

Зелени мерки:

примери, защо са нужни и как измерваме дали работят?

Стени от мъх • зелени стени • зелени покриви • ICP Vegetation •
биоиндикатори и биомаркери

Гана Гечева | Пловдивски университет • ИБЕИ-БАН

Годишна конференция на Националната мрежа от експерти по качество на
атмосферния въздух

Пампорово, 26-28.08.2026 г.



Зелената инфраструктура не е декорация

Тя е интервенция — и трябва да бъде оценявана като интервенция.

„Зелено“ ≠ автоматично „ефективно“

1

Механизъм

Как точно мярката влияе върху
ФПЧ, газове, температура,
влажност и/или експозиция?

2

Измерване

Преди/след, контрол,
пространствен градиент,
сезонност и метеорология.

3

Доказателство

Химични показатели +
биоиндикатори +
физиологични/молекулярни
маркери.

Защо са нужни зелени мерки?

Замърсяването на въздуха остава едновременно здравен, екологичен и градоустройствен проблем.

99%

от населението живее при
нива над препоръките на
WHO

4.2 млн.

преждевременни смъртни
случаи годишно — външно
замърсяване (оценка за 2019)

ФПЧ_{2.5}

ключов индикатор за
експозиция и здравен риск

NO₂ / O₃

критични за градската среда
и растителността

Зелените мерки са допълнение към контрола при източника — не негов заместител.

Най-голямата им стойност често е локална: там, където хората реално дишат — улици, училища, дворове, транспортни коридори.

Какво могат — и какво не могат — зелените мерки

Ефектът зависи от място, вид, архитектура, поддръжка и атмосферна динамика.

Могат

- улавяне/отлагане на частици
- промяна на микроклимата
- засенчване и охлаждане
- редуциране на шум
- подкрепа за биоразнообразие
- интегриран биомониторинг

Не могат

- да компенсират високите емисии
- да гарантират ефект без поддръжка
- да се оценяват само по „зелена площ“
- да се пренасят 1:1 между различни градски среди

Ключов въпрос

Не „Има ли растения?“, а:

Къде е източникът?

Къде е рецепторът?

Какъв е въздушният поток?

Какво измерваме преди и след?

Три типа вертикално и покривно озеленяване

Различна конструкция → различен механизъм → различни индикатори.

Стени от мъх

Компактни системи с мъхове;
висок контакт въздух-биомаса;
подходящи за пасивен/активен
биомониторинг.



Зелени/живи стени

Съдови растения върху
вертикална конструкция;
филтрация, микроклимат,
естетика; по-висока техническа
сложност.



Зелени покриви

Екстензивни или интензивни;
задържане на вода, охлаждане,
изолация, местообитание;
ефект върху КАВ.





СТЕНА ОТ МЪХ

СЛОЕВЕ И ФУНКЦИИ



ПРЕЧИСТВА ВЪЗДУХА

Задържа прахови частици,
газови замърсители и
тежки метали



НАМАЛЯВА ТЕМПЕРАТУРАТА

Охлажда сградата и
ограничава ефекта на
"градския топлинен остров"



ПОНИЖАВА ШУМА

Абсорбира и разсейва
звуковите вълни



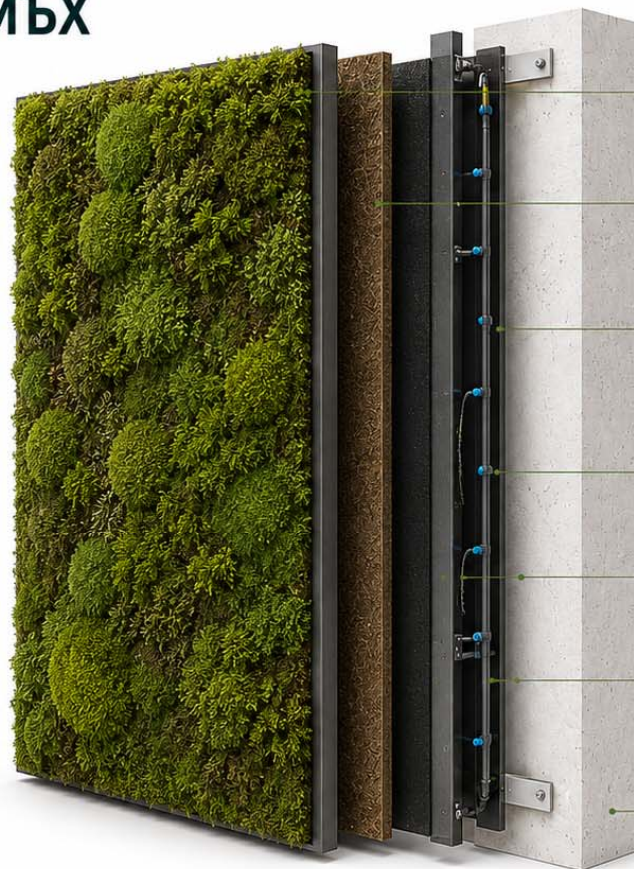
РЕГУЛИРА ВЛАЖНОСТТА

Чрез задържане и бавно
изпарение на вода



ЕСТЕТИКА И БЛАГОСЪСТОЯНИЕ

Създава естествена среда,
подобрява благосъстоянието
и връзката с природата



1 СЛОЙ МЪХ

Подбрани видове мъх
(жив слой)

