

Projektowanie elementów ściskanych z aluminium za pomocą eurokodów i programów obliczeniowych

Dr inż. Maciej Cwyl, Izabela Dmowska, Politechnika Warszawska

1. Wprowadzenie

Przy projektowaniu prętowych układów konstrukcji metalowych, o ich nośności decyduje na ogół wyboczenie elementów ściskanych. Większość konstrukcji prętowych analizowana jest przy zastosowaniu odpowiednich programów obliczeniowych z wykorzystaniem modeli przestrzennych. W wypadku prętów ściskanych programy w sposób automatyczny dobierają, zależnie od sztywności układu i ukształtowania węzłów, odpowiednie długości wyboczeniowe i parametry stateczności ogólnej elementów. Dokładna analiza zjawiska wyboczenia pręta i prawidłowe wyznaczenie sił krytycznych decyduje w tego rodzaju konstrukcjach o poprawności wykonania obliczeń inżynierskich. Błędne określenie nośności z uwzględnieniem utraty stateczności ogólnej może skutkować zniszczeniem pręta ściskanego, zmianami schematów statycznych konstrukcji oraz dużymi deformacjami ustroju prętowego.

Zagadnienia oceny nośności konstrukcji aluminiowych prowadzone są w kraju m.in. w Politechnice Krakowskiej. Różne aspekty tej oceny przedstawione są w pracach prof. Mariana Gwoździa [1, 2]. Zagadnienia projektowania prętów aluminiowych w świetle eurokodów przedstawiono w [3, 4].

Zjawisko wyboczenia pręta ściskanego osiowo we właściwy sposób zostało opisane w Eurokodzie 3 [5] w odniesieniu do elementów projektowanych ze stali konstrukcyjnych oraz w Eurokodzie 9 [6] – do prętów projektowanych z aluminium. Pomimo powszechnego zrozumienia zagadnień projektowania przy uwzględnieniu zjawisk opisujących stateczność ogólną prętów, przy weryfikacji wyników obliczeń komputerowych pojawiają się rozbieżności sięgające kilkunastu procent. Autorzy podjęli próbę identyfikacji przyczyn występowania tego rodzaju rozbieżności w konstrukcjach projektowanych ze stopów aluminiowych. W trakcie prowadzonych badań stwierdzono, że występujące na rynku programy obliczeniowe umożliwiają wprowadzenie prawidłowych danych materiałowych konstrukcji aluminiowych, a następnie większość z nich wykorzystuje warunki nośności wg Eurokodu 3, mające zastosowanie do konstrukcji

stalowych. Większość poddanych analizie programów miała w swej bazie podstawowe wyroby z programu produkcji kształtowników aluminiowych. Wszystkie rozpatrywane programy zawierały moduł doboru przekrojów z tej bazy. Po uzyskaniu wyników obliczeń w większości przypadków raport końcowy nie zawierał informacji o zastosowanej procedurze obliczeniowej, a jedynie dane o procentowym wykorzystaniu nośności sprawdzanego pręta. Podczas wykonywania obliczeń programy nie wyświetlały komunikatów o niezgodnościach z określonymi normami do projektowania. W trakcie badań rynku stwierdzono wykorzystywanie tego rodzaju oprogramowania do wykonywania obliczeń konstrukcji aluminiowych przez biura projektowe, które zajmując się projektowaniem konstrukcji stalowych lub żelbetonowych sporadycznie otrzymują zlecenia na projekty konstrukcji aluminiowych. Biura projektowe, by nie ponosić kosztów zakupu specjalistycznego oprogramowania zawierającego moduły obliczeniowe zgodne z Eurokodem 9, wykorzystują programy dostępne w swojej bazie. Po wykonaniu obliczeń projektanci uwzględniają rozbieżności wynikające z różnicy w analizie obliczeniowej przeprowadzonej zgodnie z Eurokodem 3 do obliczania konstrukcji aluminiowej. Dokonując rozpoznania rynku, stwierdzono jednak pojedyncze przypadki korzystania przez projektantów z tego rodzaju oprogramowania wykorzystującego niewłaściwe zestawy norm projektowych bez uwzględnienia różnic wynikających z przyjęcia niewłaściwego algorytmu obliczeń. Po uzyskaniu powyższych informacji autorzy zdecydowali się na przeprowadzenie analiz porównawczych nośności prętów ściskanych z kształtowników aluminiowych, wykorzystując wiodące programy obliczeniowe i procedury zawarte w Eurokodach 3 oraz 9. Celem pracy jest przedstawienie różnic w nośnościach elementów ściskanych oraz analiza przyczyn występowania rozbieżności przy ocenie nośności z wykorzystaniem programów obliczeniowych.

