

Piotr Ratajczak

Envirotech sp. z o.o.

Stabilizacja tlenowa – przegląd sposobów obliczeniowych

Oxygen stabilization – inspection of computational ways

W artykule omówiono praktyczne podejście do obliczania kubatury komór tlenowej stabilizacji osadu oraz zapotrzebowania na tlen na podstawie wzorów i założeń literaturowych. Podjęto próbę usystematyzowania wskaźników w literaturze współczynników i granic wielkości przyjmowanych w zależności od konkretnych warunków zakładanych na etapie obliczeń.

The article presents analysis practical approach to the calculating the volume of aerobic sludge digestion chambers and of demand for oxygen for them. Calculations based on patterns and assumptions from literature. I try to systematizing rates and border parameters from the literature which are accepted to the calculations and which depending on specific conditions established at the stage.

W oczyszczalniach ścieków powstaje wiele odpadów w procesach technologicznych oczyszczania ścieków, które muszą zostać poddane odpowiedniej „obróbce” obniżającej zagrożenie dla środowiska. Unieszkodliwianiu podlegają m.in. skratki zatrzymane na kratkach (sitach), piasek z piaskowników, tłuszcze, a przede wszystkim osad wstępny i nadmierny. Prowadzenie właściwej gospodarki osadowej jest jednym z najważniejszych problemów eksploatatorów oczyszczalni ścieków, kolejnym jest późniejsze zagospodarowanie powstających osadów. Osad surowy z osadników wstępnych po mechanicznym oczyszczaniu ścieków, jak również osad nadmierny usuwany z układu biologicznego ulega różnego rodzaju procesom, takim jak np. zagęszczanie w zagęszczaczach grawitacyjnych bądź zagęszczarkach mechanicznych, stabilizacji tlenowej lub beztlenowej (z uzyskaniem biogazu), odwadnianiu, higienizacji oraz suszeniu w halach słonecznych, suszarkach taśmowych czy też spalaniu w piecach (np. fluidalnych). Głównym celem prowadzonych procesów jest zmniejszenie objętości osadów poprzez zagęszczenie i odwodnienie. Obniża się dzięki temu koszty transportu, a w połączeniu z ich stabilizacją dostajemy stabilny i zhygienizowany pod względem bakteriologicznym osad. Jedną ze stosowanych metod technologicznych jest stabilizacja tlenowa osadu (STO lub też KTSO – klasyczna tlenowa stabilizacja osadu). Określenie „klasyczna” podkreśla brak modyfikacji wprowadzanych dla poprawienia efektów. Szacuje się, że w 2004 r. tlenowa stabilizacja osadu była prowadzona w 444 oczyszczalniach jako podstawowy i jedyny proces stabilizacji osadów [1]. Najczęściej rozwiązanie to jest stosowane w małych oczyszczalniach ścieków do 10 000 RLM (równoważnej liczby mieszkańców), dla któ-

rych nie jest wymagane usuwanie azotu i fosforu (pod warunkiem, że wprowadzanie ścieków nie odbywa się do jezior i ich dopływów oraz bezpośrednio do sztucznych zbiorników wodnych usytuowanych na wodach płynących [2]). Cechą charakterystyczną takich oczyszczalni są uproszczone układy technologiczne. Stosuje się na przykład zblokowane urządzenia do mechanicznego oczyszczania ścieków tzw. sitopiaskowniki łączące funkcję sit (krat) oraz piaskowników. W części biologicznej stosowanym uproszczeniem są zblokowane układy biologicznego oczyszczania ścieków z osadnikami wtórnymi oraz zagęszczaczami grawitacyjnymi tzw. biobloki. Projektując zmiany technologiczne w takich oczyszczalniach z uwzględnieniem komór stabilizacji tlenowej, często nie likwiduje się obiektów wyłączanych z eksploatacji, tylko adaptuje do prowadzenia procesu stabilizacji osadu. Adaptacja małych osadników wtórnych lub wyłączanych z eksploatacji osadników Imhoffa staje się czymś oczywistym i normalnym. Rozwiązania projektowe nie są ograniczane wyłącznie do wspomnianych małych obiektów. Przykładem może być modernizacja oczyszczalni ścieków Katowice – Panewniki. Projekt jej modernizacji przewiduje adaptację jednego z otwartych basenów fermentacyjnych (OBF-u) na komorę stabilizacji tlenowej napowietrzanej aeratorem powierzchniowym. Równocześnie drugi z OBF-ów będzie pełnił funkcję magazynu osadu po procesie stabilizacji przed procesem odwadniania mechanicznego.

