

POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA

BIAŁYSTOK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**CIVIL AND
ENVIRONMENTAL
ENGINEERING**

**BUDOWNICTWO
I INŻYNIERIA
ŚRODOWISKA**

Abstracts

Vol. 9 No. 3

Katarzyna DĄBROWSKA, Łukasz TRYBUŁOWSKI, Marcin BUTKIEWICZ, Justyna KLIMOWICZ, Angelika KISIEL, Weronika SKOCZKO, Ewa SZATYŁOWICZ, Iwona SKOCZKO
Management of the national administration of water from 2018

An attempt was made to analyze the management of domestic water management since 2018 in Poland. The New Water Law, which became effective from 20 July 2017, has been analyzed. Changes in the scope of rights and duties of the superior in relation to public waters owned by the State Treasury were presented and the binding Act was compared to the Act of July 18, 2001. The institution of the State Aquatic Water Poland and its hierarchy and scope of duties was presented. The documents that are issued by the new institution are also specified.

Katarzyna IGNATOWICZ, Joanna OKSIUTA
Evaluation of efficiency of sewage treatment plant in constructed wetland in Zwierki

The article presents results of research with household sewage treated by constructed wetland system in Zwierki. For effectiveness evaluation of sewage treatment plant sampling events were performed in 2017-2018. The samples were taken from: septic tank, after treatment in vertical flow constructed wetland and from aerobic pond. Efficiency of removal of organic matter as well as biogenic compounds was evaluated. Carried out investigation confirmed high efficiency of organic compounds removal BOD₅ was up to 74,19% and COD up to 93,80%.

Wojciech KRUSZYŃSKI, Agnieszka TRĘBICKA
Performing simulation tests of the model water supply network in terms of its various operational states with the development of a numerical procedure for the automation of data generation

The purpose of the work was to perform simulation tests and develop a numerical procedure for the automatic generation of data from the EPANET program through MATLAB's superior software. The research used the exact mathematical model of the network, which was supplemented by valves. The scope of work included performing simulation tests of the model water supply network, taking into account 2 different network models (simplified and precise) and various operational states (water abstraction). The selection of an appropriate set of numerical procedures and programming environments was then made to generate data automatically by combining the EPANET modeling program with the MATLAB environment. Thanks to a properly made and calibrated network model, simulation tests were successfully carried out. The developed programming procedure for generating numerical data from the EPANET model enabled full automation of the calculation and processing of data generated from simulation in the MATLAB environment.

Marta NAZARCZUK
Stiffness and load bearing tests of timber frame wall panels in different configurations of the geometry and structural components

In the article results of stiffness and load bearing tests under horizontal load of timber frame walls are presented. Six different types of walls were tested. The difference between panels is their structural configuration and thickness. Structural sheathing was glued and mechanically fixed to the frame. The tests were conducted according to PN-EN 594:2011. The results are presented on F-v graphs (where: F is the horizontal force and v is the horizontal displacement of the upper edge). Furthermore, ultimate forces F_{max} are presented and stiffness of every wall was calculated according to aforementioned code.

Andrei V. TUR, Viktor V. TUR, Aliaksandr A. LIZAHUB

An innovative approach to safety format of non-linear analysis applied to structural robustness assessment

Currently the CEN/TC250 is completing the development of a new (second) generation of Structural Eurocodes. The checking of robustness remains one of the important stages in the design of structural systems. Recommended design strategies for robustness checking are based on provisions given in actual EN 1991-1-7. A Non-linear pseudo-static analysis is widely used by following reasons: a non-linear structural analysis based on more realistic constitutive relations for basic variables makes possible a simulation of the real structural behaviour. Implementation of the non-linear pseudo-static analysis for assessment of the structural system in accidental design situation requires an alternate approach to safety format. The paper presents an innovative approach to safety format calibration for non-linear analysis of RC-structures subjected to accidental loads.

Marta WYSOCKA

The biological evaluation of the effectiveness of the constructed wetlands

This article discusses the problem of biological evaluation of the constructed wetlands. The constructed wetland located in Zwierki in the Zabłudów commune was a research facility. Biological evaluation of the constructed wetland was made by taking samples of raw sewage, treated sewage flowing out of the deposit and water from the receiving pond. Cultures were made on individual media to determine the presence or amount of the microorganisms concerned. After incubation, the approximate number of microorganisms on solid media was calculated. As a result of the research, it was found that the constructed wetland to some extent reduces the amount of microorganisms present in raw sewage. However, in the receiving pond, secondary biological pollution occurs.

Spis treści

Katarzyna DĄBROWSKA, Łukasz TRYBUŁOWSKI, Marcin BUTKIEWICZ, Justyna KLIMOWICZ, Angelika KISIEL, Weronika SKOCZKO, Ewa SZATYŁOWICZ, Iwona SKOCZKO

Zarządzanie krajową gospodarką wodną od 2018 roku

Management of the national administration of water from 2018 109

Katarzyna IGNATOWICZ, Joanna OKSIUTA

Efektywność usuwania zanieczyszczeń ze ścieków w oczyszczalni hydrofitowej w Zwierkach

Evaluation of efficiency of sewage treatment plant in constructed wetland in Zwierki 117

Wojciech KRUSZYŃSKI, Agnieszka TRĘBICKA

Wykonanie badań symulacyjnych modelowej sieci wodociągowej z opracowaniem procedury numerycznej automatyzacji generowania danych

Performing simulation tests of the model water supply network in terms of its various operational states with the development of a numerical procedure for the automation of data generation 125

Marta NAZARCZUK

Badania sztywności i nośności paneli ściennych w konstrukcji szkieletowych budynków drewnianych w różnych konfiguracjach geometrycznych i konstrukcyjnych

Stiffness and load bearing tests of timber frame wall panels in different configurations of the geometry and structural components 131

Andrei V. TUR, Viktor V. TUR, Aliaksandr A. LIZAHUB

An innovative approach to safety format of non-linear analysis applied to structural robustness assessment 137

Marta WYSOCKA

Biologiczna ocena działania oczyszczalni hydrofitowej

The biological evaluation of the effectiveness of the constructed wetlands 143

ZARZĄDZANIE KRAJOWĄ GOSPODARKĄ WODNĄ OD 2018 ROKU

Katarzyna DĄBROWSKA^a, Łukasz TRYBUŁOWSKI^a,
Marcin BUTKIEWICZ^a, Justyna KLIMOWICZ^a, Angelika KISIEL^a,
Weronika SKOCZKO^b, Ewa SZATYŁOWICZ^c, Iwona SKOCZKO^{c*}

^a Koło Młodych PZITS, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351, Białystok

^b Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, Wydział Humanistyczny Instytut Edukacji, ul. Żytnia 17/19 08-110 Siedlce

^c Katedra Technologii i Systemów Inżynierii Środowiska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351, Białystok

Streszczenie: Podjęto próbę analizy zarządzania krajową gospodarką wodną od 2018 roku w Polsce. Przeanalizowano ustawę *Prawo wodne*, która zaczęła obowiązywać od 20 lipca 2017 roku. Przedstawiono zmiany w zakresie praw i obowiązków zwierzchnika w stosunku do wód publicznych stanowiących własność skarbu państw oraz porównano obowiązującą ustawę z ustawą z 18 lipca 2001 roku. Przedstawiono instytucję Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie oraz jej hierarchię i zakres obowiązków, a także dokumenty przez nią wydawane.

Słowa kluczowe: wody polskie, gospodarka wodna, prawo wodne.

doi: 10.24427/bis-2018-vol9-no3-0001

1. Wprowadzenie

Ustawa *Prawo wodne*, która zaczęła obowiązywać od 20 lipca 2017 roku, na nowo określiła zarządzanie zasobami wodnymi w Polsce. Nowe *Prawo wodne* wprowadziło całkowitą przebudowę struktury organów właściwych w gospodarowaniu wodami (Cyrankiewicz, 2017). Oprócz dotychczasowych dorzeczy i regionów wodnych, wyróżnia się także zlewnie – zdefiniowane przez ustawodawcę jako: „obszar lądu, z którego cały spływ powierzchniowy wód jest odprowadzany przez system strug, strumieni, potoków, rzek i kanałów do wybranego przekroju cieków” (Gajda, 2017). W związku z tym podziałem utworzono Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie (Dolna, 2017a). W jej skład wchodzi następujące jednostki organizacyjne: Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej z siedzibą w Warszawie, regionalne zarządy gospodarki wodnej z siedzibami w jedenastu miastach, zarządy zlewni i nadzory wodne (Gajda, 2017).

2. Nowa ustawa *Prawo wodne*

Nowe *Prawo wodne* to rozbudowany akt prawny regulujący prawa i obowiązki jednostek samorządu terytorialnego, szeroko pojętej administracji, zwykłych obywateli, a także przedsiębiorców. Ustawa ta pozwala na sprawniejsze zarządzanie zasobami wodnymi,

obniżenie obciążenia budżetu państwa oraz w wyższym stopniu racjonalne wydatkowanie środków publicznych. W rezultacie zwiększa się bezpieczeństwo przeciwpowodziowe obywateli (Uzasadnienie do projektu ustawy, 2017).

Reforma gospodarki wodnej dąży do wprowadzenia w obszarze regulacji nowego *Prawa wodnego* narzędzi zapewniających osiągnięcie celu Ramowej Dyrektywy Wodnej, jakim jest pełna realizacja zlewniowej polityki gospodarowania wodami spełniającej kryteria funkcjonalności i bezpieczeństwa oraz zrównoważonego rozwoju, efektywności ekonomicznej, trwałości ekosystemów i aprobaty społecznej zgodnie z zasadą zrównoważonego gospodarowania wodami, w tym także z gospodarczym korzystaniem z zasobów wodnych (Cyrankiewicz, 2017).

Właścicielami wód – podobnie jak w poprzedniej ustawie *Prawo wodne* z 18 lipca 2001 roku (stare *Prawo wodne*) jest: Skarb Państwa, osoby prawne (w tym jednostki samorządu terytorialnego) oraz osoby fizyczne. Reformie nie podlegają wody morza terytorialnego, morskie wody wewnętrzne wraz z morskimi wodami wewnętrznymi Zatoki Gdańskiej, śródlądowe wody powierzchniowe płynące oraz wody podziemne stanowiące własność Skarbu Państwa. Płynące wody publiczne oraz grunty przez te wody pokryte nie podlegają obrotowi cywilnoprawnemu, z wyjątkami określonymi w ustawie. Tak samo jak grunty pokryte wodami powierzchniowymi płynącymi, stanowiącymi własność

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: i.skoczko@pb.edu.pl

Skarbu Państwa pozostaną zasobem nieruchomości Skarbu Państwa, do którego nie stosuje się przepisów ustawy o gospodarce nieruchomościami (Dolna, 2017b).

Od 1 stycznia 2018 r. zmienił się katalog podmiotów wykonujących prawa zwierzchnika w stosunku do wód publicznych stanowiących własność Skarbu Państwa (Uzasadnienie do projektu ustawy, 2017).

Zgodnie z przepisami obowiązującymi do 31 grudnia 2017 prawa właścicielskie w stosunku do wód publicznych stanowiących własność Skarbu Państwa wykonywali (Dolna, 2017b):

- minister właściwy do spraw gospodarki morskiej
 - w stosunku do wód morza terytorialnego oraz morskich wód wewnętrznych wraz z wodami Zatoki Gdańskiej;
- Prezes Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej
 - w stosunku do wód istotnych dla kształtowania zasobów wodnych oraz ochrony przeciwpowodziowej;
- dyrektor parku narodowego – w stosunku do wód znajdujących się w granicach parku;
- marszałek województwa w odniesieniu do zadań z zakresu administracji rządowej wykonywanej przez samorząd województwa – w stosunku do wód istotnych dla regulacji stosunków wodnych na potrzeby rolnictwa, służących polepszeniu zdolności produkcyjnej gleby i ułatwieniu jej uprawy.

Od 1 stycznia 2018 r. katalog tych podmiotów uległ zmianie. Zgodnie z artykułem 212 ust. 3 nowego prawa wodnego prawa właścicielskie w stosunku do wód publicznych stanowiących własność Skarbu Państwa wykonują:

- Wody Polskie – w stosunku do śródlądowych wód płynących oraz wód podziemnych, z wyłączeniem śródlądowych dróg wodnych o szczególnym znaczeniu transportowym;

- Minister właściwy do spraw gospodarki morskiej
 - w stosunku do wód morza terytorialnego oraz morskich wód wewnętrznych;
- Minister właściwy do spraw żeglugi śródlądowej
 - w stosunku do śródlądowych dróg wodnych o szczególnym znaczeniu transportowym.

W strukturze zarządzania wodami stare *Prawo wodne* w tym zakresie przewidywało działanie prezesa Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej (KZGW) jako głównego organu administracji rządowej właściwego w sprawach gospodarowania wodami, oraz dyrektorów regionalnych zarządów gospodarki wodnej (RZGW) jako organów administracji rządowej niezintegrowany w regionie wodnym. Nowe *Prawo wodne* spowodowało zniesienie w/w organów 1 stycznia 2018 roku (art. 252). W tym samym dniu obowiązki dotychczasowego prezesa KZGW, dotychczasowych dyrektorów RZGW oraz marszałków województw związane z utrzymaniem wód oraz pozostałego mienia Skarbu Państwa związanego z gospodarką wodną, a także inwestycjami w gospodarce wodnej przejęło do wykonywania Państwowe Gospodarstwo Wodne – Wody Polskie. Wskazuje to również, że wszelkie należności, zobowiązania, prawa i obowiązki KZGW oraz RZGW stały się należnościami, zobowiązaniami, prawami i obowiązkami Wód Polskich (Dolna, 2017b).

Oznacza to że, Wody Polskie przejęły zarządzanie wodami w zakresie: lokalnym (nadzór wodny), zlewni (zarząd zlewni), regionu wodnego (regionalny zarząd gospodarki wodnej) oraz dorzecza (Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej) (Dolna, 2017b). Nowe *Prawo wodne* wniosło wiele zmian w stosunku do dawniej obowiązującej ustawy. W tabeli 1 przedstawiono różnice pomiędzy obiema ustawami.

Tab. 1. Porównanie ustaw *Prawo wodne* w zakresie struktury zarządzania wodami (Dolna, 2017b)

	Nowe Prawo wodne 20.07.2017 r.	Prawo wodne 18.07.2001 r.
Właściciel wód	Skarb Państwa	Skarb Państwa
Własność Skarbu Państwa wykonują:	- minister właściwy do spraw żeglugi śródlądowej - Wody Polskie - minister właściwy do spraw gospodarki morskiej	- minister właściwy do spraw gospodarki morskiej - Prezes Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej - dyrektor parku narodowego - marszałek województwa, jako zadanie z zakresu administracji rządowej wykonywane przez samorząd województwa
Struktura zarządzania	Państwowe Gospodarstwo Wodne - Wody Polskie	- Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej (KZGW) - Dyrektorzy regionalnych zarządów gospodarki wodnej (RZGW)
Zgody i pozwolenia	zgody wodnoprawne są wydawane przez Wody Polskie	pozwolenia wodnoprawne i zgłoszenia wydawane były przez starostów powiatowych, marszałków województw oraz regionalnych dyrektorów gospodarowania wodą

3. Państwowe Gospodarstwo Wodne „Wody Polskie” w teorii

Wody Polskie przejęły dotychczasowe zadania i kompetencje Prezesa Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej, dyrektorów regionalnych zarządów gospodarki wodnej oraz marszałków województw (związane z utrzymaniem wód) oraz starostów – w zakresie wydawania pozwoleń wodnoprawnych. Na barkach Wód Polskich pozostaje też utrzymanie pozostałego mienia Skarbu Państwa związanego z gospodarką wodną, a także prowadzenie inwestycji w tym obszarze (Miś, 2017). Podstawowe zadania Wód Polskich obejmują przede wszystkim przygotowanie projektów niektórych dokumentów związanych z zarządzaniem ryzykiem powodziowym oraz przeciwdziałaniem skutkom suszy. Wody Polskie są odpowiedzialne na przykład za sporządzenie projektów map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego w uzgodnieniu z właściwymi wojewodami. Z kolei Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej oraz regionalne zarządy gospodarki wodnej przestały być państwowymi jednostkami budżetowymi i jako jednostki organizacyjne zostaną włączone w strukturę Wód Polskich (www.portalsamorzadowy.pl).

Centralną strukturą Wód Polskich jest Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej w Warszawie. Na poziomie regionalnym funkcjonuje jedenaście zarządów gospodarki wodnej w: Białymstoku, Bydgoszczy, Gdańsku, Gliwicach, Krakowie, Lublinie, Rzeszowie, Poznaniu, Szczecinie, Warszawie i Wrocławiu. W strukturze Wód Polskich działa też pięćdziesiąt zarządów zlewni, a także 352 nadzory wodne i ich filie. Powstały również komórki do spraw kontroli i audytu wewnętrznego, a także biura rzecznika prasowego oraz pełnomocnika ds. ochrony informacji niejawnych. Na rysunku 1 przedstawiono rozmieszczenie zarządów gospodarki wodnej w kraju (Dolna, 2017a).



Rys. 1. Rozmieszczenie zarządów gospodarki wodnej na podstawie (Dolna, 2017)

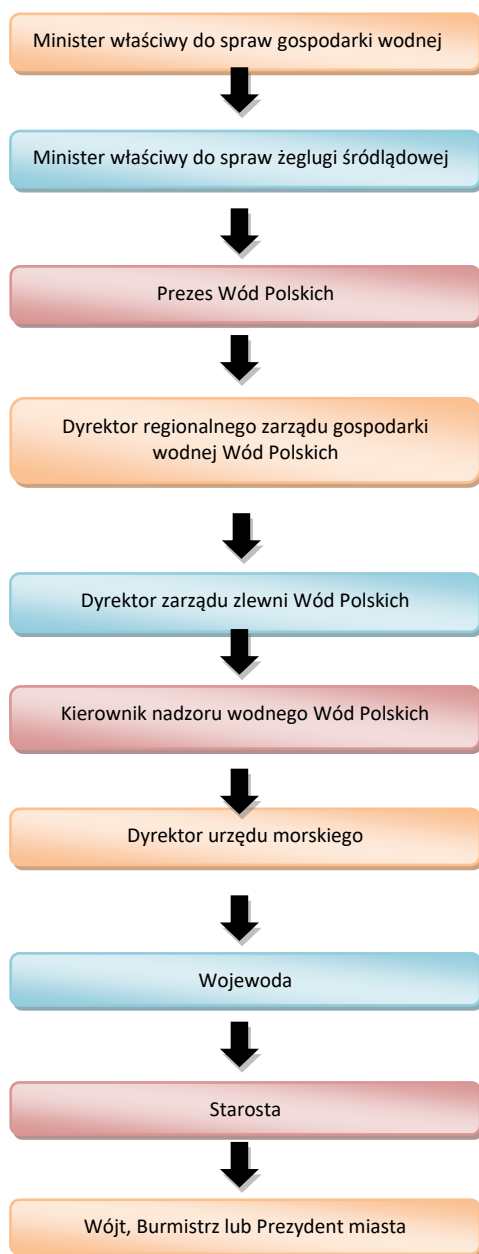
Instrumentem finansowania zadań ustawowych Wód Polskich są wpływy z opłat z tytułu usług wodnych i z opłat podwyższonych generowanych w obszarze gospodarki wodnej, w szczególności z opłat za pobór wód oraz z opłat podwyższonych za brak wymaganej prawem decyzji lub za przekroczenie lub naruszenie warunków korzystania ze środowiska, ustalonych decyzją w zakresie poboru wód (Dyrektywa 2000/60/WE).

4. Hierarchia i zakres obowiązków

W związku z reorganizacją systemu gospodarowania wodami najistotniejszą zmianą było zlikwidowanie centralnej administracji rządowej w postaci prezesa Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej i zmianę na Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie (Dz. U. 2017 poz. 1566, 2180). Celem reformy struktur organizacyjno-prawnych w takiej postaci była głównie konsolidacja zarządzania zasobami wodnymi. Z powodu wyroku jaki wydano 30 czerwca 2016 roku przez Trybunał Sprawiedliwości Unii Europejskiej, gdzie stwierdzono że Polska nie dostosowała się do Dyrektywy Parlamentu Europejskiego 2000/60/WE z 23 października 2000 roku ustalającej ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej. Dlatego też wprowadzenie nowej ustawy *Prawo wodne* miało istotne znaczenie zarówno z powodu usunięcia wszelkich niedociągnięć wynikających z niedostosowania się do dyrektywy jak również spełnienia wymagań formalnych, które są niezbędne do otrzymania środków z programów operacyjnych UE na lata 2014-2020 (Dz. U. 2017 poz. 1566, 2180).

Ustawodawcy mając na uwadze te obostrzenia musieli stworzyć nową ustawę, która wyeliminuje wszystkie wady prawne i w przejrzysty sposób ustali kompetencje wszystkich podmiotów zarządzających zasobami wodnymi w Polsce. Utworzono Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie. Ministrowi powierzono między innymi kształtowanie polityki wodnej na obszarze całego kraju oraz nadzór nad Wodami Polskimi i służbami państwowymi takimi jak: służba hydrogeologiczna, hydrologiczno-meteorologiczna i do spraw bezpieczeństwa budowli piętrzących. W zakresie obowiązków należących do instytucji Wód Polskich będą one wykonywały zadania należące do tej pory do Prezesa Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej i dyrektorów regionalnych zarządów gospodarki wodnej. Podział organów właściwych w sprawie gospodarowania wodami przedstawiono rysunku 2.

Do obowiązków Prezesa Wód Polskich należą przede wszystkim: kierowanie Wodami Polskimi i reprezentowanie ich na zewnątrz, kierowanie pracą Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej, wykonywanie obowiązków prawnych w zakresie praw i obowiązków majątkowych, udzielanie pełnomocnictw pracownikom Wód Polskich (Dz. U. 2017 poz. 1566, 2180).



Rys. 2. Hierarchia organów właściwych w sprawie gospodarowania wodami na podstawie (Dz. U. 2017 poz. 1566, 2180)

Dyrektor Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej
jest odpowiedzialny za (Dz. U. 2017 poz. 1566, 2180):

- wydawanie aktów prawa miejscowego;
- sporządzanie identyfikacji znaczących oddziaływań antropogenicznych i ocen ich wpływu na stan wód powierzchniowych i podziemnych w regionie wodnym;
- opracowywanie warunków korzystania z wód regionu wodnego;
- sporządzanie analiz ekonomicznych związanych z korzystaniem z wód w regionie wodnym;
- opracowywanie, prowadzenie, weryfikowanie i bieżące aktualizowanie wykazów obszarów chronionych utworzonych na podstawie przepisów ustawy oraz odrębnych przepisów;

- sporządzanie projektów planów zarządzania ryzykiem powodziowym dla regionów wodnych;
- współpracę w przygotowywaniu wstępnej oceny ryzyka powodziowego i planów zarządzania ryzykiem powodziowym;
- przygotowywanie planów przeciwdziałania skutkom suszy w regionach wodnych;
- prowadzenie katastru wodnego dla regionu wodnego;
- przeprowadzanie kontroli gospodarowania wodami;
- planowanie przedsięwzięć związanych z odbudową ekosystemów zdegradowanych przez eksploatację zasobów wodnych.

W ramach gospodarowania mieniem Skarbu Państwa, związanym z gospodarką wodną, dyrektor regionalnego zarządu realizuje w imieniu Prezesa Krajowego Zarządu zadania związane z utrzymywaniem śródlądowych wód powierzchniowych lub urządzeń wodnych oraz pełni funkcję inwestora w zakresie gospodarki wodnej w regionie wodnym. W związku z przeprowadzaniem koordynacji gromadzi, przetwarza i udostępnia informacje dla potrzeb planowania przestrzennego i centrów zarządzania kryzysowego (Dz. U. 2017 poz. 1566, 2180).

