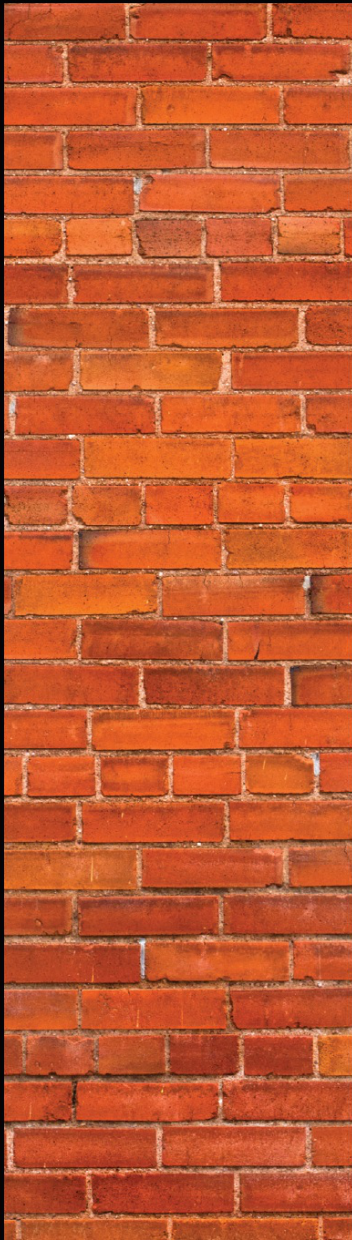


Łukasz Drobiec  
Radosław Jasiński  
Adam Piekarczyk

# KONSTRUKCJE MUROWE

WEDŁUG EUROKODU 6  
I NORM ZWIĄZANYCH



WYDAWNICTWO NAUKOWE PWN

# KONSTRUKCJE MUROWE

WEDŁUG EUROKODU 6  
I NORM ZWIĄZANYCH

*Książkę dedykujemy pamięci  
prof. dr. inż. Bohdana Lewickiego dr. h.c.*

*Autorzy*

Łukasz Drobiec  
Radosław Jasiński  
Adam Piekarczyk

# KONSTRUKCJE MUROWE

WEDŁUG EUROKODU 6  
I NORM ZWIĄZANYCH



WYDAWNICTWO NAUKOWE PWN  
WARSZAWA 2013



Projekt okładki i stron tytułowych **Agnieszka Machnicka**

Ilustracja na okładce **D2 Photography/Shutterstock**

Recenzent **prof. dr hab. inż. Romuald Orłowicz**

Autorzy poszczególnych rozdziałów

**Łukasz Drobiec** – rozdz. 5 (wspólnie z R. Jasińskim), 6, 7 i 8

**Radosław Jasiński** – rozdz. 1 i 2, 5 (wspólnie z Ł. Drobcem)

**Adam Piekarczyk** – rozdz. 3 i 4

Wydawca **Izabela Ewa Mika**

Redaktor **Agnieszka Grabarczyk**

Produkcja **Mariola Grzywacka**

Łamanie **Ewa Szelatyńska, Scan-System**

Książka, którą nabyłeś, jest dziełem twórcy i wydawcy. Prosimy, abyś przestrzegał praw, jakie im przysługują. Jej zawartość możesz udostępnić nieodpłatnie osobom bliskim lub osobiście znanym. Ale nie publikuj jej w internecie. Jeśli cytujesz jej fragmenty, nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło. A kopiując jej część, rób to jedynie na użytek osobisty.

Szanujmy cudzą własność i prawo.  
Więcej na [www.legalnakultura.pl](http://www.legalnakultura.pl)  
*Polska Izba Książki*

Copyright © by Wydawnictwo Naukowe PWN SA  
Warszawa 2013

ISBN: 978-83-01-17293-0 t. 1  
978-83-01-17294-7 całość

Wydanie I

Wydawnictwo Naukowe PWN SA  
infolinia 801 33 33 88  
tel. 22 69 54 321; faks 22 69 54 288  
e-mail: [pwn@pwn.com.pl](mailto:pwn@pwn.com.pl); [www.pwn.pl](http://www.pwn.pl)

# Ogólny spis treści

## TOM I

### Wprowadzenie

1. Ustalenia ogólne
2. Podstawy projektowania
3. Materiały
4. Trwałość
5. Wymagania konstrukcyjne
6. Wykonawstwo konstrukcji murowych
7. Niezbrojone ściany murowe obciążone głównie pionowo
8. Ściany obciążone siłą skupioną

