

PATRYCJA SŁODOWNIK¹
KRZYSZTOF W. OPALIŃSKI^{1*}

Zużycie tlenu przez plażę wiślaną. Dobra i usługi ekosystemu

Summary

Oxygen consumption in the sandy beaches of the Vistula River: Goods and services of the ecosystem

The aim of the research was to estimate the role of the beach in the process of self – purification of water in the Vistula River. The study could become a very important voice in the debate about the future and development of Vistula River. A self-purification process involves the disposal of pollutants entering the water from the catchment of the River. A measure of the Vistula water purification process of organic matter is the amount of oxygen that is consumed by the beach settlement. That is the amount of burned organic matter by psammon during cellular respiration. In addition, the calculation of the amount of organic matter, which was worn by psammon can be the measure of “goods and services of the ecosystem” of the river.

Słowa kluczowe: Wisła, samooczyszczenie się wód, psammon, zużycie tlenu, dobra i usługi ekosystemu

Key words: Vistula River, self-purification, psammon, oxygen consumption, goods and services of the ecosystem

¹ Instytut Ekologii i Bioetyki Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie, ul. Wóycickiego 1/3, 01-938 Warszawa, * e-mail: k.opalinski.uksw.edu.pl

1. Wstęp

1.1. Psammon – organizmy interstycjalne plaż

Psammon to grupa organizmów zamieszkujących wilgotny piasek przybrzeżny, przestrzenie interstycjalne pomiędzy ziarenkami piasku. W jego skład wchodzi głównie bakterie, glony, pierwotniaki, wrotki, brzuchorzęski, nicienie, pierścienice, niesporczaki i widłonogi. Środowiskiem ich życia jest woda znajdująca się między ziarenkami piasku, zazwyczaj silnie nasycona solami mineralnymi oraz związkami organicznymi (Wiszniewski 1934).

Organizmy interstycjalne odżywiają się rozpuszczoną i cząsteczkową materią organiczną niesioną przez wodę, którą infiltrują łąchy i plaże wiślane. Materia ta następnie zostaje wykorzystana do budowy ich ciała i procesów energetycznych (oddychania komórkowego) (Kleiber 1961, Klekowski, Duncan 1975, Klekowski, Opaliński 1993). Odkrywcą zespołu organizmów psammonowych i autorem terminu „psammon” jest polski zoolog i hydrobiolog Jerzy Wiszniewski, pracujący w latach 1930-35, na Stacji Hydrobiologicznej na jeziorze Wigry, a w latach 1935-39 organizator Poleskiej Stacji Hydrobiologicznej w Pińsku (Wiszniewski 1934, 1947).

Ilość zużytego tlenu w procesach oddychania organizmów mówi o ilości pobranej ze środowiska materii organicznej i wykorzystanie jej na procesy energetyczne, a tym samym o ilości rozłożonej materii organicznej (Kleiber 1961). To samo dzieje się w wodzie interstycjalnej łąch rzecznych – następuje w nich biologiczne spalanie niesionej przez wodę materii organicznej przez zamieszkujący w tej wodzie psammon (Puczko, 2013). Znając ilość zużywanego tlenu przez piasek łąch wiślanych można obliczyć, ile zużywają one materii organicznej niesionej przez wodę i tą drogą ocenić, jaką rolę w samooczyszczaniu wód rzecznych z materii organicznej odgrywają łąchy i plaże piaszczyste oraz żyjące w nich organizmy psammonowe.

1.2. Cel pracy

Celem pracy jest ocena roli plaż wiślanych w procesie samooczyszczania się wód Wisły. Jako miarę procesu oczyszczania wody z materii organicznej, głównie pochodzącej ze ścieków komunalnych przyjęto ilość zużywanego tlenu przez osady plażowe, to jest ilość materii organicznej „spalanej” w procesach oddychania komórkowego przez organizmy psammonowe.

Ocena ilości materii organicznej utylizowanej przez psammon żyjący w plażach, łachach i innych wiślanych utworach piaszczystych, oprócz celu czysto poznawczego – badania tego typu na plażach rzecznych prowadzone były dotychczas tylko przez Puczko (2013) w latach 2008–2010 – ale mają również aspekt praktyczny. Mianowicie dzięki nim będzie możliwe „wycenienie” dóbr i usług ekosystemu (goods and services of the ecosystem) *sensu* Constanza 1999, Constanza *et al.* 1997 oraz będzie to ważny głos w dyskusji nad przyszłością Wisły – czy „królowa rzek polskich” zostanie „ostatnią wielką dziką rzeką Europy”, czy zamieniona zostanie w kanał burzowy i drogę wodną.

2. Teren i metody badań

2.1. Teren

Badania prowadzono na warszawskim odcinku Wisły Środkowej, na prawym, piaszczystym i nieuregulowanym brzegu rzeki, koło mostu Śląsko-Dąbrowskiego, koło klubu La Playa. Jest to plaża piaszczysta, według nomenklatury Kajaka (Kajak 1998) psammolitoralowa.