2 СУБСТРАТ

Лек, порест и неутрален
(задържа влага и хранителни
вещества)

3 ФИЛТЪРЕН / ЗАДЪРЖАЩ СЛОЙ

Геотекстил, който задържа
субстрата и влагата

4 НАПОИТЕЛНА СИСТЕМА

Капково напояване с таймер
(пестене на вода)

5 ЗАЩИТЕН СЛОЙ

Водоустойчива мембрана
(предпазва фасадата)

6 НОСЕЩА КОНСТРУКЦИЯ

Рамка от неръждаема стомана
или алуминий (устойчива
и лека)

7 СЪЩЕСТВУВАЩА СТЕНА

Фасада на сградата

ДОПЪЛНИТЕЛНИ ПОЛЗИ



Пречиства въздуха
и улавя прах



Намалява
температурата



Понижава
шума



Пести вода чрез
ефективно напояване



Подобрява естетиката
на сградите



Подобрява благосъстоянието
и качеството на живот



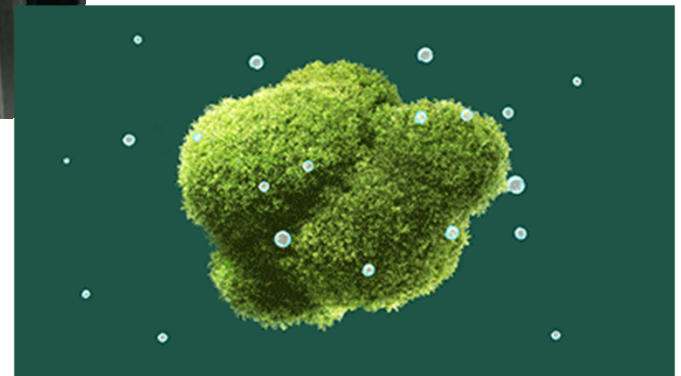
CityTree на Green City Solution:
Биотехнологичен филтър с живи модули, автоматизирано напояване и вентилация. Компанията има >10 години разработки върху мъхове и реални инсталации в редица европейски градове.

CityTree – living moss biofilter, Berlin.
Photo: Sean Gallup/Getty Images, 2017.

The Effect of 81 Trees on a Footprint of 9 m²

- Waste-free air filtration up to 5,000 m³/h
- Cooling capacity 6,500 W/h (up to -4 °C)
- Fine dust reduction 82%
- CO₂e reduction of up to 342 kg per year

<https://greencitysolutions.de/>



От зелена мярка към измерим ефект



(120 x 70 x 45 cm)



ЗЕЛЕНА (ЖИВА) СТЕНА

СЛОЕВЕ И ФУНКЦИИ



ПРЕЧИСТВА ВЪЗДУХА

Улавя прахови частици,
газови замърсители
и тежки метали



НАМАЛЯВА ТЕМПЕРАТУРАТА

Охлажда сградата и
ограничава ефекта на
"градския топлинен остров"



ПОНИЖАВА ШУМА

Листната маса абсорбира
и разсейва звуковите вълни



РЕГУЛИРА ВЛАЖНОСТТА

Чрез изпарение на вода
от растенията



ПОДОБРЯВА ЕСТЕТИКАТА И БЛАГОСЪСТОЯНИЕТО

Създава по-зелена,
здравословна и приятна среда



- 1 РАСТИТЕЛНОСТ
(катерливи или висящи растения)
- 2 РАСТИТЕЛЕН СУБСТРАТ
(в джобове/модули)
- 3 ФИЛТЪРЕН СЛОЙ
(геотекстил)
- 4 НАПОИТЕЛНА СИСТЕМА
(капково напояване
с автоматично управление)
- 5 НОСЕЩА КОНСТРУКЦИЯ
(рамка/панели)
- 6 ХИДРОИЗОЛАЦИЯ
И ЗАЩИТЕН СЛОЙ
(предпазва фасадата)
- 7 СЪЩЕСТВУВАЩА СТЕНА
(фасада на сградата)

ДОПЪЛНИТЕЛНИ ПОЛЗИ



Пречиства въздуха
и улавя прах



Намалява
температурата



Понижава
шума



Задържа и използва
дъждовната вода



Подобрява естетиката
и благосъстоянието



L'Oasis d'Aboukir, Париж на Patrick Blanc. Вертикална градина, завършена през 2013 г.





