

התכנית הלאומית לצמצום זיהום אוויר



חלק א' – סקירת ספרות מאי 2011

הסקירה הוזמנה על ידי אגף איכות אוויר של המשרד להגנת הסביבה ובוצעה על ידי חברות הייעוץ ששכר המשרד לטובת התוכנית הלאומית לצמצום זיהום אוויר. היועצים שהשתתפו בהכנת מסמך זה הינם:

קבוצת פארטו: יוגב קציר, מיכאל ריטוב, עפר מנחם.

DHV ישראל: תומר בן אברהם.

DHV הולנד.



תוכן עניינים

3	רשימת קיצורים.....
4	רשימת נספחים.....
5	רשימת טבלאות.....
6	רקע כללי.....
7	תקציר מנהלים.....
9	פרק 1. התוכנית הלאומית הבריטית להפחתת זיהום אוויר.....
29	פרק 2. סקירת תוכניות לצמצום זיהום אוויר בארה"ב.....
44	פרק 3. התוכנית האסטרטגית לאיכות אוויר של האיחוד האירופי.....
55	פרק 4. יישום תוכנית האסטרטגית לאיכות אוויר בהולנד – התכנית לשיתוף פעולה לאומי.....
63	סיכום.....
69	ביבליוגרפיה.....
73	נספחים.....

רשימת קיצורים

- **AQS** - The Air Quality Strategy for England, Scotland, Wales and Northern Ireland
- **AURN** – Automatic Urban and Rural Network
- **CAFÉ** - Clean Air For Europe
- **CLRTAP** – Convention on Long-Range Transboundry Air Pollution
- **COMEAP** – Committee of the Medical Effect of Air Pollution
- **EAP 6th** – The Sixth Environment European Action Program
- **EPA** – Environmental Protection Agency
- **IGCB** – Interdepartmental Group for Cost and Benefit
- **IPPC** – Integrated Pollution Prevention and Control
- **LCP** – Large Combustion Plant
- **LAER** – Lowest Achievable Emission Rate
- **MACT** – Maximum Achievable Control Technology
- **NCL** – National Cooperation Program
- **NECD** – National Emission Ceilings Directive
- **NESHAP** – National Emissions Standards for Hazardous Air Pollutants
- **PSD** – Prevention of Significant Deterioration
- **SIP** – State Implementation Plans
- **UNCCC** – United Nations Convention on Climate Change
- **UNECE** – United Nations Economic Commission for Europe

רשימת נספחים

- נספח 1: סכמת האינטגרציה בין ה- EMEP למודל ה- RAINS ומודל ה- CBA-CAFÉ בהתאם לגישת מסלול-השפעה.
- נספח 2: בעיית זיהום האוויר, סכמת הקשרים העיקריים בין מקור מזהם לאיכות אוויר וההשפעה הסביבתית-בריאותית שלו
- נספח 3: מבנה מודל OPT כחלק ממודל RAIN – פירוק לגורמים של NO_x .
- נספח 4: מודל RAINS – המחשת השילוב בין המודולים הבאים: OPT, DEP, EMCO - דוגמה עבור אמוניה.
- נספח 5: פירוט היררכית ההערכה של השפעות הכלולות במסגרת מודל CAFE-CBA.
- נספח 6: פירוט מקורות המידע עבור הערכת התועלת או הרווח במסגרת מודל CAFÉ-CBA
- נספח 7: ניתוח עלות תועלת של התרחישים השונים בשנת 2020.
- נספח 8: ממוצע הפליטות עבור $\text{PM}_{2.5}$ בהולנד בשנת 2020 לעומת שנת 2000 עבור מדיניות פעולה שונה העלויות הינן בהתאם ל- RAINS.

רשימת טבלאות

13	טבלה 1. ערכי יעד למזהמים.....
14	טבלה 2. ערכים להגנה על צמחיה ומערכות אקולוגיות.....
18	טבלה 3. הערכת ההשפעות בריאותיות.....
19	טבלה 4. ערכים כספיים מרכזיים בהשפעות בריאות.....
21	טבלה 5. השפעות כמותיות לא בריאותיות.....
21	טבלה 6. השפעות איכותיות.....
24	טבלה 7. צעדי מדיניות שנבחנו בתכנית האסטרטגית של 2007.....
26	טבלה 8. סיכום ההשפעות הרפואיות והכלכליות כתוצאה מיישום צעד מדיניות A.....
27	טבלה 9. סיכום השפעות כלכליות של חלק מצעדי המדיניות המוצעים.....
28	טבלה 10. אמצעים נוספים שנדונו.....
30	טבלה 11. תקנים לאומיים מחייבים לששה מזהמים נפוצים.....
34	טבלה 12. התועלות הצפויות מיישום התקן המחמיר עבור $PM_{2.5}$
35	טבלה 13. אמצעים לצמצום פליטות (מדגם חלקי לצורך המחשה).....
40	טבלה 14. תקנים מקסימאליים לפליטות מזהמי אוויר מרכבים פרטיים חדשים.....
40	טבלה 15. תקנים מקסימאליים של מדינת קליפורניה לפליטות מרכבים פרטיים חדשים (גרם למייל).....
46	טבלה 16. יעדי ההפחתה פליטות מזהמים נבחרים באירופה.....
46	טבלה 17. יעדי ההפחתה של נזקי זיהום אוויר לשנת 2020.....
51	טבלה 18. היעדים הבריאותיים והסביבתיים של התרחישים השונים לשנת 2020.....
52	טבלה 19. הפחתת הפליטות הדרושות עבור שלוש התרחישים לשנת 2020 (בקילוטון).....
52	טבלה 20. עלויות הפחתת המזהמים בשנת 2020 (במיליוני יורו לשנה).....
52	טבלה 21. יעדי התוכנית האסטרטגית שהתקבלו.....
53	טבלה 22. ניתוח עלות תועלת של התרחישים השונים בשנת 2020 (טבלה מלאה : נספח 2).....
56	טבלה 23. יעדי ההפחתה למזהמים לשנת 2020. השוואה בין יעד ממוצע למדינות EU לבין יעדי ההפחתה הולנדים.....
58	טבלה 24. השוואת תרחישי עסקים כרגיל שונים - גופרית דו חמצנית, SO_2 (קילוטון/שנה).....
59	טבלה 25. עלויות תוספתיות כתוצאה ממעברים בין התרחישים.....
59	טבלה 26. הבדלים בהשפעות רפואיות בהולנד לפי התרחישים השונים.....
62	טבלה 27. צעדים מדיניים יעילים לעמידה בתכנית האסטרטגית ההולנדית.....
64	טבלה 28. סיכום המזהמים הכלולים בתכניות הלאומיות.....
66	טבלה 29. הבדלים בהשפעה הכלכלית של חלקיקים נשימים $PM_{2.5}$
68	טבלה 30. השוואה חלקית של צעדי מדיניות בתחבורה ותעשייה בין המדינות.....

רקע כללי

חוק אוויר נקי אשר עבר בכנסת בשנת 2008 ונכנס לתוקף בינואר 2011, מחייב את המשרד להגנת הסביבה להציג בפני הממשלה תכנית לאומית לצמצום זיהום אוויר תוך שנה מיום כניסת החוק לתוקף. מסמך זה הינו השלב הראשון בבניית תוכנית לאומית לצמצום זיהום האוויר בישראל ותכליתו היא להציג סקירה, השוואה וניתוח של תוכניות לאומיות אחרות העוסקות בסוגיה זו על מנת ללמוד, ככל הניתן, מניסיונם של אחרים לצורך יצירת תוכנית ישראלית אפקטיבית ככל הניתן. המסמך כולל סקירה של ארבעה תוכניות מקיפות לצמצום זיהום אוויר (שלוש תוכניות לאומיות וכן התכנית האסטרטגית האירופית):

1. התוכנית הבריטית – The Air Quality Strategy for England, Scotland Wales and Northern Ireland.
2. עיקרי המדיניות האמריקאית להתמודדות עם זיהום אוויר וסקירת תוכניות מרכזיות שמפעילה הסוכנות להגנת הסביבה ה-EPA.
3. התכנית האסטרטגית האירופית לטיפול בזיהום אוויר – Thematic Strategy on Air Pollution.
4. יישום התוכנית ההולנדית על פי המתכונת האסטרטגית שקבע האיחוד האירופי.

כל תוכנית נסקרה ונבחנה על פי ארבעה פרמטרים זהים:

1. רקע כללי ליישומה והמבנה של התכנית.
2. המזהמים הכלולים בתוכנית ויעדיה.
3. מתודולוגיה לקבלת החלטות וניתוח עלות תועלת.
4. אמצעי מדיניות מוצעים לטיפול בזיהום אוויר.

תקציר מנהלים

בתקציר המנהלים להלן מוצגות מספר מסקנות עיקריות העולות מסקירת התוכניות הלאומיות של בריטניה, ארה"ב והולנד (בנוסף לתוכנית האירופית – CAFÉ). המסקנות מסווגות לארבע קבוצות בהתאם לחלוקה המוצגת בגוף המסמך: כללי, מזהמים, מתודולוגיה ואמצעים.

כללי:

התוכניות השונות שנסקרו שונות זו מזו באופיין.

- **התוכנית האסטרטגית הבריטית לאיכות אוויר (AQS)** – התוכנית הבריטית עודכנה בשנת 2007. תוכנית זו מכילה ניתוח עלות תועלת כלכלי למספר צעדי מדיניות שנועדו להפחית את רמת זיהום האוויר בבריטניה. התוכנית הבריטית איננה מתמקדת רק בעמידה בתקני זיהום האוויר הקבועים בחוק הבריטי אלא ממליצה על אמצעי מדיניות שנועדו להוריד את זיהום האוויר מעבר לרף זה, ככל שהצעדים המוצעים הינם בעלי תועלת כלכלית.
- **מדיניות הטיפול בזיהום אוויר של הסוכנות להגנת הסביבה האמריקאית (EPA)** – בשונה מהנעשה בבריטניה, לארגון ה-EPA לא קיימת תוכנית כוללת המאגדת את ניתוח ההשפעות הבריאותיות לצד אמצעי המדיניות להפחתת זיהום אוויר. ככלל, ניתן לומר כי המדיניות האמריקאית מכילה מגוון רחב של תוכניות מסגרת שנועדו לטפל בזיהום האוויר במדינה, לצד ניתוחי עלות תועלת כלכליים ומפורטים של ההשפעות הבריאותיות למזהמים הקריטיים.
- **מדיניות האיחוד האירופי (EAP 6th, CAFÉ: Clean Air For Europe)** – מכיוון שהאיחוד האירופי משמש כארגון גג למדינות הלאום באירופה, תוכנית ה-CAFÉ איננה מהווה תוכנית לאומית המכילה צעדי מדיניות כוללים כמו למשל בתוכנית הבריטית. לתוכנית ה-CAFÉ ישנן מספר מטרות, והעיקריות שבהן הינן: קביעת תקנים כלל-אירופאים למזהמים, קביעת יעדי הפחתת פליטות פרטניים לכל מדינה על מנת להפחית את ההשפעות של "הסעת" זיהום אוויר (transboundary) ממדינה למדינה, קביעת מתודולוגיה אחידה לניתוחי עלות תועלת (CAFÉ-CBA) וקביעת מסגרת גולציה מחייבת למדינות האיחוד (הדירקטיבות). לעומת זאת, אין בתוכנית התמקדות בקביעת אמצעי מדיניות פרטניים לכל מדינה אלא הטלת אחריות על המדינות להציג תוכניות לטיפול בזיהום אוויר בתחומן במידה והדבר נדרש.
- **הולנד: התוכנית לשיתוף פעולה לאומי (NSL)** – כאמור לעיל, האיחוד האירופי מטיל על מדינות האיחוד יעדי הפחתה לפליטות מתחומן כמו גם מחויבות להצגת תוכניות פרטניות לטיפול בזיהום אוויר. לצורך כך הולנד תכננה את תוכנית שיתוף הפעולה ההולנדי אשר בוחנת את יכולתה של הולנד לעמוד בתקני זיהום אוויר של האיחוד ומציעה צעדי מדיניות לשם כך. מכיוון שהמשק ההולנדי מפותח באופן יחסי למדינות אחרות באירופה בתחום איכות הסביבה, התוכנית ההולנדית כוללת ניתוח עלות-תועלת למספר תרחישי הפחתת פליטות בהתאם לאפיון המשק ההולנדי בהתבסס על מודל CAFÉ-CBA, על מנת לבחור את יעדי ההפחתה המיטביים למשק ההולנדי.

מזהמים הכלולים בתוכנית:

ישנם מספר הבדלים באופן בחירת המזהמים שנכללו בתוכניות השונות וביעדים שנקבעו לגביהם. אולם, ניתן לראות בברור כי בכל התוכניות שנסקרו הושם דגש על עמידה ביעדים והפחתת ריכוזים של שני המזהמים האחראיים

להשפעות הבריאותיות המשמעותיות ביותר: חלקיקים, ואוזון. במסגרת ההתמקדות במזהמים אלו, מטופלים המזהמים NO_x , NMVOC's, המהווים מבשרי-אוזון והמזהמים SO_2 ואמוניה אשר תורמים להיווצרות החלקיקים. חשוב לציין שעמידה ביעדי התקינה של זיהום אוויר היא רק צעד בדרך למטרה העיקרית של התוכניות – צמצום ההשפעות הבריאותיות. לכן, חלק מצעדי המדיניות מיועדים להביא להפחתות נוספות של ריכוז המזהמים אף מעבר לסף שנקבע בתקינה על מנת לצמצם את הנזקים הבריאותיות שמקורם בזיהום אוויר ככל הניתן.

מתודולוגיה לניתוח עלות תועלת :

ניתוח עלות תועלת הוא הכלי המרכזי בו נעשה שימוש לצורך קבלת החלטות על צעדי מדיניות שינקטו במדינה. שיטה זו מצויה בכל התוכניות שנסקרו ואופייה דומה. בצד התועלות, מחושב החיסכון הכלכלי המושג על ידי הפחתת השפעות הבריאותיות כתוצאה מהפחתת החשיפה לזיהום אוויר. מירב התועלת (הן הבריאותיות והן בערכים כלכליים) מושגת מהפחתת מקרי המוות המוקדם וירידה בתוחלת חיים שמיוחסים לרמות זיהום אוויר. לצד הורדת שיעורי התמותה, נכללות השפעות בריאותיות נוספות כגון אשפוזים במחלקות לב-ריאה, עלייה בשיעורי סרטן, התגברות אסטמה, ברונקיטיס ועוד. כימות ההשפעות הבריאותיות של מקרי תמותה ותחלואה מושג באמצעות שימוש בפונקציה מנה-תגובה (concentration-response function) אשר קושרת בין עלייה של רמה נתונה בריכוז המזהם באוויר לבין עלייה בשיעורי ההשפעה הבריאותית. מתן ערך כלכלי להשפעה הבריאותית מסתמך על מחקרים כלכליים העושים שימוש בשיטות כגון: אמידת ערך החיים הסטטיסטי (VSL), אמדן ערך שנת חיים (VOLY), הערכת הנכונות לשלם (Willingness To Pay) עבור הפחתת ההשפעה, בדיקת מחירי השוק עבור הטיפול בהשפעה הבריאותית, אבדן ימי עבודה וכד'. חשוב לציין שבמודל שמרבית התוכנית עושות שימוש בשיעורי סיכון דומים עבור ההשפעות הבריאותיות הרי שישנם הבדלים רבים בין מדינות ובין מחקרים לגבי הערכים הכלכליים.

אמצעי מדיניות – אמצעי המדיניות העיקריים שכלולים בתוכניות הלאומיות או שנבחנו במסגרת ניתוחי העלות תועלת של התוכניות, מתמקדים בשני הסקטורים שתורמים את רוב הפליטות של מזהמים: מגזר ייצור החשמל ומגזר התחבורה. צעדי מדיניות אלו כוללים בין היתר את הצעדים הבאים: קביעת תקנות ורגולציה מחמירה, שימוש בתמריצים כלכליים לעידוד נקיטת צעדים להפחתת פליטות או שימוש בטכנולוגיה נקייה יותר וגם עידוד לשינוי התנהגות, בעיקר של הפרטים, ותכנון ירוק. בתחום ייצור החשמל מירב הצעדים מתמקדים בהתקנת אמצעים טכנולוגיים להפחתת פליטות ומעבר לשימוש באנרגיה ירוקה יותר. בתחום התחבורה ישנו מגוון רחב של אמצעי מדיניות שנועדו הן להפחית את השימוש במקורות מזהמים (למשל, עידוד נסיעה באופניים והליכה ברגל, תכנון שבילים, מעבר לתחבורה ציבורית) והן להפחית פליטות מכלי רכב (למשל, תמרוץ לרכישת כלי רכב ירוקים, החלפת צי רכב, התקנת אמצעים טכנולוגיים להפחתת פליטות). מכיוון שמגזר התחבורה נוגע הן לשימוש של הפרטים ברכבים והן לתכנון מרכזי של מערכות כבישים ומסילות, במגזר זה ישנם צעדי מדיניות רבים מאוד המשמשים להפחתת הפליטות מתחבורה.

פרק 1. התוכנית הלאומית הבריטית להפחתת זיהום אוויר¹

1.1 רקע כללי

בשנת 1995 התקבל בבריטניה חוק הסביבה (The Environment Act 1995) אשר חייב את הכנתה של תכנית אסטרטגית לאומית לטיפול באיכות האוויר. בחוק זה הוגדר כי התכנית תקבע יעדים, תקינה ואמצעי מדיניות לשם שיפור איכות האוויר ובחינת הוצאת היעדים אל הפועל. התכנית הראשונה התקבלה בשנת 1997 ולאחר מכן הוחלפה בתכנית האסטרטגית משנת 2000. לתכנית זו התווסף הנספח (AQS: Addendum) מפברואר 2003 המחמיר חלק ממדרישות התכנית ומציג אמצעי מדיניות נוספים כאשר העדכון האחרון של התכנית האסטרטגית התפרסם בשנת 2007.² התכנית האסטרטגית הבריטית הציבה כמטרה להפחית את זיהום האוויר בשל ההשפעות המוכחות של חשיפה לזיהום אוויר על בריאות האדם, השפעות המתבטאות בתמותה מוקדמת, התגברות מחלות לב וכלי דם, קשיי נשימה ועוד, זאת מלבד ההשפעות המזיקות שיש לזיהום אוויר על מערכות אקולוגיות רבות כגון: גידולים חקלאיים, יערות, גופי מים, מיני צמחים וכד'. התכנית הבריטית אינה מקיפה את כלל האמצעים האפשריים לצמצום זיהום אוויר אלא מציגה מספר צעדים בדמות תמריצים כלכליים ורגולציה אשר עבור יישומם בוצעה הערכת עלות-תועלת כלכלית. התועלת מיישום צעדים אלה נובעת בעיקר מצמצום התחלואה והארכת תוחלת החיים. התכנית בוחנת כל צעד בנפרד כמו גם את שילובם של מספר צעדים יחדיו. לצד התכנית משנת 2007 ישנן תכניות נוספות המהוות חלק מההתמודדות הבריטית עם בעיות השלובות זו בזו כגון: התחממות גלובלית, זיהום אוויר, הידלדלות משאבים ועוד. להלן פירוט אודות שלושת עמודי התווך של התוכנית הבריטית העדכנית משנת 2007.

1.1.1 מסגרת חוקתית

התכנית הבריטית הנוכחית עולה בקנה אחד ומחויבת לחוק הבריטי, לתכניות בין-לאומיות של האיחוד האירופי וארגונים בין-לאומיים נוספים, הפרוטוקולים של UNECE³ ובפרט מחויבת למטרות ארוכות הטווח אשר בוטאו במסגרת תכנית הפעולה הסביבתית השישית של האיחוד האירופי. כמו כן, ישנם מספר מסגרות חוקתיות אשר נלקחו בחשבון בעת הכנת התכנית:

1. הדירקטיבה למתקני בעירה גדולים (LCPD, 2001/80/EC) (LCP- Large Combustion Plant).
2. הדירקטיבה האירופית למניעה ופיקוח על זיהום באופן כוללני (EU IPPC⁴, 96/61/EC).
3. הדירקטיבה הבריטית של פליטת מסיסים (The Solvent Emission Directive, 1999/13/EC).
4. הסכם מרפול 6 (MARPOL VI).

¹ The Air Quality Strategy for England, Scotland Wales and Northern Ireland - AQS

² בנוסף, בשנת 2004 התפרסם מסמך הסוקר את האפקטיביות של הצעדים הרגולטוריים שנקטו בבריטניה להפחתת זיהום אוויר בשני סקטורים: התחבורה וייצור החשמל - An Evaluation of the Air Quality Strategy.

³ United Nations Economic Commission for Europe

⁴ IPPC – Integrated pollution prevention and control

⁵ יש לציין שהדירקטיבה הוסדרה בשנת-2008 (2008/1/EC)

⁶ רגולציה שמטרתה להפחית את ההשפעות הישירות והעקיפות של פליטות תרכובות אורגניות נדיפות (VOC) עקב שימוש של ממסים בתעשייה.

⁷ כל הדירקטיבות הללו (LCP, IPPC, VOC) אוחדו לאחרונה לדירקטיבה אחת – IED (2010/75/EU)

5. התקנות הבריטיות לדלקים נוזלים ומכילי גופרית משנת 2007.⁹

6. הדירקטיבה האירופית לפליטות רכבים ולאיוכות דלקים, (Directive 98/70/EC).¹⁰

1.1.2. אסטרטגית התמודדות: "צמצום חשיפה"

מסגרת העבודה העומדת בפני קובעי המדיניות הבריטית מתמקדת ב"צמצום החשיפה" (exposure reduction) לזיהום אוויר ולא דווקא בצמצום זיהום האוויר בכללותו. כלומר, המדיניות מבכרת את צמצום החשיפה לזיהום אוויר באזורים מאוכלסים בצפיפות (גם במידה והזיהום נמצא מתחת לתקן המותר) על פני הפחתת הזיהום באזורים מסוימים (גם במידה והזיהום נמצא מעל לתקן המותר). עיקרון זה נכון בעיקר ובפרט לחומרים אשר לגביהם לא נקבע סף ריכוז מינימאלי, כלומר חומרים אשר עלולים לגרום לנזק בריאותי בכל רמת חשיפה כמו במקרה של חלקיקים נשימתיים, כגון $PM_{2.5}$. מדיניות "צמצום החשיפה" מורכבת משני שלבים בלתי נפרדים:¹¹

- קביעת ערכי יעד לאיוכות אוויר (נקראים גם "יעדי סף"¹² או "ריכוז תקרה"¹³) על מנת להבטיח רמה בסיסית של איוכות אוויר לכלל האזרחים בהתאם לעקרונות הצדק הסביבתי.¹⁴
- קביעת יעד המבוסס על הפחתת קבועה של ממוצע החשיפה למזהמים באזורים מיושבים בצפיפות, על מנת להשיג שיפורים יעילים נוספים בהשפעות הבריאותיות מעבר לרמה הבסיסית שנקבעה בשלב ערכי היעד לעיל.

1.1.3. שימוש בניתוח כלכלי של עלות-תועלת¹⁵

מטרת הניתוח הכלכלי היא להעריך את התועלת הכלכלית הנובעת מצעדי מדיניות שונים. הניתוח הכלכלי (המתמקד בעיקר בעלויות כלכליות של טיפול רפואי ושל אבדן שנות חיים כתוצאה מזיהום אוויר) מהווה כלי חשוב בידי קובעי המדיניות לשם הערכת התועלת של צעדי מדיניות שונים בנוסף לחישוב תועלות ועלויות שאינן ניתנות לכימות כלכלי כגון פגיעה במערכות ביולוגיות. השימוש בשיטת ההערכה של עלות הנזק הנגרם מזיהום אוויר מומלץ כאשר יש צורך לצמצם את טווח צעדי המדיניות האפשריים למספר קטן יותר אשר יאפשר בחינה מפורטת ומקיפה יותר של כל צעד מדיניות או כאשר השפעות הצעדים על איוכות האוויר צפויות להיות בעלות השפעה משנית לעמידה ביעדים המרכזיים. הניתוח הכלכלי מראה מספר מסקנות ברורות:

- צעדים בתחום התחבורה וייצור החשמל מביאים להפחתה משמעותית בפליטות.
- קיים רווח כלכלי ניכר בצמצום ההשפעות הבריאותיות והסביבתיות.
- ישנו יחס תועלת-עלות חיובי ליישום צעדי המדיניות בסקטורים הנ"ל.
- יישומם של רבים מצעדי המדיניות אם כי לא של כולם, התברר כזול יותר מאשר אומדן העלות המוקדם.

⁸ הסכם בין-לאומי בחסות האו"ם להפחתת פליטות מאניות. החל מתאריך 19.5.2005, שיעור הגופרית בדלק נדרש להיות נמוך מ-4.5%.

⁹ <http://www.legislation.gov.uk/ukxi/2007/79/contents/made>

¹⁰ דירקטיבה 2009/30/EC החליפה את הדירקטיבה הנ"ל.

¹¹ AQS, vol 1, p.24.

¹² "Backstop objective"

¹³ "Concentration cap"

¹⁴ צדק סביבתי לעניין זה מתייחס לחלוקה הוגנת ושוויונית של הנזקים הסביבתיים על כלל הציבור.

¹⁵ הדוח השלישי לעיל ממזג שני מחקרים קודמים שנעשו בנושא:

- Chilton et al (2004) 'Valuation of Health Benefits Associated with Reductions in Air Pollution'. Available at <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/valuation/index.htm>
- 'An Evaluation of the Air Quality Strategy' DEFRA, (2005a). Available at <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/strategy/evaluation/report-index.htm>

1.2. מזהמים הכלולים בתוכנית ויעדיה

1.2.1 התוכנית הבריטית כוללת ניתוח וקביעת אמצעי מדיניות שונים, לשם התמודדות עם 10 מזהמים:

- **גופרית דו חמצנית (SO_2)** – מזהם הנפלט כתוצאה משריפת דלקים המכילים גופרית. מקור הפליטה העיקרי של SO_2 הוא מגזר ייצור חשמל.
- **תחמוצות חנקן (NO_x)** – קבוצת מזהמים הנפלטת כתוצאה מתהליכי שריפה. מקורות הפליטה העיקריים הם מגזרי התחבורה וייצור חשמל.
- **חלקיקים נשימים (PM_{10} , $PM_{2.5}$)** – מקורות פליטה עיקריים הם תחבורה, מחצבות, תהליכי שריפה (לרבות חימום ביתי על ידי נפט ועץ) ומקורות תעשייתיים אחרים.^{17,16}
- **בנזן** – מקורות הפליטה העיקריים הם תחבורה, תהליכי שריפה (בעיקר בתעשייה וגם מחימום ביתי על ידי נפט ועץ) ומקורות תעשייתיים אחרים.
- **אוזון (O_3)** – מזהם שניוני שנוצר בריאקציות פוטוכימיות של המזהמים NO_x ו-VOC בתנאים של חשיפה לקרינת UV.
- **פחמימנים רב-טבעתיים ארומאטים (PAH)**¹⁸ – מקורות פליטה עיקריים הם תחבורה, תהליכי שריפה, סקטור הדלק הביתי, שימוש בפחם אבן (Anthracite, non smoke solid fuel).
- **1,3 בוטאדיאן** – מזהם הנפלט כתוצאה משריפת דלק אך גם מתהליכים תעשייתיים (כגון ייצור גומי סינטטי לצמיגים).
- **עופרת (Pb)** – מזהם הנפלט כתוצאה משריפת פחם אך גם מהתכה של ברזל, פלדה ומתכות אל-ברזליות.
- **פחמן חד-חמצני (CO)** – נוצר כתוצאה משריפה לא מושלמת של דלק. מקורות הפליטה העיקריים הם סקטור התחבורה, התעשייה כמו גם הסקטור הביתי.
- **אמוניה (NH_3)**¹⁹ – מקורות הפליטה העיקריים הם תעשיית ייצור הדשנים והמגזר החקלאי אשר מלבד פליטות האמוניה שמקורן בפרש בעלי חיים גם משתמש בדשנים המכילים אמוניה.

חשוב לציין כי צעדי המדיניות החדשים של התכנית האסטרטגית הנוכחית (2007) מתמקדים בארבעה מזהמים: SO_2 , PM , NO_x , NH_3 ו- O_3 המהווים אתגר גדול בפני קובעי המדיניות בתחום הפחתת הפליטות (לעומת מזהמים כמו CO ובנזן אשר נרשמה הצלחה משמעותית בצעדי מדיניות שננקטו בעבר) וזאת בשל הפערים הגדולים הקיימים במידע לגבי מקורות הפליטה של מזהמים אלו, השפעתם על זיהום אוויר, השפעתם הבריאותית וצעדי המדיניות לצמצומם.

¹⁶ יש לציין שמרבית הצעדים בתכנית מפחיתים בעיקר את ריכוז ה- $PM_{2.5}$.
¹⁷ ישנה בעייתיות מסוימת באבחנה בין שני המזהמים בשל הקורלציה הגבוהה בהופעתם אחד לצד השני. עם זאת מחקרים קובעים שמירב הנזק הבריאותי נגרם כתוצאה מחשיפה ל- $PM_{2.5}$ ועל כן סבירה הנחת הנזק המיוחסת לרכיב זה בניתוחי פונקצית המנה-התגובה המוצגת בהמשך. לפירוט: פרק 2 בתכנית הכלכלית של התכנית האסטרטגית: "methodology assessments", עמ' 54.
¹⁸ במסגרת התכנית הבריטית, המזהם בנזן-אלפא-פירן משמש כמדד לריכוז PAH.
¹⁹ למרות שאמוניה מזוהה במסגרת המזהמים אשר מזיקים לבריאות, ישנן בעיות רבות באמידת הפליטה ועל כן לא נקבעו יעדי מדיניות אשר נועדו להפחית את פליטת האמוניה בהתאם לאומדן. עם זאת ישנם מספר חוקים (קיימים ועתידיים) בתחום החקלאות אשר נועדו להתמודד עם בעיית זיהום האמוניה ויהיו בעלי השפעה על כמות הפליטה.

1.2.2 מושגים מרכזיים בתוכנית

לשם צמצום זיהום האוויר התכנית הבריטית קובעת 5 מונחים מרכזיים:

- **תקנים (standards)** – מהווים את ריכוז המזהמים באוויר אשר נלקחים בחשבון על מנת להשיג רמה מסוימת של איכות אוויר. תקנים אלו נקבעים בהתבסס על הערכות לגבי ההשפעה שיש למזהמים על בריאות האדם ובכלל זה גם תת-קבוצות רגישות או מערכות אקולוגיות. תקנים אלו מהווים אבני בוחן לקביעת יעדי המדיניות ומבוססים על ממצאים מדעיים ורפואיים על השפעת מזהמים פרטניים על בריאות האדם ועל מערכות אקולוגיות.
- **יעדים (objectives)** – מהווים את מטרות המדיניות ומבטאים בדרך כלל כרמה מקסימאלית של ריכוז מזהמים באוויר בתקופת זמן נתונה. במסגרת חלק מהיעדים מתאפשרת חריגה מוגבלת בזמן ובכמות של ריכוז המזהמים שנקבעה.
- **צעדי מדיניות (measures)** – מהווים את האמצעים לעמוד ביעדים שהוצבו בתוכנית.
- **עומס קריטי (critical loads)** – מוגדר כרמה כמותית מוערכת של חשיפה למזהם אחד או יותר, המצויים בקרע או במים, אשר מתחתיה אין השפעה משמעותית על יסודות סביבה רגישים, למיטב הידע הנוכחי.
- **רמה קריטית (critical level)** – מוגדרת כרמת ריכוז גזי של מזהמים אשר חריגה ממנה עלולה להיות בעלת השפעה מזיקה על צמחים או מערכות אקולוגיות למיטב הידע הנוכחי.

