כי גם מעקה עביר לא מחליף את הצורך במעברים תחתיים או עיליים ובגידור, אך במצב הקיים פתרון זה הוא בגדר הרע במיעוטו. הומלץ בעבר לבדוק אפשרויות שימוש במעקות מתכת או כבלים מסוג בריפן (נמצוב, 1997). מעקות אלה היו בבדיקת מע"צ לאפשרויות שימוש נרחב יותר (אבנון, 1997). בפגישה בתאריך 18.12.1995 בין נציגי מע"צ, רש"ט והחברה לזואולוגיה בנושא מעברים במעקות ניו-ג'רסי, הוחלט על בדיקת אפשרות למעברים מעוגלים בגובה 40 ס"מ ובמרחק מקסימלי של 100 מ' אחד מהשני למעבר יונקים קטנים. לגבי יונקים גדולים סוכם כי נציגי רש"ט יבטיחו את גודלם המתאים של מעברי מים וגשרים כדי לשרת בע"ח (גורן, 1995). ישנן המלצות הן על גידור רשת משני צדי כבישים (במידה ותהיה תחזוקה), התקנת מעבירי מים לבע"ח וגדר הפרדה במקום מעקות בטון, או על מעברים במעקות ניו-ג'רסי במידה ומעקות אלה מוצבים, זאת במיוחד באזורים בעלי ערכיות אקולוגית גבוהה כאזור כביש הערבה (מנדלסון, 1993, 1995 א, ב). המלצות נוספות בנושא מעברים במעקות ניו-ג'רסי כוללות יצירת פתחים

נמוכים (20-30 ס"מ) כל 10-15 מ' לאורך המעקה, וכן מרווחים למעבר יונקים גדולים יותר. כמו-כן נשללה בעבר, מעשיות הגידור באזורים שונים בגלל אורך החיים הקצר של הגדרות (גורן, 1994; מנדלסון, 1992 א, ב; שלמון, 1990). הועלתה אף הצעה כי במידה ונעשה שימוש במעקות בטון, הם יבנו בצורה שמאפשרת מעבר בע"ח ומונעת בו-זמנית תאונות (זלץ, מידע בע"פ; יום טוב, מידע בע"פ).

שלטי התראה, ושולי הכביש:

שלטי התראה על חצית בעלי חיים נמצאים במספר מקומות בארץ, לדוגמא: בכביש שדה בוקר ובאזור המישר. בעבר הומלץ ברשות שמורות הטבע על שימוש נרחב יותר בשלטים אלה (זלץ, 1997). לגבי שולי הכביש, קיימות המלצות להימנע מריסוסים, שפוגעים הן בבע"ח וצמחים והן בבתי גידול שבשולי הכביש, ולהתמקד בגינון טבעי בלבד (מנדלסון, 1992 א, ב).

5.3 פתרונות מומלצים עד עתה לתוואי כביש חוצה ישראל (כביש 6)

במכתב מיום 26.2.1997 ישנה פניה מחברת יועצים והנדסה בבקשה להנחיות מרש"ט לגבי מעברים לבעלי חיים לכביש מס' 6 (סוקר, 1997). בפגישה בין נציג רש"ט ונציג מע"צ מ-1997 סוכם כי "מע"צ ישתדל לדאוג למעברים הנחוצים לבעלי חיים, בהתאם לדרישות המקצועיות של רשות שמורות הטבע" זאת ע"פ מסמך המלצות של רש"ט (ראה נספח 2) שעודכנו בשנת 1996 (פרנקנברג, 1997). בפגישה בין נציג חברת כביש חוצה ישראל ונציג הרשות לשמירת הטבע והגנים הלאומיים (שדות, 1998) בנושא מעברים לבעלי חיים ניתנה הערכה של רשטג"ל כי "המעברים המתוכננים כמעברי ניקוז ואחרים מתאימים", עם הסתייגות לגבי קטע 17 (בין נחל נרבתא לנחל עירון) ששם יש שלושה מעברים בקוטר קטן מדי ויש להרחיבם (שדות, 1998). הקטע הראשון לסלילה - קטע 13 (בין מחלף בן שמן למחלף קסם), נבדק על-ידי נציגי רשטג"ל ונמצא כי לטעמם הקטע מכיל מספיק מעברים תחת גשרים גדולים (נ. נבלט, נ. בית עריף, נ. שילה, נ. רבה) ומעברי מים לשימוש בעלי חיים (פרבולוצקי, 2000). לגבי שיקום שולי הכביש, ישנה המלצה של רשטג"ל לאדריכלית הנוף של כביש חוצה ישראל להקפיד ולשתול צמחיה מקומית בלבד, ולא צמחיה אוסטרלית כפי שתוכנן במקור (פרבולוצקי, 1999).

בימים אלו הסתיים סקר צומח לגבי מקטעים 12 (רבדים) ועד 17 (ברקאי) של כביש 6. הסקר בוצע על-ידי פקח האזור, יתיר שמיר. על סמך הסקר הועברו לחברת 'דרך ארץ' (הבונה מקטע זה) דרישות בנושא צמחיה (שמיר, מידע בע"פ).

6. מסקנות והמלצות הוועדה לבחינת מעברי בעלי חיים בכבישים

הוועדה לבחינת מעברי בעלי חיים בכבישים מטעם "החברה לזואולוגיה בישראל" רואה לנכון לציין נקודות חשובות, להדגיש סעיפים מסוימים ולהמליץ על עקרונות מהותיים בנושא מעברי בעלי חיים בכבישים.