ЗЕЛЕН ПОКРИВ

СЛОЕВЕ И ФУНКЦИИ



ТЕРМИЧЕН КОМФОРТ

Намалява нагряването през лятото и загубите през зимата



ЗАДЪРЖА ДЪЖДОВНАТА ВОДА

Намалява оттока и риска от наводнения



ШУМОВА ИЗОЛАЦИЯ

Понижава нивото на шума



ПРЕЧИСТВА ВЪЗДУХА

Улавя прахови частици и някои замърсители



ПОДДЪРЖА БИОРАЗНООБРАЗИЕТО

Създава местообитания за растения и насекоми



УДЪЛЖАВА ЖИВОТА НА ПОКРИВА

Предпазва хидроизолацията от UV и температурни екстреми



1 РАСТИТЕЛНОСТ
(седуми, треви, билки)

2 СУБСТРАТ
(почвена смес)

3 ФИЛТЪРЕН СЛОЙ
(геотекстил)

4 ДРЕНАЖЕН СЛОЙ
(задържа вода, осигурява отток)

5 ЗАЩИТЕН СЛОЙ
(геотекстил)

6 ХИДРОИЗОЛАЦИЯ
(водонепропусклив слой)

7 ТОПЛОИЗОЛАЦИЯ

8 КОНСТРУКТИВЕН СЛОЙ
(покривна плоча)

ДОПЪЛНИТЕЛНИ ПОЛЗИ



Намалява CO₂ емисиите



Подобрява градската среда



Повишава стойността на сградата

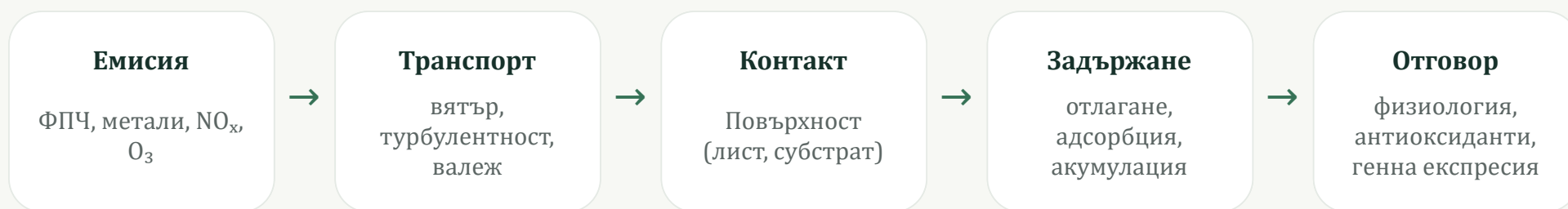


Пести енергия и ресурси

Hundertwasserhaus,
Виена, 1980s от
Friedensreich
Hundertwasser, 250
дървета и храсти.

<https://www.wien.info/en/see-do/sights-from-a-to-z/hundertwasser-house-vienna-348464>

Механизмите: от въздуха до биологичния отговор



Точно тук биоиндикаторите са особено ценни: те интегрират експозицията във времето и показват биологично релевантния натиск.

Защо мъхове?

- ✓ нямат истинска коренова система
- ✓ получават значителна част от елементите от атмосферата
- ✓ голяма повърхност спрямо биомасата
- ✓ интегрират сухо и мокро отлагане
- ✓ подходящи за пространствени карти и времеви тенденции



Hypnum cupressiforme

От биомонитор към зелена технология

Нашият експеримент: три живи стени от мъх в градската среда на Пловдив.

Дизайн

3 външни живи стени
3 контекста: транспортен,
ниско повлиян, индустриално
повлиян

Проби след 1, 5 и 24 месеца

Химия

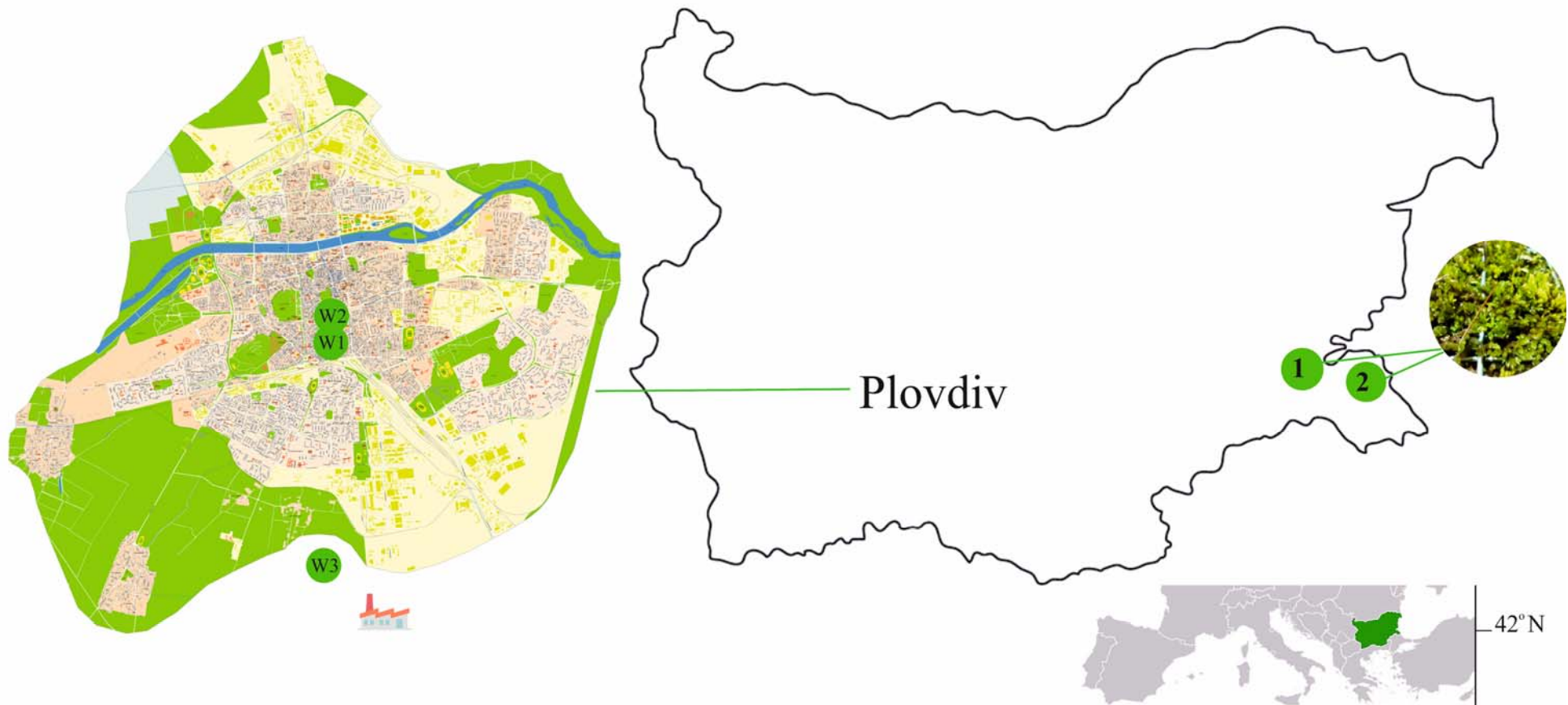
Hypnum cupressiforme
12 потенциално токсични
елемента

