

POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA
WYDZIAŁ BUDOWNICTWA
I INŻYNIERII ŚRODOWISKA



POLSKIE ZRZESZENIE INŻYNIERÓW
I TECHNIKÓW SANITARNYCH



MONOGRAFIE

„INŻYNIERIA ŚRODOWISKA – MŁODYM OKIEM”

TOM 10

**Iwona Skoczko
Janina Piekutin
Łukasz Malinowski**



Białystok 2014

INŻYNIERIA ŚRODOWISKA – MŁODYM OKIEM
TOM 10

pod redakcją
Iwony Skoczko
Janiny Piekutin
Łukasza Malinowskiego

TOM 10

POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA
WYDZIAŁ BUDOWNICTWA
I INŻYNIERII ŚRODOWISKA



POLSKIE ZRZESZENIE INŻYNIERÓW
I TECHNIKÓW SANITARNYCH



MONOGRAFIE

TOM 10

Serdecznie dziękujemy naszym patronatom za pomoc
w organizacji uroczystości
i wydaniu niniejszej publikacji.

**POLITECHNIKA
BIAŁOSTOCKA
WYDZIAŁ BUDOWNICTWA
I INŻYNIERII
ŚRODOWISKA**



**Pod patronatem Rektora Politechniki Białostockiej
prof. dr hab. inż. Lecha Dzieńsa**

Patronat medialny:



Redaktor tomu:

Iwona Skoczko
Janina Piekutin
Łukasz Malinowski

Zespół redakcyjny:

Iwona Skoczko – Redaktor Naczelny
Janina Piekutin – Redaktor Naczelny
Łukasz Malinowski – Skład monografii

Recenzenci monografii:

dr hab. inż. Jacek Piekarski, prof. PK
dr inż. Elżbieta Grygorczuk-Petersons

Zespół naukowy:

dr hab. inż. Iwona Skoczko – Politechnika Białostocka
dr n. tech. Janina Piekutin – Politechnika Białostocka
dr hab. inż. Jacek Piekarski, prof. PK - Politechnika Koszalińska
dr hab. inż. Mariusz Dudziak – Politechnika Śląska
prof. nzw. dr hab. Bożena Łozowicka – Instytut Ochrony Roślin
prof. dr hab. inż. Józefa Wiater – Politechnika Białostocka
prof. dr hab. inż. Rafał Miłaszewski – Politechnika Białostocka
dr hab. inż. Katarzyna Ignatowicz – Politechnika Białostocka
dr hab. inż. Mirosław Żukowski, prof. PB - Politechnika Białostocka
prof. Aleksey Ternovtsev – Kijowski Narodowy Uniwersytet Budownictwa i Architektury
prof. Dmitry Spitsov – Moskiewski Państwowy Uniwersytet Budownictwa
dr n. tech. Joanna Szczykowska – Politechnika Białostocka
dr inż. Anna Siemieniuk – Politechnika Białostocka
dr inż. Elżbieta Grygorczuk – Petersons – Politechnika Białostocka
dr inż. Dariusz Andraka – Politechnika Białostocka
dr inż. Katarzyna Gładyszewska – Fiedoruk – Politechnika Białostocka

Wszystkie zamieszczone w monografii prace są recenzowane

Copyright by Politechnika Białostocka, Białystok 2014

ISBN – 978-83-62582-56-3

Publikacja nie może być w jakikolwiek sposób powielana i rozpowszechniana bez pisemnej zgody posiadacza praw autorskich

Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej

Nakład: 100 egz.

Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej
Ul. Wiejska 45C, 15-351 Białystok
Tel.: 85 746 91 37 fax: 85 746 90 12
e-mail: oficyna.wydawnicza@pb.edu.pl
www.pb.edu.pl

SPIS TREŚCI

Problemy z zagospodarowaniem osadów ścieków komunalnych.....	7
Małgorzata Sosnowska, Angelika Nashbat	
Zmiana ilości nielegalnych składowisk odpadów po 1 lipca 2013 roku na terytorium powiatu płońskiego	21
inż. Adam Zmysłowski, prof. dr hab. inż. Stanisław Biedugnis	
Biogaz rolniczy- przemysłany wybór	32
Magdalena Drobiszevska, Łukasz Malinowski, Robert Mokrycki, Łukasz Ołdziej	
Negatywne aspekty współspalania biomasy	42
Marlena Tatarek	
Określenie efektywności procesu flotacji do oczyszczania ścieków mleczarskich na przykładzie oczyszczalni S.M. Bielmek.....	51
inż. Radosław Żyłka, inż. Galina Vasilyeva	
Oczyszczalnie hydrobotaniczne w klimacie umiarkowanym	64
mgr inż. Ewa Szymura, dr inż. Katarzyna Moraczewska-Majkut, mgr inż. Szymon Salwiczek, dr inż. Witold Nocoń	
Analiza systemu wentylacji i klimatyzacji (VAV I CAV) na przykładzie projektowym budynku biurowego.....	82
Kinga Kurowska	
Designerskie rozwiązania klimatyzacyjne i wentylacyjne w domach jednorodzinnych	97
Magdalena Horysz	
Porosty nadrzewne jako wskaźniki zanieczyszczenia powietrza w masywie góry kamienna laworta koło ustrzyk dolnych	110
Natalia Niżnik	
Transport w dobie zrównoważonego rozwoju - studium metod ograniczających negatywny wpływ na środowisko	119
Martyna Rysińska	

Małgorzata Sosnowska¹

Angelika Nashbat

Uniwersytet Warmińsko- Mazurski w Olsztynie,

Studenckie Koło Naukowe Chemii Środowiska,

Katedra Chemii Środowiska,

10-718 Olsztyn , ul. Plac Łódzki 4

e-mail: ¹m_sosnowska_14@wp.pl

Problemy z zagospodarowaniem osadów ścieków komunalnych

Słowa klucze: *komunalne osady ściekowe, sposoby i problemy zagospodarowania osadów ściekowych.*

Streszczenie: W pracy niniejszej przedstawiono przegląd danych literaturowych głównych problemów związanych z zagospodarowaniem osadów ścieków komunalnych. Przedstawiono zagrożenia jakie niesie niewłaściwe wykorzystanie osadów ściekowych powiązane z nieprzewidywalnym i różnorodnym składem chemicznym. Wytyczono dotychczasowe błędy w gospodarowaniu ściekowymi osadami. W publikacji znajduje się przegląd metod unieszkodliwiania osadów ścieków komunalnych wraz z aspektami przemawiającymi za i przeciw wykorzystywaniu wymienianych metod.

1. Wstęp

Powstające w procesie oczyszczania ścieków osady to problem, na który zaczęto bardziej zwracać uwagę. Z biegiem lat, zaczęto głośno mówić o problemie zalegających osadów ściekowych na lagunach. Brak rozwiązań i metod na racjonalne postępowanie tym odpadem, narastająca liczba połączeń gospodarstw domowych do sieci kanalizacyjnej spowodowały narastanie problemu.

Europejski Komitet Normalizacyjny (CEN) zdefiniował osady ściekowe, jako „mieszalinę wody i ciał stałych oddzielonych z różnych typów wody w rezultacie procesów naturalnych lub sztucznych”.

Osady ściekowe stanowią niewielki procent odpadów w całej gospodarce komunalnej. Niestety zawierają uciążliwe dla środowiska naturalnego patogeny i związki chemiczne, w tym metale ciężkie. Często wielokrotnie przekraczają dopuszczalne zawartości w glebie i wodzie. Do tej pory osady ściekowe składowano między innymi na lagunach osadowych lub na składowiskach, wysypiskach odpadów. Wraz z dniem 1 stycznia 2013 roku przepisy krajowe uniemożliwiły kontynuację tych powszechnych działań. Unia Europejska zaczęła

wymuszać działania związane z poszukiwaniem i realizacją rozwiązań mających na celu uregulowanie gospodarki osadów ściekowych. W szczególności mówi o tym Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (Ramowa Dyrektywa Wodna). Polska przystępując do wspólnoty zobowiązała się do stopniowej realizacji działań założonych w wyżej wymienionej dyrektywie.

2. Przegląd piśmiennictwa

2.1. Właściwości wykorzystanie, zagrożenia i perspektywy stosowania osadów ściekowych

W skład ścieków komunalnych wchodzi ścieki bytowo-gospodarcze i przemysłowe oraz wody opadowe. Zmieszanie ścieków przemysłowych z bytowo-gospodarczymi stanowi główną przyczynę uniemożliwiającą powszechne stosowanie osadów ściekowych do celów przyrodniczych. Dzięki takim działaniom mamy uwodniony i rozcieńczony odpad z dużym ładunkiem związków niebezpiecznych metali ciężkich i związków toksycznych pochodzących głównie z produkcji przemysłowej. Ścieki po oczyszczeniu w procesach: fizycznych, fizyko-chemicznych i biologicznych są źródłem osadów ściekowych, które zawierają znaczne ilości składników nawozowych. (tab. 1)

Tabela 1. Zawartość wybranych składników w osadach ściekowych wg. różnych źródeł

Składniki	Jednostka	Wg. Wasik	Wg. Beranackiej i Pawłowskiej (Szwajcaria)	Wg. Maćkowskiej	Wg. EPA
Substancje organiczne	% s.m	-	43	54,65	b.d.
Wegiel org	% s.m	b.d	b.d	b.d	26,8
Azot	% s.m	2,0-3,5	3,7	4,2	4,2
Fosfor	% s.m	ok. 3,0	5,2 (P ₂ O ₅)	2,7	3,0
Potas	% s.m	-	0,3 (K ₂ O)	0,28	0,3
Wapń	% s.m	2,0-4,0	6,7	4,22	4,9

Magnez	% s.m.	-	0,6	0,54	0,48
Sód	% s.m.	-	-	0,14	0,73
Krzemionka	% s.m.	b.d.	b.d.	27,53	b.d.
Popiół całkowity	% s.m.	b.d.	b.d.	46,28	b.d.
Substancje stałe rozpuszczalne	% s.m.	b.d.	b.d.	18,89	b.d.
Ołów	mg/kg s.m.	100-500	232	134	540
Kadm	mg/kg s.m.	1-20	4,0	8	16
Cynk	mg/kg s.m.	2500-4000	1378	1504	1890
Miedź	mg/kg s.m.	200-500	388	200	1000
Nikiel	mg/kg s.m.	100-300	43	43	85
Chrom	mg/kg s.m.	250-750	129	145	12350
Mangan	mg/kg s.m.	b.d.	b.d.	376	280

Źródło: January B. Bień, Katarzyna Wystalska „Osady ściekowe teoria i praktyka” Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2011.

Jednocześnie osady posiadają duży ładunek drobnoustrojów chorobotwórczych, form przetrwalnikowych pasożytów i drobnoustrojów (tab.2), związków toksycznych oraz metali ciężkich (tab.1). Metale ciężkie odznaczają się właściwościami akumulacyjnymi w tkankach roślinnych oraz w glebie.

Tabela 2. Wybrane organizmy patogenne występujące w osadach ściekowych i wywołane przez nie jednostki chorobowe wg Rosik-Dulewskiej 2010

Organizmy patogenne	Nazwa jednostki chorobowej
Bakterie	
Escherichia coli	Zapalenie jelit
Salmonella thypi	Dur brzuszny
Shigella dysenteriae	Biegunka
Vibrio cholerae	Cholera
Wirusy	
Poliovirus	Zapalenie opon mózgowych
Hepadnavirus	Zapalenie wątroby
Calcivirus	Wymioty, biegunka
Pierwotniaki	

Giardia lamblia	Lamblioza
Nicienie	
Toxocara	Glistnica psia lub kocia
Entrobilus vermicularis	Owsica
Tasiemce	
Echinococcus granulosus	Bąblowica
Taeniarhynchus saginatus	Tasiemczyca

Źródło: January B. Bień, Katarzyna Wystalska „Osady ściekowe teoria i praktyka” Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2011.

Ścieki komunalne są nośnikiem składników pokarmowych dla roślin a także substancji niepożądanych. W wyniku tego nie mogą być stosowane rolniczo, jako pełnowartościowy nawóz organiczno-mineralny pod rośliny konsumpcyjne. Dodatkowo ważnym jest fakt, że odpady komunalne są źródłem 3,5-16 krotnie większym azotu, 5-46 krotnie większym źródłem fosforu w porównaniu do obornika bydlęcego. (tab.3)

Tabela 3. Wartości nawozowe osadów komunalnych

Rodzaj nawozu	N [%]	P ₂ O ₅ [%]	K ₂ O [%]
Osad komunalny z oczyszczalni amerykańskiej	2-5,6	1,2-7	0,18-0,56
Osad komunalny z oczyszczalni krajowej	1,4-7,6	1,9-9,2	0,08-0,42
Obornik bydlęcy	0,45	0,2	0,5

Źródło: January B. Bień, Katarzyna Wystalska „Osady ściekowe teoria i praktyka” Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2011.

Osady ściekowe to także źródło organicznych substancji toksycznych tj.:

- wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne – WWA,
- adsorbowalne organicznie związane chlorowce – AOX,
- polichlorowane bifenyle - PCB,
- polichlorowanedibenzofurany – PCDF,
- polichlorowanedibenzodiodoksyny – PCDD

Stosowanie osadów ściekowych na glebach jest równoznaczne z przeznaczeniem gruntów na produkcję poza konsumpcyjną (zarówno dla ludzi jak i dla zwierząt). Słusznym działaniem jest stosowanie komunalnych osadów ściekowych na glebach zdegradowanych, gruntach bezglebowych. W wyniku rekultywacji dzięki osadom ściekowym zaczyna tworzyć się warstwa gleby. Rośliny zyskują warunki do wzrostu. Wykorzystane są właściwości nawozowe, ale także nawadniające. Jakość osadów ściekowych pod względem metali ciężkich reguluje: Rozporządzenie Ministra Środowiska z 1 sierpnia 2002 roku. Wartości dopuszczalne tych metali są przedstawione w tabeli 4.

Tabela 4. Dopuszczalna ilość metali ciężkich, w Mg/kg s.m., zawartych w osadzie ścieków komunalnych

Lp.	Metale	Ilość metali ciężkich w mg/kg suchej masy osadu nie większa niż: przy stosowaniu komunalnych osadów ściekowych:		
		W rolnictwie oraz do rekultywacji gruntów na cele rolne:	Do rekultywacji terenów na cele inne niż rolne:	Pozostałe cele:
1	Ołów (Pb)	750	1000	150
2	Kadm (Cd)	20	25	50
3	Rtęć (Hg)	16	20	25
4	Nikiel (Ni)	300	400	500
5	Cynk (Zn)	2500	3500	5000
6	Miedź (Cu)	1000	1.200	2.000
7	Chrom (Cr)	500	1000	2500

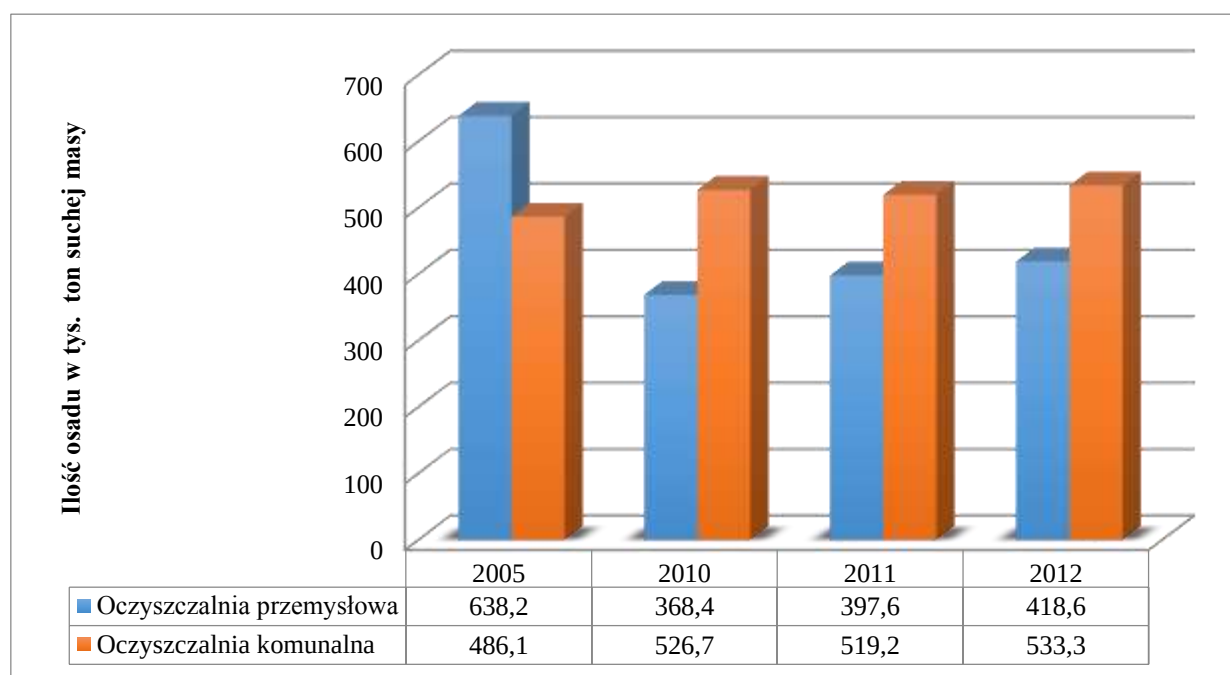
Źródło: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2011 roku w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz. U. Nr 137. poz. 924).

2.2. Błędy w obecnej gospodarce osadami ściekowymi ograniczające ich przydatność.

Przestarzała sieć kanalizacyjna, złe gospodarowanie przestrzenią mieszanie ścieków bytowo gospodarczych z przemysłowymi oraz wodą deszczową to czynniki, które przyczyniają się do utrudnionego gospodarowania osadami ściekowymi. Głównym błędem jest mieszanie ścieków ze sobą.

Obecnie w miastach istnieje przestarzała technologia odbioru ścieków. Ścieki przemysłowe są głównym źródłem metali ciężkich, toksyn i dioksyn i innych chemicznych

związków. Trafiając do ścieków bytowo gospodarczych zostają rozcieńczone ścieki pochodzenia przemysłowego. Równocześnie potencjalne osady ściekowe bytowo-gospodarcze nie mogą być już wykorzystane np. przyrodniczo. Zamiast zwiększać ilości przydatnych osadów ściekowych, które bez problemu można było by wykorzystać np. jako nawóz, produkujemy osady w dużej ilości w mniejszym rozcieńczeniu niż osady przemysłowe. Równocześnie nie można ich wykorzystać przyrodniczo. W warunkach Polskich uzyskiwane ilości osadów ściekowych to olbrzymi problem potwierdzającą to dane na rys .1.



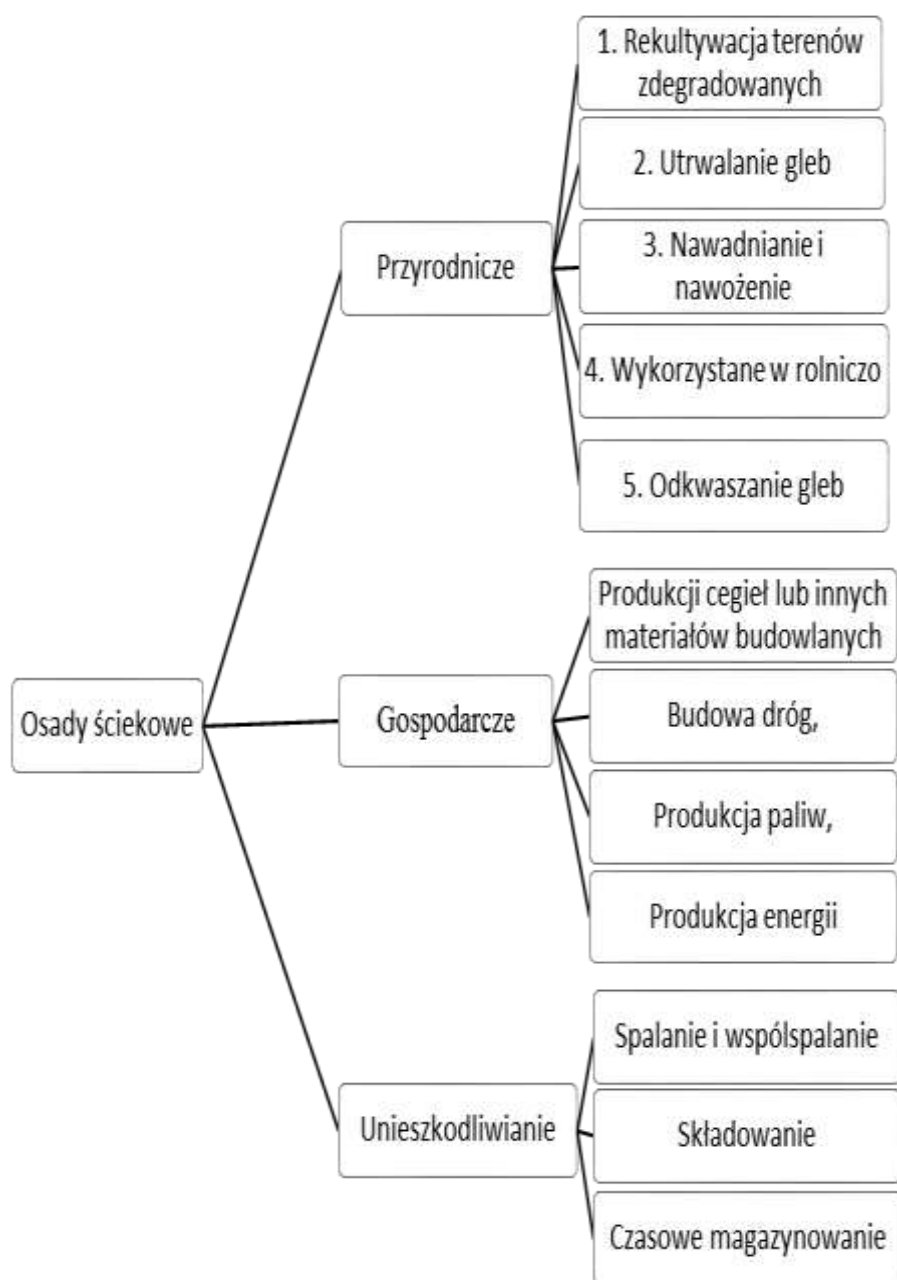
Rysunek 1. Ilość osadów ściekowych wytworzonych w oczyszczalniach przemysłowych i komunalnych

Źródło: GUS Rocznik Statystyczny 2013r.

Na podstawie danych przedstawionych na rysunku 1 można założyć, że przy właściwej gospodarce osadami ściekowymi w roku 2012 ok. 533,3 tys. ton osadów ściekowych można było by wykorzystać do celów przyrodniczych.

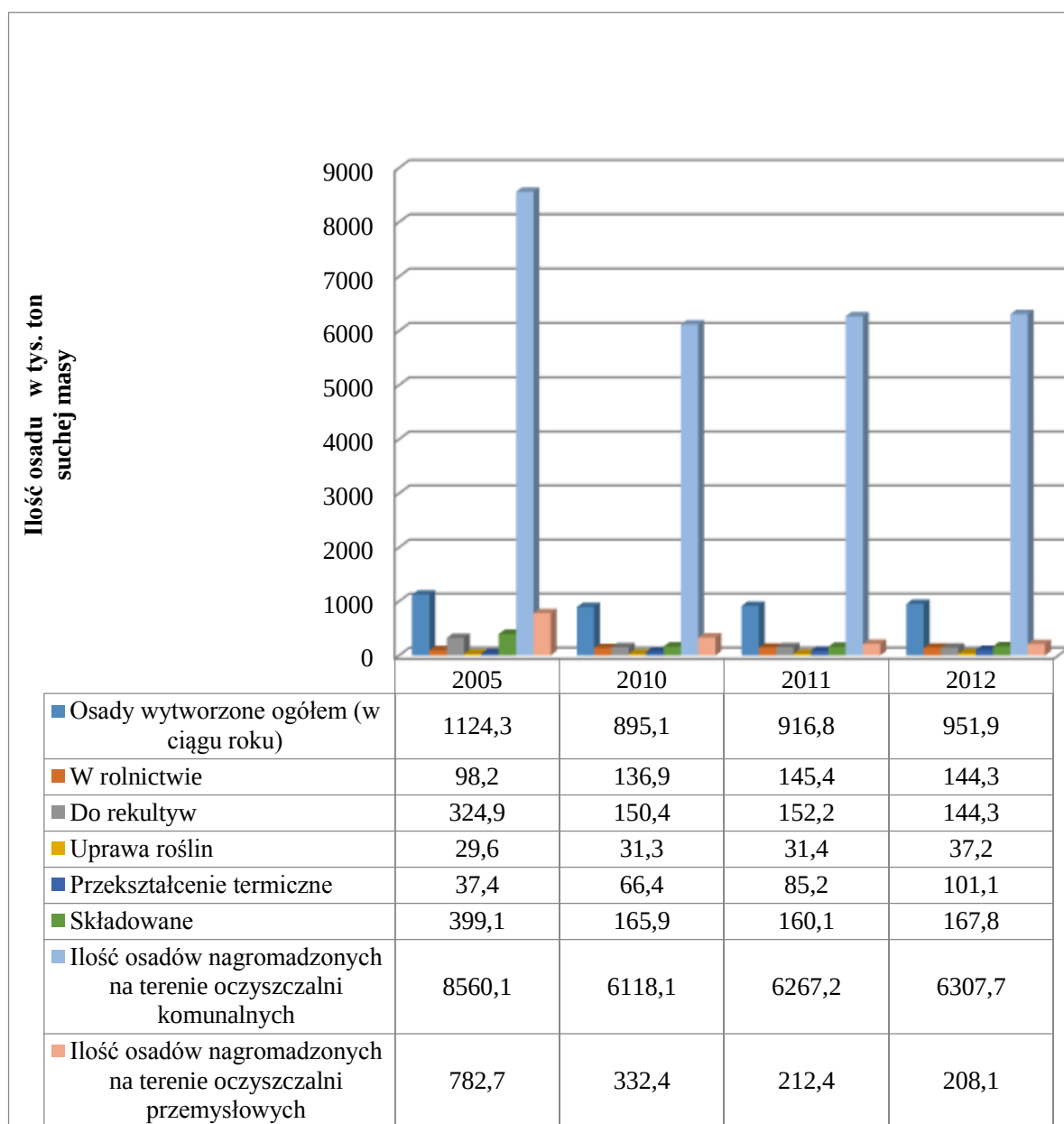
2.3. Metody unieszkodliwiania osadów ściekowych.

Jest wiele metod unieszkodliwiania osadów ściekowych. Kierunki ich wykorzystania przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 2. Kierunki wykorzystania komunalnych osadów ściekowych

Źródło: Opracowanie własne Małgorzata Sosnowska 2014



Rysunek 3. Osady z przemysłowych i komunalnych oczyszczalni ścieków

Źródło: GUS rocznik statystyczny 2013r.

Obecnie coraz powszechniejsze staje się unieszkodliwianie osadów poprzez spalanie. Metoda ta jest ekonomicznie najdroższą i energochłonną. Podczas spalania uzyskujemy popioły, które zawierają metale ciężkie i tym samym rodzą się problemy z ich zagospodarowaniem. Mieszanie ścieków przemysłowych z bytowymi zwiększa ilość obecnych tam metali ciężkich zarówno w osadach ściekowych, jak i w produktach ubocznych procesów termicznych- w tym przypadku popiołów. Gospodarcze zastosowanie komunalnych

osadów ściekowych może być bardzo dobrym rozwiązaniem. Produkcja biogazu z osadów ściekowych jest uzasadnione ekonomicznie, uniezależnienie się energetyczne od dostawców energii lub ciepła oraz dodatkową produkcją nawozów mineralno-organicznych. Takie rozwiązania będą wtedy możliwe, gdy osady nie będą miały wysokich zawartości metali także ciężkich. To uczynić można jedynie przez oddzielenie ścieków przemysłowych i komunalnych.

Rozwiązanie to wymaga stworzenia nowoczesnego, rozdzielczego systemu kanalizacji. Takie rozwiązanie zmieniło by znacząco, jakość osadów ściekowych. Powiększyłoby to wachlarz możliwości w przyrodniczym, gospodarczym stosowaniu osadów ze ścieków komunalnych.

Innym sposobem było by budowanie „mini” oczyszczalni ścieków przy każdym dużym zakładzie wytwarzającym specyficzne ścieki. Rozwiązanie to, pomimo dużych kosztów ponoszonych przez przedsiębiorców i właścicieli zakładów produkcyjnych, przyczyniłoby się do lepszej ochrony środowiska naturalnego i zwiększenia ilości zakładów z nowymi stanowiskami pracy.

Rośnie grono zwolenników suszenia osadów ścieków komunalnych. Jest to metoda kapitałochłonna oraz energiochłonna, jednak może przynieść duże możliwości wykorzystania nie tylko przyrodniczego.

Do tej pory osady ściekowe wykorzystuje się: przyrodniczo, gospodarczo lub unieszkodliwia. Żadne z tych sposobów nie jest idealny. Ciężko jest pogodzić aspekty ekonomiczne z dobrem ekologicznym.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2011 roku w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz. U. Nr 137. poz. 924) określa, że osady ściekowe mogą być wyłącznie stosowane, jeżeli spełniają normy zawartości określonych substancji i nie stwarzają zagrożenia sanitarnego. W tym celu są poddawane procesom: obróbki biologicznej, chemicznej, termicznej. Problem zagospodarowania wzrastających ilości osadów ściekowych jest istotnym problemem środowiskowym naszego kraju. Osady ściekowe będą wytwarzane ciągle i należy znaleźć najlepsze rozwiązania ich zagospodarowania.

Zakaz składowania osadów ściekowych, który obowiązuje od 1 stycznia 2013 roku zmusza użytkowników oczyszczalni do opracowania racjonalnego systemu zagospodarowania osadów. Dodatkowo zaostrzające się przepisy, zarówno unijne jak i krajowe dotyczące

postępowania z odpadami komunalnymi, zmuszają do rozważań nad metodami unieszkodliwiania osadów ściekowych.

2.4. Emisja zanieczyszczeń w wyniku przetwarzania osadów ściekowych oraz możliwości ich unieszkodliwiania.

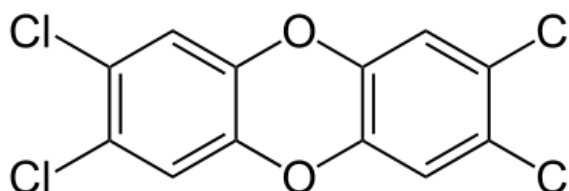
Spośród wielu rozwiązań utylizacji osadów ściekowych osadów ściekowych coraz częściej jest proponowane spalanie bądź współspalanie osadów ściekowych. Jest to sensowne rozwiązanie. Dzięki takiemu działaniu zmniejszamy masę i objętość odpadów. Dodatkowo osady ściekowe odznaczają się wartością opałową podobną do drewna (średnio 18MJ) czy słabej jakości węgla brunatnego i kamiennego. Wartość opałowa komunalnych osadów ściekowych została przedstawiona w tabeli 5. (tab.5)

Tabela 5. Zawartość suchej masy i wartość opałowa osadów ściekowych

Parametry	Jednostka	Rodzaj osadu					
		Surowy z mechanicznego oczyszczania	Surowy biologiczny	Przefermentowany			
				źle	średnio	dobrze	bardzo dobrze
Sucha masa	% masy	5-10	4-8	4-12	4-12	4-12	4-12
Wartość opałowa	MJ/kg s.m.	16-20	15-21	15-16	12,5-16	10,5-15	6,3-10,5

Źródło: January B. Bień, Katarzyna Wystalska „Osady ściekowe teoria i praktyka” Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2011.

Należy zaznaczyć, że do spalania osadów ściekowych trzeba odpowiednio przygotować. Poza procesami oczyszczania wymagane są także procesy stabilizacji, odwodnienia, suszenia. Dopiero pozbycie się nadmiaru wody pozwala na spalanie czy współspalanie. Dodatkowe ilości procesów obróbki podnoszą koszty. Wadą tego procesu jest emisja zanieczyszczeń. Emisja produktów ubocznych ogranicza masowe stosowanie termicznych metod unieszkodliwiania.

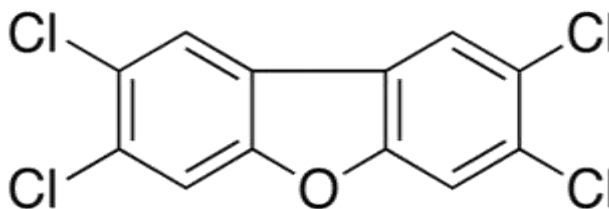


Rysunek 4. 2,3,7,8-tetrachloro-dibenzo-p-dioksyna

Ilość produktów ubocznych uzależniona jest od zastosowanej metody, składu komunalnych osadów ściekowych oraz systemu i sprawności oczyszczania spalin. Nie bez znaczenia jest monitoring składu i jakości produktów ubocznych pochodzących z technologii. Produkty uboczne powstające w wyniku procesów termicznych unieszkodliwiania osadów ściekowych można podzielić na dwa rodzaje

- zanieczyszczenia gazowe, tj gazy spalinowe,
- zanieczyszczenia stałe, tj żużel, popiół, pozostałości oczyszczania spalin.

Głównym problemem w zanieczyszczeniach gazowych są dioksyny. Szczególnie niebezpieczne są 2,3,7,8-tetrachloro-dibenzo-*p*-dioksyna (rys.4) oraz 2,3,7,8- tetrachloro-dibenzofuran (rys. 5). Dioksyny powstają w temperaturze powyżej 200°C oraz, gdy w spalana zostaje materia organiczna wraz z tlenem i chlorem.. Dioksyny wcale nie są tak trwałymi związkami jak by się zdawało.



Rysunek 5. 2,3,7,8- tetrachloro-dibenzofuran

W temperaturze 700° C związki te ulegają rozkładowi. Dlatego zalecane jest wysokotemperaturowe (powyżej 1100° C) unieszkodliwianie osadów ściekowych. Dodatkowo w procesie spalania powstają związki NO_x a w szczególności NO₂ -95% całkowitej emisji związków azotu. Warunki spalania osadów ściekowych reguluje dyrektywa 2000/76/EC. Dodatkowo stosowane jest prowadzone oczyszczanie gazów odlotowych . Jest to zabieg dość kosztowny. Stanowi on 30-35% kosztów przedsięwzięcia. Do tego celu stosuje się mokre i suche systemy oczyszczania spalin.

Do zanieczyszczeń stałych powstających w procesie spalania osadów ściekowych zaliczyć można popiół i pozostałości po spalaniu. W masie tych odpadów mogą znajdować się toksyny i metale ciężkie (gdy osady ściekowe powstają ze ścieków przemysłowych). Obecnie stosuje się następujące strategie postępowania z popiołami:

- Depowanie na specjalnych składowiskach,
- Zestawianie i stabilizacja za pomocą mas ceramicznych i cementu,

- Zagospodarowanie jako materiał do produkcji cegieł i betonu.

Popioły w najgorszym przypadku stanowią 40-50% suchej masy. Obecnie istnieje technologia Glass Pack. W tej metodzie osady ściekowe zostają unieszkodliwione a popioły zagospodarowane przez proces zeszklwienia.

2.5. Perspektywy i kierunki dalszego wykorzystania osadów ściekowych „młodym okiem”

Osady ściekowe były, są i będą wytwarzane. Niewątpliwie stanęliśmy przed wyborem sposobu postępowania z osadami ściekowymi. Na taki stan rzeczy wpływ miały wieloletnie zaniechania modernizacji oczyszczalni ścieków oraz sieci kanalizacyjnej. Także małe nakłady na badania technologiczne oraz analizy osadów ściekowych zbierają teraz swoje plony. Zaostrzające się przepisy krajowe, unijne zmuszają nas do działania w tej sferze. Wybór technologii nie jest łatwy. Jak już wymienione zmieszanie ścieków przemysłowych, bytowo-gospodarczych i często wód opadowych pogarszają przydatność osadów ściekowych do przyrodniczego wykorzystania.

Musimy się zastanowić czy stać nas, jako kraj na marnowanie takiego zasobu nawozowego, jakim mogły by być osady ściekowe ze ścieków bytowo-gospodarczych. Procesy spalania osadów ściekowych są kierunkiem, który godny jest uwagi. Pozbywamy się objętościowo dużej ilości osadów w szybkim czasie. Równocześnie stosując niewłaściwe technologie i złe warunki spalań lub współspalania możemy poważnie zaszkodzić środowisku. Termiczne unieszkodliwianie osadów ściekowych może być jedynie zasadne, gdy są wykorzystywane najnowocześniejsze technologie, kompleksowy monitoring składu produktów ubocznych oraz całościowe procesy unieszkodliwiania. Znając pochodzenie ścieku można dobrać metodę ich unieszkodliwiania lub podczyszczania. Takie rozwiązanie dobrze się sprawdza np. w firmie CEDROB Sp.z.o.o. z Ciechanowa. To dobry przykład dla innych zakładów przemysłowych.

Dostrzeżenie problemów zagospodarowania osadów ścieków komunalnych, to klucz do rozwiązania tych problemów. Także debaty nad stanem polskiej gospodarki komunalnymi osadami ściekowymi oraz rozważania nad poprawą takiego stanu rzeczy.

3. Podsumowanie

1. W procesie oczyszczania ścieków uzyskujemy osady ściekowe średnio w ilości 0,247 kg s.m./m³ które są trudne do utylizacji. [wg KPOŚK.].
2. Zakaz deponowania osadów na składowisko od 1 stycznia 2013 roku spowodował intensyfikowane poszukiwanie nowych rozwiązań zagospodarowania osadów ściekowych.
3. Nawożenie osadów ściekowych powoduje wyłączenie gleby z produkcji pod rośliny konsumpcyjne
4. Rozwiązaniem minimalizującym ilość związków toksycznych i metali w ściekowych osadach jest budowanie kanalizacji rozdzielczych tj ścieki komunalne oddzielić od przemysłowych.
5. Innym sposobem było by budowanie „mini” oczyszczalni ścieków przy każdym dużym zakładzie wytwarzającym specyficzne ścieki. Takie rozwiązanie miało by pozytywny wpływ na środowisko, gospodarkę krajową, powstawanie nowych zakładów i miejsc pracy.
6. W utylizacji osadów ściekowych coraz częściej wykorzystuje się procesy spalania. Są one energochłonne ze względu na wysokie nawodnienie osadów ściekowych i równocześnie kosztocłonne. Zaletą jest zmniejszyć objętość osadów i neutralizacja związków szkodliwych a wadą powstające popioły uciążliwe dla środowiska naturalnego.

Literatura:

1. Anielak A. M., *Chemiczne i fizykochemiczne oczyszczanie ścieków*.Wyd. Naukowe PWN Warszawa 2000.
2. Bień J., *Osady ściekowe teoria i praktyka*, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2002.
3. Bień J., *Przekształcaie osadów ściekowych w procesach termicznych*, Wyd. Siedel-Przywecki.Warszawa 2009.
4. Bień J.B., Wystalska K. *Osady ściekowe teoria i praktyka”* Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2011.