## TOM II

1. Mury w złożonym stanie naprężenia
2. Niezbrojone ściany murowe poddane obciążeniom ścinającym
3. Niezbrojone ściany murowe zginane z płaszczyzny
4. Niezbrojone ściany murowe zginane w płaszczyźnie
5. Niezbrojone ściany murowe poddane łącznie obciążeniom pionowym i prostopadłym do ich powierzchni
6. Ściany usztywniające
7. Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe

TOM III

1. Zbrojone części konstrukcji murowych poddane zginaniu, zginaniu i osiowemu ściskaniu lub tylko obciążeniu osiowemu
2. Zbrojone części konstrukcji murowych poddane ścinaniu
3. Kotwy
4. Mury sprężone
5. Mury skrępowane
6. Stan graniczny użyteczności

# Spis treści

Wprowadzenie .....	XIII
Podstawowe oznaczenia .....	XV
<b>1. Ustalenia ogólne .....</b>	<b>1</b>
1.1. Geneza Eurokodów .....	1
1.2. Struktura Eurokodów .....	6
1.3. Różnice pomiędzy zasadami i regułami stosowania .....	8
1.4. Zakres Eurokodu 6 .....	8
1.4.1. Zakres Części 1–1 Eurokodu 6 .....	9
1.4.2. Zakres Części 1–2 Eurokodu 6 .....	10
1.4.3. Zakres Części 2 Eurokodu 6 .....	10
1.4.4. Zakres Części 3 Eurokodu 6 .....	11
1.5. Powołania normatywne .....	11
1.6. Założenia .....	13
1.7. Terminy i definicje .....	13
1.7.1. Wspólne terminy .....	13
1.7.2. Szczególne terminy dotyczące projektowania .....	14
1.7.3. Terminy dotyczące oddziaływań .....	16
1.7.4. Terminy dotyczące właściwości materiału i wyrobu .....	18
1.7.5. Terminy dotyczące wielkości geometrycznych .....	18
1.7.6. Terminy dotyczące analizy konstrukcji .....	18
1.7.7. Terminy dotyczące muru .....	19
1.7.8. Terminy dotyczące wytrzymałości muru .....	20
1.7.9. Terminy dotyczące elementów murowych .....	20
1.7.10. Terminy dotyczące zaprawy murarskiej .....	21
1.7.11. Terminy dotyczące betonu wypełniającego .....	22
1.7.12. Terminy dotyczące zbrojenia .....	22
1.7.13. Terminy dotyczące wyrobów dodatkowych .....	22
1.7.14. Terminy dotyczące spoin w murze .....	22



1.7.15. Terminy dotyczące rodzajów ścian .....	23
1.7.16. Różne terminy .....	24
Literatura do rozdziału 1 .....	24
<b>2. Podstawy projektowania .....</b>	<b>27</b>
2.1. Wstęp .....	27
2.2. Zapewnienie niezawodności konstrukcji .....	28
2.3. Sprawdzanie niezawodności konstrukcji metodami probabilistycznymi .....	39
2.3.1. Wskaźnik niezawodności konstrukcji .....	40
2.3.2. Wskaźnik niezawodności Cornella .....	43
2.3.3. Wskaźnik niezawodności Hasofera–Linda .....	44
2.4. Stany graniczne konstrukcji budowlanych .....	49
2.5. Metoda współczynników częściowych .....	50
2.5.1. Warunek niezawodności w metodzie współczynników częściowych ..	50
2.5.2. Współczynniki częściowe i ich kalibrowanie .....	53
2.5.3. Oddziaływania .....	62
2.5.4. Wartości obliczeniowe parametrów materiałowych i oddziaływań ...	101
2.6. Efekt łączny oddziaływań. Kombinacje obciążeń .....	109
2.7. Stany graniczne nośności ULS .....	115
2.8. Stany graniczne użyteczności SLS .....	119
2.9. Projektowanie wspomagane badaniami .....	125
Literatura do rozdziału 2 .....	136
<b>3. Materiały .....</b>	<b>141</b>
3.1. Elementy murowe .....	141
3.1.1. Zakres badań i wymagania dotyczące elementów murowych .....	143
3.1.2. Kategorie elementów murowych .....	147
3.1.3. Grupy elementów murowych .....	148
3.1.4. Wytrzymałość na ściskanie .....	148
3.2. Zaprawa .....	158
3.2.1. Rodzaje i funkcje zapraw murarskich .....	158
3.2.2. Specyfikacje i właściwości zapraw murarskich .....	159
3.2.3. Określanie wytrzymałości na ściskanie zaprawy murarskiej .....	163
3.2.4. Przyczepność między zaprawą i elementami murowymi .....	172
3.3. Beton wypełniający .....	195
3.4. Stal zbrojeniowa .....	198
3.4.1. Właściwości prętów zbrojeniowych .....	198
3.4.2. Właściwości zbrojenia do spoin wspornych .....	202
3.5. Stal sprężająca .....	204
3.6. Parametry wytrzymałościowe muru .....	207
3.6.1. Wytrzymałość muru na ściskanie .....	208
3.6.2. Wytrzymałość muru na ścinanie .....	253
3.6.3. Wytrzymałość muru na rozciąganie .....	282
3.6.4. Przyczepność zbrojenia do zaprawy lub betonu wypełniającego .....	299

