

# מסילות ברזל כגורם מקטע בשטחים פתוחים

## הצגת הבעיה וסל פתרונות

עריכה - דותן רותם

**תרמו למסמך:** שירה בנארי, שחר ישכרוב, עמי לזר, צליל לבין, זהבה סיגל, טל פולק, אוהד הצופה ודרור דנבום

### מבוא והגדרת הבעיה

רכבות הן כלי תחבורה בעל חשיבות גדולה להסעת המונים ולצמצום נסועה בכבישים ולפיכך גם בצמצום פליטות של גזי חממה לאטמוספירה. יחד עם זאת, ישנן השפעות סביבתיות הנוצרות ממעבר מסילת ברזל בשטחים פתוחים ובהן: פגיעה ישירה בבעלי חיים (Borda-de-Água et al., 2017; Barrientos et al., 2019), פגיעה או בארוטראומה – פיצוץ איברים פנימיים כתוצאה משינוי בלחץ האוויר (Dornas et al., 2019), קיטוע שטחים פתוחים טבעיים וחקלאיים בגין התשתית – מסילה, מערך חשמול, רעש, תנודות קרקע (ויברציות), זיהום קרקע, שינוי בתוואי טבעי של מערכות ניקוז, ותופעות נוספות. היבט אחר של מסילות ברזל הוא משיכה של בעלי חיים למסילה. למשל, פרטים נמשכים למסילות בהן מתפזרת תערובת מרכבות משא (Murray et al., 2017), עופות דורסים וטורפים נמשכים לפגרים שנפגעים מרכבות ונפגעים בעצמם (לדוגמא: Murray et al., 2017 ואוהד הצופה מידע בע"פ). רכבות נבדלות ממכונות ומסילות ברזל נבדלות מכבישים באופן בו הן משפיעות על סביבתן. למשל, רכבות נעות במהירות גבוהה אך בתדירות נמוכה ביחס למכונות על כביש. המבנה של מסילות ברזל והתשתיות הנלוות אליהן: גידור, חשמל עילי והמסילה עצמה הם גורמים שונים מאלו שמאפיינים כבישים (Barrientos et al., 2019). מסמך זה מבקש להצביע על בעיית קיטוע רצף השטחים הפתוחים שיוצרת מסילת ברזל ולהציע פתרונות לצמצום התופעה, פתרונות שיכולים לצמצם גם את תופעת משיכת בעלי החיים למסילה וכן את הפגיעה הפיזית בהם.

תשתיות אורכיות ובהן כבישים ומסילות ברזל יוצרות קיטוע של שטחים פתוחים. שטחים פתוחים יכולים להיות שטחים טבעיים המקיימים אוכלוסיות ברות קיימא, ושטחים מסוגים שונים כולל יערות, חקלאות, נחלים ושטחים טבעיים אחרים המשמשים כמסדרונות אקולוגיים ומקשרים בין שטחים טבעיים. הקיטוע משפיע ישירות על אוכלוסיות של בעלי חיים הנמצאים בתנועה יממתית לעבר מקורות מזון ומים או בתנועה תקופתית בעת נדידה. בנוסף, נגרמת פגיעה ישירה כתוצאה מדריסה על ידי כלי התחבורה או מפגיעת התשתיות הנלוות (גידור וחשמול), וכן פגיעה עקיפה ארוכת טווח של צמצום מגוון גנטי משני עברי הגורם המקטע. קישוריות ורצף שטחים פתוחים חשובים גם בעת שאוכלוסייה אחת נפגעת כתוצאה מאירוע קטסטרופלי. היכולת של פרטים, ממגוון מינים, לנוע לעבר השטח הפגוע ולאכלס אותו הופכת קריטית. קיטוע יכול להיגרם באופן ישיר על ידי מבנה המסילה, הסוללות, הגידור, או המסילה עצמה. כל מרכיב עלול

למנוע מעבר של קבוצות בעלי חיים שונות. בנוסף ישנו קיטוע עקיף, כלומר בעלי חיים נמנעים מלגשת לקרבת המסילה בגין רעש, ויברציות ושינוי בפני הקרקע. ישנם פתרונות למרבית התופעות, שיפורטו בהמשך.

מסילות ברזל בעיקר באזור החוף, השפלה והעמקים עוברות בנקודות טופוגרפיות נמוכות משיקולים הנדסיים ואנרגטיים. במקומות אחרים הצורך בפילוס המסילה מחייב הקמת סוללות תמך היוצרות מחסום למינים שונים. למשל, מינים שוכני קרקע שלא יטפסו על החומר ממנו עשויה הסוללה (לרוב חצץ). יש לכך השלכות על גודל מעבירי המים ומעברים לבעלי חיים אותם ניתן למקם לאורך תוואי המסילה. מעבירי המים של הנחלים המרכזיים גדולים דיים אך גם מרוחקים זה מזה במידה ניכרת (קילומטרים עד עשרות קילומטרים). חלק ממעבירי המים במקטעי הביניים שבין הנחלים המרכזיים מוצפים בחורף ולעיתים נותרים לא מנוקזים במשך תקופה ארוכה כך שתפקודם כמעבר לבעלי חיים מוגבל ואינו עונה למשל על הצורך בתנועה יממתית של בעל חיים, או תנועה אקראית בעת הרחבת תפוצה של פרטים צעירים המתנתקים מהתא המשפחתי. במקרים רבים כבר כיום ובראיה עתידית יגודרו מקטעים רבים של מסילות ברזל משיקולים של בטחון, בטיחות ואקוסטיקה. קירות אקוסטיים מוקמים במקרים בהם יש לתנועת הרכבת השפעה על אוכלוסייה אנושית ולכן במרבית המקרים השפעתם על תנועת בעלי חיים מצומצמת בהיבט של קיטוע אוכלוסיות. לקירות אקוסטיים שקופים תיתכן השפעה על תנועה של בעלי חיים כנף שלא מזהים את הקיר השקוף ומתנגשים בו. ניטור ראשוני נערך ויערך בחודשים הקרובים ללימוד התופעה. גדרות לעומת זאת מוצבות גם בשטחים פתוחים ומוסיפות נדבך מרכזי בתופעת הקיטוע, כך שגם תנועתם של מינים גדולים ובינוניים שיכולים להתגבר על הסוללה וגובה המסילה (פסי הרכבת עצמם), נחסמת.

