

Uwagi do eurokodów dotyczących projektowania zbiorników stalowych

Projektant stalowych zbiorników na ciecz musi obecnie posługiwać się nie tylko podstawowymi Eurokodami 1991 i 1993, lecz także ich specjalistycznymi (przedmiotowymi) częściami oraz jedną normą europejską niezaliczoną do Eurokodu 1993, ale mającą go uzupełniać. Ten pakiet norm (liczący łącznie 512 stron formatu A4) – zdaniem ich autorów – powinien być wystarczający do zaprojektowania zbiornika walcowego pionowego, począwszy od obliczeń statyczno-wytrzymałościowych, a skończywszy na opracowaniu szczegółowych rozwiązań konstrukcyjnych.

Wymienione normy przedmiotowe to:

– PN-EN 1991-4 Eurokod 1: Oddziaływanie na konstrukcje – Część 1-4: Silosy i zbiorniki [1],

– PN-EN 1993-1-6 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1-6: Wytrzymałość i stateczność konstrukcji powłokowych [2],

– PN-EN 1993-4-2 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 4-2: Zbiorniki [3],

– PN-EN 14015:2004 Specyfikacja dotycząca projektowania i wytwarzania na miejscu zbiorników pionowych, o przekroju kołowym, z dnem płaskim, naziemnych stalowych spawanych na ciecz o temperaturze otoczenia i wyższej [4].

Jak wynika chociażby z tytułów wymienionych norm, powinny się one uzupełniać, a przede wszystkim powinny być z sobą zharmonizowane. Niestety, są z tym kłopoty: występują merytoryczne pominięcia, sprzeczności i różnice w interpretacji, a także zalecane rozwiązania konstrukcyjne, z których część, przy obecnym stanie techniki, należy ocenić jako przestarzałe. Problemy te omówiono w dalszej części artykułu, po krótkim scharakteryzowaniu mało dyskusyjnych norm [1, 2] oraz obszerniejszym ustosunkowaniu się do dwóch pozostałych norm [3, 4].

Charakterystyka i ważniejsze uwagi do eurokodów i normy PN-EN 14015

• **PN-EN 1991-4 [1].** Norma ta liczy wprawdzie 112 stron, ale zbiorników dotyczy zaledwie po kilka wierszy w punktach 2.4, 3.5 i 7.2. Dopiero w załączniku informacyjnym B podano na trzech stronach oddziaływania, współczynniki częściowe i kombinacje oddziaływań na zbiorniki. Zasadnicza część tekstu normy jest poświęcona silosom.

• **PN-EN 1993-1-6 [2].** Norma wraz z czterema załącznikami normowymi liczy 100 stron. Podaje reguły analiz wytrzymałości i stateczności konstrukcji z blach, które mają kształty powłok obrotowych (powłoki osiowo symetryczne) oraz związanych z nimi płyt (kolistych lub pierścieniowych). Postanowienia normy dotyczą także integralnych elementów usztywniających powłoki w postaci pierścieni usztywniających i żeber pionowych. Ponadto postanowienia te można stosować (pod warunkiem przyjęcia odpowiednich warunków brzegowych) przy projektowaniu wycinków powłok walcowych i stożkowych. Zakres stosowania wytycznych normowych ograniczono do powłok, których stosunek promienia do grubości powłoki (r/t) zawiera się w przedziale od 20 do 5000, a obliczeniowa tempe-

ratura stali zmienia się w przedziale od -50 do $+300^{\circ}\text{C}$. Rodzaje analiz powłok omówionych w PN-EN 1993-1-6 zestawiono w tabl. 1.

Tablica 1
Rodzaje analizy powłok omówione w normie PN-EN 1993-1-6

Rodzaj analizy	Związki geometryczne	Charakterystyka materiału	Geometria powłoki
Teoria błonowa	stan błonowy	-	idealna
Analiza liniowo sprężysta (LA)	stan błonowo-zgięciowy	liniowa	idealna
Liniowo sprężysta analiza bifurkacyjna (LBA)	stan błonowo-zgięciowy	liniowa	idealna
Geometrycznie nieliniowa analiza sprężysta (GNA)	nieliniowe	liniowa	idealna
Analiza fizycznie nieliniowa (MNA)	liniowe	nieliniowa	idealna
Analiza geometrycznie i fizycznie nieliniowa (GMNA)	nieliniowe	nieliniowa	idealna
Geometrycznie nieliniowa analiza sprężysta z imperfekcjami (GNIA)	nieliniowe	liniowa	nieidealna
Analiza geometrycznie i fizycznie nieliniowa z imperfekcjami (GMNIA)	nieliniowe	nieliniowa	nieidealna

Są wśród nich zaawansowane metody oceny wyężenia i zachowania się konstrukcji powłokowych. Współczesne metody komputerowe umożliwiają bowiem dokładniejszą i bardziej ekonomiczną niż uprzednio analizę ich nośności. Przy analizach globalnych jest to możliwe m.in. dzięki uwzględnieniu efektów towarzyszących deformacjom konstrukcji, imperfekcji globalnych ustroju nośnego i imperfekcji lokalnych elementów konstrukcyjnych, plastycznej nośności i podatności połączeń. Metody te wymagają obszernych obliczeń, a więc są w stosowaniu bardziej pracochłonne, a przede wszystkim są oparte na zasadach różnych od uprzednio podawanych w normach polskich.

