

Zdzisław Jan Małecki, Gabriel Borowski

## WENTYLACJA W WYBRANYCH OBIEKTACH INŻYNIERII WODNEJ

### Streszczenie

Czynnikami mającymi wpływ na samopoczucie ludzi w obiektach inżynierii wodnej to przede wszystkim: czystość i świeżość powietrza, temperatura i wilgotność powietrza, stężenie zanieczyszczeń gazowych (chemicznych). Wzrost wilgotności względnej powietrza powoduje zwiększenie tempa korozji stali i betonu oraz przyspiesza proces karbonatyzacji betonu. Stosowanie wentylacji w obiektach inżynierii wodnej zmniejsza procesy degradacji fizycznej w obiektach budowlanych stalowych i betonowych (żelbetowych). Ponadto odprowadzenie zysków ciepła z pomieszczeń, poprawia sprawność urządzeń mających tendencje do przegrzewania się (turbiny, silniki elektryczne, sprężarki powietrza, pompy etc.).

**Słowa kluczowe:** wentylacja, korozja stali i betonu, karbonatyzacja betonu, obiekty inżynierii wodnej.

### WPROWADZENIE

W pomieszczeniach wentylowanych przyjemnie jest przebywać w następstwie poprawy (ograniczenia) uciążliwych warunków ergonomicznych w odniesieniu do: czystości i świeżości powietrza, temperatury i wilgotności powietrza, podwyższonych stężeń zanieczyszczeń gazowych (chemicznych), pyłowych i mikrobiologicznych. Organizm człowieka posiada pewne ograniczone zdolności związane z dostosowaniem się do otoczenia [Pełech A. 2009].

### ERGONOMIA PRACY

Na odczucie parametrów mikroklimatu przez człowieka mają wpływ:

- a) czynniki zależne od człowieka: indywidualne odczucie temperatury, stan zdrowia, aktywność fizyczna, odzież (izolacja cieplna),
- b) czynniki niezależne od człowieka: temperatura i wilgotność względna powietrza, prędkość strumienia powietrza, temperatura przegród budowlanych, świeżość i czystość powietrza, jonizacja powietrza.

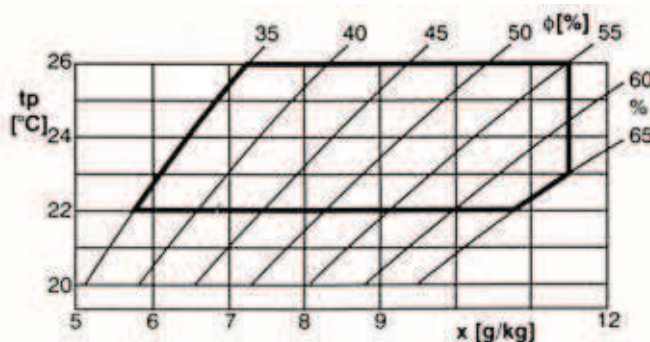
---

dr hab. inż. Zdzisław Jan MAŁECKI – Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Inżynierii Lądowej i Wodnej w Kaliszu.

dr inż. Gabriel BOROWSKI – Katedra Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska.

Wilgotność względna powietrza w granicach 35–60% ma niewielki wpływ na odczucia cieplne człowieka. Przy wilgotności względnej powyżej 70% para wodna może lekko wykraplać się na zimnych przegrodach. Natomiast temperatura powietrza zapewniająca warunki komfortu cieplnego człowieka w strefie przebywania ludzi powinna wynosić: w zimie 20–22 °C, w lecie 22–26 °C [Śliwowski L. 2000].

Obszar zalecanych ze względu na samopoczucie człowieka parametrów powietrza (rys. 1, tab. 1, 2).



Oznaczenia:

- $t_p$  – temperatura powietrza [°C],
- $\phi$  – wilgotność względna powietrza [%],
- $x$  – zawartość wilgoci [g/kg].

