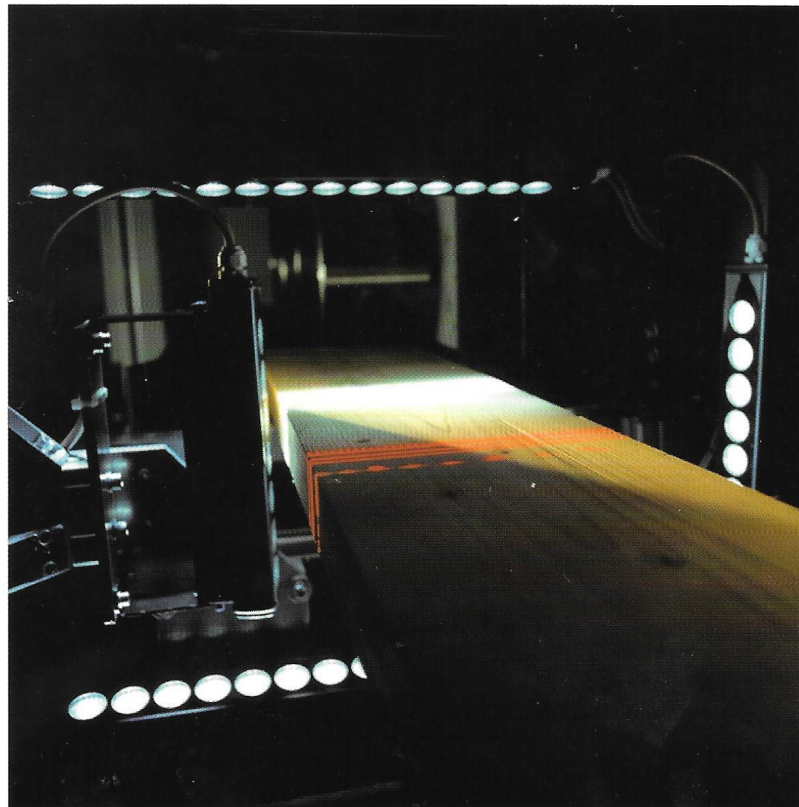


Paweł Kozakiewicz
Sławomir Krzosek

INŻYNIERIA MATERIAŁÓW DRZEWNYCH



Wydawnictwo SGGW

**Paweł Kozakiewicz
Sławomir Krzosek**

INŻYNIERIA MATERIAŁÓW DRZEWNYCH

**Wydawnictwo SGGW
Warszawa 2013**

© Copyright by Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2013
Wydanie I

Recenzenci: prof. dr hab. inż. Bogusław Bajkowski
Prof. Ing. Pavlo Bekhta, Dr. sc.

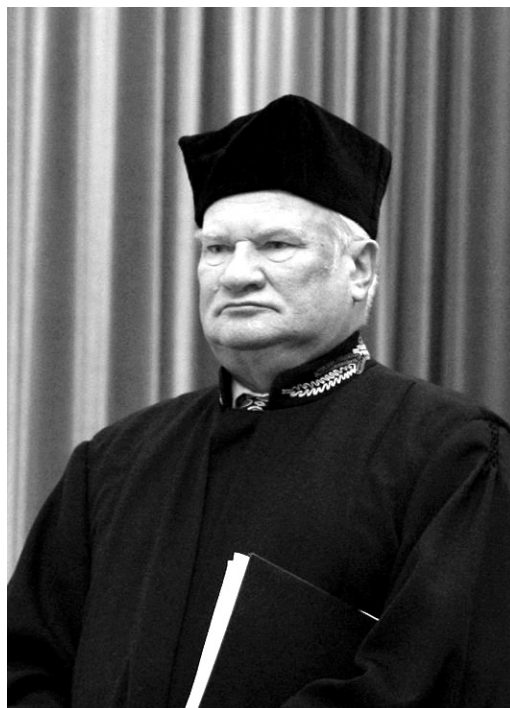
Fotografia na okładce: wieloczułnikowy skaner do tarcicy w urządzeniu GoldenEye 706
(za zgodą firmy „MiCROTEC © 2012”)

Redaktor – Ewa Ramus
Redaktor techniczny – Laura Szczepańska
Korekta – Agata Kropiwiec

ISBN 978-83-7583-426-0

Wydawnictwo SGGW
ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa
tel. 22 593 55 20 (-22, -25 – sprzedaż), fax 22 593 55 21
e-mail: wydawnictwo@sggw.pl
www.wydawnictwosggw.pl

Druk: Agencja Reklamowo-Wydawnicza A. Grzegorzcyk, www.grzeg.com.pl



Niniejszą książkę poświęcamy pamięci prof. dr. hab. inż. Witolda Dzbeńskiego (ur. 13.05.1937 r. w Nakliku, woj. lubelskie, zm. 12.07.2010 r. w Warszawie), który swoje życie zawodowe związał ze Szkołą Główną Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Był dziekanem Wydziału Technologii Drewna (1993–1999), prorektorem SGGW (1990–1993), kierownikiem Zakładu Nauki o Drewnie od 1999 do 2002 roku (wcześniej od 1982 do 1990 r.), prezesem Stowarzyszenia Wychowanków SGGW (od 2001 r.). Od 1987 roku członek, 1987–1989 wiceprzewodniczący Sekcji Mechanicznej Technologii Drewna Komitetu Technologii Drewna PAN, od 1993 roku członek Sekcji Konstrukcji Drewnianych Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN. Był też członkiem Prezydium Zarządu Głównego Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Leśnictwa i Drzewnictwa (1976–1981, 1991–2001): wiceprzewodniczącym Komisji Drzewnej ZG SITLiD (od 2002 r.), członkiem Polskiego Towarzystwa Leśnego (od 1962 r.), zastępcą sekretarza naukowego i członkiem Prezydium ZG PTZ (1969–1976), członkiem Sekcji P06M w Komitecie Badań Naukowych (1994–1996), członkiem Rady Naukowej OB-R POLSPORT (1978–1981), członkiem Instytutu Technologii Drewna (od 2003 r.), członkiem stowarzyszenia „Wspólnota Polska”, członkiem Komitetu Technicznego nr 215 przy Polskim Komitecie Normalizacyjnym, ekspertem Państwowej Komisji Akredytacyjnej, członkiem pierwszego komitetu redakcyjnego (1970–1973) i dwóch rad programowych (*Przemysł Techniczny* od 1982 r. i *Przemysł Drzewny* od 2003 r.). Autor lub współautor ponad 270 publikacji, w tym: ponad 90 rozpraw, monografii i oryginalnych artykułów naukowych. Uhonorowany między innymi takimi odznaczeniami, jak: Krzyż Oficerski Orderu Odrodzenia Polski (2002), Krzyż Kawalerski Orderu Odrodzenia Polski (1995), Złoty Krzyż Zasługi (1981), Medal Komisji Edukacji Narodowej (1990).

Spis treści

Wstęp	7
1. Baza surowcowa i perspektywy pozyskania drewna w Polsce	9
1.1. Struktura i zasobność lasów w Polsce	9
1.2. Wielkość i perspektywy pozyskania drewna	15
2. Budowa, właściwości i wady drewna	19
2.1. Budowa drewna	19
2.1.1. Budowa mikroskopowa	19
2.1.2. Budowa makroskopowa	22
2.2. Charakterystyka wybranych gatunków drzew i rodzajów drewna iglastego	25
2.3. Rozpoznawanie makroskopowe wybranych rodzajów drewna iglastego	31
2.4. Właściwości fizyczne i mechaniczne drewna	33
2.5. Wady drewna	43
2.5.1. Klasyfikacja wad drewna	43
2.5.2. Opis wybranych wad drewna	44
3. Polski przemysł tartaczny	53
3.1. Struktura polskiego tartacznictwa i wielkość produkcji	53
3.2. Poziom techniczny polskiego tartacznictwa	54
4. Wytrzymałościowe sortowanie tarcicy	65
4.1. System norm dotyczących drewna konstrukcyjnego i oznakowania CE	65
4.2. Sortowanie wizualne tarcicy według projektu normy krajowej PN-D-94021:2013	70
4.2.1. Zakres normy, podstawowe określenia i wymagania	70
4.2.2. Pomiar wad i pozostałych cech przy sortowaniu tarcicy metodą wizualną	73
4.2.3. Zestawienie wad dopuszczonych z ograniczeniem w iglastej tarcicy konstrukcyjnej według projektu PN-D-94021:2013	82
4.3. Sortowanie według normy brytyjskiej BS 4978:2007	86
4.4. Sortowanie według normy niemieckiej DIN 4074:2005	90
4.5. Przyporządkowanie klas sortowania wizualnego do klas wytrzymałościowych	96
4.6. Wytrzymałościowe sortowanie metodą maszynową	99

4.6.1. Przegląd maszyn sortowniczych	99
4.6.2. Wytrzymałościowe sortowanie tarcicy konstrukcyjnej metodą maszynową w Polsce	114
4.6.3. Stan normalizacji w zakresie wytrzymałościowego sortowania tarcicy konstrukcyjnej metodą maszynową	117
4.6.4. Porównanie wyników sortowania wytrzymałościowego metodą wizualną i metodą maszynową polskiej tarcicy sosnowej	120
5. Drzewne materiały konstrukcyjne	126
5.1. Sklejalność drewna	126
5.2. Drewno klejone warstwowo	129
5.3. Przegląd ważniejszych tworzyw drzewnych	138
5.4. Kompozyty drewna z materiałami nie drzewnymi	153
Literatura	156

Wstęp

Drewno, jako surowiec organiczny, ze wszystkimi swoimi ogromnymi zaletami, ale także cechami ujemnymi, jest nadal powszechnie używane i ma tysiące zastosowań praktycznych. Cenne proekologiczne, recyklingowe i estetyczne właściwości drewna poparte są bardzo korzystną charakterystyką fizykomechaniczną tego materiału.

Stosowanie drewna konstrukcyjnego i materiałów drewnopochodnych o korzystnej charakterystyce mechanicznej, cieplnej i akustycznej jest podstawową cechą nowoczesnego, lekkiego budownictwa szkieletowego. Dążenie do podnoszenia poziomu wyposażenia, komfortu i zdrowotności użytkowanych pomieszczeń we współczesnych budynkach wiąże się z koniecznością szerokiego wprowadzenia drewna także do wnętrz mieszkalnych. Zastępowanie drewna innymi materiałami jest najczęściej działaniem niekorzystnym, wymuszonym przez rosnący niedobór zwłaszcza sortymentów wysokiej jakości oraz konieczność oszczędnego gospodarowania deficytowym surowcem.

Z myślą o śmiałym używaniu drewna w konstrukcjach przygotowaliśmy niniejsze opracowanie, w którym krok po kroku (od bazy surowcowej, poprzez przerób, po materiały finalne) przedstawiliśmy wiele istotnych i przekrojowych zagadnień z zakresu inżynierii materiałów drzewnych, stawiając szczególny nacisk na problematykę produkcji i sortowania tarcicy konstrukcyjnej. Znalazły się tu informacje zarówno z zakresu budowy, wad i właściwości drewna, jak i uregulowań normalizacyjnych, a także przegląd technik przetarcia i analiza działania maszyn sortowniczych. Mamy nadzieję, że dzięki temu książka ta znajdzie swoich odbiorców nie tylko wśród technologów drewna, jako podręcznik do przedmiotu „Inżynieria materiałów tartych i skrawanych”, lecz również wśród praktyków zajmujących się przerobem drewna, sortowaniem tarcicy, a także projektowaniem i wznoszeniem konstrukcji drewnianych.

Drewno, będące materiałem naturalnym o anizotropowej budowie i zróżnicowanych właściwościach mechanicznych, nawet w obrębie jednego gatunku, może być również materiałem inżynierskim, tzn. policzalnym przy projektowaniu i przewidywalnym po wbudowaniu w konstrukcję (jak np. stal). Drewno – a raczej już tarcica konstrukcyjna – staje się materiałem inżynierskim właśnie w procesie jego wytrzymałościowego sortowania. Sortując wytrzymałościowo tarcicę, kwalifikuje się ją do klas wytrzymałościowych o ściśle określonych właściwościach mechanicznych (klasy C według PN-EN 338:2011), tarcica niespełniająca wymagań najniższej klasy traktowana jest jako odrzut.

Problematyka wytrzymałościowego sortowania tarcicy konstrukcyjnej nabiera szczególnego znaczenia wobec obowiązku znakowania symbolem CE wyrobów

budowlanych wprowadzanych na rynek krajów wspólnoty europejskiej, a w ślad za tym – wdrażania zakładowej kontroli produkcji.

W Polsce od ponad ćwierć wieku szkoli się brakarzy tarcicy konstrukcyjnej. Praktycznym jej sortowaniem wizualnym zajmują się obecnie osoby, które zdobyły uprawnienia brakarskie w ostatnich 12 latach (ponad pół tysiąca osób) w ramach szkoleń realizowanych w Ośrodku Szkolenia Kadr w Kępnie we współpracy z Wydziałem Technologii Drewna SGGW w Warszawie.

Prekursorem szkoleń i badań, w tym badań nieniszczących polskiej tarcicy iglastej, był między innymi profesor Witold Dzbeński, co znalazło wyraz w tematyce jego rozprawy habilitacyjnej (Dzbeński 1984). Profesor podjął pionierskie działania (testy wytrzymałościowe, normalizacja, szkolenie specjalistów, publikacje) na rzecz upowszechniania wytrzymałościowego sortowania tarcicy konstrukcyjnej i racjonalnego zużycia drewna budowlanego w Polsce. W tym okresie powstawała polska, wzorowana na angielskiej, norma dotycząca sortowania wytrzymałościowego tarcicy iglastej (PN-D-94021:1982), opracowana na Wydziale Technologii Drewna Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego we współpracy z Instytutem Techniki Budowlanej w Warszawie. Norma ta w wersji ostatecznej, obowiązującej do dnia dzisiejszego, została wprowadzona w 1982 roku. W jej przygotowaniu aktywnie uczestniczył prof. dr hab. Witold Dzbeński.

Niniejsze opracowanie stanowi modyfikację i rozwinięcie wcześniejszego skryptu pt. „Wytrzymałościowe sortowanie tarcicy budowlano-konstrukcyjnej” wydanego w 2005 roku, którego współautorem był profesor Witold Dzbeński.

1. Baza surowcowa i pozyskanie drewna w Polsce

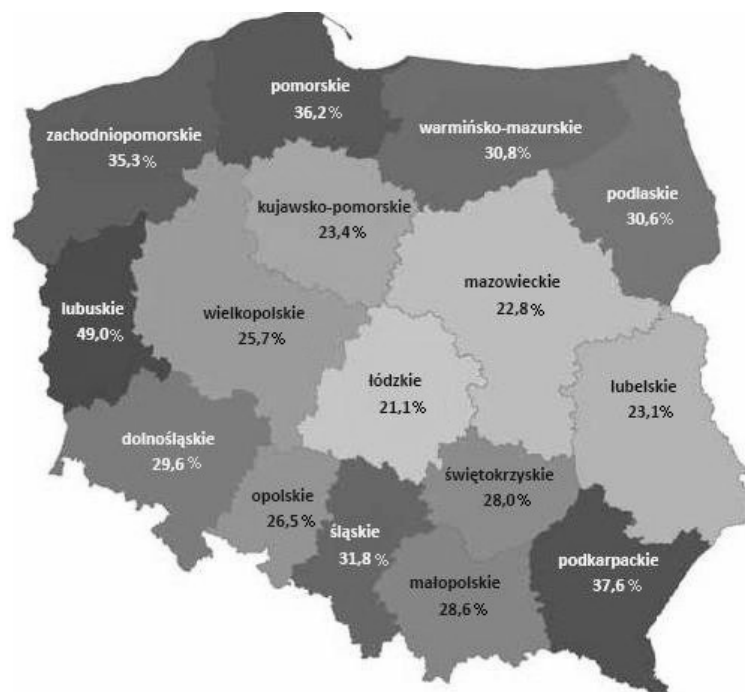
1.1. Struktura i zasobność lasów w Polsce

Bazą surowcową dla przemysłu drzewnego są lasy. Powierzchnia lasów w Polsce na koniec 2010 roku wynosiła 9121,3 tys. ha (Raport o stanie lasów... 2011). Odpowiada to lesistości równej 29,2%, co oznacza, że lasy zajmują 29,2% powierzchni naszego kraju. Lesistość Polski z roku na rok systematycznie wzrasta. Zwiększanie powierzchni lasów, czyli wzrost lesistości, jest efektem zalesiania gruntów użytkowanych przez rolnictwo lub nieużytków (od 2001 roku w statystykach uwzględniana jest też powierzchnia leśna powstała na skutek sukcesji naturalnej). W 1945 roku, po II wojnie światowej, lesistość naszego kraju wynosiła tylko 20,8%, a w 1970 roku wynosiła już 27,0%. Również na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat nastąpiły korzystne zmiany w lasach polskich. W okresie od 1967 do 2010 roku powierzchnia gruntów leśnych zwiększyła się o 9,3 punkty procentowe (w stosunku do całkowitej powierzchni kraju), a zasobów drzewnych (drewna na pniu) – o 91%.

Według standardu przyjętego dla ocen międzynarodowych, uwzględniającego grunty związane z gospodarką leśną, powierzchnia lasów w Polsce na dzień 31.12.2010 roku wynosiła 9,3 mln ha, co odpowiada lesistości 30,5%. Określona według standardu międzynarodowego lesistość Polski jest mniejsza od średniej europejskiej, która wynosi 34% – bez Federacji Rosyjskiej (Raport o stanie lasów... 2011).

Lasy na terenie naszego kraju nie są rozmieszczone równomiernie, w lesistości poszczególnych regionów występują duże różnice. Lesistość Polski z podziałem na województwa przedstawia rysunek 1.

Z rysunku 1 wynika, że najwięcej lasów występuje w województwie lubuskim (lesistość 49,0%), na drugim miejscu jest województwo podkarpackie, gdzie lesistość wynosi 37,6%, oraz na Pomorzu, w województwie pomorskim (lesistość 36,2%) i zachodniopomorskim (lesistość 35,3%). Najmniej lasów znajduje się w centralnej części Polski. Najmniejsza lesistość (21,1%) występuje w województwie łódzkim i mazowieckim (22,8%).



Rysunek 1. Lesistość Polski z podziałem na województwa (GUS, za Raportem o stanie lasów... 2012)

Na dostępność drewna na rynku krajowym ma wpływ struktura własności lasów. Według obiegowej opinii, lasy w Polsce są „państwowe”. Faktyczną strukturę własności lasów w Polsce przedstawiono na rysunku 2.

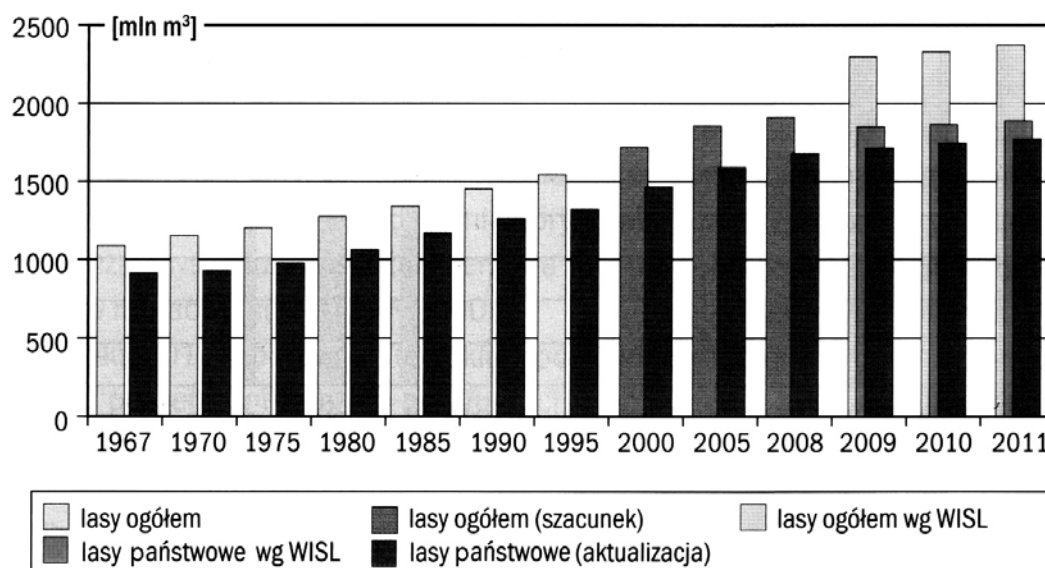
Jak wynika z rysunku 2, w strukturze własnościowej dominują w Polsce lasy publiczne (81,5% ogółu lasów), w tym lasy zarządzane przez Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe (PGL LP) – 77,4%. Pozostałe lasy publiczne to parki narodowe – 2%, inne należące do Skarbu Państwa – 1,0% oraz lasy będące własnością gmin – 0,9%. Lasy prywatne, będące własnością osób fizycznych, stanowią 17,6% lasów w Polsce. Pod względem przestrzennym lasy zajmują drugie miejsce po użytkach rolnych w strukturze użytkowania obszaru Polski.



Rysunek 2. Struktura własności lasów w Polsce (GUS, za Raportem o stanie lasów... 2012)

Struktura własności lasów w innych krajach europejskich jest bardzo zróżnicowana. Są kraje (Ukraina, Białoruś), gdzie 100% lasów należy do państwa. Krajami o najmniejszym udziale lasów publicznych są: Norwegia (ok. 15%), Austria (ok. 19%), i Szwecja (ok. 23%). W Niemczech lasy publiczne stanowią około 53% powierzchni lasów (Raport o stanie lasów... 2011).

W 2010 roku wielkość zasobów drzewnych w lasach Polski za okres 2007–2011 oszacowano na około 2400 mln m³ grubizny brutto (rys. 3). Zasoby drzewne w PGL LP w 2010 roku stanowiły 1865 mln m³ grubizny brutto, a w lasach prywatnych – 355 mln m³ (pozostałe – w parkach narodowych i innych formach własności). Największy udział w wielkości masy drzewnej wykazują drzewostany w wieku 41–80 lat (ponad 50% zasobów drzewnych).

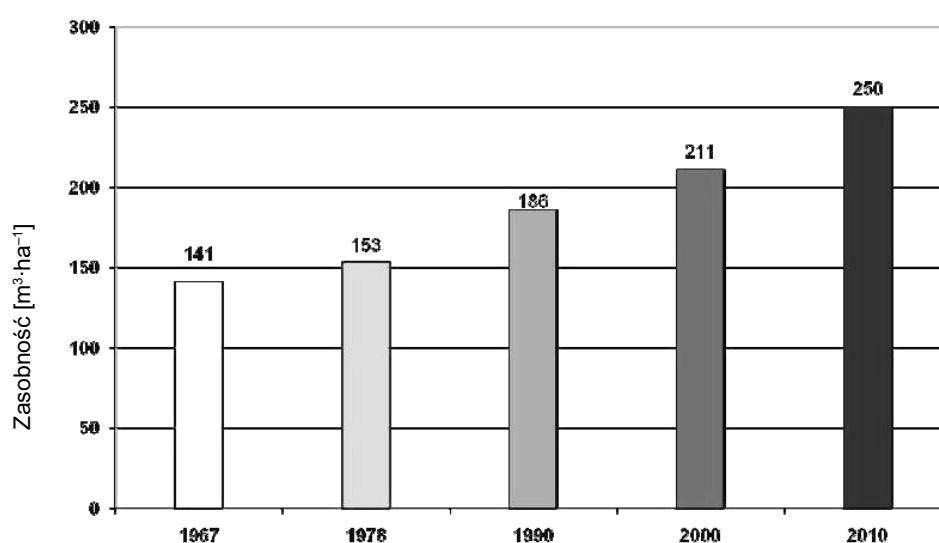


Rysunek 3. Wielkość zasobów drzewnych w lasach Polski w latach 1967–2011 (Raport o stanie lasów... 2012; dane WISL za okresy 2005–2009, 2006–2010, 2007–2011)

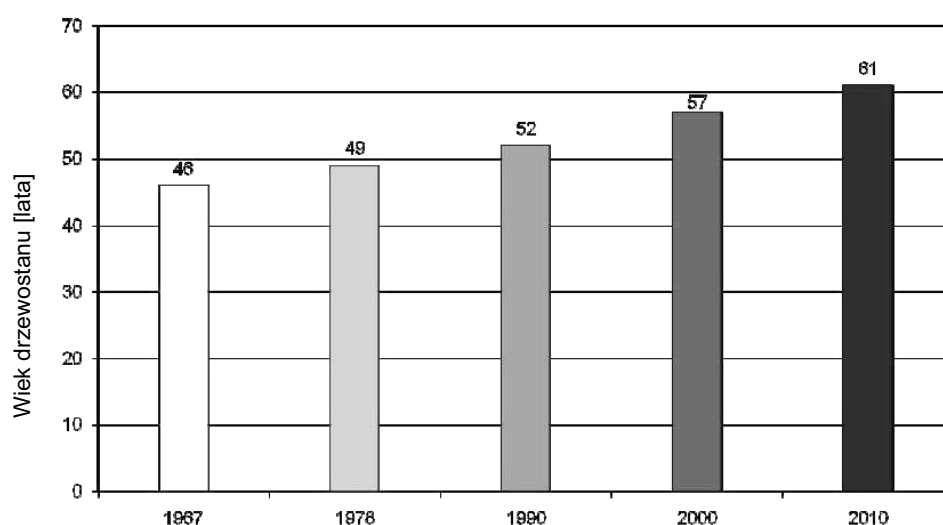
W Polsce rokrocznie pozyskuje się około 50–60% drewna, które przyrasta w lasach. Według Raportu o stanie lasów... 2011, w okresie ostatnich dwudziestu lat (1990–2010) w lasach zarządzanych przez PGL LP przyrost grubizny brutto wyniósł około 1072 mln m³. W tym czasie pozyskano około 55% całkowitego przyrostu, co oznacza, że pozostałe 45% całkowitego przyrostu zwiększyło zasoby drzewne na pniu. Z danych tych wynika, że obecnie w ciągu roku w lasach polskich przyrasta średnio 56–60 mln m³ drewna na pniu. Uwzględniając między innymi zmiany strukturalne (wzrost wieku drzewostanów i obszarów leśnych), można założyć, że z roku na rok wielkość ta w Polsce będzie rosła w sposób liniowy, by w 2030 roku przekroczyć wartość 70 mln m³ (roczny przyrost drewna na pniu).

Zasobność lasów (ilość metrów sześciennych drewna w postaci rosnących drzew przypadająca na jeden hektar powierzchni lasu) należących do LP również systematycznie wzrasta. Według Raportu o stanie lasów... 2011, przeciętna zasobność drzewostanów w odniesieniu do powierzchni zalesionej w LP wynosiła 250 m³ na hektar (stan na dzień 1.01.2010 r.), a w lasach prywatnych i gminnych – 119 m³ na hektar (stan na dzień 1.01.1999 r.). Zmiany zasobności lasów należących do PGL LP od 1967 do 2010 roku przedstawiono na rysunku 4.

Bardzo ważnym parametrem informującym o kondycji lasów i możliwościach zwiększenia pozyskania drewna w przyszłości jest wiek drzewostanów. Zmiany wieku drzewostanów należących do LP w Polsce przedstawiono na rysunku 5.



Rysunek 4. Zmiany zasobności PGL LP w Polsce (Wójcik 2011)



Rysunek 5. Zmiany wieku drzewostanów PGL LP w Polsce (Wójcik 2011)

Lasy w Polsce występują głównie na najślabszych glebach, co wpływa na skład roślinności drzewiastej. W strukturze siedliskowej lasów przeważają siedliska borowe, występujące na 52,1% ich powierzchni, resztę zajmują siedliska lasowe – 47,9%. W obu grupach wyróżnia się dodatkowo siedliska wyżynne, zajmujące łącznie 5,5% powierzchni lasów, i siedliska górskie występujące na 8,7% powierzchni (dane za 2011 r.).

Przestrzenne rozmieszczenie siedlisk w dużym stopniu znajduje odzwierciedlenie w strukturze przestrzennej gatunków panujących. Poza obszarem górskim, gdzie w składzie gatunkowym dominują świerk (zachód) oraz świerk z bukiem (wschód), i kilkoma mniejszymi obszarami o zróżnicowanej strukturze gatunkowej, w większości kraju przeważają drzewostany z sosną jako gatunkiem panującym. Sosna (60,4% powierzchni lasów wszystkich form własności, 62,2% powierzchni w PGL LP i 57,7% w lasach prywatnych) znalazła w Polsce najkorzystniejsze warunki klimatyczne oraz siedliskowe w swoim eurazjatyckim zasięgu.

Strukturę gatunkową lasów w Polsce przedstawiono w tabeli 1. W Polsce występuje zdecydowana przewaga lasów iglastych. W lasach państwowych stanowią one 71,9% powierzchni, w parkach narodowych – 56,7%, a lasach prywatnych – 67,9%. Dominującym gatunkiem jest sosna: w lasach państwowych – 61,9%, w parkach narodowych – 32,0% i w lasach prywatnych – 57,6%. Lasy liściaste stanowią 28,1% lasów państwowych, 43,3% parków narodowych oraz 32,1% lasów prywatnych.

Tabela 1. Powierzchnia lasów w Polsce pod względem składu gatunkowego

Struktura gatunkowa lasów	Lasy Państwowe		Parki narodowe		Lasy prywatne	
	tys. ha	%	tys. ha	%	tys. ha	%
Ogółem	7072,4	100,0	183,7	100,0	1685,7	100,0
Drzewa iglaste	5074,0	71,8	104,9	57,1	1129,3	66,9
– sosna	4364,3	61,7	59,3	32,3	957,0	56,6
– świerk	435,9	6,2	37,3	20,3	92,6	5,5
– jodła i pozostałe	273,8	3,9	8,3	4,5	79,8	4,8
– iglaste						
Drzewa liściaste	1998,4	28,2	78,8	42,9	556,4	33,1
– dąb	533,7	7,5	6,8	3,7	93,0	5,5
– buk	402,1	5,7	42,5	23,2	50,0	3,0
– grab	70,4	1,0	2,8	1,5	43,9	2,6
– brzoza	483,6	6,8	5,2	2,8	162,9	9,7
– olcha	332,5	4,7	11,5	6,3	129,3	7,7
– osika	28,4	0,4	0,7	0,4	35,4	2,1
– topola i pozostałe liściaste	147,7	2,1	9,3	5,0	41,8	2,5

Źródło: BULiGL – Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej, za Raportem o stanie... 2012.

W okresie ostatnich dziesięcioleci postępuje stopniowa przebudowa gatunkowa drzewostanów na korzyść drzew liściastych. Udział drzewostanów liściastych wzrósł z 17,7% w 1967 roku do 23,2% w 2010 roku, a średni wiek drzewostanów – z 46 do 61 lat (rys. 5).

Ważnym kryterium decydującym o potencjale i rzeczywistych możliwościach pozyskania drewna są funkcje pozagospodarcze lasu: ekologiczna (korzystny wpływ lasów na kształtowanie klimatu, regulacja obiegu wody w przyrodzie, przeciwdziałanie powodziom, lawinom i osuwiskom, ochrona gleb przed erozją i krajobrazu przed stepowaniem) i społeczna (kształtowanie korzystnych warunków zdrowotnych i rekreacyjnych dla społeczeństwa i wzbogacanie rynku pracy).

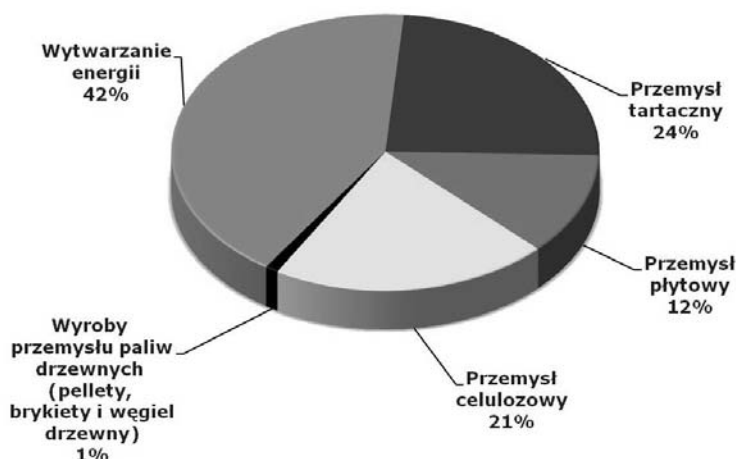
Lasy stanowią trzon ochrony przyrody w Polsce. Formami ochrony są parki narodowe i krajobrazowe obszary chronionego krajobrazu, użytki ekologiczne, pomniki przyrody, zespoły przyrodniczo-krajobrazowe, stanowiska dokumentacyjne, strefy ochrony gatunkowej, i obszary Natura 2000. Zasady wyznaczania i funkcjonowania Europejskiej Sieci Ekologicznej Natura 2000 zostały uregulowane w dyrektywach UE: dyrektywa 2009/147/WE z 2009 roku w sprawie ochrony dzikiego ptactwa (tzw. dyrektywa ptasia) i dyrektywa 92/43/EWG z dnia 21 maja 1992 roku w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory (tzw. dyrektywa habitatowa), transponowanych do prawa polskiego.

W Polsce znajdują się 144 obszary specjalnej ochrony ptaków (15,6% powierzchni kraju) i 823 specjalne obszary ochrony siedlisk (11,5% powierzchni kraju). Łącznie obszary Natura 2000 zajmują 19,7% powierzchni lądowej kraju (6021,8 tys. ha), w tym 60% tych obszarów znajduje się na terenach leśnych (2860 tys. ha na terenach PGL LP, co stanowi 38% ich powierzchni). Około 1,2% lasów (tereny PGL LP) to rezerваты przyrody, a kolejne 46,9% to powierzchnia zajmowana przez lasy ochronne. Oznacza to, że 3,9 mln ha lasów włączonych jest do statutowych form ochrony przyrody (bez wliczania obszarów Natura 2000).

Zagrożenie lasów w Polsce czynnikami biotycznymi, abiotycznymi i antropogenicznymi jest stosunkowo duże. Stałe oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza i dotychczasowa koncentracja SO_x i NO_x , warunki pogodowo-klimatyczne, nasilenie występowania klęsk żywiołowych (huragany, gradobicia, pożary, powodzie) oraz czynników biotycznych zwiększają podatność drzew na choroby. Czynniki te skutecznie spowalniają przyrost drewna na pniu, a czasem redukują zasobność drzewostanów. Przykładowo, rokrocznie powierzchnia pożarów lasów w Polsce obejmuje 2500–5000 ha, ale zdarzają się też lata, gdzie powierzchnia ta przekracza 20 tys. ha (np. w 2003 r.), co przy średniej zasobności drzewostanu $250\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ daje stratę nawet rzędu 5 mln m^3 drewna.

1.2. Wielkość i perspektywy pozyskania drewna

Drewno jest podstawowym surowcem nie tylko dla przemysłu drzewnego (tartacznictwo, meblarstwo, produkcja płyt drewnopochodnych), ale również dla przemysłu celulozowego i sektora energetycznego. W ostatnich latach sektor energetyczny zaczął konkutować z przemysłem drzewnym przy zakupie drewna – zarówno w Europie, jak i w Polsce. Wykorzystanie drewna w poszczególnych dziedzinach w krajach Unii Europejskiej przedstawiono na rysunku 6.

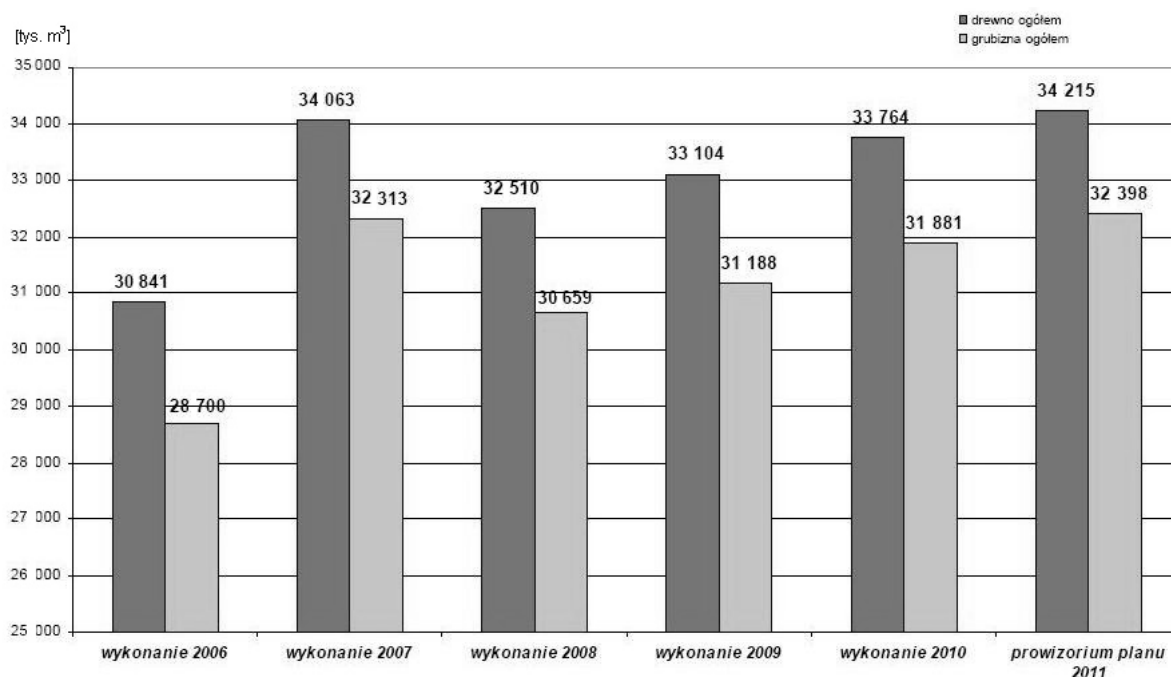


Rysunek 6. Zużycie drewna w UE na określone cele w 2007 roku
(EUwood 2009, za Strykowskim 2011)

W Polsce kluczową rolę w dostarczaniu surowca drzewnego ogrywają lasy państwowe, lasy prywatne dostarczają tylko niewielkiej ilości drewna, na przykład w 2010 roku pozyskano w Polsce 33 568 tys. m³ grubizny netto (bez kory), z czego w lasach prywatnych tylko 1243 tys. m³, a w parkach narodowych – 201 tys. m³. Ilość drewna pozyskiwanego w PGL LP w ostatnich latach przedstawiono na rysunku 7.

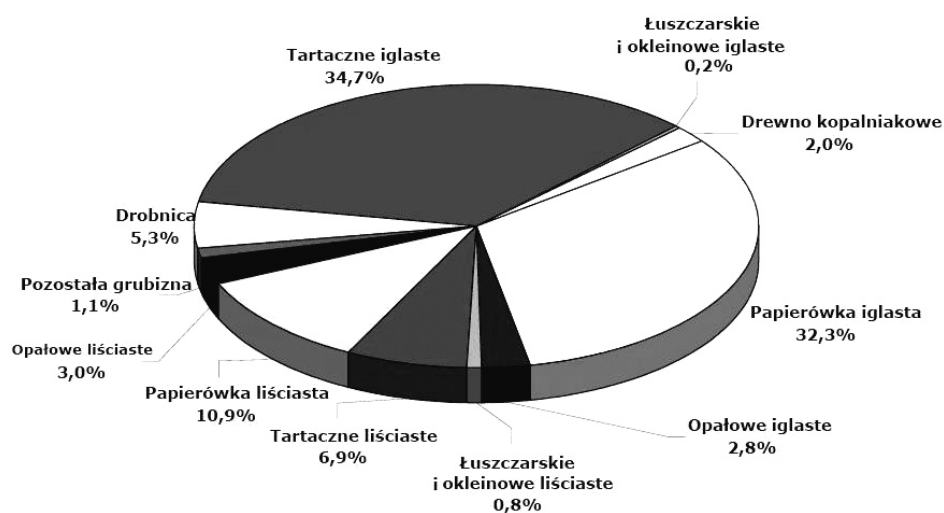
W 2011 roku pozyskano ogółem 34 180 tys. m³ drewna. Na 2012 rok zaplanowano pozyskanie 34 585,206 tys. m³ drewna ogółem (Zarządzenie nr 51... 2011). W ostatnim 5-leciu z drzewostanów pozostających w zarządzie Lasów Państwowych pozyskiwano średnio ok. 30,2 mln m³ drewna na rok, czyli przeciętnie około 4,3 m³ z 1 ha.

