

# **Świadczenia ekosystemowe drzew w wilanowskim zespole pałacowo-parkowym**

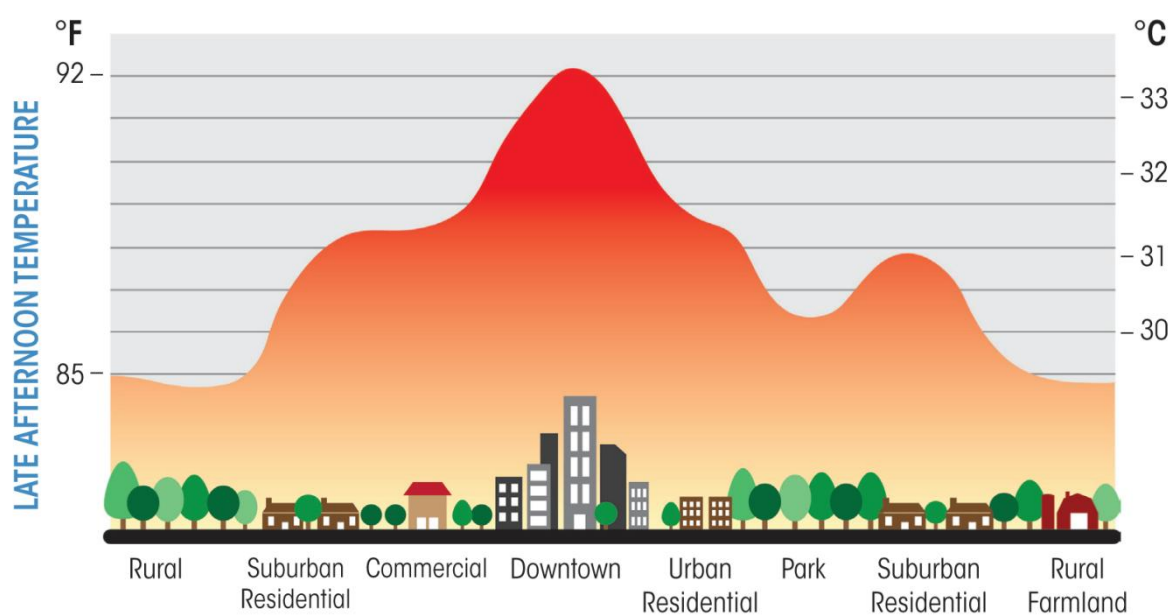
Zbigniew Szkop  
Wydział Nauk Ekonomicznych  
Uniwersytet Warszawski

## Wstęp

Nie ulega wątpliwości, że drzewa miejskie mogą korzystnie wpływać na jakość życia mieszkańców miast. Drzewa miejskie pełnią szereg funkcji, nazywanych usługami ekosystemowymi. Należą do nich między innymi: regulacja klimatu lokalnego i usuwanie zanieczyszczeń, korzyści hydrologiczne, a także korzyści estetyczne i inne korzyści społeczne. Wraz ze wzrostem wiedzy i świadomości na temat roli drzew miejskich, coraz bardziej istotne wydaje się zadanie pytania o wartość takich usług ekosystemowych. Niniejszy raport ma na celu oszacowanie wartości usług ekosystemowych świadczonych przez drzewa rosnące w parku wilanowskim, będącym częścią zespołu pałacowo-parkowego w Wilanowie. Przedstawiono w nim wyniki badań uzyskane na podstawie kwerendy literatury przedmiotu oraz uzupełniające wyniki badań własnych, otrzymane jako rezultat zastosowania metody *benefit transfer*. Analizując otrzymane wyniki należy być świadomym, że usługi ekosystemów, które są przedmiotem niniejszego badania stanowią jedynie fragment wartości korzyści, jakie świadczą drzewa na badanym obszarze. Warto jednak zauważyć, iż nawet ten niepełny zestaw kwantyfikowanych usług ma istotne znaczenie dla zrozumienia znaczenia roli drzew na terenach miejskich.