Dyrektor zarządu zlewni Wód Polskich ma za zadanie zapewniać utrzymanie w należytym stanie technicznym koryt cieków naturalnych oraz kanałów oraz dbałość o dobry stan wód, przeprowadzanie oceny stanu technicznego rzek i potoków we współpracy z Wydziałem Utrzymywania Wód oraz utrzymanie obiektów hydrotechnicznych będących w administracji zarządu zlewni zgodnie z obowiązującymi instrukcjami eksploatacyjnymi. Dodatkowo odpowiada za utrzymywanie urządzeń likwidujących ujemne skutki piętrzenia wody związanymi z obiektami hydrotechnicznymi RZGW, zarządzanie gospodarką wodną na obiektach hydrotechnicznych zgodnie z instrukcją gospodarowania wodą i zagwarantowanie odpowiednich warunków swobodnego spływu wód powodziowych oraz lodów. Ponadto wydaje opinie w sprawie dokumentacji dla obiektów obcych na obszarze dorzecza w granicach zarządów zlewni, z wyjątkiem dokumentacji budowli i urządzeń zmieniających charakter, trasę i inne parametry rzek i potoków. Organizuje i prowadzi bieżące komisyjne przeglądy stanu technicznego obiektów hydrotechnicznych oraz realizacja zaleceń wynikających z oceny ich stanu i kieruje sprawami wynikającymi ze szkodliwego oddziaływania na obszary przyległe obiektów hydrotechnicznych i budowli regulacyjnych piętrzących wody (Szydłowski, 2017).

Wojewoda w przypadku wprowadzenia stanu klęski żywiołowej wprowadza czasowe ograniczenia w korzystaniu z wód, w szczególności w zakresie poboru wody lub wprowadzania ścieków do wód lub do ziemi, ustanawiających strefy ochronne ujęć wód powierzchniowych, ustanawiających obszary ochronne, na których obowiązują zakazy, nakazy oraz ograniczenia w zakresie użytkowania gruntów lub korzystania z wody. Kompetencje wojewody w zakresie opiniowania i uzgodnień obejmują opiniowanie projektu wstępnej oceny stanu środowiska wód morskich, uzgadnianie projektów planów przeciwdziałania skutkom suszy oraz

uzgadnianie rozstrzygnięć, w których urządzenia melioracji wodnych zostały wykonane na koszt Skarbu Państwa (Jaworowski, 2017).

W związku z wprowadzoną ustawą samorządy terytorialne mają ograniczone kompetencje chociażby w zakresie pozwoleń wodnoprawnych, które wydaje Dyrektor Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej Wód Polskich a część obowiązków dotyczących melioracji i nadzoru nad spółkami wodnymi jest przekazana Wodom Polskim (Dz. U. 2017 poz. 1566, 2180).

5. Ustawowo określone dokumenty

Jak wspomniano wcześniej Wody Polskie to instytucja, która będzie wykonywać uprawnienia właścicielskie w stosunku do wód i nieruchomości związanych z wodami będącymi własnością Skarbu Państwa. Dodatkowo nowa instytucja przejęła decydowanie i orzekanie w sprawach gospodarki wodnej poprzez wydawanie m.in. pozwoleń wodnoprawnych (Miś, 2017).

Najważniejszymi dokumentami są pozwolenia wodnoprawne, które obejmują przejęcie zgłoszenia wodnoprawnego, wydanie oceny oraz decyzji między innymi poruszania się pojazdami na wodach powierzchniowych oraz gruntach pokrytych wodami. Wydanie pozwolenia, oceny wodnoprawnej lub przyjęcie zgłoszenia musi nastąpić, zanim podmiot uzyska: decyzję o pozwoleniu na budowę, decyzję na realizację inwestycji drogowej i zezwolenie na zbieranie i przetwarzanie odpadów (Uzasadnienie do projektu ustawy, 2017). Dokumenty te są wydawane na czas określony. Pozwolenie na szczególne korzystanie z wód wydaje się na okres nie dłuższy niż 20 lat, a pozwolenie na wprowadzanie ścieków do wód lub do ziemi wydaje się na okres nie dłuższy niż 10 lat. Zasady wydawania pozwoleń wodnoprawnych i przyjmowania zgłoszeń wodnoprawnych nie uległy znaczącym zmianom. Nowość stanowi przepis wskazujący, kiedy w trakcie legalizacji przedsięwzięcia (przed jakimi innymi decyzjami) ma być wydane pozwolenie wodnoprawne lub dokonane zgłoszenie wodnoprawne (Cyrankiewicz, 2017).

Pozwolenie wodnoprawne następuje przed uzyskaniem decyzji o pozwoleniu na budowę, realizację inwestycji drogowej czy prowadzenie obiektu unieszkodliwiania odpadów. Podsumowując, jest to istotny dokument po który od 1 stycznia 2018 roku należy udać się do instytucji Państwowe Gospodarstwo Wodne „Wody Polskie” (Dz. U. 2017 poz. 1566, 2180).

Ponadto, nowa instytucja wydawać będzie również inne dokumenty, które wymieniono poniżej:

- projekty strategii rozwoju województw;
- plany zagospodarowania przestrzennego województw;
- ramowe studia uwarunkowań;
- kierunki zagospodarowania przestrzennego związków metropolitalnych;
- studia uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gmin;
- miejscowe plany zagospodarowania;
- decyzje o warunkach zabudowy;

- decyzje o ustaleniu lokalizacji i inwestycji celu publicznego
 - decyzje o ustaleniu lokalizacji linii kolejowej.
- Dodatkowo, Wody Polskie realizują obowiązki ewidencyjne czyli ewidencję żeglugowego wykorzystania śluz i pochylni przez statki, wydatków poniesionych na utrzymanie śródlądowych dróg wodnych czy ewidencję melioracji wodnych (Dz. U. 2017 poz. 1566, 2180).

6. Plany utrzymania wód

Utrzymanie wód polega na zachowaniu nienaruszonego stanu brzegów i den w śródlądowych wodach powierzchniowych oraz morskich wewnętrznych. Dodatkowo w jego kontekście mówi się również o ochronie przed powodzią i usuwaniu jej skutków, utrzymaniu zwierciadła wody na poziomie umożliwiającym prawidłowe funkcjonowanie urządzeń wodnych, linii, między innymi telekomunikacyjnych oraz rurociągów, zapewnienie spływu lodów i zapobieganie powstawaniu niekorzystnych zjawisk lodowych. Działania mające na celu utrzymanie wód realizowane są między innymi poprzez wykaszanie roślin z dna i brzegów, usuwanie przeszkód naturalnych lub powstałych w wyniku ludzkiej działalności, zasypywanie wyrw, usuwanie namulów i rumoszy, ograniczanie aktywności zwierząt na danych obszarach poprzez rozbieranie tam bobrowych czy zasypywanie legowisk i nor (Dz. U. 2017 poz. 1566, 2180).

Według ustawy o prawie wodnym z dnia 20 lipca 2017 roku plany utrzymania wód obejmują między innymi zlokalizowanie odcinków śródlądowych wód powierzchniowych w których występują zagrożenia powiązane ze swobodnym przepływem wód i spływem lodu, a także określenie, na czym polegają i w jakim stopniu utrudniają obieg wody. Zawierają również wykaz istotnych w zarządzaniu wodami urządzeń wodnych i budowli regulujących, należących do Skarbu Państwa, a także wykaz kosztów, terminów, lokalizacji, sposób i korzyści płynących z podejmowanych działań utrzymania wód. Przy wytyczaniu planów istotne jest uwzględnienie aspektów ekologicznych i oddziaływań planowanych przedsięwzięć na środowisko (Dz. U. 2017 poz. 1566, 2180).

7. Śródlądowe drogi wodne i rozwój transportu morskiego

Obecnie w Polsce najczęściej spotykanym rodzajem transportu jest transport drogowy. Wynosi on aż 86 procent. Zdecydowanie dominuje nad transportem kolejowym, który ogranicza się do 12,5 procent i transportem wodnym, który ledwo osiąga 0,4 procenta. Widoczne różnice kolidują z zobowiązaniami Polski wobec Unii Europejskiej. Zgodnie z zapisaną w białej księdze wizję przyszłości Europy nasz kraj do 2033 roku musi rozwinąć transport wodny do tego stopnia, by z niewielkiego 0,4 procenta urósł do 30 procent.

W związku z tym Ministerstwo Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej utworzyło projekt strategii, mający na celu rozwój dróg wodnych do 2020 roku (Dolecki, 2016).

Aktualnie istnieje wiele problemów związanych nie tylko z drogami rzeczными, ale również morskimi. Przez lata były zaniechane, co doprowadziło do znacznej redukcji długości szlaków żeglownych, a także do ich deklasacji i widocznego pogorszenia się stanu tych dróg. Wpływ miały na to czynniki między innymi takie jak zmiany szerokości, głębokości oraz promieni zakoli czyniąc je niezdatnymi do pokonywania. Nowy plan zakłada poprawę warunków panujących na wodnych trasach. Budżet projektu wynosi około 60 miliardów złotych i ma zostać przeznaczony na modernizację szlaków wodnych, a także dostosowanie ich do wytycznych co najmniej IV klasy żeglowności (Dolecki, 2016).

Modyfikacje ujęte w programie MGMŻŚ zakładają, że drogi o znaczeniu międzynarodowym to jest Odrzańska Droga Wodna (E30), Droga wodna Brześć-Warszawa-Gdańsk (E40) i Połączenie Odra-Warta-Notec-Kanał Bydgoski-Brda-Wisła-Zalew Wiślany zostaną zmodernizowane i dostosowane do szlaków europejskich i przystosowane do parametrów klasy Va żeglowności. Drogi E40 i E70 mają zostać rozbudowane w ten sposób, by połączyć Kostrzyn nad Odrą z Wisłą i utworzyć trasę między Warszawą a Brześciem. Jednym z priorytetów jest również połączenie Odry, Noteci, Wisły i Bugu oraz budowa Kanału Śląskiego łączącego Odrę z Wisłą. W programie zawarte jest też postanowienie o budowie kaskady środkowego i dolnego odcinka Wisły od Warszawy do Gdańska. Ponadto plany dotyczą też budowę stopni wodnych, 14 ma powstać na odcinku Brzeg Dolny-Nysa Łużycka, 8 na tak zwane „Odrze granicznej” dodatkowo 9 stopni wodnych wraz z elektrowniami na odcinku Warszawa Gdańsk i jeden stopień w Niepołomicach. Zgodnie ze strategią MGMŻŚ, Racibórz ma ulec przeprojektowaniu ze zbiornika suchego na zbiornik suchy. Dzięki temu stanie się zabezpieczeniem wodnym dla regionu, a także będzie posiadał funkcję żeglowną. Dalsze plany zakładają także budowę kanału Koźle-Ostrawa, który ma stworzyć trasę wodną sięgającą Dunaju (Dziubińska i Weintrit, 2014; Raport Biura Prasowego MGMiŻŚ, 2016, Woś, 2017).

Przewidywane zmiany nie tylko przysłużą się transportowi wodnemu ale również wpłyną na inne dziedziny gospodarki. Przyczynią się między innymi do zapobiegania powodziom i łagodzenia ich skutków, oraz nawadniania gruntów i utrzymywania prawidłowych stosunków wodno-glebowych. Energia wytwarzana podczas przepływania wody może posłużyć do produkcji energii elektrycznej, a powstawanie nowych portów może przyczynić się do wzrostu roli funkcji społecznej i sportowo rekreacyjnej. Żegluga turystyczna i pasażerska zdobędzie dzięki temu wpływy na nowych obszarach. Wzrost udziałów transportu wodnego wiąże się również z ograniczeniem transportu kolejowego i lądowego, który jest nie tylko niebezpieczniejszy ale również w większym stopniu negatywnie wpływa na środowisko naturalne (Woś, 2017).

8. Podsumowanie

Ustawa *Prawo wodne*, wprowadziła wiele zmian w zakresie zarządzania zasobami wodnymi między innymi przebudowano strukturę organów właściwych w gospodarowaniu wodami, co wprowadziło wiele zamieszania wokół nowej instytucji jakim jest Państwowe Gospodarstwo Wodne „Wody Polskie”. Wszystkie zmiany związane są z dążeniem władz do spełnienia celów Ramowej Dyrektywy Wodnej, w zgodzie z zasadami zrównoważonego zarządzania wodami oraz odpowiedzialnym korzystaniem z zasobów wodnych (Bujny i Maśliński, 2017).

W artykule przedstawiono zmiany jakie wprowadziła ustawa *Prawo wodne* z dnia 20 lipca 2017 roku. Podjęto próbę porównania jej z już nieobowiązującym Prawem Wodnym, głównie pod względem obowiązków wykonywanych przez określone osoby. Dodatkowo przeanalizowano istotę nowej instytucji Państwowe Gospodarstwo Wodne „Wody Polskie”, hierarchię w niej panującą oraz zakres jej obowiązków. Przedstawiono również spis dokumentów po jakie należy się udać do Wód Polskich (Dz. U. 2017 poz. 1566, 2180) oraz plany utrzymania wód. Ponadto zwrócono uwagę na potrzebę rozwoju śródlądowych dróg wodnych i transportu morskiego, które nie tylko przysłużą się spedycji i przewozom ale również wpłyną na inne dziedziny gospodarki, w tym będą wykorzystane do łagodzenia skutków powodzi i utrzymania prawidłowych stosunków wodno-glebowych. Pojawiła się szansa iż część komunikacji i ogólnopolskiej logistyki odciążą transport kolejowy i samochodowy stanowiące jedno z głównych źródeł zanieczyszczenia środowiska naturalnego.

Literatura

- Bujny J., Maśliński M. (2017). Nowe Prawo wodne – co przyniesie jednostkom samorządu terytorialnego? www.portalkomunalny.pl, dostęp online: 24.12.2017 r.
- Cyrankiewicz M. (2017). Zmiany w zarządzaniu wodami Skarbu Państwa w 2018 roku. www.samorząd.infor.pl, dostęp online: 21.12.2017 r.
- Dolecki L. (2016). Rząd zaakceptował plan strategii rozwoju dróg śródlądowych w Polsce. *Rynek infrastruktury*, dostęp online: 15.06.2016 r.
- Dolna J. (2017a). Prawo wodne: nowa struktura organów administracji odpowiedzialnych za gospodarkę wodami. www.rp.pl, dostęp online: 21.12.2017 r.
- Dolna J. (2017b). Nowa struktura organów odpowiedzialnych za gospodarowanie wodami. www.srodowisko.abc.com.pl, dostęp online: 23.12.2017 r.
- Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej. www.infor.pl, dostęp online 27.12.2017 r.
- Dziubińska A., Weintrit A. (2014). Śródlądowe Drogi w Polsce i ich klasyfikacja. *Logistyka*, 3/2014, 1592-1599.
- Jaworski L. (2017). Przejęcia pracowników w sektorze wodnym. www.gazetaprawna.pl, dostęp online: 22.12.2017 r.

- Gajda M. (2017). Główne cele i założenia reformy gospodarki wodnej. W: *Warsztaty Nowe Prawo Wodne 2018*, Rzeczpospolita Konferencje, Warszawa.
- Miś T. (2017). Nowe Prawo wodne. Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie, www.sozosfera.pl, dostęp online: 27.12.2017 r.
- Raport Biura Prasowego MGMiŻŚ (2016). Strategia rozwoju śródlądowych dróg wodnych w Polsce, Warszawa.
- Szydłowski K. (2017). Ministerstwo Środowiska odkrywa karty w sprawie Wód Polskich. www.teraz-srodowisko.pl, dostęp online: 23.12.2017 r.
- Ustawa *Prawo wodne* z dnia 20 lipca 2017 roku (Dz. U. 2017 poz. 1566, 2180).
- Uzasadnienie do projektu ustawy z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne, www.legislacja.rcl.gov.pl, dostęp online: 22.12.2017 r.
- Wody Polskie: Oto zadania, kompetencje, źródła finansowania nowego podmiotu. www.portalsamorzadowy.pl, dostęp online: 27.12.2017 r.

- Woś K. (2017). Plany rozwoju polskich śródlądowych dróg wodnych. *Problemy Transportu i Logistyki*, 1/2017, 297-310.

MANAGEMENT OF THE NATIONAL ADMINISTRATION OF WATER FROM 2018

Abstract: An attempt was made to analyze the management of domestic water management since 2018 in Poland. The New Water Law, which became effective from 20 July 2017, has been analyzed. Changes in the scope of rights and duties of the superior in relation to public waters owned by the State Treasury were presented and the binding Act was compared to the Act of July 18, 2001. The institution of the State Aquatic Water Poland and its hierarchy and scope of duties was presented. The documents that are issued by the new institution are also specified.

EFEKTYWNOŚĆ USUWANIA ZANIECZYSZCZEŃ ZE ŚCIEKÓW W OCZYSZCZALNI HYDROFITOWEJ W ZWIERKACH

Katarzyna IGNATOWICZ*, Joanna OKSIUTA

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań efektywności przydomowej oczyszczalni ścieków ze złożem hydrofitowym w miejscowości Zwierki. W celu określenia efektywności pracy oczyszczalni ścieków pobierano do analizy próbki z poszczególnych jej elementów w latach 2017-2018. Poboru dokonywano z osadnika gnilnego, po złożu hydrofitowym oraz ze stawu tlenowego. Przeanalizowano otrzymane wyniki i ustalono wysoką efektywność usuwania związków organicznych oraz biogenych. Na podstawie badań i otrzymanych wyników stwierdzono dużą skuteczność usuwania związków organicznych określanych jako ChZT i BZT₅, gdyż nastąpiło zmniejszenie stężenia o 74,19% i 93,80%.

Słowa kluczowe: przydomowa oczyszczalnia ścieków, hydrofity, efektywność oczyszczania.

doi: 10.24427/bis-2018-vol9-no3-0002

1. Wprowadzenie

Poprawa jakości środowiska przyrodniczego w Polsce przejawia się głównie w racjonalizacji zużycia wody na cele bytowe i przemysłowe, modernizacji i rozbudowie infrastruktury wodno-ściekowej oraz zwiększeniu udziału ścieków oczyszczanych. Istotną kwestią jest przekonanie, że zachowanie naturalnego środowiska wiąże się z traktowaniem zasobów przyrody jako dobra ekonomicznego, co wymusza powstanie i rozwój rynku tych zasobów oraz konieczność prowadzenia rachunku ekonomicznego w zakresie ochrony środowiska przyrodniczego (Biddlestone i Gray, 1991; Nowak, 2014; Puchlik, 2014).

Do najbardziej zaniedbanych obszarów ochrony środowiska w Polsce należy gospodarka ściekowa. Według danych Głównego Urzędu Statystycznego w 2016 roku ludność korzystająca w sieci wodociągowej i kanalizacyjnej wynosiła 96,7% i 91%, natomiast na terenach wiejskich odpowiednio 81% i jedynie 21%. Dostęp mieszkańców terenów wiejskich do sieci wodociągowej jest zdecydowanie wyższy, niż do sieci kanalizacyjnej. Widoczne są dysproporcje między terenami miejskimi i wiejskimi oraz pomiędzy stopniem zwodociągowania i skanalizowania terenów wiejskich (Heidrich i in., 2008; GUS, 2016).

Na terenach nieskanalizowanych przydomowa oczyszczalnia ścieków jest rozwiązaniem zdecydowanie lepszym niż zbiornik bezodpływowy. Przede wszystkim jest to inwestycja tańsza w eksploatacji, ponieważ osady z osadnika są wybierane i wywożone raz na kilka lat,

co znacznie obniża koszty opłaty za wywóz nieczystości. Oczyszczalnie ścieków mają za zadanie ochronę zdrowia i środowiska, a także chronią zasoby czystej wody, która będzie wykorzystana przez przyszłe pokolenia (Sobol, 2016; Wawrentowicz i in., 2016).

Oczyszczalnie hydrofitowe to obiekty, w których do usuwania zanieczyszczeń ze ścieków stosuje się na różnych etapach roślinność wodną lub bagienną, mogą one stanowić interesującą alternatywę dla konwencjonalnych rozwiązań gospodarki ściekowej na terenach o rozproszonej zabudowie (Gołąb i in., 2012; Obarska-Pempkowiak i in., 2012; Jawecki i in., 2016).

2. Obiekt badań

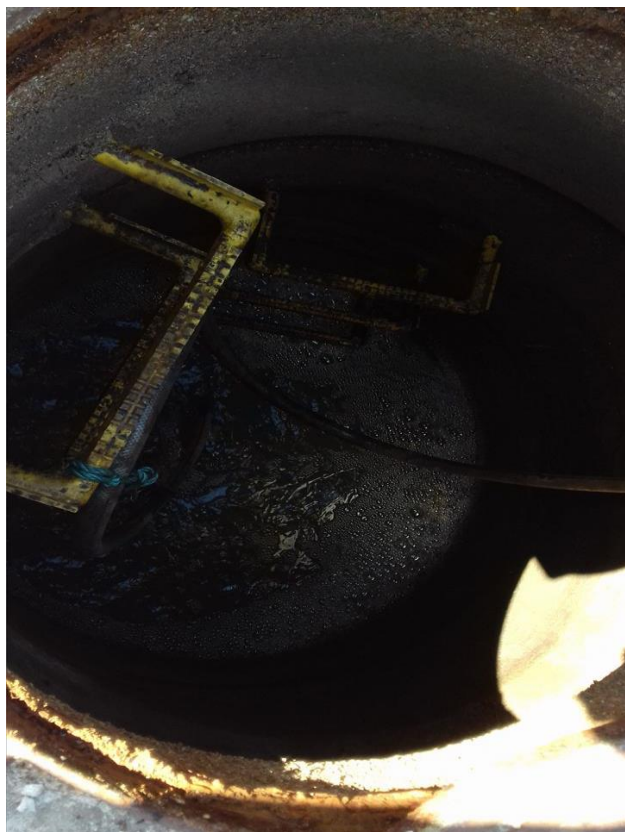
Gmina Zabłudów, w której jest położona miejscowość Zwierki posiada powierzchnię prawie 44 tysięcy ha i jest zamieszkiwana przez 9219 osoby. Ludność korzystająca z wodociągu w 2016 roku stanowiła około 59% oraz natomiast z kanalizacji korzystało jedynie około 24% ludności (GUS, 2016). Przydomowa oczyszczalnia ścieków obsługuje żeński monastyr, zamieszkiwany przez około 35-40 osób. Oczyszczalnia zbudowana została w 2011 roku, oczyszcza ścieki w ilości około 4 m³/d. Schemat blokowy oczyszczalni ścieków z zaznaczonymi miejscami poboru przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat oczyszczalni hydrofitowej: 1 – osadnik gnilny, 2 – złożo hydrofitowe, 3 – staw doczyszczający

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: k.ignatowicz@pb.edu.pl

W skład oczyszczalni wchodzi: dwukomorowy osadnik gnilnego, studnia napowietrzana, przepompownia ścieków, złożo hydrofitowe oraz staw doczyszczający. Ścieki przepływają grawitacyjnie z klasztoru do dwukomorowego osadnika gnilnego (rys. 2). Wykorzystane zostały stare zbiorniki bezodpływowe z prefabrykatów betonowych o średnicy 1,5 m oraz głębokości 3 m każdy. Czas zatrzymania ścieków w osadniku wynosi 3 doby, w tym czasie odbywa się proces podczyszczania zatrzymanych ścieków oraz fermentacji. Częstki zanieczyszczeń rozkładane są na substancje rozpuszczalne w wodzie oraz nierozpuszczalne substancje mineralne, które odkładają się na dnie osadnika. W warunkach beztlenowych zachodzi fermentacja zgromadzonego na dnie zbiornika osadu. W dalszym etapie ścieki przepływają przez studnię z dyfuzorem (rys. 3), której zadaniem jest zabezpieczenie ścieków przed zagniwaniem. Studnia ma średnicę 1,2 m oraz głębokość 2,5 m. Na dnie studni znajduje się dmuchawa membranowa o wydajności 60 l/min, o mocy 60 W. Ścieki znajdują się 1,5 m nad dyfuzorem. Wewnątrz studni odbywa się napowietrzanie drobno-pęcherzykowe. Tlen podawany jest w ilości około 3 m³/d. Napowietrzanie ścieków pozwala dodatkowo uniknąć wydzielania nieprzyjemnego zapachu podczas rozprowadzania ścieków na złożu, a w okresie zimowym zabezpiecza przed spadkiem temperatury ścieków w komorze.



Rys. 2. Osadnik gnilny



Rys. 3. Studnia z dyfuzorem

W kolejnym etapie napowietrzane ścieki przepływają do przepompowni, skąd są tłoczone na złożo hydrofitowe (rys. 4). Przepompownia ma wymiary 1,2 m średnicy i 4 m głębokości. Ścieki tłoczone są przy pomocy pompy EBARA (parametry: 1,5 kW, zasilanie 220 V, 1-fazowa). Pompa łączy się, gdy zostanie osiągnięty zadany poziom ścieków w studni.

