



Stanisław Ledakowicz • Paweł Stolarek • Jadwiga Sójka-Ledakowicz

TECHNOLOGIA ODZYSKU WODY I CIEPŁA ZE ŚCIEKÓW WŁÓKIENNICZYCH

Stanisław Ledakowicz, prof. dr hab. inż. – Politechnika Łódzka

Paweł Stolarek, dr inż. – Politechnika Łódzka

Jadwiga Sójka-Ledakowicz, dr inż., prof. nadzw. – Instytut Włókiennictwa w Łodzi

adres korespondencyjny:

Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska

Katedra Inżynierii Bioprocusowej

ul. Wólczańska 213, 90-924 Łódź

e-mail: stanleda@p.lodz.pl; pawel.stolarek@p.lodz.pl

TECHNOLOGY OF WATER AND ENERGY RECOVERY FROM TEXTILE WASTEWATER

SUMMARY: A new technology of water and energy recovery was implemented in one of Polish textile company, where textile wastewater was treated by coagulation and precipitation. The crude, hot wastewater leaving the dye-house was contacted counter-currently with fresh cold water in a tubular heat exchanger, and after physical-chemical treatment was turn back to the process in 1:1 ratio with fresh water. Due to closing the water circuit and heat recovery form hot crude dyeing wastewater the energy saving was in the range of 2500 MWh/y.

KEY WORDS: textile wastewater, closed circuit of water, heat recovery

Wstęp

Pomimo ciągłego rozwoju technologii włókienniczych, stosowanych maszyn i urządzeń przemysł tekstylny wciąż stanowi poważne obciążenie dla środowiska, głównie pod względem generowanych ścieków. Nie bez przyczyny polskie ustawodawstwo definiuje przemysł włókienniczy jako wodochłonny. W ostatnich latach jednym z ważniejszych kierunków postępu techniczno-technologicznego w przemyśle włókienniczym jest dążenie do zmniejszenia wodochłonności energochłonności poszczególnych operacji produkcyjnych, szczególnie zaś operacji wykończalniczych. Jednostkowe zużycie wody w procesie chemicznej obróbki wyrobów włókienniczych uwarunkowane jest wieloma czynnikami. Zużycie energii niezbędnej do wytworzenia jednostki masy wyrobu włókienniczego, podobnie jak w przypadku wody, zależy od rodzaju wyrobu, przyjętej technologii jego wytworzenia oraz zastosowanych maszyn i urządzeń do realizacji tej technologii. Przykładowo, średnia farbiarnia pracująca w systemie ciągłym produkuje 2400–5200 m³ ścieków/dobę. Zużycie wody w krajowym przemyśle włókienniczym mieści się w granicach od 150 do 450 dm³/kg wyrobu, a zużycie energii zawiera się od 7 do 48 kWh/kg wyrobu. Przyjmuje się, że technologicznie uzasadniony poziom jednostkowego zużycia wody nie powinien przekraczać 250 dm³/kg wyrobu.

W krajach wysoko rozwiniętych stosuje się obiegi zamknięte wody oraz instalacje odzysku ciepła. Aby było możliwe wtórne wykorzystanie wody technologicznej, stosowane metody oczyszczania ścieków muszą gwarantować usunięcie z wody niemal całkowitej masy organicznej i związków, które mogą powodować zakłócenia w procesach, w których oczyszczona woda ma być ponownie wykorzystana. Do oczyszczania ścieków w obiegach zamkniętych stosowane są głównie metody fizykochemiczne, takie jak strącanie chemiczne, sorpcja, filtracja membranowa. Droższa, nowocześniejsza technologia oczyszczania ścieków, taka jak nanofiltracja czy odwrócona osmoza, pozwala na skuteczniejsze ich oczyszczenie. Zaletą tych metod jest to, że po procesie oczyszczania w ściekach nie pozostają półprodukty rozkładu zanieczyszczeń oraz dodatkowe chemikalia.

Istniejące instalacje technologiczne powinny być modernizowane w tym kierunku, aby możliwe było uzyskanie poziomów zalecanych w BAT, który jest zgodny z dyrektywą Rady Unii Europejskiej 96/61 z 1996 roku, dotyczącą zintegrowanego systemu kontroli zapobiegania zanieczyszczeniom. Zalecenia BAT związane z gospodarką wodną i energetyczną w zakładach włókienniczych obejmują rozdzielanie ciepłych i zimnych strumieni ścieków w celu odzyskania ciepła, instalowanie urządzeń do odzyskiwania ciepła, stosowanie obiegów zamkniętych wody technologicznej w połączeniu z technikami oczyszczania ścieków.