5. Biliewski B., Hardtle G., Marek K. *Podręcznik gospodarki odpadami teoria i praktyka*, wyd. Siedel- Przywecki, Warszawa 2009.
6. Foess G.W., Sieger R.B., , *Pathogen/vector attraction reduction requirements of the sludge rules*, Water Engineering and Management . 1993.
7. Kowal A. L., Świdarska-Bróż M.: *Oczyszczanie wody*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2005.
8. Mizera A., *Osady ściekowe osadem (nie)bezpiecznym*, Publikacje Greenworld, http://greenworld.serwus.pl/download/Osady_sciekowe.pdf
9. Harrison E.Z., Hay A., Hysell M., Oakes S.R., *Organic chemicals in sewage sludges*, Science of the Total Environment. 2006.
10. Mijsch K., Sikora J. 2010 *Gospodarka osadami ściekowymi* Biotechnologia ścieków wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2010.
11. Pawlikowska-Szymańska A., *Podstawy gospodarki odpadami* wyd. AR,2003.
12. Podedworna J. Umiejwska K., *Technologia osadów ściekowych* Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004.
13. Rosik – Dulewska., *Podstawy gospodarki odpadami*, PWN, Warszawa 2010.
14. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2011 roku w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz. U. Nr 137. poz. 924).
15. Szabowska E., *Projektowanie procesów odwadniania osadów ściekowych*. Skrypt Politechniki Śląskiej, nr 1845, Gliwice 1994.
16. Sadecka Z., Myszograj S., Suchowska-Kisielewicz M., „*Aspekty prawne przyrodniczego wykorzystania osadów ściekowych*” Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego - Inżynieria Środowiska, Nr 144 (14), 2011
17. Sadecka Z., Myszograj S., Suchowska-Kisielewicz M., „*Aspekty prawne i technologiczne współpalania osadów ściekowych*” Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego - Inżynieria Środowiska, Nr 150 (30), 2013

inż. Adam Zmysłowski¹

prof. dr hab. inż. Stanisław Biedugnis

Wydział Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej, Zakład Zaopatrzenia w Wodę i

Odprowadzania Ścieków

ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa

e-mail: ¹azmyslowski@onet.eu

Zmiana ilości nielegalnych składowisk odpadów po 1 lipca 2013 roku na terytorium powiatu płońskiego

Słowa kluczowe: odpady, nielegalne składowiska, dzikie wysypiska, ustawa, Płońsk

Streszczenie: Niniejsza praca badawcza dotyczy zmian ilości oraz charakterystyk nielegalnych składowisk odpadów po 1 lipca 2013 roku na terytorium powiatu płońskiego oraz Nadleśnictwa Płońsk.

1 lipca 2013 w pełni zaczęła obowiązywać ustawa z dnia 1 lipca 2011 roku o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. 2011 nr 152 poz.897). Zgodnie z ustawą gminy w pełni odpowiadają za odpady znajdujące się na ich terytorium, są odpowiedzialne za ich zagospodarowanie.[1]

Na nielegalnych składowiskach odpadów zlokalizowanych na obszarach leśnych w powiecie płońskim po 1 lipca 2013 roku zaobserwowano zwiększony udział odpadów budowlanych, wielkogabarytowych oraz eternitu. Odpady komunalne znajdowały się w większości składowisk zlokalizowanych na obszarach leśnych. Zmiany po 1 lipca 2013 roku nie wpłynęły na ilość usuwanych odpadów z terenów Nadleśnictwa Płońsk.

Odpady w powiecie płońskim były usuwane również z pasa dróg publicznych. Na drogach krajowych ich rozmieszczenie było w przybliżeniu równomierne na całej długości. Natomiast ilość usuwanych odpadów z pasa dróg powiatowych była zdecydowanie wyższa na odcinkach będących dojazdami do obszarów, na których znajdowały się nieruchomości wykorzystywane rekreacyjnie. W Gminie Joniec, na której obszarze znajdują się liczne nieruchomości wykorzystywane rekreacyjnie ilość odpadów zebranych z rowów przydrożnych wzrosła w drugiej połowie 2013 roku o 107%. Ilość odpadów porzuconych oraz nielegalnych składowisk odpadów, była uzależniona od występowania zabudowy oraz jej rodzaju.

1. Wstęp

Dzień 1 lipca roku 2013 był przełomowy dla gospodarki odpadami na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej, ponieważ w pełni zaczęła obowiązywać ustawa z dnia 1 lipca 2011 roku o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach oraz niektórych innych

ustaw (Dz. U. 2011 nr 152 poz.897). Ustawa wprowadziła istotne zmiany w ustawie z dnia 13 września 1996 roku o utrzymaniu czystości i porządku w gminach (Dz. U. z 2005 r. Nr 236, poz. 2008, z późn. zm.).

Administracja lokalna została zobowiązana do tworzenia jednostek organizacyjnych lub w drodze przetargu wyłonienia podmiotów odpowiedzialnych za odbiór odpadów od mieszkańców i ich zagospodarowanie. Na gminach spoczywa obowiązek nadzoru nad zagospodarowywaniem odpadów komunalnych, wywiązywaniem się z zadań podmiotów zewnętrznych, jak i również przygotowanie aktów prawa miejscowego pozwalających na poprawne wykonanie obowiązków wynikających z ustawy. Zgodnie z ustawą z dnia 1 lipca 2011 roku gminy w pełni odpowiadają za odpady komunalne znajdujące się w ich granicach w tym są zobowiązane do zagospodarowywania ich zgodnie z ustawami oraz dyrektywami Unii Europejskiej. Ustawa zwolniła mieszkańców gmin z obowiązku samodzielnego zagospodarowywania odpadów, nakładając jednocześnie na właścicieli nieruchomości spełnienie wymagań nakładanych przez lokalną administrację.[1] Na mieszkańców nałożona jest opłata za wywóz odpadów. Jej wysokość jest zazwyczaj uzależniona od zadeklarowanej liczby mieszkańców zamieszkującej daną nieruchomość, jak również bywa uzależniona od powierzchni lokalu lub ilości pobieranej wody z sieci wodociągowej.

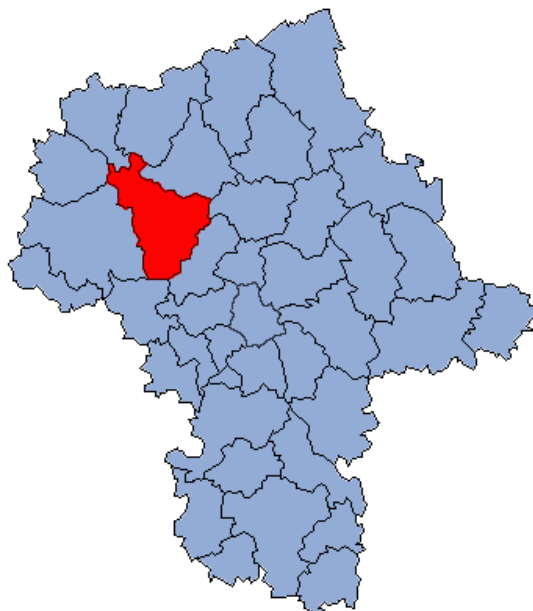
2. Metodyka i zakres badań

Badania dotyczyły zmian ilości nielegalnych składowisk odpadów po 1 lipca 2013 roku na terytorium powiatu płońskiego oraz Nadleśnictwa Płońsk. Badano również charakterystykę nielegalnych składowisk odpadów występujących w poszczególnych lokalizacjach. Badania opierały się na danych pozyskanych z poszczególnych urzędów oraz instytucji. Bardzo istotne dla badań były wywiady z osobami odpowiedzialnymi za usuwanie nielegalnie zgromadzonych odpadów oraz wizje lokalne.

3. Charakterystyka powiatu płońskiego i Nadleśnictwa Płońsk

Powiat płoński jest powiatem województwa mazowieckiego, zlokalizowany w centrum północnego Mazowsza (rys.1). W skład powiatu wchodzi dwa miasta Płońsk i Raciąż oraz dziesięć gmin: Baboszewo, Czerwińsk nad Wisłą, Dzierżążnia, Joniec, Naruszewo, Nowe Miasto, Płońsk, Sochocin, Raciąż, Żałuski. Łączna powierzchnia powiatu

wynosi 1384 km² a liczba mieszkańców ponad 87 tys.[2]. Przez powiat przebiegają drogi DK50, DK10, DK7, S7, dając dogodne połączenia ze stolicą województwa co ma znaczący wpływ na rozwój powiatu.



Rysunek 1. Lokalizacja powiatu płockiego w województwie mazowieckim

Źródło: [3]

Podstawą gospodarki powiatu jest przemysł rolno-spożywczy oraz rolnictwo. Użytki rolne są w zdecydowanej większości własnością rolników indywidualnych.[2] Na terytorium powiatu zwiększa się wykorzystanie gruntów do celów rekreacyjnych, szczególnie dotyczy to gmin położonych bliżej Warszawy. Znaczącą część powiatu zajmują lasy znajdujące się pod nadzorem Nadleśnictwa Płońsk, ich powierzchnia w powiecie płockim wynosi 6200 ha [4], co stanowi 5% powierzchni powiatu z pominięciem gminy Czerwińsk nad Wisłą, podlegającego innemu nadleśnictwu. Użytki leśne w Gminie Czerwińsk nad Wisłą wynoszą 5%. [5] Najbardziej zalesioną gminą w powiecie jest Gmina Nowe Miasto, powierzchnia lasów stanowi 30% powierzchni gminy [6], natomiast użytki leśne w Gminie Joniec wynoszą 19% [7].

Nadleśnictwo Płońsk sprawuje nadzór nad lasami niestanowiącymi własności Skarbu Państwa. Powierzchnia lasów podległych Nadleśnictwu Płońsk wynosi 9061ha, z czego w powiecie płockim zlokalizowane jest 6200 ha (68% nadzorowanych lasów), 1060 ha zlokalizowanych jest w powiecie ciechanowskim (12%) oraz w powiecie nowodworskim 1801 ha (20%).[4] Granice nadleśnictwa są powiązane z granicami leśnictw wchodzących w

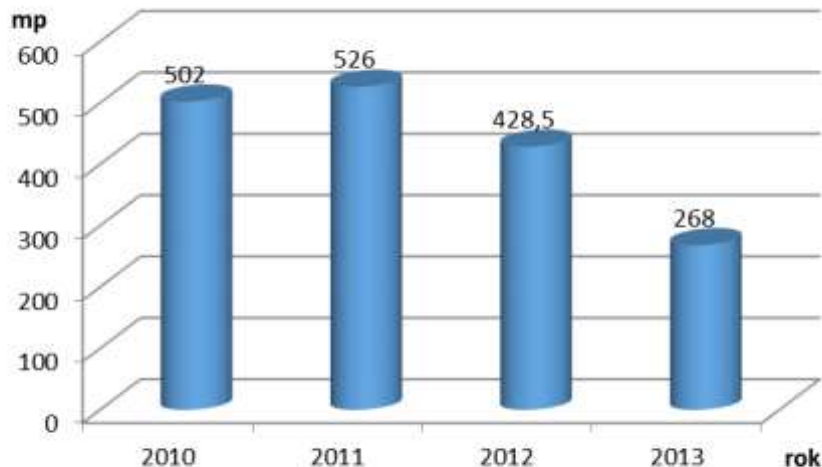
jego skład, które są zlokalizowane na obszarach kilku gmin, nie pokrywając się z obszarem powiatów, dlatego 32% powierzchni lasów nadzorowanych przez Nadleśnictwo Płońsk jest zlokalizowanych w innych powiatach niż płoński, jednocześnie w pełni go nie pokrywając.

4. Dzikie wysypiska w powiecie płońskim

W powiecie płońskim można rozróżnić trzy podstawowe rodzaje miejsc nielegalnego składowania odpadów podlegającym różnym organom administracyjnym, są to: lasy, tereny zarządzane przez gminy, pas dróg publicznych.

4.1. Lasy należące do Nadleśnictwa Płońsk

Lasy ze względu na swój charakter są miejscem, gdzie łatwo mogą być nielegalnie składowane odpady. Ilość usuniętych nielegalnie zgromadzonych odpadów na terenach podległych Nadleśnictwu Płońsk w latach 2010-2013 przedstawia rysunek 2.



Rysunek 2. Ilość usuniętych odpadów z lasów w metrach przestrzennych (mp)

Źródło: [8]

W roku 2010 i 2011 usunięto z lasów przybliżoną ilość odpadów, od roku 2011 ilość uległa zmniejszeniu. Spadek ilości usuniętych odpadów w roku 2013 względem lat poprzednich nie wynikał z powodu wprowadzenia ustawy, lecz był spowodowany

ograniczeniem środków przez nadleśnictwo na ten cel w roku 2013, między innymi rezygnacja z usług firm zewnętrznych. Największą ilość odpadów usunięto w 2011 roku (526 mp) przy czym we własnym zakresie usunięto 226 mp, co jest wartością zbliżoną do ilości odpadów usuniętych w roku 2013. Wynika z tego że ilość odpadów usuniętych z obszarów leśnych nadzorowanych przez nadleśnictwo Płońsk z pominięciem usług firm zewnętrznych utrzymywała się w przybliżeniu na stałym poziomie.

W grudniu 2013 roku w lasach nadleśnictwa składowane nielegalnie były odpady w ilości 73mp w 15 lokalizacjach. W 10 lokalizacjach znajdowały się wyłącznie odpady komunalne, odpady wielkogabarytowe występowały w 2 lokalizacjach w obu przypadkach występowały odpady komunalne w jednym odpady budowlane. Eternit stwierdzono w dwóch miejscach, przy czym tylko w jednym wraz z odpadami komunalnymi. Odpady budowlane występowały w dwóch miejscach, przy czym w jednym wraz z odpadami komunalnymi a w jednym również z odpadami wielkogabarytowymi.

Skład i różnorodność odpadów zgromadzonych w lasach był zależny od wielu czynników społecznych, w przypadku prowadzenia akcji społecznych dotyczących zbiórki danych odpadów, był zauważalny spadek tych odpadów na nielegalnych wysypiskach zlokalizowanych w lasach. Stwierdzono spadek ilości odpadów będących surowcami wtórnymi na przestrzeni ostatnich kilku lat, oraz wzrost zmieszanych i innych odpadów pochodzenia komunalnego.

Po 1 lipca 2013 roku wzrosła znacząco ilość odpadów tworzących nielegalne wysypiska na analizowanych obszarach leśnych zlokalizowanych na obszarze gmin, na których są zlokalizowane tereny wykorzystywane rekreacyjnie. Można stwierdzić, że ustawa wpłynęła na delikatną poprawę na obszarach oddalonych od terenów rekreacyjnych. W lasach zlokalizowanych w pobliżu terenów wykorzystywanych rekreacyjnie pozostawione były głównie odpady komunalne.

4.2. Odpady na terytorium gmin

Na terenie gmin znajdujących się w centralnej części powiatu (Miasto Płońsk, Gmina Płońsk) oraz gminy miejskiej Miasta Raciąż nie odnotowano w ostatnim czasie nielegalnych składowisk odpadów. Za ten stan rzeczy ma znaczący wpływ, między innymi równomierna oraz wysoka gęstość zaludnienia.

W Gminie Raciąż w roku 2010 na prywatnej działce zostało umieszczonych około 40 beczek po substancjach mineralnych, w tym dwie zawierające substancje ropopochodne. Odpady były nieznanego pochodzenia. Po 1 lipca 2013 roku nie odnotowano podobnych przypadków nielegalnych składowisk odpadów.

Znacznym problemem są odpady porzucone na terenach prywatnych, gdzie właściciele nieruchomości samodzielnie zajmują się ich zagospodarowaniem. W Gminie Dzierżążnia są prowadzone działania mające na celu rekultywację terenów zdewastowanych przez składowanie odpadów we wcześniejszym okresie, jak również w tym celu wspomagające właścicieli terenów prywatnych. Znacznym problemem są odpady zaśmiecające gminę porzucane przez osoby przejezdne, niebędące mieszkańcami powyższej gminy.

W Gminie Baboszewo nie odnotowano nielegalnych składowisk odpadów, a nawet zaobserwowano spadek ilości odpadów zbieranych podczas sprzątania obszarów należących do gminy po 1 lipca 2013 roku. Przyczyną redukcji odpadów porzuconych może być fakt zobowiązania właścicieli obiektów rekreacyjnych do współpracy z odpowiednim podmiotem.

W gminach Nowe Miasto i Załuski nie występują nielegalne składowiska odpadów, problem stanowią odpady porzucane w pobliżu terenów na których znajdują się nieruchomości wykorzystywane rekreacyjnie. Gmina Joniec ma ten sam problem, znajdują się na jej terenie liczne nieruchomości wykorzystywane do celów rekreacyjnych. Ilość odpadów zebranych przez służby porządkowe Gminy Joniec z rowów przydrożnych w pierwszej połowie 2013 roku, tj. do 1 lipca 2013r. wyniosła 13,50m³, natomiast już w drugiej połowie 2013 roku, po 1 lipca 2013 r. ilość odpadów zebranych z rowów przydrożnych wzrosła do 28m³, wzrost wyniósł 107%. Należy zauważyć że Urząd Gminy umożliwia pozostawienie odpadów w wyznaczonych punktach osobom niebędącym mieszkańcami gminy. Również zaobserwowano większą ilość odpadów zbieranych z pasa drogowego dróg powiatowych charakteryzujących się większym ruchem pojazdów oraz będących drogami dojazdowymi do terenów wykorzystywanych rekreacyjnie.

Zaobserwowano pozostawianie odpadów w rowach przez osoby podróżującymi pojazdami o tablicach rejestracyjnych innych niż dla zarejestrowanych pojazdów w powiecie płońskim. W przeciwieństwie do dróg lokalnych i powiatowych, przy drogach krajowych występuje względna równomierność w ilości zbieranych odpadów oraz nie zauważono zmian po 1 lipca 2013 roku. Drobne odpady wyrzucane z jadących pojazdów stanowią problem, ponieważ wiatr przenosi je na tereny odległe od dróg, często w pola uprawne, gdzie rzadko

kiedy są zbierane, zanieczyszczają glebę, również mogą stać się zagrożeniem dla zwierząt hodowlanych, jak i dzikich.

W samorządach powiatu płońskiego są prowadzone działania mające na celu utrzymanie czystości, jednak nie jest prowadzona statystyka dotycząca dokładnej ilości zebranych odpadów porzuconych w miejscach do tego nieprzeznaczonych. W niektórych przypadkach jest to niewykonalne ze względu na bardzo małe ilości zbieranych odpadów przez odpowiednie służby jak również bezpośrednie mieszanie powyższych odpadów z odpadami komunalnymi pozyskanymi z innych źródeł. W Gminach Czerwińsk nad Wisłą, Sochocin oraz Naruszewo w ewidencji nie występują nielegalne składowiska odpadów.

4.3. Charakterystyka odpadów z pasa dróg publicznych

Określenie dokładnego składu morfologicznego odpadów zgromadzonych w pasie dróg publicznych na obszarze powiatu płońskiego jest niewykonalne, ponieważ nie była prowadzona ewidencja uwzględniająca ilości poszczególnych frakcji odpadów tam występujących. Czynnikiem utrudniającym ich scharakteryzowanie była również aktywność dzikich zwierząt oraz zwierząt domowych bez nadzoru, które niszczyły worki z odpadami, jednocześnie roznosząc odpady na obszary zlokalizowane w sąsiedztwie. Kolejnym istotnym czynnikiem utrudniającym scharakteryzowanie odpadów były warunki atmosferyczne, między innymi wiatr roznoszący lekkie frakcje odpadów na obszary położone przy drogach oraz deszcze spłukujące odpady.

Stwierdzono zauważalną różnicę między odpadami zgromadzonymi w pasie drogowym w zależności od lokalizacji oraz okresu. W trakcie okresów świątecznych oraz urlopowych następuje znaczny wzrost ilości odpadów porzuconych w pasie drogowym, dotyczy to odpadów wyrzucanych pojedynczo jak również odpadów pozostawianych w workach.

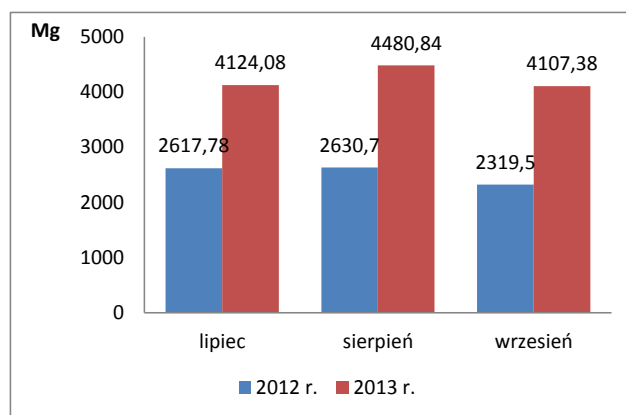
Odpady pozostawione w workach występują punktowo, w pobliżu obszarów wykorzystywanych rekreacyjnie. Stanowią je typowe odpady zmieszane pochodzące z gospodarstw domowych. Na pozostałych obszarach dominują odpady o zbliżonych właściwościach, występowanie surowców wtórnych jest bardzo rzadkie, często są spotykane worki zawierające pieluchy.

Odpady pojedynczo zlokalizowane w pasie drogowym były to głównie odpady drobne, najczęściej były to butelki głównie wykonane z tworzyw sztucznych jak również szkła, puszki oraz opakowania po żywności i napojach. Oprócz drobnych odpadów,

pojedynczo były zlokalizowane odpady o większych gabarytach np. opony lub ich fragmenty. Odpady lekkie pojedynczo zlokalizowane głównie małe folie, papiery oraz drobne opakowania z tworzyw sztucznych, były roznoszone przez wiatr po terenach zlokalizowanych w pobliżu pasa drogi. Charakterystyka odpadów pojedynczo zlokalizowanych w pasie drogowym pozwala na wykorzystanie ich w bardzo dużym stopniu jako surowiec wtórny.

5. Wyniki badań i dyskusja

Ilość odpadów dostarczanych do Zakładu Zagospodarowania Odpadów w Poświętnem (znajdującym się na terytorium powiatu płońskiego) dla okresu lipiec-wrzesień roku 2013 względem analogicznego okresu dla roku 2012 wzrosła (rys.3), świadczy to o wpływie wprowadzonych zmian przez ustawę z dnia 1 lipca 2011 roku o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. 2011 nr 152 poz.897) na ilość pozyskiwanych odpadów od mieszkańców. Do Zakładu Zagospodarowania Odpadów w Poświętnem są dostarczane odpady nie tylko pochodzące z selektywnej zbiórki, ale również z likwidacji dzikich wysypisk odpadów. Po 1 lipca 2013 roku w części gmin nie zauważono zmian dotyczących nielegalnych składowisk, nieznaczna poprawa zauważalna była tylko na terenie jednego samorządu, natomiast ilość nielegalnie składowanych odpadów wzrosła na terenach samorządowych gdzie występowały w pobliżu obszary wykorzystywane rekreacyjnie. Ilość odpadów usuwanych przez samorządy w niektórych przypadkach została podwojona. Powodem tego jest nieobjęcie przez ustawę właścicieli działek rekreacyjnych. Z informacji uzyskanych od osób odpowiedzialnych za oczyszczanie terenów publicznych można wnioskować, że znaczna część odpadów jest podrzucana przez osoby z poza powiatu. Część odpadów może pochodzić z nieruchomości wykorzystywanych rekreacyjnie, znaczny udział mogą mieć odpady dowożone z poza obszaru powiatu, ponieważ ich właścicielom łatwiej było je wywieźć niż przekazać właściwemu przedsiębiorstwu odpowiedzialnemu za zagospodarowanie odpadów dla ich miejsca zamieszkania.

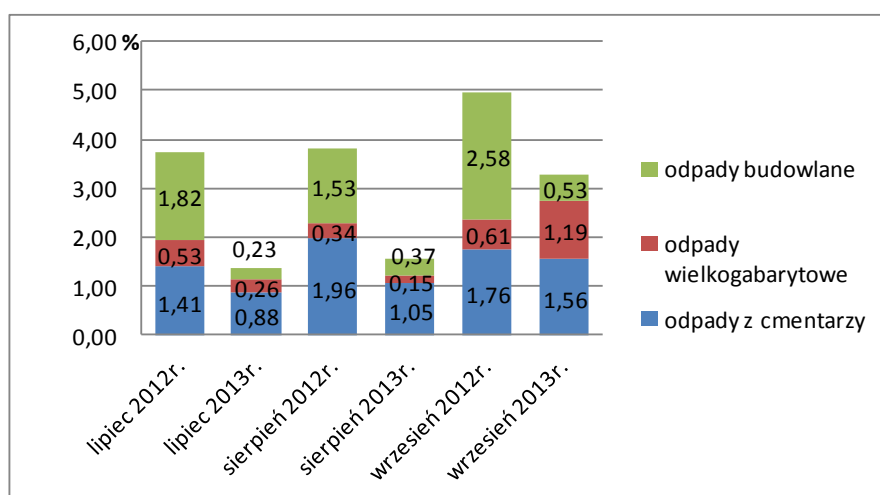


Rysunek 3. Ilość odpadów dostarczona do sortowni odpadów w lipcu, sierpniu i wrześniu roku 2012 i 2013

Źródło: [9]

Na rozmieszczenie składowisk wpływ miała gęstość zaludnienia, odwrotnie proporcjonalna do ich ilości, przy czym znaczna część nielegalnych składowisk została zlokalizowana na obszarze leśnym. Również ilość wysypisk spadała wraz ze wzrostem odległości od terenów rekreacyjnych. Odpady usuwane z nielegalnych składowisk zlokalizowanych w pobliżu obszarów wykorzystywanych rekreacyjnie były typowo komunalnymi.

Znaczący udział w odpadach znajdujących się na obszarach leśnych nadzorowanych przez Nadleśnictwo Płońsk stanowiły odpady budowlane (w tym eternit) oraz wielkogabarytowe.



Rysunek 4. Odpady z cmentarzy, wielkogabarytowe i budowlane dostarczane do ZZO

Źródło: [9]

Udział odpadów budowlanych oraz wielkogabarytowych w ogólnej ilości odpadów dostarczanych do Zakładu Zagospodarowania Odpadów w Poświętnem w roku 2013 stanowił mniejszy odsetek niż dla analogicznego okresu roku 2012 (rys.4). Było to spowodowane wzrostem ilości dostarczanych odpadów do ZZO, przy zachowaniu przybliżonej ilości dostarczanych odpadów budowlanych oraz wielkogabarytowych.[9] Za zagospodarowanie eternitu powinny odpowiadać specjalistyczne firmy zajmujące się tego typu odpadami. Wprowadzenie ustawy nie wpłynęło na zmianę ilości odpadów wielkogabarytowych oraz budowlanych dostarczanych do ZZO jak i również na ilość wywożonych do miejsc nielegalnego ich składowania. Natomiast zwiększył się udział odpadów wielkogabarytowych oraz budowlanych po 1 lipca 2013 roku względem pozostałych odpadów nielegalnie składowanych.

Znaczny odsetek odpadów drobnych zlokalizowanych w pasie drogowym, można było wykorzystać jako surowiec wtórny. Przeciwnieństwem odpadów drobnych były odpady w workach zgromadzone w pasie drogowym ponieważ zawierały bardzo małe ilości surowców wtórnych.

Ze względu na brak dokładnych danych dotyczących nie tylko jakości ale i ilości odpadów usuwanych z nielegalnych miejsc ich składowania przez podmioty prawne, znaczna część badań opierała się na ustnych informacjach uzyskanych od osób odpowiedzialnych za powyższe zadanie oraz uzyskanych w trakcie wizji lokalnych.

6. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

1. Najbardziej znaczącą przyczyną powstawania nielegalnych składowisk odpadów jest przyzwyczajenie ludzi i ich mała świadomość ekologiczna.
2. Ilość nielegalnych składowisk odpadów oraz porzucanych odpadów zależy od występowania zabudowy oraz jej rodzaju.
3. Po 1 lipca 2013 roku zauważono zmianę charakteru odpadów znajdujących się na nielegalnych składowiskach odpadów, stwierdzono wzrost ilości odpadów budowlanych wielkogabarytowych oraz niebezpiecznych.

4. Na obszarach rekreacyjnych oraz w ich obrębie, po dniu 1 lipca 2013 roku zaobserwowano wzrost ilości odpadów na nielegalnych składowiskach oraz zlokalizowanych w pasie drogowym.
5. Przyczyną powstawania nielegalnych składowisk jest również lenistwo, ponieważ w przypadku zadeklarowania sortowania odpadów jest często niższa opłata, część osób prawdopodobnie woli zapłacić niższą opłatę i wywieźć odpady na nielegalne składowisko niż je sortować.

Literatura:

1. Ustawa z dnia 1 lipca 2011 r. o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. 2011 nr 152 poz. 897)
2. Oficjalny serwis informacyjny Starostwa Powiatowego w Płońsku (19.02.2014)
<http://www.powiat-plonski.pl/index.php?cmd=zawartosc&opt=pokaz&id=2>
3. Wikipedia, wolna encyklopedia – mapa województwa mazowieckiego (19.02.2014)
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7f/Mazowsze_P%C5%82o%C5%84ski.png
4. Nadleśnictwo Płońsk – Portal Korporacyjny Lasów Państwowych (19.02.2014)
<http://plonsk.warszawa.lasy.gov.pl/web/plonsk/26232>
5. Wikipedia, wolna encyklopedia – Czerwińsk nad Wisłą (gmina) (19.02.2014)
[http://pl.wikipedia.org/wiki/Czerwińsk_nad_Wisłą_\(gmina\)](http://pl.wikipedia.org/wiki/Czerwińsk_nad_Wisłą_(gmina))
6. Gmina Nowe Miasto – Charakterystyka Gminy (19.02.2014)
<http://ugnowemiasto.pl/pl/charakterystyka-gminy>
7. Wikipedia, wolna encyklopedia – Joniec (gmina) (19.02.2014)
[http://pl.wikipedia.org/wiki/Joniec_\(gmina\)](http://pl.wikipedia.org/wiki/Joniec_(gmina))
8. Dane uzyskane z Nadleśnictwa Płońsk.
9. A. Zmysłowski, S. Biedugnis „Zmiana jakości odpadów dostarczonych do zakładu zagospodarowania odpadów w Poświętnem po 1 lipca 2013 roku”, XI konferencja dla miasta i środowiska problemy unieszkodliwiania odpadów, Warszawa 2013.

Studenci: Magdalena Drobiszewska¹, Łukasz Malinowski², Robert Mokrycki³, Łukasz Ołdziej⁴

Politechnika Białostocka

ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok

e-mail: ¹m.drobiszewska@onet.eu, ²lukasz.malinowski66@wp.pl, ³robe_rt123@op.pl,

⁴lukasz.oldziej@gmail.com

Biogaz rolniczy- przemysłany wybór

Słowa kluczowe: *biogazownia rolnicza, biomasa, odnawialne źródła energii, fermentacja beztlenowa*

Streszczenie: Energetyczne wykorzystanie biogazu rolniczego jest obecnie jedną z najkorzystniejszych metod pozyskiwania energii odnawialnej, która jak dotąd nie jest powszechnie ukierunkowana w Polsce. Produkcja i wykorzystanie energii z biogazu rolniczego od wielu lat stosowana jest w krajach takich, jak Dania, Austria czy Niemcy. Z uwagi na bardzo duży potencjał pozyskiwania biomasy w Polsce, produkcja i wykorzystanie energetyczne biogazu jest ogromną szansą na wykonanie zobowiązań dotyczących osiągnięcia przez Polskę 15 % udziału energii z odnawialnych źródeł w bilansie energetycznym do 2020 roku. Inwestowanie w biogazownie rolnicze w Polsce spotyka się z wieloma przeszkodami. Są to bariery typowe dla takich przedsięwzięć: uwarunkowania prawne, źródła dofinansowania, uwarunkowania społeczne.

1. Wstęp

Kończące się zasoby surowców energetycznych, takich jak ropa naftowa, węgiel kamienny czy gaz ziemny w sytuacji zwiększającego się zapotrzebowania na energię zmusza ludzi do intensywnego poszukiwania i wykorzystywania innych nośników energii tj. energii rzek, wiatru, promieniowania słonecznego, energii geotermalnej lub biomasy. Wzrost udziału odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym świata przyczynia się do poprawy efektywności wykorzystywania i oszczędzania zasobów surowców energetycznych, poprawy stanu środowiska poprzez zmniejszenie zanieczyszczeń do atmosfery i wód oraz ilości wytwarzanych odpadów [1,2].

W ostatnich latach obserwuje się coraz większe zainteresowanie procesami anaerobowymi do unieszkodliwiania odpadów biodegradowalnych. Wynika ono z dążenia do wykorzystania odnawialnych źródeł energii w celu zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych. Wzrost produkcji energii pochodzącej z biogazu można tłumaczyć przede wszystkim zmieniającymi się regulacjami prawnymi stanowiącymi z jednej strony zakazy składowania materii organicznej, z drugiej – dającymi korzyści z wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych [3,9].

Biogaz składa się głównie z metanu i dwutlenku węgla, pozostałe gazy występują w śladowych ilościach. Biogaz o dużej zawartości metanu (powyżej 40 %) może być wykorzystywany głównie do celów energetycznych lub w innych procesach technologicznych. Główną substancją wyjściową do produkcji biogazu rolniczego jest w szczególności biomasa odchodów zwierzęcych: gnojowica, obornik i gnojówka. Substratami uzupełniającymi mogą być odpady organiczne pochodzenia przemysłowego oraz rolniczego. Instalacja do produkcji biogazu jest miejscem produkcji „zielonej energii”, bowiem biogaz powstaje z rozkładu substancji organicznej pochodzącej z odnawialnych źródeł energii [4,6].

2. Proces produkcji biogazu rolniczego

W procesie fermentacji beztlenowej powstaje biogaz oraz wysokiej jakości nawóz z przefermentowanej gnojowicy, który jest zazwyczaj wykorzystywany do nawożenia. Fermentacja odbywa się w trzech fazach: hydroliza, fermentacja kwasowa, fermentacja metanowa. Proces przeprowadzany jest przez bakterie tak, więc należy prowadzić go w odpowiednich warunkach, aby efekt był jak najlepszy. O poprawnie przeprowadzonej fermentacji decydują poniższe parametry:

- temperatura, odpowiednia dla różnego typu bakterii,
- hydrauliczny czas retencji (ustalany ze stosunku dopływu ścieków do pojemności komory),
- odpowiednie obciążenie ładunkiem zanieczyszczeń organicznych,
- zawartość inhibitorów procesu, takich jak środki ochrony roślin, czy antybiotyki.

Wymagane jest, aby utrzymać stałą temperaturę podczas trwania procesu w całej objętości zbiornika, i nie zmieniać pojemności składu oraz ilości wsadu w niekontrolowany sposób. Podczas mieszania różnych rodzajów wsadu brak kontroli nad procesem może doprowadzić do jego zaniku. Z tego powodu wymagane jest, aby proces był stale monitorowany przy użyciu wskaźników poprawności przebiegu procesu takich jak zawartość lotnych związków organicznych [4].

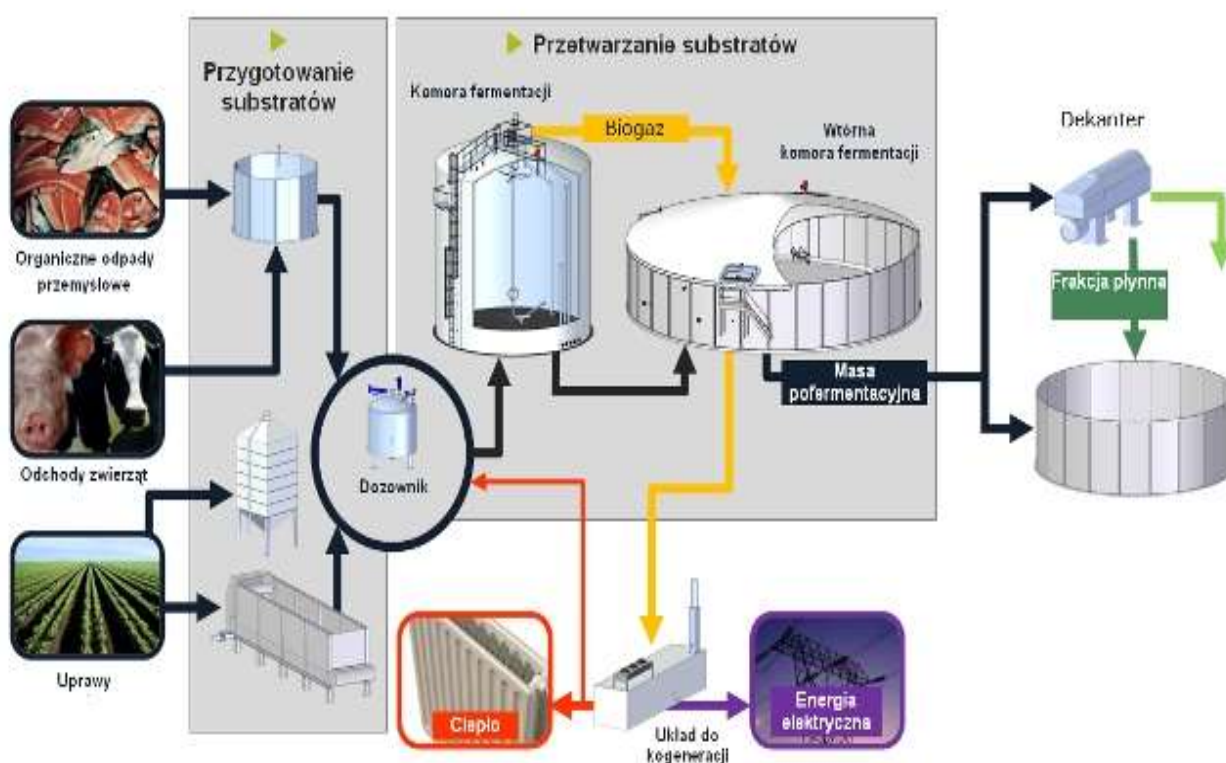
Hydrauliczny czas retencji to czas przebywania substratu w komorze fermentacyjnej. Zależy głównie od rodzaju wsadu i powinien zapewnić jego możliwie pełny rozkład [4].

Obciążenie komory ładunkiem zanieczyszczeń organicznych jest najistotniejszym wskaźnikiem przebiegu procesu fermentacji i produkcji biogazu. Przedstawione parametry służą do odpowiedniego doboru wielkości komory fermentacyjnej [4].

W niektórych biogazowniach stosuje się dwustopniowy proces fermentacji. Ma to miejsce w przypadku stosowania dużej ilości odpadów tłuszczowych, które są substratem uzupełniającym. Dwustopniowy proces fermentacji stosowany jest również w przypadku użycia substancji trudno rozkładalnych, takich jak celuloza, hemiceluloza i lignina [4].

Warunki środowiskowe w znaczny sposób wpływają na wydajność a także produktywność procesu. O prawidłowo przeprowadzonej fermentacji decydują czynniki wymienione poniżej [4].

Na rysunku 1 przedstawiono schemat procesu produkcji biogazu rolniczego.



Rysunek 1. Proces produkcji biogazu rolniczego

Źródło: <http://www.mae.com.pl/> [12]

2.1. Wpływ temperatury na przebieg fermentacji

Wydajność i szybkość przebiegu fermentacji zależy od temperatury w jakiej ten proces przebiega. I tak, wyodrębnia się trzy rodzaje fermentacji w zależności od zakresu temperatur:

- psychrofilna w temperaturze 10-25°C,
- mezofilna w temperaturze 30-35°C,
- termofilna w temperaturze 52-55°C.

Wybór temperatury procesu zależy od indywidualnych parametrów biogazowni. Praktyka wykazała, iż produkcja biogazu opłacalna jest jedynie dla fermentacji mezofilnej i termofilnej [4,5].

2.2. Hydrauliczny czas retencji

Hydrauliczny czas retencji substratu w komorze fermentacyjnej powinien być dostosowany do formy i rodzaju wsadu w taki sposób, aby zapewnić jego pełny rozkład. Różne substancje organiczne ulegają rozkładowi w różnym tempie. Czas retencji uwarunkowany jest również od temperatury, w jakiej przebiega proces fermentacji. Warto zauważyć, iż w niższej temperaturze, w jakiej zachodzi fermentacja mezofilna proces rozkładu substancji organicznych przebiega stosunkowo wolniej, a czas retencji znacznie się wydłuża [4].

2.3. Obciążenie komory ładunkiem zanieczyszczeń

Obciążenie komory ładunkiem zanieczyszczeń wyraża się stosunkiem ilości dostarczanego materiału, jego uwodnienia i zawartości substancji organicznych do pojemności komory. Produkcja biogazu rośnie przy zwiększaniu obciążenia do wartości granicznej, a po osiągnięciu maksimum, kiedy następuje przeciążenie układu produkcja maleje. Niezbędne jest zdefiniowanie optymalnego zakresu obciążenia komory fermentacyjnej [4].