Złożo hydrofitowe ma szerokość 9 m i długość 12 m jego powierzchnia to 108 m². Zbudowane zostało w systemie z powierzchniowym pionowym przepływem ścieków. Na powierzchni złoża ułożony został drenaż rozprowadzający ścieki. Rurki drenażowe mają średnicę 50 mm i są rozmieszczone na całej powierzchni złoża, co 1 m. W każdej z rurek wywiercone zostały otwory o średnicy 8 mm, rozmieszczone co 1 m. Złożo zasiedlone zostało głównie trzciną pospolitą, a także innymi roślinami wodolubnymi (rys. 5). Ścieki przepływające przez złożo i strefę korzeniową roślin są oczyszczane mechanicznie i biologicznie. Od dołu wypełnienie złoża stanowi: żwir płukany o średnicy 8-16 mm, grubość warstwy 20 cm, piasek płukany o średnicy 0,5-2 mm, grubość warstwy 60 cm oraz żwir płukany o średnicy 8-16 mm, grubość warstwy 20 cm. Pod warstwami złoża ułożony jest drenaż zbierający, zbudowany z rurek o średnicy 100 mm, ułożonych w grzebień. Pod drenażem znajduje się uszczelnienie złoża, w postaci bentomaty, które zabezpiecza grunt pod złożem. Oczyszczone ścieki są odprowadzone do stawu znajdującego się na terenie działki obok złoża hydrofitowego (rys. 6).



Rys. 4. Złoże hydrofitowe w okresie wiosennym



Rys. 5. Złoże zasiedlone roślinami



Rys. 6. Staw doczyszczający

3. Metodyka badań

W celu określenia efektywności pracy oczyszczalni pobierano próbki ścieków z poszczególnych jej elementów w latach 2017-2018. Każdorazowo poboru ścieków dokonywano z osadnika gnilnego, po złożu hydrofitowym oraz ze stawu. Pobór, utrwalenie oraz analizę próbek przeprowadzono zgodnie z przyjętymi i stosowanymi normami w laboratorium Katedry Technologii i Systemów Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej. Pobrane próbki ścieków zaraz po pobraniu poddawano filtracji. W filtracji każdorazowo oznaczano zgodnie z obowiązującą metodyką:

- ChZT_{Cr} – metodą dwuchromianową według PN-ISO 15705:2005 *Jakość wody. Oznaczanie indeksu chemicznego zapotrzebowania tlenu (SP-ChZT). Metoda zminiaturyzowana z zastosowaniem szczelnych probówek*,
- BZT₅ – metodą manometryczną systemem OxiTop Standard,
- N-NH₄ – metodą spektrofotometryczną według PN-ISO 7150-1:2002 *Jakość wody. Oznaczanie azotu amonowego. Część 1: Manualna metoda spektrometryczna*,
- N-NO₃ – metodą spektrofotometryczną według PN-82/C-04576-08 *Woda i ścieki. Badania zawartości związków azotu. Oznaczanie azotu azotanowego metodą kolorymetryczną z salicylanem sodowym*,

- P-PO₄ – metodą spektrofotometryczną według PN-EN ISO 6878:2006 *Jakość wody. Oznaczanie fosforu. Metoda spektrometryczna z molibdenianem amonu*,
- Odczyn – metodą elektrochemiczną według PN-EN 25813:1997 *Jakość wody. Oznaczanie tlenu rozpuszczonego. Metoda jodometryczna*,
- Przewodność – metodą elektrochemiczną według PN-EN 25813:1997,
- Tlen rozpuszczony – metodą elektrochemiczną według PN-EN 25813:1997.

4. Wyniki badań

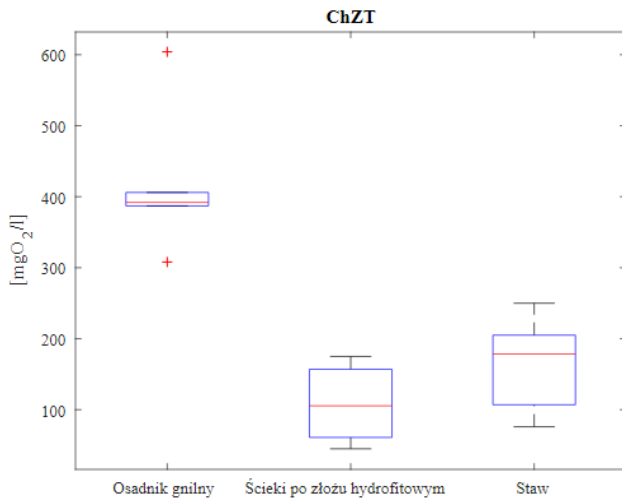
Wyniki badań ścieków próbek pobieranych z przydomowej oczyszczalni ścieków w Zwierkach umieszczono w tabeli 1 oraz na rysunkach 8-17. Wyniki wszystkich serii badań, dla każdego z parametrów zestawiono ze sobą wyznaczając wartości minimalne, maksymalne, średnią, a także odchylenie standardowe. Na podstawie wartości średnich analizowanych składników i wskaźników zanieczyszczeń w ściekach dopływających i odpływających określano efektywność usuwania zanieczyszczeń. Następnie określona została skuteczność oczyszczania w całej oczyszczalni, zgodnie ze wzorem:

$$\eta = 100 \cdot \left(1 - \frac{C_{ODP}}{C_{DOP}} \right) \quad [\%] \quad (1)$$

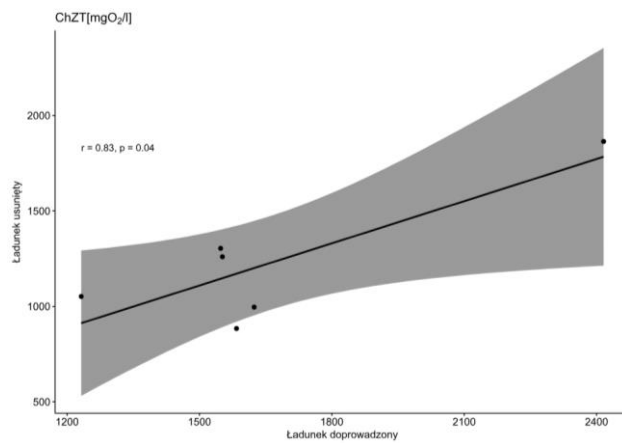
Tab.1. Wyniki badań próbek pobranych w przydomowej oczyszczalni ścieków

Badany parametr	Miejsce pobrania próbki		
	Osadnik gnilny	Ścieki oczyszczone w złożu hydrofitowym	Staw doczyszczający
ChZT	<u>308-604</u>	<u>45,00-175,00</u>	<u>76,00-250,00</u>
[mgO ₂ /l]	414,83 ±99,12	108,17 ±55,12	176,33 ± 57,75
BZT ₅	<u>100,00-270,00</u>	<u>2,00-20,00</u>	<u>4,00-45,00</u>
[mgO ₂ /l]	173,33 ±55,02	11,17 ±6,79	25,67 ± 15,25
Azotany	<u>0,00-6,80</u>	<u>3,50-25,00</u>	<u>4,70-41,20</u>
[mgN/l]	2,34 ±2,45	15,83 ±9,50	23,63 ±12,36
Azot amonowy	<u>52,25-73,80</u>	<u>2,00-13,90</u>	<u>2,40-8,10</u>
[mgN/l]	62,52 ±7,98	7,37 ±4,86	6,47 ±2,12
Fosforany	<u>9,30-56,50</u>	<u>0,65-46,50</u>	<u>4,20-38,30</u>
[mgP/l]	22,17 ±17,80	11,07 ±17,52	11,55 ±13,22
pH	<u>7,00-8,03</u>	<u>6,30 -7,57</u>	<u>8,10-9,29</u>
Przewodność elektrolityczna	<u>1436-1631</u>	<u>1240-1506</u>	<u>1097-1402</u>
[μS/cm]	1524,50 ±79,63	1404,50 ± 96,56	1197,67 ±11,29
Potencjał redoks	<u>-382-82,5</u>	<u>-23,70-121,8</u>	<u>-10,30-95,80</u>
[mV]	- 244,80 ± 170,61	63,37 ±63,03	57,55 ±44,89
Tlen rozpuszczony	<u>0,14-14,00</u>	<u>3,80-5,88</u>	<u>9,53-15,29</u>
[mg/l]	2,55 ±5,61	5,01 ±0,74	12,40 ±1,86

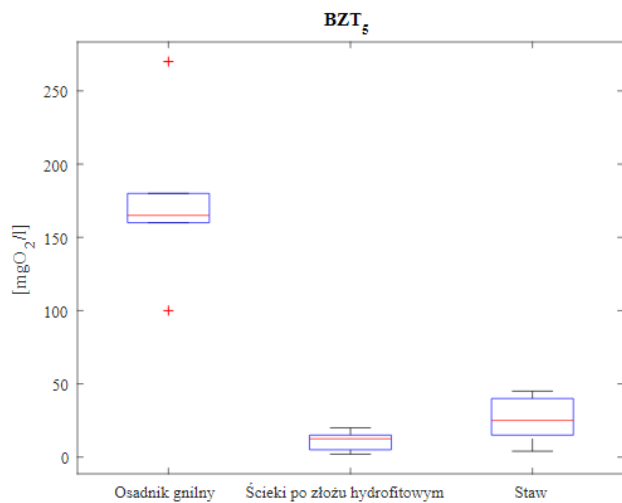
Objaśnienia: minimum-maksimum; średnia ±odchylenie standardowe.



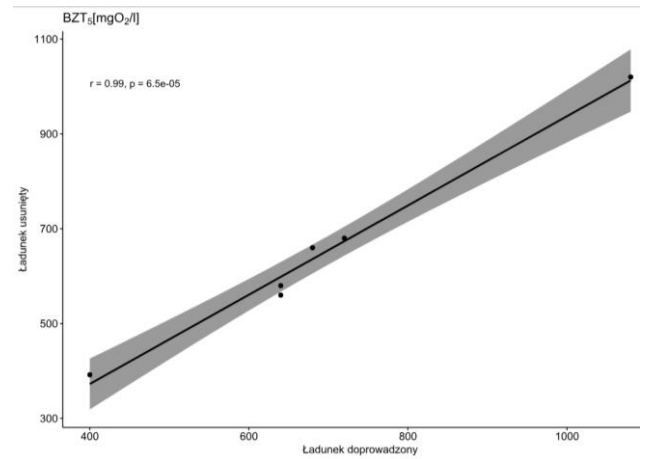
Rys. 8. Zmiany zawartości związków organicznych określanych jako ChZT w ściekach podczas procesu oczyszczania



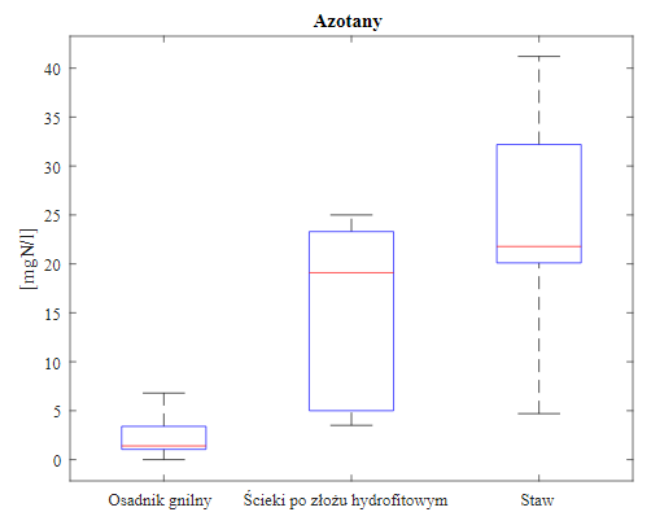
Rys. 9. Zależność między wielkością ładunku doprowadzonego a usuniętego substancji organicznej określanej jako ChZT



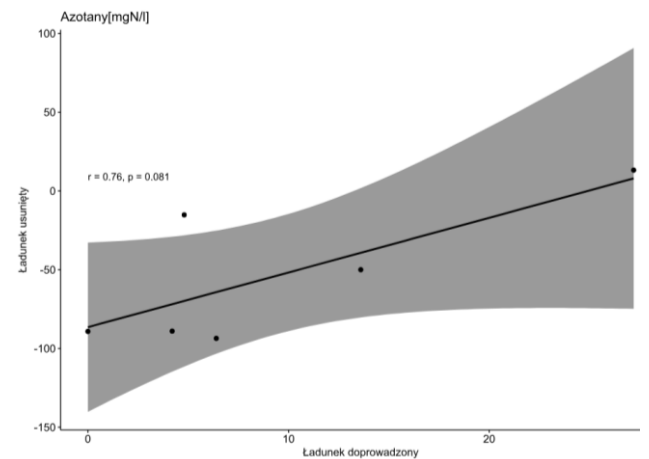
Rys. 10. Zmiany zawartości związków organicznych określanych jako BZT₅ w ściekach podczas procesu oczyszczania



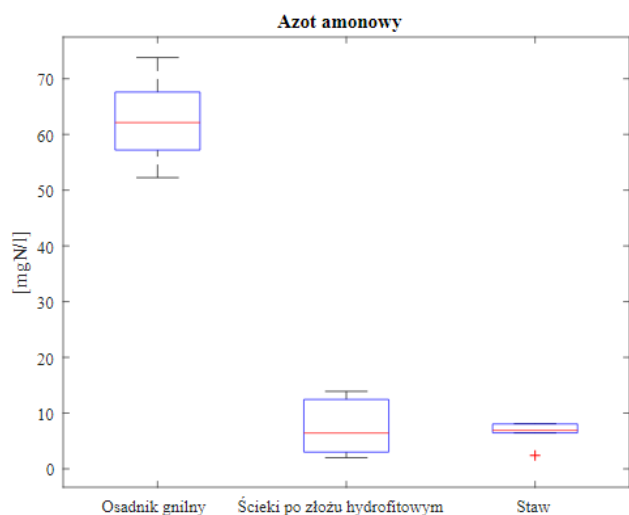
Rys. 11. Zależność między wielkością ładunku doprowadzonego a usuniętego substancji organicznej określanej jako BZT



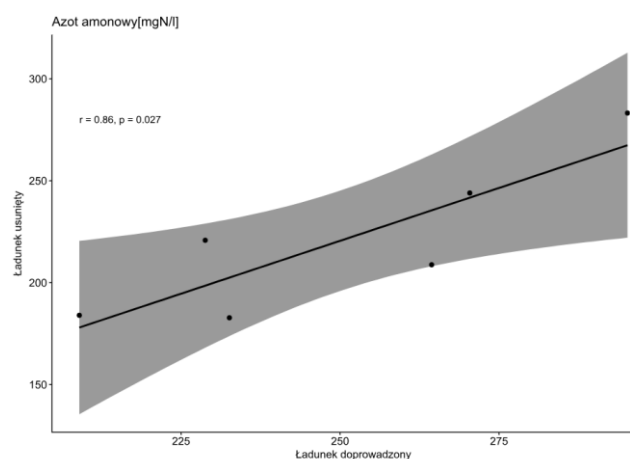
Rys. 12. Zmiany stężenia azotanów w ściekach



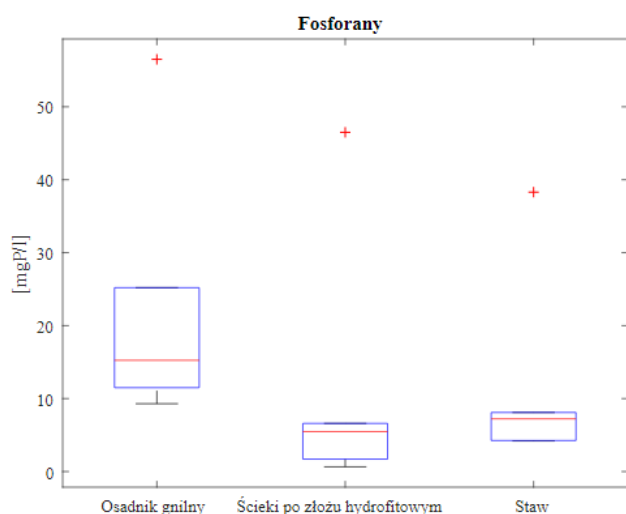
Rys. 13. Zależność między wielkością ładunku doprowadzonego a usuniętego azotu azotanowego



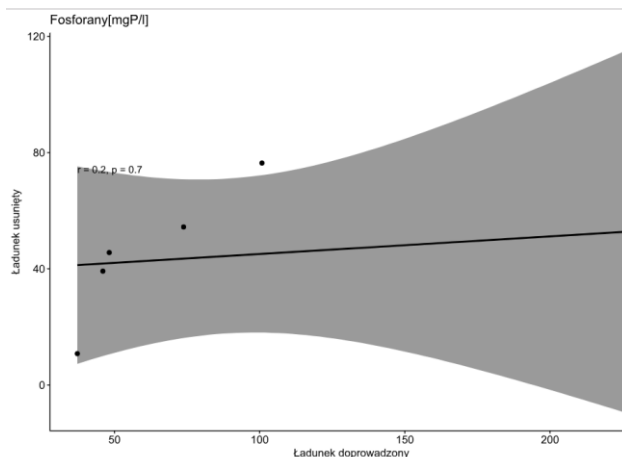
Rys. 14. Zmiany stężenia azotu amonowego w ściekach



Rys. 15. Zależność między wielkością ładunku doprowadzonego a usuniętego azotu amonowego



Rys. 16. Zmiany stężenia fosforanów (V) w ściekach podczas procesu oczyszczania



Rys. 17. Zależność między wielkością ładunku doprowadzonego a usuniętego fosforanów

W ściekach surowych dopływających do osadnika gnilnego ilość zanieczyszczeń określanych jako ChZT wynosiła średnio 414,8 mgO₂/l, zaś BZT₅ 173,3 mgO₂/l. ChZT chemiczne zapotrzebowanie tlenu określa ilość tlenu potrzebną do chemicznego utlenienia związków organicznych bez udziału mikroorganizmów. Wskaźnik ChZT pozwala na określenie zanieczyszczenia ogólnego związkami pochodzenia roślinnego i zwierzęcego. BZT₅ zaś określa ilość tlenu zużywanego przez mikroorganizmy do utleniania w określonym czasie substancji organicznych i niektórych zawartych w ściekach nieorganicznych. Usuwanie zanieczyszczeń odbywa się w warunkach tlenowych oraz beztlenowych, w wyniku działalności mikroorganizmów, pobierających ze ścieków substancje pokarmowe (Karamus, 2017). Iloraz ChZT/BZT₅ wskazuje na fakt, iż ścieki są biodegradowalne. W osadniku panują warunki beztlenowe, w których związki organiczne ulegają rozkładowi, sedymentacji oraz pobieraniu substancji pokarmowych przez mikroorganizmy.

W złożu hydrofitowym zachodzi dalszy rozkład substancji organicznych. Większość zanieczyszczeń jest rozkładana i pochłaniana przez mikroorganizmy, z kolei głównym zadaniem roślin jest dostarczenie do złoża tlenu. Na skutek panujących w złożu warunków tlenowo, niedotlenionych i beztlenowych nastąpiło zmniejszenie stężenia substancji organicznych. Ilość związków organicznych określanych jako ChZT i BZT₅ zmniejszyła się kolejno o 74,19% i 93,80%. Natomiast w stawie doczyszczającym nie stwierdzono dalszego ubytku substancji organicznych. Wysoki procentowy efekt oczyszczania dla BZT₅, jak i ChZT świadczy o prawidłowym przebiegu oczyszczania ścieków z zanieczyszczeń organicznych (Ignatowicz i Smyk, 2014).

W osadniku gnilnym panują warunki beztlenowe, zachodzą tu procesy denitryfikacji i amonifikacji. Związki azotu występują w zanieczyszczeniach organicznych. Azot amonowy w ściekach jest produktem aktywności mikroflory prowadzącej biochemiczny rozkład związków białkowych- kwasów aminowych, w warunkach tlenowych i beztlenowych. W ściekach pochodzących z gospodarstw domowych źródłem amoniaku jest mocznik. Azotany oraz

azotyny są to kolejne produkty biochemicznego utleniania amoniaku w warunkach tlenowych. Usuwanie azotu organicznego zachodzi podczas procesu sedymentacji, jednak większa jego część jako azot amonowy zostaje uwolniona. Na złożu mikroorganizmy pobierają rozpuszczone formy azotu, dochodzi również do sorpcji w podłożu. W okresie wegetacyjnym rośliny pobierają i zatrzymują związki azotu. Aby nie trafiły one ponownie do oczyszczanych ścieków, przyrastająca biomasa roślin powinna być systematycznie wykaszana i usuwana (Ignatowicz i Smyk, 2014; Nowak, 2014; Puchlik, 2014). Średnie stężenie azotu amonowego wynosiło 62,52 mgN/l, zaś azotanów V 2,34 mgN/l. Minimalna wartość stężenia azotu amonowego w osadniku gnilnym wynosiła 52,25 mgN/l zaś maksymalna 73,80 mgN/l. W przypadku azotanów V stężenie wahało się od 0 do 6,80 mgN/l. W złożu hydrofitowym następuje intensywny rozwój bakterii nityfikujących, panują tu warunki tlenowo-beztlenowe. Rośliny pobierają związki azotu do przyrostu masy. Dobre natlenienie ścieków, sprzyjające procesowi nityfikacji powoduje usuwanie azotu amonowego, w wyniku przepływu przez złożo obniżenie azotu uległo zmniejszeniu o 87,99%. Wskutek nityfikacji stężenie azotanów V uległo wahaniom od 3,5 do 25,00 mgN/l, przy czym średnia wartość oscylowała w granicy 15,83 mgN/l. Średnia wartość azotu amonowego w złożu wynosiła 7,37 mgN/l, przy czym wartość minimalna wynosiła 2 mgN/l a maksymalna 13,90 mgN/l.

W ściekach surowych stężenie fosforanów ulegało wahaniom od 9,30 do 56,50 mgP/l i wyniosło średnio 22,17 mgP/l. Fosfor występuje w bakteriach, glonach a także innych organizmach roślinnych i zwierzęcych obecnych w ściekach. Ścieki surowe zawierają fosfor w postaci ortofosforanów, polifosforanów, jak też postać organiczną. Dodatkowym źródłem fosforu w ściekach są resztki jedzenia i detergenty. Aby usuwanie fosforanów przebiegało prawidłowo potrzebne są w strefie beztlenowej produkty fermentacji. Za usuwanie związków fosforu w oczyszczalni odpowiedzialne są bakterie fosforowe bytujące w warunkach beztlenowych osadnika gnilnego i mikroorganizmy bytujące w warunkach tlenowo-beztlenowych złoża oraz akumulujące je rośliny porastające złożo. Na złożu hydrofitowym nastąpiło częściowe usuwanie fosforu na skutek sedymentacji, adsorpcji, pobierania przez rośliny oraz procesom mikrobiologicznym. Na tym etapie oczyszczania stężenie fosforu wahało się od 0,65 do 46,50 mgP/l osiągając średnio 11,07 mgP/l. W stawie doczyszczającym wartości te jeszcze uległy obniżeniu oscylując od 4,2 do 38,30 przy średniej 15,55 mgP/l dzięki procesom kumulacji w osadach dennych.

Na rysunkach 9, 11, 13, 15 i 17 przedstawiono zależność między wielkością ładunku doprowadzonego na złożo hydrofitowe a usuniętego substancji organicznej określanej jako ChZT i BZT, azotu azotanowego i amonowego oraz fosforanów. Wykorzystano analizy statystyczne z zastosowaniem programu Statistica 13.1 firmy StatSoft. Obliczenia obejmowały analizę współczynników korelacji Pearsona na poziomie istotności $\alpha = 0,05$, których celem było określenie stopnia

liniowych zależności. Stwierdzono, że w badanym zakresie wraz ze wzrostem ładunku doprowadzonego wzrasta wielkość ładunku usuniętego.