W jednym z zakładów włókienniczych pracowała przyzakładowa oczyszczalnia ścieków pobarwiarskich stosująca technologię oczyszczania ścieków poprzez koagulację i strącanie. Metoda ta umożliwia obniżenie wskaźników zanieczysz-

czeń do bezpiecznych poziomów, które pozwalają na ponowne ich wykorzystanie w procesach barwienia. Niestety, podczyszczone ścieki kierowane były do miejskiej oczyszczalni ścieków, gdyż nie było instalacji obiegu zamkniętego wody. Nie było także instalacji odzysku ciepła ze ścieków pobawiarskich. Nadrzędnym celem naszego projektu było opracowanie technologii odzysku wody i ciepła ze ścieków wykończalniczych oraz technologii barwienia tkanin z wykorzystaniem mediów pochodzących z prototypowego, zintegrowanego systemu obiegu zamkniętego. Cel ten był realizowany poprzez wnikliwą analizę podczyszczonych ścieków w aspekcie wpływu pozostałego ładunku zanieczyszczeń na jakość wybarwień tkanin, wyrażoną zgodnością barwy z zadaniem wzorcem oraz opornościami na pranie, tarcie i pot. Dokonana została porównawcza ocena jakości wybarwień tkanin dla prób barwionych tradycyjnie oraz przy wykorzystaniu wody z obiegu zamkniętego, która była dodawana do wody technologicznej w określonych proporcjach objętościowych. Zrealizowany założony zakres badań pozwolił na opracowanie nowego w skali kraju systemu kompleksowego odzysku wody i ciepła ze ścieków po procesach barwienia i wykończenia tkanin oraz umożliwił wdrożenie tego systemu w zakładzie.

W artykule opisano wyniki badań przemysłowych oraz przedkonkurencyjnych realizowanych w Instytucie Włókiennictwa oraz w Politechnice Łódzkiej na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska – w zakresie projektowania i nadzoru budowy instalacji odzysku ciepła i obiegu zamkniętego wody.

Analiza zanieczyszczeń w ściekach wykończalniczych po oczyszczeniu

Ścieki pochodzące z procesów obróbki wstępnej, barwienia i wykończenia tkanin z włókien celulozowych, poliestrowych i ich mieszanek po podczyszczeniu w przyzakładowej oczyszczalni ścieków były analizowane w następujący sposób:

- chemiczne zapotrzebowanie na tlen (ChZT) wg PN-74/C-04578.03;
- stopień zabarwienia ścieków metodą spektrofotometryczną przy trzech długościach fali $\lambda=436, 525$ i 620 nm (DFZ), wg normy DIN-38404/1;
- ogólny węgiel organiczny (OWO) przy wykorzystaniu fotometru LASA 20, firmy Dr Lange;
- zawartość jonów chlorkowych (Cl⁻) przy wykorzystaniu fotometru LASA 20, firmy Dr Lange;
- zawartość jonów siarczanowych (SO₄²⁻) przy wykorzystaniu fotometru LASA 20, firmy Dr Lange;
- zawiesina ogólna, wg normy PN-72/C-04559.02;
- pH przy wykorzystaniu wielofunkcyjnego przyrządu pomiarowego CX 731, firmy ELMETRON; wg normy PN-74/C-04540;
- przewodnictwo, przy wykorzystaniu wielofunkcyjnego przyrządu pomiarowego CX 731, firmy ELMETRON; według normy PN-74/C-04542.

Tabela 1
Zestawienie wyników analiz badanych zanieczyszczeń w oczyszczonych ściekach

