

JUSTYNA HACHOŁ, ELŻBIETA BONDAR-NOWAKOWSKA

Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

WYKORZYSTANIE METODY ANALIZY PRZYCZYŃ I SKUTKÓW WAD (FMEA) DO OCENY RYZYKA EKOLOGICZNEGO W REGULOWANYCH I KONSERWOWANYCH CIEKACH

Streszczenie. W pracy przeanalizowano możliwość wykorzystania metody analizy przyczyn i skutków wad (FMEA) do oceny ryzyka ekologicznego w ciekach, na których planowane jest wykonanie robót regulacyjnych lub konserwacyjnych. Analizę przeprowadzono na podstawie badań wpływu robót regulacyjnych i konserwacyjnych wykonanych w latach 2007-2008 na 14 ciekach nizinnych Dolnego Śląska na naczyniową roślinność wodną. Badania te pozwoliły na ustalenie czynników ryzyka, tj. prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożeń, skutków tych zagrożeń oraz ich wykrywalności. Przeprowadzona analiza wykazała dużą przydatność metody w planowaniu robót wodnych.

Słowa kluczowe: ryzyko ekologiczne, regulacja cieków, konserwacja, roślinność wodna

Wstęp

W następstwie ingerencji technicznej w koryto cieku zachodzą zmiany w jego ekosystemie. Prawdopodobieństwo wystąpienia tych zmian oraz ich wielkość są czynnikami ryzyka ekologicznego. Ryzyko to w robotach regulacyjnych i konserwacyjnych na ciekach jest wielkością dynamiczną, podlega zmianom wraz z upływem czasu. Aby uwzględnić tę cechę w analizie ryzyka, w jego ocenie należy posługiwać się metodami, które pozwalają uwzględnić zmienność systemu koryta cieku w czasie. Metoda analizy przyczyn i skutków wad – FMEA, oprócz prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia oraz wielkości jego skutków, uwzględnia dodatkowy czynnik, którym jest wykrywalność zagrożenia. Czynnik ten w odniesieniu do zmian w ekosystemie koryta cieku może być powiązany ze skalą czasu.

W pracy przeanalizowano możliwość zastosowania metody FMEA do oceny ryzyka ekologicznego w ciekach, na których planowane jest wykonanie robót regulacyjnych lub konserwacyjnych. Zakres tej analizy dotyczy jednego, wybranego elementu ekosystemu koryta cieku – naczyniowej roślinności wodnej.

Material i metody

Badania terenowe przeprowadzono w sezonach wegetacyjnych 2007 i 2008 roku na 14 ciekach nizinnych Dolnego Śląska. Wykaz ich przedstawiono w tabeli 1. Na ciekach tych w ciągu ostatnich siedmiu lat wykonano roboty regulacyjne lub konserwacyjne. Roboty regulacyjne obejmowały zmianę trasy cieku, parametrów przekroju poprzecznego, wykonanie budowli wodnych oraz umocnień dna i skarp. W zakres robót konserwacyjnych wchodziło odmulenie dna wraz z usunięciem roślinności dennej, koszenie skarp, naprawa uszkodzeń dna, skarp i umocnień.

Tabela 1. Obiekty badawcze
Table 1. Study objects

Nazwa cieku	Ujście	Liczba odcinków badawczych	Nazwa cieku	Ujście	Liczba odcinków badawczych
Czarna Woda	Bystrzyca	3	Pępicki Potok	Psarski Potok	3
Dobra	Widawa	5	Potok Sulistrowicki	Czarna Woda	3
Głęboki Rów	Sąsiedzka	2	Psarski Potok	Odra	3
Leniwka	Widawa	2	Smortawa	Odra	3
Masłówka	Orla	2	Ślęza	Odra	2
Oleszna	Ślęza	2	Żalina	Żurawka	3
Oleśnica	Widawa	6	Żurawka	Ślęza	4

Do badań wyznaczono 43 jednorodnie morfologicznie odcinki, każdy o długości 100 m. Teren przyległy do wszystkich odcinków badawczych stanowiły użytki zielone, grunty orne lub zabudowania gospodarskie. Na każdym cieku jeden odcinek badawczy był pozostawiony w stanie naturalnym, a pozostałe były objęte przekształceniem wskutek wykonania robót.

