

## KONSTRUKCJE STALOWE JAKO PRZYKŁAD BUDOWNICTWA ZRÓWNOWAŻONEGO

### 1. WSTĘP

W dzisiejszych czasach, kiedy ochrona środowiska odgrywa coraz to większą rolę, staramy się angażować w szereg działań zmierzających do naprawienia wyrządzonych już szkód a także ograniczać negatywny wpływ działalności człowieka na otoczenie. Podejmujemy działania zmierzające do zmniejszenia powolnej degradacji środowiska, poprzez wprowadzanie coraz to nowszych technik, metod i technologii pozwalających na ograniczenie negatywnego oddziaływania na środowisko, a także realizujemy recykling polegający na przetworzeniu zużytych materiałów. Codziennie każdy z nas przyczynia się do powolnej degradacji środowiska naturalnego poprzez nadmierne zużywanie wody, energii, produkowanie odpadów, itd.

W pracy omówiono przewagę konstrukcji stalowych na każdym etapie „życia budynku”. Oceniając trwałość konstrukcji należy wziąć pod uwagę cały cykl eksploatacji budynku, uwzględniając wszystkie etapy życia budynku, co obejmuje produkcję materiałów, transport na plac budowy, same prace budowlane, użytkowanie budynku, rozbiórkę, recykling lub przebudowę.

### 2. BUDOWNICTWO ZRÓWNOWAŻONE

Pojęcie „zrównoważonego budownictwa” opiera swoją genezę na pojęciu zrównoważonego rozwoju [1,2,6], natomiast zrównoważony rozwój przypisany jest do wymiaru społecznego, ekonomicznego i ekologicznego (por. rys. 1). Można założyć, że główne przyczyny powstania zrównoważonego budownictwa to [5]:

- oddziaływanie budownictwa na otoczenie, środowisko naturalne,
- zaostrzające się normy prawne (krajowe, unijne),
- wzrost świadomości konsumentów,
- długookresowe korzyści ekonomiczne.

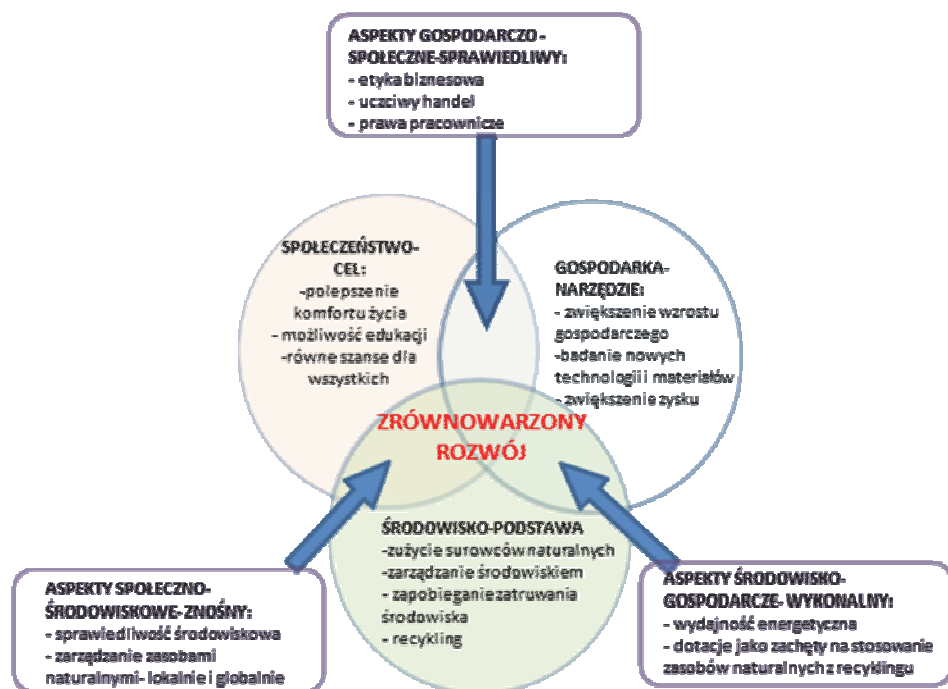
Wprowadzenie zasad zrównoważonego rozwoju w budownictwie oznaczać powinno osiągnięcie takiego wzorca, który przyzwoliłby na harmonijne formowanie relacji pomiędzy poprawą komfortu życia, ochroną środowiska i wzrostem gospodarczym.