Numer ścieków	pH	Przew. [mS/cm]	DFZ			Cl ⁻ [mg/dm ³]	SO ₄ ²⁻ [mg/dm ³]	ChZT [mg/dm ³]	OWO [mg/dm ³]	Zawies [mg/dm ³]
			436	525	620					
1	6.3	0.822	0.074	0.038	0.024	750	110	98	34	----
2	6.2	1.015	0.168	0.109	0.064	775	118	139	37	----
3	6.2	0.718	0.071	0.035	0.026	437	118	183	50	16.0
4	6.3	0.709	0.072	0.036	0.028	418	112	182	50	16.4
5	6.2	0.710	0.160	0.090	0.065	418	887	183	52	16.4
6	6.1	0.792	0.157	0.110	0.082	482	133	182	54	12.0
7	6.0	0.744	0.077	0.043	0.027	454	131	183	48	20.8
8	6.2	0.590	0.130	0.083	0.053	496	119	145	49	6.1
9	6.3	0.557	0.148	0.087	0.050	363	115	153	51	7.6
10	6.3	0.601	0.075	0.036	0.019	391	102	154	49	3.6
11	6.0	0.652	---	---	---	398	---	185	27	8.6
12	6.5	0.845	0.225	0.151	0.106	607	84	189	54	33
13	6.2	0.766	0.078	0.044	0.025	456	97	220	58	-----
14	6.4	0.652	0.183	0.128	0.089	432	115	177	51	-----
15	6.0	0.757	0.162	0.124	0.095	517	96.6	201	----	-----
16	6.2	0.576	0.100	0.064	0.045	394	95.1	78.0	----	12.0
17	6.0	0.770	0.134	0.084	0.047	501	112	113	39.3	14.6
18	6.2	0.675	0.138	0.096	0.065	420	97.1	107		-----

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2
Wskaźniki zanieczyszczeń wody technologicznej w zakładzie

Numer próby	pH	Przewodność właściwa [mS/cm]	Cl ⁻ [mg/dm ³]	Twardość [°N]
1	6.0	0.122	6.6	< 3
2	6.3	0.134	6.8	< 3

Źródło: opracowanie własne.

Wyniki, wykonanych w Instytucie Włókiennictwa badań wskaźników zanieczyszczeń w ściekach po fizykochemicznym oczyszczaniu zamieszczono w tabeli 1. Na podstawie badań stężenia zanieczyszczeń można stwierdzić, że podczyszczono ścieki charakteryzują się niskim ładunkiem zanieczyszczeń, wartość pH zawiera się w granicach 6.0-6.8, przewodność właściwa nie przekroczyła wartości 1.015 mS/cm, istnieje więc zasadność ponownego zastosowania podczyszczono-

nych ścieków w procesach barwienia. Stwierdzono jednak obecność zawiesiny w podczyszczonych ściekach mogącej negatywnie wpływać na proces wybarwienia. W tabeli 2 zestawiono wskaźniki zanieczyszczeń w wodzie technologicznej stosowanej w zakładzie, pobieranej z pobliskiego potoku. Woda technologiczna, pochodząca z potoku miała kwaśny odczyn, bardzo niską przewodność właściwą, około dziesięciokrotnie niższą od przewodności podczyszczonych ścieków i posiadała znikomą zawartość jonów chlorkowych.