5. Podsumowanie

W miejscach, gdzie budowa systemów kanalizacyjnych nie przyniosłaby korzyści dla środowiska należy stosować systemy indywidualne. Oczyszczalnie hydrofitowe są doskonałą alternatywą dla tradycyjnych zbiorników bezodpływowych, przede wszystkim jest to inwestycja tańsza w eksploatacji. Ma ona za zadanie ochronę zdrowia, a także zasobów czystej wody (GUS, 2016). Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że w ściekach surowych dopływających do osadnika gnilnego ilość zanieczyszczeń określanych jako ChZT wynosiła średnio 414,8 mgO₂/l, zaś BZT₅ 173,3 mgO₂/l. Na skutek panujących w złożu warunków tlenowo, niedotlenionych i beztlenowych nastąpiło zmniejszenie stężenia o 74,19% i 93,80%. substancji organicznych określanych jako ChZT i BZT₅. W osadniku gnilnym panują warunki beztlenowe, zachodzą tu procesy denityfikacji i amonifikacji. Średnie stężenie azotu amonowego wynosiło 62,52 mgN/l. Minimalna wartość stężenia azotu amonowego w osadniku gnilnym wynosiła 52,25 mgN/l zaś maksymalna 73,80 mgN/l. W złożu hydrofitowym następuje intensywny rozwój bakterii nityfikujących, dobre natlenienie ścieków, sprzyjające procesowi nityfikacji powoduje usuwanie azotu amonowego, w wyniku przepływu przez złożo nastąpiło obniżenie azotu o 87,99%. W ściekach surowych stężenie fosforanów ulegało wahaniom od 9,30 do 56,50 mgP/l i wyniosło średnio 22,17 mgP/l. Na złożu hydrofitowym nastąpiło częściowe usuwanie fosforu na skutek sedymentacji, adsorpcji, pobierania przez rośliny oraz procesom mikrobiologicznym. Na tym etapie oczyszczania ścieków stężenie fosforu uległo zmniejszeniu o 62,7 %.

Literatura

- Biddlestone A.J, Gray K.R. (1991). A botanical approach to the treatment of wastewater. *Journal and Biotechnology*, Vol. 17, Issue 3, 209-220.
- Gołąb M., Nocoń W., Michalski R. (2012). Hydrobotaniczne oczyszczanie ścieków. *LAB Laboratoria, Aparatura, Badania*, 2012, nr 17, t. 4.
- Heidrich Z., Kalenik M., Podedworna J., Stańko G. (2008). *Sanitacja Wsi. Wydawnictwo Seidel-Przywecki*, Warszawa.
- Ignatowicz K., Smyk J. (2014), Ekologiczne rozwiązanie gospodarki ściekowej i grzewczej w Monasterze w Zwierkach. *Inżynieria ekologiczna*, Vol 40, 7-16.
- Jawecki B., Marszałek J., Pawęska K., Sobota M., Malczewska B. (2016). Budowa i eksploatacja przydomowej oczyszczalni ścieków w świetle obowiązujących przepisów – część 1. (Construction and operation of household sewage treatment plant in the light of applicable regulations – part 1). *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, II(2), 501-516.

- Karamus Ł. (2017). *Oczyszczanie Ścieków i Ich Eksploatacja. Wydawnictwo i handel książkami „KaBe”*, Krosno.
- Nowak R. (2014). Stan gospodarki ściekowej na terenach wiejskich na przykładzie powiatu koszalińskiego, Koszalin. *Chemik*, Vol. 68, No. 10, 856-861.
- Obarska-Pempkowiak H., Gajewska M., Wojciechowska E., Ostojski A. (2012). *Oczyszczalnia w Ogrodzie. Poradnik Jak Zastosować Innowacyjne Rozwiązanie Gospodarki Wodnej i Ściekowej z Wykorzystaniem Systemów Hydrofitowych. Wydawnictwo Seidel-Przywecki*, Warszawa.
- Puchlik M. (2014). Ocena efektywności przydomowej oczyszczalni hydrofitowej. W: *Interdyscyplinarne Zagadnienia w Inżynierii i Ochronie Środowiska*. Tom 4.
- Sobol A. (2016). Gospodarka przestrzenna a lokalny rozwój zrównoważony. *Ekonomia i środowisko. Czasopismo Europejskiego stowarzyszenia ekonomistów środowiska i zasobów naturalnych*, Nr 3.
- Wawrentowicz D., Ignatowicz G., Sadowski M. (2016). Prawne aspekty funkcjonowania przydomowych oczyszczalni ścieków *Ekonomia i środowisko. Czasopismo Europejskiego stowarzyszenia ekonomistów środowiska i zasobów naturalnych*. Nr 3, 2016. *Wydawnictwo Ekonomia i środowisko*.
- GUS (2016). <https://bialystok.stat.gov.pl>

EVALUATION OF EFFICIENCY OF SEWAGE TREATMENT PLANT IN CONSTRUCTED WETLAND IN ZWIERKI

Abstract: The article presents results of research with household sewage treated by constructed wetland system in Zwierki. For effectiveness evaluation of sewage treatment plant sampling events were performed in 2017-2018. The samples were taken from: septic tank, after treatment in vertical flow constructed wetland and from aerobic pond. Efficiency of removal of organic matter as well as biogenic compounds was evaluated. Carried out investigation confirmed high efficiency of organic compounds removal BOD₅ was up to 74,19% and COD up to 93,80%.

WYKONANIE BADAŃ SYMULACYJNYCH MODELOWEJ SIECI WODOCIĄGOWEJ Z OPRACOWANIEM PROCEDURY NUMERYCZNEJ AUTOMATYZACJI GENEROWANIA DANYCH

Wojciech KRUSZYŃSKI*, Agnieszka TRĘBICKA

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

Streszczenie: Celem pracy było wykonanie badań symulacyjnych oraz opracowanie procedury numerycznej do automatycznego generowania danych z programu EPANET poprzez nadrzędne oprogramowanie MATLAB. W badaniach wykorzystano dokładny model matematyczny sieci, który uzupełniono o zawory. Zakres pracy obejmował wykonanie badań symulacyjnych modelowej sieci wodociągowej z uwzględnieniem dwóch różnych modeli sieci (uproszczonego i dokładnego) oraz różnych stanów operacyjnych (poborów wody). Następnie dokonano wyboru odpowiedniego zestawienia procedur numerycznych i środowisk programistycznych w celu automatycznego generowania danych poprzez połączenie programu do modelowania EPANET ze środowiskiem MATLAB. Dzięki prawidłowo wykonanemu i skalibrowanemu modelowi sieci udało się przeprowadzić założone badania symulacyjne. Opracowana procedura programistyczna do generowania danych numerycznych z modelu w programie EPANET umożliwiła pełną automatyzację obliczania i przetwarzania generowanych z symulacji danych w środowisku MATLAB.

Słowa kluczowe: komputerowe modelowanie systemów wodociągowych, EPANET, MATLAB.

doi: 10.24427/bis-2018-vol9-no3-0003

1. Wprowadzenie

Celem pracy było wykonanie badań symulacyjnych oraz opracowanie procedury numerycznej do automatycznego generowania danych z programu EPANET poprzez nadrzędne oprogramowanie MATLAB (Mohan, 2014; Sradomski, 2015). W badaniach wykorzystano dokładny model matematyczny sieci (Kruszyński, 2015; Ostapkowicz, 2015), który uzupełniono o zawory.

Podstawę badań symulacyjnych stanowi schemat rozmieszczenia zaworów regulacyjnych, zaproponowany przez Ostapkowicza (2015). Wybrano wariant, w którym założono odpowiedni dobór zaworów regulacyjnych, który umożliwi wydzielenie na sieci dwóch stref regulacji ciśnienia. Ma to na celu obniżenie ciśnienia dla danego obszaru, zależnie od zapotrzebowania odbiorców. Dotyczy to określonych wariantów nocnej pracy sieci. Badania symulacyjne uwzględniają również bardziej zaawansowany schemat rozmieszczenia zaworów, zaproponowany przez Ostapkowicza (2015), który umożliwia wydzielenie na sieci trzech stref regulacji ciśnienia.

Istotnym elementem badań symulacyjnych było określenie, dla założonych poziomów rozbiórów wody w sieci, poziomu, do jakiego można obniżyć ciśnienie wody w poszczególnych wydzielonych strefach sieci.

Zakres pracy obejmował:

- Wykonanie badań symulacyjnych modelowej sieci wodociągowej z uwzględnieniem 2 różnych modeli sieci (uproszczonego i dokładnego) oraz różnych stanów operacyjnych (poborów wody).
- Odnalezienie, przetestowanie, wybór odpowiedniego zestawienia procedur numerycznych i środowisk programistycznych w celu automatycznego generowania danych poprzez połączenie programu do modelowania EPANET ze środowiskiem MATLAB.
- Opracowanie procedury generowania danych.
- Uruchomienie opracowanej procedury numerycznej automatyzacji generowanych danych do przeprowadzonej symulacji.

2. Przeprowadzenie symulacji i uruchomienie procedur automatycznego generowania danych

W badaniach symulacyjnych wykorzystano 2 modele sieci wodociągowej, opracowane w EPANET:

- model uproszczony (Dawidowicz, 2014)
- model ulepszony (Dawidowicz, 2014; Kruszyński, 2015; Ostapkowicz, 2015)

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: w.kruszynski@pb.edu.pl

Opracowane modele uwzględniają sprowadzenie do jednakowego poziomu wysokości wszystkich węzłów i gałęzi sieci (Ostapkowicz, 2016).

Przeprowadzone symulacje z wykorzystaniem obu modeli uwzględniały różne pobory wody. Każdy z wariantów dotyczył działania sieci bez wycieku, z różnymi wielkościami jednoczesnych poborów wody z węzłów oznaczonych jako node_1, node_3, node_4. Modele przed obliczeniami i generowaniem danych zostały prawidłowo skalibrowane (rys. 1 i 2).

Oprócz działania sieci z poborami, dla każdego z wariantów zasymulowano pojedyncze wycieki w wybranych punktach modelowej sieci wodociągowej.

Zarówno dla stanów pracy sieci bez i z wyciekami, zawsze utrzymywano stałą wartość ciśnienia na zasilaniu.

Jednokrotne zestawienie wszystkich wyników przeprowadzonej symulacji to prawie 6 tysięcy linii raportu z danymi. Opracowywanie wybranej metody wymaga wielokrotnego ich wygenerowania i przetworzenia. Ze względu na tak dużą ilość danych wyniki symulacji wymagają opracowania procedury numerycznej do automatycznego generowania wyników z modelowanej sieci wodociągowej.

Opracowaną procedurę automatycznego generowania i zestawienia danych z programu Epanet zastosowano do uzyskania i porównania wyników z dwu modeli. Pierwszy, czyli uproszczony model odwzorowywał badaną sieć wodociągową bez uwzględnienia strat miejscowych. Drugi natomiast, czyli ulepszony model, uwzględniał szczegółowe dane dotyczące strat

miejscowych na każdym z odcinków (tab. 1 i 2).

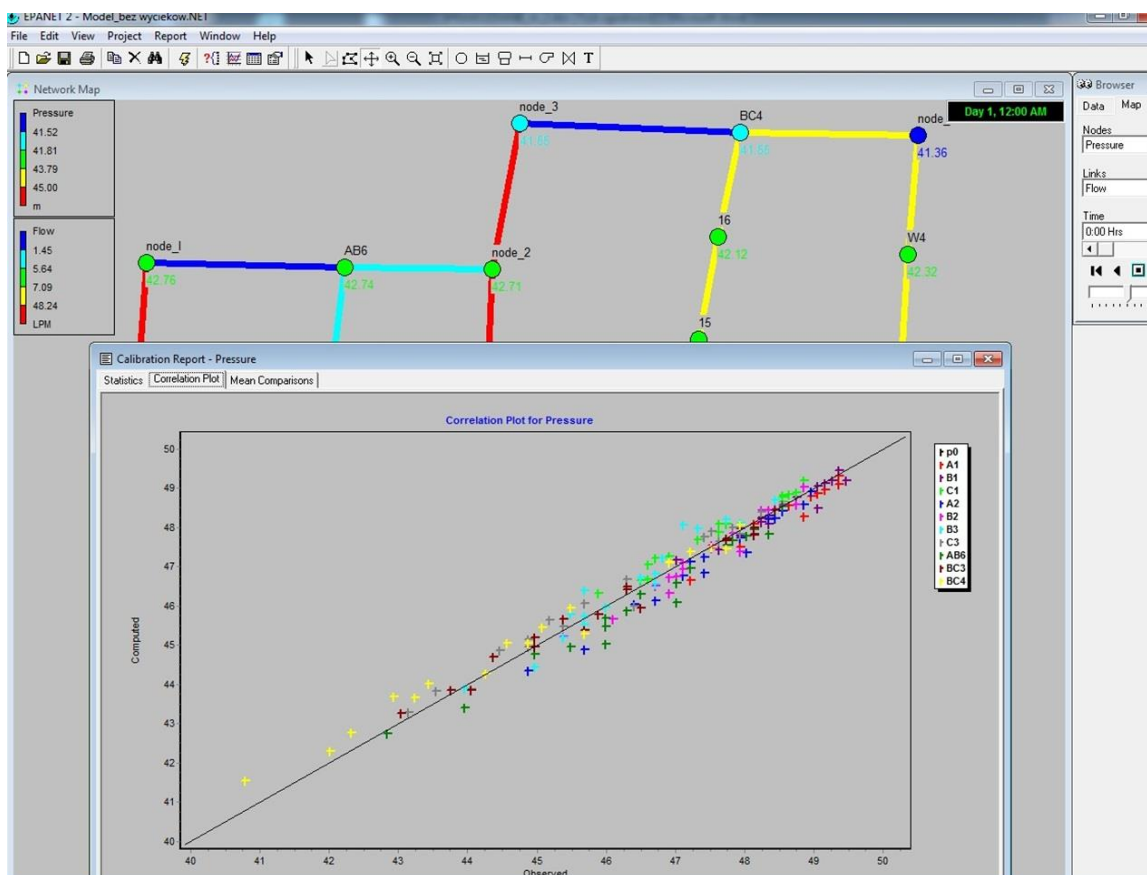
Opracowanie i uruchomienie procedur automatycznego generowania danych wymagało odnalezienia i przetestowania oraz wyboru wersji specjalistycznych programów MATLAB i bibliotek programistycznych umożliwiających zakładaną automatyzację.

Praca wymagała czasochłonnej instalacji, uruchomienia i przetestowania kilku programów specjalistycznych w różnych wersjach oraz kilkunastu typów bibliotek programistycznych do automatyzacji procesu modelowania.

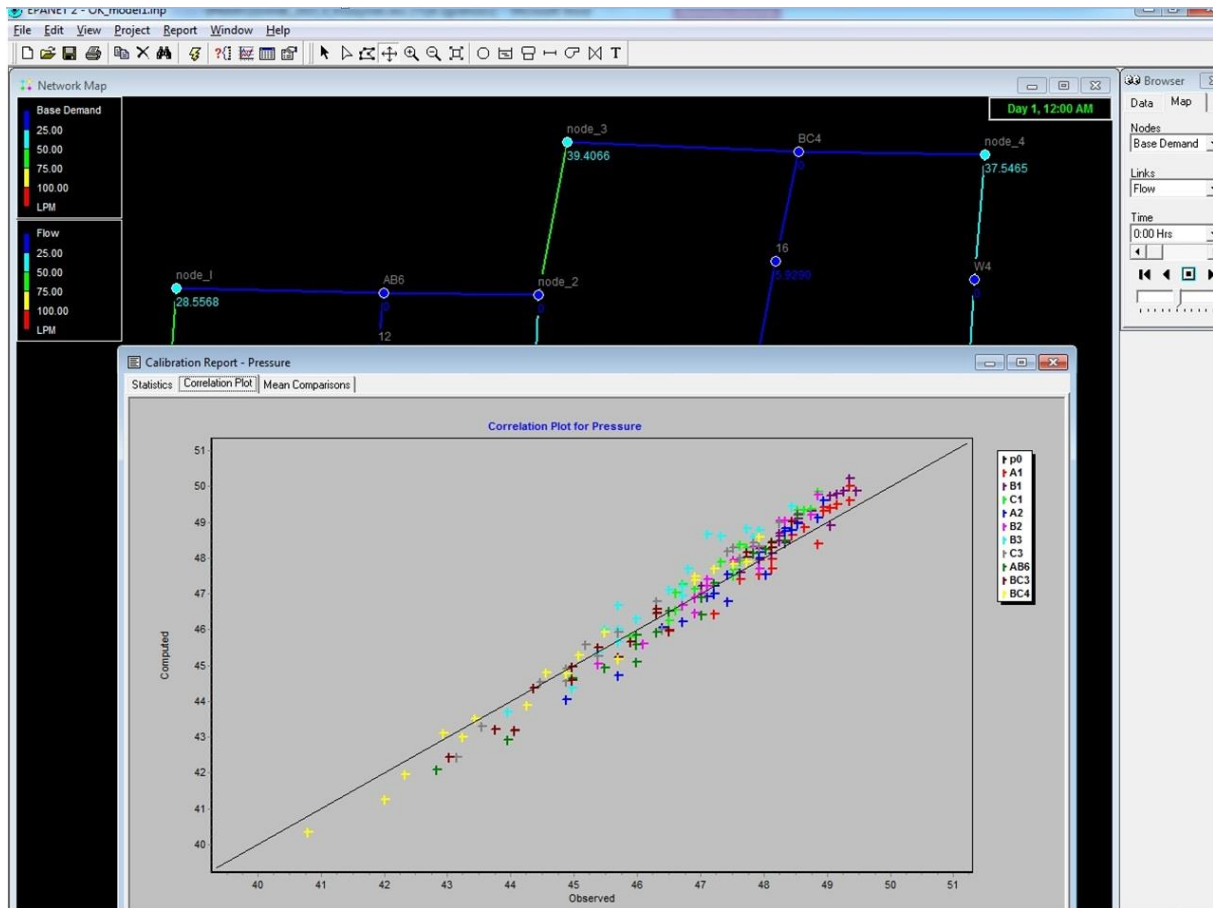
W rzeczywistych warunkach nie generuje się takiej ilości szczegółowych danych, jak w warunkach laboratoryjnych. Ogólnodostępne metody i procedury obliczeniowe nie sprawdziłyby się w badanych modelach ze względu na brak możliwości automatycznego łączenia wygenerowanych danych ze środowiskiem MATLAB.

W wyniku testów polegających na podłączeniu generowanych danych z różnymi wersjami MATLAB wybrano środowisko MATLAB 2013 w odpowiedniej wersji oraz wymagane biblioteki łączące ten program ze środowiskiem do modelowania (rys. 3).

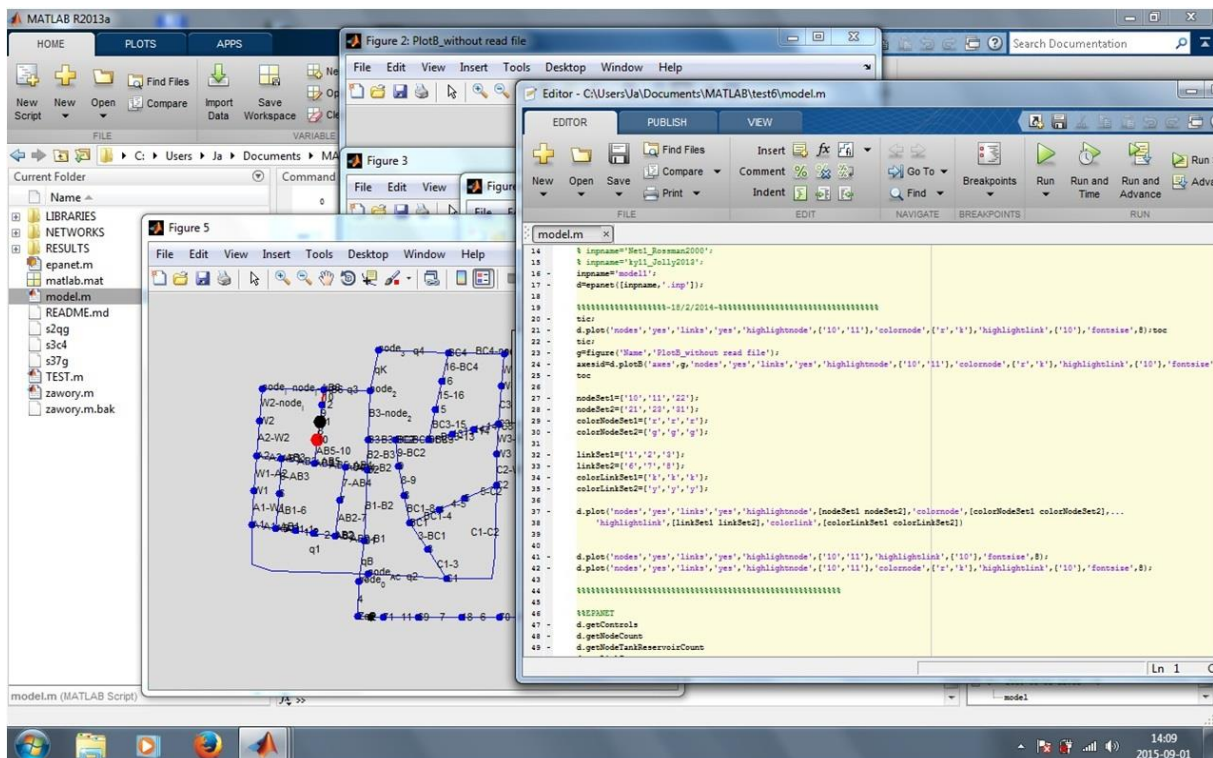
Następnie przeprowadzono proces integracji wyników symulacji z platformą MATLAB. Skrypty i biblioteki zostały zaprogramowane, zmodyfikowane i zintegrowane w taki sposób aby umożliwić automatyczne generowanie danych, niezależnie od ilości symulacji.