Dobrym przykładem tego, że tę zwiększoną pracochłonność można pokonać, są prace [5 i 6]. Obszerniejsza charakterystyka normy PN-EN 1993-1-6 jest podana w [7].

• **PN-EN 1993-4-2 [3].** Z tytułu normy można by spodziewać się, że jest to zasadniczy dokument tematycznie poświęcony zbiornikom. Ale rozczarowanie wywołuje już stwierdzenie zawarte w postanowieniach ogólnych tej normy. W punkcie 1.1.2 podano: *Niniejsza część 4.2. poświęcona jest wyłącznie wymaganiom dotyczącym wytrzymałości i stateczności zbiorników stalowych. Pozostałe wymagania projektowe są ujęte w EN 14015 dla zbiorników eksploatowanych w temperaturze otoczenia, w EN 14620 dla zbiorników kriogenicznych oraz w EN 1090 w zakresie zagadnień wytwarzania i montażu.*

Dalej w tym samym wstępnym paragrafie, lecz w punkcie 1.1.8, podano: *Część 4.2. nie obejmuje dachów (przekryć) pływających.* To ograniczenie jest zaskakujące, ponieważ

w Polsce obecnie około 50% istniejących i budowanych nowych zbiorników to zbiorniki z dachami pływającymi (w tym te największej pojemności, tj. $V \geq 100\,000\text{ m}^3$) i taka tendencja będzie się utrzymywać nadal, gdyż im większa jest pojemność eksploatacyjna zbiornika, tym jest on tańszy w budowie (charakteryzuje się mniejszym zużyciem stali na 1 m^3 pojemności magazynowej). Dach pływający podlega także obliczeniom wytrzymałościowym, np. poziom zamocowania membrany dachowej do pontonu zlokalizowanego na obwodzie dachu powinien być tak określony obliczeniowo, aby membrana nie była wyginana ku górze przez wypór magazynowanego w zbiorniku paliwa płynnego. Dach pływający powinien więc znaleźć się w omawianym eurokodzie, a nie w normie PN-EN 14015:2010, która w tym pakiecie norm specjalistycznych jest przywoływana tylko w zakresie wytwarzania i montażu oraz rozwiązań konstrukcyjnych.

W odniesieniu do poprzedniej normy polskiej PN-B-03210:1997 ważnym nowym postanowieniem wprowadzonym przez PN-EN 1993-4-2 jest ustalenie trzech klas konsekwencji, których wymagania prowadzą do projektów charakteryzujących się praktycznie jednakowym poziomem ryzyka z uwzględnieniem kosztu i procedur niezbędnych do redukcji ryzyka zniszczenia.

Klasy konsekwencji obejmują:

– **klasa CC3:** zbiorniki na ciecze i gazy palne, toksyczne lub wybuchowe oraz zbiorniki o dużej pojemności na ciecze palne lub szkodliwe dla środowiska wodnego w terenie zabudowanym;

– **klasa CC2:** zbiorniki o średniej pojemności na ciecze palne lub szkodliwe dla środowiska wodnego w terenie zabudowanym;

– **klasa CC1:** zbiorniki dla rolnictwa oraz zbiorniki na wodę.

Określenia „zbiorniki dużej pojemności” i „zbiorniki średniej pojemności” są mało precyzyjne, sprawy nie wyjaśnia także kolejny punkt normy, w którym podano: *klasa konsekwencji powinna być uzgodniona między projektantem, inwestorem i odpowiednimi władzami*. Zdaniem autora niniejszego artykułu w odniesieniu do zbiorników na paliwa płynne można zaproponować następujący podział:

- zbiorniki o dużych pojemnościach: $V \geq 10\,000\text{ m}^3$,
- zbiorniki o średnich pojemnościach: $2000\text{ m}^3 < V < 10\,000\text{ m}^3$,
- zbiorniki o małych pojemnościach: $V \leq 2000\text{ m}^3$.

Omawiana norma PN-EN 1993-4-2 w punktach od 4.2.2.2 do 4.2.2.4 określa, jakie metody analizy należy stosować w wymiarowaniu konstrukcji zbiornika zaliczanego do określonej klasy konsekwencji.

Klasa konsekwencji CC1 – można stosować teorię błonową do wyznaczania naprężeń podstawowych, a ponadto współczynniki i wyrażenia uproszczone, uwzględniające efekty lokalnego zginania i oddziaływania niesymetryczne.

Klasa konsekwencji CC2 – w obliczaniu zbiorników charakteryzujących się osiową symetrią oddziaływań i podparcia można stosować jeden z dwóch alternatywnych rodzajów analizy:

a) teorię błonową do wyznaczania naprężeń podstawowych, a teorię zgięciową powłok sprężystych do opisu wszystkich lokalnych efektów zginania;

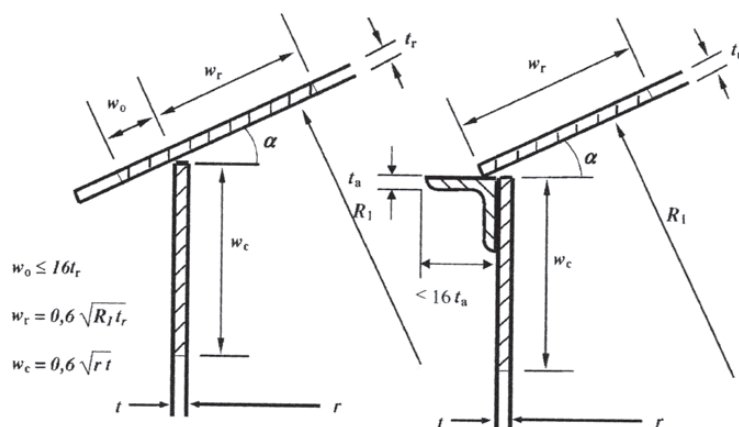
b) analizę numeryczną, np. metodą elementów skończonych w rozumieniu PN-EN 1993-1-6.