Budowa instalacji powrotu ścieków podczyszczonych

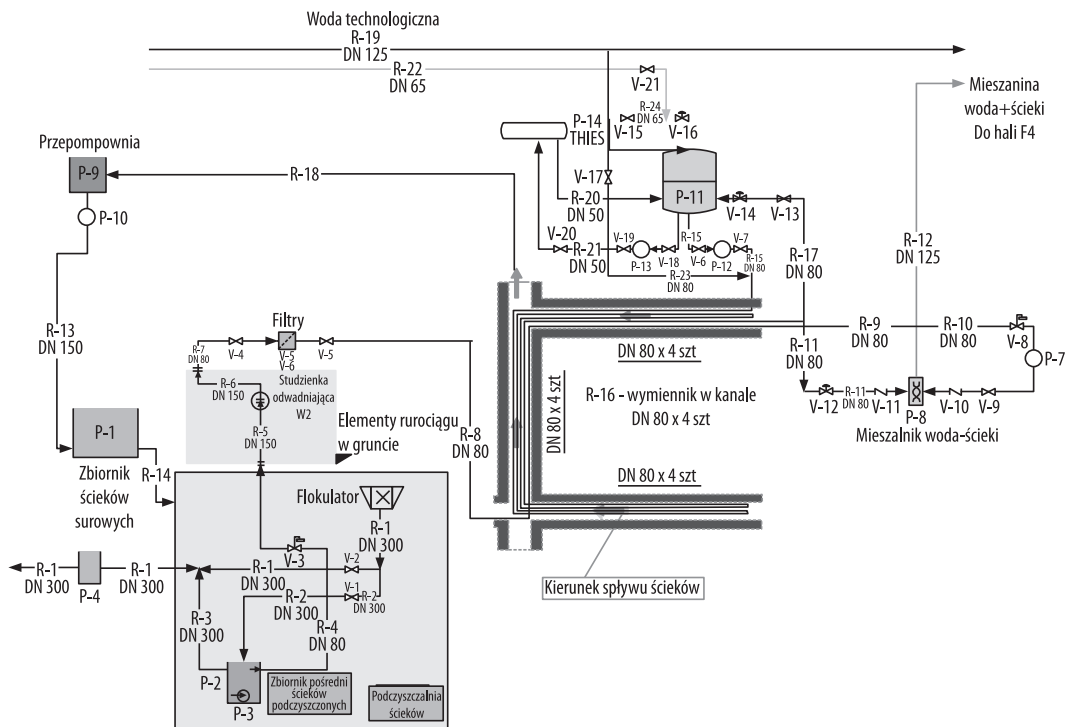
Schemat instalacji modelowej przedstawiono na rysunku 1. Po procesie oczyszczania ścieki z flokulatora P-1 kierowane były wcześniej do kanału zrzutowego (rurociąg R-1). Poprzez zamknięcie zaworu V-1 skierowano oczyszczone ścieki do zbiornika pośredniego ścieków podczyszczonych P-2 o pojemności 20 m³. Zbiornik ten umieszczono w przystosowanym do tego celu pomieszczeniu obok oczyszczalni z możliwością opróżniania go do kanału zrzutowego rurociągiem R-3. Ścieki oczyszczone przesyłane były ze zbiornika do rurociągu przesyłowego wielostopniową pompą wirową P-3 sterowaną falownikiem. Zadaniem falownika było utrzymanie stałego ciśnienia (0,6 MPa) na wlocie do instalacji przesyłowej. Realizowane było to przez czujnik ciśnienia I-1 i układ regulacyjny falownika C-1. Następnie ścieki filtrowane były w automatycznym filtrze samoczyszczącym P-4. Zapobiegało to przedostaniu się do aparatów farbiarskich niekorzystnych w procesie barwienia zawiesin włóknistych. Czyszczenie filtra następowało okresowo automatycznie wodą technologiczną. Po filtrze ścieki kierowane były rurociągiem R-4, biegnącym w hali oczyszczalni, do budynków fabrycznych. W budynkach fabrycznych rurociąg R-6 prowadzony był w podpiwniczeniu, stykając się z rurociągiem ścieków surowych, co też pozwalało odzyskać część ciepła poprzez przewodzenie od ścianki rurociągu transportującego gorące surowe ścieki do oczyszczalni. W najwyższych punktach rurociągu przesyłowego zainstalowano zawory odpowietrzające V-4 i V-5. Rurociąg wyprowadzony był z podpiwniczenia do hali, w której umieszczono zasobnik ciepła i mieszalnik P-5 (rurociąg R-7). Tu poprzez zawór odcinający V-6, regulacyjny V-7 i zwrotny V-8 dostarczana była do mieszalnika woda technologiczna i ścieki oczyszczone. Zadaniem zaworu zwrotnego jest zapobieganie przedostania się wstecznego wody technologicznej do instalacji ścieków oczyszczonych. Łączna długość rurociągów doprowadzających ścieki oczyszczone do mieszalnika wynosiła 220 m.

Proces wymiany ciepła w systemie zamkniętego obiegu wody

Opracowano trzy koncepcje odzysku ciepła ze ścieków barwiarskich. We wszystkich wariantach założono, że ciepło odzyskiwane ze ścieków będzie wykorzystane do ogrzania zimnej wody pobieranej z potoku. Ze względu na niż-

Rysunek 1

Schemat instalacji odzysku wody i ciepła ze ścieków włókienniczych



Źródło: opracowanie własne.

szą temperaturę tej wody niż ścieków podczyszczonych takie rozwiązanie było korzystniejsze z punktu widzenia ruchu ciepła i gwarantowało większy odzysk ciepła (dzięki większej różnicy temperatur). Podgrzana woda była następnie mieszana z oczyszczonymi ściekami. Z uwagi na zmienną temperaturę ścieków w szerokim zakresie (20-45°C) ścieki miały być kierowane do zbiornika spełniającego rolę zasobnika o pojemności 12 m³. Mieszanie strumieni ścieków oczyszczonych i wody świeżej z potoku odbywało się przy zastosowaniu mieszadeł statycznych. Woda świeża była dostarczana z istniejącej instalacji przemysłowej, a oczyszczone ścieki z oczyszczalni podawane za pomocą pompy. Instalację wyposażono w niezbędne elementy pozwalające na sprawdzenie jej działania przy sterowaniu ręcznym. Pozwoliło to na sprawdzenie procesu wybarwień przy użyciu mieszaniny woda-ścieki w proporcji 50:50 na wybranych barwiarkach.