כבישים מהווים את אחד הגורמים העיקריים כיום לפגיעה בבע"ח ולפיכך יש להתייחס להפחתת הנזק האקולוגי והגנטי הנגרם לאוכלוסיות טבעיות מקיום כבישים ברצינות רבה. במדינה קטנה כישאל, כאשר בתי הגידול קטנים בלאו הכי, כמעט לכל כביש יש פוטנציאל לפגיעה באוכלוסיות וחברות טבעיות ולפיכך משמעות לשמירת טבע. אזורים שלמים כבר נקטעו ונהרסו בעבר ויש לעשות את המירב למנוע הרס נוסף.

בהכללה, קיימות ארבע בעיות עיקריות מבניית כבישים: צמצום בתי גידול בכלל ופגיעה בבתי גידול מקומיים ונדירים בפרט, דריסת בע"ח ע"י מכוניות, השפעות לוואי בטווחים משמעותיים מהכביש (רעש, תאורה, אבק, זיהום מים ואוויר, וכד.). וקטוע בתי גידול וסביבות חיים לאוכלוסיות וחברות אקולוגיות. מבלי להקל ראש בנזקים הנגרמים ע"י הגורמים האחרים, **קטוע בתי גידול וסביבות חיים מהווה את הבעיה העיקרית בקיום כבישים**. הנזקים הצפויים מכך עלולים להתרחש זמן רב אחרי בניית הכביש תוך השפעה על חיוניותן של אוכלוסיות טבעיות ובהתאם על המערכת האקולוגית בכללותה. לפיכך, צמצום בתכנון מערכות כבישים ופיתוח תחבורה אלטרנטיבית מהווים צורך מידי להפחתת הנזק האקולוגי מבניית וקיום כבישים.

גורם חשוב מאוד בצמצום השפעת כביש על בע"ח הוא תכנון נכון של מתווה הכביש עוד בטרם תכנון ומיקום המעברים עצמם. תכנון שכזה משמעותי יותר לשמירת עולם החי מפיצוי רטרואקטיבי ע"י בניית מעברים, והוא אף עשוי לעזור למיקום מעברים יעילים יותר בעתיד. נקודה זאת מדגישה את הצורך במעורבות גופי שמירת הטבע בקביעת מיקום הכביש עוד בטרם חושבים על מעברי בע"ח באופן פרטני. יש לזכור כי מעברים, טובים ככל שיהיו, אינם "גלולת קסם" בהגנת אוכלוסיות בע"ח וכי מעברים לא יוכלו לעולם לפצות במאת האחוזים על פגיעה ברציפות בית הגידול בגין בניית כביש.

כאשר מתווים כביש חדש יש להתייחס לנקודות הבאות:

1. הכרת בתי הגידול בסביבת הכביש וערכיותם מבחינת נדירותם, גודלם, צורתם והמשאבים הקיימים בהם (יש לזכור כי גודל בית הגידול מהווה גורם קריטי ביצירת קיטוע עתיד).
2. הכרת המינים הקיימים בסביבת הכביש. יש להתמקד במינים נדירים ומינים בסכנת הכחדה. (רשימה של מינים על פי קטגוריות שונות ניתנת בהמשך בהקשר של המעברים.)
3. שמירה מקסימלית ככל שניתן על רציפות בית הגידול. נקודה זאת מדגישה את הצורך בקביעת מתווה כביש באופן שימנע מלחתוך בתי גידול נדירים ו/או רגישים להפרעות. יותר מכך, יש צורך בהסתכלות כוללת על מערכת כבישים והשפעתם על הסביבה ולא רק על כביש בודד וסביבתו הקרובה.

בהינתן תוואי הכביש, יש צורך ביצירת מעברים שיאפשרו זרימה גנטית ותפקוד אקולוגי בין שני האזורים לאותן קבוצות בע"ח המצויות בסביבת הכביש. זרימה גנטית ותפקוד אקולוגי

מחייבים מתן אפשרות מעבר של לפחות עשרות פרטים במהלך אורך הדור של המין. "מסמך רקע לקביעת מדיניות" זה מכיל אינפורמציה רבה בנושא מעברי בע"ח בכבישים. החומר שנאסף כאן משקף נאמנה את התפתחות נושא זה במדינות המערביות, בכללן צרפת, הולנד, גרמניה, ארה"ב, קנדה, ומדינות אחרות. מדינות אלה משקיעות מאמצים רבים לנושא מעברי בע"ח. אנו ממליצים לכל העוסק בנושא זה להסתמך על מסמך זה ולהיעזר בתוכנו ובמקורות הספרותיים עליהם הוא מסתמך.

להלן מספר עקרונות ונקודות עיקריות בעניין מעברי בע"ח בכבישים :

1. מעברי בע"ח חייבים בתכנון פרטני על סמך אופי האזור, אופי בית הגידול, המינים לטובתם נבנים המעברים והצרכים האקולוגיים הספציפיים של אותם המינים (ראה בהמשך). לדוגמא, מעבר של קבוצת נקבות צבאים העוברים מטרטוריה זכר אחת לשניה דורש תכנון שונה לחלוטין ממעבר בוגרי דו-חיים לאחר מטמורפוזה העוברים למקווה מים סמוך למטרת הטלה. לתכנון מעברי בע"ח יש להשתמש ברשימת עקרונות (המוזכרים להלן) המפרטת את הנקודות על פיהן יש לתכנן את המעבר ואת הגורמים אותם יש לקחת בחשבון בעת קביעת מיקום, גודל, ופרטי המעבר.