מדינת ישראל, באמצעות מנהל התכנון, מקדמת בשנים האחרונות תוכניות מתאר מחוזיות למסדרונות אקולוגיים. תכניות אלו מבקשות ליישם הלכה למעשה את הרעיון האקולוגי של הקישוריות המרחבית שחשיבותה פורטה קודם לכן. כבישים ומסילות ברזל מהווים גורם מקטע מרכזי בתכניות אלו ויש חשיבות עליונה בפיתרון בעיית העבירות הנוצרת בעת מגע בין מסדרונות אקולוגיים לבין תשתיות אורך אלו. בחלק מהמקרים הפתרונות מתבססים על מעברים הנשענים על מערכת הניקוז הטבעית. פתרונות אלו חשובים אך מוגבלים ביכולתם לתת מענה למרחבים הגדולים שבין כל שני מעברים גדולים. לפיכך יש חשיבות לתכנון וליישם מעברים רבים גם בשטחים שבין כל שני מעברים שתוכננו לטובת ניקוז. מספר המעברים הנדרש לכל מקטע צריך להיות מתוכנן על ידי אקולוגים שיבחנו את תאי השטח המקוטעים, את אוכלוסיות בעלי החיים המאכלסות את שני עברי התשתית וגורמים נוספים כפי שמפורטים אצל אחירון פרומקין, 2012.

את בעיית הקיטוע והשפעותיה ניתן לצמצם על ידי נקיטת פעולות שונות שיפורטו להלן והן מתבססות על אמצעים שכבר מיושמים בישראל ועל כאלו שמיושמים בארצות שונות.

## פתרונות

### גידור

גידור מונע מעבר של בעלי חיים מקבוצות שונות כתלות במרווח בין הברזלים המרכיבים את הרשת (גודל החור). ככל שגודל החור גדול יותר, יותר מינים יוכלו לעבור דרך הרשת, ולהפך.

### פתרונות מוצעים

**חלופת אי גידור** – במקומות בהם ניתן לא לגדר, מרבית בעלי החיים יעברו על פני המסילה. במקומות קריטיים ניתן להשתמש במערכות של גידור וירטואלי.

### גידור וירטואלי

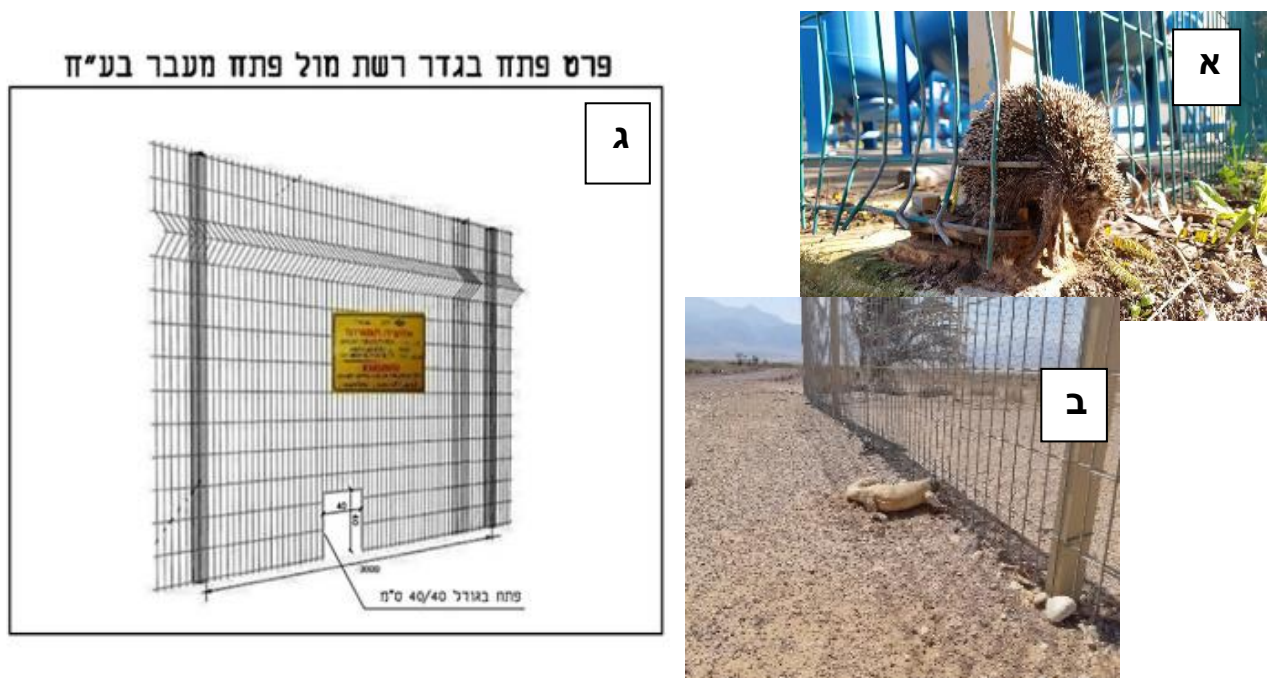
- מערכת של עמודים המותקנים לאורך המסילה ובעת הפעלתם לפני הגעת רכבת הם פולטים תת קול או קולות אחרים, לעבר השטח הפתוח. במידה ובעל חיים נמצא בקרבת המסילה הוא נרתע (איור 1).
- מערכת המבוססת על מצלמות ובינה מלאכותית המזהה בעלי חיים המתקרבים למסילה. כאשר רכבת נמצאת בקרבת מקום המערכת מפעילה קולות מסוגים שונים ובהם קולות נביחה של כלבים, קולות אדם ועוד עד להרחקת בעלי החיים מהמסילה. מערכות כאלו פועלות כיום בפולין (Babińska-Werka et al., 2015), יפן וקנדה (Bachs et al., 2017) כל מערכת פועלת באופן שונה מעט אך העיקרון דומה.



איור 1. מערכת למניעת עליית בעלי חיים על מסילת רכבת. יוצרת גדר וירטואלית על ידי פליטת גלים תת קוליים הנשמעים על ידי בעלי חיים. המערכת פותחה על ידי חברה מסחרית אוסטרית. המערכת נוסתה באוסטריה, ודו"ח מסודר יפורסם בראשית 2022. תמונות מתוך מצגת של חברת iPTE – Traffic Solutions LTD.

## חלופת גידור – במידה ויש צורך לגדר:

- שימוש בגדר עם גודל חור של 20X20 ס"מ, ייתן פתרון למרבית מיני היונקים הקטנים והבינוניים של ישראל. השימוש בגדר יצוקה בעייתי למינים קטנים כמו קיפודים וצבים (איור 2).
- הרמת הגדר 30-40 ס"מ מעל פני הקרקע תאפשר מעבר למרבית מיני היונקים של ישראל למעט צבאים, יעלים, יחמור פרסי, פרא, ראם, וצבוע.
- גידור למניעת עליית רכבי שטח למסילה – ניתן להשתמש בגדר W על מנת שהחתימה הנופית תהיה מצומצמת. הגדר מונעת עליית רכבים על פני המסילה אך מאפשרת המשך תנועה של בעלי חיים (איור 3).