Klasa konsekwencji CC3 – w przypadku zbiorników tej klasy konsekwencji siły wewnętrzne i momenty zginające wyznacza się uznanymi metodami analizy numerycznej, np. stosowaną w analizie powłok metodą elementów skończonych w rozumieniu PN-EN 1993-1-6. Nośność plastyczna może być stosowana do oceny plastycznego stanu granicznego w warunkach naprężeń podstawowych zgodnie z PN-EN 1993-1-6.

Omawiana norma podaje też w p. 11.1 reguły obliczania zbiorników metodą uproszczoną. Podano 12 warunków, które muszą być spełnione, aby było możliwe zastosowanie uproszczonej metody obliczeń. Ogólnie można ująć, że możliwość ta dotyczy walcowych pionowych zbiorników o małej pojemności (do około 2000 m^3) z dachem stałym. Jako nieporozumienie należy uznać wprowadzenie do tej normy zbiorników prostopadłościennych (p. 9). Zbiorniki takie były wprawdzie stosowane przez wojska koalicji antyhitlerowskiej podczas drugiej wojny światowej i służyły do magazynowania wody w krajach o klimacie gorącym, ale w okresie późniejszym przestały być projektowane i stosowane. Zaletą zbiorników prostopadłościennych był prosty i szybki ich montaż, gdyż prefabrykowane płaskie płyty, z których składa się czasza takich zbiorników, były okolone kątownikami łączonymi w stykach wyłączone śrubami. Jednak poziomy przekrój prostokątny zbiornika wypełnionego wodą jest nieracjonalny, ponieważ w narożach ścian czaszy występują duże momenty zginające; dlatego zbiorniki prostopadściennne nie powinny być zalecane w gospodarce cywilnej.

Kolejnym rozczarowaniem jest błąd we wzorze (11.27) omawianej normy, uniemożliwiający wyznaczenie rozstawu pierścieni pośrednich usztywniających górną część płaszczu zbiornika. Problem ten jest trudny do szybkiego rozwiązania, gdyż żadne z państw należących do Unii Europejskiej nie może we własnym zakresie wprowadzić poprawek do norm – może to zrobić wyłącznie CEN (Comité Européen de Normalisation). Polski delegat do CEN przekazał już autorowi tej normy polskie uwagi w omawianym zakresie; zostały one uznane za słuszne. Będą uwzględnione w ramach opracowania poprawek do tej normy. W tym stanie rzeczy dyskusja nad przewidywaną poprawioną wersją wzoru (11.27) jest niecelowa. Należy tylko oczekiwać, że wymieniony wzór i ogólnie procedura obliczeniowa stosowana w tym fragmencie normy będzie ujęta w bardziej przejrzystej formie. Obecnie można zalecić, aby obliczenia rozstawu pierścieni pośrednich zabezpieczających płaszcz zbiornika przed lokalną utratą stateczności prowadzić według dostępnej w kraju specjalistycznej literatury, np. [8].

Uzupełnienia, a właściwie rozszerzenia w normie PN-EN 1993-4-2 wymaga rys. 11.4 dotyczący szerokości blach płaszczu i pokrycia dachowego współpracujących z kątownikiem wieńczącym górną krawędź płaszczu (rys. 1). To, co pokazano w normie na tym rysunku, ma zastosowanie tylko w zbiornikach małej średnicy (około $10,0\text{ m}$). Więcej przykładów tego rozwiązania konstrukcyjnego pokazano w PN-EN 14015, lecz wciąż dotyczą one zbiorników małej i średniej pojemności. Rozwiązań przydatnych w przypadku zbiorników dużej pojemności do czasu nowelizacji tej normy projektant powinien szukać w literaturze specjalistycznej, np. [8].



Rys. 1. Połączenie pokrycia dachu stałego z płaszczem zbiornika według normy PN-EN 1993-4-2 (zakreskowane odcinki dachu i płaszczu są wliczane do przekroju poprzecznego pierścienia wieńczącego płaszcz)

● **PN-EN 14015 [4]**. Ta norma ma status Polskiej Normy od czerwca 2010 r. Jest to obszerne opracowanie, liczące 246 stron, z czego 115 stron to tekst zasadniczej normy, a 131 stron to 18 załączników, w tym 8 normatywnych i 10 informacyjnych. W przedmowie do normy podano, że została ona opracowana przez CEN/TC 265 „Stałe zbiorniki metalowe na ciecze”, a w przedmowie krajowej, że wersja polska tej normy jest tłumaczeniem bez jakichkolwiek zmian angielskiej wersji normy EN 14015:2004.