Na poszczególnych odcinkach badawczych wykonano szczegółową inwentaryzację naczyniowej roślinności wodnej i szuwarowej oraz inwentaryzację techniczną koryta cieku. Badania roślinności obejmowały identyfikację gatunków roślin naczyniowych występujących w dnie cieku i były prowadzone zgodnie z metodyką SCHAUMBURGA i IN. (2006).

Inwentaryzacja techniczna polegała na pomiarze oraz opisie wybranych elementów koryta, takich jak: szerokość dna, głębokość koryta, miąższość zamulenia, nachylenie skarp oraz rodzaj ich umocnienia. Elementy te były kształtowane poprzez wykonanie robót regulacyjnych bądź konserwacyjnych.

Do oceny ryzyka ekologicznego związanego z wykonawstwem robót zastosowano metodę analizy przyczyn i skutków wad FMEA (Failure Mode and Effects Analysis). W planowaniu robót wodnych i wodnomelioracyjnych metoda nie była jeszcze wykorzystywana, ale według IWANEJKO i LUBOWIECKIEJ (2004) oraz HAMROL i MANTURY (2005) ma natomiast szerokie zastosowanie m.in. do oceny bezpieczeństwa systemów technicznych na etapie projektowania lub eksploatacji albo też przed dokonaniem modernizacji oraz do projektowania dla jakości. Podstawą oceny ryzyka w tej metodzie jest zależność:

$$RPN = P \cdot W \cdot Z$$

gdzie:

- RPN – poziom ryzyka (Risk Priority Number),
- P – prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożeń,
- W – wykrywalność zagrożeń,
- Z – znaczenie zagrożeń.

Metoda FMEA jest metodą jakościową. Oznacza to, że poszczególne czynniki decydujące o poziomie ryzyka przyjmuje się w sposób opisowy, przypisując im odpowiednie miary.

Wyniki

Na pozostawionych w stanie naturalnym odcinkach badanych cieków zinwentaryzowano łącznie 19 gatunków naczyniowych roślin wodnych. Wykaz ich znajduje się w tabeli 2. Z danych tam zawartych wynika, że największa różnorodność gatunkowa (siedem gatunków) wystąpiła na odcinkach Czarnej Wody, Dobrej i Smotrawy, najmniej zaś gatunków oznaczono na naturalnych odcinkach rzek Oleszna, Potok Sulistrowicki oraz Żurawka. Do najczęściej występujących gatunków należały rozmnażające się wegetatywnie: mozga trzciniowata, manna mielec, jeżogłówka pojedyncza i rzęsa drobna. Tylko na pojedynczych stanowiskach badawczych oznaczono żabiściek pływający, rdestnicę nitkowatą oraz grążela żółtego.

Inwentaryzacja roślin wodnych na odcinkach cieków objętych wykonaniem robót regulacyjnych lub konserwacyjnych wykazała, że w stosunku do odcinków pozostawionych w stanie naturalnym nastąpiły zmiany składu florystycznego. Bezpośrednio po wykonaniu robót występowało prawie całkowite usunięcie roślin z dna cieku, a następnie w miarę upływu czasu rośliny, zwłaszcza rozmnażające się wegetatywnie, stopniowo się regenerowały. Obserwacje szaty roślinnej dna wskazały na szybkie odtwarzanie się bardzo żywotnych gatunków. Stanowi to pewne zagrożenie dla roślinności wodnej, gdyż może doprowadzić do eliminacji ze składu florystycznego gatunków charakteryzujących się wolniejszym tempem rozwoju.

Zmiany liczby gatunków na 28 przekształconych w wyniku robót odcinkach badawczych przedstawiono w tabeli 3. Tylko w jednym przypadku na odcinku objętym robotami konserwacyjnymi nie zaobserwowano zmian w składzie gatunkowym roślinności dennej w porównaniu z odcinkiem naturalnym. Brak zmian można wiązać z tym, że na odcinku nieprzekształconym występowały tylko dwa gatunki, charakteryzujące się szybkim tempem regeneracji.