Od 2007 roku LP sukcesywnie zwiększają pozyskanie drewna, jednak wzrost podaży nie jest równomierny. Stosunkowo największy wzrost odnotowano w 2008 roku (5%) i w 2011 roku (3,95%). Odpowiadał on przewidywanej koniunkturze gospodarczej w naszym kraju, a w szczególności przewidywanej sytuacji w przetwórstwie przemysłowym drewna, jednak był znacząco mniejszy od rzeczywistych potrzeb, co sprzyja utrzymywaniu się wysokich cen (Lis 2011).



Rysunek 7. Pozyskanie drewna (brutto – z korą) w PGL LP w latach 2006–2011 (Pozyskanie drewna... 2011)

Strukturę sortymentową drewna dostarczanego przez PGL LP przedstawiono na rysunku 8. Ilość surowca drzewnego wystawianego w ostatnich latach do sprzedaży przemysł drzewny uważa za niewystarczającą w stosunku do zapotrzebowania, co jest jednym z powodów jego wysokich cen.



Rysunek 8. Podział na sortymenty drewna pozyskiwanego w Lasach Państwowych (Wójcik 2011)

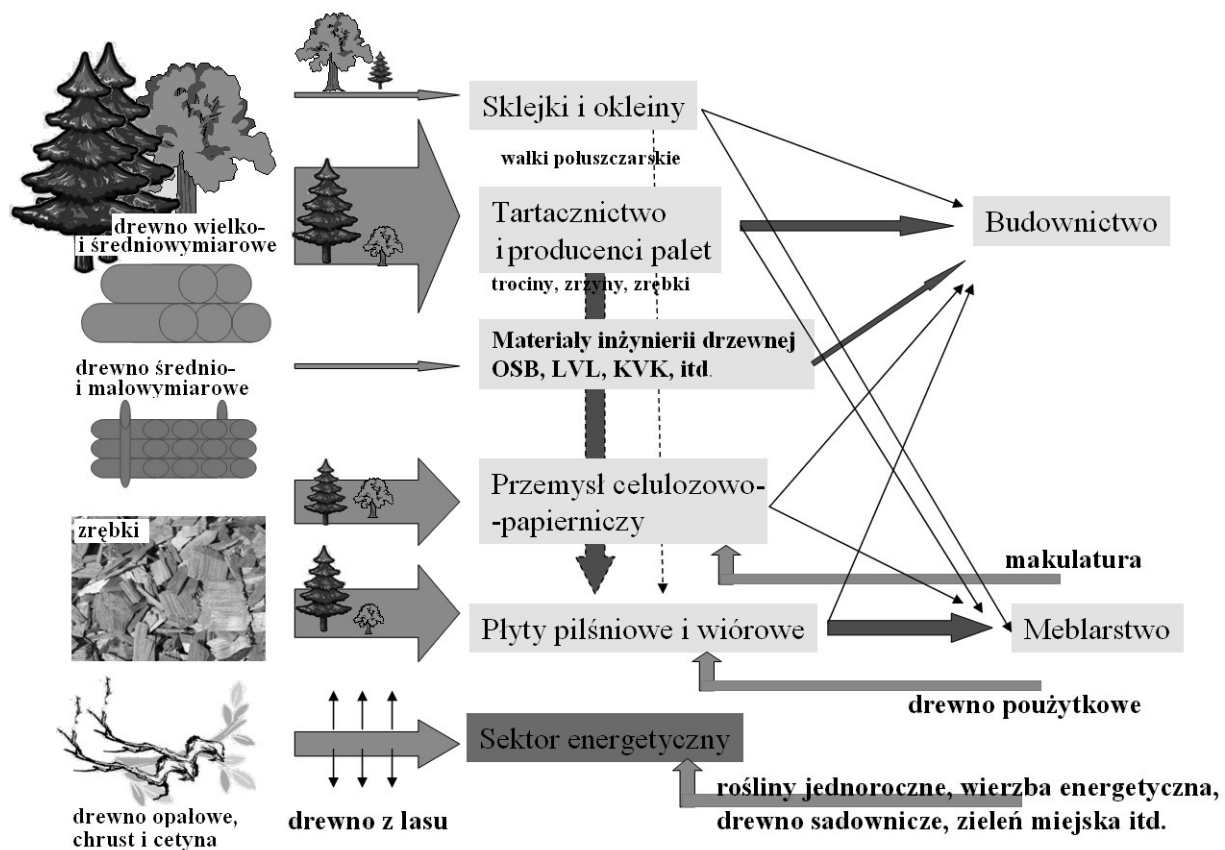
Według prognoz, w najbliższych latach nastąpi wzrost intensywności użytkowania głównego w PGL LP w stosunku do zasobów drzewnych – do 2,42% w 2020 roku oraz do 2,75% w 2030 roku. Najprawdopodobniej miąższościowy udział użytkowania

rębnego w okresie 2010–2030 wzrośnie – z 51% w 2010 roku, poprzez 58% w 2010 roku, do 63% w 2030 roku, czego konsekwencją będzie zwiększenie udziału sortymentów drewna wielkowymiarowego. Prawdopodobnie nastąpi też wzrost użytkowania – z 32 mln m³ grubizny netto w 2010 roku do 37 (36–38) mln³ w 2020 roku oraz 42 (41–43) mln m³ w 2030 roku (Wójcik 2011). Jest to realna prognoza przy wyważonej realizacji konserwatorskich form ochrony przyrody. Tym samym 100-procentowy wyrąb rocznego przyrostu drewna na pniu, tj. obecne ponad 60 mln m³, a w 2030 roku ok. 70 mln m³ nie będzie realizowany.

Biorąc pod uwagę opisany wyżej liniowy wzrost podaży drewna i dynamicznie rosnącą podaż oraz rosnące potrzeby energetyki zawodowej (dużych zakładów energetycznych), należy się spodziewać wzrostu cen i deficytu tego surowca w Polsce. W polityce energetycznej Polski do 2030 roku za cel strategiczny stawia się dywersyfikację zarówno nośników energii, jak i kierunków dostaw tych nośników, a także rozwój wszystkich dostępnych technologii wytwarzania energii o racjonalnych kosztach, w tym energetyki jądrowej. Polska zobowiązana jest do realizacji obowiązków przewidzianych w dyrektywie rozwoju energetyki odnawialnej. Zgodnie z wymaganiami Unii Europejskiej (Dyrektywa 2009/28/WE z 2009 r.) powinien nastąpić wzrost udziału energii odnawialnej w strukturze energii finalnej – do 15% w 2020 roku, oraz wzrost udziału biopaliw w rynku paliw transportowych – do poziomu 10%. Za energię odnawialną uznaje się spalanie biomasy.

Pozyskanie drewna opałowego w PGL LP na potrzeby energetyki zawodowej z obecnego poziomu ocenianego na 3,8 mln m³ (2010 r.) może ulec zwiększeniu w najbliższych latach – od 1 do 3 mln m³ (uwzględnienie chrustu i drewna pniakowego), pod warunkiem rozwiązania problemów przyrodniczych, technologicznych i technicznych oraz uwzględnienia uwarunkowań ekonomicznych. Możliwości zwiększenia podaży drewna na cele energetyczne upatruje się przede wszystkim we wzroście pozyskania drewna małowymiarowego (od 0,5 do 1,0 mln m³) i ewentualnie średniowymiarowego (od 0,4 do 1,5 mln m³).

W ocenie dostępności surowca drewna ważna jest również jego postać. Najmniejsze wymagania stawiane są wobec drewna kierowanego na cele energetyczne – może to być drewno w postaci zrębków pozyskanych z gałęzi (chrust), części czubowych drzew oraz karpin i korzeni (pniaki), zawierającego zanieczyszczenia mineralne, a nawet cetyny (liście i kora) – w domyśle ma być to drewno (materiał) nienadające się do innych celów. Z kolei znacznie większe wymagania i szczególne cechy dotyczą surowca kierowanego do przerobu tartaczno, z którego pozyskiwana jest tarcica konstrukcyjna (rys. 9). Drewno tartaczno (iglaste i liściaste łącznie) stanowi 41,6% drewna ogółem. Przemysł tartaczno kupuje również pewną ilość papierówki, szczególnie producenci „programu ogrodowego” i producenci palet.



Rysunek 9. Główni odbiorcy surowca drzewnego w Polsce (grubość strzałek proporcjonalna do ilości surowca)

Według szacunków, sektor drzewny w Polsce liczy 66 tysięcy podmiotów gospodarczych. Około 24,5 tysiąca przedsiębiorstw drzewnych stanowią producenci mebli (37%), ponad 15 tys. firm skupia branża drewnianej stolarki budowlanej (23%), 8 tysięcy z nich to zakłady tartaczne (14%), a kolejne 3,4 tysiąca to zakłady papiernicze (Kozakiewicz i in. 2011).

2. Budowa, właściwości i wady drewna

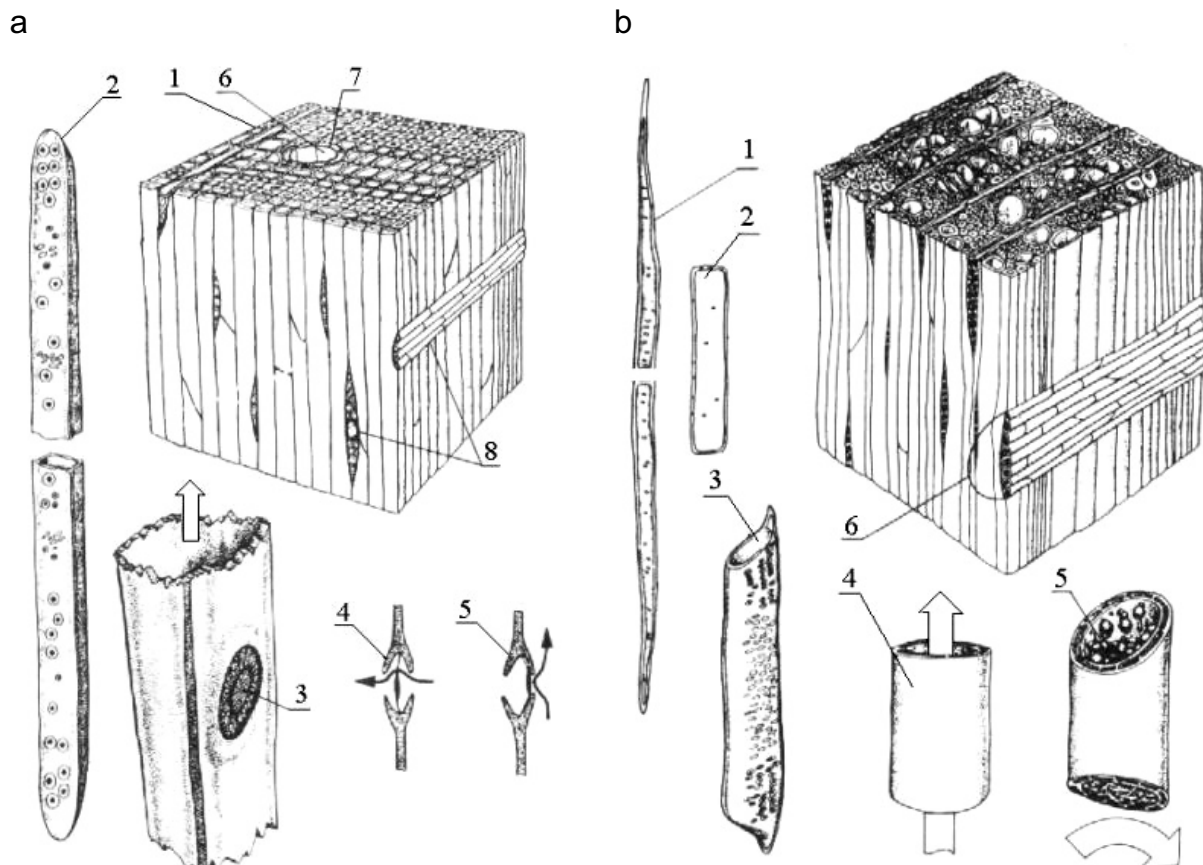
2.1. Budowa drewna

2.1.1. Budowa mikroskopowa

Cechy i właściwości drewna są odzwierciedleniem funkcji, jakie pełniło w żywym organizmie roślinnym. Drewno to materiał, który wykazuje (w zależności od rodzaju) ogromną zmienność swoich właściwości. Jest materiałem anizotropowym, tzn. ma różne właściwości w różnych kierunkach, i niejednorodnym – ma wady. Do budowy mikroskopowej drewna zalicza się te szczegóły jego struktury, które można zobaczyć przy użyciu mikroskopu optycznego (obiekty o wymiarze mniejszym niż 0,1 mm i większym niż połowa długości fali świetlnej, tj. ponad 300 nm). Do obiektów tych należą komórki tworzące strukturę drewna. Inna jest budowa drewna iglastego, a inna – liściastego (rys. 10), gdyż tworzą ją komórki różnego typu.

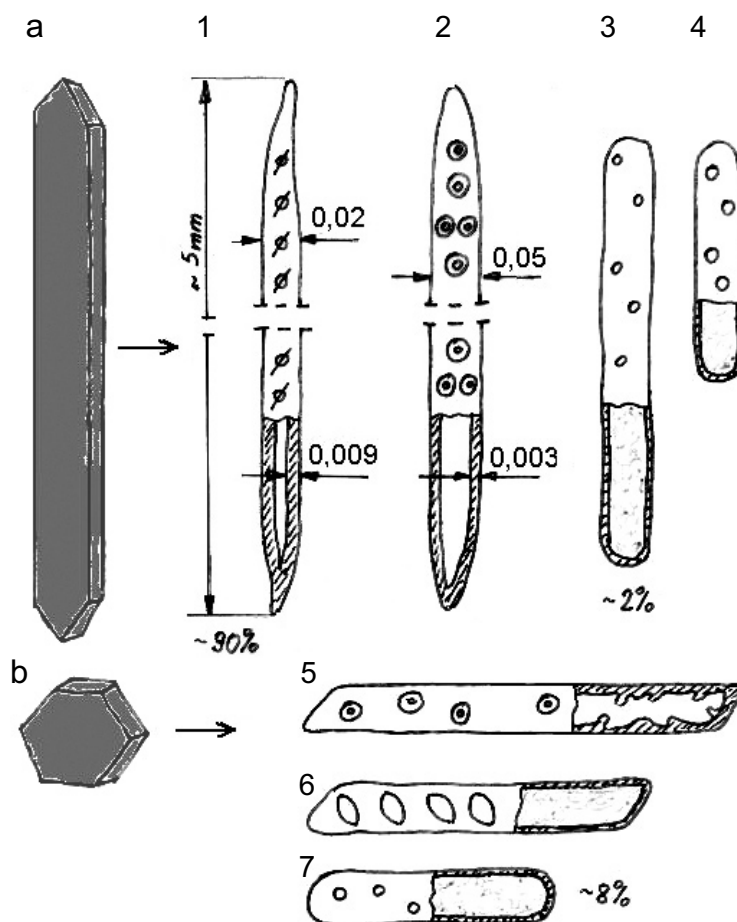
Podstawowym i pierwotnym elementem drewna (ksylemu) są cewki, które tworząc przeważającą część drewna gatunków iglastych, pełnią w nim równocześnie funkcję wzmacniania i przewodzenia wody. U najstarszych lądowych roślin cewki mają na wewnętrznej powierzchni ścian pierścieniowe lub spiralne zgrubienia (dąglezja), wskazujące przede wszystkim na funkcję wzmacniania osiowych narządów rośliny.

Cewki to wydłużone komórki martwe, zachodzące na siebie, o zdrewniałych ścianach z licznymi jamkami lejkowatymi, którymi woda przechodzi z komórki do komórki, w kierunku podłużnym i poprzecznym. Prostopadle do cewek przebiegają promienie łykodrzewne zbudowane zazwyczaj z komórek miękiszowych; u niektórych gatunków iglastych towarzyszą im cewki poziome. Uzupełnieniem są nieliczne komórki miękiszowe tworzące miękisz drzewny (np. u sosny, świerka i modrzewia), występujący tylko w sąsiedztwie pionowych kanałów żywicznych. Pionowe kanały żywiczne biegną równolegle do osi pędu i łączą się w rodzaj sieci przebiegającej promieniście w powiązaniu z poziomymi przewodami w złożonych promieniach łykodrzewnych. Na rysunku 11 przedstawiono schematycznie komórki tworzące strukturę drewna iglastego.



Rysunek 10. Budowa mikroskopowa drewna (Wilkinson 1979): a – iglastego: 1 – granica przyrostów rocznych, 2 – cewka drewna wczesnego, 3 – fragment cewki z jamką lejkowatą otoczkową, 4 – para jamek lejkowatych otoczkowych otwartych, 5 – para jamek lejkowatych otoczkowych zamkniętych, 6 – pionowy przewód żywiczny, 7 – komórki żywicorodne, 8 – promienie łykdrzewne (jeden z nich zawiera poziomy przewód żywiczny); b – liściastego: 1 – włókno sklerenchymatyczne, 2 – komórka miększu drzewnego, 3 – człon naczynia z perforacją prostą, 4 – człon naczynia w strefie bielu (przewodzący wodę), 5 – człon naczynia w strefie twardzieli (zaczopowany wciskami), 6 – promień łykdrzewny

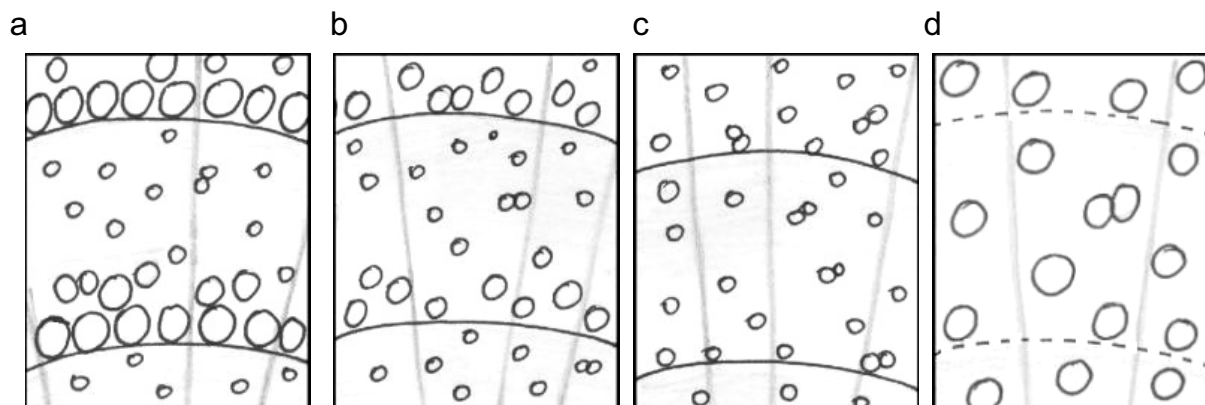
W procesie ewolucji postępowało stopniowe specjalizowanie się cewek w dwóch kierunkach – przewodzenia lub wzmacniania. Doskonalenie przewodzenia kosztem zdolności wzmacniania doprowadziło do powstania naczyń, które występują u prawie wszystkich roślin okrytonasiennych (drzew liściastych). U form pierwotniejszych człony naczyń są dłuższe, a jednocześnie węższe i wciąż jeszcze przypominają cewki naczyniowe, u bardziej rozwiniętych form człony są krótsze i szersze. Drugi kierunek rozwoju cewek, to jest doskonalenie funkcji wzmacniania kosztem zdolności przewodzenia, wyrażał się w zwiększaniu się grubości ścian i zmniejszaniu liczby i wielkości jamek. Ta linia rozwoju prowadziła do powstania cewek włóknistych, to jest elementów o jamkach szczelinowych lub skośnych. Dalsze pogrubianie się ścian i zmniejszanie jamek doprowadziło do powstania włókien (Dzbeński 1976).



Rysunek 11. Elementy strukturalne drewna iglastego: a – kambium prozenchymatyczne (wrzeciono-
wate), z którego powstają wszystkie pionowe elementy struktury drewna: 1 – cewka drewna późnego,
2 – cewka drewna wczesnego, 3 – komórki żywicorodne (epitelialne), 4 – miękisz drzewny; b – kam-
bium izodiametryczne (tafelkowate), z którego powstają wszystkie poziome elementy struktural-
ne (elementy promieni łykodrzewnych): 5 – cewki poziome (brzeżne), 6 – komórki miękiszowe,
7 – komórki epitelialne

Drewno drzew liściastych zawiera więc – oprócz promieni rdzeniowych i mię-
kiszu drzewnego – naczynia oraz włókna drzewne. Naczynia, niekiedy o stosunko-
wo dużej średnicy, tworzą zwarte pasma przebiegające od korzeni do końcowych
rozgałęzień pędów. W zależności od ułożenia naczyń w słoju rocznym, u gatunków
liściastych wyróżnia się strukturę pierścieniowonaczyniową, rozpierchłonaczynio-
wą, a także – według niektórych autorów – półpierścieniowonaczyniową (rys. 12).

U gatunków drewna pierścieniowonaczyniowego (np. dąb, jesion, wiąz, gro-
chodrzew, morwa, teak, przeorzech) naczynia o dużym świetle grupują się tylko
w drewnie wczesnym, tworząc zwarty pierścień na przekroju poprzecznym, a drew-
no późne zbudowane jest głównie z cewek włóknistych i włókien drzewnych.



Rysunek 12. Schematyczny obraz przekroju poprzecznego różnych typów drewna liściastego: a – pierścieniowonaczyniowe (np. dąb, jesion, wiąz, grochodrzew), b – półpierścieniowonaczyniowe (np. czereśnia, wiśnia, śliwa), c – rozpierchłonaczyniowe strefy umiarkowanej (np. brzoza, olsza, topola, lipa, klon, grab), d – rozpierchłonaczyniowe strefy tropikalnej (np. mahonie, palisandry, hebany)

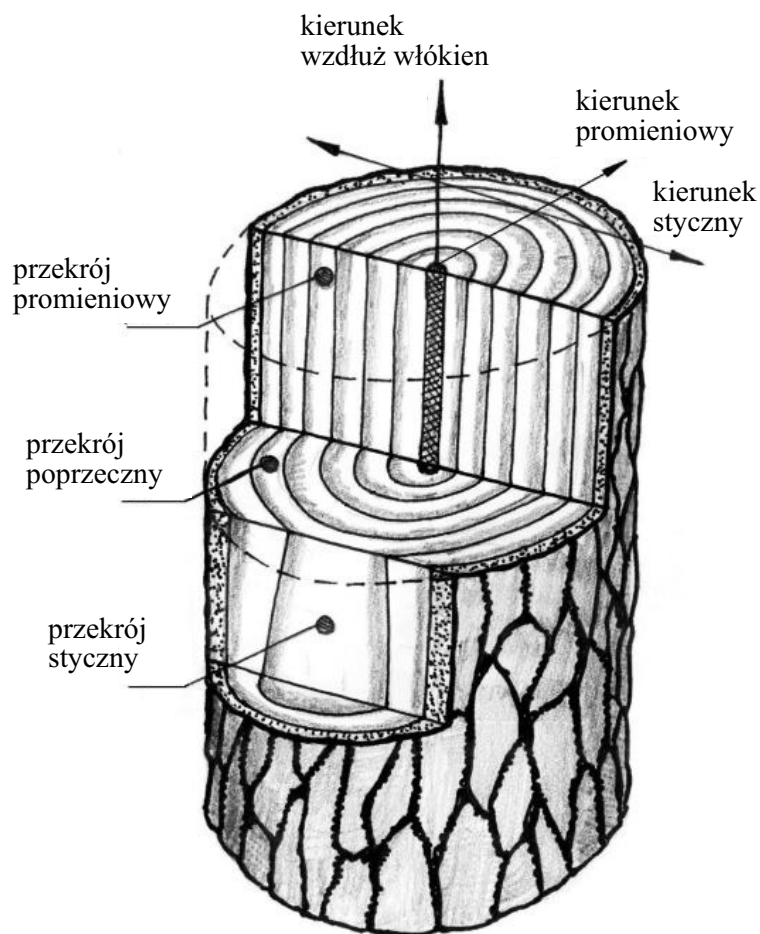
U gatunków rozpierchłonaczyniowych (np. klon, brzoza, grab, topola, lipa, olcha i większość egzotycznych) naczynia o podobnej średnicy są rozproszone w całym przyroście rocznym. U gatunków krajowych naczynia mają niewielką średnicę (poniżej 0,1 mm, niewidoczne gołym okiem), natomiast u gatunków egzotycznych są to duże naczynia, dobrze widoczne na wszystkich przekrojach drewna, przy czym przyrosty roczne często nie są rozróżnialne.

U gatunków półpierścieniowonaczyniowych (np. czereśnia, wiśnia, śliwa) naczynia w drewnie wczesnym mają większą średnicę i jest ich nieco więcej w porównaniu z drewnem późnym.

Na poziomie mikroskopowym bardzo wyraźnie widać anizotropię w budowie drewna. Większość komórek ułożona jest równolegle do osi podłużnej pnia, a niektóre mają kształt bardzo wydłużonych wrzecion. Smukłość tych komórek drzewnych, czyli stosunek długości do wymiaru przekroju poprzecznego (średnicy komórki) często przekracza liczbę stosunkową 100. Powoduje to, że drewno ma odmienne właściwości w różnych kierunkach anatomicznych.

2.1.2. Budowa makroskopowa

Do cech makroskopowych drewna zalicza się te, które są rozróżnialne nieuzbrojonym okiem (o wielkości ponad 0,1 mm). Należą do nich przyrosty roczne, strefy drewna późnego i wczesnego, twardziel, blyszcz, duże naczynia, wycieki żywiczne lub sęki. Wymienione cechy najczęściej obserwuje się na trzech podstawowych przekrojach drewna: dwóch wzdłużnych – stycznym i promieniowym, oraz jednym poprzecznym. Przekrojów anatomicznych drewna nie należy mylić z jego trzema kierunkami anatomicznymi: stycznym, promieniowym i wzdłuż włókien (rys. 13).



Rysunek 13. Podstawowe kierunki i przekroje anatomiczne drewna (Kozakiewicz 2012)

Przyrosty roczne

Pod względem botanicznym drewno to tkanka złożona, występująca u roślin naczyniowych. Co roku płaszcz kambium w pniu drzewa (wieloletniej zdrewniałej łodydze) wytwarza do wewnątrz nową warstwę drewna, które w postaci pierścienia (słój roczny) jest widoczne na przekroju poprzecznym.

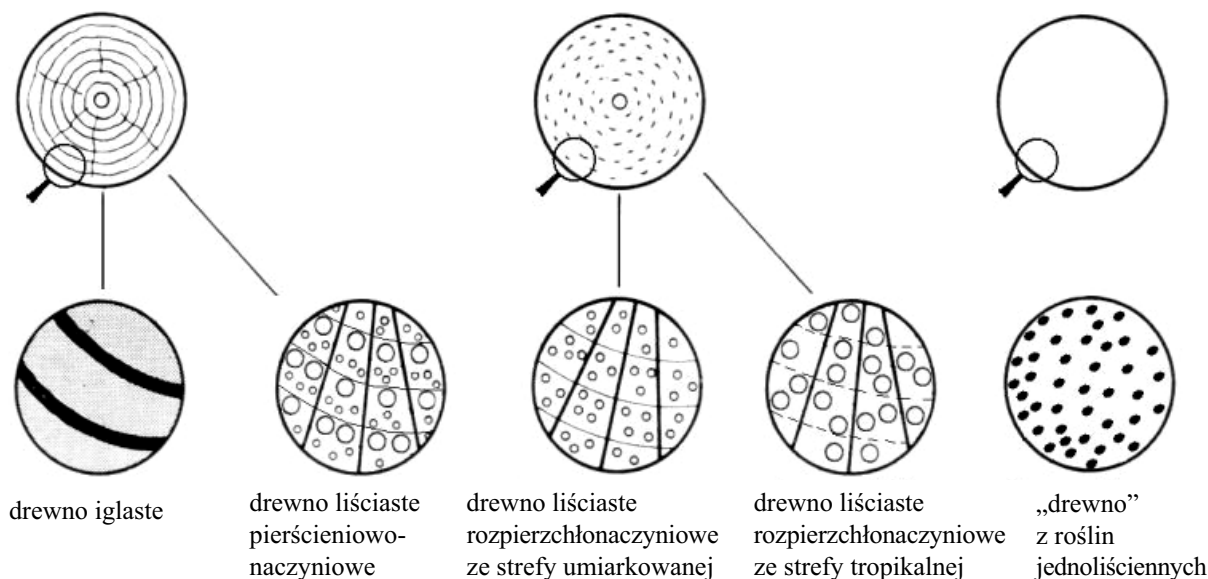
W obrębie jednego przyrostu rocznego drewna można odróżnić warstwę drewna wczesnego (drewno jaśniejsze, o mniejszej gęstości, wytwarzane na wiosnę, pełniące głównie funkcję przewodzącą) i warstwę drewna późnego (drewno zwarte, o ciemniejszym zabarwieniu, pełniące głównie funkcję wzmacniającą).

Przyrosty roczne (rys. 14) są doskonale widoczne w drewnie iglastym i pierścieniowo-naczyniowym dzięki dużemu zróżnicowaniu w budowie drewna wczesnego i późnego. Znacznie słabiej przyrosty roczne widoczne są w drewnie rozpięzchłono-naczyniowym, a zupełnie nierozróżnialne w gatunkach ze strefy tropikalnej oraz roślinach jednoliściennych (palmy, bambusy).

słoje roczne – dobrze widoczne

słoje roczne – słabo widoczne

słoje roczne – niewidoczne



Rysunek 14. Różnego typu struktury drewna rozpoznawalne po wyrazistości przyrostów rocznych oraz obecności i ułożeniu naczyń

Biel i twardziel

Niektóre gatunki drzew mają zdolność do wytwarzania twardzieli. Najstarsze słoje roczne (znajdujące się najbliżej rdzenia) zmieniają swój skład chemiczny i są mechanicznie izolowane – poprzez zamknięcie jamek lub wciskowanie – od zewnętrznych (przyobwodowych) warstw drewna. Często twardziel ma ciemniejszą barwę w porównaniu z pozostałym drewnem (drewnem bielu), dzięki czemu może być odróżniona gołym okiem.

Twardziel pełni tylko rolę mechaniczną (wzmacnia pień). Biel natomiast, oprócz wzmacniania pnia, uczestniczy w funkcjach życiowych rośliny (np. w przewodzeniu wody i gromadzeniu substancji odżywczych).

Zależnie od występowania twardzieli i jej zabarwienia wyróżnia się trzy grupy drzew: drzewa o twardzieli zabarwionej (np. sosna, modrzew, daglezwia), drzewa z twardziela niezabarwioną (np. świerk, jodła) oraz drzewa beztwardzielowe, które naturalnie nie wytwarzają twardzieli (jako objaw chorobowy może w nich powstać tzw. fałszywa twardziel).

Pęcherze i wycieki żywiczne

W drewnie niektórych gatunków iglastych (sosna, świerk, modrzew, daglezwia) w miejscach przecięcia kanałów żywicznych widoczne są wycieki żywicy. Na przekroju poprzecznym występują one w postaci drobnych plamek, a na przekrojach wzdłużnych – w postaci kresiek (smug), które w zależności od kąta padania światła lub zabrudzenia powierzchni są ciemniejsze lub jaśniejsze od otaczającego drewna.

O wiele wyraźniejsze i łatwiejsze do zauważenia są pęcherze żywiczne. W rozstępach tkanki drzewnej jeszcze za życia drzew gromadzi się żywica. Pęcherze mają wydłużony kształt i są ułożone równolegle do osi pnia, a ich długość wynosi zwykle kilka centymetrów. U gatunków drzew iglastych zawierających żywicę w drewnie często tworzą się przeżywiczienia, które towarzyszą nadpsutym sękom (znajdują się wokół nich). Na przekroju stycznym widoczne są w postaci wydłużonych soczewek ciemniejszych od otaczającego drewna.

Promienie łykodrzewne

Promienie łykodrzewne to poziome elementy struktury drewna. Biegają one promieniowo od rdzenia ku obwodowi pnia. U gatunków iglastych są one drobne i przez to słabo widoczne, w zasadzie rozróżnialne gołym okiem tylko na przekroju promieniowym. U wielu gatunków liściastych (np. u dębu, buka, klonu, platana) promienie łykodrzewne są na tyle duże, że można je obserwować makroskopowo na wszystkich trzech przekrojach. Na przekroju promieniowym tworzą u tych gatunków wyraźny błyszcz.

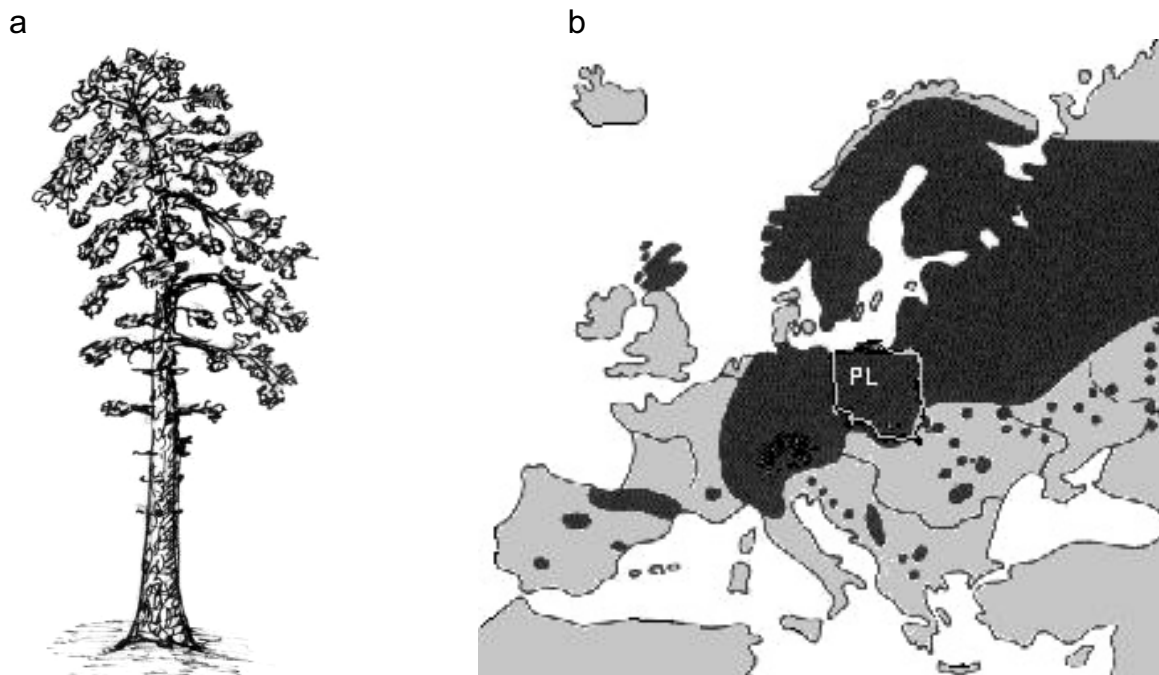
2.2. Charakterystyka wybranych gatunków drzew i rodzajów drewna iglastego

W Polsce tarcica konstrukcyjna pozyskiwana jest przede wszystkim z drewna dwóch najbardziej rozpowszechnionych gatunków iglastych: sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L. i świerka pospolitego *Picea abies* L. W porównaniu z Polską, wśród państw europejskich tylko Niemcy i kraje skandynawskie posiadają większą powierzchnię lasów iglastych, stąd ważna pozycja naszej tarcicy sosnowej i świerkowej nie tylko na rynku krajowym, lecz także zagranicznym.

Poza sosną i świerkiem norma PN-D-94021:1082 oraz projekt normy PN-D-94021:2012 wymieniają jeszcze modrzew, jodłę i daglezię jako gatunki, z których pozyskuje się tarcicę konstrukcyjną, jednak ze względu na niewielką jej ilość, mają one znaczenie drugorzędne.

Sosna zwyczajna

Sosna zwyczajna *Pinus sylvestris* L. to gatunek mogący tworzyć lite drzewostany (Grzywacz 1995), szeroko rozpowszechniony w całej Europie, obejmujący zwarty obszar, zwłaszcza w jej części północnej i północno-wschodniej (rys. 15b). Cała Polska znajduje się w zasięgu tego gatunku, poza terenami wysokogóorskimi. Sosna pospolita, oprócz limby i kosodrzewiny, to jeden z trzech rodzimych gatunków sosen (Mała encyklopedia... 1991).



Rysunek 15. Sosna pospolita *Pinus sylvestris* L.: a – pokrój drzewa, b – występowanie w Europie (Mała encyklopedia... 1991)

W Polsce w uprawach można spotkać około 12 innych gatunków sosen (np. sosnę wejmutkę, sosnę czarną, sosnę Banksa, sosnę smołową), jednak ich udział nie jest znaczący. Sosna pospolita wykazuje dużą zdolność przystosowania się do warunków środowiska, jednak należy do gatunków mało zmiennych (Strojny 1981). Za typową sosnę pospolitą uznaje się drzewo osiągające wysokość do 30–40 m (rys. 15a). Jej korona, w młodości stożkowa z gałęziami wyrastającymi w okółkach, w późniejszym wieku przekształca się w formę parasolowatą (Banfi i Consolino 2001).

Pod względem drzewostanów w Polsce sosna zajmuje niepodzielnie od wielu lat pierwsze miejsce, ponieważ aż 69,2% powierzchni lasów przypada na ten gatunek (około 6 mln ha). Jest to największy areal spośród wszystkich roślin uprawianych w rolnictwie, ogrodnictwie i leśnictwie. Nigdzie na świecie jeden gatunek drzewa nie zajmuje procentowo tak dominującej pozycji w składzie gatunkowym lasów. Polska to kraj sosny (Grzywacz 1995). Zapas grubizny drewna sosnowego wynosi około 950 hm³, zawarty głównie w III i IV klasie wieku – są to drzewostany liczące 41–80 lat.

Sosna należy do gatunków twardzielowych. Twardziel świeżo po ścięciu drzew lub przetarciu kłód mało różni się od bielu, dopiero później stopniowo ciemnieje, przybierając barwę brąnatnoczerwonawą. Biel sosnowy o kolorze żółtobiałym jest szeroki, obejmuje zwykle ponad 25 przyrostów rocznych. Sęki występują w wyraźnych okółkach, a ich kolor jest wyraźnie ciemniejszy od otaczającego drewna. Często towarzyszą im przeżywice. Słoje roczne są wyraźne, a ich szerokość

jest bardzo zróżnicowana, zależnie od warunków wzrostu drzewa. Drewno wczesne jest wyraźnie jaśniejsze od późnego. Przejście z drewna wczesnego do późnego w obrębie przyrostu rocznego jest dość ostre. W drewnie występują liczne wycieki żywiczne, dając świeżo przetartemu drewnu charakterystyczny żywiczny zapach. Promienie łykodrzewne są drobne – widoczne bardzo słabo tylko na idealnie promieniowym przekroju. Typowe wady drewna sosnowego to sinizna i przeżywczenie. Drewno jest dość lekkie, miękkie i łatwo łupliwe (Galewski i Korzeniowski 1958, Kozakiewicz i in. 2012). Według PN-EN 13556:2005, gatunek ten ma oznaczenie kodowe PNSY.