Do projektowania elementów ściskanych z aluminium stosuje się zasady ujęte w rozdziale 6.3 Eurokodu 9 „Stateczność elementów pełnościennych”. Podany tamże algorytm pozwala na poprawne zaprojektowanie elementu

konstrukcyjnego z uwzględnieniem zagadnień niesta-
teczności ogólnej pręta, zawierającej zróżnicowanie
krzywych wyboczeniowych zależnie od klasy materiału
oraz przyjętej umownej granicy plastyczności f_0 dla alu-
minium. Procedury Eurokodu 3 wykorzystuje większość
programów obliczeniowych wymiarujących ustroje prę-
towe. Porównując pakiety norm stosowane do obliczeń
konstrukcji aluminiowych i stalowych, warto nadmienić,
że zgodnie ze swym przeznaczeniem Eurokod 3 właści-
wy jest jedynie dla elementów stalowych. Rozbieżność
analizowanych warunków obliczeniowych dla przywoła-
nych pakietów norm wynika z zagadnień materiałowych.
W elementach o podobnej smukłości naprężenia w stali
przekraczają umowną granicę plastyczności, co w prze-
krojach aluminiowych nie ma miejsca, gdyż naprężenia
krytyczne nie osiągają w pełni umownej granicy pla-
styczności. W próbie rozciągania aluminium nie osiąga
się wyraźnych granic plastyczności i proporcjonalności
– należy je przyjmować jako umowne. W związku z czym
charakterystycznymi wielkościami są: umowna granica
sprężystości $R_{0,05}$ oraz umowna granica plastyczności
 $R_{0,2}$. Z tego względu przy projektowaniu konstrukcji
aluminiowych, niewłaściwe jest wykorzystywanie pro-
cedur projektowania zawartych Eurokodzie 3. Do obli-
czeń konstrukcji z tego rodzaju stopów powstał Euro-
kod 9, został on jednak wprowadzony znacznie później
niż norma do projektowania konstrukcji stalowych i nie
jest tak powszechnie stosowany na rynku. Eurokod 9
obejmuje obecnie od 9 do 15% szeroko rozumiane-
go rynku projektowania konstrukcji metalowych. Sto-
py aluminiowe, choć obecnie dorównują parametrami
wytrzymałościowymi popularnym gatunkom stali kon-
strukcyjnych, są jednak droższymi w zastosowaniach.
Kształtowniki aluminiowe wchodzi na rynek w zakresie
konstrukcji metalowo-szklanych, obiektów telekomu-
nikacyjnych i lekkich hal przemysłowych. W ostatnim
dziesięcioleciu produkcja elementów aluminiowych dla
budownictwa uległa podwojeniu, jednak błędy projek-
towania tego rodzaju konstrukcji są ciągle zauważalne.
Duży udział w powielaniu nieprawidłowości etapu pro-
jektowania mają braki w zakresie programów oblicze-
niowych, które w sposób niewłaściwy lub błędny inter-
pretują konstrukcje projektowane z aluminium.

2. Nośność pręta z uwzględnieniem zjawiska wycięcia

2.1. Wyboczenie

Zjawiskiem wyboczenia określamy zmianę geometrii
elementu polegającą na jego wygięciu w kierunku pro-
stopadłym do osi podłużnej, na skutek ściskania siłą
osiową. Tę charakterystyczną wartość siły obciążającej
określa się mianem siły krytycznej. Wartość siły krytycz-
nej przy wyboczeniu giętnym według eurokodów wy-
znacza się korzystając ze smukłości względnej, do wy-
znaczenia której wykorzystuje się wzór Eulera. Dotyczy
on sprężystego wyboczenia prętów, zatem naprężenia

ściskające nie powinny przekraczać granicy proporcjo-
nalności R_H . Z tej zależności wynika, że smukłość prę-
tów musi spełniać następujący warunek $\lambda \geq \lambda_{gr}$. Przywo-
łany warunek smukłości granicznej wyodrębnia pręty
krępe, dla których forma zniszczenia będzie realizowa-
na poprzez uplastycznienie się materiału w przekroju
bez wystąpienia zjawisk związanych z utratą stateczno-
ści ogólnej pręta. Wartość graniczna smukłości zależy
od właściwości materiału i wyznacza się ją ze wzoru:

$$\lambda_{gr} = \pi \sqrt{\frac{E}{R_H}} \quad (1)$$

gdzie:

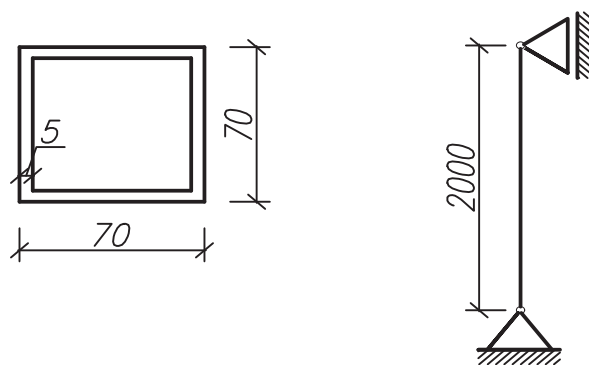
R_H – granica proporcjonalności materiału,
 E – moduł Younga.

Elementy, w których warunek smukłości granicznej przy-
biera postać $\lambda < \lambda_{gr}$, ulegają wyboczeniu niesprężystemu.
W takim przypadku, przy projektowaniu z wykorzystaniem
wzoru Eulera, uzyskuje się zbyt duże wartości siły
krytycznej. Wartości sił krytycznych wyznacza się wte-
dy według zasad teorii modułu stycznej do krzywolini-
owej charakterystyki σ - ε stopu aluminium.

2.2. Przebieg analizy

W prezentowanym artykule zamieszczono wyniki analiz
dla prętów o przekroju rur kwadratowych (rys. 1), któ-
rych wymiary wynosiły $70 \times 70 \times 5$ mm.

Dobre przekroje prętów analizowano z parametrami
materiałowymi odpowiadającymi stopom aluminium
EN AW-6060, T5 (PA38). Smukłość elementów podda-
nych analizie wynosiła $\lambda = 75,6$. Otrzymane wyniki po-
równano z analizami przeprowadzonymi przy zastoso-
waniu trzech różnych, wiodących na rynku, programów
obliczeniowych służących do projektowania konstrukcji.
Prowadzone analizy rozpoczęto od obliczeń nośności
dobranych elementów zgodnie z procedurami zawarty-
mi według Eurokodu 9. Wartość nośności pręta ściska-
nego, analizowanego według Eurokodu 9 z uwzględ-
nieniem zjawiska wyboczenia giętnego określana jest
według wzoru (2) uwzględniającego wpływ wyboczenia
pręta, parametry materiałowe elementu oraz osłabienia



Rys. 1. Schemat statyczny oraz przekrój analizowanych prętów aluminiowych

Tabela 1. Nośność na wyboczenie elementu aluminiowego w zależności od metody obliczeń

Rodzaj analizy	Pole przekroju A [cm ²]	Moment bezwładności I_y [cm ⁴]	Siła krytyczna N_{cr} [kN]	Smukłość względna λ	Współczynnik φ	Współczynnik η	Nośność $N_{b,Rd}$ [kN]
Element aluminiowy							
Wg EC9	12,7	88,5	151,76	1	1,092	0,655	99,81
Wg EC3	12,7	88,5	151,76	1,16	1,27	0,558	113,31
Prog. I	12,8	89,6	153,65	1,16	1,27	0,559	114,55
Prog. II	12,7	88,5	151,76	1,16	1,27	0,56	113,31
Prog. III	12,62	86,71	148,69	1,165	1,28	0,552	111,51

Tabela 2. Nośność elementu aluminiowego w zależności od metody obliczeń

	Obliczenia wg EC9	Obliczenia wg EC3	Program I	Program II	Program III
Nośność na wyboczenie kształtownika aluminiowego [kN]	99,81	113,31	114,55	113,31	111,51
Procentowa różnica pomiędzy obliczeniami z EC3 i EC9	14%				

wynikające z obróbki termicznej konstrukcji.

$$N_{b,Rd} = \frac{\kappa \times \chi \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} \quad (2)$$

gdzie:

$N_{b,Rd}$ – obliczeniowa nośność elementu na wyboczenie,
 γ_{M1} – współczynnik częściowy stosowany przy ocenie stateczności elementu,

χ – współczynnik wyboczeniowy,

f_y – granica plastyczności,

κ – współczynnik uwzględniający wpływ spoin (prze-grzania) na nośność elementu na wyboczenie,

A – pole przekroju.