Przy zmianie funkcji i adaptacji wyłączanych komór na STO lub projektowaniu całkowicie nowych zbiorników istotne są zakładane przez projektantów współczynniki obliczeniowe na przykład: obciążenie suchą masą osadu, wiek osadu, zawartość substancji organicznej suchej. Odpowiednie

założenia projektowe parametrów obliczeniowych gwarantują właściwy efekt przy jednoczesnym optymalnym wykorzystaniu istniejących kubatur obiektów lub projektowanych nowych.

Proces stabilizacji tlenowej osadu prowadzony jest w otwartych komorach (w temperaturze otoczenia) przy wykorzystaniu powietrza. Dostarczony z powietrzem tlen (podobnie jak w procesie oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego w reaktorach biologicznych) jest zużywany przez mikroorganizmy do utleniania związków organicznych, zapobiegając zagniwaniu osadu i jednocześnie zapewniając jego mieszanie [3]. Przy udziale tlenu i bakterii dochodzi do przekształcenia łatwo rozkładalnych substancji, takich jak np. białka, skrobia, cukry proste, oraz trudniej rozkładalnych, jak np. tłuszcze, ligniny, pektyny. Ostatecznie powstają stabilne produkty nieorganiczne, takie jak dwutlenek węgla, woda, azotany i siarczany [4]. Proces stabilizacji można podzielić na trzy etapy. W pierwszym następuje szybki przyrost liczby bakterii oraz ich biomasy dzięki wykorzystaniu łatwo rozkładalnych substancji organicznych. W momencie wykorzystania całej ilości substancji łatwo rozkładalnych stanowiących pożywkę następuje przejście do drugiego etapu, w którym ilość bakterii maleje. Dochodzi do „kanibalizmu”, naturalnej selekcji i eliminacji mikroorganizmów. Najpierw utlenione zostają zmagazynowane substancje zapasowe, następnie dochodzi do znacznie szybszego obumierania bakterii niż ich wzrostu. Organizmy bardziej rozwinięte z powodu braku pokarmu zaczynają „zjadać” organizmy niższe. Konsekwencją tego jest zmniejszenie liczby mikroorganizmów poprzez ich samoutlenianie. Trzeci etap jest kontynuacją drugiego, w efekcie obniża się zapotrzebowanie na tlen, ilość biomasy nie ulega zmianie [5]. Najistotniejszym efektem STO jest otrzymanie stabilnego biologicznie osadu, obniżenie ilości bakterii gnilnych i fermentacyjnych oraz wstępna higienizacja [3, 5]. Zauważalnym efektem właściwie prowadzonego procesu stabilizacji osadu jest zmiana zapachu z nieprzyjemnego gnilnego na mniej uciążliwy ziemisty. Osad nadmierny po stabilizacji nie zmienia barwy, jak ma to miejsce w przypadku osadu wstępnego, którego kolor przechodzi z czarnego (szarego) w jasnobrązowy (brązowy) [5, 6]. Inne zalety procesu, które nie są dostrzegalne „gołym okiem”, to: zmniejszenie ilości związków organicznych oraz suchej masy, wzbogacenie osadu w substancje humusowe, co poprawia jego własności nawozowe. Proces nie jest jednak pozbawiony wad. Do podstawowych należą: pogorszenie właściwości osadu do odwadniania mechanicznego, koszty eksploatacyjne wynikające z energochłonności STO oraz znaczna zależność przebiegu procesu od wielu czynników. W przypadku dużych oczyszczalni wadą STO jest brak produkcji biogazu (która jest możliwa w procesach beztlenowych prowadzonych w zamkniętych komorach fermentacyjnych) umożliwiającego generowanie dodatkowych korzyści w postaci ciepła i energii elektrycznej. Wyprodukowana w ten sposób zielona energia umożliwia uzyskanie certyfikatów przynoszących dodatkowe efekty finansowe [6]. Przynośone wady są argumentem dla przeciwników budowy układu stabilizacji tlenowej. Rozwiązaniem alternatywnym stosowanym w mniejszych oczyszczalniach ścieków jest symultaniczna tlenowa stabilizacja osadu prowadzona bezpośrednio w reaktorze biologicznym w komorze nityfikacji. Kierunek ten jest rzadziej wybierany ze względu na trudność w prowadzeniu równoległe procesu nityfikacji i stabilizacji (zwłaszcza gdy wymagane jest

w pozwoleniu wodnoprawnym równoczesne usuwania azotu, fosforu i węgla). Dodatkowo proces symultanicznej tlenowej stabilizacji wymaga dłuższego wieku osadu.