---

\* Politechnika Częstochowska

W Unii Europejskiej budownictwo jest jednym z fundamentalnych sektorów gospodarki, który generuje w przybliżeniu 10% unijnego PKB. W Unii Europejskiej przy pracach budowlanych zatrudnionych jest około 7% obywateli.

Warto podkreślić, że w UE budowa budynków oraz ich eksploatacja jest przyczyną 42% końcowego zużycia energii, a także emisji 35% gazów cieplarnianych do atmosfery [3]. Budownictwo Europejskie wpływa również na 30% zużycie wody, jak również jest odpowiedzialne za 33% tworzonych odpadów. Szczególnie groźne dla środowiska naturalnego są pozostałości po rozbiórce obiektów budowlanych.



Rys. 1. Zrównoważony rozwój – rysunek na podstawie [4]

Sektor budownictwa wpływa również w zasadniczy sposób na trzy aspekty zrównoważonego rozwoju. Obejmują one kryteria: ekonomiczne, tj. związane bezpośrednio z gospodarką, społeczne oraz środowiskowe, związane z szeroko rozumianą ekologią. Taki rozwój zaspokaja potrzeby wszystkich ludzi, bez umniejszania szans przyszłych pokoleń na zaspokojenie ich potrzeb.

Aspekt ekonomiczny obejmuje głównie koszty [6], które generuje realizacja zamierzonej inwestycji oraz koszty wynikające z cyklu życia wzniesionych budynków. Bardzo ważne jest, aby na etapie planowania zrównoważonej inwestycji budowlanej dążyć do redukcji materiałochłonności i energochłonności.

ści, celem przyszłego obniżenia kosztów. Wpływa to w naturalny sposób na poszukiwanie innowacyjnych rozwiązań materiałowo-technologicznych.

Aspekt społeczny i zarazem środowiskowy obejmuje priorytety zrównoważonego budownictwa na płaszczyźnie ergonomii. Należy przez to rozumieć: estetykę i komfort realizowanego mieszkania oraz ochronę zdrowia przebywających w nim ludzi oraz bezpieczeństwo w trakcie eksploatacji. Mierzalnymi elementami ergonomii są niewątpliwie: zadowolenie z jakości, dostępność budowli oraz wpływ na zdrowie ludzi, korzystających z wybudowanych budynków. Z kolei aspekt ekologiczny obejmuje oddziaływanie budynku na środowisko naturalne w całym cyklu jego życia. Mierzalne elementy ekologicznej budowli obejmują m.in. wykorzystanie powierzchni, wpływ na jakość powietrza oraz wpływ na zanieczyszczenie wód i wytwarzanie odpadów. Aspekt ekologiczny przejawia się m.in. przez: zwiększenie efektywności energetycznej budynku i ograniczenie zużycia surowców, zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery i wykorzystanie energii odnawialnej, efektywne wykorzystanie wody oraz ograniczenie ilości odpadów i zanieczyszczeń, recykling materiałów budowlanych, zwiększenie powierzchni biologicznie czynnych oraz stosowanie innowacyjnych technologii i materiałów budowlanych [3]. Procesy oddziałujące na środowisko przy wytwarzaniu metali przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Oddziaływanie na środowisko przy wytwarzaniu metali [5]

Metal	Proces	GER (MJ/kg)	GWP (kg CO <sub>2e</sub> /kg)	AP (kg SO <sub>2e</sub> /kg)	SWB (kg/kg)
Stal nierdzewna	Elektryczny piec łukowy i odwęglanie argonowo-tlenowe	75	6,8	0,051	6,4
Stal	Zintegrowany proces (wielki piec i zasadowy konwertor tlenowy)	23	2,3	0,020	2,4
Aluminium	Proces rafinacji Bayera, Wytapianie metodą Halla-Heroult	361	35,7	0,0230	16,9
Miedź	Wytapianie/proces konwertorowy	33	3,3	0,040	64
	Ługowanie zwałów rudy i elektrorafinacji SX/EW	64	6,2	-	125

GER – całkowite zapotrzebowanie na energię, GWP – współczynnik ocieplenia globalnego, Potencjał AP – potencjał zakwaszenia, SWB – ilość odpadów stałych

Trójwymiarowość budownictwa zrównoważonego przedstawiono zgodnie z [3] na rysunku 2.