אין להשתמש ברשימה קבועה המשמשת כברירת מחדל לפיה מעברי בע"ח צריכים להיבנות במרחקים קבועים או בגדלים קבועים. בהקשר זה יש לציין כי מסמך "מעברי בע"ח בכבישים" של רשות הטבע והגנים (נספח 2) אינו יכול להיות מסמך לקביעת מעברי בע"ח בכבישים. מסמך שכזה עלול לגרום לנזק רב בכך שינחה בעלי מקצוע לא מיומנים להתעלם מהתכנון הפרטני ולקבוע מעברים במקומות לא מתאימים אשר לא יאפשרו למינים אשר זקוקים למעברים לעבור מצד אחד של הכביש לצדו השני. יותר מכך, כפי שנרמז מעלה וכפי שייכתב בהמשך, מיקום של מעבר במקום "נכון" אינו מספיק; המעבר צריך להיות מתוכנן כך שיתאים לצורכיהם האקולוגיים של המינים הספציפיים. אנו ממליצים לרשות הטבע והגנים שלא להשתמש במסמך "מעברי בע"ח בכבישים" הנוכחי (נספח 2) אלא לנקוט בגישה פרטנית יותר המתבססת על העקרונות המוזכרים במסמך זה ובמקורות הספרותיים המוזכרים בו (ראה בהמשך התייחסותנו להקצאת צוות מקצועי לעניין השפעות כבישים).

2. בניית מעברים לבע"ח בכבישים צריכה להיות מכוונת למינים ספציפיים, מאחר, ועל פי הגדרה, מעברים נועדו לאפשר מעבר לבע"ח העלולים להיפגע מקטוע (מינים אשר זקוקים למעברים בעדיפות ראשונה; להלן יקראו "מיני יעד"). כמובן שמעברים המתאימים למגוון גדול של מיני יעד עדיפים. מיני יעד יכללו :

(1) מינים בעלי דרישות אקולוגיות ספציפיות - צרות.

(2) מינים נדירים (קנה מידה אזורי).

(3) מינים בעלי צפיפות נמוכה בסביבות הכביש (קנה מידה מקומי).

(4) מינים בעלי תחום מחיה (home range) גדול.

(5) מינים בעלי טווח גיאוגרפי קטן ובעלי תפוצה מקוטעת.

(6) מינים קטנים בעלי כושר תנועה מוגבל.

3. מעברי בע"ח חייבים להיות מותאמים למיני היעד שלהם. המעברים צריכים להיות מרווחים דיים באופן שיעודדו את פרטי המין לעבור מצד אחד לשני. המעברים צריכים להתאים לצרכים האקולוגיים של מיני היעד -- לדוגמא, מעברי דו-חיים צריכים להיות לחים (לעיתים אף מוצפים) וצפופי צמחיה. לעומת זאת, מעברים המיועדים למכרסמים צריכים להיות יבשים (מנוקזים) בכל עונות השנה. יש לזכור כי קטוע יכול להיות לא רק במרחב אלא גם בזמן; מעבר מוצף בזמן תנועת בע"ח רבייה עלול להוות מחסום ובהתאם ליצור בידוד בין שני תתי אוכלוסיות! הניסיון העולמי מעיד כי מעברים צריכים להיות חשוכים (ולא מוארים) בשעות הלילה (זאת בניגוד להמלצה המפורשת של מסמך רשות הטבע והגנים; נספח 2). מיקום המעבר צריך להיות מתוכנן כך שיגדיל את ההסתברות שבע"ח יגיעו למעבר ויצאו ממנו בצדו השני. לפיכך, המעברים צריכים להיבנות באזורים שאינם מופרעים. בנוסף לכך, חייב המעבר להתחשב ביכולת התנועה של המין -- בע"ח קטנים הנעים מרחקים קטנים זקוקים למעברים קטנים במרחקים קטנים בשעה שבע"ח גדולים הנעים מרחקים גדולים זקוקים למעברים גדולים במרחקים גדולים.

באזורים מסוימים (בתי גידול רגישים במיוחד, אזורים בעל ערכיות אקולוגית גבוהה {אוסף של מינים נדירים, מגוון מינים גבוה, וכו'}), אזורים בעלי טופוגרפיה חדה, וכו') יש לשקול בניית מנהרות לתנועת כלי רכב תוך השארת האזור טבעי בלתי מופרע. באזורים מסוימים יש צורך לשקול בניית מעברים עיליים אשר יאפשרו תנועה רציפה של מיני היעד. מעבר עילי צריך להיות גדול דיו ויש לשחזר עליו את בית הגידול הטבעי כפי שמופיע בסביבת המעבר (ראה תמונות מצורפות בנספח 3). ניתן אף להשתמש בטופוגרפיה הטבעית כדי להוסיף מעברים עיליים -- כאשר כבישים עוברים וחוצים באזורי גבעות, ובמיוחד כשישנו חיתוך דרך גבעה קיימת, יש לשקול בניית מעבר עילי רחב מתאים למעבר בע"ח (כבישים הממחישים מצב זה כוללים את מעבר כביש החוף דרך גבעות הכורכר דרומית לחיפה וכביש ירושלים-תל אביב בין שער הגיא לירושלים). ברוב המקרים, מעברי בע"ח עיליים המתוכננים נכונה עדיפים על מעברים תחתיים.