Treść merytoryczna i układ normy – jej podział na część zasadniczą i załączniki – wskazują, że dokument jest wzorowany zarówno na amerykańskiej normie API 650, jak i na normie brytyjskiej BS 2654. Norma została przetłumaczona na język polski przez Komitet Techniczny nr 130 ds. Aparatury Chemicznej i Butli do Gazów, a więc przez specjalistów innej branży niż ci, którzy opracowywali wszystkie części Eurokodu 3. To jest niewątpliwie przyczyną większości występujących sprzeczności i różnic pomiędzy omawianą normą a częścią 4-2 Eurokodu 3.

Główną sprzecznością jest różnica obliczeniowych metod wymiarowania przyjętych w Eurokodzie 3 i normie PN-EN 14015. W Eurokodzie (a więc normie nadrzędnej w stosunku do PN-EN 14015) przyjęto projektowanie według metody stanów granicznych, natomiast w normie PN-EN 14015 nie użyto nigdzie nazwy metody stosowanej do wymiarowania, ale w p. 9 zamieszczono, niefortunne zresztą, określenie: *Najwyższe dopuszczalne naprężenie obliczeniowe w blachach płaszcza powinno wynosić dwie trzecie granicy plastyczności materiału o najwyższym naprężeniu obliczeniowym wynoszącym 260 N/mm²* – zastosowano więc stały współczynnik bezpieczeństwa określony deterministycznie. We wszystkich wzorach obliczeniowych w tej normie nie występują częściowe współczynniki do oddziaływań. Metoda naprężeń dopuszczalnych jest więc w PN-EN 14015 zastosowana bezdyskusyjnie.

Ta różnica w metodach obliczeń podawana w Eurokodzie 3 i normie PN-EN 14015 nie jest wynikiem pomyłki, lecz została z pełną premedytacją zalecona przez autorów normy, o czym świadczy tekst zawarty w przedmowie do niej: *Istnieje równoległa prenorma ENV 1993-4-2 Tanks. Jest ona oparta na teorii stanów granicznych (LST), która jest coraz częściej stosowana w przemyśle stali konstrukcyjnych i betonu zbrojonego. Doświadczenie w projektowaniu stalowych zbiorników magazynowych na podstawie LST jest ograniczone i w związku z tym podano niewiele informacji, na których należy oprzeć wartości dla współczynników obciążeń, kombinacji obciążeń i przydatności do użytkowania. Jeżeli zostanie osiągnięte odpowiednie doświadczenie w projektowaniu zbiorników i uzyskane zostaną wiarygodne wartości współczynników obciążeń itp. przewiduje się, że nastąpi stopniowy postęp LST w projektowaniu zbiorników objętych niniejszą Normą Europejską.*

Jest to mało przekonujące wyjaśnienie, gdyż Eurokod 3 (w swoich częściach tematycznych 1-6 oraz 4-2 przyjętych przez CEN około półtora roku później niż przyjęta była EN-14015) takich zastrzeżeń nie mają, a w części 1-1 Eurokodu 3: Reguły ogólne i reguły dla budynków podano w sposób zdecydowany następujące wymagania (rozdział 2 p. 2.1.1.1): *Konstrukcje stalowe należy projektować zgodnie z ogólnymi zasadami podanymi w EN 1990, a w tymże rozdziale w p. 2.1.1.3 jest zapisane: Podstawowe wymagania podane w EN 1990 (Rozdział 2) można uważać za spełnione, jeżeli w projektowaniu zastosowano metodę stanów granicznych i współczynników częściowych oraz przyjęto kombinację obciążeń według EN 1990, a oddziaływań według EN 1991.*

Od przyjęcia przez CEN normy PN-EN 14015 minęło już 13 lat (norma została przyjęta 2 lutego 2004 r.), ale nie wprowadzono do niej żadnych poprawek lub uzupełnień (brak odpowiednich zmian lub poprawek do omawianej normy został sprawdzony 30.01.2017 r. na stronie internetowej Polskiego Komitetu Normalizacyjnego).

Nie zostało więc spełnione założone unowocześnienie normy zapowiedziane w przedmowie do niej podane w wersji z 2004 r. (odpowiedni fragment tej przedmowy był uprzednio cytowany w niniejszym artykule).

Z innym stwierdzeniem zapisanym w tej samej przedmowie do PN-EN 14015 (w wydaniu w wersji polskiej z 2010 r.) też trudno się zgodzić, że: *Niniejsza Norma Europejska odzwierciedla obecną praktykę w przemyśle masowego magazynowania ropy, produktów ropopochodnych, chemicznych, spożywczych i ogólnie cieczy zarówno na szczeblu europejskim, jak i światowym. Praktyka ta jest oparta na teorii naprężeń obliczeniowych lub naprężeń dopuszczalnych.* Tej subiektywnej samoocenie autorów normy przeczą zwłaszcza niektóre zalecane rozwiązania konstrukcyjne, których obecnie nie można uznać za nowoczesne. Oto ich przykłady:

- 1) gatunki stali zalecane do budowy zbiorników,
- 2) połączenie dachu stałego z płaszczem zbiornika,
- 3) zabezpieczenie przed lokalną deformacją górnej części płaszcza walcowego zbiornika pionowego,
- 4) rozwiązanie połączenia włazu wyczystkowego z dnem zbiornika dwupłaszczyznowego.