Rys. 1. Fragment modelowanej sieci z węzłami poboru wody – node_1, node_3, node_4 – wraz z wykresem korelacji pomiarów ciśnienia rejestrowanego z wynikami z modelowania (model uproszczony)



Rys. 2. Fragment modelowanej sieci z węzłami poboru wody – node_1, node_3, node_4 – wraz z wykresem korelacji pomiarów ciśnienia rejestrowanego z wynikami z modelowania (model ulepszony)



Rys. 3. Uruchomiona procedura automatycznego generowania danych z modelu w programie EPANET do środowiska MATLAB

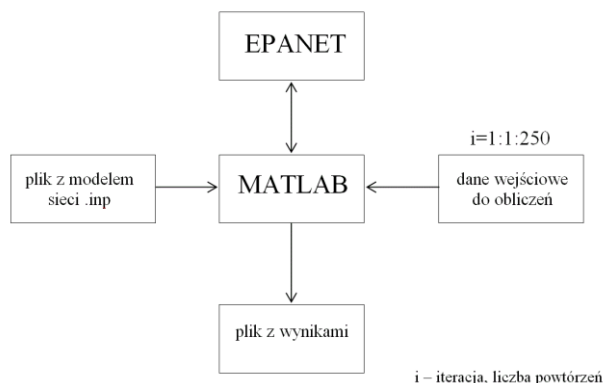
Tab. 1. Fragment wygenerowanych danych – zestawienie wyników dla jednej z symulacji – wycieki i ciśnienia w węzłach w zależności od godziny – model uproszczony bez uwzględnienia strat lokalnych (9 z 18 godzin pracy sieci)

węzeł	wyciek	ciśnienie	wyciek	ciśnienie	wyciek	ciśnienie	wyciek	ciśnienie	wyciek	ciśnienie	wyciek	ciśnienie	wyciek	ciśnienie	wyciek	ciśnienie	wyciek	ciśnienie
godzina	1	2	3	4	5	6	7	8	9									
node_0	0,00	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00
B1	0,00	47,17	0,00	47,44	0,00	47,97	0,00	48,59	0,00	49,13	0,00	49,46	0,00	47,83	0,00	48,53	0,00	48,50
B2	0,00	45,22	0,00	45,67	0,00	46,52	0,00	47,55	0,00	48,46	0,00	49,02	0,00	46,33	0,00	47,49	0,00	47,38
B3	0,00	43,89	0,00	44,44	0,00	45,52	0,00	46,82	0,00	48,00	0,00	48,71	0,00	45,20	0,00	46,72	0,00	46,56
node_2	0,00	42,71	0,00	43,37	0,00	44,65	0,00	46,19	0,00	47,62	0,00	48,47	0,00	44,34	0,00	46,16	0,00	45,97
node_3	54,53	41,55	51,62	42,30	48,43	43,67	42,57	45,45	26,92	47,20	21,28	48,17	54,13	42,94	39,85	45,27	42,23	45,27
C1	0,00	46,32	0,00	46,65	0,00	47,27	0,00	48,09	0,00	48,77	0,00	49,19	0,00	46,67	0,00	47,69	0,00	47,48
C2	0,00	45,21	0,00	45,63	0,00	46,43	0,00	47,48	0,00	48,36	0,00	48,90	0,00	45,65	0,00	46,96	0,00	46,77
C3	0,00	43,29	0,00	43,87	0,00	44,96	0,00	46,42	0,00	47,64	0,00	48,40	0,00	43,82	0,00	45,65	0,00	45,99
node_4	54,29	41,36	52,61	42,08	48,65	43,45	39,39	45,34	36,40	46,87	30,95	47,86	52,75	42,32	44,58	44,62	31,13	45,24
A1	0,00	46,30	0,00	46,66	0,00	47,42	0,00	48,22	0,00	48,87	0,00	49,32	0,00	47,80	0,00	48,44	0,00	48,28
A2	0,00	44,36	0,00	44,89	0,00	46,04	0,00	47,24	0,00	48,22	0,00	48,93	0,00	46,85	0,00	47,74	0,00	47,36
node_I	54,88	42,76	51,40	43,43	41,27	44,93	32,90	46,47	27,49	47,71	19,15	48,62	16,65	46,27	15,76	47,31	25,30	46,66
AB6	0,00	42,74	0,00	43,41	0,00	44,78	0,00	46,31	0,00	47,67	0,00	48,53	0,00	45,04	0,00	46,59	0,00	46,08
BC4	0,00	41,55	0,00	42,29	0,00	43,66	0,00	45,46	0,00	47,11	0,00	48,07	0,00	42,78	0,00	45,05	0,00	45,28
AB1	0,00	46,04	0,00	46,43	0,00	47,21	0,00	48,06	0,00	48,77	0,00	49,25	0,00	47,01	0,00	47,86	0,00	48,06
AB2	0,00	46,19	0,00	46,56	0,00	47,28	0,00	48,10	0,00	48,80	0,00	49,26	0,00	46,99	0,00	47,88	0,00	48,08
AB3	0,00	45,02	0,00	45,50	0,00	46,45	0,00	47,52	0,00	48,41	0,00	49,02	0,00	46,84	0,00	47,75	0,00	47,52
AB5	0,00	45,06	0,00	45,55	0,00	46,46	0,00	47,53	0,00	48,42	0,00	49,03	0,00	46,68	0,00	47,67	0,00	47,51
AB4	0,00	45,29	0,00	45,75	0,00	46,61	0,00	47,61	0,00	48,49	0,00	49,05	0,00	46,64	0,00	47,65	0,00	47,54
BC1	0,00	45,21	0,00	45,63	0,00	46,43	0,00	47,49	0,00	48,37	0,00	48,92	0,00	45,69	0,00	46,99	0,00	46,07
BC2	0,00	43,88	0,00	44,43	0,00	45,49	0,00	46,80	0,00	47,96	0,00	48,66	0,00	44,83	0,00	46,41	0,00	46,13
BC3	0,00	43,27	0,00	43,86	0,00	44,96	0,00	46,42	0,00	47,67	0,00	48,44	0,00	43,85	0,00	45,68	0,00	45,95
10	0,00	42,85	0,00	43,52	0,00	44,91	0,00	46,37	0,00	47,73	0,00	48,58	0,00	45,11	0,00	46,64	5,98	45,43
6	0,00	45,53	0,00	45,96	0,00	46,83	0,00	47,79	0,00	48,59	0,00	49,13	0,00	46,93	0,00	47,80	0,00	47,79
7	0,00	45,74	0,00	46,16	0,00	46,94	0,00	47,85	0,00	48,64	0,00	49,16	0,00	46,82	0,00	47,77	0,00	47,81
1	0,00	46,09	0,00	46,47	0,00	47,23	0,00	48,07	0,00	48,78	0,00	49,25	9,16	46,66	8,07	47,59	0,00	48,07
2	0,00	46,14	0,00	46,52	0,00	47,25	0,00	48,09	0,00	48,79	0,00	49,26	0,00	46,82	0,00	47,74	0,00	48,07
3	0,00	45,76	0,00	46,14	0,00	46,85	0,00	47,79	0,00	48,57	0,00	49,05	0,00	46,18	0,00	47,34	0,00	46,78
4	0,00	45,21	0,00	45,63	0,00	46,43	0,00	47,49	0,00	48,37	0,00	48,91	0,00	45,67	0,00	46,98	16,74	45,33
5	0,00	45,21	0,00	45,63	0,00	46,43	0,00	47,48	0,00	48,36	0,00	48,91	0,00	45,66	0,00	46,97	0,00	46,05
8	0,00	44,76	0,00	45,23	0,00	46,12	0,00	47,26	0,00	48,23	0,00	48,83	0,00	45,40	0,00	46,80	0,00	46,09
9	0,00	44,32	0,00	44,83	0,00	45,80	0,00	47,03	0,00	48,10	0,00	48,75	0,00	45,11	0,00	46,61	0,00	46,11
13	0,00	43,28	0,00	43,86	0,00	44,96	0,00	46,42	0,00	47,66	0,00	48,43	0,00	43,68	0,00	45,50	0,00	45,96
14	0,00	43,28	0,00	43,86	0,00	44,96	0,00	46,42	0,00	47,65	0,00	48,42	8,83	43,51	9,08	45,32	0,00	45,98
15	0,00	42,69	0,00	43,33	0,00	44,52	0,00	46,10	0,00	47,48	0,00	48,32	0,00	43,48	0,00	45,47	0,00	45,72
16	0,00	42,12	0,00	42,81	0,00	44,09	0,00	45,78	0,00	47,30	0,00	48,19	0,00	43,13	0,00	45,26	0,00	45,50
W1	0,00	45,33	0,00	45,78	0,00	46,73	0,00	47,73	0,00	48,55	0,00	49,13	0,00	47,33	0,00	48,09	0,00	47,82
W2	0,00	43,54	0,00	44,15	0,00	45,47	0,00	46,85	0,00	47,96	0,00	48,77	0,00	46,55	0,00	47,53	0,00	47,01
W3	0,00	44,25	0,00	44,75	0,00	45,69	0,00	46,95	0,00	48,00	0,00	48,65	0,00	44,74	0,00	46,30	0,00	46,38
W4	0,00	42,32	0,00	42,98	0,00	44,21	0,00	45,88	0,00	47,26	0,00	48,13	0,00	43,07	0,00	45,13	0,00	45,61

Tab. 2. Fragment wygenerowanych danych – zestawienie wyników dla jednej z symulacji – wycieki i ciśnienia w węzłach w zależności od godziny – model ulepszony z uwzględnieniem strat lokalnych (9 z 18 godzin pracy sieci)

węzeł	wyciek	ciśnienie	wyciek	ciśnienie	wyciek	ciśnienie	wyciek	ciśnienie	wyciek	ciśnienie	wyciek	ciśnienie	wyciek	ciśnienie	wyciek	ciśnienie	wyciek	ciśnienie
Godzina	1	2	3	4	5	6	7	8	9									
node_A_C	0,00	48,68	0,00	48,90	0,00	49,33	0,00	49,85	0,00	50,27	0,00	50,54	0,00	49,26	0,00	49,80	0,00	49,71
B1	0,00	47,23	0,00	47,58	0,00	48,28	0,00	49,09	0,00	49,78	0,00	50,23	0,00	48,12	0,00	49,01	0,00	48,92
B2	0,00	45,06	0,00	45,60	0,00	46,68	0,00	47,95	0,00	49,05	0,00	49,76	0,00	46,48	0,00	47,87	0,00	47,70
B3	0,00	43,70	0,00	44,36	0,00	45,67	0,00	47,22	0,00	48,59	0,00	49,46	0,00	45,38	0,00	47,12	0,00	46,94
node_2	0,00	42,06	0,00	42,87	0,00	44,48	0,00	46,38	0,00	48,07	0,00	49,13	0,00	44,21	0,00	46,36	0,00	46,21
node_3	54,53	40,30	51,62	41,24	48,43	42,99	42,57	45,26	26,92	47,43	21,28	48,68	54,13	42,04	39,85	44,98	42,23	45,15
C1	0,00	45,79	0,00	46,25	0,00	47,14	0,00	48,28	0,00	49,24	0,00	49,84	0,00	46,54	0,00	47,88	0,00	47,68
C2	0,00	44,58	0,00	45,14	0,00	46,22	0,00	47,62	0,00	48,79	0,00	49,54	0,00	45,40	0,00	47,07	0,00	46,91
C3	0,00	42,43	0,00	43,17	0,00	44,57	0,00	46,44	0,00	48,00	0,00	48,99	0,00	43,31	0,00	45,59	0,00	46,02
node_4	54,29	40,24	52,61	41,14	48,65	42,87	39,39	45,22	36,40	47,16	30,95	48,39	52,75	41,60	44,58	44,44	31,13	45,18
A1	0,00	45,95	0,00	46,43	0,00	47,41	0,00	48,49	0,00	49,39	0,00	50,00	0,00	47,69	0,00	48,65	0,00	48,41
A2	0,00	44,05	0,00	44,71	0,00	46,06	0,00	47,54	0,00	48,77	0,00	49,62	0,00	46,79	0,00	47,99	0,00	47,53
node_I	54,88	42,01	51,40	42,87	41,27	44,64	32,90	46,56	27,49	48,13	19,15	49,23	16,65	46,09	15,76	47,46	25,30	46,72
AB6	0,00	42,09	0,00	42,92	0,00	44,63	0,00	46,52	0,00	48,12	0,00	49,21	0,00	45,09	0,00	46,88	0,00	46,42
BC4	0,00	40,34	0,00	41,26	0,00	43,00	0,00	45,28	0,00	47,37	0,00	48,59	0,00	41,95	0,00	44,81	0,00	45,19
AB1	0,00	45,65	0,00	46,15	0,00	47,18	0,00	48,33	0,00	49,29	0,00	49,94	0,00	46,79	0,00	48,00	0,00	48,19
AB2	0,00	45,88	0,00	46,36	0,00	47,31	0,00	48,41	0,00	49,34	0,00	49,97	0,00	46,83	0,00	48,06	0,00	48,23
AB3	0,00	44,48	0,00	45,09	0,00	46,33	0,00	47,73	0,00	48,90	0,00	49,69	0,00	46,74	0,00	47,97	0,00	47,55
AB5	0,00	44,46	0,00	45,08	0,00	46,31	0,00	47,71	0,00	48,89	0,00	49,68	0,00	46,48	0,00	47,83	0,00	47,30
AB4	0,00	45,04	0,00	45,59	0,00	46,68	0,00	47,95	0,00	49,05	0,00	49,77	0,00	46,52	0,00	47,88	0,00	47,69
BC1	0,00	44,62	0,00	45,18	0,00	46,26	0,00	47,65	0,00	48,82	0,00	49,56	0,00	45,50	0,00	47,14	0,00	46,04
BC2	0,00	43,52	0,00	44,18	0,00	45,48	0,00	47,08	0,00	48,47	0,00	49,35	0,00	44,76	0,00	46,63	0,00	46,25
BC3	0,00	42,45	0,00	43,18	0,00	44,60	0,00	46,45	0,00	48,04	0,00	49,03	0,00	43,23	0,00	45,51	0,00	45,99
71	0,00	98,18	0,00	101,55	0,00	108,20	0,00	115,99	0,00	122,47	0,00	126,61	0,00	107,04	0,00	115,23	0,00	113,97
10	0,00	43,91	0,00	44,57	0,00	45,92	0,00	47,43	0,00	48,71	0,00	49,57	0,00	46,16	0,00	47,61	5,98	46,50
6	0,00	45,11	0,00	45,66	0,00	46,79	0,00	48,05	0,00	49,11	0,00	49,82	0,00	46,77	0,00	47,98	0,00	47,90
7	0,00	45,48	0,00	45,99	0,00	47,01	0,00	48,19	0,00	49,21	0,00	49,87	0,00	46,68	0,00	47,98	0,00	47,97
1	0,00	45,73	0,00	46,23	0,00	47,23	0,00	48,36	0,00	49,31	0,00	49,95	9,16	46,41	8,07	47,71	0,00	48,21
2	0,00	45,81	0,00	46,29	0,00	47,27	0,00	48,38	0,00	49,33	0,00	49,96	0,00	46,62	0,00	47,88	0,00	48,22
3	0,00	45,23	0,00	45,74	0,00	46,72	0,00	47,98	0,00	49,04	0,00	49,71	0,00	46,05	0,00	47,53	0,00	46,90
4	0,00	44,61	0,00	45,17	0,00	46,25	0,00	47,64	0,00	48,82	0,00	49,56	0,00	45,47	0,00	47,13	16,74	45,24
5	0,00	44,59	0,00	45,15	0,00	46,23	0,00	47,63	0,00	48,81	0,00	49,55	0,00	45,44	0,00	47,10	0,00	46,02
8	0,00	44,21	0,00	44,81	0,00	45,97	0,00	47,44	0,00	48,69	0,00	49,48	0,00	45,22	0,00	46,95	0,00	46,12
9	0,00	43,91	0,00	44,53	0,00	45,75	0,00	47,28	0,00	48,60	0,00	49,42	0,00	45,02	0,00	46,81	0,00	46,17
13	0,00	42,44	0,00	43,18	0,00	44,59	0,00	46,45	0,00	48,03	0,00	49,01	0,00	43,05	0,00	45,32	0,00	46,00
14	0,00	42,44	0,00	43,17	0,00	44,58	0,00	46,44	0,00	48,02	0,00	49,00	8,83	42,87	9,08	45,13	0,00	46,01
15	0,00	41,72	0,00	42,52	0,00	44,04	0,00	46,05	0,00	47,81	0,00	48,88	0,00	42,79	0,00	45,27	0,00	45,71
16	0,00	41,14	0,00	41,99	0,00	43,60	0,00	45,72	0,00	47,62	0,00	48,76	0,00	42,43	0,00	45,07	0,00	45,49
W1	0,00	45,16	0,00	45,72	0,00	46,85	0,00	48,10	0,00	49,13	0,00	49,84	0,00	47,32	0,00	48,38	0,00	48,05
W2	0,00	43,35	0,00	44,08	0,00	45,57	0,00	47,20	0,00	48,54	0,00	49,48	0,00	46,54	0,00	47,80	0,00	47,25
W3	0,00	43,51	0,00	44,15	0,00	45,39	0,00	47,03	0,00	48,40	0,00	49,26	0,00	44,35	0,00	46,33	0,00	46,46
W4	0,00	41,35	0,00	42,16	0,00	43,73	0,00	45,83	0,00	47,58	0,00	48,69	0,00	42,46	0,00	45,02	0,00	45,60
node_0	0,00	49,33	0,00	49,49	0,00	49,80	0,00	50,17	0,00	50,48	0,00	50,67	0,00	49,75	0,00	50,14	0,00	50,08
11	0,00	43,51	0,00	44,21	0,00	45,64	0,00	47,23	0,00	48,58	0,00	49,49	0,00	45,92	0,00	47,45	0,00	46,48
12	0,00	42,79	0,00	43,55	0,00	45,12	0,00	46,87	0,00	48,34	0,00	49,34	0,00	45,50	0,00	47,16	0,00	46,45
17	0,00	111,00	0,00	113,15	0,00	117,38	0,00	122,34	0,00	126,46	0,00	129,09	0,00	116,65	0,00	121,86	0,00	121,06
70	0,00	106,74	0,00	109,30	0,00	114,34	0,00	120,24	0,00	125,15	0,00	128,27	0,00	113,46	0,00	119,67	0,00	118,71
18	0,00	105,47	0,00	108,15	0,00	113,43	0,00	119,61	0,00	124,75	0,00	128,03	0,00	112,51	0,00	119,01	0,00	118,01
69	0,00	100,10	0,00	103,29	0,00	109,59	0,00	116,96	0,00	123,09	0,00	127,00	0,00	108,49	0,00	116,25	0,00	115,05

Opracowana i zoptymalizowana procedura w zależności od konfiguracji sprzętowej komputera pozwala na uzyskanie jednorazowo maksymalnie 250 wyników w programie MATLAB (rys. 4). Wymaga to przygotowania bloków z danymi do generowania z podziałem na części generujące uzyskane 250 wyników.



Rys. 4. Algorytm działania opracowanej procedury

4. Podsumowanie

Dzięki prawidłowo wykonanemu i skalibrowanemu modelowi sieci udało się przeprowadzić założone badania symulacyjne. Opracowana procedura programistyczna do generowania danych numerycznych z modelu w programie EPANET umożliwiła pełną automatyzację obliczania i przetwarzania generowanych z symulacji danych w środowisku MATLAB. Zastosowane rozwiązania pozwolą na stosowanie opracowanej metody do analizy i przetwarzania danych w dalszej części prowadzonego projektu badawczego, a także w kolejnych badaniach naukowych. Metoda także może być zastosowana i wykorzystana w praktycznych rozwiązaniach problemów na rzeczywistych sieciach wodociągowych.

Literatura

- Dawidowicz J. (2014). Raport projektu badawczego G/WM/5/2010/4/2014, Białystok.
- Kruszyński W. (2015). Raport projektu badawczego G/WM/5/2010/7/2015, Białystok.
- Mohan N. (2014). *Advanced Electric Drives: Analysis, Control, And Modeling Using MATLAB/Simulink.* John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Ostapkowicz P. (2015). Raport projektu badawczego G/WM/5/2010/6/2015, Białystok.
- Ostapkowicz P. (2016). Leak detection in liquid transmission pipelines using simplified pressure analysis techniques employing a minimum of standard and non-standard measuring devices. *Engineering Structures*, Vol. 113, 194-205.
- Sradomski W. (2015). *MATLAB Praktyczny Podręcznik Modelowania.* Helion.

PERFORMING SIMULATION TESTS OF THE MODEL WATER SUPPLY NETWORK IN TERMS OF ITS VARIOUS OPERATIONAL STATES WITH THE DEVELOPMENT OF A NUMERICAL PROCEDURE FOR THE AUTOMATION OF DATA GENERATION

Abstract: The purpose of the work was to perform simulation tests and develop a numerical procedure for the automatic generation of data from the EPANET program through MATLAB's superior software. The research used the exact mathematical model of the network, which was supplemented by valves. The scope of work included performing simulation tests of the model water supply network, taking into account 2 different network models (simplified and precise) and various operational states (water abstraction). The selection of an appropriate set of numerical procedures and programming environments was then made to generate data automatically by combining the EPANET modeling program with the MATLAB environment. Thanks to a properly made and calibrated network model, simulation tests were successfully carried out. The developed programming procedure for generating numerical data from the EPANET model enabled full automation of the calculation and processing of data generated from simulation in the MATLAB environment.

Artykuł powstał na Politechnice Białostockiej na podstawie badań w ramach umowy o dzieło do projektu naukowo-badawczego numer G/WM/5/2010/4/2015.

BADANIA SZTYWNOŚCI I NOŚNOŚCI PANELI ŚCIENNYCH W KONSTRUKCJI SZKIELETOWYCH BUDYNKÓW DREWNIANYCH W RÓŻNYCH KONFIGURACJACH GEOMETRYCZNYCH I KONSTRUKCYJNYCH

Marta NAZARCZUK*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok

Streszczenie: W pracy zaprezentowano wyniki badań sztywności i wytrzymałości na obciążenie poziome ścian szkieletowych budynków drewnianych. Badaniom poddano sześć typów ścian różniących się budową i grubością. Poszycie ścian oprócz mocowania za pomocą łączników zostało przyklejone do szkieletu drewnianego. Badania wykonano według normy PN-EN 594:2011. Uzyskane wyniki zestawiono w formie wykresów $F - v$ (gdzie: F jest siłą poziomą, v w przemieszczeniem poziomym górnej krawędzi). Ponadto podano siły niszczące F_{max} oraz obliczono sztywność poszczególnych ścian.

Słowa kluczowe: budynki drewniane, konstrukcje szkieletowe, panele ściennie, sztywność, nośność.

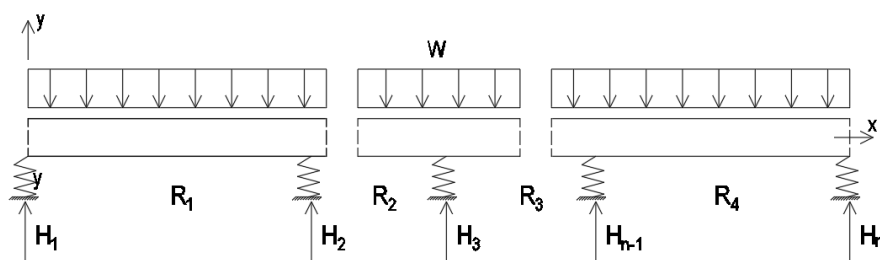
doi: 10.24427/bis-2018-vol9-no3-0004

1. Wprowadzenie

Konstrukcje drewniane stają się coraz bardziej popularne, szczególnie w krajach Europy zachodniej oraz skandynawskich, takich jak Dania, Norwegia czy Szwecja. Szwedzkie miasto Växjö planuje, aby do roku 2020 połowa nowo wybudowanych obiektów była z drewna (Växjö Municipal Council, 2013). Jest to podyktowane przede wszystkim chęcią ochrony klimatu poprzez zmniejszenie emisji dwutlenku węgla do atmosfery, ponieważ materiał ten jest pod tym względem dużo korzystniejszy niż żelbet czy stal. Ponadto drewno jest materiałem odnawialnym. Tym tropem idzie też Polska – ostatnio została powołana ustawa sejmową spółka Polskie Domy Drewniane, która ma działać na rzecz promocji tego rodzaju budownictwa w naszym kraju. Nie pokrywa to się jednak ze stanem wiedzy o tych konstrukcjach – ciągle brak jest wystarczającej ilości informacji na temat nowych

konstrukcji, bardziej skomplikowanych budynków czy nowych materiałów drewnopochodnych. W związku z tym istnieje pilna potrzeba zgłębienia tematu i uzyskania informacji na temat projektowania, realizacji i użytkowania budynków na bazie drewna, głównie prefabrykowanych.

Szczególnie ważnym zagadnieniem jest zachowanie się budynków drewnianych pod wpływem obciążeń poziomych. Głównym elementem w ich przenoszeniu w przypadku konstrukcji szkieletowej są ściany usztywniające. Ich sztywność wpływa na rozkład obciążeń. Są one podporami sprężystymi R_i dla stropów, które są traktowane jako sztywne i przenoszą obciążenie poziome na ściany według schematu statycznego (Miedziałowski i Malesza, 2003) pokazanego na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat statyczny współpracy ścian usztywniających ze stropami (Miedziałowski i Malesza, 2003)

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: mnazarczuk@unihouse.pl

Norma PN-EN 1995-1-1:2010. Eurokod 5. *Projektowanie konstrukcji drewnianych. Część 1-1: Postanowienia ogólne. Reguły ogólne i reguły dotyczące budynków* wskazuje dwie metody obliczeniowe paneli ściennych przy obciążeniach poziomych, jednakże są one bardzo uproszczone, do tego ich pełne stosowanie odbywać może się tylko w przypadku używania jako poszycie konstrukcyjne płyt drewnopochodnych, co nie zawsze jest uzasadnione, jeśli weźmie się pod uwagę fizykę budowli. Poza tym na rynku dostępne są już konstrukcyjne płyty gipsowo-kartonowe lub gipsowo-włóknowe. Ich stosowanie odbywa się na podstawie Europejskich Aprobata lub Ocen Technicznych i zawsze odnoszą się do metody A zamieszczonej w normie PN-EN 1995-1-1:2010. Ogranicza się ona do dużych nieprzerwanych obszarów poszycia, więc według niej większość ścian z otworami okiennymi lub drzwiowymi nie ma żadnej nośności na obciążenia poziome. W związku z tym konieczne stało się przeprowadzanie badań wytrzymałościowych paneli ściennych na ten rodzaj obciążenia. W pracy Baszenia (2004) zbadano 7 paneli ściennych – 4 pełne i 3 z otworami, gdzie obserwowano odkształcenia i przemieszczenia poszczególnych elementów układu – słupków, pasów górnych i dolnych oraz poszycia, a następnie wyniki wykorzystano do analizy numerycznej. Wykazano, że na sztywność panelu w głównej mierze wpływają łączniki poszycia, a także że ściany z otworami są mniej sztywne niż pełne. W pracy Maleszy (1997) zbadano 3 identyczne pełne panele ścienne w celu określenia odkształceń poziomych. Zaobserwowano redystrybucję naprężeń pomiędzy poszyciem a ramą konstrukcyjną ścian, w której główną rolę odgrywają łączniki. Do tych samych wniosków doszli Miedziałowski i Malesza w publikacji (Miedziałowski i Malesza, 2003), którzy badali ściany pełne i z otworami.