Tabela 2. Rośliny wodne występujące na nieprzekształconych odcinkach cieków
Table 2. Aquatic plant species recorded in the natural study sections

Nazwa cieku	Gatunki roślin wodnych
Czarna Woda	Manna mielec (<i>Glyceria maxima</i> (Hartm.) Holmb.), moczarka kanadyjska (<i>Elodea canadensis</i> Michaux), mozga trzcinowata (<i>Phalaris arundinacea</i> L.), rdestnica nitkowata (<i>Potamogeton filiformis</i> Pers.), rzęsa drobna (<i>Lemna minor</i> L.), rzęśl wiosenna (<i>Callitriche palustris</i> L.), strzałka wodna (<i>Sagittaria sagittifolia</i> L.)
Dobra	Jeżogłówka pojedyncza (<i>Sparganium emersum</i> Rehmman), manna mielec (<i>Glyceria maxima</i> (Hartm.) Holmb.), niezapominajka wodna (<i>Myosotis palustris</i> (L.) L. em Rchb.), pałka wąskolistna (<i>Typha angustifolia</i> L.), potoczniczek wąskolistny (<i>Berula erecta</i> (Hudson) Coville), rdestnica kędzierzawa (<i>Potamogeton crispus</i> L.), strzałka wodna (<i>Sagittaria sagittifolia</i> L.)
Głęboki Rów	Jeżogłówka pojedyncza (<i>Sparganium emersum</i> Rehmman), pałka wąskolistna (<i>Typha angustifolia</i> L.), trzcina pospolita (<i>Phragmites communis</i> Trin.)
Leniwka	Jeżogłówka pojedyncza (<i>Sparganium emersum</i> Rehmman), manna mielec (<i>Glyceria maxima</i> (Hartm.) Holmb.), mozga trzcinowata (<i>Phalaris arundinacea</i> L.), rzęsa drobna (<i>Lemna minor</i> L.)
Masłówka	Manna mielec (<i>Glyceria maxima</i> (Hartm.) Holmb.), pałka wąskolistna (<i>Typha angustifolia</i> L.), rzęsa drobna (<i>Lemna minor</i> L.), spirodela wielokorzeniowa (<i>Spirodela polyrhiza</i> L.), trzcina pospolita (<i>Phragmites communis</i> Trin.)
Oleszna	Manna mielec (<i>Glyceria maxima</i> (Hartm.) Holmb.), mozga trzcinowata (<i>Phalaris arundinacea</i> L.)
Oleśnica	Jeżogłówka pojedyncza (<i>Sparganium emersum</i> Rehmman), mozga trzcinowata (<i>Phalaris arundinacea</i> L.), pałka wąskolistna (<i>Typha angustifolia</i> L.), rogatek sztywny (<i>Ceratophyllum demersum</i> L.), rzęsa drobna (<i>Lemna minor</i> L.)
Pępicki Potok	Manna mielec (<i>Glyceria maxima</i> (Hartm.) Holmb.), mozga trzcinowata (<i>Phalaris arundinacea</i> L.), rzęsa drobna (<i>Lemna minor</i> L.), żabieniec babka wodna (<i>Alisma plantago-aquatica</i> L.)
Potok Sulistrowicki	Manna mielec (<i>Glyceria maxima</i> (Hartm.) Holmb.), mozga trzcinowata (<i>Phalaris arundinacea</i> L.)
Psarski Potok	Manna mielec (<i>Glyceria maxima</i> (Hartm.) Holmb.), mozga trzcinowata (<i>Phalaris arundinacea</i> L.), rzęsa drobna (<i>Lemna minor</i> L.), włosienicznik rzeczny (<i>Ranunculus fluitans</i> (Lam.) Wimm.)
Smortawa	Grążel żółty (<i>Nuphar lutea</i> L.), jeżogłówka pojedyncza (<i>Sparganium emersum</i> Rehmman), mozga trzcinowata (<i>Phalaris arundinacea</i> L.), pałka wąskolistna (<i>Typha angustifolia</i> L.), rzęsa drobna (<i>Lemna minor</i> L.), strzałka wodna (<i>Sagittaria sagittifolia</i> L.), żabiściek pływający (<i>Hydrocharis morsus-ranae</i> L.)
Ślęza	Grążel żółty (<i>Nuphar lutea</i> L.), manna mielec (<i>Glyceria maxima</i> (Hartm.) Holmb.), mozga trzcinowata (<i>Phalaris arundinacea</i> L.), rzęsa drobna (<i>Lemna minor</i> L.)
Żalina	Jeżogłówka pojedyncza (<i>Sparganium emersum</i> Rehmman), manna mielec (<i>Glyceria maxima</i> (Hartm.) Holmb.), rzęsa drobna (<i>Lemna minor</i> L.), rzęśl wiosenna (<i>Callitriche palustris</i> L.)
Żurawka	Jeżogłówka pojedyncza (<i>Sparganium emersum</i> Rehmman), rzęsa drobna (<i>Lemna minor</i> L.)