Oceniając możliwości budowy nowych zbiorników STO lub adaptacji innych obiektów, warto dokładniej zapoznać się ze wzorami, mając na uwadze wartości graniczne parametrów. Właściwe założenia przyjęte na etapie przygotowania projektu zapewniają odpowiednie warunki do prowadzenia procesu.

Do komór STO można kierować osad surowy z osadników wstępnych rzadziej stosowanych w mniejszych oczyszczalniach i osad nadmierny odprowadzany z osadników wtórnych po układzie biologicznym bądź też ich mieszanie. Osad przed STO może być wcześniej zagęszczony np. w zagęszczaczu grawitacyjnym lub zagęszczarce mechanicznej. Urządzenia te zmniejszają objętości osadów poprzez oddzielenie się wody wolnej, tj. międzycząsteczkowej, niezwiązanej w żaden sposób z cząstkami osadu. Wówczas wymagana kubatura komór stabilizacji będzie odpowiednio mniejsza. Iloczyn czasu przetrzymania oraz objętości osadu trafiającego do stabilizacji jest najprostszym sposobem wyznaczenia wymaganej kubatury. Należy pamiętać, że wzór ten nie uwzględnia wielu czynników, jak na przykład obciążenia komór stabilizacji tlenowej suchą masą organiczną (na metr sześcienny objętości komory i dobę) czy zawartości suchej masy organicznej łatwo rozkładalnej, która wpływa na czas przetrzymania oraz zapotrzebowanie na tlen. Zakładając, że objętość osadów trafiająca do komór tlenowej stabilizacji została wyznaczona właściwie z uwzględnieniem redukcji suchej masy, a tym samym i objętości osadu w zagęszczaczu grawitacyjnym (bądź zagęszczarce mechanicznej), możemy przystąpić do dalszych obliczeń. Na początku wykonywania obliczeń określamy rodzaj osadu poddawanego stabilizacji tzn. czy jest to osad wstępny, nadmierny czy ich mieszanina. Dla osadów zmieszanych istotna jest proporcja wymieszania (jaka ilość osadu surowego z osadników wstępnych przypada na jednostkową ilość osadu nadmiernego odprowadzonego z komór osadu czynnego). Jakość osadu wpływa bezpośrednio na kinetykę procesu oraz zakładane parametry obliczeniowe. Osad surowy zawiera w przeważającej mierze łatwo rozkładalną masę organiczną – dobrze przyswajalną biologicznie. Odwrotna sytuacja występuje w przypadku osadu nadmiernego. Zawiera on dużą liczbę mikroorganizmów (jest to przecież osad czynny usunięty z układu biologicznego) przy niewielkiej ilości przyswajalnej masy organicznej. Wpływa to wszystko na czas przetrzymania osadu w STO, ponieważ im więcej osadu nadmiernego, tym czas stabilizacji jest krótszy. Duża liczba konsumentów (bakterii) zawartych w osadzie nadmiernym przy niewielkiej ilości pokarmu jest przyczyną wspomnianego wcześniej kanibalizmu u mikroorganizmów.

W przypadku osadu surowego dzięki dostępności do pokarmu w pierwszej kolejności dochodzi do wzrostu liczby bakterii, a dopiero później kanibalizmu, co wymaga czasu. Literaturowo czas stabilizacji tlenowej w zależności od osadu wynosi od 6÷8 dla osadu nadmiernego, poprzez 12÷15 dla osadu zmieszanego w stosunku 1:1 aż do 20÷25 dni w przypadku osadu wstępnego [6].