1.2.3 קביעת יעדי התוכנית

קביעת ערכיהם הנוכחיים והעתידיים של המזהמים בתוכנית הבריטית מתבצעת כך:

- **איסוף מצאי פליטות** – קביעת יעדי התכנית מתבססת על איסוף מצאי פליטות עדכני (baseline) הכולל תחזית פליטות ממקורות הפליטה, מדידות ריכוז אוויר בכ – 300 תחנות ניטור ברחבי אנגליה המתווספים למודלים של פיזור אוויר המספקים תמונה משוערת של ריכוז מזהמים באוויר. מצב המוצא מהווה את ההערכה הטובה ביותר למצאי הפליטות העתידי המתבסס על צעדי מדיניות נוכחיים או על צעדי מדיניות שכבר הושגה הסכמה ליישומם.²⁰
- **מדידת איכות אוויר** – מדידת נוכחות המזהמים באוויר מתבצעת הן באמצעות מערכת AURN,²¹ והן באמצעות תחנות עצמאיות אשר מוסיפות ליכולת הניטור²² והן באמצעות השוואת מודלים שונים של איכות אוויר כגון: המודל הלאומי, ADMS-URBAN ו- UKIAM. מודלים אלו נבחנו תחת הנחות לגבי כמות הפליטות הנוכחית והעתידית בהתחשב בתחזיות שונות כגון חיזוי נפחי תחבורה, מגמות בשוק הרכב, רגולציה של תקינת רכב, הפחתת פליטות ממפעלים וכד'.

²⁰ כמו בכל פעולת חיזוי, רבים הם גורמי האי וודאות. במקרה של חיזוי מזג אוויר ישנם מספר מאפיינים של אי ודאות: מדידה של ריכוז מזהמים נוכחי, מדידת דיוקו של מודל איכות האוויר, אמת מידה הגיאוגרפית – מקומית מול לאומית, הערכה של פליטת מזהמים נוכחית, מזג אוויר צפוי לתקופה הקרובה, הערכה של פליטת מזהמים עתידית, הערכה של מקורות משניים ל-PM, הערכה לגבי השפעתם של הצעדים להשגת המדיניות והשפעת מזג האוויר על האיכות האוויר.

²¹ Automatic Urban and Rural Network

²² מידע רב בנושא ניטור המזהמים מצוי בארכיון המידע לאיכות אוויר הבריטי: www.airquality.co.uk

1.2.4 ערכי יעד וערכי סביבה

התכנית קובעת ערכי יעד ל- 10 מזהמים, שיש לעמוד בהם במהלך השנים 2010-2020, לפי המפורט בטבלה 1:

טבלה 1. ערכי יעד למזהמים

מיקום	תאריך יעד ²³	זמן מיצוע	כמות חריגה שנתית מותרת	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (מיקרוגרם למטר מעוקב אוויר) – אם לא מצוין אחרת	מזהמים
בריטניה	2020	שנתי		25	PM _{2.5} חומר חלקיקי
סקוטלנד	2020	שנתי		12	
אזוריים עירוניים בבריטניה	2010-2020	שנתי		15% הפחתה לשנה	
בריטניה	31.12.2004	24 שעות	35 חריגות	50	PM ₁₀ חומר חלקיקי
בריטניה	31.12.2004	שנתי		40	
סקוטלנד	31.12.2010	24 שעות	7 חריגות	50	
סקוטלנד	31.12.2010	שנתי		18	
בריטניה	31.12.2005	שעה	18 חריגות	200	NO _x תחמוצות חנקן
בריטניה	31.12.2005	שנתי		40	
בריטניה	31.12.2005	שמונה שעות	10 חריגות	100	O ₃ אוזון
בריטניה	31.12.2005	15 דקות	35 חריגות	266	SO ₂ גופרית דו- חמצנית
בריטניה	31.12.2004	שעה	24 חריגות	350	
בריטניה	31.12.2004	24 שעות	3 חריגות	125	
בריטניה	31.12.2010	שנתי (average)		0.25 ng.m ⁻³ B[a]P	PAHs ²⁴
בריטניה	31.12.2003	ממוצע שנתי רץ		16.25	Benzene בנזן
אנגליה ווילס	31.12.2010	שנתי (average)		5	
סקוטלנד וצפון אירלנד	31.12.2010	ממוצע שנתי רץ		3.25	
בריטניה	31.12.2003	ממוצע שנתי רץ		2.25	1,3 - בוטאדיאן
	31.12.2003	ממוצע רץ 8 שעות יומי מרבי		10 mg. m ⁻³	CO פחמן חד-חמצני
בריטניה	31.12.2004	שנתי		0.5	Pb עופרת
	31.12.2008	שנתי		0.25	

²³ חלק מערכי היעד כמו גם תאריכי היעד להשגתם, מקורו בתכניות קיימות. על כן ישנם תאריכים שעבר זמנם אשר היוו תאריכי יעד לעמידה בערכי היעד של המזהמים.

²⁴ במסגרת התכנית הבריטית, המזהם בנזן-אלפא-פירן משמש כמדד לריכוז PAHs.

1.2.5. ערכי סביבה – מלבד ערכי היעד המפורטים בטבלה 1, התכנית האסטרטגית קבעה שלושה יעדי סביבה המבוססים על גישת "הרמה הקריטית" שנקבעה ב-EAP 6TH. במסגרת זו התחייבה הממשלה הבריטית לא לחרוג מערכים של עומס קריטי ושל רמות קריטיות אשר מובילים לסכנה של אסידיפיקציה²⁵ ואאוטרופיקציה²⁶.

טבלה 2. ערכים להגנה על צמחיה ומערכות אקולוגיות

מיקום	תאריך יעד	זמן מיצוע	מיקרוגרם למטר מעוקב אוויר) – אם לא מצוין אחרת	מזהמים
בריטניה	31.12.2000	שנתי	30	NO ₂ חנקן דו-חמצני
בריטניה	31.12.2000	שנה	20	SO ₂ גופרית דו-חמצנית
בריטניה	31.12.2000	ממוצע חורף	20	
בריטניה	1.1.2010	ממוצע של חמש שנים	18,000 – מבוסס על מדד AOT40 ²⁷ . מחושב על סמך ערך שעתי ממאי עד יולי	O ₃ אוזון

²⁵ אסידיפיקציה – חומציות. המזהמים העיקריים הגורמים לחומציות של המים ושל הקרקע הם תחמוצות החנקן, תחמוצות גופרית ונתרן. השיטות לניטור רמת החומציות מתוארות ב: AQS, Vol. 2, chapter 1.4, p. 104

²⁶ אאוטרופיקציה (eutrophication) – תהליך בו "מועשרים" המים או הקרקע במזהמים (בדרך כלל בדמות אמוניה או חנקן דו חמצני) אשר משמשים כמאכל ל"יצרנים ראשוניים" של מערכות אקולוגיות (למשל אצות). כתוצאה מהתהליך גודלת כמות האצות וישנה ירידה של אספקת החמצן במים, המובילה לעכירותם וליצירת מזהמים נוספים.

²⁷ AOT40 הינו מדד חשיפה של צמחיה ומערכות אקולוגיות לאוזון ביחידות ppb.

1.3. מתודולוגיה לקבלת החלטות וניתוח עלות-תועלת²⁸

1.3.1. מטרת הניתוח

מטרת הניתוח הכלכלי היא להעריך את התועלת של צעדי מדיניות שונים לצד עלות יישומם וזאת במטרה לסייע למקבלי ההחלטות לבחור בצעדים היעילים ביותר שיובילו לעמידה ביעדי התכנית. הניתוח הכלכלי של העלויות והתועלות מהווה חלק חשוב בהערכת צעדי המדיניות לצד ובנוסף לחישוב תועלות ועלויות שאינן ניתנות לכימות כלכלי.

1.3.2 "גישת מסלול-השפעה" (impact-pathway approach)

הניתוח הכלכלי של התכנית האסטרטגית בוצע באמצעות חישוב עלות תועלת של צעדי מדיניות שונים באמצעות "גישת מסלול-השפעה" אשר עוקבת בצורה לוגית אחר מהלכם של המזהמים באמצעות:

- מודלים המנתחים שינויים בפליטות המזהמים.
- מודלים של פיזור זיהום האוויר וריכוזו.
- שימוש ב"פונקציית מנה-תגובה" (concentration-response function) להערכת ההשפעות הבריאותיות של חשיפה לזיהום.
- מתן הערכה כספית להשפעות אלו.
- השוואת העלות והתועלת על בסיס ערך כלכלי אחיד.
- ניתוח רגישות אי-וודאות הנוגע להערכות הניתוח הכלכלי.

הרווח המושג מיישום הצעדים מושווה באופן התואם לעלויות צעדי מדיניות. מכיוון שהשפעתם של אמצעי מדיניות אינה אחידה בכמות ובזמן, ישנם אמצעים (למשל אימוץ התקינה אירופית) אשר השפעתם חושבה במסגרת זמן של 100 שנה לעומת אמצעים אחרים שהוערכו במסגרת זמן של 5-15 שנה. התועלת והעלות של כל אמצעי חושבו ביחס למצב הפליטה בשנת היעד כאשר לא נעשה שימוש באמצעי (גישת עסקים כרגיל)²⁹ ועל פי מצאי המזהמים (baseline). מדידת הערך הכלכלי התבצעה או באמצעות חישוב של מחירי השוק במקרים שאפשר (כגון עלות יום אשפוז) או בשיטות אלטרנטיביות כגון: "נכונות לשלם" כאשר הערך הכלכלי אינו ניתן לכימות באמצעות בדיקת מחירי השוק.³⁰

1.3.3 חישוב הנזק הכלכלי

חישוב העלות הכלכלית של נזקי זיהום אוויר מהווה חלק משמעותי במסמך הבריטי בשל משקלו להוכחת החשיבות הכלכלית במניעת פליטות. הדפים הבאים מוקדשים להסבר כללי על תהליך חישוב העלות והחלקים המרכיבים את משוואת החישוב. בהמשך גם מובאת דוגמה לאופן החישוב של עלות הנזק הכלכלי של השפעה בריאותית כתוצאה מחשיפה למזהם PM.

28 An Economic Analysis to Inform the Air Quality Strategy – Update Third Report of the Inter- Departmental Group on Costs and Benefits, July 2007.

²⁹ כמתואר בפרק 1.2 בכרך השני של התכנית האסטרטגית.

³⁰ לקריאה נוספת בנושא טכניקות הערכה ניתן לחפש ב: ExternE, 1999a; EAHEAP, 1999

חישוב עלות הנזק הכלכלי כתוצאה מזיהום אוויר מתבסס על המשוואות הבאות (הסבר הנוגע לחלקי המשוואה מובא בהמשך):³¹

(d) השפעה = (a) זיהום * (b) כמות נכסים בסיכון * (c) פונקצית תגובה

(f) נזק כלכלי = (d) השפעה * (e) יחידת ערך ההשפעה

1.3.4. חישוב הנזק של השפעות זיהום אוויר³²

○ **מצב זיהום האוויר (a)** – על מנת לחשב את העלויות והתועלות המושגות כתוצאה משיפור איכות האוויר יש צורך להכין מצאי מזהמים נוכחי שאליו ניתן להשוות את הערכת תוצאות יישום אמצעי המדיניות. כימות הפליטות נעשה באמצעות מצאי מזהמים (inventory) המוזן למודלים של זיהום אוויר המספקים חיזויים לגבי ריכוז ופיזור המזהמים באוויר. למודלים אלו מוזנות הנחות לגבי מצב הפליטות העתידי בהתחשב בנתוני כלכלה, צעדי מדיניות נוכחיים ומתוכננים ועוד. ממצאי המודל מוערכים ביחס למצאי הבסיס (baseline) ובמסגרתו נלקחים בחשבון השינויים בזיהום האוויר בשנים 2005, 2010, 2015, 2020. חישובים אלו משמשים כבסיס לחישוב עלויות ההשפעות על בריאות, סביבה ומבנים.³³

○ **כמות נכסים בסיכון (b)** – כמות הנכסים הנמצאים בסיכון כתוצאה מחשיפה לזיהום אוויר, בין אם מדובר בבני אדם ובין אם בנכסים או ביבול חקלאי.

○ **פונקצית מנה-תגובה (c)** – הגישה הבסיסית להערכת השפעה רפואית היא "פונקצית מנה-תגובה" (concentration-response function) המבטאת באופן הבא:

אחוז השינוי בתדירות מקרי מוות (סיכון יחסי למקרי מוות חדשים או נוספים) לכל 10 מיקרו-גרם למטר מעוקב אוויר³⁴ הקשורים כך:

○ תחלואה עודפת (מקרי מוות חדשים כל שנה ליחידת אוכלוסיה מסוימת).

○ גודל האוכלוסייה.

○ מידת הזיהום התוספתי הרלוונטי המבטאת במונחי ריכוז (מסה ליחידת נפח - $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

1.3.5. הנזק הכלכלי (f)³⁵

עלות הנזק הכלכלי משקפת את העלויות השוליות של רמות הזיהום. כלומר, ההשפעה השולית הנוספת שיש לעלייה או לירידה ברמת הזיהום על מושאי הניתוח. ניתוח העלות של נזקי זיהום האוויר מתמקד בשלושה נושאים:³⁶

³¹ התצורה המדויקת של הנוסחאות למעלה עשויה להשתנות לפי סוג המזהמים. למשל במקרה של מרבצים חומצתיים, על הנוסחא לכלול גם את רמת הלחות באוויר.

³² פירוט התהליך יתמקד בעיקר בהשפעות הבריאותיות בשל היותן החלק המשמעותי בהשפעות של זיהום אוויר.

³³ את המצאי הבריטי (NAEI – National Atmospheric Emission Inventory) ניתן למצוא באינטרנט: <http://www.naei.org.uk>

³⁴ קביעת שיעור הסיכון מבוססים על מחקרים אלו:

- Pope, et al. (1995) 'Particulate Air Pollution as a Predictor of Mortality in a Prospective Study of US Adults'
- Health Effects Institute (2000) 'Re-analysis of the Harvard Six Cities Study and the American Cancer Society Study of Air Pollution and Mortality: Parts I and II'

³⁵ עלות החישוב הכלכלי לוקחת בחשבון את עלות הכסף הנוכחית לעומת שווי העתיד. על פי משרד האוצר הבריטי הערכים שנלקחו בחשבון הם 3.5% ריבית ל-30 השנים הראשונות, 3% בשנים 30-75, ו-2.5% עבור השנים 75-100.
³⁶ מספר השפעות הוצאו מתוך החישוב הכמותי כמו למשל ההשפעה על מערכות אקולוגיות ונכסי מורשת תרבותיים. הכללה של גורמים אלו בתוך החישוב אמורה להעלות את הרווח המופק מצמצום זיהום האוויר.

1. בריאות האדם (תמותה ותחלואה).
2. נכסים חומריים (למעט הפגיעה בנכסי מורשת תרבותיים).
3. יבולים (צמצום התנובה).

1.3.6. הערכות ההשפעות הבריאותיות (d)

החלק המכריע והמשמעותי של ההשפעה הכלכלית של זיהום אוויר מתבטא בעלויות ההשלכות הבריאותיות הנגרמות כתוצאה של חשיפה לזיהום אוויר. הערכה של השפעות בריאותיות אלו נעשית באמצעות "פונקצית מנה-תגובה" על פי המלצת הוועדה הבריטית להשפעת זיהום האוויר על הבריאות (COMEAP)³⁷ וארגון הבריאות העולמי (WHO).³⁸ בשל משקלו הרב והמכריע של גורם זה בחישוב העלויות והתועלות מהפחתת זיהום האוויר, יש לציין כי למרות המחקרים הרבים המעידים על ההשפעה הברורה שיש לזיהום אוויר על שיעורי תחלואה ותמותה, כימות מדויק של השפעת הזיהום על שיעורים אלו מלווה באי וודאות רבה.^{39 40} ניתן לחלק את השפעה הרפואית של זיהום אוויר לשניים:

1. **השפעות לטווח קצר (acute)** – תמותה בטרם עת, אשפוז בבתי חולים בעקבות בעיות נשימה ומחלות של הלב וכלי הדם (cardiovascular).
2. **השפעה לטווח ארוך (chronic)** – שינויים בתוחלת החיים, המוגדרים כתמותה כרונית.⁴¹

³⁷ Committee of the Medical Effect of Air Pollution

³⁸ 'Quantification of the effects of air pollution on health in the UK' (1998), 'Statement on long-term effects of particles on mortality' (2001a), 'Statement on short term association between ambient particles and admissions to hospital for cardiovascular disorders' (2001b). COMEAP, An interim statement on the Quantification of the Effects of Air Pollutants on Health in the UK (2006) updating the 2001 report. Long-term Exposure to Air Pollution: Effect on Mortality' Draft report for technical comment (2007). All available at: www.dvisorybodies.doh.gov.uk/comeap/state.htm

³⁹ ההשפעה הבריאותית הכמותית (הגדלת התמותה, אבדן שנות חיים, טיפול בבתי"ח) הוערכה באמצעות ערכים מומלצים שקבעה "וועדה בין משרדית לעלות ותועלת" (IGCP)³⁹

⁴⁰ ישנם שלושה נושאים עיקריים המלווים באי-וודאות הקשורים לניתוח ההשפעות הרפואיות: (1) שיעור הסיכון הנובע מעלייה/ירידה בכמות זיהום האוויר. הוועדה הסתמכה על שיעור סיכום של 6% אך שיעור זה מצוי במחלוקת; (2) שיעור ה-PM_{2.5} באוויר נמדדת באמצעות מדידת השינוי השולי של PM₁₀, שיטה זו מנחת שהשינוי השולי של PM₁₀ נופל בקטגוריית הגודל של PM_{2.5}; (3) ישנה אי-וודאות בנוגע למשך הזמן בין החשיפה לזיהום לבין ההשפעה הבריאותית. הוועדה הבריטית (COMEAP) קבעה בדוח משנת 2001 טווח זמן של 0-40 שנה, אך עם זאת מסמך ביניים של הוועדה שיצא בשנת 2006 טוען שרוב ההשפעה הרפואית מתרחשת בשנים הראשונות לאחר הזיהום. לנושא זה יש השפעה רבה על ניתוחי העלות-תועלת. להרחבה בנושא ההשפעה הרפואית: Damage cost for air pollution, final report for Defra, (2006), p.10-12.

⁴¹ Damage cost for air pollution, final report for Defra, March 2006, p. 10

בטבלה 3. מרוכזות ההשפעות הבריאותיות ופונקצית התגובה שחושבה עבורם :

טבלה 3. הערכת ההשפעות בריאותיות

השפעה	פונקצית התגובה
השפעה של $PM_{2.5}$ על תמותה כרונית (ירידה בתוחלת החיים)	גידול מוערך של 6% באובדן תוחלת חיים לתוספת PM_{10} $\mu g.m^{-3}$ (כלומר, עלייה של 6% בשיעור התמותה לכל עלייה של $10 \mu g.m^{-3}$ בריכוז $PM_{2.5}$).
השפעה של אוזון על שיעורי מוות בטרם עת	גידול מוערך של 0.6% לעליית תמותה יומית לתוספת $10 \mu g.m^{-3}$ של O_3 . נבדק שלוש אפשרויות ריכוז מינימום: 0 ppb, 35 ppb, 50 ppb (מקסימום של ממוצע שמונה שעות). מצב מוצא של 999 ל-100,000.
השפעה של PM_{10} על אשפוז במחלקות נשימה	גידול מוערך של 0.8% לעליית אשפוז לתוספת $10 \mu g.m^{-3}$ של PM_{10} . מצב מוצא של 980 לכל 100,000.
השפעה של PM_{10} על אשפוז במחלקות לב וכלי דם	גידול מוערך של 0.8% לעליית אשפוז לתוספת $10 \mu g.m^{-3}$ של PM_{10} . מצב מוצא של 981 לכל 100,000.
השפעה של אוזון על אשפוז במחלקות נשימה	גידול מוערך של 0.7% לעליית אשפוז לתוספת $10 \mu g.m^{-3}$ של O_3 . נבדק שלוש אפשרויות ריכוז מינימום: 0 ppb, 35 ppb, 50 ppb (מקסימום שמונה שעות ממוצע). מצב מוצא של 980 ל-100,000.
השפעה של SO_2 על מוות בטרם עת	גידול מוערך של 0.6% לעליית תמותה יומית לתוספת $10 \mu g.m^{-3}$ של SO_2 . מצב מוצא של 990 לכל 100,000.
השפעה של SO_2 על אשפוז במחלקות נשימה	גידול מוערך של 0.5% לעליית אשפוז לתוספת $10 \mu g.m^{-3}$ של SO_2 . מצב מוצא של 980 לכל 100,000.
השפעה של NO_2 על אשפוז במחלקות נשימה	גידול מוערך של 0.5% לעליית תמותה יומית לתוספת $10 \mu g.m^{-3}$ של NO_2 . מצב מוצא של 980 לכל 100,000.

1.3.7. הערכה כספית של השפעות בריאותיות (e)

ניתן להעריך כיום השפעות בריאותיות על סמך מחקרים רבים אם כי הערכות אלו מלוות באי וודאות רבה ושנויות במחלוקת בקרב החוקרים ובספרות המקצועית.⁴² הערכים הכספיים הנקובים במסמך הבריטי נעשו על בסיס המלצות הוועדה הבין-משרדית לעלות-תועלת (IGCB)⁴³ ועל בסיס מחקר אשר נועד לאפיין את "הנכונות לשלם" עבור הפחתת השפעות בריאותיות המקושרות עם זיהום אוויר.⁴⁴

⁴² בשל החשיבות המכרעת שיש להשפעות הבריאותיות על ניתוחי העלות תועלת, חשוב להדגיש את אי-וודאות הקיימת ביחס להערכת הנקודות הבאות: מדידת הצמצום בתוחלת החיים כתוצאה מזיהום אוויר, מדידת איכות שנות החיים שאובדות בשל השפעות אקוטיות של זיהום אוויר, מדידת שווי אבדן שנות החיים בבריאות לקויה ודיוק המחקרים בהערכת השפעות התחלואה.

⁴³ IGCB – Interdepartmental Group for Cost and Benefit

⁴⁴ Chilton, et al (2004), and: Markandya, et al (2004).

בטבלה 4. מובאים הערכים הכספיים המרכזים של ההשפעות הבריאותיות:⁴⁵

טבלה 4. ערכים כספיים מרכזיים בהשפעות בריאות

ערכים (2004)		מדידת הערכות	השפעות בריאותיות
רגישויות (ליש"ט)	ערך כספי למקרה (ליש"ט)		
10%-15% משנות החיים הוערכו ב-15,000 ליש"ט על מנת לקחת בחשבון מקרי דום לב בקרב אנשים בריאים	15,000	אבדן שנים בעקבות זיהום אוויר. הנחת אבדן של 2-6 חודשים לכל מקרה מוות בטרם עת. (הנחת אבדן תוחלת חיים בבריאות לקויה)	תמותה אקוטית (אוזון)
21,700-36,200	29,000	אבדן שנות חיים (הנחת אבדן תוחלת חיים בבריאות טובה)	תמותה כרונית
1,900-9,100	1,900-9,100	בממוצע 8 ימי אשפוז	אשפוז במחלקת נשימה
2,000-9,200	2,000-9,800	בממוצע 9 ימי אשפוז	אשפוז במחלקת לב וכלי-דם

העלות השולית של נוכחות מזהמים באוויר משתנה בהתאם למספר פרמטרים כגון: מקום הפליטה, גובה הפליטה, מטאורולוגיה מקומית ואזורית וקולטנים אזוריים ומקומיים (צפיפות הקולטנים ופיזורם). יש להדגיש כי אין קשר ליניארי הכרחי בין פליטת המזהמים לבין ריכוזם. על מנת לקבוע ערכים אשר יהוו פשרה בין מידת דיוק גבוהה לבין היותם נוחים לשימוש קובעי המדיניות, הניתוח הכלכלי נוקט בגישות שונות לקבוצות מזהמים שונות:

- **PM₁₀** – הניתוח הכלכלי של חלקיקים (PM) מפורט יותר וניתוח הנזק מחולק לסקטורים שונים כגון: ייצור חשמל, מקורות ביתיים, מקורות חקלאיים, פסולת ותחבורה (התרומה העיקרית לפליטות של PM; סקטור זה מחולק שוב בשיטות שונות).⁴⁶ צעד זה מדגיש את מרכזיות ה-PM כמזהם מקומי אשר סמיכותו למרכזי אוכלוסיה צפופים משפיעה על שיעור החשיפה של האוכלוסייה ומכאן על שיעור הנזק הנגרם ממזהם זה.
- **מזהמים שניוניים (O₃ וחלקיקים שניוניים)** – למזהמים שניוניים כגון O₃ (VOC ו-NOx)⁴⁷ וחלקיקים שניוניים (SO₂ כסולפטים וNOx כניטרטים) ניתן ערך עלות אחיד מכיוון שמזהמים אלו נוצרים באטמוספירה על פני זמן ומרחק ולכן פרמטרים של צפיפות אוכלוסין וריכוז גורמים בסיכון, משמעותיים פחות.⁴⁸

⁴⁵ פירוט הנחות נוספות לגבי קביעת הערכים ניתן למצוא: Damage cost for air pollution, final report for Defra, March 2006, pp. 15-16

⁴⁶ להרחבה בתת החלוקה בסקטור התחבורה: Damage cost for air pollution, final report for Defra, March 2006. היווצרות האוזון כתוצאה ממזהם זה הערכה של ערך אחיד בשביל מזהמים שניוניים בעייתי יותר בשל ההשפעה של NOx על האוזון. היותו האוזון כתוצאה ממזהם זה משתנה מאזור עירוניים לכפריים. מכיוון שהנזק של האוזון קטן יחסית לנזק של PM, לא הוכנס שיקול זה לניתוח.

⁴⁸ Damage cost for air pollution, final report for Defra, March 2006.

1.3.8. דוגמה לתהליך חישוב העלות הכלכלית של פליטת מזהמים: השפעה של PM_{10} שניוני, הנוצר כתוצאה

מפליטות SO_2 , על אשפוזים במחלקות נשימה בבתי חולים

- מדידת השינוי השולי בפליטות SO_2 (נניח 50,000 טון). הרצה במודל זיהום אוויר על מנת להעריך את השינוי בריכוז PM_{10} . שילוב התוצאות עם נתוני אוכלוסין על מנת להעריך את שינוי ממוצע הריכוז לאוכלוסייה (נניח שיעור שינוי PM_{10} של $0.112 \mu g/m^3$ ביחס למצא).
- חישוב התוצאה על ידי שימוש בנתונים הבאים:
 - (1) פונקציה ריכוז התגובה (לדוגמה: אשפוז במחלקות נשימה - 0.8% לכל שינוי PM_{10} של $10 \mu g/m^3$), (2) שיעור המוצא של אשפוזים (980 לכל 100,000 כאשר מספר האוכלוסייה הוא 58,279,137.63 נפש) על מנת להעריך את מספר המקרים החדשים.
 - שיעור השינוי באשפוז - $0.89^{E-4} = 0.008/89.28$ (ע"פ שינוי של 0.8% לכל $10 \mu g/m^3$)
 - $51 = (58,279,137.63 / 100,000) * 980 * 0.89^{E-4}$ (מספר מקרים חדשים בשנה)
 - מספר זה מוכפל בעלות המוערכת למחירי אותה שנה לאשפוזים במחלקות נשימה על פי הנחות העלות וימי האשפוז (נניח 9,100 – £1,900). המספר הכולל (466,000 – £97,000) מחולק בכמות הפליטות של SO_2 על מנת להגיע לעלות הכלכלית של פליטה נוספת של טון SO_2 (£9 – £2 לכל טון).
 - ערכים אלו מחושבים על פי הנחות המודל על מנת להתאימם לערכים שנתיים.

1.3.9. הערכה כספית של עלות הנזק לנכסים חומריים (materials)⁴⁹

- מלבד הנזק הבריאותי, נזק לנכסים ומבנים הוא אחד מהנושאים החשובים הנוגעים לנזקי זיהום האוויר. ההשפעות המשמעותיות ביותר הן:
 - בלייה חומצית של אבנים, מתכת, ציורים ונכסי ציבור⁵⁰ – החומרים המזהמים ביותר בנושא זה הם: SO_2 (המשמעותי ביותר), H^+ ו- NO_2 . שיטת ההערכה מתבססת על "גישת מסלול ההשפעה", ועושה שימוש בהערכה כספית של שיפוץ מבנים.
 - נזק לחומרים פולימרים, במיוחד גומי טבעי, כתוצאה מחשיפה לאוזון – מחקרים מעריכים את הנזק למוצרי גומי כתוצאה מחשיפה לאוזון בסך של כ- 85 מיליון £. השפעת הנזק לשינוי באוזון של 1 חל"ב (ppb) מוערך בכ - £3.7 מיליון לשנה.⁵¹
 - לכלוך מבנים וחומרים אחרים – ישנן מספר גישות לחישוב העלות הכלכלית של לכלוך מבנים. העבודה עושה שימוש במחקר הסוכם את מחיר עלות ניקוי הבניין ואת עלות "אבדן הנוחות" כתוצאה מהלכלוך.⁵²
 - השפעה חומצית על נכסי צאן ברזל תרבותיים כגון: מבנים, אמנות וכד' – למרות הערך כלכלי המובהק שאנשים מקנים לנכסי תרבות הרי שלא נכלל ניתוח מסוג זה במסמך הבריטי.

⁴⁹ Damage cost for air pollution, final report for Defra, March 2006, pp. 17-19

⁵⁰ מחקר בנושא נערך על ידי: Europe wide ICP materials (2003)

⁵¹ Holland et al (1998),

⁵² Rabl et al. (1998)

1.3.10. עלות הנזק ליבול חקלאי⁵³

עיקר הנזק הנגרם ליבול כתוצאה מחשיפה לרמות אוזון גבוהות והערכת הנזק נעשתה בהתאם לנוכחות מזהם זה. הערכת הנזק מתבצעת באמצעות שלושה נתונים: (1) מידע על כמות היבול, (2) מידע על פונקציה התגובה לחשיפה לאוזון ו-(3) ערך היבול.

טבלה 5. השפעות כמותיות לא בריאותיות⁵⁴

השפעה	סיכום המתודולוגיה
השפעה ישירה של O_3 על תנובת יבולים	כימות שינוי תנובת היבולים בבריטניה מבוסס על מחקר של ICP/MM ⁵⁵ . ההערכה מבוססת על מחירי השוק שפורסמו על ידי ארגון המזון והחקלאות של האו"ם
נזק חומרי כתוצאה מ- SO_2	הערכת הרווח כתוצאה מהפחתת הזנק נעשתה בעבודה קודמת של AQS
נזק חומרי כתוצאה מ- O_3	ההערכה מסתמכת על מחקר האומד את השינוי בזיהום של 1 חל"ב ב- 3.7 מיליון £ לשנה ⁵⁶
לכלוך מבנים (PM)	ההערכה מתבססת על עלות הניקוי של מבנים מלוכלכים ⁵⁷
עלות חברתית של פחמן	פליטת פחמן הוערכה היכן שהוערכה ב-70 מיליון £ לשנת 2000 כאשר כל שנה נוסף 1 מיליון £

1.3.11. השפעות איכותיות

מלבד השפעות כמותיות ישנן השפעות אשר לא ניתן לכמתן במסגרת הבדיקה הכלכלית אך ניתנות להערכה איכותנית. הכללת השפעות אלו באומדן הכלכלי צפויה להעלות את התועלת המושגת מהפחתת הפליטות.