**Rys. 1.** Zalecana ze względu na samopoczucie człowieka wilgotność względna przy optymalnej temperaturze

Ilość powietrza dostarczana lub usuwana z pomieszczenia zależy od jego użytkowania i obciążenia zapachami oraz materiałami szkodliwymi. W instalacjach inżynierii wodnej ilość dostarczanego świeżego powietrza zależy też od wydzielanego ciepła. Określenia wydajności można dokonać według różnych kryteriów, na podstawie naj-

**Tabela 1.** Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego (wg normy PN-78/B-03421)

Aktywność fizyczna	Okres zimowy				Okres letni				
	temperatura	wilgotność względna		prędkość powietrza max	wartości optymalne		wartości dopuszczalne		prędkość powietrza max
		optymalna	dopuszczalna minimalna		temperatura	wilgotność względna	temperatura przy zyskach ciepła jawnego odniesionych do 1 m <sup>2</sup> powierzchni podłogi pomieszczenia lub strefy roboczej		
	°C	%		m/s	°C	%	do 50 W/m <sup>2</sup>	ponad 50 W/m <sup>2</sup>	°C
Miała	20–22	40–60	30	0,2	23–26	40–55	$t_z + 3$	$t_z + 5$	0,3
Średnia	18–20	40–60	30	0,2	20–23	40–60	$t_z + 3$	$t_z + 5$	0,4
Duża	15–18	40–60	30	0,3	18–21	40–60	$t_z + 3$	$t_z + 5$	0,6

**Tabela 2.** Krotność wymian powietrza i głośność (zalecenia) dla wybranych pomieszczeń

Rodzaj pomieszczeń	LW/h	Poziom dźwięku dB	Uwagi
Ubikacje zakładowe	8–15	50	wywiew
Akumulatorownie	5–10	70	wersja przeciwwybuchowa
Biura	4–8	45	
Prysznice	15–25	65–70	ogrzewanie wstępne
Garaże	ok. 5	70	wywiew
Laboratoria	8–15	60	wywiew, ex. kwasoodporna
Przebiegarnie	6–8	60	wywiew
Warsztaty:			
• duże zabrudzenia powierzchni	10–20	60–70	
• małe zabrudzenia powierzchni	3–6	60–70	
Maszynownie	10–40	60–80	bilans cieplny
Hale montażowe	4–8	50–70	
Spawalnie	6–8	60	wywiew

różniejszych wzorów. Jeśli do obliczeń użyć różnych kryteriów, to zakładamy zawsze, że występuje przypadek najmniej korzystny [Śliwowski L. 2000].

Część substancji w procesie produkcyjnym w obiektach inżynierii wodnej (podczyszczalnie ścieków, odłuszczoneczniki, oczyszczalnie mechaniczno-biologiczne, przepompownie ścieków) wydziela odrażające zapachy i materiały szkodliwe.

## PRZYCZYNY STOSOWANIA WENTYLACJI W OBIEKTACH INŻYNIERII WODNEJ

W następstwie stosowania wentylacji występuje ograniczenie procesów związanych ze zjawiskami korozji stali i betonów oraz karbonatyzacji betonu (fot. 1).

W przypadku przepływu ścieków kolektorami (komorami) betonowymi o zawartości siarczanów w osadach ściekowych i występujących na ścianach w wielkości ok. 3% przy wartości pH ok. 3.5 mamy do czynienia w przypadku korozji siarczanowej ze środowiskiem silnie agresywnym w stosunku do betonu (zużywany jest tlen przez bakterie tlenowe do degradacji substancji organicznych, co powoduje powstawanie warunków beztlenowych). W dalszej kolejności rozpoczynają się procesy fermentacyjne, w wyniku których wytwarzany jest siarkowodór jako źródło siarki dla bakterii z rodzaju *Thobacillus thiooxidans* oraz powstaje dwutlenek węgla. W następstwie procesów chemicznych wytworzona zostaje sól Candlota, która w wyniku krystalizacji (zwiększa 1,7-krotnie swoją objętość) oraz krystalizujący siarczan wapnia (gips) powodują pękanie struktury betonu (destrukcję) wywołane wewnętrznymi naprężeniami (korozja siarczanowa tzw. pęczniejąca) [Małecki Z. 2007].



Fot. 1. Studnia ujęcia głębinowego – widoczna korozja metali i karbonatyzacja betonu

Przebieg procesów korozji zależy od środowiska korozyjnego. Ogólnie korozję stali dzieli się na:

- chemiczną, zachodzącą w suchych gazach i cieczach nie mających właściwości elektrolitycznych,
- elektrolityczną, zachodzącą w następstwie działania na stal prądów, np. prądów błędnych,
- elektrochemiczną, zachodzącą w przypadku oddziaływania na stal cieczy lub wilgotnej atmosfery (rdza).