Оценка на акумулацията и
екологичния риск

Биология

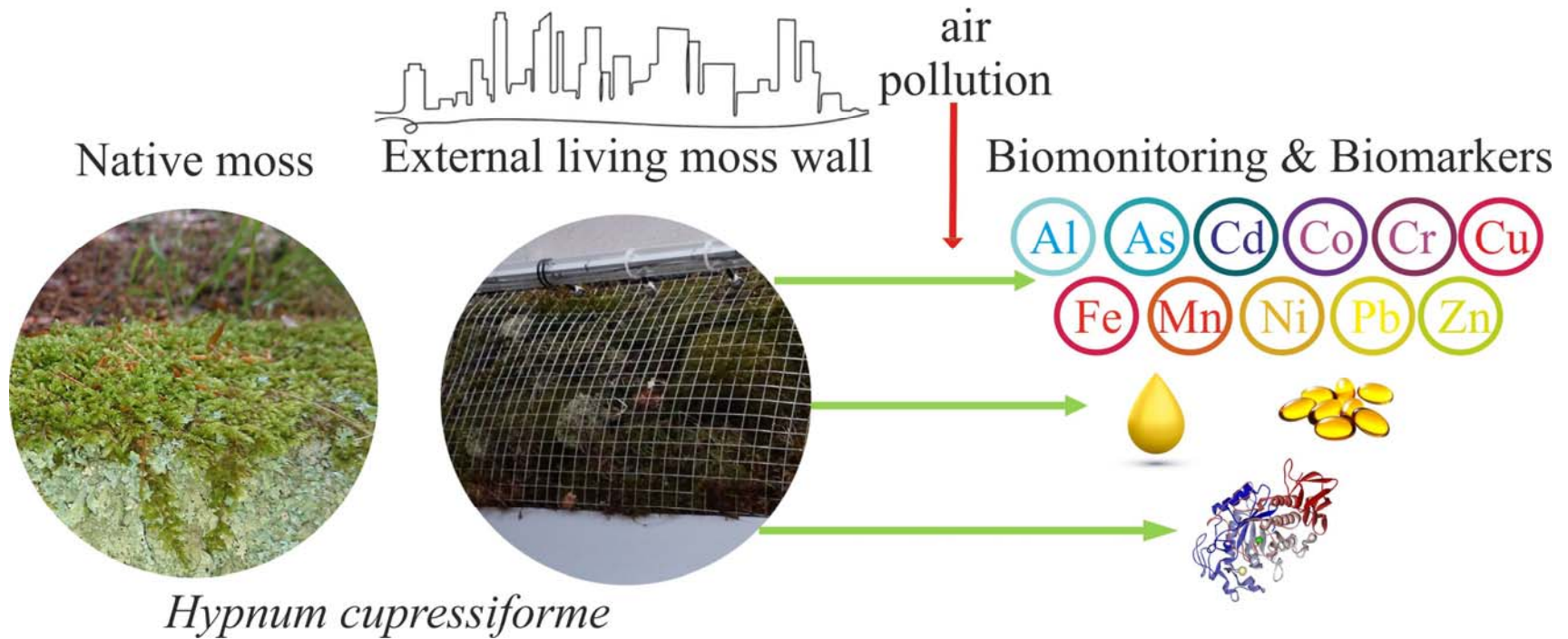
липиди
токофероли
rbcL генна експресия

От експозиция → към
биологичен ефект



MW-1, MW-2 and MW-3

One, five and 24 months



Стена от мъх: не само филтър, а и сензор

След експозиция всички измерени елементи се увеличават.