4. מעברים קיימים (מעברי מים, מעברים לכלים חקלאיים, ואחרים) אינם מהווים בהכרח מעברי בע"ח. כאמור לעיל, מעברי בע"ח צריכים להיות מותאמים למיני היעד; רוב המעברים הקיימים אינם כאלו. לפיכך, מעברים קיימים צריכים לעבור התאמה לצורכי מיני היעד. התאמות כאלו עשויות לכלול הרחבת והגבהת המעבר, יצירת ניקוז מתאים, הוספת פלטפורמות במרכז או בצדי המעבר, וכד. כמובן שכל התאמה צריכה להתבצע באופן פרטני תוך התחשבות בנקודות המוזכרות מעלה (כמו, אפיון והגדרת בית הגידול, זיהוי מיני יעד וחשיבה על רציפות תפוצת המין).

תכנון מעברי בע"ח חייב להיעשות בראיה כוללת כך שמספר מעברים יגדילו את הסתברות המעבר של פרטי מיני היעד. איכות המעברים חשובה כמו גם כמותם לאורך הכביש. יחד עם זאת, יש להדגיש כי במקרים בהם יש צורך בפשרה, יש לתת עדיפות לאיכות המעבר. עדיפים מספר מעברים טובים מאשר יותר מעברים אשר אינם מעודדים את מיני היעד לעבור בהם.

5. יש חשיבות לגידור לאורך הכביש על מנת להבטיח את תיעול בע"ח אל המעברים ולהפחית את כמות הדריסה על הכביש. גידור נכון עשוי להפוך את המעברים ליעילים יותר. גידור אף עשוי

למנוע מבע"ח לעלות אל הכביש, ולפיכך, להקטין באופן משמעותי הן את סיכויי בע"ח להידרס והן את סיכויי הנהגים והנוסעים להיפגע מתאונה עם בע"ח חוצה. יש לציין כי קיימים בע"ח (כמו מיני זוחלים שונים) אשר נוטים להישאר בכוונה על הכביש בשל חמימות האספלט בלילה.

6. יש לוודא רציפות מעבר על פני הכביש לבע"ח אשר נקלע לאזור הכביש. בע"ח עלולים להיקלע לכבישים סואנים במידה וגידור חסר, לא יעיל, או לא מתוחזק היטב. כאשר בע"ח נקלע לאזור הכביש יש להבטיח את יכולתו לעבור לצד הכביש. יצירת חיץ מבודד בין נתיבי הכביש עלול לגרום לנזק עצום לבע"ח על ידי הגדלת סיכוייהם להידרס, כמו גם על ידי מניעת רציפות בית הגידול משני צדי הכביש במקרים שמעבר על הכביש עשוי להיות יעיל (למשל בכבישים קטנים בעלי תנועת מכוניות דלה).

מחסומי בטון מסוג "ניו ג'רסי" גורמים לנזק רב לבע"ח מהסיבות שהוזכרו לעיל. המעברים הקיימים במחסומים אלה רחוקים מלשמש פתרון אמיתי למעבר בע"ח, מה גם שרבים ממיני היעד הם מינים בעלי גודל גוף גדול, כמו צבאים וטורפים שונים. אנו ממליצים לבטל שימוש במחסומים אלה ולחפש פתרון טוב יותר, כפי שאף מוצע במסמך זה. אנו קוראים לגופי שמירת הטבע בישראל להתנגד לשימוש במחסומים אלה.

איי תנועה (כמו בקטע מהכביש קריית גת - באר שבע) עשויים לעזור לבע"ח לעצור במרכז התוואי ולהקטין בכך את סיכויי הידרסותם. אולם, יש לבדוק פתרון זה לגופו מאחר והתברר כי במקומות מסוימים בעולם איי תנועה היוו מקור משיכה למינים שונים וכתוצאה מכך עלו סיכויי הידרסותם.

7. יש לדאוג כי המעברים כמו גם הגידור לצדי הכביש יהיו מתוחזקים באופן שוטף. רגישותם של בע"ח לאיכות המעבר מחייבת אחזקה שוטפת של המעברים -- ניקוז, ניקוי, תיקון קירות ופלטפורמות מעבר, גיזום וכל פעילות אחרת בהתאם לצורך הפרטני של המעבר הספציפי. אי שמירה על גידור רציף עלול להגביר את סיכויי הדריסה של בע"ח.

8. יש לדאוג לנטור אשר בודק את יעילות המעברים והתאמתם בפועל למיני היעד.

הוועדה לבחינת מעברי בעלי חיים בכבישים רואה לנכון להביע את דעתה לגבי ההתייחסות הכוללת במדינה לנושא זה. כאמור לעיל, כבישים מהווים גורם עיקרי בפגיעה בבע"ח אם באופן ישיר ואם באופן עקיף. בניגוד לחשיבות הנושא ובניגוד לרצינות הטיפול בו במדינות מערביות רבות, הטיפול בנושא זה בישראל מוזנח. התייחסות רצינית יותר לנושא מחייבת חקיקה וקיום תקנות / כללים מתאימים לתכנון, בניה ופיקוח על נושא השפעת כבישים על החי והצומח. להלן מספר המלצות:

- קיום חובת הכנת תסקיר השפעת כבישים על הסביבה, המתייחס, בין השאר, לקיטוע בתי גידול ויכולת מעבר בע"ח בכבישים. יש לדאוג כי הגוף הכותב את התסקיר יהיה בלתי מוטה וכי יהיה מקצועי בנושא.