■ Stal, którą powinno się stosować do budowy zbiorników, norma PN-EN 14015 określa w p. 1.5: *Niniejszy dokument ma zastosowanie do zbiorników stalowych o maksymalnej wytrzymałości obliczeniowej $\leq 260 \text{ N/mm}^2$.* Wymaganie to spełniają polskie stale S235 i S355, ale ich właściwości mechaniczne są wystarczające tylko na tyle, aby wykorzystać je przy projektowaniu zbiorników małej i średniej pojemności (do około $V = 32\ 000 \text{ m}^3$). W Polsce wybudowano uprzednio i planuje się budowę zbiorników o pojemności 100 000 m^3 i większych. Jeżeli dolne pierścienie płaszczy zbiorników takiej pojemności zaprojektowano by ze stali S355, to miałyby one grubość ponad 40 mm, a wskaźnik zużycia stali na zbiornik byłby bardzo duży. W zbiornikach o dużej pojemności należy projektować dolne pierścienie płaszcza ze stali o większej wytrzymałości (np. ze stali S420 ML o wytrzymałości na rozciąganie $520 \div 680 \text{ N/mm}^2$). Autorzy normy PN-EN 14015 to dostrzegają i w p. 6.1.1.1 podają: *Jeżeli należy zastosować inny gatunek stali niż podany w Tablicach od 5 do 7, powinien on spełniać wymagania załącznika F.* Odpowiedni fragment tego załącznika przytoczony w p. F.4.6 brzmi: *W przypadku stali o określonej minimalnej granicy plastyczności większej niż 355 N/mm^2 :*

- a) określona minimalna wytrzymałość na rozciąganie nie powinna być większa niż 600 N/mm^2 ;
- b) wydłużenie na 80 mm długości pomiarowej nie powinno być mniejsze niż 19%;
- c) próby udarowości sposobem Charpy'ego z karbem V, o ile są wymagane, powinny spełniać wymagania z F 5.2.3.

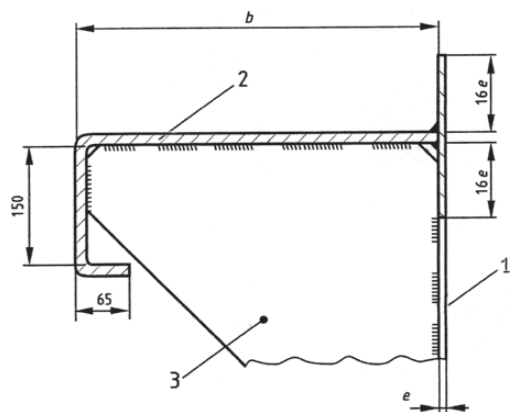
Jednak tego, jak określić „największe naprężenia obliczeniowe i próbne” stali o granicy plastyczności 420 N/mm^2 w normie nie podano, natomiast w p. 1.5 tej samej normy jest stwierdzenie: *Niniejszy dokument ma zastosowanie do zbiorników stalowych o maksymalnej wytrzymałości obliczeniowej $\leq 260 \text{ N/mm}^2$.* Sprzeczność jest więc oczywista.

■ Zalecane rozwiązania konstrukcyjne połączenia dachu stałego z płaszczem zbiornika walcowego pionowego podane są zarówno w PN-EN 1993-4-2, jak i PN-EN 14015, przy czym w pierwszej z wymienionych norm podane jest tylko jedno rozwiązanie, a w PN-EN 14015 jest tych wzorcowych rozwiązań znacznie więcej, chociaż merytorycznie różnią się one między sobą minimalnie. Pozostaje więc tylko podtrzymać ocenę, że rozwiązania te nadają się do zbiorników o małej pojemności i średnicy płaszcza $10,0 \div 12,0 \text{ m}$. W Polsce największy ze zbiorników z dachem stałym ma pojemność $32\ 000 \text{ m}^3$, co odpowiada średnicy płaszcza około 50,0 m. Przy takich średnicach stosuje się najczęściej dach stały w kształcie fragmentu czaszy kulistej z prętową konstrukcją nośną złożoną z radial-

nych żeber połączonych ze sobą pierścieniami płatwi i stężeniami kratowymi. Reakcja pozioma przekazywana przez taki dach ma tak dużą wartość, że w styku dachu z płaszczem zbiornika należy zaprojektować pierścień najczęściej skrzynkowy złożony z blach i kształtowników walcowanych o dużym przekroju poprzecznym.

■ Problem lokalnej stateczności górnej części płaszcza zbiornika walcowego pionowego okazał się zagadnieniem trudnym nie tylko dla projektanta, ale także dla autorów omawianych eurokodów. Omawiając w niniejszym artykule Eurokod 3 część 4-2, zwrócono uwagę na błąd we wzorze oznaczonym w normie numerem (11-27), który powoduje, że niemożliwe jest wyznaczenie rozstawu pierścieni pośrednich usztywniających górną część płaszcza zbiornika walcowego pionowego.

