

# Spis treści

Oznaczenia i symbole . . . . .	11
Wprowadzenie . . . . .	14
1 Materiał budowlany „drewno” . . . . .	15
1.1 Budowa drewna . . . . .	15
1.2 Anizotropia drewna . . . . .	17
1.3 Gęstość drewna . . . . .	18
1.4 Szerokość stojów rocznych . . . . .	20
1.5 Wilgotność drewna. . . . .	20
1.5.1 Oznaczanie wilgotności drewna (metody pomiaru) . . . . .	22
1.5.2 Rozkład i zmiany wilgotności drewna . . . . .	23
1.5.3 Pęcznienie i skurcz . . . . .	24
1.5.4 Parametry pęcznienia i skurczu . . . . .	25
1.5.5 Zmiany kształtu drewna wskutek pęcznienia i skurczu . . . . .	26
1.5.6 Powstawanie pęknięć wskutek zmian wilgotności powietrza . . . . .	28
1.5.7 Bezpieczne głębokości pęknięć schnięcia lub pęknięć skurczowych . . . . .	29
1.5.8 Wilgotność w chwili montażu i suszenie drewna . . . . .	31
1.6 Rozszerzalność cieplna, przewodnictwo cieplne i dyfuzja pary wodnej w drewnie . . . . .	32
1.7 Trwałość i odporność na działanie chemikaliów . . . . .	34
1.8 Sprężystość drewna . . . . .	36
1.8.1 Zasady sprężystości (anizotropia, anizotropia rombowa, izotropia) . . . . .	37
1.8.2 Moduły sprężystości, sprężystości poprzecznej i odkształcenia postaciowego przy skręcaniu dla drewna . . . . .	39
1.9 Pełzanie drewna . . . . .	43
1.10 Wytrzymałość drewna . . . . .	45
1.10.1 Wpływ kąta $\alpha$ pomiędzy kierunkiem działania siły a kierunkiem włókien na wytrzymałość . . . . .	47
1.10.2 Wpływ wilgotności, sękatości i gęstości drewna na wytrzymałość. . . . .	48
1.10.3 Wpływ czasu trwania obciążenia na wytrzymałość (wytrzymałość trwała). . . . .	50
1.10.4 Wpływ temperatury drewna i wielkości próbek na wytrzymałość . . . . .	51
1.10.5 Ustalanie naprężeń dopuszczalnych, bezpieczeństwo . . . . .	52
1.10.6 Długość zerwania . . . . .	53
2 Materiały drewnopochodne . . . . .	55
2.1 Budowa i wytwarzanie materiałów drewnopochodnych . . . . .	56
2.2 Anizotropia materiałów drewnopochodnych . . . . .	59
2.3 Gęstość materiałów drewnopochodnych . . . . .	60
2.4 Pęcznienie i skurcz, rozszerzalność cieplna, przewodność cieplna i przenikanie pary wodnej materiałów drewnopochodnych . . . . .	61
2.5 Sprężystość materiałów drewnopochodnych . . . . .	63
2.6 Pełzanie materiałów drewnopochodnych . . . . .	66
2.7 Wytrzymałość materiałów drewnopochodnych . . . . .	68
2.8 Klasy, zakres zastosowania i typy płyt z materiałów drewnopochodnych. . . . .	72
3 Drewno budowlane. . . . .	75

3.1	Drewno lite (VH)	75
3.2	Właściwości i klasyfikacja (klasy jakości) tarcicy z drewna iglastego.	78
3.3	Drewno klejone warstwowo (BSH)	82
3.4	Dźwigary o ściankach pełnych i przekroju dwuteowym lub skrzynkowym	86
4	Charakterystyka drewna i materiałów drewnopochodnych w czasie spalania	89
4.1	Klasy palności (zapalności) drewna i materiałów drewnopochodnych	90
4.2	Klasy odporności ogniowej elementów budowlanych z drewna i materiałów drewnopochodnych	91
4.3	Elementy budowlane klas odporności ogniowej F30-B i F60-B	93
5	Ochrona drewna przed korozją biologiczną	98
5.1	Ochrona drewna metodami budowlanymi (konstrukcyjnie)	98