Na sześciu odcinkach badawczych zaobserwowano ubytek tylko jednego gatunku. Również w sześciu przypadkach przeprowadzone roboty spowodowały całkowite zlikwidowanie zbiorowisk roślinnych. Dotyczy to cieków bardzo silnie przekształconych, o wyprostowanym biegu, stromych i wysokich skarpach, umocnionych płytami betonowymi, gabionami siatkowo-kamiennymi lub narzutem kamiennym.

Tabela 3. Zmiany liczby gatunków roślin wodnych na odcinkach badawczych w wyniku ingerencji technicznej w koryto ciek

Table 3. Changes in the number of plant species in the study sections as a result of the interference in water-courses bed

Liczba wyeliminowanych gatunków	Liczba odcinków badawczych	Liczba wyeliminowanych gatunków	Liczba odcinków badawczych
0	1	4	3
1	6	5	1
2	3	6	3
3	5	Wszystkie	6

Na podstawie przedstawionych wyników badań terenowych oraz ich analiz opisano skalę poszczególnych czynników ryzyka w metodzie FMEA, tj. prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożeń dla flory wodnej w wyniku regulacji lub konserwacji koryta ciek (P), wykrywalności tych zagrożeń (W) oraz ich znaczenia dla ekosystemu ciek (Z). W każdym przypadku zakres skali przyjęto od 1 do 5.

Prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożeń

Przeprowadzone obserwacje wykazały, że prawdopodobieństwo wystąpienia zmian w zbiorowisku roślin wodnych zależy przede wszystkim od składu gatunkowego flory wodnej oraz od zakresu robót i sposobu ich wykonania. Regulacja koryta ciek obejmująca szeroki zakres zabiegów technicznych, takich jak: zmiana trasy koryta ciek, doprowadzenie przekroju poprzecznego do odpowiedniej wielkości, nadanie projektowanego spadku podłużnego, umocnienie skarp, wykonanie budowli stabilizujących dno, powoduje znaczne zmiany warunków siedliskowych. Prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożeń w wyniku tych robót jest znacznie większe niż np. w przypadku sporadycznie przeprowadzanej konserwacji ciek, polegającej na wykoszeniu skarp i odmuleniu dna koryta. Przyjętą dla czynnika P skalę przedstawiono w tabeli 4.

Wykrywalność zagrożeń

Możliwość oceny zmian gatunkowych w zbiorowiskach roślinnych, związanych z realizacją robót regulacyjnych lub konserwacyjnych w korycie jest zmienna w czasie. Bezpośrednio po zakończeniu tych robót skutki ich są widoczne, lecz wraz z upływem czasu wykrycie zagrożeń staje się coraz bardziej utrudnione. Przyjętą skalę wykrywalności zagrożeń przedstawiono w tabeli 5.