W zależności od wilgotności względnej powietrza wyróżnić można korozję [Łęcki W. 1986]:

- mokrą, w następstwie kondensacji wilgoci na powierzchni przy wilgotności względnej powietrza wynoszącej ok. 100%,
- wilgotną, przy wilgotności względnej poniżej 100%,
- suchą, przy całkowitym braku warstwy wilgoci na powierzchni stali.

Karbonatyzacja betonu powstaje w wyniku przemiany wodorotlenku wapniowego wchodzącego w reakcję z kwasem węglowym ( $H_2CO_3$ ) w węglan wapniowy ( $CaCO_3$ ). Znajdujący się w kamieniu cementowym lub uwolniony  $Ca(OH)_2$  oraz pozostały  $CaO$

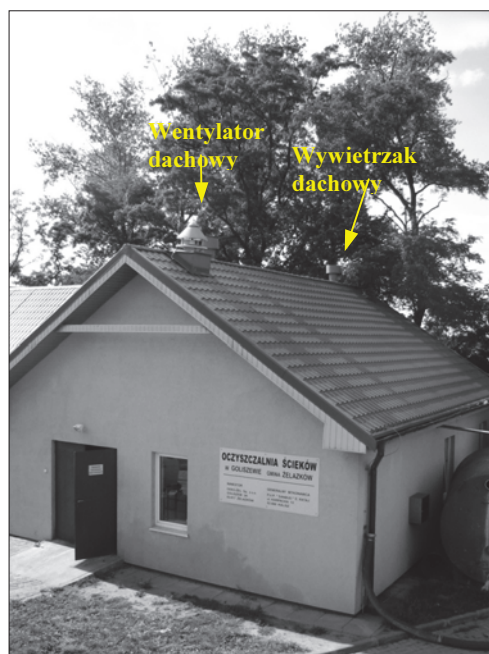
reaguje w obecności wody, w wyniku reakcji jonowej w  $\text{CaCO}_3$ . Przy  $\text{pH} = 10$  stal wykazuje tylko niewielką lub w ogóle żadną aktywność korozyjną, co oznacza, że stal zbrojeniowa w betonie o  $\text{pH} = 12,5$  nie koroduje [Antkiewicz i in. 2007, Małecki Z. 2008]. Wilgotność względna w granicach 100% zwiększa korozję stali i betonu oraz przyspiesza proces karbonatyzacji konstrukcji żelbetowych.

Odprowadzanie zysków ciepła z pomieszczeń, poprawia sprawność urządzeń mających tendencję do przegrzewania się (turbiny, silniki elektryczne, sprężarki powietrza, pompy tłoczące itp.).

## SYSTEMY WENTYLACJI STOSOWANE W INŻYNIERII WODNEJ

Do spowodowania wymiany powietrza w pomieszczeniach budowli inżynierii wodnej stosujemy systemy wentylacji:

- wentylacja grawitacyjna – wymiana powietrza odbywa się pod wpływem różnicy ciśnień spowodowanych różnicą gęstości powietrza w pomieszczeniach i na zewnątrz, a jego przepływ odbywa się przez specjalne wykonane otwory, kanały wywiewniki (fot. 2),
- wentylacja mechaniczna – ruch powietrza jest wywołany działaniem wentylatora (centrali wentylacyjnej) lub innego urządzenia. W następstwie tego usuwane jest powietrze zużyte (zanieczyszczone) z całej objętości pomieszczenia, a w jego miejsce dostarczane jest powietrze czerpane z zewnątrz, tzw. świeże (fot. 2).

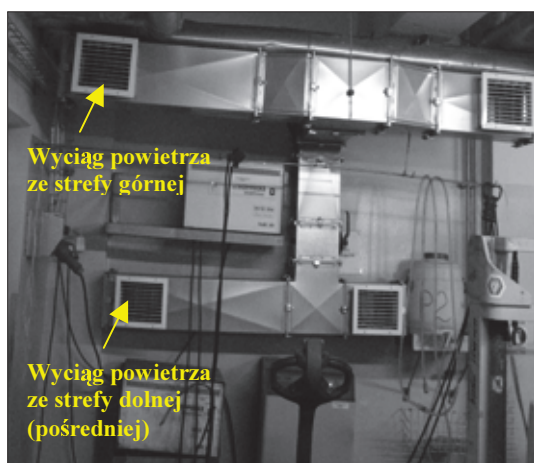


Fot. 2. Wentylacja grawitacyjna i mechaniczna

**Zadaniem wentylacji lokalizacyjnej** jest wychwycenie zanieczyszczeń wydzielających się w wyniku procesu technologicznego możliwie blisko miejsca ich powstawania z użyciem tzw. odciągów miejscowych w celu niedopuszczenia do rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w całym pomieszczeniu.