2.4. Odczyn

Aby proces fermentacji przebiegał prawidłowo, konieczne jest utrzymanie odpowiedniego odczynu. Optymalny zakres jest, jest różny w zależności od typu bakterii oraz etapu procesu fermentacji. W przypadku bakterii hydrolizujących i kwasotwórczych optymalny odczyn pH zawiera się w przedziale od 4,5 do 6,3. W podanym zakresie bakterie te wykazują największą aktywnością. Nie są one jednak zdane bezwzględnie na te wartości i mogą one przeżyć także przy nieco wyższym odczynie pH. W przypadku bakterii produkujących kwas octowy i metan optymalny zakres odczynu pH zawiera się w przedziale od 6,8 do 7,5. W warunkach innych wartości odczynu pH aktywność tych bakterii znacząco maleje. Zbyt niskie pH jest często rezultatem nadmiernego obciążenia substratem i sygnałem nieprawidłowej pracy biogazowni [4,6].

2.5. Mieszanie biomasy

Mieszanie biomasy jest niezbędne w celu zapewnienia jednorodnego przebiegu procesu fermentacji w całej objętości komory, a także utrzymania jednakowej temperatury i konsystencji. Ułatwia łatwiejsze odgazowanie, zwiększa dostęp bakterii do cząstek substancji organicznej, zapobiega powstawaniu kożucha i spadkowi aktywności bakterii. Mieszanie zapewnia równomierne rozprowadzenie dopływającej biomasy w fermentującej masie, a w konsekwencji przyspiesza proces. Zapobiega rozwarstwianiu się biomasy i powstawaniu martwego pola, do której dopływ substancji organicznych jest zakłócony [4].

2.6. Substancje toksyczne- inhibitory procesu

Jedną z przyczyn zakłóceń w przebiegu procesu fermentacji może być obecność inhibitorów- substancji, które już w niewielkich ilościach wykazują działanie toksyczne na bakterie, a tym samym spowalniając proces rozkładu. Przykładowo przy nadmiarze azotu może dojść do powstawania amoniaku (NH_3), który już w niewielkich stężeniach hamuje wzrost bakterii i może doprowadzić do zniszczenia całej ich populacji [4].

Bakterie metanowe uczestniczące w procesie fermentacji metanowej wymagają dostatecznej ilości pożywki aby mogły rosnąć i rozmnażać się. Z tego względu stosunek węgla do azotu(C:N) nie powinien przekraczać 100:3. Wynika to z budowy chemicznej

komórek bakteryjnych oraz z faktu, że 15% węgla w substracie jest przyswajane przez bakterie [4].

W odchodach zwierzęcych występują duże stężenia amoniaku, dlatego zaleca się rozcieńczenie wsadu. Innym sposobem może być dodatek biomasy o wysokiej zawartości węgla (np. słomy) i zwiększenie stosunku (C:N) we wsadzie [6].

3. Wykorzystanie biogazu rolniczego

Z uwagi na wysokie stężenie metanu, wynoszące powyżej 40%, biogaz znajduje zastosowanie do następujących celów użytkowych:

- paliwo do silników pojazdów,
- procesach technologicznych, np. produkcja metanolu,
- produkcja energii cieplnej w kotłach gazowych,
- produkcja energii elektrycznej w silnikach iskrowych lub turbinach.

Aby z biogazu rolniczego, który powstaje w procesie fermentacji beztlenowej, uzyskać wysokosprawne paliwo do wytwarzania energii cieplnej należy poddać biogaz dalszej obróbce. Ze względu na ten fakt biogazownia rolnicza powinna zostać wyposażona w następujące instalacje:

- instalacja służąca do odbioru biogazu z komór fermentacyjnych,
- instalacja służąca do mechanicznego oczyszczania otrzymanego biogazu,
- instalacja mająca na celu odsiarczanie biogazu,
- instalacja służąca do osuszania biogazu,
- instalacja zbudowana z wysokosprawnych filtrów przepływowych, mających na celu osuszenie końcowe biogazu z zanieczyszczeń mechanicznych.

Biogaz za pomocą procesu spalania przyjmuje rolę nośnika energii. W celu uzyskania energii cieplnej biogaz należy poddać spalaniu robocznemu w piecach. Energię elektryczną oraz energię cieplną uzyskujemy poprzez spalanie biogazu w silnikach. W tzw. świecach (pochodniach) spalane są nadwyżki gazu, których magazynowanie jest nieopłacalne bądź niemożliwe [7,8].

W celu osiągnięcia jednocześnie energii elektrycznej oraz cieplnej (w postaci wody gorącej o temperaturze do 90°C) biogaz należy spalić w silnikach gazowych z zapłonem

iskrowym zespołów prądotwórczych. Ciepło, które jest odbierane z układów chłodzenia silnika, a także spalin może zostać użyte m.in. do ogrzewania pomieszczeń oraz może zostać przekazane przy użyciu wodnych wymienników do układu grzewczego, usytuowanego w komorach fermentacyjnych [7].

Biogazownie rolnicze produkują energię w sposób bardzo efektywny. Sprawność przetworzenia energii zawartej w biogazie może osiągnąć 87%. Dzięki produkcji energii z biogazu mamy możliwość sterowania procesem wytwarzania energii, kiedy wzrasta na nią zapotrzebowanie [7,8].

Podsumowując biogazownie rolnicze są obiektami o małej mocy, nie przekraczającymi 2500 kW. Biogazownie rolnicze doskonale nadają się do zaopatrywania obszarów wiejskich w energię, nie powodując tym dodatkowych nakładów finansowych na rozbudowę sieci przesyłowych [7].

4. Biogazownie rolnicze w Polsce

W ostatnim czasie obserwujemy wyraźny wzrost zainteresowania budową biogazowni. Strategiczny dokument na rzecz rozwoju biogazowni w oparciu o surowce pochodzenia rolniczego „Innowacyjna Energetyka- Rolnictwo Energetyczne” przygotowany przez Polską Izbę Gospodarczą Energii Odnawialnej, Stowarzyszenie Energii Odnawialnej, Polską Izbę Biomasy oraz Stowarzyszenie Niezależnych Wytwórców Energii Skojarzonej przyjmuje „Kierunki Rozwoju Biogazowni Rolniczych w Polsce na lata 2010-2020”. Głównym przesłaniem tej strategii jest stworzenie takich warunków do inwestowania, aby od końca 2020 roku powstało około 2000 instalacji biogazowych w Polsce.

Obecnie w Polsce funkcjonuje ponad 30 instalacji biogazowni rolniczych. Większość z nich funkcjonuje w bezpośrednim sąsiedztwie dużych ferm hodowlanych, bądź zakładów przemysłowych, będących źródłem substratów. Prym wiodą rolnicy z wielkopolski, ale także rolnicy z województw kujawsko-pomorskiego, zachodniopomorskiego, pomorskiego i dolnośląskiego [8].

Przykładowe rozwiązania w Polsce:

- biogazownia rolnicza o mocy 250 kW w miejscowości Niedoradz k. Zielonej Góry,
- biogazownia rolnicza w miejscowości Boleszyn, Łęguty, Rypin,
- biogazownia rolnicza w miejscowości Melno k. Grudziądza

5. Biogazownie na świecie

W Europie biogazownie są szeroko rozpowszechnione. Na terenie Unii Europejskiej szacuje się obecnie kilkanaście tysięcy obiektów biogazowych. Liderem są Niemcy, gdzie funkcjonuje ponad 7 tysięcy biogazowi. W Europie biogazownie buduje się m.in. w Holandii, Hiszpanii, Belgii i Włoszech, a nawet w bardzo zasobnej w złoża gazu ziemnego Rosji. Co równie symptomatyczne na naszym kontynencie najbardziej postawiły na tę technologię bogate kraje, znane z dbałości o ochronę środowiska: Niemcy, Dania, Szwecja, Austria czy Szwajcaria [4,10].

Szczególnie godne uwagi są Chiny, gdzie przy gospodarstwach rolnych funkcjonuje kilka milionów małych, bardzo prostych instalacji biogazowych, w większości wykonanych chałupniczymi metodami. Są one dość prymitywne (ich komory fermentacyjne to wykopane w ziemi, nie mające żadnej izolacji doły), ale za to tanie w budowie i efektywne. Jako surowiec służy w nich obornik i gnojowica oraz resztki żywności. Produkowany w ten sposób biogaz chińscy rolnicy wykorzystują do gotowania i oświetlania domów [10].

Takie biogazownie są popularne także w innych krajach Azji, m.in. w Wietnamie, Tajlandii i Indiach. Tylko w tym ostatnim kraju jest ich około miliona. Produkcja biogazu nie jest obca również najbardziej rozwiniętym gospodarczo państwom azjatyckim: Japonii i Korei Południowej. Z tym, że w nich – w odróżnieniu od Chin i Indii – powstają nowoczesne, oparte o europejskie technologie, biogazownie. Zarówno rolnicze, powstające przy gospodarstwach, jak i te, w których surowcem są odpadki organiczne z gospodarstw domowych, resztki jedzenia z restauracji czy osady ściekowe [10].

6. Podsumowanie

Biogaz pozyskiwany z odnawialnych substratów rozwiązuje problem kończących się energetycznych paliw kopalnych, a także pozwala rozwiązać problem składowania bioodpadów, które po odzysku z nich biogazu, mogą być wykorzystane jako nawóz [10,11].

Rozwój biogazowni w Polsce mógłby przyczynić się również do powstania u nas nowej gałęzi przemysłu, ukierunkowanej na produkcję urządzeń potrzebnych do budowy i serwisowania instalacji biogazowych. W naszym kraju już istnieją firmy produkujące takie urządzenia, a co więcej, dorobiliśmy się już pierwszych własnych, polskich technologii w tej dziedzinie. Niektóre z nich są unikatowe w skali światowej. Innymi słowy, nie musieliśmy,

w przeciwieństwie do wydobywania gazu łupkowego, elektrowni atomowych czy wiatrowych importować technologii, sprzętu i urządzeń potrzebnych do budowy tych instalacji, rozwijając dzięki temu rodzimy przemysł i tworząc kolejne miejsca pracy. W obliczu licznych w Polsce protestów przeciwko budowie biogazowni trzeba podkreślić, że dobrze zaprojektowane i eksploatowane instalacje biogazowe nie są bardziej uciążliwe dla otoczenia niż małe, nowoczesne fabryki czy typowe gospodarstwa rolne, zajmujące się hodowlą zwierząt. Nie powinny zanieczyszczać okolicy fetorem (choć zdarzają się, niestety, wyjątki od tej reguły), czego najbardziej obawiają się protestujący przeciwko ich budowie. To nie znaczy jednak, że ta technologia nie ma żadnych wad i nie niesie ze sobą żadnego ryzyka ani zagrożeń dla otoczenia. Są one jednak przez jej przeciwników wyolbrzymiane [7,11].

W wielu przypadkach biogazownie mogą poprawiać jakość życia na wsi. Dzieje się tak właśnie wtedy, gdy wykorzystują jako surowiec powstającą w hodowli zwierząt gnojowicę, obornik i odchody zwierzęce. Te odpady są dużym problemem dla dzisiejszej polskiej wsi. Rolnicy wywożą je na pola jako nawóz, a ich fetor może unosić się w okolicy przez wiele dni. W biogazowni, na skutek podgrzewania takiego surowca w komorze fermentacyjnej, większość tych mikroorganizmów ginie. Po „obróbce” gnojowicy, obornika czy odchodów zwierzęcych w biogazowni ich fetor staje się dużo mniej wyczuwalny, a nawet zupełnie znika (fachowo się nazywa to „redukcją uciążliwości odorowej”, która sięga w tym przypadku nawet 80 proc.) [7,11].

Szacunkowy koszt inwestycji w biogazownie różni się, przede wszystkim w zależności od skali inwestycji. Najbardziej optymalne pod względem opłacalności są instalacje produkujące moc powyżej 1 MW. Średni koszt budowy biogazowni o mocy 1,1 MW wynosi około 15 mln zł/1 MW, czyli około 16 500 000 zł. Tej wielkości biogazownia generuje zapotrzebowanie na około 40 tys. ton gnojowicy i 20 tys. ton kiszonki kukurydzy jako substratów do produkcji gazu. Teoretyczny zwrot inwestycji w tym przypadku następuje średnio po ok. 3 latach. Z kolei w przypadku mniejszej biogazowni o mocy 230 kW, koszt w przeliczeniu na 1 MW zainstalowanej mocy elektrycznej to 21 mln zł, czyli około 4 830 000 zł, a tej wielkości inwestycja osiągnęłaby rentowność dopiero po 5 latach [10,11].

Na chwilę obecną niestety rynek biogazowni jest dość niepewny, ze względu na niewielki popyt na tego typu rozwiązania energetyczne. Nieznaczna część osób dysponuje kwotą kilkunastu milionów złotych na budowę dużego bloku energetycznego wytwarzającego biogaz, zaś budowa mikrobiogazowni, wynosząca 300-500 tysięcy złotych, wytworzy energię na potrzeby własne gospodarstw, które zdecydowały się na taką inwestycję [7,10].

Literatura:

1. Głaszka A., Wardal W.J., Romaniuk W., Domasiewicz T., *Biogazownie rolnicze*. MULTICO Oficyna Wydawnicza Sp.z o.o. , 2010
2. Tytko R., *Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej*. Kraków, 2013.
3. Praca zbiorowa pod redakcją Wandrasza A.J., *Paliwa z odpadów. Technologie tworzenia i wykorzystania paliw z odpadów*. Poznań, 2011.
4. Oniszk – Popławska A., Zowski M., Wiśniewski G., *Produkcja i wykorzystanie biogazu rolniczego*. Gdańsk – Warszawa, 2003.
5. Trinczek K. *Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej. Mechanika*. Opole, 2003
6. *Przewodnik dla inwestorów zainteresowanych budową biogazowni rolniczych*, Ministerstwo Gospodarki, 2011
7. Praca zbiorowa pod redakcją Podkówki W., *Biogaz rolniczy odnawialne źródła energii. Teoria i praktyczne zastosowanie*. PWRiL, 2012
8. Czasopismo *Czysta Energia* „*Biogazownie- czas przyspieszyć!*”, październik 2011
9. Czasopismo *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, 3/2010
10. <http://gramwzielone.pl/bioenergia/2795/ile-kosztuje-budowa-biogazowni-i-kiedy-sie-zwroci>
11. <http://www.chronmyklimat.pl>
12. <http://www.mae.com.pl/>

Marlena Tatarek¹

Politechnika Krakowska, Instytut Inżynierii Ciepłej i Ochrony Powietrza

ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków

e-mail: ¹marlenatatarek@wp.pl

Negatywne aspekty współspalania biomasy

Słowa kluczowe: *współspalanie, biomasa, OZE*

Streszczenie: W pracy przedstawiono problemy i zagrożenia wynikające ze współspalania biomasy stałej wraz z paliwami konwencjonalnymi. Powstają one jeszcze przed dotarciem biomasy na teren zakładu, gdzie nastąpi jej współspalanie. Należą do nich problemy związane z ilością, uprawami i transportem biomasy. Kolejne dotyczą konkretnej jednostki realizującej technikę współspalania, jak np. odpowiednie magazynowanie i dostarczanie do kotła. Oddziaływanie na kocioł związane jest ze sprawnością parametrów eksploatacyjnych oraz z występowaniem zjawiska korozji wysokotemperaturowej. Ostatnie opisane problemy dotyczą innej w stosunku do paliw kopalnych charakterystyki popiołów i spalin.

1. Wstęp

Polska zobowiązała się do osiągnięcia 15-procentowego udziału odnawialnych źródeł energii (OZE) w końcowym zużyciu energii brutto do roku 2020 [1]. Obecnie w udziale tym największą część stanowi współspalanie biomasy wraz z paliwami kopalnymi, takimi jak węgiel kamienny i brunatny. Produkcja energii cieplnej czy elektrycznej z biomasy jest korzystna, z uwagi na „zero-emisyjność” pod względem ditlenku węgla, jednak powoduje liczne problemy i zagrożenia. Część z nich została podzielona na 4 główne grupy, a następnie omówiona w tabeli 1.

Tabela 1. Podział problemów i zagrożeń występujących podczas współspalania ze względu na miejsce występowania

Grupa problemów	Miejsce występowania
Produkcja, transport	Przed dostarczeniem biomasy do zakładu energetycznego
Magazynowanie, dostarczanie do paleniska	Od dostarczenia biomasy do zakładu energetycznego do momentu wprowadzenia jej do kotła
Wpływ na kocioł	Podczas procesu współspalania
Produkty spalania	Problemy związane z popiołami i gazami powstającymi w procesie współspalania

Źródło: opracowanie własne

Współspalanie biomasy odbywa się w paleniskach, które ze względu na stan zawieszenia paliwa dzieli się na [2]:

- 1) paleniska rusztowe – spalanie przebiega na stałym bądź ruchomym ruszcie;
- 2) paleniska fluidalne – spalanie przebiega w sfluidyzowanej warstwie obojętnych cząstek, przez którą przepływa nośnik tlenu;
- 3) paleniska komorowe – drobno zmielone paliwo stałe zostaje wtłoczone razem z nośnikiem tlenu do komory paleniskowej.

Współspalanie może być prowadzone zarówno w nowych (projektowanych specjalnie z uwzględnieniem współspalania), jak i w istniejących już instalacjach. Może się ono odbywać poprzez wykorzystanie różnych rozwiązań [3]:

- Współspalania bezpośredniego – do komory paleniskowej dostarczane są dwa strumienie - paliwo podstawowe (węgiel) i biomasa; bądź jeden strumień gotowej mieszanki węgla i biomasy;
- Współspalania pośredniego – ze względu na rodzaj przedbudowy kotła dzieli się na rozwiązania w których:
 - biomasa jest spalana w osobnym przedpalenisku, a powstające w procesie spalania biomasy gorące spaliny są prowadzone do komory spalania paliwa podstawowego;
 - biomasa jest poddawana zgazowaniu w gazogeneratorze, produktem jest gaz przetwarzany w komorze spalania węgla
- Współspalania równoległego – biomasa i węgiel są spalane w oddzielnych komorach.

Rodzajem współspalania równoległego jest układ hybrydowy, którego cechą (oprócz spalania paliw w różnych paleniskach) jest praca na jeden kolektor pary.

2. Produkcja i transport biomasy

2.1. Uprawy

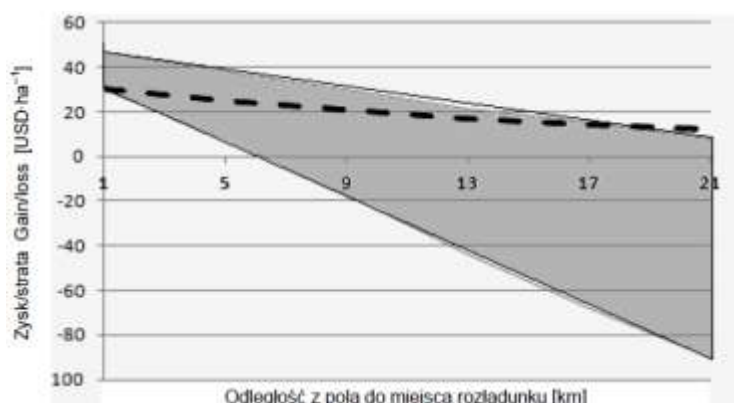
Uprawa roślin na cele energetyczne związana jest z dużym nakładem energii. W przypadku roślin jednorocznych nakłady te wynoszą od 15 do 40% wartości energetycznej plonu, a nawożenie związkami azotu może stanowić nawet 60% kosztów produkcji [4].

Ponadto dla upraw energetycznych istotne są warunki siedliskowe. Przykładowo wierzba energetyczna wymaga odczynu gleb 5,5-6,5 pH oraz wysokiego poziomu wód podziemnych. Największe plony tej rośliny można więc otrzymać na glebach typu mady. Uprawa na gruntach niespełniających tych wymagań jest możliwa, o ile zapewnione zostanie dostarczanie składników mineralnych i nawadnianie [5].

2.2. Transport

Istotnym aspektem rozwoju produkcji biomasy jest stan techniczny dróg, odległość między miejscem produkcji, a miejscem jej energetycznego wykorzystania, stałość dostaw, niezbyt zróżnicowane właściwości dostaw, a także zdolności przerobowe zakładów.

Za maksymalną granicę opłacalności dostarczania biomasy pod względem odległości uznaje się 80-100 km. Powyżej tej granicy transport biomasy jest nieopłacalny ekonomicznie [4]. W zależności od rodzaju biomasy, technologii zbioru i transportu, generowany zysk (względnie strata) zmieniają się z odległością z pola do miejsca rozładunku. Dla pewnych technologii transport na odległość tylko 6 km jest na granicy opłacalności (Rysunek 1).



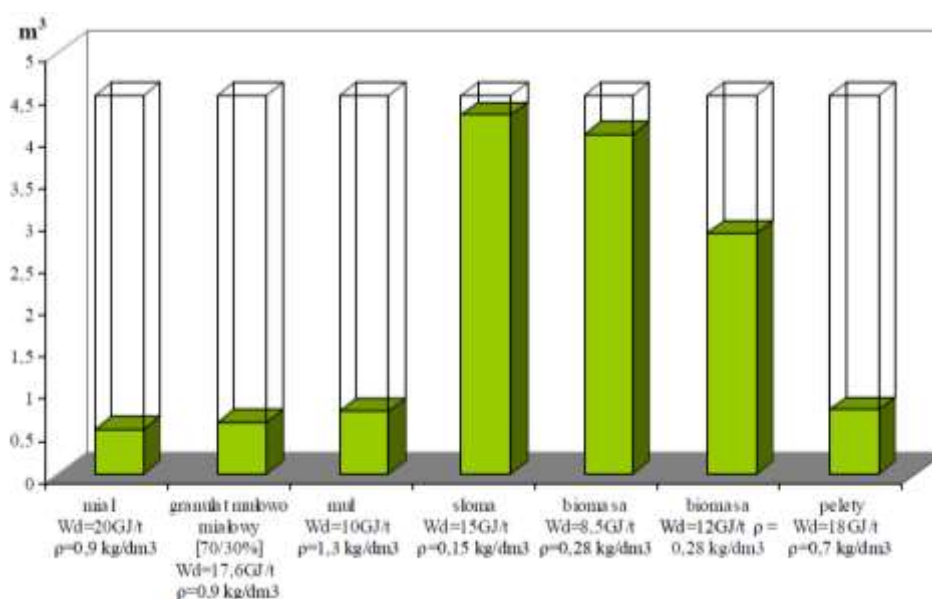
Rysunek 1. Wpływ technologii zbioru i transportu biomasy na koszty zbioru (pole zacieniowane - różne technologie, linia przerywana - zbiór ziarna kukurydzy)

Źródło: Roszkowski A., *Biomasa i bioenergia – bariery technologiczne i energetyczne*, w: *Problemy Inżynierii Rolniczej* (77) 2012

3. Magazynowanie, dostarczanie do paleniska

3.1. Magazynowanie i składowanie biomasy

Ze względu na niską gęstość biomasy (Rysunek 2) konieczne jest zapewnienie odpowiedniej przestrzeni do jej składowania. Do wygenerowania takiej samej ilości energii elektrycznej objętość spalanej biomasy może być 7-krotnie większa (np. przy spalaniu słomy) niż objętość mialu [6].



Rysunek 2. Porównanie objętości paliw potrzebnych do wytworzenia 1 MWh energii elektrycznej

Źródło: Golec T., Lewtak R., Świątkowski B., Glot B. *Współspalanie biomasy z węglem*, w: *Energetyka* (9) 2010, str. 26-29.

W przypadku paliwa w formie peletów (np. słonecznikowych, słomianych) należy zbudować wiaty bądź zadaszenia, gdyż wzrost wilgoci paliwa powoduje nie tylko zmniejszenie ich wartości opałowej (co jest niekorzystne w przypadku każdego paliwa), ale także kruszenie i rozpad samych peletów.

3.2. Dostarczanie biomasy do kotłów

Ze składowisk lub silosu biomasa jest dostarczana do zasobników przykotłowych paliwa. Mogą to być oddzielne zbiorniki dla biomasy i węgla, bądź wspólny zbiornik dla mieszanki biomasy z węglem. Ponadto w przypadku palenisk pyłowych w ciągu

technologicznym wykorzystywane są młyny kulowe. Problemy występujące przy rozdrabnianiu biomasy we wspomnianych młynach wynikają z odmiennych właściwości biomasy (będącej bardziej plastyczną niż kruchą), a także z wyższej zawartości wilgoci w paliwie. Do problemów tych zalicza się m.in. tworzenie aglomeratów, blokowanie sit oraz spadek wydajności młyna [6,7].

4. Wpływ współspalania biomasy na kocioł

4.1. Sprawność parametrów eksploatacyjnych

Współspalanie biomasy może powodować zmianę sprawności kotła oraz zmniejszenie sprawności netto bloku.

Na wielkość sprawności kotła wpływają straty promieniowania i przewodzenia, straty niezupełnego spalania, niecałkowitego spalania oraz starta wylotowa

W Instytucie Chemicznej Przeróbki Węgla przeprowadzono badania dotyczące m. in. sprawności kotła podczas współspalania biomasy [8]. Strata ta zależała od rodzaju kotła, rodzaju dodawanej biomasy oraz jej udziału procentowego w mieszance paliwowej. W każdym jednak przypadku strata ta była większa w porównaniu do spalania jednopaliwowego.

Natomiast sprawność netto bloku ulega zmniejszaniu wskutek wzrostu zapotrzebowania mocy przez urządzenia potrzeb własnych. Zauważalne jest to zwłaszcza w przypadku zespołów młynowych, a także wentylatorów powietrza i spalin [7]. Dodatkowe źródło wzrostu poboru mocy własnych bloku wynika z konieczności zastosowania dodatkowych urządzeń i instalacji, takich jak np. dodatkowe przenośniki taśmowe oraz próbobiorniki.

4.2. Korozja wysokotemperaturowa

Korozja wysokotemperaturowa, zwana inaczej chlorkową, spowodowana jest zwiększoną w stosunku do węgla kamiennego zawartością chloru oraz metali alkalicznych, a także obecnością siarki w biomasie, wskutek czego istnieje ryzyko uszkodzenia instalacji.

W uproszczeniu przebieg korozji chlorkowej można opisać w następujący sposób: tworzące się gazowe chlorki metali alkalicznych (głównie potasu i sodu) kondensują

na chłodniejszych fragmentach instalacji, np. na wymiennikach ciepła bądź na cząstkach pyłu lotnego. Reagują następnie z zawartym w spalinach ditlenkiem siarki, wskutek czego dochodzi do uwalniania chloru cząsteczkowego. Chlor ten dyfunduje w głąb warstwy osadu, docierając do powierzchni metalowej. Tam ze względu na panujące warunki dochodzi do reakcji z żelazem i powstaje chlorek żelaza (II), który wskutek panujących różnic temperatury i ciśnienia występuje w formie gazowej i dyfunduje z powrotem do warstwy zewnętrznej. Na tej drodze dochodzi do jego utlenienia i uwolnienia cząsteczki chloru, która może ponownie wziąć udział w mechanizmie korozji.

Uwzględniając, że najważniejszymi pierwiastkami wpływającymi na przebiegu korozji wysokotemperaturowej jest chlor, potas i siarka, wykorzystuje się paliwowy wskaźnik korozji wysokotemperaturowej (PW_k), a następnie na jego podstawie można oszacować zagrożenie wystąpienia korozji. Paliwowe wskaźniki korozji chlorkowej wraz z ich charakterystyką oraz rodzajem zagrożenia korozją chlorkową przedstawiono w Tabeli 2. Brak zagrożenia korozją występuje przy PW_k równym 0, co oznacza, że zawartość chloru w biomase jest niższa niż 0,02%. Przeciwnie bardzo wysokie zagrożenie korozją chlorkową odpowiada małemu stosunkowi zawartości siarki do chloru oraz dużym udziałem potasu, tj. gdy PW_k wynosi 4.

Tabela 2. Klasyfikacja zagrożenia korozją chlorkową w oparciu o skład biomasy

Paliwowy wskaźnik korozji chlorkowej, PW_k	Charakterystyka	Zagrożenie korozją chlorkową
0	Cl<0,02%	brak
1	S/Cl $\geq 2,2$	bardzo niskie
2	S/Cl i K duże	niskie
3	S/Cl małe i K duże	wysokie
4	S/Cl małe i K duże	bardzo wysokie

Źródło: Hardy T., Kordylewski W., Mościcki K., *Zagrożenie korozją chlorkową w wyniku spalania i współspalania biomasy w kotłach w: Archiwum Spalania*. (Vol. 9, nr 3-4) 2009, str. 181 - 195.

Przykładem biomasy, która nie intensyfikuje procesów korozji jest drewno dębu, sosny czy kora wierzby. Współczynnik PW_k dla tych roślin jest nie wyższy niż 1. Natomiast wśród biomasy ze wskaźnikiem PW_k równym 4 wymienia się słomy (np. pszena, rzepakowa), a także należące do roślin energetycznych miskantusa [9].

5. Wpływ współspalania biomasy na produkty spalania

5.1. Stałe produkty spalania - popioły

Pomimo faktu, że zawartość części mineralnych w biomase jest mniejsza niż w węglu kamiennym, współspalanie może negatywnie wpłynąć na powstające w tym procesie popioły.

Biomasa posiada zbliżony skład jakościowy części mineralnych w stosunku do węgla kamiennego, jednakże skład ilościowy jest znacząco różny. O ile w węglu największym udziałem w popiołach odznacza się tlenek krzemu (IV) i tlenek glinu(III), to w przypadku biomasy jest to tlenek wapnia i tlenek krzemu (IV) ze znaczącym udziałem tlenku potasu [3]. Różnice w składzie ilościowym powodują, że podczas współspalania tworzą się eutektyki o niskich temperaturach topnienia, co może powodować trudności eksploatacyjne.

Kolejny problem związany jest ze zwiększoną zawartością części palnych w popiołach. Jest to skutek dodawania do kotła większych cząstek paliwa, które nie zostają dopalone oraz przesuwania jądra płomienia w górę [10]. Większe cząstki paliwa dostają się do paleniska w wyniku trudności z mieleniem biomasy w młynach. Natomiast przesuwanie jądra płomienia w górę następuje, gdy do paleniska dostaje się paliwo złożone w dużym stopniu tylko z biomasy zawierającej więcej części lotnych niż węgiel. Trudności w homogenizowaniu mieszanki biomasowo-węglowej są efektem frakcjonowania materiałów o różnych gęstościach w zbiorniku przykotłowym, przez co tworzą się warstw biomasy i węgla.

5.2. Gazowe produkty spalania

Badania Szymanowicza wykazały wzrost stężenia NO_x w spalinach podczas procesu współspalania biomasy w paleniskach pyłowych oraz ze stacjonarnym złożem fluidalnym [11]. Zaobserwowano również wzrost zapylenia spalin. Wynika to z odmiennego składu ilościowego części mineralnej biomasy oraz obecności lotnych związków organicznych (LZO) w spalinach. Efektem tego jest pogorszenie pracy elektrofiltrów z powodu tworzenia się osadów na elementach kierowniczych oraz elektrodach [12].

Obecność chloru w biomase skutkuje także wzrostem stężenia HCl w spalinach. To z kolei wpływa negatywnie na pracę mokrych instalacji odsiarczania spalin [12]. Ponadto wzrasta ryzyko pojawienia się toksycznych polichlorowanych dibenzodioksyn i furanów,

PCDD/F [13]. W Tabeli 3 przedstawiono zawartość dioksyn i furanów po spalaniu biomasy przeliczone na ekwiwalenty toksyczne na kilogram suchej masy. Największą zawartością PCDD/F charakteryzuje się popiół lotny po spalaniu słomy (101 – 353 ng TEQ/kg s.m.).

Tabela 3. Zawartość dioksyn i furanów (PCDD/F) w popiołach po spalaniu biomasy podane w ekwiwalentach toksycznych TEQ

		PCDD/F ng TEQ/kg s.m.
Kora	Popiół denny (PD)	0,3-11,7
	Popiół spod cyklonu (PC)	2,2-12,0
	Popiół lotny (PL)	7,7-12,7
Wióry	PD	2,4-33,5
	PC	16,3-23,3
Słoma	PD	2,3-14,0
	PC	19,0-70,8
	PL	101-353
Całe rośliny	PD	1,0-22,0
	PC	12,2-44,0
	PL	56,0-120

Źródło: oprac. własne na podst.: Kaltschmitt M., Hartmann H., Hofbauer H., *Energie aus Biomasse Grundlagen, Techniken und Verfahren*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2009

6. Podsumowanie

Polityka energetyczna Polski opiera się w znacznej części na paliwach kopalnych takich jak węgiel kamienny i brunatny. Coraz większe jednak znaczenie zyskują odnawialne źródła energii. Wśród nich wymienia się biomasę, której wykorzystywanie w energetyce bazuje obecnie na współspalaniu biomasy stałej wraz z wymienionymi paliwami konwencjonalnymi. Takie działanie jednak związane jest z licznymi problemami i zagrożeniami, wśród których wymienia się m.in. korozję wysokotemperaturową, spadek mocy netto bloków oraz spadek wydajności młynów węglowych. Na problemy te jednak należy spojrzeć z szerszej perspektywy, a więc nie tylko bezpośrednio związane ze spalaniem, ale również te przed (jak produkcja, transport biomasy) i po spalaniu (odmienne właściwości popiołów i spalin). Uwzględniając powyższe rozważania należy z większym dystansem podejść do zagadnienia współspalania biomasy i rozważyć inne metody jej energetycznego wykorzystania.

Literatura:

1. Dyrektywa 2009/28/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE
2. Strauß K., *Kraftwerkstechnik zur Nutzung fossiler, nuklearer und regenerativer Energiequellen*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2009.
3. Ściążko M., Zuwała J., Pronobis M., *Zalety i wady współspalania biomasy w kotłach energetycznych na tle doświadczeń eksploatacyjnych pierwszego roku współspalania biomasy na skalę przemysłową*. w: *Energetyka* (3) 2006, str. 207-220.
4. Roszkowski A., *Biomasa i bioenergia – bariery technologiczne i energetyczne*. w: *Problemy Inżynierii Rolniczej* (77) 2012, str. 79–100
5. Tworkowski J., *Uprawa wierzb krzewiastych na gruntach rolniczych.*, 2006, <http://pliki.modr.mazowsze.pl/modr/images/stories/ekologia/biblioteka/uprawa-wierzb.pdf> (dostęp z 12.03.2014)
6. Golec T., Lewtak R., Świątkowski B., Glot B. *Współspalanie biomasy z węglem*, w: *Energetyka*. (9) 2010, str. 26-29.
7. Zuwała J., *Wpływ współspalania biomasy z paliwami konwencjonalnymi na parametry eksploatacyjne pracy bloków energetycznych*. w: *Energetyka* (2) 2010, str. 108-114.
8. Wypych A., *Współspalanie biomasy z węglem – wpływ na sprawność kluczowych elementów bloku energetycznego*. w: *Energetyka* (10) 2012, str. 625-630.
9. Hardy T., Kordylewski W., Mościcki K., *Zagrożenie korozją chlorkową w wyniku spalania i współspalania biomasy w kotłach*. w: *Archiwum Spalania*. (Vol. 9, nr 3-4) 2009, str. 181 - 195.
10. Popiel P., *Wpływ współspalania biomasy z pyłem węglowym na stratę niedopału*. w: *Prace Instytutu Elektrotechniki* (249), str. 2011, 69-80.
11. Szymanowicz R., *Właściwości fizykochemiczne paliw pochodzących ze źródeł odnawialnych*. w: *Energetyka* (5) 2012, str. 230-235.
12. Fulczyk T., Głowacki E., *Problemy eksploatacyjne elektrofiltrów i instalacji odsiarczania spalin związane ze współspalaniem biomasy*. w: *Energetyka* (6) 2010, str. 379-384.
13. Kaltschmitt M., Hartmann H., Hofbauer H., *Energie aus Biomasse Grundlagen, Techniken und Verfahren*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2009.

inż. Radosław Żyłka,
„Bielmlek” Spółdzielnia Mleczarska,
Bielsk Podlaski
Politechnika Białostocka,
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska,
r.zylka@bielmlek.com.pl

inż. Galina Vasilyeva,
Politechnika Białostocka,
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Amy6077@yandex.ru

Określenie efektywności procesu flotacji do oczyszczania ścieków mleczarskich na przykładzie oczyszczalni S.M. Bielmlek

Słowa kluczowe: *ścieki mleczarskie, flotacja DAF, efektywność oczyszczania.*

Streszczenie: Proces flotacji jest szeroko stosowany w oczyszczaniu bądź podczyszczaniu ścieków z przemysłu rolno spożywczego ze szczególnym uwzględnieniem zakładów przetwórstwa mleczarskiego i mięsnego. W ramach modernizacji zakładowej oczyszczalni ścieków mleczarskich Spółdzielni Mleczarskiej Bielmlek zastosowano proces flotacji ciśnieniowej we wstępnym oczyszczaniu ścieków. Część biologiczna oparta została o dwa reaktory typu SBR z turbinami mieszająco napowietrzającymi. Zastosowanie flotatora DAF firmy Pek – Mont znacznie zmniejszyło obciążenie reaktorów biologicznych substancją organiczną jak i biogenami. W artykule przedstawiono rezultaty badań wstępnych przeprowadzonych w 2013 roku dotyczących charakterystyki ścieków surowych, po procesie flotacji oraz odprowadzanych do odbiornika. Określono takie parametry jak wartości BZT₅, ChZT oraz stężenia azotu amonowego, fosforu ogólnego i suchej pozostałości. Zawartość tłuszczu określono poprzez analizę wartości ekstraktu eterowego w ściekach przed i po procesie flotacji. Wartość BZT₅ w ściekach surowych wynosiła od 1300 do 1850 mgO₂/dm³, natomiast ChZT od 1445 do 2768 mgO₂/dm³. Wartość BZT₅ w procesie flotacji uległa obniżeniu nawet do 660 mgO₂/dm³, natomiast ChZT do 866 mgO₂/dm³. Wysoką efektywność flotatora zaobserwowano także w przypadku stężenia fosforu ogólnego. Jego stężenie ulegało obniżeniu z około 14,6 do 1,9 mgP/dm³. Wysoka efektywność flotatora zapewniła stabilną pracę reaktorów biologicznych, nie wystąpiła potrzeba dodatkowego stosowania chemicznego strącania fosforu.

1. Wstęp

Ścieki mleczarskie to prawie w całości produkt mycia i płukania linii produkcyjnych oraz cystern dowożących mleko. Głównym zanieczyszczeniem jest mleko, serwatka i środki myjące. Duża zawartość mleka w ściekach wpływa na obecność tłuszczu. Jest on wysoce niepożądana w procesie oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego ze względu na oblepianie kłaczek i odcinanie ich od źródła tlenu i substratów. Dodatkowo, tłuszcze zmniejszają światło kanałów, osadzając się na ich ścianach oraz tworzą uciążliwe kożuchy na powierzchni zbiorników i reaktorów. Podstawowym urządzeniem do usuwania tłuszczu jest flotator ciśnieniowy w systemie DAF (Dissolved Air Flotation), który jest powszechnie stosowany w oczyszczalniach krajowych jak i zagranicznych [1-3]. Brak tych urządzeń w oczyszczalniach projektowanych i eksploatowanych w XX wieku powodował wiele problemów między innymi z efektywnym usuwaniem fosforu ze ścieków [4].

Zakłady mleczarskie charakteryzują się odprowadzaniem ścieków o bardzo zmiennych stężeniach zanieczyszczeń uzależnionych od aktualnego procesu technologicznego. Mycie linii produkcyjnych przebiega w cyklach kwaśno – zasadowych, niezbędny w ciągu oczyszczania jest, więc zbiornik uśredniający. Produkcja poszczególnych asortymentów generuje bardzo zróżnicowane ładunki zanieczyszczeń, co okazuje się problematyczne, gdy wymagane jest utrzymanie stałego obciążenia osadu czynnego ładunkiem zanieczyszczeń. Flotator DAF, w zależności od zadanej nastawy dozowanych chemikaliów, jest w stanie zmniejszyć nawet do 70% ładunku zanieczyszczeń. Pozwala on zatem na elastyczne operowanie oczyszczalnią ścieków w przypadku zmiennych dopływów.