Natomiast w publikacji (Martin i in., 2006) skupiono się tylko na panelach z otworami w celu wykazania ich nośności na obciążenia poziome. Dodatkowo zmieniano ich sposoby dolnego i górnego mocowania. Testy pokazały, że warunki brzegowe mogą zmieniać sztywność ściany aż o 500%.

Autorzy publikacji (Šilih i Premrov, 2010) także skupili się na ścianach z otworami. Panele w tym przypadku były poszyte płytami gipsowo-włóknowymi i miały różne wymiary otworów. Udowodniono, że ściany tego typu poprawiają sztywność budynku, ponieważ mają nawet 50% nośności paneli pełnych i powinny być brane pod uwagę w obliczeniach.

W dalszej części publikacji zostaną zaprezentowane wyniki badań sztywności i wytrzymałości na obciążenie poziome ścian zaprojektowanych w projekcie „Budynek zeroenergetyczny w konstrukcji modułowej” współfinansowanego przez Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Podlaskiego na lata 2014-2020.

2. Opis metodyki badań

Badania przeprowadzono według normy PN-EN 594:2011. *Konstrukcje drewniane. Metody badań. Badania*

sztywności i nośności płyt ściennych o szkieletcie drewnianym. Określa ona metodę badania sztywności i nośności na obciążenie poziome szkieletowych ścian drewnianych. Zbadano 12 paneli ściennych wykonanych w technologii szkieletu drewnianego. Panele miały wymiary $3,00 \times 2,60$ m. Ściany podzielono na 3 grupy różniące się między sobą częścią konstrukcyjną:

- grupa 1: ściany typu SZA z warstwą konstrukcyjną w formie słupków dwuteowych o wymiarach 60×300 mm, poszytych od wewnątrz płytą gipsowo-kartonową konstrukcyjną grubości 12,5 mm, a od zewnątrz płytą gipsową konstrukcyjną zbrojoną włóknem szklanym grubości 12,5 mm,
- grupa 2: ściany typu SZB z warstwą konstrukcyjną w formie słupków dwuteowych o wymiarach 60×200 mm, poszytych od wewnątrz płytą gipsowo-kartonową konstrukcyjną grubości 12,5 mm, a od zewnątrz płytą OSB3 grubości 12 mm,
- grupa 3: ściany typu SZD z warstwą konstrukcyjną w formie słupków z drewna LVL o wymiarach 51×100 mm, poszytych od wewnątrz płytą gipsowo-kartonową konstrukcyjną grubości 12,5 mm, a od zewnątrz płytą OSB3 grubości 12 mm.

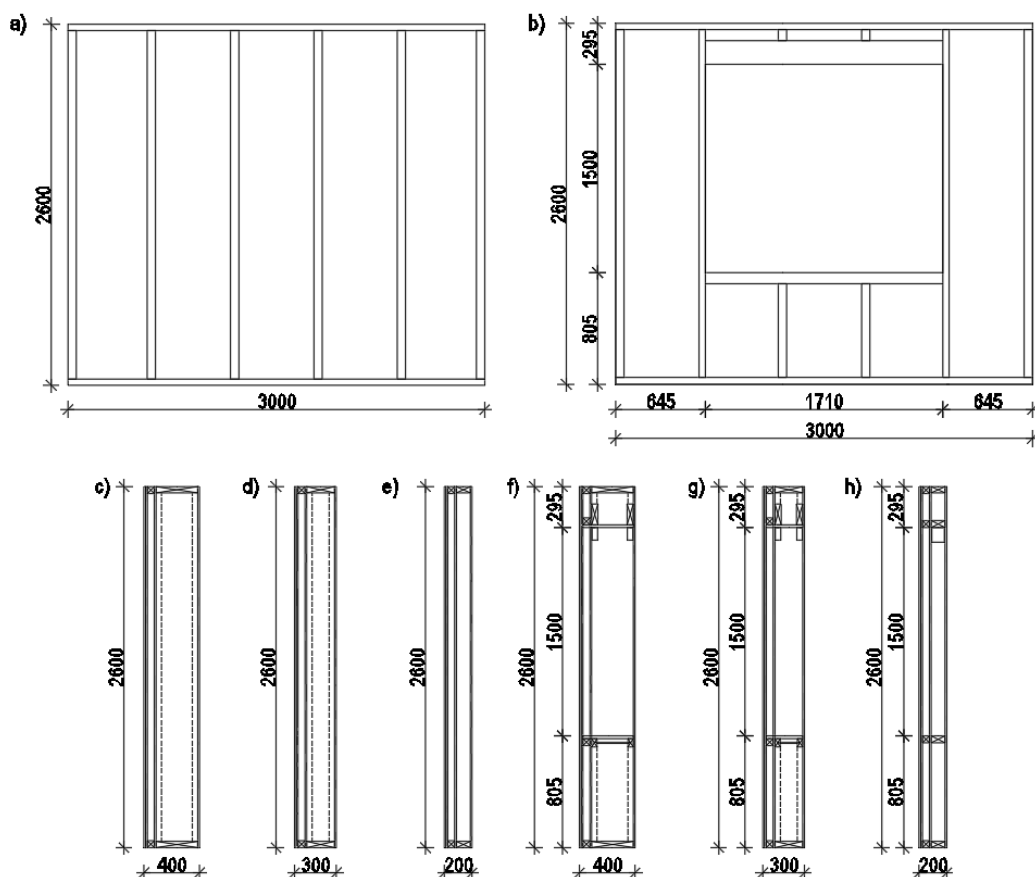
Panele w poszczególnych grupach różniły się między sobą rodzajem łączników mocujących poszycie do belek konstrukcyjnych:

- rodzaj 1: zszywki o wymiarach $1,53 \times 50$ mm w rozstawie 70 mm,
- rodzaj 2: zszywki o wymiarach $1,53 \times 50$ mm w rozstawie 120 mm,
- rodzaj 3: wkręty o wymiarach $3,5 \times 35$ mm.

Dodatkowo poszycie we wszystkich ścianach było przyklejone do ramy konstrukcyjnej, ponieważ badanie wykonano w ramach dofinansowania z funduszy unijnych i panele były projektowane nie tylko pod względem wytrzymałościowym. Klej w tym przypadku użyty został w celu poprawy szczelności ścian zewnętrznych i musiały być one przygotowane do badań w sposób identyczny, jak planowano je później wbudować w budynek testowy. Zróżnicowano też formę ścian – w każdej grupie 3 panele były pełne, natomiast 1 posiadał otwór o wymiarach 1710×1500 mm, którego umiejscowienie pokazano na rysunku 2. W tabeli 1 opisano poszczególne panele.

Właściwości użytych materiałów są następujące:

- słupki dwuteowe:
 - materiał półki (drewno LVL):
 $f_{m,k} = 26,0$ MPa; $f_{t,0,k} = 16,0$ MPa; $f_{c,0,k} = 22,0$ MPa;
 $E_{0,mean} = 11,0$ GPa; $\rho_k = 430$ kg/m³,
 - materiał środka (płyta pilśniowa):
 $f_{m,90,k} = 31,0$ MPa; $f_{t,90,k} = 20,0$ MPa;
 $f_{c,90,k} = 21,0$ MPa; $E_{0,mean} = 5,3$ GPa;
 $G_{mean} = 2,1$ GPa; $\rho_k = 900$ kg/m³,
- słupki LVL:
 $f_{m,k} = 44,0$ MPa; $f_{t,0,k} = 36,0$ MPa; $f_{c,0,k} = 40,0$ MPa;
 $E_{0,mean} = 14,0$ GPa; $G_{mean} = 0,6$ GPa; $\rho_k = 480$ kg/m³,
- płyta gipsowa konstrukcyjna $\rho_k = 1000$ kg/m³:
 - prostopadłe do płaszczyzny płyty: $f_{m,0,k} = 8,4$ MPa;
 $f_{m,90,k} = 4,9$ MPa; $f_{c,k} = 8,0$ MPa; $E_{0,mean} = 4,65$ GPa,
 - w płaszczyźnie płyty:
 $f_{m,0,k} = 5,9$ MPa; $f_{m,90,k} = 3,9$ MPa; $f_{c,k} = 6,5$ MPa;
 $f_{v,k} = 3,3$ MPa; $E_{0,mean} = 3,7$ GPa; $G_{mean} = 2,5$ GPa;



Rys. 2. Widok badanych paneli: a) panel pełny, b) panel z otworem c) przekrój ściany SZA pełnej, d) przekrój ściany SZB pełnej, e) przekrój ściany SZD pełnej, f) przekrój ściany SZA z otworem, g) przekrój ściany SZB z otworem, h) przekrój ściany SZD z otworem

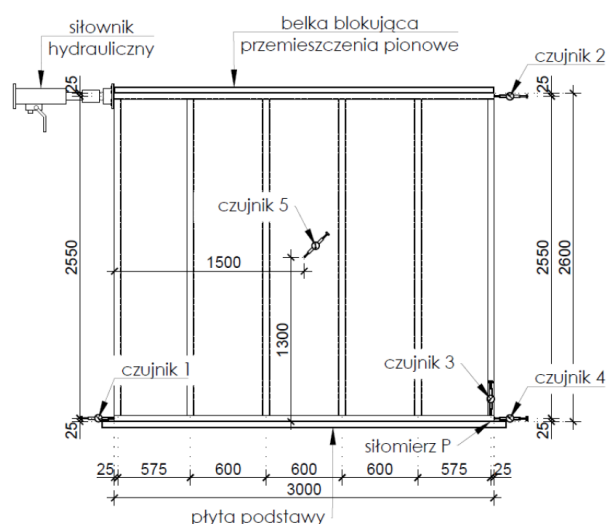
Tab. 1. Opis paneli do badań

Lp.	Grupa	Układ warstw	Łączniki poszycia
1	SZA	2 x płyta gipsowo-kartonowa grubości 12,5 mm łaty drewniane 50×50 mm płyta gipsowo-kartonowa konstrukcyjna gr. 12,5 mm słupki dwuteowe 60×300 mm płyta gipsowo-kartonowa konstrukcyjna zewnętrzna grubości 12,5 mm	SZA3 7 (pełny): zszywki 1,58×50
			SZA4 8 (pełny): zszywki 1,58×50 mm co 120 mm
			SZA (pełny): wkręty 3,5×35 mm
			SZA6 10 (z otworem): zszywki 1,58×50 mm co 70 mm
			SZB3 11 (pełny): zszywki 1,58×50 mm co 70 mm
			SZB4 12 (pełny): zszywki 1,58×50 mm co 120 mm
2	SZB	2 x płyta gipsowo-kartonowa grubości 12,5 mm łaty drewniane 50×50 mm płyta gipsowo-kartonowa konstrukcyjna grubości 12,5 mm słupki dwuteowe 60×200 mm płyta OSB3 grubości 12 mm	SZB5 13 (pełny): wkręty 3,5×35 mm
			SZB6 14 (z otworem): zszywki 1,58×50 mm co 70 mm
			SZD3 15 (pełny): zszywki 1,58×50 mm co 70 mm
			SZD4 16 (pełny): zszywki 1,58×50 mm co 120 mm
			SZD5 17 (pełny): wkręty 3,5×35 mm
			SZD6 18 (z otworem): zszywki 1,58×50 mm co 70 mm
3	SZD	2 x płyta gipsowo-kartonowa grubości 12,5 mm łaty drewniane 50×50 mm płyta gipsowo-kartonowa konstrukcyjna grubości 12,5 mm słupki LVL 51×100 mm płyta OSB3 grubości 12 mm	

- płyta OSB3:
 $f_{m,0,k} = 16,4 \text{ MPa}$; $f_{m,90,k} = 8,2 \text{ MPa}$; $f_{t,0,k} = 9,4 \text{ MPa}$;
 $f_{t,90,k} = 7,0 \text{ MPa}$; $f_{c,0,k} = 15,4 \text{ MPa}$; $f_{c,90,k} = 12,7 \text{ MPa}$;
 $f_{v,k} = 6,8 \text{ MPa}$; $E_{0,mean} = 4,93 \text{ GPa}$; $E_{90,mean} = 1,98 \text{ GPa}$;
 $G_{mean} = 1,08 \text{ GPa}$

Do klejenia poszycia użyto kleju Kestopur 200/40, którego wytrzymałość na ścinanie i rozciąganie wynosi 10 MPa. Właściwości wytrzymałościowe zszywek są następujące: $f_{ax,k,350} = 4,9 \text{ MPa}$; $f_{head,k,350} = 30,0 \text{ MPa}$; $M_{y,k} = 750 \text{ Nmm}$. Wytrzymałość na ścinanie wkrętów do płyt wynosiła 0,21 kN.

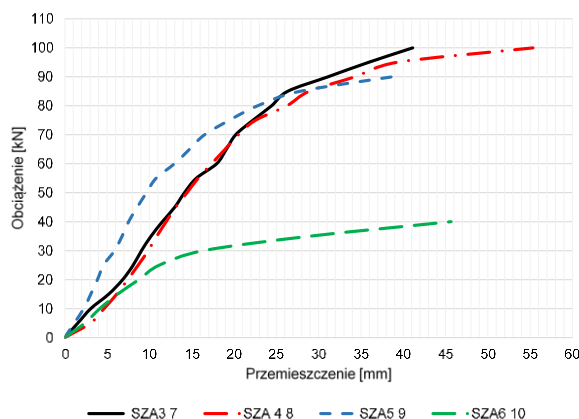
Panele od góry obciążono belką blokującą przemieszczenia pionowe. Od dołu zamocowano je do stanowiska badawczego śrubami w rozstawie co 60 cm. Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat stanowiska badawczego.

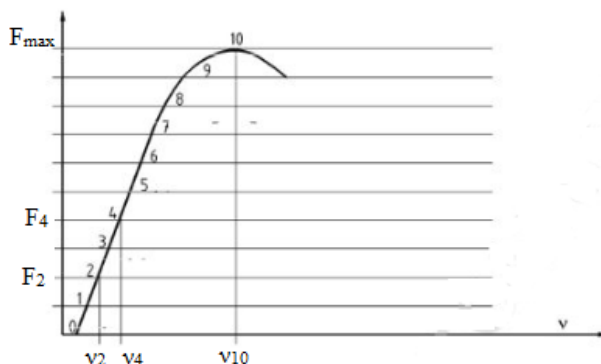
Czujniki mierzyły następujące wielkości:

- czujnik 1: przemieszczenie poziome w płaszczyźnie ściany,
- czujnik 2: przemieszczenie poziome w płaszczyźnie ściany,



Rys. 5. Wykres siła-przemieszczenie ścian typu SZA

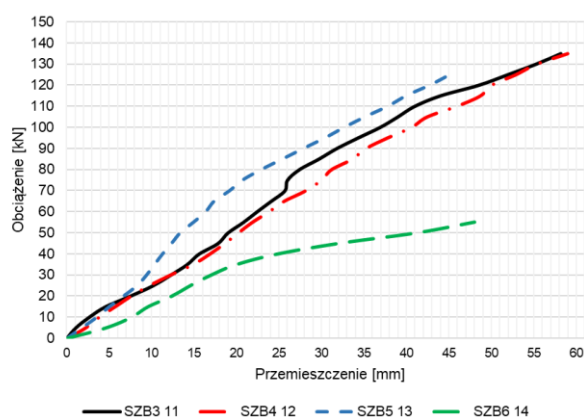
- czujnik 3: przemieszczenie pionowe w płaszczyźnie ściany uwzględniające docisk ściany do płyty podstawy,
 - czujnik 4: przemieszczenie poziome w płaszczyźnie ściany,
 - czujnik 5: odkształcenie ukośne w płaszczyźnie ściany.
- Przyrost siły podczas badania wynosił 5 kN co 30 sekund. Proces obciążania przeprowadzano do momentu zniszczenia ściany F_{max} (rys. 4).



Rys. 4. Proces obciążania ściany według normy PN-EN 594:2011

3. Wyniki badań

Na rysunkach 5, 6 i 7 przedstawiono wykresy siła-przemieszczenie dla poszczególnych grup ścian. Wzięto pod uwagę przemieszczenie w prawym górnym rogu panelu (z czujnika 2). Można zaobserwować, że ściany z otworami mają około 30-40% nośności ścian pełnych, jednakże wartości te są dość znaczące i wynoszą w przypadku każdej z grup około 40-50 kN. Widać także, że rozstaw i rodzaj łączników wpływa na odkształcenia. Natomiast nośność ścian bez otworów w obrębie poszczególnych grup jest podobna – obciążenie graniczne było podobne bez względu na rodzaj łączników.



Rys. 6. Wykres siła-przemieszczenie ścian typu SZB

zewnątrznym z płyt gipsowych konstrukcyjnych (SZA) mają mniejszą nośność niż ściany z poszyciem z płyt OSB3, co jest prawidłowe, ponieważ płyty

Można też zauważyć, że ściany z poszyciem

drewnopochodne są sztywniejsze niż płyty gipsowe.

Według normy PN-EN 594:2011, sztywność ściany na obciążenie poziome można obliczyć według wzoru:

$$R = \left[\frac{F_4 - F_2}{v_4 - v_2} \right] \quad \left[\frac{N}{mm} \right] \quad (1)$$

gdzie: F_2 jest to obciążenie poziome o wartości $0,2 F_{\max}$ w N, F_4 – obciążenie poziome o wartości $0,4 F_{\max}$ w N, a v_2 i v_4 odpowiednio przemieszczenia odpowiadające siłom F_2 i F_4 w mm.

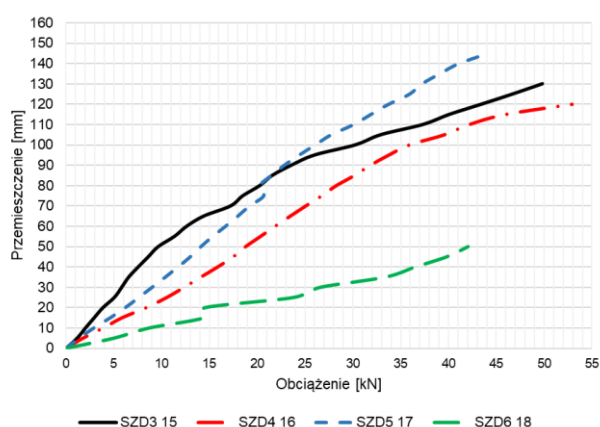
Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 2 oraz na rysunku 8.

4. Podsumowanie

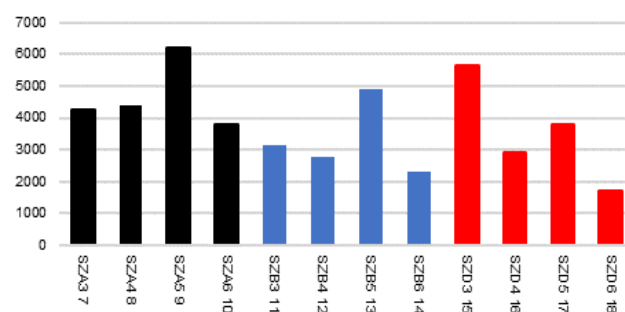
Badania pokazują, że sztywność ścian zależy od ich konfiguracji. Panele z otworami są najmniej sztywne w każdej rozpatrywanej grupie. Największą sztywnością natomiast cechuje się grupa ścian SZA. Miały one największą wysokość słupka konstrukcyjnego. Należałoby

w przyszłości zbadać ściany w połączeniu z belkami ociepowymi stropów, co z pewnością wykazałoby jeszcze większą sztywność układu.

Badania wykazały też, że ściany z otworami mają od 30 do 40% nośności ścian pełnych. W budynkach prefabrykowanych modułowych w technologii szkieletu drewnianego w kierunku podłużnym budynku zazwyczaj wszystkie ściany mają duże otwory drzwiowe i okienne. Projektując ściany w oparciu o poszycie z płyt innych niż drewnopochodne, obowiązująca norma PN-EN 1995-1-1:2010 nie pozwala na przyjmowanie ich do obliczeń nośności budynku na obciążenie wiatrem, które w lekkich budynkach szkieletowych odgrywa ważną rolę w wymiarowaniu konstrukcji. W związku z tym projektanci zmuszeni są do stosowania w takich ścianach sztywnych ram stalowych lub do zamieniania ścian działowych na ściany usztywniające – oba rozwiązania podrażają koszty budowy, jednakże z przeprowadzonych testów wynika, że z tych zabiegów można by było zrezygnować.



Rys. 7. Wykres siła-przemieszczenie ścian typu SZD



Rys. 8. Sztywność paneli ściennych

Tab. 2. Sztywność i nośność na obciążenie poziome badanych paneli

Lp.	Numer panelu	$F_{\max}$ [kN]	F_2 [kN]	F_4 [kN]	v_2 [mm]	v_4 [mm]	R [N/mm]
1	SZA3 7	100	20	40	6,85	11,54	4264
2	SZA4 8	100	20	40	7,44	11,99	4396
3	SZA5 9	90	18	36	3,87	6,78	6186
4	SZA6 10	40	8	16	4,15	6,26	3791
5	SZB3 11	135	27	54	12,24	20,8	3154
6	SZB4 12	135	27	54	12,18	21,84	2795
7	SZB5 13	125	25	50	8,26	13,35	4912
8	SZB6 14	55	11	22	7,6	12,35	2316
9	SZD3 15	130	26	52	5,04	9,64	5652
10	SZD4 16	120	24	48	10,52	18,76	2913
11	SZD5 17	145	29	58	8,99	16,67	3776
12	SZD6 18	50	10	20	8,69	14,52	1715

Literatura

- Baszeń M. (2004). Model Obliczeniowy Elementów z Otworami Konstrukcji Szkieletowych Budynków Drewnianych z Poszyciem Wraz z Weryfikacją Doświadczalną. Rozprawa doktorska, *Politechnika Białostocka*, Białystok.
- Malesza M. (1997). Redystrybucja Sił Wewnętrznych i Odkształcalność Tarcz Ściennych z Nośnym Drewnianym Szkieletem i Współpracującym Poszyciem. Rozprawa doktorska, *Politechnika Białostocka*, Białystok.
- Martin Z. A., Skaggs T. D., Keith E. L., Yeh B. (2006). Development of narrow wall bracing and effects of boundary conditions. In: *World Conference on Timber Engineering*, Portland.
- Miedziałowski C., Malesza M. (2003). Budynki o Szkielecie Drewnianym z Poszyciem. *Dział Wydawnictw i Poligrafii Politechniki Białostockiej*, Warszawa-Białystok.
- Šilih E. K., Premrov M. (2010). Analysis of timber-framed wall elements with openings. *Construction and Building Materials*, tom 24, nr 9, 1656-1663.
- Växjö Municipal Council (2013). Växjö the modern wooden city. Växjö Municipality's Wood Construction Strategy. *Växjö Municipal Council*, Växjö.

STIFFNESS AND LOAD BEARING TESTS OF TIMBER FRAME WALL PANELS IN DIFFERENT CONFIGURATIONS OF THE GEOMETRY AND STRUCTURAL COMPONENTS

Abstract: In the article results of stiffness and load bearing tests under horizontal load of timber frame walls are presented. Six different types of walls were tested. The difference between panels is their structural configuration and thickness. Structural sheathing was glued and mechanically fixed to the frame. The test were conducted according to PN-EN 594:2011. The results are presented on F - v graphs (where: F is the horizontal force and v is the horizontal displacement of the upper edge). Furthermore, ultimate forces $F_{\max}$ are presented and stiffness of every wall was calculated according to aforementioned code.

AN INNOVATIVE APPROACH TO SAFETY FORMAT OF NON-LINEAR ANALYSIS APPLIED TO STRUCTURAL ROBUSTNESS ASSESSMENT

Andrei V. TUR^a, Viktor V. TUR^{b*}, Aliaksandr A. LIZAHUB^a

^a Faculty of Civil Engineering, Brest State Technical University, Maskoŭskaja 267, 224017 Brest, Belarus

^b Faculty of Civil and Environmental Engineering, Wiejska 45A, 15-351 Białystok, Poland

Abstract: Currently the CEN/TC250 is completing the development of a new (second) generation of Structural Eurocodes. The checking of robustness remains one of the important stages in the design of structural systems. Recommended design strategies for robustness checking are based on provisions given in actual EN 1991-1-7. A Non-linear pseudo-static analysis is widely used by following reasons: a non-linear structural analysis based on more realistic constitutive relations for basic variables makes possible a simulation of the real structural behaviour. Implementation of the non-linear pseudo-static analysis for assessment of the structural system in accidental design situation requires an alternate approach to safety format. The paper presents an innovative approach to safety format calibration for non-linear analysis of RC-structures subjected to accidental loads.