Istnieje bezpośrednia zależność pomiędzy objętością komory stabilizacji a stężeniem suchej masy organicznej osadu (wzór 1). Podwyższenie stężenia suchej masy organicznej powoduje wzrost objętości komory.

$$V_{KTSO} = \frac{V_{os} \cdot Z_{smo}}{O_v} = \frac{V_{os} \cdot Z_{sm} \cdot p_{smo}}{O_v} = V_{os} \cdot t \quad (1)$$

- V_{KTSO} – objętość komory stabilizacji osadu [m^3],
 V_{os} – objętość osady trafiająca do komory stabilizacji osadu [m^3/d],
 Z_{sm} – stężenie osadu po zagęszczarce lub zagęszczaczu, określone jako stosunek masy osadu do objętości osadu odprowadzanego w dobie [$kg\ sm./m^3$],
 Z_{smo} – stężenie suchej masy organicznej zawartej w Z_{sm} [$kg\ sm.o./m^3$],
 p_{smo} – procent zawartości suchej masy organicznej w suchej masie [%],
 t – czas przetrzymania w komorze stabilizacji osadu [d],
 O_v – obciążenie komory stabilizacji osadu [$kg\ sm.o./m^3d$].

Bazując na zakresach właściwych obciążeń podawanych w literaturze, można stwierdzić, że dzielą się one na niskie w zakresie od $0,384 \div 1,6\ kg\ sm.o./m^3d$ (według innych autorów $0,65 \div 1,9$), średnie od 1,1 do $3,2\ kg\ sm.o./m^3d$ (według innych autorów $1,5 \div 3,0$) oraz wysokie w zalecanym przedziale od $1,6 \div 4,8\ kg\ sm.o./m^3d$ [5]. Zakresy te zachodzą na siebie i trudno jest wskazać konkretne granice dla umownie określanego niskiego, średniego i wysokiego obciążenia. Wszystko to powoduje, że nie ma odpowiedzi na najważniejsze pytania, w jakim przypadku i dla jakiego rodzaju osadu (jego stężenia) dany zakres jest najwłaściwszy. Punkt wyjścia stanowi wzór 2 definiujący obciążenie komór tlenowej stabilizacji osadu suchą masą zawieszin jako iloraz stężenia suchej masy organicznej i czasu przetrzymania:

$$O_v = \frac{Z_{smo}}{t} \quad (2)$$

- O_v – obciążenie komory stabilizacji osadu [$kg\ sm.o./m^3d$],
 Z_{smo} – stężenie suchej masy organicznej zawartej w Z_{sm} [$kg\ sm.o./m^3$],
 t – czas przetrzymania w komorze stabilizacji osadu [d].

Czas przetrzymania osadu w komorze stabilizacji przyjmuje się w zależności od rodzaju osadu (wstępny, zmieszany czy nadmierny) zgodnie z wcześniej przedstawionymi zależnościami, które wpływają na kinetykę procesu stabilizacji. Pozostaje wówczas jedynie kwestia powiązania obciążenia komory stabilizacji ze stężeniem suchej masy organicznej. Na rysunku 1 przedstawiono nomogram obrazujący zmianę wielkości obciążenia w zależności od czasu przetrzymania i stężenia suchej masy osadu [7].

Kolorami zaznaczono opisane w literaturze czasy przetrzymania w komorze stabilizacji przyjmowane w obliczeniach w zależności od rodzaju osadu. Zakładając na przykład stabilizację osadu zmieszanego (surowego i nadmiernego) w stosunku 1:1, czas przetrzymania powinien być przyjmowany z przedziału od 12 do 15 d. Wzrost stężenia suchej masy organicznej podwyższa obciążenie komór stabilizacji, dla osadu surowego stosujemy niskie obciążenia, przechodząc poprzez średnie obciążenia dla osadów zmieszanych do wysokich obciążeń dla osadu nadmiernego. Oczywiście, w przypadku adaptowania obiektów na komory tlenowej stabilizacji osadu istotne jest znalezienie rozwiązania optymalnego pod względem wykorzystania istniejącej kubatury, właściwego do czasu przetrzymania oraz obciążenia. Podobnie jest z wyznaczeniem ilości zapotrzebowania na powietrze i tlen do prowadzenia procesu stabilizacji. Właściwe obliczenia gwarantują uzyskanie pożądanego efektu, jakim jest stabilny biologicznie osad przy zrównoważonych

kosztach eksploatacyjnych wynikających z niezbędnej ilości powietrza dostarczanego przez dmuchawy (i mocy zainstalowanej dmuchawy). Powietrze do stabilizacji doprowadzone może być poprzez dyfuzory średnio- bądź grubopęcherzykowe lub z wykorzystaniem aeratorów powierzchniowych. Na przykład w projekcie przebudowy oczyszczalni ścieków w Nowogrodzcu zaprojektowano dwie radialne komory stabilizacji, w których napowietrzanie będzie się odbywało za pomocą dyfuzorów rurowych. Zupełnie odmienne rozwiązanie zastosowano w projekcie rozbudowy oczyszczalni ścieków w Stroniu Śląskim. Stabilizacja będzie tam prowadzona w dwóch komorach żelbetowych zamkniętych płytą betonową w której zamontowane zostaną aeratory centralne z systemem inżektorowym.