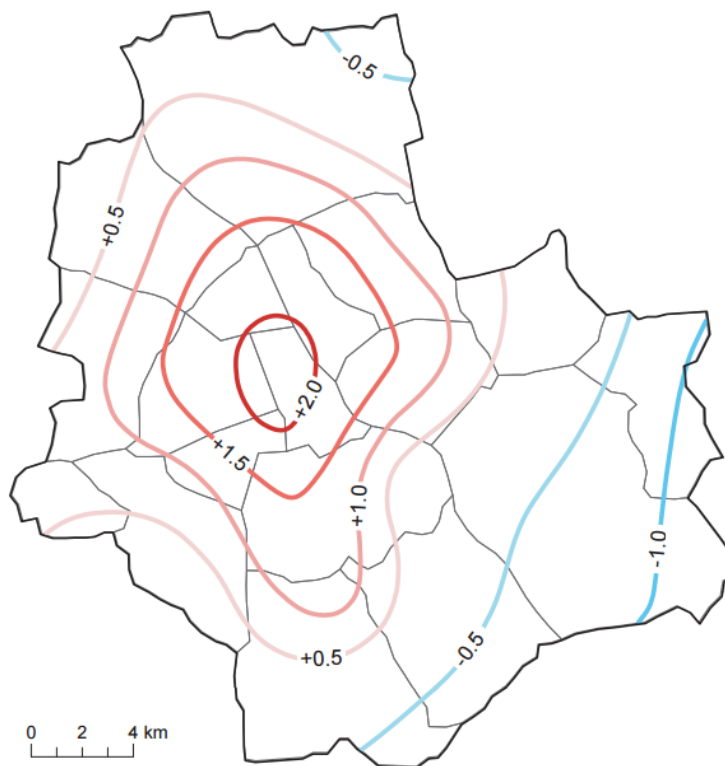
### Regulacja klimatu lokalnego i usuwanie zanieczyszczeń

Dobrze zbadanym zjawiskiem meteorologicznym w miastach jest występowanie tak zwanej "miejskiej wyspy ciepła" (MWC). Polega ono na podnoszeniu temperatury powietrza w miarę zagęszczania zabudowy w stosunku do mniej zurbanizowanych terenów podmiejskich. Schemat występowania MWC obrazuje rysunek 1.



Rys. 1. Schemat występowania "miejskiej wyspy ciepła".  
(Źródło: <http://www.cleanairpartnership.org/files/urbanheatisland.jpg>)

Zjawisko to występuje również w Warszawie, gdzie zwykle przyjmuje kształt diamentu i powoduje wzrost temperatury w centrum miasta względem stacji zlokalizowanej w okolicy lotniska Chopina o  $2^{\circ}\text{C}$ . W przypadku napływu powietrza subsaharyjskiego wzrost ten może wynieść  $7.7^{\circ}\text{C}$  (Kuchcik i in, 2014), a w skrajnych przypadkach nawet do  $10^{\circ}\text{C}$  (Błazejczyk 2002).



Rys. 2. Przestrzenne rozkład średnich izoterm dla miasta Warszawy w roku 2012. (Źródło: Kuchcik i in, 2014).

Drzewa miejskie potrafią odgrywać istotną rolę w procesie przeciwdziałania zjawisku "miejskiej wyspy ciepła". Przeciwdziałanie to występuje dzięki dwóm procesom. Po pierwsze drzewa rzutując cień w przestrzeni miejskiej, redukującą pewną ilość energii słonecznej, która bez ocieniania byłaby zaabsorbowana i zgromadzona w formie ciepła przez powierzchnie zabudowane. Po drugie drzewa obniżają temperaturę powietrza poprzez transpirację polegającą na przekształceniu wody w parę wodną i jej parowanie, a przez to ochładzanie powietrza. Proces ten zużywa energię słoneczną, która w innym przypadku, powodowałaby ocieplenie powietrza.

Potwierdzają to liczne badania empiryczne przeprowadzone w wielu miastach na świecie. Według badań z Monachium (Pauleit i in., 2000) każde zwiększenie pokrycia koronami drzew o 10% wpływa na obniżenie średniej rocznej temperatury powietrza o  $1,4^{\circ}\text{C}$ . W Atlancie, w wyniku akcji intensywnego sadzenia drzew zmniejszono o 1/3 zasięg powstawania "wyspy ciepła" (Dawe, 1996). Badanie przeprowadzone w Nowym Jorku wykazało z kolei, że drzewa miejskie sadzone w odpowiednich miejscach, mogą być znacznie

bardziej skutecznym środkiem na ograniczanie "wyspy ciepła" niż malowanie powierzchni dachów na biało i obsadzanie ich roślinnością (Rosenzweig i in., 2006).

Jako iż zjawisko "miejskiej wyspy ciepła" potęguje i tak duże zapotrzebowanie na energię elektryczną w lecie w czasie upałów, drzewa miejskie na skutek swojego oddziaływania mikroklimatycznego ograniczają emisję niektórych zanieczyszczeń z zakładów energetycznych i rozpraszających energię. Szczególnie istotna jest w tym wypadku redukcja emisji takich zanieczyszczeń jak NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> i VOC.