Cd ~17× контролата - индикира индустриален профил и показва потенциал за пространствено насочен мониторинг.



Следващото ниво: биомаркери

Колко е натрупано? + Как реагира организмът?

Токофероли

Липофилни антиоксиданти; адаптивни промени при експозиция към градски стресори.

Общи липиди

Промени в мембрания и метаболитния статус — физиологично доказателство.

rbcl

Молекулярен маркер; експресията корелира с Ecological Risk Index.

Мониторингът става по-силен, когато свържем концентрация → риск → биологичен отговор.

Зелени стени: ефективността е въпрос на дизайн

„Повече листна маса“ не е достатъчна спецификация.

Морфология

грапавост, востъци, власинки

Плътност

листна площ и порьозност

Поток

скорост и посока на въздуха

Вода

напояване и влажност

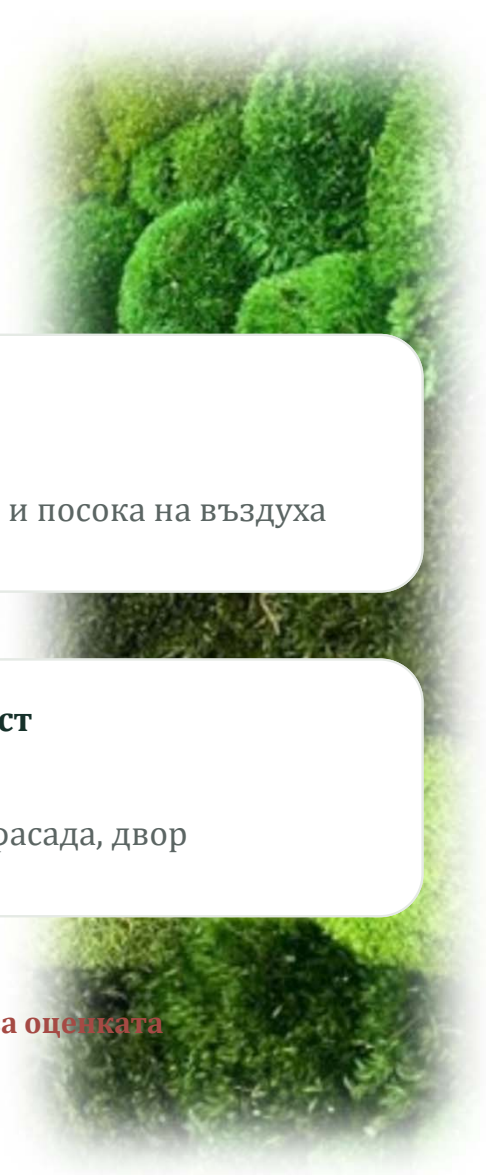
Поддръжка

замяна, резитба, здраве

Контекст

улица, фасада, двор

При лошо разположение растителността може дори да намали вентилацията — затова оценката трябва да е site-specific.



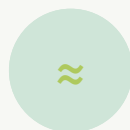
Зелени покриви: многофункционална мярка

Най-силни са, когато оценяваме пакет от екосистемни услуги — не само ФПЧ.



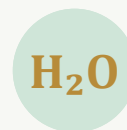
Температура

засенчване + евапотранспирация



Енергия

по-ниско охлаждане при подходящ
климат



Вода

задържане и забавяне на оттока



Биоразнообра
зие

местообитания и свързаност

**За качеството на въздуха очакваният ефект е по-скоро локален и зависим от конфигурацията.
За градска устойчивост обаче покривът може да носи едновременно термична, хидрологична и
екологична стойност.**

Градското зелено вече е измерима цел

Европейският регламент за възстановяване на природата поставя конкретни цели за градските екосистеми

ДО 2030: Без нетна загуба на общата площ на градските зелени пространства и дървесната покривка

СЛЕД 2030: Нарастваща тенденция на градските зелени пространства и дървесната покривка

От „повече зеленина“ към измерим резултат:

изходно (базово) състояние → площ → местоположение → мярка → мониторинг → ефект

Source: Regulation (EU) 2024/1991 on nature restoration, Art. 8.

Как изглеждат мерките на практика?