Znaczenie zagrożeń

W badanych ciekach zaobserwowano, że wykonanie robót spowodowało zubożenie składu gatunkowego roślinności dennej (tab. 3). Im więcej w naturalnym korycie było gatunków pospolitych, szybko rozmnażających się, o szerokim zakresie tolerancji wobec warunków siedliskowych, tym mniejsze były niekorzystne zmiany. Na podstawie tych obserwacji przyjęto skalę możliwych zagrożeń. Aby móc dokonać tej oceny, dla potrzeb szacowania ryzyka musi być przeprowadzona w terenie waloryzacja przyrodnicza. Zakres i opis skali zagrożeń przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 4. Skala prawdopodobieństwa wystąpienia zmian w zbiorowiskach roślinnych w korycie cieków wskutek realizacji robót regulacyjnych i konserwacyjnych – P

Table 4. The scale of the probability of changes in the aquatic plant communities in the water-courses bed as a result of the water-courses regulation and maintenance works – P

Skala prawdopodobieństwa P	Opis prawdopodobieństwa
1 – bardzo małe	Ingerencja w koryto cieków obejmuje: ręczne koszenie dna i skarp, umocnienie skarp darnią
2 – małe	Ingerencja w koryto cieków obejmuje: ręczne koszenie dna i skarp, umocnienie podstawy skarpy kieszka lub płotkiem faszynowym
3 – średnie	Ingerencja w koryto cieków obejmuje: mechaniczne odmulenie dna wraz z usunięciem roślinności dennej, ręczne koszenie skarp, ubezpieczenie podstawy skarpy płotkiem faszynowym lub narzutem kamiennym
4 – duże	Ingerencja w koryto cieków obejmuje: zmianę przekroju poprzecznego koryta cieków poprzez nadanie jednorodnego profilu, umocnienie podstawy skarpy faszyną lub narzutem kamiennym
5 – bardzo duże	Ingerencja w koryto cieków powoduje znaczne przekształcenie warunków siedliskowych: dno i skarpy umocnione płytami betonowymi, koszami siatkowo-kamiennymi, bieg jest wyprostowany, w dnie występują progi wodne itp. ingerencja w koryto cieków obejmuje: regularną konserwację koryta cieków

Tabela 5. Skala wykrywalności zagrożeń zbiorowisk roślinnych w korycie cieków wskutek realizacji robót regulacyjnych i konserwacyjnych – W

Table 5. The scale of the possibility of detection of the hazard to the aquatic plant communities in the water-courses bed as a result of the water-courses regulations and maintenance works – W

Skala wykrywalności W	Opis wykrywalności
1 – bardzo mała	Piąty sezon wegetacyjny po wykonaniu robót
2 – mała	Czwarty sezon wegetacyjny po wykonaniu robót
3 – średnia	Trzeci sezon wegetacyjny po wykonaniu robót
4 – duża	Drugi sezon wegetacyjny po wykonaniu robót
5 – bardzo duża	Pierwszy sezon wegetacyjny po wykonaniu robót

Ocena ryzyka ekologicznego

Na podstawie przyjętych skal prawdopodobieństwa wystąpienia zmian w zbiorowiskach roślinności wodnej, ich wykrywalności oraz ich poziomu możliwa jest ocena poziomu ryzyka związanego z konserwacją i regulacją koryta cieków. Oceny takiej dokonano w tabeli 7 dla robót przeprowadzonych na pięciu wybranych ciekach. Oszacowany poziom ryzyka dla rzek Dobrej, Ślęzy i Żurawki odnosi się do okresu roku od zakończenia robót. Konserwacja koryta Głębokiego Rowu przeprowadzona była dwa lata temu, natomiast koryto Czarnej Wody nie było konserwowane od ponad pięciu lat.

Hachoł J., Bondar-Nowakowska E., 2009. Wykorzystanie metody analizy przyczyn i skutków wad (FMEA) do oceny ryzyka ekologicznego w regulowanych i konserwowanych ciekach. Nauka Przyr. Technol. 3, 3, #83.

Tabela 6. Skala zagrożeń zbiorowisk roślinnych w korycie cieku wskutek realizacji robót regulacyjnych i konserwacyjnych – Z

Table 6. The scale of the hazard to the aquatic plant communities in the water-courses bed as a result of the water-courses regulation and maintenance works – Z