Docelowo w instalacji przewidziane było sterowanie i regulacja automatyczna z wykorzystaniem komputera i łączy internetowych, co umożliwiło optymalizację pracy całego układu. Instalację odzysku ciepła zaopatrzone w sterownik wyłączający pompy cyrkulacyjne w przypadku spadku temperatury ścieków poniżej temperatury wody w zasobniku ciepła. Najważniejszym parametrem, istotnym z punktu widzenia procesów barwiarskich, było mieszanie wody i ścieków

oczyszczonych w określonych proporcjach. Mieszanie tych dwóch strumieni odbywało się w mieszalniku P-5, w którym umieszczono mieszadła statyczne. Do ustawienia odpowiednich proporcji woda-ścieki podczyszczone wykorzystywano zawory V-7 (ścieki) i V-10 (woda). Proporcje te ustalano początkowo na podstawie wskazań przepływomierzy I-5 (ścieki) I-6 (woda). Ręczne ustalenie tego parametru na podstawie tych wskazań było jednak uciążliwe, dlatego sprawdzono możliwość zastosowania przewodności jako parametru do oceny proporcji mieszania ścieki podczyszczone – woda. Ponieważ przewodność właściwa ścieków podczyszczonych jest prawie dziesięciokrotnie wyższa niż przewodność właściwa wody technologicznej, parametr ten nadawał się do zastosowania jako kryterium do oceny proporcji zmieszania ścieków z wodą. Ocena stopnia zmieszania wody technologicznej i ścieków uzyskaną na podstawie przewodności zweryfikowano ze wskazaniami uzyskanymi z przepływomierzy zainstalowanych na rurociągu ścieków podczyszczonych, wody technologicznej i mieszaniny woda – podczyszczone ścieki. Stwierdzono poprawność mieszania strumieni woda – ścieki podczyszczone w wymaganym zakresie stężeń. Została dokonana także ocena parametrów ścieków po wstępnym oczyszczeniu w Zakładowej Oczyszczalni Ścieków. Celem badań było sprawdzenie skuteczności działania zainstalowanych filtrów w modelowej instalacji odzysku wody. Ścieki z zakładowej oczyszczalni były przepompowywane do zbiornika o pojemności 20 m³. Filtry samoczyszczące umieszczone zostały za zbiornikiem. Wyniki badań parametrów podczyszczonych ścieków przed oraz po filtracji zamieszczono w tabeli 3, natomiast parametry wody technologicznej w tabeli 4. Z przedstawionych danych wynika, że zainstalowane filtry spowodowały czterokrotne zmniejszenie zawartości zawiesiny w podczyszczonych ściekach, jednocześnie nie powodując zmian pozostałych parametrów. Wpłynęło to w dużym stopniu korzystnie na jakość wykonanych wybarwień tkanin przy wykorzystaniu do procesu barwienia podczyszczonych ścieków.

Tabela 3
Wyniki pomiarów parametrów oczyszczonych ścieków

Parametr	Jednostka	Podczyszczone ścieki przed filtracją	Podczyszczone ścieki po filtracji
Liczba progowa barwy	-	5	-
ChZT	[mgO ₂ /dm ³]	73,2	72,1
Chlorki	[mg/dm ³]	484	480
Zawiesiny	[mg/dm ³]	16	4
pH	-	6,2	5,8
Temperatura	[°C]	27,8	27,0
Przewodność właściwa	[µS/cm]	1200	1090
Twardość	[°niem]	2	2

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4
Wyniki pomiarów parametrów wody technologicznej

Parametr	Jednostka	Wartość
Zawiesiny	[mg/dm ³]	2
pH	-	6,5
Temperatura	[°C]	14,2
Przewodność właściwa	[μS/cm]	146
Twardość	[°niem]	2

Źródło: opracowanie własne.

Instalacja odzysku ciepła ze ścieków surowych

Instalacja odzysku ciepła ze ścieków składała się z dwóch rurowych wymienników ciepła W-1 i W-2, pomp cyrkulacyjnych P-7 i P-8 i zasobnika ciepła P-6 o pojemności 10 m³. Każdy z wymienników ciepła zbudowany był z pęku 4 rur ze stali kwasoodpornej o średnicy DN80. Rury każdego z wymienników połączone były szeregowo i umieszczone w kanałach w dwóch warstwach. Powierzchnia wymiennika W1 wynosiła 16,77 m², a wymiennika W2 18,51 m². Wymienniki podłączone były równolegle w pętli cyrkulacyjnej. Kanały spustowe miały szerokość 0,5 m i głębokość 0,5÷1 m. Na końcu kanałów umieszczone zostały przegrody spiętrzające, dzięki czemu wymienniki zalane były gorącymi ściekami spływającymi z barwiarek umieszczonych na hali F-4.