Do przekrojów osiągających klasę 4 we wzorze (2), ze względu na niestateczność miejscową, stosuje się zredukowane pole powierzchni dla obliczanego elementu A_{eff} . Zmiana składnika A na A_{eff} , oznacza uwzględnienie w obliczeniach pola zredukowanego geometrycznie ze względu na niestateczność miejscową lub efekt HAZ, ustalony z pominięciem ewentualnych otworów. Porównując wzory do wyznaczenia nośności z Eurokodu 9 i Eurokodu 3, różnice będzie stanowił dodatkowy współczynnik κ – obniżający nośność elementu ściskanego poddanego przegrzaniu podczas spawania i obróbki termicznej. Elementy aluminiowe podczas obróbki cieplnej i wykonywania połączeń spawanych wymagają redukcji nośności w zakresie od 0 do 62%. Aby właściwie uwzględnić opisaną własność materiałową, stosuje się w obliczeniach zastępcze pole przekroju oznaczane jako A_{haz} – pole przekroju w strefie HAZ. Mając określone parametry przekroju obliczanego pręta ściskanego w kolejnym kroku projektowania należy uwzględnić wpływ wyboczenia giętnego. W tym celu należy prawidłowo wyznaczyć współczynnik wyboczeniowy elementu. Z badań prowadzonych w zakresie przygotowanego artykułu wynika, że do 70% tworzonych modeli obliczeniowych przestrzennych konstrukcji prętowych w różnych programach obliczeniowych, wymagane jest modyfikowanie dobranych automatycznie

długości wyboczeniowych i smukłości prętów. Wpływu na to mają własności geometryczne konstrukcji, sztywność kształtowanych przez projektantów węzłów oraz uwzględnianie lub pomijanie współpracy z elementami usztywniającymi i tarczowymi. Warto zauważyć, że graniczna smukłość względna oraz parametr imperfekcji są zależne od klasy wyboczenia związanej z rodzajem materiału zastosowanego w projektowanym elemencie konstrukcyjnym. Analizując elementy aluminiowe, wyróżnia się tylko dwa rodzaje krzywych wyboczenia. Porównując to z Eurokodem 3 można stwierdzić, że istnieje tam pięć różnych krzywych wyboczenia, gdzie parametr imperfekcji zależy w znacznej mierze od rodzaju elementu i typu przekroju, a także klasy stali. W przypadku przekrojów rurowych znaczenie ma również sposób ich wykonania. Przy obliczaniu smukłości względnej elementu aluminiowego najistotniejsze jest uwzględnienie specyficznych dla tego materiału właściwości, a przede wszystkim umownej granicy plastyczności f_{0r} . W programach obliczeniowych nieobejmujących zagadnień związanych z algorytmami projektowania konstrukcji aluminiowych podczas definiowania parametrów materiałowych wprowadzany jest jedynie uogólniony parametr R_m , utożsamiany z wartością f_u zgodnie z Eurokodem 9. Ta rozbieżność ma istotne znaczenie przy wyznaczaniu nośności przekrojowej pręta oraz smukłości. Procedura obliczania nośności pręta aluminiowego według Eurokodu 9 charakteryzuje się istotnymi różnicami w stosunku do algorytmu wyznaczenia nośności na wyboczenie wg Eurokodu 3. Wynikają one głównie z własności materiałowych aluminium i stali. Do analizy porównawczej obliczeń elementów ściskanych przyjęto elementy bez osłabień wywołanych procesami spawania, więc współczynnik κ określono jako równy 1.

2.3. Otrzymane wyniki

W zakresie artykułu analizowano różnice otrzymanych wyników dla prętów ściskanych osiowo przy zastosowaniu tych samych warunków brzegowych i wykorzystaniu



Rys. 2. Nośność na wyboczenie elementu aluminiowego



Rys. 3. Różnice w nośności na wyboczenie kształtownika aluminiowego

Tabela 3. Różnice nośności elementów aluminiowych zależnie od smukłości

Obliczenia	Pole przekroju poprzecznego A [cm ²]	Moment bezwładności $I=I_y$ [cm ⁴]	Smukłość λ	Nośność elementu $N_{b,Rd}$ [kN]	Różnica nośności [%]
Rura aluminiowa					
Wg EC9	12,7	88,5	18,9	147,67	35
Wg EC3				199,13	
Wg EC9	12,7	88,5	37,9	138,06	32
Wg EC3				182,46	
Wg EC9	12,7	88,5	56,8	122,96	25
Wg EC3				153,36	
Wg EC9	12,7	88,5	75,8	99,81	14
Wg EC3				113,31	
Wg EC9	12,7	88,5	94,7	75,27	7
Wg EC3				80,46	
Wg EC9	12,7	88,5	132,6	44,26	3
Wg EC3				49,56	

różnych, rynkowych programów obliczeniowych.