Świerk pospolity

Świerk pospolity *Picea abies* Karst. to nasz jedyny rodzimy gatunek świerka i jeden z siedmiu rodzimych gatunków drzew mogących tworzyć lite drzewostany na dużych obszarach. W Europie zasięg świerka pospolitego obejmuje trzy wyraźnie oddzielone obszary: alpejsko-bałkański, sudecko-karpacki i bałtycko-północno-rosyjski (rys. 16b). W dwóch pierwszych obszarach świerk jest drzewem wysokogórskim, w trzecim – drzewem nizinnym. Przez Polskę przebiega pas bezświerkowy oddzielający świerk górski, czyli świerk z obszaru sudecko-karpackiego, od świerka nizinnego z obszaru bałtycko-północno-rosyjskiego (1996).

a



b



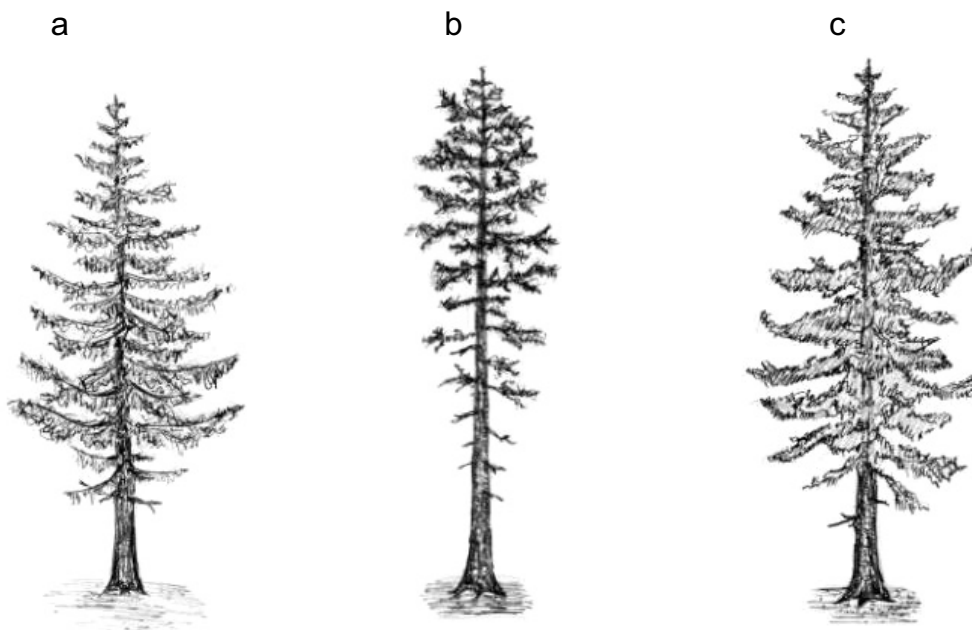
Rysunek 16. Świerk pospolity *Picea abies* Karst.: a – pokrój drzewa, b – występowanie w Europie (Mała encyklopedia... 1991)

Duży zasięg i zróżnicowane warunki rozwoju przyczyniły się do powstania licznych odmian, ekotypów i form świerka. Nie są one jednak wyraźnie zarysowane dzięki zjawisku krzyżowego zapylenia tych drzew. Przez to też trudno znaleźć indywiduum podstawowe do porównań. Jednak można powiedzieć, że typowy świerk pospolity to drzewo o prostym pniu, mogące osiągnąć wysokość 50 m. Jego regularna korona jest stożkowata, a gałęzie wyrastają w okółkach – u młodych drzew pod kątem ostrym do pobocznic pnia, kierując się ku górze, a u starszych poziomo (rys. 16a). Jest drzewem panującym w piętrze regla górnego, tworząc górskie bory świerkowe. Na obszarach nizinnych w granicach swego zasięgu występuje w większości zespołów leśnych (Mała encyklopedia... 1991, Aas i Riedmiller 1993). Spotyka się i inne formy pokrojowe świerka, na przykład formę szczudłową, sztandarową, kolumnową czy krzaczastą, jednak są one niezmiernie rzadkie. W Europie, poza świerkiem pospolitym, występują jeszcze trzy inne gatunki: świerk syberyjski *Picea obovata* Ledob., świerk kaukaski *Picea orientalis* Link. i świerk serbski *Picea omorica* Purk. W skali europejskiej są to gatunki o znaczeniu lokalnym (Mała encyklopedia... 1991, Aas i Riedmiller 1993). Pod względem powierzchni drzewostanów, świerk zajmuje w Polsce od wielu lat drugie miejsce. Powierzchnia ta wynosi ponad 530 tys. ha. Daje to zapas grubizny ponad 125 hm³, zawartej głównie w drzewostanach świerkowych IV i V klasy wieku (61–100 lat).

Świerk to gatunek o twardzieli niezabarwionej. Tuż po ścięciu twardziel jest widoczna dzięki różnicy wilgotności (wilgotny biel jest ciemniejszy). Po wyschnięciu różnica barw zanika. Strefa bielu jest dość szeroka. Drewno ma kolor biały, czasem jasnożółty i jest lekko błyszczące. Sęki rozmieszczone są w regularnych okółkach. Są one twarde i nieco ciemniejsze od otaczającego drewna. Często przy suszeniu tarcicy obłuzowują się i wypadają. W drewnie występują wycieki żywiczne, nadając mu lekki żywiczny zapach wyczuwalny tuż po przetarciu lub przestruganiu. Słoje roczne są wyraźne. Drewno wczesne, zazwyczaj szerokie, o jaśniejszym zabarwieniu, odróżnia się od ciemniejszego drewna późnego. Przejście z drewna wczesnego do późnego w obrębie przyrostu rocznego jest łagodne. Promienie rdzeniowe są widoczne bardzo słabo, tylko na przekroju promieniowym. Typowe wady drewna świerkowego to występowanie pęcherzy żywicznych i twardzicy. Drewno jest lekkie, miękkie i łatwo łupliwe (Galewski i Korzeniowski 1958). Według PN-EN 13556:2005, gatunek ten ma oznaczenie kodowe PCAB.

Modrzew europejski

Modrzew europejski *Larix decidua* Mill. to drzewo iglaste o igłach opadających na zimę. Drzewo to osiąga wysokość do 40 m. Posiada dość smukłą i stożkowatą koronę, która często przekształca się w szeroką, ze spłaszczonym wierzchołkiem (rys. 17a).



Rysunek 17. Pokroje drzew: a – modrzew *Larix decidua* Mill., b – jodła *Abies alba* Mill., c – daglezja *Pseudotsuga menziesii* Franco.

Gałęzie wyrastają nieregularnie, pod kątem prostym do osi pnia. Modrzew pierwotnie występował tylko w Alpach, we wschodnich Sudetach, w Tatrach i na Niżu Polskim. Obecnie, dzięki uprawom leśnym, jest szeroko rozpowszechniony w całej Europie. Ma małe wymagania pokarmowe, dzięki czemu dobrze rośnie na wielu siedliskach (Aas i Riedmiller 1993, Banfi i Consolino 2001).

Modrzew to gatunek twardzielowy. Biel ma wąski, żółtawy, wyraźnie odgraniczony od twardzieli o barwie bladobrazowej lub czerwobrazowej. W drewnie występują liczne ciemnobrunatne sęki, rozmieszczone nieregularnie. W drewnie znajdują się nieliczne wycieki żywiczne, nadając mu lekko żywiczny zapach. Słoje są bardzo wyraźne dzięki różnicy w zwięzłości i barwie drewna wczesnego i późnego. Drewno wczesne jest jaśniejsze, a jego przejście w drewno późne jest dość ostre. Promienie rdzeniowe widoczne są tylko na przekroju promieniowym i to bardzo słabo. Typowe wady drewna modrzewia to silna zbieżystość i pęcherze żywiczne. Drewno jest średnio ciężkie, dość twarde i łatwo łupliwe (Galewski i Korzeniowski 1958, Kozakiewicz i in. 2012). Według PN-EN 13556:2005, gatunek ten ma oznaczenie kodowe LADC.

Jodła pospolita

Jodła pospolita *Abies alba* Mill. występuje w górach środkowej i południowej Europy. Rośnie w lasach regla górnego. Jest to drzewo o prostym pniu i wysokości dochodzącej nawet do 50 m (rys. 17b). Najwyższa jodła w Polsce rośnie w rezerwa-

cie koło Nawojowej w Beskidzie Sądeckim i ma wysokość 44 m. Korona drzewa – początkowo stożkowa – stopniowo przekształca się w kolumnę ze spłaszczonym na kształt bocianiego gniazda wierzchołkiem. Gałęzie wyrastają raczej nieregularnie i są skierowane ukośnie w górę (Aas i Riedmiller 1993, Banfi i Consolino 2001).

Jodła to gatunek o twardzieli niezabarwionej. Drewno o kolorze białym, czasem z odcieniem różowym lub żółtym, jest bardzo podobne do drewna świerkowego, ale bardziej matowe. W drewnie jodłowym brak jest żywicy (wycieki żywiczne i pęcherze są nieobecne). Sęki są stosunkowo jasne i rozmieszczone nieregularnie. Drewno świeżo przetarte ma zapach zbliżony do zjełczałego masła, a po wyschnięciu staje się bezwonne. Słoje roczne są dobrze widoczne. W obrębie przyrostu rocznego przejście drewna wczesnego w późne jest łagodne. Promienie łykodrzewne można dostrzec tylko na idealnie promieniowym przekroju. Typowe wady drewna jodłowego to twardzica i pęknięcia okrężne. Drewno jest lekkie, miękkie i bardzo łatwo łupliwe (Galewski i Korzeniowski 1958). Według PN-EN 13556:2005, gatunek ten ma oznaczenie kodowe ABAL.


Daglezja zielona

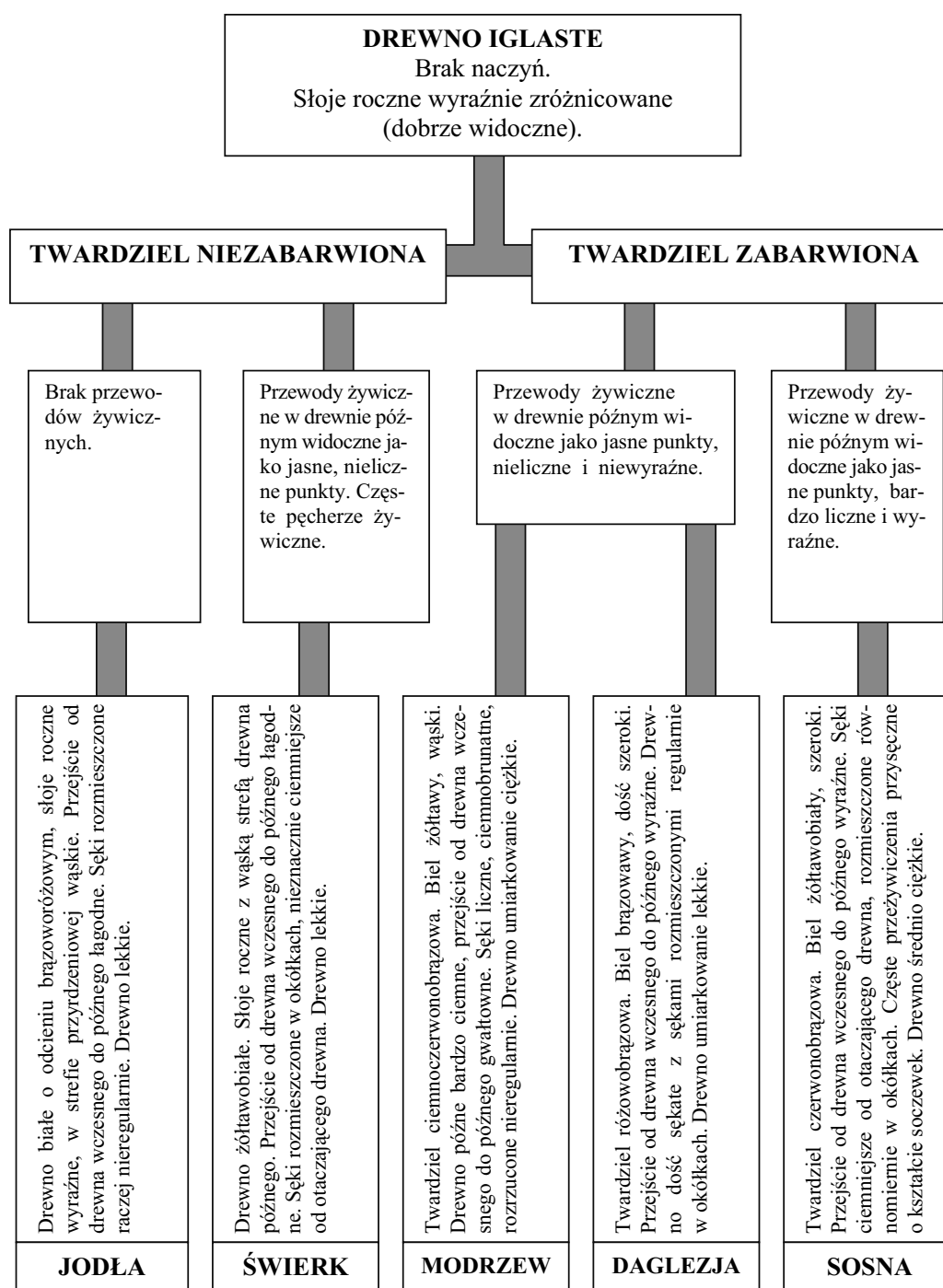
Daglezja zielona lub jedlica zielona *Pseudotsuga menziesii* Franco. to gatunek północnoamerykański. Naturalny zasięg tego gatunku obejmuje zachodnią część Ameryki Północnej. W XVIII wieku drzewa te sprowadzono do Europy. W Polsce sadzono je w uprawach leśnych głównie w okresie międzywojennym, stąd obecnie drzewostany te znajdują się w wieku rębnym. Daglezja to wiecznie zielone drzewo iglaste o wysokości dochodzącej w swej ojczyźnie nawet do 100 m, a w Europie – do około 50 m. Korona początkowo stożkowata, później spłaszczona przez poziomo odstające silne konary, przekształca się w bardziej nieregularną (rys. 17c). Gałęzie wyrastają w okółkach, zwykle poziomo do osi pnia (Aas i Riedmiller 1993, Banfi i Consolino 2001). Daglezja to gatunek twardzielowy. Szeroka strefa drewna bielastego jest żółtawobiała, natomiast twardziel ma kolor jasnożółtobrazowy, czasem z zielonkawym odcieniem. Jest to drewno szerokosłoiste, o dużym udziale drewna późnego. Słoje roczne są wyraźne. Podobnie przejście od drewna wczesnego do późnego w obrębie przyrostu jest dość ostre. W drewnie występują drobne, dość liczne wycieki żywiczne, widziane na przekroju poprzecznym w postaci drobnych kropek, a na wzdłużnym w postaci kresek. Promienie rdzeniowe są bardzo drobne, widoczne tylko na przekroju promieniowym. Sęki występują w okółkach i mają ciemniejszą barwę od otaczającego drewna. Typowe wady drewna daglezji to pęcherze żywiczne i pęknięcia rdzeniowe. Drewno jest lekkie, dość twarde i bardzo łatwo łupliwe (Galewski i Korzeniowski 1958, Kozakiewicz i Wieruszewski 2005). Według PN-EN 13556:2005, gatunek ten ma oznaczenie kodowe PSMN.

2.3. Rozpoznawanie makroskopowe wybranych rodzajów drewna iglastego

W makroskopowym oznaczaniu drewna obowiązuje kilka zasad. Rozpoznając drewno poszczególnych rodzajów i gatunków, zawsze należy brać pod uwagę wiele cech składających się na jego rysunek (tab. 2), a także związanych z jego właściwościami fizyko-mechanicznymi (Antkowiak 1999, Kokociński 2005). Najistotniejsze jest właściwe rozpoznanie typu struktury drewna – czy jest to drewno iglaste (rys. 18), czy też liściaste pierścieniowonaczyniowe lub liściaste rozpięchłonaczyniowe ze strefy umiarkowanej lub tropikalnej (drewno egzotyczne).

Tabela 2. Podstawowe cechy rozpoznawcze wybranych rodzajów drewna iglastego

Świerk <i>Picea</i> sp.	Jodła <i>Abies</i> sp.	Daglezja <i>Pseudotsuga</i> sp.	Sosna <i>Pinus</i> sp.	Modrzew <i>Larix</i> sp.
Zabarwienie twardzieli				
twardziel niezabarwiona		wzrastająca intensywność zabarwienia twardzieli 		
Szerokość przyrostów rocznych				
różna	różna	szerokosłosta (4 mm)	różna	różna
Udział bielu i twardzieli				
—	—	szerokobielaste (1/5)	szerokobielaste (1/3)	wąskobielaste (1/10)
Obecność przewodów żywicznych (widoczne pęcherze lub wycieki żywicy)				
drobne, słabo widoczne	brak	drobne, słabo widoczne	drobne, czasem liczne	drobne, czasem liczne i dobrze widoczne
Przejście z drewna wczesnego do późnego				
łagodne	łagodne	dość ostre, duży udział drewna późnego	dość ostre	dość ostre
Występowanie i układ sęków				
w okółkach, zarys okrągły na przekroju stycznym	raczej nieregularne, zarys zwykle eliptyczny na przekroju stycznym	w okółkach, zarys zwykle okrągły na przekroju stycznym	w okółkach, zarys eliptyczny na przekroju stycznym	nieregularne, zarys okrągły na przekroju stycznym



Rysunek 18. Klucz do makroskopowego rozpoznawania drewna: sosny, świerka, modrzewia, jodły i daglezi

Drewno iglaste wyróżnia się od pozostałych typów drewna następującymi cechami:

- brakiem naczyń, a więc na przekroju poprzecznym niewidoczne są drobne otwory, a na przekrojach wzdłużnych brak jest drobnych rowków, tak jak u drewna li-

ściastego pierścieniowonaczyniowego lub rozpiechłonaczyniowego ze strefy tropikalnej;

- bardzo wyraźnie zarysowanymi przyrostami rocznymi (słojami), które w drewnie liściastym rozpiechłonaczyniowym są prawie niewidoczne.

Po rozpoznaniu, że jest to typ drewna iglastego pozostaje określenie rodzaju drewna. W tabeli 2 przedstawione są podstawowe cechy, jakie powinny być brane pod uwagę przy rozpoznawaniu drewna sosny, świerka, modrzewia, jodły i daglezi. Należą do nich między innymi: zabarwienie twardzieli, szerokość bielu, obecność wycieków żywicznych, szerokość przyrostów rocznych, udział drewna późnego oraz występowanie i układ sęków.

Pomocne przy rozpoznawaniu makroskopowym drewna są jego właściwości techniczne (Zenkteler 1957, Krzysik 1978), przede wszystkim te, które możemy ocenić bez użycia specjalistycznej aparatury (np. gęstość – ciężar, oraz twardość – łatwość wgniecenia).

Dla początkujących przy rozpoznawaniu drewna iglastego może być pomocny przedstawiony na rysunku 18 klucz, czyli schemat postępowania pozwalający uniknąć błędów.

2.4. Właściwości fizyczne i mechaniczne drewna

Wytrzymałość drewna

Na charakterystykę mechaniczną drewna jako materiału anizotropowego składa się wiele właściwości statycznych (określonych na różnych próbkach wzdłuż i w poprzek włókien): wytrzymałość na ściskanie, rozciąganie i zginanie oraz ścinanie, moduły sprężystości przy tych samych co powyżej rodzajach obciążeń, a także takich właściwości technologicznych, jak twardość lub łupliwość, prowadzone są również próby dynamiczne, na przykład udarności, zginania dynamicznego, twardości dynamicznej, wytrzymałości na zmęczenie i inne. Dla większości statycznych właściwości tarcicy konstrukcyjnej w poszczególnych klasach jakości wytrzymałościowej określono w PN-EN 338:2011 tzw. wartości charakterystyczne ($f_{m,k}$), a więc wartości minimalne z prawdopodobieństwem 95% (tab. 3) według wzoru:

$$f_{m,k} = f_{mean} - 2 \cdot s$$

gdzie: f_{mean} – wartość średnia,

s – odchylenie standardowe.

Tabela 3. Klasy wytrzymałości (C) tarcicy iglastej

Właściwość drewna	Gatunki iglaste											
	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Wytrzymałość [MPa]												
– na zginanie	14,0	16,0	18,0	20,0	22,0	24,0	27,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0
– na rozciąganie podłużne	8,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	16,0	18,0	21,0	24,0	27,0	30,0
– na rozciąganie poprzeczne	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
– na ściskanie podłużne	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0	23,0	25,0	26,0	27,0	29,0
– na ściskanie poprzeczne	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
– na ścinanie	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8
Moduły [GPa]												
– sprężystości (średni, wzdłuż włókien)	7,0	8,0	9,0	9,5	10,0	11,0	11,5	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0
– sprężystości (minimalny, wzdłuż włókien)	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7
– sprężystości (średni w poprzek włókien)	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
– odkształcenia postaci	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
Gęstość [kg·m ⁻³]												
– charakterystyczna	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
– średnia	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

Źródło: PN-EN 338:2011.

Są to znacząco inne wartości wytrzymałości w porównaniu z charakterystyką otrzymaną przy badaniu małych laboratoryjnych próbek drewna bezbłędnego (niezawierającego wad) – tabela 4.

W doborze i zastosowaniu materiału konstrukcyjnego, oprócz wytrzymałości, dużą rolę odgrywa gęstość właściwa. O możliwości zastosowania i przydatności materiału (dawniej – w lotnictwie oraz budowie wagonów i statków, obecnie – w konstrukcjach inżynierskich, np. w klejonych warstwowo konstrukcjach drewnianych o dużej rozpiętości) decyduje niejednokrotnie stosunek wytrzymałości do gęstości:

$$J = \frac{f_{\text{mean}}}{\zeta} \text{ [km]}$$

gdzie: J – współczynnik jakości wytrzymałościowej materiału [km],

f_{mean} – rozpatrywana średnia wytrzymałość [MPa],

ζ – gęstość lub ciężar właściwy [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$].

Tabela 4. Wybrane właściwości fizykomechaniczne drewna sosny, świerka, modrzewia, jodły i daglezi określone na małych próbkach laboratoryjnych

Właściwość drewna	Jednostka	Sosna	Świerk	Modrzew	Jodła	Daglezja
		Wartości średnie				
Gęstość	$\text{kg}\cdot\text{m}^3$	520	470	590	450	530
Twardość Brinella	MPa	40	32	53	30	50
Wytrzymałość na zginanie	MPa	87	66	84	62	71
Wytrzymałość na rozciąganie	MPa	104	90	107	84	105
Wytrzymałość na ściskanie	MPa	47	43	53	40	51
Wytrzymałość na ścinanie	MPa	10,0	6,7	5,0	5,1	7,6
Moduł sprężystości	GPa	12	11	12,0	11,0	8,97

Uwaga: Wszystkie właściwości drewna podano dla stanu powietrznosuchego (dla drewna o wilgotności około 12–15%).

Źródło: Krzysik 1978.

Współczynnik jakości wytrzymałościowej J określa długość pręta o przekroju 1 cm^2 , który ulegnie zgnieceniu przy ściskaniu podłużnym lub rozerwaniu przy określaniu tzw. samozerwalności pod wpływem własnego ciężaru. Współczynnik J umożliwia bezpośrednie porównanie drewna z innymi materiałami. Z tabeli 5 wynika, że drewno wyborowej jakości (przy tej samej gęstości) dorównuje wytrzymałością metalom, a znacznie przewyższa pod tym względem tworzywa sztuczne (np. używane w produkcji stolarki budowlanej). Drewno, o właściwościach zmieniających się w zależności od warunku wzrostu, udziału drewna wczesnego i późnego, obecności wad budowy, wilgotności i innych czynników, należy więc klasyfikować na sortymenty o wysokiej i niskiej jakości. Z tego względu coraz szerzej wprowadzane jest w życie wytrzymałościowe sortowanie tarcicy, a jej klasyfikacja oparta jest nie na cechach dotyczących walorów estetycznych drewna, lecz na znajomości wskaźników wytrzymałościowych materiału.

Sprężyste właściwości drewna uwarunkowane są jego wybitną anizotropią i wykazują zróżnicowane wartości w głównych (lub pośrednich) kierunkach anatomicznych. W związku z tym drewno, w odróżnieniu od materiałów izotropowych, ma różne moduły sprężystości w kierunkach podłużnym, promieniowym i stycznym.

Tabela 5. Zestawienie porównawcze niektórych właściwości mechanicznych powietrznosuchego drewna (Krzysika 1978) oraz metali i tworzyw sztucznych

Rodzaj materiału	Gęstość	Moduł sprężystości	Udarność	Wytrzymałość na rozciąganie	Współczynnik jakości wytrzymałościowej
	$\bar{\zeta}$	\bar{E}	\bar{U}	\bar{R}_{II}	$J = \frac{R \cdot 10^2}{\zeta}$
	kg·m ⁻³	GPa	KJ·m ⁻²	MPa	km
Drewno sosnowe (bez wad)	500	12	40	100	20,0
Tarcica sosnowa kl. C40	420*	9,4*	–	40*	9,5
Drewno jesionowe (bez wad)	680	12	70	150	22,0
Drewno dębowe (bez wad)	650	13	45	90	13,8
Polietylen (23°C)	950	0,3	6	24	2,6
Polipropylen (23°C)	910		5	41	4,5
Polichlorek winylu (nieplastifikowany, 23°C)	1350	2,5	3	55	4,0
Stal ulepszona	7850	–	–	1300	16,5
Aluminium	2850	–	–	400	14,0

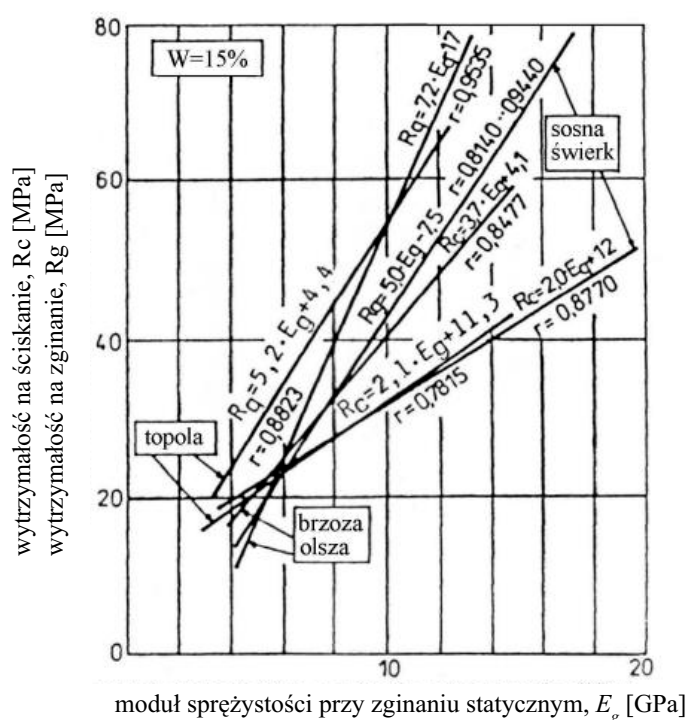
* Wartości charakterystyczne przy zginaniu według PN-EN 338:2011.

Źródło: Szlezzyngier 2000.

Moduły sprężystości mają duży wpływ na sztywność materiału znajdującego się w różnych warunkach obciążenia. Z tego względu znajomość modułu ma duże znaczenie w różnego rodzaju obliczeniach i stanowi podstawę oceny technicznej wartości drewna.

Znając wartości średnie i charakterystyczne modułu sprężystości (kwantyle s-procentowe z tab. 3), można obliczyć konstrukcję według stanów granicznych używalności zgodnie z PN-B-03150:2000 lub Eurokodem 5 (PN-EN 1995-1-1:2010) i sprawdzić, czy przemieszczenia konstrukcji spowodowane oddziaływaniami zewnętrznymi, a także zmianami wilgotności i temperatury nie ograniczają możliwości jej użytkowania. Zagadnienie wpływu temperatury i wilgotności na wytrzymałość drewna zostało szerzej omówione w opracowaniu Kozakiewicza (2010).

Znajomość modułu sprężystości lub innych parametrów sprężystych drewna jest wielce przydatna w towaroznawstwie tartacznym, gdyż na ich podstawie można określić spodziewaną wytrzymałość tarcicy konstrukcyjnej. Wytrzymałość na zginanie lub ściskanie podłużne tarcicy w funkcji jej modułu sprężystości przedstawiono na rysunku 19. Dane te dotyczą zarówno tarcicy iglastej sortowanej wytrzymałościowo według normy PN-D-94021:1982 za pomocą maszyn uginających, jak i tarcicy liściastej (być może po jej znormalizowaniu w przyszłości).



Rysunek 19. Zależność między modułem sprężystości giętej a wytrzymałością na zginanie i ściskanie podłużne tarcicy wybranych rodzajów drewna (Dzbeński 1984)

Wartości modułów sprężystości drewna są co najmniej dziesięciokrotnie mniejsze niż na przykład stali, typowego materiału izotropowego o module sprężystości $E \approx 2 \cdot 10^5$ MPa, przy liczbie Poissona $\mu = 0,3$. W drewnie, jako materiale anizotropowym (dokładnie ortotropowym), wyróżnia się trzy moduły sprężystości Younga, w zależności od kierunku anatomicznego, a mianowicie: wzdłuż włókien (E_L – moduł dominujący), w kierunku promieniowym (E_R), w kierunku stycznym (E_T). Równocześnie mamy do czynienia z sześcioma, a właściwie trzema po zastosowaniu konwencji sumacyjnej w układzie kartezjańskim (Dzbeński 2003), liczbami Poissona jako ilorazami odkształcenia poprzecznego przez odkształcenie podłużne przy osiowym działaniu siły: $\mu_{LT} = \mu_{TL}$; $\mu_{LR} = \mu_{RL}$; $\mu_{TR} = \mu_{RT}$. Liczby te, według różnych autorów cytowanych przez Dzbeńskiego (1984), zawierają się w przedziale od 0,013 do 0,61 dla drewna iglastego oraz od 0,017 do 0,76 dla drewna liściastego, a więc często znacznie przekraczają wartość graniczną 0,5, wynikającą z prawa zachowania energii. Dlatego w drewnie obowiązuje tzw. zredukowana liczba Poissona (μ_o), która wynosi:

$$\mu_o = \frac{\frac{\mu_{TR}}{E_R} + \frac{\mu_{RL}}{E_L} + \frac{\mu_{LT}}{E_T}}{\frac{1}{E_R} + \frac{1}{E_L} + \frac{1}{E_T}} < 0,5$$

Na podstawie zamieszczonych w tabeli 6 wyników pomiarów można stwierdzić, że liczby Poissona dla drewna mieszczą się w przedziale $0,24 \leq \mu_o \leq 0,36$, przy czym najmniejsze wartości współczynnika μ_o dotyczą zazwyczaj drewna bez wad, a wartości największe wykazuje przede wszystkim pełnowymiarowa tarcica konstrukcyjna z dopuszczalnymi wadami strukturalnymi (np. sękami). Wobec pełnej analogii współczynników Poissona dla anizotropowego drewna ($\bar{\mu}_o = 0,3$) i izotropowych metali, istnieje uzasadniona celowość sprężania na przykład tarcicy konstrukcyjnej za pomocą zbrojenia elementami stalowymi, a więc wytwarzanie kompozytów drewno – metale.

Tabela 6. Zestawienie liczb Poissona według badań Dzbeńskiego* i Kozakiewicza**

Rodzaj drewna przy $W = 12\%$	Wymiary przekroju poprzecznego [mm]	Liczba próbek	Liczba Poissona zredukowana, μ_o	
			dla drewna bezsęcznego	dla tarcicy konstrukcyjnej
Drewno liściaste	10 × 20 *	48	0,300	–
Drewno świerkowe <i>Picea abies</i>	10 × 20 *	31	0,240	–
	20 × 80 *	31	0,240	–
	50 × 250 **	72	–	0,286
Drewno sosnowe <i>Pinus silvestris</i>	25 × 100*	30 + 45	0,275	0,360
	40 × 60 **	73	–	0,305
	50 × 100 *	30 + 45	0,250	0,300
	50 × 250 **	81	–	0,289

Źródło: Dzbeński i Kozakiewicz 2004.

Izolacyjność akustyczna

Drewno wykazuje dobrą dźwiękochłonność. Izolacyjność, czyli tłumienie, jako wyrażona w decybelach zdolność do osłabiania natężenia (a więc ściszenia) dźwięków przechodzących przez przegrodę, wynosi 15–20 dB dla drewnianych drzwi pojedynczych, 30–40 dB dla drewnianych drzwi podwójnych, a minimum 35 dB dla okien.

Dla przegród z drewna litego najistotniejszym parametrem jest ich grubość, która decyduje o wielkości tłumienia dźwięków, wyrażona przez procentowy współczynnik izolacyjności akustycznej. Wyniki badań potwierdzają opisane w literaturze prawo masy – grubsze, a więc cięższe przegrody skuteczniej izolują dźwięki, podobnie jak drewno o większej gęstości przy zachowaniu stałej grubości przegrody. Ponadto fale o większych częstotliwościach (dźwięki wysokie) są znacznie łatwiejsze do tłumienia od fal o małych częstotliwościach (dźwięki niskie) – Kozakiewicz (2012).

Prawie wszystkie standardowe konstrukcje nowoczesnych wyrobów drewnianej stolarki otworowej spełniają wymagania dotyczące ich izolacyjności. Jeszcze większą izolacyjność można uzyskać po wprowadzeniu zmian uszczelniających w konstrukcji i oszkleniu okien (Dzbeński i Kozakiewicz 2004).

Właściwości cieplne

Ze względu na pełnione funkcje wyroby budowlane, zwłaszcza stolarka budowlana otworowa, powinny wykazywać właściwości termoizolacyjne zbliżone do właściwości tzw. materiałów ciepłochronnych (Dzbeński 2002, Kozakiewicz 2012).

Materiały takie, charakteryzujące się niskim współczynnikiem przewodności cieplnej, powinny odznaczać się także małą gęstością, za to dużą odpornością na uszkodzenia mechaniczne i dobrą obrabialnością. Wszystkie te wymagania spełnia drewno, pod warunkiem dodatkowego zwiększania jego naturalnej trwałości, odporności na starzenie oraz wodoodporności przez wgłębną impregnację i obróbkę powierzchniową za pomocą odpowiednich preparatów malarsko-lakierniczych. Jak wynika z tabeli 7, drewno typowych gatunków jest znacznie lżejsze (średnio $500\text{--}822\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ w stanie powietrznosuchym) od niespienionych tworzyw sztucznych ($910\text{--}1350\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) badanych w temperaturze 23°C (296 K).

Tabela 7. Gęstość i najważniejsze właściwości cieplne powietrznosuchego ($W = 15\%$) drewna w poprzek włókien oraz tworzyw drzewnych w porównaniu z niektórymi substytutami

Rodzaj materiału	Gęstość	Ciepło właściwe	Współczynnik przewodzenia ciepła
	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$	$[\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$	$[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$
Drewno sosnowe	500–546	2,740	0,139–0,163
Drewno dębowe	650–822	2,385	0,196–0,209
Sklejka	588	–	0,114
Lignofol bukowy równoległowłóknisty	1284	1,302–2,220	0,224–0,330
Lignomer brzozyowy	1021	1,218–2,558	0,174–0,221
Płyta pilśniowa	400	–	0,055
Polietylen (23°C)	950	2,510	0,384–0,466
Polistyren (23°C)	1125	1,255	0,128–0,163
Polichlorek winylu (nieplastyfikowany, 23°C)	1350	1,34–2,14	0,163–0,175
Aluminium	2850	–	206,0

Źródło: Dzbeński 2002, Kozakiewicz 2012.

Drewno ma też większe ciepło właściwe ($2,4\text{--}2,7\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) niż porównywane tworzywa sztuczne ($1,3\text{--}2,5\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) wskutek czego przy dostarczeniu tej samej ilości ciepła mniej się nagrzewa. Przewodnictwo cieplne powietrznosuchego drewna, wyrażone współczynnikiem $\lambda = 0,14\text{--}0,21\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ w poprzek włókien typowego materiału, jest mniejsze w porównaniu z popularnymi tworzywami sztucznymi, dla których $\lambda = 0,13\text{--}0,47\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Świadczy to o tym, że drewno lite jest materiałem o dobrych właściwościach termoizolacyjnych, które w pewnych przypadkach można jeszcze bardziej poprawić.

Drewno charakteryzuje się niskim współczynnikiem liniowej rozszerzalności cieplnej ($3\text{--}6\cdot 10^{-6}$ K) – od kilku do kilkunastu razy mniejszym wzdłuż włókien niż w przypadku popularnych tworzyw sztucznych (np. bakelit $36\cdot 10^{-6}$ K), które przy sztywnym ich osadzeniu w otworze ulegają zakleszczeniu (np. skrzydła stolarki budowlanej otworowej).

Zachowanie drewna w ogniu

Drewno suche wytrzymuje przez dłuższy czas bez rozkładu termicznego temperatury do 170°C (443 K) zarówno przy dopływie, jak i bez dopływu powietrza. Powyżej tej temperatury przy dopływie powietrza następuje powolne utlenianie, natomiast przy braku dopływu powietrza zaczyna się rozkładowa destrukcja (piroliza) drewna. W temperaturze 275°C (548 K) zaczyna się gwałtowny rozkład drewna związany z wydzielaniem ciepła, a więc jest to punkt jego zapłonu. Krótko mówiąc, drewno jest materiałem palnym (surowe, niezabezpieczone antypirynami drewno ma, według klasyfikacji ogniowej podanej w PN-EN 13501-1+A1:2010, klasę palności D, emisji dymu s2 oraz tworzenia płonących kropel i odpadania płonących części d0). Badania palności przeprowadza się według procedury opisanej w PN-EN 13823:2010.

Pomimo palności elementy drewniane zachowują w ogniu dłużej swą wytrzymałość niż na przykład elementy metalowe. Podczas gdy elementy metalowe na skutek wysokiej przewodności cieplnej szybko się rozgrzewają i znacznie rozszerzają, tracąc w związku z tym swą wytrzymałość, to w przypadku drewna następuje pod wpływem ognia stosunkowo powolne, stopniowe ich zwęglenie. Płonące drewno pokrywa się izolacyjną warstwą, która jest złym przewodnikiem ciepła i opóźnia przenikanie ciepła w głąb materiału, chroniąc w ten sposób jego partie wewnętrzne i utrudniając jego przepalenie. W ogniu konstrukcje drewniane załamują się stopniowo i powoli, co stwarza dogodne warunki ratownicze.

W celu ochrony przed pożarem drewno jest nasycane lub powlekane środkami przeciwogniowymi, których zadaniem jest (Krzysik 1978):

- utrudnianie zapalenia przez podwyższanie punktu zapłonu drewna;
- utrudnianie palenia się drewna oraz rozprzestrzeniania ognia przez wydzielanie gazów lub wytwarzanie powłok hamujących proces spalania;
- stworzenie warunków do wygasania płonącego drewna.

Zagadnienie odporności na ogień odgrywa dużą rolę w jakościowej ocenie płyt drewnopochodnych (pilśniowych, wiórowych) przeznaczonych dla budownictwa.

Odporność drewna na działanie czynników chemicznych

Drewno konstrukcyjne stosowane w przemyśle chemicznym na kadzie, zbiorniki, przewody, rurociągi i inne urządzenia narażone jest na działanie kwasów i zasad o różnym stężeniu. Wykazuje ono w tych warunkach większą odporność niż metale

nieszlachetne lub beton. Stopień zniszczenia drewna zależy na przykład od stopnia dysocjacji działających kwasów, przy czym w środowisku kwaśnym rozkład drewna zaczyna się dopiero przy $\text{pH} \leq 2$, podczas gdy korozja żelaza lub betonu zaczyna się już przy $\text{pH} \leq 5$ (Krzysik 1978, Prosiński 1984). Drewno gatunków drzew iglastych (zwłaszcza modrzewia) jest odporniejsze niż drewno gatunków drzew liściastych (nawet dębu). Większa odporność wiąże się z obecnością żywicy w drewnie, większym udziałem ligniny, a mniejszą zawartością hemiceluloz w ścianach komórkowych.

W środowisku słabozasadowym (np. w przemyśle włókienniczym) korozja drewna przebiega powoli i w nieznacznym stopniu; praktycznego znaczenia nabiera dopiero działanie stężonych alkaliów o $\text{pH} > 9$, zwłaszcza na drewno liściaste.

Na szybkie zmniejszenie wytrzymałości drewna mogą wpływać roztwory soli – zarówno woda morska o dużym zasoleniu, jak i niektóre solne impregnaty grzybóbójcze (fluorki, dwuchromiany, związki boru). Już zimny roztwór soli sodowych lub potasowych może stosunkowo łatwo niszczyć drewno klonu i innych gatunków beztwardzielowych (drewno twardzieli jest bardziej odporne). Niszczenie drewna powodują także roztwory soli żelazowych, o czym świadczą ślady korozji wokół stykających się (poprzez podkładki) z szynami części starych podkładów kolejowych (Prosiński 1984).

Drewno ulegające korozji pod działaniem czynników zewnętrznych może samo powodować korozję innych, stykających się z nim materiałów (zwłaszcza dębowe i bukowe). Gwoździe, śruby i inne łączniki żelazne ulegają korozji pod wpływem wilgotnego, świeżego drewna, które wydziela wodę o kwaśnym odczynie. Celem uniknięcia korozji należy stosować łączniki mosiężne lub z tworzyw sztucznych.

Właściwości drewna w styczności z wilgocią

Zdrewniałe tkanki żywych drzew nasycone są w dużym stopniu wodą, której zawartość w stosunku do suchej masy drewna może wynosić 30–180% i ulega dużym wahaniom w ciągu roku. W tkankach pni drzew ściętych zawartość wody jest różna, w zależności od warunków otoczenia. Mała stabilność zawartości wilgoci w drewnie otoczonym powietrzem o zmiennych parametrach (wilgotności względnej i temperatury) stanowi jedną z głównych ujemnych cech tego materiału. Od jego wilgotności zależy bowiem wiele właściwości (wymiary, kształt, naturalna trwałość, parametry wytrzymałościowe, izolacyjność termiczna), które zmieniają się w zależności od wahań tej wilgotności.