3.7.	Właściwości odkształceniowe muru .....	302
3.7.1.	Zależność naprężenie-odkształcenie .....	302
3.7.2.	Moduł sprężystości .....	306
3.7.3.	Moduł ścinania .....	311
3.7.4.	Pełzanie, rozszerzalność pod wpływem wilgoci lub skurcz i rozszerzalność pod wpływem temperatury .....	315
	Literatura do rozdziału 3 .....	321
<b>4.</b>	<b>Trwałość .....</b>	<b>330</b>
4.1.	Korozja muru .....	330
4.2.	Klasyfikacja warunków środowiskowych .....	334
4.3.	Trwałość muru .....	340
4.3.1.	Elementy murowe .....	340
4.3.2.	Zaprawa .....	342
4.3.3.	Stal zbrojeniowa .....	346
4.3.4.	Stal oraz urządzenia do sprężania, wyroby dodatkowe i kątowniki podpierające .....	351
	Literatura do rozdziału 4 .....	354
<b>5.</b>	<b>Wymagania konstrukcyjne .....</b>	<b>355</b>
5.1.	Wymagania dotyczące muru .....	356
5.1.1.	Materiały do wykonywania murów .....	356
5.1.2.	Grubość i przekrój poprzeczny ścian .....	356
5.1.3.	Przewiązanie muru .....	361
5.1.4.	Spoiny w murze .....	375
5.1.5.	Długość oparcia siły skupionej .....	377
5.2.	Wymagania dotyczące zbrojenia .....	377
5.2.1.	Wymagania konstrukcyjne dotyczące zbrojenia, ustalenia ogólne ....	377
5.2.2.	Otulenie prętów zbrojenia .....	385
5.2.3.	Minimalny przekrój zbrojenia, informacje ogólne .....	389
5.2.4.	Średnice prętów zbrojeniowych .....	394
5.2.5.	Zakotwienia zbrojenia rozciąganego i ściskanego .....	395
5.2.6.	Długość zakładu zbrojenia rozciąganego i ściskanego .....	397
5.2.7.	Zakotwienie zbrojenia na ścinanie .....	399
5.2.8.	Skracanie zbrojenia rozciąganego .....	400
5.2.9.	Zabezpieczenie zbrojenia ściskanego przed wyboczeniem .....	402
5.2.10.	Rozstaw zbrojenia .....	402
5.3.	Wymagania dotyczące sprężania .....	403
5.4.	Mury skrępowane .....	403
5.4.1.	Informacje ogólne .....	403
5.4.2.	Ustalenia normowe .....	406
5.5.	Połączenia ścian ze stropami i dachami .....	409
5.5.1.	Informacje ogólne .....	409
5.5.2.	Połączenia przez kotwy .....	409