**איור 2.** א. קיפוד מצוי (אירופי) שנלכד בעת ניסיון לעבור גדר יצוקה, צילום הדס מרשל. ב. חרדון צב שראשו נלכד בגדר יצוקה, העביר שחר ישכרוב. ג. הסרה של פסי מתכת ופתיחת חורים בגדר בכל מספר מטרים יכולה לפתור את הבעיה. הרחבת החור ל-40X40 ס"מ יכולה לפתור את בעיית העבירות למגוון גדול של בעלי חיים.



א

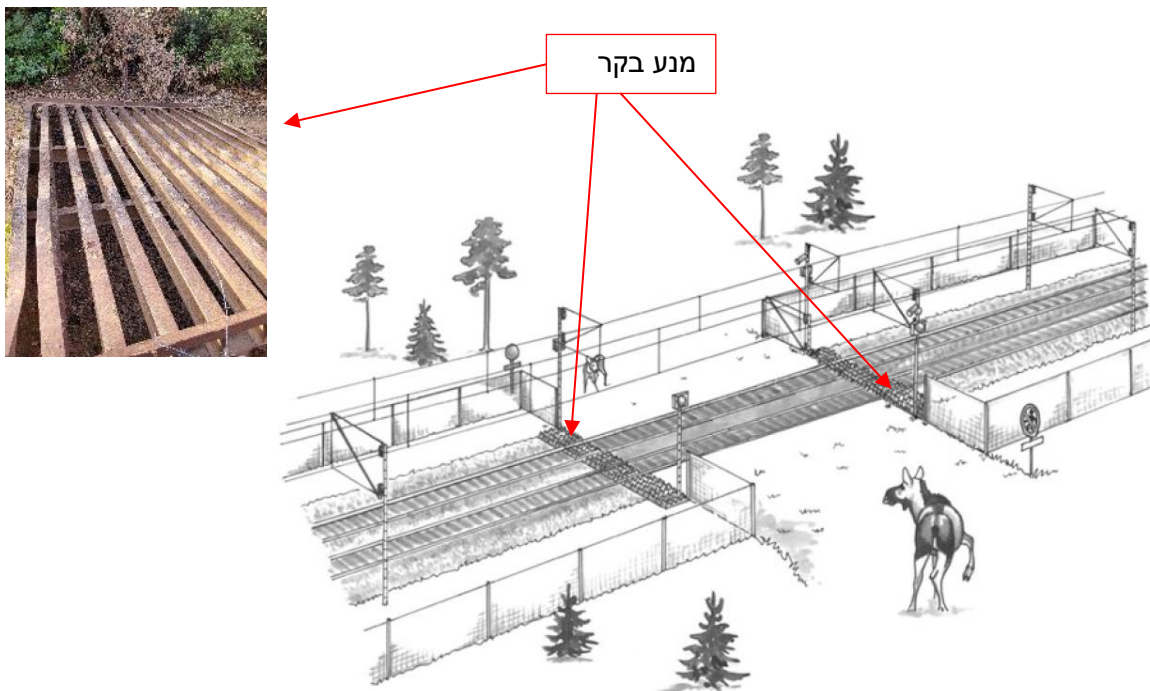


ב

איור 3. מעקה למניעת מעבר רכב לתוך שטח מוגן. א. שמורת חולות סמר, צילום דורון ניסים. ב. בשמורת חוף גדור, בשרון, צילום דובי זכאי מתוך כתבה באתר <https://thecar.co.il>. המעקה עם חתימה נופית נמוכה אך מונע מעבר רכבים, ולא מונע מעבר רציף של בעלי חיים.



**מעבר על פני המסילה** – מעברים יעודיים על פני המסילה באזורים מגודרים (איור 4). הגידור מנתב את בעלי החיים לעבר המעבר. במעבר מותקנים מנע בקר וגידור בניצב למסילה כך שבעלי חיים לא חודרים לתחומי המסילה. על מנת למנוע חציה בעת מעבר רכבת, מותקנת מערכת להרתעת בעלי חיים המופעלת כאשר רכבת נמצאת בקרבת מקום. כאשר אין רכבות המערכת מושבתת ובעלי חיים יכולים לחצות בבטחה.

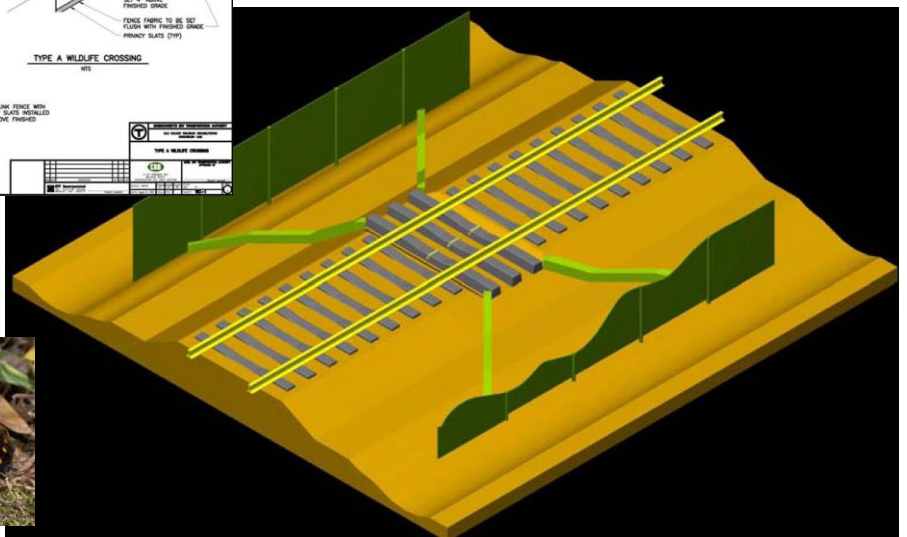
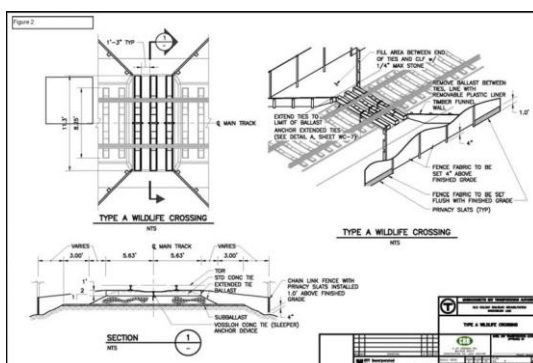


**איור 4.** איור סכמטי של מעבר מסילה מגודרת ומחושמלת. מניעת עליית בעלי חיים למסילה בתוך המעבר נעשית על ידי הצבת מנע בקר בניצב לגדר ולמסילה. כאשר מתקרבת רכבת מופעלת מערכת הרתעה והפחדת בעל החיים, כך שגם אם בעל חיים נמצא בזמן מעבר הוא יכול להתקדם רק בכיוון ה'יציאה' ולא לתוך המסילה. רוחב המעבר כ – 50 מטרים (sketch Lars Jäderberg). תמונה לדוגמא של מנע בקר – בעלי חיים מפחדים לעבור וניתן לנתב את תנועתם כך שלא יחצו לתחום המסילה. מתוך Borda-de-Água et al, 2017.

