

כנס ערים רגישות מים בישראל, אוניברסיטת תל אביב, יולי 2019

סדנת מידול הידרולוגי ואקלימי

חלק ראשון: מי נגר בעיר

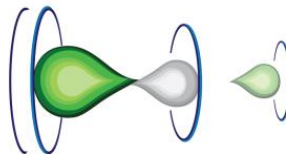
פרופ' אביתר אראל¹ וד"ר אביבה פיטרס²

¹ אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

² TerraVision Lab



The Center for Water
Sensitive Cities in Israel
המרכז לערים רגישות
מים בישראל



מבוא למידול הידרולוגי – עירוני

נושאי ההרצאה:

- גורמים המשפיעים על היקף הנגר העירוני
- איכות מי הנגר
- סקירה ואפיון של מודלים הידרולוגיים קיימים
- התערבות ומיתון הנגר באמצעות גישת ה- **BMP** - BEST MANAGEMENT PRACTICE
- הגדרת בסיס הנתונים הנדרש למידול אפקטיבי
- תוצרי המידול – מיפוי נתיבי זרימת הנגר, כמויות מי נגר, ספיקות שיא, פוטנציאל מיתון הנגר באמצעות תכנון LID ואומדן עלויות

יום גשם בישראל...



גורמים המשפיעים על היקף הנגר העירוני:

- תכנון לקוי של מערכת הניקוז?
- תחזוקה לקויה של תשתיות הניקוז?
- תהליך העיור והבינוי המואץ ושינויים בתכסית אגן הניקוז?
- שינויי אקלים?



- (1) חיזוי הנגר העילי בכל רחבי העיר, לפי מאפייני אירוע הגשם בתרחישים שונים
- (2) אומדן הספיקות: היכן צפוי כשל של מערכת הניקוז?
- (3) זיהוי אתרים מתאימים להתקנת אמצעים להאטת הזרימה, להשהיית המים או להחדרה למי התהום (REDUCE, DELAY, STORE)

WE NEED A MODEL!



Sources:

<https://www.thenatureofcities.com/2016/07/24/what-do-rotterdamers-want-in-green-infrastructure-we-asked-them/>

<https://www.njfuture.org/2013/03/11/green-infrastructure/>

פארק עמק הצבאים, ירושלים, מקור: אקולוגיה וסביבה, צילום: דני מלמן

▪ **Best Management Practice (BMP)**

גישה הדוגלת בהשגת המטרה תוך שימוש אופטימאלי במשאבים

▪ **Low Impact Development (LID)**

פיתוח בעצימות נמוכה תוך שימוש בתכנון ועיצוב עירוני לצמצום היקף השטחים האטומים למים ושמירת השטחים הטבעיים

▪ **Water Sensitive Urban Design (WSUD)**

תכנון ועיצוב עירוני רגיש למים הכולל את כל המרכיבים של מחזור המים העירוני כגון, ניהול, הספקה, טיפול בשפכים ובמי הנגר

▪ **Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS)**

אוסף של טכנולוגיות לטיפול במי גשם ונגר המשתמש בשיטות ברות-קיימא

מאפיינים הנדרשים ממודל הידרולוגי - עירוני

המטרה: מידול כמותי של הנגר העירוני המאפשר לעמוד ביעדים של כמויות ואיכות הנגר באמצעות הקטנת כמויות מי הנגר, מיתון הספיקות וצמצום המזהמים

- על מהמודל לאפשר:
- מידול של המערכת ההידרולוגית העל- והתת – קרקעית
- ניתוח של חלופות BMP
- מידול של LID
- מידול של תתי-אגנים בקנה מידה עירוני (קנה מידה של מבנים ומקבצי מבנים)