5.5.3.	Połączenia przez tarcie .....	410
5.5.4.	Połączenia przez ściągi obwodowe i wieńce .....	410
5.6.	Połączenia między ścianami .....	414
5.6.1.	Miejsca skrzyżowania .....	414
5.6.2.	Ściany szczelinowe i licowe .....	415
5.6.3.	Ściany dwuwarstwowe .....	426
5.7.	Bruzdy i wnęki w ścianach .....	427
5.7.1.	Informacje ogólne .....	427
5.7.2.	Ustalenia normowe .....	432
5.8.	Izolacja przeciwwilgociowa .....	434
5.9.	Odkształcenia termiczne i długotrwałe .....	434
5.9.1.	Informacje ogólne .....	434
5.9.2.	Ustalenia normowe .....	445
	Literatura do rozdziału 5 .....	454
<b>6.</b>	<b>Wykonawstwo konstrukcji murowych .....</b>	<b>460</b>
6.1.	Założenia EC6 .....	460
6.2.	Transport, składowanie i przygotowanie materiałów .....	460
6.2.1.	Transport i składowanie materiałów .....	460
6.2.2.	Przygotowanie zaprawy i betonu wypełniającego na miejscu budowy .....	461
6.2.3.	Przygotowanie zapraw i mieszanek betonowych produkowanych fabrycznie .....	464
6.3.	Wykonywanie murów .....	465
6.3.1.	Przyczepność .....	465
6.3.2.	Układanie elementów murowych .....	466
6.3.3.	Spoinowanie podczas murowania i po wymurowaniu .....	471
6.3.4.	Stosowanie materiałów izolacyjnych .....	473
6.3.5.	Czyszczenie, konserwacja i zabezpieczenie muru .....	473
6.3.6.	Wznoszenie ścian w okresie zimowym .....	474
6.4.	Stateczność konstrukcji w czasie wznoszenia .....	481
6.5.	Obciążanie konstrukcji murowych .....	481
6.6.	Dopuszczalne odchyłki wykonawstwa .....	483
6.7.	Najczęstsze błędy wykonawstwa .....	487
6.7.1.	Niekorzystne odstępstwo od projektu .....	487
6.7.2.	Zła jakość robót .....	488
6.7.3.	Niewłaściwe przewiązanie elementów murowych .....	491
6.7.4.	Stosowanie w murze różnych materiałów .....	497
6.7.5.	Stosowanie różnych materiałów w całym obiekcie .....	498
6.7.6.	Stosowanie materiałów złej jakości .....	499
6.7.7.	Nieodpowiednie zabezpieczenie muru po wzniesieniu .....	500
6.7.8.	Nieodpowiednie wykonywanie bruzd i wnęk .....	503
6.7.8.	Nieodpowiednie łączenie ścian wypełniających z konstrukcją żelbetową .....	505
6.8.	Warunki techniczne odbioru konstrukcji murowych .....	506

6.8.1.	Sprawdzenie zgodności konstrukcji murowej z dokumentacją projektową .....	506
6.8.2.	Badania sprawdzające materiałów i wyrobów .....	506
6.8.3.	Badania sprawdzające konstrukcji .....	507
	Literatura do rozdziału 6 .....	507
<b>7.</b>	<b>Niebrojone ściany murowe obciążone głównie pionowo .....</b>	<b>510</b>
7.1.	Definicja ścian obciążonych głównie pionowo .....	510
7.2.	Podstawy teoretyczne .....	511
7.2.1.	Schematy statyczne i modele obliczeniowe ścian ściskanych .....	511
7.2.2.	Strefa ściskana i strefa rozciągana w poprzecznym przekroju ściany .....	514
7.2.3.	Problem analitycznego opisu nośności muru .....	520
7.2.4.	Nośność muru według krajowych zaleceń normowych .....	523
7.2.5.	Wpływ smukłości ściany na nośność i współczynnik redukujący nośność ściany w przekroju środkowym .....	525
7.2.6.	Współczynnik redukujący nośność ściany w przekrojach górnym i dolnym .....	548
7.2.7.	Wartości mimośrodów .....	549
7.2.8.	Określanie momentów w przekrojach miarodajnych .....	552
7.2.9.	Podatność węzła ściana-strop .....	554
7.2.10.	Efektywna wysokość ściany $h_{ef}$ i efektywna grubość ściany $t_{ef}$ .....	558
7.2.11.	Wpływ obciążenia długotrwałego na nośność ścian .....	559
7.3.	Ustalenia przyjęte w normie EC6 .....	560
7.3.1.	Schematy statyczne i modele obliczeniowe ścian ściskanych .....	560
7.3.2.	Warunki nośności muru .....	563
7.3.3.	Strefa ściskana i rozciągana w poprzecznym przekroju ściany .....	564
7.3.4.	Wpływ smukłości i współczynniki redukcyjne .....	565
7.3.5.	Wartości mimośrodów .....	568
7.3.6.	Określanie momentów w przekrojach miarodajnych .....	569
7.3.7.	Podatność węzła ściana-strop .....	575
7.3.8.	Efektywna wysokość ściany $h_{ef}$ i efektywna grubość ściany $t_{ef}$ .....	575
7.4.	Uwagi do sprawdzania nośności ścian obciążonych głównie pionowo .....	577
7.4.1.	Zestawienie obciążeń .....	577
7.4.2.	Kombinacje oddziaływań .....	580
7.4.3.	Momenty bezwładności stropów .....	587
7.4.4.	Nośność filarków międzyokiennych .....	595
7.5.	Algorytmy sprawdzania nośności ścian obciążonych głównie pionowo .....	601
7.5.1.	Metoda uproszczona wg PN-EN 1996-3:2010 wariant 1 .....	601
7.5.2.	Metoda uproszczona wg PN-EN 1996-3:2010 wariant 2 .....	603
7.5.3.	Metoda uproszczona podstawowa wg PN-EN 1996-1-1:2010 .....	606
7.5.4.	Metoda podstawowa wg PN-EN 1996-1-1:2010 .....	612
7.6.	Przykłady obliczeń ścian obciążonych głównie pionowo .....	615
7.6.1.	Opis analizowanego budynku .....	615
	Literatura do rozdziału 7 .....	643