Instalacja zasilana była zimną wodą technologiczną (pobieraną z potoku) rurociągiem R-11. Zawór zwrotny V-12 uniemożliwiał przedostanie się wody zimnej do zasobnika ciepła P-6 i kierował ją do rurociągu R-13. W pobliżu kanałów rurociąg rozgałęział się na dwie równoległe nitki R-14 i R-16, gdzie pompami cyrkulacyjnymi P-7 i P-8 woda kierowana była na wymienniki ciepła. Podgrzana woda z wymienników ciepła dostarczana była równoległymi rurociągami R-15 i R-17 do rurociągu powrotnego wody cieplej R-18, którym dopływała do zasobnika ciepła w około 1/3 jego wysokości. W przypadku, kiedy woda nie był pobierana do instalacji lub kiedy jej pobór był mniejszy niż wydajność pomp cyrkulacyjnych, woda cyrkulowała w obiegu zamkniętym, podwyższając temperaturę w zasobniku.

Wyniki badań przemysłowej instalacji odzysku ciepła

Czynnikami wpływającymi na efektywność odzysku ciepła były:

- temperatura ścieków w kanałach;
- pobór wody technologicznej;
- wydajność pomp recyrkulacyjnych;
- różnica temperatur wody i ścieków.

Ponieważ czynniki te zmieniały się w czasie, pomiary chwilowe przeprowadzone w ciągu jednej zmiany mogły dać jedynie wartości szacunkowe. Procesowa ocena efektywności odzysku ciepła była możliwa dopiero po zainstalowaniu sprawnego licznika ciepła.

Podczas pracy instalacji odzysku ciepła mierzono następujące parametry:

- temperaturę wody w zasobniku ciepła (I-14);
- średnią temperaturę ścieków w kanałach, w których umieszczono wymienniki ciepła W1 i W2 (czujniki I-12, I-13), i wyrzykowo temperaturę na wlocie i wylocie z kanału;
- temperaturę na wlocie i wylocie z wymienników przy kanale;
- objętościowe natężenie przepływu wody cyrkulującej w całym układzie i w obu gałęziach wymiennika W1 i W2.

Na rysunku 2 przedstawiono zmiany temperatury ścieków w kanałach i zasobniku ciepła w czasie kilku godzin pracy instalacji. W tym okresie prawie cały czas instalacja pracowała na pełnej cyrkulacji, czyli w warunkach niekorzystnych z punktu odzysku ciepła. Najwyższa odnotowana temperatura wlotowa ścieków zrzucanych do kanału wynosiła 83°C (godz. 16.10 w kanale 1). Jednak średnie temperatury w kanale były niższe, i jak wynika z rysunku 2, były rzędu 40°C.

Pomierzone wydajności pomp cyrkulacyjnych (sprawdzanych pojedynczo) wynosiły odpowiednio: P1 – 16,5 m³/h; P2 – 5,8 m³/h. Oznacza to, że układ wymiennika W2 pracował z gorszą wydajnością. Spowodowane to było tym, że obieg wymiennika W2 był około 33 m dłuższy niż W1. Należało zatem zaopatrzyć układ wymiennika W2 w pompę o większej wydajności albo zastosować jedną pompę cyrkulacyjną dla obu układów i zaworami regulować wydajność obu układów w zależności od temperatury ścieków w kanałach.