**Fot. 3.** Wentylacja lokalizacyjna – odciąg miejscowy w pomieszczeniu dozowania chemii do oczyszczania ścieków



**Fot. 4.** Wyciąg powietrza ze strefy górnej i niższej pomieszczenia dozowania chemii przy oczyszczaniu ścieków

Wyciąg powietrza zanieczyszczonego w przypadku dozowania chemii przy oczyszczaniu ścieków odbywa się ze strefy:

- górnej,
- dolnej,
- pośredniej.

Składniki chemiczne w zależności od temperatury w pomieszczeniu unoszą się w kierunku górnej strefy pomieszczenia lub opadają do strefy dolnej (np. ksylen, koagulanty glinowe i żelazowe itp.)

### **WYBRANE OBIEKTY INŻYNIERII WODNEJ (WENTYLACJA)**

Uwarunkowania wykonania wentylacji omówiono na przykładzie obiektów inżynierii wodnej: zbiorniki retencyjne, zbiorniki wodne wykonane z konstrukcji żelbetowych, stacje uzdatniania wody, podczyszczalnie ścieków, sieć kanalizacyjna grawitacyjna, oczyszczalnie ścieków mechaniczno-biologiczne wspomagane chemicznie, przepompownie wody, chłodnie wody (fot. 5–20).



**Fot. 5.** Przepompownia ścieków w Kaliszu, ul. Złota



**Fot. 6.** Grupowa oczyszczalnia ścieków w Kucharach k/Kalisza



**Fot. 7.** Chłodnia wody technologicznej





**Fot. 8.** Stacja uzdatniania wody w Kaliszu



**Fot. 9.** Elektrownia wodna „Jeziorsko”



**Fot. 10.** Podczyszczalnia ścieków i odtłuszczownik w Kaliszu



**Fot. 11.** Oczyszczalnia mechaniczno-biologiczna w Goliszewie k/Kalisza, Mleczarnia „Ceko”



**Fot. 12.** Ujęcie wody „Lis” ze studni zlokalizowanej wzdłuż rzeki Proсны i stacja uzdatniania wody – Kalisz



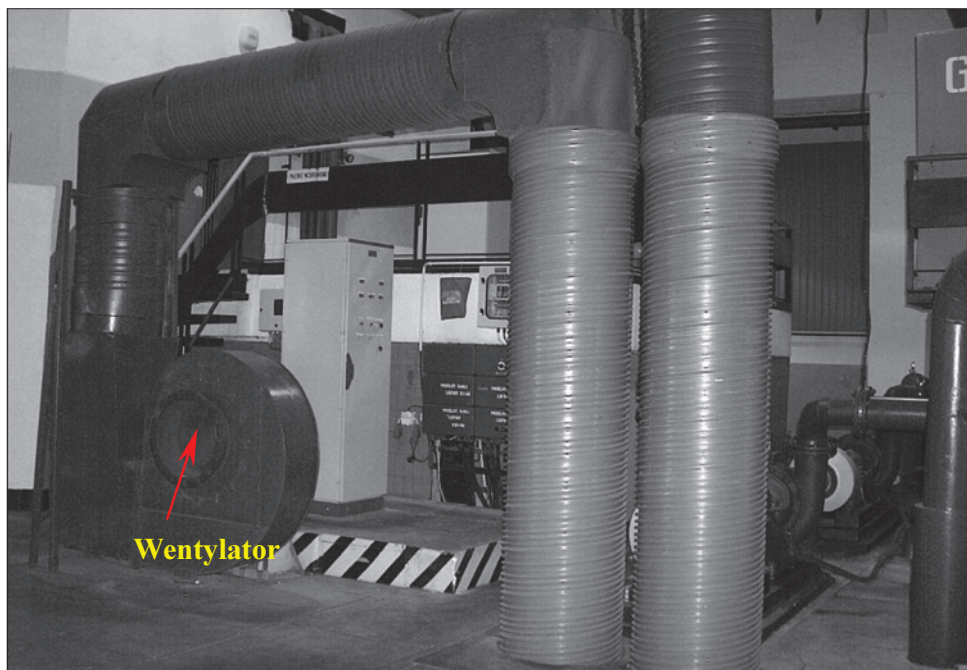
**Fot. 13.** Mała elektrownia wodna na rzece Prośnie w Kaliszu