2.2. Metody pomiaru

Metodą badawczą stosowaną w niniejszej pracy jest metoda zamkniętych naczyń. Spośród wielu metod ta okazała się najlepsza, ponieważ pozwala na synchroniczne pomiary wielu próbek.

Aby obliczyć abiotyczne, biotyczne oraz całkowite zużycie tlenu w plaży należy na początku zmierzyć całkowite i abiotyczne zużycie

tlenu, a na tej podstawie obliczyć biotyczne zużycie tlenu w kolumnie wody. Naczyniami pomiarowymi były kolby Erlenmayera o pojemności 0,120 dm³. Po wypełnieniu kolb wodą mierzono w nich zawartość tlenu. Następnie kolby eksponowano przez 24 godziny w wodzie wiślanej.

Do pomiaru stężenia tlenu w kolbach była stosowana sonda tlenowa firmy Hach-Lange. Sonda jest wyposażona w miernik cyfrowy HQ40D oraz elektroda luminescencyjną LDO (dioda LED z luminoforem). Działanie elektrody luminescencyjnej jest oparte na zasadzie optycznego pomiaru rozpuszczonego tlenu w wodzie. Za całkowite zużycie tlenu traktowano spadek stężenia tlenu w badanych kolbach wyrażany w mg O₂ × dcm⁻³ × d⁻¹.

2.3. Biotyczne i abiotyczne zużycie tlenu

Do obliczenia biotycznego oraz abiotycznego zużycia tlenu w kolumnie wody posługiwano się metodą zatruwania próbki formaliną (Urban-Malinga, Opaliński 1999). W tym celu pobrano pięć próbek wody do których dodano 2 cm² stężonej formaliny. Kolby następnie zaciemniano. Formalina zabija organizmy żywe w wodzie, dlatego też zmniejszenie ilości tlenu w kolbie jest spowodowane procesami chemicznymi zachodzącymi w wodzie. Jest to abiotyczne zużycie tlenu. Biotyczne zużycie tlenu jest różnicą między całkowitym zużyciem tlenu a abiotycznym zużyciem tlenu. Biotyczne zużycie tlenu jest związane z procesami życiowymi organizmów planktonowych znajdujących się w kolumnie wody.

Do pomiaru całkowitego, biotycznego i abiotycznego zużycia tlenu w plaży stosowano również metodę zamkniętych naczyń. Próbki z plaży suchej oraz mokrej pobierano próbnikiem szklanym o powierzchni 1,33 cm². Miąższość próbek wynosiła 10 cm. Próbki umieszczano w kolbach Erlenmayera o pojemności 0,120 dcm³. Następnie do kolb dolewano wody wiślanej (do pełna). We wszystkich kolbach mierzono stężenie tlenu. Pięć kolb następnie zamykano. Do kolejnych pięciu kolb dodawano po 2 cm² formaliny, później je zaciemniano oraz zamykano. Wszystkie kolby eksponowano przez 24 godziny.

Po ekspozycji w laboratorium ponownie mierzono stężenie tlenu we wszystkich kolbach. Ubytek tlenu w kolbach bez formaliny był spowodowany biotycznym zużyciem tlenu przez psammon, który żyje w osadach piaszczystych oraz plankton żyjący w toni wodnej. Jeżeli od otrzymanej wartości całkowitego zużycia tlenu zużycia tlenu odejmiemy całkowite zużycie tlenu w kolumnie wody (zużycie tlenu przez plankton) otrzymamy biotyczne i abiotyczne zużycie tlenu przebiegające w próbce piasku. Obliczenie rzeczywistego zużycia tlenu przez próbkę piasku jest możliwe poprzez uwzględnienie rzeczywistej objętości kolb Erlenmayera. Otrzymane wyniki przedstawiają całkowite zużycie tlenu przez plażę mokrą oraz suchą. W kolbach z formaliną od ilości tlenu jaka w nich była odejmowano ilość tlenu jaka ubyła w kolbach z wodą, do której była dodana formalina w czasie pomiarów zużycia tlenu w kolumnie wody. Otrzymane w ten sposób wyniki traktowano jak abiotyczne zużycie tlenu przez plażę. Różnice całkowitego zużycia tlenu i abiotycznego zużycia tlenu to biotyczne zużycie tlenu przez plażę.

W niniejszej pracy wykorzystano pomiary zużycia tlenu prowadzone co miesiąc od 2009 do 2013 roku. W okresie 2009–2010 były to pomiary prowadzone przez dr Magdalenę Puczko (Puczko 2013), w roku 2011 przez prof. Krzysztofa Opalińskiego (dane niepublikowane), w roku 2012 były to pomiary prowadzone przez mgr Annę Kozieł (Kozieł 2013) i mgr Marlenę Ludwiniak (Ludwiniak 2013). Pomiary w drugiej części roku 2012 i w roku 2013 prowadzone były przez autorów.