<b>8. Ściany obciążone siłą skupioną</b> .....	648
8.1. Definicja ścian obciążonych siłą skupioną .....	648
8.2. Podstawy teoretyczne .....	649
8.2.1. Zachowanie się muru pod obciążeniem skupionym .....	649
8.2.2. Powierzchnia rozdziału obciążenia .....	659
8.2.3. Nośność ścian obciążonych siłą skupioną .....	664
8.3. Ustalenia przyjęte w normie EC6 .....	673
8.3.1. Warunki stosowania metod obliczeniowych .....	673
8.3.2. Powierzchnia rozdziału obciążenia .....	674
8.3.3. Nośność ścian obciążonych siłą skupioną .....	675
8.3.4. Porównanie zaleceń dotyczących obliczania nośności ścian obciążonych siłą skupioną .....	677
8.4. Algorytmy projektowania ścian obciążonych siłą skupioną .....	680
8.4.1. Metoda uproszczona wg PN-EN 1996-3:2010 .....	681
8.4.2. Metoda podstawowa wg PN-EN 1996-1-1:2010 .....	682
8.5. Przykłady obliczeń ścian obciążonych siłą skupioną .....	684
8.5.1. Opis analizowanego budynku .....	684
Literatura do rozdziału 8 .....	691

# Wprowadzenie

W marcu 2010 roku zbiór norm polskich wzbogacony został o Eurokody, czyli europejskie normy dotyczące projektowania konstrukcji. Prace koncepcyjne nad opracowaniem Eurokodów podjęto już w 1975 roku, realizując tym samym postanowienia art. 95 Traktatu Rzymskiego (ustanawiającego Europejską Wspólnotę Gospodarczą – EWG), natomiast zaawansowane prace legislacyjne podjęto dopiero po roku 1989, po przyjęciu przez Radę Wspólnoty Dyrektywy 89/106/EEC w sprawie zbliżenia ustaw i aktów wykonawczych Państw Członkowskich. Do tego czasu funkcjonowały w środowisku opublikowane w 1978 roku obszerne, międzynarodowe wytyczne dotyczące zapewnienia niezawodności konstrukcji metodą częściowych współczynników bezpieczeństwa oraz tak zwane prenormy europejskie. Przepisy te zostały autoryzowane przez wszystkie europejskie specjalistyczne organizacje naukowo-techniczne i stanowiły źródłowe opracowanie metody stanów granicznych (SG).

Przystępując w 2004 roku do Unii Europejskiej, Polska automatycznie zobowiązała się do wprowadzenia Eurokodów i norm związanych w projektowaniu i realizacji obiektów budowlanych.