אתגרים של מידול הידרולוגי בסביבות עירוניות



דרישות של מודלים למידול בסביבות לא עירוניות

- טופוגרפיה
- קרקע
- נתוני גשם
- התאדות
- משטחים מחלחים ואטומים

דרישות נוספות האופייניות למודלים בסביבות עירוניות

- תשתיות ניקוז עירוניות
- רזולוציה מרחבית גבוהה של נתוני גבהים והבדלי גבהים, כגון מדרכות – DEM עירוני
- רזולוציה מרחבית גבוהה של התכנית העירונית ושימושי הקרקע

תשתיות – רשת ניקוז ורשת כבישים

Source: <http://ecotelhado.com.co/ecodrenos-previniendo-inundaciones/>

אתגרים של מידול הידרולוגי בסביבות עירוניות



Vertical resolution: Variability in surface elevation

Source: <http://icem.com.au/adb-releases-publication-on-green-infrastructure/climate-change-1/>



Horizontal resolution: Variability in land cover & vegetation

Source: City of Portland, Environmental Services © 2009, <http://www.odysseylandscape.com/bioretenction.html>

איכות מי הנגר: מזהמים אנתרופוגנים

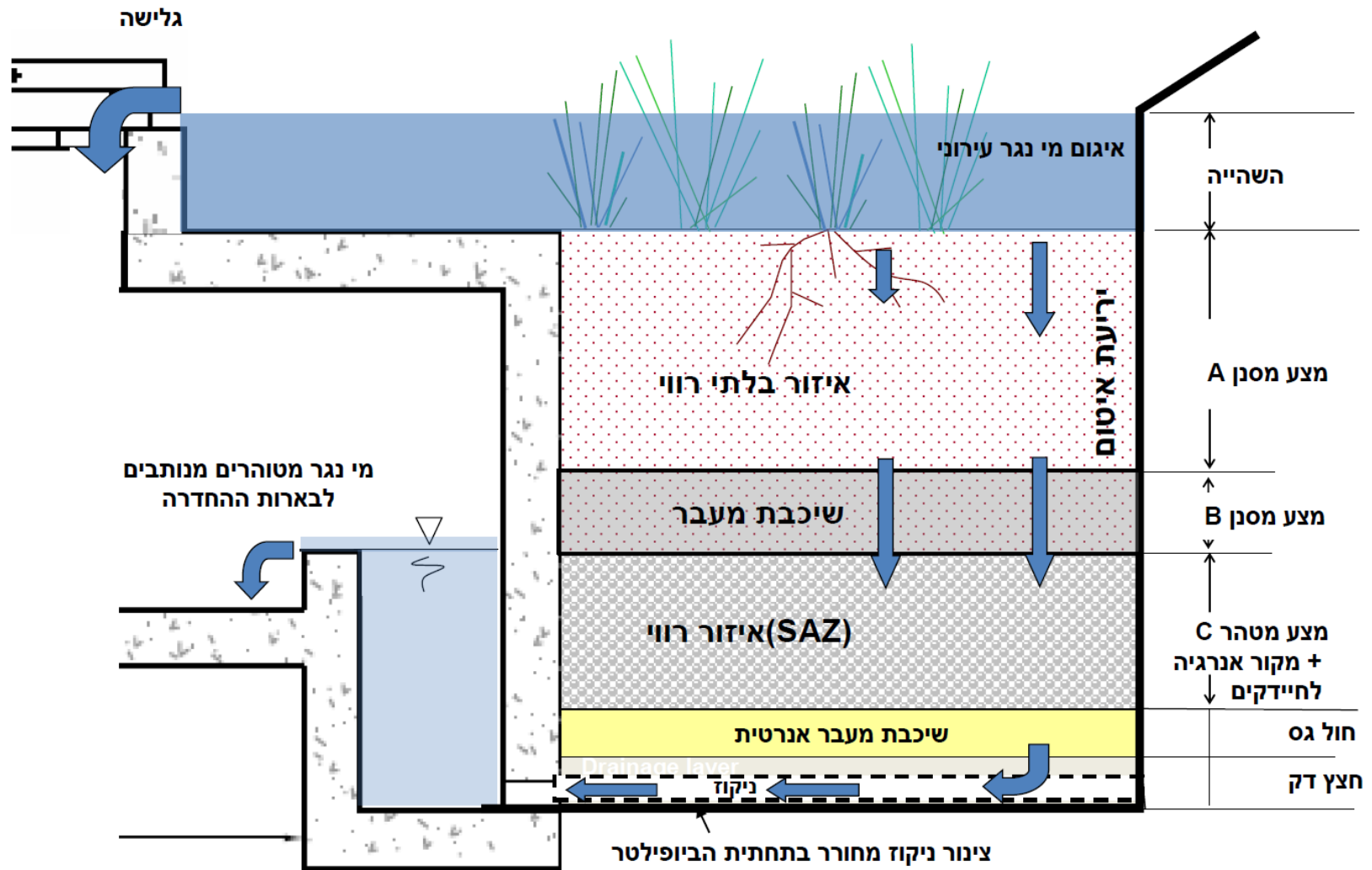
ההנחה היא שמי הגשם נקיים, אולם מי נגר עלולים להכיל מזהמים כגון חומרים פתוגניים, מתכות, תרכובות אורגניות נדיפות, דלקים ועוד