3. Wyniki

3.1. Całkowite zużycie tlenu przez plażę wiślaną w okresie 2009–2013

Całkowite zużycie tlenu przez plażę wiślaną (Rys. 1) osiągnęło najwyższe wartości w roku 2012. Wrzesień 2012 roku wykazał się największym zużyciem całkowitym tlenu ($1,72 \text{ g O}_2 \times \text{m}^{-2} \times \text{d}^{-1}$) na przestrzeni lat 2009–2013. Wysokie wartości zostały także osiągnięte

w sierpniu 2012 roku – $1,60 \text{ g O}_2 \times \text{m}^{-2} \times \text{d}^{-1}$, lipcu 2012 roku – $1,34 \text{ g O}_2 \times \text{m}^{-2} \times \text{d}^{-1}$, maju 2012 r. – $1,12 \text{ g O}_2 \times \text{m}^{-2} \times \text{d}^{-1}$, czerwcu 2012 r. – $1,07 \text{ g O}_2 \times \text{m}^{-2} \times \text{d}^{-1}$. Najniższe wartości we wszystkich latach pojawiały się w sezonie zimowym począwszy od grudnia do marca. Wartość zerowa wystąpiła w lutym 2010 roku. W styczniu 2009 r., 2010 r., 2011 r. wartość całkowitego zużycia tlenu wynosiła jedynie $0,1 \text{ g O}_2 \times \text{m}^{-2} \times \text{d}^{-1}$. W styczniu 2012 r. oraz 2013 r. całkowite zużycie tlenu przez plażę było wyższe niż w latach poprzednich: w styczniu 2012 r. – $0,20 \text{ g O}_2 \times \text{m}^{-2} \times \text{d}^{-1}$, a w styczniu 2013 r. – $0,30 \text{ g O}_2 \times \text{m}^{-2} \times \text{d}^{-1}$. Wartość całkowitego zużycia tlenu przez plażę wzrastała stopniowo od początku roku, osiągając swoje maksimum w miesiącach lipiec, sierpień, wrzesień, by następnie zacząć stopniowo się zmniejszać. Rok 2010 charakteryzuje się najmniejszym średniorocznym zużyciem całkowitym tlenu przez plażę mokrą, natomiast rok 2012 najwyższym. Najwyższe wartości całkowitego zużycia tlenu w roku 2009 przypadły na lipiec – $0,30 \text{ g O}_2 \times \text{m}^{-2} \times \text{d}^{-1}$. Rok 2010 charakteryzował się najwyższą wartością w lipcu – $0,07 \text{ g O}_2 \times \text{m}^{-2} \times \text{d}^{-1}$. Następnym roku 2011 najwyższą wartość – $0,21 \text{ g O}_2 \times \text{m}^{-2} \times \text{d}^{-1}$ osiągnął dwukrotnie w lipcu oraz grudniu.

3.2. Biotyczne zużycie tlenu przez plażę

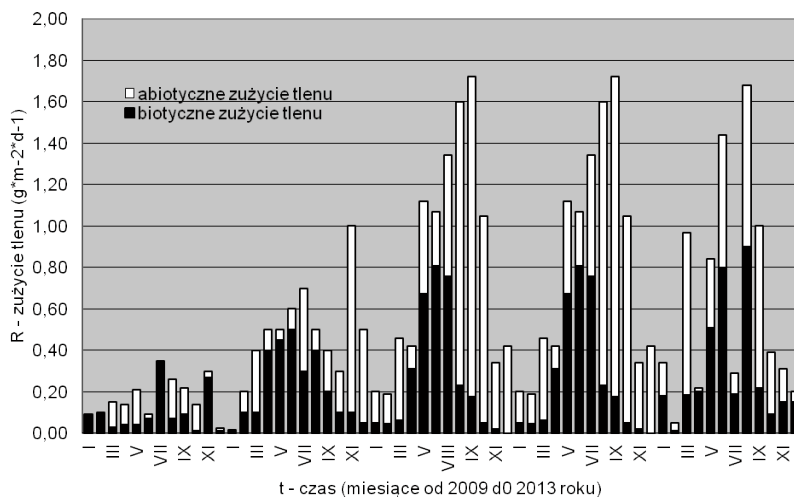
Biotyczne zużycie tlenu przez plażę wiślana (Rys. 1) osiągnęło najwyższą wartość w czerwcu 2012 r. – $0,81 \text{ g O}_2 \times \text{m}^{-2} \times \text{d}^{-1}$. Rok 2012 charakteryzował się bardzo wysokimi wartościami biotycznego zużycia tlenu przez plażę mokrą. W sierpniu 2012 r. – $0,76 \text{ g O}_2 \times \text{m}^{-2} \times \text{d}^{-1}$, czerwcu 2012 r. – $0,67 \text{ g O}_2 \times \text{m}^{-2} \times \text{d}^{-1}$, kwietniu 2012 r. – $0,31 \text{ g O}_2 \times \text{m}^{-2} \times \text{d}^{-1}$. Najniższe wartości zostały odnotowane w miesiącach zimowych. W lutym 2010 r. biotyczne zużycie tlenu spadło do zera, wartości minimalne: $0,01 \text{ g O}_2 \times \text{m}^{-2} \times \text{d}^{-1}$ odnotowano w październiku 2010 r., listopadzie 2009 r., 2010 r., w styczniu 2009 r., 2010 r., 2011 r. i 2013 r., w lutym 2011 r. i 2013 r. oraz w marcu 2010 r. Interesujący jest fakt, iż począwszy od miesięcy zimowych (listopad) 2011 roku wartość biotycznego zużycia tlenu rośnie do lipca 2012 roku. Najwyższa wartość w roku 2009 r. przypadła na sierpień i wynosiła $0,25 \text{ g O}_2 \times \text{m}^{-2} \times \text{d}^{-1}$,