## מעברים לבעלי חיים

כפי שנקטב במבוא, חלק מהמעברים שמשמשים את מערכת הניקוז יכולים לסייע גם למעבר של בעלי חיים ממינים שונים. יחד עם זאת, בדומה למעברים שנחקרו בחציית כבישים, יש צורך בייעוד של מעברים לקבוצות שונות של בעלי חיים ויש חשיבות ליצירת מעברים מסוגים שונים על מנת שיותר מינים יעשו בהם שימוש. למשל, מעברים גליליים וצרים יחסית משמשים גריות ויונקים קטנים, מעברים רחבים ישמשו כלביים, ומעברים לחים (לא רטובים) ישמשו סלמנדרות ודו-חיים אחרים.

ממצאים מהשנים האחרונות מצביעים על כך כי דו-חיים המתקרבים למסילה מתים כתוצאה מבראורטראומה. השינוי הפתאומי בלחץ האוויר גורם לקריסת הריאות או לפיצוץ של איברים פנימיים. התופעה מוכרת יותר מעטלפים בקרבת הלהבים של טורבינות רוח וקעת מתועדת גם בסמוך למסילות ברזל. מעבר לכך, גם בעלי חיים כמו צבי יבשה לא תמיד מצליחים לעבור את המסילה עצמה (פסי הרכבת) המהווים מעין קיר למינים קטנים אלו. ניתן לפתור את הבעיה על ידי יצירת מעברים יעודיים וניתוב בעלי חיים לעברם כך שיוותרו מוגנים ומרוחקים מספיק מהמסילה (איורים 5, 6, 7).



**איור 5.** אילוסטרציה ושרטוט הנדסי של מעבר ייעודי לצבים (יכול לשמש גם מינים אחרים), כפי שהוצע במחקר שנערך על צבי יבשה במסצ'וסטס ארה"ב (Pelletier et al., 2017). תמונת הצב Jonathan Mays, מתוך <https://www.northeastturtles.org/spotted-turtle.html>



<https://reptilesmagazine.com/japan-railway-takes-novel-approach-to-keep-turtles-off-train-tracks/>

**איור 6.** תעלה להעברת צבים בתוך מסילת ברזל כפי שמושמת ביפן.



**איור 7.** מערכת לניתוב דו-חיים ויונקים קטנים המיושמת בגרמניה על ידי חברת ACO Wildlife Protection Systems. המערכת כוללת קירות מנתבים ומעברים ייעודיים בהם יש חורי אוורור. המערכת פותחה עבור סלמנדרות שנמנעות ממעבר במעברי צינור סטנדרטיים אך בפועל משמשת מגוון גדול של דו-חיים, זוחלים ויונקים קטנים המנותבים אל המעברים.



## מעברים עיליים

במקומות רגישים בהם אין גשרים 'רגילים' והטופוגרפיה לא מאפשרת יישום של מעברים תחתיים, או שמסילת הרכבת צמודה לכביש כך שרוחב התשתיות האורכיות המצטבר גדול, יש חשיבות ליישום של מעברים עיליים. לדוגמה בישראל מעברים מעל לכביש 4 ומסילת החוף באזור ניצנים בואכה אשקלון וכן במסילת העמק העוברת בצמוד לכביש 6/70 באזור קיבוץ יגור. עד כה לא נערכה בחינה מסודרת לנושא זה בישראל כפי שנערך באופן חלקי לכבישים.



איור 8. מעבר עילי מעל למסילת ברזל בפולין, תמונה S. Nowak מתוך Dees et al., 2017.

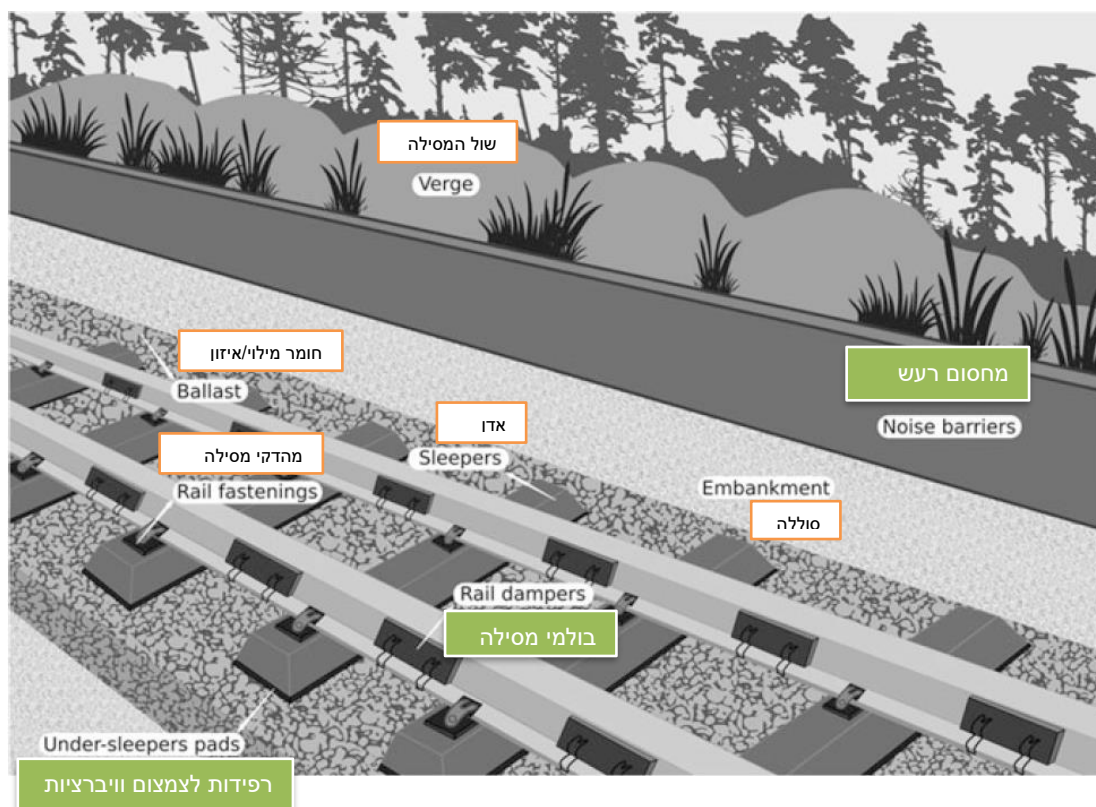
## צפיפות מעברים

ישנו פירוט מצוין בעברית, בספר שנכתב עבור נתיבי ישראל "קיטוע בתי גידול על ידי תשתיות תחבורה מדריך לאיתור קונפליקטים ולתכנון פתרונות" פרק 7 סעיף 7.1.5 עמוד 101 (אחירון-פרומקין, 2012). ההמלצה העולה מחיבור זה המצטט ספרות נרחבת היא כי מעברים גדולים לבעלי חיים צריך למקם כל 1 ק"מ ואילו לבעלי חיים קטנים יותר כל 500 מטרים.