- יצירת הליך שימוע ציבורי שיבדוק את תסקיר השפעת הסביבה. הליך כזה יאפשר לאנשי מקצוע כמו גם אזרחים בעלי עניין בדבר להביע את דעתם, ואף את התנגדותם במקרה הצורך, ללא קשר מחייב עם גופי התכנון והביצוע.
- יצירת תקנים על פי סטנדרטים עולמיים לגבי מימדי המעברים, אופן בנייתם, וכד., כך שיאפשרו תקשורת טובה יותר בין הגופים השונים. סעיף זה אינו עומד בסתירה לצורך להתייחס למעברים באופן פרטני.
- יש להפקיד ולחייב את רשות הטבע והגנים לטפל בנושא השפעת כבישים על בע"ח וצומח בכלל ומעברי בע"ח בכבישים בפרט. עקב עומס העבודה הנופל על רשות הטבע והגנים בשל בעיות שמירת הטבע המרובות בארצנו חייב המשרד לאיכות הסביבה להקצות משאבים נוספים ומפורשים להקמת צוות מקצועי בתוך רשות הטבע והגנים שתפקידו יהיה לטפל בנושא זה.
- מדינת ישראל על משרדיה השונים צריכה להכיר בחשיבות נושא השפעת כבישים על עולם החי והצומח ולהיות מוכנה להקצות תקציבים מפורשים לנושא זה, הכוללים כספים לבניית מנהרות ומעברים עיליים. בנוסף, מחובת המדינה לדרוש מגופים פרטיים המשקיעים בכבישים לעמוד בסטנדרטים עולמיים של תכנון וביצוע מעברי בע"ח.

7. נספחים

נספח 1. אתרי אינטרנט מומלצים בנושא

1. <http://iene.vv.se/> - IENE - Infra-Eco Network Europe - אתר של מערך מומחים ומכוניס מאירופה העוסקים בנושא פרגמנטציה וכבישים באירופה ככלל, ובכל מדינה בפרט. האתר מכיל הרבה תמונות של מעברים לבע"ח מסוגים שונים וכן מידע על מחקרים ונסים בנושא.

2. <http://www.worldweb.com/ParksCanada-Banff/roads> - Banff National Park, Canada - אתר של שמורת הטבע המכיל אינפורמציה ותמונות בנושא מעברי בע"ח שנבנו בשמורה, כולל מבנה ומחיר, וכן רשימה ביבליוגרפית ארוכה בנושא השפעת כבישים ופתרונות לבע"ח.

3. Swiss Vogelwarte- Swiss Ornithological Institute - אתר של המכון האורניטולוגי בשוויץ. מכיל אינפורמציה על עבודות המכון בנושא (המכון מעורב בתכנון מעברים ומחקר וחבר ב-IENE).

4. <http://www.dot.state.fl.us/emo/sched/ICOWET.htm> - אתר של הכנס International Conference on Wildlife Ecology and Transportation (ICOWET III) המאורגן על-ידי FDOT - Florida Department of Transportation וה-Federal Highway Administration. אלו הם כנסים עם הרבה מאוד אינפורמציה בנושא. האתר מכיל קובץ להורדה של המאמרים מהכנס האחרון (קובץ אקרוט).

נספח 2. מעברי בעלי-חיים בכבישים, המלצות חטיבת מדע וממשק, רשות שמורות הטבע

נספח 3. תמונות ומבנה של מעברי בע"ח שונים

נספח 4. תרשימי מעברים לדו-חיים

נספח 5. מעקה בטיחות מכבלי פלדה של חברת Brifen.

נספח 6. מגוון המינים בישראל במידה ולא יוקמו מעברים לבע"ח . . .

8. ביבליוגרפיה

- Adams, L. W. 1984. "Small mammal use of an interstate highway median strip." J. Appl. Ecol. **21**, pp. 175-178.
- Adams, L. W. and A. D. Geis. 1983. "Effects of roads on small mammals." J. App. Ecol. **20**, pp. 403-415.
- Andren, H. 1994. "Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review." Oikos **71**, pp. 355-366.
- Baker, R. H. 1971. "Nutritional strategies of myomorph rodents in North American grassland." J. Mammal. **52**, pp. 800-805.
- Ballasina, D. (1989). 'Toads on roads' in Belgium. Amphibians and roads. T. E. S. Langton. Shefford, England, ACO Polymer Products, **pp.** 83-86.
- Beier, P. 1993. "Determining minimum habitat areas and habitat corridors for cougars." Conserv. Biol. **7**(1), pp. 95-108.
- Beier, P. and S. Loe. 1992. "A checklist for evaluating impacts to wildlife movement corridors." Wildl. Soc. Bull. **20**(4), pp. 434-440.
- Bekker, H. G. J. (1998). Habitat fragmentation and infrastructure in the Netherlands and Europe. The International Conference on Wildlife Ecology and Transportation (ICOWET), Ft. Myers, Florida.
- Brehm, K. (1989). The acceptance of 0.2 -metre tunnels by amphibians during their migration to the breeding site. Amphibians and roads. T. E. S. Langton. Shefford, England, ACO Polymer Products, **pp.** 29-42.
- Brown, J. H. 1971. "Mammals on mountain tops:nonequilibrium insular biogeography." Am. Nat. **105**, pp. 467-478.
- Camp, M. and L. B. Best. 1994. "Nest density and nesting success of birds in road sides adjacent to rowcrop fields." American Midland Naturalist **131**, pp. 347-358.
- Clevenger, A. P. (1998). Permiability of the Trans-Canada highway to wildlife in Banff national park: importance of crossing structures and factors influencing their affectiveness. The International Conference on Wildlife Ecology and Transportation (ICOWET), Ft. Myers, Florida.
- Clevenger, A. P. and N. Waltho. 2000. "Factors influencing the effectiveness of wildlife underpasses in Banff national park, Alberta, Canada." Conserv. Biol. **14**(1), pp. 47-56.
- Coleman, J. S. and J. D. Fraser. 1989. "Habitat use and home ranges of Black and Turkey Vultures." J. Wildl. Manage. **53**, pp. 782-792.
- Congdon, J. D., A. E. Dunham, et al. 1993. "Delayed sexual maturity and demographics of Blandings Turtles (*Emydoidea blandingii*): implication for conservation and management of long-lived organisms." Conserv. Biol. **7**, pp. 826-833.
- Dexel, R. (1989). Investigations into the protection of migrant amphibians from the threats from road traffic in the Federal Republic of Germany - a summary. Amphibians and roads. T. E. S. Langton. Shefford, England, ACO Polymer Products, **pp.** 43-50.
- Dodd, C. K., K. Enge, M., et al. 1989. "Reptiles on highways in north-central Alabama, USA." J. Herpet. **23**(2), pp. 197-200.