w roku 2010 na kwiecień i sierpień – $0,04 \text{ O}_2 \times \text{m}^2 \times \text{d}^{-1}$, w 2011 r. na czerwiec – $0,19 \text{ O}_2 \times \text{m}^2 \times \text{d}^{-1}$. Rok 2010 charakteryzował się najniższym średnim biotycznym zużyciem tlenu przez plażę mokrą.

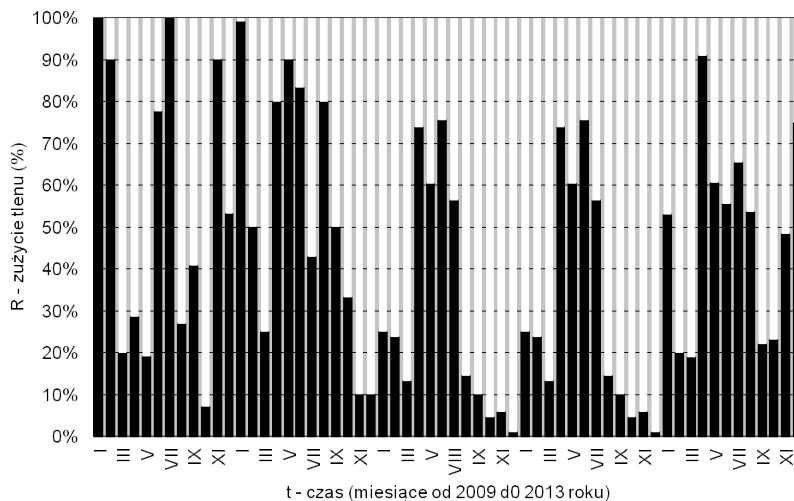
3.3. Abiotyczne zużycie tlenu przez plażę.

Abiotyczne zużycie tlenu przez plażę (Rys. 1) osiągnęło swoje maksimum we wrześniu 2012 roku – $1,55 \text{ O}_2 \times \text{m}^2 \times \text{d}^{-1}$. Wysokie wartości charakteryzowały także sierpień 2012 r. – $1,37 \text{ O}_2 \times \text{m}^2 \times \text{d}^{-1}$, październik 2012 r. – $1,00 \text{ O}_2 \times \text{m}^2 \times \text{d}^{-1}$. W roku 2012 zaobserwowano największą średnią abiotycznego zużycie tlenu przez plażę mokrą w przeciągu lat 2009–2013. Abiotyczne zużycie tlenu przyjmowało najniższe wartości od października do marca. Zerowe wartości zanotowano w styczniu 2009 r. i 2010 r. oraz w lutym 2010 r. Równie niska wartość wynosząca $0,01 \text{ O}_2 \times \text{m}^2 \times \text{d}^{-1}$ została odnotowana w grudniu 2010 r., w lutym 2009 r. i 2011 r., w marcu 2009 r., 2010 r. i 2011 r., w kwietniu 2010 r., sierpniu 2010 r. i 2011 r., we wrześniu 2010 r. i 2011 r. Rok 2010 charakteryzuje się najniższą wartością średnią abiotycznego zużycia tlenu przez plażę mokrą. Roczne maksimum dla 2009 roku wyniosło w sierpniu $0,19 \text{ O}_2 \times \text{m}^2 \times \text{d}^{-1}$. W 2010 roku najwyższa odnotowana wartość wynosiła jedynie $0,04 \text{ O}_2 \times \text{m}^2 \times \text{d}^{-1}$, ale pojawiła się w czerwcu i lipcu. W roku 2011 najwyższe wartości równe $0,15 \text{ O}_2 \times \text{m}^2 \times \text{d}^{-1}$ miały miejsce w miesiącu kwietniu oraz grudniu.