Niezależnie jednak od wybranego systemu napowietrzania, sposób wyznaczenia wymaganego zapotrzebowania na tlen do prowadzenia procesu jest taki sam i opiera się na następujących zależnościach:

$$Z_{O_2} = O_j \cdot \frac{smo_{dop} - smo_{odp}}{t} \cdot V_{KTSO} \quad (3)$$

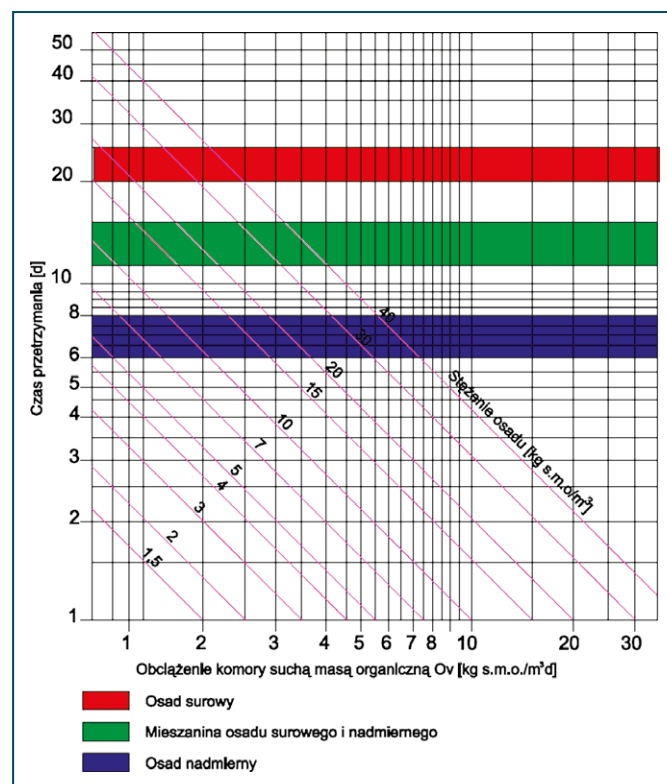
$$Z_{O_2} = O_j \cdot \frac{V_{os} \cdot Z_{smo}}{24} \cdot \Delta smo \quad (4)$$

Z_{O_2} – zapotrzebowanie na tlen do prowadzenia procesu tlenowej stabilizacji osadu [$kg\ O_2/d$] bądź [$kg\ O_2/h$],

O_j – ilość tlenu potrzebna do utlenienia 1 kg suchej masy organicznej [-],

smo_{dop} – sucha masa organiczna biologicznie rozkładalna na dopływie do komory stabilizacji, przyjmowana jako stężenie suchej masy organicznej Z_{smo} [$kg\ sm.o./m^3$],

smo_{odp} – sucha masa organiczna biologicznie rozkładalna na odpływie z komory stabilizacji, stanowi różnicę pomiędzy Z_{smo} a stężeniem suchej masy organicznej łatwo rozkładalnej określanej ze wzoru: [$kg\ sm.o./m^3$]



Rys. 1. Zależność pomiędzy czasem przetrzymania a obciążeniem komór tlenowej stabilizacji osadu w zależności od stężenia osadu [7]

$$Z_{smo} = Z_{sm} \cdot p_{smo} \quad (5)$$

$$Z_{smor} = Z_{smo} \cdot p_{smor} \quad (6)$$

Z_{smo} – stężenie suchej masy organicznej [kg sm.o./m³],
 Z_{sm} – stężenie osadu po zagęszczarce [kg sm./m³],
 Z_{smor} – stężenie rozkładalnej suchej masy organicznej [kg sm.o./m³],
 p_{smo} – procent zawartości suchej masy organicznej w suchej masie [%],
 p_{smor} – procent zawartości rozkładalnej suchej masy w suchej masie organicznej [%],
 V_{KTSO} – objętość komory stabilizacji osadu [m³],
 V_{os} – objętość osadu po zagęszczaczach grawitacyjnych [m³/d],
 Z_{smo} – stężenie suchej masy organicznej [kg sm.o./m³],
 Δsmo – względy ubytek suchej masy organicznej w komorze stabilizacji, z przedziału 0,35÷0,5 [-].