Rys. 2. Cele zrównoważonego budownictwa [3]

Zrównoważone budownictwo podlega szeregu regulacjom prawnym. Część z nich nawiązuje bezpośrednio do omawianego zagadnienia, część natomiast wpływa na nie w sposób pośredni (por. tab. 2), [3].

Tabela 2. Przykłady prawa europejskiego dotyczącego zrównoważonego budownictwa [3]

Temat	Nazwa	Data	Numer
<b>ENERGY LABEL</b>	Rozporządzenie Parlamentu i Rady UE ustanawiające ramy etykietowania energetycznego i uchylające dyrektywę 2010/30/UE	4.07.2017	(UE) 2017/1369
<b>CPR</b>	Rozporządzenie ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych (CPR)	4.04.2017	(UE) 305/2011
<b>EPBD</b>	„Recast” dyrektywy w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (EPBD)	19.05.2010	2010/31/UE
<b>ECODESIGN</b>	Dyrektywa ustanawiająca ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów związanych z energią	31.10.2009	2009/125/WE

### **3. CHARAKTERYSTYKA BUDOWLANYCH KONSTRUKCJI STALOWYCH I KORZYŚCI WYNIKAJĄCE Z ZASTOSOWANIA STALI W BUDOWNICTWIE**

Główną zaletą konstrukcji stalowych podczas procesu budowy jest wysoki stan prefabrykacji poza placem budowy (realizowany w trakcie tzw. prac warsztatowych), a elementy konstrukcyjne są często dostarczane na plac budowy jako elementy gotowe, przystosowane bezpośrednio do montażu. Natomiast w przypadku konstrukcji żelbetowych montaż elementów prefabrykowanych jest procesem bardziej złożonym, podczas gdy konstrukcje stalowe wystarczy skrócić na placu budowy. Żelbetowe elementy konstrukcyjne muszą być również dostarczane na plac budowy w całości, co prowadzi do utrudnień podczas transportu.

Stosowanie stalowych elementów prefabrykowanych ma cały szereg zalet, i pozwala m.in. ograniczyć negatywny wpływ na środowisko w związku ze wznoszeniem budynku, sprawować nadzór nad jakością w trakcie realizacji konstrukcji, łatwiej zarządzać całą budową i skrócić czas jej realizacji poprzez szybki montaż oraz zwiększyć dokładność wykonywanych elementów i całej konstrukcji budowlanej. Ponadto dzięki zastosowaniu prefabrykacji stalowych elementów wysyłkowych uzyskuje się poprawę bezpieczeństwa wykonywanych prac budowlanych w trakcie wznoszenia budynku oraz zapewnia możliwość łatwiejszej jego rozbiórki z chwilą zakończenia cyklu eksploatacyjnego danej budowli. Wykorzystanie budowlanych konstrukcji stalowych ogranicza negatywne oddziaływanie na środowisko oraz ułatwia zarządzanie placem budowy. Zużycie wody, wytwarzanie odpadów budowlanych, emisja pyłów, częstotliwość ruchu pojazdów i hałas podczas budowy są znacznie niższe niż w tradycyjnym systemie wznoszenia budynków. Ma to istotny wpływ na proces realizacji inwestycji w zakresie budownictwa zrównoważonego. Kolejną szczególnie pozytywną cechą wykorzystania stali w konstrukcjach budowlanych jest jej trwałość. Przykładem może tu być stal nierdzewna której właściwości doceniono już w XX wieku. Odporność na negatywny wpływ warunków atmosferycznych i korozję stały się największymi zaletami tej stali, która jest powszechnie stosowana przy realizacji budowlanych konstrukcji stalowych. Jest ona również odporna na działalność kwasów oraz roztworów alkaicznych, dzięki czemu ma pozytywny wpływ na trwałość konstrukcji eksploatowanych przy procesach technologicznych w których mamy do czynienia z agresywnymi środkami chemicznymi. Dzięki temu coraz więcej firm przejawia zapotrzebowanie na jej produkcję.