להערכתנו בישראל, בהינתן הגידור המתוכנן של המסילות וקירות אקוסטיים לאורך קילומטרים ניתן לאמץ מיקום של מעבר גדול כל 1 ק"מ ולקבוע כי מעברים עיליים יקבעו בהתאם לצורך בכפוף לנוכחות של אוכלוסיות בעלי חיים ספציפיות וניתוח הקישוריות במרחב. יחד עם זאת, מעברים תחתיים המיועדים ליונקים בינוניים וקטנים יש למקם כל 80-120 מטרים בנפרד ממערכת הניקוז, על-מנת לתת מענה סביר למנעד הרחב של קבוצות בעלי החיים המגוונות: טורפים קטנים, מכרסמים, זוחלים, דו-חיים ופרוקי-רגלים צמודי מצע. יחד עם זאת, ניתן לחשב את המעברים של מערכת הניקוז כחלק מהמכלול הנדרש לכלל המקטע במידה והם מותאמים לשימוש בעלי חיים. בכל מקרה יש להתאים את מעבירי המים כך שיתאימו גם למינים שאינם חוצים בתוך המים, על ידי בניית דרגשי מעבר מעל לגובה פני המים בעת הצפה. במקרים ספציפיים של בתי גידול לחים (מימיים) או אזורי מעבר מוכרים לבעלי חיים קטנים יש לצופף מעברים גם לכדי 60 מטרים בין האחד לשני, למשל לזוחלים, סלמנדרות ודו-חיים אחרים. כשיש מידע על אזורי ליבה שמורים, בתי גידול ייחודיים, או בעלי חיים קטנים, יש למקם מעברים במרחב זה בכפוף ובהתאמה למיקום בית הגידול הקיים בשטח, לרבות התאמת המעברים למינים הקיימים וכן הפרדה והסדרת מערכות הניקוז כך שתתאפשר הקמת מעברים ייעודיים. בנוסף יש לתכנן את הגישה והניתוב למעברים ולהסיר מחסומים מסביבת המעבר. ניתן גם לקבוע את המרחק הרצוי בין מעברים על סמך שיטות שפורסמו במאמרים מדעיים המנתחים את גודל שטחי המחיה ומרחק התנועה היומי של מינים שונים, וכן שיקולים נוספים, לקבלת הערכה מבוססת נתונים לכמות המעברים הנדרשים לכל מקטע (לדוגמה: Bissonette & Adair 2008; Mimet et al., 2016).

## פתרונות לרעש וויברציות

פגיעות נוספות הנגרמות ממסילות רכבת ומהרכבות החולפות עליהן קשורות ברעש וויברציות. ניתן ליישם פעולות לצמצום המפגע בבתי גידול רגישים, בסמוך לשמורות טבע ובמעבר מסילה מעל למעברים תחתיים לבעלי חיים. איור 9 מציג פתרונות שונים.

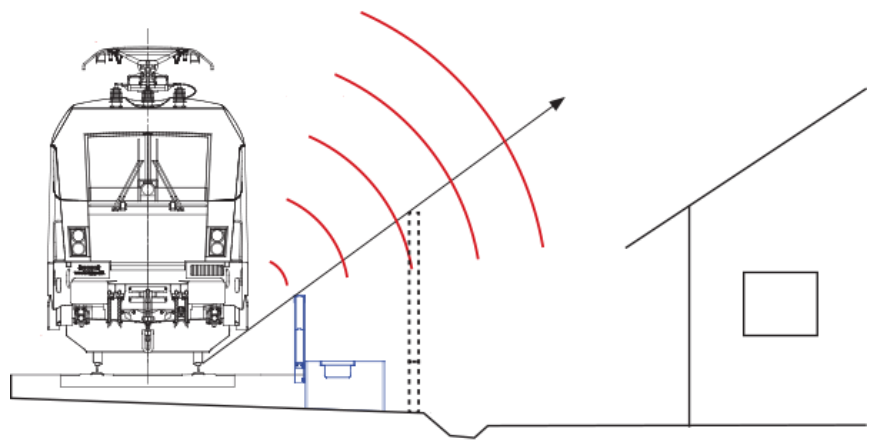


**איור 9.** פתרונות הנדסיים לצמצום מפגעי רעש וויברציות ממסילות רכבת. במסגרות הכתומות מרכיבים שונים במסילה. במסגרות עם הרקע הירוק אלמנטים לצמצום רעש וויברציות. מתוך (Lucas et al., 2017).

קירות לצמצום זיהום רעש (קירות אקוסטיים), צריכים להיות מותאמים לאזור בו חולפת הרכבת. מחסום נמוך יהיה בסמוך לבתי גידול לחים בהם אפקט הרעש יכול לפגוע בדו-חיים. במקרים בהם בית הגידול הלח – אגם, ביצה וכיו"ב מאכלס גם עופות מקננים, יש למקם קירות גבוהים יותר. ברכבות חשמליות בהן הרעש המרכזי הוא מחיכוך הגלגלים במסילה, ניתן להשתמש במחסומים נמוכים שיהיו קרובים למוקד הרעש - למסילה עצמה. ככל שמתרחקים מהמסילה, על המחסום להיות גבוה יותר (ראה איור 10). קיימים בשוק אלמנטים טרומיים להתקנה על גבי המסילות (ראה לדוגמה איור 11). ככלל, במעבר בסמוך לשמורות טבע, גנים לאומיים ויערות יש לבחון נחיצות של קיר אקוסטי לפי אופי השמורה/גן, ערכי הטבע שבהם ונוכחות קהל. קירות אקוסטיים אסור שיהיו שקופים לחלוטין. במידה ויש צורך בקיר שקוף בשל היבטים נפשיים יש לשלב בקיר אלמנטים המבליטים אותו לבעלי כנף. בסקר הנערך בימים אלו אנחנו

מתחילים להבין את היקף תופעת התנגשות בעלי הכנף בקירות שקופים והוא לא מבוטל. המדבקות הקטנות המשמשות כיום להבלטת הקיר אינן יעילות ויש לנקוט באמצעים בולטים יותר, ראו איורים 12-13.

אמצעים נוספים לשינוך רעש וויברציות בקרקע כוללים: ריסון הפסים, הצבה אלסטית של הפסים על גבי גומיות, החלפת הקרקע מתחת לפסים בחומרים מרסנים (חול לדוגמא), חרוץ הקרקע ועוד.