Wartość współczynnika O_j zależy od wielu czynników, jak na przykład od temperatury otoczenia, stężenia suchej masy organicznej w komorze STO, jak również od sposobu prowadzenia procesu tzn. czy jest to klasyczna tlenowa stabilizacja czy też jej modyfikacja np. proces symultanicznej tlenowej stabilizacji.

Większość projektantów przyjmuje niezbędną ilość tlenu do utleniania 1 kg suchej masy organicznej na poziomie 1,42. W przypadku symultanicznej tlenowej stabilizacji w komorach nityfikacji wymagana jest większa wartość współczynnika dochodząca do 1,92 [5]. Przyjmuje się, że proces stabilizacji zakończył się, gdy zapotrzebowanie na tlen spadnie do poziomu 0,1 kg O₂/kg sm.o. · d [5].

Uproszczeniem wzoru 4 jest wzór 7 przy założeniu względnego ubytku suchej masy na poziomie 50% (jest to ilość pokarmu, która zostanie rozłożona łącznie z mikroorganizmami, które po przyswojeniu pokarmu zaczną prowadzić kanibalizm). Rozwinięciem zależności 7 jest wzór 8, który bazuje na literaturowym wskaźniku zapotrzebowania na tlen oraz przekształconym wzorze na obciążenie komory stabilizacji (wzór 2). Wartość otrzymaną ze wzoru 8 należy przemnożyć przez objętość osadu znajdująca się w komorze stabilizacji.

$$Z_{O_2} = \frac{2}{3} \cdot V_{os} \cdot Z_{smo} \quad (7)$$

$$Z_{O_2} = \frac{2}{3} \cdot O_v \cdot t \cdot z_{o2} \quad (8)$$

Z_{O_2} – zapotrzebowanie na tlen do prowadzenia procesu tlenowej stabilizacji osadu [kgO₂/d] bądź [kgO₂/h],
 V_{os} – objętość osady trafiająca do komory stabilizacji osadu [m³/d],
 Z_{smo} – stężenie suchej masy organicznej zawartej w Z_{sm} [kg sm.o./m³],
 O_v – obciążenie komory stabilizacji osadu [kg sm.o./m³d],
 t – czas przetrzymania w komorze stabilizacji osadu [d],
 z_{o2} – wskaźnik zapotrzebowania na tlen, którego wartość maksymalna wynosi 0,12 [kg O₂/kg sm.o. · d].

Wyznaczone zapotrzebowanie na tlen należy przeliczyć na podstawie wzoru 9 na ilość powietrza, którą należy dostarczyć a tym samym niezbędną wydajność dmuchaw.

$$V_p = \frac{Z_{O_2}}{0,28 \cdot k} \quad (9)$$

V_p – łączne zapotrzebowanie na powietrze [m³/d],
 Z_{O_2} – zapotrzebowanie na tlen do prowadzenia procesu tlenowej stabilizacji osadu [kg O₂/d],
 k – stopień wykorzystania tlenu z powietrza, $k = 5 \div 15$ [%].

W przypadku, gdy tlen do komory stabilizacji będzie dostarczany z wykorzystaniem aeratorów powierzchniowych, wyznacza się moc aeratora ze wzoru 10.

$$P = \frac{Z_{O_2}}{24 \cdot \alpha \cdot n \cdot E} \quad (10)$$

P – moc turbiny napowietrzającej [kW],
 Z_{O_2} – zapotrzebowanie na tlen do prowadzenia procesu tlenowej stabilizacji osadu [kg O₂/d],
 α – współczynnik transferu tlenu woda/ścieki [-],
 n – liczba zakładanych turbin [-],
 E – ekonomia natleniania (ok. 1,7 do 2,5 kg O₂/kWh – wartość zależna jest od producenta urządzeń i od głębokości zanurzenia) [kg O₂/kWh].

W projektowaniu komór stabilizacji zarówno nowych, jak i obiektów adaptowanych stosuje się kilka zasad zbliżonych do tych stosowanych przy projektowaniu komór osadu czynnego. Głębokość czynna wpływa na ilość i wydajność urządzeń napowietrzających. W przypadku płytszych komór (ok. 3 do 4,5 m) bardziej efektywne są aeratory powierzchniowe, natomiast dla głębszych komór (ok. 4 do 6 m) dyfuzory średnio- bądź grubopęcherzykowe, nie jest to jednak ściśle przestrzegane rozgraniczenie. Zastosowanie dyfuzorów z drobniejszymi otworami w STO mogłyby spowodować szybkie kolmatowanie się (zapychanie otworów w dyfuzorach).