Słowa kluczowe: robustness, progressive collapse, reliability, safety format.

doi: 10.24427/bis-2018-vol9-no3-0005

1. Introduction

In accordance with the modern strategy adopted in the Mandate M/515EN each Structural Eurocode should contain special requirement related to assessment of Structural robustness.

As was shown in (Ellingwood and Dusenberry, 2004), prevention and mitigation of progressive collapse of the damaged structural system immediately after sudden column loss can be achieved using following methods: (1) TF-method (indirect tying-force provisions); (2) AP-method (direct Alternate Load Path method); (3) risk-based method; (4) key-element design method. The indirect (TF-method) consists of improving the structural integrity of building by providing redundancy of Load Path and ductile detailing. Currently, the EN 1991-1-7 allows the use of indirect method and some guidance is contained in the EN 1992-1-1. In this case criteria are devised to check the local resistance to withstand a specific postulated accidental load.

The AP-method consists in considering internal forces redistribution throughout the structural system following the sudden loss of a vertical support element based on non-linear analysis.

In general case, the proposed robustness assessment procedure consists of the following main steps: (1) determination of the non-linear static response of system considered; (2) dynamic assessment, using a simplified approach (Izzuddin et al., 2008; Vlassis et al., 2008) based on energy balance and obtaining pseudo-static response;

(3) determination of the ultimate (pseudo-static) gravity load (response) for checking of the robustness of the structural system based on ultimate value of the static displacement u_{ult} (or ψ_{ult} for punching assessment of sudden column removal based on the (Olmati et al., 2017)); (4) ductility assessment of connections by means based on compatibility conditions between system and subsystem, and (5) safety format assessment for non-linear analysis of the damaged structural system. It should be pointed, that the first five steps and their modifications are considered widely in numerous international publications, but limited number of works are devoted for safety format assessment at accidental design situation.

This paper briefly presents the main steps of assessing the robustness of a structural system based on classical energy-conservation approach, while focusing on ensuring the target safety format when non-linear analysis using for obtaining pseudo-static response in accidental design situation.

2. Pseudo-static response of the damaged structural system

In accordance with approach, proposed by (Izzuddin et al., 2008; Vlassis et al., 2008), sudden column loss is considered similar in effect to sudden application of the gravity load on the damaged (modified) structure with removed column. This damaged system can be modelling as a single degree of freedom (SDOF) system consisting

* Corresponding author, e-mail: profturvic@gmail.com

of the vertical deflections at the point of the removed column.

Assuming that the maximum dynamic deflection u_{dyn} at the point of the joint removed column is equal to ultimate static displacement u_{st} obtained from the non-linear static response, pseudo-static gravity load $F_{ps,u}$ can be calculated (see Fig. 1). Based on the proposed approaches (Izzuddin et al., 2008; Vlassis et al., 2008; Tur and Tur, 2018), the following assumption is formulated in present paper. In present work the following assumption was adopted.

A modified (damaged) structural system with SDOF has the required robustness level in accidental design situation, if the total gravity load applied immediately after sudden column loss does not exceed ultimate pseudo-static reaction (response) $F_{ps,u}$, obtained from the balance of the external work over dynamic displacement and internal energy absorbed by the system (substructure) over the maximum (ultimate) static deflection u_{ult} . Checking the Limit State of robustness is performing from the following inequality:

$$F_{st} \leq F_{ps,u} \quad (1)$$

where F_{st} is design value of the generalized gravity load, applied to structure immediately after sudden column loss.

$$F_{ps,u} = \frac{1}{u_u} \int_0^{u_u} P(u) \cdot du \quad (2)$$

where u_u is ultimate value of the static deflection (displacement) obtained based on non-linear static response.

In case of the flat slab robustness assessment, the following combined procedure can be recommended. In accordance with proposed (recommended) approach, the maximum dynamic displacement $u_{dyn,max}$, which is used for calculation of the pseudo-static ultimate gravity load $P_{ps,ult}$ in case of the bending failure mode is obtained from the corresponding pseudo-static rotation $\psi_{ps,u}$, calculated based on CSCT-model for punching shear (Micallef et al., 2014) (see Fig. 1a).

It should be noted, that this approach proposed the system pseudo-static capacity as a single measure of structural robustness and so, the some criticism can be made for the energy-conservation approach. Nevertheless, the results of the detailed analysis given in (Olmali et al.,

2017) shows that the implicit error due to all this simplifications is relatively small (no more than 5 to 8%) and slightly effects on the final result of robustness assessment.

3. Safety format for non-linear analysis / pseudo-static response

3.1. Reliability index

As was shown in (Ellingwood and Dusenberry, 2004), the first-generation probability-based Limit Design Criteria (*Limit State Design*) (such as, for example, EUROCODES) all are based, to varying degrees, on reliability of individual structural members and components.

However, to implement reliability-based design criteria against progressive collapse (for robustness limit state checking) in practice sense, the limit state probability (or reliability index) must be evaluate for structural system (!). In contrast to member reliability, this evaluation "is difficult (complicate) even at the present state of art and with computational resources available" (Ellingwood and Dusenberry, 2004).

As shown by (Ellingwood and Dusenberry, 2004), the probability of structural system failure is an order of magnitude less depending on the redundancy in the system and the degree continuity between members. The recommended value of the acceptable probability of failure β_{tag} depends on the design situation and it not specified usually in design codes.

These threshold values proposed by (Ellingwood and Dusenberry, 2004) assuming that the accepted unconditional probability of failure for extreme (accidental) loads is the same as the one accepted for the failure of structural elements subjected to appropriate load combinations. For example, if the mean rates of occurrence of the accidental event is equal $\lambda_i = 10^{-6} \dots 10^{-5}$ (according to (Ellingwood and Dusenberry, 2004)), than conditional failure probability for the structural system should be on order of $10^{-2} \dots 10^{-1}$, and the target value of reliability index β_{tag} should be the order of 1.5 (for state function $g(x)$ in case of the Normal distribution function for resistance).

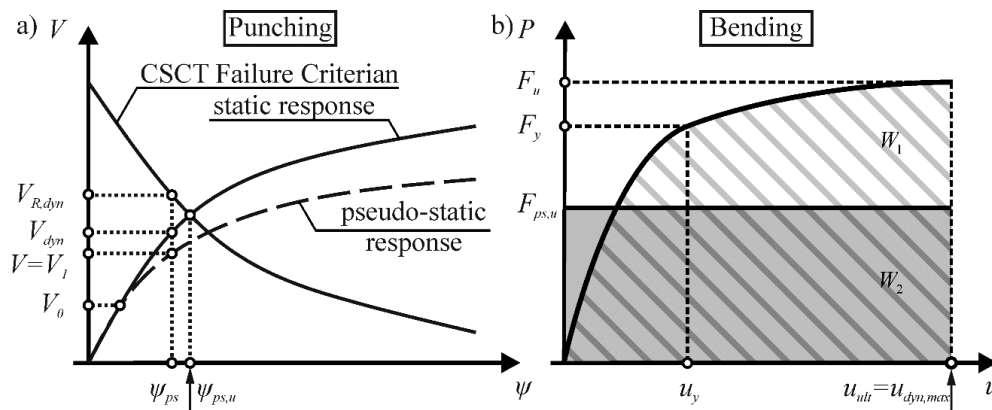


Fig. 1. The principle of assessing the robustness of a structural system with flat slabs based on a combined approach.

3.2. Assessment of resistance non-linear FEM-model uncertainties

Nonlinear analysis (static and dynamic) is most widely used as a main computational tool for checking of robustness of the structural systems in accidental design situations (Accidental Limit States Checking).

It should be noted that the different FEM-programs (software), which applied for nonlinear structural analysis, will have own different level of FEM-model uncertainties in addition to local cross-section resistance model, material and geometry uncertainties. Clearly, the approach is meaningful if structural model covers all relevant failure mechanisms. In our research (Tur and Tur, 2017) the coefficient of variations V_{Rd} of the computer model uncertainties was assessed based on theoretical background described in EN 1990. From these features, it is suggested to be derived from the comparison of the experimental tests data and numerical results, but though probabilistic consideration. The set of the test results obtained in experimental investigations of the different types of statically indeterminate structures demonstrates different failure mechanism was collected from some references and used for assessment of the coefficient variations V_{Rd} (see Fig. 2) and model uncertainty factor γ_{Rd} . The real properties of the material and specimens geometry characteristics obtained by testing used as an input data for nonlinear analysis. Based on results, obtained by numerical investigation was declared, that further research is need to recommended appropriate values of the model uncertainty for numerical simulation.

It should be noted, that for different FEM-programs (software) values of γ_{Rd} will be different. These values for FEM-program should be estimated based on full probabilistic approach, taking into account statistical parameters of the FEM-model uncertainties and consists of in Program Manual.

Using a full probabilistic method of finding a quasi-static (dynamic) response (resistance), N parallel simulations of strength characteristics of concrete and reinforcement steel are produced, for which the mean value and standard deviation are determined. The uncertainty of FEM-model obtained in (Tur and Tur, 2017) was considered as an additional basic variable (N - distribution with mean value 1.0 and $V_{Rd} = 15.7\%$ for beams and $V_{Rd} = 6.6\%$ for slabs). Then randomly, pairs of values of strengths "concrete-steel" are selected in each simulation and are used to describe the "strain-stress" relationship for materials. For the accepted characteristics of the cross sections, the "moment-curvature" relationships parameters was calculated and used for the creating of plastic hinges. Next, N nonlinear analyses are performed and, according to the methodology proposed in Section 2, values of the quasi-static resistance for each i -th analysis was calculated. As it was shown in (Tur and Tur, 2018) the full probabilistic analysis is general tool for safety assessment of RC-structures, and thus it can be applied in case of non-linear analysis.

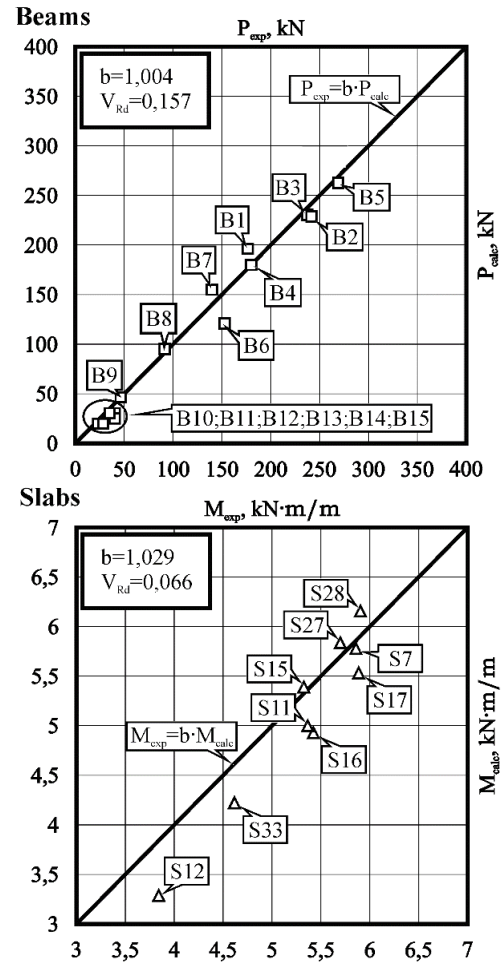


Fig. 2. For estimation of the coefficient V_{Rd} for FEM-model, according to (Tur and Tur, 2017).

3.3. Probabilistic analysis with usage non-parametric (order) statistics

In general case, probabilistic analysis based on numerical simulations including following steps: (1) numerical model formulation based on non-linear finite elements and this model describes the resistance function $r(\mathbf{r})$ and can be perform deterministic analysis of resistance for given set of input variables; (2) randomization of input variables (random properties are defined by random distribution type and its statistical parameters); (3) probabilistic analysis of resistance (this can be performed, for example, by numerical method of Monte-Carlo-type of sampling, such as LHS sampling). Results of this analysis provide set of random parameters of resistance (and actions); (4) Evaluation of safety using reliability index β or probability of failure. A disadvantage of this approach is in the fact that the target value of design resistance is located in the tail of probability distribution function (PDF), which is determined by the best fit from the sampling. The design value is obtained by extrapolation and strongly depends on the choice of PDF of resistance.

In accordance with proposed approach (Tur and Derechennik, 2018) the global resistance factor γ_{glob} should be determined by the following equations:

$$\gamma_{global} = \frac{R_{m(0.5)}}{R_{d(0.01)}} \quad (3)$$

where $R_{d(0.01)}$ is design resistance (0.01 – percentile of the probabilistic distribution function (*pdf*) of resistance); $R_{m(0.5)}$ is mean (median) value of resistance (as 0.5 – percentile). Based on the Order Statistic (nonparametric) Theory a original procedure for estimation of the desired p -th percentile of assuming arbitrary given confidence level (γ) was developed and presented in detail in (Tur and Derechennik, 2018). The main advantage of the order nonparametric statistics consists in its independence from the type of probability density function (PDF) as well as from the main statistical parameters of the continuous population.

According to proposed approach (Tur and Derechennik, 2018), the estimator of resistance $\hat{R}_{p,\gamma}$ (in case of accidental design situation in term of ultimate pseudo-static response $F_{ps,u}$) of p -th quantile (percentile) with required (desired) confidence level γ can be represented as a normalized linear combination of the first three order statistics:

$$\hat{R}_{p,\gamma} = R_{lowest} - \lambda_{(1),\gamma} \Delta_{2-1} - \lambda_{(2),\gamma} \Delta_{3-2} \quad (4)$$

where $R_{lowest} = R_{(1)}$ is the lowest value of resistance in the ordered sample (set of numerical results); $\Delta_{2-1} = R_{(2)} - R_{(1)}$ and $\Delta_{3-2} = R_{(3)} - R_{(2)}$ are nonnegative differences; $R_{(1)}$, $R_{(2)}$, $R_{(3)}$ – first, second and third order statistics, respectively; $\lambda_1 = \lambda(\gamma, n)$; $\lambda_2 = \lambda(\gamma, n)$ – a dimensionless coefficient, which depends sample size n and specified confidence level γ .

Calibration of the coefficients λ_1 , λ_2 for wide range of confidence level γ was performed using the set of n -size random sample obtained by numerical Monte-Carlo simulations, as shown in detail in (Tur and Derechennik, 2018).

Values of dimensionless coefficients λ_1 , λ_2 (rounded

to the hundreds place) for assessment of the 0.01 percentile with different confidence level γ are listed in Table 1.

Substituting Eq. (4) to Eq. (3) gives:

$$\gamma_{global}(\gamma) = \frac{1 - \lambda_{1(0.5;\gamma)} \delta_1 - \lambda_{2(0.5;\gamma)} \delta_2}{1 - \lambda_{1(0.01;\gamma)} \delta_1 - \lambda_{2(0.01;\gamma)} \delta_2} \quad (5)$$

$$\text{with } \delta_1 = \frac{\Delta_{2-1}}{R_{lowest}}; \delta_2 = \frac{\Delta_{3-2}}{R_{lowest}}.$$

Using the proposed approach to the assessment of robustness of damaged structural system, a nonlinear analysis of two-span frame (2×6 m) was performed in which beams has a cross-section 300×500 mm and reinforcement ratio $\rho_l = 0.33\%$ ($\rho_l' = 0.66\%$). The following input data was adopted: concrete compressive strength class C20/25, reinforcement steel B500, constitutive relationship “ σ - ϵ ” for materials was adopted in accordance with EN 1992-1-1.

3.4. Assessment of the global safety factor

As shown by preliminary analysis of obtained results, the calibrations procedure according to Approach 2 gives sufficiently larger values of the global safety factor γ_{glob} than according to Approach 1, especially with an increase in the confidence level of estimation. This is obviously due to the fact that the statistical parameters of a model uncertainty (μ_{Rd} , σ_{Rd}) in “varying degrees” affect the final value of the global safety factor when it is estimated based on Approach 1 or Approach 2.

When Approach 2 is applied, the model uncertainty can to become the dominant basic variable k_R , whereas according to Approach 1, calculation $\exp(\alpha_R \beta V_{Rd})$ when the coefficient of variation V_{Rd} changes from 6.6% to 16.7% leads to a change in the value of factor γ_{Rd} from 1.03 to 1.08 (only!). It was found that the global safety factor γ_{glob} values according to EN 1992-2, *fib* MC 2010 and ECOV-method are very close to value γ_{glob} , obtained by Approach 1 for difference confidence level (γ_{glob} from 1.22 to 1.29, see Table 2), but differ from γ_{glob} – values obtained by Approach 2.

Tab. 1. Values of the coefficient λ_1 , λ_2 for different confidence level γ for p -th quantile (percentile) estimation ($N = 35$).

γ	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.9
$p = 0.01$										
$\lambda_{1(\gamma)}$	-0.46	-0.28	-0.11	0.09	0.32	0.63	1.05	1.35	1.75	4.32
$\lambda_{2(\gamma)}$	-0.14	+0.03	0.19	0.37	0.58	0.86	1.26	1.53	1.9	4.29

Tab. 2. Influence of the confidence level γ on the global safety factor γ_{glob} .

Approach	Confidence level, γ						Notes
	0.5	0.6	0.7	0.75	0.9	unknown	
Approach 1	1.22	1.23	1.26	1.31	1.49	-	$\gamma_{glob} = \gamma_{Rd} \gamma_R$
Approach 2	1.41	1.46	1.49	1.73	3.00	-	from simulation with k_R as basic variable
ECOV (Cervenka 2013)	-	-	-	-	-	1.225	$\exp(\alpha_R \beta V)$
EN 1992-2 <i>fib</i> MC 2010	-	-	-	-	-	1.26	constant value with $f_{cm} = 0.85 f_{ck}$

The use of values of the global safety factors in accordance with Approach 1 to mean values of resistance $\hat{R}_m$ obtained from non-linear analysis can to increase risk of overestimation the design value of resistance $\hat{R}_d$. The application of the calibration procedure, based on proposed approach of interval estimation of quantile by the method of order (non-parametrical) statistics, creates the basis for more objective assessment of γ_{glob} – value, since it allows one to perform p -th quantile estimation with a desired confidence level γ without resorting to the selection of the resistance distribution function type.

4. Conclusions

The simplified pseudo-static column removal scenario with appropriate gravity load combination may be used for checking of the structural systems robustness and progressive collapse prevention in accidental design situation. When performing a nonlinear analysis (NLFEA) of a modified structural system, one of the main problems remains to ensure the required safety format. It should be noted, that for different FEM-software values of factor γ_{Rd} will be different and should be included in Software Manual. An innovative calibration procedure of the global safety factor γ_{glob} is proposed based on Order (non-parametric) Statistics estimation method. The main advantage of the proposed approach is that the result of the percentile estimation does not depend on the choice of the probability distribution function (PDF). There are significant difference (up to 230% depending on the confidence level) in the γ_{glob} – value for the approach when the model uncertainty k_R is considered as a basic variable in the non-linear resistance model and for the approach when the value of the global safety coefficient is defined as the product $\gamma_{Rd} \gamma_R$.

Literature

- Cervenka V. (2013). Reliability-based non-linear analysis according to fib Model Code 2010. *Structural Concrete*, Vol. 14, Issue 1, <https://doi.org/10.1002/suco.201200022>.
- Ellingwood B.R., Dusenberry D.O. (2004). Building Design for Abnormal Loads and Progressive Collapse. *Computer – Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol. 20, Issue 3, 194-205.
- Fédération Internationale du Béton. (2013). fib Model Code for Concrete Structures 2010. Vol. 1, *Ernst & Sohn*, Berlin.
- Izzuddin B.A., Vlassis A.G., Elghazouli A.Y., Nethercot D.A. (2008). Progressive collapse of multi-storey buildings due to sudden column loss – Part 1: Simplified assessment framework. *Engineering Structures*, Vol. 30. No. 5, 1308-1318.
- Micallef K., Sagaseta J., Fernández Ruiz M., Muttoni A. (2014). Assessing punching shear failure in reinforced concrete flat slabs subjected to localised impact loading. *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 71, 17-33.
- Olmati P., Sagaseta J., D. Cormie, Jones A.E.K. (2017). Simplified reliability analysis of punching in reinforced concrete flat slab buildings under accidental actions. *Engineering Structures*, Vol. 130, 83-98.
- Tur V. V., Derechennik S. S. (2018). An Innovation Conformity Criterion for Assessment of the Concrete Strength Under Uncertainty Conditions. In: *High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet*, D.A. Hordijk and M. Lukovic (Eds.), *Proceeding of the 2017 fib Symposium*, held in Maastricht, *Springer International Publishing AG*, 1628-1635.
- Tur A., Tur V. (2018). Reliability Approaches to Modeling of the Nonlinear Pseudo-static Response of RC-structural Systems in Accidental Design Situations. *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering*, Vol. 22, Issue 1, 76-87.
- Vlassis A.G., Izzuddin B.A., Elghazouli A.Y., Nethercot D.A. (2008). Progressive collapse of multi-storey buildings due to sudden column loss – Part II: Application. *Engineering Structures*, Vol. 30, Issue 5, 1424-1438.

BIOLOGICZNA OCENA DZIAŁANIA OCZYSZCZALNI HYDROFITOWEJ

Marta WYSOCKA*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok

Streszczenie: W artykule został poruszony problem biologicznej oceny działania oczyszczalni hydrofitowej. Obiekt badawczy stanowiła oczyszczalnia hydrofitowa położona w miejscowości Zwierki w gminie Zabłudów. W celu dokonania biologicznej oceny działania oczyszczalni wykonano badania wybranych wskaźników mikrobiologicznych. Wykonano posiewy próbek ścieków surowych, ścieków oczyszczonych oraz wód pobranych ze stawu odbierającego ścieki oczyszczone. W wyniku badań stwierdzono, iż złoża hydrofitowe w redukuje ilość drobnoustrojów obecnych w ściekach surowych. Natomiast w stawie odbierającym ścieki dochodzi do wtórnego zanieczyszczenia biologicznego.

Słowa kluczowe: oczyszczalnia hydrofitowa, ocena biologiczna, mikroorganizmy.

doi: 10.24427/bis-2018-vol9-no3-0006

1. Wprowadzenie

Celem badań opisanych w poniższym artykule była biologiczna ocena działania oczyszczalni hydrofitowej. Ocena została wykonana poprzez wyznaczenie poszczególnych wskaźników mikrobiologicznych.

W ostatnich latach na terenie Polski obserwujemy stały rozwój infrastruktury mającej na celu ochronę środowiska, na terenach aglomeracji miejskich i w zakładach przemysłowych powstają oczyszczalnie ścieków, natomiast obiekty przestarzałe są poddawane modernizacji.

Stale wzrasta ilość przydomowych oczyszczalni oraz zbiorników bezodpływowych służących do magazynowania nieczystości. Działania te w znacznym stopniu wpływają na poprawę jakości wód powierzchniowych oraz przybrzeżnych, zapobiegają również akumulacji zanieczyszczeń w osadach dennych.

Pomimo ciągłego rozwoju infrastruktury służącej oczyszczaniu ścieków, na dużej części terenów niezurbanizowanych gospodarka ściekowa stanowi poważny problem. Szeroki rozwój sieci wodociągowych w znacznym stopniu ułatwił życie mieszkańcom wsi, znacząco wzrosło też zużycie wody do celów gospodarczych, higienicznych oraz hodowlanych. Większość polskich wsi i małych miasteczek charakteryzuje się rozproszoną zabudową. W takim przypadku budowa systemu kanalizacyjnego, który będzie odprowadzał ścieki oraz oczyszczalni wiąże z dużym kosztem inwestycyjnym i eksploatacyjnym, generowanym poprzez czynniki związane z dużą odległością oraz rzeźbą terenu (Obarska-Pempkowiak i in., 2012a, b, c).