Eurokody składają się z 10 pakietów tematycznych, dotyczących zasad zapewnienia niezawodności i projektowania poszczególnych rodzajów konstrukcji budowlanych. Czteroczęściowy szósty pakiet (EC6) obejmuje zagadnienia projektowania, wykonawstwa i utrzymania niezbrojonych, zbrojonych, sprężonych i skrępowanych konstrukcji murowych budynków i obiektów budowlanych lub ich części. Zapisy wszystkich czterech części Eurokodu 6 dotyczą wymagań w zakresie bezpieczeństwa, użytkowania i trwałości konstrukcji, a inne wymagania odnośnie izolacyjności termicznej lub dźwiękowej nie są objęte jego zapisami i znajdują się w innych normach europejskich lub Dyrektywach Unii Europejskiej. W pakiecie EC6 omawiono również kwestie wykonawstwa, ale tylko w zakresie niezbędnym do ustalenia wymagań dotyczących jakości zastosowanych materiałów i wyrobów oraz jakości wykonania robót na budowie.

Niniejsza książka dotyczy projektowania konstrukcji murowych według Eurokodu 6 i pomyślana została jako dzieło trzytomowe o zakresie zagadnień szerszym niż ujęty w pakiecie EC6, opatrzone pomocnymi w projektowaniu programami

komputerowymi. W tomie 1 kompleksowo ujęto problemy podstaw projektowania konstrukcji murowych, omówiono aspekty dotyczące zagadnień materiałowych, opisano i skomentowano warunki konstrukcyjne przy wznoszeniu i projektowaniu murów, przedstawiono zalecenia dotyczące wykonawstwa, opisano częste błędy i scharakteryzowano zasady projektowania ścian obciążonych głównie pionowo. Podczas omawiania tych zagadnień nie ograniczono się tylko do przedstawiania zaleceń Eurokodu 6, lecz starano się wyjaśnić genezę ich powstania i opisać inne zalecenia związane z omawianą tematyką. W rozdziałach dotyczących projektowania ścian obciążonych głównie pionowo (rozdział 7 i 8) zamieszczono opracowane na podstawie zaleceń EC6 algorytmy projektowania zilustrowane przykładami obliczeń ścian. Książka wzbogacona jest licznymi rysunkami, tablicami i fotografiami pochodzącymi nie tylko z literatury, ale także doświadczeń własnych autorów. Do książki dołączono płytę CD z programem komputerowym Kalkulator Konstrukcji Murowych z pakietu SPECBUD, który umożliwi obliczenia wybranych konstrukcji murowych.

Ze względu na kompleksowe ujęcie problemu projektowania konstrukcji murowych – książka adresowana jest zarówno do studentów kierunku budownictwo, kierunku architektura, jak i praktykujących inżynierów oraz rzeczoznawców budowlanych.

Tom drugi książki będzie dotyczył projektowania niezbrojonych konstrukcji murowych poddanych ścisaniu, zginaniu, a ponadto zostanie w nim omówiona problematyka złożonego stanu naprężenia w murach. W tomie tym będą opisane również zasady projektowania murów z uwagi na warunki pożarowe. Trzeci tom książki będzie dotyczył projektowania zbrojonych konstrukcji murowych, murów sprężonych, murów skrępowanych oraz stanu granicznego użyteczności.

Autorzy pragną bardzo serdecznie podziękować opiniodawcy książki prof. dr. hab. inż. Romualdowi Orłowiczowi oraz prof. dr. hab. inż. Włodzimierzowi Starosolskiemu i prof. dr. hab. inż. Adamowi Zyburze za ciągłą motywację do pracy. Słowa podziękowania należą się również dr. inż. Marianowi Kazkowi, mgr. inż. Mariuszowi Machejowi i mgr. inż. Wojciechowi Kazkowi z firmy SPECBUD za udostępnienie oprogramowania komputerowego oraz mgr. inż. arch. Robertowi Grzywnowiczowi z firmy Projektowanie Architektoniczno-Budowlane za udostępnienie projektów architektonicznych do przykładów obliczeniowych. Szczególne podziękowania składamy sponsorom, bez których nie byłoby możliwe wydanie tej książki.

Oddając książkę w ręce Czytelnika jesteśmy świadomi możliwości popełnienia błędów, zbagatelizowania lub wręcz pominięcia niektórych problemów. Bylibyśmy niezmiernie wdzięczni za przesyłanie uwag oraz informacji o pomyłkach, czy błędach na adresy autorów: *lukasz.drobiec@polsl.pl*, *radoslaw.jasinski@polsl.pl*, *adam.piekarczyk@polsl.pl*.

Łukasz Drobiec  
Radosław Jasiński  
Adam Piekarczyk