Woda, a ściślej para wodna, wnikać do ścian komórkowych drewna suchego, rozsuwa krystalizację celulozy, na skutek czego maleją siły wzajemnego przyciągania między nimi, umożliwiając im powrót do swego pierwotnego, naturalnego położenia, jakie miały w żywym drzewie. Przy odprowadzaniu wody z przestrzeni

międzycząsteczkowych w ścianach komórkowych następuje proces odwrotny. A zatem w miarę zmian wilgotności higroskopijnej następują zmiany objętości drewna, tak niepożądane na przykład w różnego rodzaju połączeniach konstrukcyjnych. Zjawisko osłabienia sił spójności międzycząsteczkowej w celulozie pod wpływem wody, przy zmieniającej się równocześnie konsystencji towarzyszących substancji bezpostaciowych, powoduje zmniejszenie wytrzymałości drewna. Tę niekorzystną cechę drewna, wynikającą z jego powinowactwa do wody, można ograniczać przez zablokowanie dostępu wilgoci do tego materiału. Jest to możliwe na przykład przez utworzenie na jego powierzchni powłok ochronnych lub przez wypełnienie wolnych przestrzeni w tkance drzewnej substancjami hydrofobowymi, które utrudniają w nich ruch wody. Szerzej zagadnienie wpływu wilgoci na drewno przedstawiono w opracowaniach dotyczących nauki o drewnie (np. Kollmann 1951, Krzysik 1978, Kozakiewicz i Matejak 2006, Kozakiewicz 2012).

Odporność na działanie czynników biotycznych

Drewno budowlane jest na ogół narażone na wieloletnie działanie czynników atmosferycznych, często na wielokrotnie powtarzające się okresy nawilżania i wysychania. Następstwem takich niekorzystnych warunków zewnętrznych jest rozkład drewna powodowany destrukcyjną działalnością grzybów. Trwałość drewna, niewielką w tych trudnych warunkach pracy (podaną między innymi w PN-EN 350-2:2000), zwiększa się przez nasycanie środkami przeciwnilnymi (także przeciwko szkodnikom owadziom) – tabela 8. Przykładowo odporność twardzieli drewna sosnowego na grzyby w skali 5-stopniowej wynosi 3–4 (średnio trwałe do mało trwałego), na spuszczela, kołatka i termity (w skali trzystopniowej należy do klasy S – najniższej). Jednocześnie twardziel sosnowa jest bardzo trudna lub trudna w nasycaniu impregnatami (klasa 3–4), podczas gdy biel łatwo poddaje się temu zabiegowi (klasa 1).

Tabela 8. Naturalna odporność drewna iglastego (objętego normą sortowniczą PN-D-94021:1982) na działanie czynników biotycznych

Gatunek drewna	Odporność na grzyby – twardziel	Odporność na spuszczela	Odporność na kołatka	Odporność na termity	Nasycalność twardziel/biel
Sosna	3–4	S	S	S	3–4 / 1
Świerk	4	SH	SH	S	3–4 / 3v
Modrzew	3–4	S	S	S	4 / 2v
Jodła	4	SH	SH	S	2–3 / 2v
Daglezja	3	S	S	S	4 / 3

Źródło: PN-EN 350-2:2000.

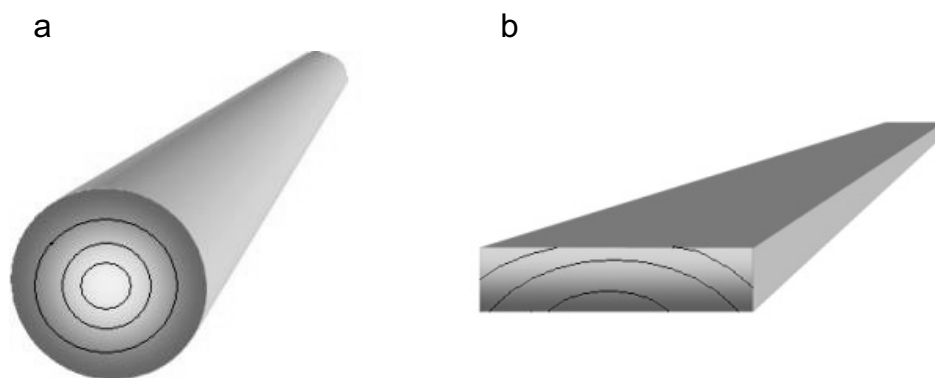
Do impregnacji stosuje się roztwory soli mineralnych, związki oleiste oraz preparaty grzybobójcze. Nasycanie drewna przeprowadza się przez zanurzenie, powlekanie, smarowanie lub spryskiwanie roztworami odpowiednich firmowych preparatów (o drewnie konstrukcyjnym zabezpieczonym przed korozją biologiczną mówi PN-EN 15228:2009). Związki antyseptyczne stosowane do utrwalania drewna budowlanego nie mogą działać szkodliwie na organizm ludzki, mieć odrażającej woni i pozostawiać plam.

Konieczność stosowania środków ochronnych jest uzależniona od naturalnej odporności drewna oraz warunków jego użytkowania. To samo drewno pracujące w pomieszczeniach zamkniętych, nienarażone na nawilżanie nawet o najniższej klasie, nie musi być impregnowane, podczas gdy użyte na elementy pracujące w kontakcie z gruntem musi być obowiązkowo zabezpieczone. Dane na ten temat zawarte są w PN-EN 460:1997.

2.5. Wady drewna

2.5.1. Klasyfikacja wad drewna

Drewno w kształcie walca, bezsęczne, bezrdzeniowe, o jednakowej szerokości słojów rocznych i idealnie równoległym układzie włókien w stosunku do osi podłużnej (rys. 20) uważane jest za drewno bez wad, stanowiąc wzorzec drewna „teoretycznie bezbłędnego”. Wszelkie odstępstwa od przedstawionego, abstrakcyjnego modelu uważane są za wady drewna.



Rysunek 20. Wzorzec drewna bez wad: a – drewna okrągłego, b – tarcicy

Wady drewna są to wszelkie nieprawidłowości w budowie drewna wynikające z choroby drzew, uszkodzeń mechanicznych oraz cech naturalnych, które ograniczają zakres jego wykorzystania lub czynią go zupełnie nieprzydatnym. Wpływ wad na jakość drewna zależy od ich rodzaju, rozmiarów i umiejscowienia w drewnie.

Wobec dużej różnorodności wad i przyczyn ich powstawania trudno jest ustalić niebudzące zastrzeżeń podstawy klasyfikacji. W podręcznikach, w zależności od ujęcia tematu, odnajdujemy różne sposoby klasyfikacji. Znajduje to również odzwierciedlenie w zapisach normalizacyjnych w różnych krajach. Najogólniejszy, podany przez Krzysika (1978), podział wad drewna w zależności od okresu powstania jest następujący:

- wady pierwotne, powstałe jeszcze za życia drzewa;
- wady wtórne, powstałe po ścięciu drzewa.

Inny podział, uwzględniający rodzaj uszkodzeń drewna i przyczyny ich powstawania, wyróżnia pięć podstawowych grup wad drewna (Krzysik 1978):

- wady kształtu pnia (zbieżystość, krzywizna, rozwidlenie, listwy mrozowe, spłaszczenie, napływy korzeniowe, zgrubienia i narośla);
- wady anatomicznej budowy drewna (sęki, nieregularności budowy słoików i przebiegu włókien, drewno reakcyjne, zakorki, zawoje, mimośrodowość, wielordzenność, nagromadzenie wydzielin);
- wady wywołane przez czynniki zewnętrzne i klimatyczne (zranienia, martwice, zabitki, pęknięcia, zabarwienia chemiczne);
- wady wywołane przez grzyby (sinizna i inne zabarwienia, zgnilizny, zaparzenia);
- wady wywołane przez szkodniki zwierzęce, głównie przez owady (chodniki i otwory owadzie, dziuple, spały).

Właściwości drewna wymagane dla poszczególnych rodzajów zastosowania są różne. Dzięki temu istnieje również możliwość wykorzystania drewna do celów, dla których występujące w nim wady będą mało istotne, a nawet w pewnych przypadkach mogą stanowić zaletę. Widać stąd, że pojęcie „wady drewna” jest względne, gdyż zmienia się w zależności od jego przeznaczenia.

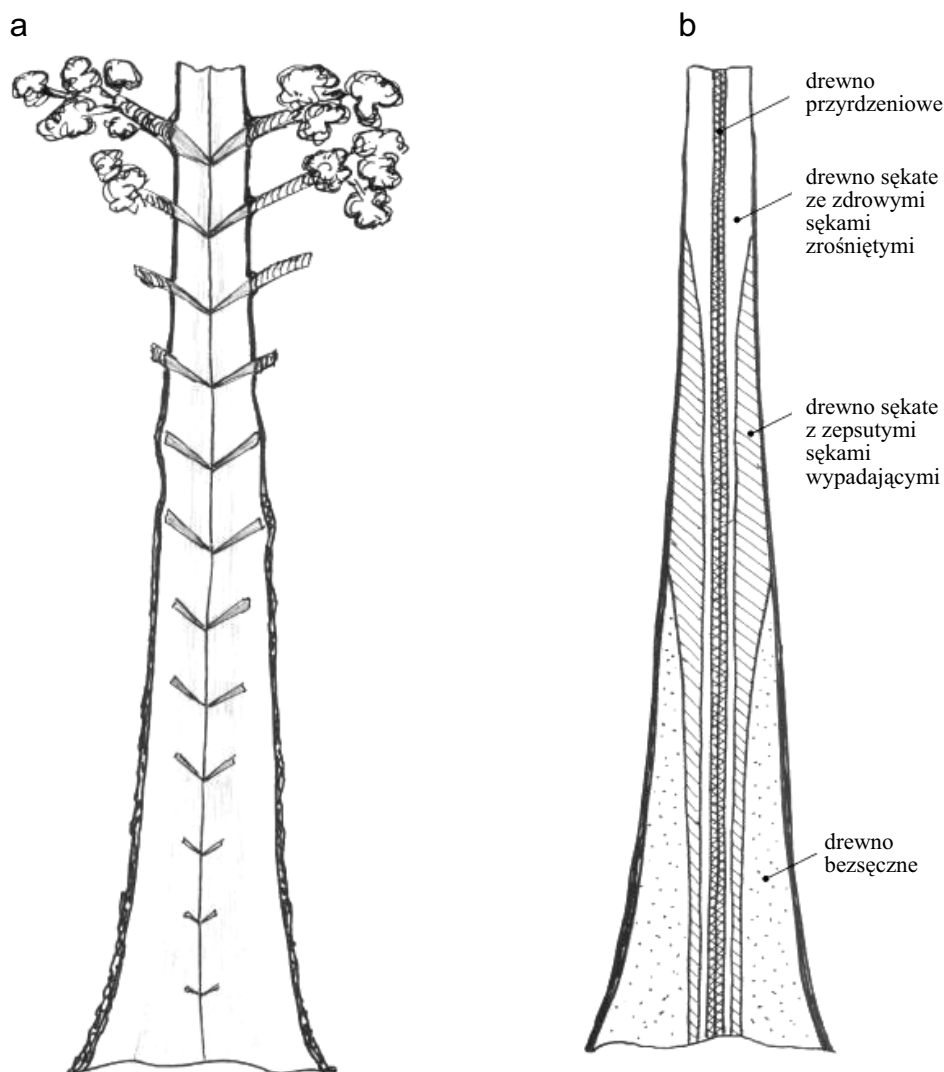
Czynniki stanowiące podstawę jakościowej klasyfikacji drewna ujęte są w normach międzynarodowych (EN, ISO), państwowych i branżowych (np. PN-D-01011:1979, PN-D-01012:1979 oraz najbardziej aktualnym zestawie PN-EN 844 1-12). Normy te to zbiór przepisów określających dopuszczalność wad i tym samym uzależniających klasę jakości drewna od liczby, wymiarów, kształtu i rodzaju występujących w nim wad. W przypadku tarcicy budowlano-konstrukcyjnej, zgodnie z PN-D-94021:1982 i projektem PN-D-94021:2012, również wady drewna stanowią podstawę klasyfikacji, a w szczególności sęki.

2.5.2. Opis wybranych wad drewna

Przy klasyfikacji drewna, w tym tarcicy konstrukcyjnej, bierze się pod uwagę między innymi takie wady drewna, jak: sęki, skręt włókien, pęknięcia, wady kształtu, zgnilizny i chodniki owadzie.

Sęki

Są to wrosnięte w drewno pozostałości po odpadłych lub odciętych gałęziach. Z punktu widzenia budowy drzewa sęki są zjawiskiem normalnym i występują w drewnie wszystkich gatunków drzew. Niestety z punktu widzenia drzewnictwa sęki stanowią jedną z głównych wad drewna. Służą one za podstawę jakościowej klasyfikacji sortymentów drewna, w tym tarcicy budowlano konstrukcyjnej. Sęki – niczym kołki – zaczynają się w rdzeniu pnia, a ich średnica zwiększa się w miarę zbliżania do obwodu pnia. Wielkość sęków wzrasta w miarę przesuwania się od odziomka ku wierzchołkowi drzewa (rys. 21a). W młodocianym wieku drzewa gałęzie są drobne, o niewielkiej średnicy. W miarę jego wzrostu dolne gałęzie obumierają i odpadają. Ich pozostałością w odziomkowej części pnia są sęki, o małej średnicy i długości, ułożone przy rdzeniu, otoczone od zewnątrz nowo narosłymi słojami drewna. Im starsze są drzewa, tym większa jest szerokość wolnej od sęków przyobwodowej warstwy drewna.



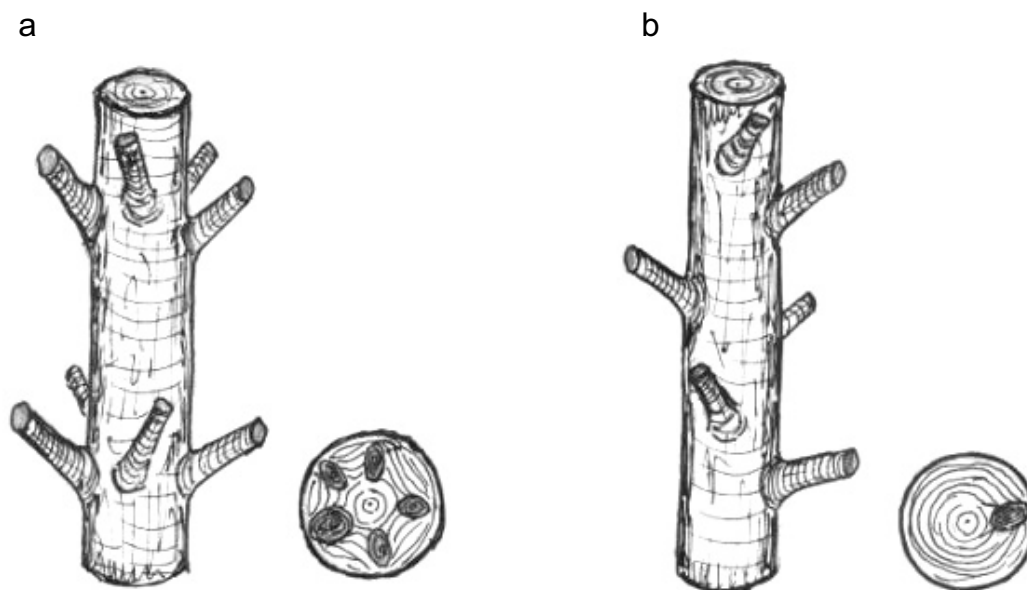
Rysunek 21. Układ sęków w drewnie iglastym: a – rozmieszczenie sęków wzdłuż pnia, b – strefy sękatości

W środkowej części (wysokości) pnia rosnącego drzewa gałęzie stają się coraz grubsze, a pozostałe po ich odpadnięciu sęki mają większe średnice. Zwykle są to sęki zepsute lub nadpsute i na większej długości niezrośnięte z tkanką otaczającego je pnia, wobec tego po przetarciu często wypadają z pozyskanej tarcicy. Często zalegają tuż pod korą. Ich obecność można poznać po wypukłościach na powierzchni pnia (guzy) lub po specyficznym pofałdowaniu kory (róże i brewki).

Począwszy od nasady korony pień drzewa jest ugałęziony. Po ścięciu drzewa i okrzesaniu gałęzi pozostają widoczne na pobocznicy pnia sęki otwarte o dużej średnicy. Zwykle są to sęki zdrowe, zrośnięte z otaczającą tkanką drzewną.

Na podstawie rozmieszczenia sęków wyróżnia się w ściętych drzewach (szczególnie iglastych, w których są one rozmieszczone regularne) następujące strefy drewna: drewno przyrdzeniowe, drewno sękate ze zdrowymi sękami zrośniętymi, drewno sękate z zepsutymi sękami wypadającymi i drewno bezsęczne (rys. 21b).

U większości gatunków iglastych sęki tworzą tzw. okółki (rys. 22a). Występują one u drzew, w których gałęzie wyrastają promieniście od rdzenia na tych samych wysokościach pnia (np. u sosny). U niektórych gatunków (np. u modrzewia) gałęzie wyrastają nieregularnie i okółki nie są wyróżnialne (rys. 22b).

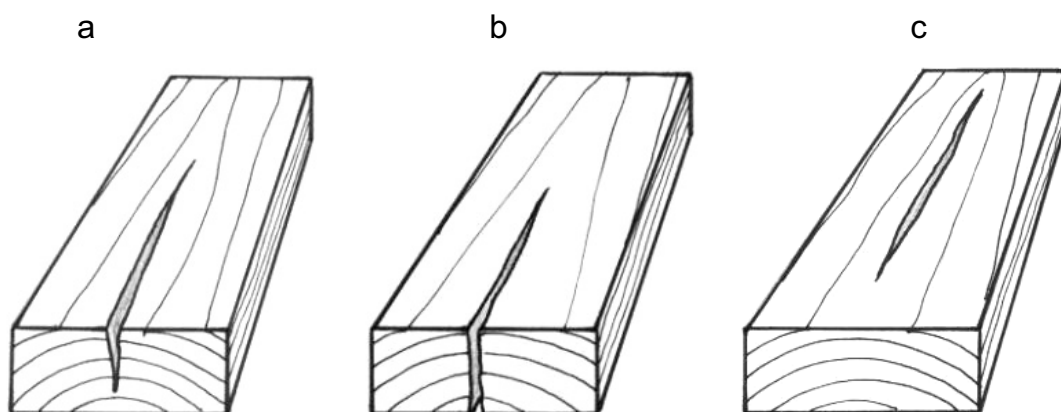


Rysunek 22. Przykłady rozmieszczenia gałęzi na pobocznicy pnia i wynikający stąd układ sęków:
a – w okółkach, b – nieregularny

Sękom towarzyszą zawoje. Zawój jest to miejscowe zniekształcenie słoików rocznych i przebiegu włókien. Włókna drzewne, omijając sęki, odchylają się od kierunku prostoliniowego, tworząc linie łukowate lub eliptyczne. Im większe są rozmiary sęków, tym większe są zawoje.

Pęknięcia

Powstają w wyniku rozerwania tkanki drzewnej w tarcicy – stanowią pozostałość pęknięć występujących w drewnie okrągłym (pęknięcia pierwotne) lub powstają wtórnie w procesie wysychania (pęknięcia desorpcyjne). Polska norma PN-D-01012:1979 wyróżnia w tarcicy pęknięcia na płaszczyźnie, pęknięcia na boku oraz pęknięcia na czole. W rozumieniu normy sortowniczej (PN-D-94021:1982) najistotniejszy podział pęknięć to podział na pęknięcia nieprzechodzące i przechodzące na czoło (czołowe) – rysunek 23. Pęknięcia obu typów różnie wpływają na sposób klasyfikacji tarcicy budowlano-konstrukcyjnej.



Rysunek 23. Pęknięcia w tarcicy według nazewnictwa w PN-D-94021:1982: a – pęknięcie czołowe nieprzechodzące, b – pęknięcie czołowe przechodzące, c – pęknięcie na płaszczyźnie nieprzechodzące na czoło

Pęcherze żywiczne

Są to wypełnione żywicą soczewkowate szczeliny, biegnące wzdłuż włókien, umiejscowione na granicy przyrostów rocznych. Powstawanie pęcherzy żywicznych tłumaczy się między innymi działaniem wiatru, który kołysząc drzewem, powoduje drobne pęknięcia słoja. W miejsca te dostaje się żywica. Z punktu widzenia wytrzymałościowego, a więc także przy klasyfikacji tarcicy budowlano-konstrukcyjnej, pęcherze należy traktować tak samo jak zwyczajne pęknięcia.

Zabarwienia

Są to zmiany naturalnej barwy drewna spowodowane działaniem czynników abiotycznych (czynniki atmosferyczne, związki chemiczne) lub biotycznych (działalność grzybów powodujących np. siniznę – rys. 24a). Zabarwienia drewna nie powodują zmian jego właściwości wytrzymałościowych, dlatego są w pełni dopuszczalne w tarcicy budowlano-konstrukcyjnej (sinizna jest w pełni dopuszczalna w tarcicy konstrukcyjnej i nie obniża jej klasy). Niestety zabarwienia wpływają ujemnie na estetykę drewna, co często utrudnia jego sprzedaż.

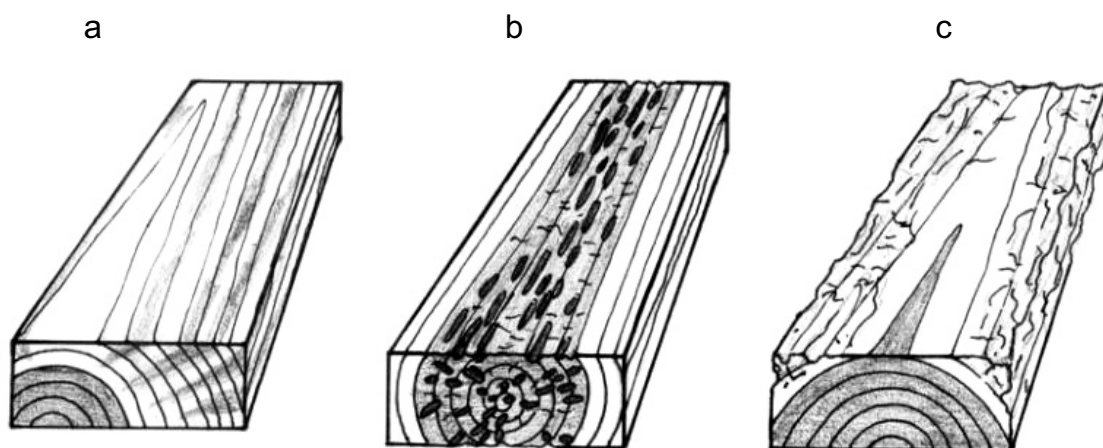
Zgnilizna

Zgnilizny w drewnie powodują ją grzyby mające zdolność do enzymatycznego rozkładu substancji drzewnej, a więc niszczące ściany komórkowe. Niezależnie od końcowej postaci zgnilizny, początkowym objawem porażenia drewna przez grzyby jest zmiana barwy, a pogorszenie mechanicznych właściwości jest nieznaczne. To stadium rozwoju zgnilizny nosi nazwę zgnilizny twardej. Ślady takiej zgnilizny dopuszczalne są w gorszej klasie tarcicy budowlano-konstrukcyjnej.

Ważną odmianą zgnilizny twardej jest czerwień bielu i czerwień twardzieli. Czerwień bielu jest to zgnilizna składowa, występująca w drewnie iglastym, najczęściej świerkowym, w postaci klinowatych smug skierowanych od obwodu do rdzenia. Czerwień twardzieli stanowi początkowe stadium zgnilizny wewnętrznej. Powstaje w drewnie żywych drzew iglastych, najczęściej w drewnie sosnowym.

Dalszy rozwój grzybów powoduje przekształcenie się zgnilizny twardej w zgniliznę miękką. Drewno dotknięte zgnilizną miękką traci swą normalną strukturę i użyteczność. W stadium zgnilizny miękkiej następuje daleko idąca destrukcja ścian komórkowych, zmniejsza się gęstość drewna i wyraźnie pogarszają się jego właściwości mechaniczne. W końcowym stadium rozwoju zgnilizny miękkiej drewno rozpada się na włóknistą lub proszkową masę.

Zgnilizna może być różnie umiejscowiona. Przykładowo huba korzeniowa *Fomes annosus* Karst. lub wrośniak sosnowy *Trametes pini* Fr. atakują głównie przyrdzeniową strefę twardzieli (rys. 24b), a opieńka miodowa *Armillaria mellea* Vahl. – przede wszystkim przyobwodową warstwę bielu (rys. 24c). W myśl najnowszych postanowień tarcicę budowlano-konstrukcyjną zawierającą zgniliznę należy traktować jako odrzut.

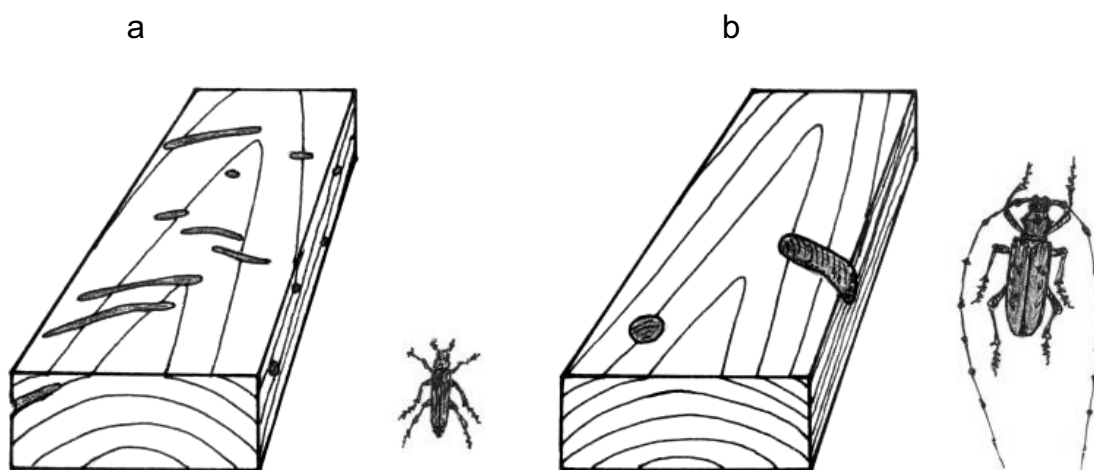


Rysunek 24. Przykłady działalności grzybów w drewnie: a – sinizna, b – zgnilizna twardzieli, c – zgnilizna bielu

Chodniki owadzie

Wady drewna powodowane przez owady polegają na uszkodzeniu tkanki drzewnej przez żerowanie larw oraz postaci dorosłych. Uszkodzenia mają postać drążonych w drewnie chodników o różnorodnej średnicy oraz różnym kształcie i przebiegu. Pod względem głębokości chodniki owadzie dzieli się na płytkie, sięgające do głębokości 5 mm, licząc od powierzchni tarcicy, oraz głębokie – powyżej 5 mm. Te ostatnie dzielą się pod względem wielkości na chodniki małe, o średnicy do 3 mm i krągłym zarysie przekroju, oraz duże, o średnicy większej niż 3 mm i okrągłym lub owalnym zarysie przekroju (PN-D-01012:1979).

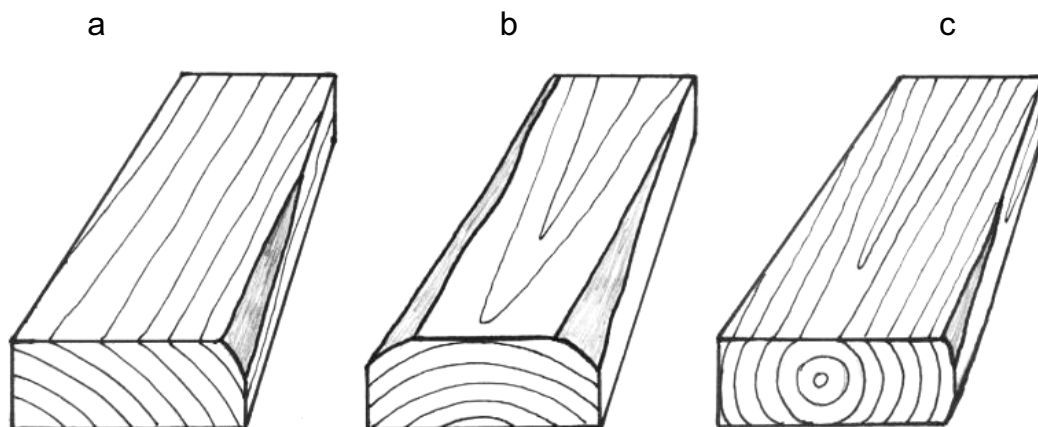
W drewnie iglastym żeruje wiele gatunków owadów o różnych wymaganiach, należą do nich: rytle, drwalniki (drążące chodniki małe – rys. 25a) oraz żerdzianki, ściigi, trzpienniki (drążące chodniki duże – rys. 25b). Chodniki małe są groźniejsze, gdyż występują zwykle masowo (drążące je owady żyją w koloniach). W tarcicy budowlano-konstrukcyjnej chodniki owadzie (ślady po żerowaniu ksylofagów), niezależnie od swej wielkości i głębokości, są niedopuszczalne.



Rysunek 25. Chodniki owadzie: a – małe – wykonane przez rytla pospolitego *Hylecoetus dermestoides* L., b – duże – wykonane przez żerdziankę szewca *Monochamus sutor* L.

Obliny

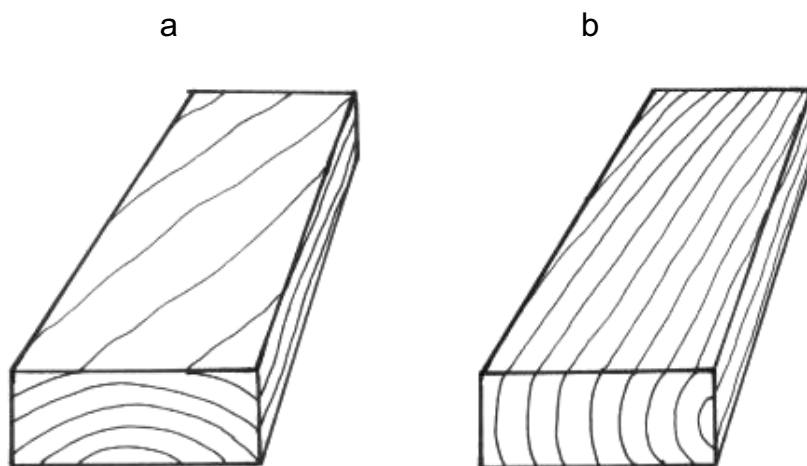
Należą one do grupy wad przetarcia występujących w tarcicy obrzynanej. Tarcica z obliną lub oblinami nie jest w pełni ostrokrawężna, część jej powierzchni tworzy zaokrąglona pobocznica kłody. Oblina może występować wzdłuż jednej krawędzi lub wzdłuż dwóch (rys. 26). Rozmiary pary oblin występujących na płaszczyźnie lub na boku sumują się.



Rysunek 26. Obliny występujące: a – na jednej krawędzi, b – na dwóch krawędziach jednej płaszczyzny, c – na dwóch krawędziach jednego boku

Skręt włókien

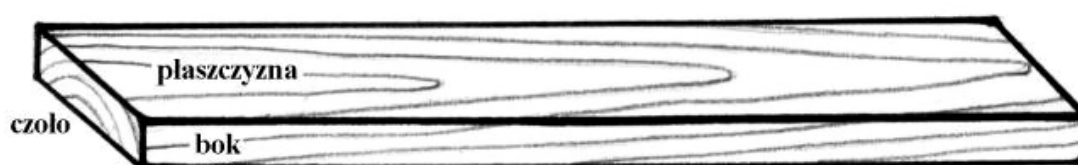
Jest to wada polegająca na spiralnym ukierunkowaniu włókien w stosunku do podłużnej osi drewna okrągłego lub tarcicy. Skręt włókien występuje w drewnie wszystkich gatunków drzew, zwłaszcza w przyobwodowej strefie pnia. W tarcicy o skręcie włókien świadczą ukośne pęknięcia, odchylające się od kierunku prostoliniowego. W drewnie okrągłym oraz na powierzchniach stycznych tarcicy występuje właściwy (normalny) skręt włókien (rys. 27a). Na promieniowych powierzchniach tarcicy widoczny jest pozorny skręt włókien, spowodowany przecięciem zbieżystego drewna (rys. 27b). Ten rodzaj skrętu występuje zwykle w tarcicy pozyskanej z kłód odziomkowych i wierzchołkowych (strefy pnia o największej zbieżystości).



Rysunek 27. Skręt włókien w tarcicy: a – właściwy (widoczny na przekroju stycznym), b – pozorny (widoczny na przekroju promieniowym)

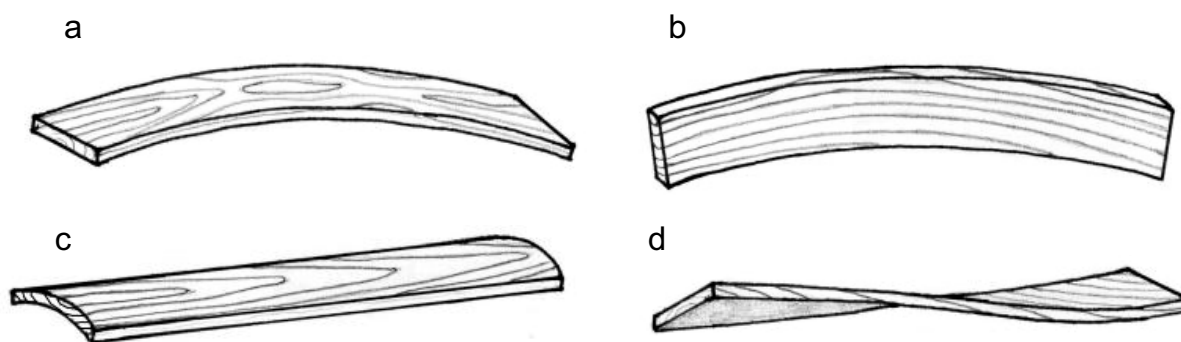
Krzywizny

Tarcica niewykazująca krzywizn ma kształt prostopadłościanu (rys. 28). Krzywizny to wszelkie odchylenia od tego kształtu. Wygięcia tarcicy powstają w trakcie przetarcia (uwolnienie naprężeń wzrostowych), w wyniku niewłaściwego składowania (np. nieprawidłowego sztaplowania – źle ułożone przekładki) lub w wyniku nierównomiernego kurczenia się drewna podczas wysychania (anizotropia skurczu). Obecność krzywizn w tarcicy jest też często następstwem obecności innych wad, na przykład obecności dużych sęków na krawędziach, „błądzącego” rdzenia (przechodzącego z płaszczyzny na płaszczyznę) i związanego z tym nieprostoliniowego układu włókien.



Rysunek 28. Prawidłowy kształt tarcicy bez krzywizn

Wyróżnia się cztery podstawowe odmiany krzywizn: krzywiznę podłużną płaszczyzn, krzywiznę podłużną boków, krzywiznę poprzeczną płaszczyzn oraz wichrowatość (rys. 29). Często zdarza się, że w jednej sztuce tarcicy występują łącznie dwie odmiany krzywizn, na przykład wichrowatości często towarzyszy krzywizna podłużna płaszczyzn.

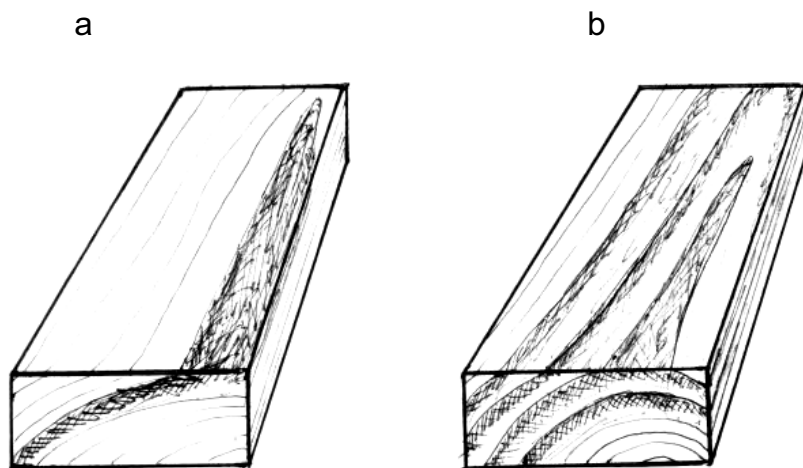


Rysunek 29. Rodzaje krzywizn: a – krzywizna podłużna płaszczyzn, b – krzywizna podłużna boków, c – krzywizna poprzeczna płaszczyzn, d – wichrowatość

Twardzica

Jest to drewno reakcyjne w gatunkach drzew iglastych o odmiennej strukturze w stosunku do drewna normalnego, widoczne na przekroju poprzecznym drewna okrągłego jako czerwobrunatna strefa słoja rocznego, podobna z wyglądu do

drewna późnego (rys. 30). Twardzica powstaje w pniu i gałęziach jeszcze rosnących drzew iglastych od strony ściskanej. W ten sposób żyjące drzewo co roku może zmodyfikować strukturę swego pnia (zapobiec jego odchylaniu się). W zależności od różnych czynników presji środowiska, twardzica może być wytworzona jednorazowo (twardzica wąska) lub przez wiele kolejnych lat (twardzica szeroka).



Rysunek 30. Twardzica: a – wąska, obejmująca jeden przyrost roczny, b – szeroka, obejmująca kilka kolejnych słoików

Różnice w budowie anatomicznej między twardzicą a drewnem normalnym polegają między innymi na tym, że cewki mają przekrój poprzeczny zbliżony do kołowego i są 2 razy grubsze, a ich długość wynosi 60–80% długości cewek w drewnie normalnym oraz zawierają znacznie więcej ligniny. Konsekwencją tego jest zwiększona gęstość i wytrzymałość na ściskanie przy zmniejszeniu wytrzymałości na rozciąganie i udarność oraz zwiększeniu kurczliwości i pęcznienia. Twardzica jest częstsza w drewnie o mniejszej gęstości, a mianowicie w świerku i jodle.

3. Polski przemysł tartaczny

3.1. Struktura polskiego tartacznictwa i wielkość produkcji

Polski przemysł tartaczny jest bardzo zróżnicowany. Zróżnicowanie to dotyczy zarówno zdolności przetarcia, jak i poziomu technicznego. Cechą wyróżniającą ten przemysł jest bardzo duża liczba tartaków. Według danych Instytutu Technologii Drewna w Poznaniu w Polsce jest około 9 tysięcy tartaków (Strykowski 2011). Strukturę wielkości tartaków przedstawiono w tabeli 9.

Tabela 9. Rozproszenie polskiego przemysłu tartaczego

Roczne przetarcie drewna okrągłego [m ³]	Udział w ogólnej liczbie tartaków [%]
Powyżej 50 000	0,6
Od 20 000 do 50 000	4,5
Od 5000 do 20 000	19,0
Poniżej 5000	75,9

Źródło: Strykowski 2011.

Według Polskiej Izby Gospodarczej Przemysłu Drzewnego, w 2010 roku 8675 podmiotów gospodarczych dokonywało zakupu drewna okrągłego w PGL LP. Aż 92% zarejestrowanych odbiorców kupuje mniej niż 5 tys. m³ drewna okrągłego rocznie, a 66% nawet mniej niż 1 tys. m³ (a więc mniej niż 100 m³ na miesiąc). Kupują oni tylko około 10% całej sprzedawanej przez LP ilości drewna. Pozostałe 90% kupuje około 700 przedsiębiorstw. W tej liczbie znajdują się również pozatartaczni odbiorcy, jak celulozownie i producenci płyt drewnopochodnych (Czemko i in. 2011).

Dwie firmy tartaczne w Polsce przecierają po 0,5 mln m³ drewna w skali roku. Są to przedsiębiorstwa wielozakładowe (dysponujące kilkoma tartakami) – „Stelmet” S.A. i grupa „Swedwood Poland”. Do innych tego typu przedsiębiorstw tartacznych

w Polsce należą KPPD (Koszalińskie Przedsiębiorstwo Przemysłu Drzewnego), dysponujące 9 tartakami „iglastymi” i 2 „liściastymi”, przecierającymi łącznie około 300 tys. m³ surowca, i PPD POLTAREX Sp. z o.o., przecierający w 6 tartakach około 200 tys. m³ surowca w ciągu roku. Z kolei największym jednozakładowym przedsiębiorstwem tartacznym w Polsce jest Tartak „OLCZYK”. Firma ta dysponuje jednym tartakiem, który przeciera ponad 300 tys. m³ surowca iglastego w ciągu roku.