טבלה 6. השפעות איכותיות⁵⁸

השפעה	הערות
נזק חומצי לנכסי מורשת תרבותיים	נזק זה קשה לכימות בשל חוסר מידע והערכת שווי. עם זאת צעדי המדיניות למניעת פליטת SO_2 צפויים להיות בעלי השפעה גדולה על נכסי מורשת תרבותיים
רעש	חלק מהאמצעים עשויים לסייע בהפחתת הרעש, בעיקר בסקטור התחבורה, אם כי ההשפעה לחיוב בקריטריון זה צפויה להיות מצומצמת לעומת תועלות אחרות
ראות	התועלת המושגת כתוצאה משיפור הראות לא נבחנה במסגרת מסמך זה
נזק חומרי כתוצאה מפליטת NO_x	התועלת המושגת כתוצאה מצמצום השפעה זו לא נבחנה במסגרת מסמך זה
נזק ליבול כתוצאה מ- SO_2 ו- NO_x	ברמות הפליטה הנוכחיות ישנו נזק מצומצם ליבול ביחס לנזק הנגרם מאוזון
נזק ליערות כתוצאה מאוזון	ישנו מחקר הבדק את הקשר בין עמידות יערות לבין ריכוזי אוזון, אך הערכת התועלת מהפחתת השפעה זו לא נכללה במסגרת מסמך זה
ניתוח חלוקתי	עדויות הקושרות בין אי צדק חלוקתי של זיהום אוויר שימשו בסיס להערכה זו
השפעות בריאותיות נוספות	ישנו קונצנזוס לגבי ההשפעה של מזהמים מסוימים על בריאות אך לא נעשתה הערכה כמותית נוספת. השפעות בריאותיות נוספות אשר לא נכללו בהערכה הכמותית: השפעה אפשרית של בנזן ו-1,3-בוטאדיאן על לויקמיה, השפעה אפשרית של בוטאדיאן על לימפומה והשפעה אפשרית של PAHs על סרטן הגרון.
ניתוח של תחרותיות והשפעה על עסקים קטנים	ניתוח התחרותיות נעשה על פי קווים מנחים של משרד הבריטי למסחר הוגן.

⁵³ הניתוח מתבסס על עבודה של ICP/MM (2004).

⁵⁴ QAS, Vol. 2, p. 166.

⁵⁵ ICP/MM (2004).

⁵⁶ Holland et al (1998)

⁵⁷ Rabl et al (1998)

⁵⁸ QAS, Vol. 2, p. 169.

1.4. אמצעי מדיניות

המטרה העיקרית של התוכנית הבריטית היא הצגת מסגרת מדיניות אשר תכלול חקיקה לצד מסגרות שאינן רגולטוריות כגון תמריצים כלכליים. מרבית צעדי המדיניות מתייחסים לשני הסקטורים האחראים לרוב זיהום אוויר - תחבורה וייצור אנרגיה, אך נלקחו בחשבון גם צעדים להפחתת פליטות ממקורות ביתיים.⁵⁹

1.4.1. אמצעי מדיניות נוכחיים

התכנית הבריטית הנסקרת במסגרת מסמך זה היא חלק ממאמץ מתמשך בתחום איכות האוויר והיא חלק ממערך החלטות ומדיניות קיים. להלן מובאת סקירה המתייחסת לתכניות קיימות או חוקים ורגולציות שעניינם הפחתת זיהום האוויר בבריטניה:

- **תחבורה** – התכנית ממשיכה להיות מחויבת לאסטרטגיית התחבורה הכוללת המוצגת ב"מסמך העוסק בעתיד התחבורה"⁶⁰ משנת 2004 המצהיר כי על התחבורה להפוך לנקייה יותר, שקטה יותר ופחות מזיקה לסביבה. ישנם שני תהליכים סותרים בעניין זה – מחד גיסא, התחבורה הופכת להיות נקייה יותר ויעילה יותר ומאידך גיסא כלי הרכב נוסעים יותר קילומטרים (הנסועה עולה). עם זאת קיימת הפחתה של 50% בכמות הזיהום הנפלט מכלי רכב בעשור האחרון כתוצאה מהתקנה האירופית החדשה ויש הערכה שעוד כ 25% יופחתו בעשור הקרוב. מלבד תכנון רשת תחבורה יעילה וירוקה יותר, הממשלה נוקטת במדיניות לתמרץ שימוש בדלקים נקיים יותר באמצעות מס פרוגרסיבי, למשל: תמריצי מס למנועים המשתמשים בדלק עם אחוז גופרית נמוך מאוד, שיעור מס נמוך לרכבי חברות, הקטנת שיעור מס "בלו" למכוניות "נקיות" יותר⁶¹ ותיחום אזורים בעייתיים במרכזי ערים בהם תיאסר כניסת משאיות או אוטובוסים שלא יעמדו בתקן מחמיר יותר.⁶²
- **תעשייה (בעיקר ייצור האנרגיה)** – הכלי המרכזי המסדיר את הפחתת כמות הפליטות בסקטור התעשייתי הוא החוק למניעה ופיקוח על זיהום (Pollution Prevention and Control Act) אשר משקף את הדירקטיבה האירופית (EU IPPC). ה - PPC מכסה כ - 4,300 מפעלים באנגליה ובוולס ובכלל זה בתי זיקוק, תחנות כוח, מפעליים כימיים, מפעלי מזון, חזירות ולולים גדולים. מירב הרגולציה מתבצעת על ידי רשויות הממשל ומקצתה על ידי הרשויות המקומיות.
- **תכנית למעבר לייצור דל-פחמן (Low Carbon Transitions Plan)**⁶³ – חוק שינוי אקלים הבריטי משנת 2009 הוא המסגרת החוקתית המחייבת הראשונה בעולם המנסה להתמודד עם תופעת שינוי האקלים דרך תכנית מיוחדת שנועדה להפחית את השימוש בפחמן בתעשייה (בעיקר בייצור חשמל) בשיעור של 80% בשנת 2050 לעומת הרמות שנמדדו בשנת 1990. למרות שהתכנית מסייעת בסופו של דבר גם לצמצום זיהום האוויר, חלק משלבי יישומה דווקא יעכבו את השיפור בזיהום אוויר. במסגרת תכנית זו מוצעים מספר צעדי מדיניות אשר מטרתם להוביל להפחתת הפליטות במגזרי התחבורה, חשמל, תעשייה, משקים, חקלאות ועוד.

⁵⁹ AQS, Vol. 1, p. 27

⁶⁰ The future of transport white paper, July 2004. the stationery office

⁶¹ AQS, Vol. 1, p. 28

⁶² AQS, vol 1, .40

⁶³ <http://www.defra.gov.uk/environment/quality/air/airquality/strategy/documents/air-pollution.pdf>

- **הקמת מנהל איכות אוויר מקומי (AQMA – Air Quality Management Area)** – הרשויות המקומיות נדרשות לפעול על מנת לעמוד ביעדי איכות האוויר שנקבעו. חוק הסביבה משנת 1995 קבע את הקמת מנהלי איכות אוויר מקומיים⁶⁴ (LAQM). החוק דורש מרשויות מקומיות לסמן אזורים בהם לא צפויה עמידה ביעדי איכות האוויר שנקבעו במסגרת התכנית הלאומית ולפעול לשם עמידה ביעדים. יש חשיבות רבה בשיתוף פעולה עם הרשויות המקומיות בשל הבעייתיות הקיימת בחריגות זיהום אוויר ב- hot spots, אשר בשל מדיניות "הפחתת החשיפה" הלאומית אינם מקבלים טיפול מספק. בעת פרסום התכנית האסטרטגית, הוגשו כ- 120 תכניות פעולה מקומיות לטיפול בחריגות זיהום אוויר. פעולת הרשויות המקומיות חשובה גם בתחום שיתוף מידע של איכות אוויר עם הציבור דרך אמצעי המדיה השונים. אמצעים נוספים: שימת דגש על איכות אוויר בהחלטות, שיתוף פעולה עם מפעילי תחבורה ציבורית, מידע לציבור, תכנון כבישים עוקפים אזורים בעייתיים ועוד.
- **תכנון** – מערכת התכנון ברחבי בריטניה שמה דגש רב על תכנון אסטרטגי, הן ברמה הלאומית והן ברמה המקומית. התכנון שם דגש על מגוון תכניות סביבתיות ביניהם ניסיון תכנוני להוריד את כמות הנסועה, בייחוד ברכב פרטי, על ידי נגישות לתחבורה ציבורית, נגישות לפארקים לאופניים ולהליכה ועוד.
- **אמצעים "רכים" (בחירה חכמה)**⁶⁵ – אמצעים "רכים" באים לסייע בבחירה מושכלת של נתיבי נהיגה, טיולי בית ספר, אזורי קניות, מקומות עבודה ותכנון טיולים אישי על מנת להוריד את כמות הנסועה הכללית ההכרחית. הפחתת הנסועה כתוצאה מאימוץ מדיניות של אמצעים "רכים" מוערכת בתרומה של £ 10 על כל השקעה של £1. עם זאת, למרות הרווח הכלכלי הניכר המצוי בעידוד בחירה חכמה הרי ששיעורו מסך הרווח הכלכלי עומד על שלושה אחוז בלבד, כ- 27 מיליון £. משרד התחבורה הבריטי תומך בשלל תכניות המקדמות בחירה חכמה כגון: השקעה ביוזמות טיולי בית ספר, תכנון ערי טיולים בנות קיימא ועוד.⁶⁶

1.4.2. צעדי מדיניות מוצעים במסגרת התכנית האסטרטגית⁶⁷

צעדי המדיניות החדשים המוצעים במסגרת התכנית האסטרטגית של 2007 מהווים למעשה שורה של תקנות המיועדות להביא להפחתה בפליטות מזהמים. שני המגזרים העיקריים אליהם מתייחסים האמצעים הם התחבורה וייצור החשמל אך כלולים גם מגזרים כגון משקים ביתיים והתעשייה. צעדי המדיניות המוצעים כוללים צעדי רגולציה, כגון אימוץ תקינה אירופית לפליטות מזהמים מכלי תחבורה, תמרוץ כלכלי לשימוש בכלי רכב "נקיים" יותר וגם צעדים נוספים כגון תכנון מערכת כבישי אגרה, תיחום אזורים המוגדרים כאזורים מעוטי פליטה ועוד. לגבי כל צעד נבחנה רמת צמצום הפליטה המשווערת, עלות יישומו, והשפעתו על קריטריונים נוספים. חישוב העלות לאמצעי המדיניות נעשה על פי ההשפעה על החברה בכללה ולא נלקחו בחשבון העברות בין סקטורים. לתעשייה ולאמצעים הקשורים למשקי הבית נלקחו בחשבון גם עלויות הון וגם עלויות תפעול. ההערכה של עלויות הקשורות לתחבורה לקחה בחשבון טכנולוגיות חדשות והשפעה ברווחה כתוצאה משינוי בנסועה. העלויות כוללות הן עלויות פיננסיות והן עלויות ברווחה ככל שניתן להעריך.

⁶⁴ Local Air Quality Management

⁶⁵ Department of transport, July 2004. "Smarter choices: Changing the way we travel".
<http://www.dft.gov.uk/pgr/sustainable/smarterchoices/>

⁶⁶ AQS, Vol. 1, p. 47.

⁶⁷ כל האמצעים שנבחנו הם צעדים לאומיים ולא צעדים מקומיים, למרות התרומה הרבה שעשויה להיות לצעדים מקומיים בהפחתת זיהום האוויר באזורי hot-spots אשר אינם עומדות ביעדי איכות האוויר.

טבלה 7. צעדי מדיניות שנבחנו בתכנית האסטרטגית של 2007

אמצעים (תחבורה)	תיאור
A – (Euro low)	תקן אירופי חדש ⁶⁸ VI/5 – עוצמה נמוכה
A2 – (Euro revised)	תקן אירופי חדש VI/5/6 – תרחיש מתוקן
B – (Euro high)	תקן אירופי חדש VI/5/6 – עצמה גבוהה
C – (early Euro low)	תמרוץ אימוץ מהיר של תקנים VI/V/5, מתבסס על מדד A. אמצעי זה בא לתמרץ כלכלית המעוניינים לרכוש רכב "נקי" יותר לפני התאריך המחייב קניית רכבים אלו
C2 – (early Euro revised)	תמרוץ אימוץ מהיר של התקן VI/V/5 – מתבסס על A2
D – (phase out)	תכנית תמריצים לגריטת הרכבים המזהמים ביותר
E – (LEV- Low Emission Vehicle)	כניסה נרחבת של רכבים מעוטי פליטה
F – (road pricing)	השפעה של תכנית לאומית לכבישי אגרה על זיהום אוויר
G – (LEZ – Low Emission Zone)	קביעת אזורי פליטה נמוכה בלונדון ובעוד שבעה אזורים עירוניים גדולים. נבדקו 3 תרחישים.
H – (retrofit)	התקנת מסנני חלקיקי דיזל ברכבי משא כבדים (HGV), ובצי הסעות (אוטובוסים וקרונות). נבחנו שלושה תרחישים.
אמצעים (תעשייה, ביתי, אניות)	תיאור
I – Domcom coal – (Domestic Combustion coal)	מעבר מבנזין לגז טבעי או שמן בתנורי בעירה ביתיים
J – (Domcom NOx)	תקינה מחמירה יותר עבור פליטת NOx ממתקני בעירה המשתמשים בגז.
K – (LCP – Large Combustion Plant)	חיוב התקנת סולקנים (SCR) לתחנות ייצור חשמל גדולות. נבחנו שני מדדים בנפרד.
L – (SCP– Small Combustion Plant)	חיוב הפחתת פליטות של תחנות חשמל קטנות על ידי שימוש בדלק דל-גופרית
M – (VOC)	הפחתת פליטות של VOC בבריטניה ב - 10% על ידי חיוב שימוש בטכנולוגיות שונות בשנת 2010
N – (shipping)	הפחתת פליטות באמצעות שימוש בדלק דל-גופרית
אמצעים (שילוב אמצעים)	תיאור
O – (Early Euro low + LEV)	שילוב צעדים C+E
P – (Early Euro low + SCP)	שילוב צעדים C+L
Q – (Early Euro low + LEV + SCP)	שילוב צעדים C+L+P

⁶⁸ יורו 5, יורו 6, יורו V ויורו VI הם תקנים אירופים להגבלת הפליטות מכלי רכב. התקנים המסומנים בספרות הודיות-ערביות (1,2,3,...), למשל יורו 5 ויורו 6, מתייחסים לרכבי נוסעים ולרכבים מסחריים קטנים (Light Commercial Vehicle or Light Duty Vehicle) עד למשקל מקסימאלי של 3.5 טון. התקנים המסומנים בספרות הרומיות (I,II,III,...), למשל יורו V ויורו VI, מתייחסים לרכבים מסחריים כבדים (Heavy Duty Vehicle) אשר נמדדים בקטגוריות של כוח מנוע.

C2+E+N – שילוב צעדים	R – (Early Euro revised + LEV + shipping)
----------------------	---

1.4.3. דוגמה: ניתוח כללי מקוצר של צעד מדיניות A⁶⁹

מכיוון שצעדי המדיניות המשמעותיים ביותר המוצעים לעיל מתייחסים לצמצום פליטות מסקטור התחבורה, מובאת דוגמה המפרטת מספר הנחות והסברים לגבי הניתוח הכלכלי של אמצעי המדיניות A – אימוץ מצומצם⁷⁰

יחסית של התקן האירופי יורו 5 לרכבים מסחריים קלים (LDV) ואת תקן יורו VI לרכבי דיזל כבדים:

○ **רכבים בתכנית** – החישוב מתבצע עבור רכבים חדשים הנכנסים לצי הרכבים לאחר תאריך כניסת התקן (שנת 2010 לתקן יורו 5 ושנת 2013 לתקן יורו VI).

○ **הערכת הפליטות** – נעשתה במחקר של המרכז הלאומי (הבריטי) לטכנולוגיה סביבתית⁷¹ אשר העריך את ההשפעה של הכנסת הטכנולוגיה הקיימת להפחתת פליטות לצי הרכב הקיים.

○ **הנחת צמצום הפליטות** – הנחת צמצום הפליטות נעשתה ביחס לתקן יורו 4 עבור LDV ותקן יורו V עבור HDV ונמדדה ביחס לתרחיש מצב המוצא (עסקים כרגיל):

א. 20% צמצום בפליטות NOx עבור כל LDV דיזל החדשים.

ב. 90% צמצום בפליטות PM עבור LDV דיזל חדשים.

ג. 50% צמצום פליטות NOx עבור HDV דיזל חדשים.

○ **רווח כלכלי** – הערכת הרווח הכלכלי כתוצאה מהפחתת הפליטות נעשה בהתאם "לגישת מסלול ההשפעה" המתוארת בפרק המתודולוגיה, סעיף 1.3.2.

○ **טכנולוגיה** – עלות הטכנולוגיה עבור יישום צעד מדיניות A מוערכת ב-268-262 מיליון ליש"ט. חישוב העלות עבור צעדי מדיניות בתחום התחבורה לוקח בחשבון את הטכנולוגיה המוכרת כיום ולא שיפורים טכנולוגיים עתידיים. העלויות מחושבות על פי ייצור המוני ותשואה קבועה לגודל. מכיוון שעלות השיפור הטכנולוגי מעלה את עלויות הייצור הנקודתיות לעומת התועלת מכך המצטברת על פני שנים, חישוב עלות הטכנולוגיה מחולק למספר שנות הפעילות של הרכב.

○ **כלכלת דלק (fuel economy)** – עלות השפעת כלכלת הדלק (השפעה שלילית וצריכת דלק מוגברת במקרה זה) מוערכת ב-120-119 מיליון ליש"ט. כלכלת דלק פירושה שקיימת השפעה של יעילות צריכת הדלק על

⁶⁹ פירוט מלא של ניתוחי עלות-תועלת של אמצעי זה ושאר האמצעים הנכללים בתכנית, מצויים בפרק 3 של התכנית הכלכלית לתכנית האסטרטגית.

⁷⁰ חלק מהנתונים אשר נלקחו בחשבון בניתוח צעדי המדיניות נמצאים בשלבי חקיקה ולא נקבעו עדיין בחוק. על כן כאשר נבחן, למשל, תרחיש אימוץ התקינה האירופית החדשה נלקחו בחשבון שלושה תרחישים: תרחיש של סטנדרט הפחתת פליטה מצומצם – A, תרחיש של סטנדרט פליטה המתאים יותר להצעות הקיימות כיום – A2, ותרחיש של תקן הפחתת פליטה מחמיר יותר – B.

⁷¹ Stedman et al (2006), 'Projections of Air Quality in the UK for Additional Measures Scenarios for the 2005 Review of the Air Quality Strategy', National Atmospheric Emissions Inventory, AEA Technology, National Environmental Technology Centre. Report AEAT/ENV/R/1986.

כמות הנסועה ברכב. ככל שצריכת הדלק יעילה יותר כתוצאה מהכנסת האמצעים הטכנולוגיים הנבחרים במסגרת צעדי הפחתת הפליטות (השפעה חיובית), כך יש תמריץ לנסוע יותר ולהיפך (השפעה שלילית) – כאשר ישנה השפעה חיובית של כלכלת דלק, יורדת העלות השולית של כל ק"מ נסועה וגדל הביקוש לק"מ נסועה (השפעת ריבאונד rebound effect). לדוגמה, כאשר הגמישות של השפעת הריבאונד היא 0.2 (-) והאמצעי המותקן מביא להפחתת פליטות של 5%, כמות הפליטות הסופית תקטן ב 4% מכיוון שהתגובה המשוערת להשפעה חיובית על כלכלת דלק היא מרחק נסיעה רב יותר – צעד המדיניות A צפוי להיות בעל השפעה שלילית על כלכלת דלק ולהוביל לירידה נוספת בפליטת מזהמים כתוצאה מעליה בעלות השולית של ק"מ וירידה בנסועה.

- **השפעת הרווחה – הפגיעה ברווחה לצעד זה מוערכת במיליון ליש"ט.** לרמת הוצאה נתונה, ירידה (או עלייה) בכלכלת הדלק פירושה אבדן (או תוספת) מרחק נסיעה והפסד (או תוספת) רווחה חברתי. מדדים אלו מחושבים על ידי הערכה של שינוי עודף הצרכן כתוצאה משינוי בעלות הק"מ השולי ובמרחק הנסועה הכולל.

טבלה 8. סיכום ההשפעות הרפואיות והכלכליות כתוצאה מיישום צעד מדיניות A

סך עלות יישום המדיניות – 382-389 מיליון £	חיסכון בשנות חיים (שיעור הפחתת סיכון - 6%)	PM - אשפוז במחלקות נשימה	PM - אשפוז במחלקות לב וכלי דם	תמותת אוזון	O ₃ – אשפוז במחלקות נשימה	פחמן
אם לא מצוין אחרת - מקרים לשנה (משנת 2020) (באלפי שנים)	1225-2338 (סה"כ לשנים 2010-2109)	203	203	(277)-(25)	(320)-(29)	(500) טונות (בשנה)
ערך נוכחי נקי (במיליוני £)	518-1219	1-3	1-3	(0.4)-(0.12)	(5)-(0.09)	(46)
• מספרים המופיעים בסוגריים מעידים על השפעה שלילית • ההשפעות השליליות באוזון נובעות מעלייה באוזון כתוצאה מהכנסת צעד זה. • בנוסף, ישנו רווח כספי של כ-4 מיליון £ כתוצאה מהפחתת הנזק ליבול ולנכסים.						

1.4.4. השפעות נוספות של צעדי המדיניות

מלבד הניתוח הכלכלי, נבדקו גם השפעות נוספות של צעדי המדיניות המוצעים בתכנית:

- **חריגות:** במסגרת התכנית נבדקה ההשפעה של צעדי המדיניות על יעדי איכות האוויר שנבחנו בתכנית בדגש על יכולת העמידה ביעדים והפחתה באזורים המוגדרים כאזוריים בעייתיים. מודל של פליטות וריכוזי מזהמים מאפשרים ניתוח של השפעת החריגות על ניתוח העלות-תועלת. ההערכות על רמות הרקע מאפשרות את אמידת החשיפה של האוכלוסייה לזיהום לעומת הערכת ריכוז ליד הכבישים שמהווה מדד לשיא ריכוזים ללא קשר לחשיפת האוכלוסייה.
- **מערכות אקולוגיות:** נבחנו השפעתם של צעדי מדיניות שונים על מערכות אקולוגיות. מכיוון שלא ניתן לכמתן, מוצגות השפעות אלו במונחים של רמות קריטיות.
- **השפעות איכותיות:** ישנן השפעות אשר לא ניתן היה לכמתן ועל כן ניתנה לגביהן הערכה איכותנית לגבי השפעת הצעדים על תחומים אלו.

טבלה 9. סיכום השפעות כלכליות של חלק מצעדי המדיניות המוצעים

אמצעי	ענ"ן (מיליון £) ⁷²	הערכת חריגה (ליעדים פרטניים)	הערכת השפעה על מערכות אקולוגיות	השפעות משמעותיות איכותיות על הענ"ן
A (Euro low)	80 - 801	בין 44%-100%	השפעה חיובית משמעותית	ה"ח, +
A2 (Euro revised)	(264) - 539	בין 46%-100%	השפעה חיובית משמעותית	ה"ח, +
B (Euro high)	(432) - 514	בין 62%-100%	השפעה חיובית משמעותית	ה"ח, +
C (Early Euro low)	148 - 947	בין 47%-100%	השפעה חיובית משמעותית	ה"ח, +
C2 (Early Euro revised)	(246) - 595	בין 48%-100%	השפעה חיובית משמעותית	ה"ח, +
D1 (phase out)	(4) - (3)	בין 44%-100%	אין השפעה משמעותית	ה"ח, +, ר, ה"ב+
D2 (phase out)	(97) - (93)	בין 0.4%-5%	אין השפעה משמעותית	ה"ח, +, ר, ה"ב+
E (LEV)	63 - 112	בין 9%-3%	אין השפעה משמעותית	ה"ח, +, ר
F (road pricing)	-	בין 67%-3%	אין השפעה משמעותית	ה"ח, +, ר
G1 (LEZs, London phase 1)	(33) - (1)		אין השפעה משמעותית	ה"ח, +, ר, ת-, ע"ק-
H – (Retrofit - 67%)	(33)-(17)	בין 44%-100%	אין השפעה משמעותית	ה"ח, +
I – Domcom coal	(23)-(15)		אין השפעה משמעותית	ה"ח, +, ת-, ע"ק-, ה"ב+
J – (Domcom NOx)	(179)-(148)	בין 0%-5%	אין השפעה משמעותית	ה"ח, +
K2 – (LCP – Large Combustion Plant)	(232)-(139)	בין 0%-15%	השפעה חיובית משמעותית	ת-
L – (SCP– Small Combustion Plant)	18-57	בין 0%-8%	אין השפעה משמעותית	ה"ח, +, ע"ק-
M - (VOC)	(249)-(248)		אין השפעה משמעותית	
N – (shipping)	245-576	בין 1%-38%	השפעה חיובית משמעותית	
O - (Early Euro low + LEV)	186-978	בין 50%-100%	השפעה חיובית משמעותית	ה"ח, +, ר
P - (Early Euro low + SCP)	163-1,000	בין 52%-100%	השפעה חיובית משמעותית	ה"ח, +, ע"ק-
Q - (Early Euro low + LEV + SCP)	203-1,053	בין 52%-100%	השפעה חיובית משמעותית	ה"ח, +, ר, ע"ק-
R - (Early Euro Revised + LEV + Shipping)	33-1,211	בין 56%-100%	השפעה חיובית משמעותית	ה"ח, +, ר

⁷² התוצאות מוצגות בצורה של טווח אשר משקף את אי הודאות ואת ההנחות השונות בנוגע לזמן ההשפעה בין הפחתת הזיהום לבין תוחלת החיים. התחום העליון של התועלות משקף מיינום זמן בין הפחתת הזיהום לבין השפעה על תוחלת החיים. התחום התחתון משקף פרק זמן של ארבעים שנה בין השניים. ניתן לראות מספר מדדים בהם יש רווח ברור לצד מדדים בהם הגבול התחתון הוא שלילי. עם זאת ההצהרות האחרונות של COMEAP מדברות על כך שלמרות הממצאים המוגבלים מירב ההשפעה בין הפחתת הזיהום לתמותה מתרחשת בשנים הראשונות ועל כן יש להניח שהמספרים קרובים יותר לקצה העליון של הסקאלה.

- ה"ח – השפעה חברתית
- ר – רעש
- ת – תחרותיות
- ע"ק – עסקים קטנים
- ה"ב - השפעות בריאותיות

טבלה 10. אמצעים נוספים שנדונו

אמצעים נוספים	תיאור האמצעים
אמצעים חדשים אשר יעברו בחינה מדוקדקת (המודלים מראים שייטכן ובצעדים אלו גלומה תועלת כלכלית וסביבתית רבה)	C – תמריצים לקליטה מוקדמת של רכבים "נקיים" על פי התקינה האירופית.
	E – קליטה מוגברת של רכבים מעוטי פליטה
	N – הפחתת פליטות מאוניות
אמצעים אשר בהם נדרשת עבודה נוספת (ערכים אשר צריכים לעבור התאמה ופיתוח נוסף – צעדים אלו עלולים להיות בעלי יחס עלות תועלת חיובי ובעלי השפעה סביבתית חיובית)	F – תכנית כבישי אגרה לאומית
	G – תיחום אזורים מעוטי פליטה (לונדון ושאר אזורים)
	H – הכנסת מסנן חלקיקים קטליטי לזיזל לרכבים כבדים (HDV)
	L – הפחתת פליטות ממפעלי בעירה קטנים
אמצעים בעלי תועלת סביבתית אך שלא נבחנו יותר משום שאינם כלכליים (ייתכן ויש בצעדים אלו תועלת סביבתית אך הם אינם בעלי תועלת כלכלית בשלב זה ואינם צפויים להימצא תחת בחינה בשלב זה)	D1, D2 – תכנית לגריטת רכבים מזהמים ביותר
	I – תכנית למעבר מבנזין לגז ושמן בתנורי בעירה ביתיים
	J – תקינה למוצרים לבוילרים ביתיים
	K1 – עידוד התקנת ממיר קטליטי (SCR) בתחנות כוח פחמיות
	K2 – התאמת SCR בתחנות כוח הפועלות על גז, במפעלי ברזל ופלדה ובבתי זיקוק על פחם
	M – הפחתת פליטת תרכובות אורגניות נדיפות VOC

פרק 2. סקירת תוכניות לצמצום זיהום אוויר בארה"ב

2.1 רקע כללי

בשנת 1963 חוקק לראשונה בארה"ב חוק אוויר נקי (Clean Air Act). מאז, תוקן ועודכן החוק פעמים רבות, כאשר התיקונים המשמעותיים ביותר התבצעו בשנים 1970 ו-1990. במקביל לתיקון בשנת 1970 (שהרחיב מאוד את תחולת החוק ו"נתן לו שיניים") הוקמה הרשות להגנת הסביבה (Environmental Protection Agency – EPA), עליה הוטלה האחריות לדאוג ליישום החוק. חוק אוויר נקי בארה"ב מחייב את ה-EPA לנקוט בכל הפעולות הנדרשות לשם מניעת נזקים לבריאות הציבור ולרווחתו עקב זיהום אוויר. זהו הבסיס החוקי לכל תוכניותיו ופעולותיו של ה-EPA (ובכלל זה התקנים אשר יוצגו לעיל, והתוכניות השונות אשר יוצגו בפירוט בסעיף 6), ועל רקע זה הן נבחנות – האם התוכנית מקדמת עמידה בתקנים המבטיחים את בריאות הציבור ורווחתו. לצורך עמידה בהוראות "חוק אוויר נקי" ה-EPA פועל לשמירה על איכות האוויר באמצעות מגוון רחב של תוכניות ותקנות. לכל הידוע לנו, ה-EPA אינו מציג תכנית אסטרטגית אחת המרכזת את כל האמצעים לצמצום זיהום אוויר תחת קורת גג אחת אלא מפעיל מספר תוכניות מרכזיות גדולות במקביל, להלן יוצגו החשובות שבהן. חשוב להזכיר, כי לצד הרגולציה של מזהמי אוויר מסורתיים, לאחר שנים של מאבקים פוליטיים ומשפטיים, החל בשנה האחרונה ה-EPA לעסוק גם ברגולציה של פליטות גזי חממה במסגרת סמכויותיו מתוקף חוק אוויר נקי. מסמך זה לא יעסוק בתחום זה ויתמקד ברגולציה של מזהמי האוויר המסורתיים.

2.2. המזהמים הכלולים בתוכנית ויעדיה

2.2.1 ששת המזהמים הנפוצים

ה-EPA קובע תקנים לאומיים מחייבים לששה מזהמים נפוצים – National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). באופן עקרוני, על ה-EPA לקבוע לכל מזהם תקן ראשי שנועד להגנה על בריאות הציבור, ותקן משני שנועד להגנה על רווחת הציבור (תקן המשקלל גורמים כגון פגיעה בחקלאות, במערכות אקולוגיות במבנים ובראות (visibility)).⁷³ ערכי התקן הראשיים העדכניים מפורטים בטבלה הבאה:

טבלה 11. תקנים לאומיים מחייבים לששה מזהמים נפוצים⁷⁴

מזהמים	גרם למטר מעוקב (מיקרו- $\mu\text{g}/\text{m}^3$ אוויר) – אלא אם מצוין אחרת	כמות חריגה שנתית מותרת	זמן מיצוע	הערות
פחמן חד-חמצני (CO)	9 ppm ($10\text{mg}/\text{m}^3$)	פעם אחת בשנה	8 שעות (ממוצע שעות)	
	35 ppm ($40\text{mg}/\text{m}^3$)	פעם אחת בשנה	1 שעה	
עופרת (Lead)	0.15	פעם אחת ב-3 שנים	שלושה חודשים (ממוצע רץ)	
חנקן דו-חמצני (NO_2)	53 ppb		שנתי (ממוצע שעות)	
	100 ppb		1 שעה	על מנת לעמוד בתקן זה, הממוצע התלת-שנתי של האחוזון ה-98 של המקסימום החד-שעתי היומי בכל תחנת מדידה על פני שנה צריך להיות נמוך מ-100ppb.
חלקיקים (PM_{10})	150	פעם אחת בשנה בממוצע על פני שלוש שנים	יממה (ממוצע שעות)	
חלקיקים ($\text{PM}_{2.5}$)	15		שנתי (ממוצע שעות)	על מנת לעמוד בתקן, הממוצע התלת-שנתי של הממוצע המשוקלל השנתי לכל האזור צריך להיות נמוך מ- $15\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$
	35		24 שעות	על מנת לעמוד בתקן זה, הממוצע התלת-שנתי של האחוזון ה-98 של ממוצע הריכוז היומי בכל תחנת מדידה באזור מיושב על פני שנה צריך להיות נמוך מ- $35\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$
אוזון (O_3)	0.075 ppm		8 שעות (ממוצע שעות)	על מנת לעמוד בתקן זה, הממוצע התלת-שנתי של היום עם ריכוז האוזון ה-8 שעותי הרביעי הכי גבוה בשנה צריך להיות נמוך מ-0.075 ppm.