Do przeprowadzenia analizy statycznej zastosowano algorytm z Eurokodu 3 i Eurokodu 9, ze względu na stwierdzone, zamienne obliczanie nośności elementów aluminiowych wzorami wykorzystywanymi do analizy konstrukcji stalowych. Programy oznaczono symbolami I; II i III. Z badań prowadzonych do potrzeb artykułu wynikało, że pierwszy z programów jest w posiadaniu ok. 76% biur inżynierskich, drugi z programów posiadał 83% jednostek projektowych, a trzeci program zadeklarowało 48% biur zajmujących się obliczeniami konstrukcyjnymi obiektów budowlanych. Wyniki obliczeń według eurokodów i oprogramowania zestawiono w tabeli 1. Należy zwrócić szczególną uwagę na wartość nośności na wyboczenie, która została policzona według procedury obliczeniowej z Eurokodu 9 oraz Eurokodu 3 i programów obliczeniowych. Wykazane różnice są istotne, a ich wielkość może decydować o zachowaniu rezerw nośności w stosunku do warunków podanych we właściwych normach do projektowania konstrukcji. Skutki przyjęcia nieodpowiedniej normowo procedury obliczania konstrukcji metalowej będą dodatkowo pogłębiane przy braku uwzględnienia obniżenia nośności elementu w wyniku osłabień spawalniczych. Te rozbieżności będą wtedy osiągały wartość kilkudziesięciu procent.

Przy projektowaniu elementów konstrukcji z aluminium

zaobserwowano, że wszystkie programy do analizy metalowych konstrukcji prętowych wykonują obliczenia według procedur zgodnych z zapisami norm Eurokodu 3, co nie jest właściwe w przypadku aluminium (rys. 2). Wynik nośności, otrzymany przy obliczeniach zgodnych z algorytmem Eurokodu 9, różni się aż o 14% od pozostałych wyników. Nadmienić należy, że programy obliczeniowe pozwalały na wprowadzenie podstawowych parametrów materiałowych i charakterystyk geometrycznych zgodnych ze stopami aluminium podanymi w Eurokodzie 9. Przeanalizowano również, jak zmieniała się nośność obliczeniowa elementów aluminiowych w zależności od smukłości. Wyniki zestawiono w tabeli 3. Tak duże różnice w otrzymanych wynikach są rezultatem uwzględnienia umownej granicy plastyczności do obliczeń według Eurokodu 9, gdzie do algorytmu z Eurokodu 3 stosuje się granicę plastyczności f_y . Z przedstawionej analizy wynika, że różnice pomiędzy nośnościami prętów w zależności od przyjętego algorytmu obliczeń są tym większe, im smukłość elementów jest mniejsza. Pokazuje to skalę problemu, jakim jest przypadkowe stosowanie programów do analiz komputerowych przy projektowaniu konstrukcji ze stopów aluminiowych. Różnice te znacząco wzrosną przy zastosowaniu elementów spawanych, czego nie da się uniknąć przy kształtowaniu przestrzennych układów konstrukcyjnych. W takiej sytuacji obliczenia będą obarczone

znacznie większym błędem, wykraczającym poza zakres przyjmowanych współczynników obliczeniowych oraz współczynników niezawodności konstrukcji.


3. Podsumowanie

Przy projektowaniu elementów z aluminium z zastosowaniem rozpatrywanych programów obliczeniowych dla metalowych konstrukcji prętowych nie można dokładnie określić nośności na wyoboczenie. Jak stwierdzono, analiza zagadnień związanych ze zjawiskiem wyoboczenia odbywa się w rozpatrywanych programach w sposób podany w Eurokodzie 3, co daje zawyżone wyniki. Różnice wynikające z warunków nośności według procedur normowych i wyników otrzymanych z programów sięgają kilkunastu procent i zmieniają się w zależności od smukłości projektowanego elementu. Bardzo niekorzystny wpływ stref przegrzania elementów związany z procesami spawalniczymi i dodatkową obróbką termiczną nie był ujęty w analizie obliczeniowej elementów aluminiowych przy otrzymywaniu wyników z obliczeń komputerowych. Znaczne zmniejszenie nośności elementu na skutek przegrzania wynika z charakterystycznych właściwości aluminium, którymi materiał ten różni się od stali. Przy wykonywaniu skomplikowanych modeli przestrzennych układów prętowych ze stali lub aluminium w wyznaczanych automatycznie przez programy obliczeniowe parametrach smukłości i warunkach podparcia występowały błędy wymagające skorygowania przez projektanta. Pozytywnym wnioskiem płynącym z prezentowanego artykułu jest jednak fakt