Fot. 14. Zbiornik retencyjny „Jeziorsko” na rzece Warcie



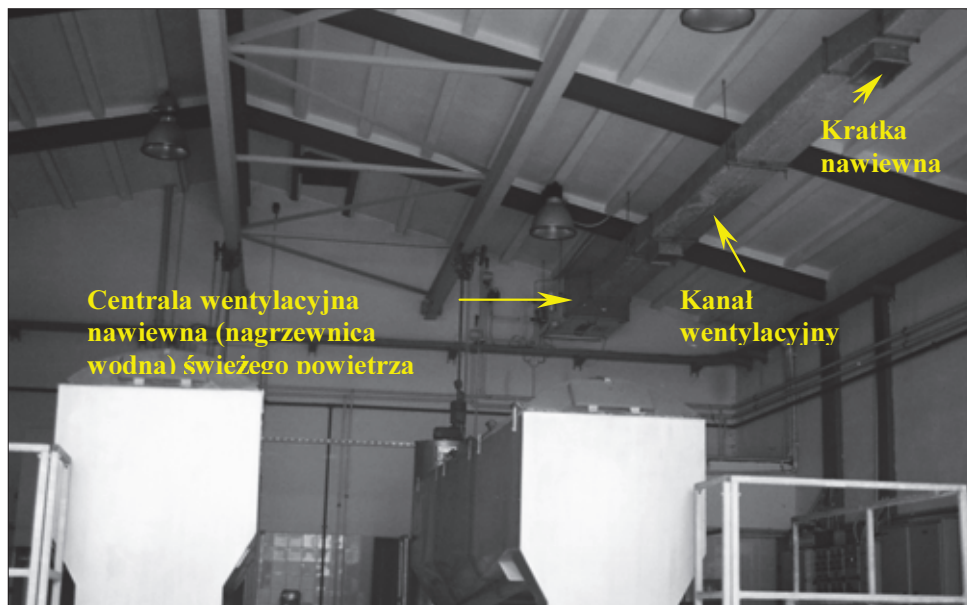
Fot. 15. Elektrownia wodna we Włocławku



Fot. 16. Elektrownia wodna we Włocławku – wentylacja sztolni



Fot. 17. Grupowa oczyszczalni ścieków w Kucharach k/Kalisza. Budynek aeratora



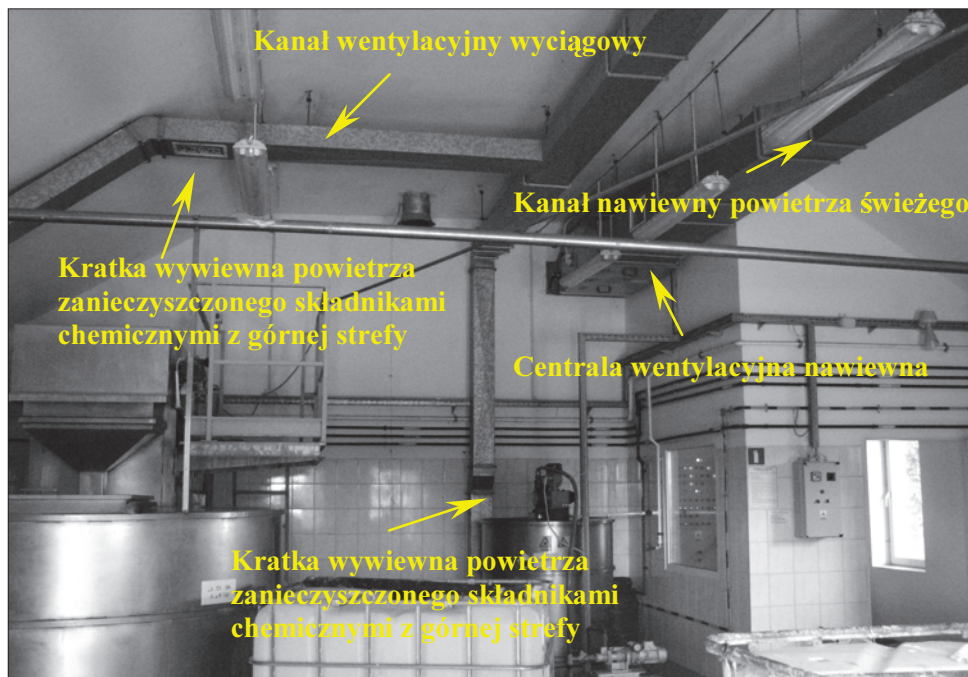
Fot. 18. Grupowa oczyszczalnia ścieków w Kucharach k/Kalisza