⁷³ בפועל, למעט במקרה של גופרית דו-חמצנית, ערכי התקן המשניים שנקבעו זהים לערכי התקן הראשוני. עבור גופרית דו-חמצנית, ערך התקן שנקבע הוא 0.5ppm על פני שלוש שעות (כאשר מותר לחרוג מתקן זה לכל היותר פעם אחת בשנה).

⁷⁴ הערכים בטבלה משקפים את התקנים העדכניים ביותר; לצרכי יישום תוכניות שונות, עדיין תקפים עבור חלק מהמזהמים גם תקנים קודמים (באופן עקרוני התקנים העדכניים מחמירים יותר, אך עקב שינויים בצורת ומשך זמן המדידה, ייתכנו מקרים ספציפיים בהם התקנים הקודמים דווקא מחמירים יותר).

גופרית דו-חמצנית (SO ₂)	75 ppb	1 שעות	על מנת לעמוד בתקן זה, הממוצע התלת-שנתי של האחוזון ה-99 של המקסימום החד-שעתי היומי בכל תחנת מדידה באזור במשך שנה צריך להיות נמוך מ-75 ppb
-------------------------------------	--------	--------	--

2.2.2. עדכון התקנים למזהמים הנפוצים

אחת לכמה שנים, בוחן ה-EPA באופן מקיף את התקנים הקיימים למזהמים הנפוצים, ובמידת הצורך מעדכן אותם.⁷⁵ תהליך הבחינה והעדכון מתקיים בנפרד (ובזמנים שונים) עבור כל מזהם, זהו תהליך מסודר ושקוף הפתוח למעורבות ופיקוח הציבור. התהליך מתחיל בניתוח כל המחקרים המדעיים המוכרים שבדקים את השפעתו של המזהם על בריאות הציבור ועל רווחתו. המחקרים הבוחנים את הקשר הסטטיסטי בין ריכוזים שונים של המזהם באוויר לבין מקרי תמותה מוקדמת ותחלואה (וכן בין ריכוזי המזהם לבין נזקים נוספים, כגון פגיעה בראות (visibility), בחקלאות ובמערכות אקולוגיות). בסוף שלב זה מתפרסם דו"ח מסכם מקיף המוצג לציבור, וכן לעיונה הביקורתי של ועדה מייעצת. בשלב הבא, ועל בסיס דו"ח זה, המחלקה המקצועית הרלוונטית ב-EPA מפרסמת מסמך המקשר בין הממצאים המדעיים לבין אמצעי מדיניות אפשריים שונים (תקנים מחמירים יותר או פחות), תוך הצגת המלצות בעניין. בפרט, מסמך זה כולל התייחסות לשאלה האם יש לשנות את התקנים הקיימים, ואם כן – כיצד. גם מסמך זה מוצג לציבור ולוועדה המייעצת. בשלב האחרון, מקבלי ההחלטות ב-EPA נדרשים לקבל החלטה בנושא ולקבוע כיצד (אם בכלל) יעודכנו התקנים.

2.2.3. קריטריונים לקביעת תקנים

על פי חוק אוויר נקי, ה-EPA מחויב לקבוע תקנים חיוניים לשמירה על בריאות הציבור (תקנים ראשיים) ורווחתו (תקנים משניים). במסגרת הליך זה ה-EPA אינו רשאי לערב שיקולי עלויות כלכליות. בכל הנוגע לקביעת התקנים הראשיים, השאלה היחידה הועמדה בפני ה-EPA היא האם קיים מידע מבוסס המחייב קביעת תקן מחמיר יותר לשמירה על בריאות הציבור. עם זאת, וכפי שיתואר בהמשך, ה-EPA מציג גם ניתוח עלות-תועלת לגבי ההשלכות הכלכליות של אימוץ תקן חדש, וזאת לטובת מקבלי ההחלטות בדרג הפוליטי והציבור בכללותו. דוגמה לתהליך ניתן לראות למשל בעדכון התקנים לפליטות חלקיקים (PM_{2.5} ו-PM₁₀). בשנת 1997 נקבעו התקנים הקודמים בעניין:

- תקן מקסימום יומי של 65 µg/m³ ותקן שנתי ממוצע של 15 µg/m³ עבור PM_{2.5}.
- תקן מקסימום יומי של 150 µg/m³ ותקן שנתי ממוצע של 50 µg/m³ עבור PM₁₀ כאשר התקנים המשניים זהים לתקנים הראשיים.

בשנת 2004 החל תהליך הבחינה והעדכון של התקנים. מחקרים שהתפרסמו מאז קביעת התקנים הקודמים ב-1997 ועד תחילת תהליך הבחינה סיפקו חיזוק להערכה כי חשיפה לחלקיקים גורמת נזקים בריאותיים, וזאת אף ברמות נמוכות מהתקנים שנקבעו. לאור זאת, נבחנו תקנים פוטנציאליים שונים, כאשר המסקנה הסופית הייתה כי תקן מקסימום יומי לריכוז PM_{2.5} מחמיר יותר יצמצם משמעותית (עד קרוב ל-0%) את הסיכונים הבריאותיים לציבור מחשיפה לחלקיקים. לאור זאת, הוחלט להחמיר את תקן המקסימום היומי מ-65 µg/m³ ל-35 µg/m³. במקביל, הוחלט להשאיר על קנם את התקן השנתי ל-PM_{2.5} ואת תקן המקסימום היומי ל-PM₁₀, לאור המסקנה

⁷⁵ באופן עקרוני, בחינה זו צריכה להיערך אחת לחמש שנים, אם כי נראה שבפועל לעתים פרק הזמן בין בחינה לבחינה מעט ארוך יותר

כי תקנים אלו (בשילוב התקן החדש למקסימום יומי ל- $PM_{2.5}$) מספיקים על מנת לשמור על בריאות הציבור. התקן השנתי ל- PM_{10} בוטל לאור המסקנה כי אין בו תועלת לבריאות הציבור מעבר לתועלות המושגות באמצעות התקנים האחרים.

2.2.4. מזהמי אוויר רעילים (Toxic Air Pollutants)

בנוסף לששת המזהמים הנפוצים, ה-EPA מנהל רשימה של מזהמי אוויר רעילים, אשר כוללת כיום 188 חומרים. על מנת לצמצם ככל הניתן את הפליטות של חומרים אלו, מגדיר ה-EPA תקנות ואמצעים להגבלת הפליטות בענפי תעשייה שונים. תקנות מסוג זה הוגדרו עבור למעלה מ-80 ענפי תעשייה (כגון תעשיית התרופות, הניקוי היבש, זיקוק נפט, תחנות הדלק, והצמר). התקנות עשויות לכלול הן מגבלות כמותיות על היקף פליטת המזהמים, והן הוראות בנוגע לאמצעים ולטכנולוגיות לצמצום פליטות בהם מחויבים המפעלים להשתמש. הבסיס לתקנות אלו היא תוכנית NESHAP (National Emissions Standards for Hazardous Air Pollutants). על פי תוכנית זו, הבסיס לקביעת התקנות הוא עקרון השימוש בטכנולוגיית הבקרה הטובה ביותר הריאלית (Maximum Achievable Control Technology - MACT). תפקידו של ה-EPA הוא לקבוע עבור כל ענף תעשייתי אילו טכנולוגיות עונות להגדרה זו. לאחר קביעת תקנים ודרישות המבוססים על עקרון ה-MACT, על ה-EPA לבחון האם בכך מובטחת שמירה על בריאות הציבור. במידה והתשובה היא שלילית, על ה-EPA לקבוע תקנות נוספות, המתבססות הפעם ישירות על עיקרון השמירה על בריאות הציבור. באופן דומה, אם מתגלה שהתקנות המבוססות על ה-MACT אינן מספיקות לשם מניעת נזקים סביבתיים, ה-EPA נדרש לקבוע תקנים על בסיס הגנת הסביבה.

2.2.5. עמידה המחוזות ביעדי התכנית

מדד ההצלחה הבסיסי הוא שמירה על בריאות ורווחת הציבור, וזאת על רקע המידע המדעי העדכני ביותר אודות הסיכונים הנגרמים מזיהום אוויר. על מנת להבטיח זאת, אחראי ה-EPA על מערך הניטור והמדדה של זיהום האוויר בארה"ב (מי שמתפעל את תחנות המדידה בפועל הן הרשויות הסביבתיות הפועלות ב-50 המדינות, אך ה-EPA מפקח על עמידתן בסטנדרטים הרצויים). הקריטריון המרכזי להשגת היעדים הוא עמידה בתקנים הלאומיים לששת המזהמים העיקריים ברמת המחוז (כאשר ארה"ב מחולקת ל-3,143 מחוזות). עבור כל אחד מששת המזהמים, ה-EPA מחלק את המחוזות לשתי קבוצות: מחוזות העומדים בערכי התקן (attainment) ומחוזות שאינם עומדים בערכי התקן (non-attainment). ה-EPA מפרסם חלוקה זו ברבים והיא גלויה לציבור. עבור מחוזות שאינם עומדים בערכי התקן (עבור מזהם אחד או יותר) נדרשת המדינה בו שוכן המחוז להציג תוכנית פעולה לתיקון המצב (וראו הרחבה בנושא זה בסעיף 2.4.1). בנוסף, במחוזות שאינם עומדים בערכי התקן יכול ה-EPA לקבוע תקנים ומגבלות מחמירים יותר מהסטנדרטיים הלאומיים בתחומים שונים (למשל, פליטות ממפעלים או מכלי רכב).

כאשר אזור מסוים איננו עומד בתקנים, מוקצב למדינה בה הוא נמצא פרק זמן מוגדר על מנת לתקן את המצב, כאשר לרוב מדובר בפרקי זמן ממושכים יחסית של 5-15 שנה. בנוסף, על המדינה להציג תוכנית לתיקון

המצב, הכוללת גם יעדי ביניים לתקופה קצרה יותר של שלוש שנים. בחינת העמידה בתקנים נעשית בראיה ארוכת טווח ולא נקודתית. מרגע שמחוז מסווג כמחוז שאינו עומד בערכי התקן שנקבעו, הוא נתון למעקב מיוחד של הממשל למשך תקופה של מספר שנים. גם כאשר מסתמן כי המחוז מצליח לעמוד בערכי היעד שנקבעו, הוא אינו יוצא מיד מרשימת המחוזות שאינם עומדים בתקנים, אלא מסווג תחילה כמחוז 'תחזוקה' (maintenance) – כלומר מחוז שהצליח לשפר את מצב זיהום האוויר עד כדי עמידה בערכי התקן, אך אשר יש עוד להקפיד לגביו מעבר לסטנדרטים הלאומיים על מנת לוודא שהמצב אינו מתדרדר שוב. העמידה בתקנים נבחנת באופן רציף והתקנים עצמם מתעדכנים אחת לכמה שנים, כפי שיתואר בהמשך.

2.3. מתודולוגיה לקבלת החלטות וניתוח עלות-תועלת

כאמור, העיקרון המנחה את ה-EPA בקביעת התקנים הוא עקרון שמירה על בריאות ורווחת הציבור. לאור זאת, הוא נדרש לבחון מעת לעת את המידע המדעי העדכני ביותר בנוגע להשפעת זיהום האוויר על הבריאות, ולעדכן לאור מידע זה את התקנים. להלן מוצגים עיקרי התהליך:

2.3.1. ניתוח עלות-תועלת לתקנים חדשים

למרות האיסור החל על ה-EPA להתייחס לשיקולי עלויות כלכליות בעת קביעת התקנים, כאמור בסעיף 2.2.3 הרי ה-EPA מחויב לפרסם ניתוח עלות-תועלת כלכלי של יישום התקנים החדשים (כמו גם של כל החלטת מדיניות אחרת), וזאת לטובת הציבור ומקבלי ההחלטות הפוליטיים.⁷⁶ ניתוח זה נקרא Regulatory Impact Analysis (RIA) וכולל מידע מקיף ומפורט לגבי אופן חישוב כל התועלות והעלויות הכרוכות בהחלטת הרגולציה. כך, כולל הדו"ח ניתוח של כלל ההשפעות הכלכליות הכרוכות בהחלטה שהתקבלה, בהשוואה למצב הקיים וכן ביחס להחלטה אפשרית מחמירה יותר. להלן מוצגים עיקרי דו"ח מסוג זה עבור הדוגמה שהובאה לעיל – החמרת תקן המקסימום היומי לפליטות PM_{2.5} – שנכנסה לתוקף בשנת 2006.

2.3.2. ניתוח תועלות (כתוצאה מהפחתת הנזק) עבור החמרת התקן ל-PM_{2.5}

ניתוח עלות-תועלת נערך עבור מזהמים שונים. טבלה 12 מציגה כדוגמה את הערכים המרכזיים שחושבו עבור התועלות השונות הכרוכות ביישום התקן המחמיר יותר לפליטות PM_{2.5}. הנתונים מתייחסים לשנת 2020 – שנת היעד לעמידה של כל האזורים בארה"ב בתקנים. חשוב להדגיש עם זאת, כי הערכים בטבלה הם כאמור רק הערכים המרכזיים – בפועל, חישוב התועלת הכלכלית הכוללת מתבסס על שקלול טווח רחב של תועלות אפשריות, הן בהיבט התועלות עצמן (מספר המקרים הנחסכים מכל סוג), והן בהיבט הערך הכלכלי של כל סוג תועלת, וזאת באמצעות שיטת מונטה-קרלו. כלומר, נלקחה בחשבון העובדה כי אין ודאות לגבי מספר המקרים מכל סוג שייחסכו עקב יישום התקן החדש, אלא קיים טווח אפשריות. באופן דומה, נלקח בחשבון שאין ערך כלכלי מוסכם וברור לכל סוג תועלת, אלא קיים טווח ערכים אפשרי. למשל, הסכום התועלות הכולל בעקבות יישום עתידי של התקן המחמיר (בשנת 2020) יעמוד על בין 9 מיליארד \$ ל-76 מיליארד \$. מעל 80% מסכום זה

⁷⁶ חשוב לציין כי דו"ח עלות-תועלת מסוג זה מוצג עבור כל החלטה רגולטורית משמעותית של ה-EPA (ולא רק בעת קביעת תקני מזהמים לאומיים).

מיוחס לערך הכלכלי של מניעת מקרי מוות מוקדמים. בנוסף, חושב גם ערך עבור התועלת שבשיפור הראות (visibility) באזורי טבע ופארקים ציבוריים, וזאת על בסיס מחקרים שבדקו בעבר את הנכונות של פרטים לשלם (WTP) עבור תועלת זו.

טבלה 12. התועלות הצפויות מיישום התקן המחמיר עבור $PM_{2.5}$
(ביחס לתקן שהיה בתוקף קודם לכן) 77

סוג תועלת	מקרים נחשבים בשנה	הערך הכלכלי של מקרה נחשך (\$ ברמת הכנסה של 2020)	בסיס חישוב הערך הכלכלי
מוות מוקדם (לאנשים הסובלים ממחלות לב-ריאה)	1,200-13,000	8,900,000	ערך מרכזי על סמך 26 מחקרים שהעריכו את מוכנות הפרט לשלם (WTP/WTB) עבור ירידה בסיכון או מה הפיצוי שהפרט דורש עבור תוספת סיכון בעבודה
ברונכיט כרונית	2,600	420,000	מחקרים שבחנו נכונות לשלם (WTP) על מנת להימנע ממחלות
התקפי לב לא-קטלניים	5,000	65,293-140,649 (כתלות בגיל ובהנחות נוספות)	עלות טיפול רפואי + אובדן הכנסה בחמש השנים שלאחר ההתקף
אשפוזים – מחלות במערכת הנשימה	530	12,378-6,634 (כתלות בסוג המחלה)	עלות טיפול רפואי + אובדן הכנסה
אשפוזים – מחלות כלי דם	1,100	18,387	עלות טיפול רפואי + אובדן הכנסה
ביקורים בחדר מיון עקב אסטמה	1,200	286	עלות טיפול רפואי
תסמינים רפואיים שאינם דורשים ביקור בבית חולים:			
תסמינים בדרכי הנשימה העליונות	28,000	25	מחקרים שבדקו נכונות לשלם על מנת להימנע מהתסמינים
תסמינים בדרכי הנשימה התחתונות	38,000	16	מחקרים שבדקו נכונות לשלם על מנת להימנע מהתסמינים
סיבוכי אסטמה	51,000	42	מחקרים שבדקו נכונות לשלם על מנת להימנע מהתסמינים
ברונכיט אקוטית	7,300	360	מחקרים שבדקו נכונות לשלם על מנת להימנע מהתסמינים
אובדן ימי עבודה ולימודים	350,000	110 (יום עבודה)	על בסיס השכר החציוני באזורים שונים של ארה"ב
ימי פעילות מוגבלת	2 מיליון	51	מחקרים שבדקו נכונות לשלם על מנת להימנע מהתסמינים

2.3.3. עלויות צעדי המדיניות

בתחום העלויות בוצעה בדיקה מקיפה של מגוון רחב של אמצעים אשר יוכלו לשמש להשגת היעדים וזאת בהתבסס על תחזיות ריכוזי חלקיקים באוויר ברזולוציה של המחוז הבודד, ובהסתמך על מודלים של פיזור הזיהום ממקורות שונים. חישוב העלויות התבסס על העקרונות הבאים:

- בחינת השפעת פליטות ישירות של חלקיקים, וכן השפעת פליטות של מזהמים התורמים להיווצרות חלקיקים (ובפרט SO_2 ו- NO_x).

⁷⁷ עיבוד של טבלאות 5-11, ו-5-17 מתוך המסמך 2006 National Ambient Air Quality Standards for Particulate Pollution – Regulatory Impact Analysis, וכן של דף מידע (Fact Sheet) שפורסם ביחד עם המסמך.

- ניסיון לאתר את אמצעי צמצום הפליטות הזולים ביותר במונחים של דולר/ $\mu\text{g.m}^3$ (כלומר, להורדת ריכוזי חלקיקי ה- $\text{PM}_{2.5}$ באוויר ב- $\mu\text{g}/\text{m}^3$). כלומר, ישנה התבססות על מודלים המקשרים בין צמצום פליטות ממקור מסוים (למשל, תחנת כוח) לבין ריכוזי החלקיקים באוויר באזור.
- הבחנה בין זיהום מארבעה סוגי מקורות זיהום: מקורות ניידים (תחבורה), תחנות כוח, מקורות ניחים אחרים (בעיקר מפעלי תעשייה), ומקורות "אזוריים" (למשל – תנורים ביתיים המבוססים על שריפת עצים).
- ככל הניתן, חישוב העלויות מתבסס על זיהוי אמצעים ספציפיים ברמת התוכנית או הטכנולוגיה הבודדת, ועל נתוני עלויות מתועדים.

באופן כללי, עיקר האמצעים שנבחנו הם אמצעים טכנולוגיים לצמצום פליטות, אך נסקרו גם תוכניות לצמצום פליטות באמצעים לא טכנולוגיים – כגון תוכנית תמיכה במעסיקים המתמרצים את עובדיהם להגיע לעבודה שלא באמצעות הרכב הפרטי. בנוסף לחישוב העלויות הישיר, בוצעה גם בחינה ברמה המקרו-כלכלית – כיצד ישפיע יישום התקן המחמיר על הייצור התעשייתי ועל התמ"ג. זאת, באמצעות מודל המביא בחשבון בין היתר השפעות אפשרויות של עליית מחירים (עקב הצורך להתקין אמצעים לצמצום פליטות).

על בסיס עקרונות אלו, חושבה עלות שנתית כוללת של כ-5 מיליארד דולר ליישום התקן היומי החדש של $\text{PM}_{2.5}$ דוגמה לאופן חישוב העלויות ניתן לראות בטבלה 13 בעמוד הבא. הטבלה מציגה מדגם קטן מתוך האמצעים שנבחנו לצורך צמצום הפליטות לשם עמידה בתקן החדש (הטבלה מתייחסת לפליטות ממקורות ניחים ואזוריים בלבד; האמצעים לצמצום הפליטות ממקורות ניידים נבחנו בנפרד).

טבלה 13. אמצעים לצמצום פליטות (מדגם חלקי לצורך המחשה)⁷⁸

תחום	אמצעי צמצום פליטות	צמצום פליטות מהמזהם:	אחוז צמצום פליטות	טווח עלויות (\$ לטון צמצום פליטות)	עלות מייצגת (\$ לטון צמצום פליטות)
ייצור מלט – יבש	מבערים דלי- NO_x	NO_x	25%	300-620	440
ייצור זכוכית	Selective Non-Catalytic Reduction (SNCR)	NO_x	40%	-	1,770
עיבוד מתות ברזליות	Increased Monitoring Frequency (IMF) of PM Controls	$\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , EC, OC	6.5%	-	620
עץ, נייר וציפה	Wet ESP – Wire Plat Type	$\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , EC, OC	98%	40-250	110
בעירת עץ במקורות ביתיים	חינוך ותכניות ייעוץ	$\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , EC, OC	50%	-	1,320
אמנות גראפית	שימוש בחומרים דלי או נטולי VOC's	VOC	65%	3,500-4,800	4,150
דוודי פחם תעשייתיים	Venturi Scrubber	$\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , EC, OC	82%	76-2,100	751
תהליכי ציפוי	Permanent Total	VOC	95%	-	19,321

⁷⁸ עיבוד של טבלה E-1 מתוך המסמך 2006 National Ambient Air Quality Standards for Particulate Pollution Regulatory Impact Analysis

				Enclosure (PTE)	רהיטי מתכת
9,789	-	98%	VOC	Airtight Degreasing System	Open Top Degreasing

הטבלה ממחישה את המגוון הרחב של האמצעים שנבחנו – אמצעים טכנולוגיים (טכנולוגיות בקרה), אמצעים הנוגעים לחומרים, אמצעים הנוגעים לתחזוקה ופיקוח ואף אמצעים הנוגעים לחינוך והסברה. כמו-כן, ניתן לראות את טווח העלויות הרחב (ומדובר כאמור במדגם קטן ביותר מכלל האמצעים, כך שטווח העלויות המלא אף גדול בהרבה). מתוך הנתונים אודות צמצום הפליטות (במונחי טון פליטה) הצפויים בכל תחום, נגזרו תחזיות לגבי הקטנת ריכוז המזהמים באוויר (במונחים של $\mu\text{g}/\text{m}^3$) באמצעות מודלים אקלימיים, ועל בסיס תחזיות אלו נבחרו אמצעי צמצום הפליטות המועדפים.

2.4. אמצעי מדיניות

ה-EPA מפעיל מגוון רחב של תוכניות ואמצעי מדיניות על מנת לשפר את איכות האוויר ולאפשר עמידה בתקנים. להלן החשובים שבהם:

- א. חיוב 50 המדינות של ארה"ב להגיש תוכניות פעולה לצמצום פליטת זיהום האוויר.
- ב. הפעלת תוכניות לצמצום פליטות גופרית דו-חמצנית (SO_2) ורכובות חנקן (NO_x).
- ג. קביעת תקנים מחייבים לפליטות מכלי רכב, ולתכולת דלקים.
- ד. חיוב גופים מזהמים (מפעלי תעשייה, תחנות כוח) ברישיון פעולה סביבתי.

2.4.1. תוכניות פעולה מדיניות לצמצום זיהום אוויר

כל אחת מ-50 המדינות של ארה"ב מחויבת להציג תוכנית פעולה לצמצום זיהום האוויר בשטחה (State Implementation Plans – SIP). התוכניות כוללות את כל הצעדים שהמדינה מתכוונת לנקוט בתחום ובפרט מתמקדות בצעדים שיינקטו על מנת לשפר את המצב באותם מחוזות ואזורים אשר סווגו ככאלה שאינם עומדים בערכי התקן עבור מזהם אחד או יותר. יצוין שלא מדובר במסמך בודד המקיף את כל הסוגיות הרלוונטיות, אלא למעשה באוסף מסמכים המציגים תיקונים, עדכונים והתייחסויות לנושאים שונים המוגשים מעת לעת על פני השנים (ומעדכנים את התוכנית המקורית, שלרוב נערכה בתחילת שנות השבעים).

דוגמה: תוכנית הפעולה של מדינת קליפורניה לצמצום ריכוז האוזון באזור סקרמנטו

בשנת 2004 הוגדר אזור סקרמנטו כאזור שאיננו עומד בתקני האוזון הלאומיים (nonattainment). לרשויות הסביבה של מדינת קליפורניה והאזור הוקצה עשור (עד שנת 2013) לתיקון המצב ולעמידה בתקן. אולם, לאור הערכות לפיהן נדרש פרק זמן ארוך יותר לשם השגת היעדים, הגישה רשות האוויר של מדינת קליפורניה (California Air Resources Board) בקשה ל-EPA לקבלת ארכה עד שנת 2018, בתמורה להתחייבות לנקוט בצעדים מחמירים יותר לפתרון הבעיה. הבקשה כללה מסמך מפורט המסביר כיצד מתכוונת הרשות להבטיח את

עמידתה בתקן האוון עד לשנה זו. האמצעים המוזכרים בבקשה נועדו לצמצם פליטות של NO_x ו- VOC – פליטות אשר תורמות להיווצרות אוון. נזכיר כאן את האמצעים המרכזיים:

2.4.2. צמצום פליטות ממקורות ניידים (תחבורה ועוד):

- תוכניות לגריטת כלי רכב ישנים.
- תוכניות לשיפור מערך התחבורה הציבורית.
- תוכניות לסלילת נתיבי אופניים ונתיבים להולכי רגל.
- תוכנית לגריטת מכסחות דשא ישנות הפועלות על בסיס דלק והחלפתן במכסחות דשא חשמליות.

2.4.3. צמצום פליטות ממקורות נייחים:

- צמצום פליטות בעת עבודות בניין על ידי חיוב שימוש בציוד פחות מזהם.
 - גולציה לצמצום פליטות VOC מצבעי בניין וצבעי כלי רכב.
 - גולציה לצמצום פליטות VOC בעת תהליכי ניקוי תעשייתיים (degreasing and solvent cleaning).
 - גולציה לצמצום פליטות VOC מדיו וחומרים אחרים בהם נעשה שימוש בתעשיית הדפוס והגרפיקה.
 - גולציה לצמצום פליטות VOC בעת תהליך ציפוי מתכות.
 - גולציה לצמצום פליטות VOC בעת תהליך הפקת גז טבעי (ישנם באזור מספר שדות גז), וזאת באמצעות חיוב נהלי בקרה ותחזוקה הדוקים יותר למניעת דליפות.
 - גולציה לצמצום פליטות NO_x בעת ייצור אספלט, וזאת באמצעות חיוב שימוש בטכנולוגיות חדישות.
 - גולציה לצמצום פליטות NO_x מבویلרים ומייצרי קיטור תעשייתיים, תוך התבססות על טכנולוגיות חדישות.
 - קביעת תקני פליטות NO_x מחייבים למנועי בעירה פנימית בשימוש התעשייה (כגון גנרטורים).
- יודגש כי כל האמצעים הללו באים בנוסף לאמצעים המופעלים ממילא ברמה הלאומית והאזורית, כגון תוכניות לצמצום פליטות מתחנות כוח, או תקני פליטה לכלי רכב.

2.4.4. צמצום פליטות גופרית דו-חמצנית (SO_2) ותחמוצות חנקן (NO_x) מתחנות כוח

אחת מתוכניות הדגל של ה-EPA בעשרים השנים האחרונות היא "תוכנית הגשם החומצי" (acid rain program) לצמצום פליטות SO_2 ו- NO_x מתחנות כוח. התוכנית מכונה כך שכן המוטיבציה העיקרית להפעלתה הייתה הרצון לצמצם את תופעת הגשם החומצי – הנגרם עקב פליטות אלו והפוגע בראש ובראשונה באגמים ונחלים ובבעלי החיים הימיים וכן בעצים ויערות. עם זאת, ברור שמטבעה היא נועדה גם לצמצם את כל ההשפעות השליליות הקשורות בפליטות SO_2 ו- NO_x – ובראשן סיכונים בריאותיים לבני אדם. כפי שיוסבר בהמשך, נראה שבימים אלו ממש מגיעה תוכנית זו לסוף דרכה, אך לאור העבודה כי היא נתפסת במידה רבה כסמל לתוכנית שהצליחה להשיג את מטרותיה, נפרט אודות המנגנונים העומדים בבסיסה.

2.4.4.1 תוכנית הגשם החומצי (acid rain program)

פליטות SO₂ – התוכנית מתמקדת ב-SO₂ ומתבססת על מסחר באשרות פליטה. כלומר, כל תחנת כוח המשתתפת בתוכנית מחויבת לרכוש אשרה עבור כל טון SO₂ שהיא פולטת במשך השנה. בתחילת כל שנה כל תחנת כוח מקבלת אשרות פליטה בהתבסס על פליטותיה בעבר ועל יעדי התוכנית. אם תחנת כוח מסוימת מצליחה לצמצם את פליטותיה היא יכולה למכור את האשרות העודפות שבידיה לתחנת כוח אחרת, שפליטותיה דווקא גדלו. בבסיס מנגנון זה עומדת השאיפה להשיג את צמצום הפליטות במקומות בהם העלויות הכרוכות בכך הן הנמוכות ביותר. היעד המרכזי של התוכנית היה לצמצם את פליטות ה-SO₂ מתחנות כוח ב-50% לעומת שנת 1980, אז עמדו הפליטות על כ-18.9 מיליון טון בשנה. לפיכך, יעד הפליטות הסופי שנקבע הוא 8.95 מיליון טון SO₂ בשנה, והוא נכנס לתוקף בשנת 2010. התוכנית כללה שני שלבים: בשלב הראשון השתתפו בתוכנית 110 תחנות כוח גדולות (בעיקר כאלה שייצרו באמצעות פחם) אשר קיבלו אשרות פליטה על בסיס היקף הייצור שלהן טרם השקת התוכנית (בשנים 1985-1987) ובהתאם ליחס של 2.5 פאונד פליטה לכל 1 mmBtu חום. השלב השני החל בשנת 2000 והקיף עוד כ-2,000 תחנות כוח נוספות (כמעט כל תחנות הכוח בארה"ב הן בעלות הספק של למעלה מ-25 MW). בשלב זה ירד היחס על פיו מחולקות האשרות ל-1.2 פאונד פליטה לכל 1 mmBtu. יצוין עוד כי תחנות כוח יכולות לזכות באשרות נוספות בהינתן שהן נוקטות צעדים לחיסכון אנרגטי או מפעילות יחידות ייצור באנרגיה מתחדשת. לפני כחמש שנים הגיע מחיר אשרת פליטה לכ-\$1,500, אך בשנים האחרונות נרשמה ירידה במחיר ובשנה האחרונה הוא נע בין עשרות למאות דולרים, וזאת בין היתר לאור ספקות לגבי המשך התוכנית, כפי שיוסבר בהמשך.

פליטות NO_x – תוכנית הגשם החומצי התייחסה גם לפליטות NO_x, כאשר מטרתה להביא לצמצום פליטות בהיקף של 2 מיליון טון ביחס לשנת 1980. במסגרת התוכנית נקבעו תקני פליטה לבוילרים (תקנים שונים לכל סוג של בוילרים) בתחנות כוח פחמיות, וזאת על בסיס הטכנולוגיות הטובות ביותר הקיימות בשוק. חברת חשמל (utility) יכולה לעמוד בתקנים באחת משלוש דרכים: (1) כל מתקן של החברה עומד בתקן הפליטות בפני עצמו; (2) ממוצע הפליטות מכל המתקנים של החברה עומד בתקן; (3) אם החברה איננה מצליחה לעמוד בתקנים, היא יכולה לבקש לעצמה תקן מחמיר פחות, בתנאי שהיא מוכיחה שימוש בטכנולוגיות המתקדמות ביותר הקיימות בשוק.