Według szacunków Polskiej Izby Gospodarczej Przemysłu Drzewnego, polskie tartaki produkują około 8 mln m³ tarcicy rocznie. Szczegółowe dane dotyczące wielkości produkcji tarcicy w latach 2007–2011 przedstawiono w tabeli 10.

Tabela 10. Wielkość produkcji tarcicy w Polsce w latach 2007–2011 [tys. m³]

Tarcica	2007	2008	2009	2010	2011
Iglasta	7730	6915	6420	6650	6700
Liściasta	1520	1405	1370	1400	1400
Ogółem	9250	8320	7790	8050	8100

Źródło: Na podstawie szacunków PIGPD.

Wiele polskich tartaków zainwestowało w suszarnie i maszyny do dalszego przetworu i z własnej tarcicy produkuje różnego rodzaju półwyroby i wyroby gotowe (np. do programu ogrodowego, boazerie, deski podłogowe i klejone płyty), podnosząc stopień przetworzenia drewna i uzyskując dzięki temu możliwość sprzedaży tych produktów po cenach znacznie wyższych niż ceny „surowej”, nieprzetworzonej tarcicy. W wielu tartakach zainwestowano również w przerób produktów ubocznych, na przykład w produkcję brykietów czy peletu (Tartak „OLCZYK”, grupy Barlinek i Swedwood Poland oraz „Stelmet” S.A.). W kilku tartakach znajdują się kotłownie produkujące zarówno ciepło, jak i energię elektryczną (Tartak „OLCZYK” i „Stelmet” S.A.).

3.2. Poziom techniczny polskiego tartacznictwa

Poziom techniczny polskich tartaków jest również bardzo zróżnicowany. Po transformacji ustrojowej w Polsce w 1989 roku przemysł tartaczny, w odróżnieniu od przemysłu meblarskiego i płytowego, nie został w znaczącym stopniu przejęty przez zagraniczny kapitał. Obecnie do kapitału zagranicznego należą między innymi tartaki Chociwel i Stepnica, znajdujące się kiedyś w strukturach Szczecińskiego Przedsiębiorstwa Przemysłu Drzewnego, a teraz w grupie Swedwood Poland, będącej własnością firmy IKEA. Do firmy IKEA należy również nowoczesny, zbudowany przed kilku laty, tartak w Wielbarku. Dwa tartaki – w Murowie (Opolszczyzna) i w Kolonii (Mazury) wchodzące w skład firmy Stora Enzo. W kilku polskich firmach tartacznych jest zaangażowany również kapitał francuski, a jeden tartak (w Kozuchowie) należy do niemieckiej firmy ANTE Holz.

Ogromna większość polskich tartaków pozostaje w rękach rodzimego kapitału. Tartaki te w większości reprezentują niski poziom techniczny, mimo prac i badań wskazujących na możliwość automatyzacji procesu technologicznego (Bajkowski 1994). Można stwierdzić, że polskie tartacznictwo wciąż potrzebuje modernizacji. Proces ten jest bardzo powolny, ponieważ nasze tartacznictwo od lat zмага się z brakiem kapitału inwestycyjnego (kredyty dla przemysłu tartaczego są drogie i niechętnie udzielane przez banki) oraz niestabilną sytuacją zakupu drewna. Istniejący obecnie internetowy system sprzedaży drewna przez PGL LP przemysł tartaczny uważa za krzywdzący (Czemko 2010a). Od wielu lat trwają negocjacje między przemysłem tartaczym a PGL LP, mające na celu modyfikację obowiązujących obecnie zasad.

Aktualnie LP sprzedają drewno odbiorcom przemysłowym poprzez internetowe przetargi ograniczone w Portalu Leśno-Drzewnym PLD (2 razy w roku), systemowe aukcje internetowe w aplikacji „e-drewno” (2 razy w roku), aukcje internetowe w aplikacji „e-drewno” oraz inne aukcje i submisje – ta forma sprzedaży dotyczy tzw. drewna cennego. Od 1 stycznia 2013 roku będą obowiązywały nowe zasady sprzedaży drewna okrągłego przez LP w Polsce.

Z informacji zamieszczonych na stronie internetowej LP wynika, że drewno można nabyć jeszcze w drodze negocjacji handlowych, ale tej formy sprzedaży LP nie stosują. Taki system sprzedaży drewna znacznie odbiega od systemów sprzedaży w innych krajach europejskich, np. w Niemczech, Austrii, Szwecji system sprzedaży drewna opiera się na dwustronnych negocjacjach handlowych pomiędzy kupującym i sprzedającym (Czemko 2010b, Czemko i in. 2011).

W ostatnim czasie firmy tartaczne mają również duże problemy z firmami ubezpieczeniowymi, które nie chcą ich ubezpieczać.

W naszych tartakach najczęściej spotykanymi maszynami do przetarcia drewna są pilarki ramowe pionowe (potocznie zwane trakami). Traki ramowe pionowe, w zależności od umiejscowienia napędu w stosunku do ramy traka, dzielą się na górnonapędowe i dolnonapędowe. Traki dolnonapędowe wymagają bardzo solidnego fundamentu (ok. 40 m³ betonu przy typowym podłożu) i dwupoziomowej hali przetarcia. Traki górnonapędowe montowane są w jednopoziomowych halach przetarcia i wymagają znacznie mniejszego fundamentu. Traki pionowe chociaż w zasadzie przegrały konkurencję z nowoczesnymi technikami przetarcia, to jednak na przestrzeni ostatnich 40 lat były wielokrotnie modernizowane i unowocześniane. Najważniejsze modernizacje dotyczyły wózka podawczego i możliwości „u elastycznienia” sprzęgu pił. Już od wielu lat firmy zachodnie produkują traki pionowe z przestawnym sprzęgiem oraz ze zdalnie sterowanym wózkiem podawczym do kłód (takie wózki produkuje również Fabryka Obrabiarek do Drewna w Bydgoszczy – FOD). Słabe strony pilarek ramowych pionowych to: sztywny (lub prawie

sztywny) sprzęg, a co za tym idzie – brak możliwości automatyzacji, mała prędkość posuwu (według danych producentów do $20 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ – w praktyce znacznie mniej) oraz niska jakość powierzchni tarcicy (charakterystyczne rysy). Właśnie te słabe strony były przyczyną przegrania przez traki konkurencji z nowszymi technikami przetarcia opartymi na pilarkach tarczowych i pilarkach taśmowych wspomaganych rębarkami przyzującymi. W Europie Zachodniej i w Skandynawii traki należą już do rzadkości (Krzosek 2012).

W polskich tartakach często spotyka się hale przetarcia jednotraktowe (rys. 31) i dwutraktowe (rys. 32), do rzadkości należą hale z czterema trakami, jak w tartaku firmy ABWood w Sławnie (4 traki pionowe szwedzkiej firmy Söderhamn). Dysponując jednym trakim, można realizować przetarcie dwukrotne: najpierw przez część zmiany pracuje się sprzęgiem przyzującym i produkuje przyzmy, następnie, po zmianie sprzęgu, zmagazynowane przyzmy podaje się ponownie do traka. Jeżeli w hali są dwa traki, to jeden służy do przyzmowania, a drugi do rozpuszczania przyzm. Popularnym sposobem modernizacji dwutrakowych tradycyjnych hal przetarcia jest dostawienie wielopile. Oba traki tylko przyzują, a powstałe przyzmy są rozpuszczane na wielopile, jak w tartaku firmy Complex w Dziemianach czy w tartaku firmy Poltarex w Polnicy. W polskich tartakach pracuje duża liczba używanych traków pionowych, również tych z przestawnym sprzęgiem produkcji niemieckich firm: Esterer, Wurster & Dietz, Linck czy Möhringer. Używane traki pionowe wspomnianych firm bywają również montowane w nowych halach przetarcia. Przykładowo w Tartaku Burkietowicz w Odolanowie pracuje trak firmy ESTERER ze zdalnie sterowanym wózkiem podawczym (rys. 33), a w tartaku firmy Patria-Top w Wieleniu pracuje używany trak firmy Möhringer. Niekwestionowaną zaletą traka pionowego, wynikającą z jego prostej budowy, jest jego żywotność. Przy fachowym obchodzeniu się z tą maszyną może ona pracować bez problemów nawet kilkadziesiąt lat.

W stosunkowo nielicznych polskich tartakach, które w ostatnich latach zostały zmodernizowane lub zbudowane od podstaw jako nowe można spotkać nowoczesne linie przetarcia oparte na tarczówkach lub taśmówkach i rębarkach przyzujących.

Pilarki tarczowe stosowane do przetarcia drewna okrągłego można podzielić na pilarki tarczowe uniwersalne, czyli do kłód i do przyzm, oraz pilarki tarczowe tylko do przyzm. W zależności od liczby pил spotyka się pilarki tarczowe jednopile (np. fińskiej firmy KARA) oraz wielopile. Pilarki tarczowe uniwersalne to pilarki dwuwałowe. W Polsce nie ma jeszcze uniwersalnych (do kłód i przyzm) wielopilowych dwuwałowych pilarek tarczowych. Do rozpuszczania przyzm, przy wysokości cięcia do 200 mm, stosuje się pilarki tarczowe jednowałowe, a przy wysokości cięcia powyżej 200 mm – pilarki tarczowe dwuwałowe (rys. 34).



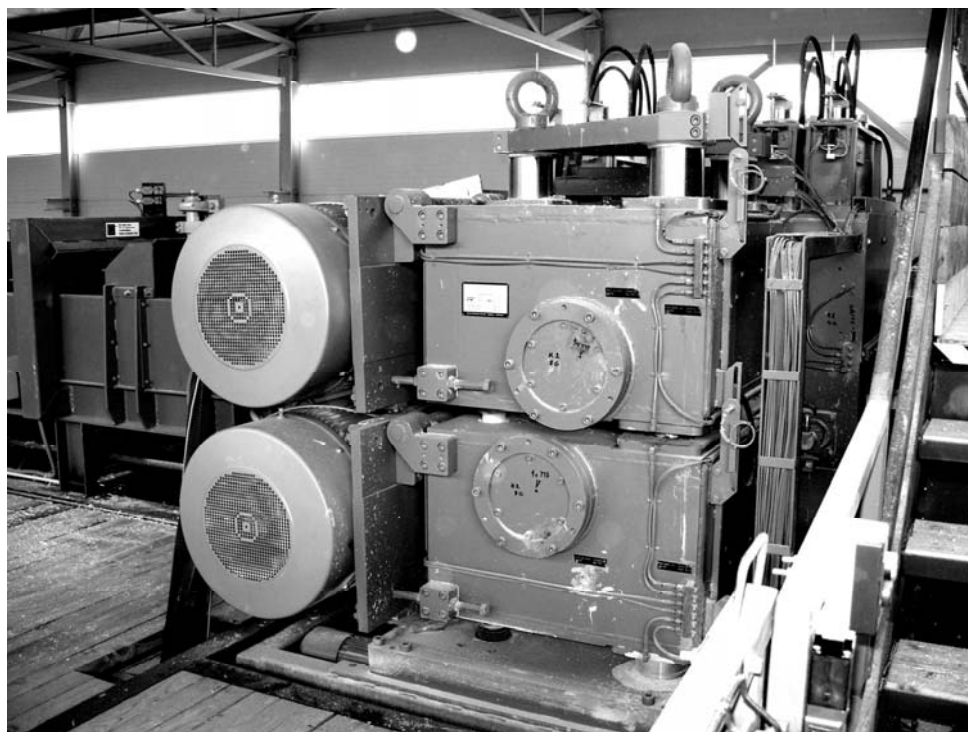
Rysunek 31. Jednotraktowa hala przetarcia w nieistniejącym już tartaku w Laskach koło Kępna



Rysunek 32. Dwutraktowa hala przetarcia w tartaku w Kaliszu Pomorskim



Rysunek 33. Używany trak pionowy ze zdalnie sterowanym wózkiem podawczym w Tartaku Burkietowicz



Rysunek 34. Dwuwałowa wielopiłowa pilarka tarczowa do rozpuszczania pryzm

Stosując tarczówkę dwuwałową, zmniejsza się ilość produkowanych trocin, ponieważ wysokość cięcia dzieli się na dwie piły: jedną na górnym wale i jedną na dolnym wale, co umożliwia zastosowanie pił o mniejszej średnicy, a więc również o mniejszej grubości. Pilarki tarczowe to najszybsze maszyny przecierające drewno okrągłe, mogące pracować z prędkością posuwu dochodzącą do $200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Jeszcze szybsze są pilarki tarczowe służące do obrzynania desek bocznych, mogą one pracować z prędkością posuwu powyżej $350 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Kupując jedną uniwersalną pilarkę tarczową, (KCSU firmy Linck lub DWKG firmy EWD) i obrzynarkę do desek bocznych, mamy już kompletny tartak. Maksymalna prędkość posuwu takiej uniwersalnej pilarki tarczowej to $40 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. W Polsce nie ma jeszcze tego typu pilarki, ale pracuje dużo używanych pilarek tarczowych (głównie niemieckich), służących do rozpuszczania pryzm. Coraz częściej w zmodernizowanych tartakach montowane są używane automatyczne obrzynarki do desek bocznych, najczęściej niemieckie lub szwedzkie.

Mankamentem pilarek tarczowych (szczególnie tych o dużej wysokości cięcia) jest duża szerokość rzazu – rzędu 5 mm. Stosując tarczówkę dwuwałową, zmniejszamy szerokość rzazu, ale jeżeli piły na obu wałach nie są idealnie ustawione, jest to widoczne na powierzchni produkowanej tarcicy w postaci małego uskoku biegnącego w połowie szerokości tarcicy na całej jej długości. Inną wadą tych pilarek jest duża moc zainstalowanych w nich silników – duże dwuwałowe pilarki tarczowe wyposażane są w dwa silniki o mocy 250 kW każdy, a więc tylko na jedną taką maszynę potrzeba 0,5 MW.

Pilarki taśmowe dzielą się na pionowe i poziome, z kolei pionowe – na taśmówki do kłód, czyli z wózkiem podawczym, i taśmówki zestawiane w grupy po 2 lub 4, gdzie kłoda jest podawana systemem przenośników.

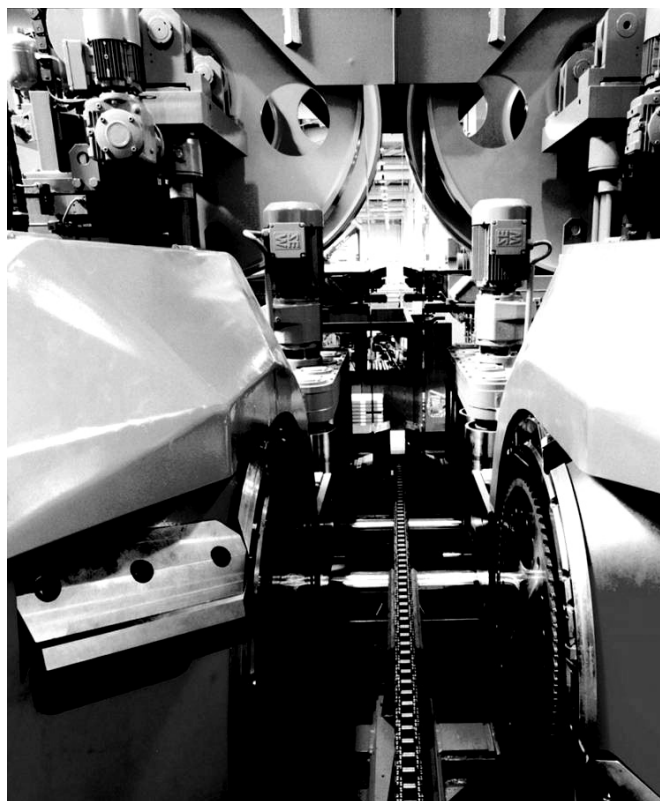
Pilarki taśmowe do kłód, czyli z wózkiem podawczym, to maszyny zaprojektowane specjalnie do przetarcia cennego drewna liściastego, ale są również wykorzystywane do przetarcia drewna iglastego (rys. 35). Pracując jedną pilą, można indywidualnie przetrzeć każdą kłodę z optymalnym wykorzystaniem stref jakościowych lub wykonać przetarcie kombinowane (np. przy wycinaniu pryzm okleinowych). Pilarka taśmowa do kłód ma wiele zalet: małą szerokość rzazu, możliwość przecierania kłód niesortowanych, dobrą jakość powierzchni tarcicy.

Największym mankamentem pilarki taśmowej do kłód jest jej mała wydajność, liczona w metrach sześciennych na godzinę. Istnieje jednak wiele sposobów zwiększenia tej wydajności, na przykład poprzez zastosowanie dwustronnie uzębionej piły lub poprzedzenie pilarki taśmowej tarczą rębarki pryzmującej, „zbierającej” opoły. Pilarki taśmowe do kłód można również zestawiać po dwie, ustawiając je jedno za drugą i przy jednym przejściu kłody podawanej klasycznie na wózku pozyskuje się dwie deski.



Rysunek 35. Pilarka taśmowa pionowa do kłód przecierająca drewno iglaste

Zalety pilarek taśmowych sprawiły, że od pewnego czasu są coraz częściej stosowane do przecierania drewna iglastego. Stosuje się wtedy najczęściej 4 pilarki taśmowe, do których kłody podawane są przy użyciu przenośników podawczych i zespołów centrujących. Mając do dyspozycji zestaw 4 pilarek taśmowych, pracujących w systemie z zawracaniem przyzmy, oraz obrzynarkę do desek bocznych, otrzymujemy średniej wielkości, elastyczny tartak, który w krótkim czasie wykona każde zamówienie. Pilarki taśmowe sprawdzają się też w dużych tartakach. W Europie pracują tartaki iglaste, w których zamontowanych jest 12 pilarek taśmowych – trzy grupy po 4 taśmówki. W Polsce obecnie trwa montaż takiej używanej linii (z 12 taśmówkami), kupionej w Austrii przez firmę Kaszub. Można wskazać znacznie więcej polskich tartaków, których właściciele zdecydowali się na zastosowanie pilarek taśmowych do przetarcia drewna iglastego, na przykład: Tartak „OLCZYK” (rys. 36), tartak grupy „Swedwood Poland” w Wielbarku, tartak w Płocicznie, jeden z tartaków w PPD POLTAREX, tartak firmy Perfekt w Starachowicach. Firmy te zdecydowały się na zakup pilarek taśmowych pionowych, dużych przemysłowych maszyn o średnicy kół taśmowych 1600–1800 mm, szerokości piły taśmowej rzędu 200 mm oraz prędkości posuwu dochodzący nawet do $100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ (Krzosek 2012).



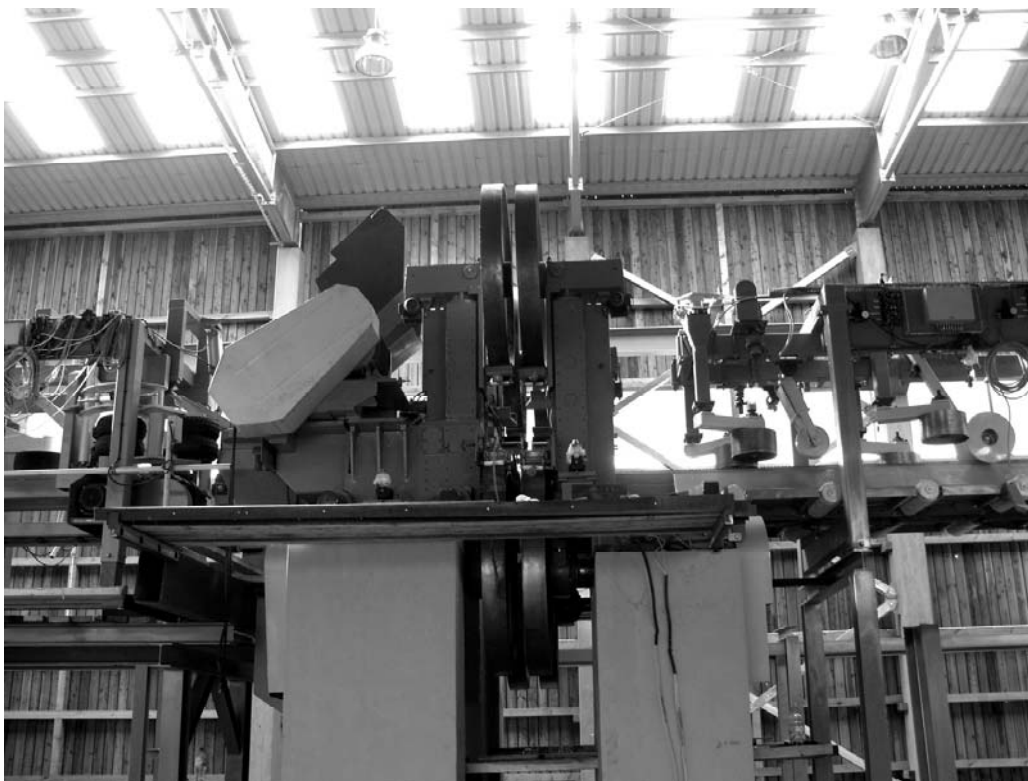
Rysunek 36. Rębarka przyzmużająca i zestaw 4 pilarek taśmowych w Tartaku Olczyk (fot. EWD)

W Polsce bardzo popularny jest drugi rodzaj taśmówek – pilarki taśmowe poziome, o średnicy kół taśmowych rzędu 500–600 mm i szerokości pił 40–60 mm. Są to podstawowe maszyny w licznych w naszym kraju małych i bardzo małych tartakach, ale jako maszyny pomocnicze znajdują się również na wyposażeniu dużych i bardzo dużych tartaków (np. w Tartaku Olczyk pracują dwie taśmówki poziome). Taśmówki poziome należą do maszyn uniwersalnych, na których, co prawda powoli, można wykonać dowolne zamówienie.

W niektórych polskich tartakach pracują linie przetarcia składające się z 4 pilarek taśmowych i rębarki przyzmużającej. Zamiast 4 taśmówek, za rębarką przyzmużającą można postawić pilarkę tarczową. Rębarka przyzmużająca to maszyna składająca się z dwóch stożkowych tarcz z nożami zrębkującymi. Na przestrzeni lat maszyny te, wprowadzone do użytku w latach 70. ubiegłego wieku, ulegały licznym modernizacjom. Pierwsze modele pracowały z małymi, zmienianymi skokowo prędkościami posuwu. Obecnie zmiana prędkości posuwu odbywa się bezstopniowo i może wynosić do $180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Pierwotnie tarcze rębarki były ustawiane w określonej od siebie odległości, w zależności od średnicy przecieranej kłody w cieńszym końcu. Grubość zrębkowanej warstwy w cieńszym końcu była mała, ale w grubszym końcu, ze względu na zbieżność, już znacznie większa.

Obecnie produkowane rębarki mają możliwość zmiany odległości między tarczami w trakcie obrabiania kłody – w określonym momencie rozsuwają się na zewnątrz. Dzięki temu skokowi maleje grubość warstwy przerabianej na zrębki i powstają dodatkowo dwie deski boczne o długości mniejszej niż długość kłody. Produkowane są rębarki przyzmujące z nożami krótkimi ułożonymi spiralnie, nożami średnimi i nożami długimi, których długość jest równa grubości tarczy. Tylko przy tarczach z nożami krótkimi grubość zrębka jest ściśle określona, co jest istotne w przypadku zrębków celulozowych. Liczba noży w takiej tarczy jest zależna od liczby spiral: przy 3 spiralach – po 20 noży w każdej spirali, przy 4 i 5 spiralach – po 17. Rębarki z 3 spiralami pracują z prędkością posuwu dochodzącą do około $110 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, z 4 spiralami – do około $145 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, a z 5 spiralami – do około $180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. W rębarkach z nożami średnimi są one również ułożone spiralnie, na przykład po 4 w spirali. W rębarkach z nożami długimi w tarczy zamocowanych jest od 2 do 6 noży.

Linie redukujące budowane są często w wariantcie oszczędnościowym, czyli z zawracaniem przyzmy, lub jako linie proste – bez zawracania. W wariantcie z zawracaniem linia składa się z jednej rębarki przyzmującej i jednej pilarki tarczowej lub jednego zestawu pilarek taśmowych (4 sztuki). W zależności od średnicy przecieranych kłód muszą one dwa lub nawet trzy razy (w przypadku kłód o dużych średnicach) przejść przez grupę maszyn. Przy pierwszym przejściu rębarka zdejmuje i przerabia na zrębki opoły i odcinane są deski boczne. Powstała przyzma jest zawracana i podawana drugi raz do maszyn. W drugim przejściu rębarka zdejmuje opoły i powstają deski boczne. Jeżeli jest taka potrzeba, to obrobiony z czterech stron element (krawędziak lub belka) jest zawracany i ponownie podawany do przetarcia, przy czym wtedy pracuje już tylko maszyna przecierająca drewno – tarcze rębarki są rozsunięte na boki i nie stykają się z przecieranym elementem. Linia redukująca w wersji bez zawracania składa się z dwóch rębarek przyzmujących i dwóch maszyn przecierających. Linie takie są elastyczne, pracują z prędkością posuwu około $100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ i charakteryzują się dobrą jakością powierzchni tarcicy. Decydując się na technikę redukcji w hali przetarcia, musimy również kupić obrzynarkę do desek bocznych. Zestawy: rębarka przyzmująca plus 4 taśmówki pracują na przykład w Tartaku „OLCZYK”, w tartaku w Wielbarku, w tartaku PPD POLTAREX w Biełsku Pomorskim. Trwa montaż takiego używanego szwedzkiego zestawu w KPPD w tartaku w Kaliszu Pomorskim (rys. 37).



Rysunek 37. Montaż zestawu pilarek taśmowych i rębarki przyzmużającej w tartaku w Kaliszu Pomorskim

Linie tartaczne o największej zdolności przetarcia to linie profilujące. W tartakach gigantach, przecierających milion i więcej metrów sześciennych drewna w ciągu roku, pracują tylko linie profilujące. Żadna inna technika przetarcia nie gwarantuje takiej dużej wydajności. Każda linia profilująca składa się z dwóch rębarek przyzmużających, dwóch pilarek tarczowych i dwóch agregatów profilujących. Agregaty profilujące służą do obrzynania desek bocznych, zanim zostaną one odcięte od kłody. Technika profilowania to jedyna technika, która umożliwia produkcję obrzynanych desek bocznych bez konieczności kupowania obrzynarki. Prędkości posuwu linii profilujących dochodzą do $160\text{--}180\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Profilowanie sprawdza się najlepiej przy prostych kłodach, o średnicy w cieńszym końcu dochodzącej do 35 cm. W Polsce linie profilujące niemieckiej firmy SAB pracują w tartaku w Barlinku oraz w firmie „Stelmet” S.A. w tartaku w Zielonej Górze (rys. 38) i w Jeleniowie. Agregat profilujący wraz z rębarką przyzmużającą i dwuwałową pilarką tarczową niemieckiej firmy EWD pracuje w Tartaku „OLCZYK” (Krzosek 2012).



Rysunek 38. Linia profilująca w tartaku firmy „Stelmet” S.A. w Zielonej Górze

Jak wspomniano na wstępie niniejszego rozdziału, modernizacja polskiego tartacznictwa jest w toku. Z satysfakcją należy podkreślić, że już do kilku lat funkcjonują w Polsce tartaki na absolutnie najwyższym poziomie europejskim, są to: Tartak „OLCZYK”, tartaki grupy Barlinek w Barlinku i tartak firmy „Stelmet” S.A. w Zielonej Górze. W halach przetarcia tych tartaków pracują nowoczesne fabrycznie nowe maszyny.

4. Wytrzymałościowe sortowanie tarcicy

4.1. System norm dotyczących drewna konstrukcyjnego i oznakowania CE

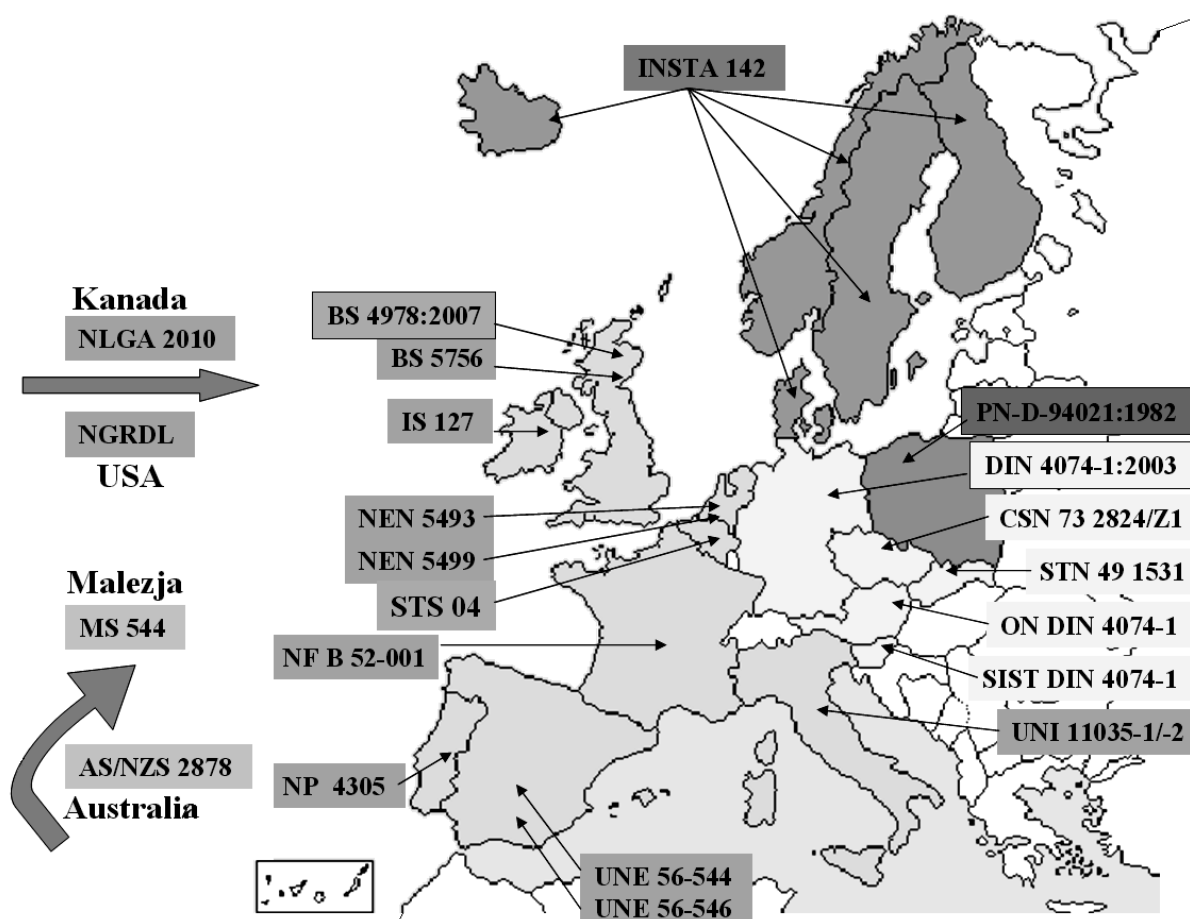
W poszczególnych państwach Europy wizualne sortowanie tarcicy konstrukcyjnej opiera się na normach krajowych, które zostały opracowane z wykorzystaniem doświadczeń i wyników badań przeprowadzonych na drewnie pozyskiwanym w danym regionie. Drewno nawet jednego gatunku przeznaczone do celów budowlanych w różnych regionach Europy charakteryzuje się odmiennymi właściwościami i cechami budowy (rozkładem i wielkością wad, szerokością przyrostów rocznych itd.). Wobec powyższego, normy sortownicze opracowane w poszczególnych krajach jeszcze w latach 70. i 80. ubiegłego wieku, podobnie jak ich obecne znowelizowane odpowiedniki (oparte na najistotniejszych, a zarazem typowych cechach drewna – tab. 11, rys. 39), różnią się między sobą.

Tabela 11. Przykłady norm dotyczących sortowania tarcicy metodą wizualną obowiązujących w różnych krajach

Normy	Nazwa normy	Kraj
1	2	3
PN-D-94021:1982 (prPN-D-94021:2012)	Tarcica iglasta konstrukcyjna sortowana metodami wytrzymałościowymi	Polska
BS 4978:2007 BS 5756:2007	Specification for visual strength grading of softwood Specification for visual strength grading of hardwood	Wielka Brytania
IS 127:1990	Specyfifications for stress grading of softwood timber	Irlandia
DIN 4074:2005	Sortierung von Nadelholz nach der Tragfähigkeit, Nadelschnittholz	Niemcy
ON DIN 4074:2004	Sortierung von Nadelholz nach der Tragfähigkeit, Nadelschnittholz	Austria
STN 49 1531/Z1	Crevo na stavebné nosné konštrukcie	Słowacja
NF B 52-001-4	Règles d'utilisation du bois dans les constructions. Par- tie 4: Classement visuel pour emploi en structure pour les principales essences résineuses et feuillues	Francja
STS 04:2008	Specifications unifiées. Bois et panneaux á base de bois	Belgia

cd. tabeli 11

1	2	3
INSTA 142	Nordic visual stress grading rules for timber	Szwecja, Norwegia, Finlandia, Dania, Islandia
NEN 5480	Kwaliteitseisen voor hout (KVH 1980)	Holandia
NP 4305	Madeira serrada de pinheiro bravo para estruturas	Portugalia
UNE 56-544 UNE 56-546	Clasificación visual de la Madera aserrada para uso estructural Visual grading for structural timber: Hardwood species	Hiszpania
UNI 8198	Segati di conifere-classificazione in base alla resistenza meccanica	Włochy
NLGA 1996	The national grading rule for dimension lumber	Kanada
NGRDL	The national grading rules for softwood dimension lumber	USA



Rysunek 39. Krajowe normy dotyczące wytrzymałościowego sortowania tarcicy konstrukcyjnej obowiązujące w poszczególnych krajach

Po powstaniu Unii Europejskiej nie udało się nakłonić poszczególnych państw do zrezygnowania z obowiązujących w nich systemów klasyfikacji na rzecz jednego wspólnego systemu. W drodze kompromisu opracowano normę EN-518, (PN-EN 518:2000) a następnie EN 14081-1 (PN-EN 14081-1:2007), która podaje ogólne wymagania w odniesieniu do norm dotyczących sortowania wytrzymałościowego metodą wizualną.

Obecny system norm europejskich dotyczących drewna konstrukcyjnego obejmuje:

a) normy dotyczące badań właściwości

- PN-EN 408:2010 Konstrukcje drewniane. Drewno konstrukcyjne lite i klejone warstwowo. Oznaczanie niektórych właściwości fizycznych i mechanicznych,
- PN-EN 384:2010 Drewno konstrukcyjne. Oznaczanie wartości charakterystycznych właściwości mechanicznych i gęstości;

b) normy dotyczące sortowania i dopuszczenia do obrotu

- PN-EN 14081-1:2007 (EN 14081-1:2005+A1:2011) Konstrukcje drewniane. Drewno konstrukcyjne sortowane wytrzymałościowo o przekroju prostokątnym. Część 1: Wymagania ogólne (zastąpiła normę PN-EN 518) oraz kolejne arkusze 2, 3 i 4 dotyczące sortowania maszynowego,
- DIN 4074:2003, PN-D-94021:1982 i projekt PN-D-94021:2012, BS 4978:2007;

c) normy dotyczące obliczeń i projektowania

- PN-EN1995-1-1:2010 (Eurokod 5) Projektowanie konstrukcji drewnianych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dotyczące obiektów (zastępuje PN-B-03154:1983, PN-B-03150:2000),
- PN-EN1995-1-2:2008 (Eurokod 5) Projektowanie konstrukcji drewnianych. Część 1-2: Postanowienia ogólne. Projektowanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe,
- PN-EN1995-2:2007 (Eurokod 5) Projektowanie konstrukcji drewnianych. Część 2: Mosty.

Z punktu widzenia zasad sortowniczych najważniejsza jest norma EN 14081-1:2005+A1:2011 zharmonizowana z dyrektywą dotyczącą wyrobów budowlanych nr 89/106/EWG (projekt bliźniaczy PL2005/IB/EC-01). Wspomniana dyrektywa 89/106/EWG określa procedury niezbędne do wprowadzania wyrobów budowlanych na rynek Unii Europejskiej. Zgodnie z prawem unijnym wyrób może być wprowadzony do obrotu tylko wtedy, gdy spełnia wymagania zasadnicze określone w dyrektywach nowego podejścia (o czym zaświadcza jego oznakowanie symbolem CE).

Historia CE ma swoje początki w 1997 roku, kiedy rozpoczęto procedury znakowania produktów spełniających wymogi odpowiednich europejskich aprobat technicznych. Od 2001 roku w życie zaczęły wchodzić europejskie normy zharmonizowane, co przyspieszyło i rozwinęło proces certyfikacji.

Dyrektywa Rady 89/106/EWG zmieniona dyrektywą Rady 93/68/EWG została przeniesiona na grunt polskiego ustawodawstwa za pomocą następujących aktów prawnych:

- Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych (Dz.U. z 2004 r. nr 92, poz. 881),
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 11 sierpnia 2004 r. w sprawie systemów oceny zgodności, wymagań, jakie powinny spełniać notyfikowane jednostki uczestniczące w ocenie zgodności oraz sposobu oznaczania wyrobów budowlanych oznakowaniem CE (Dz.U. z 2004 r. nr 195, poz. 2011),
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 11 sierpnia 2004 r. w sprawie sposobów deklarowania zgodności wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz.U. z 2004 r. nr 198, poz. 2041),
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 8 listopada 2004 r. w sprawie aprobat technicznych oraz jednostek organizacyjnych upoważnionych do ich wydawania (Dz.U. z 2004 r. nr 249, poz. 2497).

Wdrożoną dyrektywę należy stosować łącznie z Ustawą o systemie oceny zgodności z 30 sierpnia 2002 r. (Dz.U. z 2002 r. nr 166, poz. 1360 ze zmianami, tekst jednolity: Dz.U. z 2004 r. nr 204 poz. 2087, istotna zmiana od 7 stycznia 2007 r. Dz.U. z 2006 r. nr 249, poz. 1834). W systemie tym Polski Komitet Normalizacyjny (PKN), jako krajowa jednostka normalizacyjna, reprezentuje interesy Polski w Europejskim Komitecie Normalizacyjnym (CEN).

Przed wprowadzeniem wyrobu do obrotu na rynku unijnym i przed umieszczeniem na produkcie oznakowania CE producent musi poddać swój wyrób procedurom oceny zgodności przewidzianym w dyrektywie. Jako strona trzecia w ocenie zgodności uczestniczą jednostki notyfikowane wyznaczone przez państwa członkowskie spośród podmiotów spełniających wymagania podane w dyrektywie.

W przypadku tarcicy sortowanej wytrzymałościowo (drewna litego) obowiązuje system potwierdzenia zgodności 2+. Polega on na deklarowaniu zgodności wyrobu przez producenta i certyfikacji przez jednostkę notyfikowaną zakładowego systemu kontroli produkcji (ZKP/FPC) z ciągłym nadzorem jednostki notyfikowanej. W przypadku produkcji elementów klejonych obowiązuje system potwierdzenia zgodności 1, w którym dokonuje się przede wszystkim certyfikacji zgodności samego wyrobu przez notyfikowaną jednostkę certyfikującą.

Zakładowa kontrola produkcji (ZKP lub FPC – *Faktory Production Control*) oznacza stałą wewnętrzną kontrolę produkcji prowadzoną przez producenta. Wszystkie elementy, wymagania i postanowienia zastosowane przez producenta muszą być systematycznie dokumentowane w formie sporządzonej na piśmie polityki firmy i procedur. Zakładowa kontrola produkcji jest wymagana we wszystkich systemach potwierdzania zgodności. Oznacza to, że żaden wyrób budowlany z oznakowaniem CE nie trafi do obrotu, jeśli jego producent nie posiada zakładowego systemu kontroli produkcji.

Wstępne badanie typu (ITT – *Initial Type Testing*) jest to pełen zestaw badań lub innych procedur opisanych w zharmonizowanej specyfikacji technicznej, przeprowadzanych w celu określenia właściwości użytkowych próbek wyrobów reprezentatywnych dla wyrobów danego typu. Za pomocą takiego badania sprawdza się, czy wyrób jest zgodny ze zharmonizowaną specyfikacją techniczną, i określa, jak wyglądają wszystkie zharmonizowane właściwości, jakie należy zadeklarować. Aby umieścić na wyrobie oznakowanie CE, zgodnie z dyrektywą CPD producenci muszą dysponować materiałem dowodowym ze wstępnego badania typu, wykonanego przez nich lub jednostkę notyfikowaną, w zależności od systemu potwierdzania zgodności, jaki należy zastosować w przypadku danego wyrobu. Aczkolwiek pojęcie „wstępne badanie typu” nawiązuje do badań, niekoniecznie musi się z nimi wiązać. W wielu zharmonizowanych specyfikacjach technicznych mówi się o innych procedurach. Przykładowo może być to klasyfikacja bez konieczności dalszego badania (CWFT – *Classification Without Further Testing*). Jest to procedura, w której ramach konkretna właściwość użytkowa wyrobu jest początkowo wykazywana za pomocą badań w taki sposób, że producenci mogą powoływać się na tę właściwość bez konieczności przeprowadzania dalszych badań (inne parametry, np. gęstość, mogą wymagać badań i sprawdzenia).