Na podstawie jedynie pomiarów chwilowych oszacowano ilość odzyskanego ciepła ze ścieków. Przyjmując czas pracy instalacji 200 dni w roku, szacowany odzysk ciepła wyniesie:

$$Z = (Q_1 + Q_2) \cdot 200 \cdot 24 \cdot 3600 = 2,6 \cdot 10^3 \text{ GJ/rok.}$$

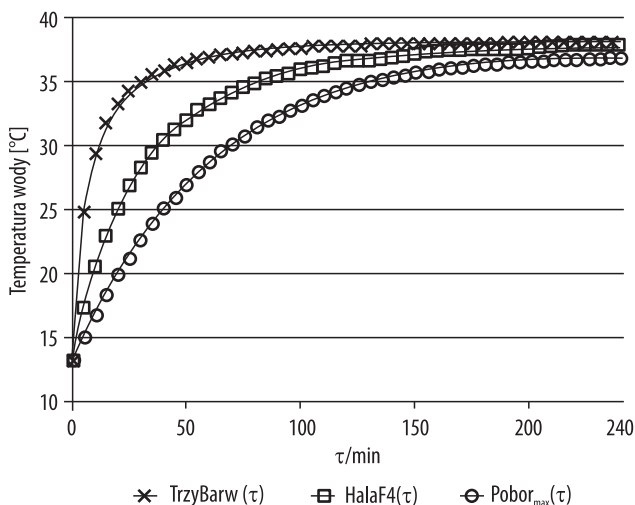
Na podstawie następujących rzeczywistych danych procesowych:

- średnia temperatura ścieków w kanałach K1-38,3°C i K2-39,3°C;
- powierzchnia wymiany ciepła wymienników W1 A₁=16,77 m² i W2 A₂=18,51 m²;
- natężenie cyrkulacji wody w obwodzie wymiennika W1 U₁=16,6 m³/h i W2 U₂= 5,7 m³/h;
- dla temperatury wlotowej wody technologicznej do układu odzysku ciepła t_{wody}=13°C wyliczono zmiany temperatury w zasobniku ciepła w czasie dla trzech wielkości poboru wody – do trzech barwiarek (2,8 m³/h), do całej hali F-4 (12,2 m³/h), i dla maksymalnego poboru wody w zakładzie (30 m³/h). Wyniki przedstawiono na wykresie (rysunek 3).

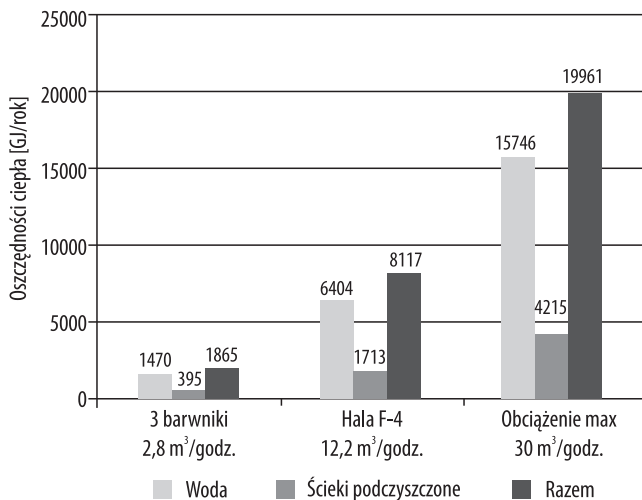
Na podstawie obliczeń z uwzględnieniem danych procesowych oszacowano oszczędności ciepła wynikające z:

- odzysku ciepła przez wodę technologiczną od ścieków zrzutowych w kanałach;

Rysunek 3
 Obliczeniowa temperatura wody z zasobniku ciepła (bez uwzględnienia strat) w funkcji czasu dla podanych wcześniej warunków technologicznych



Rysunek 4
 Szacunkowy odzysk ciepła dla różnego poboru wody i ścieków



Źródło: opracowanie własne.

- odzysku ciepła niesionego ze ściekami podczyszczonymi na skutek ich ogrzania do temperatury około 20°C poprzez kontakt rurociągu ścieków podczyszczonych z rurociągiem powrotnym ścieków surowych.

Rezultaty obliczeń przedstawiono na rysunku 4. Poprawnie działający licznik ciepła pozwolił scałkować wszystkie chwilowe wartości strumieni ciepła w wyniku podgrzewania wody technologicznej ciepłem zrzucanych do kanałów surowych, gorących ścieków i zweryfikować te szacunkowe obliczenia. Celem uzyskania lepszego odzysku ciepła należało dodatkowo zaizolować rurociągi przesyłowe między wymiennikami ciepła a zasobnikiem (długości kilkudziesięciu metrów) i usprawnić obieg wymiennika W2 (zastosować pompę o większej wydajności). Lepsze warunki odzysku ciepła zapewnił również sprawnie działający system regulacji automatycznej.