5.2	Chemiczna ochrona drewna	100
5.3	Działania powierzchniowe	104
5.4	Środki zwalczania	105
6	Połączenia klejone	106
6.1	Wykonywanie połączeń klejonych w budownictwie drewnianym	107
6.2	Złącza ukośne	109
6.3	Złącza klinowe	110
7	Połączenia mechaniczne	113
7.1	Rozmieszczenie łączników mechanicznych	114
7.2	Dopuszczalne podwyższenie i wymagane obniżenie nośności dopuszczalnych łączników mechanicznych	115
7.3	Połączenia na wkładki	116
7.3.1	Wkładki prostokątne (klocki)	118
7.3.2	Pierścienie (wkładki o specjalnej budowie)	120
7.3.3	Połączenia na pierścienie w przekroju czołowym elementu z drewna klejonego warstwowo	128
7.4	Połączenia na sworznie, śruby i śruby pasowane	130
7.5	Połączenia na gwoździe	136
7.5.1	Obciążenie prostopadłe do osi podłużnej gwoździa („na ścinanie”)	139
7.5.2	Nośność gwoździa na wyciąganie	147
7.5.3	Obciążenie złożone gwoździ	148
7.6	Połączenia na gwoździe elementów z drewna z elementami stalowymi i blachami stalowymi	149
7.7	Połączenia na płytki kolczaste	153
7.8	Połączenia na wkręty do drewna	157
7.9	Połączenia na zszywki	160
7.10	Połączenia na klamry ciesielskie	163
7.11	Złącza na wręby	165
7.12	Wklejane pręty gwintowane	170
7.13	Sprawdzanie rozciągania prostopadłego do włókien (poprzecznego) w połączeniach	176
7.14	Wartości przesunięć w połączeniach na łączniki mechaniczne do obliczeń ugięć	179
7.15	Współdziałanie różnych łączników	181
7.16	Ochrona antykorozyjna łączników mechanicznych	183

8	Naprężenia dopuszczalne oraz charakterystyki materiałowe dla drewna litego, klejonego warstwowo i materiałów drewnopochodnych . . . . .	185
8.1	Naprężenia dopuszczalne . . . . .	185
8.1.1	Naprężenia dopuszczalne dla drewna litego i klejonego warstwowo. . . . .	185
8.1.2	Naprężenia dopuszczalne dla materiałów drewnopochodnych . . . . .	190
8.1.3	Dopuszczalne naprężenia dla stali i aluminium . . . . .	192
8.2	Charakterystyki materiałowe dla drewna litego, klejonego warstwowo oraz materiałów drewnopochodnych . . . . .	194
8.2.1	Moduł sprężystości, odkształcenia postaciowego oraz sprężystości przy skręcaniu dla drewna litego oraz klejonego warstwowo . . . . .	194
8.2.2	Moduł sprężystości oraz moduł odkształcenia postaciowego (sprężystości poprzecznej) materiałów drewnopochodnych. . . . .	195
8.2.3	Wielkości pęcznienia i skurczu, wilgotność równowagowa . . . . .	197
8.2.4	Współczynniki pełzania . . . . .	200
8.2.5	Zmiany temperaturowe w konstrukcjach drewnianych . . . . .	202
9	Ogólne zasady obliczeń . . . . .	203
9.1	Obciążenia i kombinacje obciążeń . . . . .	203
9.2	Ustalanie wartości obciążeń budowli drewnianych (obciążenie stałe) . . . . .	204
9.3	Ustalanie obciążeń dla połączeń dachowych . . . . .	207
9.4	Sprawdzanie elementów dachu na odrywanie przy obciążeniach krawędziowych ssaniem wiatru. . . . .	210
9.5	Najmniejsze dopuszczalne przekroje poprzeczne drewna litego i klejonego warstwowo oraz materiałów drewnopochodnych. . . . .	210
9.6	Oslabienia przekroju poprzecznego . . . . .	211
9.7	Elementy obciążone osiowo i mimośrodowo . . . . .	213