Udział biotycznego zużycia tlenu w całkowitym zużyciu tlenu przez plażę waha się od kilku procent (3,3% w styczniu 2013, 4,7% w październiku 2012 roku) do 100% (styczeń 2009, styczeń – luty 2010, styczeń 2011). Średni wieloletni (2009–2013) udział biotycznego zużycia tlenu w całkowitym zużyciu tlenu przez plażę wynosi 52,3% (Rys. 2). Związek pomiędzy biotycznym zużyciem tlenu (w $\text{O}_2 \times \text{m}^2 \times \text{d}^{-1}$) a jego procentowym udziałem w całkowitym zużyciu tlenu w plaży mokrej (%) jest statystycznie nieistotny, współczynnik korelacji tej zależności wynosi $r = 0,1162$. A więc na podstawie biotycznego zużycia tlenu przez plażę nie można wnioskować o jego procentowym udziale w całkowitym zużyciu tlenu przez tę plażę.



Rys. 1. Biotyczne i abiotyczne zużycie tlenu przez plażę wiślaną w latach 2009–2013. Całkowite zużycie tlenu jest sumą zużycia biotycznego i abiotycznego.



Rys. 2. Procentowy udział biotycznego zużycia tlenu w całkowitym zużyciu tlenu przez plażę wiślaną w latach 2009–2013. Średnia wieloletnia biotycznego zużycia tlenu wynosi 52,3% całkowitego zużycia tlenu

4. Dyskusja

4.1. Zużycie tlenu plaż wiślanych i osadów rzecznych rzek europejskich

Lata 80. i 90. XX wieku to okres bujnego rozwoju badań nad procesami energetycznymi przebiegającymi w jeziorach, estuariach i w mniejszym stopniu w rzekach. Podtekstem tych badań, chociaż nie pisano o tym wówczas otwarcie, była emisja i wiązanie ditlenku węgla przez wody śródlądowe oraz emisja z nich metanu – „gazów szklarniowych” mających wpływ na bilans cieplny Ziemi (Devol i in. 1988, Richey i in. 1988, Mann, Wetzel 1995, Hamilton i in. 1995).

W literaturze jest bardzo mało danych na temat zużycia tlenu, czy generalnie – przepływu energii przez osady rzeczne. Puczko (2013) podaje, że w większości przypadków badania te odnosiły się do niewielkich rzek i strumieni, najczęściej, rzadziej nizinnych, jeszcze rzadziej do wielkich rzek nizinnych porównywalnych z Wisłą. Ówczesnych badaczy interesowały ponadto osady muliste i organiczne, a nie „czysty piasek” uważany za środowisko biologicznie nieaktywne, chociaż od odkrycia przez Wiszniewskiego psammonu minęło już ponad pół wieku. Dlatego też porównanie otrzymanych w niniejszej pracy wyników zużycia tlenu przez piaszczyste plaże wielkiej rzeki nizinnej, jaką jest Wisła, z danymi literaturowymi jest dość trudne. Ponadto dochodzą różnice wynikające ze stosowanych metod pomiarowych – metoda naczyń przepływowych daje wyniki o rząd wielkości wyższe w porównaniu do metody naczyń zamkniętych (Uzarski i in. 2004), natomiast Bott (1978) stwierdza, że metody te są porównywalne. Ponadto wielu wyników literaturowych nie da się porównać z danymi niniejszej pracy ze względu na użycie innych jednostek – np. G.-Toth (1992), G.-Toth i in. (1994), Simicic, Mori (2007) podają wyniki zużycia tlenu nie na jednostkę powierzchni osadu (dna), ale na jednostkę ciężaru osadów (Puczko 2013).

W Tabeli 1 podano otrzymane wyniki zużycia tlenu przez piaszczyste osady wiślane z danymi literaturowymi. Niestety tylko w niewielu przypadkach pomiary te wykonane były tymi samymi metodami.

Tam, gdzie zastosowano takie same metody (Puczko 2013), otrzymano wyniki bardzo zbliżone (Tab. 1).

Tab. 1. Zużycie tlenu przez rzeczne osady dennie (powierzchniową warstwę osadów) oraz piaszczyste osady bałtyckie.

Źródło: Puczko 2013.