- DWW (Ministry of Transport, Public works and Watermanagement and Road and Hydraulic Engineering Division). 1995. Wildlife Crossings for Roads and Waterways. Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Delft, the Netherlands.
- Feldmann, R. and A. Geiger (1989). Protection for amphibians on roads in Nordrhein-Westphalia. Amphibians and roads. T. E. S. Langton. Shefford, England, ACO Polymer Products, pp. 51-58.
- Forman, R. T. T. and L. E. Alexander. 1998. "Roads and their major ecological effects." Annu. Rev. Ecol. Syst. **29**, pp. 207-231.
- Foster, M. L. and S. R. Humphrey. 1995. "Use of highway underpasses by Florida panthers and other wildlife." Wildl. Soc. Bull. **23**, pp. 95-100.
- Golan, Y. a. 1986. Highways and adjoining structures (fences and medians) as barriers to animal movement (corridors as barriers): 18.
- Guyot, G. and J. Clobert. 1997. "Conservation measures for a populations of Hermann's Tortoise *Testudo hermanni* in southern France bisected by a major highway." Biol. Conserv. **79**, pp. 251-256.
- Hambler, C. 1994. "Giant Tortoise *Geochelone gigantea* translocation to Curieuse Island (Seychelles): success or failure?" Biol. Conserv. **69**, pp. 293-299.
- Haskell, D. G. 2000. "Effects of forest roads on macroinvertebrate soil fauna of the southern Appalachian mountains." Conserv. Biol. **14**(1), pp. 57-63.
- Holzgang, O., V. Keller, et al. (2000). Landscape fragmentation: political concepts, scientific basis and approaches to improve today's situation in Switzerland. Submitted to The 24th IUGB congress.
- Hourdequin, M. 2000. "Ecological effects of roads - introduction." Conserv. Biol. **14**(1), pp. 16-17.
- Huey, L. M. 1941. "Mammalian invasion via the highway." J. Mamm. **22**, pp. 383-385.
- Hunt, A., H. J. Dickens, et al. 1987. "Movement of mammals through tunnels under railway lines." Aust. Zool. **24**(2), pp. 89-93.
- Inbar, M. and R. T. Mayer. 1999. "Spatio-temporal trends in armadillo diurnal activity and road kills in central Florida." Wildl. Soc. Bull. **27**(3), pp. 865-872.
- Ingram, D. C. 1999. "Precast concrete box culverts save large animals and costs to motorists." Concrete Pipe Journal **4**(1), pp. 1-2.
- Keller, V. and H. P. Pfister (1997). Wildlife passages as a means of mitigating effects of habitat fragmentation by roads and railway lines. The International conference on habitat fragmentation, infrastructure and the role of ecological engineering, Maastricht and the Hague, the Netherlands, Ministry of transport, public works, and water management.
- Klein, D. R. 1971. "Reaction of reindeer to obstructions and disturbances." Science **173**, pp. 393-398.
- Korn, H. 1993. "Detecting small mammal movements across roads with the aid of coloured bait." Angewandte Zoologie **24**(3), pp. 371-376.
- Krikowski, L. (1989). The 'light and dark zones': two examples of tunnel and fence system. Amphibians and roads. T. E. S. Langton. Shefford, England, ACO Polymer Products, pp. 89-92.
- Lehnert, M. E. and J. A. Bissonette. 1997. "Effectiveness of highway crosswalk structures at reducing deer-vehicle collisions." Wildl. Soc. Bull. **25**(4), pp. 809-818.