9.8	Połączenia mimośrodowe . . . . .	214
9.9	Elementy konstrukcyjne obciążone przemiennie . . . . .	217
10	Zasady obliczania prętów rozciąganych . . . . .	219
10.1	Rozciąganie osiowe . . . . .	219
10.2	Rozciąganie mimośrodowe (rozciąganie i zginanie). . . . .	220
10.3	Węzły i złącza w prętach rozciąganych. . . . .	221
11	Zasady obliczeń prętów ściskanych. . . . .	224
11.1	Ściskanie osiowe . . . . .	224
11.1.1	Sprawdzanie nośności prętów jednolitych z uwzględnieniem wybożenia (ściskanie osiowe) . . . . .	224
11.1.2	Sprawdzanie naprężeń w prętach ściskanych (ściskanie osiowe) . . . . .	225
11.1.3	Sprawdzanie nośności z uwzględnieniem wybożenia w prętach złożonych (ściskanie osiowe) . . . . .	226
11.1.3.1	Nierozstawione pręty złożone (ściskanie osiowe) . . . . .	226
11.1.3.2	Pręty rozstawione (ściskanie osiowe) (pręty „ramowe” i skratowane) . . . . .	231
11.2	Ściskanie mimośrodowe (ściskanie i zginanie) . . . . .	237
11.3	Połączenia i styki prętów ściskanych . . . . .	240
11.4	Długości wybożeniowe . . . . .	242
11.5	Smukłości . . . . .	249
11.6	Współczynniki wybożeniowe . . . . .	251
11.7	Szywność (krótkie wprowadzenie do wybożenia) . . . . .	252

12	Sprawdzanie nośności według teorii II. rzędu . . . . .	258
12.1	Teoria I. i II. rzędu (krótkie wprowadzenie) . . . . .	258
12.2	Teoria II. rzędu dla drewnianych konstrukcji inżynierskich . . . . .	260
13	Zasady obliczeń elementów zginanych . . . . .	266
13.1	Zginanie w jednej płaszczyźnie (zginanie płaskie) elementów konstrukcyjnych z drewna litego i klejonego warstwowo . . . . .	266
13.2	Zginanie dwukierunkowe (zginanie ukośne) elementów konstrukcyjnych z drewna litego i klejonego warstwowo . . . . .	266
13.3	Rozpiętości . . . . .	267
13.4	Reakcje podporowe i dociski na podporach . . . . .	270
13.5	Ugięcia . . . . .	270
13.5.1	Ugięcia dopuszczalne . . . . .	270
13.5.2	Ugięcia obliczeniowe . . . . .	272
13.6	Wygięcia wstępne (strzałka odwrotna) . . . . .	278
13.7	Stateczność przy zginaniu (zwichrowanie) . . . . .	279
13.7.1	Usztywnienia dźwigarów o prostokątnym przekroju poprzecznym . . . . .	280
13.7.2	Usztywnienie dźwigarów pełnościennych o dwuteowym albo skrzynkowym przekroju poprzecznym . . . . .	282
13.7.3	Obliczenia według teorii II. rzędu (dokładniejsze sprawdzanie zwichrowania) . . . . .	284
13.8	Rozkład naprężeń . . . . .	285
13.9	Podcięcia w dźwigarach i czopy . . . . .	289
13.10	Otwory w zginanych belkach o prostokątnym przekroju poprzecznym z drewna klejonego warstwowo . . . . .	294
13.11	Dźwigary zginane o prostoliniowych krawędziach i prostokątnym przekroju poprzecznym . . . . .	296
13.12	Dźwigary zakrzywione i dźwigary dachowe dwuspadowe z drewna klejonego warstwowo, o prostokątnym przekroju poprzecznym . . . . .	297
13.13	Dźwigar zginany o złożonym przekroju poprzecznym . . . . .	303
13.14	Pełnościenne dźwigary o średnicach z płyt lub desek (dźwigary dwuteowe lub skrzynkowe) . . . . .	312
13.15	Dźwigar zginany jako złożony przekrój poprzeczny drewniano-stalowy . . . . .	315
13.16	Sztywne przy zginaniu połączenia i złącza narożne . . . . .	316