Ponadto drzewa wpływają na oczyszczanie powietrza atmosferycznego poprzez bezpośrednią absorpcję niektórych zanieczyszczeń gazowych z powietrza poprzez szparki oddechowe na powierzchniach liści oraz przez pochłanianie powierzchniowe i pobieranie przez otwory w korze. Dotyczy to przede wszystkim takich zanieczyszczeń gazowych jak ozon (O<sub>3</sub>), dwutlenek azotu (NO<sub>2</sub>) i dwutlenek siarki (SO<sub>2</sub>). Dodatkowo drzewa mają zdolność do przechwytywania zanieczyszczeń pyłowych i zawartych w nich metali ciężkich.

Tempo i ilość zanieczyszczeń usuwanych z powietrza przez drzewa, zależą od sumy listowia, wielkości i „szorstkości” liści, gałęzi oraz pnia, liczby i stanu przetchlinek, warunków klimatycznych i meteorologicznych oraz koncentracji zanieczyszczeń w powietrzu. Badania pokazują, że w zależności od wymienionych czynników, drzewa w tym samym wieku mogą usunąć zupełnie różne wielkości zanieczyszczeń. Na podstawie wyników badań stwierdzono, iż jedno 20-30 letnie drzewo miejskie, przechwyciło w Chicago rocznie 1,19 kg różnych zanieczyszczeń powietrza, oraz wpłynęło na redukcję 0,62 kg zanieczyszczeń dzięki oddziaływaniu klimatycznemu, co stanowiło łącznie 1,81 kg/drzewo (Nowak, 1994). Natomiast typowe drzewo miejskie rosnące w Nowym Jorku przechwyciło średnio 0,42 kg zanieczyszczeń z powietrza oraz „uchroniło” miasto przed 0,49 kg emisji z zakładów energetycznych. Stanowiło to łącznie 0,91 kg zanieczyszczeń/drzewo/rok (Peper i in., 2007). Ponadto zauważono, iż wielkie drzewo może usunąć nawet 60-70 razy więcej zanieczyszczeń, niż małe, niedawno posadzone (Nowak, 1994).

### **Metoda transferu korzyści**

Tylko niektóre miasta na świecie są w stanie przeprowadzić bardzo dokładne badania empiryczne dotyczące wyceny usług ekosystemowych dostarczanych przez drzewa miejskie. Większość nie posiada wystarczających środków pieniężnych lub technicznych, aby przeprowadzić takie badanie. Naprzeciw temu wyzwaniu wychodzi metoda *transferu korzyści*, która polega na ekstrapolacji wyniku badania tego samego rodzaju, ale wykonanego w innym miejscu, na obszar, który ma być poddany analizie.

Metodę tę powszechnie stosuje się przy wycenie zysków z projektów dostarczających rozlicznych korzyści pod względem kosztów zewnętrznych, których udało się uniknąć. Jeśli np. zamiana samochodu osobowego na autobus pozwala zmniejszyć emisję gazów, hałas i liczbę wypadków drogowych, całkowity zysk można rozbić na poszczególne elementy,

z których każdemu z osobna nadaje się wartość w oparciu o wcześniejsze wyceny (Żylicz, 2010).

Oczywiście okoliczności oryginalnego badania i projektu mogą nie być w pełni ekwiwalentne, co implikuje ewentualne błędy, ale można je uznać za nieistotne w porównaniu z wysiłkiem, jakiego wymagałoby nowe badanie (które zresztą także nie byłoby wolne od wątpliwości). Aby potwierdzić zasadność takiego podejścia można zauważyć, że właśnie w ten sposób Komisja Europejska posługuje się bazą ExternE, przy ocenie korzyści płynących z uzyskiwania energii z alternatywnych źródeł wedle różnych scenariuszy.

W prezentowanym badaniu na podstawie danych udostępnionych przez Muzeum Pałacu Króla Jana III w Wilanowie oraz wykorzystując badania opisane w literaturze przedmiotu dokonano próby oszacowania strumienia wartości korzyści w jednostkach sumy zanieczyszczeń (wyrażonych w tonach), a następnie wartości te wyceniono w odwołaniu do kosztów zewnętrznych wytwarzania energii elektrycznej w Polsce (zł/t).

Aby oszacować całkowitą wartość rocznych korzyści ( $B$ ) świadczonych przez wszystkie badane drzewa ( $i$ ), następujące korzyści zostały zsumowane:

$$B = \sum_{i=1}^{3153} (p_i + a_i + s_i + o_i + v_i)$$

Gdzie:

$p$  = roczna wartość absorpcji i unikania  $PM_{10}$ ;

$a$  = roczna wartość absorpcji i unikania  $NO_2$ ;

$s$  = roczna wartość absorpcji i unikania  $SO_2$ ;

$o$  = roczna wartość absorpcji  $O_3$ ;

$v$  = roczna wartość unikania VOC.