Proces flotacji (wznoszenia) występuje w każdym zbiorniku, w którym następuje zmniejszenie prędkości i uspokojenie zwierciadła ścieków. Cięższe zawiesiny opadają na dno, tworząc osad, lżejsze natomiast wypływają na powierzchnię i tworzą kożuch [6]. Flotator przyspiesza i usprawnia proces naturalnej flotacji poprzez przedmuchiwanie ścieków sprężonym powietrzem. Dzięki temu można usunąć ze ścieków również cząstki od nich cięższe, które także zostaną wyniesione na powierzchnię. Tłuszcze i oleje dopływają do flotatora w postaci zemulgowanej. Do rozszczepiania emulsji stosuje się zazwyczaj koagulanty żelazowe i glinowe PIX oraz PAX. W celu destabilizacji substancji rozpuszczonych i tworzenia większych aglomeratów, które łatwiej ulegają wznoszeniu, stosuje się różnego rodzaju polielektrolity kationowe – flokulanty.

2. Opis obiektu i metodyka badań

Badania wykonywano na terenie przyzakładowej oczyszczalni ścieków S.M Bielmlek. Zakład mleczarski rozpoczął swoją działalność w latach 50-tych XX wieku. Dynamiczny rozwój determinował liczne rozbudowy i modernizacje. Obecnie jest to jeden z najnowocześniejszych i najlepiej działających obiektów przemysłowych w województwie podlaskim. Zaplecze technologiczne dostosowane jest do wyrobu szerokiej gamy produktów mleczarskich: od kefirów i jogurtów, poprzez sery twarde do mleka w proszku. Obecnie S.M. Bielmlek eksportuje swoje towary m.in. do takich krajów jak: Algieria, Iran i Maroko. Zdolność przerobowa zakładu wynosi 500 m³ mleka na dobę i obliguje do posiadania pozwolenia zintegrowanego IPPC. Rzeczywiste ilości przetworzonego surowca oraz pobranej wody i wytworzonych ścieków w 2013 roku przedstawione zostały w tabeli 1.

Tabela 1. Ilości przerobionego surowca oraz pobranej wody i wytworzonych ścieków w 2013 roku

Miesiąc	Pobór wody	Ścieki surowe	Skup mleka		Współczynnik wytwarzania ścieków		Wskaźnik zużycia wody
	m ³	m ³	m ³	Mg	m ³ ścieków/m ³ mleka	m ³ ścieków/Mg mleka	m ³ wody/m ³ mleka
Styczeń	23280	18682	6159,389	6344,171	3,03	2,94	3,78
Luty	20070	16089	5586,096	5753,679	2,88	2,80	3,59
Marzec	14990	18231	6259,386	6447,168	2,91	2,83	2,39
Kwiecień	13480	15772	6284,292	6472,821	2,51	2,44	2,15
Maj	16400	16216	6985,52	7195,086	2,32	2,25	2,35
Czerwiec	23120	24361	6749,893	6952,39	3,61	3,50	3,43
Lipiec	18050	23430	7185,31	7400,869	3,26	3,17	2,51
Sierpień	16520	23681	6921,912	7129,569	3,42	3,32	2,39
Wrzesień	11270	14247	6614,785	6813,229	2,15	2,09	1,70
Październik	23570	26392	6511,972	6707,331	4,05	3,93	3,62
Listopad	15780	20294	5789,847	5963,542	3,51	3,40	2,73
Grudzień	16650	25968	5962,331	6141,201	4,36	4,23	2,79
RAZEM:	213180	243363	77010,73	ŚREDNIO:	3,17	3,08	2,79

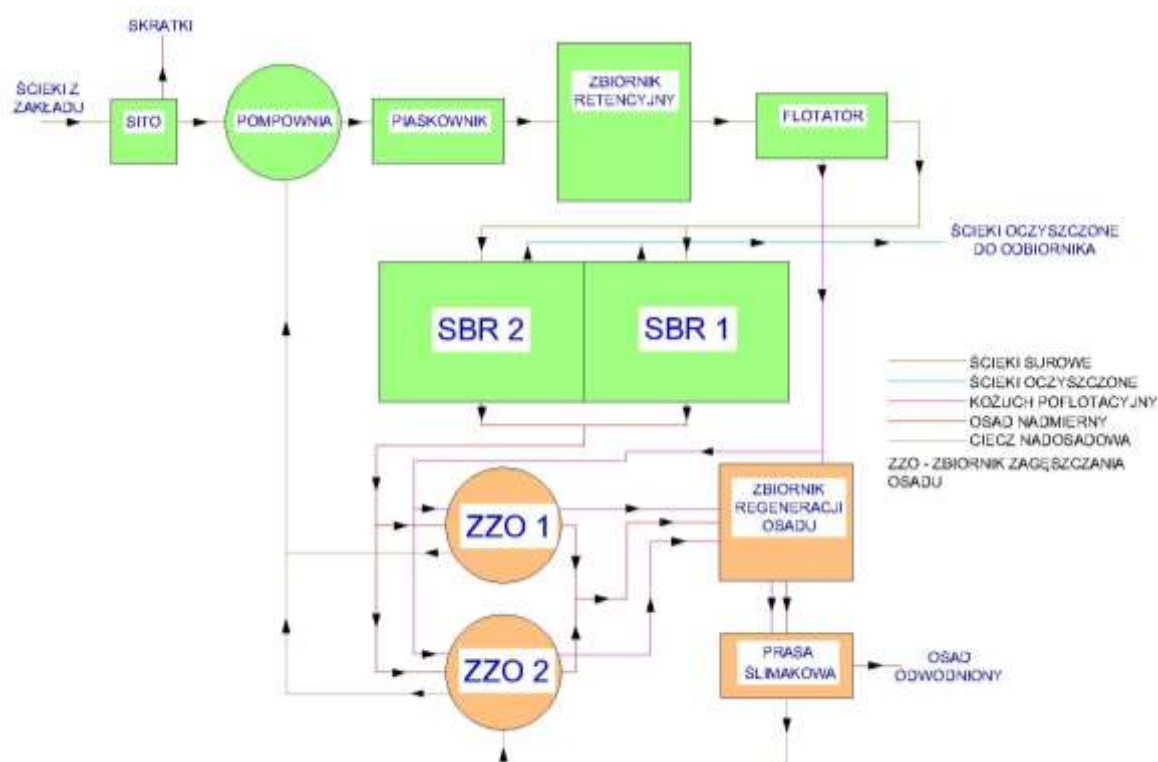
Źródło: Badania własne

2.1. Charakterystyka oczyszczalni ścieków

Oczyszczalnia została uruchomiona w latach 70-tych ubiegłego wieku. Zaprojektowana była na średni dobowy przepływ $Q_{dsr}=1800 \text{ m}^3/\text{d}$ oraz następujące ładunki zanieczyszczeń: $L_{BZT5}=1492 \text{ kgO}_2/\text{d}$ oraz $L_{Zaw.Og}=314 \text{ kg/d}$. Proces oczyszczania prowadzony był w oparciu o stopień mechaniczny: kraty koszowe, piaskownik poziomy i stopień biologiczny: baseny pełnego mieszania (rowy cyrkulacyjne) typu Promleczech współpracujące

z radialnymi osadnikami wtórnymi. Obiekt zaprojektowany był na przepływ tłokowy z recykulacją osadu oraz jego tlenową regeneracją. Osiągany był wymagany stopień oczyszczania w świetle obowiązujących przepisów: usuwanie BZT₅ i zawiesiny ogólnej. Wprowadzenie regulacji określających konieczność redukcji związków biogenych – azotu i fosforu oraz zmiana charakteru produkcji zakładu (technologie wodo – oszczędne) wymusiły konieczność modernizacji oczyszczalni. W 2010 roku na terenie oczyszczalni wdrożono układ do oczyszczania odcieków z tlenowej stabilizacji osadów oparty o pionowe złożo hydrofitowe w ramach współpracy naukowo technicznej z Politechniką Białostocką [5].

W 2011 r. obiekt poddany został gruntownej modernizacji, aby sprostać wymaganiom nowych przepisów, dotyczących konieczności usuwania związków biogenych. Stara technologia oparta o przepływ tłokowy została zastąpiona sekwencyjnymi reaktorami SBR. Na rysunku 1 przedstawiony został schemat technologiczny oczyszczalni po modernizacji.



Rysunek 1. Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków S.M. „Bielmlek” po modernizacji

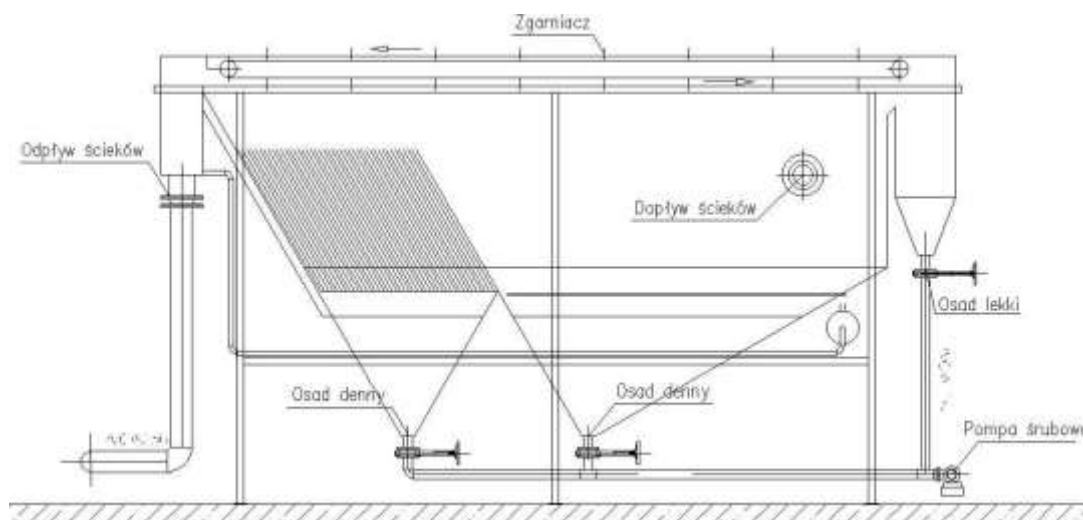
Źródło: Opracowanie własne.

Ścieki poprodukcyjne grawitacyjnie dopływają do sita pionowego firmy Pek-Mont o prześwicie $\Phi 6\text{mm}$. Na sicie zatrzymywane są większe zanieczyszczenia stałe, które są odwadniane na prasie ślimakowej i wywożone na wysypisko odpadów stałych. Z komory sita

ścieki spływają do pompowni głównej, pełniącej jednocześnie rolę dyspozytorni. Pompownia wykonana jest jako ziemny, żelbetowy zbiornik o przekroju kołowym i wyposażona jest w dwie zatapialne pompy produkcji Grundfoss. Z pompowni ścieki tłoczone są na piaskownik poziomy na którym następuje sedymentacja zanieczyszczeń łatwo opadających. Kolejnym elementem w ciągu technologicznym jest zbiornik uśredniający, wyposażony w dwa mieszadła hiperboidalne oraz system napowietrzania wstępnego. Dwie zatapialne pompy produkcji KSB tłoczą ścieki ze zbiornika uśredniającego na flotator ciśnieniowy. Proces flotacji, wspomagany dozowaniem koagulantów oraz polielektrolitu, jest ostatnim procesem oczyszczania mechanicznego. Pozbawione tłuszczu, zawieszin łatwo opadających oraz kilkudziesięciu procent ładunku zanieczyszczeń ścieki odpływają grawitacyjnie do części biologicznej oczyszczalni. Część biologiczną stanowią dwa reaktory SBR (Sequence Batch Reactor) wyposażone w turbiny w systemie Biogest [7]. Opracowany przez Biogest system sterowania turbinami umożliwia przebieg następujących po sobie cykli napowietrzania i cyrkulacji biomasy oraz mieszania z wyłączonym napowietrzaniem. Dzięki przemianom cykli napowietrzania i mieszania, w reaktorze zachodzą warunki do nityfikacji, denityfikacji oraz defosfatacji w strefach anoksycznych. Po zakończeniu fazy napełniania reaktora, turbiny zostają wyłączone i rozpoczyna się proces sedymentacji, w wyniku którego następuje rozdział ścieków oczyszczonych i osadu [8]. Ścieki oczyszczone zostają zdekantowane do odbiornika po uprzednim przepływie przez sondę mętności. Powstający w procesie osad nadmierny, tłoczony jest do grawitacyjnych zagęszczaczy, w których zawartość suchej masy wzrasta do ok. 1,5%. Aby zapobiec zagniwaniu, zagęszczony osad poddawany jest tlenowej stabilizacji w zbiorniku regeneracji osadu. Zbiornik wyposażony jest w turbinę napowietrzającą mieszającą w systemie Biogest. Ostatnim etapem przeróbki osadów jest prasa ślimakowa firmy HUBER, służąca ostatecznemu odwodnieniu osadu do ok. 15% zawartości suchej masy. Ustabilizowane i odwodnione osady wykorzystywane są rolniczo.

Urządzenie sedymentacyjno - flotacyjne USF 40 produkcji Pek – Mont działa na zasadzie saturacji rozpuszczonym powietrzem (DAF – Dissolved Air Flotation). Flotator składa się z komory głównej o pojemności czynnej 8m^3 , koryta na kozuch, przelewu z korytem zbiorczym na odpływie, zgarniaczy oraz lejów osadowych. Komora czynna posiada wydzielony separator lamelowy, wspomagający sedymentację. Urządzenie współpracuje z flokulatorem rurowym, w którym następuje mieszanie ścieków z chemikaliami oraz ze stacją dozowania w której chemikalia te są przygotowywane.

W wyniku procesu flotacji na powierzchni ścieków w komorze tworzy się kożuch zanieczyszczeń, który zgarniany jest do koryta przez zespół zgarniaczy. Z koryta odprowadzany jest za pomocą pompy ślimakowej razem z osadami dennymi powstałymi jako efekt sedimentacji w lejach i na separatorze lamelowym. Rysunek 2 przedstawia schematyczną budowę urządzenia.



Rysunek 2. Schemat budowy flotatora DAF USF-40 produkcji Pek-Mont

Źródło: [8]

Istotą działania flotatora ciśnieniowego jest saturacja rozpuszczonym powietrzem, czyli wytwarzanie pęcherzyków wynoszących zanieczyszczenia na powierzchnię. W tym celu urządzenie USF-40 współpracuje z wielofazową pompą saturacyjną produkcji Edur. System sterowniczy oczyszczalni uruchamia pompę równocześnie z rozpoczęciem przepływu przez flotator. Pompa pobiera strugę ścieków po flotacji i poprzez zawór iniekcyjny miesza ją ze strumieniem powietrza pobranego przewodem ssawnym. Mieszanina ścieków i powietrza wtłaczana jest do zbiornika saturacyjnego, gdzie pod ciśnieniem 3-4 Bar następuje nasycenie ścieków pęcherzykami gazu. Ścieki z powietrzem, bezpośrednio ze zbiornika saturacyjnego, wstrzykiwane są pod ciśnieniem do strumienia ścieków surowych dopływających do flotatora. Aby maksymalnie usprawnić proces, możliwa jest regulacja zarówno natężenia przepływu powietrza i ścieków jak i ciśnienia w zbiorniku saturacyjnym. Rysunek 3 przedstawia zespół urządzeń do nasycania ścieków powietrzem.



Rysunek 3. Urządzenia współpracujące z flotatorem, służące do nasycania ścieków powietrzem: a) widok na zestaw saturacyjny, b) widok ogólny na flotator; 1 – przewód ssawny powietrza, 2 – zawór iniekccyjny, 3 – zbiornik saturacyjny, 4 – wlot mieszaniny ścieków i powietrza na flotator, 5 – pompa saturacyjna

Źródło: Archiwum własne autora.

W procesie oczyszczania stosowane są następujące chemikalia:

- a) Koagulant żelazowy PIX113 – wodny roztwór siarczany żelaza (III) o zawartości żelaza ogólnego ok. 11,8%. W technologii ścieków stosowany głównie do chemicznego strącania fosforu. Dawka zalecana przez producenta: 15gPIX na każdy 1g fosforu usuwanego w 1m³ oczyszczanych ścieków;
- b) Koagulant glinowy PAX18 – wodny roztwór chlorku poliglinu o zawartości Al₂O₃ ok. 17% i aktywnego jonu Al³⁺ ok. 9%. W technologii ścieków stosowany jako środek wspomagający sedymentację zawiesin łatwo opadających oraz osadu czynnego. Wysoce skuteczny również w walce z bakteriami nitkowatymi;
- c) Flokulant F414 – polielektrolit kationitowy w postaci proszku. Dozowany do ścieków jako roztwór o maksymalnym stężeniu 5g/dm³. Jego rola w procesie flotacji to destabilizacja cząsteczek koloidalnych i wytworzenie większych aglomeratów zanieczyszczeń, które łatwiej zostają wynoszone na powierzchnię bądź ulegają sedymentacji.

2.2. Metodyka badań

Próbki ścieków pobierane były ręcznie, jako średnie z ośmiogodzinnej zmiany pracy zakładu w odstępach jedno - godzinowych między 6:00 a 14:00. Pobór próbek miał miejsce w okresie od 29 stycznia do 12 lutego 2014 r. Po dokonaniu poboru próbek chwilowych zlewano je do naczyń zbiorczych w celu uśrednienia i przekazywano do zakładowego laboratorium. Ścieki przed flotatorem pobierano ze specjalnie przygotowanego zaworu spustowego na wlocie do urządzenia. Ścieki po procesie flotacji pobierane były bezpośrednio z koryta przelewowego urządzenia. Zmiana nastaw pomp dozujących chemikalia dokonywana była z dobowym wyprzedzeniem, aby zapewnić wiarygodność wyników. Jednocześnie, pobierane były próbki ścieków oczyszczonych odpływających z reaktorów SBR. Metodyka poboru próbek i badań była taka sama jak w przypadku próbek przed i po procesie flotacji. W ściekach oczyszczonych nie oznaczano ekstraktu eterowego oraz suchej pozostałości. Tabela 2 przedstawia ilości dozowanych koagulantów i flokulanta przypadających na poszczególne nastawy pomp dozujących.

Tabela 2. Dawki obliczeniowe koagulantów i flokulanta dozowane do ścieków

Nastawa pompy dozującej	Dawki obliczeniowe chemikaliów		
	Koagulant żelazowy PIX113	Koagulant glinowy PAX18	Flokulant F414
%	g/m ³	g/m ³	g/m ³
30	279	163	39
50	546	239	64
100	795	464	120

Źródło: Opracowanie własne

Metodykę oznaczania wskaźników przedstawiono w tabeli 3. Wszystkie oznaczenia wykonywane były w laboratorium S.M. Bielmlek. Wyjątkiem jest ekstrakt eterowy, którego oznaczenia dokonano w laboratorium Katedry Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska Politechniki Białostockiej.

Tabela 3. Zestawienie metod oznaczania wskaźników zanieczyszczeń ścieków

Wskaźnik	Metoda oznaczenia
Azot ogólny	Test kuwetowy z odczynnikiem firmy Merck. Wykonano na fotometrze Merck Nova 60.
Fosfor ogólny	Test kuwetowy z odczynnikiem firmy Merck. Wykonano na fotometrze Merck Nova 60.
Jon amonowy NH_4	Test kuwetowy z odczynnikiem firmy Merck. Wykonano na fotometrze Merck Nova 60.
BZT ₅	Metoda manometryczna z wykorzystaniem zestawu OxiTop Control firmy Merck.
ChZT	Test kuwetowy z odczynnikiem firmy Merck. Wykonano na fotometrze Merck Nova 60.
Sucha pozostałość	Metoda z użyciem wagosuszarki firmy Radwag. Temperatura suszenia 105 °C.

Źródło: Opracowanie własne

3. Wyniki badań i dyskusja

Otrzymane wyniki przedstawione zostały w tabeli 4., która zawiera wartości wskaźników przed procesem flotacji, po procesie oraz obliczony efekt usunięcia wybranych wskaźników.

Tabela 4. Zestawienie otrzymanych wyników

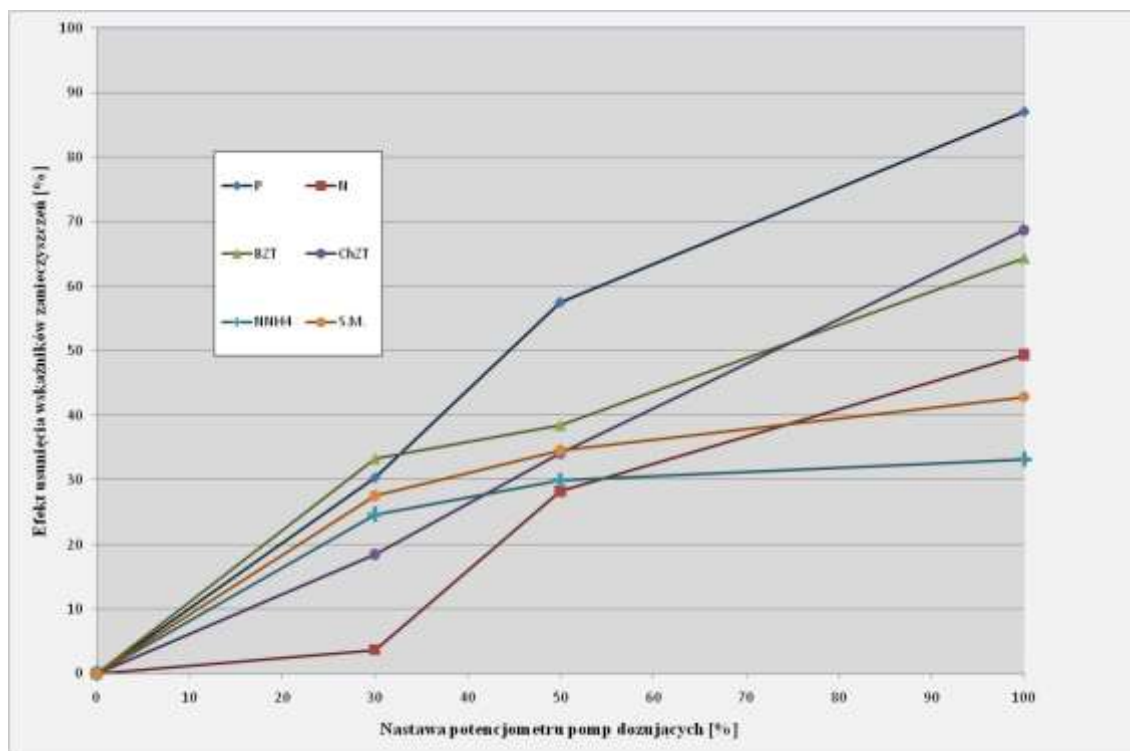
Parametr		Nastawa pomp dozujących [%]								
		30			50			100		
		Przed flotatorem	Po flotatorze	Efekt usunięcia [%]	Przed flotatorem	Po flotatorze	Efekt usunięcia [%]	Przed flotatorem	Po flotatorze	Efekt usunięcia [%]
Fosfor ogólny	mgP/dm ³	16,8	11,7	30,4	16,0	6,8	57,5	14,6	1,9	87,0
Azot ogólny	mgN/dm ³	81,0	78,0	3,7	85,0	61,0	28,2	79,0	40,0	49,4
BZT ₅	mgO ₂ /dm ³	1350,0	900,0	33,3	1300,0	800,0	38,5	1850,0	660,0	64,3
ChZT	mgO ₂ /dm ³	1790,0	1460,0	18,4	1445,0	952,0	34,1	2768,0	866,0	68,7
Azot amonowy	mgN _{NH4} /dm ³	6,5	4,9	24,6	30,0	21,0	30,0	21,1	14,1	33,2
Sucha pozostałość	kg _{s.m.} /m ³	2,9	2,1	27,6	2,4	1,6	34,6	2,8	1,6	42,9

Źródło: Badania własne

Zaobserwowano zwiększenie efektu usunięcia zanieczyszczeń wraz ze wzrostem dawkowanych chemikaliów. W celu zobrazowania zależności efektu usunięcia wskaźników zanieczyszczeń od ilości dawkowanych środków chemicznych, dane przedstawiono na rysunku 3. Najlepsze efekty uzyskano przy usuwaniu fosforu ogólnego – wartość na wylocie z flotatora ulegała obniżeniu do $1,9 \text{ mgP/dm}^3$ przy nastawie pomp dozujących wynoszącej 100%. Zmniejszenie wartości BZT_5 sięgało 64,3%, ChZT natomiast 68,7 %. Zawartość tłuszczu wyrażona poprzez ekstrakt eterowy zmalała po procesie flotacji o 37,9 % z wartości początkowej 66 mg/dm^3 do wartości 41 mg/dm^3 .

Ścieki oczyszczone, których parametry w dniach badania efektywności procesu flotacji przedstawia tabela 5, spełniały warunki dopuszczalne w pozwoleniu zintegrowanym. W przypadku ścieków oczyszczonych nie stwierdzono stałej zależności między efektywnością flotatora, a efektywnością części biologicznej. Wpływa na to zmienna skuteczność oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego, uwarunkowana takimi czynnikami jak wiek osadu, indeks osadu, stężenie biomasy w reaktorze czy temperatura powietrza. Badania przeprowadzano w odstępach czasowych, niemożliwe, więc było zapewnienie stałych warunków w części biologicznej oczyszczalni. Bezpośredni wpływ efektywności flotatora na pracę części biologicznej może stanowić cel dalszych badań.

Obciążenie osadu czynnego ładunkiem zanieczyszczeń w okresie badań wahało się od 0,07 do $0,1 \text{ kgBZT}_5/\text{kg}_{\text{s.m.d}}$ co wpływało na dobrą pracę systemu projektowanego jako układ niskoobciążony ładunkiem zanieczyszczeń. Osad charakteryzował się dobrą wartością indeksu objętościowego, nie przekraczającą 150 ml/g . Nie zaobserwowano nadmiernego wzrostu bakterii nitkowatych oraz zjawiska oblepiania kłaczek osadu przez związki tłuszczowe.



Rysunek 3. Wykres zależności efektu usunięcia wskaźników zanieczyszczeń od ilości dozowanych chemikaliów

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 5. Parametry ścieków oczyszczonych w dniach badań efektywności flotatora

Nastawa pomp dozujących [%]	Parametr		Przed flotatorem	Po flotatorze	Redukcja po flotacji [%]	Ścieki oczyszczone po SBR	Skuteczność oczyszczalni [%]	Wartość dopuszczalna wg pozwolenia zintegrowanego
30	Fosfor ogólny	mgP/dm ³	16,8	11,7	30,4	0,5	97,0	2,0
	Azot ogólny	mgN/dm ³	81,0	78,0	3,7	10,5	87,0	30,0
	BZT ₅	mgO ₂ /dm ³	1350,0	900,0	33,3	6	99,6	25,0
	ChZT	mgO ₂ /dm ³	1790,0	1460,0	18,4	42	97,7	125,0
	Azot amonowy	mgN _{NH4} /dm ³	6,5	4,9	24,6	4,7	27,7	10,0
50	Fosfor ogólny	mgP/dm ³	16,0	6,8	57,5	0,8	95,0	2,0
	Azot ogólny	mgN/dm ³	85,0	61,0	28,2	4	95,5	30,0
	BZT ₅	mgO ₂ /dm ³	1300,0	800,0	38,5	18	98,6	25,0
	ChZT	mgO ₂ /dm ³	1445,0	952,0	34,1	21	98,5	125,0
	Azot amonowy	mgN _{NH4} /dm ³	30,0	21,0	30,0	0,41	98,6	10,0
100	Fosfor ogólny	mgP/dm ³	14,6	1,9	87,0	0,9	93,8	2,0
	Azot ogólny	mgN/dm ³	79,0	40,0	49,4	17,3	78,1	30,0
	BZT ₅	mgO ₂ /dm ³	1850,0	660,0	64,3	6	99,7	25,0
	ChZT	mgO ₂ /dm ³	2768,0	866,0	68,7	86	96,9	125,0
	Azot amonowy	mgN _{NH4} /dm ³	21,1	14,1	33,2	0,6	97,2	10,0

Źródło: Opracowanie własne.

4. Wnioski

Analiza otrzymanych wyników pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

1. Efekt usunięcia wybranych wskaźników zanieczyszczeń rośnie wraz ze wzrostem dozowanych chemikaliów w procesie flotacji. Pozwala to na elastyczne operowanie oczyszczalnią ścieków z przemysłu mleczarskiego, charakteryzujących się wysoką zmiennością w ładunkach zanieczyszczeń. Operator oczyszczalni, na podstawie określenia stężenia ChZT, może tak dobrać ustawienia flotatora, aby utrzymać stałe obciążenie osadu czynnego ładunkiem zanieczyszczeń,
2. Utrzymywanie stałego obciążenia osadu czynnego za pomocą flotatora ciśnieniowego sprzyja zapobieganiu występowania takich negatywnych zjawisk jak puchnięcie osadu, nadmierny wzrost organizmów nitkowatych oraz oblepianie kłaczek osadu związkami tłuszczowymi,
3. Wysokie efekty uzyskane przy usuwaniu fosforu ogólnego na flotatorze, warunkują brak konieczności dodatkowego strącania tego związku biogenego po oczyszczaniu biologicznym,
4. Flotacja w systemie DAF to skuteczne narzędzie do obniżenia ładunku zanieczyszczeń organicznych zawartych w ściekach mleczarskich.
5. Uzyskany wysoki efekt usunięcia zawieszin, wyrażonych jako sucha pozostałość wyniósł średnio 35%, co sprzyja ochronie urządzeń mechanicznych w dalszym ciągu technologicznym a także mniejszej produkcji osadów nadmiernych w części biologicznej.
6. Badania pozwoliły operatorowi oczyszczalni S.M. Bielmlek na optymalizację dawek koagulantów i flokulanta. Przekłada się to na oszczędności związane ze zużyciem chemikaliów.
7. Produktem ubocznym flotacji jest tzw. flotat, czyli kożuch oraz osady denne, którego ilości są proporcjonalne do usuwanego ładunku zanieczyszczeń. Flotat wykazuje bardzo dobre właściwości, jako substrat do produkcji biogazu. Może być również stabilizowany tlenowo wraz z osadem nadmiernym i wykorzystywany rolniczo.

Literatura:

1. Bartkiewicz B., Umiejewska K.: *Oczyszczanie ścieków przemysłowych*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
2. Najlepsze Dostępne Techniki, wytyczne dla branży mleczarskiej, Ministerstwo Środowiska, Warszawa, 2005.
3. Ochrona środowiska w przemyśle mleczarskim (1998) Fundacja Programów Pomocy dla Rolnictwa (FAPA), Warszawa, 1998.
4. Magrel L., Dąbrowski W.: Oczyszczanie ścieków, unieszkodliwianie osadów pochodzących z zakładów przetwórstwa mleczarskiego, sprawozdanie merytoryczne z projektu badawczego Nr 7 T07G 029 11, Politechnika Białostocka, 1998.
5. Dąbrowski W.: (2009) Wdrożenie wyniku pracy badawczej Określenie przydatności złóż hydrofitowych do oczyszczania odcieków z tlenowej przeróbki osadów w oczyszczalniach ścieków mleczarskich, Centrum Innowacji i Transferu Technologii, Politechnika Białostocka.
6. Imhoff K., Imhoff K. R.: *Kanalizacja miast i oczyszczanie ścieków. Poradnik*. Arkady, Warszawa ,1982.
7. Dąbrowski W.: *Modernizacja oczyszczalni ścieków mleczarskich na przykładzie S.M. Bielmlek w Bielsku Podlaskim*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, Warszawa, 2012.
8. Wawrentowicz D., Sierocki R.: *Rozbudowa istniejącej oczyszczalni ścieków Spółdzielni Mleczarskiej „BIELMLEK”. Projekt budowlano – wykonawczy, część technologiczna*, Białystok ,2010.

mgr inż. Ewa Szymura, dr inż. Katarzyna Moraczewska-Majkut¹, mgr inż. Szymon Salwiczek,
dr inż. Witold Nocoń

Politechnika Śląska, Instytut Inżynierii Wody i Ścieków
ul. Konarskiego 18
44-100 Gliwice

¹e-mail: katarzyna.moraczewska-majkut@polsl.pl

Oczyszczalnie hydrobotaniczne w klimacie umiarkowanym

Słowa klucze: *oczyszczanie ścieków, oczyszczalnie hydrobotaniczne*

Streszczenie: W artykule omówiono zagadnienia związane z funkcjonowaniem oczyszczalni hydrobotanicznych w warunkach klimatu umiarkowanego. Przedstawiono ogólny podział oczyszczalni roślinnych oraz występujące tam mechanizmy oczyszczania ścieków. Opisano mechanizmy usuwania pierwiastków biogennych, metali ciężkich oraz zawiesin i organizmów patogennych. Przedstawiono również koszty oraz efektywność pracy oczyszczalni hydrobotanicznych w porównaniu z oczyszczalniami konwencjonalnymi w warunkach klimatu umiarkowanego. Zwrócono również uwagę na wady i zalety tego typu oczyszczalni ścieków.

1. Wstęp

Do niekonwencjonalnych sposobów oczyszczania ścieków, których popularność w Polsce w ostatnich latach bardzo się zwiększyła, można zaliczyć m.in. oczyszczalnie hydrobotaniczne, zwane też oczyszczalniami roślinnymi, filtrami gruntowo-korzeniowymi czy filtrami gruntowymi. Mają one wiele zalet i mogą być stosowane do oczyszczania ścieków pochodzących z pojedynczych gospodarstw, małych wsi, osiedli czy ośrodków agroturystycznych. Działanie tych systemów jest wzorowane na naturalnych ekosystemach podmokłych. Systemy te, podobnie jak występujące w przyrodzie siedliska roślin bagiennych, mają zdolność do rozkładu i zatrzymywania zanieczyszczeń [1].

W ostatnich latach, jako alternatywa dla małych oczyszczalni ścieków pojawiły się oczyszczalnie ścieków z udziałem roślin. Pierwsza tego typu powstała w latach pięćdziesiątych w Izraelu [4]. Badania dotyczące możliwości oczyszczania ścieków oraz tworzenie wytycznych do projektowania i budowania roślinnych oczyszczalni ścieków zostały podjęte w Niemczech w latach sześćdziesiątych [1, 2]. W Polsce pierwsze prace rozpoczęto w latach 80-tych i wtedy też wybudowano pierwsze tego typu obiekty [1].

Roślinne oczyszczalnie ścieków można zdefiniować, jako ekosystemy bagienne sztuczne tworzone w celu oczyszczania lub podczyszczania wód. Za oczyszczanie odpowiada złożony kompleks, jakim jest woda, podłoże mineralne, obumarłe części roślin, żywe rośliny, ogromna liczba mikroorganizmów oraz zwierzęta [2]. Na skutek specyficznych warunków umożliwiających rozwój hydrofitów następuje intensyfikacja procesów utleniania i redukcji, które wspomagane przez procesy sorpcji, sedymentacji i asymilacji umożliwiają usuwanie znaczącej części zanieczyszczeń ze ścieków.

2. Ogólny podział oczyszczalni roślinnych

Klasyfikację hydrobotanicznych systemów oczyszczania ścieków można przeprowadzić na dwa sposoby [3,1]:

- a. ze względu na rodzaj wykorzystywanej roślinności:
 - oczyszczalnie z roślinnością bagienną,
 - oczyszczalnie z roślinnością wodną zakorzenioną,
 - oczyszczalnie z roślinnością wodną pływającą,
 - oczyszczalnie wierzbowe,
- b. ze względu na kierunek przepływu:
 - z przepływem poziomym,
 - z przepływem pionowym,
 - systemy z powierzchniowym przepływem ścieków,
 - systemy z podpowierzchniowym przepływem ścieków,
 - systemy kombinowane.

W Polsce szczególne zainteresowanie towarzyszy oczyszczalniom z wykorzystaniem trzciny. W zależności od zastosowanego wypełnienia złoża, oczyszczalnie trzcinowe można dodatkowo podzielić na oczyszczalnie z wypełnieniem żwirowym oraz oczyszczalnie z wypełnieniem gruntem rodzimym z dodatkami [1].

2.1. Oczyszczalnie z roślinnością bagienną

Systemy z roślinnością bagienną (tzw. RZM- ang. Root Zone Method) - wykorzystuje się roślinność bagienną typową dla danego regionu. Są to tzw. systemy gruntowo-wodne. Przepływ ścieków przez warstwę glebowo-korzeninową powoduje odfiltrowanie zawiesiny i większych cząstek stałych [1].

Chemiczne właściwości ryzosfery roślin z jednej strony powodują precypitację niektórych związków, z drugiej - częściowo ułatwiają absorpcję związków biogennych przez rośliny. Najpopularniejszym systemem tego typu w Polsce jest system Kickutha wykorzystujący trzcinę pospolitą [1].

2.2. Oczyszczalnie z roślinnością wodną zakorzenioną

Oczyszczalnie tego typu wykonuje się najczęściej w formie rowów ziemnych z ciągłym przepływem ścieków. Zasadniczą rolę odgrywają systemy korzeniowe roślin, na których rozwija się swoisty ekosystem złożony z glonów, grzybów i mikroflory bakteryjnej. Stanowi on główny ośrodek redukcji zanieczyszczeń, w tym związków biogennych [1].

2.3. Oczyszczalnie z roślinnością wodną pływającą

Są to przeważnie izolowane baseny o głębokości powyżej 1 m. Ważnym elementem systemu jest pływająca po powierzchni ścieków roślinność wyższa, która wspomaga proces oczyszczania. Czas przebywania ścieków w zbiornikach jest długi i wynosi kilkadziesiąt dni. Istotnym elementem technicznym są pływające przegrody dzielące powierzchnię wody w zbiorniku na małe sekcje, w celu zapobiegania spychania roślin przez wiatr do brzegów zbiornika. Często urządzeniem towarzyszącym jest również specjalny sprzęt do zbierania i usuwania roślin. W zbiorniku wodnym następuje szczególnie wydajne usuwanie z wody związków azotowych i fosforowych [4].

2.4. Oczyszczalnie wierzbowe

W przypadku oczyszczalni wierzbowych wstępne podczyszczanie ścieków odbywa się w dwukomorowym osadniku gnilnym. Filtr gruntowo- roślinny o pojemności 180 m³ stanowiący II stopień oczyszczania wykonany jest, jako niecka. Dno i skarpy tej niecki wykłada się folia z tworzywa sztucznego, wypełnienie stanowi rodzimy grunt przepuszczalny. Filtr obsadza się wierzbą. Odbiornikiem ścieków jest zbiornik wodny znajdujący się w okolicy, który jednocześnie spełnia rolę III stopnia oczyszczania [1].

2.5. Oczyszczalnie trzcinowe

Oczyszczalnie ścieków z trzciną pospolita łączą procesy mechaniczne, chemiczne i biologiczne, zachodzące w środowisku gruntowo- wodnym.

Trzcina posadzona w tej oczyszczalni ma na celu [5]:

- transportowanie tlenu poprzez źdźbła do kłaczy i korzeni, a następnie do strefy gruntu wokół korzenia. Dzięki transportowi tlenu do korzenia, w powstałej strefie aerobowej zachodzi utlenianie związków węgla oraz proces nityfikacji azotu amonowego w wyniku oddziaływania bakterii tlenowych. W sąsiadującej strefie anaerobowej zachodzi proces defosfatacji i denityfikacji. Taki układ sprzyja zwiększeniu ilości mikroorganizmów w glebie;
- rozluźnienie struktury gruntu poprzez przerastanie korzeniami, a tym samym zwiększenie współczynnika filtracji;
- biokatalityczne działanie korzeni pozwalające na optymalny przyrost mikroorganizmów w strefie gruntowo- wodnej.
- pobieranie przez roślinę substancji pokarmowych i wbudowywanie ich w swoje komórki.

W oczyszczalniach trzcinowych osiągane są wysokie efekty oczyszczania zarówno w zakresie zawiesiny, jak i biochemicznego zapotrzebowania na tlen (BZT) oraz związków biogenych. Efektywność oczyszczalni w okresie zimowym obniża się o około 10-20% [5].