2.4.4.2 Transport Rule (התוכנית החדשה להמשך צמצום פליטות SO₂ ו-NO_x)

התוכנית הצליחה במידה רבה להשיג את מטרותיה והיקף הפליטות ירד עם השנים עד לערכי היעד. עם זאת, בשנים האחרונות התגבשה תפיסה לפיה ניתן וראוי לצמצם עוד יותר את היקף פליטות ה-SO₂ וה-NO_x (מעבר ליעדי תוכנית הגשם החומצי), זאת לנוכח העובדה שאזורים שונים בארה"ב אינם עומדים עדיין בתקנים הלאומיים למזהמים הנפוצים, ובייחוד בתקנים ל-PM_{2.5} ולאוזון. בפרט, ניכרת התופעה בה מזהמים הנפלטות במדינות מסוימות (בייחוד ממזרח ארה"ב) נישאים באוויר ומגיעים למדינות אחרות (בייחוד במערב ארה"ב) וכך מקשים עליהן לעמוד בתקנים. לאור כל זאת, הוחלט כי יש צורך בקביעת יעדים לצמצום פליטות SO₂ ו-NO_x מחמירים יותר מאשר אלו שנקבעו בתוכנית הגשם החומצי. תוכנית ברוח זו, דומה במאפייניה העיקריים לתוכנית הגשם החומצי, גובשה כבר בשנת 2005 (Clean Air Interstate Rule), אלא שיישומה נתקל בקשיים משפטיים. לאור זאת, עבדו ב-EPA בשנים האחרונות על גיבוש תוכנית חדשה, שככל הנראה תושק במהלך שנת 2011 ותביא

לצמצום ניכר בפליטות עד שנת 2015. התוכנית נקראת Transport Rule (לאור העובדה כי היא מתמקדת בבעיית "הסעה" של מזהמים באוויר ממדינה אחת לאחרת) ותכלול ככל הנראה את המרכיבים הבאים:

- התוכנית תשאף לצמצם את פליטות ה- SO_2 , וה- NO_x מתחנות כוח; בנוסף, תעשה הבחנה בין פליטות NO_x בתקופת הקיץ (בה בעיית זיהום האוזון חמורה במיוחד) לבין פליטות NO_x בשאר השנה.
- התוכנית תתייחס רק למדינות מהן מגיעים מזהמים הפוגעים במדינות אחרות; בסך הכול, התוכנית תחול על כ-30 מדינות, בייחוד במזרח ארה"ב.
- לכל אחת מהמדינות הללו ייקבע מקסימום פליטות (מתחנות כוח) למזהמים אלו, וזאת בהתאם למידת ההשפעה שיש לזיהום מכל מדינה על מדינות אחרות.
- בכל אחת מהמדינות הללו יוקצו אשרות פליטה לכל אחת מתחנות הכוח הפועלות בה (תחנות כוח בהספק של 25 MW ומעלה), בהתבסס על פליטותיהן בעבר ועל יעדי התוכנית לצמצום פליטות מכל מדינה.
- מסחר חופשי באשרות יתאפשר רק בין תחנות כוח בתוך כל מדינה, וזאת על מנת להבטיח כי צמצום הפליטות יעשה בהתאם ליעדים של כל מדינה (בניגוד למצב של מסחר בין-מדינתי, במסגרתו לא ניתן להבטיח כי צמצום הפליטות אכן מתבצע במדינות הרצויות).
- יותר גם מסחר מוגבל בין תחנות כוח ממדינות שונות, אך הדבר יעשה במסגרת רצועה מצומצמת.
- בסך הכול, התוכנית צפויה להביא לצמצום של 71% בפליטות ה- SO_2 ושל 52% בפליטות ה- NO_x במדינות בהן היא תיושם.

כאמור, התוכנית עדיין לא אושרה סופית, ובהחלט ייתכנו עוד שינויים (בפרט, עדיין קיימת אפשרות כי בסופו של דבר יוחלט לוותר לחלוטין על אפשרות המסחר באשרות פליטה, וכל תחנת כוח תאלץ לצמצם את פליטותיה בדיוק בהתאם ליעדים שייקבעו עבורה). יעדי התוכנית (במתכונתה הנוכחית) נקבעו לאור ניתוח השפעת פליטת המזהמים על היכולת של אזורים שונים בארה"ב לעמוד בתקנים הלאומיים למזהמים נפוצים, ובפרט בתקנים עבור $PM_{2.5}$ ואוזון. בנוסף, נערך מבחן עלות-תועלת כלכלי אשר השווה בין התועלות הצפויות מיישום התוכנית לבין העלויות הכרוכות בכך. בפרט, כומתו תועלות הקשורות בצמצום סיכונים בריאותיים (מניעת מקרי מוות, צמצום מספר ימי אשפוז, צמצום אובדן ימי עבודה, ועוד) וכן התועלת שבשיפור הראות (visibility) באזורי טבע ופארקים ציבוריים. כמו-כן, בנוסף לתוכנית המוצעת, נבחנו גם התועלות והעלויות של שתי חלופות נוספות – תוכנית מחמירה יותר מבחינת יעדי צמצום הפליטות ותוכנית מחמירה פחות. המסקנה המרכזית של הניתוח הייתה שהתוכנית עוברת בקלות מבחן עלות-תועלת, וכי התוכנית המוצעת יעילה יותר מבחינה כלכלית מאשר החלופות האחרות שנבחנו.

2.4.5 קביעת תקנים לפליטות מזהמים מכלי רכב ולתכולת דלקים

במסגרת הסמכויות שהעניק חוק אוויר נקי ל-EPA, פועלת הרשות במגוון רחב של דרכים לצמצום זיהום מכלי רכב. נזכיר כאן את התוכניות העיקריות בהקשר זה:

2.4.5.1. תקני פליטה לכלי רכב פרטיים חדשים

ה- EPA קובע תקנים עבור פליטות מכלי רכב. התקנים המקסימאליים (נכון להיום) מוצגים בטבלה 14.

טבלה 14. תקנים מקסימאליים לפליטות מזהמי אוויר מרכבים פרטיים חדשים⁷⁹

שנים ראשונות - 5 שנים / 50,000 מייל.					כל אורך החיים השימושי - עשר שנים או 120,000 מייל, כתלות בסוג הרכב (גרם למייל)				
(גרם למייל)									
NMOG*	CO	NO _x	PM	HCHO**	NMOG	CO	NO _x	PM	HCHO
0.100	3.4	0.14	-	0.015	0.125	4.2	0.20	0.02	0.018

* NMOG - גזים אורגניים מלבד מתאן (non-methane organic gases)
** HCHO - פורמלדהיד (formaldehyde)

תקנים אלו חלים על כל מכוניות הנוסעים הפרטיות ומחייבים את כל יצרני/יבואני הרכב (עבור רכבים חדשים), ומכונים Tier 2 Emission Standards. בנוסף, כל יצרן/יבואן מחויב לכך שממוצע פליטות ה-NO_x מכל סוגי הרכב שהוא מוכר (משוקלל לפי היקף מכירות) יהיה נמוך מ-0.07 גרם למייל (וראו הרחבה להלן). יצוין שהתקנים המופיעים בטבלה הם תקני המקסימום, אשר אסור ליצרן לחרוג מהם. בנוסף לתקני המקסימום, ה-EPA גם מסווג את המכוניות ל-8 קבוצות (bins) זיהום אוויר שונות בהתאם לפליטותיהן, וזאת לצורך מתן דירוג סביבתי, המובא לידיעת הצרכנים (הערכים המופיעים בטבלה למעשה מתייחסים לקבוצת זיהום האוויר מספר 8 – החלשה ביותר המותרת). בנוסף, קיימים תקנים אחרים לכלי רכב גדולים יותר, וכן לכלי רכב שאינם מיועדים בעיקרו של דבר לנסיעה בכבישה (דוגמת טרקטורים, או מכסחות דשא). תקנים נוספים קיימים לכלי תחבורה אחרים – כגון רכבות ואוניות.

מעניין לציין שלמדינת קליפורניה מערכת תקני פליטות שונה ומחמירה יותר, וזאת לנוכח בעיות זיהום האוויר החמורות במדינה (כאשר מספר מדינות נוספות בחרו לאמץ תקנים אלו). טבלה 15 מציגה את התקנים המקסימאליים של מדינת קליפורניה (תחת התוכנית LEV II):

טבלה 15. תקנים מקסימאליים של מדינת קליפורניה לפליטות מרכבים פרטיים חדשים (גרם למייל)⁸⁰

שנים ראשונות (5 שנים / 50,000 מייל)					כל אורך החיים השימושי (כאחת עשרה שנים או 120,000 מייל, כתלות בסוג הרכב)				
NMOG	CO	NO _x	PM	HCHO	NMOG	CO	NO _x	PM	HCHO
0.075	3.4	0.05	-	0.015	0.090	4.2	0.07	0.01	0.018

⁷⁹ dieselnat.com - http://www.dieselnat.com/standards/us/ld_t2.php

⁸⁰ dieselnat.com - http://www.dieselnat.com/standards/us/ld_ca.php

חשוב לציין, עם זאת, שהתקנים המוצגים לעיל של ה-EPA ושל מדינת קליפורניה אינם חופפים לחלוטין מבחינת קטגוריות המשקל של כלי הרכב עליהם הם חלים (תקן ה-EPA המוצג לעיל חל על כלי רכב השוקלים עד 10,000 פאונד, בעוד התקן המוצג של מדינת קליפורניה חל על כלי רכב השוקלים עד 8,500 פאונד בלבד, כאשר קיים תקן אחר – מקל הרבה יותר – לכלי רכב השוקלים בין 8,500 ל-10,000 פאונד).

2.4.5.2 Tier 2 Vehicle & Gasoline Sulfur Program

תוכנית זו הושקה בשנת 1999 ויושמה במהלך העשור האחרון. לתוכנית שני מרכיבים עיקריים:

- קביעת תקן לפליטות תחמוצות חנקן (NO_x) ממכוניות נוסעים הנמכרות בארה"ב – התוכנית קובעת תקן פליטה ממוצע של 0.07 גרם NO_x למייל נסועה שכל יצרן/יבואן רכב במדינה מחויב לעמוד בו (התקן מתייחס לממוצע הפליטות מכלל סוגי כלי הרכב הנמכרים על ידי כל יצרן/יבואן, משוקלל לפי היקף המכירות של כל סוג רכב). התוכנית מתייחסת לכל סוגי מכוניות הנוסעים, ובכלל זה ג'יפים (SUV), מכוניות מסחריות וטנדרים.
 - קביעת תקן לתכולת גופרית בדלק. התוכנית קבעה תקן ממוצע (על פני כל סוגי הדלקים הנמכרים על ידי כל יצרן/יבואן) של 30ppm ותקן מקסימאלי של 80ppm.
- תקנים אלו (הן עבור כלי רכב והן עבור דלקים) נקבעו כחלק מהמאמצים להבטיח עמידה בתקנים הלאומיים לששת המזהמים הנפוצים. כך, כחלק ממסמכי התוכנית פורסם גם דו"ח שבחן את היעילות הכלכלית של התקנים, בשני פרמטרים: ראשית, הושאו העלויות הכרוכות בעמידה בתקנים אלו (לכלי רכב ודלקים) לעלויות של צעדים אפשריים אחרים הנדרשים לצורך עמידה בתקני המזהמים הלאומיים; שנית, הוצג מבחן עלות-תועלת אשר השווה בין העלויות הכרוכות בעמידה בתקנים אלו לבין התועלות הצפויות מהם בתחומים כגון בריאות הציבור (מניעת מקרי מוות), מניעת נזקים לחקלאות, שיפור הראות (visibility) בפארקים ציבוריים, כאשר לשם ביצוע המבחן כומתו תועלות אלו למונחים כספיים.

2.4.5.3 תוכנית לצמצום פליטות גזי חממה מכלי רכב

באפריל 2010 נכנסה לתוקף, לראשונה בארה"ב, תוכנית שנועדה לצמצם פליטות גזי חממה מכלי רכב פרטיים בארה"ב. על פי התוכנית, יוטלו בשנים הקרובות מגבלות על פליטות הפחמן הדו-חמצני בהתאם לגודל הרכב כך שבשנת 2016 התחזית היא שממוצע הפליטות מכל צי המכוניות הפרטיות החדשות הנמכרות באותה שנה יעמוד על 225 גרם פחמן דו-חמצני לכל מייל נסיעה. עבור משאיות קלות צפוי הממוצע לעמוד על 298 גרם למייל, והממוצע המשוקלל הכולל למכוניות פרטיות ומשאיות יעמוד על 250 גרם למייל. אמנם תקנות אלו מתייחסות כאמור לפליטות גזי חממה, אך הצורך של יצרני רכב לשפר את נצילות הדלק של כלי רכב צפוי להביא גם לצמצום פליטות אחרות. נושא זה (ובפרט – צמצום פליטות $\text{PM}_{2.5}$) אף מוצג במסגרת דו"ח ההשפעות הכלכליות שהכין ה-EPA עבור ההחלטה. יצוין שבחודשים הקרובים צפויות להתפרסם החלטות רגולציה נוספות בתחום – לגבי פליטות פחמן דו-חמצני ממשאיות ולגבי התקנים שייכנסו לתוקף בעתיד המעט רחוק יותר (אחרי שנת 2016).

2.4.5.3 Reformulated Gas (RFG)

תוכנית זו הופעלה תחילה רק באותם מרכזיים עירוניים הסובלים מבעיית זיהום אוויר חמורה ביותר, אך עם הזמן הורחבה וכעת מופעלת ב-17 מדינות בארה"ב. על פי התוכנית, יצרני/יבואני דלק מחויבים לשלב בדלק חומרים התורמים לבעירה נקייה יותר, באופן המצמצם את פליטות זיהום האוויר של כלי הרכב. בפרט, התוכנית מחייבת תכולת חמצן של 2% (לפי משקל) בדלק. שני החומרים הנפוצים ביותר בהקשר זה (המוספים לדלק על מנת לעמוד בתקנים אלו) הם אתנול ו-MTBE. כ-30% מהדלק הנמכר בארה"ב כיום עומד בתקני תוכנית זו.

2.4.5.4 תקן התנדפות

תקן נוסף של ה-EPA נוגע למאפיין ההתנדפות של הדלק, ומטרתו לצמצם פליטות התורמות להיווצרות אוזון. התקן מגביל את ערכי ה-Reid Vapor Pressure של הדלק הנמכר בארה"ב, כאשר ערך היעד תלוי בתקופת השנה ובאזור, ונע בין 7.0 ל-9.0 psi.

2.4.5.5 תוכנית לצמצום תכולת הבנזן (benzene) בדלק

מהראשון בינואר 2011 יצרני ויבואני דלק מחויבים לתקן המגביל את תכולת הבנזן הממוצעת בדלק ל-0.62% (על בסיס נפח), על פני כל סוגי הדלקים הנמכרים על ידי כל יצרן/יבואן. בנוסף, מהראשון ביולי 2012 מחויבים היצרנים והיבואנים בתקן מקסימאלי של 1.3% בנזן בכל סוג דלק. יצוין שהתוכנית כוללת אפשרות לצבור זיכויים על עמידה מוקדמת בתקנים או על הורדת תכולת הבנזן אל מתחת למחויב על פי תקן, ולהשתמש בהם בשנים הבאות. התוכנית אף מאפשרת מסחר בזיכויים אלה.

2.4.5.6 תוכנית להגבלת פליטות non-methane hydrocarbon (NMHC) ממכונות נוסעים

מזהמי NMHC כוללים מגוון רב של מזהמים רעילים, וביניהם בנזן. תקני היעד בתוכנית זאת הם 0.3 גרם פליטה של NMHC למייל נסיעה עבור כלי רכב קטנים (עד 6,000 פאונד), ושל 0.5 גרם למייל עבור כלי רכב גדולים יותר. תקנים אלו ייכנסו בתוקף באופן הדרגתי עד שנת 2015. חשוב לציין שמבחני העמידה בתקנים אלו יתבצעו בטמפרטורה נמוכה יחסית של למטה מ-75 מעלות פרנהייט (לאחר שהתברר שלעיתים יש חריגות מתקנים בתחום זה דווקא בטמפרטורות נמוכות).

2.4.6 חיוב מפעלים מזהמים בהוצאת רישיון זיהום אוויר

כל מפעל קיים (או תחנת כוח) בעל פוטנציאל זיהום משמעותי חייב להחזיק ברישיון זיהום אוויר (air pollution operating permit) – רישיון המגדיר במדויק את כל הדרישות הרגולטוריות המוטלות עליו: מגבלות על פליטת מזהמים שונים, וכן שימוש בטכנולוגיות ואמצעים שונים לצמצום פליטות. מפעלים/תחנות כוח המחויבים בהוצאת הרישיון הם אלה הפולטים:

- למעלה מ-100 טון בשנה של מזהם הנמצא תחת רגולציה של ה-EPA, או
- למעלה מ-10 טון בשנה של מזהם הנמצא ברשימת המזהמים הרעילים, או
- למעלה מ-25 טון בשנה של מזהמים רעילים מכל הסוגים (כלומר, סכום פליטות המזהמים הרעילים השונים).

בנוסף, בתחומי פעילות מסוימים מחויבים כל המפעלים בהוצאת רישיון, ללא תלות בהיקף הפליטות שלהם. בסך הכל, ישנם כיום בארה"ב כ-22,000 מפעלים הפועלים תחת רישיון זיהום אוויר. מטרת הרישיון הוא למנוע ספקות באשר לדרישות הסביבתיות מהמפעל, וזאת הן על מנת לאפשר פיקוח הדוק יותר על הפליטות, והן על מנת למנוע מהמפעל אי-וודאות בנוגע לתקנות הרלוונטיות אליו. בשנים האחרונות נעשה מאמץ לאפשר גמישות במסגרת הרישיון - בין היתר, נבחנת האפשרות לאשר מראש שינויים אפשריים ברישיון בהתאם לשינויים פוטנציאליים בפעילות המסחרית של המפעל. את הרישיונות מעניקות הרשויות הסביבתיות של 50 המדינות, אך ה-EPA מפקח על התהליך ועל הרישיונות המופקים ויכול לבטל אותם במידה ואינם עונים על הדרישות המינימאליות.

○ **מפעלים קיימים** – במחוזות אשר אינם עומדים בתקנים הלאומיים למוזהמים הנפוצים, המפעלים הקיימים מחויבים בשימוש בטכנולוגיות לצמצום פליטות העונות להגדרה של Reasonably Available Control Technology – כלומר, הטכנולוגיה הטובה ביותר הישימה (נוכח העובדה כי המפעל כבר קיים ובהתחשב בעלויות הכרוכות בשילוב טכנולוגיות חדשות). מפעלים חדשים נדרשים לעמוד בקריטריונים מחמירים יותר, כפי שיוסבר להלן.

○ **מפעלים חדשים** – לצד הרישיונות למפעלים קיימים, ה-EPA מחייב מפעלים חדשים בהוצאת רישיון סביבתי טרם הקמת המפעל (New Source Review). קיים בהקשר זה הבדל בין מפעלים הממוקמים באזורים העומדים בתקני איכות האוויר הלאומיים (attainment areas) לבין אזורים שאינם עומדים בתקנים אלו (non-attainment). באזורים העומדים בתקנים, מפעלים חדשים נדרשים להוציא רישיון המבטיח שהמפעל החדש לא יפגע באופן משמעותי באיכות האוויר באזור (Prevention of Significant Deterioration – PSD). לצורך קבלת הרישיון, המפעל צריך להציג תסקיר השפעות סביבתיות צפויות, להציג את הטכנולוגיות בהן הוא מתכוון לעשות שימוש לצורך צמצום זיהום האוויר (כאשר הוא מחויב לבחור בטכנולוגיות הטובות ביותר הקיימות – Best Available Control Technologies), וכן להציג את תוכניותיו לביקורת ציבורית. באזורים שאינם עומדים בתקני איכות האוויר, מפעלים חדשים נדרשים להוציא רישיון המבטיח אמצעים מחמירים יותר לגבי צמצום זיהום האוויר. במסגרת הרישיון, הנקרא Non-attainment New Source Review (NSR), נדרש המפעל להוכיח כי הטכנולוגיות בהן יעשה שימוש יביאו את פליטות זיהום האוויר למינימום האפשרי בתחום הפעילות שלו (Lowest Achievable Emission Rate – LAER), וכן להציג אמצעים לצמצום זיהום האוויר ממקורות אחרים באותו אזור (emission offsets), כאשר המפעל החדש יכול לרכוש לשם כך זיכויים ממפעלים אחרים באזור עבור צמצום הפליטות אצלם. המונח LAER מתייחס לאחד משניים:

○ רמת הפליטות הנמוכה ביותר המחויבת על פי תקנים שנקבעו במדינה כלשהי בארה"ב (כלומר, הרגולציה המחמירה ביותר הקיימת).

○ רמת הפליטות הנמוכה ביותר המתועדת בפועל ממתקן דומה באותו ענף תעשייה.

ההכרה בטכנולוגיה מסוימת כ-BACT או LAER מתבססת על בחינה פרטנית של כל מקרה לגופו. על מנת להקל על בעלי המפעלים ה-EPA מציג באתר מיוחד רשימה מפורטת של טכנולוגיות שונות לכל ענף תעשייתי בצמוד להחלטות שהתקבלו בעניין בהקשר זה.

פרק 3. התוכנית האסטרטגית לאיכות אוויר של האיחוד האירופי

3.1.1. רקע – התוכנית האסטרטגית של המועצה האירופית

בשנת 2002 ייסד האיחוד האירופי ועדה במסגרת "תוכנית הפעולה האירופית השישית" (EAP 6th) אשר הציגה שבעה אתגרים עיקריים בתחום איכות הסביבה, וביניהם תחום זיהום האוויר. הוועדה החליטה על התווית אסטרטגית פעולה לעשר שנים הבאות תחת השם "תוכנית האוויר הנקי של אירופה" (Clean Air For Europe - CAFÉ). המטרה ארוכת הטווח שהוגדרה ב- EAP6th הינה השגת רמת איכות האוויר שאינה גורמת להשפעה שלילית משמעותית על האדם או על הסביבה ואינה כוללת חריגות מעומסי יתר של מזהמים. האיחוד הציג תוכנית אסטרטגית⁸¹ שמטרתה קביעת סטנדרטים בינלאומיים למדינות האיחוד והתמודדות עם בעיות זיהום אוויר כאשר עד עתה מירב תשומת הלב במאבק בזיהום אוויר הופנתה למאבק בגשם החומצי ובריכוזי אוזון בגובה הקרקע. התוכנית האסטרטגית מתמקדת בטיפול ב- PM_{2.5} ובאוזון בגובה הקרקע המהווים את הגורמים העיקריים לבעיות בריאותיות חמורות כגון מוות בטרם עת וקיצור תוחלת החיים לצד השפעות בריאותיות אחרות. התוכנית הוצגה בספטמבר 2005 וכללה המלצות להשגת היעדים לטיפול בזיהום אוויר עד שנת 2020. עיקרי התוכנית האסטרטגית הן:

- קביעת מדיניות וסדרי עדיפויות לפעולה עתידית באירופה.
- שיפור החקיקה, הטמעה והתאמה של הדירקטיבה לערכי פליטה המקסימאליים – NECD⁸².
- פיתוח מערכת טובה יותר לאיסוף מידע, מודלים וחיזוי זיהום אוויר.

3.1.1.1. מסגרת חוקתית

התוכנית האירופית מסתמכת על החלטות הוועדה הכלכלית של האו"ם לאירופה (UNECE)⁸³ ועל פרוטוקול גוטנבורג (Gothenburg 1999), אשר מטרתו להביא להפחתת התופעות של אאוטרופיקציה, אסידיפיקציה ואוזון בגובה הקרקע.⁸⁴ על מדינות האיחוד חלים שלושה חיובי דיווח על פליטות: CLRTAP⁸⁵, NECD ו- UNFCCC⁸⁶. חלק

⁸¹ Thematic Strategy on Air Pollution

⁸² Directive 2001/81/EC on national emission ceiling for certain atmospheric pollutants

⁸³ UNECE – United Nations Economic Commission for Europe

⁸⁴ באופן כללי ערכי היעד המוצגים בפרוטוקול גוטנבורג מחמירים קצת יותר מאשר ערכי היעד ב-NECD.

⁸⁵ CLTRAP – Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution 1979

⁸⁶ UNCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change - Council Decision 280/2004/EC, concerning a mechanism for monitoring Community greenhouse gas emissions and for implementing the Kyoto Protocol.

זה בסקירה מציג את התוכנית האסטרטגית, הגישה לטיפול בבעיות איכות האוויר באיחוד האירופי והמתודולוגיה בה היא מסתייעת בכדי לבנות תוכנית מקיפה וארוכת טווח לכלל המדינות החברות. בחלק השני של הסקירה מוצגת הולנד כמקרה בוחן להתמודדות ויישום של התוכנית האסטרטגית שמוצעת ע"י האיחוד האירופי.

3.2. המזהמים הכלולים בתוכנית ויעדיה

האיחוד האירופי בחר בחמישה מזהמי מפתח אשר מדינות האיחוד חייבות לעמוד בהם עד 2020. בשנת 2010 היה אמור לצאת עדכון של פרוטוקול גוטנבורג המחמיר את ערכי הפליטה שנקבעו, מציב ערכי יעד גם למזהם $PM_{2.5}$ ⁸⁷ וכולל הערכת ביניים של מדיניות התוכנית האסטרטגית. נכון לשלב זה האיחוד האירופי קבע ערכי יעד ארוכי-טווח לצמצום ריכוז האוזון באוויר וקבע יעדים קצרי-טווח למזהמים NMVOC ו- NO_x מתוך הכרה שהדרך לצמצם את נוכחות האוזון עוברת דרך הפחתת הפליטה של מזהמים אלו. האיחוד לא קבע ערכי יעד לצמצום פליטה של חלקיקים נשימים ראשוניים ($PM_{2.5}/PM_{10}$) אלא מתמקד בצמצום הפליטות של מזהמים שניוניים. עם זאת, ישנן מספר תכניות ורגולציות אשר משפיעות בצורה ישירה על פליטה של חלקיקים נשימים ראשוניים, כגון דירקטיבה לאיכות אוויר 2008, ויעדי פליטות פרטניים למקורות ניחים וניידים של מזהמים שניוניים ושל PM_{10} ראשוניים.⁸⁸ בהתאם לאתגרים שצוינו מתמקדת התוכנית במזהמים בעלי השפעה בריאותית ישירה ועקיפה וכן השפעה סביבתית.⁸⁹ על כן, האיחוד האירופי (במסגרת NECD) קבע לכל מדינה באיחוד ערכי יעד לארבעה מזהמים "המבשרים" היוצרות PM ואוזון: תחמוצות חנקן (NO_x), גופרית דו חמצנית (SO_2), אמוניה (NH_3) ותרכובות אורגניות נדיפות מלבד מתאן (NMVOC). יעד התוכנית הוא להגיע לערכים המוצעים ב-NECD עד שנת 2010. לוחות הזמנים העקרוניים ליעדי התוכנית נקבעו עד 2020, כאשר כבר בשנת 2006 נדרשו מדינות האיחוד לפרסם תוכנית להפחתת ערכי הפליטה המקסימאליים. ישנה אפשרות להקל על ערכי המקסימום של החלקיקים הנשימים (PM_{10} , $PM_{2.5}$), וחנקן דו חמצני (NO_2), לזמן של חמש שנים מעבר לתאריך המטרה, במידה וקריטריונים מסוימים מושגים. כל הארכה נוספת צריכה להיות בהתאם לתוכנית אסטרטגית כוללת. מלבד זאת ישנה גם אפשרות להפחתת התרומה של זיהום האוויר ממקורות של זיהום אוויר טבעיים.

⁸⁷ התקן המוצע לריכוז של $PM_{2.5}$ נגזר משיעור של 0.6 של $PM_{2.5}$ מסך ה- PM_{10} . התקן החדש לא אמור להוסיף נטל נוסף על מדינות האיחוד להוציא את האזורים המזהמים ביותר. תקן זה צפוי להיבחן מחדש כאשר המידע לגבי ריכוז המזהם באוויר יהיה זמין ומובהק יותר.

⁸⁸ <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/emissions-of-primary-particles-and-5>

⁸⁹ Directive 70/220/EEC, L 76, 6.4.1970, p.1. and Council Directive 85/203/EEC of 7 March 1985 on air quality standards for nitrogen dioxide, and Council Directive 80/779/EEC of 15 July 1980 on air quality limit values and guide values for sulfur dioxide and suspended particulates.

התוכנית של האיחוד מתמקדת בנזקים בריאותיים וסביבתיים ומבחינה בין שני יעדי הפחתה שונים: הפחתת פליטות של מזהמים (טבלה 16) והפחתת ההשפעות העיקריות של מזהמים אלו (טבלה 17).

טבלה 16. יעדי ההפחתה פליטות מזהמים נבחרים באירופה
(חמשת המזהמים הראשונים (מודגשים) הם חלק מהתכנית האסטרטגית האירופית)

מזהם	יעדי שיעור הפחתת פליטות באירופה (עד שנת 2020) לפי התכנית האסטרטגית	ערכי יעד $\mu\text{g.m}^3$	כמות חריגה שנתית מותרת	זמן מיצוע	תאריך יעד
גופרית דו חמצנית (SO_2)	82%	350	עד 24 חריגות	שעתי	1.1.2005
		125	עד 3 חריגות	יממה	
תחמוצות חנקן (NO_x)	60%	200	עד 18 חריגות	שעתי	1.1.2010
		40		שנתי	
תרכובות פחמימניות נדיפות (לא מתאן) (NMVOC)	51%				
אמוניה (NH_3)	27%				
חלקיקים נשימים עדינים ($\text{PM}_{2.5}$)	59%	25		שנתי	2010 (ערך לא סופי)
		20% הפחתה באזורים עירוניים		שנתי	2010-2020
חלקיקים נשימים (PM_{10})		50	עד 35 חריגות	יממה	1.1.2005
		40		שנתי	
אוזון		120	עד 25 פעם בשנה ממוצע של 3 שנים	8 שעות	31.12.2010
PAH's		1 ng.m ³		שנתי	31.12.2012
בנון		5		שנתי	1.1.2010
פחמן חמצני (CO)		10 mg.m ³		מקסימום יומי רץ של 8 שעות	
עופרת (Pb)		0.5		שנתי	1.1.2005

טבלה 17. יעדי ההפחתה של נזקי זיהום אוויר לשנת 2020

נזקים	יעדי הפחתה (שנת 2020 ביחס לשנת 2000)
ירידת בתוחלת חיים כתוצאה מחשיפה לחלקיקים נשימים (שנות אובדן חיים)	47%
מוות כתוצאה מחשיפה לאוזון (מספר מקרים)	10%
פגיעה בשטחי יערות עקב עומס יתר של מזהמים הגורם לאסידיפיקציה	74%
פגיעה במקורות מים עקב עומס יתר של מזהמים הגורם לאסידיפיקציה	39%

43%	פגיעה בשטחי יערות עקב עומס יתר של מזהמים הגורם לאוטוריפקציה
15%	פגיעה בשטחי יער כתוצאה מרמות גבוהות של אוזון

3.3 מתודולוגיה לקבלת החלטות וניתוח עלות תועלת

3.3.1 בניית התוכנית האסטרטגית

הבנייה נעשתה "בגישת מסלול ההשפעה", בו מחולק התהליך לשלושה שלבים עיקריים:

1. ניטור המזהמים – כימות הזיהום, פיזורו וההשפעה על איכות האוויר באירופה. המזהמים נבחרו בהתאם למטרות הבסיס של ה- CAFE. איסוף וריכוז המידע בוצע ע"י התכנית לניטור והערכה האירופית (EMEP⁹⁰).
 2. השפעת הנזקים הנגרמים מזיהום – כימות של החשיפה למזהמים וההשפעה הבריאותית והסביבתית באמצעות מודלים ייעודיים (CAFE⁹¹ - CBA ו- RAINS⁹² שיוצגו בהמשך).
 3. הערכה כספית – הערכה כלכלית של ההשפעות עבור מספר תרחישים שונים ובחירת התרחיש המתאים לתוכנית האסטרטגית, גם כן באמצעות המודלים CAFE-CBA ו- RAINS.
- נספח מספר 1 ממחיש את הקשר בין שלושת השלבים הנ"ל, אשר יפורטו להלן.