## Opis badania

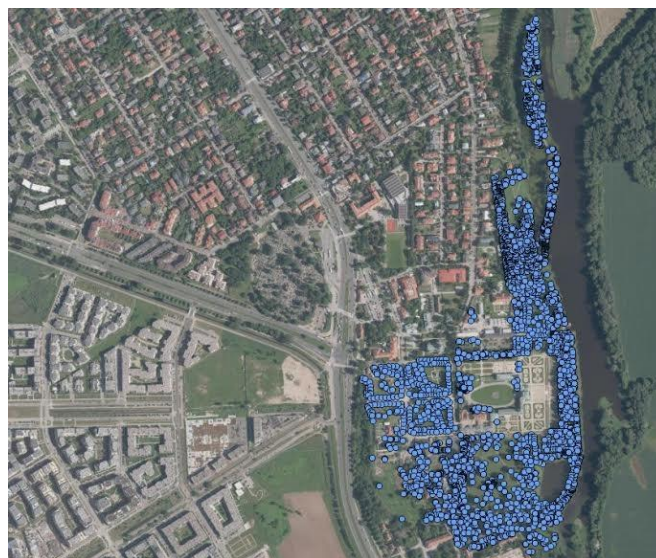
Ponieważ skala usług świadczonych przez drzewa różni się w zależności od lokalnych różnic w szybkości wzrostu drzewa, klimatu, stężenia zanieczyszczeń w powietrzu, wielkości opadów i całego szeregu innych czynników, obszar Stanów Zjednoczonych został podzielony na 20 stref względnie jednorodnych pod względem klimatycznym. W każdej strefie klimatycznej wytypowano miasto flagowe, które charakteryzuje się cechami najbardziej typowymi dla danego obszaru geograficznego. Następnie w danym mieście przeprowadzono bardzo precyzyjne badanie, które pozwoliło stworzyć modele określające wartość strumienia usług ekosystemowych świadczonych przez drzewa miejskie w zależności od ich typu, lokalizacji oraz wieku.

Wyróżniono cztery typy drzew, biorąc również pod uwagę (*nomen omen*) ich typową wielkość w wieku dojrzałym:

- Iglaste;
- Liściaste małe;
- Liściaste średnie;
- Liściaste duże.

Przez wielkość należy tu rozumieć nie samą wysokość, ale także średnicę, powierzchnię listowia oraz wymiary korony drzewa, jako iż te wszystkie parametry są istotnymi zmiennymi przy oszacowaniu wielu usług ekosystemowych.

Choć drzewa należące do różnych typów charakteryzują się inną skutecznością w wyłapywaniu poszczególnych rodzajów zanieczyszczeń, to pewne schematy są zachowane. Niezależnie od typu drzewa, udział VOC w puli pochłanianych przez niego zanieczyszczeń jest bardzo niewielki. Pozostałe zanieczyszczenia są pochłaniane w zbliżonych proporcjach, szczególnie do 100 roku życia drzew, a takie drzewa stanowią aż 92% populacji na badanym obszarze. Warto jednak zauważyć, iż drzewa liściaste są znacznie skuteczniejsze w wyłapywaniu zanieczyszczeń, szczególnie  $\text{SO}_2$  i  $\text{PM}_{10}$ , niż drzewa iglaste. Nie wpływa to jednak w znaczny sposób na rezultat końcowy, gdyż udział drzew iglastych w badanej populacji wynosi zaledwie 3,7%. W przypadku badania wykonanego w Nowym Jorku ich udział wynosił 2%. W związku z tym w przeprowadzonym badaniu jako jeden ze wskaźników podaje się zagregowane wielkości zanieczyszczeń (niezależnie od substancji chemicznej), przez co możliwe jest w porównanie w prosty sposób otrzymanych wyników z rezultatami innych, podobnych badań.



**Rys. 3. Lokalizacja drzew będących przedmiotem badania.**

Badanie dotyczy drzew rosnących w wilanowskim zespole pałacowo-parkowym, znajdującym się w Wilanowie – Dzielnicy Warszawy (Rys. 3). Wykonana analiza

porównawcza pozwoliła przyjąć, iż klimat Warszawy jest najbardziej zbliżony do strefy klimatycznej Northeast ([https://www.itreetools.org/streets/images/climate\\_zones.jpg](https://www.itreetools.org/streets/images/climate_zones.jpg)). Tym samym do oszacowania wartości strumienia korzyści świadczonych przez drzewa w parku wilanowskim posłużono się danymi z inwentaryzacji tamtejszej zieleni oraz wynikami szczegółowego badania wykonanego w Nowym Jorku - mieście modelowym Northeast Community Tree Guide (McPherson, i in.. 2007).