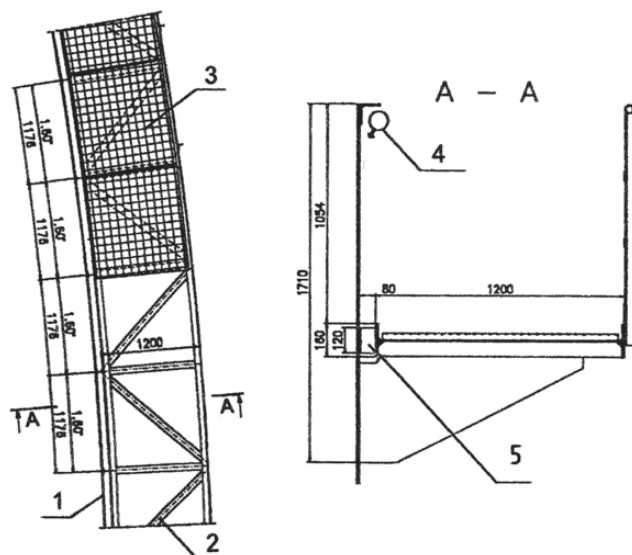
Obecnie ocenia się, że zalecane w normie PN-EN 14015 rozwiązanie konstrukcyjne głównego pierścienia wiatrowego (przenoszącego oddziaływanie wiatru na płaszcz) nie zostało pozytywnie zweryfikowane w praktyce przemysłowej. A przecieź norma PN-EN 14015 w omawianym pakiecie eurokodów jest wskazywana jako wzór rozwiązań konstrukcyjnych oraz wykonawstwa konstrukcji. Wymienione rozwiązanie konstrukcyjne głównego pierścienia wiatrowego (rys. 2) pochodzi z lat pięćdziesiątych ubiegłego wieku, a więc z okresu, kiedy nie budowano jeszcze zbiorników o pojemnościach ponad 100 000 m³. Pierścień ten mógł być wykonany z blachy niezbyt grubej, łatwej do gięcia, ale już wówczas pierścień o takim przekroju był trudny do wykonania. W latach następnych, gdy zwiększała się pojemność eksploatacyjna zbiorników, a więc także i średnica ich płaszczy, zaczęto główne pierścienie wiatrowe projektować z coraz grubszych blach spawanych w przekrój teowy. Przy tym rozwiązaniu trudno było otrzymać płaską powierzchnię blachy poziomej, która dodatkowo pełni funkcję chodnika dla obsługi nadzorującej osprzęt technologiczny instalowany na górnej krawędzi płaszcza (instalacji piany gaśniczej oraz tryskaczy wody chłodzącej płaszcz). Jeżeli lokalne deformacje wywołane wyginaniem lub spawaniem blach pierścienia wiatrowego są skierowane ku dołowi, to latem będą tworzyły się w nich zastoiny wody deszczowej, wywołujące zarówno korozję blachy chodnika, jak i pionowej blachy płaszcza zbiornika (rys. 3). Wiercone w blachownicy chodnika otwory spustowe wody często okazywały się mało skuteczne, gdyż były zatykane liśćmi spadającymi z drzew lub blaszkowatymi produktami korozji odpajającymi się od blach pierścienia wiatrowego bądź płaszcza. Zimą te zastoiny wody zamieniały się w bryły lodu stanowiące zagrożenie dla pracowników korzystających z chodnika dla obsługi. Dlatego od około 20 lat zamiast poziomego pierścienia pełnościennego wykonuje się poziomy pierścień kratownicowy pokryty ażurowymi płytami podestowymi (rys. 4 i 5). Jeżeli pas wewnętrzny kratowego głównego pierścienia wiatrowego nie będzie przyspawany do



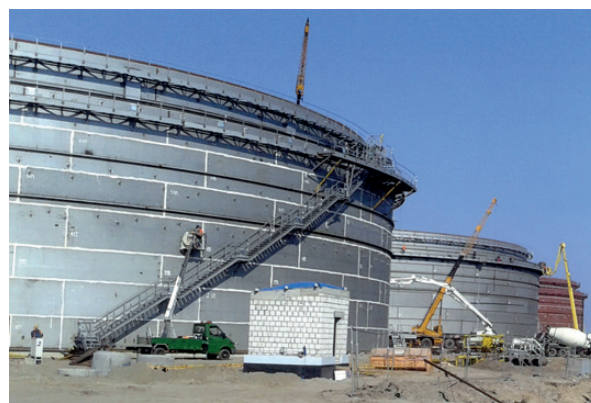
Rys. 2. Zalecane według PN-EN 14015 usztywnienie górnej krawędzi płaszcza zbiornika z dachem pływającym: 1 – płaszcz zbiornika, 2 – pierścień usztywniający, 3 – wspornik



Rys. 3. Korozyjne uszkodzenia blach płaszcza zbiornika i spawanego z blach pierścienia usztywniającego



Rys. 4. Schemat konstrukcji kratowniczego pierścienia poziomego pokrytego ażurowymi płytami podestowymi – najczęściej stosowane obecnie usztywnienie górnej krawędzi płaszcza zbiornika z dachem pływającym: 1 – płaszcz zbiornika, 2 – pręty pierścienia kratowego, 3 – płyty podestowe (przekrój pionowy A-A – skala zwiększona), 4 – rura obwodowa dostarczająca wodę do tryskaczy, 5 – przewiązka pionowa



Rys. 5. Budowa zbiorników dwupłaszczowych (każdy o pojemności $V = 64\,500\text{ m}^3$); główne pierścienie wiatrowe na górnych częściach obu płaszczy zbiorników mają nośną konstrukcję kratową (por. rys. 4)

płaszcza zbiornika ciągłą spoiną obwodową, lecz będzie przy-
 mocowany za pośrednictwem przewiązek rozmieszczonych na
 obwodzie płaszcza co około 1,0÷1,2 m, to zostanie także
 usprawnione działanie instalacji przeciwpożarowej. Rurę obwo-
 dową doprowadzającą wodę do tryskaczy będzie można umie-
 ścić bezpośrednio pod górną krawędzią płaszcza, a nie – jak
 przednio było to konieczne – pod blachownicowym chłodni-
 kiem, a więc około 1,1 m poniżej górnej krawędzi płaszcza.
 Chłodzenie płaszcza wodą będzie się odbywać na całej jego
 wysokości, a ponadto będzie zapewniony łatwy dostęp do try-
 skaczy w celu ich przeglądu lub wymiany.