3.3.1.1 ניטור זיהום האוויר והנחות הבסיס לפיו נבנתה התוכנית האסטרטגית

בעיית זיהום האוויר הינה בעיה מורכבת הכוללת מרכיבים נקודתיים-מקומיים ומרכיבים חוצי גבולות. התוכנית האסטרטגית של האיחוד האירופי בדקה את ההשפעות הסביבתיות והבריאותיות של המזהמים במספר תרחישים שונים על מנת לבחור את החלופה המיטבית. כחלק מהמיפוי נבדקו הקשרים בין המקור לסוג המזהם, השינוי הנגרם באיכות האוויר והאפקט שלו על הנזקים לסביבה ולבריאות האדם (נספח 1). ניטור המידע בוצע ע"י EMEP, תוכנית המרכזת תחתיה מספר גופים שאחראים לכל האספקטים של ניטור וניתוח זיהום האוויר וכוללים ניתוח כימי, מודלי פיזור ופירוט עבור כל מדינה החברה באיחוד.

3.3.2 השפעת הנזקים הנגרמים מזיהום והערכה כספית שלהם

שלבים אלו כוללים שימוש בשני מודלים שונים: RAINS ו- CAFE CBA:

מודל RAINS (Regional Air Pollution Information and Stimulation)

מודל RAINS הוא מודל מרכז מידע והמרצה אזורי לזיהום אוויר – המודל מתמקד בהיבטים הסוציו-אקונומיים וביו-פיזיקאליים על מנת להעריך את רמת זיהום האוויר המשפיעה על בריאות האדם, הנזקים לסביבה ולמערכות

⁹⁰ European Monitoring and Evaluation Program

⁹¹ AEAT/ED51014/Methodology Paper Issue 4

⁹² Regional Air Pollution Information and Stimulation (RAINS) - Kelly, J-A. (2006) An overview of the RAINS Model. Environmental Research Centre Report.

אקולוגיות. עבודת ההערכה של המודל היא עבור המזהמים SO_2 , NO_x , NH_3 , VOC וחלקיקים נשימים (PM) ומתבצעת בהתאם למדיניות הקיימת ולדרישות הבריאותיות והסביבתיות. מודל RAINS מבצע הערכה משולבת המייצגת את הפיזור באטמוספירה ע"י חיבור בין המקור של המזהם ל"יעד" שלו. היחסים ביניהם נקבעו על ידי מודלים סטטיסטיים מורכבים ומודלים של פיזור אטמוספרי (בדומה למודלים ולמידע המתקבל ממערכת EMEP). מודל RAINS כולל בדיקת אפשרויות שונות לעלות ההפחתה עבור חמשת המזהמים, וע"י כך מאפשר הקצאה והכוונה של עלות-תועלת מהפחתת פליטות נקודתית עבור מדינות או סקטורים בכדי לעמוד ביעדים הסביבתיים והבריאותיים. לשם כך מבצע המודל שלוש פעולות עיקריות: ניתוח המידע עבור המזהם, הערכה בהתאם למטרות (עומס קריטי, חריגות) וניתוח עלות. לצורך כך מפעיל מודל RAINS שלושה תתי מודלים:⁹³

1. **עלות-פליטה (EMCO – Emission Cost Model)** – מודל EMCO משקלל שלושה פרמטרים: (א) פעילות כלכלית הגורמת לפליטה, (ב) מדיניות בקרת פליטה ועלותה ו-(ג) הפליטה בפועל. המודל מעריך רמות פליטה עכשוויות ועתידיות של SO_2 , NO_x ו- NH_3 . הערכות אלה מבוססות על סטטיסטיקות לאומיות ושיקוף של פעילות כלכלית – צריכת אנרגיה, דלק, פעילות חקלאית וכו'. מידע זה מחושב בהתאם ליכולות משתנות של בקרת פליטות ועלות ההפחתה של מזהמים.
2. **הערכת הרכב פליטה ועומסים קריטיים (DEP – Deposition and Critical Loads Assessment)** – מודל DEP אחראי לחשב את הפירוק והפיזור האטמוספרי של המזהמים בהתאם לפלט מודל EMEP⁹⁴. למודל זה קיימים שלושה חלקים עיקריים: (א) ניתוח תרחישים של פיזור והרכב המזהמים, (ב) הצגה של המידע בתחום מודל DEP⁹⁵ (המודל יכול להתמודד ולהשתמש בכל מידע גיאוגרפי או מידע ממערכת השריג של EMEP-גודל השריג הינו תאים של 50X50 ק"מ) ו-(ג) שינויים של מידע גיאוגרפי בהתאם לצורך.
3. **אופטימיזציה (OPT)** – מודל זה משקלל את תוצרי המודלים הקודמים ומזהה כיצד ניתן להגיע למטרה סופית מוגדרת (כגון פליטה מקסימאלית מותרת, השפעה על הסביבה או בריאות האדם) בעלות מינימאלית. המודל יכול לבחון חבילה של אמצעים (לדוגמה ראה נספח מספר 3).

מודל CAFÉ-CBA (Clean Air For Europe – Cost Benefit Analysis)

כפי שצוין לעיל, מודל RAINES מחשב את העלות על בסיס הגדרה מראש של יעדים מסוימים כמו למשל יעדים בריאותיים או יעדי ערכי זיהום אוויר רצויים. לעומת זאת מודל CAFÉ-CBA משווה את העלויות הכוללות המתקבלות ממודל RAINES ביחס לתועלות המושגות כתוצאה מהפחתת הנזקים הסביבתיים. כך מאפשר המודל קבלת החלטות המבוססות על מאזן כולל של עלות-תועלת. מודל CAFÉ-CBA פועל בהתאם לשלבים הבאים:

1. כימות של פליטות (בהתאם למודל RAINS).

⁹³ <http://www.iiasa.ac.at/~rains/doc/manual/intro.htm>

⁹⁴ <http://www.emep.int/OpenSource/index.html>

⁹⁵ Amann et al. (2005b).

2. תיאור הפיזור של המזהמים כולל הפירוק הכימי ברחבי אירופה (בהתאם למודל RAINS).
 3. כימות החשיפה של הסביבה, אנשים ומבנים לזיהום אוויר (קישור בין ריכוזי הזיהום לקבוצת הסיכון).
 4. כימות ההשפעות של זיהום האוויר.
 5. אומדן כספי של השפעות זיהום האוויר (היכן שניתן).
 6. הערכה של אי הוודאות והערכה הפוטנציאלית לעלות של שליטה בזיהום.
- 3.3.3. אומדן כספי של השפעות זיהום האוויר⁹⁶**
- הערכת העלות של השפעות זיהום אוויר נעשית באמצעות מספר דרכים. ישנן השפעות אשר בהן ניתן לאמוד את הערך הכלכלי על פי מחירי השוק, למשל במקרים של נזק הכלכלי ליבולים חקלאיים, למבנים ושיעור מסויים מההשפעות הבריאותיות (עלות תרופות ופיקוח רפואי). לעומת זאת, במקרים בהם לא ניתן לבצע כימות בשיטה זו, נעשה שימוש באלטרנטיבות כגון "שיטת הנכונות לשלם" (willingness to pay) ו"שיטת הערכה המותנית" (Contingent valuation Approach).

הערכת ההשפעות של זיהום האוויר מתבצעת על פי ההיררכיה הבאה:

- כימות ההשפעה והערכה כלכלית של הנזק.
- כימות ההשפעה בלבד ללא הערכה כספית.
- הערכה איכותית בלבד.

(פירוט נוסף לגבי היררכיית ההערכה של השפעות הכלולות במסגרת המודל ראה נספח מס' 5).

הערכת עלות הנזק מזיהום האוויר מתבצעת עבור ארבע קטגוריות: בריאות, נכסים חומריים, יבול, והמערכת האקולוגית. החישוב נעשה בהתאם "לגישה מסלול ההשפעה" והתבסס על מקורות מידע מגוונים המתאימים לכל תחום, על פי החלוקה הבאה: היקף גורם שבסיכון (Stock at risk), פונקציית התגובה (concentration response function) והאומדן הכספי (Valuation), כמפורט בנספח 6.

3.3.3.1 השפעות בריאותיות⁹⁷

ההשפעות הבריאותיות מזיהום אוויר מתחלקות להשפעות קצרות טווח וארוכות טווח, כאשר השפעות הקצרות טווח הינם אירועים המתרחשים בתוך מספר ימים מרגע החשיפה לזיהום עד כשבוע. הקטגוריות העיקריות עבורן נערך הניתוח:

- תחלואה כרונית כתוצאה מחלקיקים נשימים.
- תחלואה כתוצאה מחשיפה קצרת טווח לאוזון.

⁹⁶ Methodology for the Cost-Benefit Analysis of the CAFE Programme (AEAT, March 2005): Volume 1: Overview of Methodology, Volume 2: Health Impact Assessment, Volume 3: Uncertainty : Methods and First Analysis, Peer review Cost-Benefit Analysis of the CAFE Programme report

⁹⁷ Pope et al. (1995), Pope et al. (2002)

- תחלואה של תינוקות כתוצאה מחשיפה לחלקיקים נשימים.
- אובדן חיי אדם כתוצאה מאוזון וחלקיקים נשימים.

חשוב לציין כי קיימת מחלוקת לגבי אופן הערכה של שנות חיים. ישנן שתי שיטות עיקריות לצורך אומדן זה. בשל קיומם של טיעונים בעד ונגד כל שיטה, הניתוח הכלכלי מציג את עלות ההשפעות הבריאותיות באמצעות שתייהן: אובדן שנות חיים מזיהום אוויר (VOLY) וערך חיים סטטיסטי (VSL - Value of Statistical Life). למרות ששתי השיטות שואבות מאותן הנתונים לא מומלץ לעשות המרה והשוואה בין שתי השיטות בשל קשיים ואי-וודאות השוררת במתודולוגיה:

- **ערך חיים סטטיסטי (VSL) - מתבסס על כמות מקרי מוות בטרם עת** נוספים במכפלה של VSL. המדידה מתבססת על אומדן גס להערכת ערך הצלת חיים המתבסס בחלקו על השכר הממוצע בכדי להעריך את האובדן של עובד יצרני ובחלקו על בחינה אמפירית של כמות הכסף אותה מוכנים הפרטים לשלם על מנת להימנע מסיכון בריאותי.
- **ערך אובדן שנות חיים (VOLY) - גישה זו מעניקה ערך כספי לאבדן תוחלת החיים** הנמדדת בשנים על פי מחקרים קוהורטה אשר אומדים את אבדן תוחלת החיים כתוצאה משיעורי סיכון לקבוצות אוכלוסייה. שיטה זו ונשענת ברובה על שיטת ערך החיים הסטטיסטי.

3.3.3.2. עלות פגיעה בתנובת היבול החקלאי

לזיהום אוויר יש השפעה גדולה על תנובת יבול חקלאי, הניתוח מראה כי לאוזון קיימת השפעה על תנובת הגידולים. הערכת הנזקים לגידולים הינה ישירה ובהתאם למחירי אובדן התנובה למול ריכוז האוזון.^{98, 99}

3.3.3.3. עלות נזקים לנכסים חומריים¹⁰⁰

זיהום אוויר אחראי למספר נזקים לנכסים חומריים, כגון, קורוזיה של מתכות, בליית אבנים או דהייט צבעים. במסגרת המודל נאספו מספר מחקרים (העיקרי שבהם הוא NewExt¹⁰¹) אשר בחנו את ההיבט הכלכלי של נזקים אלה במספר ערים.¹⁰²

⁹⁸ world market prices as published by the UN's Food and Agriculture Organization.
Methodology for the Cost-Benefit Analysis of the CAFE Programme (AEAT, March 2005): Volume 1: Overview of Methodology pg 92-95 .

⁹⁹ הנזק ליבולים נמדד באמצעות מדד AOT40 (חשיפה נצברת לאוזון מעל סף של 40 ppb).
¹⁰⁰ פירוט המתודולוגיה של הערכת הנזק הכלכלי של נכסים: CBA-methodology, vol. 1, pp. 37-41, כמו גם בנספח 7 לאותו המסמך.

¹⁰¹ Newext (2004)

¹⁰² ICP Materials (2003) Dose-response functions.

http://www.corr-institute.se/ICP-Materials/html/dose_response.html

3.3.3.4 המערכת האקולוגית

למרות האפשרות התיאורטית לכמת כלכלית (בשיטה של "נכונות לשלם") חריגה מרמות קריטיות ומעומס קריטי (ערכים של איכות סביבה) והעלייה העקבית במספר המחקרים העוסק בהשפעות האקולוגיות של זיהום אוויר, עדיין חסרים נתונים המאפשרים הערכה כמותית של הנזקים בקנה מידה נרחב.

3.3.4 בחירת התרחיש לתוכנית האסטרטגית האירופית

תוצאות המודלים שימשו לבחינת רמות שאיפה שונות להפחתה (ambition level) ובחירת התרחיש המתאים לתוכנית האסטרטגית כמפורט להלן. לצורך כך נבדקו שלושה תרחישי ביניים הכוללים יעדי הפחתה שונים ורמות פעולה שונות. התרחישים נמצאים על הסקאלה בין תרחיש ה"עסקים כרגיל" (CAFÉ-baseline) לבין תרחיש השימוש בטכנולוגיה הטובה ביותר (MFTR¹⁰³). תרחיש "עסקים כרגיל", לוקח בחשבון את החקיקה הקיימת ואת ההתפתחות הכלכלית של מדינות האיחוד, לעומת זאת, תרחיש MFTR לוקח בחשבון את השימוש בטכנולוגיה הטובה ביותר הקיימת ללא התחשבות בהוצאות הכרוכות בכך. בין שתי גישות הקצה נבדקו שלושה תרחישי ביניים (להלן A, B, ו-C) בטווח יעדי הפחתה של 50%-100% ביחס לתרחיש "עסקים כרגיל". התרחישים התמקדו בשיפור של ארבעה מישורים: אובדן תוחלת החיים מחלקיקים נשימים, מוות בטרם עת כתוצאה מחשיפה לאוזון, אוטרופיקציה כתוצאה מעומס קריטי, אסידיפיקציה כתוצאה מעומס קריטי. תכלית שלב זה הייתה להשיג את התועלת האופטימאלית עבור תושבי מדינות האיחוד, ללא פגיעה במדינה מסוימת או יצירת חוסר פרופורציות בסיכונים או בעלויות. התרחישים נמדדו ונותחו ע"י המודלים CAFÉ-CBA ו RAINS ומפורטים בטבלה 18 :

טבלה 18. היעדים הבריאותיים והסביבתיים של התרחישים השונים לשנת 2020

מישורי שיפור	שנת 2000	Baseline שנת 2020	תרחיש A שנת 2020	תרחיש B שנת 2020	תרחיש C שנת 2020	MFTR שנת 2020
אובדן חיים מצטבר (YOLL ¹⁰⁴ , million)	203	137 (0%)	110 (65%)	104 (80%)	101 (87%)	96 (100%)
אסידיפיקציה ¹⁰⁵ [excess per hectare]	120	30 (0%)	15 (55%)	11 (75%)	10 (85%)	2 (100%)
אוטרופיקציה ¹⁰⁶ [excess per hectare]	422	266 (0%)	173 (55%)	138 (75%)	120 (85%)	87 (100%)
tropospheric ozone (SOMO ¹⁰⁷ 35)	4081	2435 (0%)	2111 (60%)	2003 (80%)	1949 (90%)	1895 (100%)

¹⁰³ MFTR: Maximum Feasible Technical,

¹⁰⁴ YOLLs : years of life lost.

¹⁰⁵ Average accumulated excess acidification equivalents per hectare

¹⁰⁶ Average accumulated excess eutrophication equivalents per hectare

¹⁰⁷ SOMO35: sum of mean (ozone concentrations) over 35ppb

כאמור, האופציות נבדקו ע"י פריטת כל אחד מהתרחישים (A, B ו- C) להפחתה כמותית מדורגת של המזהמים על מנת לעמוד ביעדים שהוצבו. הפרמטרים השונים שנבדקו אינם הומוגניים (הרווחים אינם שווים) והותאמו ליעדים (מפורטים בטבלה 18). בטבלאות 19 ו- 20 ניתן לראות את כמות הפחתת הפליטות הדרושה לשם עמידה ביעדים ואת העלות הנגזרת מכך.

טבלה 19. הפחתת הפליטות הדרושות עבור שלוש התרחישים לשנת 2020 (בקילוטון)

מזהם	Baseline		תרחיש A	תרחיש B	תרחיש C
	2020	2000			
גופרית דו חמצנית (SO_2)	2,805	8,735	1,704	1,567	1,462
תחמוצות חנקן (NO_x)	5,888	11,581	4,678	4,297	4,107
תרכובות פחממניות נדיפות (לא מתאניות) (NMVOC)	5,916	10,661	5,230	4,937	4,771
אמוניה (NH_3)	3,686	3,824	2,860	2,598	2,477
חלקיקים נשימים עדינים ($PM_{2.5}$)	964	1,749	746	706	683

טבלה 20. עלויות הפחתת המזהמים בשנת 2020 (במיליוני יורו לשנה)

מזהם	תרחיש A	תרחיש B	תרחיש C	MFTR
גופרית דו חמצנית (SO_2)	800	1,021	1,477	3,124
תחמוצות חנקן (NO_x)	903	2,752	4,255	6,352
אמוניה (NH_3)	1,785	377	5,410	13,584
חלקיקים נשימים עדינים ($PM_{2.5}$)	411	695	908	12,335
תרכובות פחממניות נדיפות מלבד מתאן (NMVOC)	157	573	935	2,457
חלקיקים נשימים עדינים ותחמוצות חנקן מתחבורה	1868	1868	1868	n/a
סה"כ	5,923	10,679	14,852	מעל 39,720

הרווח הכספי הכולל של כל תרחיש, (טבלה 22), משקף את טווח הרווח הכלכלי הבריאותי בלבד¹⁰⁸ והוא אינו כולל תועלות הנגזרות ממניעת נזקים למערכות אקולוגיות (עקב הקושי להעריכם כלכלית). מניתוח התוצאות עולה כי היחס בין העלות לרווח (על פי הערכות החסר) הינו הגדול ביותר בין תרחיש A ל- B ועל פיו נבחר טווח הפעולה של התוכנית. מכך נגזר שיעדי ההפחתה שהתקבלו עבור הנזקים העיקריים (טבלה 21), הינם בטווח הביניים בין תרחיש A ל- B והינם היעדים האפשריים והמומלצים למטרות שהוגדרו על ידי ה- EAP^{6th}.

טבלה 21. יעדי התוכנית האסטרטגית שהתקבלו

¹⁰⁸ עבור הערך התחתון חציון של ערך אובדן חיים (VOLY), ועבור הערך העליון ממוצע של ערך חיים סטטיסטי (VSL).

MFTR	התוכנית האסטרטגית	חקיקה קיימת (CAFÉ-baseline)	השפעות
100%	75%	0%	אובדן חיים מצטבר (YOLL ¹⁰⁹ , million)
100%	55%	0%	Acidification ¹¹⁰
100%	55%	0%	eutrophication ¹¹¹
100%	60%	0%	(SOMO ¹¹² 35) tropospheric ozone

טבלה 22. ניתוח עלות תועלת של התרחישים השונים בשנת 2020 (טבלה מלאה: נספח 2)

טווח הערכת תועלת בריאותית (מיליארדי יורו)	מוות בטרם עת כתוצאה מ- PM _{2.5} ו-O ₃ (אלפים)	אבדן שנות חיים כתוצאה מ- PM _{2.5} (מיליונים)	עלות הפחתה (מיליארדי יורו)	תרחיש
-	370	3.62		2000
-	293	2.47		עסקים כרגיל 2020
37-120	237	1.97	5.9	A
45-146	225	1.87	10.7	B
49-160	219	1.81	14.9	C
56-181	208	1.72	39.7	MTFR
42-135	230	1.91	7.1	התכנית האסטרטגית

3.4. אמצעי מדיניות

לצורך השגת יעדי התוכנית האסטרטגית, נקבעו שורה של פעולות עיקריות, בהן מדינות האיחוד צריכות להתמקד. ניתן לסווג את המלצות אלו להמלצות עקרוניות והמלצות נקודתיות:

3.4.1. המלצות עקרוניות להתמודדות עם זיהום אוויר:

- **שיפור החקיקה הסביבתית בהתאם לדירקטיבות האירופיות המוצעות** – הצעה לחקיקה של דירקטיבה אחת (דירקטיבה איכות אוויר 2008) ע"י שילוב של מספר דירקטיבות¹¹³ לצורך איסוף חוקים ודינים ועריכתם בצורה שיטתית על מנת לפשט ולהבהיר את החקיקות הנדרשות.
- **חיזוק יישום התוכנית והטמעתה** – הדירקטיבות הינן מחייבות בכל המדינות החברות באיחוד אך יש צורך להתייחס לאזורים בעלי בעיות זיהום אוויר מיוחדות ולתת למדינות הארכה ליישום, זאת במידה ואכן ננקטו כל האמצעים להפחתת הזיהום. כמו כן יש לקבוע מדדים ספציפיים שיש להשיג בזמני ביניים.

¹⁰⁹ YOLLs: years of life lost.

¹¹⁰ Average accumulated excess acidification equivalents per hectare

¹¹¹ Average accumulated excess eutrophication equivalents per hectare

¹¹² SOMO35: sum of mean (ozone concentrations) over 35ppb

¹¹³ Directive 96/62/EC - OJ L 296, 21.11.1996, p. 55; Directive 1999/30/EC - OJ L 163, 29.6.1999, p. 41; Directive 2000/69/EC - OJ L 313, 13.12.2000, p. 12; Directive 2002/3/EC - OJ L 67, 9.3.2002, p. 14.

Decision 97/101/EC - OJ L 35, 5.2.1997, p. 14. Directive 2004/107/EC - OJ L 23, 26.1.2005, p. 3.

- **ניטור ודיווח מתקדם ומודרני** – הצעת התוכנית האסטרטגית הינה לעבור למערכת לדיווח אלקטרוני המבוסס על מערכת שיתוף מידע (מערכת INSPIRE¹¹⁴). גישה זו מפחיתה את הבירוקרטיה ומייעלת את זרימת המידע ונגישותו לציבור.
- **הפחתת החשיפה של בני אדם לחלקיקים נשימים עדינים ($PM_{2.5}$)** – מחקרים הראו כי החלקיקים הנשימים העדינים ($PM_{2.5}$) מסוכנים יותר מהחלקיקים הגדולים ולכן יש להתמקד בהם. יעד ההפחתה צריך להיות לרמה של $25 \mu g.m^{-3}$ (ממוצע שנתי) ויש להפחית ככל הניתן את חשיפת התושבים למזהם גם באמצעות נטל נוסף, פיקוח יתר והפחתה אחידה בכלל המדינות של 20% בין השנים 2010 - 2020. יעדים האלה יבחנו כאשר מידע מחקרי ומידע מקיף נוסף של ניטור יהיה זמין.
- **סקירה מחדש של הדירקטיבה לערכי פליטה המקסימאליים (NECD)** – המועצה האירופית תבחן ערכי הדירקטיבה על מנת להתאימה לתוכנית האסטרטגית.
- **קוהרנטיות עם מדיניות סביבתיות נוספות** – האסטרטגיה צריכה להיות עקבית עם מדיניות שינויי האקלים ותעזור בבעיה של אובדן המגוון הביולוגי ובשיקום ארוך טווח, ניטור זיהום קרקעות ועוד.
- **שילוב נושאי איכות האוויר במדיניות של תחומים מגוונים** – שי לשלב את נושא איכות האוויר במדיניות של תחומי רבים כגון: אנרגיה, מתקני שריפה קטנים, פליטות VOC מתחנות דלק, תחבורה, חקלאות וכדומה.

3.4.2. צעדים נקודתיים להפחתת המזהמים¹¹⁵:

- **פליטת גופרית זו חמצנית (SO_2)** – הפחתת הפליטות באמצעות שימוש בדלקים דלי גופרית, התקנת סולקנים (Flue gas desulfurization – FGD) שתכליתם הפחתת פליטה של SO_2 ממתקני הפקת אנרגיה ושריפה שונים.
- **פליטות תחמוצות חנקן (NO_x)** – שינויים ושיפורים במתקני שריפה ביתיים ותעשייתיים כולל התקנת ממירים קטליטיים, איסור על שריפת פסולת ללא טיפול באוויר.
- **פליטת חלקיקים נשימים עדינים ($PM_{2.5}$)** – שימוש באמצעים להפחתת פליטות חלקיקים כגון, ציקלונים וסינון סיבי (fabric filter dusts) בדוודים בסקטור המסחרי, שיפורים ברכבי דיזל.
- **פליטות אמוניה (NH_3)** – הפחתה של כמות החנקן במזון של בע"ח, נקיטת צעדים להפחתת הפליטות בכל הענפים העוסקים בגידולי בע"ח.
- **פליטת תרכובות פחממניות נדיפות (לא מתאניות) (NMVOC)** – שליטה על פליטות קצרות טווח בתעשייה הכימית ובתי זיקוק, בקרה של שימוש בממסים וצבעים.

¹¹⁴ <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/42/list/7/id/2242>

¹¹⁵ EU (2005a), Communication from the commission to the council and the European Parliament, Thematic Strategy on air pollution, advanced unofficial version, COM (2005) 446 final. European Commission, Brussels, Pg.19

פרק 4. יישום תוכנית האסטרטגית לאיכות אוויר בהולנד – התכנית לשיתוף פעולה לאומי

4.1. רקע כללי - מדיניות זיהום האוויר של הולנד¹¹⁶

כחברה באיחוד האירופי, המדיניות של הולנד בנושא זיהום האוויר הינה בהתאם למדיניות האיחוד והינה תחת האחריות של משרד התשתיות ואיכות הסביבה (Ministry of Infrastructure and Environment). הקווים המנחים עבור מדינות אירופה הינם בהתאם לפרוטוקול גוטנברג והדירקטיבה האירופית (NECD) הקובעים ערכי מקסימום למזהמים הבאים: חלקיקים נשימים (PM), תרכובות אורגניות (NMVOC), תחמוצות חנקן (NO_x) וגופרית דו חמצנית (SO₂). אסטרטגיית השגת היעדים הינה בהתאם לתוכנית האסטרטגית של האיחוד האירופית והדירקטיבה EC/2008/50¹¹⁷ (תת-דירקטיבה של התוכנית האסטרטגית) הקובעת את הדרכים והמטרות להשגת היעדים עד שנת 2020. הטמעת הדירקטיבות האירופיות בהולנד נעשו באמצעות תיקון חוק הגנת הסביבה.

4.1.1. תוכנית לשיתוף פעולה לאומית (NSL)

לצורך הטמעת התוכנית האירופית הוקמה בהולנד "תוכנית לשיתוף פעולה לאומית" (National Cooperation Program - NSL) בנובמבר 2007, אשר נמצאת במוקד החוק לאיכות האוויר ההולנדי. התוכנית מרכזת את הפעילות מול האיחוד האירופי, והיא מרכזת ומשלבת את כלל האמצעים הממשלתיים לשיפור איכות האוויר. פעילות התוכנית מתמקדת בייחוד בתחומים בהם הולנד עדיין אינה עומדת בסטנדרטים הבינלאומיים ובתחומים בהם יש סיכוי גבוהה לחריגות. התוכנית אומצה ע"י המועצה האירופית באפריל 2009 ובמסגרתה ניתנה הארכה עד שנת 2013 להשגת היעדים של האיחוד האירופי. ראשית, התמקדה התוכנית בבחינת ההשלכות של יישום התוכנית על הולנד.¹¹⁸ מסקנות הבחינה היו שהמשמעות של מדדי איכות האוויר שהוצעו ע"י האיחוד האירופי הינם הפחתה משמעותית בזיהום האוויר הנוכחי בהולנד. להולנד יהיה קשה לעמוד ביעדים בנוגע למזהמים PM ו- NO₂ אשר המדידות שהתקבלו מצביעות על חריגה מהיעדים שהוצבו, בעיקר לצד דרכים ראשיות ומרכזי עסקים. יש לציין שהולנד מתמודדת עם בעיות זיהום אוויר הנובעות מהיותה מדינה מאוכלסת בצפיפות יחסית

¹¹⁶ <http://www.infomil.nl/english/subjects/air/>

¹¹⁷ DIRECTIVE 2008/50/EC of the European Parliament and of the council

¹¹⁸ "Consequences for the Netherlands of the EU thematic strategy on air pollution Commission", Brussels. Available at: <http://international.vrom.nl/pagina.html?id=38755>

עם סקטור חקלאי מפותח ותעשייה כבדה. למרות ששיפור משמעותי באיכות האוויר בהולנד בעשורים האחרונים, עדיין קיימת בעיה של חשיפה קצרה למזהמי אוויר כגון אוזון ו-PM הגורמת למוות של אלפים בהולנד מידי שנה. מלבד התכנית האסטרטגית האירופית, הולנד השיקה תכנית פעולה לאומית לצמצום זיהום אוויר בשנת 2003 ("Erop of Eronder" מעל או מתחת) אשר כללה אמצעים חדשים לצמצום זיהום אוויר.

4.2. המזהמים הכלולים בתוכנית ויעדיה

4.2.1. יעדי הפחתה

לכל מדינה באיחוד קיימים יעדי הפחתה ספציפיים במסגרת תוכנית אסטרטגית. יעדי ההפחתה עבור הולנד (טבלה 23) הינם נמוכים מהיעדים הממוצעים עבור מדינות האיחוד האירופי. היעדים הנמוכים נובעים מכך שהמשק ההולנדי הוא אחד היעילים ביותר מבחינה סביבתית באירופה ועל כן פוטנציאל ההפחתה במזהמים נמוך יותר יחסית לשאר ארצות אירופה. עם זאת ישנם מספר מזהמים אשר הולנד צפויה לחרוג מערכי היעד הקבועים להם בתכנית האסטרטגית האירופית כגון: PM ו-NOx. לגבי המזהם PM₁₀, אימוץ התכנית האסטרטגית לא תביא לעמידה ביעדים גם בשנת 2020 אלא רק אם ייושם התרחיש של MTFR בכל אירופה. העלות המשוערת של נקיטת הצעדים החדשים להפחתת זיהום אוויר להולנד היא כ- 330 מיליון יורו לשנה והיא אמורה לגדול ב 10% בשנת 2020.

טבלה 23. יעדי ההפחתה למזהמים לשנת 2020. השוואה בין יעד ממוצע למדינות EU לבין יעדי ההפחתה הולנדים

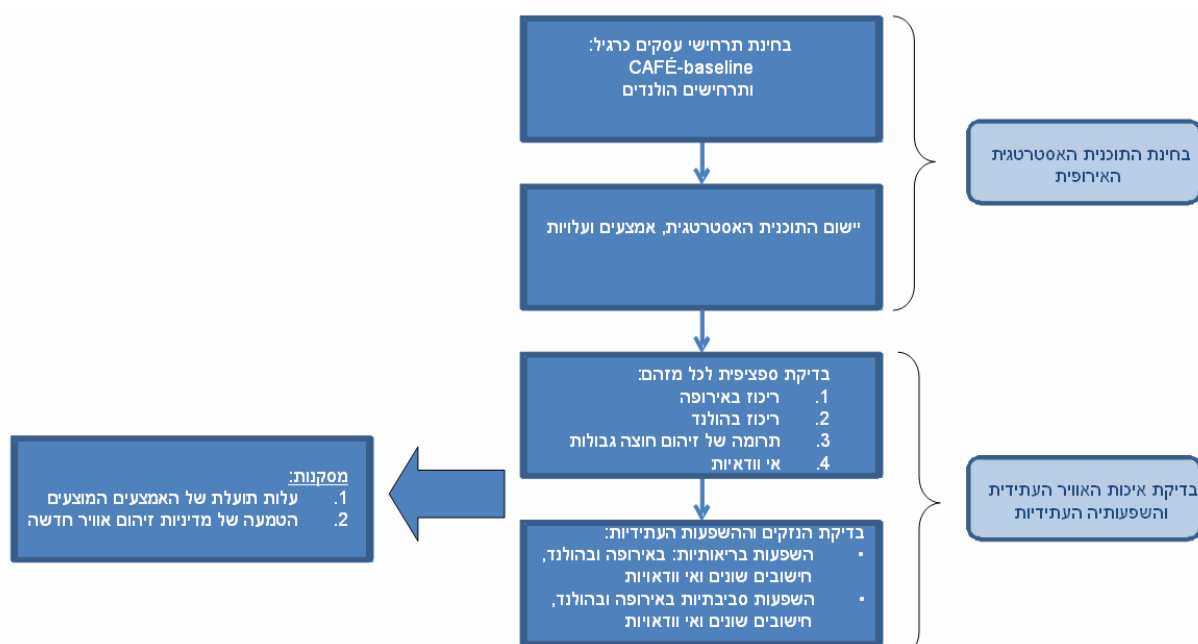
המזהם	יעד שיעורי הפחתה, EU	יעד שיעורי הפחתה, הולנד	ערכי גג לפליטות שנתיות בהולנד בק"ט (עד שנת 2010)
גופרית דו חמצנית (SO ₂)	82%	40%	50
תחמוצות חנקן (NOx)	60%	50%	260
תרכובות פחממניות נדיפות (לא מתאניות) (NMVOC)	51%	40%	185
אמוניה (NH ₃)	27%	30%	128
חלקיקים נשימים עדינים (PM _{2.5})	59%	20%	25 µg.m ³ (ריכוז)

4.3. מתודולוגיה לקבלת החלטות וניתוח עלות תועלת

4.3.1. בניית התכנית בהתייחס לתכנית האירופית

גיבוש המתודולוגיה לתוכנית הלאומית ההולנדית נבע באופן ישיר מהתוכנית האסטרטגית האירופית. תחילה נבדקו הנחות הבסיס של התוכנית ומידת ההתאמה שלהם להולנד ולאחר מכן נבדק יישום יעדי התכנית והעלויות הכרוכות בכך. בעקבות כך בדיקה זו ניתנו המלצות ומסקנות. סכמת תהליך הבדיקה מפורט באיור 24.