Zużycie tlenu (g O ₂ ×m ⁻² ×d ⁻¹)	Nazwa, rodzaj rzeki, położenie, państwo	Temp. (°C)	Autor
0,02-0,55	Wisła, wielka rzeka nizinna	0-30	Niniejsza praca
0,01-0,78	Wisła, wielka rzeka nizinna	0-27	Puczko 2013
0,78	Steina, strumień górski, Niemcy	7,8	Pusch, Schwoerbel 1994
1,7	Steina, strumień górski, Niemcy	1-16	Pusch 1996
4,6-7,0	Necker, w górskim biegu, Niemcy		Naegeli, Uehlinger 1997
0,69-2,09	Zatoka Gdańska, Bałtyk	4-23	Urban-Malinga, Opaliński 2002

Zużycie tlenu przez piaszczyste plaże wiślane (0,02–0,55 O₂ × m⁻² × d⁻¹) można porównać ze zużyciem tlenu przez powierzchniową warstwę osadów dennych innych rzek podawanym przez literaturę: górskiego strumienia Steina w Schwrtzwaldzie, w Niemczech (0,78-1,7 O₂ × m⁻² × d⁻¹, Tab. 1). Natomiast dane dla górskiego odcinka rzeki Necker są o rząd wielkości wyższe (Tab. 1). Należy przy tym pamiętać, że wszystkie cytowane dane odnoszą się nie do piaszczystych osadów, ale do osadów z warstwą organiczną, gdzie intensywność procesów zużycia tlenu jest wyższa ze względu na dostępność materii organicznej. W tym przypadku nie ma mowy o oczyszczaniu wody przez mikroorganizmy (mikrobentos), bo żyją one na materiale organicznym i raczej uwalniają do płynącej wody detritus i DOM, niż powodują jej oczyszczanie z tych elementów. Zużycie tlenu przez plażę

wiślane jest zbliżone do zużycia tlenu przez plażę bałtyckie (Tab. 1), gdzie pomiary były prowadzone taką samą metodą.

4.2. Biotyczne i abiotyczne zużycie tlenu

Oceanografowie zajmujący się zużyciem tlenu przez morskie osady denne wyróżnili trzy kategorie tego zużycia: zużycie całkowite („total oxygen uptake”), zużycie przez bentos („benthic community respiration”) i chemiczne zużycie tlenu (COD, „chemical oxygen demand”) będące tą częścią całkowitego zużycia tlenu, którą można zmierzyć po dodaniu do próbek wody formaliny, kiedy utlenieniu ulegają zredukowane substancje organiczne i nieorganiczne (Smith 1978, patrz również Teal, Kanwisher 1961, Dale 1978, Boyton i in. 1981). W badaniach zużycia tlenu przez plażę bałtyckie Urban-Malinga i Opaliński (1999) zmodyfikowali tę terminologię na całkowite (total), biotyczne (biotic) i abiotyczne (abiotic) zużycie tlenu ze względu na inne znaczenie terminu chemiczne zużycie tlenu (COD) używane w badaniu ścieków.

Innym typem abiotycznego zużycia tlenu są procesy fotochemiczne zachodzące w wodzie, nie odgrywają one jednak znaczącej roli w całkowitym zużyciu tlenu (Lindell, Hakumat 1994). W niniejszej pracy procesy te były wyeliminowane przez zaciemnienie kolb, w których prowadzono pomiary zużycia tlenu.

W plaży wiślanej abiotyczne zużycie tlenu wahało się od 47,7% całkowitego zużycia tlenu, w poszczególnych miesiącach dochodziło do 100%. W literaturze jest bardzo mało danych na temat abiotycznego zużycia tlenu przez osady rzeczne – Puczko (2013) podaje, że w plaży wiślanej abiotyczne zużycie tlenu wynosi 40–67% całkowitego zużycia tlenu. Wartości otrzymane w niniejszej pracy pokrywają się z danymi Puczko (2013), ale są wyższe od danych dla plaż bałtyckich (Tab. 2).

Tab. 2. Procentowy udział abiotycznego zużycia tlenu w całkowitym zużyciu tlenu przez plaże rzeczne i bałtyckie.

Procentowy udział abiotycznego zużycia tlenu w całkowitym zużyciu tlenu	Miejsce	Autor
47,3	Wisła, plaża mokra	Niniejsza praca
52,5	Wisła, plaża sucha	Niniejsza praca
50-67	Wisła, plaża mokra	Puczko 2013
40-62	Wisła, plaża sucha	Puczko 2013
43-86	Zatoka Gdańska, plaża mokra	Urban-Malinga, Opaliński 1999
10-50	Zatoka Gdańska plaża sucha	Urban-Malinga, Opaliński 1999

4.4. Dobra i usługi plaż wiślanych

Zużycie tlenu przez plaże wiślane to nic innego jak procesy oddechowe psammonu żyjącego w tych plażach. Tlen zużywany w procesach oddechowych służy do utleniania materii organicznej zjadanej przez organizmy psammonowe. A więc na podstawie ilości zużytego tlenu przez plaże wiślane można obliczyć, ile materii organicznej, w tym przypadku organicznej frakcji zanieczyszczeń niesionych przez wody Wisły (głównie ścieków komunalnych) zostało zjedzonych i zamienionych na ditlenek węgla i wodę w wyniku spalania komórkowego. Kajak (1998) podaje, że zużycie 1 g tlenu w procesach oddechowych odpowiada utlenieniu (utylizacji) 0,937 g suchej masy materii organicznej i 9,37 g mokrej materii organicznej. A więc 1 m² wiślanej plaży w latach 2009-2013 zużywał średnio 0,78 g mokrej masy materii organicznej na dobę, co w skali roku daje wynik ponad ćwierć kilograma (284 g) materii organicznej (Tab. 3).