НОВИ ЗЕЛЕНИ И СИНИ ПРОСТРАНСТВА

Паркове • градски гори • водни обекти • възстановяване на изоставени терени

ОЗЕЛЕНЯВАНЕ НА СГРАДИ

Зелени покриви • зелени фасади • дървета и зелени площи около сградите

ЗЕЛЕНИ ТРАНСПОРТНИ КОРИДОРИ

Дървета • храсти • тревна растителност по улици и транспортна инфраструктура

ПРИРОДОСЪОБРАЗНИ РЕШЕНИЯ (NbS)

Решения, базирани на природни процеси, с екологични, социални и икономически ползи

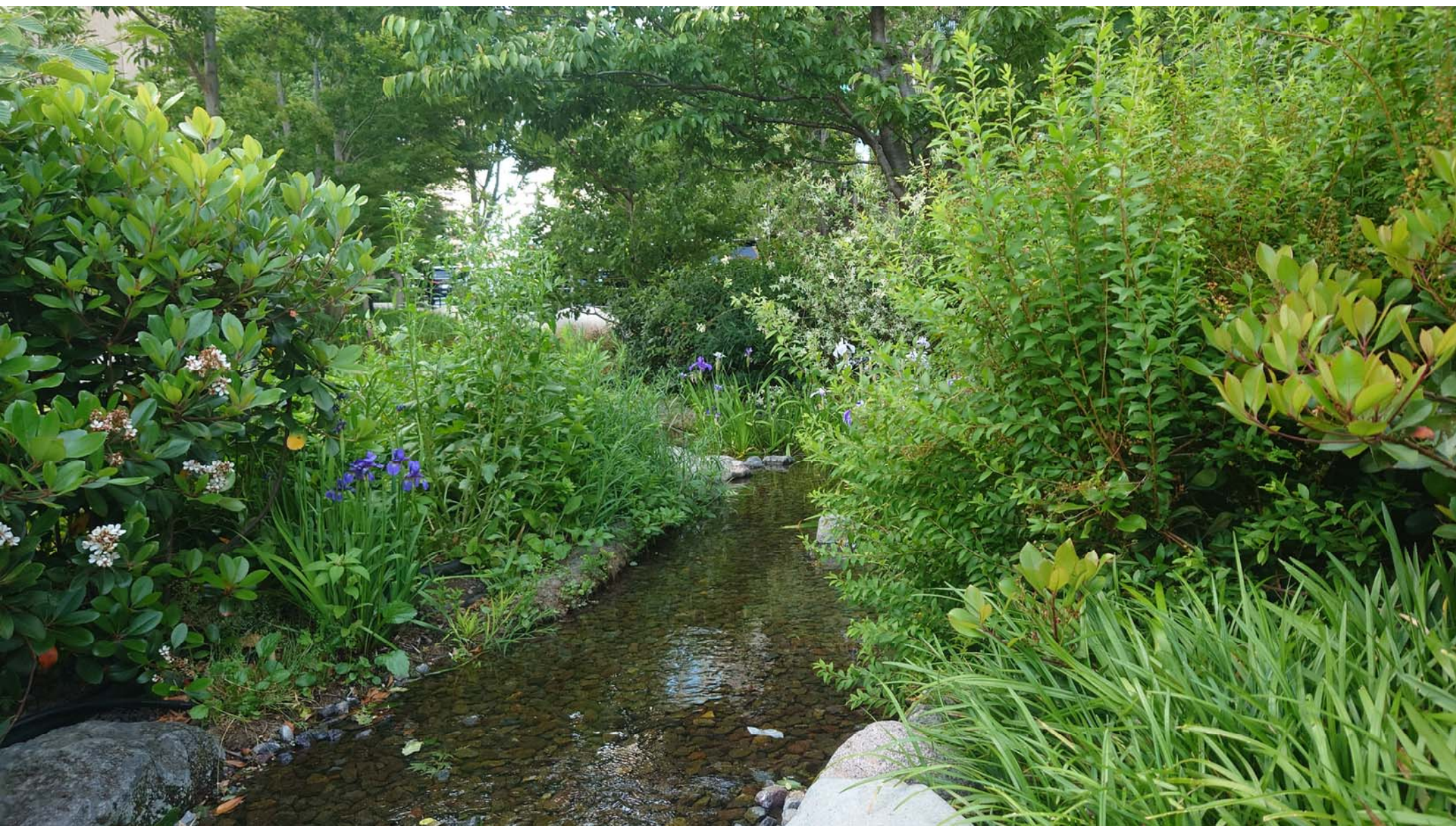
ЗЕЛЕНИ ПУБЛИЧНИ ПРОСТРАНСТВА

Повече зелени площи и дървесна растителност в обществените пространства

Мярка → функция → индикатор → доказан ефект

Based on: Работни материали към Националния план за възстановяване на България – градски екосистеми, 2026 г., мерки NRPM_074–078





Как доказваме, че мярката работи?

Минималният дизайн за убедително доказателство.

1 Базово състояние

преди интервенцията

2 Контрола

сходно място без мярка

3 След

повторни измервания

4 Метеорологични данни

вятър, Т, валеж

5 Експозиция

ФПЧ_{2.5}/ФПЧ₁₀, NO₂, O₃, метали

6 Биология

мъх/лишей + биомаркери

ВАСИ логика (Before–After–Control–Impact) + достатъчна продължителност = много по-силна причинна интерпретация.



Науката, която влиза в политиката

Международна програма под UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.