2.6. Oczyszczalnie z przepływem podpowierzchniowym poziomym

W oczyszczalniach tego typu ścieki przepływają w kierunku poziomym przez kompleks roślinno- gruntowy kilka centymetrów pod powierzchnia złoża. Poletko wypełnione jest żwirem lub piaskiem o jednakowej średnicy ziaren. W celu równomiernego rozprowadzenia ścieków w całym przekroju stosuje się obsypkę kamienną na wlocie i wylocie [2].

2.7. Oczyszczalnie z przepływem podpowierzchniowym pionowym

Ścieki rozprowadzane są nad poletkiem, spływają pionowo przez kompleks roślinno- gruntowy i zbierane są przez drenaż osadzony na dnie. Materiał filtrujący: żwir i kamienie, ułożony jest warstwami- jego średnica wzrasta ku dołowi. Stosuje się cykliczne napełnianie i odprowadzanie ścieków- nie są zasilane w sposób ciągły [6].

2.8. Oczyszczalnie z powierzchniowym przepływem ścieków

Podstawowym elementem wyróżniającym tego typu oczyszczalnie jest przepływ odbywający się nad powierzchnią gruntu. Głębokość obiektów waha się od kilku centymetrów do ok. 3 metrów. Często stosuje się w nich przegrody hydrauliczne lub są one tworzone w postaci kanałów serpentynowych wydłużających czas przebywania ścieków. Można stosować tutaj różne formy roślinności: wynurzoną, zanurzoną czy też pływającą [6].

2.9. Oczyszczalnie kaskadowe

Przy projektowaniu oczyszczalni biologicznych można również wykorzystać naturalne spadki terenu i na nich buduje się tzw. oczyszczalnie kaskadowe. Stokowe złożo gruntowo-roślinne ma postać pasa roślinnego, wykonanego w formie niecki odizolowanej od podłoża. Wypełnia je mieszanka piasku gruboziarnistego i gleby rodzimej, przerośniętej korzeniami roślin wodolubnych. W tym rozwiązaniu ścieki po 3- komorowym osadniku spływają do dwóch filtrów- poletek, usytuowanych względem siebie w sposób kaskadowy. Stąd ścieki są kierowane do niewielkiego stawu w celu ostatecznego doczyszczania [1, 7].

2.10. Oczyszczalnie typu „Lemna”

Oczyszczalnie typu „Lemna” składają się z dwóch stawów- tlenowego oraz doczyszczającego z rzęsą wodną, która jest hydrofitem pływającym na powierzchni wody. Staw z rzęsą wodną jest zaopatrywany w bariery pływające, aby uniemożliwić zdmuchiwanie rzęsy z wody przez wiatr. Rzęsa powinna pokryć całą powierzchnię wody, aby zapobiec namnażaniu się fitoplanktonu poniżej lustra wody. Bariera stworzona przez rzęsę powoduje utworzenie trzech stref w kolumnie wodnej stawu [1]:

- strefa natleniona powstała przy powierzchni na skutek produkcji tlenu przez samą rzęsę,
- strefa atoksyczna tworząca się w wyniku kontaktu stref tlenowej i beztlenowej,
- strefa beztlenowa powstała na skutek przebiegu rozkładu zanieczyszczeń organicznych przy deficycie tlenu.

Istotnym faktem jest utrzymanie odpowiedniej gęstości rzęsy i jej okresowy zbiór, aby powstający kozuch z przyrastającej rzęsy nie zrobił się za gruby i aby dolna jego część, do której nie dociera światło słońca, nie obumierała wydzielając do wody dodatkowy ładunek związków organicznych.

Oczyszczalnie tego typu uzależnione są od warunków klimatycznych, pracują tylko w sezonie letnim przez kilka miesięcy. Zaletą takich oczyszczalni jest to, że zastosowana rzęsa występuje w środowiskach od bardzo kwaśnych do zasadowych (pH 3,5-10,4) [1, 8].

3. Procesy oczyszczania zachodzące w oczyszczalniach hydrobotanicznych

Podobnie jak w przypadku oczyszczalni konwencjonalnych, zadaniem oczyszczalni hydrobotanicznych jest przede wszystkim usuwanie związków organicznych oraz azotu i fosforu. Ze ścieków powinny być usuwane także mikroorganizmy chorobotwórcze [9].

Złoże żwirowe wraz z wytworzoną na jego ziarnach błoną biologiczną oraz z korzeniami i obumarłymi częściami roślin tworzą swego rodzaju filtr, który posiada dużą zdolność do wyłapywania i zatrzymywania zanieczyszczeń. W zależności od właściwości i stanu skupienia zanieczyszczeń zatrzymywane są one w różny sposób. Części zawieszone ulegają mechanicznemu osadzaniu lub filtrowaniu. Zanieczyszczenia w formie płynnej są adsorbowane na ziarnach wypełnienia lub też ulegają biosorpcji na błonie biologicznej i korzeniach roślin. Część zanieczyszczeń jest strącana [2].

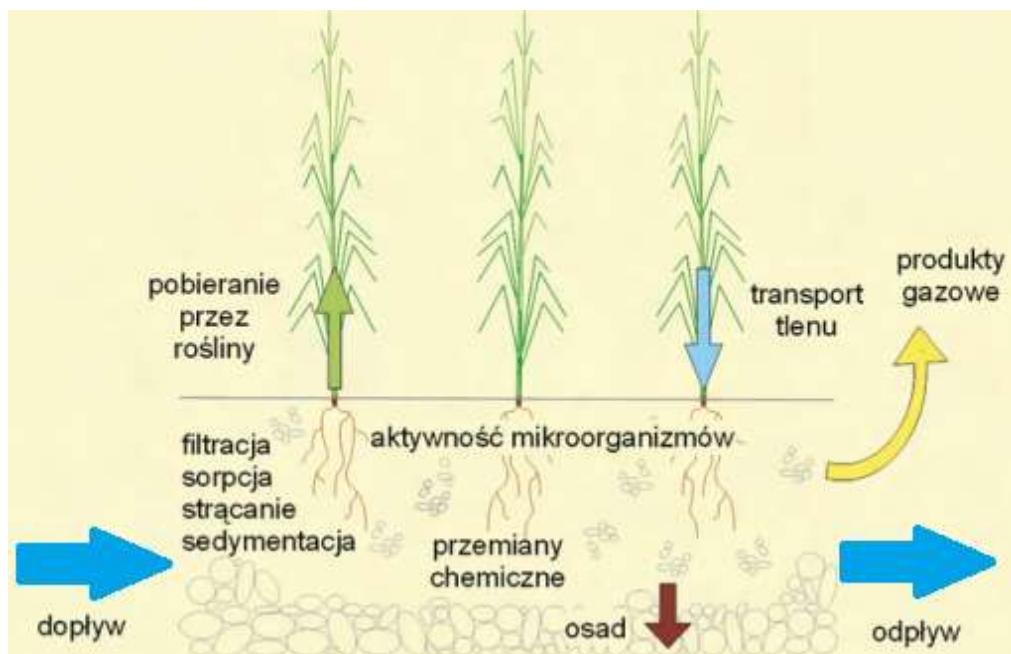
W procesie rozkładu zanieczyszczeń podstawową rolę pełnią mikroorganizmy, zaś korzenie roślin zielonych dostarczają im przede wszystkim tlenu oraz wygodnych miejsc do osiedlania. Transport tlenu do korzeni odbywa się tak zwanym systemem przewietrzającym, który tworzą komory wewnętrzne. Mogą one obejmować do 70% objętości organów roślin. Generalnie w złożu, przez które przepływają ścieki, panują warunki beztlenowe. Jednak wokół korzeni, w wyniku dostarczenia tlenu z nadziemnych części roślin, wykształca się strefa tlenowa [6].

Tworzy się w ten sposób, charakterystyczny dla systemów bagiennych, efekt mezoferyczny, polegający na powstaniu skomplikowanej mozaiki stref tlenowych i beztlenowych. Stwarza to warunki dla bytowania olbrzymiej różnorodności drobnoustrojów [6].

Szacuje się, że w złożu oczyszczalni roślinnej występuje około 100 razy więcej mikroorganizmów niż w osadzie czynnym stosowanym w tradycyjnych oczyszczalniach. Specyficzne warunki powodują, że procesy rozkładu zachodzą równolegle na drodze tlenowej i beztlenowej [2].

W wyniku działania różnorodnych, powiązanych ze sobą procesów biochemicznych, złożone substancje organiczne zostają rozłożone na proste związki chemiczne, łatwo przyswajalne przez rośliny i mikroorganizmy (Rysunek 1). Większość związków przyswajalnych jest pobierana i wykorzystywana przez drobnoustroje, a tylko około jednej dziesiątej przez

rośliny. Produkty metabolizmu bakterii opuszczają złożę w postaci gazów, jest to głównie - CO_2 pochodzący z rozkładu materii organicznej. Część zanieczyszczeń tworzy osad lub zostaje trwale związana z podłożem, a reszta opuszcza złożę z odpływem oczyszczonych ścieków [6].



Rysunek 1. Schemat mechanizmu usuwania zanieczyszczeń

Źródło: Szymura M., T. Szymura, A. Dunajski, T. Bergier: Oczyszczalnie roślinne jako rozwiązanie problemów ścieków w obiektach zabudowy rozproszonej, Wrocław 2010.

3.1. Usuwanie pierwiastków biogennych

Hydrofity wpływają przede wszystkim na przebieg reakcji nitryfikacji i denitryfikacji, powodując przekształcenie azotu amonowego do azotu gazowego. Proces ten jest możliwy wskutek sekwencyjnego rozkładu zakumulowanej naturalnej substancji organicznej [10].

Różnice między gatunkami makrofitów w pobieraniu makro- i mikroelementów mogą być znaczne. Spośród makrofitów wynurzonych, najwięcej azotu kumuluje w swoich tkankach manna **mielec** (*Glyceria maxima*), natomiast fosforu i potasu- tatarak zwyczajny (*Acorus calamus* L.), a sodu- pałka szerokolistna (*Typha latifolia* L.). Różnice w kumulacji pierwiastków stwierdza się nie tylko w różnych gatunkach, lecz również w poszczególnych częściach roślin tego samego gatunku [10].

Usuwanie związków fosforu następuje przede wszystkim na skutek procesów chemicznych zachodzących pomiędzy ściekami a mineralnym wypełnieniem złoża. Główne procesy to

adsorpcja na ziarnach mineralnych oraz wiązanie chemiczne przez związki żelaza, glinu i wapnia [6].

3.2. Usuwanie metali ciężkich

Usuwanie metali ciężkich ze ścieków odbywa się na drodze kilku procesów, które zachodzą w złożu oczyszczalni równolegle. Są to [6]:

- fizyczna i chemiczna adsorpcja,
- sorpcja przez organizmy wodne,
- strącanie lub współstrącenie.

Makrofity mają rozwinięty mechanizm aktywnego (selektywnego) pobierania niektórych metali ciężkich. Najczęściej metale pobierane aktywnie potrzebne są do rozwoju roślin. Takim przykładem są miedź i cynk. W przypadku aktywnego transportu stwierdza się również zależność między akumulacją w roślinie i ich zawartością w środowisku. Pobieranie metali ciężkich zależy też od postaci, w jakiej występują w środowisku (od stopnia utlenienia oraz rodzaju związku chemicznego, w który są wbudowane). Trzcina ma zdolności akumulacji metali ciężkich oraz wspomaga procesy ich sorpcji w podłożu ekosystemów hydrofitowych [10].

W systemach mokradłowych następuje charakterystyczne zjawisko zagęszczania mikrozanieczyszczeń (głównie metali ciężkich) w osadach znajdujących się w złożu. Zanieczyszczenia te w wyniku biokumulacji i sorpcji na substancjach zawieszonych oraz późniejszej sedymentacji usuwane są ze ścieków, ale jednocześnie ulegają zagęszczeniu w osadach dennych [6].

3.3. Usuwanie zawiesin i organizmów patogennych

Zawiesiny są zatrzymywane w złożu oczyszczalni hydrobotaniczne na drodze takich zjawisk jak osadzanie, filtracja oraz adsorpcja, natomiast ich usuwanie odbywa się głównie na skutek rozkładu przez mikroorganizmy [6].

Usuwanie organizmów patogennych następuje głównie na skutek oddziaływania naturalnego promieniowania UV, a także poprzez wpływ wydzielin niektórych roślin wyższych oraz antagonistycznego działania mikroorganizmów bytujących w złożu (Tab. 1). Organizmy te mogą być również usuwane na drodze filtracji i sedymentacji w złożu oraz późniejszego

obumierania. Usuwanie organizmów patogennych w oczyszczalniach hydrobotanicznych jest wysokie nawet bez stosowania dodatkowych zabiegów dezynfekujących [6].

Tabela 1. Zestawienie procesów odpowiedzialnych za usuwanie zanieczyszczeń ze ścieków w oczyszczalniach z przepływem powierzchniowym i podpowierzchniowym

Wskaźnik zanieczyszczenia	Oczyszczalnie z przepływem powierzchniowym	Oczyszczalnie z przepływem podpowierzchniowym
Materia organiczna	Rozkład biologiczny przez tlenowe oraz beztlenowe bakterie, unoszące się na wodzie oraz występujące na powierzchni roślin oraz cząstek osadu dennego	Rozkład biologiczny przez tlenowe oraz beztlenowe bakterie występujące na powierzchni złoża wypełniającego oraz rozwijające się w strefie korzeniowej roślin
Zawiesina	Sedymентация, filtracja	Filtracja, sedymентация
Azot	Nitryfikacja/ denitryfikacja, pobieranie przez rośliny, ulatnianie amoniaku	Nitryfikacja/ denitryfikacja, pobieranie przez rośliny, ulatnianie amoniaku
Fosfor	Sedymентация, pobieranie przez rośliny	Filtracja, adsorpcja na materiale wypełniającym, sedymентация, pobieranie przez rośliny
Metale ciężkie	Adsorpcja na żyjących oraz obumarłych fragmentach roślin oraz na cząstkach mineralnych i organicznych osadu dennego	Adsorpcja na materiale wypełniającym złoża, materiale organicznym, w strefie korzeniowej roślin
Organizmy chorobotwórcze	Naturalne obumieranie, drapieżnictwo sedymентация, wydzielanie antybiotyków przez korzenie roślin	Naturalne obumieranie, drapieżnictwo sedymентация, wydzielanie antybiotyków przez korzenie roślin

Źródło: Betgier T., A. Czech, P. Czupryński, A. Łopata, P. Wachniew, J. Wojtal: Roślinne oczyszczalnie ścieków przewodnik dla gmin, Kraków 2004

Oczyszczalnie roślinne usuwają zanieczyszczenia zawarte w ściekach również w warunkach zimowych. W okresie tym następuje około 20% spadek wydajności oczyszczania, ponieważ temperatura ścieków wynosi kilka stopni powyżej zera, więc nie zamarzają one, jeżeli są ciągle doprowadzane. Przy niskich temperaturach zaczynają dominować mikroorganizmy zimnolubne, które dalej przeprowadzają procesy oczyszczania. Potwierdzają to badania

przeprowadzone w krajach skandynawskich. Obumarłe fragmenty roślin oraz warstwa śniegu stanowią dobry izolator termiczny w okresie zimowym [6, 2].

4. Efektywność pracy oczyszczalni hydrofitowych w warunkach klimatu umiarkowanego

Oczyszczalnie hydrofitowe zapewniają osiągnięcie wysokich efektywności usuwania zanieczyszczeń we wszystkich porach roku. Odnotowuje się jednak pewne pogorszenie efektywności w okresie chłodnych miesięcy, co wynika ze spowolnienia procesów metabolicznych. Pomimo tego, zazwyczaj uzyskuje się stabilne rezultaty pracy, a także dotrzymywane są stężenia zanieczyszczeń w odpływie dzięki utrzymywaniu się stabilnej temperatury, a także wskutek izolacyjnego działania roślin [9].

Efektywność usuwania zanieczyszczeń zależy od czynników takich jak: czasu zatrzymania ścieków, konstrukcji oczyszczalni, składu gatunkowego roślin, stężenia poszczególnych zanieczyszczeń w ściekach surowych, warunków meteorologicznych, przede wszystkim temperatury, w mniejszym stopniu od nasłonecznienia i szybkości wiatru [6].

Usuwanie zanieczyszczeń w oczyszczalniach korzeniowych jest bardzo efektywne i wynosi dla BZT₅ – 86,0 do 92,6%, ChZT – 75%, azotu amonowego – 13,9 do 51,1%, azotu ogólnego – 29,8 do 54,9% i fosforu ogólnego – 54,4 do 66,2% [11].

Tabela 2. Porównanie efektywności oczyszczalni roślinnej z konwencjonalną na przykładzie oczyszczalni w Tarnowskich Górach

Wskaźnik	Oczyszczalnia roślinna	Oczyszczalnia konwencjonalna
BZT ₅	92,6 %	98,9 %
ChZT	75 %	92,9 %
Azot ogólny	54,9 %	91,3 %
Fosfor ogólny	66,2 %	87,4 %

Źródło: Sadecka Z.: Ocena efektywności pracy wybranych oczyszczalni hydrobotanicznych, Ochrona Środowiska nr 1, 2003.

Tabela 2 przedstawia porównanie skuteczności oczyszczania ścieków w oczyszczalni hydrobotanicznej i oczyszczalni konwencjonalnej. Skuteczność oczyszczania ścieków w oczyszczalni konwencjonalnej jest wyższa, ale trzeba mieć na uwadze, że wiąże się to ze znacznie wyższymi kosztami oczyszczania [11].

Na koszty budowy oraz eksploatacji oczyszczalni hydrobotanicznej składa się szereg czynników takich jak: poziom wód gruntowych, spadek terenu, charakter zabudowy, dostępność do odbiorników ścieków, rodzaj technologii oraz wielkość oczyszczalni [12].

Przykład porównania oczyszczalni roślinnej i konwencjonalnej mechaniczno - biologicznej dla 2500 osób pokazuje, że oczyszczalnia roślinna jest tańsza zarówno na etapie budowy jak i późniejszej eksploatacji (Tab. 3). Niskie koszty eksploatacji oczyszczalni hydrofitowych związane są przede wszystkim z brakiem zapotrzebowania na energię elektryczną oraz płace. Wynika to ze stosunkowo prostej obsługi, ograniczającej się do rutynowego obchodu oraz zbiegów pielęgnacyjnych [2, 12].

Tabela 3. Porównanie przykładowych kosztów oczyszczalni roślinnej i konwencjonalnej dla 2500 osób

Rodzaj oczyszczalni	Konwencjonalna	Roślinna
Koszty budowy [tys. zł]	1663	1619
Roczne koszty eksploatacji [tys. zł]	132,2	83,8
Kwota zaoszczędzona w okresie 10 lat eksploatacji: 491 tys. zł		

Źródło: Betgier T., A. Czech, P. Czupryński, A. Łopata, P. Wachniew, J. Wojtal: Roślinne oczyszczalnie ścieków - przewodnik dla gmin, Kraków 2004.

W przypadku oczyszczalni roślinnych, poza efektem ekonomicznym należy brać pod uwagę efekt ekologiczny, związany ze wzbogaceniem różnorodności biologicznej, podniesieniem walorów krajobrazowych i wzrostem retencji [12].

5. Przykłady zastosowań oczyszczalni hydrobotanicznych

5.1. Wody deszczowe

W Polsce przeważają systemy kanalizacji rozdzielczej i większość sieci kanalizacji deszczowych odprowadza ścieki bezpośrednio do odbiornika, bez jakiegokolwiek oczyszczania, stanowiąc dla wód powierzchniowych poważne zagrożenie. Jest to szczególnie niebezpieczne dla płynących przez miasta małych cieków wodnych, dla których gwałtowne zrzuty z systemów kanalizacji deszczowej przekraczają możliwości hydrauliczne, a wprowadzany ładunek zanieczyszczeń stanowi poważne źródło skażenia [13].

Ścieki deszczowe spływające ze zlewni zurbanizowanych, powstające w fazie spływu powierzchniowego charakteryzują się wysoką zmiennością składu zanieczyszczeń oraz

nierównomiernością zrzedu ładunku zanieczyszczeń w jednostce czasu. Ścieki opadowe powinny być poddane procesom oczyszczania fizycznego jak również mikrobiologicznego. Zrealizować te założenia można w obiekcie hydrofitowym, który zapewnia równoczesne oczyszczanie ścieków w procesach o charakterze biologicznym, chemicznym oraz fizycznym [14].

Obiekty hydrofitowe nie wymagają systematycznego nadzoru człowieka, nakładów energii, a jednocześnie jak potwierdzają światowe doświadczenia, osiągają bardzo wysoką skuteczność oczyszczania wód opadowych. Wykazują one wysoką efektywność usuwania zanieczyszczeń, szczególnie w odniesieniu do zawiesin oraz zakumulowanych na ich powierzchni metali ciężkich: ołów 90-99%, miedź 60-80%. Dodatkową ich zaletę stanowi możliwość wykorzystania wód opadowych w miejscu powstawania ścieków, o ile pozwala na to dostępność terenu (np. systemy oczyszczające spływy z autostrad). Dzięki temu nie dochodzi do niebezpiecznego zachwiania równowagi wodnej. W przypadku wód opadowych kluczowym jest zastosowanie różnych stref roślinności, przystosowanych do specyficznych wymagań hydrologicznych [15].

Przykładem skutecznego wdrożenia oczyszczalni hydrofitowych do oczyszczania spływów deszczowych mogą być trzy obiekty wybudowane w latach 90-tych w województwie pomorskim. Obiekt zbudowany w rejonie miejscowości Bielkowo, na niewielkim cieku będącym dopływem zbiornika Straszyńskiego, ma za zadanie przechwycenie i oczyszczenie spływów z pól uprawnych, a pośrednio ochronę zbiornika Straszyńskiego przed zanieczyszczeniem. Kolejne dwa obiekty wybudowano: na Potoku Rynaszewskim w Miejskim Ogrodzie Zoologicznym w Gdańsku- Oliwie oraz na Potoku Swelina w Sopocie, powstały w bezpośredniej zlewni Zatoki Gdańskiej, w rejonie atrakcyjnym turystycznie, mają za zadanie przywrócić wodom Zatoki odpowiedniej klasy czystości i otwarcia kąpielisk [13].

5.2. Wody kopalniane

Wody kopalniane mają zwykle niski odczyn oraz charakteryzują się dużym stężeniem związków żelaza i manganu. Wydobywanie węgla wiąże się często z powstawaniem wód drenazowych. Oczyszczalnie tych wód w obiektach hydrofitowych jest tańsze od konwencjonalnego oczyszczania chemicznego. Obecnie używa się wielu różnego rodzaju

obiektów podtopionych, stosuje się rośliny wynurzone, przede wszystkim pałkę wodną. Często stosuje się szeregowo kilka obiektów, w których przeważają różne procesy oczyszczania. Istnieje, bowiem wiele naturalnych procesów sprzyjających oczyszczaniu wód kopalnianych. W natlenionej wodzie metale reagują z tlenem i wytracają się w postaci tlenków i wodorotlenków. Rozpuszczone żelazo wytrąca się w postaci jasnobrunatnego wodorotlenku, mangan jako tlenki lub wodorotlenki o barwie czarnej, zaś rozpuszczony glin w postaci wodorotlenku o barwie przezroczystej. Oczyszczanie wód drenazowych w obiektach hydrofitowych ma na celu przeprowadzenie wymienionych procesów w obiekcie, a nie w wodach odbiornika [10].

5.3. Oczyszczanie odcieków ze składowisk odpadów

Ocieki ze składowisk są ogromnym problemem nierozzerwalnie związanym z funkcjonowaniem składowisk komunalnych, które w Polsce są wciąż dominującą formą gospodarki odpadami. Szeroka gama zanieczyszczeń występujących w odcieku, wysokie ich stężenia, okresowe zmiany zarówno składu jak i ilości odcieku sprawiają, że konwencjonalne metody oczyszczania są technicznie bardzo trudne do zastosowania, kosztowne, a uzyskane efekty często niezadowalające [2].

Najlepszym rozwiązaniem jest oczyszczanie wód odciekowych na terenie składowiska. Dotychczas do oczyszczania odcieków stosowano metody fizyczne, chemiczne lub biologiczne, a najczęściej ich kombinację, gdyż uzyskanie zadowalających efektów oczyszczania przez zastosowanie tylko jednej z wymienionych metod jest zazwyczaj trudne, a nawet niemożliwe. W ostatnich latach pojawił się pomysł, aby do oczyszczania odcieków zastosować oczyszczalnie hydrobotaniczne. Różnorodność procesów biochemicznych i fizykochemicznych zachodzących w tych systemach zapewnia usuwanie nie tylko substancji organicznej i związków azotu, ale również zanieczyszczeń specyficznych np. metali ciężkich czy mikrozanieczyszczeń organicznych, takich jak WWA, PCB, detergenty [10].

Oczyszczalnia roślinna, jako system bardzo odporny na zmienne warunki, stanowi obiecującą technologię. Może być stosowana zarówno w celu podczyszczania odcieków przed skierowaniem ich do oczyszczalni komunalnej, jak również, jako kompletny i ekologiczny sposób rozwiązania problemu odcieków w miejscu ich powstawania na składowisku [2].

5.4. Oczyszczanie ścieków ze stacji paliw

Ścieki z obiektów przeznaczonych do dystrybucji i sprzedaży paliw płynnych stanowią wciąż nierozwiązany problem, którego znaczenie rośnie proporcjonalnie do wzrostu ilości pojazdów na drogach. Niemożliwe jest bezpośrednie odprowadzenie tych ścieków do kanalizacji komunalnej ze względu na zawartość substancji ropopochodnych. Polskie przepisy nakładają obowiązek wstępnego ich podczyszczenia. Obecnie w tym celu stosuje się separatory substancji ropopochodnych, które są kłopotliwe i kosztowne w użyciu, a dodatkowo nie rozwiązują problemu, gdyż powstający w efekcie ich pracy osad stanowi odpad niebezpieczny i jego utylizacja jest niezwykle trudna. Zastosowanie oczyszczalni hydrobotanicznych pozwala na mało kosztowne rozwiązanie problemu tego rodzaju ścieków. Technologia oferuje rozwiązania dostosowane do specyficznych warunków panujących na danej stacji [16].

5.5. Oczyszczalnie ogrodowe

Cechy odróżniające oczyszczalnię ogrodową od powszechnie stosowanych oczyszczalni roślinnych to przede wszystkim specjalna kompozycja roślin dostosowana do jakości ścieków, lokalnych warunków klimatycznych, a także upodobań użytkownika. W tradycyjnych oczyszczalniach hydrobotanicznych stosuje się przeważnie tylko jeden gatunek roślin – trzinę pospolitą, pałkę szerokolistną, sitowie lub wierzbę [2]. Lista gatunków roślin nadających się do użycia w oczyszczalniach ogrodowych w Polsce południowo - wschodniej obejmuje 66 gatunków charakterystycznych dla regionu i jednocześnie ozdobnych jak również 36 rodzajów roślin egzotycznych [16].

Podstawa do prawidłowego i długotrwałego funkcjonowania technologii jest dobry projekt i poprawna instalacja systemu. Każda oczyszczalnia musi być zaprojektowana indywidualnie w oparciu o dane o warunkach i rodzaju odprowadzanych ścieków i względy lokalizacyjne. Powierzchnia oczyszczalni przypadająca na jedną osobę to 5-7 m². Najprostszy system oczyszczania ścieków w oczyszczalni ogrodowej składa się ze szczelnego osadnika gnilnego z zainstalowanym filtrem usuwającym większe części stałe oraz poletka wypełnionego żwirem odpowiedniej wielkości i specjalnej kompozycji roślin. Osady mogą być wywożone co 10 – 15 lat. Wielką przewagą tego systemu nad tradycyjnymi systemami oczyszczania

ścieków jest stosowanie lokalnej siły roboczej i miejscowych materiałów zamiast kupna drogich, importowanych urządzeń i chemikaliów [2].

Posiadanie oczyszczalni ogrodowej może dostarczać szeregu korzyści ekonomicznych: można pozyskiwać kwiaty, gatunki drzewiaste mogą być używane na opał. Na prawidłowe działanie oczyszczalni nie mają wpływu środki chemiczne zwykle używane w gospodarstwach domowych takie jak proszki do prania, płyny do mycia naczyń, gdyż są one dezaktywowane w zbiorniku gnilnym [16].

Pomimo minusowej temperatury na zewnątrz, w złożu utrzymuje się stała temperatura, optymalna dla funkcjonowania mikroorganizmów. Te stałe warunki zapewnione są dzięki [2]:

- izolacji, jaką tworzą uschnięte naziemne części roślin,
- stałemu dopływowi ścieków,
- produkcji ciepła w procesach biochemicznych prowadzonych przez mikroorganizmy.

Obniżenie sprawności oczyszczalni w okresie zimowym szacowane na około 20% uwzględnione jest na etapie projektowania przez przyjęcie większej powierzchni poletka. Pod uwagę brane są również lokalne warunki klimatyczne.

5.6. Doczyszczanie ścieków

Innym zastosowaniem oczyszczalni hydrobotanicznych, szeroko rozpowszechnionym zwłaszcza w Skandynawii, jest doczyszczanie ścieków oczyszczonych w konwencjonalnej oczyszczalni ścieków. W takim przypadku oczyszczalnię roślinną buduje się, jako ostatni, końcowy etap oczyszczania i kieruje się na nią ścieki oczyszczone technologią konwencjonalną. Dzięki temu można poprawić ich, jakość, a szczególnie usunąć związki biogenne, poza tym poprawić lokalną retencję wody, przez jej dłuższe zatrzymanie. Obowiązujące obecnie w Polsce Prawo wodne, nakłada na eksploatatorów oczyszczalni nowe zaostrzone wymagania dotyczące, jakości ścieków zrzucanych do odbiornika i efektywności procesów oczyszczania. Może się okazać, że w przypadku wielu istniejących oczyszczalni o nie najnowszej technologii, zastosowanie dodatkowo sztucznego mokradła może być racjonalnym sposobem na wywiązanie się z obowiązków i dotrzymanie norm [2].

6. Zalety i wady oczyszczalni roślinnych

Oczyszczalnie hydrobotaniczne mają szansę trwale wpisać się w polski krajobraz i znacząco poprawić stan gospodarki wodno-ściekowej w naszym kraju. Wśród argumentów przemawiających na korzyść tego typu rozwiązań do najistotniejszych należą [12, 17]:

- prostota, zarówno pomysł jak i sposób wykonania możliwy jest do zrozumienia i zrealizowania przez każdego zainteresowanego,
- wysoki stopień redukcji BZT₅ i zawiesiny (90 – 95%),
- niewspółmiernie wysoki w porównaniu z metodami konwencjonalnymi stopień usuwania biogenów,
- niewrażliwość na nierównomierny dopływ ścieków,
- prostota obsługi,
- niskie koszty eksploatacji (w większości rozwiązań brak zapotrzebowania na energię elektryczną),
- naturalny wygląd i brak większych uciążliwości dla otoczenia oraz korzystne zwiększenie różnorodności biologicznej,
- możliwe jest skuteczne rozwiązanie problemu ścieków w miejscowościach charakteryzujących się budową rozproszoną,
- możliwość stosowania w obiektach użytkowanych sezonowo np. domy wczasowe.

Wadami oczyszczalni roślinnych są [17]:

- stosunkowo długi czas po jakim oczyszczalnia uzyskuje pełną sprawność,
- konieczność kontrolowania sprawności dopływu jak i odpływu ścieków,
- uciążliwość odorowa przy nieprawidłowej eksploatacji osadników gnilnych,
- mogą pojawić się niepożądane przez człowieka organizmy (np. komary).

7. Podsumowanie

W ostatnich latach coraz chętniej stosowane są systemy hydrofitowe, które umożliwiają nie tylko oczyszczanie ścieków, ale również stabilizację i humifikację powstających osadów, a więc pełne wykorzystanie substancji pokarmowych i wody. Są to systemy naturalne i funkcjonalne [28].

W Polsce najczęściej stosowane są oczyszczalnie z przepływem podpowierzchniowym, różniące się między sobą głównie rozwiązaniami związanymi ze składem poszczególnych warstw w filtrze gruntowo-roślinnym oraz składem gatunkowym nasad roślinnych.

Oczyszczalnie roślinne mogą być stosowane z powodzeniem do oczyszczania ścieków bytowo- gospodarczych powstających w gospodarstwach domowych, ośrodkach rekreacyjno-wypoczynkowych, w miejscowościach nieskanalizowanych oraz o zabudowie rozproszonej, w miejscowościach wypoczynkowych i uzdrowiskowych charakteryzujących się znacznymi wahaniami dopływu ścieków bytowo- gospodarczych w skali roku oraz jako uzupełnienie III stopnia oczyszczania ścieków w oczyszczalniach konwencjonalnych. Systemy hydrofitowe są stosowane również do oczyszczania wód kopalnianych, czy niektórych ścieków przemysłowych. Najnowsze ich zastosowania odnoszą się do oczyszczania odcieków np. generowanych ze składowisk odpadów komunalnych, czy mechanicznego odwadniania osadów ściekowych.

W klimacie umiarkowanym w warunkach zimowych po obumarciu roślin występuje obniżenie skuteczności oczyszczania złoża roślinnego, dlatego bardziej uzasadniona jest budowa oczyszczalni z podpowierzchniowym przepływem ścieków. W tym przypadku znika problem zamarzania powierzchni ścieków i braku dostępu tlenu do złoża. W procesie oczyszczania biorą udział głównie mikroorganizmy znajdujące się w złożu, dlatego proces nie zostaje zatrzymany pomimo braku intensywnej vegetacji roślin. Zimą pozostawia się obeschłą roślinność na złożu, stanowi ona warstwę izolacyjną dla oczyszczalni. Zimą konieczne jest także dłuższe przetrzymywanie ścieków na poletku roślinnym, aby zrekompensować spadek skuteczności oczyszczania.

Pomimo obniżenia sprawności redukcji zanieczyszczeń w okresie zimowym warto promować oczyszczalnie roślinne, biorąc pod uwagę ich zalety.

Metoda hydrofitowa oczyszczania ścieków jest traktowana jako technologia „zielona”, przyjazna środowisku i zapewniająca zrównoważony rozwój.

Literatura:

1. Kwarcia A.: *Roślinne oczyszczalnie ścieków*
<http://www.chem.uw.edu.pl/people/AMyslinski/cw13/korzenie.html> - 02.11.2013
2. Betgier T., A. Czech, P. Czupryński, A. Łopata, P. Wachniew, J. Wojtał: *Roślinne oczyszczalnie ścieków przewodnik dla gmin*. Kraków 2004
3. Gołąb M., W. Nocoń, R. Michalski: *Hydrobotaniczne oczyszczanie ścieków*, LAB Laboratoria, Aparatura, Badania, ISSN 1427-5619, vol. R. 17, nr 4, str. 6-10, 2012
4. Wójcik W., H. T. Odum, Ł. Szilder: *Ołów i cynk w środowisku oraz rola mokradel w ich usuwaniu*. Uczelniane wydawnictwo naukowo-dydaktyczne. Kraków 2004.

5. http://www.ekofil.gdynia.pl/Oczyszczalnie_trzciniowe_wg_tehnologii_dunskiej.html-16.11.2013
6. Szymura M., T. Szymura, A. Dunajski, T. Bergier: *Oczyszczalnie roślinne jako rozwiązanie problemów ścieków w obiektach zabudowy rozproszonej*. Wrocław 2010.
7. Jucherski A., A. Walczowski: *Wpływ wybranych makrolitów na skuteczność oczyszczania ścieków w stokowych złożach filtracyjnych gruntowo-roślinnych*. Prace własne ITP w Falentach, 2012.
8. Barbusiński K., H. Kościelniak, J. Gajda, J. Domagała: *Doświadczenia z eksploatacji oczyszczalni „Lemna” w gminie Świerklaniec*. Gaz, woda i technika sanitarna, nr 4 Lipiec-sierpień 2006
9. www.bodenfilter.de/hydrofitowych.htm - dostępność 31.10.2013
10. Obarska- Pempkowiak H., M. Gajewska, E. Wojciechowska: *Hydrofitowe oczyszczanie wód i ścieków*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2010
11. Sadecka Z.: *Ocena efektywności pracy wybranych oczyszczalni hydrobotanicznych*. Ochrona Środowiska, nr 1, str.13-16, 2003
12. Śliwka M.: Rozprawa doktorska: *Zastosowanie stymulacji laserowej wybranych gatunków hydrofitów do zwiększenia ich zdolności bioremediacyjnych*. Kraków 2007.
13. Obarska- Pempkowiak H., M. Gajewska, M. Arendacz: *Oczyszczanie wód opadowych w obiektach hydrofitowych*. Gaz, woda i technika sanitarna, nr 8 Wrzesień 2008.
14. Gajewska M., A. Wargin: *Możliwości zastosowania metody hydrofitowej w oczyszczaniu ścieków deszczowych zbieranych ze źródeł zanieczyszczeń liniowych*. http://www.innowrota.pl/sites/default/files/images/A.Wargin_M.Gajewska_2.pdf dostępność 31.10.2013
15. Obarska- Pempkowiak H., M. Gajewska, E. Wojciechowska: *Zastosowanie hydrofitowej metody oczyszczania ścieków na świecie i w Polsce*. Gaz, woda i technika sanitarna, nr 2 Luty 2012.
16. Jakubiak M., M. Śliwka: *Mokradła jako naturalne oczyszczalnie wody*. Kraków 2007.
17. Czuchra K.: *Hydrobotaniczne oczyszczanie ścieków*, Zielone Brygady, Kraków 1997.

Kinga Kurowska

Politechnika Krakowska, Katedra Ogrzewnictwa, Wentylacji, Klimatyzacji i Chłodnictwa

Ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków

kingakurowska1@gmail.com

Analiza systemu wentylacji i klimatyzacji (VAV I CAV) na przykładzie projektowym budynku biurowego

Słowa kluczowe: *klimatyzacja, wentylacja, VAV, CAV, zmienny przepływ powietrza, regulator VAV*

Streszczenie: Tematem artykułu jest analiza systemu klimatyzacji budynku z wykorzystaniem dwóch podsystemów: VAV (Variable Air Volume) dla przestrzeni, w której znajdują się pomieszczenia biurowe oraz CAV (Constant Air Volume) – do wentylacji pomieszczeń mieszkalnych. Obiekt, dla którego została zaprojektowana instalacja jest zlokalizowany w Tarnowie, woj. małopolskie. Zdecydowano zaprojektować system ze zmiennym przepływem powietrza ze względu na możliwości, jakie pozwala osiągnąć – indywidualna regulacja parametrów powietrza w pomieszczeniach przy zastosowaniu jednej centrali klimatyzacyjnej, zmniejszenie kosztów sieci przewodów oraz kosztów urządzeń przygotowania powietrza. W budynku, dla którego zostanie przedstawiony projekt klimatyzacji VAV znajdują się również mieszkania, dla których zastosowanie VAV nie byłoby dobrym rozwiązaniem, ponieważ oszczędności przynoszone przez ten system nie zrównoważyłyby jego kosztów. W pomieszczeniach mieszkalnych zdecydowano na zastosowanie klimakonwektorów, a wentylacja pomieszczeń odbywać się będzie w systemie CAV.