Charakterystyka kogeneratora:

- moc elektryczna – 192 KW,
- moc cieplna – 214 KW,
- odzysk ciepła – woda, CO,
- max. stężenie  $H_2S$  – 350 ppm,
- odsiarczanie gazu na złożach rudy darniowej,
- medium chłodzące – woda z glikolem,
- wentylacja mechaniczna.

Fot. 19. Grupowa oczyszczalnia ścieków w Kucharach k/Kalisza, kogeneratorski zasilany biogazem (skojarzona gospodarka)



Fot. 20. Oczyszczalnia mechaniczno-biologiczna (chemiczna) w Goliszewie.  
Pomieszczenia dozowania „chemii”

## WNIOSKI

1. W pomieszczeniach techniczno-produkcyjnych obiektów inżynierii wodnej wymagany jest udział 100% powietrza zewnętrznego (świeżego) przy zachowaniu właściwej krotności (ilości) wymian powietrza.
2. Wilgotność względna powietrza w granicy 100% zwiększa korozję stali i betonu oraz przyspiesza proces karbonatyzacji betonu.
3. Zastosowanie w wieży przelewowej zbiornika retencyjnego (np. Pokrzywnica k/Kalisza) kanału wentylacyjnego łączącego dolną część wieży z górną, łagodzi negatywne skutki drgań konstrukcji pochodzące od strumienia spadającej wody po „poduszce powietrznej”.
4. W następstwie stosowania wentylacji w obiektach inżynierii wodnej stwierdzono ograniczenie tempa występujących procesów związanych z korozją stali i korozją siarczanową betonu oraz karbonatyzację betonu.
5. Odprowadzenie zysków ciepła z pomieszczeń poprawia sprawność urządzeń mających tendencję do przegrzewania się (turbiny, silniki elektryczne, sprężarki powietrza, pompy tłoczące itp.).

Tabela 3. Uwarunkowania wykonania wentylacji w wybranych obiektach inżynierii wodnej