1987

начало на програмата

≈50

държави

250+

учени

2001

координация на European
Moss Survey

Основни направления

O₃ и растителност

Метали в мъхове

Азот в мъхове

POPs в мъхове

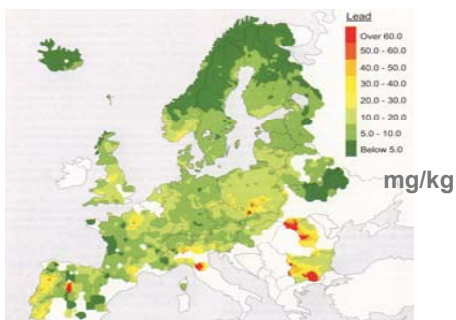
European Moss Survey: какво измерва?

Хармонизиран биомониторинг на атмосферната депозиция в европейски мащаб.

Метали

Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Cr, As и др.

Карти на пространственото натоварване и дългосрочни трендове.



Азот

Концентрация на N в мъхове като интегриран индикатор за атмосферно азотно натоварване.

POPs

Устойчиви органични замърсители — включени в част от държавите от 2010 г.

Силата е в стандартизацията: един протокол → сравнимост между региони, държави и десетилетия.

Лишеите: индикатор за качество на местообитанието и въздуха

Какво наблюдаваме?

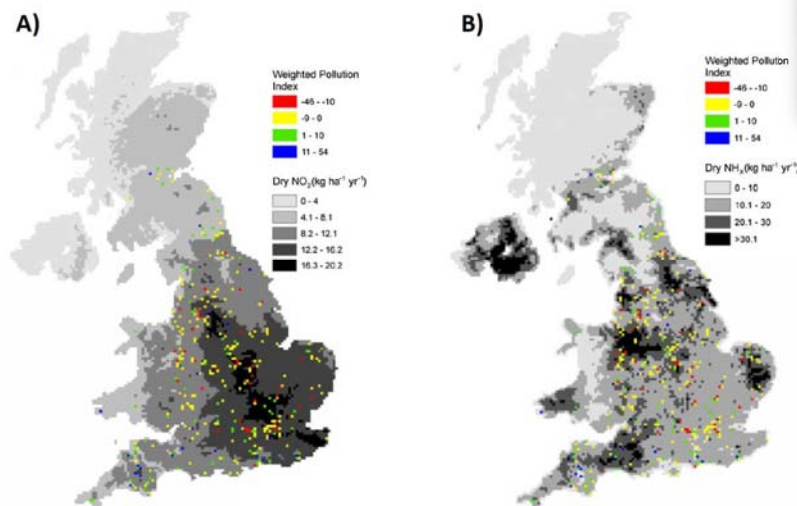
видово богатство
чувствителни/толерант
ни таксони,
покрытие...

Какво интегрират

дългосрочна
експозиция,
газообразни
замърсители,
микроклимат

Кога са ценни

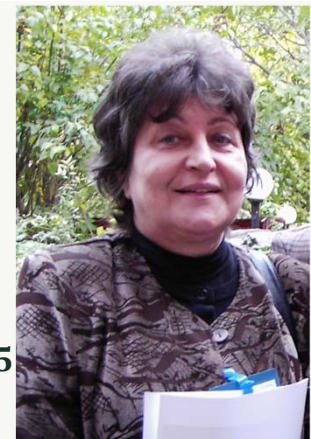
градски градиенти,
зони около източници,
сравнение преди/след,
гражданска наука



Източник: The OPAL Air Survey

България: три десетилетия данни от мъхове

Националният опит показва защо дългите серии са незаменими.



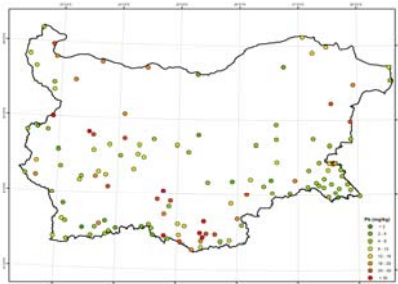
1995-2010: отчетлив спад на Pb, Cu, Cd, V и Fe; локални „горещи точки“ около рудни полета, стари мини и индустрия. България участва в европейските moss surveys от 1994 г.

От национални карти към градски експерименти

Еволюция на подхода: пасивен → активен → функционален биомониторинг.

1. Естествени мъхове

Национални и регионални карти; трансгранични изследвания; локални източници.



2. Moss-bags

Контролирана експозиция в София, Пловдив и други среди; висока пространствена резолюция.



3. Moss walls

Зелена мярка + мониторингова платформа + физиологични и молекулярни маркери.

Научният принос е не просто „още един индикатор“, а интегриране на технология и доказателство.