גורמים המשפיעים על ריכוז המזהמים:

- תקופות יבשות בין אירועי גשם – ריכוז גבוה יותר של מזהמים לאחר תקופות ארוכות ללא גשם
- משך ועצמת אירוע הגשם
- מרחק הסעת הנגר על גבי התכסית
- אופי התכסית העירונית: מגורים לעומת תעשייה
- זיהום אוויר

קיים ויכוח בקהילה המדעית על המידה שבה מזהמים מוסרים בתהליך החלחול דרך שטחים ירוקים פתוחים ותשתיות ירוקות

איכות מי הנגר: טיפול באמצעות ביופילטר



סקירה ואפיון של מודלים הידרולוגיים קיימים

דרישות ממודלים לנגר עירוני

על מנת לאפשר מידול מקיף של מי הנגר העירוניים יש להתייחס לשני נושאים עיקריים:

- מורכבות הסביבה העירונית (כולל כל מרכיביה)
- פיתוח של מערכת תומכת החלטה הכוללת LID, BMP, וניתוח עלות-תועלת

מודל פשוט מדי משמעו תוצרים בעלי שימוש מוגבל!

אפיון של מודלים הידרולוגיים לסביבות עירוניות

מודלים נבדלים זה מזה על פי:

- מידת הרזולוציה המרחבית של המודל – למשל האם המידול מתבסס על אגן יחיד, תתי-אגנים או גריד
- יכולת מידול של מזהמים
- האם הם כוללים מערכת תומכת החלטה ומידול של LID
- האלמנטים העירוניים שהמודל מייצג, למשל האם נעשה מידול הכולל את המערכת התת-קרקעית
- הרזולוציה העיתית – האם המידול מתבסס על אירוע גשם בודד או על רצף של אירועים
- האם המודל כולל רכיב של ניתוח שיקולי עלות – תועלת
- מידת האינטגרציה של המודל עם מערכות GIS
- האם המודל הינו מסחרי או מודל חינמי
- מידת הוויזואליזציה של התוצרים

מגבלות של מודלים קיימים

- מודלים רבים מאפשרים מידול של נפחי זרימה ואיכות מים אולם אינם מאפשרים מידול של LID
 - לעומתם, מודלים אחרים מאפשרים מידול של LID אך כוללים רק מודלים פשוטים למידול של תהליכים הידרולוגיים
 - מרבית המודלים הקיימים אינם מתייחסים למערכת הניקוז התת-קרקעית
- על מנת לתמוך ב- WSUD (תכנון ועיצוב עירוני רגיש למים) על המודלים לכלול גם מערכת תומכת החלטה מרחבית (SDSS) שתאפשר קבלת החלטות המתייחסות לפיזור המרחבי של LID ואשר לוקחות בחשבון את היחסים המורכבים בין האלמנטים השונים במרחב העירוני.
- על מנת שהמודל יהיה ישים עליו לכלול גם ניתוח של שיקולי עלות – תועלת של החלופות השונות