**Tabela 1. Średnia najwyższa miesięczna temperatura powietrza (°C)**

Miasto	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Roczne
<b>Warszawa</b>	0	1	6	12	18	21	22	22	17	12	5	2	11
<b>Nowy Jork</b>	2	4	8	14	20	25	28	27	23	17	11	5	12

Źródło: Cornell University, 2012, Northeast Regional Climate Center, 2012, Current Result, Research News & Science Fact, World Data Center for Meteorology.

**Tabela 2. Średnia najniższa miesięczna temperatura powietrza (°C)**

Miasto	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Roczne
<b>Warszawa</b>	-4	-4	-1	3	8	11	13	12	8	4	1	-3	3
<b>Nowy Jork</b>	- 5	-4	0	5	11	17	20	18	14	8	3	-2	4

Źródło: 1Cornell University, 2012, Northeast Regional Climate Center, 2012, Current Result, Research News & Science Fact, World Data Center for Meteorology.

Wartości monetarne dla usług absorpcji i unikania poszczególnych rodzajów zanieczyszczeń zostały wyznaczone na podstawie kosztów zewnętrznych na tonę emitowanego zanieczyszczenia powietrza dla elektrowni krajowych dla lat 2007-2008. Obliczenia przeprowadzono w ramach projektów NEEDS z pomocą modelu komputerowego EcoSenseWe.

**Tabela 3. Uśrednione koszty zewnętrzne emisji zanieczyszczeń powietrza dla krajowych elektrowni ciepłych w latach 2007-2008 na tonę zanieczyszczenia.**

	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	VOC	O <sub>3</sub>
<b>Zdrowie ludzi</b>	7232	4287	667	499	24007
<b>Biosystem</b>	-36	1173	0	-59	0
<b>Uprawy rolnicze</b>	-8	155	0	126	0
<b>Materiały budowlane</b>	579	145	0	0	0
<b>Łącznie (EUR)</b>	<b>7767</b>	<b>5760</b>	<b>667</b>	<b>566</b>	<b>24007</b>
<b>Łącznie (PLN)<sup>1</sup></b>	<b>31068</b>	<b>23040</b>	<b>2668</b>	<b>2264</b>	<b>129024</b>

Źródło: NEEDS, 2008

<sup>1</sup> Przyjęto przelicznik 1EUR=4PLN

Uwzględnione zostały koszty zdrowotne, koszty oddziaływania na uprawy rolnicze i materiały budowlane oraz koszty strat różnorodności gatunków na obszarach niezagospodarowanych (Tabela 3). Przedstawione koszty są wartościami średnimi, a zostały oszacowane uwzględniając przestrzenny rozkład źródeł emisji w kraju. Uśredniony koszt zdrowotny spowodowany emisją ozonu został oszacowany na 5,6 krotność tej wartości dla NO<sub>2</sub> (Nowak, 2014).

## Wyniki

Na podstawie badań źródłowych nad absorpcją zanieczyszczeń przez pojedyncze drzewo (Załącznik 1) oraz na bazie danych z inwentaryzacji 3153 drzew w parku wilanowskim<sup>2</sup> obliczono szacunkowe ilości zanieczyszczeń pyłowych i gazowych usuwanych przez te drzewa (Tabela 4).

**Tabela 4. Zanieczyszczenia absorbowane przez drzewa w parku wilanowskim.**

Zanieczyszczenia	Wartość średnia (tony)	Wartość średnia na drzewo (kg)
NO <sub>2</sub>	1.27	0.40
SO <sub>2</sub>	2.17	0.69
PM <sub>10</sub>	1.20	0.38
O <sub>3</sub>	1.30	0.41
VOC	0.10	0.03
<b>Suma</b>	<b>6.04</b>	<b>1.92</b>

Źródło: Opracowanie własne.

Następnie oszacowano błąd obliczeń. Przy jego obliczaniu uwzględniono standardowy błąd pomiaru dla tego modelu wynoszący 20% (McPherson, 2007), jak i możliwe różnice w pochłanianiu zanieczyszczeń, spowodowane różnicą w koncentracji zanieczyszczeń pomiędzy Nowym Jorkiem a Warszawą (Tabela 5).

**Tabela 5. Różnica stężeń w Warszawie względem Nowego Jorku (2013 rok).**

Różnica stężeń dla Warszawy (%)			
NO	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	OZON
-21.69	-40.79	62.68	-17.95

Źródło: Opracowanie własne.