- Levins, R. 1969. "Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control." Bull. Entomol. Soc. Am. **15**, pp. 237-240.
- MacArthur, R. H. and E. O. Wilson. 1967. The theory of island biogeography. Princeton Univ. Press., Princeton, NJ.
- Mader, H. J. 1984. "Animal habitat isolation by roads and agricultural fields." Biol. Conserv. **29**, pp. 81-96.
- Matthews, M. 1999. "Safe highway crossings save critters from roadway disaster." The Glenwood Post **3/1/1999**, .
- Meinig, H. (1989). Experience and problems with a toad tunnel system in the Mittelgebirge region of West Germany. Amphibians and roads. T. E. S. Langton. Shefford, England, ACO Polymer Products, **pp.** 59-66.
- Munguira, M. L. and J. A. Thomas. 1992. "Use of road verges by butterfly and burnet populations, and the effect of roads on adult dispersal and mortality." J. Appl. Ecol. **29**, pp. 316-329.
- Norman, T., A. Finegan, et al. (1998). The role of fauna underpasses in New South Wales. The International Conference on Wildlife Ecology and Transportation (ICOWET), Ft. Myers, Florida.
- Oldham, R. S. (1989). Potential tunnel systems at road developments in England. Amphibians and roads. T. E. S. Langton. Shefford, England, ACO Polymer Products, **pp.** 155-174.
- Oxley, D. J., M. B. Fenton, et al. 1974. "The effects of roads on populations of small mammals." J. Appl. Ecol. **11**, pp. 51-59.
- Pfister, H. P., V. Keller, et al. 1997. Bio-ecological effectiveness of wildlife overpasses or "green bridges" over roads and railway lines - Summary.
- Podlousky, R. (1989). Protection of amphibians on roads - examples and experiences from lower Saxony. Amphibians and roads. T. E. S. Langton. Shefford, England, ACO Polymer Products, **pp.** 15-28.
- Pojar, T. M., R. A. Prosenice, et al. 1975. "Effectiveness of a lighted, animated deer crossing sign." J. Wildl. Manage. **39**(1), pp. 87-91.
- Reed, D. F. 1981. "Effectiveness of highway lighting in reducing deer-vehicle accidents." J. Wildl. Manage. **45**(3), pp. 721-726.
- Reed, D. F. 1981. "Mule deer behavior at a highway underpass exit." J. Wildl. Manage. **45**(2), pp. 542-543.
- Reed, D. F., T. N. Woodard, et al. 1975. "Behavioral response of mule deer to a highway underpass." J. Wildl. Manage. **39**(2), pp. 361-367.
- Reed, J. R. 1987. "Polarizing filters fail to reduce light attraction in Newell's shearwaters." Wildl. Soc. Bull. **15**, pp. 596-598.
- Reeve, A., F. and S. H. Anderson. 1993. "Ineffectiveness of Swareflex reflectors in reducing deer-vehicle accidents." Wildl. Soc. Bull. **21**, pp. 127-132.
- Rodriguez, A., G. Crema, et al. 1996. "Use of non-wildlife passages across a high speed railway by terrestrial vertebrates." J. Appl. Ecol. **33**, pp. 1527-1540.
- Romin, L. A. and J. A. Bissonette. 1996. "Deer-vehicle collisions: status of state monitoring activities and mitigation efforts." Wildl. Soc. Bull. **24**(2), pp. 276-283.

- Rosen, P. C. and C. H. Lowe. 1994. "Highway mortality of snakes in the Sonoran desert of southern Arizona." Biol. Conserv. **68**, pp. 143-148.
- Ryser, J. and K. Grossenbacher (1989). A survey of amphibians preservation at roads in Switzerland. Amphibians and roads. T. E. S. Langton. Shefford, England, ACO Polymer Products, **pp.** 7-14.
- Schafer, J. A. and S. T. Penland. 1985. "Effectiveness of Swareflex reflectors in reducing deer-vehicle accidents." J. Wildl. Manage. **49**(3), pp. 774-776.
- Schlupp, I. and R. Podlousky. 1994. "Changes in breeding site fidelity: a combined study of conservation and behavior in the common toad *Bufo bufo*." Biol. Conserv. **69**, pp. 285-291.
- Schonewald-Cox, C. and M. Buechner (1989). Park protection and public roads. The practice of conservation, preservation, and management, **pp.** 373-395.
- Singer, F. J. and J. L. Doherty. 1985. "Managing mountain goats at a highway crossing." Wildl. Soc. Bull. **13**, pp. 469-477.
- Soule, M. E. and D. Simberloff. 1986. "What do genetics and ecology tell us about the design of nature reserves?" Biol. Conserv., pp. 19-40.
- Storm, G. L., R. D. Andrews, et al. 1976. "Morphology, reproduction, dispersal, and mortality of midwestern red fox populations." Wildlife Monographs, pp. 9-12, 47-53.
- Swihart, R. K. and N. A. Slade. 1984. "Road crossing in *Sigmodon hispidus* and *Microtus ochrogaster*." J. Mamm. **65**(2), pp. 357-360.
- Trombulak, S. C. and C. A. Frissell. 2000. "Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities." Conserv. Biol. **14**(1), pp. 18-30.
- van der Zande, A. N., W. J. ter Keurs, et al. 1980. "The impact of roads on the densities of four bird species in an open field habitat - evidence of a long distance effect." Biol. Conserv. **18**, pp. 299-321.
- Vermeulen, H. J. W. 1994. "Corridor function of a road verge for dispersal of stenotopic heathland ground beetles Carabidae." Biol. Conserv. **69**, pp. 339-349.
- Vos, C. C. and J. P. Chardon. 1998. "Effects of habitat fragmentation and road density on the distribution pattern of the moor frog *Rana arvalis*." J. Appl. Ecol. **35**, pp. 44-56.
- Welles, M. e. a. 1998. Wildlife management plan for Torrey Pines state reserve - terrestrial vertebrates. California department of parks and recreation.
- Wilcove, D. S., C. H. McLellan, et al. (1986). Habitat fragmentation in the temperate zone. Conservation Biology. The science of scarcity and diversity. M. E. Soule. Sunderland, Massachusetts, Sinauer associates.
- Wilcox, B. A. and D. D. Murphy. 1985. "Conservation strategy: the effects of fragmentation on extinction." Am. Nat. **125**, pp. 879-887.
- Yanes, M., J. M. Velasco, et al. 1995. "Permeability of roads and railways to vertebrates - the importance of culverts." Biol. Conserv. **71**, pp. 217-222.
- Yom-Tov, Y. 1997. "The evolution of two-dimensional vertebrates." Israel Journal of Zoology **43**(2), pp. 217-218.
- Ziv, Y. 1998. The effect of habitat heterogeneity on species-diversity patterns: A community-level approach using an object-oriented landscape simulation model (SHALOM). Ecological Modelling **111**, pp. 135-170.