קנה מידה ורזולוציה מרחבית

- **Lumped** - מודלים המתאימים לאזורים עם נתונים מוגבלים ולהערכה ראשונית במוצא האגן
- **Semi distributed** – מודלים המתאימים לקנה מידה של תת-האגן, מתבססים על טופוגרפיה
- **HRU (Hydrological Response Unit)** – מודלים המשתמשים במורפולוגיה העירונית על מנת לחשב את תתי-האגנים, עושים שימוש בנתוני קרקע ובשימושי קרקע
- **UHE (Urban Hydrological Element)** – מודלים המתבססים על ניתוח בקנה מידה של מקבצי מבנים ומאפשרים ייצוג של ההטרוגניות העירונית

מודל נבחר:

SWMM – SUSTAIN BMP Siting Tool

מודל SWMM (Storm Water Management Model) הינו מודל דינמי הידרולוגי – הידראולי שפותח בידי המשרד להגנת הסביבה האמריקאי (EPA) ומתעדכן באופן קבוע. זהו מודל בעל קוד פתוח (C) הנמצא בשימוש נרחב ומאפשר התאמה ופיתוח של פתרונות ספציפיים

מאפיינים עיקריים של המודל:

- המודל פותח עבור מידול של סביבות עירוניות ומאפשר מידול של מיקרו - אגנים בקנה מידה של מטרים בודדים
- מאפשר מידול על- ותת-קרקעי ומידול של אירועי גשם בודדים ורציפים
- מאפשר מידול של כמות הנגר, ספיקות שיא ומזהמים
- מאפשר מידול של LID מגוונים האופייניים לאזורים עירוניים כגון פסים ירוקים, ריצוף מחלחל וגגות ירוקים

- **SUSTAIN (System for Urban Treatment and Analysis Integration)** פותח בידי המשרד להגנת הסביבה האמריקאי (EPA). המודל הינו מערכת תומכת החלטה עבור פרויקטים של נגר עירוני על מנת להגן על מקורות המים ולעמוד בדרישות ומטרות של איכות מים
- המודל משלב מידול הידרולוגי על בסיס SWMM יחד עם הערכות של עלויות ואופטימיזציה של פתרונות LID משולבים
- ל-SUSTAIN מספר מודולים המשולבים בפלטפורמת GIS. אחד המודולים הוא ה-**BMP Siting Tool** התומך בניתוח מרחבי של פיזור אופטימאלי של LID בהתאם לתנאים סביבתיים ועירוניים, למשל של תכסית השטח ושימושי הקרקע

התערבות ומיתון הנגר באמצעות גישת ה- BMP – Best Management Practice

רכיב ה- SUSTAIN BMP Siting Tool



הרכיב מאפשר מידול של מספר סוגי פתרונות לטיפול בנגר:

Point BMPs - אלמנטים נקודתיים המאפשרים טיפול והסרה של מזהמים כגון מערכות ביופילטר ובורות חלחול

Linear BMPs - אלמנטים לינאריים המאפשרים האטת הנגר וחלחול ויתרונות נוספים כגון צל ומיתון תנאי המיקרו אקלים העירוני למשל פסי צמחייה לאורך כבישים ומדרכות

Area BMPs - אלמנטים המשפיעים על דרגת החדירות של התכסית ועל אופי כיסוי הקרקע, למשל ריצוף מחלחל וגגות ירוקים

ניתן לשנות את הפרמטרים של כל פתרון כך שיותאם ספציפית לתנאי הסביבה ולתנאים העירוניים למשל את % דרגת החדירות של המשטח או את עומק מי התהום המינימלי שנדרש