W wyniku przeprowadzonych kalkulacji, obliczono że **monitorowane drzewa usunęły z badanego terenu 6.04 (3.72-8.15) ton zanieczyszczeń powietrza rocznie**, z czego 1.27 (0.80-1.53) tony NO<sub>2</sub>, 2.17 (1.03-2.60) tony SO<sub>2</sub>, 1.20 (0.96-2.34) tony PM<sub>10</sub>, 1.30 (0.86-1.56) tony O<sub>3</sub> oraz 0.10 (0.08-0.12) tony VOC. **Średnio na jedno drzewo przypadło zatem łącznie 1.91 kg zanieczyszczeń. Wartość tej usługi w oparciu o koszty zewnętrzne na**

<sup>2</sup> Baza danych uzyskana dzięki uprzejmości pracowników działu komunikacji Muzeum Pałacu Króla Jana III w Wilanowie.



tonę emitowanego zanieczyszczenia powietrza w Polsce (Tabela 3) wynoszą w przybliżeniu 250 000 (163 425-336 700) zł, czyli 79 zł/drzewo. Dane te zaprezentowane są poniżej (Tabela 6.)

Tabela 6. Szacowanie ilości i wartości pochłanianych i unikanych zanieczyszczeń – park wilanowski.

Rodzaj zanieczyszczenia	Wartość wyjściowa (tony)	Wartość min (tony)	Wartość max (tony)	Wycena wartości min (PLN)	Wycena wartości max (PLN)	Średnia wartość (PLN)
NO <sub>2</sub>	1.27	0.80	1.53	18374	47457	32915
SO <sub>2</sub>	2.17	1.03	2.60	31924	80876	56400
PM <sub>10</sub>	1.20	0.96	2.34	2559	6245	4402
O <sub>3</sub>	1.30	0.86	1.56	110391	201812	156101
VOC	0.10	0.08	0.12	177	266	221
<b>Suma</b>	<b>6.04</b>	<b>3.72</b>	<b>8.16</b>	<b>163425</b>	<b>336655</b>	<b>250040</b>

Źródło: Opracowanie własne.

Ilości te obejmują zarówno bezpośrednie przechwytywanie oraz usuwanie gazów i pyłów, jak też ich „unikanie” z powodu mikroklimatycznego oddziaływania drzew, co wpływa na zmniejszenie zużycia energii w pomieszczeniach. W obliczeniach tych nie uwzględniono natomiast emisji BVOC – (biogennych lotnych związków węglowodorowych), ze względu na dotychczasowe słabe rozpoznanie problemu.

Dla porównania w Nowym Jorku drzewa miejskie usunęły (absorpcja oraz unikanie) z powietrza łącznie **531 t** tych zanieczyszczeń, w tym 226 t dwutlenku azotu, 119 t ozonu, 110 ton dwutlenku siarki oraz 69 t pyłów zawieszonych, 7 t VOC. **Średnio na jedno drzewo przypadło łącznie 0.91 kg zanieczyszczeń.** Różnica między poziomem usuwania i unikania zanieczyszczeń drzew rosnących w Nowym Jorku a rosnącymi w parku wilanowskim jest pochodną różnicy w strukturze gatunkowej drzew jak i przeciętnego wieku drzewostanu obu obszarów.

Tabela 7. Koszty zewnętrzne dla USA.

	Koszty zewnętrzne (PLN/kg) <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub>	35.343
SO <sub>2</sub>	26.796
PM <sub>10</sub>	63.987
VOC	17.787
O <sub>3</sub>	223.3

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Peper i in. 2007 i Nowak, 2014.

<sup>3</sup> Przyjęto przelicznik 1USD=3.5PLN

Wartość tej usługi w oparciu o krajowe (amerykańskie) koszty zewnętrzne na tonę emitowanego zanieczyszczenia powietrza w USA wyniosłaby łącznie 42 080 000 \$, czyli 72 PLN / drzewo<sup>4</sup> (Peper i in. 2007, Nowak, 2014), przy czym trzeba zauważyć, iż przeciętne drzewo w Nowym Jorku pochłaniało o ponad połowę mniej zanieczyszczeń. Wyniki te są zaprezentowane w tabeli poniżej (Tabela 8).

**Tabela 8. Szacowanie ilości i wartości pochłanianych i unikanych zanieczyszczeń – Nowy Jork.**

	<b>Wartość całkowita (kg)</b>	<b>Wartość na drzewo (kg)</b>	<b>Wycena całkowita (PLN)</b>
<b>NO<sub>2</sub></b>	225870	0.39	7982921
<b>O<sub>3</sub></b>	119089	0.20	26592644
<b>PM<sub>10</sub></b>	69418	0.12	4441864
<b>SO<sub>2</sub></b>	109859	0.19	2943774
<b>VOC</b>	6703	0.01	119230
<b>Suma</b>	530939	0.91	42080434
<b>Liczba drzew</b>	584036	<b>PLN/drzewo</b>	72.0510958

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Peper i in. 2007 i Nowak, 2014.