Ogólne stwierdzenia i wytyczne zawarte w Dyrektywie Rady 89/106/EWG są dla tarcicy konstrukcyjnej sortowanej wytrzymałościowo doprecyzowane w normie zharmonizowanej EN 14081-1:2005+A1:2011. W normie tej opisano między innymi:

- a) podstawowe terminy i definicje;
- b) wymagania
 - ogólne, dotyczące zasad sortowania wizualnego,
 - dotyczące zasad sortowania maszynowego,
 - dotyczące trwałości biologicznej,
 - dotyczące reakcji na ogień,
 - zasady oceny zgodności;

- c) podstawowe zasady przeprowadzania wstępnego badania typu (WBT);
- d) podstawowe zasady opracowywania, wdrożenia i prowadzenia Zakładowej Kontroli Produkcji (ZKP);
- e) zasady oznakowania CE i etykietowania;
- f) procedurę oceny zgodności (2+), w załączniku ZA;
- g) podstawy wystawiania deklaracji zgodności WE.

4.2. Sortowanie wizualne tarcicy według projektu normy krajowej PN-D-94021:2013

4.2.1 Zakres normy, podstawowe określenia i wymagania

Projekt normy PN-D-94021:2013 w odróżnieniu od jej poprzedniczki PN-D-94021:1982 uwzględnia wszystkie wymagania PN-EN 14081-1:2007. Zmiany w stosunku do przestarzałej normy PN-D-94021:1982 polegają na:

- wprowadzeniu bardziej przejrzystych oznaczeń,
- poszerzeniu zakresu stosowania na łąty, belki i krawędziaki,
- zaokrągleniu niektórych kryteriów sortowniczych (kryterium dotyczącego zgnilizny i chodników owadzych),
- wprowadzeniu kryterium twardzicy i minimalnej gęstości,
- wprowadzeniu nowych tolerancji wymiarowych,
- uproszczeniu oceny krzywizn,
- uściśleniu zasad pomiaru pęknięć,
- powołaniu aktualnych norm dotyczących pomiaru wymiarów i miąższości, wilgotności, naturalnej trwałości na czynniki biotyczne, odporności na ogień itd.

Przedmiotem projektu normy PN-D-94021:2013 jest tarcica iglasta szorstka lub strugana, sucha lub mokra, o grubości od 22 mm (warunkowo od 19 mm) i minimalnym przekroju poprzecznym co najmniej 2000 mm². Norma obejmuje tarcicę produkowaną z drewna:

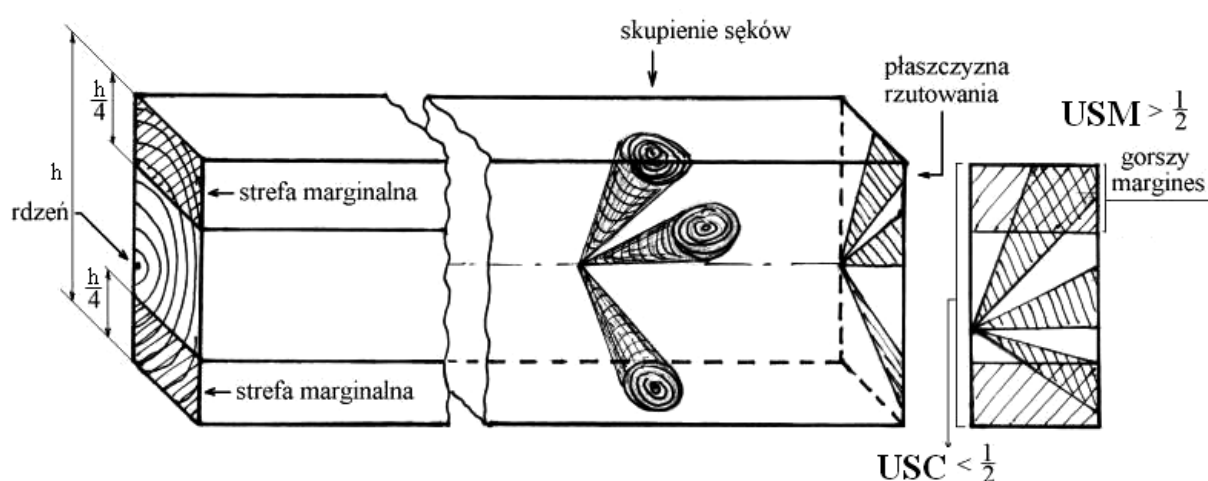
- sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L., Scots pine, Kiefer, pin sylvestre, PNSY (PN-EN 13556:2005),
- świerka pospolitego *Picea abies* (L.) Karst, Norway spruce, Fichte, épicéa, PCAB (PN-EN 13556:2005),
- jodły pospolitej *Abies alba* Mill., silver fir, Tanne, sapin blanc, ABAL (PN-EN 13556:2005),
- modrzewia europejskiego *Larix decidua* Mill., European larch, Lärche, mélèze d'Europa, LADC (PN-EN13556:2005),

- daglezi zielonej, jedlicy zielonej *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, Douglas fir, Douglasie, Douglas, PSMN (PN-EN 13556:2005).

W omawianej normie opisane są zasady klasyfikacji tarcicy przy sortowaniu wytrzymałościowym metodą wizualną. Podano w niej również wymagania dotyczące wilgotności, wymiarów, jakości i oznakowania tarcicy konstrukcyjnej, a także określono sposób badania tych cech.

Norma ta wprowadza następujące określenia:

- tarcica konstrukcyjna iglasta sortowana wytrzymałościowo to tarcica sortowana na podstawie jej cech lub parametrów wytrzymałościowych oraz wad obróbki do zastosowania konstrukcyjnego;
- strefa marginalna to strefa boczna, występująca na całej długości każdego z boków tarcicy, o szerokości równej $1/4$ szerokości płaszczyzny (rys. 40);
- przekrój poprzeczny najgorszy to przekrój umowny, poprowadzony w miejscu największego skupienia wad drewna, zwłaszcza sęków występujących w strefach marginalnych tarcicy, stanowiący płaszczyznę rzutowania sęków (rys. 40);
- wskaźnik sękatości to wskaźnik charakteryzujący udział sęków na powierzchni przekroju poprzecznego najgorszego tarcicy; w zależności od położenia sęków na przekroju poprzecznym tarcicy rozróżnia się
 - wskaźnik sękatości strefy marginalnej (USM) odnoszący się do jednej z dwóch stref marginalnych, tj. do tej, w której sęki zajmują największą powierzchnię (jest to tzw. gorszy margines),
 - ogólny wskaźnik sękatości (USC) odnoszący się do całego przekroju poprzecznego tarcicy.



Rysunek 40. Zasady rzutowania sęków z wydzieleniem stref marginalnych i wyznaczeniem „gorszego marginesu”

Sortowaną tarcicę dzieli się w zależności od gatunku drewna, wilgotności drewna, wymiarów przekroju poprzecznego, przyjętej metody sortowania oraz jakości drewna i jakości obróbki. Według pierwszego kryterium wyróżnia się tarcicę: sosnową (PNSY), świerkową (PCAB), jodłową (ABAL), modrzewiową (LADC) i daglezjową (PSMN). W partii tarcicy przeznaczonej do sortowania metodą wizualną nie należy łączyć ze sobą różnych gatunków drewna, a w szczególności tarcicy jodłowej ze świerkową. W przypadku sortowania partii tarcicy metodami maszynowymi łączenie takie jest dopuszczalne za zgodą stron.

Ze względu na wilgotność drewna tarcicę konstrukcyjną dzieli się na: suchą – o wilgotności równej lub niższej od 20%, oraz mokrą – o wilgotności powyżej 20%. Ze względu na wymiary przekroju poprzecznego tarcicę konstrukcyjną dzieli się na: deski, bale, łaty, krawędziaki i belki (tab. 12).

Tabela 12. Podział tarcicy konstrukcyjnej w zależności od wymiarów przekroju poprzecznego

Sortyment	Grubość, b [mm]	Stosunek szerokości (h) do grubości (b)
Deski	$22 \leq b < 50$	$h/b \geq 2$
Bale	$50 \leq b < 100$	$h/b \geq 2$
Łaty	$30 \leq b < 100$	$1 \leq h/b < 2$
Krawędziaki	$b \geq 100$	$1 \leq h/b < 2$
Belki	$b \geq 100$	$h/b \geq 2$

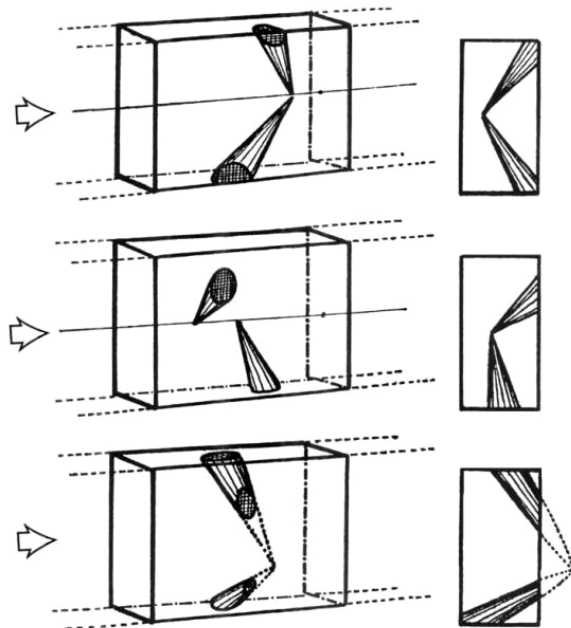
Według przyjętej metody sortowniczej rozróżnia się tarcicę sortowaną metodami wizualnymi i maszynowymi. Według ostatniego kryterium, iglastą tarcicę konstrukcyjną dzieli się na trzy klasy jakości. Jeżeli jest sortowana metodą wizualną, to klasy te oznacza się następująco: **KW** – klasa wyborowa, **KS** – klasa średniej jakości, **KG** – klasa gorszej jakości.

Każdą sztukę tarcicy należy zakwalifikować do określonej klasy jakości, przy czym powinna być ona uporządkowana według gatunków drewna, wymiarów przekroju poprzecznego i poziomu wilgotności. Tarcicę konstrukcyjną, którą już po klasyfikacji jakościowej skrócono, zwężono lub przestrugano, należy powtórnie poddać czynnościom sortowniczym, oprócz przypadków, gdy nie przekroczono tolerancji wymiarowej. Zaleca się również, aby tarcicę sortowaną na mokro, po wyschnięciu do wilgotności poniżej 20%, ponownie poddać czynnościom sortowniczym. Przesortowana tarcica powinna być czytelnie oznakowana (sposób znakowania dokładnie precyzuje norma PN-EN 14081-1:2007).

4.2.2. Pomiar wad i pozostałych cech przy sortowaniu tarcicy metodą wizualną

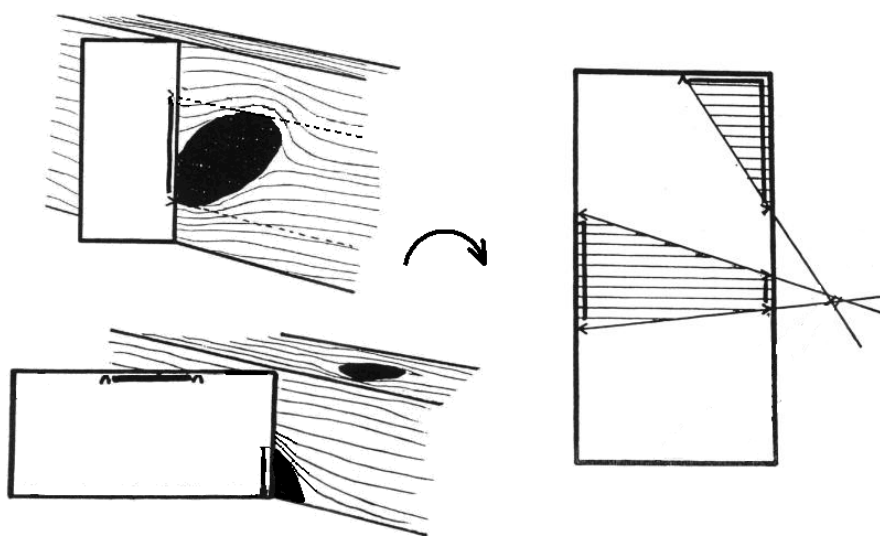
Ogólne zasady klasyfikacji wizualnej są takie, że w danej sztuce tarcicy staramy się odnaleźć najslabszy przekrój (najczęściej jest to przekrój, w którym występuje największe nagromadzenie wad, np. sęków). Wytrzymałość tego najslabszego przekroju będzie decydowała o wytrzymałości całej sztuki tarcicy. Oceniając najslabszy przekrój, oceniamy tym samym tarcicę na całej jej długości, nadając jej odpowiednią klasę, lub traktujemy jako odrzut (sztukę pozaklasową, nienadającą się do celów konstrukcyjnych). Przy sortowaniu wizualnym brane są pod uwagę takie wady i cechy strukturalne drewna, jak: sęki, pęknięcia, słoistość, skręt włókien, obecność zgnilizny i chodników owadzych oraz wady obróbki i kształtu, takie jak obliny i krzywizny.

Najistotniejszym kryterium decydującym o klasie wytrzymałościowej tarcicy są **sęki**. Przy rozpatrywaniu sęków należy brać pod uwagę najgorszy przekrój poprzeczny (okółek) w sztuce tarcicy, bez względu na jego odległość od czoła tarcicy. Dla wybranego sękatego przekroju należy określić współczynniki sękatości, na przykład poprzez ich rzutowanie na bliższe czoło tarcicy (rys. 41). Pomiarowi podlegają wszystkie sęki (dopuszcza się pominięcie tylko tych o średnicy poniżej 5 mm), które składają się na największe skupienie w klasyfikowanej sztuce tarcicy. Wyznaczają one najgorszy (najslabszy) przekrój poprzeczny. W przypadku niepewności lub sporu należy wykonać naturalnej wielkości rysunek rozmieszczenia sęków w rozpatrywanym przekroju. Zasady wykonania rysunku są następujące:

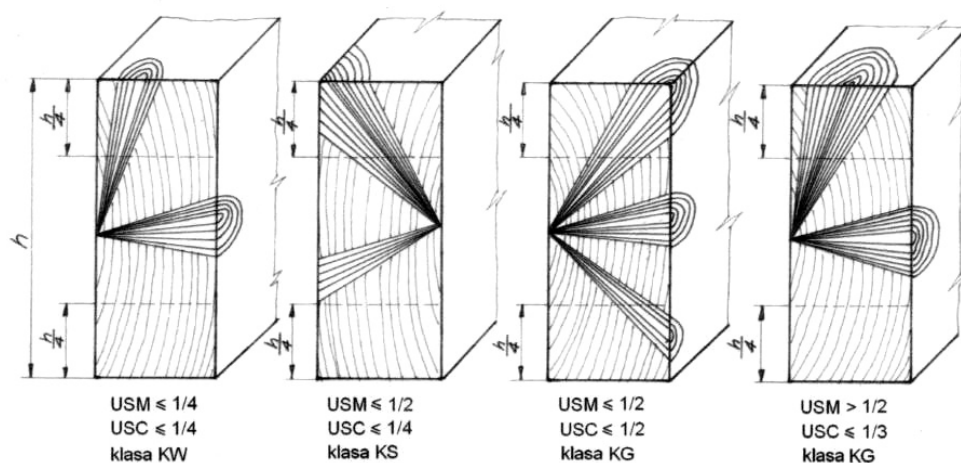


Rysunek 41. Przykłady rzutowania sęków w zależności od ich występowania w tarcicy

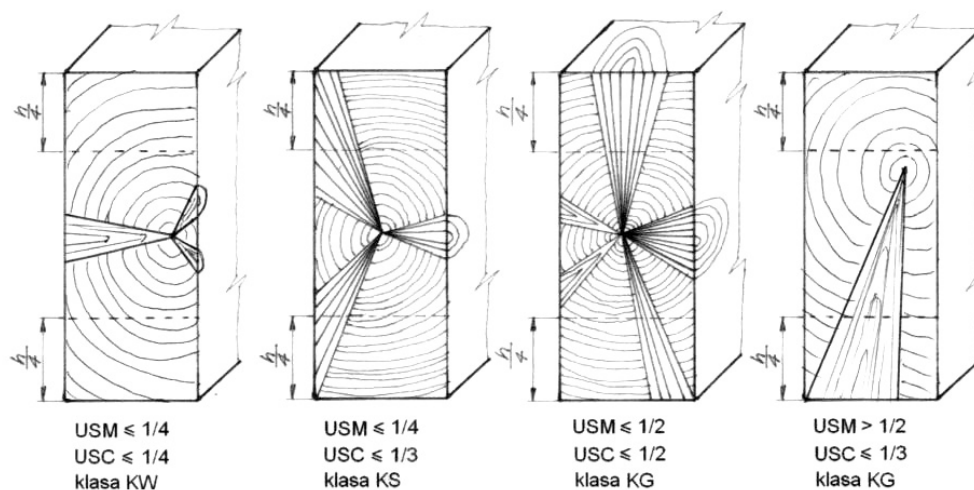
- a) na obrysie przekroju poprzecznego tarcicy z naniesionymi strefami marginalnymi (na tzw. płaszczyźnie rzutowania) zaznacza się parą punktów wymiary średnicy każdego sęka spośród rysowanego skupienia – w tym celu możemy posłużyć się kartką papieru o wymiarach przekroju poprzecznego tarcicy (rys. 42);
- b) średnica sęka na boku lub płaszczyźnie tarcicy mierzona jest pomiędzy stycznymi do jego obwodu, poprowadzonymi równoległe do podłużnej osi sztuki (rys. 42); w sękach wychodzących na krawędź mierzy się odległość między styczną do obwodu sęka a krawędzią;
- c) punkty wyznaczające średnicę sęków na boku lub płaszczyźnie sztuki łączy się liniami prostymi z rdzeniem (rys. 42), którego sposób występowania wpływa na kształt zarysu sęków na rysunku przekroju poprzecznego
 - rdzeń otwarty, sęki przybierają kształt wydłużonych stożkowych kołków zwróconych wierzchołkami w kierunku tej podłużnej płaszczyzny tarcicy, na której występuje rdzeń (rys. 43),
 - rdzeń zamknięty, sęki przybierają kształt stożkowych kołków zwróconych ku głębszym warstwom drewna (rys. 44); w przypadku trudności z ustaleniem głębokości zalegania rdzenia przyjmuje się jego domniemane położenie na podstawie wyglądu bliższego czoła tarcicy,
 - rdzeń występuje poza sztuką tarcicy, sęki przybierają kształt kołków stożkowych ściętych, zwróconych zwiężając się częścią ku niewidocznemu rdzeniowi, którego domniemane położenie ustalono na podstawie krzywizny słoików rocznych (rys. 45).



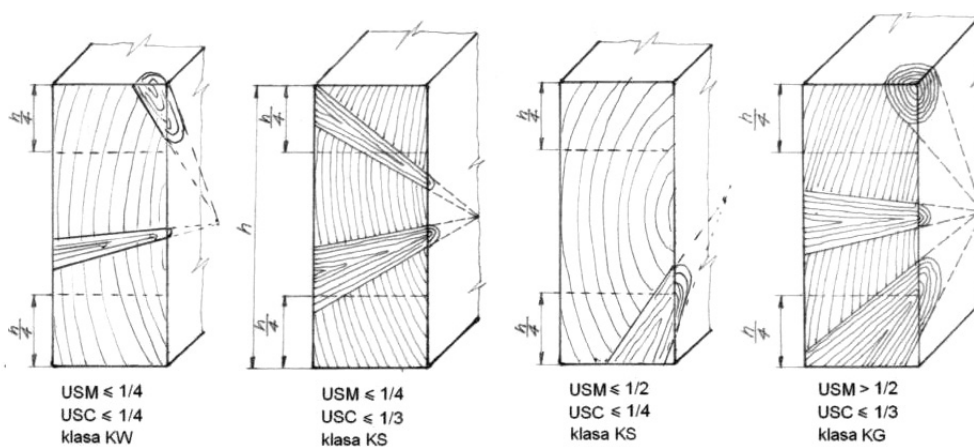
Rysunek 42. Sposób posługiwania się kartką papieru przy rzutowaniu sęków z płaszczyzn i boków na czoła tarcicy



Rysunek 43. Przykłady określania sękatości w tarcicy z rdzeniem otwartym



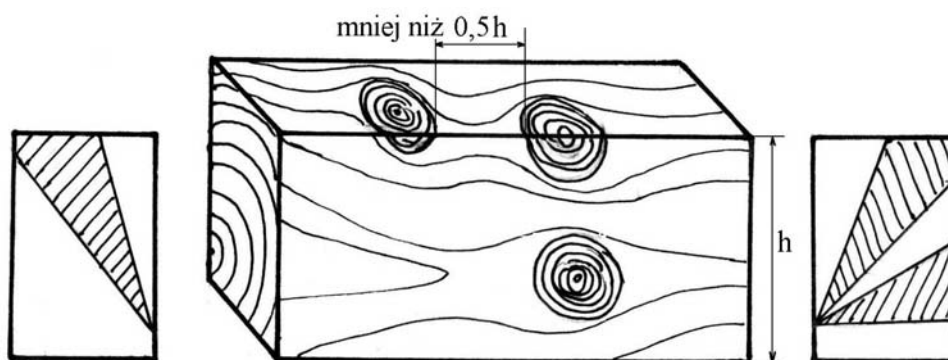
Rysunek 44. Przykłady określania sękatości w tarcicy rdzeniem zamkniętym



Rysunek 45. Przykłady określania sękatości w tarcicy z rdzeniem poza sztuką

Przyjęte zasady graficznego określania sękatości przekroju poprzecznego tarcicy oparto na założeniu, że wszystkie sęki, jako wrośnięte w drewno pnia nasady gałęzi, mają kształt stożkowych kołków, stykających się wierzchołkami w rdzeniu. Porównując na wykonanym w ten sposób rysunku powierzchnię zajęta przez sęki do całej powierzchni przekroju, ustala się ogólny wskaźnik sękatości (USC). Przyrównując powierzchnię zajęta przez sęki występujące w strefie marginalnej do powierzchni przekroju poprzecznego tej strefy, ustala się marginalny wskaźnik sękatości (USM).

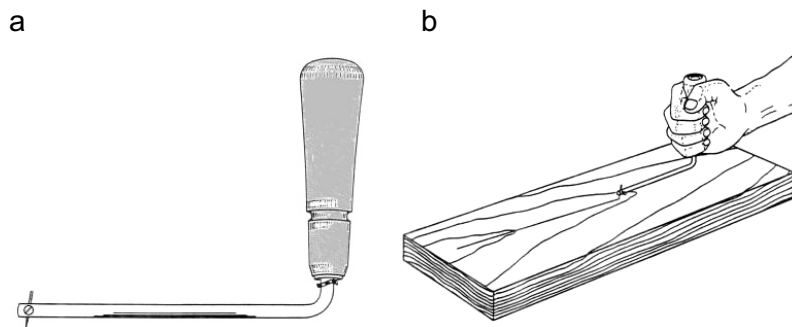
W przypadku elementów o przekroju zbliżonym do kwadratu należy wyznaczyć cztery marginesy i wśród nich wybrać ten najgorszy. Analizując sęki, należy też brać pod uwagę możliwość wystąpienia tzw. kumulacji. Kumulacji podlegają dwa pojedyncze sęki lub dwa oddzielne skupienia sęków, jeżeli rozmiary każdego z nich, rozpatrywanego z osobna, mogą stanowić podstawę klasyfikacji oraz najmniejsza, mierzona wzdłuż włókien drewna, odległość między nimi nie jest większa niż połowa szerokości tarcicy (rys. 46).



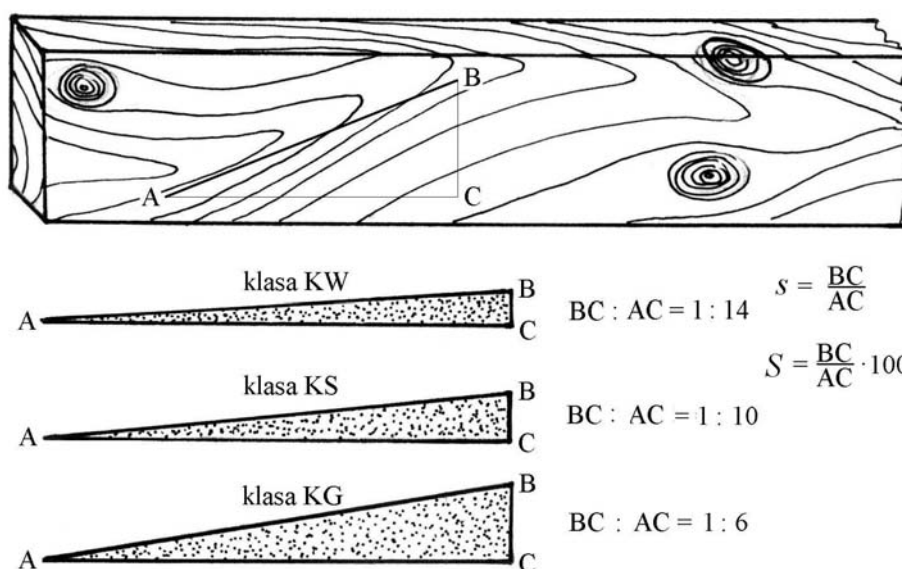
Rysunek 46. Przykład występowania kumulacji sęków

Tarcicę wstępnie zakwalifikowaną na podstawie oględzin większego z sęków pojedynczych lub większego z oddzielnych skupień należy, po dokonaniu zabiegu kumulacji, przeklasyfikować do klasy niższej lub odrzucić z klasy najniższej.

Występowanie **skrętu włókien** powinno być wykrywane za pomocą specjalnego rylca (rysaka) wykonanego z wygiętego pręta, który na jednym końcu zaopatrzony jest w obrotowy uchwyt, a na drugim w spiczaste zakończenie (np. cienką igłę). Projekt normy PN-D-94021:2013 oraz PN-EN 1310:2000 podaje sposób posługiwania się rysakiem. Po wywarceniu odpowiedniego nacisku ręką na uchwyt przyrządu igła zagłębia się w drewnie, a jej ruch przy prowadzeniu rylca wzdłuż tarcicy pomiędzy skupieniami sęków (z pominięciem zawojów) wyznacza rzeczywisty przebieg włókien (rys. 47). Należy mierzyć odchylenie włókien od podłużnej osi sztuki tarcicy i wyrażać je w centymetrach na metr (s) lub w procentach (S) – rysunek 48. Do szybkiej oceny wielkości skrętu włókien, dopuszczalnej w poszczególnych klasach jakości, mogą posłużyć wykonane wcześniej szablony (rys. 48).



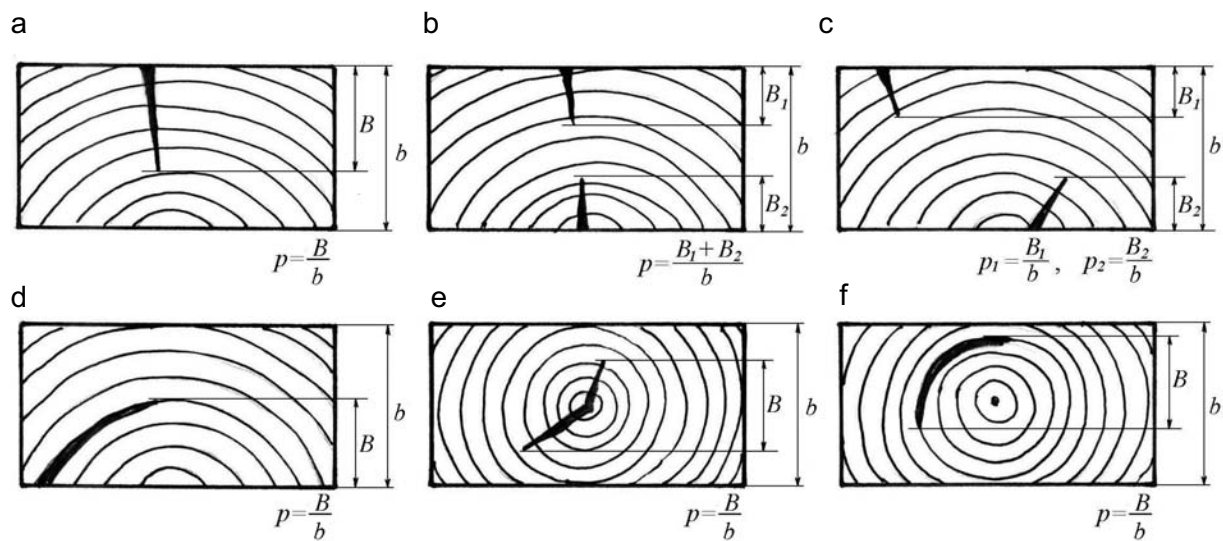
Rysunek 47. Pomiar skrzywienia włókien: a) rysak z obrotową rączką do określania skrzywienia włókien w drewnie, b) sposób posługiwania się rysakiem,



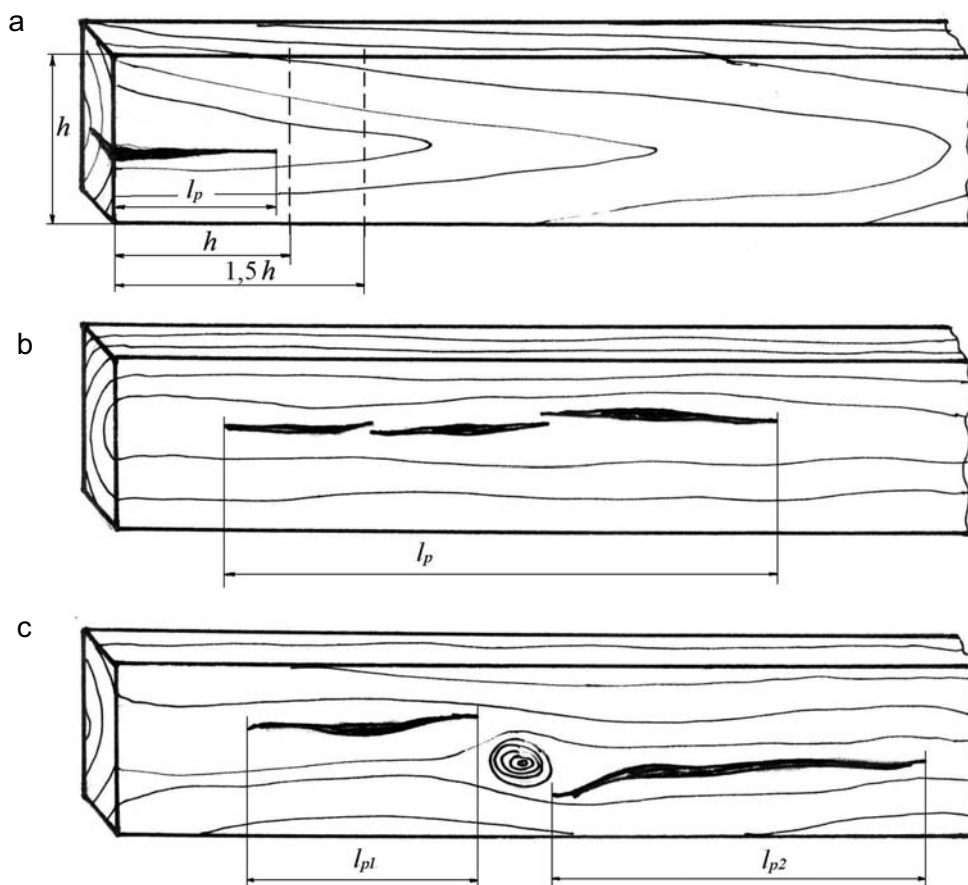
Rysunek 48. Pomiar skrzywienia włókien (do oceny klasy tarcicy można wykorzystać gotowe szablony)

Pęknięcia występujące w tarcicy konstrukcyjnej dzieli się na występujące na czole i nieprzechodzące na czoło. Przy pęknięciach bierze się pod uwagę ich głębokość i długość. Głębokość określa się za pomocą szczelinomierza (grubość listka mierniczego 0,2 mm). Przykłady występowania i sposób pomiaru pęknięć na przekroju poprzecznym tarcicy przedstawiono na rysunku 49, a na przekrojach podłużnych – na rysunku 50.

Za wymiar (głębokość) pęknięcia pojedynczego przyjmuje się odległość między stycznymi poprowadzonymi równolegle do szerszych płaszczyzn tarcicy a odpowiednią krawędzią poprzeczną (rys. 49a, d, e, f). Przy symetrycznym usytuowaniu pęknięć na przeciwległych płaszczyznach lub bokach wymiary tych pęknięć są sumowane (rys. 49b). Jeśli pęknięcia są ułożone niesymetrycznie, to głębokość każdego z nich jest oceniana nienależnie (rys. 49c). Wymiar, tj. głębokość (p) pęknięcia pojedynczego lub sumę wymiarów pęknięć symetrycznych, wyraża się w odniesieniu do grubości tarcicy.



Rysunek 49. Pomiar głębokości pęknięć w tarcicy: a – pęknięcie pojedyncze proste, b – pęknięcia symetryczne mierzone łącznie, c – pęknięcia mierzone oddzielnie, d – pęknięcie pojedyncze łukowe, e, f – pęknięcia czołowe

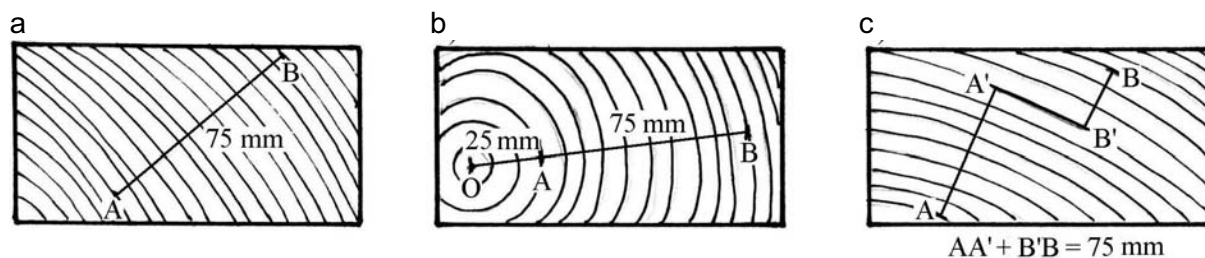


Rysunek 50. Pomiar długości pęknięć w tarcicy: a – pęknięcie przechodzące na czoło, b – pęknięcia na płaszczyźnie mierzone łącznie, c – pęknięcia na płaszczyźnie mierzone oddzielnie

Za długość pojedynczego pęknięcia widocznego na płaszczyźnie lub boku przyjmuje się odległość między liniami stykającymi się z końcami tego pęknięcia, poprowadzonymi równoległe do płaszczyzn czoł tarcicy (rys. 50). W zależności od wzajemnego usytuowania i przebiegu pęknięć mogą być one (ich długość) rozpatrywane łącznie lub niezależnie.

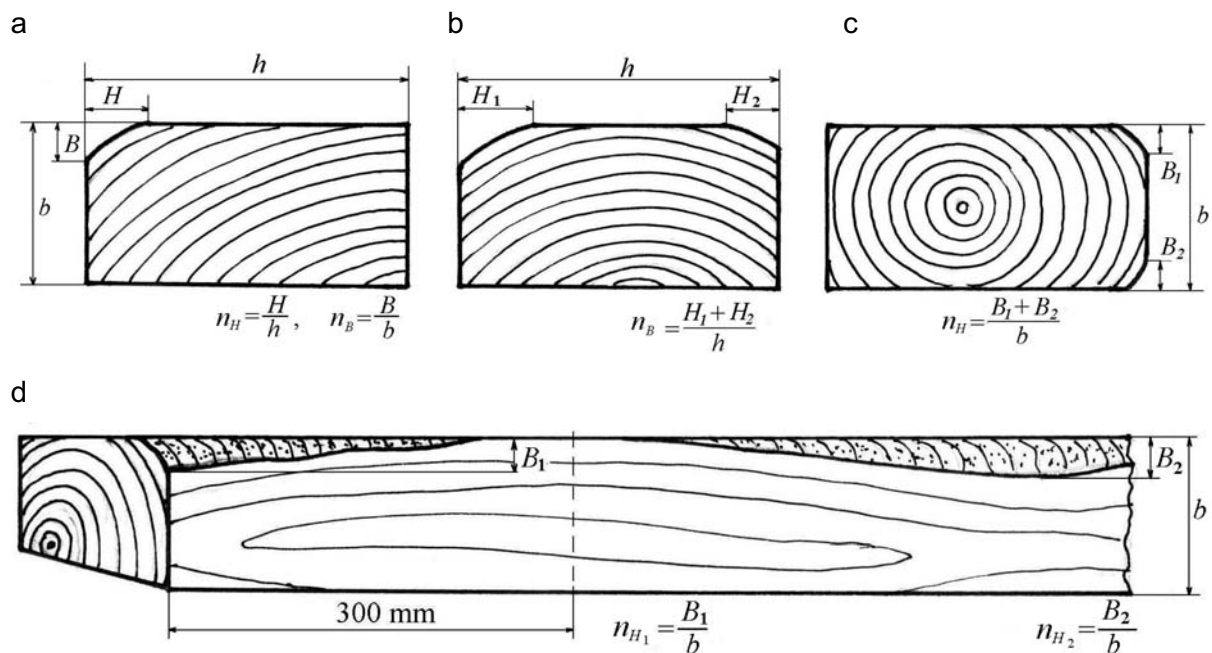
W ten sam sposób jak pęknięcia mierzy się pęcherze żywiczne, zakorki i zabitki.

Pomiaru **słoistości** dokonuje się na jednym z czoł tarcicy, wzdłuż linii wyznaczającej kierunek promieniowy. Za miarę słoistości przyjmuje się przeciętną szerokość przyrostów rocznych ustaloną na określonej długości odcinka pomiarowego. Jeżeli jest to możliwe, to długość odcinka pomiarowego powinna wynosić około 75 mm, obejmując całkowitą liczbę przyrostów rocznych (rys. 51a). W tarcicy rdzeniowej nie podlegają pomiarowi słoje odległe od rdzenia mniej niż o 25 mm (rys. 51b). Gdy nie da się poprowadzić na czole tarcicy w kierunku promieniowym jednej linii pomiarowej długości 75 mm, to słoistość należy ocenić na kilku krótszych odcinkach (rys. 51c).



Rysunek 51. Pomiar słoistości w tarcicy: a – bezrdzeniowej, b – rdzeniowej, c – w której nie da się poprowadzić w kierunku promieniowym jednej linii długości 75 mm

Przy sortowaniu wytrzymałościowym tarcicy metodą wizualną brane są również pod uwagę wady kształtu i obróbki, na przykład **obliny**. Obliny mierzy się na płaszczyźnie i na boku (rys. 52a). Łączną szerokość oblin (n_b), ciągnących się wzdłuż obu krawędzi jednej płaszczyzny, wyraża się ułamkiem szerokości tarcicy (rys. 52b). Analogicznie łączną szerokość oblin (n_H), ciągnących się wzdłuż obu krawędzi jednego boku, odnosi się do grubości tarcicy (rys. 52c). Istotnym kryterium jest umiejscowienie oblin na długości tarcicy. Ostrzej traktowane są obliny położone na odcinku do 300 mm od czoł, łagodniej – w większym oddaleniu od końców tarcicy. Za szerokość obliny, widocznej na boku lub płaszczyźnie, przyjmuje się najgorszy przypadek – ten przekrój, w którym szerokość ta jest największa (rys. 52d).