דוגמאות לפיתוח בעצימות נמוכה - LID



Infiltration basins



Detention ponds



Soakaways



Swales



Filter strips



Green roofs



Infiltration trenches



Biorretention areas



Wetlands

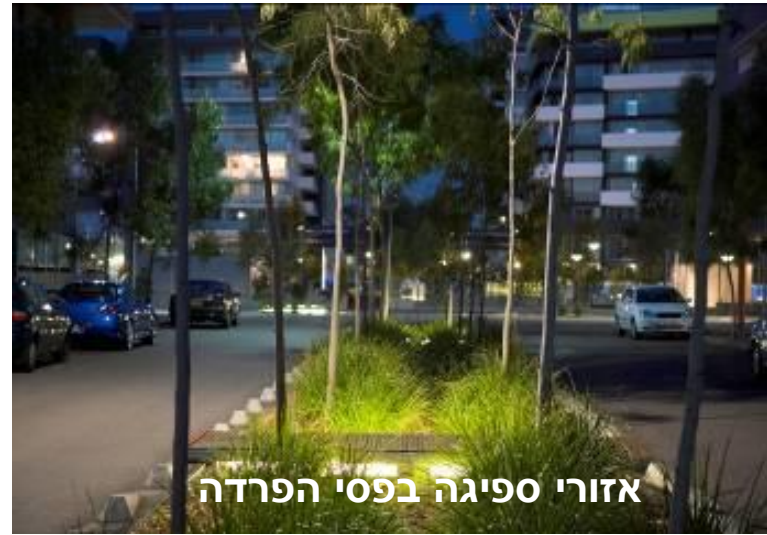


Pervious pavements

Source: <http://hidrologiasostenible.com/sustainable-urban-drainage-systems-suds/>



ערוגות לאורך אבן השפה



אזורי ספיגה בפסי הפרדה



גגות ירוקים



גינות ופארקים

קריטריונים לבחירת BMP במודל SUSTAIN

Source: SUSTAIN BMP siting tool guide

BMP type	Drainage area (acre)	Drainage slope (%)	Impervious (%)	Hydrologic soil group	Water table depth (ft)	Road buffer (ft)	Stream buffer (ft)	Building buffer (ft)
Bioretention	< 2	< 5%	> 0%	A-D	> 2	< 100	> 100	--
Cistern	--	--	--	--	--	--	--	< 30
Constructed Wetland	> 25	< 15%	> 0%	A-D	> 4	--	> 100	--
Dry Pond	> 10	< 15%	> 0%	A-D	> 4	--	> 100	--
Grassed Swale	< 5	< 4%	> 0%	A-D	> 2	< 100	--	--
Green Roof	--	--	--	--	--	--	--	--
Infiltration Basin	< 10	< 15%	> 0%	A-B	> 4	--	> 100	--
Infiltration Trench	< 5	< 15%	> 0%	A-B	> 4	--	> 100	--
Porous Pavement	< 3	< 1%	> 0%	A-B	> 2	--	--	--
Rain Barrel	--	--	--	--	--	--	--	< 30
Sand Filter (non-surface)	< 2	< 10%	> 0%	A-D	> 2	--	> 100	--
Sand Filter (surface)	< 10	< 10%	> 0%	A-D	> 2	--	> 100	--
Vegetated Filterstrip	--	< 10%	> 0%	A-D	> 2	< 100	--	--
Wet Pond	> 25	< 15%	> 0%	A-D	> 4	--	> 100	--

ניתן להתאים את הפרמטרים ותנאי הסף על פי תנאי הסביבה והפתרון הספציפי הרצוי

בסיס נתונים נדרש

בסיס נתונים מרחבי (GIS) מפורט ברזולוציה מרחבית גבוהה

- DEM עירוני
- רשת הכבישים
- רשת הניקוז העילית והתחתית
- מבנים
- שימושי קרקע
- דרגת חדירות המשטחים
- שטחים פתוחים
- סוג הקרקע
- גובה מפלס מי התהום

תכנת ArcGIS Desktop עבור רכיב ה- BMP SUSTAIN

מדידות רציפות של ספיקות מים ומזהמים (הצבת מדי גשם) ונתוני אמת כגון התאדות לכיול המודל