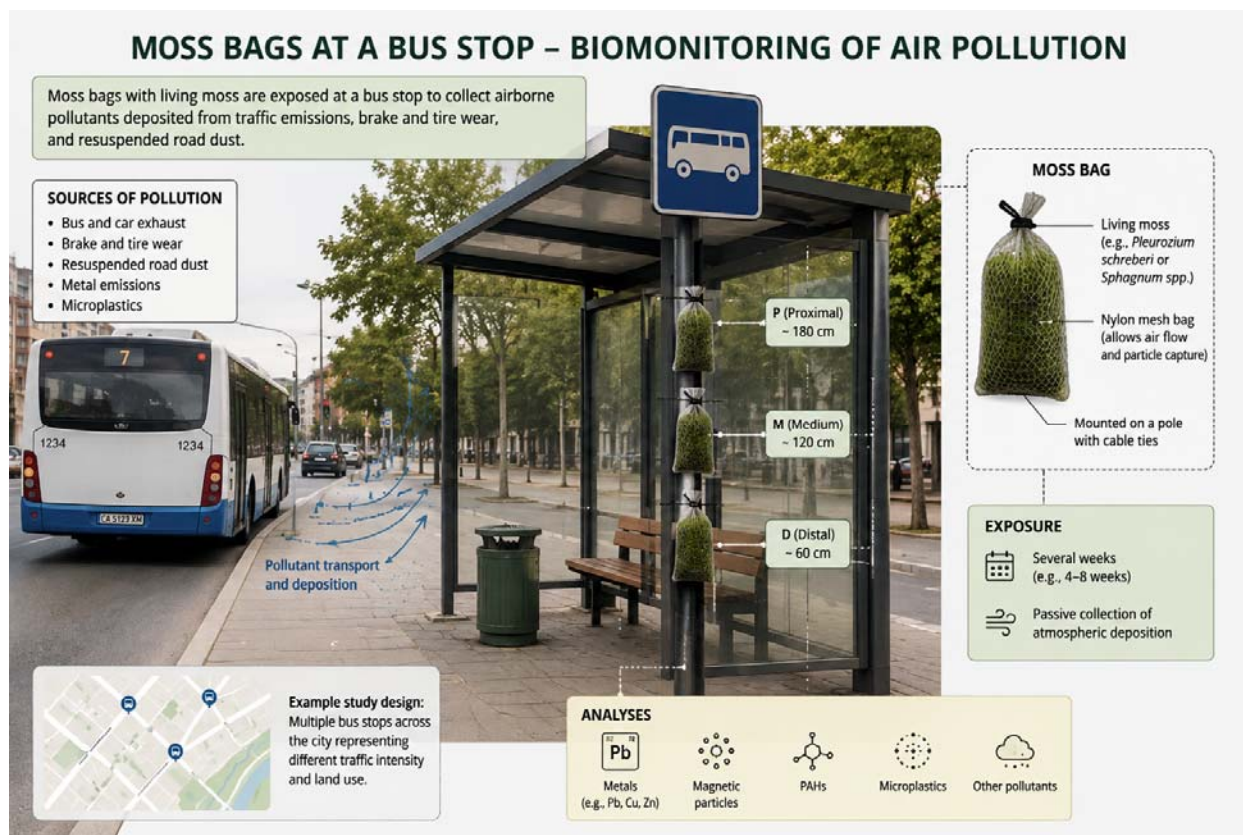
Други биоиндикатори и маркери: какво да добавим?

Изборът зависи от въпроса — експозиция, ефект или риск.

ИНДИКАТОР	КАКВО МЕРИМ	КАКВО НИ КАЗВА
Листа/иглички	ФПЧ и метали	експозиция
Лишеи	съобщества, покритие, N-чувствителност	дългосрочен ефект
Мъхове	метали, N, POPs	отлагане
Физиология	хлорофил, антиоксиданти, липиди	стрес
Молекулярни маркери	генна експресия, eDNA	механизъм
Почва/прах	метали, органични замърсители	натрупване/риск

Колектори (moss-bags)

Кръстовища, улици, автобусни линии
Финландия, Сърбия, Испания, Канада...



Белгия: доброволци, 50 дни при ежедневното си придвижване.



Sorrentino et al. (2021)

Пример: Имаме 50 000 € и училищен двор на натоварена улица

Цел: по-добра среда в двора на училището (ФПЧ, Т).

Изберете само ЕДНА основна зелена мярка.

A

Дървета и храсти

по улицата; в/около двора

B

Зелена стена

на училището

C

Зелен покрив

на училището

D

Стена от мъх

до автобусната спирка

1. Каква мярка избирате?
2. Какъв ефект очаквате?
3. С кои 2 показателя ще докажете след време, че мярката работи?

ФПЧ₂₋₅

Повишено в часовете
с интензивен трафик

+5°C

По-висока температура
в двора спрямо близкия парк

ДЕЦАТА

Прекарват междучасията
именно в този двор

ИЗТОЧНИК



РЕЦЕПТОР



МЯРКА



ИНДИКАТОР



ЕФЕКТ

Не избирайте най-зелената мярка. Изберете мярката, която решава конкретния проблем — и можете да докажете, че го прави.

5 послания

- 1 Зелените мерки са инфраструктура — проектират се спрямо източник и рецептор.
- 2 **Ефектът трябва да се доказва, не да се предполага.**
- 3 Мъховете дават интегриран във времето сигнал, който анализите сами не могат.
- 4 ICP Vegetation осигурява стандартизация и европейска сравнимост.
- 5 Най-силният модел е хибриден: инструментални данни + биоиндикатори.



Благодаря Ви!



ggecheva@mail.bg
ggecheva@uni-plovdiv.bg