Stale nierdzewne po zakończeniu użytkowania produktów w znacznym stopniu trafiają do ponownego użycia (por. tab. 3), co w przypadku konstrukcji drewnianych oraz żelbetowych nie jest możliwe do uzyskania w tak dużym zakresie.

Tabela 3. Ponowne wykorzystanie stali nierdzewnych w różnych sektorach gospodarki [7]

Główny sektor zastosowań	Zastosowanie wykończonych stali nierdzewnych w produkcji	Średni okres życia (mierzony w latach)	Składowanie odpadków	Zebrane do recyklingu	
				Całość	Stal nierdzewna
Budownictwo	16%	50	8%	92%	95%
Transport	21%	14	13%	87%	85%
Maszyny przemysłowe	31%	25	8%	92%	95%
Urządzenia domowe	6%	15	18%	82%	95%
Elektronika	6%	-	40%	60%	95%
Wyroby metalowe	20%	15	40%	60%	80%
Całość	100%	22	18%	82%	90%

Należy jednak zauważyć, że wytwarzanie budowlanych konstrukcji stalowych nie jest proste, bowiem wymaga spełnienia określonych wymogów, które są szczegółowo omówione w odpowiednich normach branżowych. Budowlane konstrukcje stalowe znajdują zastosowanie przy realizacji obiektów budowlanych o zróżnicowanym przeznaczeniu. Są stosowane do budowy hal oraz obiektów niekubaturowych, jak również obiektów instytucjonalnych i domów prywatnych. Stal jest również stosowana wszędzie tam, gdzie wymagana jest duża trwałość przy oddziaływaniu warunków atmosferycznych. Przykładami takich zastosowań w szeroko rozumianym budownictwie są konstrukcje schodów, drzwi, balustrad oraz ogrodzeń. Konstrukcje drewniane narażone są w znacznie większym stopniu na wpływ oddziaływań atmosferycznych, natomiast konstrukcje żelbetowe są stosowane w mniejszym zakresie w stosunku do wyżej wymienionych zastosowań, bowiem realizacja tego typu rozwiązań konstrukcyjnych w większości przypadków ma mniejsze uzasadnienie ekonomiczne.

Realizacja budowlanych konstrukcji stalowych wymaga przygotowania odpowiedniej dokumentacji projektowej, która musi spełniać zróżnicowane wymagania, tzn. uzależnione od przeznaczenia docelowego projektowanego obiektu. Ponadto musi obejmować projekt techniczny i dokładnie opisaną specyfikację budynku, a także wykaz materiałów, które zostaną użyte do jego produkcji i w konsekwencji do budowy. Proces ten wymaga pracowników po odpowiednim przeszkoleniu, tj. mających właściwą i odpowiednią wiedzę, umiejętności oraz doświadczenie. Jest to niezbędne do uzyskania budowlanych konstrukcji stalowych o odpowiednich parametrach jakościowych, bowiem proces jej wytwarzania wymaga cięcia, spawania, zgrzewania, gięcia oraz wy-

konywania otworów w sposób gwarantujący jej wysoką jakość, tzn. przewidzianą odpowiednimi normami.

Obecnie bardzo ważne jest, aby przy projektowaniu i produkcji konstrukcji stalowych stosować odpowiednie oprogramowanie CAD, a także cyfrowe urządzenia wspomagające produkcję stalowych elementów konstrukcyjnych. Tylko przy zastosowaniu współczesnych technologii realizacji budowlanych konstrukcji stalowych uzyskuje się wymaganą dokładność, jakość i w konsekwencji wymagane parametry eksploatacji, decydujące o bezpieczeństwie kubaturowych i niekubaturowych stalowych konstrukcji budowlanych.