על מנת להשתמש בנתונים נדרש עיבוד מקדים כך שהפורמט שלהם יתאים לדרישות המערכת. שכבות הנתונים צריכות להיות באותה מערכת קואורדינטות (projected)

GIS layer	Format	Description
DEM	Raster file	The DEM is used to calculate the drainage slope and drainage areas that are used to identify the suitable locations for BMPs.
Land Use	Raster file	The land use grid (e.g., NLCD land cover) is used to eliminate the unsuitable areas for BMPs.
Percent Impervious	Raster file	The percent impervious grid is used to identify the suitable locations for BMPs for the given suitability criteria.
Soil	Shape file	The soil data contain the soil properties such as hydrological soil group, which are used to identify suitable locations for BMPs.
Urban Land Use	Shape file	The urban land use data contain the boundaries for the buildings and the impervious areas needed to identify suitable locations for LID elements.
Road	Shape file	The road layer is used to identify suitable locations for some BMPs that must be placed in a specific road buffer area.
Stream	Shape file	The stream layer is used to define a buffer so that certain BMP types can be placed outside the buffer to minimize the impact on streams.
Groundwater Table Depth	Shape file	The groundwater table depth layer is used to identify suitable locations for the infiltration BMPs; derived from monitoring data.
Land Ownership	Shape file	A parcel layer is used to identify the locations on the public or private land.

- מידול הידרולוגי – עירוני מקיף מצריך בסיס נתונים עירוני מפורט בעל רזולוציה מרחבית גבוהה
- שילוב בין מודל הידרולוגי מתקדם כגון SWMM עם מודל הכולל מערכת לתמיכה בקבלת החלטות כגון SUSTAIN מאפשר לשלב החלטות מרחביות על מיקום LID כחלק מהמידול ההידרולוגי
- שילוב של ניתוח עלות-תועלת יקדם את יישום המודל בפועל
- נדרש מחקר נוסף על מנת לבחון פתרונות משולבים של LID



תודה



Prof. Evyatar Erell

Ben-Gurion University of the Negev
Israel

erell@bgu.ac.il

<http://www.bgu.ac.il/~erell>

Dr. Aviva Peeters

TerraVision Lab
Israel

aviva@terravisionlab.com

<http://terravisionlab.com/>

- Tim D. Fletcher, William Shuster, William F. Hunt, Richard Ashley, David Butler, Scott Arthur, Sam Trowsdale, Sylvie Barraud, Annette Semadeni-Davies, Jean-Luc Bertrand-Krajewski, Peter Steen Mikkelsen, Gilles Rivard, Mathias Uhl, Danielle Dagenais & Maria Viklander (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage, Urban Water Journal, 12:7, 525-542.
- Salvadore, E., Bronders, J., & Batelaan, O. (2015). Hydrological modelling of urbanized catchments: A review and future directions. Journal of Hydrology
- Shoemaker, L. (2009). SUSTAIN – A Framework for Placement of Best Management Practices in Urban Watersheds to Protect Water Quality. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-09/095.
- Shoemaker, L., Riverson Jr, J., Khalid, A., Zhen, J. X., Murphy, R. (2011). Report on enhanced framework (SUSTAIN) and field applications for placement of BMPs in urban watersheds, Report. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-11/144.

- **SWMM** – comprehensive modelling, but fulfills only part of the objectives: a standalone software, (no GIS support), has no cost optimization module and no BMP siting (only evaluation of selected LIDs)
- **SUSTAIN** - fulfills the objectives, but no longer supported by the EPA. (Requires ArcGIS 9.3 (outdated), but BMP module can run till version ArcGIS 10.1)
- **InfoSWMM Sustain** - fulfills the objective and integrates SWMM and GIS, includes cost-benefit optimization. Expensive: ~\$30,000
- **Music** fulfills the objective, costs \$3,500 – 5,000, includes cost-benefit optimization. Requires calibration and adaptation of parameterized elements of the software for use in different locations
- **UrbanBEATS** - still under development