Alternatywą dla budowy kanalizacji zbiorczej na słabo

zaludnionych terenach jest wykorzystanie przydomowych oczyszczalni ścieków. Oczyszczalnie te są oparte na biologicznych metodach unieszkodliwiania zanieczyszczeń. Systemy te zazwyczaj składają się z osadnika gnilnego oraz urządzeń, w których zachodzą wcześniej wspomniane procesy biologicznego oczyszczania ścieków. W przypadku tego typu oczyszczalni odbiornikiem oczyszczonych ścieków najczęściej jest grunt lub zbiorniki wód stojących oraz małe ciekły wodne. Spośród obecnie dostępnych rozwiązań coraz większą popularnością cieszą się przydomowe hydrofitowe oczyszczalnie ścieków. Proces oczyszczania zachodzi w nich przy udziale roślin wodnych i wodolubnych oraz różnorodnych mikroorganizmów. Do najczęściej wykorzystywanych na złożach hydrofitowych roślin należą: trzcina pospolita, pałka wodna, manna mielec, wierzbą pospolita, topinambur. (Obarska-Pempkowiak i in., 2012a, b, c).

Oczyszczalnie hydrofitowe są w stanie efektywnie usuwać ze ścieków substancje organiczne, zawiesinę ogólną, a także związki biogenne i substancje o właściwościach refrakcyjnych (Obarska-Pempkowiak i in., 2010a, b). W przypadku oczyszczalni komunalnych i przydomowych problem mogą stanowić organizmy patogenne obecne w zarówno w ściekach jak i osadach ściekowych. Ścieki są siedliskiem licznych wirusów, bakterii, grzybów oraz pasożytniczych pierwotniaków i robaków. Większość obecnych tam mikroorganizmów należy do saprofitów, które rozkładają martwą materię organiczną. Oprócz mikroorganizmów nie chorobotwórczych w ściekach występują mikroorganizmy patogenne odpowiedzialne za wiele chorób, warunkowo patogenne oraz jaja robaków pasożytniczych, zarodniki

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: wysockamarta303@gmail.com

grzybów i formy przetrwalnikowe bakterii. Ich obecność jest niebezpieczna, ponieważ stanowią one zagrożenie epidemiologiczne, które jest najwyższe w pobliżu oczyszczalni oraz wszystkich miejsc mających kontakt ze ściekami. Dodatkowo mikroorganizmy obecne w ściekach są w stanie działać toksycznie i immunotoksycznie na organizmy żywe oraz środowisko. Mogą wywoływać alergię u ludzi i zwierząt (Kocwa-Haluch, 2001; Dymaczewski, 2011).

Standardowe metody oczyszczania ścieków oraz przeróbki osadów ściekowych nie pozwalają na całkowite usunięcie patogenów. Patogeny są bardzo różnorodne, niektóre pojawiają się w ściekach okresowo, mogą się uodparniać na toksyny zawarte w ściekach oraz czynniki fizyczne takie jak np. wysoka temperatura. Polskie przepisy prawne nie nakładają obowiązku badania organizmów wskaźnikowych w ściekach oczyszczonych (Butarewicz, 2016).

2. Obiekt badawczy i jego charakterystyka

Obiektem badawczym, w którym pobrano próbki do badań była oczyszczalnia hydrofitowa w miejscowości Zwierki w gminie Zabłudów. Oczyszczalnia ta powstała w 2010 roku i jej zadaniem jest oczyszczanie ścieków komunalnych pochodzących z kompleksu klasztornego. Oczyszczalnia ta posiada złożo gruntowo-roślinne

o pionowym przepływie ścieków. Złożo jest obsadzone trzciną pospolitą.

Ścieki surowe są tam magazynowane w osadniku wstępnym, gdzie podlegają wstępnemu mechanicznemu oczyszczeniu. Ciężkie cząsteczki opadają na dno zbiornika, gdzie zachodzi proces fermentacji. Ścieki z osadnika są zlewane do przepompowni, z której trafiają przez system rur i pomp na złożo hydrofitowe.

Na złożu hydrofitowym surowe ścieki są rozprowadzane za pomocą rur perforowanych. Przepływają przez warstwy złoża od góry w sposób pionowy. Na złożu zachodzą kluczowe procesy odpowiedzialne za usuwanie zanieczyszczeń ze ścieków. Wokół korzeni trzciny tworzą się specyficzne strefy tlenowe i beztlenowe, które są otoczone przez strefy redukcyjne. Zróżnicowane warunki sprzyjają rozwojowi mikroorganizmów, których zadaniem jest oczyszczanie ścieków.

Na dnie złoża ścieki są zbierane przez systemy rur drenażowych i po oczyszczeniu trafiają do stawu którego zadaniem jest odbieranie, doczyszczanie oraz rozprowadzanie ścieków oczyszczonych do gruntu. w celu usprawnienia procesu doczyszczania, zbiornik jest sztucznie napowietrzany. Roślinność użyta do obsadzenia stawu ma nie tylko wspomagać proces oczyszczania, jej zadaniem jest też podniesienie walorów estetycznych stawu oraz nadanie mu naturalnego charakteru.



Rys. 1. Widok na złożo hydrofitowe w sezonie wegetacyjnym



Rys. 2. Widok na staw odbierający ścieki

3. Materiały i metody wykorzystane w badaniach

3.1. Materiał badawczy

W celu wykonania biologicznej oceny działania oczyszczalni hydrofitowej w Zwierkach pobrany został materiał badawczy. Z przepompowni pobrano próbki surowych ścieków, które później były kierowane na złożo hydrofitowe. Natomiast próbki ścieków oczyszczonych pobrano z rury drenażowej odprowadzającej oczyszczone ścieki do stawu. Kolejne próbki pobrano ze stawu odbierającego ścieki oczyszczone. Próby badawcze pobierano w okresie od lipca do listopada 2017 roku. Wykonano 5 serii badań dla ścieków surowych, oczyszczonych i wód ze stawu odbierającego ścieki oczyszczone. Badania zostały przeprowadzone w laboratorium Katedry Chemii, Biologii i Biotechnologii Politechniki Białostockiej.

3.2. Analiza i przygotowanie próbek

W celu wykonania oznaczeń mikrobiologicznych przygotowano rozcieńczenia badanych próbek. Ścieki surowe rozcieńczono w zakresie od 10^{-1} do 10^{-6} . W przypadku ścieków oczyszczonych oraz wód ze stawu próbki rozcieńczono w zakresie od 10^1 do 10^{-2} . Probki były rozcieńczane za pomocą jałowego płynu fizjologicznego. Do 9 cm³ płynu fizjologicznego dodano 1 cm³ próbki (ścieki surowe, ścieki oczyszczone, woda ze stawu). Następnie próbka została dokładnie

wymieszana w całej objętości płynu fizjologicznego. Tak powstało rozcieńczenie 10^{-1} . W celu otrzymania rozcieńczenia 10^{-2} pobrano 1 cm³ otrzymanego wcześniej rozcieńczenia 10^{-1} i dodano do 9 cm³ płynu fizjologicznego. Probki z odpowiednim rozcieńczeniem wymieszano. Analogiczne czynności powtórzono, aż do uzyskania rozcieńczenia 10^{-6} w przypadku ścieków surowych, a w przypadku ścieków oczyszczonych i wody ze stawu czynności te wykonano do pozyskania rozcieńczenia 10^{-2} .

3.3. Oznaczenia mikrobiologiczne

W celu określenia stopnia zanieczyszczenia mikrobiologicznego próbek pobranych w oczyszczalni hydrofitowej w Zwierkach wykonano oznaczenia mikrobiologiczne. Do badań mikrobiologicznych wykorzystano następujące podłoża: podłoże Eijkmana, podłoże z agarem wzbogaconym, podłoże Sabourauda oraz podłoże Slanetz-Bartley. Podłoże Eijkmana zostało zastosowane do oznaczenia wskaźnika coli typu ogólnego oraz fekalnego. Podłoże z agarem wzbogaconym posłużyło do wykonania oznaczenia ogólnej liczby bakterii mezofilnych oraz psychrofilnych w badanych próbkach. Do oznaczenia ogólnej liczby grzybów posłużyło złożo Sabourauda. Podłoże Slanetz-Bartley było wykonane w celu obliczenia wskaźnika enterokoków w pobranym materiale badawczym. Wszystkie podłoża zostały wykonane według zaleceń producenta firmy Biocorp Polska spółka z o.o. w Warszawie.

3.4. Wykonanie posiewów mikrobiologicznych

Oznaczenie wskaźnika coli typu fekalnego oraz ogólnego, przeprowadzono przy użyciu podłoża Eijkmana. Ścieki surowe rozcieńczono w zakresie od 10^{-1} do 10^{-6} , a ścieki oczyszczone i wody ze stawu w zakresie od 10^{-1} do 10^{-2} . Za pomocą jałowych pipet pobrano po 1 cm^3 wybranego rozcieńczenia i dokonano posiewu w systemie dwu probówkowym. Próbkę po wykonanym posiewie odstawiono do ciepłarki na czas 48h. W celu otrzymania wskaźnika coli typu fekalnego próbki umieszczono w 44°C . W przypadku wskaźnika coli typu ogólnego próbki inkubowano w temperaturze 37°C . Po inkubacji otrzymano wyniki. Dodatkowo próby zmieniły zabarwienie z koloru fioletowego na żółty, okazywały zmętnienie oraz obecność gazów.

Ogólna liczba bakterii mezofilnych oraz psychrofilnych została zbadana przy użyciu następujących rozcieńczeń: ścieki surowe od 10^{-2} do 10^{-4} , ścieki oczyszczone i wody ze stawu od 10^0 do 10^{-2} . Oznaczenie wykonano na podłożu agarowym, gdzie na płytce posiewano $0,1\text{ cm}^3$ danego rozcieńczenia próbki. Inkubację mezofili przeprowadzono w czasie 48 h w temperaturze 37°C , a bakterii psychrofilnych w czasie 72 h w temperaturze 26°C . Po zakończonej inkubacji przeliczono jednostki tworzące kolonie. W analizie wyników wzięto pod uwagę tylko te płytki, które zawierały od 30 do 300 koloni. Na podstawie określonej liczby jtk wyznaczono ich ilość w 1 cm^3 według następującego wzoru:

$$N = A \cdot 10^{n+1} \quad (1)$$

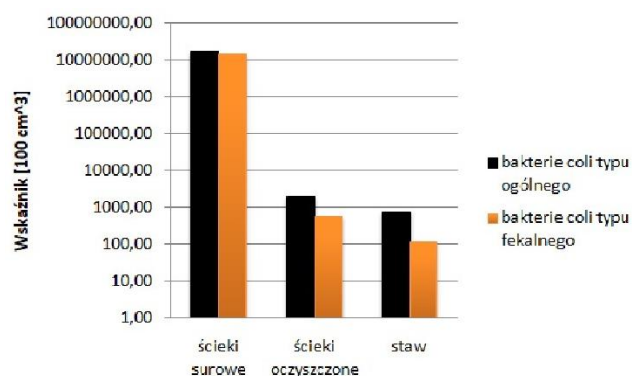
gdzie: N jest liczbą jtk w 1 cm^3 , A jest liczbą jtk obecnych po inkubacji na płytce, natomiast n jest wielokrotnością rozcieńczenia.

W celu oznaczenia ogólnej liczby grzybów w próbkach ścieków surowych, oczyszczonych oraz w wodach stawu odbierającego zastosowano rozcieńczenia od 10^0 do 10^{-2} . Oznaczenia zostały wykonane na podłożu Sabourauda. Na płytkach posiewano po $0,1\text{ cm}^3$ próbki. Inkubacji grzybów dokonano w czasie 72 h w temperaturze 26°C . Po zakończonej inkubacji policzono jtk, przy czym w analizach uwzględniono tylko te płytki, gdzie liczba koloni mieściła się pomiędzy 30 a 300. Obliczenia jtk grzybów dokonano według wzoru (1).

Do oznaczeń wskaźnika enterokoków posłużyło rozcieńczenie ścieków surowych rzędu 10^{-1} i 10^{-2} . Ścieki surowe oraz wody ze stawu zostały zbadane w rozcieńczeniu 10^0 . Na płytkach z podłożem Slanetz-Bartley za pomocą wyjałowionych pipet naniesiono filtry bakteriologiczne, przez które wcześniej przepuszczono 1 cm^3 danego rozcieńczenia. Płytki z filtrami przeniesiono do ciepłarki do temperatury 37°C na czas 48 h. Po inkubacji przeliczono kolonie wyrosłe na filtrach. Końcowy wynik został potraktowany jako wskaźnik.

4. Analiza i dyskusja otrzymanych wyników

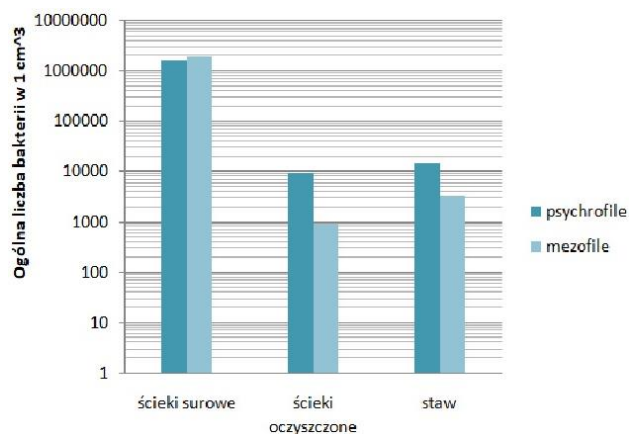
Określono wskaźnik bakterii coli zarówno typu ogólnego jak i fekalnego w ściekach surowych, oczyszczonych oraz w wodach stawu odbierającego ścieki oczyszczone. Na rysunku 3 przedstawione zostały uśrednione wartości wskaźnika coli typu ogólnego oraz fekalnego w pobranych próbkach. W ściekach surowych wartości wskaźnika są najwyższe. Porównując ścieki surowe do ścieków oczyszczonych zauważono, że wskaźnik coli typu fekalnego spadł o 99,99%. Natomiast w przypadku wskaźnika coli typu ogólnego został on zredukowany w ściekach oczyszczonych o 99,98% w porównaniu do ścieków surowych. Redukcja wskaźnika coli typu ogólnego i fekalnego nastąpiła nie tylko na złożu hydrofitowym. Ogólne wartości wskaźnika dla coli typu fekalnego i ogólnego były niższe w stawie odbierającym ścieki oczyszczone niż w samych ściekach oczyszczonych. Fakt ten świadczy o tym, że staw pełni w przypadku tego wskaźnika funkcję doczyszczającą.



Rys. 3. Uśrednione wskaźniki coli typu ogólnego i fekalnego w ściekach surowych

Badania dotyczące wskaźnika coli typu fekalnego w ściekach zostały przeprowadzone przez Butarewicza (2016) w oczyszczalni ścieków komunalnych w Białymstoku. Wskaźnik ten był w latach 2012 i 2015 zredukowany w ściekach surowych o odpowiednio 97,7% i 93,3%. Na tej podstawie można stwierdzić, że złożo hydrofitowe jest w stanie zredukować wskaźnik coli typu fekalnego w ściekach surowych na podobnym poziomie co konwencjonalna, duża oczyszczalnia ścieków.

Następnie przystąpiono do analizy wyników ogólnej liczby bakterii mezofilnych oraz psychrofilnych. Wyniki otrzymane w pięciu seriach badań zostały uśrednione i przedstawione na rysunku 4. Na podstawie badań stwierdzono, że w procesie oczyszczania ścieków na złożu hydrofitowym średnia, ogólna liczba bakterii psychrofilnych zmniejsza się o 99,41% w odniesieniu do ścieków surowych. Średnia, ogólna liczba bakterii mezofilnych w ściekach oczyszczonych na złożu hydrofitowym jest o 99,95% mniejsza, niż w przypadku ścieków surowych.



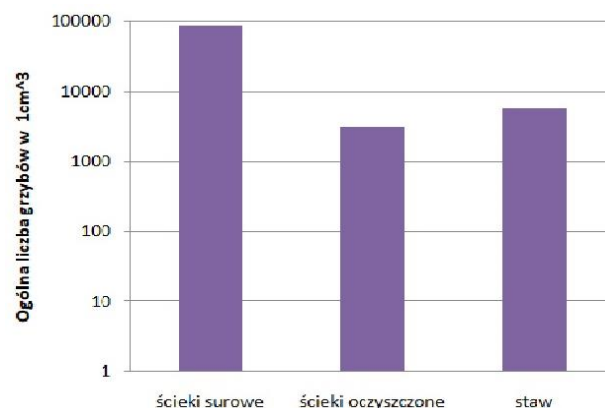
Rys. 4. Ogólna uśredniona liczba bakterii mezofilnych oraz psychrofilnych w ściekach surowych i oczyszczonych oraz w stawie

Ogólna liczba bakterii psychrofilnych wyrażona w postaci średniej wzrasta w wodach stawu odbierającego ścieki oczyszczone o 35% w porównaniu do ścieków oczyszczonych. Ogólna liczba bakterii mezofilowych w stawie jest większa o 74,23%, niż w przypadku ścieków oczyszczonych.

Według badań Lalke-Porczyk i in. (2010), liczebność bakterii mezofilowych oraz psychrofilnych po przejściu ścieków surowych przez złożo hydrofitowe spadała o odpowiednio 90,22% oraz 89,45%. Złożo hydrofitowe jest w stanie redukować liczebność tych bakterii w ściekach surowych, jednak w stawie dochodzi do wtórnego zanieczyszczenia. Wtórne zanieczyszczenie może być spowodowane tym, że staw jest miejscem życia ryb, okresowo korzysta też z niego ptactwo, które może stanowić źródło bakterii. Dodatkowo staw jest zasilany przez spływy powierzchniowe, które mogą dostarczać do wód bakterie pochodzące z gleby.

Następnie w ściekach surowych, oczyszczonych oraz w wodach stawu zbadana została ogólna liczba grzybów. Na rysunku 5 przedstawiono wykres, na którym zobrazowano ogólną uśrednioną liczbę grzybów w badanym materiale. Po złożu hydrofitowym liczba grzybów obniżyła się o 96,37%. W wodach stawu liczebność grzybów rosła o 47,5% w porównaniu do ścieków oczyszczonych.

Na podstawie tych rezultatów stwierdzono, że złożo hydrofitowe jest w stanie zredukować liczbę grzybów w ściekach surowych, natomiast w stawie odbierającym dochodzi do wtórnego zanieczyszczenia. Wzrost ogólnej liczby grzybów w wodach stawu, może być spowodowany bogactwem martwej materii organicznej, która stanowi pożywkę dla grzybów.

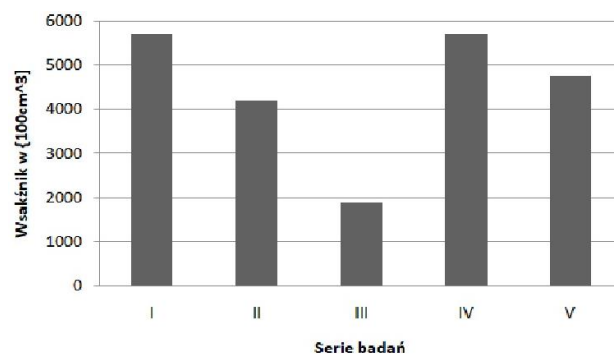


Rys. 5. Ogólna liczba grzybów w ściekach surowych i oczyszczonych oraz w stawie

Ostatnim z badanych wskaźników mikrobiologicznych były enterokoki. Są to gram dodatnie ziarniaki, które stanowią jeden z podstawowych wskaźników sanitarnych, badanych w ściekach.

Podczas prowadzenia badań, kolonie tych ziarniaków zostały zauważone jedynie w przypadku ścieków surowych. Na rysunku 6 przedstawione zostały uśrednione wartości wskaźnika enterokoków dla każdej z pięciu serii badań wykonanych na próbkach ścieków surowych. Średnia wartość wskaźnika enterokoków wyniosła $1,1 \cdot 10^4$.

Według badań Butarewicz (2016) wskaźnik enterokoków w Białostockiej Oczyszczalni Ścieków w ściekach surowych w 1 cm^3 osiągał średnią wartość $2,35 \cdot 10^5$. Enterokoki były tam obserwowane również w ściekach oczyszczonych. Można przez to stwierdzić, że oczyszczalnia hydrofitowa skutecznie redukuje enterokoki ze ścieków surowych.



Rys. 6. Wskaźnik enterokoków w pięciu seriach badań ścieków surowych

5. Wnioski końcowe

Na podstawie badań sformułowano kilka wniosków. Po pierwsze złożo hydrofitowe jest w stanie skutecznie redukować zanieczyszczenia mikrobiologiczne w ściekach surowych. Złożo hydrofitowe całkowicie eliminuje enterokoki ze ścieków surowych. Stwierdzono też, że największej redukcji uległ wskaźnik coli typu fekalnego, natomiast najniższy stopień redukcji został zaobserwowany przy ogólnej liczbie grzybów.

W stawie odbierającym ścieki oczyszczone dochodzi do zwiększenia liczebności ogólnej liczby grzybów oraz bakterii mezofilnych i psychrofilnych w porównaniu do ścieków oczyszczonych. Na tej podstawie stwierdzono, że staw nie pełni w przypadku wyżej wymienionych wskaźników funkcji doczyszczającej.

Literatura

- Bobrowski M.M. (2002). Mikrobiologia wód powierzchniowych. W: *Podstawy biologii sanitarnej*, Białystok, 151-153.
- Błaszczak M.K. (2009). Oczyszczanie ścieków metodami konwencjonalnymi. W: *Mikroorganizmy w ochronie środowiska*, Warszawa, 41-57.
- Butarewicz A. (2016). Zastosowanie Ultradźwięków Do Dezynfekcji Mikroorganizmów w Ściekach i Osadach Ściekowych. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej*, Białystok.
- Dymaczewski Z. (2011). Mikroorganizmy w ściekach miejskich i skutki ich występowania. W: *Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków*, PZITS, Poznań, 573-582.
- Kocwa-Haluch R. (2001). Wirusy i Ich Występowanie w Wodach i Ściekach. *Wyd. Politechniki Świętokrzyskiej*, Kielce.
- Lalke-Porczyk E., Świątek-Brzezińska M., Donderski W. (2010). Rola oczyszczalni hdrobotanicznych w oczyszczaniu ścieków z terenów wiejskich. *Woda – środowisko – obszary wiejskie*, Tom 10, Zeszyt 3, 119-127.
- Obarska-Pempkowiak H., Gajewska M., Wojciechowska E., (2010a). Charakterystyka metody hydrofitowej. *Hydrofitowe oczyszczanie wód i ścieków*, Warszawa, 1-25.
- Obarska-Pempkowiak H., Gajewska M., Wojciechowska E., (2010b). Rodzaje systemów hydrofitowych i stosowane konfiguracje. *Hydrofitowe oczyszczanie wód i ścieków*, Warszawa, 49-55.
- Obarska-Pempkowiak H., Gajewska M., Wojciechowska E., Ostojki A. (2012a). Problem oczyszczania ścieków na obszarach wiejskich. W: *Oczyszczalnia w ogrodzie. Poradnik jak stosować innowacyjne rozwiązanie gospodarki ściekowej i osadowej z wykorzystaniem systemów hydrofitowych*, 14-22.
- Obarska-Pempkowiak H., Gajewska M., Wojciechowska E., Ostojki A. (2012b). Przydomowe oczyszczalnie ścieków – charakterystyka oraz problemy w budowie i eksploatacji tych obiektów. W: *Oczyszczalnia w ogrodzie. Poradnik jak stosować innowacyjne rozwiązanie gospodarki ściekowej i osadowej z wykorzystaniem systemów hydrofitowych*, 28-32.
- Obarska-Pempkowiak H., Gajewska M., Wojciechowska E., Ostojki A. (2012c). Charakterystyka hydrofitowej metody unieszkodliwiania ścieków. W: *Oczyszczalnia w ogrodzie. Poradnik jak stosować innowacyjne rozwiązanie gospodarki ściekowej i osadowej z wykorzystaniem systemów hydrofitowych*, 32-41.

THE BIOLOGICAL EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE CONSTRUCTED WETLANDS

Abstract: This article discusses the problem of biological evaluation of the constructed wetlands. The constructed wetland located in Zwierki in the Zabłudów commune was a research facility. Biological evaluation of the constructed wetland was made by taking samples of raw sewage, treated sewage flowing out of the deposit and water from the receiving pond. Cultures were made on individual media to determine the presence or amount of the microorganisms concerned. After incubation, the approximate number of microorganisms on solid media was calculated. As a result of the research, it was found that the constructed wetland to some extent reduces the amount of microorganisms present in raw sewage. However, in the receiving pond, secondary biological pollution occurs.