■ W normie PN-EN 14015 podano szereg wzorcowych
 rozwiązań konstrukcyjnych, które mają być przydatne mniej
 doświadczonemu projektantowi przy opracowywaniu doku-
 mentacji technicznej zbiorników jednopłaszczowych (np. połą-
 czenie płaszcza z dnem, połączenie płaszcza z króćcami
 technologicznymi lub króćcami włązów). Ale rozwiązanie połą-
 czenia włązu wyczystkowego z płaszczem i dnem nadaje się
 tylko do zbiorników jednopłaszczowych. W zbiornikach dwu-
 płaszczowych, które są obecnie często stosowane, pojemność
 magazynowaną zapewnia płaszcz wewnętrzny, a usuwanie
 osadów z jego dna ma ułatwić włąz wyczystkowy. Przy rozwią-
 zaniach pokazanych w załączniku „0” na rysunkach 0.1 i 0.4,
 aby odkręcić śruby przy dolnej krawędzi pokrywy włązu jest
 potrzebny dostęp od spodu dna zbiornika, co jest niemożliwe.
 Podanie więc jedynie rozwiązania konstrukcyjnego przydatne-
 go tylko w przypadku płaszcza zewnętrznego (osłonowego)
 nie rozwiązuje problemu.

Oznaczenia symbolami poszczególnych wielkości występu-
 jących w normie PN-EN 14015 pozostawiono identyczne, jak
 w angielskiej wersji normy. Stwarza to dysonans i utrudnienie
 dla korzystających z tego pakietu norm, gdyż w pozostałych
 częściach Eurokodu 3 przetłumaczonych na język polski pozo-
 stawiono wiele symboli od lat stosowanych w polskiej literatu-
 rze technicznej. Najbardziej rażące autora tego tekstu różnice
 w symbolach zestawiono w tabl. 2.

Tablica 2
Przykłady różnic w symbolach (oznaczeniach)

Opis	Symbole według norm	
	PN-EN 14015	Eurokod 3
Nominalna grubość blachy	<i>e</i>	<i>t</i>
Naprężenia	<i>S</i>	σ
Gęstość cieczy	<i>W</i>	ρ
Wskaźnik wytrzymałości	<i>Z</i>	<i>W</i>

Ta różnica w symbolach nie ma wprawdzie merytorycznego
 znaczenia, ale jest zaskakująca dla polskiego użytkownika
 norm. Wywołuje odczucie, że norma PN-EN 14015 została
 przetłumaczona i zatwierdzona przez PKN w pośpiechu, bez
 uzgodnienia z innymi specjalistycznymi normami wyższego
 rzędu (eurokodami), dla których omawiana norma ma stanowić
 uzupełnienie.

W polskiej wersji normy PN-EN 14015 wprowadzono ponad-
 to niektóre nowe określenia, mimo że w polskim języku technicz-
 nym dotychczas funkcjonowało już kilka określeń synonimo-
 wych. Na przykład poziomy pas blach o jednakowej grubości na
 całym obwodzie płaszcza zbiornika dotychczas był nazywany
 „pasem płaszcza”, „pierścieniem płaszcza” lub w żargonie tech-
 nicznym „cargą”. W omawianej normie [4] otrzymał on kolejne
 nowe określenie jako „dzwon” (zresztą w niektórych akapitach
 normy niegrammatycznie odmieniane przez przypadki).

Podsumowanie

Autor artykułu ma uznanie dla CEN za podjęcie się i zre-
 alizowanie, przy niewątpliwie ogromnym nakładzie pracy,
 niezwykle potrzebnego dzieła unowocześnienia i ujednolice-

nia norm projektowania konstrukcji budowlanych dla krajów
 Unii Europejskiej. W omówieniu norm dotyczących zbiorników
 stalowych autor z żalem użył kilkakrotnie „ostrych” określeń,
 ale wynikały one z przeświadczenia, że poważnym błędem
 jest przywołanie obecnie mało aktualnej normy EN 14015.
 Norma ta jest wzorowana zarówno na amerykańskiej normie
 API 650, jak i na brytyjskiej normie BS 2654:1984. Rozwiąza-
 nia podane w normie brytyjskiej były aktualne na przełomie lat
 sześćdziesiątych i siedemdziesiątych ubiegłego wieku, ale
 technika nie stoi w miejscu. Te wymagania stały się mało
 przydatne już w roku 2004, w którym CEN przyjął tę normę,
 i dlatego sformułowanie zawarte we wstępie do niej było już
 wtedy nieodpowiednie. Norma ta nie odzwierciedla obecnej
 praktyki projektowej, zarówno na szczeblu europejskim, jak
 i światowym.