W jaki sposób zmieniają się wyniki w zależności od zastosowanych wzorów zestawiono na przykładzie w tabeli 1. W obliczeniach założono, że do komór tlenowej stabilizacji osadu będzie trafiał osad surowy oraz nadmierny z pominięciem układu zagęszczenia mechanicznego i grawitacyjnego. Wykorzystując sposób 3, który bazuje na czasie przetrzymania oraz obciążeniu komory odczytanych z nomogramu, uzyskano wartości bardzo zbliżone (różniące się zaledwie o 4%, ok. 50 m³). Obliczając objętość komory i bazując na dwóch różnych parametrach niezależnie, można przyjąć, że zbieżne wyniki świadczą o poprawności przyjętych założeń. Podobna sytuacja występuje w przypadku wyznaczania zapotrzebowania na powietrze do napowietrzania komór. Wyznaczając zapotrzebowanie z czterech zależności, otrzymano dwie znacząco różniące się wartości. Wynika to z uproszczeń i zakładanych wielkości wskaźników. Przyjęcie niższej wartości do projektu może powodować że stabilizacja osadów będzie ograniczona (niepełna).

Proces tlenowej stabilizacji osadu stanowi punkt wyjścia dla innych procesów, które zbudowane na jego podstawach, są wykorzystywane w procesie przeróbki osadów powstających na oczyszczalni. Przykładami takich rozwiązań może być:

- Autotermofilna Tlenowa Stabilizacja Osadu (ATSO) nazywana również Autotermiczną Termofilną Stabilizacją Tlenową (ATST). Prowadzona z wykorzystaniem bakterii termofilnych, które prowadzą rozkład substancji łatwo biodegradowalnych w dwustopniowym układzie technologicznym. W pierwszym panuje temperatura 35÷50°C

Tab. 1. Wyniki obliczeń objętości komór stabilizacji oraz zapotrzebowania na powietrze

Lp.	Nr wzoru	Parametr	Wartość	Jednostka
1	-	Objętość osadu surowego	30,89	m ³ /d
2	-	Masa osadu surowego	1 235,61	kg/d
3	-	Uwodnienie osadu surowego	96,00	%
4	-	Objętość osadu nadmiernego	66,93	m ³ /d
5	-	Masa osadu nadmiernego	3 681,10	kg/d
6	-	Uwodnienie osadu nadmiernego	94,50	%
7	-	Łączna objętość osadów zmieszanych	97,82	m ³ /d
8	-	Łączna masa osadów zmieszanych	4 916,71	kg/d
9	-	Uwodnienie osadów zmieszanych	94,88	%
10	-	Udział surowego w nadmiernym	2,98	-
11	-	Stężenie suchej masy organicznej	40,21	kg sm.o./m ³
12	Sposób 1	Czas przetrzymania		
13	1	Zakładany czas przetrzymania	15,00	d
14	1	Objętość osadów na dopływie	97,82	m ³ /d
15	1	Obliczeniowa objętość komory	1 467,30	m ³
16	2	Obliczeniowe obciążenie komory	3,35	kg sm.o./m ³ d
17	Sposób 2	Obciążenie literaturowe		
18	-	Stężenie suchej masy organicznej	40,21	kg sm.o./m ³
19	-	Objętość osadu	97,82	m ³ /d
20	-	Zakładane obciążenie literaturowe	3,90	kg sm.o./m ³ d
21	1	Obliczeniowa objętość komory	1 008,55	m ³
22	-	Obliczeniowy czas przetrzymania	10,31	d
23	Sposób 3	Czas i obciążenie odczytane z wykresu		
24	-	Stężenie suchej masy organicznej	40,21	kg sm.o./m ³
25	-	Odczytany z wykresu czas przetrzymania	12,00	d
26	-	Odczytane obciążenie	3,50	kg sm.o./m ³ d
27	1	Obliczeniowa objętość komory (dla obciążenia)	1 123,81	m ³
28	1	Obliczeniowa objętość komory (dla czasu)	1 173,84	m ³
29	Wyznaczenie zapotrzebowania na powietrze i tlen			
30	3	Zapotrzebowanie na powietrze	3 909,74	kgO ₂ /d
31	-	Względny ubytek suchej masy organicznej	0,50	-
32	4	Zapotrzebowanie na powietrze	2 792,67	kgO ₂ /d
33	7	Zapotrzebowanie na powietrze	2 792,67	kgO ₂ /d
34	8	Zapotrzebowanie na powietrze	3 944,10	kgO ₂ /d