Skala zagrożenia Z	Opis zagrożenia
1 – bardzo małe	W cieku występuje powyżej 8 gatunków; są to rośliny cechujące się dużą tolerancją wobec czynników środowiskowych, rozmnażające się wegetatywnie, np. trzcina pospolita
2 – małe	W cieku występuje 7-8 gatunków; są to rośliny cechujące się dużą tolerancją wobec czynników środowiskowych, rozmnażające się wegetatywnie, np. trzcina pospolita
3 – średnie	W cieku występuje 5-6 gatunków; przeważają rośliny o dużej tolerancji wobec czynników środowiskowych
4 – duże	W cieku występują 3-4 gatunki; są to rośliny o małej tolerancji wobec czynników środowiskowych
5 – bardzo duże	W cieku występują 1-2 gatunki; są to rośliny o wąskim zakresie tolerancji ekologicznej, gatunki rzadkie lub chronione

Tabela 7. Ocena ryzyka ekologicznego w robotach konserwacyjnych i regulacyjnych dla wybranych cieków

Table 7. Evaluation of ecological risk during the water-courses regulation and maintenance works for chosen water-courses

Ciek	Zakres robót	Czas od ostatniej ingerencji w korycie cieku (lata)	P	W	Z	RPN
Dobra	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pogłębienie koryta ▪ Ukształtowanie przekroju poprzecznego koryta ▪ Umocnienie skarp płotkiem faszynowym 	1	3	5	2	30
Ślęza	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wyrównanie biegu rzeki ▪ Ukształtowanie przekroju poprzecznego koryta z pionowymi skarpami ▪ Umocnienie skarp na całej wysokości murkiem oporowym ▪ Umocnienie dna ▪ Zmniejszenie spadku przez wykonanie w dnie kaskady progów wodnych 	1	5	5	4	100
Żurawka	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wykoszenie skarp ▪ Odmulenie dna wraz z usunięciem roślinności ▪ Umocnienie skarp płotkiem faszynowym 	1	2	5	5	50
Głęboki Rów	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wykoszenie skarp ▪ Odmulenie dna wraz z usunięciem roślinności ▪ Umocnienie skarp płotkiem faszynowym 	2	2	4	3	24
Czarna Woda	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wykoszenie skarp ▪ Odmulenie dna wraz z usunięciem roślinności ▪ Umocnienie skarp płotkiem faszynowym 	> 5	2	1	2	4

Z przeprowadzonej analizy wynika, że największe ryzyko ekologiczne występuje w przypadku planowania robót całkowicie zmieniających naturalny ekosystem koryta ciek (Ślęza). Jest ono również znaczne w ciekach o małej różnorodności gatunkowej, nawet jeśli ingerencja techniczna w koryto ciek będzie stosunkowo łagodna (Żurawka). Z kolei roboty konserwacyjne polegające na wykoszeniu skarp i odmuleniu dna stanowią znacznie mniejsze ryzyko dla flory wodnej. Analiza wyników wskazuje również, że wraz z upływem czasu, jaki minął od zakończenia robót konserwacyjnych, maleje ryzyko ekologiczne związane z ich wykonaniem.

Dyskusja

Na podstawie przeprowadzonej waloryzacji roślinności wodnej i szuwarowej na odcinkach cieków o stanie zbliżonym do naturalnego oznaczono 19 gatunków roślin. Do najczęściej występujących gatunków należały: mozga trzciniowata, manna mielec oraz jeżogłówka pojedyncza. Są to gatunki typowe dla wód eutroficznych, rozmnażające się wegetatywnie i charakteryzujące się szerokim zakresem tolerancji wobec czynników siedliskowych. Z przeprowadzonych badań wynika, że są to rośliny odporne na oddziaływanie antropogeniczne, ponieważ dominowały również na konserwowanych lub regulowanych odcinkach cieków.

Z przeprowadzonej oceny ryzyka wynika, że największe zagrożenie dla zbiorowisk roślinnych w korycie cieków stanowią roboty regulacyjne, natomiast najmniejsze ryzyko jest związane z konserwacją koryta, obejmującą odmulenie dna i koszenie skarp.

Analizując przedstawione w tabelach 4, 5 i 6 skale poszczególnych czynników decydujących o poziomie ryzyka, należy stwierdzić, że są one zależne od składu gatunkowego flory wodnej w korycie cieków przed wykonaniem robót, zakresu planowanych robót oraz czynnika czasu, dlatego ocena ryzyka musi być poprzedzona szczegółową waloryzacją przyrodniczą przeprowadzoną na terenie budowy, dokładną analizą rozwiązań projektowych oraz ustaleniem przedziału czasu, którego dotyczy ocena.