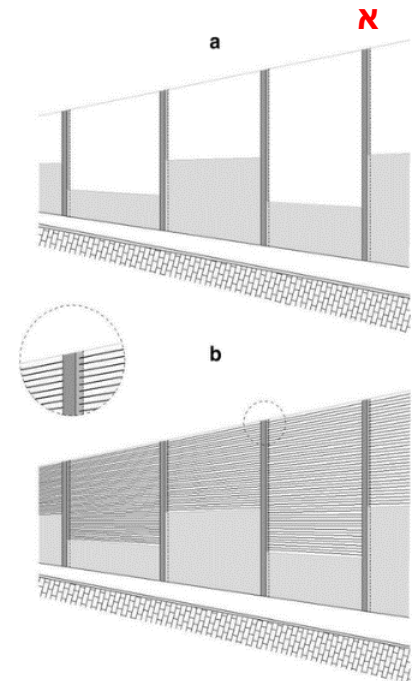
**איור 10.** הגנה אקוסטית ממסילת ברזל המשמשת רכבת חשמלית, כאשר עיקר הרעש נובע מחיכוך הגלגלים במסילה. ככל שמתרחקים מהמסילה על האלמנט למניעת הרעש להיות גבוה יותר.



**איור 11.** מוצא טרומי להתקנה כהגנה בפני רעש הנוצר על ידי רכבת חולפת.

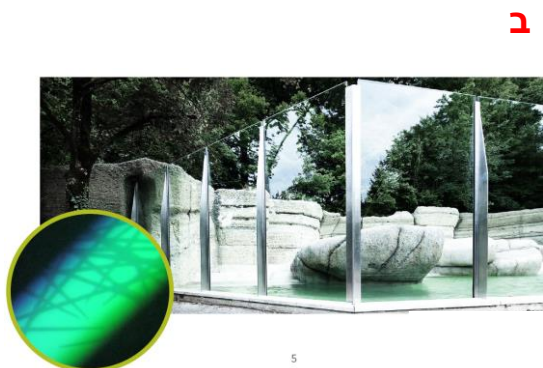


**ב**

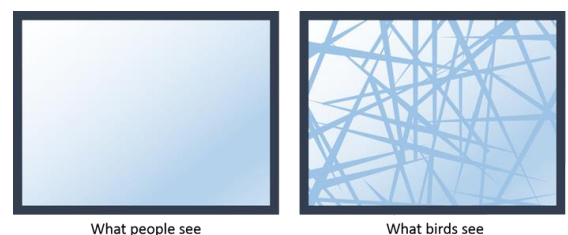


**א**

**איור 12. א.** מחקר שנערך בפולין והצביע על הפחתה משמעותית בפגיעה בבעלי כנף לאחר יישום של מדבקות צפופות המכסות כ- 50% מהקיר ומבליטות אותו לבעלי כנף. למעלה (a) - לפני יישום המדבקות, ולמטה (b) - לאחר יישום המדבקות (Mitrus & Zbyryt, 2018). ב. ניתן להשתמש באינספור דרכים וצורות להבליט קירות באופן אסטטי על ידי מדבקות, או בנייתם בשיטות שונות <https://www.pinterest.com/hana7sandy/noise-barrier>.



**ב**



**א**

**איור 13.** טכנולוגיה המיישמת הטמעה של "רשתות עכביש" בתוך חלונות. הרשתות נראות רק לבעלי כנף ומונעות התנגשות, מתוך האתר <https://gtac.edu.au/spiderweb-glass-in-the-news>. לעין האדם החלון נראה שקוף כך שניתן להמשיך ולהשתמש בו להיבטים של נוף הנשקף מהרכבת או מהרכב. מערכות כאלו שיושמו במרכזי קניות בניו יורק, שחלונותיהם גבו את חייהן של אלפי ציפורים בשנה, הפחיתו את התמותה בכ- 90%. ב. איור הממחיש את השקיפות הנראית לעין האדם לעומת בעלי הכנף, מתוך אתר חברת ORNILUX.



## קיטוע מערכות ניקוז

סוללת המסילה המוגבהת מסביבתה יוצרת חסם אורכי לזרימת נחלים שחשיבותם בהסעת חומר אורגני ואי אורגני בתוך מערכות אקולוגיות, ולפיכך הם צירים מרכזיים במערכת אקולוגית בכלל ובמערכת של מסדרונות אקולוגיים בפרט. באזורים הרריים מותקנים מעברי מים וניקוז המותאמים לרשת הניקוז והפגיעה בה קטנה. בשטחי שפכי נחלים ובעיקר במניפות סחף מדבריות, למשל בערבה, הסוללה פוגעת באופן מהותי ברשת הניקוז. באזורים אלו הנחל המרכזי מתפצל לעשרות נחלי משנה רדודים היוצרים דגם של פזרות המזינות במים ונוטריינטים שטחים גדולים. ריכוז הפזרות וניתובן לנחל מרכזי אחד פוגע באופן אנוש באותם חלקים הנקטעים ונמצאים במורד הזרימה ואספקת המים אליהם נקטעת.

הפתרון במקרה זה הוא מיפוי של ערוצי הזרימה טרם הקמת המסילה ובניית מעברי מים בכמות המאפשרת את המשך קיום המערכת האקולוגית במורד הזרימה, מעבר למסילה. לחילופין יצירת מסילה מוגבהת על גשר נמוך וארוך כפי שנעשה ברכבת העמק באזור עמק חרוד כפר יחזקאל.

## ספרות

אחירון-פרומקין, ת. עורכת 2012 קיטוע בתי גידול על ידי תשתיות תחבורה: מדריך לאיתור קונפליקטים ולתכנון פתרונות. החברה הלאומית לדרכים.  
שקדי י. ושדות א., 2005, מעברי בעלי חיים במסילות ברזל מסמך תוספת למסמך מעברי בעלי חיים בכבישים מ 2004. רט"ג.