איור 1. תהליך בדיקת התוכנית האסטרטגית על פי סוכנות הערכה ההולנדית¹¹⁹



המועצה האירופית ביססה את התוכנית האסטרטגית שלה באמצעות שני מודלים: RAINES ו-CAFÉ CBA, על מנת להעריך רמות שונות של מדיניות על זיהום האוויר. לצורך התאמת התכנית להולנד, נבחנו שני תרחישי "עסקים כרגיל" נוספים במסגרת השימוש במודל RAINES: GE (Global Economy) ו-SE (Strong Europe)¹²⁰.

¹¹⁹The Netherlands Environmental Assessment Agency

¹²⁰ מודל הכלכלה הגלובלית (GE) מניח שוק חופשי, אחריות אישית והתערבות ממשלתית מינימאלית וצמיחת תוצר מקומי גולמי (GDP) של 2.8%, -0.6 שיעור גידול אוכלוסין.

¹²¹ SE שת"פ בינ"ל (למוסדות), אחריות ציבורית, והתערבות ממשלתית פעילה, צמיחת תוצר מקומי גולמי (GDP) של 1.7%, וקצב גידול אוכלוסין של 0.5%.

בנוסף לתרחיש עסקים כרגיל (CAFÉ-baseline) ותרחיש MFTR.¹²² התרחישים ההולנדים נועדו להתאים את הנחות המודלים למציאות ההולנדית ומשקפים הנחות שונות כגון מחיר פליטה של CO₂, שימוש רב יותר באנרגיה, כמות בע"ח נמוכה יותר, שימוש מופחת בנפט, שיעור גדול שיותר של רכבי דיזל ועוד. ההשוואה התמקדה בשתי נקודות זמן 2010 ו- 2020, עבור כל מזהם ספציפי ומקורות הזיהום שלו. טבלה 24 ממחישה בדיקה זו עבור המזהם גופרית דו חמצנית.

טבלה 24. השוואת תרחישי עסקים כרגיל שונים - גופרית דו חמצנית, SO₂ (קילוטון/שנה)¹²³

מזהם	סקטור	2000	2010			2020		
			CAFE	SE	GE	CAFE	SE	GE
גופרית דו חמצנית (SO ₂)	תעשייה, אנרגיה	63	40	60	60	45	57	73
	מסחר, צרכנים	2	1	2	2	1	2	2
	תחבורה	9	17	4	4	18	5	5
	סה"כ	75	59	66	66	64	64	80
								41

תרחיש GE נבחר כתרחיש המשקף טוב יותר את המדיניות והחקיקה הקיימת בהולנד ומהווה את תרחיש "עסקים כרגיל ההולנדי". מכאן נגזרה השיטה לבדיקת התוכנית האסטרטגית עבור הולנד ע"י השוואה בין התוכנית האסטרטגית, תרחיש "עסקים כרגיל ההולנדי" החדש ושלוש רמות ההפחתה של התוכנית האסטרטגית (A, B ו- C).

4.3.2. בדיקות עלות-תועלת עבור הולנד

היבט חשוב בגיבוש התוכנית האסטרטגית הינו ניתוח עלות-תועלת של המדיניות האופציונאלית. בדיקת ההשפעות הבריאותיות נעשתה על פי מחקר של IOM.¹²⁴ הניתוח הכלכלי התבסס על מידע שנאסף במודל RAINS. בנוסף בוצעה השוואה למדינות האיחוד האחרות על בסיס תוצאות מודל CAFÉ, אשר כללה בחינה נוספת של שלושת התרחישים A, B ו- C. חשוב לציין כי עבור הולנד, יחס עלות-תועלת הצפוי להתקבל מיישום התוכנית

¹²² הסיבות לבחינת התרחישים הנוספים הם לצורך מו"מ מול מדיניות האיחוד שהניח שימושים שונים של גורמי זיהום.

¹²³ Projected Emissions of the CAFE Baseline versus the Dutch National Scenarios GE and SE

and MTFR (Maximum Technical Teasible Reductions) for 2000, 2010 and 2020. Sources: Van Dril

and Elzenga (2005); RAINSWEB (2005) and MNP (2005).

¹²⁴ IOM - Institute of Occupational Medicine, available at: http://www.iom-world.org/research/hia_outdoor_air_pollution.php

האסטרטגיה הינו 5:1 (כלומר התועלת גדולה פי חמש מהעלות). יחס זה הינו מהגבוהים באירופה.¹²⁵ עיקר העלות הכלכלית נובעת מההשפעה הבריאותית של חשיפה ארוכת הטווח ל- $PM_{2.5}$ המתבטאת באובדן שנות חיים ועלייה ברמת התחלואה. כמו כן, נלקחו בתחשיב העלות הכלכלית ההשפעה הכספית של אוזון על האלמנטים השונים (בריאות, מבנים וכו'). ניתוח עלות-תועלת במודל CAFE בדק את היתרונות ממעבר בין התרחישים השונים: A, B ו- C, כפי שניתן לראות בטבלה 25. התוצאות של בדיקה זו מראות כי הכדאיות הגבוהה ביותר הינה במעבר בין תרחיש B ל- C (היחס הקטן ביותר). יש לשים לב כי עובדה זו נובעת בשל העלות הנמוכה התוספתית שיש להשקיע לשם רווח נוסף עקב מקורם של רוב הצעדים בתרחיש זה (כלל-אירופי) לצמצום פליטות, מחוץ להולנד.

טבלה 25. עלויות תוספתיות כתוצאה ממעברים בין התרחישים

יחס עלות/רווח מיליוני יורו / שנה	רווח נוסף – הערכה הנמוכה מיליוני יורו / שנה		עלות נוספת לפי RAINS מיליוני יורו / שנה	שינוי ביעדי התכניות
	VSL	VOLY		
1-1.5	545	338	521	$C \rightarrow MFTR$
0.1	385	238	31	$B \rightarrow C$
0.3-0.5	854	528	239	$A \rightarrow B$
0.1	3553	2192	188	$baseline \rightarrow A$

טבלה 26. הבדלים בהשפעות רפואיות בהולנד לפי התרחישים השונים

2020 MFTR	2020 C	2020 B	2020 A	2020 מדיניות נוכחית	2010 - ערכי גג לפליטות NEC	2000	
5.7	5.9	6.1	6.6	8.3	8.6	11.8	אבדן תוחלת חיים סטטיסטית (מחשיפה ל- PM, בחודשים)
336	340	345	353	369	n.a.	416	מוות בטרם עת (חשיפה לאוזון, מקרים)

4.4. אמצעי המדיניות

4.4.1. מסגרות פעולה אפשריות

כאמור, הולנד מיועדת לחרוג מערכי היעד של המזהמים NO_x ו- PM, ועל כן חלק גדול מהתכניות החדשות מופנות להפחתת הפליטה של מזהמים אלו. התוכנית האסטרטגית ההולנדית מציעה ארבע מסגרות לאמצעי מדיניות:

¹²⁵ Watkiss (2005): Cost ratio (benefits/cost) for the B ambition level using a low estimate for benefits.

1. שיפור החקיקה, הטמעה והתאמה של הדירקטיבה לערכי פליטה (NECD).
2. שינוי והתאמה של ערכי פליטה מקסימאליים עבור רכבים, ספינות ומתקנים תעשייתיים.
3. פיתוח מערכת טובה יותר לאיסוף מידע, מודלים וחיזוי זיהום אוויר.
4. שילוב הדאגה לנושאי איכות אוויר בסקטורים מגוונים.

4.4.2. מסגרות חוקתיות

בהולנד קיימים כיום מספר כלים המסדירים את נושא זיהום האוויר :

- **הדירקטיבה לערכי פליטה המקסימאליים (NECD report 2006 Netherlands) – הדירקטיבה לערכי פליטה מקסימאלית¹²⁶ 2001/81/EC** עבור מזהמי אוויר, הינו מסמך המגדיר עבור מדינות האיחוד את ערכי הפליטה המותרים של המזהמים SO_2 , NO_x , NH_3 , $NMVOCs$, ואת הצעדים שעליהן לבצע בכדי להגיע לרמות פליטה מוגדרות עד שנת 2010 ובשנים לאחר מכן. כחלק מהדרישה הזאת על מדינות האיחוד להגיש דו"ח הכולל תוכניות לאומיות ולדווח על הפליטות העכשוויות והעתידות. בשנת 2006 הגישה הולנד דוח שכלל מידע על פליטות מזהמים, ערכי פליטה מקסימאליים והתקדמות בהטמעת הדירקטיבה.
- **L40 מדריך למדידת זיהומים של פליטות אוויר** – המדריך מספק ריכוז של כלים על מנת לעמוד בדרישות איכות הנדרשות מעמידה בהיתרי פליטה. המדריך מלווה במסמכים המשמשים לפיקוח על הפליטות.
- **צו מנחה לפליטות המקסימאליות המותרות ממתקני שריפה** – מדריך המספק הסבר לשימוש בתקנות לפליטות מקסימאליות ממתקני שריפה והוא מהווה הטמעה של הדירקטיבה האירופית¹²⁷ למתקני שריפה גדולים.
- **מדריך הפליטות ההולנדי (NeR)** – המדריך הלאומי לערכי הפליטה המקסימאליים עבור הולנד פותח בהתאם ל TA luft הגרמני. מטרתו ליצור הרמוניה בין שלל ההיתרים הסביבתיים לצרכי ההפחתה של פליטות של מזהמים. לצורך כך ה - NeR קובע סטנדרטיים המתאימים לטכנולוגיות הזמינות הטובות ביותר הקיימות (BAT-best available technology). ל - NeR אין מעמד חוקי מחייב והוא משמש ככלי חשוב המדריך את הרשויות המוסמכות. החלוקה במדריך נעשית לפי סקטורים ולפי מזהמים, ונותן רשימה של צעדים אחריהם צריך לעקוב על מנת להשיג את המטרות אותם מגדיר החוק.
- **תכנית שיתוף הפעולה** – במסגרת תכנית שיתוף הפעולה (NSL), הולנד בוחנת את ההשפעות של צעדי מדיניות להפחתת זיהום אוויר על תכנון סביבתי במסגרת הניסיון להשיג את יעדי התכנית האסטרטגית של

¹²⁶ DIRECTIVE 2001/81/EC of the European parliament and the council of 23 October 2001 on national emission ceilings for certain atmospheric pollutants

¹²⁷ The European NEC-guideline Directive 2001/81/EC

האיחוד. לשם כך עומדים למבחן כל שנה, החל משנת 2010, ריכוזי איכות האוויר וכן הצעדים שנקטו במסגרת התכנית. במידה והיעדים לא מושגים, יכולים להינקט צעדים נוספים, למשל:

- תמרוץ רכישה של רכבים נקיים
- בקרת תנועה – הגבלת מהירות בהתאם לעומס בכביש.
- תכנון – למשל: איסור בניית בתי ספר ליד כבישים מהירים וסואנים.
- **תכנית לאומית להפחתת NMVOC's** – בהולנד קיים פירוט רב של צעדים פרטניים להפחתת פליטות מזהמים אלו מסוגים שונים של מפעלים ומקורות פליטה.
- **צעדים מקומיים** – יש חשיבות רבה בהולנד לתפקידן של רשויות מקומיות במסגרת מדיניות הטיפול בצמצום אוויר. במסגרת התכנית, רשויות מקומיות בהן ישנה חריגה מהיעדים מחויבות להציע תכניות לטיפול בזיהום אוויר ולהציע אמצעים לטיפול בחריגות.

4.4.3. צעדי מדיניות חדשים למזהמים לצורך עמידה בתכנית האסטרטגית

- **חלקיקים נשימים PM10** – למרות שהולנד לא יכולה לעמוד בערכי היעד שהוצגו לה הרי שהולנד יכולה להפחית את שיעורי הפליטה על ידי יישום האמצעים הבאים:
 1. סבסוד רכבים העומדים בסטנדרטים האירופים החדשים, EURO 4/5 בהתאם לרכב.
 2. סבסוד של מסננים לאבק עבור מכוניות ישנות וחדשות.
 3. קידום תחבורה ידידותית לסביבה, תחבורה מקומית, הובלת מטענים ותחבורה ימית.
 4. מניעת רכבים מסחריים מזהמים מכניסה לאזורים מסוימים.
 5. פיתוח דלקים נקיים והגבלה של היתרונות הכספיים של "רכבי מנהלים".¹²⁸
 6. יישום של אמצעים הנוגעים למקורות פליטה על מנת להפחית פליטות של חלקיקים נשימים בתעשייה ובחקלאות.
 7. יישום של אמצעים מקומיים לתמיכה בתשתיות ותמיכה כספית לרשויות מקומיות ביישום אמצעים מקומיים.
- **חלקיקים נשימים עדינים PM_{2.5}** – היות ומצאי מזהם זה הינו חלקי ולא מספק, מכילים צעדי המדיניות של חלקיקי ה-PM₁₀ את ההתמודדות האפשרית עם מזהם זה. בדומה ל-PM₁₀, הולנד לא צפויה לעמוד ביעדי התכנית למזהם PM_{2.5} ועלות צעדי המדיניות להפחתת המזהם הינה גבוהה מאד. הולנד לא צפויה לעמוד גם ביעד הביניים של המדיניות – הפחתה של 20% עד שנת 2020.
- **חנקן דו חמצני NO₂** – הולנד צפויה לעמוד בערכי היעד בשנת 2015 אך לחרוג מהם בשנת 2010. הולנד יכולה לעמוד ביעדים אלו בתנאי שהאיחוד יחמיר את תקן הפליטה לתחבורת כביש. התוכנית האסטרטגית מציעה מספר צעדי מדיניות, ללא קביעת יעדי פליטה מקסימאליים:
 1. סבסוד רכבים העומדים בסטנדרטים האירופים החדשים, EURO 4/5 בהתאם לרכב.

¹²⁸ Business passenger cars

2. קידום תחבורה ידידותית לסביבה, תחבורה מקומית, הובלת מטענים ותחבורה ימית. מניעת רכבים מסחריים מזהמים מכניסה לאזורים מסוימים.

3. פיתוח דלקים נקיים והגבלה של היתרונות הכספיים של "רכבי מנהלים".

4. יישום של אמצעים מקומיים לתשתיות ותמיכה כספית מקומית בערים לאמצעים אלו.

טבלה 27 מפרטת העלות ויעילות הפחתת ההטמנה של חלק מאמצעי המדיניות לפי פילוח של מזהמים וסקטורים.

טבלה 27. צעדים מדיניות יעילים לעמידה בתכנית האסטרטגית ההולנדית

יעילות הפחתה (יורו/קילו)	עלות	הפחתת פליטות עד 2020 ביחס למדיניות הנוכחית (קילוטון)					אמצעי הפחתה	סקטור
		NM VOC	NH3	PM2.5	NOx	SO2		
1	6.3					10.7	שימוש בדלקים ושמינים דלי גופרית	תחבורה
5 (יורו/קילו NOx)	82			1.1	18		תקנים מחמירים יותר עבור תחבורה כביש	
0.2	0.4					0.2	התקנת סולקנים FLD	תעשייה וחשמל
4	82				21		SCR במתקני בעירה	
1	1			1			Deduster ביעילות גבוהה	
7	9.9		1.4				מוצרים לדישון	
0.01	0.3	22					שימור המשקיות	
0.2	0.6	4					בקר דליפות, תיקונים וכד' בתעשיית הכימיה	
0.2	0.8	5					סימולציה של התפתחויות אפשריות בתעשיית הצבע	
2	13.4					7.5	בתי זיקוק – בקרת שלב 3	
0.8	0.07					0.1	שימוש בדלק ושמן דל- גופרית	
3	0.7			0.2			מסננים ביתיים במטבחים ובשימוש בנפט	צרכנים
9	6			0.7			הכנסה איטית של שימוש בחימום חדש	
0.8	3.3	4.1					הכנסה מזוהזת של דוודים חדשים ותנורים	
0.2	0.05			0.3			איסור על שריפת פסולת ביתית	
0.8	5	6					תעשייה וצרכנות – אמצעים נוספים	
2	35.5		22				ישומים דלי חנקן של זבל בקר	
4	21.6		6				עופות: התאמת לולים, אוכל דל-חנקן	חקלאות
14	59		4.3				פרות וחזירים: אוכל דל- נתרן	

	328	41	34	3.3	39	19	סה"כ ק"ט
	27			34	46	56	% תחבורה
	35	90	4	30	54	43	%תעשיה
	3	10		36		1	%צרכנים
	35		96				%חקלאות

סיכום

מסקירת התכניות הלאומיות של בריטניה, ארה"ב, והולנד וסקירת התוכנית האסטרטגית האירופית המובאת בחלק א' של מסמך התכנית הלאומית לצמצום זיהום אוויר בישראל ניתן להפיק מספר תובנות הנוגעות לתוכנית הישראלית.

5.1. כללי

○ **בריטניה –** במוקד סקירת התכנית הבריטית הנסקרת מצוי ניתוח עלות-תועלת מקיף של צעדי מדיניות שונים, אשר פורסם בשנת 2007 במסגרת התכנית האסטרטגית הבריטית לאיכות אוויר אשר רצה כבר כשני עשורים. מכיוון שבריטניה צפויה לעמוד ברוב ערכי היעד שנקבעו במסגרת תכניות קודמות לצמצום זיהום אוויר, עיקרה של התכנית הבריטית הנסקרת במסמך זה בא לידי ביטוי בניסיון להביא להפחתה נוספת בזיהום אוויר באמצעות בחינת צעדי מדיניות ישנים וגיוש צעדי מדיניות חדשים הכוללים ניתוח עלות-תועלת כלכלי פרטני עבור כל צעד וצעד.

○ **ארה"ב –** לעומת התכנית הבריטית המקיפה, הממשל האמריקאי לא מציג תכנית אסטרטגית אחת, אלא מקדם תכניות נפרדות למוזהמים שונים, במסגרת חוק אוויר נקי, אשר מטרתן צמצום זיהום אוויר. התכניות השונות מפורטות במסמך הסקירה ומהוות את כלי ההתמודדות המרכזי של הממשל האמריקני בהתמודדות עם סוגית זיהום האוויר.

○ **אירופה –** האיחוד האירופי מחויב לתכנית הפעולה האירופית השישית בתחום זיהום אוויר (EAP 6th). במסגרת תכנית זו תוכננה התכנית האסטרטגית האירופית משנת 2005 המתמקדת בחמישה מזהמים אשר הם הגורמים ליצירת אוזון (O_3) וחלקיקים נשימים עדינים ($PM_{2.5}$). התוכנית קבעה לכל מדינה החברה באיחוד ערכי גג לפליטות וזאת במטרה לעמוד ביעדי שיעורי הפחתת הזיהום שנקבעו בתכנית. במסגרת זו נערך ניתוח עלות-תועלת מקיף אשר דומה במהותו לתכנית הבריטית. מלבד חמשת המזהמים הכלולים בתכנית האסטרטגית, נקבעו באיחוד תקנים לריכוזי מזהמים נוספים, אשר יש לחשיפה להם השפעות בריאותיות וסביבתיות והם מרוכזים בדיקטיבות של האיחוד האירופי.

○ **הולנד –** בעקבות התכנית האסטרטגית האירופית גובשה בהולנד תכנית לאומית אשר מטרתה העיקרית לבחון את היכולת לעמוד בהוראות התכנית האירופית ולנתח את ההשלכות הכלכליות והסביבתיות מנקיטת הצעדים

הדרושים לשם כך. לפיכך, יש קשר הדוק בין התכנית הלאומית ההולנדית ובין הוראות התוכנית האסטרטגית של האיחוד האירופי.

ניתן לראות הבדל עקרוני ברור בין ההתייחסות האירופית להתמודדות עם זיהום אוויר ובין הגישה האמריקאית לסוגיה זו. בבריטניה והולנד גובשה תוכנית לאומית המרכזת את צעדי המדיניות תחת מסגרת אחת, לעומת זאת האמריקאים פועלים במספר תחומים במקביל. ניתוח התוכניות השונות מראה כי ריכוז צעדי המדיניות במסגרת תוכנית אחת עשוי להקל על קובעי המדינות ולייעל את תהליך קבלת ההחלטות ויישומן.

5.2. סוגי המזהמים הנכללים בתכנית וקביעת התקנים

המזהמים המטופלים בכל שלושת התכניות דומים ונובעים מהיותם של מזהמים אלו האחראיים העיקריות להשפעות הבריאותיות המשמעותיות ביותר.. ארבעת המזהמים הבאים מופיעים בשלושת התכניות שנסקרו:

○ $PM_{2.5}$ חלקיקים נשימים בגודל הקטן מ- 2.5 מיקרומטר

○ SO_2 גופרית דו-חמצנית

○ NO_2 חנקן דו-חמצני

○ O_3 אוזון (בכלל זה המזהם "מבשר" האוזון (NMVOC's)

טבלה 28 מפרטת את המזהמים הנכללים בתוכניות השונות ובתוכנית הישראלית:

טבלה 28. סיכום המזהמים הכלולים בתכניות הלאומיות

מזהם	בריטניה	ארה"ב	EU/הולנד*	ישראל	הערות
$PM_{2.5}$ חומר חלקיקי	✓	✓	✓	✓	חתקן האירופי מצוי עדיין בדיונים
PM_{10} חומר חלקיקי	✓	✓	✓	✓	
NO_2 חנקן דו-חמצני	✓	✓	✓	✓	ב-EU, המזהם NO_2 נכלל במסגרת מזהמי ה- NO_x הכוללים מלבד NO_2 גם את המזהם NO.
SO_2 גופרית דו-חמצנית	✓	✓	✓	✓	
O_3 אוזון	✓	✓	✓	✓	באיחוד האירופי אין יעד הפחתה פרטני לאוזון אלא למזהמים NO_x ו- $VOC's$ אשר חשיפתם לקרני השמש היא הגורם ליצירת אוזון
$^{129}PAHS$	✓		✓	✓	

¹²⁹ במסגרת התכנית הבריטית, המזהם בנזן-אלפא-פירן משמש כמדד לריכוז PHAs.

	V	V		V	Benzene בנזן
	V			V	1,3-בוטאדיאן
ע"פ חוות הדעת של הגורמים המקצועיים הוחלט לגרוע מזהם זה מהתכנית הלאומית של ישראל		V	V	V	CO פחמן חד-חמצני
	V		V	V	Pb עופרת
למזהם זה אין תקנים אלא יעדי הפחתה	V	<u>V</u>		V	NMVOCS
	V	<u>V</u>		V	NH ₃ אמוניה
	V				Hg כספית

* המזהמים המסומנים ב- V הם חלק מהתכנית האסטרטגית האירופית. התייחסות לשאר המזהמים מופיעה במסגרת דירקטיבות אחרות של האיחוד האירופי.

ניתן לראות התמקדות במזהמים אשר ההשפעה הבריאותית הנובעת מחשיפה אליהם הינה חמורה ומוכחת. כתוצאה מכך מירב המאמצים לצמצום פליטות מתמקד בחומרים אלו. פרט לכך ניתן לקבוע שקיימת מידה רבה של התאמה בין המזהמים הכלולים בתוכניות שנסקרו ובין אלו הכלולים בתוכנית הישראלית.

הרציונל העומד מאחורי קביעת התקנים דומה בשלושת התכניות. כל התכניות מתמקדות בקביעת תקנים אשר יצמצמו את ההשפעה של זיהום אוויר על מצבם הבריאותי של בני אדם בשל החשיבות הברורה של נושא זה וגם בשל העלויות האדירות הנלוות להשפעות רפואיות אלו. קביעת התקנים למזהמים נקבעת על פי מחקרים המצביעים על הקשר בין חשיפה למזהמים אלו לבין הופעתן של השפעות בריאותיות.

בנוגע לקביעת תקנים המתייחסים להגנה על הסביבה, שלושת התכניות קובעות יעדים לצמצום זיהום אוויר בהתייחס ליעדים סביבתיים במטרה להגן על צמחיה ומערכות אקולוגיות וצמצום תופעות של אסידופיקציה ואאוטרופיקציה:

- התכנית הבריטית קובעת יעדי סביבה לשלושה מזהמים NO_2 , SO_2 , O_3 אשר מטרתם העיקרית הגנה על מערכות אקולוגיות.
- התכנית האמריקאית קובעת תקנים משניים לששת המזהמים הכלולים בתכנית. התקנים המשניים משקללים גורמים כגון פגיעה בחקלאות, במערכות אקולוגיות במבנים ובראות.
- יעדי ההפחתה שנקבעו בתכנית האירופית מתייחסים לכמות פליטה מקסימאלית של כל מדינה ומשקפים מטרת הפחתת השפעות הזיהום על בני אדם וסביבה גם יחד.

5.3. מתודולוגיה לקבלת החלטות וניתוח עלות-תועלת

בכל שלושת התכניות נערכו ניתוחי עלות-תועלת כלכליים של הצעדים להשגת יעדי הפחתת המזהמים. עם זאת, יש לזכור שצעדים אלו נועדו לסייע בידי מקבלי ההחלטות ואינם המדד היחיד לפיו התקבלו ההחלטות. **בצד העלות** מחושבים צעדי מדיניות אשר יכולים להפחית את הפליטה ממקורות שונים. **בצד התועלת** כולל החישוב את העלות הכלכלית הנחסכת כתוצאה מהפחתת השפעות זיהום אוויר, בעיקר השפעות בריאותיות.

5.3.1. פירוט התועלת (הפחתת ההשפעות של חשיפה לזיהום אוויר) – ניתוחי התועלת כוללים ארבע קטגוריות:

1. השפעות בריאותית – ניתן לסווג את הנזקים הנובעים מחשיפה לזיהום אוויר (השפעות בריאותיות) באופן הבא: השפעות הנובעות מחשיפה קצרת מועד (אקוטיות) והשפעות הנובעות מחשיפה ממושכת (כרוניות). ההשפעות העיקריות הן:

- תמותה עודפת: למשל, קיצור תוחלת החיים (כרוני), מוות בטרם עת כתוצאה מאוזון.
 - תחלואה עודפת: למשל, התגברות של מחלות כלי נשימה וכלי דם וברונכיטיס כרוני.
- הערכת ההשפעה הרפואית נעשתה באמצעות שימוש בפונקציה מנה-תגובה המקשרות בין גידול בריכוז המזהמים באוויר לבין ההשפעות הבריאותיות, וזאת על סמך מחקרים רפואיים מדעיים רבים.
- 2.** השפעות על נכסים – בקטגוריה זו מתבצע כימות כלכלי של תופעות כגון: הרס מבנים, לכלוך ובליה.
- 3.** השפעות על תנובת יבולים – במסגרת קטגוריה זו מתבצעת הערכה של הנזק הכלכלי הנגרם לתנובת יבולים חקלאיים שונים, בעיקר כתוצאה מחשיפה לאוזון (O_3) בגובה הקרקע.
- 4.** השפעה על מערכות האקולוגיות – למרות הנזק המוכח של זיהום אוויר כתוצאה מפעילות אנושית על מערכות אקולוגיות, על פי רוב לא נמדדת השפעה זו באופן כמותי בשל הקושי לכמת באופן מדויק את הפגיעה בערכי סביבה.

5.3.2. כימות כלכלי של ההשפעות של חשיפה לזיהום אוויר

הערכת הנזק הכלכלי במסגרת ניתוחי עלות-תועלת מתבססת על מחירי השוק במקרים בהם זה אפשרי (למשל במקרה של מחלות כלי נשימה – מחושב הפסד ההכנסה ועלות האשפוז), במקרים בהם לא ניתן לכמת באופן ישיר את הנזקים לפי מחירי השוק, נעשה שימוש בשיטות חישוביות אחרות כגון שיטת הערכה מותנית (valuation contingent approach) וגישת הנכונות לשלם (willingness to pay). לדוגמה, על מנת לחשב את עלות ברונקיטיס כרוני אשר לא מתבטא בהפסד של ימי עבודה, מחושב המחיר הכלכלי לפי מחקר המתבסס על נכונות הפרטים לשלם עבור הימנעות מהמחלה.

חשוב לציין שהניסיון לכמת את הערך הכספי של השפעה בריאותית כמו למשל ניסיון לכמת שנות חיים נחסכות ומניעת תמותה מוקדמת (ההשפעה המשמעותית ביותר) מצוי במחלוקת בספרות המקצועית הכלכלית וצופן אי-וודאות ואי-הסכמה על ערכים. ישנן שתי שיטות מרכזיות למתן הערכת כספית לאבדן שנות חיים הנובע מתמותה עודפת: VOLY ו-VSL. שתי השיטות מצויות במחלוקת בספרות המקצועית ותלויות במתודולוגיה בחינת ההשפעות ועל כן משתמשים לעיתים בשתייהן.¹³⁰ מלבד הבדלים עקרוניים אלו, יש הבדל משמעותי בחלק מניתוחי העלות בשל השוני הרב הקיים בעלויות בין מערכות בריאות שונות והקושי לעשות התאמה ערכים בין מדינות (benefit transfer). טבלה 29 מציגה את הבדלים בהשפעה הכלכלית של חלקיקים נשימים $PM_{2.5}$ ומאפשרת להתרשם מטווח הערכים הנכלל בניתוח הכלכלי:

טבלה 29. הבדלים בהשפעה הכלכלית של חלקיקים נשימים $PM_{2.5}$ על תמותה מוקדמת

¹³⁰ כמו כן, ניתן לקבוע את הערך בכל שיטה על ידי חישוב הממוצע או החציון דבר המוסיף לאי-וודאות ולחוסר אחידות בערכים המחושבים.