1. Wstęp

Podstawowe systemy klimatyzacji możemy podzielić na systemy z wtórnym lub centralnym uzdatnianiem powietrza. Pierwszy z nich zapewnia dostarczenie jedynie powietrza świeżego do pomieszczeń, natomiast wymagany strumień zimna lub ciepła jest uzyskiwany za pomocą czynnika pośredniczącego oraz urządzeń z zainstalowanymi wymiennikami ciepła w pomieszczeniach. Zasada działania drugiego z systemów polega na dostarczeniu do wentylowanych lub klimatyzowanych obiektów odpowiednio uzdatnionego (poza pomieszczeniem) strumienia powietrza nawiewanego, który będzie wystarczający do zbilansowania zysków lub strat ciepła. Powietrze dostarczane jest do pomieszczeń przy użyciu kanałów wentylacyjnych i rozprowadzane za pomocą nawiewników podłogowych, ściennych lub sufitowych. System ten możemy podzielić na dwa podsystemy: ze stałym strumieniem powietrza nawiewanego (CAV) oraz ze zmiennym strumieniem powietrza nawiewanego (VAV). [1,2]

1.1. System ze stałym strumieniem powietrza nawiewanego

System CAV charakteryzuje się regulacją jakościową – możliwa jest zmiana temperatury powietrza nawiewanego. Wielkość strumienia powietrza jest określana na podstawie maksymalnych zysków ciepła dla danego pomieszczenia. W przypadku, gdy zyski ciepła zmieniają swoją wartość w czasie, przez regulację temperatury nawiewu możliwe jest utrzymanie stałego strumienia powietrza. Aby zaoszczędzić energię, stosuje się odzysk ciepła lub recyrkulację. System ten nie pozwala na indywidualną regulację parametrów w kilku pomieszczeniach. Jest stosowany, gdy za pomocą jednej bądź kilku central chcemy klimatyzować jednocześnie pomieszczenie. [2]

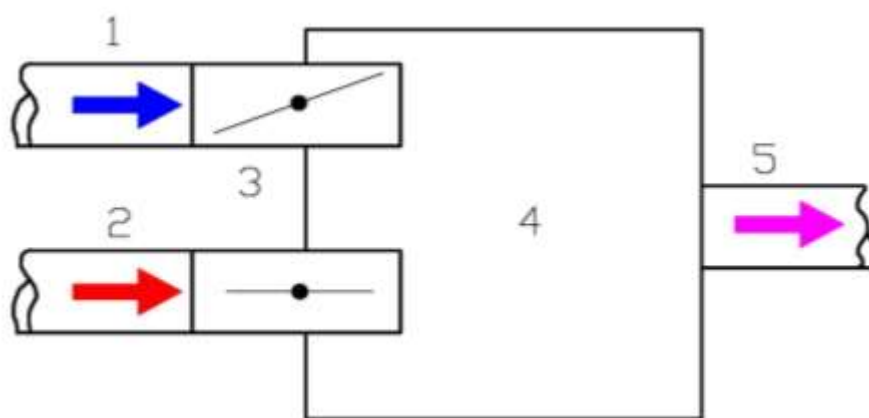
1.2. System ze zmiennym strumieniem powietrza nawiewanego

System VAV stanowi przeciwieństwo systemu ze stałym strumieniem powietrza nawiewanego – w tym wypadku stosowana jest regulacja ilościowa, a parametry powietrza nawiewanego są stałe. Aby móc zrealizować system VAV należy zastosować urządzenia specjalnie przeznaczone do tego celu - regulatory VAV potrafiące dostosować odpowiedni strumień powietrza do aktualnego zapotrzebowania, odpowiednie wentylatory, a także nawiewniki, które są przystosowane do zmiennych wartości strumienia powietrza. Zmiany obciążenia cieplnego pomieszczeń są równoważone przez zmianę strumienia objętości powietrza nawiewanego i wywiewanego. Współczynnik jednoczesności występowania maksymalnych zysków ciepła dla wszystkich obsługiwanych stref w tym samym czasie wynosi ok. 0,7-0,8, co daje możliwość zaprojektowania centrali na mniejsze przepływy. VAV pracuje przy niższych wartościach strumienia objętości niż wynikających z sumy maksymalnych obciążeń cieplnych dla danych pomieszczeń - jest to następstwem reakcji systemu na zmiany obciążenia cieplnego poszczególnych stref budynku i dopasowania się do bieżących wartości. Działanie systemu ze zmiennym przepływem powietrza pozwala na znaczną oszczędność zużycia energii przy równoczesnym zachowaniu właściwych parametrów powietrza wewnętrznego. Koszt energii może być niższy o 25% niż w wypadku zastosowania systemów ze stałym strumieniem powietrza nawiewanego, ponieważ redukcja strumienia powietrza nawiewanego skutkuje zmniejszonym wydatkiem wentylatorów, a co za tym idzie - mniejszym poborem energii. VAV posiada wiele zalet, oprócz jednej z najbardziej istotnych - indywidualnej regulacji parametrów powietrza w pomieszczeniu, ma możliwość

wykorzystania czujników CO₂, czujników ruchu, wyłączników ręcznych oraz programatorów czasowych, które współpracują z instalacją, niższe koszty sieci przewodów oraz stosowanych urządzeń, daje możliwość ciągłego monitoringu wartości strumieni w różnych rozgałęzieniach sieci przewodów, a także centralne sterowanie przepływem powietrza. System ten jest bardzo łatwy do zaadaptowania w przypadku rozbudowy bądź modernizacji budynku. System VAV ma swoje zastosowanie w przypadku klimatyzacji kilku pomieszczeń o różnym obciążeniu cieplnym, różnej orientacji przegród zewnętrznych, odmiennym charakterze pomieszczeń i ich przeznaczeniu. Bardzo często stosowany jest dla obiektów biurowych, handlowych oraz użytku publicznego. System ze zmiennym przepływem powietrza możemy podzielić na dwa typy : dwuprzewodowe (Dual Duct VAV system) oraz jednoprzewodowe (Single Duct VAV system). [1]

1.2.1. System dwuprzewodowy

Jest to system stosowany zdecydowanie rzadziej niż jednoprzewodowy z uwagi na niewielką oszczędność kosztów przewodów – dla każdej pary regulatorów przeznaczonych do odpowiedniej strefy budynku, należy doprowadzić dwa równoległe przewody: jeden z powietrzem ciepłym (temperatura ok. 37°C), drugi z powietrzem zimnym (temperatura ok. 15°C). W pomieszczeniu znajdują się termostaty, który przekazuje sygnał do regulatora, na podstawie, którego wiadomo, który strumień powietrza- ciepły czy zimny ma być dostarczony do pomieszczenia obsługiwane przez dany regulator. System ten generuje większe koszty niż system jednoprzewodowy gdyż zarówno nagrzewnica jak i chłodnica muszą działać jednocześnie, wyższe są również koszty osprzętu i montażu. [1]



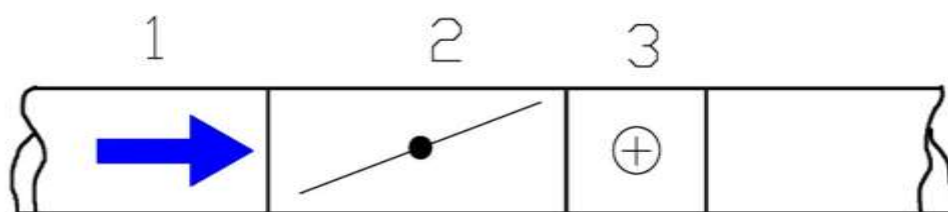
Rysunek 3. Schemat systemu VAV dwuprzewodowego

Źródło: (Sudoł W., Hendiger J.: Poradnik systemy VAV. [1])

Legenda: 1 – kanał doprowadzający powietrze zimne; 2 – kanał doprowadzający powietrze ciepłe; 3 – regulator VAV; 4 – skrzynka mieszająca; 5 – kanał nawiewny do pomieszczenia

1.2.2. System jednoprzewodowy

System jednoprzewodowy jest najbardziej rozpowszechnionym system ze zmiennym przepływem powietrza. Regulatory, do których powietrze dostarczane jest jednym kanałem wentylacyjnym (temperatura powietrza wynosi ok. 15°C) pozwalają na utrzymanie zadanego strumienia powietrza dla obsługiwanej strefy. Na schemacie jednoprzewodowego systemu VAV (rys.2) znajduje się regulator VAV z nagrzewnicą - dzięki niej urządzenie może również spełniać funkcję grzewczą. [1]



Rysunek 4. Schemat systemu VAV jednoprzewodowego

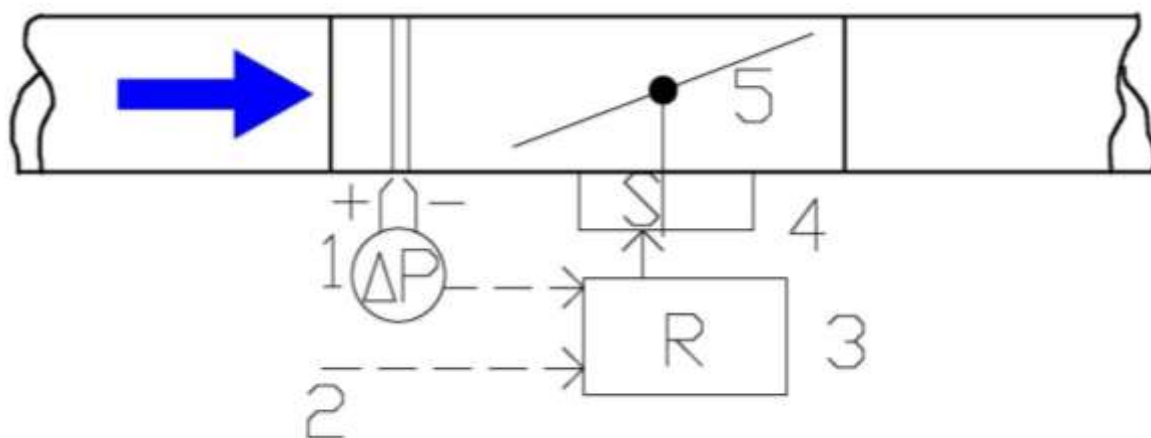
Źródło: (Sudoł W., Hendiger J.: Poradnik systemy VAV. [1])

Legenda: 1 – kanał doprowadzający powietrze; 2 – regulator VAV; 3 - nagrzewnica

1.2.3. „Serce instalacji”

„Sercem instalacji” VAV, czyli elementem, bez którego system nie może funkcjonować jest regulator VAV nazywany inaczej terminalem VAV. Zasada działania regulatora jest związana z otrzymywaniem sygnału określającego wartość zadaną. W pomieszczeniu umieszczony jest czujnik, który dostarcza sygnał określający zadaną wartość (2) temperatury lub stężenia CO₂ (zależnie od rodzaju wykorzystanych czujników) do regulatora (3). Dzięki temu znany jest przepływ, który w danej chwili jest konieczny do utrzymania. W elementach pomiarowych umieszczonych w przekrojach kanałów wentylacyjnych powstaje różnica ciśnienia, która zależy od prędkości przepływającego powietrza. Do przetwornika pomiarowego (1) przekazywana jest różnica ciśnienia, a na tej podstawie bieżący przepływ jest porównywany do wielkości zadanej. Na skutek tego porównania powstaje odchyłka regulacji, dzięki której

jest generowany sygnał powodujący zmianę położenia przepustnicy (5) przy użyciu siłownika (4). [1]



Rysunek 5. Schemat regulatora przepływu VAV

Źródło: (Sudoł W., Hendiger J.: Poradnik systemy VAV. [1])

Regulatory VAV możemy podzielić na dwie grupy: niezależne od ciśnienia, w których prowadzony jest odczyt wielkości strumienia przepływu, a także regulacja strumienia objętości od V_{MIN} do V_{MAX} ; oraz zależne od ciśnienia, w których nie prowadzi się odczytu wielkości strumienia objętości, a zmiana strumienia powietrza następuje w wyniku zmiany ciśnienia w kanale doprowadzającym powietrze. Z reguły V_{MIN} wyznaczone jest na podstawie wymagań higienicznych określających minimalny strumień powietrza świeżego, strumień ten powinien również zapewnić odpowiedni rozdział powietrza w pomieszczeniach, a także właściwą pracę elementów nawiewnych oraz mieścić się w granicy pracy regulatora.

W przypadku, gdy regulator zostanie przewymiarowany, utrzymanie granicznej minimalnej wartości strumienia nawiewanego może być trudne. Wartość różnicy ciśnienia przy niskich prędkościach jest niewielka i ulega wahaniom, przez co niemożliwa jest precyzyjna regulacja parametrów, a w okresie zimowym może skutkować spadkiem temperatury w poszczególnych strefach. Dla maksymalnych przepływów powietrza w regulatorze zalecane prędkości wynoszą ok. 11 m/s natomiast dla minimalnego strumienia powietrza nie mniej niż 2 m/s. Dobrany na podstawie tych wartości regulator należy sprawdzić pod kątem emitowanego hałasu, spadków ciśnienia oraz charakterystyki regulacyjnej. Hałas emitowany przez regulatory VAV związany jest ze strumieniem objętości powietrza, który przez niego przepływa, prędkością przepływu powietrza, spadkiem ciśnienia, stopniem otwarcia

przepustnicy, a także wyposażeniem regulatora w izolację akustyczną. Dla pomieszczeń biurowych omawianych w tym przypadku, poziom ciśnienia akustycznego wywołany pracą instalacji (na podstawie PN-EN 15251) wynosi 30-40 dB(A). Spadek ciśnienia całkowitego na regulatorze nie powinien przekraczać 130 Pa. [1]

2. Metodyka

Analiza systemów ze stałym i zmiennym strumieniem powietrza nawiewanego została przeprowadzona na podstawie budynku, w którym znajdują się zarówno pomieszczenia biurowe jak i mieszkalne. Obiekt ten jest zlokalizowany przy ul. Mickiewicza 3 w Tarnowie, woj. małopolskie. Jest to budynek o czterech kondygnacjach nadziemnych, bez podpiwniczenia. Zdecydowano zaprojektować system ze zmiennym przepływem powietrza ze względu na możliwości, jakie pozwala osiągnąć – indywidualna regulacja parametrów powietrza w pomieszczeniach przy zastosowaniu jednej centrali klimatyzacyjnej, zmniejszenie kosztów sieci przewodów oraz kosztów urządzeń przygotowania powietrza. Za zastosowaniem VAV zadecydował również fakt, iż system ten pozwala na mniejsze zużycie energii przez wentylatory oraz jest zdolny do adaptacji do nowych potrzeb. Wykorzystanie systemu VAV dla potrzeb mieszkań generowałoby wzrost kosztów inwestycyjnych dla indywidualnych mieszkańców, a oszczędności przynoszone przez system nie zrównoważyłyby jego kosztów. Wentylacja mieszkań została zaprojektowana z zastosowaniem systemu CAV natomiast w celach klimatyzacji mieszkań uznano, że najlepszym rozwiązaniem będą klimakonwektory.

2.1. Obliczenia dla pomieszczeń biurowych

W budynku znajduje się siedem pomieszczeń biurowych o różnej orientacji przegród zewnętrznych, różnej powierzchni i odmiennej charakterystyce cieplnej. Na podstawie obliczonych zysków ciepła od ludzi, urządzeń, oświetlenia oraz przegród przezroczystych i nieprzezroczystych zostały obliczone strumienie powietrza nawiewanego do poszczególnych stref, a w wypadku tego projektu każdego z pomieszczeń, korzystając ze wzoru (1):

$$\dot{V}_N = \frac{Q_c}{\rho * \Delta h} \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (1)$$

gdzie:

$\dot{V}_N$ – strumień powietrza nawiewanego [m^3/h]

Q_c – całkowite zyski ciepła w danej strefie [W]

ρ – gęstość powietrza, przyjęto 1,2 [kg/m^3]

Δh – różnica entalpii powietrza w pomieszczeniu i powietrza nawiewanego [kJ/kg]

Do prawidłowego skonstruowania wykresu h-x obliczono kierunek przemiany ze wzoru (2):

$$\varepsilon = \frac{Q_c}{\dot{w}} \left[\frac{kJ}{kg} \right] \quad (2)$$

gdzie:

Q_c – całkowite zyski ciepła w danej strefie [W]

$\dot{w}$ - zyski wilgoci w pomieszczeniu [kg/h] obliczane z zależności:

$$\dot{w} = n * \varphi * q_u \left[\frac{kg}{h} \right] \quad (3)$$

gdzie:

n – liczba osób przebywająca w danej strefie

φ – współczynnik jednoczesności przebywania wszystkich osób w pomieszczeniu

q_u – ciepło utajone (przyjęto 110 [g/h] według M. Malicki tab. 6-1)

Tabela 1. Zestawienie strumieni powietrza nawiewanego do pomieszczeń biurowych

Nr pomieszczenia	Q_C [kW]	Δt	ε [kJ/kg]	h_N [kJ/kg]	Δh	V_N [m³/s]	V_N [m³/h]	$V_{\dot{sw}}$ [m³/h]
1	4,93	8	17929	38,2	9,8	0,42	1510	300,00
6	3,42	8	31075	38,2	9,8	0,29	1050	150,00
1.2	3,36	8	30507	38,2	9,8	0,29	1030	240,00
1.4	3,74	8	13582	38,2	9,8	0,32	1140	300,00
1.7	2,55	8	18572	38,2	9,8	0,22	780	150,00
2.15	3,05	8	27739	38,2	9,8	0,26	930	110,00
3.13	2,93	8	26599	38,2	9,8	0,25	900	120,00
SUMA:						2,04	7340	

Źródło: Opracowanie własne

Na podstawie zestawienia obliczeń (tab.1), na wykresie h-x zostały przedstawione etapy uzdatniania powietrza. W okresie letnim, przemiany zachodzące w centrali klimatyzacyjnej są następujące:

- Odzysk ciepła w rekuperatorze płytowo-krzyżowym,
- Ochładzanie powietrza w chłodnicy,
- Nagrzewanie powietrza w nagrzewnicy wtórnej.

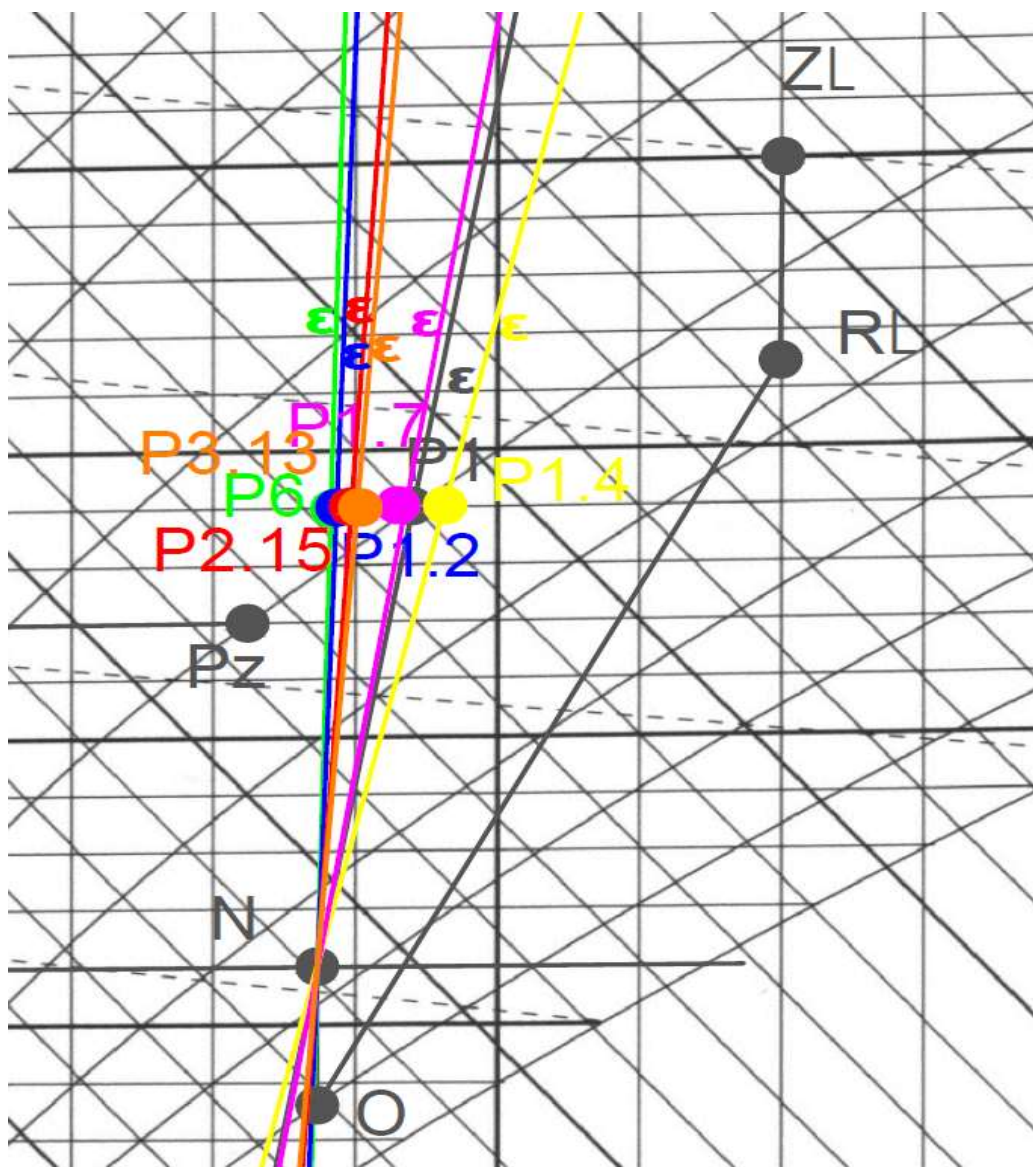
W okresie zimowym będą zachodzić takie przemiany jak:

- Nagrzewanie powietrza w nagrzewnicy pierwotnej,
- Odzysk ciepła w rekuperatorze płytowo-krzyżowym,
- Nagrzewanie powietrza w nagrzewnicy wtórnej
- Nawilżanie parowe powietrza poza centralą klimatyzacyjną

Powyższe procesy zostały przedstawione na wykresie h-x.

Źródło: Opracowanie własne

W systemie VAV parametry powietrza nawiewanego są stałe, różne są kierunki przemiany i różne pomieszczenia (tab.1.) przez co utrzymanie dokładnie takich samych parametrów powietrza we wszystkich pomieszczeniach nie jest możliwe – jest to drobna wada tego systemu. W związku z tym, na wykresie widoczne są różne punkty przedstawiające parametry powietrza w pomieszczeniach (rys.5). Każdy kierunek przemiany dla określonego pomieszczenia przechodzi przez punkt nawiewu N wyznaczając jednocześnie punkt oznaczający parametry powietrza dla danego pomieszczenia. Od punktu nawiewu N do punktu powietrza w pomieszczeniu P ($N \rightarrow P$) powietrze porusza się wzdłuż kierunku przemiany.



Rysunek 7. Szczegół wykresu h-x dla systemu klimatyzacji VAV

Źródło: Opracowanie własne

Ponieważ temperatura powietrza nawiewanego jest stała i wynosi 16°C , różnica temperatury między powietrzem w pomieszczeniu, a nawiewanym jest wszędzie taka sama (tab.1.), punkty wyznaczające parametry powietrza w poszczególnych strefach różnią się tylko w nieznaczny sposób wilgotnością względną.

2.2 Obliczenia dla pomieszczeń mieszkalnych

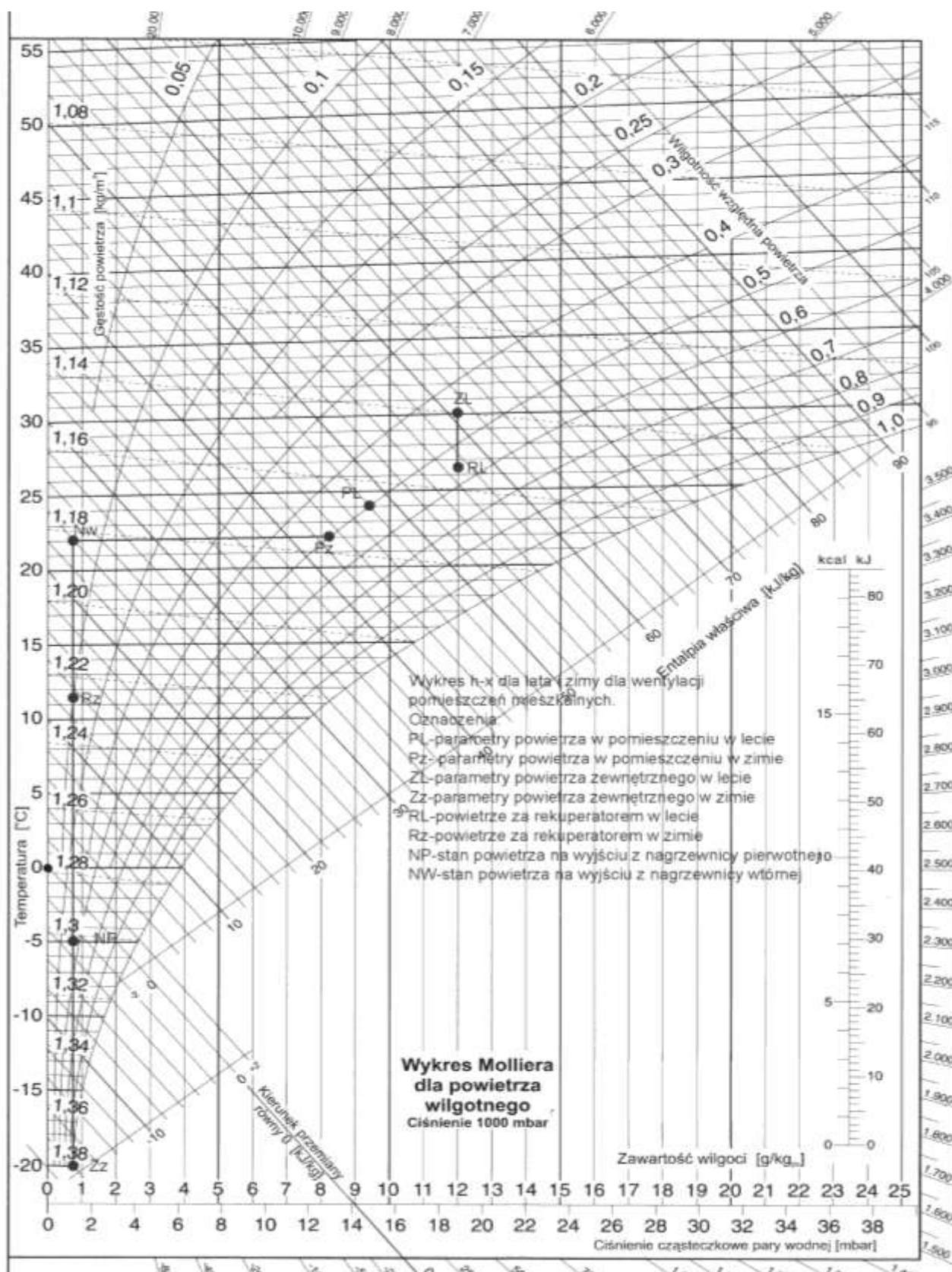
W przypadku pomieszczeń mieszkalnych, dla których zaprojektowana została wentylacja CAV, strumień powietrza nawiewanego będzie równy strumieniowi powietrza świeżego. Wartość strumienia świeżego nawiewanego do każdej strefy jest uzależniona od ilości osób tam przebywających – przyjęto $30 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{osobę})$. [9]

Tabela 2. Zestawienie wartości strumienia powietrza nawiewanego dla pomieszczeń mieszkalnych

Nr pomieszczenia	Q_C [kW]	$V_N [\text{m}^3/\text{h}] = V_{\text{św}}$
2.8	0,64	90,00
2.10	0,67	90,00
3.7	0,64	90,00
3.9	0,64	90,00
4.5	0,36	30,00
4.7	0,32	30,00
SUMA:		420,00

Źródło: Opracowanie własne

W okresie letnim w centrali wentylacyjnej będzie działać jedynie rekuperator płytowo-krzyżowy o sprawności $\eta_R=60\%$. W okresie zimowym w centrali powietrze będzie podgrzewane przez nagrzewnicę pierwotną i wtórną, odzysk ciepła za pomocą rekuperatora płytowo-krzyżowego. Za centralą umieszczony zostanie nawilżacz powietrza. Rysunek 6 przedstawia wykres $h-x$, na którym pokazane są etapy uzdatniania powietrza w systemie CAV.

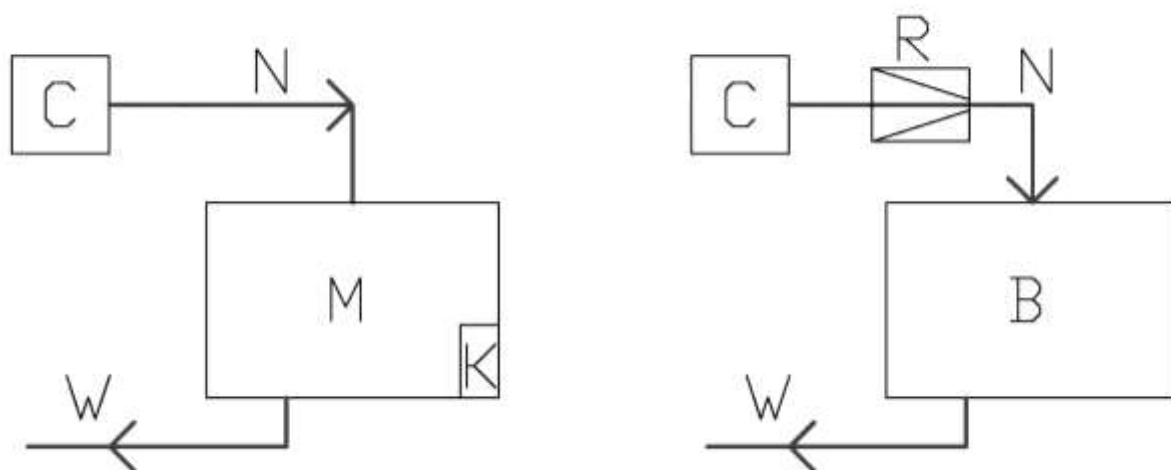


Rysunek 8. Wykres h-x dla wentylacji CAV

Źródło: Opracowanie własne

3. Wnioski

W pracy przedstawiono dwa systemy z centralnym uzdatnianiem powietrza różniące się między sobą sposobem dostarczania do pomieszczeń strumienia powietrza nawiewanego.(rys. 7)



Rysunek 9. Schemat systemu CAV oraz VAV

Źródło: Opracowanie własne

Legenda: M – pomieszczenie mieszkalne; B – pomieszczenie biurowe; C – centrala;
N – powietrze nawiewane; W – powietrze wywiewane; R – regulator VAV; K – klimakonwektor

System CAV, który został zaprojektowany w celu wentylacji pomieszczeń mieszkalnych ma stały strumień powietrza nawiewanego. Wielkość strumienia docierającego do poszczególnych pomieszczeń jest równa obliczonemu strumieniowi powietrza świeżego wynikającego z ilości osób przypadających na dane pomieszczenie. W okresie letnim, w celach wentylacyjnych dla systemu ze stałym strumieniem powietrza zastosowany został jedynie odzysk ciepła. W okresie zimowym oprócz odzysku ciepła powietrze ogrzewane jest przy użyciu nagrzewnicy wstępnej i wtórnej. Dla okresu zimowego wykres h-x nie różni się od wykresu sporządzonego dla systemu klimatyzacji VAV natomiast w okresie letnim etapy uzdatniania powietrza znacznie od siebie odbiegają. Dla systemu ze zmiennym przepływem powietrza wykres jest odrobinę bardziej skomplikowany za sprawą różnych parametrów

uzyskanych w poszczególnych pomieszczeniach oraz zastosowania chłodnicy i nagrzewnicy wtórnej. Zasadnicze różnice między systemami przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Podstawowe różnice między systemami VAV a CAV

System/cechy	VAV	CAV
Regulacja parametrów powietrza	Ilościowa (zmiana wielkości strumienia)	Jakościowa (zmiana temperatury nawiewu)
Utrzymanie odpowiednich parametrów powietrza w pomieszczeniu	Indywidualna regulacja parametrów w każdej z klimatyzowanych/wentylowanych stref	Niemożliwa indywidualna regulacja parametrów, dopasowanie odpowiednich parametrów jedynie dla jednego pomieszczenia
Dobór central	Możliwość wykorzystania jednej centrali dla kilku pomieszczeń	Wykorzystanie jednej centrali dla jednego pomieszczenia (lub jednej centrali dla kilku pomieszczeń – brak indywidualnej regulacji parametrów)
Oszczędność	Zmienny pobór energii przez wentylatory- zależnie od chwilowego zapotrzebowania; niższe koszty centrali i kanałów wentylacyjnych	Stały pobór energii przez wentylatory (brak oszczędności)

Źródło: Opracowanie własne

Ze względu na wyżej wymienione różnice, w pomieszczeniach biurowych wykorzystano system VAV. Każde z biur jest odrębnym pomieszczeniem, w każdym z nich pracownicy mają inne wymagania wobec panujących wewnątrz pomieszczenia parametrów powietrza.

Wykorzystany system ze zmiennym strumieniem powietrza nawiewanego pozwala na dopasowanie parametrów powietrza według indywidualnych potrzeb pracowników, co zwiększa komfort pracy. System CAV został wykorzystany jedynie do wentylacji pomieszczeń mieszkalnych, w celu chłodzenia powietrza dobrano klimakonwektory, które zostały zainstalowane w każdym z pokoi.

Literatura:

1. Sudół W., Hendiger J.: *Poradnik systemy VAV*. Wydawca Smay Sp. z o.o. Kraków 2009.
2. Wykłady z przedmiotu *Instalacje klimatyzacyjne* (autor: dr inż. Kazimierz Wojtas)
3. Malicki M.: *Wentylacja i klimatyzacja*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 1974.
4. Pelech A.: *Wentylacja i klimatyzacja*. Wrocław 2008.
5. Hendiger J., Ziętek P., Chludzińska M.: *Wentylacja i klimatyzacja. Materiały pomocnicze do projektowania*. Warszawa 2011.
6. Firma Swegon: *Teoria wentylacji-wiadomości podstawowe*.
7. <http://www.chlodnictwoiklimatyzacja.pl/artykuly/220-wydanie-09-2013/2929-systemy-wentylacji-o-stalym-i-zmiennym-strumieniu-powietrza-wentylacyjnego.html>
8. Schnotale J., Müller J., Skrzyniowska D., Sikorska-Bączek R., *Instalacje i urządzenia do uzdatniania powietrza dla celów wentylacji i klimatyzacji*. Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Kraków 2010
9. PN-83/B-03430: „Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej.”
10. PN-EN 15251: „Kryteria środowiska wewnętrznego, obejmujące warunki cieplne, jakość powietrza wewnętrznego, oświetlenie i hałas”
11. PN-EN 13779: „Wentylacja budynków niemieszkalnych - Wymagania dotyczące właściwości instalacji wentylacji i klimatyzacji.”
12. Rozporządzenie Ministra Gospodarki nr 75 z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (z późniejszymi zmianami).

Magdalena Horysz
Politechnika Białostocka
ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

Designerskie rozwiązania klimatyzacyjne i wentylacyjne w domach jednorodzinnych

Słowa klucze: *klimatyzacja, wentylacja, klimatyzator, wentylator, design*

Streszczenie: W artykule przedstawiono zarówno ogólne jak i szczegółowe zagadnienia dotyczące wentylacji i klimatyzacji do domu jednorodzinnego. Zebrano i przedstawiono nowoczesne i zarazem designerskie rozwiązania w powyższych dziedzinach na rok 2014.

Celem pracy było zwrócenie uwagi na nowoczesność, jaką oferują nam producenci klimatyzatorów i wentylatorów przystosowanych do montażu w domach jednorodzinnych.

1. Wstęp

By czuć się komfortowo w swoim domu należy zapewnić sobie podstawowe dobra, takie jak woda, prąd czy gaz. Nie możemy zapomnieć jednak o równie istotnej rzeczy, jaką jest wentylacja. By zapewnić lepszy komfort w pomieszczeniach można również zainstalować klimatyzację, która będzie odpowiadać za regulację parametrów powietrza .

Czym z teoretycznego punktu jest wentylacja i klimatyzacja?

Wentylacja jest cyrkulacją powietrza w budynku. Polega na wymianie zanieczyszczonego powietrza i dostarczaniu świeżego do wszystkich pomieszczeń użytkowych.

Klimatyzacja natomiast opiera się przede wszystkim na obróbce powietrza w budynku. Powietrze poddaje się zabiegom technicznym, które mają na celu zmianę jego parametrów takich jak temperatura, wilgotność czy skład.

Tak jak wspomniano, głównym zadaniem sprawnie działającej wentylacji jest dostarczenie do pomieszczeń świeżego powietrza z zewnątrz oraz rozcieńczenie i usunięcie zanieczyszczeń, a nawet przykrych zapachów. Wentylacja nie zmienia jednak parametrów powietrza. Odpowiada za to klimatyzacja. Ma ona na celu zapewnić komfort użytkownikom zmieniając właściwości powietrza w zależności od potrzeb.

Klimatyzacji nie należy mylić z wentylacją. Trzeba pamiętać, że klimatyzacja nie zastąpi całkowicie wentylacji. Głównym warunkiem prawidłowego działania klimatyzacji, jest dostarczenie do niej poprzez wentylację medium w postaci świeżego powietrza.[1,2,3]

2. Podstawowe rodzaje wentylacji i klimatyzacji stosowanych w domach jednorodzinnych.

a) Wentylacja może być procesem naturalnym bądź mechanicznym.

Wentylacja naturalna inaczej zwana grawitacyjną opiera się na różnicy temperatur powietrza wewnątrz i na zewnątrz budynku. Chodzi tu o różnicę gęstości powietrza, dzięki której medium może swobodnie cyrkulować. Taka wymiana powietrza następuje przez szczelności w oknach i drzwiach lub przez specjalne nawiewniki. Następnie wydostaje się przez kanały wentylacyjne i kratki.

Ten rodzaj wentylacji zależy od warunków atmosferycznych, konstrukcji budynku oraz rozmieszczenia pomieszczeń.

Wentylacja mechaniczna jest niezależna od warunków atmosferycznych a przepływ powietrza uzyskuje się przez zastosowanie wentylatorów. Daje to możliwość dopasowania wydajności do potrzeb mieszkańców.

Wentylatory odpowiadają za transportowanie powietrza z zewnątrz do pomieszczenia i odwrotnie.

b) Klimatyzacja jest procesem mechanicznym wykorzystującym w swej pracy energię z zewnątrz najczęściej w postaci energii elektrycznej. Do klimatyzacji używamy klimatyzatorów. Są to urządzenia zapewniające dostawę powietrza o uprzednio określonych i ustawionych parametrach. Wybór klimatyzacji jest uzależniony od potrzeb nabywcy, stąd podział jest bardzo szeroki. Możemy wyróżnić m.in. klimatyzatory: okienne, przenośne, ściennie, ściennie-przysufitowe, przypodłogowe, kasetonowe czy kanałowe.[1,2]

3. Celowość stosowania wentylacji i klimatyzacji w domach jednorodzinnych.

W domach jednorodzinnych wentylacja jest przede wszystkim niezbędna w pomieszczeniach stałego pobytu ludzi. Proces ten zapewnia wymianę zużytego,

zanieczyszczonego powietrza na świeże, które jest nie tylko niezbędne do komfortowego oddychania, ale również zapewnia bezpieczną pracę urządzeń wydzielających ciepło.

Zadaniem wentylacji jest również usuwanie zanieczyszczeń z powietrza np. dymu papierosowego, oparów substancji chemicznych, nadmiaru pary wodnej itp.

Prawidłowo zaprojektowana i wykonana wentylacja mechaniczna korzystnie wpływa na nasze zdrowie i samopoczucie.

Gdy wentylacja nie działa prawidłowo może powodować: dużą wilgotność pomieszczeń, zbyt wysokie stężenie CO₂, utrzymywanie się nieprzyjemnych zapachów, powstawanie grzybów oraz pleśni. Wszystkie te czynniki mogą powodować zmiany chorobowe, psychofizyczne oraz budowlane.

W domach jednorodzinnych prawidłowo działająca klimatyzacja wiąże się przede wszystkim z samymi zaletami. Wysoka temperatura latem oraz zbyt niska zimą, źle wpływa na samopoczucie, sprawność fizyczną i umysłową oraz zaburza sen, co nie pozwala na odpowiedni odpoczynek.

Dzięki zastosowaniu klimatyzacji możemy dostosować warunki temperaturowe do naszych potrzeb. Gdy działa sprawnie prócz regulacji temperatury oczyszcza i jonizuje powietrze. Jeśli w pracy klimatyzatora zachodzą nieprawidłowości może to niestety bardziej szkodzić niż pomagać. Zbyt gwałtowne zmiany temperatury mogą prowadzić do przeziębień, bądź innych problemów zdrowotnych np. bólów głowy czy bólów reumatycznych.