#### **4. RECYKLING BUDOWLANYCH KONSTRUKCJI STALOWYCH**

Omawiane w pracy stalowe konstrukcje budowlane ze względu na użyte materiały mogą zostać poddane recyklingowi. Warto tu przypomnieć, że stal konstrukcyjna charakteryzuje się dużą wytrzymałością, a ponowne przetworzenie stali z demontażu konstrukcji pozwala na zaoszczędzenie energii.

W przypadku stali rozbiórkowej może ona zostać poddana oczyszczeniu z warstw materiałów niebędących rodzimym materiałem stalowym, tj. z warstw farby, rdzy oraz innych zabrudzeń. Następnie tak przygotowane elementy stalowe mogą zostać przetopione i użyte jako dodatek do nowo formowanych elementów stalowych. Wynika to bezpośrednio z właściwości stali, która należy do materiałów poddających się łatwemu demontażowi oraz obróbce termicznej. Ponadto w trakcie recyklingu nie traci ona swoich właściwości. Świadczy to o bardzo wysokiej podatności budowlanych konstrukcji stalowych, omawianych w pracy na recykling.

Przygotowany złom stalowy z konstrukcji budowlanych jest poddawany procesowi recyklingu głównie w elektrycznych piecach łukowych. Przy ciśnieniu atmosferycznym proces trwa około 1,5 h. Warto przypomnieć, że w procesie recyklingu złomu stalowego wyróżnia się: składowanie i przygotowanie złomu, jego załadunek do pieca, proces samego topienia oraz spust stali i żużła. Następnie mamy do czynienia z obróbką ciekłego metalu, celem nadania mu odpowiedniej jakości i odlewaniem stali. Najczęściej stosuje się proces ciągłego odlewania stali (COS), który obecnie jest najczęściej stosowanym sposobem odlewania stali.

#### **5. POSUMOWANIE**

W pracy poddano ocenie zalety konstrukcji stalowych i wpływ szybkiego tempa rozwoju branży budowlanej, obejmującej realizację konstrukcji stalowych, na środowisko naturalne. Omówiono również możliwości ochrony środowiska podczas całego cyklu życia konstrukcji stalowej, zaczynając od momentu realizacji po późniejszą rozbiórkę i recykling. Prefabrykacja ujęta

w pracy jest idealnym przykładem na dążenie sektora budownictwa do realizacji założeń związanych ze „zrównoważonym rozwojem”. Dodatkowym czynnikiem wpływającym na polepszenie się stanu rzeczy jest wzrastająca świadomość ekologiczna. Coraz częściej wykonawcy decydują się na zastosowanie materiałów prefabrykowanych lub pochodzących z recyklingu. Pozwala to na stworzenie nowych miejsc pracy, znaczne zaoszczędzenie energii a w konsekwencji zmniejszenie negatywnego wpływu na środowisko.

## LITERATURA

- [1] Major M., Major I., 2014. Wykorzystanie odpadów gumowych w budownictwie zrównoważonym. Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym 2(14), Częstochowa, 38-45.
- [2] Major M., Major I., 2015. Konstrukcje zespolone w budownictwie zrównoważonym. Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym 2(16), Częstochowa, 51-56.
- [3] Nalepka M., Rawska-Skotniczny A., 2016. Rozbiórki w kontekście zrównoważonego rozwoju, Builder 118.
- [4] Mazur-Wierzbicka E., 2014. Ekoinnowacje – istotny element zrównoważonego budownictwa. Handel wewnętrzny 5(352), 138-148.
- [5] Norgate T.E., Jahanshahi S., Rankin W.J., 2007. Assessing the environmental impact of metal production processes. Journal of Cleaner Production 15, 838-848.
- [6] Pluta A., 2014. Budownictwo zrównoważone – powszechnie obowiązujący standard, [www.inteligentnybudynek.eu](http://www.inteligentnybudynek.eu) [dostęp: 27.07.2017].
- [7] Supporting presentation for lecturers of Architecture/Civil Engineering, Sustainability of Stainless Steels, [www.nickelinstitute.org](http://www.nickelinstitute.org) [dostęp: 27.07.2017].