w drugim natomiast 55÷60°C. Dzięki tak wysokiej temperaturze (T > 50°C) dochodzi nie tylko do stabilizacji w reaktorze I°, lecz także higienizacji osadu w reaktorze II° [3].

- Wstępna Autotermofilna Tlenowa Stabilizacja osadu (WATS) nazywana również Dwustopniową Tlenowo-Beztlenową Stabilizacją osadu (ATAD). Stanowi połączenie układu tlenowego i beztlenowego. Jest to połączenie autotermofilnej tlenowej stabilizacji osadu, która jest procesem wstępnym poprzedzającym wydzielone komory fermentacyjne (WKFyi) [5].

Klasyfikacja tlenowa stabilizacja osadu jest rozwiązaniem optymalnym. W szczególności, gdy możemy również obniżyć nakłady inwestycyjne, adaptując inne obiekty wyłączane z eksploatacji podczas modernizacji – przebudowy układów technologicznych na istniejących oczyszczalniach ścieków. Do najistotniejszych wad stosowania tlenowej stabilizacji można zaliczyć:

- obniżoną efektywność mechanicznego odwadniania tak stabilizowanych osadów (na prasach, wirówkach itp.),
- dużą mniejszą możliwością kontroli przebiegu procesu i wpływu na parametry zewnętrzne np. temperaturę,

- ujemny bilans energetyczny wynikający z ciągłej pracy dmuchaw dostarczających powietrze (tlen) niezbędne do prowadzenia procesu przy jednoczesnym braku produkcji biogazu, a co za tym idzie ciepła i energii,
- niebezpieczeństwo uciążliwości dla środowiska w postaci np. nieprzyjemnego zapachu, które jest znacznie większe niż w przypadku stosowania stabilizacji beztlenowych [3] prowadzonych w układach zamkniętych, zhermetyzowanych.

Na podstawie danych literaturowych oraz analizy wyników zestawionych w tabeli 1 można stwierdzić, że niemal zawsze istnieje możliwość zaadaptowania istniejących obiektów (kubatur) pod komory stabilizacji tlenowej osadu. Istotne jest zachowanie w obliczeniach właściwych wielkości i proporcji pomiędzy czasem przetrzymania a obciążeniem w zależności od stężenia suchej masy organicznej, rodzaju osadu (surowy, nadmierny) czy też stosunku zmieszania. Pomocnym narzędziem do określenia tych powiązań jest nomogram przedstawiony na rysunku 1. Znaczna różnica pomiędzy wartościami granicznymi czasów przetrzymania jak i obciążeń zachęca do zapoznania się szerzej z obliczeniami i rozwiązaniami opisywanymi w literaturze i przyjęcie właściwych dla specyfiki procesu założeń projektowych. Umożliwiając stabilizację osadów z uwzględnieniem optymalizacji kosztów inwestycyjnych do kosztów eksploatacyjnych.

Literatura

- [1] M. Jaosz-Rajczyk, *Komunalne osady ściekowe – podział, kierunki zastosowań oraz technologie przetwarzania, odzysku i unieszkodliwiania*, Instytut Inżynierii Środowiska Częstochowa, kwiecień 2004
- [2] Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego z dnia 24.07.2006.
- [3] J. B. Bien, *Osady ściekowe, teoria i praktyka*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej Częstochowa 2002, 2007.
- [4] M. Liszka-Skoczylas, *Wskaźniki tlenowe, Biochemiczne Zapotrzebowanie na tlen*, Wydział Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie.
- [5] J. Podedworna, K. Umiejewska, *Technologia osadów ściekowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008.
- [6] Z. Heindrich, A. Witkowski, *Urządzenia do oczyszczania ścieków, projektowanie przykłady obliczeń*, Wydawnictwo Seidel-Przywecki; Warszawa 2005.
- [7] H. Heindrich, A. Halicka, *Projektowanie komór tlenowej stabilizacji osadu* [w:] „Przeгляд Komunalny” 12/2005.