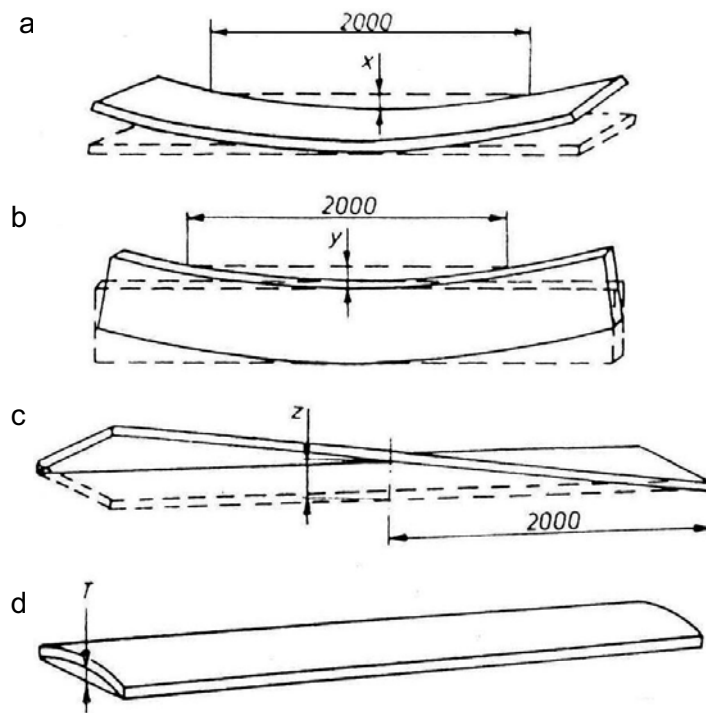
Rysunek 52. Pomiar oblin: a – pojedynczej, b – dwóch na płaszczyźnie, c – dwóch na boku, d – na czole i położonych dalej od czół

Wady kształtu tarcicy, będące następstwem niewłaściwie przeprowadzonej hydrotermicznej obróbki drewna (suszenia, sezonowania), ograniczają zastosowanie w konstrukcjach ze względów montażowych. Dopuszczalny rozmiar występowania tych wad jest więc jednakowy, niezależnie od klasy jakości tarcicy sortowanej metodami wytrzymałościowymi.

Pomiar **odkształceń desorpcyjnych** jest następujący:

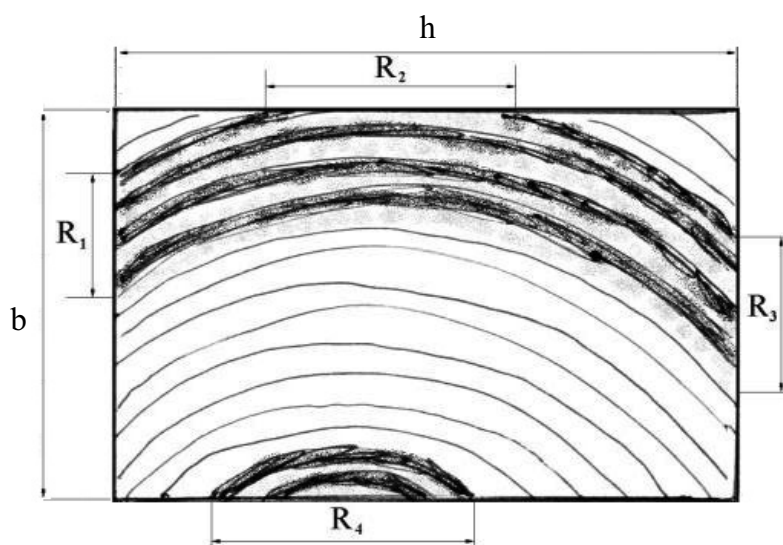
- krzywizna podłużna płaszczyzn tarcicy (rys. 53a) mierzona jest na odcinku 2 m, a strzałkę krzywizny (x) wyraża się w milimetrach;
- krzywizna podłużna boków tarcicy (rys. 53b) mierzona jest na odcinku 2 m, a wielkość spaczenia (y) wyraża się w milimetrach;
- wichrowatość (rys. 53c) mierzona jest w milimetrach na odcinku 2 m, jako największe odchylenie (z) płaszczyzny tarcicy od poziomu, i wyrażona jest w procentach szerokości sztuki;
- krzywizna poprzeczna płaszczyzn (rys. 53d) mierzona jest na czole tarcicy, a strzałkę krzywizny (T), zmierzona w milimetrach, wyraża się w procentach szerokości sztuki.

Wielkość dopuszczalnej krzywizny podłużnej płaszczyzn jest uzależniona od klasy tarcicy. Kolejne wady desorpcyjne – wichrowatość i krzywizna poprzeczna płaszczyzn – są uzależnione od szerokości tarcicy.



Rysunek 53. Pomiar odkształceń desorpcyjnych: a) krzywizna podłużna płaszczyzn, b) krzywizna podłużna boków, c) wichrowatość, d) krzywizna poprzeczna płaszczyzn

Jeśli stwierdzono obecność drewna reakcyjnego, to wykonuje się pomiar i obliczenia jego udziału (R) według rysunku 54. Należy odnaleźć przekrój poprzeczny tarcicy, w którym udział drewna reakcyjnego jest największy. Szerokość strefy drewna reakcyjnego (twardzicy) zmierzonej na jednej płaszczyźnie i na jednym boku odnosi się do obwodu przekroju poprzecznego tarcicy.



$$R = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}{2(b + h)}$$

Rysunek 54. Pomiar twardzicy

4.2.3. Zestawienie wad dopuszczonych z ograniczeniem w iglastej tarcicy konstrukcyjnej według projektu PN-D-94021:2013

W tabeli 13 w ujęciu syntetycznym podane są ograniczenia dotyczące dopuszczalności wad w poszczególnych klasach tarcicy konstrukcyjnej sortowanej metodą wizualną (KW, KS, KG). Pozostałe wymagania, dotyczące tarcicy konstrukcyjnej sortowanej wizualnie, podano w tabeli 14.

Tabela 13. Charakterystyka klas jakości tarcicy konstrukcyjnej sortowanej metodą wizualną w zależności od cech strukturalnych i geometrycznych według projektu PN-D-94021:2013

Kryterium klasyfikacji	Wymagania w zależności od klasy jakości tarcicy				
	KW	KS		KG	
1	2	3		4	
Sęki bez względu na jakość wyrażone wskaźnikiem sękatości: a) w strefie marginalnej USM* b) na całym przekroju USC		wariant 1	wariant 2	wariant 1	wariant 2
	≤ 1/4	≤ 1/4	≤ 1/2	≤ 1/2	> 1/2
	≤ 1/4	≤ 1/3	≤ 1/4	≤ 1/2	≤ 1/3
Skręt włókien (ukośny przebieg włókien) CB : AB	≤ 7% (1 : 14)	≤ 10% (1 : 10)		≤ 16% (1 : 6)	
Pęknięcia, pęcherze żywiczne, zakorki i zabitki: a) nieprzechodzące na czoła, boki i przeciwną płaszczyznę b) czołowe nieprzechodzące, przechodzące i okrężne	dopuszczalne, długości do 1/4 długości sztuki i nie większe niż				
	600 mm			900 mm	
	o głębokości do 1/3 grubości sztuki	o głębokości do 1/2 grubości sztuki		o głębokości do 2/3 grubości sztuki	
	dopuszczalne, długości do 1 szerokości sztuki			dopuszczalne, długości do 1,5 szerokości sztuki	
Sinizna	dopuszczalna				
Zgnilizna	niedopuszczalna				
Chodniki owadzie	niedopuszczalne				
Drewno reakcyjne (twardzica)	≤ 1/5 obwodu	≤ 2/5 obwodu		≤ 3/5 obwodu	
Przeciętna szerokość słoików	≤ 4 mm	≤ 6 mm		≤ 10 mm	
Gęstość** minimalna sztuki tarcicy przy wilgotności 20%	≥ 450 kg·m ⁻³	≥ 420 kg·m ⁻³		≥ 400 kg·m ⁻³	
Oblina	na całej długości dwóch krawędzi jednej płaszczyzny, zajmująca łącznie nie więcej niż 1/4 grubości i 1/4 szerokości			a) w odległości do 300 mm od czoł do 1/3 grubości i 1/3 szerokości sztuki b) w odległości powyżej 300 mm od czoł do 1/2 grubości i 1/3 szerokości sztuki	

Tabela 13, cd.

1	2	3	4
Krzywizna podłużna płaszczyzn	≤ 10 mm		≤ 20 mm
Krzywizna podłużna boków	≤ 8 mm		≤ 12 mm
Wichrowatość w odniesieniu do szerokości	≤ 1 mm / 25 mm		≤ 2 mm / 25 mm
Krzywizna poprzeczna w odniesieniu do szerokości	≤ 1 mm / 25 mm		≤ 2 mm / 25 mm

*Dla krawędziaków i belek należy brać pod uwagę marginesy wyznaczone od każdej z czterech powierzchni podłużnych tarcicy.

**Nie bierze się pod uwagę gęstości, jeżeli spełnione jest kryterium słoistości.

Tabela 14. Pozostałe wymagania wobec tarcicy konstrukcyjnej sortowanej metoda wizualną

Cecha	Opis
Gatunek drewna	sosna (PNSY), świerk (PCAB), jodła (ABAL), modrzew (LADC), daglezja (PSMN)
Wilgotność	tarcica sucha o wilgotności równej j 20% lub mniejszej, lub tarcica mokra o wilgotności powyżej 20%
Wymiary	tarcica obrzynana szorstka lub strugana (łaty, deski, bale, krawędziaki i belki) o grubości minimalnej 22 mm (warunkowo o grubości nie mniejszej niż 19 mm) i minimalnym polu przekroju poprzecznego 2000 mm ²
Dokładność obróbki	rysy, falistość rzazu, nierównoległość płaszczyzn i boków, nieprostokątność czół – w granicach dopuszczalnych odchyłek grubości i szerokości
Oznaczenie	według EN 14081-1:2005+A1:2011 obowiązkowo muszą być: znak zgodności WE, numer identyfikacyjny jednostki certyfikowanej, numer certyfikatu ZKP, nazwa i adres producenta, numer normy, opis wyrobu (oznaczenie wilgotności, kod gatunkowy, klasa)

Pomiar wilgotności należy przeprowadzić, posługując się wilgotnościomierzem regularnie sprawdzanym i kalibrowanym, zgodnie z instrukcją producenta przyrządu, a w przypadku sporu pomiar należy przeprowadzić metodą suszarkowo--wagową. Norma PN-EN 336:2004 zaleca, aby pomiaru wilgotności dokonywać w punkcie nie bliższym niż 1 m od któregośkolwiek z czół lub w środku elementu, jeżeli jego długość jest mniejsza niż 2 m. Jeżeli używa się elektrycznego wilgotnościomierza z sondami, to powinny być one izolowane, a ich zagłębienie powinno być nie mniejsze niż 20 mm lub jedna czwarta grubości tarcicy, jeśli jest ona mniejsza niż 20 mm.

Tarcica konstrukcyjna powinna charakteryzować się właściwą dokładnością wymiarową. Wielkości dopuszczalnych odchyłek wymiarowych podane są w normie PN-EN 336:2004. Norma ta za wilgotność odniesienia przyjmuje wilgotność drewna równą 20%. Od wymiarów tarcicy (tzw. wymiarów docelowych) przy wilgotności 20% ustalane są odchyłki. Inaczej mówiąc, odchyłka jest to różnica między wymiarem rzeczywistym a odpowiednim wymiarem docelowym. Jeśli nie ma innych wytycznych, to należy przyjąć, że grubość i szerokość elementu drewna wzrasta

o 0,25% na każdy 1,0% wilgotności w zakresie od 20 do 30% oraz maleje o 0,25% na każdy 1,0% wilgotności poniżej 20%. Powyższe wartości są uznawane za typowe, niezależnie od gatunku drewna.

W dowolnym przekroju każdego elementu drewna w tzw. 1 klasie tolerancji, jego rzeczywista grubość i rzeczywista szerokość może wykazywać odchyłkę od wymiarów docelowych (skorygowaną o zmiany spowodowane zmianami wilgotności) nie większą niż:

- dla grubości i szerokości ≤ 100 mm (od -1 do $+3$ mm),
- dla grubości i szerokości > 100 mm (od -2 do $+4$ mm),
- dla długości odchyłki ujemne nie są dopuszczalne, a jeśli nadmierna długość elementu jest niewskazana, to zleca się określenie długości granicznej w umowie.

W normie PN-EN 336:1995 zdefiniowana jest też 2 klasa tolerancji stosowana do tarcicy sortowanej wytrzymałościowo przeznaczonej do wykonywania elementów klejonych. Wtedy rzeczywiste wymiary przekroju mogą mieć następujące odchyłki:

- dla grubości i szerokości ≤ 100 mm (od -1 mm do $+1$ mm)
- dla grubości i szerokości > 100 mm (od $-1,5$ mm do $+1,5$ mm).

Zagadnienie pozostałych wad obróbki (falisty rzaz, rysy, nieprostokątność płaszczyzn i boków oraz nieprostokątność czół) i związane z tymi wadami niedokładności wymiarowe muszą mieścić się w dopuszczalnych odchyłkach wymiarowych tarcicy.

Ze względu na opisane wyżej czynności sortownicze, a także konieczność zdefiniowania odporności ogniowej tarcicy i jej naturalnej trwałości na czynniki biotyczne projekt normy PN-D-94021:2013 powołuje normy, z którymi powinien zapoznać się i stosować brakarz (tab. 15).

Tabela 15. Normy przywołane w projekcie normy PN-D-94021:2013

Oznaczenie normy	Tytuł normy
1	2
PN-EN 336	Drewno konstrukcyjne. Wymiary, odchyłki dopuszczalne
PN-EN 338	Drewno konstrukcyjne. Klasy wytrzymałości
PN-EN 350-2	Trwałość drewna i materiałów drewnopochodnych. Naturalna trwałość drewna litego. Wytyczne dotyczące naturalnej trwałości i podatności na nasycanie wybranych gatunków drewna mających znaczenie w Europie
PN-EN 384	Drewno konstrukcyjne. Oznaczanie wartości charakterystycznych właściwości mechanicznych i gęstości
PN-EN 408	Konstrukcje drewniane. Drewno konstrukcyjne lite i klejone warstwowo. Oznaczanie niektórych właściwości fizycznych i mechanicznych

Tabela 15, cd.

1	2
PN-EN 844 do 1 do 12	Drewno okrągłe i tarcica. Terminologia
PN-EN 1309-1	Drewno okrągłe i tarcica. Metody oznaczania wymiarów. Część 1: Tarcica
PN-EN 1310	Drewno okrągłe i tarcica. Metody pomiaru cech
PN-EN 1311	Drewno okrągłe i tarcica. Metody pomiaru biologicznej degradacji
PN-EN 1312	Drewno okrągłe i tarcica. Oznaczanie objętości partii tarcicy
PN-EN 1313-1	Drewno okrągłe i tarcica. Dopuszczalne odchyłki i zalecane wymiary. Część 1: Tarcica iglasta
PN-EN 1912	Drewno konstrukcyjne. Klasy wytrzymałości. Wizualny podział na klasy i gatunki
PN-EN 1995-1-1:2010	Eurokod 5: Projektowanie konstrukcji drewnianych. Część 1-1: Zasady ogólne i zasady dla budynków
PN-EN 1995-1-2	Eurokod 5: Projektowanie konstrukcji drewnianych Część 1-2: Odporność na działanie ognia
PN-EN 13183-1	Wilgotność sztuki tarcicy. Część 1: Oznaczanie wilgotności metodą suszarkowo-wagową
PN-EN 13183-2	Wilgotność sztuki tarcicy. Część 2: Oznaczanie wilgotności za pomocą elektrycznego wilgotnościomierza oporowego
PN-EN 13501-1	Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków. Część 1: Klasyfikacja na podstawie wyników badań reakcji na ogień
PN-EN 13556	Drewno okrągłe i tarcica. Terminologia stosowana w handlu drewnem w Europie
PN-EN 13823	Badania reakcji na ogień wyrobów budowlanych. Wyroby budowlane, z wyłączeniem podłogowych, poddane oddziaływaniu termicznemu pojedynczego płonącego przedmiotu
PN-EN 14081-1	Konstrukcje drewniane. Drewno konstrukcyjne o przekroju prostokątnym sortowane wytrzymałościowo. Część 1: Wymagania ogólne
PN-EN 14081-2	Konstrukcje drewniane. Drewno konstrukcyjne o przekroju prostokątnym sortowane wytrzymałościowo. Część 2: Sortowanie maszynowe. Wymagania dodatkowe dotyczące wstępnych badań typu
PN-EN 14081-3	Konstrukcje drewniane. Drewno konstrukcyjne o przekroju prostokątnym sortowane wytrzymałościowo. Część 3: Sortowanie maszynowe. Wymagania dodatkowe dotyczące zakładowej kontroli produkcji
PN-EN 14081-4	Konstrukcje drewniane. Drewno konstrukcyjne o przekroju prostokątnym sortowane wytrzymałościowo. Część 4: Sortowanie maszynowe. Nastawy urządzeń sortujących do kontroli maszynowej
PN-EN 15228	Drewno konstrukcyjne. Drewno konstrukcyjne zabezpieczone przed korozją biologiczną
PN-ISO 2859-1:2003	Procedury kontroli wyrywkowej metodą alternatywną. Część 1: Schematy kontroli indeksowane na podstawie granicy akceptowanej jakości (AQL) stosowane do kontroli partii za partią

4.3. Sortowanie według normy brytyjskiej BS 4978:2007

Norma brytyjska BS 4978:1996 obejmuje dwie klasy jakości tarcicy sortowanej wytrzymałościowo metodą wizualną: klasę obejmującą tarcicę do celów specjalnych (tzw. klasę SS) oraz klasę gorszą, obejmującą tarcicę ogólnokonstrukcyjną (tzw. klasę GS). Oznaczenia poszczególnych gatunków i grup gatunkowych podano w tabeli 16.

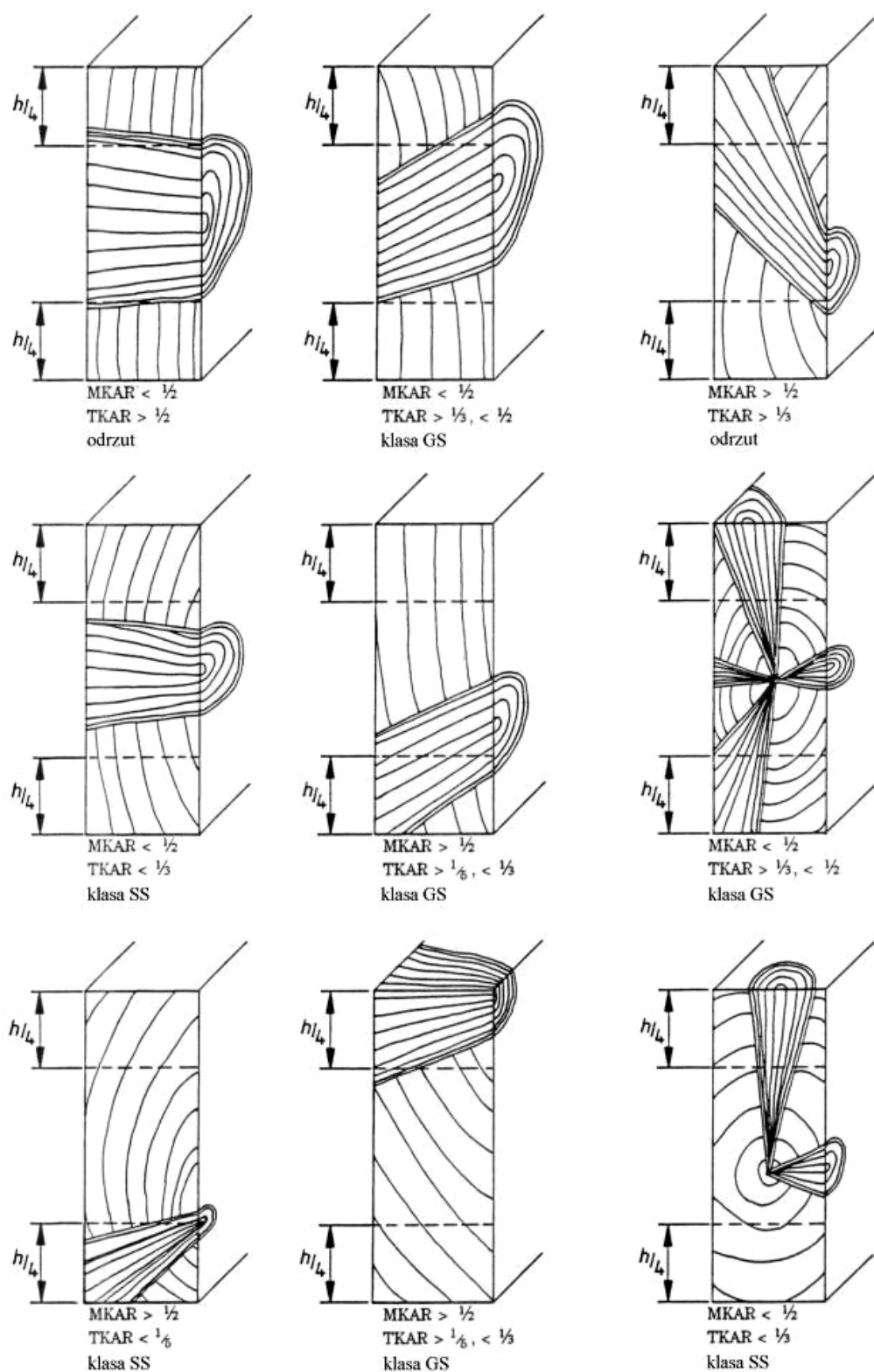
Podstawową cechą tarcicy, decydującą o jej właściwościach, jest wielkość i położenie występujących w niej sęków. Zasada sortowania wizualnego według normy brytyjskiej oparta jest na tak zwanych wskaźnikach sękatości (TKAR i MKAR), analogicznie do wskaźników USC i USM wyznaczanych według projektu PN-D-94021:2013.

Tabela 16. Oznaczenia gatunków i grup gatunkowych tarcicy według BS 5268: Part 2

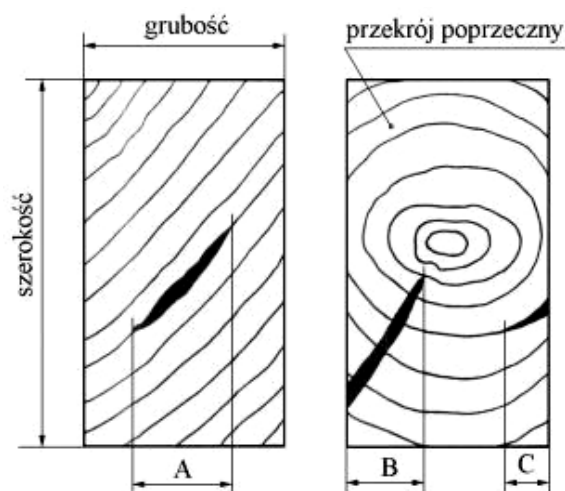
Symbol	Gatunki drewna (nazwy handlowe)	Symbol	Gatunki drewna (nazwy handlowe)
CAR/P	Caribbean pitch pine	EW/ER	redwood/whitewood
B/P	Corsican pine (British)	B/P	Scots pine
B/DF	Douglas fir (British)	B/S	Sitka spruce (British)
NA/DFL	Douglas fir-larch (Canada)	C/S	Sitka spruce (Canada)
NA/DFL	Douglas fir-larch (USA)	US/SP	southern pine
NA/HF	hem-fir (Canada)	NA/SPF	spruce-pine-fir (Canada)
NA/HF	hem-fir (USA)	NA/SPF	spruce-pine-fir (USA)
B/L	larch (British)	NA/WRC	western red cedar
B/S	Norway spruce	US/WW	western white woods
PP	Parana pine	EW	whitewood
ER	redwood		

Sęki powinny być oceniane na podstawie wskaźników sękatości (TKAR i MKAR). Wskaźnik TKAR wyraża iloraz sumarycznej powierzchni rzutów sęków na płaszczyznę przekroju poprzecznego sztuki do ogólnej powierzchni tego przekroju. Wskaźnik MKAR wyraża iloraz sumarycznej powierzchni rzutów sęków ze strefy marginalnej do ogólnej powierzchni strefy marginalnej na przekroju poprzecznym sztuki. Przy pomiarach można pominąć sęki o średnicy poniżej 5 mm, a także nie należy rozróżniać sęków wypadających i zepsutych od zdrowych. Metoda oceny wskaźników sękatości została pokazana na rysunku 55.

Pęknięcia są sprawdzane pod względem ich wymiarów i położenia. Długość pęknięć mierzona jest równolegle do krawędzi wzdłużnych tarcicy. Za głębokość pęknięcia uznaje się odległość między liniami ograniczającymi od zewnątrz to pęknięcie i poprowadzonymi równolegle do płaszczyzn tarcicy (rys. 56).



Rysunek 55. Typowe przykłady wskaźników sękatości TKAR i MKAR i rezultaty sortowania według BS 4978:2007



Rysunek 56. Pomiar głębokości pęknięć: a – wymiar pęknięcia wynosi A, b – wymiar pęknięcia wynosi B + C

Wielkość pęknięć zależna jest od wilgotności tarcicy. Określenie wielkości dopuszczalnych pęknięć dla różnych wilgotności jest trudne, w związku z czym norma podaje te wielkości tylko dla tarcicy o wilgotności około 20%. Pęcherze żywiczne i zakorki należy, w zależności od ich wielkości i kształtu, traktować jako sęki lub pęknięcia i dopiero wtedy dokonać właściwych pomiarów. Skręt włókien powinien być mierzony na odcinku o długości wystarczającej dla jego określenia, bez względu na niewielkie miejscowe zakłócenia. Oblina powinna być rozpatrywana na każdej powierzchni tarcicy jako suma wymiarów oblin przy obu krawędziach. Wielkości obliny (oblin) należy sprawdzić na płaszczyźnie (odnosząc je do szerokości tarcicy) oraz na boku (odnosząc je do grubości tarcicy). Obliny, słoistość oraz krzywizny są oceniane identycznie jak w polskiej normie sortowniczej.

Występowanie innych wad w tarcicy sortowanej wizualnie jest dopuszczalne tylko wówczas, gdy mamy pewność, że wady te nie zmniejszają wytrzymałości tarcicy bardziej, niż wynika to z jej klasy nadanej na podstawie kryteriów dla opisanych wyżej wad podstawowych. Przykładowo, w myśl tej zasady występowanie sinizny jest dopuszczalne bez ograniczeń, gdyż wada ta nie zmniejsza właściwości wytrzymałościowych drewna, a obecność zgnilizny lub czynnych chodników owadzych dyskwalifikuje sortowane drewno. W tabeli 17 znajduje się zestawienie wad dopuszczonych z ograniczeniem w iglastej tarcicy konstrukcyjnej klas GS i SS według BS 4978:2007.

Tabela 17. Zestawienie wad dopuszczonych z ograniczeniem w iglastej tarcicy konstrukcyjnej klasy GS i SS według BS 4978:2007

Kryterium klasyfikacji	Wymagania w zależności od klasy jakości tarcicy	
	klasa GS	klasa SS
Sęki	$MKAR \leq 1/2$ i $TKAR \leq 1/2$ lub $MKAR > 1/2$ i $TKAR \leq 1/3$	$MKAR \leq 1/2$ i $TKAR \leq 1/3$ lub $MKAR > 1/2$ i $TKAR \leq 1/5$
Skręt włókien	nie większy niż 1 : 6	nie większy niż 1 : 10
Słoistość	średnia szerokość słojów nie większa niż 10 mm	średnia szerokość słojów nie większa niż 6 mm
Pęknięcia: – nieprzechodzące przez grubość tarcicy – przechodzące	bez ograniczeń nie dłuższe niż 600 mm w każdym metrze bieżącym tarcicy	nie dłuższe niż połowa długości tarcicy nie dłuższe niż podwójna szerokość tarcicy
Obliny	współczynnik szerokości oblin, tj. szerokość oblin odjęta od odpowiedniego wymiaru czoła tarcicy (szerokości lub grubości) i podzielona przez ten wymiar, nie mniejszy niż 2/3 długość oblin bez ograniczeń	
Odkształcenia: – krzywizna podłużna płaszczyzn – krzywizna podłużna boków – wichrowatość – krzywizna poprzeczna płaszczyzn	nie większa niż 20 mm mierzona na długości 2 m nie większa niż 12 mm mierzona na długości 2 m nie większa niż 2 mm na każde 25 mm szerokości tarcicy, mierzona na długości 2 m bez ograniczeń	nie większa niż 10 mm mierzona na długości 2 m nie większa niż 8 mm mierzona na długości 2 m nie większa niż 1 mm na każde 25 mm szerokości tarcicy, mierzona na długości 2 m bez ograniczeń
Pęcherze żywiczne i zakorki – nieprzechodzące przez grubość tarcicy – przechodzące	bez ograniczeń, jeśli są krótsze od szerokości tarcicy, dłuższe – z ograniczeniami tak jak w przypadku pęknięć bez ograniczeń, jeśli są krótsze niż połowa szerokości tarcicy, dłuższe – z ograniczeniami tak jak w przypadku pęknięć	
Sinizna	bez ograniczeń	
Chodniki owadzie	dopuszczalne nieczynne chodniki owadzie występujące sporadycznie – niezmniejszające wytrzymałości bardziej niż inne wady klasyfikujące tarcicę do danej klasy	
Zgnilizna	niedopuszczalna	

4.4. Sortowanie według normy niemieckiej DIN 4074:2005

Norma niemiecka DIN 4074:2005 definiuje trzy klasy tarcicy konstrukcyjnej sortowanej metodą wizualną: S7, S10 i S13. Tarcica według tej normy to produkt o grubości co najmniej 6 mm, otrzymany przez podział drewna okrągłego równolegle do osi kłody. Rodzaje sortymentów wraz z charakterystyką wymiarową ich przekrojów poprzecznych podano w tabeli 18. Jest to o tyle istotne, że w zależności od sortymentu stosuje się inne kryteria sortowania.

Tabela 18. Sortymenty tarcicy według DIN 4074:2005

Sortyment	Grubość, d [mm] lub wysokość, h [mm]	Szerokość, b [mm]
Łata	$d \leq 40$	$b < 80$
Deska*	$d \leq 40$	$b \geq 80$
Bal*	$d > 40$	$b > 3d$
Krawędziak i belka	$b \leq h \leq 3b$	$b > 40$

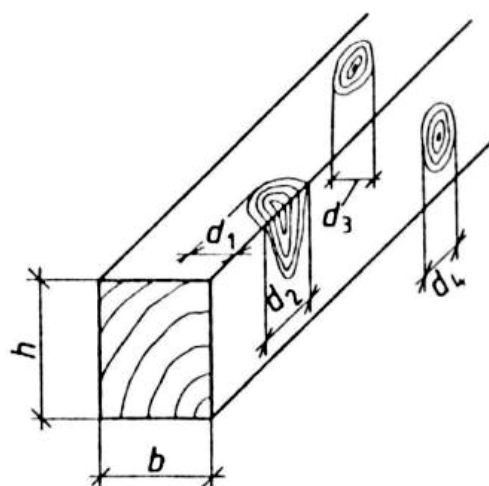
* Deski i bale poddane obciążeniom zginającym w położeniu na sztorc (nie na płasko) należy sortować tak jak krawędziaki.

Norma ta wyróżnia trzy poziomy średniej wilgotności drewna (średnia wilgotność drewna oznacza tu średnią wilgotność danego przekroju):

- tarcica świeża, gdy średnia wilgotność drewna przekracza 30% (dla przekrojów o powierzchni powyżej 200 cm² – mniejsza niż 35%),
- tarcica półsucha, gdy średnia wilgotność drewna jest większa niż 20% i mniejsza niż 30% (dla przekrojów o powierzchni powyżej 200 cm² – 35%),
- tarcica sucha, gdy średnia wilgotność drewna jest mniejsza od 20%.

Najważniejszym kryterium sortowania według tej normy, podobnie jak w normach polskiej i angielskiej, jest sękatość tarcicy, przy czym określa się ją inaczej niż we wspomnianych normach. Według normy DIN 4074:2005, inaczej określa się sękatość (oznaczaną symbolem „A”) w krawędziakach, a inaczej w łatach, deskach i balach. Sęki zrośnięte i niezrośnięte traktowane są tak samo, a otwór po sęku traktowany jest jak sęk.

W przypadku krawędziaków miarodajna jest najmniejsza, widoczna średnica sęka (d). Jeżeli sęk znajduje się na krawędzi (wychodzi na bok i płaszczyznę), to bierze się wtedy pod uwagę wymiar d_1 (gdy jest mniejszy od średnicy d_2 – rys. 57). Sękatość (A) określa się jako stosunek odpowiednio pomierzonych średnic (d) do wymiaru szerokości (b) lub wysokości (h), w zależności od położenia sęka (rys. 57). Miarodajny jest największy sęk.



$$A = \frac{d_1}{b} \quad \text{lub}$$

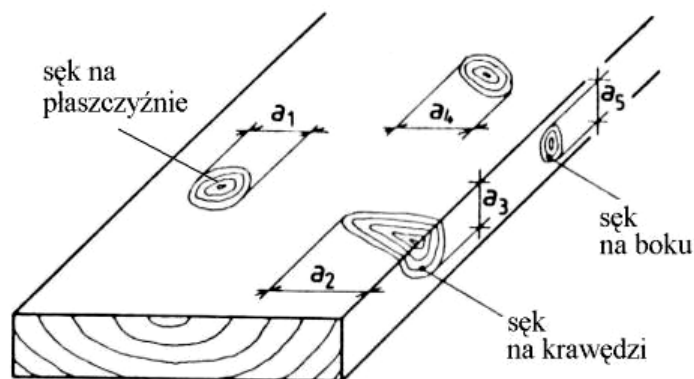
$$A = \frac{d_2}{h} \quad \text{lub}$$

$$A = \frac{d_3}{b} \quad \text{lub}$$

$$A = \frac{d_4}{h}$$

Rysunek 57. Sposób pomiaru sęków i określanie sękatości w krawędziaku według DIN 4074:2005

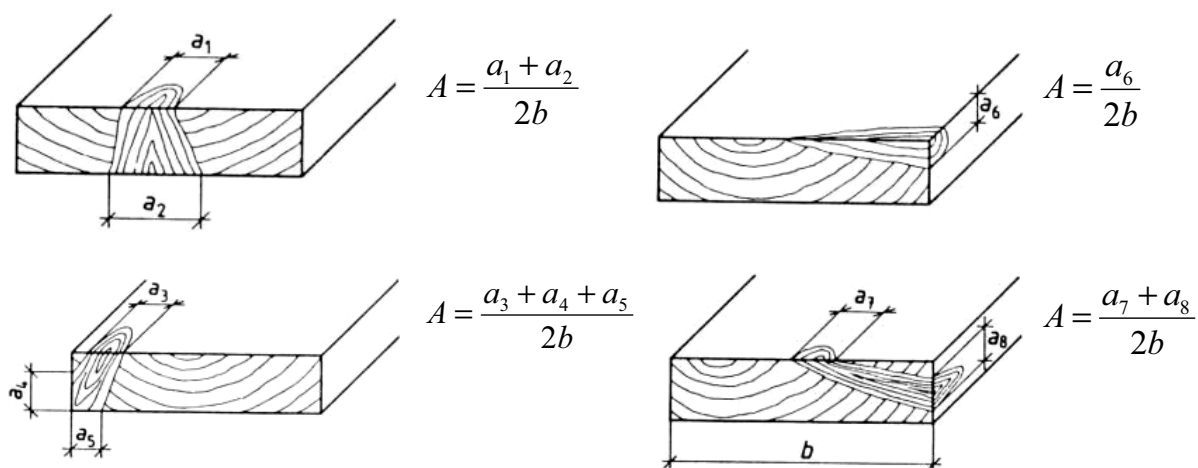
W przypadku desek i bali średnice sęków mierzy się równoległe do krawędzi w tym miejscu tarcicy, gdzie one występują (bez rzutowania ich na czoło). Jeżeli sęk (przecięty) widoczny jest na prawej (kurdzeniowej) płaszczyźnie i boku, to jego wymiaru na płaszczyźnie (a_2 – rys. 58) nie bierze się pod uwagę wtedy, gdy jego wymiar na boku deski (a_3) nie przekracza wartości podanej w tabeli 10.



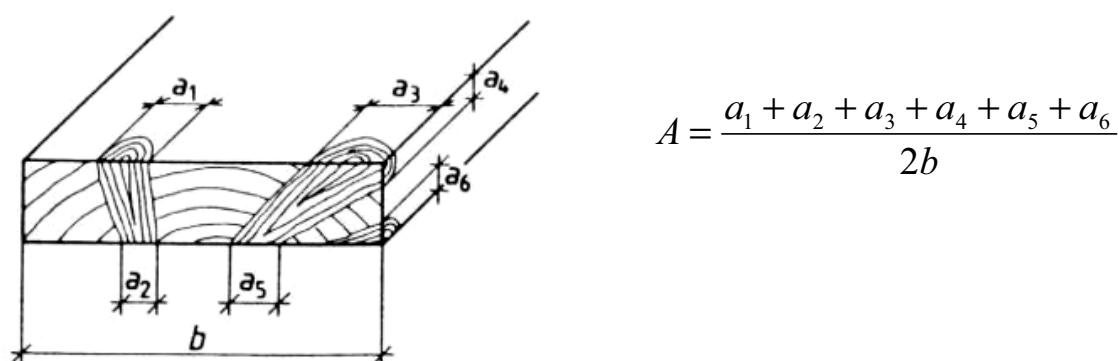
Rysunek 58. Sposób pomiaru sęków w deskach, balach i łatach według DIN 4074:2005

Sękatość ustala się inaczej dla pojedynczego sęka, a inaczej dla okółka sęków. W przypadku pojedynczego sęka sękatość (A) jest to stosunek sumy wymiarów sęka (a) zmierzonych na wszystkich płaszczyznach i bokach, gdzie jest on widoczny, do podwójnej szerokości (b) deski (rys. 59).

Dla okółka sęków sękatość (A) jest to stosunek liczbowy sumy wymiarów wszystkich sęków (a) (zmierzonych na wszystkich płaszczyznach i bokach, widocznych na odcinku pomiarowym długości 150 mm) do podwójnej szerokości (b) deski (rys. 60). Wymiary sęków, które się nakładają, uwzględnia się tylko raz, a których średnica jest mniejsza niż 5 mm, nie bierze się pod uwagę.

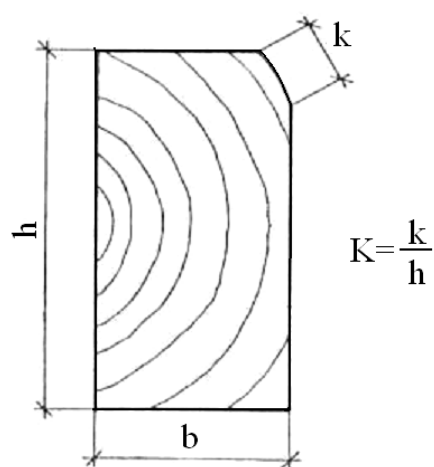


Rysunek 59. Ustalanie sękatości w przypadku sęka pojedynczego według DIN 4074:2005



Rysunek 60. Ustalanie sękatości w przypadku okółka sęków według DIN 4074:2005

Wielkość obliny (K) jest to stosunek liczbowy szerokości obliny (k) zmierzonej skośnie (po łuku), do większego wymiaru przekroju poprzecznego tarcicy (rys. 61)



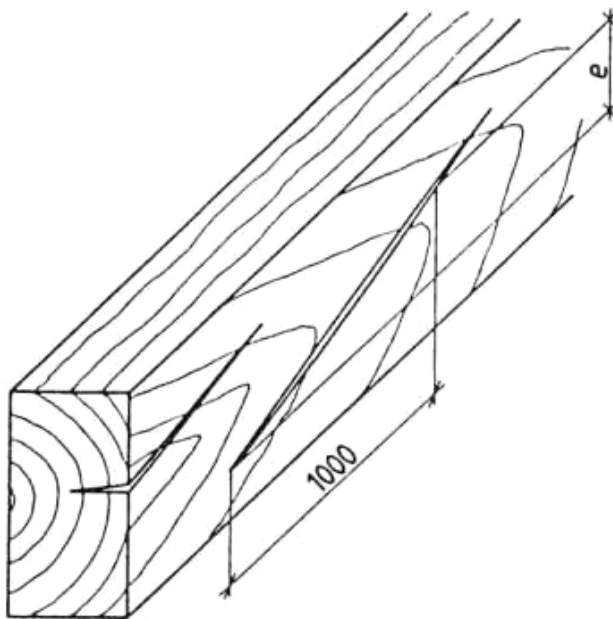
Rysunek 61. Sposób pomiaru i ustalania wielkości obliny według DIN 4074:2005

Słoistość (szerokość przyrostów rocznych) mierzy się w kierunku promieniowym i podaje w milimetrach. W przypadku tarcicy zawierającej rdzeń przy wyznaczaniu odcinka pomiarowego pomija się odcinek 25 mm mierzony od rdzenia. Średnią szerokość przyrostów rocznych oblicza się według DIN 52181-8:1975.