13.16.1	Złącze sztywne na zginanie na łączniki mechaniczne . . . . .	318
13.16.2	Złącza sztywne na zginanie z nakładkami na łączniki mechaniczne (w elementach konstrukcyjnych z drewna litego) . . . . .	320
13.16.3	Złącza sztywne na zginanie w prostoliniowych elementach konstrukcyjnych z drewna klejonego warstwowo (złącza na łączniki mechaniczne) . . . . .	322
13.16.4	Sztywne na zginanie, załamane pod kątem złącza i elementy konstrukcyjne . . . . .	324
13.16.5	Złącza i węzły ram łączone na złącza klinowe . . . . .	326
13.16.6	Węzły ram łączone za pomocą wkładek . . . . .	328
13.16.7	Utwardzenie słupów w fundamentach . . . . .	330
13.16.8	Podatność łączników mechanicznych w złączach sztywnych na zginanie . . . . .	331
14	Zasady obliczania na ścinanie . . . . .	332
15	Zasady obliczania na skręcanie . . . . .	335
16	Stężenia przestrzenne konstrukcji . . . . .	339
16.1	Usztywnienie zginanych dźwigarów o prostokątnym przekroju poprzecznym . . . . .	341



16.2	Usztywnienie ściskanych pasów dźwigarów kratowych . . . . .	344
16.3	Obciążenia wiatrem i siłami poprzecznymi konstrukcji usztywniających . . . . .	344
16.4	Tarcze jako konstrukcje usztywniające . . . . .	347
16.4.1	Tarcze usztywniające wykonywane bez sprawdzania obliczeniowego . . . . .	348
16.5	Pojedyncze tężniki i zastrzały . . . . .	350
17	Belki jednoprzęsłowe i ciągłe . . . . .	353
17.1	Belki jednoprzęsłowe . . . . .	353
17.2	Belki ciągłe . . . . .	353
17.2.1	Belki ciągłe bez przegubów . . . . .	353
17.2.2	Belki ciągłe z przegubami (belki przegubowe) . . . . .	354
17.2.3	Belki zespolone (płatwie zespolone <i>Koppela</i> ) . . . . .	358
18	Konstrukcje kratowe . . . . .	361
18.1	Zasady konstruowania dźwigarów i ram kratowych . . . . .	361
18.2	Obliczanie wiązarów i ram kratowych . . . . .	367
18.3	Ugięcie i wygięcie wstępne dźwigarów i ram kratowych . . . . .	368
19	Więźby dachowe . . . . .	370
19.1	Dachy krokwiowe i jętkowe . . . . .	370
19.2	Więźby z płatwiami . . . . .	374
19.3	Dachy płaskie . . . . .	377
20	Obliczenia odkształceń . . . . .	378
20.1	Metody energetyczne . . . . .	378
20.2	Sztywności złączy . . . . .	378
20.3	Moduły podatności . . . . .	381
21	Dźwigary powierzchniowe . . . . .	384
21.1	Równanie tarczy dla materiału rombowo-anizotropowego (we współrzędnych kar- tezyjańskich) . . . . .	384
21.2	Parametry sprężystości . . . . .	392
22	Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych . . . . .	398
22.1	Oparcia belek i wiązarów . . . . .	398
22.2	Oparcia słupów drewnianych, łuków i ram . . . . .	400
22.3	Połączenia elementów usztywniających . . . . .	402
22.4	Przeguby kalenicowe w łukach i ramach . . . . .	405
22.5	Naroża ram . . . . .	406
22.6	Połączenia poprzeczne belek . . . . .	408
22.7	Konstrukcje połączeń w wiązarach dachowych . . . . .	410
22.7.1	Dachy krokwiowe i jętkowe . . . . .	411
22.7.2	Dachy z płatwiami . . . . .	414
22.7.3	Wiatrownice . . . . .	421
23	Przykłady obliczeń . . . . .	423
23.1	Zmiany wymiarów bala elementu na skutek zmiany wilgotności (zmiany kształtu na skutek kurczenia się) . . . . .	423