Niespotykane jest, aby norma nadrzędna, jaką jest Euro-
 kod 3, która uznała metodę stanów granicznych jako obowią-
 zującą przy projektowaniu konstrukcji stalowych, przywoływa-
 ła normę specjalistyczną (czyli niższego rzędu), która zawiera
 w swej przedmowie stwierdzenie, że „wiadome jest istnienie
 prenormy ENV 1993-4-2 opartej na metodzie stanów granicz-
 nych. Autorzy EN 14015 pozostają przy metodzie naprężeń
 obliczeniowych lub naprężeń dopuszczalnych. Są to przecież
 zupełnie różne metody. Dziwny jest również dalszy ciąg tekstu
 tej przedmowy, cytuję: *Jeżeli zostanie osiągnięte odpowiednie
 doświadczenie w projektowaniu zbiorników i uzyskane zostaną
 wiarygodne wartości współczynników obciążeń itp., przewidu-
 je się, że nastąpi stopniowy postęp w stosowaniu LST w pro-
 jektowaniu zbiorników objętych niniejszą Normą Europejską.*
 Nasuwa się pytanie: czy inną metodę projektowania można
 wprowadzać do normy „stopniowo”, czy trzeba to zrobić
 w sposób zdecydowany? Półtora roku później, gdy CEN przy-
 jął Eurokod 3, nie było już tych wątpliwości i w Eurokodzie
 3 uznano w sposób zdecydowany metodę stanów granicz-
 nych jako obowiązującą przy wymiarowaniu konstrukcji stalo-
 wych. Warto w tym miejscu przypomnieć, że prekursorem
 metody stanów granicznych był w 1936 r. profesor Politechniki
 Warszawskiej *Witold Wierzbicki*, a formę przydatną do stoso-
 wania w praktyce projektowej nadał jej rosyjski prof. *N.S. Stre-
 lecki* w 1944 r. Metoda stanów granicznych była stosowana od
 wielu lat w projektowaniu zbiorników stalowych w państwach
 Europy Środkowej i Wschodniej, a w Polsce stanowiła podsta-
 wę do projektowania zbiorników podaną w normie PN-B-
 03210:1981 Konstrukcje stalowe – Zbiorniki walcowe pionowe
 na cieczy – Obliczenia statyczne i projektowanie. Norma ta
 została znowelizowana w 1997 r., ale w zakresie wymiarowania
 zbiorników metodą stanów granicznych wprowadzono tylko
 poprawki w wartościach dwóch współczynników częściowych
 do obciążeń. Norma PN-B-03210:1997 została przez PKN
 wycofana w związku z uznaniem norm europejskich jako Pol-
 skie Normy.

Rozwiązaniem zarysowanej w artykule sytuacji w pakiecie
 czterech norm (w tym trzech eurokodów i jednej innej normy
 europejskiej) byłoby wycofanie przez CEN normy EN 14015 po
 uprzednim poprawieniu, uaktualnieniu i rozszerzeniu tematyki
 części 4-2 Eurokodu 3. Jest to niewątpliwie rozwiązanie wyma-
 gające długiego czasu na opracowanie i będzie to zadanie
 pracochłonne. Niemniej będzie skutecznym dokończeniem
 bardzo ważnego przedsięwzięcia unowocześnienia i ujednolice-
 nia norm na całym terenie działania CEN. Zbiorniki stalowe
 mają istotny udział w bilansie realizowanych obecnie konstruk-
 cji stalowych. Dlatego ich projektowanie powinno być oparte
 na dobrych podstawach normowych.

Do czasu ewentualnego zrealizowania przez CEN powyż-
 szego wniosku projektanci powinni działać, pamiętając, że
 obowiązuje ich dysponowanie dużym zasobem wiedzy tech-
 nicznej, którą należy uzupełniać przez studiowanie książek
 oraz artykułów w prasie technicznej, np. [9 i 10].

PIŚMIENNICTWO

- [1] PN-EN 1991-4:2006 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 4: Silosy i zbiorniki.
- [2] PN-EN 1993-1-6:2007 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1-6: Wytrzymałość i stateczność konstrukcji powłokowych.
- [3] PN-EN 1993-4-2:2007 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 4-2: Zbiorniki.
- [4] PN-EN 14015:2004 Specyfikacja dotycząca projektowania i wytwarzania na miejscu zbiorników pionowych o przekroju kołowym, z dnem płaskim, naziemnych, stalowych spawanych, na cieczy o temperaturze otoczenia i wyższej.
- [5] *Lewandowski M., Gajewski M., Giżejowski M.*: Analiza stateczności stalowego płaszcza przeciwpożarowego zbiornika na wodę. „Inżynieria i Budownictwo”, nr 10/2013.
- [6] *Lewandowski M., Gajewski M., Giżejowski M.*: Numerical analysis of influence of intermediate stiffeners setting on the stability, behaviour of thin – walled steel tank shell. ELSEVIER. Thin – Walled Structures, 90, 2015.
- [7] *Ziółko J., Hezig T., Supernak E.*: Stalowe zbiorniki i konstrukcje powłokowe. XXVII ogólnopolskie warsztaty pracy projektanta konstrukcji w Szczyrku, tom III. Oddział PZITB w Katowicach. Tom III, 2012.
- [8] *Ziółko J.*: Zbiorniki metalowe na cieczy i gazy. Arkady, Warszawa 1986.
- [9] *Ball P.*: Einwirkungskombinationen für Flachbodentanks nach Eurocode – Teil 1. „Stahlbau”, Heft 3/2015.
- [10] *Ball P.*: Einwirkungskombinationen für Flachbodentanks nach Eurocode – Beispiele (Teil 2). „Stahlbau”, Heft 4/2015.