<sup>4</sup> Zakładając koszt zewnętrzny emisji tony O<sub>3</sub> zgodnie z Nowak, 2014 oraz przyjmując koszt zewnętrzny emisji innych zanieczyszczeń jak w Peper i in. 2007.

## Bibliografia

Dawe N.A., 1996, Sprinting Toward Sustainability, *American Forests*, 1996: 22-30, 45

Kuchcik M., Błażejczyk K., Milewski P., Szmyd J., 2014, Urban climate research in Warsaw: the results of microclimatic network measurements *Geographia Polonica* vol. 87, iss. 4, pp. 491-504

McPherson, E.G., J.R. Simpson, P.J. Peper, S.L. Gardner, K.E. Vargas, and Q. Xiao. 2007. *Northeast Community Tree Guide: Benefits, Costs, and Strategic Planting*. PSW-GTR-202. USDA, Forest Service, Pacific Southwest Research Station.

NEEDS , Preiss, P., Friedrich, R. and Klotz, V. (2008), "Report on the procedure and data to generate aver-aged/aggregated data, including ExternalCosts\_per\_unit\_emission\_080821.xls Excel file", NEEDS project, FP6, Rs3a\_D1.1 - Project no: 502687, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart

Nowak D. J., 1994c, Atmospheric Carbon Dioxide Reduction by Chicago's Urban Forest [w:] McPherson i in. 1994, *Climate Urban Forest Ekosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Projekt*: 83-95

Nowak D., Hirabayashi S., Bodine A., Greenfield., 2014, Tree and forest effects on air quality and human health in the United States, *Environmental Pollution* 193: 119-129

Pauleit S., Duhme F. 2000b, GIS assessment of Munich's urban forest structure for urban planning, w: *J. Arboriculture* 26(3):133-141

Peper P.J.; McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Shelly, L.; Gardner, Vargas ,K.E.; Xiao Q., 2007, New York City, New York Municipal Forest Resource Analysis, Technical Report, Center for Urban Forest Research, USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, March, 2007

Radović U. 2013, *Porównanie wpływu na zdrowie człowieka i środowisko naturalne różnych źródeł energii - wyniki badań w programie Externe*, Agencja Rynku Energii SA, Warszawa. ([http://www.if.pw.edu.pl/~pluta/pl/dyd/mtj/zal2/CD\\_II\\_SZKOLA/II.%20CYKL\\_PALIWOWY/1\\_U\\_Radovic\\_porownanie\\_wplywu.pdf](http://www.if.pw.edu.pl/~pluta/pl/dyd/mtj/zal2/CD_II_SZKOLA/II.%20CYKL_PALIWOWY/1_U_Radovic_porownanie_wplywu.pdf))

Rosenzweig, C., S. Gaffin, and L. Parshall (Eds.), 2006: *Green Roofs in the New York Metropolitan Region: Research Report*. Columbia University Center for Climate Systems Research and NASA Goddard Institute for Space Studies

Żylicz T. 2010. Wycena usług ekosystemów. Przegląd wyników badań światowych. *Ekonomia Środowiska*: 12-13

## ZAŁĄCZNIK 1.

**Tabela 9. Wartość pochłanianych i unikanych zanieczyszczeń dla drzew typu "iglaste".**

Wiek	NO <sub>2</sub> (lb)	SO <sub>2</sub> (lb)	MP <sub>10</sub> (lb)	VOC (lb)	Ozon (lb)
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.045	0.240	0.007	0.003	0.068
10	0.115	0.065	0.056	0.007	0.199
15	0.210	0.130	0.175	0.012	0.337
20	0.303	0.193	0.366	0.017	0.489
25	0.389	0.260	0.572	0.022	0.624
30	0.474	0.328	0.577	0.026	0.761
35	0.544	0.385	0.582	0.030	0.881
40	0.611	0.440	0.586	0.033	0.999
45	0.700	0.463	0.724	0.038	1.134
50	0.779	0.509	0.783	0.042	1.263
55	0.858	0.556	0.837	0.046	1.391
60	0.936	0.602	0.887	0.050	1.518
65	1.015	0.648	0.933	0.054	1.645
70	1.093	0.694	0.976	0.058	1.772
75	1.171	0.740	1.016	0.062	1.899
80	1.249	0.786	1.053	0.065	2.025
85	1.326	0.832	1.086	0.069	2.150
90	1.403	0.877	1.118	0.073	2.275
95	1.480	0.923	1.146	0.076	2.400
100	1.557	0.968	1.173	0.080	2.525