Optymalna temperatura powietrza dla organizmu człowieka to 20-24°C. Nie należy, zatem przekraczać tych wartości przy regulacji temperatury.

By klimatyzator działał prawidłowo należy pamiętać o okresowym czyszczeniu filtrów oraz parownika, gdyż nie zastosowanie się do zaleceń producentów może skutkować rozwojem drobnoustrojów chorobotwórczych, roztoczy, bądź grzybów. [2,3]

4. Nowości w dziedzinie paneli wentylacyjnych stosowanych w domkach jednorodzinnych.

Obecnie coraz więcej projektantów wewnątrz zwraca uwagę na detale. W swoich projektach starają się używać jak najbardziej spójnych elementów, by zadowolić klientów. W idealnie zaprojektowanym pomieszczeniu wszystkie elementy powinny współgrać kolorystycznie, natomiast dodatkowe urządzenia nie powinny odbiegać estetyką od całego wnętrza.

Dzięki specjalnym seriom wentylatorów, zwyczajne kratki wentylacyjne można zastąpić ciekawymi panelami wentylacyjnymi, które nie dość, że urozmaicą nam wystrój wnętrza przy okazji będą bardzo funkcjonalne.

W pracy przedstawiono najciekawsze panele wentylacyjne stosowane w 2014 roku od różnych producentów.

Firma Harmann oferuje m.in. wentylatory łazienkowe. Najciekawszym z serii ENSO jest model ENSO 100 HYGRO. Poniżej zamieszczono zdjęcie panelu (rys.1). Charakteryzuje się on białą budową wykonaną z tworzywa sztucznego ABS, która jest odporna na uderzenia i promieniowanie UV oraz zdejmowaną pokrywę wykonaną ze szkła. Panel, jako jeden z niewielu na rynku posiada wyświetlacz pokazujący stan aktualnej temperatury i wilgotności w pomieszczeniu. Oprócz ciekawego wyglądu jest to model energooszczędny, dla niskiego biegu, który jest zapewniony przez dwubiegowy silnik, do pracy pobiera 4W. Bieg wysoki zostaje uruchomiony przy zwiększonej wilgotności, bądź przy włączeniu światła w pomieszczeniu. Dodatkowa funkcja opóźnienia czasowego pozwala na latencję w zmianie biegu z wysokiego na niski. Uaktywnia się ona po wyłączeniu światła lub po zmniejszeniu się wilgotności w pomieszczeniu.[4]



Rysunek 1. Wentylator ENSO 100 HYGRO

Źródło: <http://www.harmann.pl/index.php>

Firma Dospel wychodząc naprzeciw oczekiwaniom projektantów i architektów wnętrz, wprowadziła na rynek wentylator łazienkowy RIMERA. Wentylatory zostały wyposażone w designerski wygląd panelu, który jest wymienny. Przykładowe fronty przedstawiono na zdjęciu poniżej (rys.2).

W zależności do upodobań i potrzeb możemy go zmieniać. Dodatkowo wentylator wyposażony jest w podświetlenie, które można zaprogramować według uznania, do wyboru

mamy 100 kolorów. Kolorystykę podświetlenia można również ustawić by zmieniała się w zależności od wilgotności powietrza. Dzięki zmiennej prędkości obrotowej śmigła i hybrydowemu śmigłu praca wentylatora jest cicha, nie przekracza 26dB. Wentylator jest również wyposażony w diodę uruchamiającą wentylator na podstawie wykrycia włączenia światła w pomieszczeniu.[3]



Rysunek 2. Panele wentylatorów RIMERA

Źródło: http://wentylatory.istore.pl/pl/wentylatory-lazienkowe_wentylatory-rimera

Wentylator ***Silent Design firmy S&P*** jest przeznaczony do wentylacji pomieszczeń o małej kubaturze. Na rys.3 widać estetycznie wykonany panel z tworzywa sztucznego ABS, kolor natomiast można dobrać w zależności od potrzeb.

Panel posiada ozdobną listwę LED podświetlaną odpowiednim kolorem (rys.4) w zależności od pracy wentylatora. Dzięki antywibracyjnym mocowaniom silnika emisja hałasu jest niższa, co za tym idzie wentylator pracuje stosunkowo cicho, bo do 26,5dB. Silnik wentylatora wyposażony jest w kulkowe łożysko, dzięki temu możemy instalować go zarówno na suficie jak i na ścianie. Wentylator jest również energooszczędny, gdyż pobiera ok. 8W podczas pełnej pracy.[4]



Rysunek 3. Wentylator Silent Design

Źródło: http://wentylatory.istore.pl/pl/wentylatory-lazienkowe_wentylatory-silent-kolor



Rysunek 4. Wentylator Silent Design Biały

Źródło: <http://alterair.com.ua/catalog/ventilyatsiya/ventilyatory/bytovie/15738.html>

5. Przedstawienie rozwiązań klimatyzacyjnych do designerskich wnętrz.

Wielu osobom, dbającym o wystrój wnętrz zależy na dopasowaniu każdego, chociażby najmniejszego elementu do całości wystroju. Klimatyzatory zajmują niepodważalnie dość dużą przestrzeń w pomieszczeniu. Zazwyczaj umieszczone na ścianie, suficie czy podłodze powinny być nie tylko funkcjonalne, ale również wpasowywać się w designerskie wykończenia pomieszczeń. Poniżej zostaną przedstawione najnowsze trendy w świecie klimatyzacji, które nie zaburzą naszej zaplanowanej przestrzeni.

Rosnąca popularność smartfonów wnoszą za sobą nowe rozwiązania w dziedzinie klimatyzacji. Sterowanie klimatyzatorem lokalnie poprzez telefon komórkowy bądź poprzez Internet za pośrednictwem modułu WiFi to przyszłość w owej dziedzinie.

Firma Samsung wypuściła na rynek nową poszerzoną serię klimatyzacji, którą będzie można sterować nie tylko pilotem, ale również smartfonem czy tabletem. Do obsługi wystarczy pobrać odpowiednią aplikację i podążać za podanymi instrukcjami.

Jednym z produktów z tej serii jest **Samsung Inverter Seria K** (rys.5). Klimatyzator jest połączeniem niezwykłego designu i wysokiej technologii. Forma sprzętu została zaokrąglona, panel natomiast wyposażono w efektowny fioletowy wzór, a czarny kolor obudowy nadaje eleganckiego wyglądu.

Słowo Inverter w nazwie oznacza, że sprężarka jednostki zewnętrznej działa zależnie od zapotrzebowania mocy. Dzięki temu rozwiązaniu hałas oraz zużycie energii elektrycznej zmniejszają się. Dodatkowym wspomaganie jest technologia Zero Standby Power, która ogranicza zużycie energii do 90% w trybie czuwania.

Urządzenie zostało zaopatrzone w system S-Plasma Ion, który poprzez uwalnianie do powietrza aktywnych jonów wodoru i tlenu, neutralizuje groźne zanieczyszczenia takie jak bakterie, wirusy, grzyby i roztocza. Oprócz tego zamontowano również filtr Full HD 80, którego zadaniem jest zatrzymywanie do 80% cząsteczek kurzu z powietrza.

Dla większego komfortu użytkowania podczas snu, klimatyzator posiada funkcję good'sleep, której zadaniem jest dopasowywanie temperatury podczas snu w zależności od jego fazy.

Dodatkowo funkcja Smart Saver sterująca pracą klimatyzatora, ma zadbać o osiągnięcie żądanej temperatury w tak jak najkrótszym czasie, co ma zapobiec przechłodzeniu pomieszczenia.

To tylko nieliczne z zalet tego klimatyzatora, wady zapewne będą widoczne podczas użytkowania, póki, co producent zapewnia nas o samych superlatywach produktu.[5]



Rysunek 5. Klimatyzator Samsung Inverter Seria K

Źródło: <http://klimatyzacja.lublin.pl/80,samsung-seria-k-ar09fsskaben-x-klimatyzator-scienny-o-mocy-2-5-kw.html>

Artcool Slim Inverter V jest nowym projektem LG na rok 2014. Jest to wewnętrzna jednostka klimatyzacji, która łączy ze sobą design z wysoką funkcjonalnością. Ten model został wyposażony w stylowy panel w kształcie ciemnego, ruchomego lustra, które podczas

pracy jednostki uchyla się. Panel klimatyzatora jest wyposażony w elegancki wyświetlacz LED, który informuje nas o parametrach powietrza w pomieszczeniu (rys.6).

Artcool Slim Inverter V został wyposażony w jonizator Plasmaster, jego praca polega na sterylizowaniu powietrza poprzez jonizację powietrza, czyli wytwarzania anionów tlenu, które mają za zadanie poprawić jego jakość. Dodatkowo klimatyzator posiada filtr antybakteryjny oraz 3M multi-ochrona, który ma za zadanie przechwytywać i dezaktywować wirusy, alergenów oraz cząsteczki kurzu. To wszystko można uzyskać przy znacząco cichej pracy urządzenia, nieprzekraczając poziomu 19dB. Urządzenie jest proste w montażu, także każdy może sobie poradzić z umieszczeniem takiego klimatyzatora.[6]



Rysunek 6: Klimatyzator Artcool Slim Inverter V

Źródło: <http://www.lg.wienkra.pl/>

Firma LG przygotowała jeszcze jedną nowość na 2014 rok, a mianowicie **ARTCOOL Stylist Inverter V**. Ten model w odróżnieniu od poprzedniego ma jasną obudowę widoczną na rys.7. Klimatyzator został wyposażony w podświetlony panel w technologii LED. Podświetlenie można dostosować np. do temperatury nawiewanego powietrza. Do zestawu dołączono również designerski dotykowy pilot. Klimatyzator posiada trzykierunkowy nawiew powietrza, co oznacza, że powietrze wypływa z trzech stron klimatyzatora (ze środka oraz z boków). Dzięki tej opcji powietrze równomiernie dociera w każdy zakątek pomieszczenia. Model ten ma wbudowany filtr antybakteryjny. ARTCOOL Stylist Inverter V wyróżnia się trybem cichej pracy agregatu. Klimatyzator wyposażony jest w funkcję Jet Cool, której zadaniem jest szybkie schładzanie, poprzez silny i chłodny strumień powietrza aż do osiągnięcia temperatury 18°C. Jest również prosty w montażu, co jest zaletą dla osób lubiących wprowadzać zmiany w domach własnoręcznie.[7]



Rysunek 7: Klimatyzator ARTCOOL Stylist Inverter V

Źródło: <http://szymwentklimatyzacja.home.pl/pl/p/Klimatyzator-LG-ARTCOOL-Stylist-inverter-V-model-G09WL-2,5kW-wysylka-GRATIS/502>

LG przoduje w nowoczesnym wyglądzie klimatyzatorów. Kolejnym designerskim klimatyzatorem jest **ARTCOOL Galeria** (rys.8). Klimatyzator charakteryzuje się tym, iż możemy zmieniać w nim wygląd panelu w dowolny sposób, wkładając pod ramkę panelu zdjęcie bądź plakat. Ten model został także wyposażony w kontrolę nawiewu powietrza, dzięki, której możemy kontrolować kierunek oraz intensywność wydmuchu, pozwoli to zapewnić maksimum komfortu użytkowania. ARTCOOL Galeria posiada również system oczyszczania powietrza NEO Plasma. System wyposażony jest w 7 filtrów, gdzie powietrze przechodzi 5 etapowy proces oczyszczania. Podczas uzdatniania medium usuwany jest kurz, pleśń, nieprzyjemne zapachy oraz dym papierosowy. Klimatyzator posiada filtr antyalergiczny, który jest wzbogacony enzymami neutralizującymi alergeny, fosforanem wapnia oraz organicznymi i nieorganicznymi związkami chemicznymi. Po przejściu powietrza przez filtr, zostaje ono skutecznie oczyszczone z czynników wywołujących alergię.[8]



Rysunek 8: Klimatyzator ARTCOOL Galeria

Źródło: <http://www.klimanovum.pl/567,art-cool-galeria-inverter-3-5-4-2-kw.html>

Kolejnym producentem designerskich klimatyzatorów jest Emura. W tym roku na wiosnę 2014 zostanie wypuszczony na rynek klimatyzator **Daikin Emura**, widoczny na rys.9. Klimatyzator łączy eleganckie designerskie wzornictwo z najnowszymi technologiami sterowania klimatem we wnętrzu mieszkalnym. Klimatyzator ma aerodynamiczny i półokrągły kształt. Dostępny jest w dwóch kolorach: srebrno-antracytowym lub matowo białym. Klimatyzator tak samo jak przedstawione wcześniej jest cichy, jego praca nie przekracza 19dB. Został wyposażony w nawiew 3D, który doprowadza powietrze do każdego zakątka pomieszczenia. Co więcej posiada również czujnik ruchu, dzięki któremu powietrze kierowane jest w puste miejsca w pomieszczeniu, by nie doprowadzić do przeciągów bezpośrednim nadmuchem.

W celu zwiększenia komfortu użytkowania klimatyzatora firma Emura wypuściła również aplikację na smartfona, która ułatwi nam programowanie urządzenia. Klimatyzatorowi Daikin Emura została przyznana energetyczna klasa chłodzenia A+++ oraz grzania A++, zatem efektywność energetyczna jest na najwyższym poziomie.[9]



Rysunek 9 : Klimatyzatory Daikin Emura

Źródło: <http://www.hvacr.pl/lets-fall-love-w-daikin-emura>

Firma Haier wypuściła w tym roku klimatyzator smart **Haier Tianzun** (rys.10), jest to pierwsze na świecie urządzenie AGD, które otrzymało certyfikat Apple MFi. MFi oznacza „made for iDevices”. Urządzenie automatycznie podłącza się do dowolnego urządzenia z systemem iOS, bez konieczności rejestracji. Oprócz dogodności w programowaniu urządzenia, produkt ma designerski kształt w postaci słupa z okrągłym, podświetlanym diodami LED otworem.[10]



Rysunek 10: Klimatyzator Haier Tianzun

Źródło: <http://www.chlodnictwoiklimatyzacja.pl/aktualnosci/3002-klimatyzator-haier-tianzun-nowy-klimatyzator-smart-z-certyfikatem-apple-mfi.html>

Firma Haier wypuściła na rynek również klimatyzator ścienny **Split Haier AS09QS2ERA serii AQUA**. Został on wyposażony w unoszony przedni panel w kolorze białym lub czarnym oraz wyświetlacz podświetlany kolorowymi diodami LED (rys.11). Diody zmieniają kolor w zależności od ustawionego modułu. Klimatyzator posiada generator jonizujący cząsteczki wody, jego zadaniem jest rozbijanie cząsteczek wody na nanocząsteczki, które są dobrze wchłaniane przez skórę, dzięki temu nawilżają ją. Zatem urządzenie te łączy polepszanie nie tylko wdychanego powietrza, ale również poprawia kondycję naszej skóry.

Dodatkowo klimatyzator został wyposażony w filtr antypleśniowy, powłokę antybakteryjną oraz automatyczne czyszczenie parownika. Klimatyzator ma zaprogramowane dodatkowe dwie funkcje, osuszanie powietrza oraz funkcje komfortowego snu, która dobiera odpowiednią temperaturę powietrza podczas snu.[11]



Rysunek 11 : Klimatyzatory Split Haier AS09QS2ERA seria AQUA

Źródło: <http://www.hvacr.pl/vademecum/czy-klimatyzator-nadaje-sie-do-ogrzewania>

6. Podsumowanie

Dzięki nieustrudzonej pracy projektantów, architektów wnętrz oraz inżynierów, powstają, co raz to nowsze urządzenia. Obecnie liczy się nie tylko specyfikacja produktu, ale również jego wygląd. Producenci prześcigają się nie tylko, jeśli chodzi o nowoczesność sprzętu, starają się przede wszystkim sprostać potrzebom nabywców. Coraz większa pula produktów może być obsługiwana poprzez urządzenia mobilne. W najbliższych latach jest to przyszłość, która ułatwi użytkowanie sprzętów domowych będąc nawet poza pomieszczeniem, w którym są zamontowane. Z łatwością zaprogramujemy urządzenia by dostosowały się do naszego trybu dobowego, co zwiększy nie tylko komfort fizyczny, ale zapewni odpowiedni odpoczynek po ciężkim dniu.

Literatura:

1. Maksymilian Malicki: *Wentylacja i klimatyzacja*, PWN, wyd. III, Warszawa 1980.
2. <http://www.klimatyzacja.pl/> [dostęp: 25.02.2014]
3. <http://www.e-instalacje.pl/a/3306,rodzaje-klimatyzatorow> [dostęp: 28.02.2014]
4. <http://www.harman.pl/product,934,pl.htm> [dostęp: 24.02.2014]
3. <http://lazienkowy.pl/2042-39-17-dekoracyjne-wentylatory-do-lazienki-rimera.html> [dostęp: 01.03.2014]
4. http://www.venture.pl/produkt,2743,SILENT_DESIGN,pl.htm [dostęp: 01.03.2014]
5. <http://www.e-klimat.pl/15-samsung-seria-k-inverter> [dostęp: 01.03.2014]

6. http://www.ventia.pl/systemy-klimatyzacji/systemy_klimatyzacji/klimatyzatory-lg/klimatyzatory-scienne/product/artcool-slim-inverter-v [dostęp: 01.03.2014]
7. <http://www.lg.wienkra.pl/produkty/art-cool/artcool-galeria-2.html> [dostęp: 04.03.2014]
8. <http://www.daikin.pl/minisite/daikin-emura/> [dostęp: 04.03.2014]
9. <http://www.chlodnictwoiklimatyzacja.pl/aktualnosci/3002-klimatyzator-haier-tianzun-nowy-klimatyzator-smart-z-certyfikatem-apple-mfi.html> [dostęp: 05.03.2014]
10. <http://www.klimamagic.pl/pl/p/Klimatyzator-scienny-split-HAIER-Aqua-AS09QS2ERA-2,6-kW-INVERTER-/1068> [dostęp: 10.03.2014]

Student, Natalia Niżnik

Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Instytut Inżynierii Ciepłej
i Ochrony Powietrza Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej

im. Tadeusza Kościuszki

ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków

kinzin@gmail.com

Porosty nadrzewne jako wskaźniki zanieczyszczenia powietrza w masywie góry Kamienna Laworta koło Ustrzyk Dolnych

Słowa kluczowe: masyw Kamiennej Laworty, porosty nadrzewne, Ustrzyki Dolne.

Streszczenie: Założeniem pracy było wykazanie wpływu zanieczyszczeń powietrza na występowanie porostów w masywie góry Kamienna Laworta koło Ustrzyk Dolnych. Ocenę przeprowadzono na podstawie tzw. skali porostowej uwzględniającej występowanie porostów o różnej morfologii plech w miejscach o różnym zanieczyszczeniu powietrza oraz na podstawie procentowego udziału drzew, na których występują porosty. Pomiarów dokonano metodą, która w żaden sposób nie wpływała na badane organizmy, wykorzystując zdjęcia z aparatu cyfrowego poddane obróbce i analizie w kilku ogólnie dostępnych darmowych programach komputerowych. Uzyskane wyniki częściowo potwierdziły oddziaływanie miasta jako źródła zanieczyszczenia powietrza na występowanie porostów, jednak oczekiwane zmniejszanie się tego oddziaływania ze wzrostem odległości od miasta potwierdziło się jedynie we wschodniej części masywu Kamiennej Laworty. W miarę oddalania się w kierunku zachodnim stwierdzono znaczny wzrost zanieczyszczenia powietrza. Poszukując źródła tego zanieczyszczenia ustalono, że jest nim ciepłownia miejska położona poza miastem. Zanieczyszczenia z ciepłowni przenoszone są przez wiatry, które wieją w większości z południa w kierunku zachodniej części masywu Kamiennej Laworty wpływając silniej na występowanie porostów niż samo miasto.

1. Wstęp

Celem pracy jest zbadanie zależności występowania porostów nadrzewnych od ekspozycji stoku i zanieczyszczenia powietrza w masywie Kamiennej Laworty koło Ustrzyk Dolnych. Masyw Kamiennej Laworty rozciąga się z południowego wschodu na północny zachód, dlatego warunki panujące na przeciwległych stokach są bardzo różne w zależności od wystawy na działanie słońca. Od strony południowej u stóp Laworty położone jest miasto Ustrzyki Dolne, natomiast od strony północnej leżą tereny o bardzo małym zaludnieniu. Z tego względu oddziaływanie czynników antropogenicznych po przeciwnych stronach stoku jest znacząco różne. Szczyt Laworty porośnięty jest starym drzewostanem zaś na stokach

występuje drzewostan młodszy na dawnych polach uprawnych.

Założono, że na stoku południowym wpływ zanieczyszczenia środowiska będzie malał ze wzrostem odległości od miasta, jako źródła zanieczyszczeń i wysokości oraz będzie częściowo niwelowany przez południową ekspozycję stoku. Natomiast po stronie północnej nie będzie wpływu zanieczyszczeń. Na szczycie powinny występować najlepsze warunki do bytowania porostów dzięki staremu drzewostanowi, małemu zanieczyszczeniu i dobrej ekspozycji. Intensywność i różnorodność występowania porostów powinna potwierdzić te założenia, ponieważ plechy porostów są szczególnie wrażliwe na zanieczyszczenie powietrza.

Wykazano, że obecność pewnych gatunków porostów informuje o takich parametrach jak wilgotność, temperatura czy stopień zanieczyszczenia powietrza. W tym ostatnim przypadku ważna jest wrażliwość porostów na emitowane do atmosfery gazy toksyczne, zwłaszcza dwutlenek siarki (SO_2), a także niektóre metale ciężkie i pierwiastki radioaktywne. W latach 70. ubiegłego wieku brytyjscy uczeni stworzyli skalę porostową (skala Hawksworth'a i Rose'a). Ocena składu gatunkowego niektórych porostów epifitycznych (rosnących na pniach drzew) i częstości ich występowania pozwala oszacować stężenie dwutlenku siarki w powietrzu. Wskazuje to na stopień zanieczyszczenia środowiska.

2. Materiał i metody

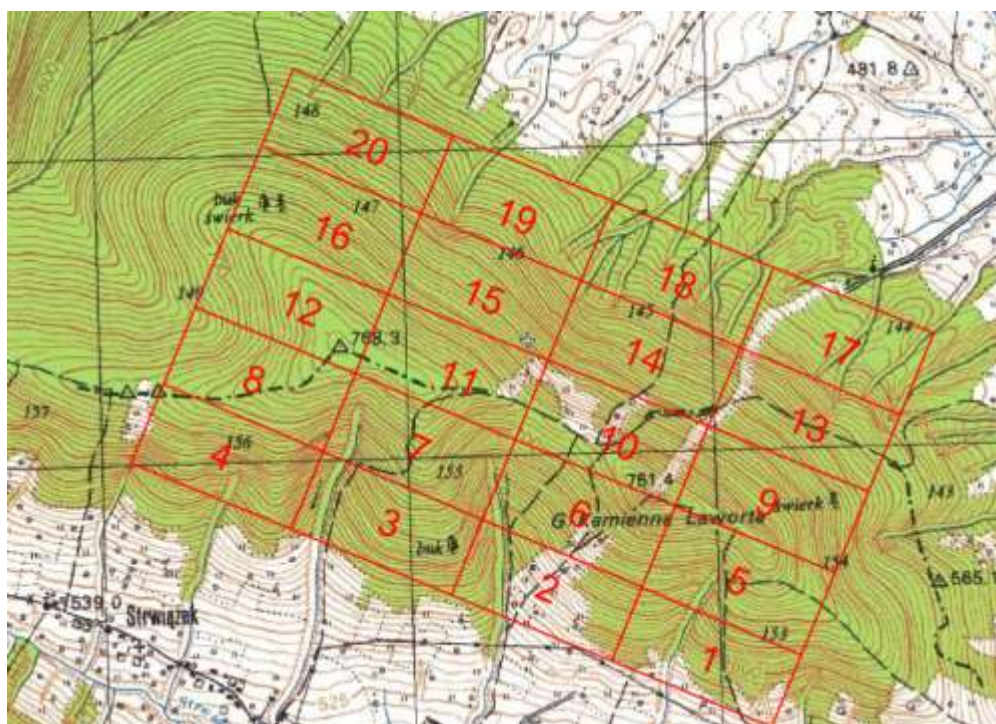
Ocenę występowania porostów przeprowadzono na podstawie ilości drzew na których występują porosty oraz na podstawie pokrycia powierzchni kory przez ich plechy i udział różnych rodzajów plech. Pierwszy wskaźnik ustalono przez proste wyliczenie procentowego udziału drzew, na których występują porosty w stosunku do wszystkich zbadanych drzew. Drugi wskaźnik jest bardzo trudny do ustalenia w warunkach polowych, przyrządy do mierzenia wielkości plech mogłyby powodować ich uszkodzenie i odrywanie, dlatego użyto do tego celu cyfrowego aparatu fotograficznego. Pnie drzew, na których występują porosty zostały sfotografowane od wysokości 1 m do 2 m z każdej strony. Pomiarów dokonywano w wybranych wcześniej na mapie miejscach po obu stronach Laworty oraz na szczycie. Wykonane zdjęcia zostały poddane obróbce przy pomocy kilku różnych programów komputerowych. Pierwszym z nich jest darmowy program Inkscape, który umożliwia łatwe łączenie kilku zdjęć. Pozwala to na "rozwiniecie" powierzchni drzewa na jednej płaszczyźnie poprzez połączenie kilku fotografii pnia. Jest to stosunkowo łatwe, ponieważ powierzchnia kory posiada charakterystyczne spękania, które ułatwiają łączenie. Fotografie zostały

obrobione w programie Salsaj, który pozwala na łatwe mierzenie i zapisywanie wyników pomiarów wielu niewielkich powierzchni jakie zajmują plechy porostów na fotografii pnia. Następnie te wyniki przeniesiono do darmowego arkusza kalkulacyjnego Calc i tam zsumowano i wyliczono procentowy udział zmierzonych plech porostów w stosunku to powierzchni obfotografowanego pnia oraz udział różnych rodzajów plech. Wykorzystując te wyliczenia występowanie porostów oceniono na podstawie tzw. skali porostowej. Wrażliwość porostów na zanieczyszczenia zależy od wielu czynników, a w dużej mierze od ich formy morfologicznej. Stopień wrażliwości form morfologicznych przedstawia się w uproszczeniu następująco, zaczynając od najbardziej wrażliwych:

krzaczkowate > listkowate > łusieczkowate > skorupiaste.

Szczegółową ocenę przeprowadzono przy pomocy książki "Wykorzystanie porostów do oceny zanieczyszczenia powietrza. Zasady, metody, klucze do oznaczania wybranych gatunków." W. Fałtynowicza. Badania przeprowadziłam w czasie kilkunastu wypraw na Kamienną Lawortę w okresie od czerwca do sierpnia 2009 roku. Porosty są organizmami wolno rosnącymi, dlatego rozłożenie w czasie nie miało wielkiego wpływu na wyniki.

Mapa Zamieszczona na rysunku 1 prezentuje podział masywu Kamiennej Laworty na 20 sektorów, dla których osobno wykonywane były pomiary i obliczenia. Sektory ponumerowane są rosnąco poczynając od położonych najbliższej miasta.

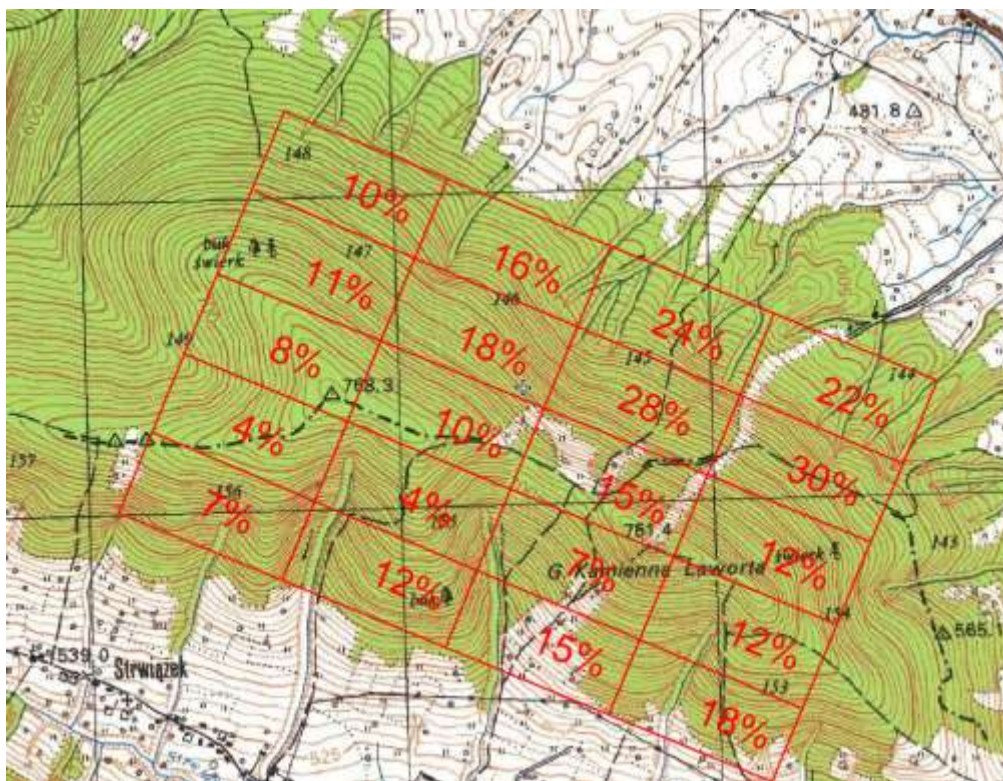


Rysunek 1. Mapa podziału masywu Kamiennej Laworty na sektory

Źródło: geoportal.gov.pl [5], własne wyniki badania

3. Wyniki badań i dyskusja

Ilość drzew, na których występują porosty wahała się w poszczególnych sektorach od 4 do 30 %. Porównując wyniki w układzie północ-południe najniższe wartości wskaźnik ten przyjmuje w sektorach środkowej części południowego zbocza (4-12%), nieco wyższe w jego części dolnej (7-18%) i szczytowej (8-15%). Wyższe wartości w części dolnej, a więc położonej bliżej miasta można wytłumaczyć tym, że są to obrzeża lasu, a więc porosty mają lepsze warunki ekspozycji na światło. Najwyższy udział drzew z porostami zaobserwowano w środkowej części stoku północnego (11-30%) oraz w jego części dolnej (10-24%), które są w tym układzie najbardziej oddalone od miasta. Porównując wartości wskaźnika w układzie wschód-zachód najwyższe wartości (12-30%) przyjmuje on we wschodniej części masywu i nieoczekiwanie maleje znacząco w kierunku zachodnim, a więc w miarę oddalania się od miasta przyjmując wartości 4-11% w zachodnich sektorach. Wartości wskaźnika przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 2. Wyliczony procentowy udział drzew , na których występują porosty

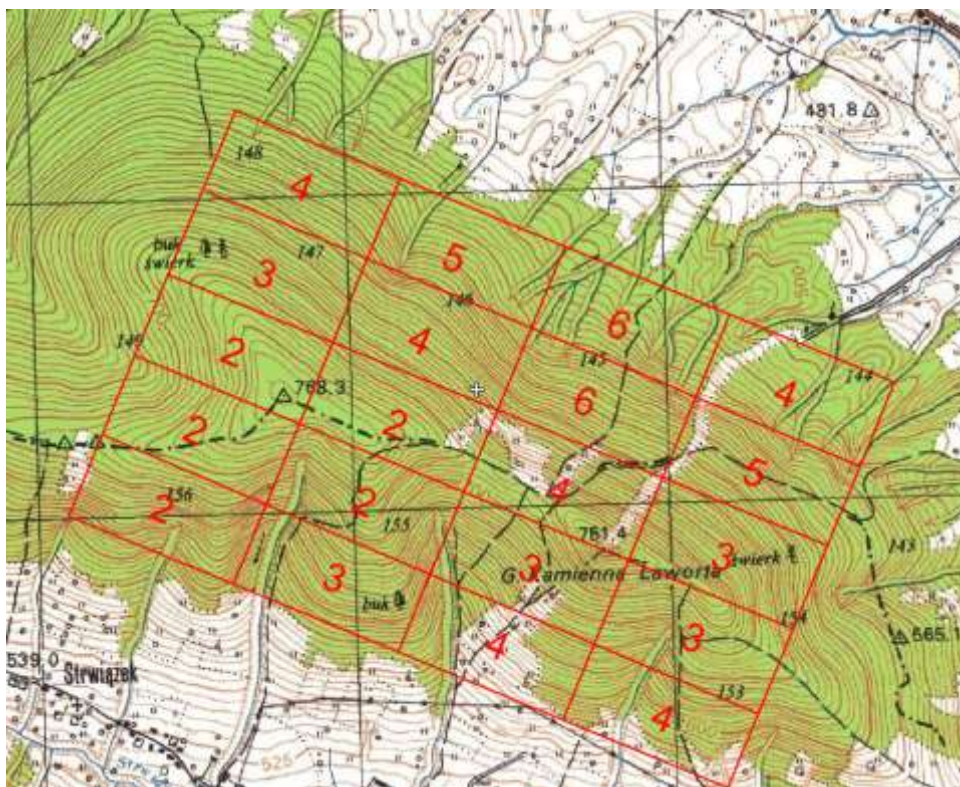
Źródło: geoportal.gov.pl [5], własne wyniki badania

Używając porostów, jako biowskaźników, wyróżniamy następujące strefy zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego:

- 1 - o szczególnie silnie zanieczyszczonym powietrzu (bezwzględna pustynia porostowa), która charakteryzuje się całkowitym brakiem porostów nadrzewnych;
- 2 - o bardzo silnie zanieczyszczonym powietrzu (względna pustynia porostowa), w której występują tylko najbardziej odporne na zanieczyszczenia porosty o plechach skorupiastych;
- 3 - o silnie zanieczyszczonym powietrzu (wewnętrzna strefa osłabionej roślinności), w której, poza gatunkami skorupiastymi, rosną również porosty łuseczkowate;
- 4 - o średnio zanieczyszczonym powietrzu (środkowa strefa osłabionej roślinności), w której występują już porosty o plechach listkowatych;
- 5 - o względnie mało zanieczyszczonym powietrzu (zewewnętrzna strefa osłabionej roślinności), którą wyróżniają mniej wrażliwe na zanieczyszczenia porosty krzaczkowate;
- 6 - o nieznacznie zanieczyszczonym powietrzu (wewnętrzna strefa normalnej roślinności), gdzie gatunki wyróżniające strefę 5 są typowo wykształcone, a ponadto rosną tu wrażliwe porosty listkowate i krzaczkowate;
- 7 - o powietrzu czystym lub ze znikomą zawartością zanieczyszczeń (typowa strefa normalnej roślinności), w której jedynym czynnikiem ograniczającym są naturalne warunki siedliskowe;

Na badanym obszarze masywu Kamiennej Laworty występuje zaskakująco duże zróżnicowanie stref skali porostowej. Nietypowe wydaje się występowanie względnej pustyni porostowej w sektorach oddalonych na zachód od miasta (rys.3). W części wschodniej masywu przeważają strefy osłabionej roślinności. Wewnętrzna strefa normalnej roślinności występuje w środkowej części stoku północnego.

Ocenę zanieczyszczenia powietrza w poszczególnych sektorach według stref skali porostowej przedstawiono na rysunku 3.



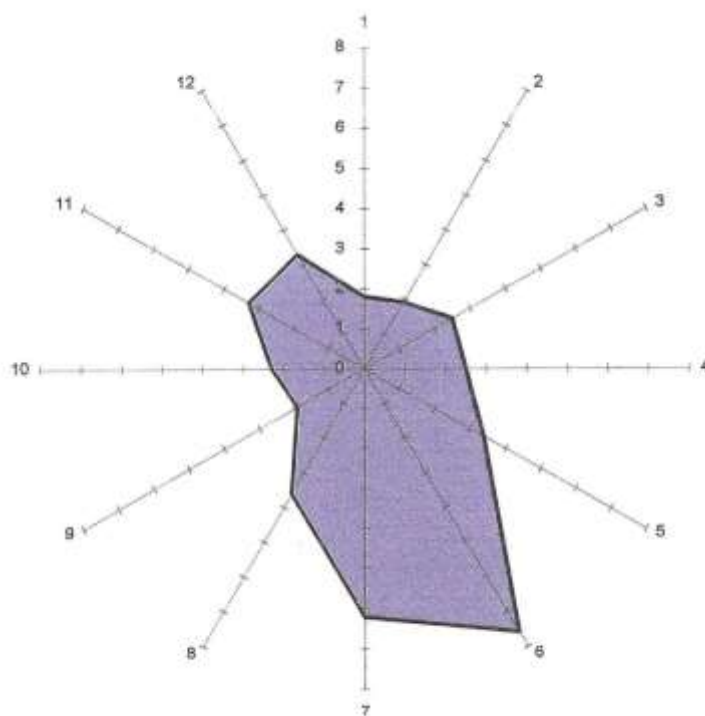
Rysunek 3. Ocena zanieczyszczenia powietrza według siedmiostopniowej skali porostowej

Źródło: geoportal.gov.pl [5], własne wyniki badań

4. Podsumowanie

Uzyskane wyniki nie w pełni potwierdzają przyjęte założenia. We wschodniej zbliżonej do miasta części masywu Kamiennej Ławorty stwierdzono występowanie w obydwu zaprezentowanych wskaźnikach znaczące różnice między sektorami zbliżonymi do miasta i położonymi po przeciwnej, północnej stronie stoku. Wyniki po północnej stronie masywu potwierdzają najmniejsze zanieczyszczenie powietrza w tym miejscu. Nie potwierdziło się przypuszczenie, że najlepsze warunki bytowania porostów będą występować w części szczytowej, gdzie w przeważającej części stwierdzono tylko występowanie gatunków o plechach skorupiastych nawet na terenie porośniętym kilkusetletnimi bukami. Najbardziej jest zaskakujące to, że w miarę oddalania się od miasta w kierunku zachodnim ilość drzew, na których występują porosty spada do bardzo niskich wartości zwłaszcza na stoku południowym i w partiach szczytowych, a występujące nieliczne gatunki o plechach skorupiastych świadczą o bardzo silnym zanieczyszczeniu powietrza. Szukając wyjaśnienia tak niespodziewanych wyników badań, postanowiono ustalić największe źródła zanieczyszczenia powietrza w Ustrzykach Dolnych i okolicach. Po zasięgnięciu informacji w

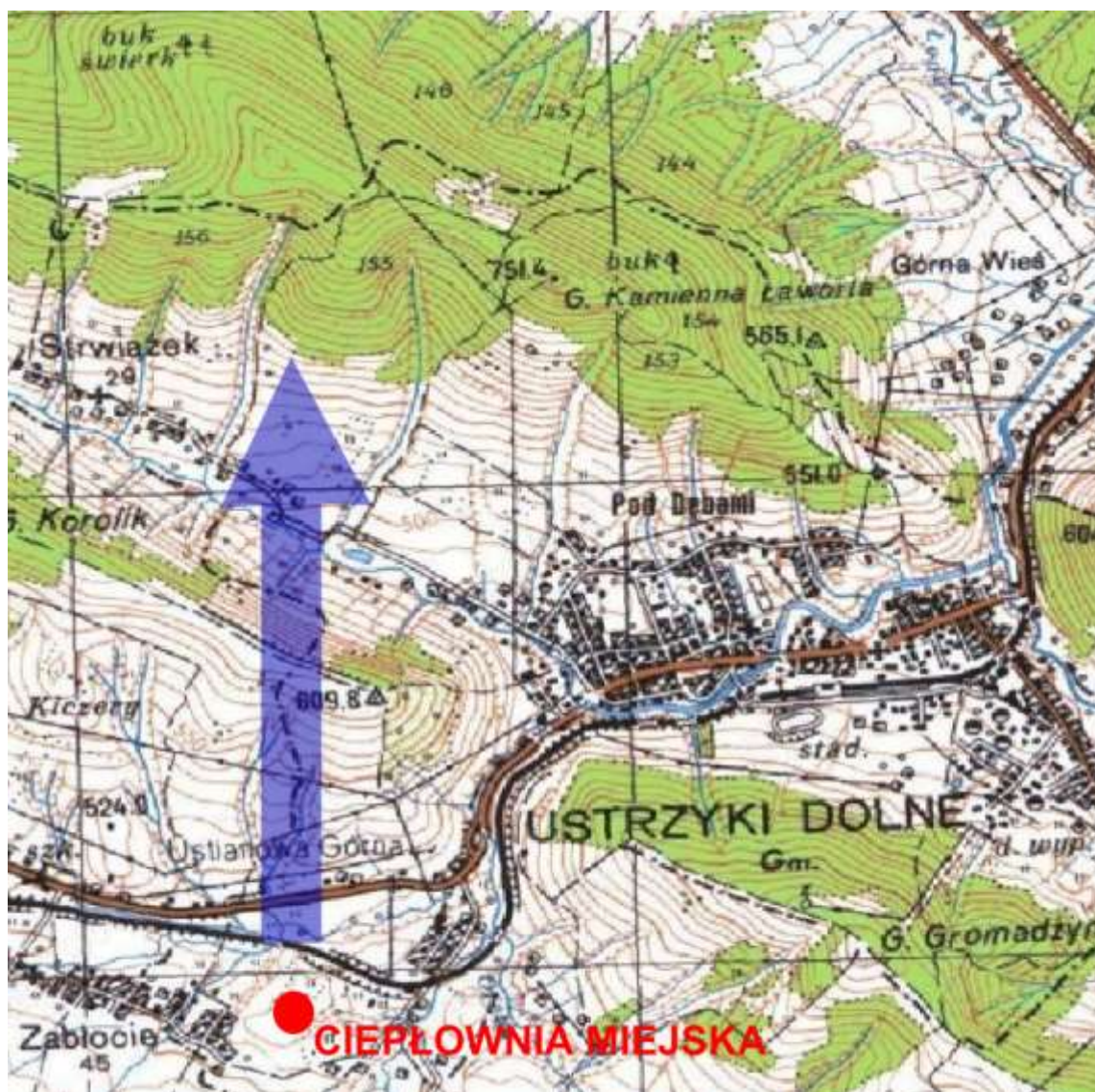
urzędach miejskim i powiatowym, które mają swoje komórki ochrony środowiska stwierdzono, że w samym mieście nie występują bardzo duże źródła emisji zanieczyszczeń do atmosfery z zakładów pracy, a małe kotłownie są w większości zmodernizowane i opalane paliwami ekologicznymi. Dostyć dużym źródłem emisji spalin jest przebiegająca przez miasto ruchliwa droga w kierunku przejścia granicznego w Krościenku. Okazało się też, że największe źródło emisji zanieczyszczeń położone jest poza miastem i jest nim ciepłownia miejska, która zaopatruje w ciepło większą część miasta spalając przy tym około 10 tys. ton węgla rocznie. W tym miejscu nasuwa się przypuszczenie, że tak wielkie źródło zanieczyszczenia może mieć bardzo duży wpływ na zanieczyszczenie atmosfery, większy niż samo miasto. Analizując możliwość tego wpływu pozyskano informacje, z najbliższej stacji meteorologicznej, w Lesku o kierunkach wiatrów najczęściej wiejących w naszej okolicy tzw. „róży wiatrów” przedstawionej na rysunku 4.