- Babińska-Werka, J., Krauze-Gryz, D., Wasilewski, M., & Jasińska, K. (2015). Effectiveness of an acoustic wildlife warning device using natural calls to reduce the risk of train collisions with animals. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 38, 6-14.
- Backs, J. A., Nychka, J. A., & Clair, C. C. S. (2020). Warning systems triggered by trains increase flight-initiation times of wildlife. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 87, 102502.
- Beckmann J.P., Clevenger A.P., Huijser M.P. & Hilty J.A. 2010, Safe Passages highways, wildlife, and habitat connectivity Island Press Washington Covelo London.
- Barrientos, R., Ascensão, F., Beja, P., Pereira, H. M., & Borda-de-Água, L. (2019). Railway ecology vs. road ecology: similarities and differences. *European Journal of Wildlife Research*, 65(1), 12.
- Bissonette, J. A., & Adair, W. (2008). Restoring habitat permeability to roaded landscapes with isometrically-scaled wildlife crossings. *Biological conservation*, 141(2), 482-488. Borda-de-Água, L., Barrientos, R., Beja, P., & Pereira, H. M. (2017). *Railway ecology* (p. 320). Springer Nature.
- De Santo, R. S., & Smith, D. G. (1993). An introduction to issues of habitat fragmentation relative to transportation corridors with special reference to high-speed rail (HSR). *Environmental Management*, 17(1), 111-114.
- Dornas, R. A., Teixeira, F. Z., Gonsioroski, G., & Nóbrega, R. A. (2019). Strain by the train: Patterns of toad fatalities on a Brazilian Amazonian railroad. *Science of the Total Environment*, 660, 493-500.
- Federal highway administration U.S. department of transportation
- Lucas, P. S., de Carvalho, R. G., & Grilo, C. (2017). Railway disturbances on wildlife: types, effects, and mitigation measures. In *Railway ecology* (pp. 81-99). Springer, Cham.
- Matthias Dees, Diana Zlatanova, Csaba Domokos, Aleksandar Dutsov 2010, Implementation of Methodology: Case studies in Bulgaria and Romania. Trans-European Wildlife Networks Project – TEWN Manual Recommendations for the reduction of habitat fragmentation caused by transport infrastructure development.

- Mimet, A., Clauzel, C., & Foltête, J. C. (2016). Locating wildlife crossings for multispecies connectivity across linear infrastructures. *Landscape Ecology*, 31(9), 1955-1973.
- Mitrus, C., Zbyryt, A. Reducing avian mortality from noise barrier collisions along an urban roadway. *Urban Ecosyst* 21, 351–356 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11252-017-0717-7>
- Murray MH, Fassina S, Hopkins JB III, Whittington J, St. Clair CC (2017) Seasonal and individual variation in the use of rail-associated food attractants by grizzly bears (*Ursus arctos*) in a national park. *PLoS ONE* 12(5).
- Rautsaw, R. Carlson L., Nein D., Roy R.D., (2017). The paths less traveled: Movement of Gopher Tortoises along roads and railways.
- Rautsaw, R. M., Martin, S. A., Vincent, B. A., Lanctot, K., Bolt, M. R., Seigel, R. A., & Parkinson, C. L. (2018). Stopped dead in their tracks: the impact of railways on gopher tortoise (*Gopherus polyphemus*) movement and behavior. *Copeia*, 106(1), 135-143.
- Rodriguez, A., Crema, G., & Delibes, M. (1996). Use of non-wildlife passages across a high speed railway by terrestrial vertebrates. *Journal of applied ecology*, 1527-1540.
- Smith, D. J., Van Der Ree, R., & Rosell, C. (2015). Wildlife crossing structures: an effective strategy to restore or maintain wildlife connectivity across roads. *Handbook of road ecology*, 172-183.
- Pelletier S.K., 2017 RAILROAD CROSSING STRUCTURES FOR SPOTTED TURTLES: MASSACHUSETTS BAY TRANSPORTATION AUTHORITY–GREENBUSH RAIL LINE WILDLIFE CROSSING DEMONSTRATION PROJECT Woodlot Alternatives, Inc., 30 Park Drive, Topsham, Maine
- Popp, J. N., & Boyle, S. P. (2017). Railway ecology: underrepresented in science?. *Basic and Applied Ecology*, 19, 84-93.
- [https://www.fhwa.dot.gov/clas/ctip/wildlife\\_crossing\\_structures/ch\\_4.aspx](https://www.fhwa.dot.gov/clas/ctip/wildlife_crossing_structures/ch_4.aspx)
- Wang, Y., Guan, L., Chen, J., & Kong, Y. (2018). Influences on mammals frequency of use of small bridges and culverts along the Qinghai–Tibet railway, China. *Ecological research*, 33(5), 879-887.
- Yanes, M., Velasco, J. M., & Suarez, F. (1995). Permeability of roads and railways to vertebrates: the importance of culverts. *Biological conservation*, 71(3), 217-222.

## 1. הנחיות מתוך התכנית האסטרטגית של מנהל התכנון פרק שטחים פתוחים - אקולוגיה

### הנחיות למיקום מעברים על תשתיות אורכיות

- יש לתכנן מעברים לבעלי חיים בנוסף על אלו המתוכננים למערכת הניקוז האזורית.
- מעברים יתוכננו באופן המגדיל את המורכבות המבנית של המעבר ומאפשר למגוון גדול של אורגניזם לעבור דרכו.
- יש לסנכרן מעברים בין תשתיות סמוכות של כבישים או כביש ומסילת ברזל.
- יש לתכנן ניתוב בעלי חיים לעבר המעברים.
- במעברים רציפים וארוכים העוברים מתחת לכבישים עם 6 נתיבים ויותר, יש לתכנן כניסה של אור טבעי או ליצור מערכת תאורה מלאכותית במקצב יומי.
- במעברי מים בהם זורמים מים באופן רציף או לתקופה של חודשיים ומעלה יותקן מדף יבש למעבר.
- החלטה על סוג המעברים הנחוצים תערך ביחד עם נציגי רט"ג.

## 2. צפיפות מעברים מתוך - Federal highway administration U.S. - department of transportation

Landscape connectivity is the degree to which the landscape facilitates wildlife movement and other ecological flows. However, no two landscapes are the same. Terrain, habitat type, levels of human activity and climate are some factors that influence wildlife movements and ecological flows. Therefore the spacing of wildlife crossings on a given section of roadway will depend largely on the variability of landscape, terrain, population densities, the juxtaposition of critical wildlife habitat that intersects the roadway and the connectivity requirements for different species. In landscapes that are highly fragmented with little natural habitat bisected by roadways shown in Figure 19, generally fewer wildlife crossings will be required compared to relatively intact, less fragmented landscapes as Figure 20 shows.





Figure 19. Photo. Benavente, Spain. Highly fragmented landscape (high contrast; adapted from Google Earth).