Określone w tabeli 7 poziomy ryzyka ekologicznego dla różnych cieków wskazują, że ważnym czynnikiem w jego ocenie jest czas. Planując ingerencję techniczną w korycie cieków, należy brać pod uwagę, że wraz z upływem czasu ryzyko niekorzystnych zmian florystycznych maleje. Obok znaczenia przyrodniczego dla projektantów i wykonawców robót cecha ta ma wymiar ekonomiczny.

Wnioski

1. Badania terenowe przeprowadzone na 28 odcinkach cieków, na których wykonano roboty konserwacyjne lub regulacyjne, wykazały, że skutkiem tych robót były zmiany w zbiorowiskach roślinności wodnej, polegające najczęściej na zmniejszeniu liczby gatunków.

2. Roboty konserwacyjne i regulacyjne w ciekach sprzyjają wypieraniu gatunków roślin o wąskim zakresie tolerancji wobec czynników środowiskowych oraz dominacji gatunków pospolitych, jak maza trzciniowa, manna mielec, jeżogłówka pojedyncza.

3. W celu ograniczenia niekorzystnych zmian w zbiorowisku roślinności wodnej, na etapie planowania robót należy przeprowadzić ocenę ryzyka. Do tego celu można zastosować metodę analizy przyczyn i skutków wad – FMEA

4. Ocena ryzyka ekologicznego metodą FMEA wymaga dobrej znajomości funkcjonowania ekosystemu rzecznoego. Musi być poprzedzona szczegółową waloryzacją przyrodniczą w korycie oraz dokładną analizą zakresu robót, przyjętej technologii i ich organizacji.

5. Ryzyko ekologiczne jest zmienne w czasie. Zastosowanie metody FMEA umożliwia analizę ryzyka z uwzględnieniem tego czynnika.

Literatura

- HAMROL A., MANTURA W., 2005. Zarządzanie jakością. Teoria i praktyka. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- IWANEJKO R., LUBOWIECKA T., 2004. Ryzyko produkcyjne jako element wspomagający podejmowanie decyzji. W: Strategie zarządzania ryzykiem w przedsiębiorstwie. Red. J. Bizon-Górecka. TNOiK, Bydgoszcz: 321-330.
- SCHAUMBURG J., SCHRANZ C., STELZER D., HOFMANN G., GUTOWSKI A., FOERSTER J., 2006. Handlungsanweisung für die ökologische Bewertung von Fließgewässern zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie: Makrophyten und Phytobenthos. Bayerisches Landesamt für Umwelt, München.

USE OF FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS METHOD (FMEA) FOR EVALUATION OF ECOLOGICAL RISKS IN THE WATER-COURSES AFTER REGULATION AND MAINTENANCE WORKS

Summary. In the paper the possibility of the application of Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) in the evaluation of ecological risk during the water-courses regulation and maintenance works was analysed. The basis of the analysis were field studies, which were carried out during the years 2007-2008 in 14 lowland water-courses in the Lower Silesia, which were after the water-courses regulation or maintenance works. It enabled to determine the risk factors such as the probability of threats, the effects of these threats and the possibility of their detection. The analysis showed the usefulness of this method for planning of the works in the water-courses beds.

Key words: ecological risk, water-courses regulation, maintenance works, aquatic plants

Hachol J., Bondar-Nowakowska E., 2009. Wykorzystanie metody analizy przyczyn i skutków wad (FMEA) do oceny ryzyka ekologicznego w regulowanych i konserwowanych ciekach. *Nauka Przyr. Technol.* 3, 3, #83.

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Justyna Hachol, Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław, Poland, e-mail: justyna.kleka@wp.pl

Zaakceptowano do druku – Accepted for print:

28.04.2009

Do cytowania – For citation:

*Hachol J., Bondar-Nowakowska E., 2009. Wykorzystanie metody analizy przyczyn i skutków wad (FMEA) do oceny ryzyka ekologicznego w regulowanych i konserwowanych ciekach. *Nauka Przyr. Technol.* 3, 3, #83.*