Tab. 3. Zużycie materii organicznej przez plażę wiślane.

Średnioroczne dobowe biotyczne zużycie tlenu ($\text{g} \times \text{m}^2 \times \text{d}^{-1}$)	Ekwiwalent materii organicznej zużycia tlenu ($\text{g Ww} \times \text{gO}_2^{-1}$)	Średnioroczne dobowy zużycie materii organicznej ($\text{g Ww} \times \text{m}^2 \times \text{d}^{-1}$)	Średnioroczne zużycie materii organicznej ($\text{g Ww} \times \text{m}^2 \times \text{y}^{-1}$)
0,083	9,37	0,78	284

Wiślana plaża La Playa, gdzie prowadzono niniejsze badania ma długość około 250 m, szerokość około 5 m, a więc jej powierzchnię można ocenić na 1250 m².

Na tej podstawie można obliczyć, że plaża mokra usuwa rocznie 1250 m² × 284 g Ww × m⁻² × y⁻¹ = 355 kg materii organicznej, a więc ponad 1/3 tony materii organicznej.

Do usunięcia 1 kg ładunku materii organicznej ze ścieków komunalnych w oczyszczalni typu BIOSET wymagane jest zużycie 2,2 kWh energii (Web-01). 1 kWh energii elektrycznej to koszt wysokości 0,354 zł (RWE Polska, taryfa G11 na rok 2013), czyli za utylizację 1 kg materii organicznej należy zapłacić około 0,78 zł. Zatem plaża La Playa, utylizuje 355 kg materii organicznej rocznie, wykonuje „usługę” wartą 277 zł. Te 277 zł rocznie to „dobro i usługi ekosystemu” (ecosystem goods and services *sensu* Constanza 1999, Constanza i in. 1997, Czech 2002, Węśławski i in. 2006), a więc swoista wartość tego skrawka plaży wiślanej w środku miasta, i to tylko jej wartość „ekologiczna”, jako naturalnej oczyszczalni wody wiślanej, bo przecież można jeszcze obliczyć jej wartość jako miejsca rekreacji i wypoczynku (Węśławski i in. 2006, Andruszkiewicz, Szeligiewicz 2011).

Plaża La Playa o długości 250 m i szerokości 5 m jest więc swoistą bezpłatną i bezodpadową „oczyszczalnią” wody wiślanej. Aby ta naturalna oczyszczalnia mogła nadal funkcjonować, konieczna jest ochrona plaż i łąch piaszczystych, co wiąże się z nie podejmowaniem żadnych działań regulacyjnych na rzece. Regulacja spowoduje pogorszenie się jakości wody w rzece. Dla zachowania istniejącego stanu wody wiślanej konieczne byłoby wybudowanie dodatkowych oczyszczalni ścieków, co wiąże się z dodatkowymi, niemałymi kosztami.

Bibliografia

- Andruszkiewicz A., Szeligiewicz W., 2011, *Rozwój sportu i rekreacji nad Wisłą w Warszawie*, Turystyka i Rekreacja 7, 77–82.
- Bott T.L., Brock J.T., Cushing C.E., Gregory S.V., King D., Petersen R.C., 1978, *A comparison of methods for measuring primary production and community respiration in streams*, Hydrobiologia, 60, 3–12
- Boyton W.R., Kemp W.M., Osborne C.G., Kaumeyer K.R., Jenkins M.C., 1981, *Influence of water circulation rate on in situ measurements of benthic community respiration*, Mar. Biol. 65, 185–190
- Czech B., 2002, *The imperative of macroeconomics for ecologists*, BioScience, 52, 964–966.
- Constanza R., 1999, *The ecological, economic and social importance of the oceans*, Ecol. Econ. 31, 17–22.
- Constanza R., d'Arge R., de Groot R., Faber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neil R. V., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P., van den Belt M., 1997, *The value of world's ecosystem services and natural capital*, Nature 387 (6630), 253–260.
- Dale T., 1978, *Total, chemical and biological oxygen consumption of the sediments in Lindaspollene, Westren Norway*, Mar. Biol. 49, 333–341.
- Devol A.H., Richey J.E., Clark W.A., King S.L., Martinelli L.A., 1988, *Methane emission to the troposphere from the Amazon floodplain*, J. Geophysical Res. 93, 1583–1592.
- G.-Toth L., 1992, *Respiratory electron transport system activity (ETS) – activity of the plankton and sediment in Lake Balaton (Hungary)*, Hydrobiologia, 243/244, 157–166.
- G.-Toth L., Lango Zs., Padisak J., Varga E., 1994, *Terminal electron transport system (ETS) – activity in the sediment of Lake Balaton, Hungary*, Hydrobiologia, 281, 129–139.
- Hamilton S.K., Sippel S.J., Melack J.M., 1995, *Oxygen depletion and carbon dioxide and methane production in waters of the Pantalan wetland of Brazil*, Biogeochemistry, 30, 114–141.
- Kajak Z., 1998, *Hydrobiologia-Limnologia. Ekosystemy wód śródlądowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 356 pp.