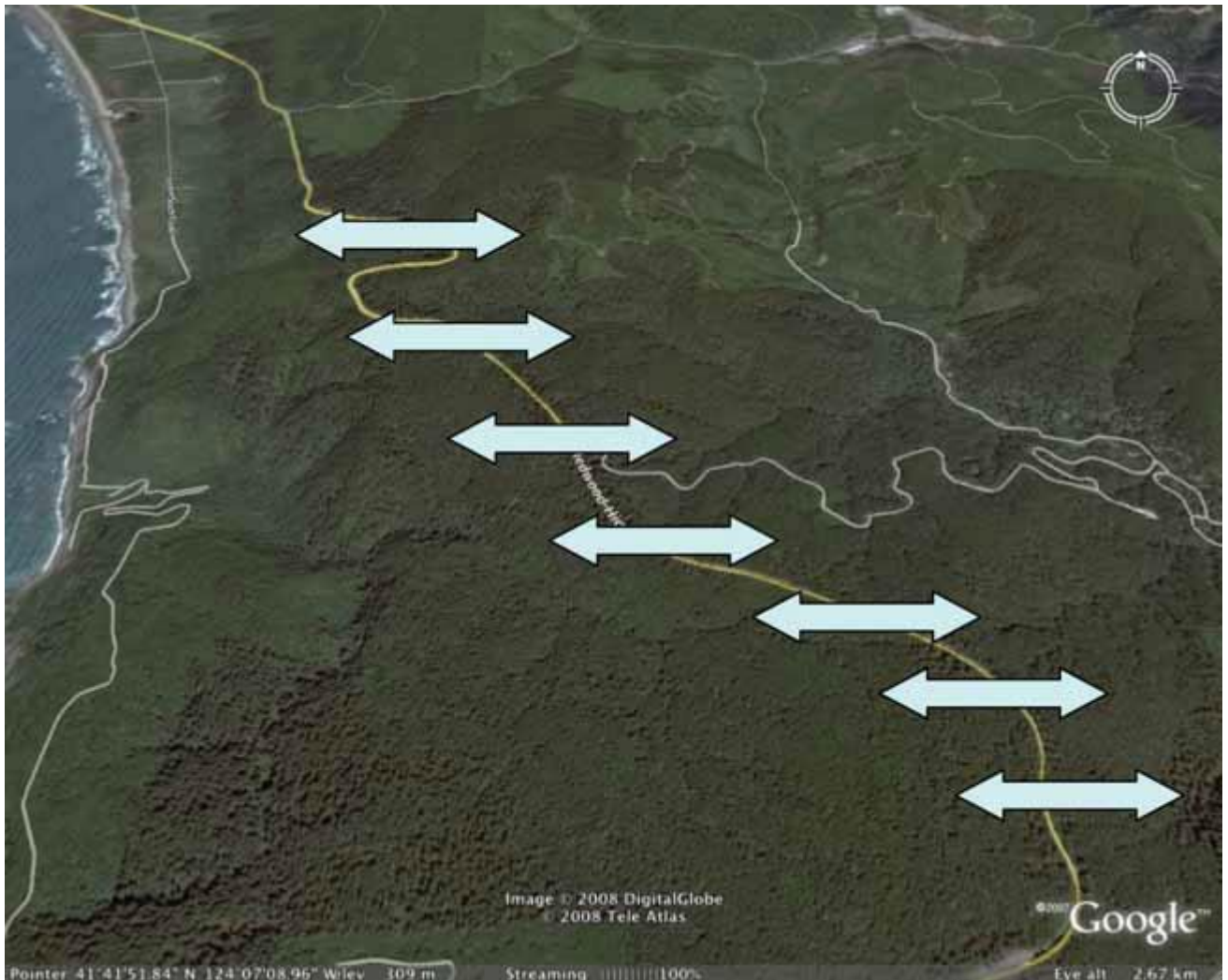


Figure 20. Photo. Hwy 101, Redwood highway, California. Low contrast landscape with low level of habitat fragmentation (adapted from Google Earth).

Wildlife crossings are permanent structures embedded within a dynamic landscape. With the lifespan of wildlife crossing structures around 70 - 80 years, the location and design of the crossings need to accommodate the changing dynamics of habitat and climatic conditions and their wildlife populations over time. How can we reconcile the dynamic environmental processes of nature with static physical structures on roadways? Environmental change is inevitable and will occur during the lifespan of the crossing structures. Some basic principles that management needs to consider:

- *Topographic features:* Wildlife crossings should be placed where movement corridors for the focal species are associated with dominant topographic features (riparian areas, ridgelines,

- etc). Sections of roadway can be ignored where terrain (steep slopes) and land cover (built areas) are unsuitable for wildlife and their movement.
- *Multiple species:* Crossings should be designed and managed to accommodate multiple species and variable home range sizes. A range of wildlife crossing types and sizes should be provided at frequent intervals along with necessary microhabitat elements that enhance movement, e.g., root crowns for cover. Unlike the physical structure of wildlife crossings, microhabitat elements are movable and can be modified over time as conditions and species distributions change.
  - *Adjacent land management:* How well a wildlife crossing structure performs is partly dependent upon the land management that surrounds them. Transportation and land management agencies need to coordinate in the short and long term to ensure that tracts of suitable habitat adjacent to the crossings facilitate movement to designated wildlife crossings.
  - *Larger corridor network:* Wildlife crossings must connect to, and form an integral part of, a larger regional corridor network. They should not lead to "ecological dead-ends." The integrity and persistence of the larger corridor network is not the responsibility of the transportation agency, but that of neighboring land management agencies and municipalities.

These basic principles will help guide the determination of how many wildlife crossings may be necessary and how to locate them in order to get the greatest long-term conservation value. There is no simple formula to determine the recommended distance between wildlife crossings, as mentioned earlier each site is different. Planning will largely be landscape- and species- specific.

The spacing interval of some wildlife crossing projects designed for large mammals are found in Table 2. Listed are several large-scale mitigation projects in North America (existing and planned). The spacing interval varies from one wildlife crossing per 0.9 mi (1.5 km) to one crossing per 3.8 miles (6.0 km). The projects listed indicate that wildlife crossings are variably spaced but on average about 1.2 mi (1.9 km) apart.

**Table 2. Average spacing interval per mile between wildlife crossings designed for large mammals at existing and planned transportation projects.**

Number of crossings	Road length (km)	Average Spacing/mile (km)	Location (Reference)
17	17 (27)	<b>1 / 1.0</b> (1 / 1.6)	SR 260, Arizona USA (Dodd et al. 2007)
24	27 (45)	<b>1 / 1.2</b> (1 / 1.9)	Trans-Canada Highway, <sup>a</sup> Banff, Alberta Canada (Clevenger et al. 2002)
8	7.5 (12)	<b>1 / 0.9</b> (1 / 1.5)	Trans-Canada Highway, <sup>b</sup> Banff, Alberta Canada (Parks Canada, unpubl. data)
32	32 (51)	<b>1 / 1.0</b> (1 / 1.6)	Interstate 75, Florida USA (Foster and Humphries 1995)
42	56 (90)	<b>1 / 1.3<sup>c</sup></b> (1 / 2.14)	US 93, Montana USA (Marshik et al. 2001)
16	15 (24)	<b>1 / 0.9</b> (1 / 1.5)	Interstate 90, Washington USA (Wagner 2005)
4	15 (24)	<b>1 / 3.8</b> (1 / 6.0)	US 93 Arizona USA (McKinney and Smith 2007)
82	45 (72)	1 / 0.5 <sup>c</sup> (1 / 0.9)	A-52, Zamora Spain (Mata et al. 2005)

<sup>a</sup> Phase 1, 2 and 3A reconstruction.

<sup>b</sup> Phase 3B reconstruction.

<sup>c</sup> Includes crossings for small and large mammals.