dużej świadomości projektantów korzystających z opisanych programów i procedur obliczeniowych. W większości przypadków osoby korzystające z obliczeń komputerowych były świadome niedoskonałości używanych programów i modeli obliczeniowych. Znając warunki normowe, projektanci na podstawie otrzymanych wyników komputerowych szacowali stopień wykorzystania nośności elementów oraz wprowadzali poprawione parametry stateczności ogólnej konstrukcji prętowej, udoskonalając parametry wyznaczone automatycznie w trakcie analiz komputerowych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Gwóźdź M., Konstrukcje aluminiowe. Projektowanie według Eurokodu 9, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2014
- [2] Gwóźdź M., Dimensioning of welded structures made of strain-hardened aluminium alloys, *Welding International*, 1 maja 2012, tom 26 (5), str. 325–329
- [3] Gizejowski M., Barszcz A., Nikonowicz K., A new buckling curve formulation for aluminium alloy elements. In: *Advances in Structures. Steel, Concrete, Composite and Aluminium*, Sydney (Eds. GJ Hancock, MA Bradford, TJ Wilkinson, B. Uy, KJR Rasmussen), Balkema, Rotterdam, 2003, tom 1, str. 413–419
- [4] Gizejowski M., Barszcz A., Nikonowicz K., A multiple buckling curve formulation for design of aluminium elements. *Botswana Journal of Technology*, tom 12, nr 1, 2003, str. 25–35
- [5] PN -EN 1993-1-1:2006 Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [6] PN-EN 1999-1-1:2011 Projektowanie konstrukcji aluminiowych. Część 1-1: Reguły ogólne
- [7] Glinicka A., Doświadczalna analiza wyoboczenia niesprężystego kształtowników o przekrojach rurowych czworobocznych, *Drogi i Mosty* nr 2/2005




XXIII Ogólnopolska Interdyscyplinarna Konferencja Naukowo-Techniczna

EKOLOGIA A BUDOWNICTWO

12-14 października 2017 r., Bielsko-Biała

Organizatorzy: Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa, Oddział w Bielsku-Białej
Instytut Techniki Budowlanej w Warszawie, Komitet Ekologii przy ZG PZITB



Przewodniczący
Rady Naukowo-Technicznej
prof. dr hab. inż. **Leonard Runkiewicz**

Przewodniczący
Komitetu Organizacyjnego
mgr inż. **Janusz Kozula**

ZAKRES TEMATYCZNY

Tematyka tegorocznej Konferencji obejmuje następujące grupy problemowe:

- Problemy ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju.
- Rola administracji państwowej i samorządowej oraz uczestników procesu budowlanego w ochronie i kształtowaniu środowiska.
- Proekologiczne materiały i wyroby budowlane – materiały odnawialne, recykling i wykorzystanie odpadów.
- Skutki techniczne, ekonomiczne i społeczne skażenia obiektów budowlanych i sposoby ich neutralizacji.
- Ekologia terenów zurbanizowanych.
- Kształcenie ekologiczne w działalności budowlanej.
- Ekologiczne aspekty projektowania w tym architektury i użytkowania budownictwa.
- Rewitalizacja obiektów, terenów poprzemysłowych i innych.
- Problemy korozji biologicznej.
- Problemy projektowania i utrzymywania obiektów budowlanych w strategii zrównoważonego rozwoju i ochrony środowiska.
- Sposoby pozyskiwania i użytkowania energii ze źródeł naturalnych w budownictwie.
- Skutki techniczne działalności budowlanej na istniejące obiekty budowlane.
- Komfort użytkowania budynków, komfort termiczny, jakość powietrza wewnętrznego, komfort wizualny.
- Zrównoważone wykorzystanie zasobów mineralnych, złóż energetycznych w tym odnawialnych.

www.pzitz.bielsko.pl