בוסקילה, 1986. הערות. חרדון 3: 39 - 40.
 גרינברג, ז. 1979. "נחש עלי דרך". טבע וארץ כ"א (2): 20 - 23.
 פימנטל, ע. 1994. השפעת התחבורה בכבישים על בעלי-חיים חולייתנים. עבודה סמינריונית לסמינר תחבורה ואיכות סביבה. האוניברסיטה העברית, המחלקה לגיאוגרפיה.
 קניגשטיין, מ. 1994. דריסת טורפים בכבישי עמק החולה. עבודת גמר. בית החינוך המשותף "עמק החולה".
 רון, ת. 1996. 'מעברי בעלי-חיים בכבישים', המלצות חטיבת מדע וממשק. רשות שמורות הטבע.

8.1 מכתבים ומסמכים לא מדעיים (המסמכים מצויים בידי יו"ר הועדה ובמוסדות הרלוונטיים)

אבנון, א. 1997. 'מעקות בטיחות והפרדות בכבישים'. מכתב מתאריך 17.9.97 למודי אורון, מנהל אגף פיזי ברש"ט. מע"צ.
 אורטל, ר. 1997. סקירה כללית בנושא מדיניות שמירת דו-חיים לשנת 1994-1997. רש"ט.
 אורטל, ר. 1997. המשך טיפול בדו-חיים יולי-דצמבר 1997, תכניות ל- 1998 - 2000. נייר לדיון בצוות מקצועי. רש"ט.
 גולדשטיין, ח. 1997. נייר לדיון: דריסת סלמנדרות - שמורת תל דן. רש"ט.
 גורן, מ. 1995. סיכום דיון מתאריך 18.12.95 בנושא מעברי בע"ח במחיצות בטון.
 הקרט, ש. 1993. סיכום הערות והערכה של מעקה בטיחות - כבלים מתוצרת חברת Bridon. מכתב מתאריך 26.7.93 לאינג' ראובן יום-טוב, מע"צ. הטכניון - מכון לחקר התחבורה.
 זלץ, ד. 1997. 'שלטי התראה על חצית בעלי חיים על כביש מס' 40 באזור המישר'. מכתב מתאריך 16.9.97 ליובל ארטמן. רש"ט.
 מן, ש. ללא תאריך. דריסת חולייתנים בכבישים (חומר רקע לדיון). רש"ט - פנימי.
 מנדלסון, ה. 1990. 'קיר הפרדה בכבישים המהירים'. מכתב מתאריך 20.2.90 לאורי ביידץ, מנכ"ל רש"ט.
 מנדלסון, ה. 1992. מכתב מתאריך 19.2.92 לדן פרי, מנכ"ל רשות שמורות הטבע.
 מנדלסון, ה. 1992. מכתב מתאריך 5.10.92 לדן פרי, מנכ"ל רשות שמורות הטבע.
 מנדלסון, ה. 1995. 'כביש הערבה - גדר הפרדה'. מכתב מתאריך 10.8.95 לאבינועם אבנון, מע"צ.
 נמצוב, ס. 1997. 'מעקה בטיחותי מכבלי פלדה'. מכתב מתאריך 18.9.97 לאליעזר פרנקנברג. רש"ט - פנימי.
 סגל, ע. 1998. 'כביש מס' 16 - מעברים לבעלי חיים': סיכום ישיבה. מכתב מתאריך 7.4.98.
 סגל, ע. 1998. 'כביש מס' 16 - מעברים לבעלי חיים': סיכום סיור וסעיפים להוראת התכנית. מכתב מתאריך 5.5.98.
 סוקר, י. 1997. 'איך שדברים מתגלגלים... - איים לבע"ח'. מכתב מתאריך 26.2.97 לאלי שדות. תו"פ יועצים והנדסה. פרבולוצקי, א. 1999. 'שיקום אזור סלילת כביש מס' 6 (חוצה ישראל)'. מכתב מתאריך 3.10.99 לתמר דר-אל, אדריכלית נוף. רשטג"ל.
 פרבולוצקי, א. 2000. 'כביש מס' 6'. מכתב מתאריך 10.2.2000 לירון זיו. רשטג"ל - פנימי.
 פרנקנברג, א. 1997. מכתב מתאריך 28.7.97 לד"ר ר. אפנברג. רש"ט.
 קפלן, ד. 1997. 'חפירת שלוליות חורף'. מכתב מתאריך 21.8.97 לצוות המקצועי. רש"ט.
 רון, ת. 1997. סיכום פגישה מיום 26.2.97 - בנושא מעברי בעלי חיים בכבישים. רש"ט.
 שדות, א. 1998. 'מעברים לבעלי חיים'. מכתב מתאריך 27.12.98 למישל אלבו, חברת כביש חוצה ישראל. רשטג"ל.
 שדות, א. 1999. 'כביש 70 - קטע צומת פרדיס - מחצבת שפיה'. מכתב מתאריך 30.6.99 לג'ק טובול, "עמי-מתוס". רשטג"ל.
 שלמון, ב. 1990. 'מעברים לחיות בר בכבישים מהירים בהם מותקנת חומת הפרדה מבטון'. מכתב מתאריך 21.1.90 למהנדס התנועה הראשי במשרד התחבורה.