Rysunek 4. Średnia roczna róża wiatrów dla stacji meteorologicznej w Lesku

Źródło: Stacja meteorologiczna w miejscowości Lesko

Dominującymi wiatrami są te wiejące z południowego wschodu i południa. Położenie ciepłowni i główny kierunek wiatru przedstawiono na rysunku nr 5.



Rysunek 5. Główny kierunek oddziaływania zanieczyszczeń z ciepłowni miejskiej

Źródło: geoportal.gov.pl [5]

Dokonana analiza wykazała, że główny strumień zanieczyszczonego powietrza omywa zachodnią część masywu Kamiennej Laworty i to jest najbardziej prawdopodobną przyczyną występowania tak niskich wskaźników czystości powietrza w tym rejonie. Ponieważ ciepłownia posiada bardzo wysoki komin zanieczyszczenia rozchodzą się na większej wysokości, stąd zapewne tak znacznie wpływają na pogorszenie warunków bytowania porostów w partiach szczytowych masywu. Te przyczyny potwierdzają bardzo dużą

wrażliwość porostów na zanieczyszczenie środowiska i wyjaśniają bardzo duże zróżnicowanie ich występowania na niewielkim obszarze masywu Kamiennej Laworty.

Literatura:

1. Fałtynowicz W., *Wykorzystanie porostów do oceny zanieczyszczenia powietrza. Zasady, metody, klucze do oznaczania wybranych gatunków.* - Fundacja Centrum Edukacji Ekologicznej Wsi, Krosno 1995.
2. Bylinowska E., Sandecki P., Dajdok Z., *Skala porostowa.* Warszawa 1997.
3. Bystrek J., *Podstawy lichenologii,* Wydawnictwo UMCS, Lublin 1997.
4. Wójciak H., *Porosty Mszaki Paprotniki,* Multico, Warszawa 2003.
5. Strona internetowa: geoportal.gov.pl
6. Conti ME, Cecchetti G. *Biological monitoring: Lichens as bioindicators of air pollution assessment – a review.* Environmental Pollution 2001; 114:471-92.
7. Podbiałkowski Z, Rejment-Grochowska I, Skirgiełło A. *Rośliny zarodnikowe,* Warszawa 1986.
8. Bielczyk U., *Atlas of the geographical distribution of lichens in Poland.,* [Abstrct]. [W]: XIV Congress of European Mycologists. Kiev September 2003. Book of Abstracts., Kiev, 2003.
9. Lipnicki L. Wojciak H. - *Porosty (Klucz- atlas),* WSIP, Warszawa 1995 r.
10. Kremer B. P. - *Porosty, mchy, paprotniki,* Wydawnictwo Świat Książki, Warszawa 1998 r.
11. Wójciak H. - *Porosty Mszaki Paprotniki,* Multico, Warszawa 2003 r.

Martyna Rysińska
Uniwersytet Jana Kochanowskiego
Kielce
Martyna.rysinska@gmail.com

Transport w dobie zrównoważonego rozwoju - studium metod ograniczających negatywny wpływ na środowisko

Słowa klucze: *transport, zrównoważony rozwój, środowisko, antropogeniczne zmiany klimatu*

Streszczenie: W ostatnich latach szczególnego znaczenia nabral temat związany z zanieczyszczeniem powietrza. Okazuje się, że istotną rolę odegrał w tym procesie człowiek i jego działalność na Ziemi. W niniejszym artykule zaprezentowany zostanie obraz funkcjonowania współczesnego transportu oraz zagrożenia jakie niesie on dla przyrody i życia ludzkiego. Przedstawione zostaną metody praktyczne, jak i zastosowania prawne umożliwiające wprowadzenie różnego rodzaju ograniczeń w celu wstrzymania dalszego niekontrolowanego przyrostu transportu i jego negatywnego wpływu na funkcjonowanie całego ekosystemu.

1. Wstęp

Wraz z powstaniem kolei i samochodu następował szybki rozwój transportu miejskiego, początkowo w sposób żywiołowy, a następnie uporządkowany, planowany, dobrze zorganizowany. Obecnie w Polsce ponad 260 miast posiada transport miejski, są to głównie autobusy, natomiast 30 miast posiada transport tramwajowy, w tym 3 trolejbusowy. W Warszawie jest dodatkowo czynna jest jedna linia metra i planowana jest druga [1].

W efekcie ruch się znacznie zwiększył i szybko okazało się, że wzrosła też kongestia – miasta stały się coraz bardziej nieprzejezdne. Dodatkowym efektem był wzrost zagrożenia środowiska ze strony motoryzacji; transport samochodowy odpowiedzialny jest za 60–80% zanieczyszczeń powietrza w miastach. Planowanie strategii transportu opartej na założeniach wzrostu ilości samochodów i budowy dla nich dróg powoduje skutki odwrotne od zamierzonych – wzrasta kongestia i skażenie środowiska [2].

Wyzwania związane z budową i modernizacją istniejącej infrastruktury zbiegły się z innymi, równie istotnymi problemami – koniecznością ochrony klimatu, wzrostem cen paliw, rosnącym rozwarstwieniem społecznym i największym kryzysem ekonomiczno-finansowym od lat 30- tych XX wieku. W tej sytuacji konieczne jest podjęcie działań prowadzących do rozwoju zrównoważonej infrastruktury i mobilności przyjaznej dla ludzi oraz środowiska [3].

Celem pracy jest przedstawienie metod umożliwiających ograniczenie negatywnego oddziaływania transportu na środowisko oraz określenie ich skuteczności.

2. Polityka zrównoważonego rozwoju – istota i założenia

Ostatnie dwadzieścia lat to czas, kiedy koncepcja zrównoważonego rozwoju zaczęła nabierać coraz większego znaczenia, stała się bardziej popularna. Samo pojęcie ewoluuje pod wpływem nowych wyobrażeń, których podstawę stanowią głównie cele ekonomiczne, społeczne, ekologiczne [4].

W kręgach naukowo-badawczych i politycznych powszechnie uważa się, że obserwowane niekorzystne zjawiska atmosferyczne wywołujące różnorodne anomalie pogodowe mogą być efektem skumulowanych, globalnych zmian klimatu ziemskiego – zmian wywołanych m.in. wieloletnim wpływem działalności człowieka na ekosystemy [5].

Punktem wyjścia dyskusji o zrównoważonym rozwoju było spostrzeżenie już w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych, że ludzkość stwarza zagrożenie dla podstaw własnego życia przez nadmierną eksploatację zasobów naturalnych [6]. W przypadku niniejszego artykułu nawiązując do rosnącego znaczenia transportu mamy do czynienia z tzw. antropogenicznym efektem cieplarnianym, co oznacza niekorzystne zmiany klimatu powstałe w wyniku działalności człowieka poprzez zwiększoną emisję gazów cieplarnianych (m.in. pary wodnej, dwutlenku węgla).

W 1988 roku z inicjatywy WMO i ONZ utworzony został specjalny Międzynarodowy Zespół ds. Zmian Klimatu (IPCC). Zespół ten bada stan najnowszej wiedzy, przyczyny i skutki zmian klimatycznych, a także ocenia ryzyko związane z wpływem działalności ludzi na klimat i określa światowe uregulowania w celu ograniczenia emisji zanieczyszczeń do atmosfery.

Świadomość ekologiczna doprowadziła w 1992 roku na konferencji Narodów Zjednoczonych w Rio de Janeiro nowych wytycznych rozwoju, które określono wspólną nazwą *sustainable development*, czyli zrównoważony rozwój. Uczestnikom konferencji w Rio nie udało się jednak znaleźć wspólnej definicji powyższego pojęcia, jak i nie określono wiążących celów ograniczenia eksploatacji zasobów. Niektórzy więc używają innych sformułowań, mówiąc np. o trwale utrzymującym się lub trwale podtrzymywanym rozwoju, o rozwoju przyszłościowym lub bezpiecznym dla przyszłości. Rada Ekspertów do spraw Środowiska –SRU opowiada się natomiast za określeniem tj. rozwój trwale bezpieczny dla

środowiska [6].

Wreszcie w 1997 roku powstał tzw. Protokół z Kioto uznawany za jeden z najważniejszych międzynarodowych instrumentów prawnych mających na celu walkę ze zmianami klimatu. Celem Protokołu z Kioto jest zobowiązanie do redukcji antropogenicznej emisji gazów cieplarnianych.

3. Kryzys środowiskowy na Ziemi- czynniki antropogeniczne

Dotychczasowe kryzysy miały charakter lokalny lub regionalny, natomiast obecnie w roli podmiotów wzajemnego oddziaływania człowieka i przyrody występuje cała ludzkość i cała biosfera. W skutek złożoności, kompleksowości i niepodzielności przyrody, przy obecnej skali ingerencji człowieka w środowisko, w wielu przypadkach działalność każdego kraju nabiera wymiaru międzynarodowego [7].

Kryzys środowiskowy możemy definiować, jako stan powiązań i zależności między człowiekiem a przyrodą, który powoduje zmiany w środowisku przyrodniczym mogące prowadzić do zahamowania rozwoju społeczno-gospodarczego i nie zaspokojenia niektórych potrzeb ludzkich [8].

Naukowcy próbują od wielu lat zmierzyć stopień oddziaływania człowieka na przyrodę.

Z prowadzonych obserwacji wynika, że ludzie wykorzystują, co roku o 40% więcej surowców naturalnych, niż Ziemia jest w stanie odtworzyć, przez co dochodzi do wylesienia, degradacji gleby, zanieczyszczenia powietrza i wody oraz dramatycznego spadku liczby ryb i innych gatunków zwierząt. Obecnie Ziemia potrzebuje około jednego roku i pięciu miesięcy na odbudowanie tego, co wykorzystujemy w ciągu roku [7].

Tabela 1. Niektóre z problemów środowiskowych w skali globalnej

Zanieczyszczenie środowiska	- obecność toksycznych substancji w atmosferze, wodzie i glebie, - zakwaszenie powodowane przez dwutlenek siarki i tlenek azotu.
Zmiany klimatyczne	- efekt cieplarniany (zmiany temperatur, opadów i anomalie pogodowe),

	- zmiany opadów spowodowane deforestacją i pustynnieniem.
Hałas i wibracje	- zmiany fizjologiczne powstające w organizmach żywych.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Pawłowska B., *Zrównoważony rozwój transportu na tle współczesnych procesów społeczno-gospodarczych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2013, s. 98.

Zmiany przedstawione w tabeli 1 charakteryzują się dwiema istotnymi cechami związanymi z funkcjonowaniem człowieka w jego przyrodniczym otoczeniu. Po pierwsze, kluczową siłą sprawczą owych zmian stanowią nie zjawiska przyrodnicze, lecz działalność człowieka w postaci konwersji układów przyrodniczych, eksploatacji zasobów, oddziaływań fizycznych i chemicznych na warunki środowiska. Po drugie zmiany te stają się problemem społecznym.

4. Transport i jego znaczenie

Rozwój transportu miał miejsce w momencie wynalezienia silnika parowego, co przyczyniło się do powstania kolei, jednak prawdziwym punktem zwrotnym w historii transportu okazała się masowa produkcja aut zapoczątkowana w Stanach Zjednoczonych w pierwszych latach XX wieku. Niecałe 30 lat od uruchomienia pierwszej taśmy montażowej w fabryce Forda, jeden samochód przypadał średnio na każdą amerykańską rodzinę. W Polsce w tym czasie był to jeden samochód na ponad 1400 mieszkańców [9]. Porównując te dane do roku 2009 w Polsce na 1000 mieszkańców przypadało już 433 samochody [10]. Wzrost stanu posiadania samochodów osobowych to skutek aspiracji do większej mobilności i poprawy jakości życia.

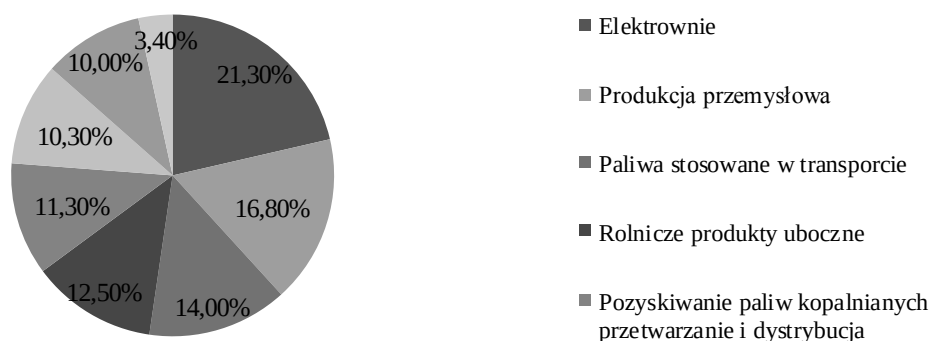
Popyt na transport wynika między innymi z:

- wzrostu stopy życiowej społeczeństwa i związanej z tym skłonności do podróżowania,
- rozwoju turystyki,
- likwidacji ograniczeń w ruchu ludności,
- rozbudowy osiedli mieszkaniowych na obszarach dużych aglomeracji.

Ostatnim etapem związanym z rozwojem transportu było wynalezienie samolotu w II poł. XX wieku, co umożliwiło wykonywanie bardzo dalekich podróży ze znacznym skróceniem czasu.

Transport znacząco wpiera międzynarodową współpracę gospodarczą i pełni zasadniczą rolę w tworzeniu światowej sieci obrotu dobrami oraz w transferze dóbr inwestycyjnych między krajami. Nowoczesny, szybki i wydajny transport spowodował, że wielkie korporacje są w stanie szybko reagować na potrzeby rynku [11].

Transport samochodowy wzrasta, zatem systematycznie i coraz silniej oddziałuje na środowisko wpływając na wzrost zanieczyszczenia powietrza produktami spalania paliw i na powstawanie zjawisk smogowych. Branża transportowa jest wymieniana, jako jedna z głównych przy wytwarzaniu gazów cieplarnianych. Największe źródła emisji gazów cieplarnianych to spalanie paliw kopalnych w elektrowniach (21,3%), procesy związane z produkcją towarów przemysłowych (16,8%), transport - samochody i samoloty (14%), oraz wylesianie (12,5%).



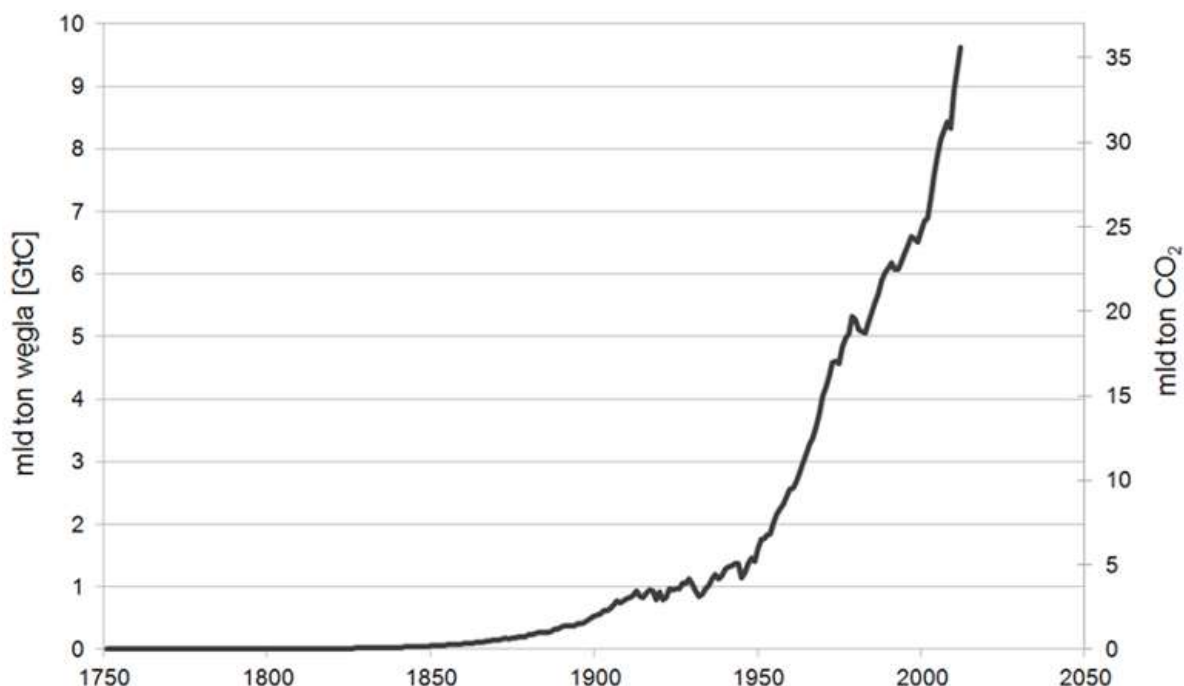
Rysunek 1. Źródła emisji gazów cieplarnianych do atmosfery z podziałem na sektory gospodarki

Źródło: <http://ziemianarozdrozu.pl/encyklopedia/38/energia-i-emisje-co2>.

Środki transportu drogowego są odpowiedzialne za emisję szkodliwych substancji tj.:

- Dwutlenek węgla- gaz powodujący uszczerbki na zdrowiu- niewielkie stężenie może powodować przyspieszony oddech i akcje serca, stężenia rzędu 8-10 % powodują bóle głowy. Przy stężeniu około 40% powoduje obrzęk płuc a w efekcie śmierć. Uważa, się go za główny gaz powodujący efekt cieplarniany, za który obwinia się w dużej mierze transport. Średnia emisja dwutlenku węgla na jeden przejechany przez samochód osobowy kilometr wynosi ponad 170 gram, a lot samolotem 5000 km w dwie strony to ponad 1 tona CO₂ na każdego pasażera. Transport lotniczy jest ponadto najszybciej rosnącym źródłem emisji [12].

Rysunek 2. Obrazuje zmiany emisji dwutlenku węgla.



Rysunek 2. Światowa emisja dwutlenku węgla pochodzącego ze spalania paliw kopalnych, 1751-2012

Źródło: <http://naukaoklimacie.pl/fakty-i-mity/mit-dwutlenek-węgla-emitowany-przez-czlowieka-nie-ma-znaczenia-31>.

- Tlenek azotu- gaz emitowany jest do atmosfery gdzie łączy się z parą wodną, po czym powraca na powierzchnię ziemi w postaci kwaśnych deszczy. Kwaśne deszcze niszczą rośliny, powodują zakwaszenie wód i gleby. Tlenki azotu są także prekursorami związków rakotwórczych oraz przyczyniają się do powstawania smogu fotochemicznego;
- Pyły zawieszone w powietrzu- Najgroźniejszymi pyłami są bardzo drobne cząsteczki sadzy, czyli czystego węgla. Drobiny czystego węgla są bardzo reaktywne i dlatego na ich powierzchni łatwo osadzają się różnorodne toksyczne substancje, w tym rakotwórcze węglowodory i metale ciężkie. W efekcie pyły uczestniczą w transportowaniu węglowodorów, osadzają się na powierzchni liści pochłaniając światło. U człowieka podrażniają oczy, skórę i drogi oddechowe, powodują alergie;
- Dwutlenek siarki- Emitowany do atmosfery łączy się z parą wodną tworząc kwas siarkowy, następnie powraca na ziemię w postaci kwaśnego deszczu lub jest składnikiem tzw. kwaśnej mgły. Kwaśne deszcze zakwaszają glebę powodując zubożenie jej w składniki odżywcze poprzez wypłukiwanie. W wyniku tak zwanej

kwaśnej depozycji dwutlenek siarki (połączony z wodą zawartą we mgle) uszkadza bezpośrednio rośliny i drzewa. Powoduje między innymi wybielenie liści i związane z nim zaburzenia fotosyntezy. Dwutlenek siarki działa drażniąco na drogi oddechowe powodując skurcz oskrzeli.

Spaliny samochodowe są dużo bardziej szkodliwe dla ludzi niż zanieczyszczenia pochodzące z przemysłu, jako, że zanieczyszczenia motoryzacyjne rozprzestrzeniają się w dużych stężeniach na niskich wysokościach w bezpośrednim sąsiedztwie ludzi. Gazy wynikające z branży transportowej wpływają negatywnie na zdrowie ludzkie jak i cały ekosystem. Z wydobywaniem paliw wiąże się także „rabunkowa” postawa człowieka wyrażająca się eksploatacją środowiska naturalnego i wykorzystywaniem zasobów odnawialnych oraz nieodnawialnych.

Transport, jak przedstawiono wcześniej, jest czynnikiem wspomagającym rozwój pozostałych sfer gospodarki oraz życia społecznego. Sektor ten jest kluczowym czynnikiem nowoczesnej gospodarki. Istnieje jednak sprzeczność między społeczeństwem, które wymaga coraz to większej mobilności, a opinią publiczną, która staje się coraz mniej tolerancyjna wobec negatywnych skutków zbyt szybko rozwijającego się transportu i wynikających z tego konsekwencji: zatłoczenia na drogach, pogarszającego się klimatu akustycznego, obniżenia jakości środowiska, w którym żyjemy, czy też słabej jakości niektórych usług transportowych. System transportowy, zatem wymaga obecnie optymalizacji, żeby spełnić wymagania wynikające z zrównoważonego rozwoju. Istota oczekiwań ekonomicznych i społecznych tkwi w żądaniu, by nowoczesny system transportowy realizował potrzeby w zakresie mobilności osób i rzeczy, zarówno w sposób efektywny ekonomicznie, jak i maksymalnie bezpieczny. [7]

Optymalizacja polega na wykorzystaniu różnorodnych środków transportu i tworzeniu współmodalności pomiędzy różnymi rodzajami transportu zbiorowego tj. pociąg, tramwaj, metro, autobus, taksówka oraz różnymi rodzajami transportu indywidualnego, do którego można zaliczyć samochód, motocykl, rower czy chodzenie pieszo. Proces obejmuje także realizację wspólnych celów w zakresie dobrobytu gospodarczego, zarządzaniem popytem na transport, ochroną środowiska oraz związany jest z utrzymywaniem odpowiedniego poziomu życia. Ponadto wiąże się z pogodzeniem interesów związanych z transportem towarów i transportem osób bez względu na rodzaj używanego środka transportu [13].

Pojęcie zrównoważonego transportu ewoluowało w latach. Wybrane definicje przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Definicje zrównoważonego transportu

Definicja	Rok	Autor	Uwagi
Zgodnie z definicją ekorozwoju tylko taki system transportowy można uznać za zrównoważony, który z pokolenia na pokolenie może w pełni funkcjonować przy przemieszczeniu osób i ładunków bez zawłaszczenia materiałów, energii i innych zasobów środowiska, należnych każdemu następnemu pokoleniu.	1991	Konferencja OECD w Berlinie	Jedna z pierwszych definicji zrównoważonego transportu.
Zrównoważony rozwój transportu jest postrzegany przez pryzmat trzech obszarów: gospodarczego, środowiskowego i społecznego. Pierwszym jest równowaga gospodarcza, która obejmuje efektywne gospodarowanie zasobami w celu zaspokojenia zgłaszanych potrzeb. Drugim jest środowisko; podejmowane działania mają zapewnić poprawę warunków życia i funkcjonowania społeczeństwa i ograniczenie negatywnych efektów zewnętrznych. Trzeci obszar to społeczne zrównoważenie rozwoju, skupia się on na redukcji ubóstwa i poprawie dostępności transportowej.	1997	Bank Światowy	Definicja ta jest oparta o definicje zrównoważonego rozwoju, opublikowana w raporcie Brundtland. Jest to próba szerokiego ujęcia kwestii zrównoważonego transportu.
System zrównoważonego transportu to taki system: - umożliwia spełnienie podstawowej potrzeby dostępu społeczeństwa do niego, w sposób bezpieczny i spójny z potrzebami zdrowia ludzkiego i ekosystemów oraz odpowiada wymogom wartości kapitałowych w obrębie danego pokolenia i w skali międzypokoleniowej, - jest przystępny cenowo, skutecznie funkcjonuje, oferuje wybór środków transportu oraz wspiera prężnie rozwijającą się gospodarkę, - ogranicza emisje i odpady z uwzględnieniem	2004	ECMT	Ta definicja uznawana jest za najbardziej reprezentatywną. Została przyjęta w 2004 roku przez Europejską Konferencję Ministrów Transportu i w 2005 roku przez Centrum Zrównoważonego Transportu.

możliwości planety do ich absorpcji, minimalizuje zużycie zasobów nieodnawialnych, ogranicza konsumpcję zasobów odnawialnych do poziomu zrównoważenia, przetwarza i wtórnie wykorzystuje ich komponenty oraz minimalizuje wykorzystanie gruntów, a także ogranicza natężenie hałasu.			Definicja ta jest preferowana przez wielu ekspertów, włącznie z Radą ds. Badań Transportu
--	--	--	---

Źródło: Pawłowska B., *Zrównoważony rozwój transportu na tle współczesnych procesów społeczno- gospodarczych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2013, s. 200-201.

5. Narzędzia umożliwiające ograniczenie negatywnych działań transportu na środowisko

W dzisiejszych czasach można w różnoraki sposób wykorzystywać narzędzia, które będą ograniczać negatywny wpływ człowieka na środowisko. Jednym z takich sposobów jest stanowienie prawa, tudzież aktów normatywnych ustalających zasady działalności gospodarczej, czyli funkcjonowania człowieka i możliwości jego gospodarowania w środowisku. Istotne jest także stosowanie praktycznych narzędzi, których realizacja widoczna jest w życiu każdego człowieka, a więc wdrażanie ograniczeń ruchu w miastach, promowanie transportu rowerowego i publicznego. W poniższych podrozdziałach przybliżone zostaną wymienione kwestie w rozbudowany sposób.

5.1. Akty normatywne

W ramach negatywnych oddziaływań transportu na środowisko należy szukać możliwości i narzędzi ograniczających ten negatywny wpływ.

Zgodnie z priorytetami OECD prezentowanymi w projekcie EST (Wiederkehr, 2004) w perspektywie do roku 2030 wdrożenie strategii środowiskowo zrównoważonego transportu, powinno doprowadzić do:

1. Znaczącej zmiany w rodzajach transportu pasażerskiego: wysokowydajne silniki konwencjonalne (spalinowe), pojazdy hybrydowe (silnik benzynowy + elektryczny), pojazdy elektryczne oraz wykorzystanie paliwa wodorowego;
2. Zwiększenia liczby podróży pieszych na krótkich dystansach;
3. Zwiększenia znaczenia transportu publicznego, włączając nowe formy zintegrowanego transportu publiczno-prywatnego (tzw. „publiczne samochody”);

4. Zwiększenia efektywności transportu towarów poprzez lepszą sieć dróg, logistykę i większe wykorzystanie przewozów kolejowych, przede wszystkim o napędzie elektrycznym;
5. Zwiększenia znaczenia żeglugi morskiej i śródlądowej z wykorzystaniem wydajnych i nie zanieczyszczających środowiska statków, także takich wykorzystujących wodór jako paliwo.

Zgodnie z wytycznymi OECD transport zrównoważony środowiskowo narzuca następujące wymogi:

1. Istotne redukcje w posiadaniu i korzystaniu z samochodów oraz przejście na poruszanie się bardziej wydajnymi pojazdami;
2. Ograniczenie podróży pasażerskich i towarowych na dalekie odległości, zwłaszcza w odniesieniu do przelotów samolotami oraz zwiększenie niezmotoryzowanego przemieszczania się na krótkich dystansach;
3. Energooszczędna, elektrycznie zasilana, szybka kolej;
4. Energooszczędny, skutkujący mniejszym zanieczyszczeniem transport morski;
5. Większa dostępność do nowych, opracowywanych sposobów przemieszczania się;
6. Wzrost wykorzystania telekomunikacji, jako substytutu fizycznego podróżowania;
7. Efektywniejsze systemy produkcji, redukujące transport towarowy na dalekie odległości [14].

W celu spełnienia zobowiązań Protokołu z Kioto można wykorzystać mechanizmy wspomagające, które pozwalają obniżyć koszty redukcji emisji gazów cieplarnianych. Są to:

- mechanizm wspólnego wypełniania zobowiązań Joint Implementation (JI), stwarzający możliwość zaliczenia w poczet redukcji emisji gazów cieplarnianych w danym kraju redukcji emisji uzyskanej w wyniku inwestycji w innym kraju (dotyczy krajów rozwiniętych i z gospodarką w okresie przejściowym, zobowiązanych do redukcji emisji);
- handel emisjami między państwami z załącznika I do konwencji, pozwalający krajowi –Stronie Protokołu sprzedać nadwyżki uzyskanych redukcji emisji gazów cieplarnianych w stosunku do zobowiązań, wynikających z Protokołu innemu krajowi – Stronie Protokołu;
- mechanizm czystego rozwoju (CDM), podobny do mechanizmu JI, pozwalający dokonywać transakcji pomiędzy krajami zobowiązanymi do redukcji emisji gazów

cieplarnianych (kraje rozwinięte i z gospodarką w okresie przejściowym), a krajami nie posiadającymi zobowiązań (kraje rozwijające się). [15].

5.2. Rozwiązania praktyczne

Do praktycznych rozwiązań ograniczających negatywny wpływ transportu na środowisko należy wykorzystać: transport rowerowy, ograniczenie transportu samochodowego, zintegrowane węzły przesiadkowe.

- transport rowerowy

Rower staje się coraz powszechniejszym środkiem transportowym wykorzystywanym do podróżowania w miastach i aglomeracjach miejskich. Dotyczy to przede wszystkim wykorzystywania roweru, jako:

- samodzielnego środka transportu w podróżach krótkich, w których może efektywnie konkurować z innymi środkami transportu;
- środka dojazdowego do węzła przesiadkowego na transport publiczny (kolej, tramwaj, metro).

Skutecznym sposobem promocji ruchu rowerowego jest ułatwianie dostępu do systemu poprzez wprowadzanie sieci wypożyczalni rowerów miejskich, z których korzystanie jest bezpłatne, za kaucją lub za niewielką opłatą. [16].

Raport Europejskiej Agencji Środowiska *Transport and Environment Reporting Mechanism* (2013) wskazuje, że coraz większa popularność rowerów w wielu miastach sprzyja poprawie infrastruktury. Stopień przyjazności miast dla rowerzystów pokazuje tzw. Copenhagenize Index, według którego najwyższe noty w roku 2013 uzyskiwały: holenderski Amsterdam (83 punkty) i Utrecht (77 punkty) oraz Kopenhaga (81 punkty) w Danii. Hiszpańska Sewilla awansowała w tym zestawieniu na miejsce 4. dzięki rozbudowie infrastruktury w ciągu zaledwie kilku lat udział ruchu rowerowego (mierzonego w kilometrach pokonywanych danym środkiem transportu) w ruchu ogólnym wzrósł z 0,5 proc. aż do 7 proc.

- formy ograniczenia ruchu samochodów na terenie miast

Stosowanie opłat za wjazd samochodem do centrum wprowadził Singapur już w 1975 roku, a po nim w latach 1990 Oslo. Z tego rozwiązania korzysta obecnie wiele miast w Europie jak i na świecie. Jeszcze bardziej radykalnym, a jednak stosowanym rozwiązaniem są rotacyjne zakazy ruchu, wprowadzone przez niektóre miasta wobec bezpośredniego

zagrożenia smogiem (np. Pekin w czasie igrzysk olimpijskich w 2008 roku). Z reguły sprowadzają się do zakazu wjazdu pojazdów o parzystych lub nieparzystych numerach rejestracyjnych w parzyste lub nieparzyste dni tygodnia czy miesiąca. Działania te mają jednak charakter interwencyjny, a nie systemowy. Minusem tego rozwiązania jest losowa eliminacja użytkowników, a nie trwałe odwołanie ich od korzystania z samochodu. Działaniem systemowym jest natomiast zmniejszenie liczby samochodów, poprzez zwiększenie liczby ich pasażerów. Zarządy wielu światowych metropolii czynnie popierają także ideę „car-sharing” i „carpooling”, czyli wspólne wykorzystywanie jednego pojazdu przez kilka osób. W tym celu wydziela się tzw. HOV lanes– specjalne pasy tylko dla samochodów przewożących większą liczbę osób (np. Atlanta, czy Houston).

- zintegrowane węzły przesiadkowe – transport publiczny

Węzły przesiadkowe pozwalają, niekiedy znacząco, skrócić czas podróży transportem zbiorowym. W dużych miastach bardzo ważne jest zapewnienie integracji poszczególnych podsystemów transportowych (kolej, metro, tramwaj, autobus). Korzyści z tego tytułu, odnoszą pasażerowie i organizatorzy transportu. Węzeł przesiadkowy może zapewniać możliwość przesiadania się pomiędzy różnymi środkami transportu publicznego (np. z autobusu na autobus, z autobusu na metro). Jego funkcja może być także szersza, gdy umożliwia przesiadanie się pomiędzy systemami transportu indywidualnego i publicznego (np. z samochodu na pociąg, z samochodu na metro, z roweru na metro). Taki rodzaj węzła przesiadkowego należy do systemu odbywania podróży nazywanego „parkuj i jedź” (*Park & Ride* oraz *Bike & Ride*). Celem tworzenia takich systemów (i takich węzłów przesiadkowych) jest zachęcanie do odbywania podróży łączonej (np. samochód-pociąg) i ograniczenie liczby dojazdów samochodami do obszarów śródmiejskich [16].



Rysunek 3. Koncepcja węzła przesiadkowego w mieście

Źródło: http://www.zm.org.pl/?a=wezly_przesiadkowe-125.

6. Podsumowanie

Transport został wskazany, jako druga branża emitująca największą ilość gazów cieplarnianych do atmosfery. Czynnikiem ten zwraca, więc uwagę badaczy i przywódców światowych, którzy analizują i wprowadzają metody ograniczające negatywne oddziaływanie transportu na środowisko. Metody te zapewne przynoszą korzyści, ale nie ma przeprowadzonych badań, określających ich skuteczność. Warto podkreślić, że całkowita eliminacja zanieczyszczeń emitowanych przez transport w obecnym świecie jest niemożliwa. Mimo to każde działanie, nawet minimalnie ratujące środowisko czy życie ludzkie jest warte stosowania. Prawdziwy efekt może jednak przynieść zintegrowane działanie na rzecz środowiska, bowiem skutki antropogenicznego oddziaływania człowieka na środowisko przyrodnicze nie tworzą prostych liniowych zależności, lecz skomplikowaną sieć powiązań.

Literatura:

1. Karbowski H., *Podstawy infrastruktury transportu*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Humanistyczno- Ekonomicznej w Łodzi, Łódź 2009.
2. Mikłaszewski A., *Ekorozwój – Rozwój Zrównoważony*, *Górnictwo i Geologia* nr 28/2000, Politechnika Wrocławska.

3. PwC we współpracy z Ministerstwem Gospodarki i Forum Odpowiedzialnego Biznesu, *Wizja Zrównoważonego rozwoju dla polskiego biznesu 2050*, Warszawa 2012.
4. Mazur- Wierzbicka E, *Ochrona środowiska a integracja europejska*, Difin, Warszawa 2012.
5. Ministerstwo Środowiska, *Ramowa Konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (UN FCCC) oraz Protokół z Kioto do tej Konwencji*, Warszawa 2006.
6. Rogall H., *Ekonomia zrównoważonego rozwoju teoria i praktyka*, Zysk i S-ka, Poznań 2010.
7. Pawłowska B., *Zrównoważony rozwój transportu na tle współczesnych procesów społeczno- gospodarczych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2013.
8. Dobrzański G., *Istota i cechy współczesnego kryzysu ekologicznego*, Ekonomia i Środowisko, nr 1 (14), Białystok 1999.
9. Kronenberg J., Bergier T., *Wyzwania zrównoważonego rozwoju w Polsce*, Fundacja Sedzimira, Kraków 2010.
10. Główny Urząd Statystyczny, *Wskaźniki zrównoważonego rozwoju Polski*, Katowice 2011.
11. Grzywacz W., Wojewódzka- Król K., Rydzkowski W., *Polityka transportowa*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2003.
12. <http://www.klimatdla ziemi.pl/index.php?id=179&lng=pl>, 5.02.2007.
13. Komisja Wspólnot Europejskich, *Zielona księga w kierunku nowej kultury mobilności w mieście*, Bruksela, dnia 25.9.2007.
14. Borys T., *Analiza istniejących danych statystycznych pod kątem ich użyteczności dla określenia poziomu zrównoważonego rozwoju transportu wraz z propozycją ich rozszerzenia*, Jelenia Góra - Warszawa listopad 2008.
15. Ministerstwo Środowiska, *Polityka klimatyczna Polski Strategia redukcji emisji gazów cieplarnianych w Polsce do roku 2020*, Warszawa, październik 2003 r.
16. Brzeziński A, Rezwow M., *Zrównoważony transport- ekologiczne rozwiązania transportowe*, www.transeko.pl.