23.2	Zmiana długości podkładu deskowego na skutek zmiany wilgotności (zmiana kształtu na skutek pęcznienia), przypadek szczególny . . . . .	424
23.3	Złącze rozciągane na gwoździe . . . . .	424

23.4	Złącze rozciągane na wkładki pierścieniowe . . . . .	426
23.5	Złącze skośne na śruby i sworznie. . . . .	429
23.6	Połączenie na wręb czołowy. . . . .	431
23.7	Słup osiowo ściskany z drewna klejonego warstwowo . . . . .	434
23.8	Płatew ciągła zespolona . . . . .	435
23.9	Dźwigar z drewna klejonego warstwowo o krawędziach równoległych . . . . .	440
23.10	Oparcie belki podciętej na podporze . . . . .	444
23.11	Dźwigar dachowy dwuspadowy o osi zakrzywionej i zmiennej wysokości przekroju . . . . .	447
23.12	Belka złożona, trójelementowa, łączona na łączniki trzpieniowe – sworznie . . . . .	454
23.13	Przegubowe zamocowanie dwugałęziowego słupa z drewna iglastego w fundamencie . . . . .	460
23.14	Wiązar kratowy z bali o pasach równoległych . . . . .	467
23.15	Przegub w belce ciągłej z drewna klejonego warstwowo . . . . .	476
23.16	Złącze rozciągane prostopadłe do włókien na pierścieniu . . . . .	482
24	Podstawowe zasady projektowania elementów konstrukcji drewnianych według PN-B-03150:2000 z przykładami. . . . .	486
24.1	Właściwości materiałów . . . . .	486
24.2	Ogólne zasady sprawdzania stanów granicznych . . . . .	489
24.3	Stany graniczne nośności . . . . .	492
24.3.1	Elementy lite lub z drewna klejonego warstwowo . . . . .	492
24.3.2	Elementy złożone z zastosowaniem łączników mechanicznych . . . . .	498
24.3.3	Elementy klejone. . . . .	500
24.4	Złącza . . . . .	503
24.4.1	Połączenia tradycyjne (ciesielskie) – nie są objęte normą PN-B-03150:2000 . . . . .	503
24.4.2	Połączenia na klej . . . . .	504
24.4.3	Złącza na łączniki trzpieniowe (gwoździe, śruby i sworznie) . . . . .	505
24.4.4	Złącza na pierścieniu zębate . . . . .	513
24.5	Przykłady obliczeń . . . . .	513
24.5.1	Złącze rozciągane na gwoździe. . . . .	514
24.5.2	Złącze rozciągane na pierścieniu . . . . .	516
24.5.3	Złącze skośne na śruby i sworznie. . . . .	518
24.5.4	Połączenie na wręb czołowy . . . . .	521
24.5.5	Słup osiowo ściskany z drewna klejonego warstwowo . . . . .	523
24.5.6	Płatew ciągła zespolona . . . . .	525
24.5.7	Dźwigar z drewna klejonego warstwowo o krawędziach równoległych . . . . .	531
24.5.8	Oparcie belki podciętej na podporze . . . . .	536
24.5.9	Dźwigar dachowy dwuspadowy o osi zakrzywionej i zmiennej wysokości przekroju . . . . .	539
24.5.10	Belka złożona, trójelementowa, łączona na sworznie . . . . .	545
24.5.11	Przegubowe zamocowanie dwugałęziowego słupa w fundamencie. . . . .	550
24.5.12	Wiązar kratowy z bali, o pasach równoległych . . . . .	556
24.5.13	Przegub w belce ciągłej z drewna klejonego warstwowo. . . . .	568
24.5.14	Złącze rozciągane prostopadłe do włókien na pierścieniu. . . . .	574
	Techniczne przepisy budowlane . . . . .	581
	Spis powołanych Polskich Norm . . . . .	583
	Literatura . . . . .	584
	Skorowidz . . . . .	599