עלות הצעדים (מיליארדים)	תועלת מהפחתת הזיהום (מיליארדים)	ערך כלכלי למקרה (2020)	הנחת קיצור תוחלת חיים למקרה	תמותה מוקדמת או אבדן שנות חיים בשנת 2020	
0.262-0.268 (עלות נוכחית שנתית של יישום צעד מדיניות A)	£0.5-1.2 (ערך נוכחי שנתי של יישום צעד מדיניות A)	£29,000	2-6 חודשים	147-281 (שנות חיים, אלפים לשנה)	אנגליה
5 (\$, כל צעדי המדיניות)	\$ 7.92-85.8	\$ 8,900,000 VSL חישוב	0.25 - 0.87 שנה (תלוי קבוצת גיל)	230 (מקרים, אלפים לשנה)	ארה"ב
7 (€), עלות כוללת של התכנית האסטרטגית	€42-135 (תועלת מיישום כולל של התכנית האסטרטגית)	€ 27,900 (ממוצע של 55,800 לשנת חיים נחסכת. VSL = 1 מיליון יורו)	6 חודשים	2467 (שנות חיים, אלפים לשנה)	אירופה
0.33 (€), לשנה תוספת למדיניות נוכחית עד 2020)		€ 38,600 (ממוצע של 55,800 לשנת חיים נחסכת.	8.3 חודשים (ע"פ חישוב VSL - השפעה על כל האוכלוסייה)		הולנד

5.3.3. גישות שונות לביצוע ניתוח עלות-תועלת

התועלת הכלכלית המושגת כתוצאה מהפחתת זיהום אוויר משוות לעלויות הצעדים לצמצום הזיהום על מנת לקבל תמונה שלמה של הצעדים היעילים ביותר לצמצום זיהום אוויר. התוכנית האירופית עושה שימוש בשלב זה בשני מודלים שונים, RAINS ו-CBA-CAFÉ, על מנת לקבל הערכה של צעדי המדיניות היעילים ביותר. מודל RAINS מוזן בקלט של רמות פעילות כלכלית ורמות בקרת פליטות ומספק פלט של חבילת צעדי המדיניות היעילה ביותר להשגת מטרות סביבתיות מוגדרות כגון: הפחתת החשיפה לאוזון או הפחתת ריכוז החלקיקים הנשימים בשיעור מסוים. המודל CAFÉ-CBA משווה את חבילת הצעדים בפלט ה- RAINS ביחס לתועלות (ההשפעות השליליות הנחסכות) הנבדקות במודל CBA כדי לבחון את יעילותם הכלכלית של הצעדים (ראה נספחים 1, 3 ו-4).

לעומת זאת, עדכון התכנית הבריטית משנת 2007 כולל ניתוח עלות-תועלת של כל צעד מדיניות לגופו, כאשר נעשו גם חישובים הכוללים מספר צעדים יחדיו. בצורה דומה פועל ה- EPA האמריקאי, כאשר ניתוחי העלות-תועלת מוצגים לאחר קביעת תקני זיהום האוויר ולשם מתן מידע לקובעי המדיניות לגבי המשמעות הכלכלית של עמידה ביעדי כל תקן חדש שנקבע.

מעבר לפירוט הנ"ל, בחינת מתודולוגיית ניתוח עלות-תועלת והשימוש בה לשם קבלת החלטות מעלה שתי מסקנות עיקריות:

1. תועלת משקית – לצד העלויות הגבוהות הדרשות לשם הפחתת זיהום האוויר, הראו כל ניתוחי עלות-תועלת תועלת כלכלית משמעותית למשק כתוצאה מנקיטת צעדי מדיניות אלו.
2. טווח ערכי התועלת – למרות התועלת העולה מניתוחים אלו, קיים טווח ערכים רחב הנובע משקלול פרמטרים שונים של אי וודאות המשפיעים על הניתוח הכלכלי, בכלל זה: מקדם הסיכון היחסי של תמותה

כרונית, הערכת התמונה, אי וודאות עלות יתר, תקופת עיכוב לתמונה כרונית, שיעור ההפחתה בעלויות (discount rate), עלויות התפוקה.

5.4 צעדי מדיניות

בכל שלושת התכניות ניתן דגש על הפחתת הפליטות משני סקטורים עיקריים אשר מהווים את עיקר המקורות לזיהום: ייצור חשמל ותחבורה, זאת בנוסף לצעדי מדיניות בסקטורים נוספים. בטבלה 30 מוצגים צעדי המדיניות לפי חלוקה של מדינות וקטגוריות כלי מדיניות: אכיפה, תמריצים כלכליים, פיתוח תשתיות וחינוך מידע והסברה. בכל התכניות ניתן דגש רב לתפקידן של הרשויות המקומיות במסגרת התכניות הלאומיות. בארה"ב הדבר מובן מאליה בשל שיטת הממשל הפדרלית, אך גם בתכנית הבריטית וגם בתכנית ההולנדית התפקיד שממלאות הרשויות המקומיות בביקור על זיהום אוויר ובהצגת תכניות להפחתת הזיהום בתחומן הוא מכריע. מירב ההתמקדות של הרשויות המקומיות הוא בנקודות חמות - נקודות מקומיות, לרוב מרכזי עסקים ומסחר סוואנים וכבישים עמוסים, בהן ישנה חריגה מהתקן המותר.

טבלה 30. השוואה חלקית של צעדי מדיניות בתחבורה ותעשייה בין המדינות

סקטור	כלי מדיניות	אנגליה	ארה"ב	הולנד
תחבורה	אכיפה	- תקינה מחמירה לכלי רכב - קביעת תקנים לדלק דל-גופרית	- תקינה פליטה מחמירה לכלי רכב - קביעת תקנים לתכולת דלקים, תקן התנדפות	- הגבלת של יתרונות כספים ברכבי מנהלים - מניעת כניסה לאזורים סבסוד מסונני פליטה - תקינה למנועי של כלי תחבורה שאינם רכבים.
	כלים כלכליים	- סבסוד רכבים שעומדים בתקינה חדשה ורכבים דלי-פליטה - קידום גריטת רכבים	- תכניות לגריטת רכבים - תוכנית לגריטת מכסחות דשא	- סבסוד רכבים שעומדים בתקינה חדשה - עידוד שימוש בביו-דלק - מיסוי לפי זיהום
	פיתוח תשתית	- מערכת של כבישי אגרה - תיחום אזורים "נקיים" - מנהלי איכות אוויר מקומיים	- שיפור תחבורה ציבורית - סלילת נתיבי אופניים	- קידום תחבורה ידידותית לסביבה - פיתוח דלקים נקיים
	מידע חינוך והסברה	"בחירה חכמה"	דירוג סביבתי לרכבים.	
חשמל	אכיפה	- הפחתת פליטות בתחנות חשמל קטנות שימוש בדלק דל-גופרית - חיוב התקנת סולקנים בתחנות גדולות	קביעת מקסי פליטות.	ישום BAT ע"פ ה-IPPC
	כלים כלכליים		סחר בפליטות (פנים מדינתי)	מסחר באשרות פליטה
תעשייה	אכיפה	תקינה מחמירה עבור פליטת NOx במתקני מבוססי גז	- הוצאת רישיון זיהום אוויר למפעלים - צמצום פליטות ממקורות תעשייתיים	- תכנית לאומית להפחתת NMVOC בתחומי תעשייה, פסולת וכו' - מעבר מדלק פחמי לגז בבתי זיקוק
	פיתוח תשתית	תכנית לאומית למעבר לתעשייה דלת פחמן – הפחתת השימוש בפחמן ב-83% עד 2050 לעומת רמות השימוש ב-1990		

משקי בית	אכיפה	○ תקינה לדוודים ביתיים	
	כלים כלכליים	○ תמרוץ מעבר מבנוזין לגז ○ בתנורי בעירה ביתיים	○ מעבר להסקה מרכזית
	מידע חינוך והסברה	○ עידוד שימוש מופחת בכלי רכב על ידי תכנון והסברה ○ מידע על אזורים מזוהמים.	האיחוד האירופי – איחוד ועריכה של חוקים שונים לדירקטיבה אחת כוללת.

לסיכום, ההשוואה לעיל ניתן להבחין במגמות הבאות:

- סקטור התחבורה – שימוש בכל מגוון כלי המדיניות העומדים לרשות קובעי המדיניות.
- סקטור ייצור אנרגיה – התמקדות באכיפה באמצעות מתן היתרי פליטה וחיוב התקנת אמצעים להפחתת פליטות.
- סקטור התעשייה – התמקדות באכיפה באמצעות מתן היתרי פליטה, החמרת התקנים ויישום תוכניות ממוקדות לפי תת סקטור או מזהם.
- משקי הבית – ניתן לראות נטייה ברורה לשימוש בהסברה, לעומת סקטורים אחרים. חשוב לציין שחלק משמעותי מהניסיון לשינוי דפוס הפעילות של הפרט מנותב לסקטור התחבורה.

ביבליוגרפיה

ביבליוגרפיה של סקירת התכנית הבריטית

התכנית הלאומית הבריטית לקוחה מתוך אתר האינטרנט של המשרד להגנת הסביבה הבריטי:

<http://www.defra.gov.uk/environment/quality/air/airquality/strategy>

הניתוח הכלכלי של התכנית האסטרטגית הבריטית גם כן לקוח מתוך אתר המשרד:

<http://www.defra.gov.uk/environment/quality/air/airquality/publications/stratreview-analysis/index.htm>

מקורות נוספים:

1. Chilton, S. Covey, J. Jones-Lee, M. Loomes, G. and Metcalf, H. (2004), 'Valuation of Health Benefits Associated with Reductions in Air Pollution', London: Defra. Also available at:
http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/airpoll_health/
2. Damage cost for air pollution, final report for Defra, March 2006. available at:
<http://www.defra.gov.uk/environment/quality/air/airquality/panels/igcb/documents/dcs-report2006.pdf>

3. Europe wide ICP materials (2003), ICP Materials (2003) Dose-response functions. Available at:
http://www.corr-institute.se/ICPMaterials/html/dose_response.html
4. Health Effects Institute (2000) 'Re-analysis of the Harvard Six Cities Study and the American Cancer Society Study of Air Pollution and Mortality: Parts I and II', Cambridge, MA: Health Effects Institute. Also available at: <http://www.healtheffects.org/Pubs/Reanpart1.pdf> , and <http://www.healtheffects.org/Pubs/Rean-part2.pdf>
5. Holland, M.R., Haydock, H., Lee, D.S., Espenhahn, S., Cape, J.N., Leith, I.D., Derwent, R.G., Lewis, P.M., Falla, N.A.R. and Mower, K.G. (1998) The effects of ozone on materials. Contract report for the Department of the Environment, Transport and the Regions
6. ICP/MM (2004) Mapping Manual Revision. United Nations Economic Commission for Europe, ICP, Mapping and Modeling. available at: <http://www.oekodata.com/icpmapping/html/manual.html>
7. Markandya, A. Hunt, A. Alberini, A. and Ortiz, R. A. (2004) 'The Willingness to Pay for Mortality Risk Reductions', An EU 3-Country Survey, EC DG Research.
8. Pope, C. Thun, M. Namboodiri, M. Dockery, D. Evans, J. Speizer, F. and Heath, C. (1995) 'Particulate Air Pollution as a Predictor of Mortality in a Prospective Study of US Adults' ,American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 151, pp.669-74
9. Pope, C. Burnett, R. Thun, M. Calle, E. Krewski, D. Ito, K. and Thurston, G. (2002) 'Lung Cancer, Cardiopulmonary and Long Term Exposure to Fine
10. Particulate Air Pollution', Journal of the American Medical Association, 287, pp.1132-1141
11. Rabl, A., Curtiss, P. and Pons (1998). Air Pollution and Buildings: An Estimate of Damage Costs in France. Environmental Impact Assessment Review.
12. Stedman, J. R. Grice, S. Bush, T. J. Murrells, T. P. and Hobson, M. (2006) 'Projections of Air Quality in the UK for Additional Measures Scenarios for the 2006 Review of the Air Quality Strategy', National Atmospheric Emissions Inventory, AEA Technology, National Environmental Technology Centre, Report AEAT/ENV/R/1986 Available at: www.airquality.co.uk

ביבליוגרפיה לסקירת התכניות האמריקאיות

המקור המרכזי לפרק זה הוא אתר האינטרנט של ה-EPA: www.epa.gov

דפים מרכזיים מתוך האתר בהם נעשה שימוש:

1. EPA Clean Air Act - <http://www.epa.gov/air/caa/>
2. Benefit and Cost of the Clean Air Act - <http://www.epa.gov/oar/sect812/feb11/fullreport.pdf>
3. National Ambient Air Quality Standards - <http://www.epa.gov/air/criteria.html>
4. Tier 2 Vehicle & Gasoline Sulfur Program - <http://www.epa.gov/tier2/>
5. Particulate Matter (PM) Standards – Review Completed in 2006. Including the following documents:
 - Final PM Criteria Document, 2004.
 - PM Staff Paper, 2005.
 - Regulatory Impact Analysis, 2006.
 - PM NAAQS Final Register Notice, 2006.

http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/pm/s_pm_cr_fr.html Accessible at:

6. EPA Operating Permits - <http://www.epa.gov/airquality/permits/index.html>
7. EPA Acid Rain Program - <http://www.epa.gov/airmarkets/progsregs/arp/index.html>
8. EPA Air Transport - <http://www.epa.gov/airtransport/>

9. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants -

<http://www.epa.gov/ttn/atw/mactfnlalp.html>

10. Reformulated Gas: <http://www.epa.gov/otag/rfg.htm>

מקורות נוספים :

מידע לגבי תוכנית הפעולה של מדינת קליפורניה לאזור סקרמנטו :

11. California Air Resource Board: Sacramento Regional 8-Hour Ozone Attainment and Reasonable Further Progress Plan, December 19, 2008. Accessible at:

<http://www.arb.ca.gov/planning/sip/planarea/sacsip/sacplanozone2009.pdf>

מידע על תקני הפליטות לכלי רכב, מתוך אתר :dieselnet.com

12. Tier 2 standards: http://www.dieselnet.com/standards/us/ld_t2.php

13. California standards: http://www.dieselnet.com/standards/us/ld_ca.php

ביבליוגרפיה לתכנית ההולנדית והאירופית

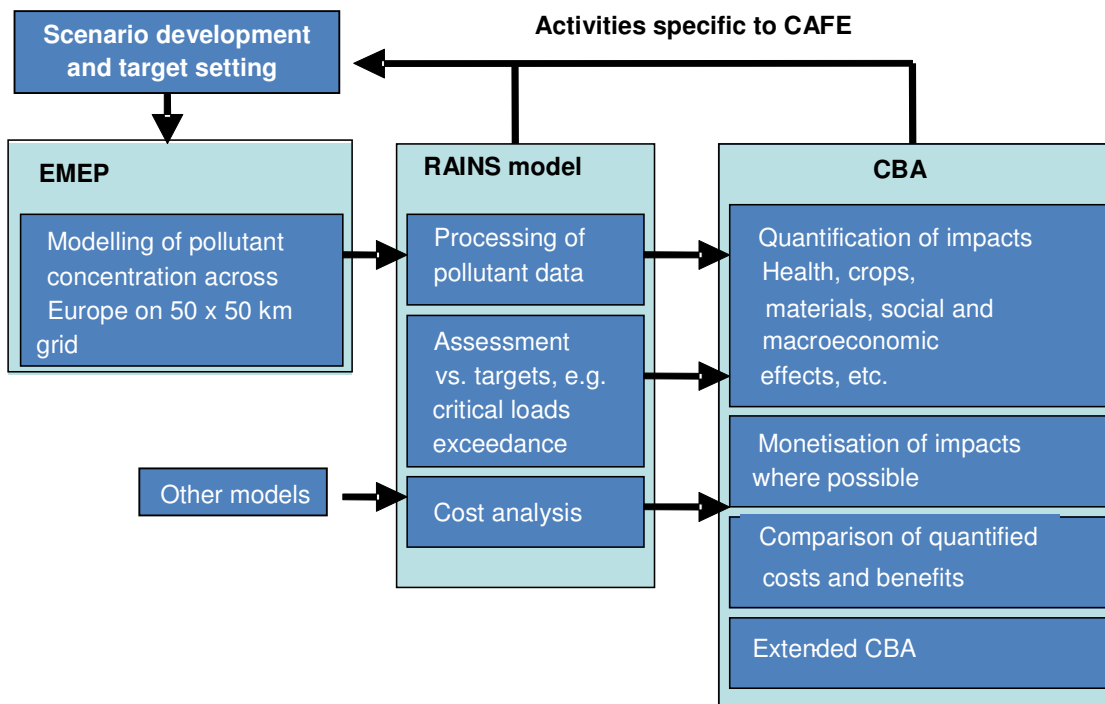
1. Amann M., I. Bertok, R. Cabala, J. Cofala, C. Heyes, F. Gyarfas, Z. Klimont, W. Schöpp, F. Wagner (2005b). First Results from the RAINS Multi-Pollutant/Multi-Effect Optimization including Fine Particulate Matter. CAFE Scenario Analysis Report nr. 3. International Institute for Applied Systems Analysis, Luxemburg, Austria
2. CBA Methodology. Available at: ec.europa.eu/environment/air/pdf/cba_methodology_issue3.pdf
3. Consequences for the Netherlands of the EU thematic strategy on air pollution
4. Directive 70/220/EEC, L 76, 6.4.1970, p.1. and Council Directive 85/203/EEC of 7 March 1985 on air quality standards for nitrogen dioxide, and Council Directive 80/779/EEC of 15 July 1980 on air quality limit values and guide values for sulfur dioxide and suspended particulates
5. NEWEXT (2004) New Elements for the Assessment of External Costs from Energy Technologies Project Report for EC DG Research.
6. <http://www.emep.int/OpenSource/index.html>
7. The 1999 Gothenburg Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone. Available at: <http://www.unece.org/env/lrtap/full%20text/1999%20Multi.E.Amended.2005.pdf>

8. ICP Materials (2003) Dose-response functions. Available at:
http://www.corr-institute.se/ICP-Materials/html/dose_response.html
9. Pope, C. Thun, M. Namboodiri, M. Dockery, D. Evans, J. Speizer, F. and Heath, C. (1995) 'Particulate Air Pollution as a Predictor of Mortality in a Prospective Study of US Adults' ,American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 151, pp.669-74
10. Pope, C. Burnett, R. Thun, M. Calle, E. Krewski, D. Ito, K. and Thurston, G. (2002) 'Lung Cancer, Cardiopulmonary and Long Term Exposure to Fine Particulate Air Pollution', Journal of the American Medical Association, 287, pp.1132-1141

נספחים

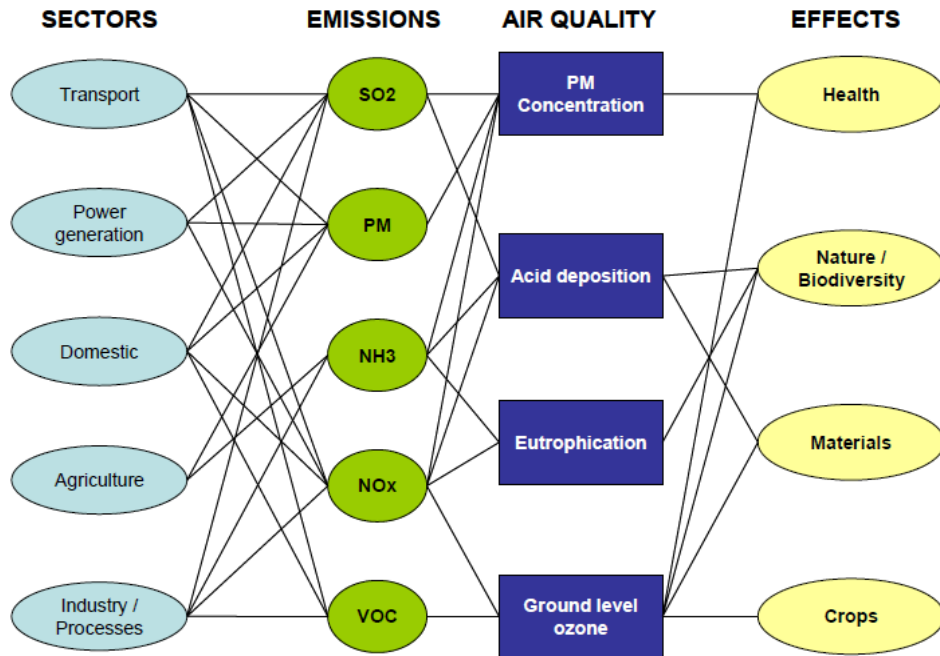
נספח מספר 1

סכמת האינטגרציה בין ה - EMEP למודל ה - RAINS ומודל ה - CBA-CAFÉ בהתאם לגישת Impact Pathway



נספח מספר 2

בעיית זיהום האוויר, סכמת הקשרים העיקריים בין מקור מזהם לאיכות אוויר וההשפעה הסביבתית-בריאותית שלו



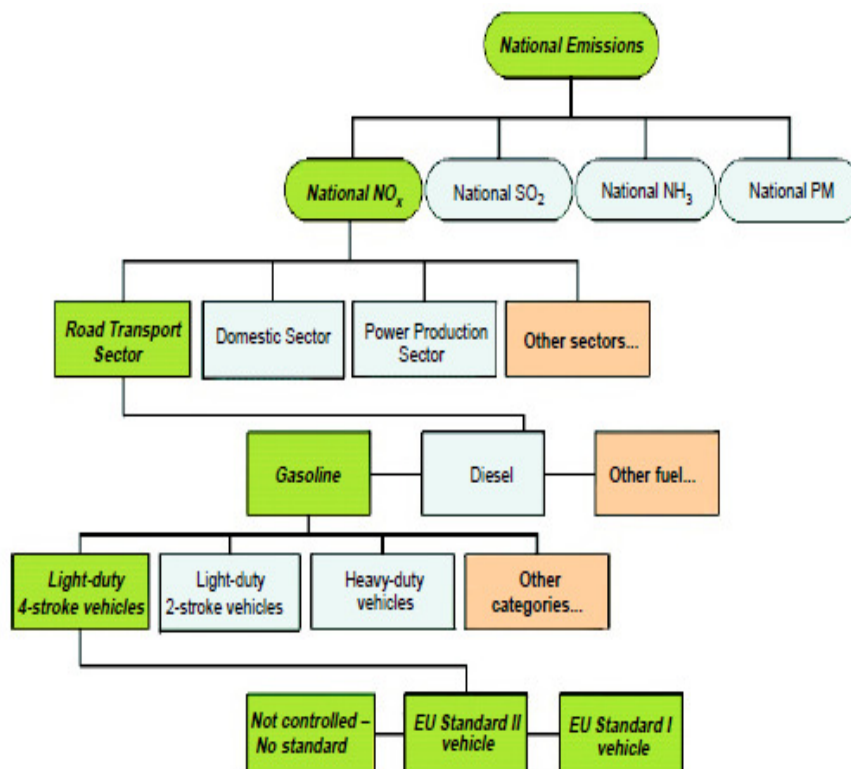
נספח מספר 3

מבנה מודל OPT כחלק ממודל RAIN – פירוק לגורמים של NO_x

חישוב פליטה כולל של מזהם מסוים מחושב על ידי פירוק לגורמים של הסוגיה, לדוגמא:

○ פליטה ברמה הלאומית של NO_x .

- בחירת הסקטור הנבדק (תחבורה).
- סוג הדלק והרכב המהווה מקור לזיהום.
- שלושה סוגי תקינה שונים כמו מדיניות אכיפה או אמצעי הפחתה בעלי עלות ויעילות משתנה.



קלט של מודול OPT כולל מרכיבים כגון, שורה של מטרות לרמות זיהום, עקומות העלות של המדיניות עבור תרחישים שונים הנובעים משינוי בשימוש באנרגיה, חקלאות וכדומה תוך שילוב של הגבלות הנובעות ממדיניות קיימת או עתידית.

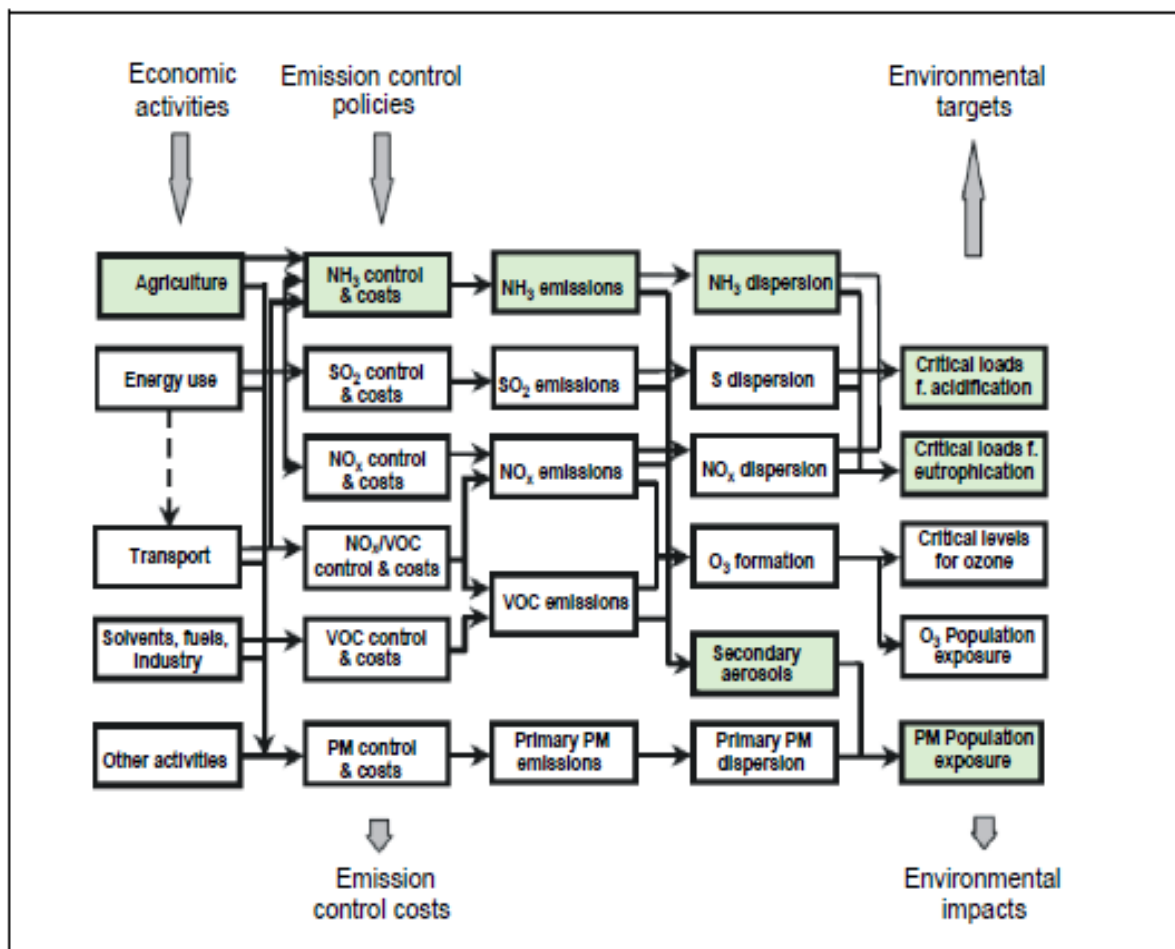
פלט של המודול OPT כולל את המרכיבים הבאים, עלות ההפחתה האופטימאלית של מזהמים והעלויות השוליות הנובעות מכך והרכב המזהם בכל תא.

נספח מספר 4

מודל RAINS - המחשת השילוב בין המודולים הבאים: OPT, DEP, EMCO

דוגמה עבור אמוניה

האיור בנספח מציג את הקווים הכלליים לפעולת מודל RAINS (עבור אמוניה) כאשר שלוש העמודות הראשונות שייכות למודול EMCO והעמודות הרביעית והחמישית מייצגות את המודולים DEP ו- OPT בהתאמה.



נספח מספר 5

¹³¹ [פירוט היררכית ההערכה של השפעות הכלולות במסגרת מודל CAFE-CBA](#)

¹³¹ Methodology for the Cost-Benefit Analysis of the CAFE Programme (AEAT,

Effect	Impact quantified and valued	Impact only quantified	Qualitative assessment	Comments
Health				
Primary PM, NO ₃ and SO ₄ aerosols	✓	✓		Care taken to avoid double counting with chronic effects
acute – mortality, morbidity	✓	✓		
chronic – mortality, morbidity	✓	✓		
infant mortality	✓	✓		
Ozone				
acute – mortality	✓	✓	✓	Less clear linkage between O ₃ and mortality than for PM ₁₀
chronic – mortality	✓	✓	✓	No information on possible chronic effects
acute – morbidity	✓	✓	✓	
chronic – morbidity	✓	✓	✓	
Direct effects of SO ₂			✓	Limited importance to CAFE
Direct effects of VOCs			✓	Lack of data on speciation, etc.
Direct effects of NO ₂			✓	Lack of clear information of effects at ambient levels
Social impacts			✓	Limited data availability
Altruistic effects			✓	Reliable valuation data unavailable
Agricultural production				
Direct effects of SO ₂ and NO _x			✓	Negligible according to past work
Direct effects of O ₃ on crop yield	✓	✓		
Indirect effects on livestock			✓	
N deposition as crop fertiliser			✓	Negligible according to past work
Visible damage to marketed produce		✓	✓	
Interactions between pollutants, with pests and pathogens, climate...			✓	Exposure-response data unavailable
Acidification/liming			✓	Negligible according to past work
Materials				
SO ₂ /acid effects on utilitarian buildings	✓	✓		
Effects on cultural assets, steel in reinforced concrete			✓	Lack of stock at risk inventory and valuation data
PM and building soiling	✓	✓		
Effects of O ₃ on paint, rubber	✓	✓		
Ecosystems				
Effects on biodiversity, forest production, etc., from excess O ₃ exposure		✓	✓	Valuation of ecological impacts is currently too uncertain
Effects on biodiversity, etc., from excess N deposition		✓	✓	Valuation of ecological impacts is currently too uncertain
Effects on biodiversity, etc., from excess acid deposition	✓	✓		Valuation of ecological impacts is currently too uncertain
Visibility: Change in visual range			✓	Impact of little concern in Europe.
Change in greenhouse gas emissions		✓	✓	Valuation too uncertain
Macroeconomic effects		✓	✓	Addressed using the GEM-E3 model
Drinking water supply and quality	✓		✓	Limited data availability

נספח מספר 6

פירוט מקורות המידע עבור הערכת התועלת או הרווח במסגרת מודל CAFE-CBA

March 2005): Volume 1: Overview of Methodology, Volume 2: Health Impact Assessment, Volume 3: Uncertainty : Methods and First Analysis, Peer review Cost-Benefit Analysis of the CAFE Programme report

	Stock at risk	Response functions	Valuation
Health	UN population data, with additional factors for sensitivity of the population from Eurostat	Working group convened by WHO for mortality analysis. Morbidity by CAFE CBA (Hurley) based on ExternE plus input from WHO.	Surveys undertaken in NewExt and other projects and debate under CAFE.
Materials	EC ExternE Project	ICP Materials working under LRTAP Convention	Repair cost data from architectural sources
Crops	Stockholm Environment Institute	ICP Vegetation working under LRTAP Convention	World market prices from FAO
Ecosystems	Coordinating Center for Effects	Coordinating Center for Effects via GAINS, providing outputs in terms of exceedance areas	None

נספח מספר 7

ניתוח עלות תועלת של התרחישים השונים בשנת 2020

Ambition level	Cost of reduction (€bn)	Human health		Range in monetised health benefits ¹⁰ (€bn)	Natural environment				
		Life Years Lost due to PM _{2.5} (million)	Premature deaths due to PM _{2.5} and ozone (thousands)		Ecosystem area exceeded acidification (000 km ²)			Ecosystem area exceeded eutrophication (000 km ²)	Forest area exceeded ozone (000 km ²)
					Forests	Semi-natural	Fresh-water		
2000		3.62	370	-	243	24	31	733	827
Baseline 2020		2.47	293	-	119	8	22	590	764
Scenario A	5.9	1.97	237	37 – 120	67	4	19	426	699
Scenario B	10.7	1.87	225	45 – 146	59	3	18	375	671
Scenario C	14.9	1.81	219	49 – 160	55	3	17	347	652
MTFR	39.7	1.72	208	56 – 181	36	1	11	193	381
Strategy	7.1	1.91	230	42 – 135	63	3	19	416	699

נספח מספר 8

ממוצע הפליטות עבור $PM_{2.5}$ בהולנד בשנת 2020 לעומת שנת 2000 עבור מדיניות פעולה שונה העלויות הינן בהתאם

¹³² RAINS

	2000	2020		
		GE	Thematic Strategy	Maximum Technical Feasible Reduction (MTFR)
$PM_{2.5}$ (total) ($\mu g/m^3$)	11.9	7.8	6.7	4.6
$PM_{2.5}$ anthropogenic (NL) ($\mu g/m^3$)	3.6	2.6	2.4	1.6
Incremental additional cost NL with respect to baseline and TS (M€)			330	1600
Additional NL cost In M€ / $\mu g/m^3$ with respect to baseline and TS of NL concentrations attribution			1400	2000

¹³² RAINS (Amann et al., 2005e) and RAINSWEB (2005).