**Źródło: Opracowanie własne na podstawie McPherson, 2007.**

**Tabela 10. Wartość pochłanianych i unikanych zanieczyszczeń dla drzew typu "duże".**

Wiek	NO <sub>2</sub> (lb)	SO <sub>2</sub> (lb)	MP <sub>10</sub> (lb)	VOC (lb)	Ozon (lb)
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.21	0.248	0.032	0.022	0.068
10	0.397	0.495	0.097	0.041	0.199
15	0.565	0.716	0.212	0.057	0.337
20	0.699	0.874	0.369	0.068	0.489
25	0.808	0.997	0.525	0.076	0.624
30	0.905	1.093	0.677	0.082	0.761
35	0.982	1.165	0.824	0.086	0.881
40	1.051	1.229	0.828	0.089	0.999
45	1.082	2.347	0.989	0.093	1.134
50	1.251	2.527	1.106	0.095	1.263
55	1.368	2.694	1.223	0.096	1.391
60	1.482	2.850	1.339	0.098	1.518
65	1.593	2.995	1.455	0.098	1.645
70	1.701	3.129	1.571	0.099	1.772
75	1.807	3.255	1.686	0.100	1.899
80	1.910	3.371	1.801	0.100	2.025
85	2.010	3.479	1.916	0.100	2.150
90	2.108	3.580	2.030	0.101	2.275
95	2.204	3.674	2.144	0.101	2.400
100	2.297	3.761	2.257	0.101	2.525

**Źródło: Opracowanie własne na podstawie McPherson, 2007.**

**Tabela 11. Wartość pochłanianych i unikanych zanieczyszczeń dla drzew typu "średnie".**

<b>Wiek</b>	<b>NO<sub>2</sub> (lb)</b>	<b>SO<sub>2</sub> (lb)</b>	<b>MP<sub>10</sub> (lb)</b>	<b>VOC (lb)</b>	<b>Ozon (lb)</b>
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.046	0.039	0.008	0.004	0.029
10	0.127	0.113	0.049	0.010	0.087
15	0.233	0.233	0.135	0.019	0.164
20	0.335	0.350	0.261	0.028	0.243
25	0.432	0.470	0.389	0.037	0.326
30	0.524	0.582	0.516	0.045	0.408
35	0.600	0.671	0.639	0.051	0.486
40	0.666	0.744	0.645	0.056	0.565
45	0.770	0.857	0.762	0.065	0.624
50	0.857	0.956	0.855	0.073	0.696
55	0.944	1.054	0.947	0.080	0.769
60	1.030	1.153	1.039	0.087	0.841
65	1.116	1.251	1.131	0.095	0.912
70	1.202	1.349	1.223	0.102	0.984
75	1.288	1.446	1.314	0.109	1.056
80	1.373	1.543	1.405	0.117	1.127
85	1.458	1.640	1.496	0.124	1.198
90	1.543	1.737	1.586	0.131	1.268
95	1.628	1.833	1.676	0.138	1.339
100	1.712	1.929	1.766	0.146	1.409

**Źródło: Opracowanie własne na podstawie McPherson, 2007.**

**Tabela 12. Wartość pochłanianych i unikanych zanieczyszczeń dla drzew typu "male".**

<b>Wiek</b>	<b>NO<sub>2</sub> (lb)</b>	<b>SO<sub>2</sub> (lb)</b>	<b>MP<sub>10</sub> (lb)</b>	<b>VOC (lb)</b>	<b>Ozon (lb)</b>
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.036	0.026	0.012	0.002	0.023
10	0.084	0.064	0.048	0.006	0.059
15	0.129	0.103	0.094	0.009	0.094
20	0.169	0.142	0.145	0.012	0.126
25	0.207	0.179	0.188	0.015	0.159
30	0.238	0.212	0.191	0.018	0.188
35	0.265	0.242	0.194	0.020	0.215
40	0.290	0.270	0.196	0.022	0.242
45	0.309	0.293	0.227	0.025	0.272
50	0.342	0.336	0.238	0.027	0.299
55	0.364	0.366	0.248	0.029	0.326
60	0.384	0.395	0.256	0.031	0.352
65	0.403	0.423	0.263	0.033	0.377
70	0.420	0.451	0.268	0.034	0.402
75	0.436	0.479	0.273	0.036	0.426
80	0.450	0.505	0.278	0.038	0.450
85	0.463	0.531	0.281	0.039	0.473
90	0.476	0.556	0.284	0.041	0.495
95	0.487	0.581	0.287	0.042	0.517
100	0.498	0.605	0.289	0.043	0.539

**Źródło: Opracowanie własne na podstawie McPherson, 2007.**