- Kleiber M., 1961, *The fire of life. An introduction to animal energetics*, John Wiley.
- Klekowski R.Z., Duncan A., 1975, *Physiological approach to ecological energetics*. W: W. Grodziński, R.Z. Klekowski, A. Duncan (red.) „Methods for ecological bioenergetics. Physiological approach to ecological energetics”, IBP Handbook no 24, Blackwell, Oxford
- Klekowski R.Z., Opaliński K.W., 1993, *Metabolizm energetyczny*. W: R.Z. Klekowski, Z. Fisher (red.) „Bioenergetyka ekologiczna zwierząt zmiennocieplnych, Polska Akademia Nauk, 35–82.
- Kozieł A., 2013, *Przepływ energii przez ekosystem Wisły. Zużycie tlenu przez plażę suchą*, praca magisterska, UKSW.
- Lindell M.J., Hakumat R., 1994, *Photochemical oxygen consumption in humic waters*, Arch. Hydrobiol. 43, 145–155
- Ludwiniak M., 2013, *Przepływ energii przez ekosystem Wisły. Zużycie tlenu przez plażę mokrą*, praca magisterska, UKSW
- Mann C.J., Wetzel, R.G., 1995, *Dissolved organic carbon and its utilization in a riverine wetland ecosystem*, Biogeochemistry, 31, 99–120.
- Naegeli M.W., Uehlinger U., 1997, *Contribution of the hyporheic zone to ecosystem metabolism in a prealpine gravel bed river*, J. N. Am. Benthol. Soc. 16, 794–804.
- Puczko M., 2013, *Przepływ energii przez piaszczyste ławice i plaże Wisły oraz ich potencjalna rola w rozkładzie materii organicznej*, Rozprawa doktorska, PAN Centrum Badań Ekologicznych w Dziekanowie Leśnym.
- Pusch M., Schwoerbel J., 1994, *Community respiration in hyporheic sediments of a mountain stream (Steina, Black Forest)*, Arch. Hydrobiol. 130, 35–52.
- Push M., 1996, *The metabolism of organic matter in the hyporheic zone of mountain stream, and its spatial distribution*, Hydrobiologia, 323, 107–118.
- Richey J.E., Devol A.H., Wofsy S.C., Victoria R., Riberiob M.N.G., 1988, *Biogenic gases and the oxidation and reduction of carbon in Amazon River and floodplain waters*, Limnol. Oceanogr. 33, 551–561.

- Simicic T., Mori N., 2007, *Intensity of mineralization in the hyporeic zone of the prealpine river Baca (West Slovenia)*, *Hydrobiologia*, 586, 221–234.
- Smith K.L.Jr., 1978, *Benthic community respiration in the N.W. Atlantic Ocean: in situ measurements from 40 to 5200 m*, *Mar. Biol.* 47, 337–347.
- Teal J.M., Kanwisher J., 1961, *Gas exchange in Georgia salt marsh*, *Limnol. Oceanogr.* 6, 388–399.
- Urban-Malinga B., Opaliński K.W., 1999, *Vertical zonation of the total, biotic and abiotic oxygen consumption on a Baltic sandy beach*, *Oceanological Studies*, 38, 85–96.
- Urban-Malinga B., Opaliński K.W., 2002, *Seasonal changes of interstitial community respiration in a Baltic sandy beach*, *Oceanological Studies*, 31, 57–70.
- Uzarski D.G., Stricker C.A., Burton T.M., King D.K., Steinman A.D., 2004, *The importance of hyporheic sediment respiration in several mid-order Michigan rivers: comparison between methods in estimation of lotic metabolism*, *Hydrobiologia*, 518, 47–57
- Węsławski J. M., Andrulowicz E., Kotwicki L., Kuzebski E., Lewandowski A. et al., 2006, *Basis for a valuation of the Polish Exclusive Economic Zone of the Baltic Sea: rationale and quest for tools*, *Oceanologia*, 48, 145–16.
- Wiszniewski J. 1934, *Recherches ecologiques sur le psammon. et spécialement sur les rotifers psammoniques*, *Arch. Hydrobiol. Ryb.* 8, 149–272.

Witryny internetowe

- (Web-01) Myśliński A., 2011, *Instrukcja ćwiczeń*, UW Wydział Chemii, www.chem.uw.edu.pl/people/Mysliński/cw13/in13/htm.