Lp.	Nazwa budowli	Obiekt		Środowisko	Występowanie negatywnych zjawisk fizyczno-chemicznych	Parametry fizyczne i chemiczne, które należy uwzględnić przy projektowaniu instalacji wentylacji					
		Lp.	Nazwa			temperatura powietrza wewnętrznego	świeżość powietrza	czystość powietrza	substancje szkodliwe	odprowadzenie zysków ciepła od procesów techn. ogółem	zmniejszenie wilgotności powietrza
1.	Zbiorniki retencyjne	1.1.	Stłownie wodne	wilgotne	<ul style="list-style-type: none"> <li>korozja stali</li> <li>karbonatyzacja konstrukcji żelbetonowych</li> </ul>	+		+	+	+	
		1.2.	Elektrownie wodne (przesyłowe, podszczytowe, szczytowo-pompowe)	częściowo wilgotne	<ul style="list-style-type: none"> <li>korozja stali</li> <li>karbonatyzacja konstrukcji żelbetonowych</li> </ul>	+		+	+	+	
2.	Zbiorniki wodne wykonane z konstrukcji żelbetonowych	2.1.	Magazynowanie wody po uzdatnieniu	bardzo wilgotne	<ul style="list-style-type: none"> <li>karbonatyzacja konstrukcji żelbetonowych</li> <li>karbonatyzacja konstrukcji żelbetonowych</li> </ul>			+			+
		2.2.	P.poż	wilgotne, nieznacznie, agresywne	<ul style="list-style-type: none"> <li>karbonatyzacja konstrukcji żelbetonowych</li> </ul>						+
3.	Stacje uzdatniania wody	3.1.	Klarowanie, odbarwienie, odżelazianie, odmanganianie, dezynfekcja, odkażanie, odgazowywanie, zmiękczenie itp.	bardzo agresywne	<ul style="list-style-type: none"> <li>korozja stali</li> <li>karbonatyzacja konstrukcji żelbetonowych</li> </ul>		+				
		3.2.	Transport ścieków	bardzo agresywne	<ul style="list-style-type: none"> <li>korozja stali</li> <li>karbonatyzacja konstrukcji żelbetonowych</li> </ul>	+			+	+	
4.	Podczyszczalnie ścieków np. kontenerowe	4.1.	Wydziałowe, zakładowe itp.	bardzo agresywne	<ul style="list-style-type: none"> <li>korozja stali</li> <li>karbonatyzacja konstrukcji żelbetonowych</li> </ul>	+			+	+	
		5.1.	Komory betonowe oraz rurociągi z betonu sprężonego	bardzo agresywne	<ul style="list-style-type: none"> <li>karbonatyzacja konstrukcji żelbetonowych</li> <li>korozja siarczanowa konstrukcji betonowych</li> </ul>				+		+
6.	Oczyszczalnie ścieków mechaniczno-biologiczne wspomagane chemicznie	6.1.	Kraty, siła	bardzo agresywne	<ul style="list-style-type: none"> <li>intensywna korozja stali</li> <li>karbonatyzacja konstrukcji żelbetonowych</li> </ul>		+		+	+	
		6.2.	Prasy, zagęszczarki (bębnowe)	agresywne	<ul style="list-style-type: none"> <li>korozja stali i częściowo karbonatyzacja konstr. żelbetonowych</li> </ul>		+		+	+	
7.	Przepompownie wody	6.3.	Pomieszczenia dozowania chemii	bardzo agresywne	<ul style="list-style-type: none"> <li>intensywna korozja stali</li> </ul>	+			+	+	
		6.4.	Komory nadareatorami	agresywne	<ul style="list-style-type: none"> <li>intensywna korozja stali</li> </ul>				+	+	
8.	Chłodnie wody	7.1.	Transport wody	wilgotne	<ul style="list-style-type: none"> <li>korozja stali</li> </ul>		+			+	
		8.1.	Kominowe, kontenerowe	wilgotne	<ul style="list-style-type: none"> <li>korozja stali (karbonatyzacja)</li> </ul>	+			+	+	



## LITERATURA

1. Antkiewicz J., Tężyczki W.: Trwałość i przyczepność napraw wykonanych na betonowych ekranach zapór ziemnych. Nauka, przyroda, technologia – Melioracje i Inżynieria Środowiska, AR, Poznań 2007.
2. Łęcki W.: Korozja i ochrona przed korozją budowli. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Oddział w Poznaniu, 1986.
3. Małecki Z.: Karbonatyzacja budowli hydrotechnicznych i metody naprawy. Ekotechnika nr 1, 44, 2008: 38–40.
4. Małecki Z.: Korozja siarczanowa konstrukcji betonowych kolektora kanalizacyjnego. Ekotechnika nr 1, 41, 2007.
5. Śliwowski L.: Mikroklimat wnętrz i komfort cieplny w pomieszczeniach. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000.
6. Pełech A.: Wentylacja i klimatyzacja. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2009.
7. PN-78/B-03421 Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi.

## LÜFTUNG IN AUSGEWÄHLTEN GEBÄUDEN DES WASSERBAUS

### Zusammenfassung

Die Faktoren, die einen Einfluss auf das Wohlfühl der Menschen in Gebäuden des Wasserbaus ausüben, sind vor allem Reinheit, Frische und Feuchtigkeit der Luft und weiter die Kondensation der (chemischen) Gasverschmutzungen. Die Erhöhung der relativen Luftfeuchtigkeit verursacht die Temperatureigerung der Stahl- und Betonkorrosion und beschleunigt die Betonkarbonisierung. Die Anwendung der Lüftung begrenzt in Gebäuden des Wasserbaus die Prozesse der physischen Degradation in Stahl- und Betonkomplexen. Die Wärmeausführung verbessert zusätzlich die Leistungsfähigkeit der Anlagen, die eine Tendenz zum Heißlaufen zeigen (Turbinen, Elektromotoren, Luftkompressoren, Pumpen usw.).

**Schlüsselworte:** Lüftung, Stahlkorrosion, Betonkorrosion, Betonkarbonisierung, Gebäude des Wasserbaus.