Podsumowanie wyników badań

Wykonane badania stężeń zanieczyszczeń w podczyszczonych ściekach potwierdziły zasadność ponownego ich wykorzystania w procesach obróbki wstępnej i barwienia po usunięciu obecnej w nich zawiesiny. Obecna w ściekach zawiesina powodowała znaczne pogorszenie jakości uzyskiwanych wybarwień w porównaniu z próbami barwionymi w wodzie technologicznej. Z tego powodu ścieki, które były kierowane do obiegu zamkniętego, były poddawane procesowi filtracji.

Wykonane badania jakości wybarwień tkanin wykazały, że założony wstępnie w projekcie 60% udział podczyszczonych ścieków w kąpielach barwiarских pozwalał na uzyskanie wybarwień analizowanych tkanin o jakości porównywalnej do tkanin barwionych w wodzie technologicznej w przypadku jednokrotnego zawrócenia podczyszczonych ścieków.

Na podstawie wykonanych projektów procesowych oraz projektu wykonawczo-budowlanego zbudowano instalacje obiegu zamkniętego. Instalacja odzysku wody i ciepła składała się z instalacji powrotu ścieków oczyszczonych w celu ponownego ich wykorzystania w procesach barwiarских oraz instalacji odzysku ciepła ze gorących ścieków surowych. Instalacja przesyłowa ścieków składa się z następujących głównych elementów: zbiornika akumulacyjnego, rurociągu, filtru ścieków oczyszczonych, pomp, zaworów, sterowników i układu automatycznej regulacji mieszania wody technologicznej z wodą odzyskaną z oczyszczalni przyzakładowej. Głównymi elementami zbudowanej instalacji odzysku ciepła ze ścieków po barwieniu były dwa przeponowe wymienniki ciepła umieszczone w kanałach spustowych ścieków surowych. Wymienniki ciepła współpracowały z zasobnikiem ciepła. W skład instalacji wchodziły ponadto dwie pompy obiegowe, które zasilają zasobnik ciepła.

Wyniki odporności wybarwień uzyskanych w badaniach przedkonkurencyjnych, przy wykorzystaniu mieszaniny wody technologicznej i wody z instalacji obiegu zamkniętego, wskazują, że nie uległy one pogorszeniu w stosunku do wzorca zakładowego. Był to jeden z dwóch podstawowych parametrów wdrożenia w realizowanym projekcie.

Ponowne, wielokrotne wykorzystanie tych samych podczyszczonych ścieków mogło spowodować zateżenie (akumulację) zanieczyszczeń, wpływając nie-

korzystnie na jakość wybarwień. Z tego powodu zdecydowano się zmniejszyć udział wody z instalacji zamkniętego obiegu do 50%. Przy zastosowaniu w stosunku 50:50 mieszaniny wody technologicznej i wody z instalacji uzyskano drugi założony parametr wdrożenia, czyli wartość parametru *Color Strength* pomiędzy 95–105% w stosunku do wybarwienia wzorcowego wybarwionego przy użyciu tylko wody technologicznej.

Na podstawie wskazań miernika ciepła za okres czterech miesięcy obliczono osiągnięte oszczędności z tytułu zarówno zmniejszenia poboru wody, jak i odzysku ciepła. Zakład zaoszczędził około 45 000 PLN przez okres czterech miesięcy. Można szacować, że przy poborze wody 10 m³/h oszczędności powinny wynosić około 120 000 PLN/rok, natomiast przy poborze wody 30 m³/h oszczędności będą trzy razy większe, to znaczy około 360 000 PLN/rok.

Wnioski

W ramach badań przemysłowych i przedkonkurencyjnych opracowano unikalną w skali kraju, technologię odzysku wody i ciepła ze ścieków wykończalniczych.

Opracowano technologię barwienia tkanin z włókien celulozowych i syntetycznych z wykorzystaniem wody pochodzącej z prototypowego, zintegrowanego systemu obiegu zamkniętego.

Uzyskano następujący poziom podstawowych parametrów wdrożenia:

- dokonana porównawcza ocena jakości wybarwień tkanin barwionych tradycyjnie oraz przy wykorzystaniu wody z obiegu zamkniętego wykazała, że względna intensywność wybarwień mieści się w założonych w projekcie granicach 95-105%;
- został zachowany poziom odporności wybarwień na pranie, tarcie i pot tkanin barwionych według opracowanej technologii;
- pobór wody ze środowiska dla procesów wykończalniczych po wdrożeniu nowej technologii odzysku wody wynosi 40%;
- oszczędność zużycia energii cieplnej na podgrzewanie kąpeli barwiarских po zainstalowaniu wymiennika ciepła wynosi 2 500 MWh/rok.