Skręt włókien wyraża się jako wymiar (e), o który włókna ulegają odchyleniu od prostoliniowości na odcinku pomiarowym długości 1000 mm. Skręt włókien można sprawdzać wzrokowo, uwzględniając przebieg pęknięć desorpcyjnych (rys. 62) albo używając specjalnego rysika (DIN 52181).

Norma DIN 4074:2005 uwzględnia następujące rodzaje pęknięć: od uderzenia pioruna, mrozowe, okrężne i desorpcyjne.

Pęknięcia od uderzenia pioruna i mrozowe to pęknięcia biegnące w kierunku promieniowym, powstałe w żyjącym drzewie. Pęknięcia okrężne to takie, które biegną łukowato (na przekroju poprzecznym równoległe do słoików rocznych). Pęknięcia desorpcyjne to pęknięcia biegnące w kierunku promieniowym, powstałe w drewnie okrągłym lub tarcicy na skutek wysychania.



Rysunek 62. Określanie skrętu włókien na podstawie pęknięć desorpcyjnych według DIN 4074:2005

Jako przebarwienia rozumie się zmiany naturalnego koloru drewna. Norma wymienia: siniznę, która nie ma wpływu na właściwości wytrzymałościowe, brązowe i czerwone smugi wywołane obecnością gwoździ oraz zgniliznę czerwoną i białą.

Twardzica występująca w niewielkiej ilości nie ma istotnego wpływu na właściwości wytrzymałościowe, ale jest przyczyną intensywnego paczenia drewna i dużych krzywizn w tarcicy.

Tabela 19. Kryteria wizualnego sortowania wytrzymałościowego krawędziaków według DIN 4074:2005

Kryterium klasyfikacji	KLASA		
	S 7	S 10	S 13
Oblina	wszystkie cztery strony powinny mieć na całej długości ślady pił	do 1/3, na każdym przekroju przynajmniej 1/3 każdego boku powinna być wolna od obliny	do 1/8, na każdym przekroju przynajmniej 2/3 każdego boku powinny być wolne od obliny
Sęki (sękatość <i>A</i>)	do 3/5	do 2/5 nie więcej niż 70%	do 1/5 nie więcej niż 50%
Słoistość – ogólnie – dla daglezji	– –	do 6 mm do 8 mm	do 4 mm do 6 mm
Skręt włókien	do 200 mm/m	do 120 mm/m	do 70 mm/m
Peknięcia – desorpcyjne – od pioruna, mrozowe i okrężne	dopuszczalne niedopuszczalne	dopuszczalne niedopuszczalne	dopuszczalne niedopuszczalne
Przebarwienia – sinizna – czerwone i brązowe paski od gwoździ – zgnilizna czerwona i biała	dopuszczalna do 3/5 przekroju albo płaszczyzny niedopuszczalna	dopuszczalna do 2/5 przekroju albo płaszczyzny niedopuszczalna	dopuszczalna do 1/5 przekroju albo płaszczyzny niedopuszczalna
Twardzica	dopuszczalna do 3/5 przekroju poprzecznego albo płaszczyzny	dopuszczalna do 2/5 przekroju poprzecznego albo płaszczyzny	dopuszczalna do 1/5 przekroju poprzecznego albo płaszczyzny
Chodniki owadzie	dopuszczalne o średnicy do 2 mm, powodowane przez owady żerujące w świeżym drewnie		
Jemioła	niedopuszczalna	niedopuszczalna	niedopuszczalna
Krzywizna – podłużna wichrowatość	do 15 mm / 2 m	do 8 mm / 2 m	do 5 mm / 2 m

Tabela 20. Kryteria wizualnego sortowania wytrzymałościowego desek i bali według DIN 4074:2005

Kryterium klasyfikacji	KLASA		
	S 7	S 10	S 13
1	2	3	4
Oblina	wszystkie cztery strony powinny mieć na całej długości ślady pił	do 1/3, na każdym przekroju przynajmniej 1/3 każdego boku powinna być wolna od obliny	do 1/8, na każdym przekroju przynajmniej 2/3 każdego boku powinny być wolne od obliny
Sęki (sękatość <i>A</i>) – pojedyncze	do 1/2	do 1/3	do 1/5
– okółki	do 2/3	sęki na bokach według DIN 68256, które zajmują więcej niż 1/3 grubości deski są niedopuszczalne do 1/2	do 1/3

Tabela 20, cd.

1	2	3	4
Słoistość – ogólnie – dla daglezi	– –	do 6 mm do 8 mm	do 4 mm do 6 mm
Skreś włókien	do 200 mm / m	do 120 mm / m	do 70 mm / m
Pęknięcia – desorpcyjne – od pioruna, mrozowe, okrężne	dopuszczalne niedopuszczalne	dopuszczalne niedopuszczalne	dopuszczalne niedopuszczalne
Przebarwienia – sinizna – czerwone i brązowe smugi od gwoździ – zgnilizna czerwona i biała	dopuszczalna do 3/5 przekroju albo płaszczyzny niedopuszczalna	dopuszczalna do 2/5 przekroju albo płaszczyzny niedopuszczalna	dopuszczalna do 1/5 przekroju albo płaszczyzny niedopuszczalna
Twardzica	dopuszczalna do 3/5 przekroju poprzecznego albo płaszczyzny	dopuszczalna do 2/5 przekroju poprzecznego albo płaszczyzny	dopuszczalna do 1/5 przekroju poprzecznego albo płaszczyzny
Chodniki owadzie	dopuszczalne o średnicy do 2 mm, powodowane przez owady żerujące w świeżym drewnie		
Jemioła	niedopuszczalna	niedopuszczalna	niedopuszczalna
Krzywizna – podłużna wichrowatość – krzywizna poprzeczna	do 15 mm / 2 m do 1 / 20	do 8 mm / 2 m do 1 / 30	do 5 mm / 2 m do 1 / 50
Rdzeń	dopuszczalny	dopuszczalny	niedopuszczalny

Uwaga: Deski i bale poddane obciążeniom zginającym w położeniu „na sztorc” należy sortować jak krawędziaki.

Chodniki owadzie powodowane przez owady żerujące w drzewach i świeżo ściętym drewnie okrągłym, o średnicy do 2 mm, nie mają praktycznie wpływu na właściwości wytrzymałościowe drewna.

Norma niemiecka uwzględnia również obecność jemioły. Korzenie jemioły pozostawiają w drewnie skośne otwory o średnicy około 5 mm. Często otwory te rozmieszczone są bardzo gęsto i powodują zniszczenie tkanki drzewnej.

Norma DIN 4074:2005 rozróżnia następujące krzywizny: wichrowatość, krzywiznę podłużną płaszczyzn, krzywiznę podłużną boków oraz krzywiznę poprzeczną płaszczyzn. Sposób pomiaru tych wad jest identyczny jak w normie polskiej i brytyjskiej. W przypadku wichrowatości, krzywizny podłużnej płaszczyzn oraz krzywizny podłużnej boków mierzy się strzałkę największej krzywizny na odcinku pomiarowym długości 2 m. W przypadku krzywizny poprzecznej płaszczyzn mierzy się strzałkę krzywizny i odnosi się ją do szerokości tarcicy

Kryteria sortowania wytrzymałościowego tarcicy według normy DIN 4074:2005 metodą wizualną dla krawędziaków podano w tabeli 19, a dla desek i bali w tabeli 20. Na Wydziale Technologii Drewna SGGW prowadzone były badania porównawcze polegające na sortowaniu tej samej tarcicy według PN-D-9401:1982 i DIN 4074:2005 (Krzosek 2009 i 2011).

4.5. Przyporządkowanie klas sortowania wizualnego do klas wytrzymałościowych

Normy europejskie i ich polskie odpowiedniki (PN-EN 338:2011) przewidują dwa-
naście klas tarcicy konstrukcyjnej o jakości określonej zazwyczaj za pomocą maszyn
sortowniczych dla zapewnienia drewnu gwarantowanej wytrzymałości na zginanie
od 14 do 50 MPa (klasy od C14 do C50), podczas gdy w Polsce przez długi czas
obowiązywały tylko cztery klasy tarcicy według starej normy budowlanej PN-B-
-03150:1981 (tab. 21). Norma ta, opracowana w sposób dostosowujący ją do Euro-
code-5, doczekała się nowelizacji w wersji PN-B-03150:2000 wraz z załącznikiem
PN-B-03150/Az1:2001, a następnie Az3:2003. Ostatecznie pojawiła się polskoję-
zyczna wersja Eurokodu 5 (PN-EN 1995-1-1:2010).

Do lipca 2002 roku obowiązywały w Polsce równorzędnie oba systemy. Łą-
czyła je wspólna idea określania gwarantowanej wytrzymałości tarcicy odnie-
siona do podstawowych rodzajów mechanicznych właściwości drewna (PN-EN
384:2010 i PN-EN 408:2010).

Tabela 21. Klasy wytrzymałości (K)

Rodzaj właściwości	K21	K27	K33	K39
Wytrzymałość [MPa]:				
– na zginanie	21	27	33	39
– na rozciąganie podłużne	14	20	23	26
– na rozciąganie poprzeczne	0,75	0,75	0,75	0,75
– na ściskanie podłużne	17	20	24	28
– na ściskanie poprzeczne	7,0	7,0	7,0	7,0
– na ścinanie	3,0 *(2,1)	3,0 *(2,7)	3,0 *(3,3)	3,0 *(3,9)
Moduły [MPa]:				
– sprężystości (średni, wzdłuż włókien)	8000	9000	10000	11500
– sprężystości (minimalny, wzdłuż włókien)	6000	7000	8000	9000
– sprężystości (średni, w poprzek włókien)	350	400	450	480
– odkształcenia postaci (średni)	500	550	650	700
Gęstość [kg·m ⁻³] (minimalna)	–	–	–	–

* Wartości proponowane przez Dzbeńskiego (1995).

Źródło: PN-B-03150:1981.

Na podstawie wyników badań przeprowadzonych na materiale pochodzącym praktycznie ze wszystkich krain przyrodniczo-leśnych Polski (Dzbeński 1984) ustalono gwarantowane właściwości iglastej tarcicy sortowanej w czterech klasach jakości wytrzymałościowej. Uwzględniając różnicę w przyjętych poziomach wilgotności tarcicy powietrznosuchej (w Polsce 15%, w Zachodniej Europie 12%) można przyjąć, że stosowane u nas cztery klasy jakości wytrzymałościowej według PN-D-94021:1982 (czwarta klasa dotyczy tylko tarcicy cienkiej sortowanej wizualnie na elementy konstrukcyjne według PN-B-03150:1981 – tabela 22) odpowiadały następującym europejskim klasom jakości według EN 338:1995 lub PN-EN 338:2011, a mianowicie: $K21 \approx C24$, $K27 \approx C30$, $K33 \approx C35$, $K39 \approx C40$ (tab. 21). Pozostałe klasy europejskie, zwłaszcza klasy najniższe, obejmujące tarcicę topolową oraz klasy powyżej C40, uznano w nowelizacji normy PN-B-03150:2011 za nieodpowiadające warunkom polskim.

Z porównania klas krajowych (K) z klasami europejskimi (C) wynika, że tarcica polska różni się tylko nieznacznie, często korzystnie, od tarcicy według EN 338:1995 przy zginaniu, rozciąganiu i ściskaniu wzdłuż włókien. Natomiast właściwości przy ściskaniu i rozciąganiu w poprzek włókien tarcicy polskiej przyjmowano dotychczas na wyższym poziomie niż w tarcicy europejskiej, co wymaga prowadzenia dalszych badań sprawdzających (część takich badań została już wykonana). Podobnie wartości wytrzymałości na ścinanie były przyjmowane dla wszystkich klas jakościowych tarcicy na stałym poziomie i należy poddać je weryfikacji (zmniejszeniu lub zwiększeniu do wartości uzyskanych przez Dzbeńskiego 1995 – wartości podane w nawiasach w tabeli 21). Wyniki te zostały również potwierdzone w badaniach Kozakiewicza (2002).

W odróżnieniu od PN-B-03150:1981, normy europejskie wprowadziły wymagania dotyczące gęstości tarcicy, gdyż wpływa ona porządkująco na wytrzymałość elementów konstrukcyjnych (Dzbeński 1984), a nawet może spowodować dyskwalifikację materiału nazbyt lekkiego i porowatego – dotychczas była ona zastępowana pomiarami słoistości drewna (np. w PN-D-94021:1982). Oparcie klasyfikacji drewna budowlanego między innymi na pomiarach gęstości, realizowanych na przykład przy użyciu gęstościomierza izotopowego (Krzosek i Dzbeński 1998, Dzbeński i in. 2008), sprzyja objęciu jednolitymi zasadami klasyfikacji tarcicy konstrukcyjnej zarówno iglastej, jak i liściastej, dotychczas u nas niesortowanej metodami wytrzymałościowymi.

Po okresie przejściowym, kiedy obowiązywały w Polsce oba systemy klasyfikacji tarcicy konstrukcyjnej, od lipca 2002 roku obowiązuje już tylko jeden system według normy PN-B-03150:2000 wraz z załącznikiem PN-B-03150/Az1:2001 i zmianami wprowadzonymi nowelizacją normy PN-EN 338:2011. Kolejne lata przyniosły następne zmiany (m.in. kolejne przyporządkowania klas sortowniczych do klas wytrzymałościowych podawane w załącznikach PN-B-03150:2000/Az2:2003 i PN-B-03150:2000/Az3:2004 (tab. 22).

Tabela 22. Przyporządkowanie klas wizualnych (KW, KS, KG) i klas maszynowych (MKW, MKS, MKG) do klasom wytrzymałościowym

Rodzaj właściwości	Ozna- czenie	Klasy drewna konstrukcyjnego litego o wilgotności 12% według PN-EN 338					
		C 18	C 22	C 27	C 30	C 35	C 40
Odpowiadająca klasyfikacja według PN-D-94021:1982							
Drewno sosnowe i świerkowe – dla grubości tarcicy [mm]	≥ 38	– –	– KG	MKG KS	MKS KW	MKW –	– –
	< 38	– KG	MKG KS	MKS KW	MKW –	– –	– –
Drewno jodłowe – dla grubości tarcicy [mm]	≥ 38	– KG	MKG KS	MKS KW	MKW –	– –	– –
	< 38	MKG KS	MKS KW	MKW –	– –	– –	– –
Drewno modrzewiowe – dla grubości tarcicy [mm]	≥ 38	– –	– –	– KG	MKG KS	MKS KW	MKW –
	< 38	– –	– KG	MKG KS	MKS KW	MKW –	– –

Źródło: Na podstawie PN-B-03150:2000/Az3:2004.

Ostatecznie w 2010 roku wprowadzono Eurokod 5 (PN-EN 1995-1-1:2010), gdzie w złączniku NA podane jest najbardziej aktualne (poparte badaniami polskiej tarcicy) przyporządkowanie klas sortowania wizualnego do klas wytrzymałościowych (tab. 23). Niestety ze względu na niespójność rozporządzeń do stosowania w projektowaniu dopuszczone są nadal obie normy – krajowa PN-B-03150:2000/Az3:2004 i europejska Eurokod 5 (PN-EN 1995-1-1:2010), i tym samym dwa systemy przyporządkowań. Nie zmienia to jednak faktu, że w myśl najnowszych badań poprawne jest tylko przyporządkowanie zawarte w normie europejskiej podane w tabeli 23 (Kozakiewicz i Krzosek 2011).

Nawet to rozwiązanie jest czasowe, bowiem wraz z wprowadzeniem nowelizacji normy PN-D-94021, która będzie zharmonizowana z normą PN-EN 14081-1, przyporządkowanie polskich klas sortowniczych do klas wytrzymałościowych trafi – podobnie jak klas sortowniczych przyjętych w innych krajach wspólnoty

Tabela 23. Relacja klas sortowniczych krajowego (polskiego) drewna konstrukcyjnego według PN-D-94021:1982 w stosunku do klas wytrzymałościowych według PN-EN 338:2011

Gatunek drewna	Grubość [mm]	KW	KS	KG
Sosna zwyczajna	≥ 22	C35	C24	C20
Świerk pospolity		C30	C24	C18
Jodła pospolita		C22	C18	C14
Modrzew europejski		C35	C30	C24

Źródło: Załącznik NA normy Eurokod 5 (PN-EN 1995-1-1:2010)

europejskiej (np. klas S7, S10 i S13 z normy niemieckiej czy SS i GS z normy brytyjskiej) – do normy PN-EN 1912 Drewno konstrukcyjne – klasy wytrzymałości – wizualny podział na klasy i gatunki (ostatnia wersja PN-EN 1912:2004+A4:2010). Przykładowe przyporządkowania klas sortowniczych wybranych krajów do klas wytrzymałościowych według PN-EN 338:2011 podano w tabeli 24.

Tabela 24. Relacja klas sortowniczych tarcicy iglastej w wybranych krajach Unii Europejskiej do klas wytrzymałościowych według PN-EN 338:2011

Kraj	Gatunek drewna	Klasy sortownicze w stosunku do klas wytrzymałościowych		
		S13	S10	S7
Niemcy i Austria (DIN 4074:2005, ON DIN 4074:2004)	sosna zwyczajna	C30	C24	C16
	świerk pospolity	C30	C24	C16
	jodła pospolita	C30	C24	C16
	modrzew europejski	C30	C24	C16
	dagleżja zielona	C35	C24	C16
Wielka Brytania (BS 4978:2007)		SS	GS	
	sosna zwyczajna	C24	C14 (UK) i (C16)	
	świerk pospolity	C24	C16	
	jodła pospolita	C24	C16	
	modrzew europejski	C24	C16	
	dagleżja zielona	C18 (UK)	C16	
Szwecja, Norwegia, Finlandia, Dania, Islandia (INSTA 142)		T2	T1	T0
	sosna zwyczajna	C24	C18	C14
	świerk pospolity	C24	C18	C14
	jodła pospolita	C24	C18	C14
	modrzew europejski	C24	C18	C14

Źródło: Na podstawie PN-EN 1912:2004+A4:2010.

4.6. Wytrzymałościowe sortowanie metodą maszynową

4.6.1. Przegląd maszyn sortowniczych

Sortowanie wytrzymałościowe metodą wizualną to proces powolny i czasochłonny. Wydajność takiego sortowania w metrach sześciennych na godzinę jest mała. Ponadto zawsze, w mniejszym lub większym stopniu, jest ono obarczone „czynnikiem ludzkim”, czyli jest subiektywne – wynik sortowania zależy od tego, kto sortuje. Jeżeli dwóch brakarzy przesortuje tę samą partię tarcicy, to wyniki sortowania często nie są identyczne. Sortujący człowiek świadomy odpowiedzialności i konsekwencji popełnionego ewentualnie błędu, w sytuacjach niejednoznacznych

(tzw. sztuki graniczne) ma tendencję do podświadomego zaniżania klasy tarcicy. Dlatego też już w połowie ubiegłego wieku powstały pierwsze maszyny do wytrzymałościowego sortowania tarcicy. Maszyny takie muszą spełniać kilka podstawowych wymagań, z których najważniejsze to zapewnienie sortowania pełnowymiarowej tarcicy konstrukcyjnej i nieniszczący sposób sortowania. Ze względu na ten drugi wymóg maszyny do wytrzymałościowego sortowania tarcicy bazują na pomiarze określonych cech drewna, które można określić w sposób nieniszczący, a które w wiadomy sposób są skorelowane z wytrzymałością drewna na zginanie. W tabeli 25 zamieszczono zestawienie współczynników korelacji wybranych cech drewna z jego wytrzymałością na zginanie, rozciąganie i ścinanie. Im większa jest korelacja między badaną przez maszynę cechą drewna a jego wytrzymałością na zginanie, tym bardziej wiarygodne będą wyniki sortowania tej maszyny.

Tabela 25. Współczynniki korelacji między wybranymi cechami drewna i jego wytrzymałością w odniesieniu do desek i bali z drewna europejskich gatunków iglastych

Cecha drewna	Korelacja z wytrzymałością		
	na zginanie	na rozciąganie	na ścinanie
Gęstość	0,5	0,5	0,6
Szerokość przyrostów rocznych	0,4	0,5	0,5
Sękatość	0,5	0,6	0,4
Odchylenie włókien	0,2	0,2	0,1
Moduł sprężystości przy zginaniu	0,7–0,8	0,7–0,8	0,7–0,8
Gęstość + sękatość	0,7–0,8	0,7–0,8	0,7–0,8
Moduł sprężystości + gęstość	0,7–0,8	0,7–0,8	0,7–0,8
Moduł sprężystości + sękatość	> 0,8	> 0,8	0,8

Źródło: Krzosek 1995, za Glosem 1982.

Przy zastosowaniu maszyn do sortowania uzyskiwane wyniki mają charakter obiektywny, ponadto, współczesne zautomatyzowane maszyny sortują z wydajnością wielokrotnie wyższą niż człowiek. Automatyczne, sterowane komputerowo, bardzo wydajne maszyny można wkomponować w automatyczne linie technologiczne do produkcji np. drewna klejonego warstwowo z tarcicy (BSH – *Brettschichtholz*), lub drewna konstrukcyjnego litego klejonego na długość (KVH – *Konstruktionsvollholz*). W takich automatycznych liniach maszyny sortujące są sprzężone z następującymi po nich pilarkami tarczowymi poprzecznymi, które na podstawie wyników sortowania wycinają fragmenty desek z niedopuszczalnymi wadami drewna.

Historia maszynowego sortowania wytrzymałościowego liczy już 50 lat. Po raz pierwszy na skalę przemysłową urządzenia takie zastosowano w 1963 roku w Stanach Zjednoczonych. Były to dwa, niezależnie od siebie opracowane urządzenia: Continuous Lumber Tester CLT oraz Stress-O-Matic.

Maszyny te, zmieniane i modernizowane odpowiednio do postępów techniki, wykorzystywane są w Ameryce do dnia dzisiejszego. Nie znalazły one praktycznego zastosowania w Europie, ponieważ były to konstrukcje przeznaczone z założenia na rynek amerykański. Cechowały się bardzo wysoką wydajnością, odpowiednio do zapotrzebowania tamtejszych, dużych zakładów. Mogły one sortować tylko struganą tarcicę o grubości przekraczającej 38 mm (Głos 1982).

W Europie w ciągu minionych lat opracowano i zastosowano na skalę przemysłową następujące urządzenia:

- Computermatic MPC Mk IV B (1969 r., W. Brytania w kooperacji z Australią),
- Rau-te-Timgrader (1974 r., Finlandia),
- Cook Bolinders SG-AF (1979 r., W. Brytania),
- Finnograder II (1981 r., Finlandia),
- IsoGreComat (1980 r., RFN),
- EuroGrecomat (1995 r., Niemcy),
- Grade Master (1996 r., Niemcy),
- Dynagrade (1997 r., Szwecja),
- Precigrader (2007 r., Szwecja),
- EuroGreComat 702 (2000 r., Niemcy),
- EuroGreComat 704 (2000 r., Niemcy),
- GoldenEye 702 (2000 r., Włochy),
- GoldenEye 706 (2004 r., Włochy),
- Mobile Timber Grader (2005 r., Holandia),
- Triomatic (2007 r., Francja/Szwajcaria),
- Viscan (2005 r., Włochy).

Nie jest to pełna lista, firmy prowadzą badania nad udoskonalaniem obecnych i opracowaniem nowych urządzeń. Ostatnio, w 2011 roku, na targach Linga w Hanowerze niemiecka firma Weinig zaprezentowała swoje własne urządzenie (E-Scan) do wytrzymałościowego sortowania tarcicy opracowane we współpracy z – przejętą w międzyczasie przez Weinig – luksemburską firmą Luxscan Technologies.

Biorąc pod uwagę zasadę działania wymienionych maszyn, można zaklasyfikować je do dwóch grup:

1. Maszyny działające na zasadzie określania modułu sprężystości, na podstawie którego tarcica jest klasyfikowana do określonej klasy wytrzymałościowej. W ramach tej grupy można wskazać dwa rodzaje takich urządzeń:

- a. Maszyny działające na zasadzie zginania, w których badany element poddawany jest uginaniu sprężystemu. Przy stałej sile zginającej i znanym rozstawie podpór mierzona jest strzałka ugięcia, a przy stałej strzałce ugięcia mierzona jest siła zginająca. Na podstawie tych danych i wymiarów zginanego elementu wyliczany jest moduł sprężystości przy zginaniu. Mo-

duł ten, jak wiadomo, jest istotnie skorelowany z wytrzymałością drewna. Wyznacznikiem wytrzymałości przy tego typu maszynach jest najmniejsza wartość modułu sprężystości wyliczona dla badanej sztuki tarcicy. Metoda ta umożliwia wykrycie najsłabszego przekroju w sortowanym elemencie, ale nie można tą metodą zbadać końcówek desek (po około 0,5 m z obu końców).

- b. Maszyny działające na zasadzie pomiaru dynamicznego modułu sprężystości wymagają podania gęstości badanej tarcicy. Istnieją rozwiązania, w których każdy sortowany element jest mierzony i ważony (najczęściej na przenośniku poprzecznym), oraz w których wystarczy wprowadzić do komputera sterującego maszyną średnią gęstość gatunkową (bez ważenia każdej sztuki tarcicy). Poprzez pojedyncze uderzenie w czoło sortowanej sztuki tarcicy wprowadza się ją w drgania swobodne. Za pomocą specjalnych przyrządów pomiarowych rejestruje się te drgania w funkcji czasu, a następnie wylicza częstotliwość tych drgań (pierwszą harmoniczną). Znając częstotliwość drgań własnych oraz długość i gęstość tarcicy, wylicza się dynamiczny moduł sprężystości – średni dla całego elementu. Ponieważ w tej metodzie moduł sprężystości zależny jest tylko od długości i gęstości badanego elementu, więc maszynami takimi można badać tarcicę o dowolnych wymiarach przekroju poprzecznego. Tą metodą nie można ustalić położenia najsłabszego przekroju. Przykładem maszyn należących do tej grupy są: Grade Master, Dynagrade, Mobile Timber Grader i Viscan. Do tej grupy zalicza się też urządzenia sortujące tarcicę przy zastosowaniu ultradźwięków. Do jednego czoła tarcicy przykładana jest głowica generująca ultradźwięki, a do drugiego głowica odbiorcza. W tym przypadku mierzony jest czas przejścia ultradźwięków w drewnie na znanym odcinku (długości sortowanej tarcicy). Dysponując czasem, można wyliczyć prędkość ultradźwięków, a następnie przy znanej gęstości drewna – dynamiczny moduł sprężystości. Przykładem tego rodzaju urządzeń jest Triomatic.

2. Maszyny działające na zasadzie prześwietlania sortowanego elementu, bez stykania się z nim. Prześwietlając badany element promieniami gamma lub X, wyznacza się pewne cechy drewna, na przykład gęstość i sękatość, które w określony sposób skorelowane są z wytrzymałością drewna (tab. 25). Do tej grupy maszyn zaliczyć można: Finnograder II oraz IsoGreComat (Głos 1982). W ostatnich latach maszyny prześwietlające sortowaną tarcicę zostały wyposażone w moduły skanujące powierzchnie badanej tarcicy przy zastosowaniu systemów optycznych wykorzystujących światło o różnych długościach fal oraz światło laserowe. Przykładem takiego urządzenia jest GoldenEye 702.

Jak wynika z tabeli 25, najwyższy współczynnik korelacji z wytrzymałością drewna wykazują: moduł sprężystości przy zginaniu oraz kombinacje następujących cech: moduł sprężystości + sękatość, moduł sprężystości + gęstość, gęstość + sękatość. Nic więc dziwnego, że wszystkie współczesne maszyny do sortowania bazują na pomiarze przynajmniej jednej z wymienionych wyżej kombinacji, najlepiej skorelowanej z wytrzymałością drewna. Wraz z postępem nauki i techniki zmieniają się tylko zastosowane metody i urządzenia pomiarowe.

Ze względu na możliwość włączenia do linii produkcyjnej maszyny do sortowania wytrzymałościowego można podzielić na dwie grupy:

- a) maszyny mogące stanowić integralną część zautomatyzowanego ciągu produkcyjnego – muszą mieć dostatecznie wysoką wydajność, możliwość automatycznego podawania tarcicy do sortowania i automatycznego odbioru tarcicy przesortowanej, tzw. maszyny pracujące *on-line* (wszystkie wymienione wcześniej maszyny to urządzenia działające w trybie *on-line*);
- b) maszyny stanowiące oddzielne ogniwo procesu produkcyjnego – o niskiej wydajności, wymagające ręcznego podawania tarcicy do sortowania i ręcznego odbioru tarcicy przesortowanej, tzw. maszyny pracujące *off-line*.

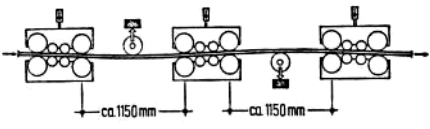
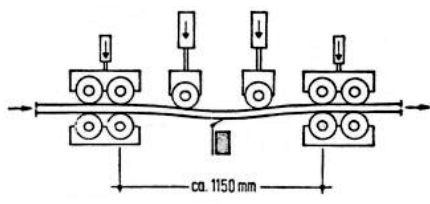
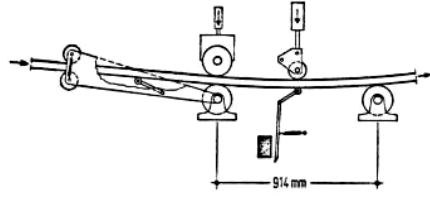
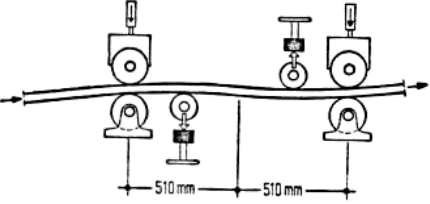
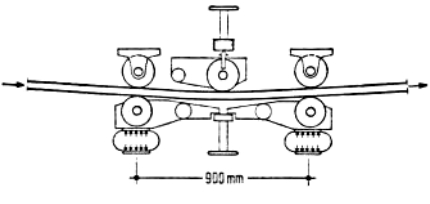
Do maszyn sortowniczych działających w trybie *off-line* można zaliczyć:

- dwa urządzenia działające na zasadzie uginania: Tru Timber Grader (1971 r., Afryka Południowa) i Sontrín Timber Selector (1969 r., W. Brytania),
- dwa urządzenia działające na zasadzie pomiaru dynamicznego modułu sprężystości: Traverse Vibration E Computer (1968 r., USA) i Stress Wave MOE Komputer (Głos 1982).

W tabeli 26 zamieszczono charakterystykę maszyn do sortowania pracujących w trybie *on-line* i sortujących na zasadzie uginania.

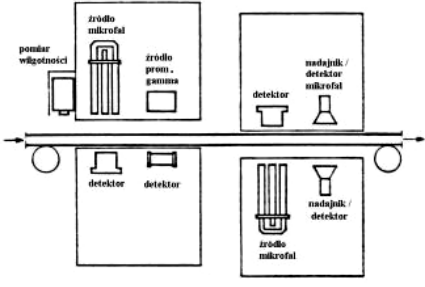

Do pierwszych maszyn sortujących na zasadzie prześwietlania zaliczamy następujące urządzenia pracujące w trybie *on-line*: Finnograder II i IsoGreComat. W obu tych maszynach sortowany element jest prześwietlany promieniowaniem gamma w celu ustalenia jego gęstości (w przypadku urządzenia IsoGreComat także sękatości). Wykorzystano tu zjawisko absorpcji promieniowania przez badany materiał. Sęki, wskutek swej większej gęstości niż otaczające drewno, powodują większą absorpcję i na obrazie rentgenowskim badanej sztuki są widoczne w postaci ciemniejszych od otaczającego je drewna plam. Na podstawie stopnia osłabienia wiązki promieniowania przechodzącego przez drewno można również obliczyć jego gęstość. Ponieważ gęstość drewna jest uzależniona od jego wilgotności, więc oba urządzenia są wyposażone w mierniki wilgotności. Niezbędna jest również znajomość wymiarów przekroju poprzecznego sortowanego elementu. Bliższą charakterystykę tych urządzeń zamieszczono w tabeli 27.

Tabela 26. Urządzenia do sortowania wytrzymałościowego tarcicy pracujące w trybie *on-line* na zasadzie uginania sortowanego elementu

Urządzenie	Zasada działania	Opis
Continuous Lumber Tester		Element jest uginany co 150 mm w dwóch kierunkach, przy rozstawie podpór 2×1150 mm. Przy stałej strzałce ugięcia mierzono zmienną siłę zginającą. Grubość sortowanej tarcicy: 38–50 mm, prędkość posuwu $> 300 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Dzięki uginaniu w dwóch płaszczyznach eliminowano wpływ ewentualnej krzywizny na wynik sortowania badanej tarcicy.
Stress-O-Matic		Element jest uginany jednostronnie stałą, ciągle działającą siłą przy rozstawie podpór 1150 mm. Mierzono strzałkę ugięcia. Maksymalna grubość sortowanej tarcicy: od 38 mm, prędkość posuwu: $200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.
Computer-matic MPC Mk IV-B		Element prowadzony na sztorc jest uginany stałą siłą (dla danego przekroju poprzecznego), przy rozstawie podpór 914 mm. Mierzono strzałkę ugięcia. Maksymalna grubość sortowanego elementu: 75 mm, prędkość posuwu: $152 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Aby uniknąć wpływu ewentualnej krzywizny tarcicy na wynik sortowania, mierzono krzywiznę i uwzględniano w obliczeniach. Rozwinięcie australijskiego urządzenia Micro-Stremer.
Rau-Te Timgrader		Element jest uginany w dwóch kierunkach przy rozstawie podpór 2×510 mm. Wartość stała to strzałka ugięcia, którą nastawiano w zależności od przekroju poprzecznego tarcicy. Mierzono siłę zginającą. Maksymalna grubość sortowanego elementu: 75 mm, prędkość posuwu: $135 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Wadą jest zbyt mały rozstaw podpór. Z tego względu siły zginające musiały być stosunkowo duże i mogły powodować uszkodzenie badanego drewna.
Cook Bolinders SG-AF		Element jest uginany jednostronnie, przy rozstawie podpór 900 mm. Wielkość stała to strzałka ugięcia, którą nastawiano w zależności od przekroju poprzecznego tarcicy. Mierzono siłę zginającą. Max. grubość sortowanego elementu: 75 mm, prędkość posuwu: 94 m/min. Zaletą maszyny jest wyposażenie rolek prowadzących w poduszki powietrzne, co skutecznie redukowało drgania sortowanego elementu. Jej komplikacją jest konieczność dwukrotnego przepuszczania każdej deski w celu wyeliminowania wpływu ewentualnej krzywizny na wynik sortowania.

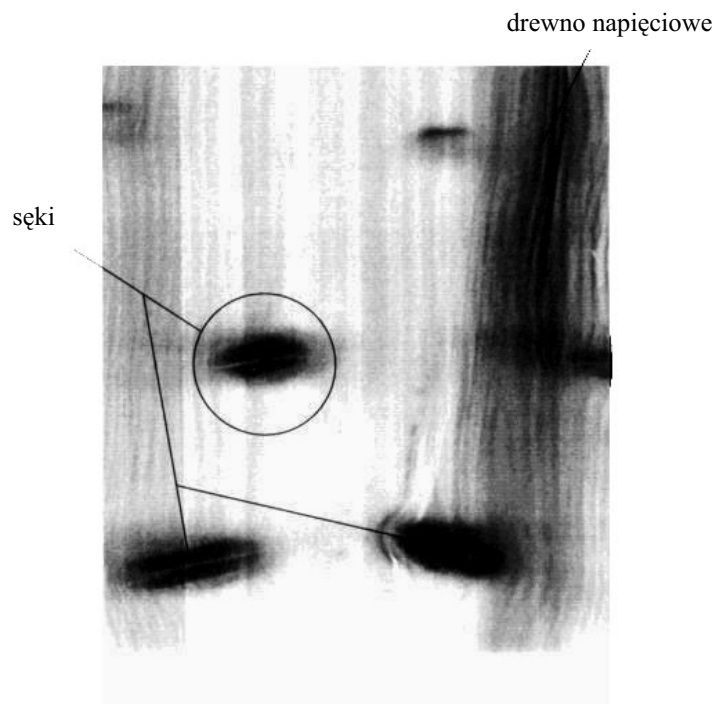
Źródło: Dzbeński i in. 2005, za Glosem 1982.

Tabela 27. Urządzenia do sortowania wytrzymałościowego tarcicy pracujące w trybie *on-line* na zasadzie prześwietlania

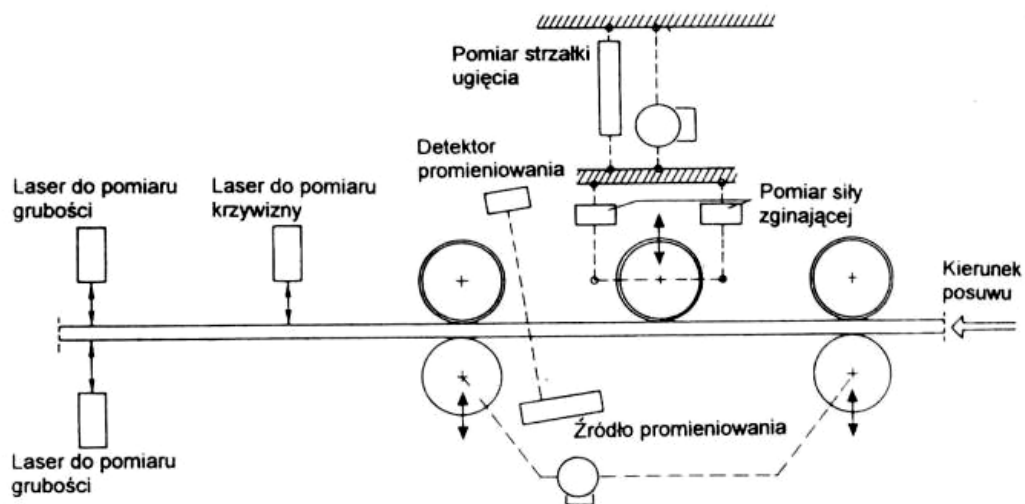
Urządzenie	Zasada działania	Opis
Finnograder II		<p>Pomiaru sękatości dokonuje się niezależnie od siebie na obu płaszczyznach deski za pomocą mikrofal (wykorzystując zmiany pola elektromagnetycznego). Pomiar wilgotności drewna i jego temperatury odbywa się na zasadzie pomiaru tłumienia mikrofal i z wykorzystaniem promiennika podczerwieni. Za pomocą mikrofal mierzy się również kąt odchylenia włókien na płaszczyźnie deski. Do urządzenia należy wprowadzić informacje o wymiarach przekroju poprzecznego. Maksymalna grubość sortowanego elementu: 75 mm, prędkość posuwu: 300 m·min⁻¹</p>
IsoGreComat		<p>Element podczas sortowania prześwietlany jest promieniowaniem gamma pochodzącym ze źródła ²⁴¹Am. Parametrami określanymi i wykorzystywanymi później do sortowania są gęstość drewna i jego sękatość. Pomiar niezbędnych wielkości odbywa się co 3 mm. Wyniki pojedynczych pomiarów uśrednia się dla 60-centymetrowych odcinków. Maksymalna grubość sortowanego elementu: 80 mm, prędkość posuwu: 48 m·min⁻¹</p>

Źródło: Dzbeński i in. 2005, za Glosem 1982.

W latach 90. ubiegłego wieku pojawiły się kolejne maszyny, których ze względu na zastosowaną zasadę działania nie można było zaliczyć do żadnej z wymienionych wcześniej dwóch grup. Były to następujące rozwiązania: EuroGreComat niemieckiej firmy GreCon i Grade Master niemieckiej firmy Dimter (Glos 1993, Görlacher 1993, Krzosek 1995, Glos i Diebold 1997). EuroGreComat łączył w sobie dwie, do tej pory istniejące, niezależne zasady działania: element podczas sortowania był zarówno prześwietlany promieniami X, jak i uginany. Uginanie deski służyło do oznaczenia modułu sprężystości, natomiast za pomocą prześwietlania określano gęstość i sękatość badanej tarcicy (rys. 63). Na podstawie opisu wcześniejszych rozwiązań (tab. 27) można stwierdzić, że konstruktorzy tej maszyny zdecydowali się na kombinację cech drewna, których współczynnik korelacji z wytrzymałością na zginanie, rozciąganie i ściskanie drewna jest równy lub wyższy niż 0,8. Zasadę działania urządzenia przedstawiono schematycznie na rysunku 64.



Rysunek 63. Fragment rentgenowskiego obrazu sortowanego elementu uzyskanego z użyciem EuroGreComatu (materiały firmy GreCon)

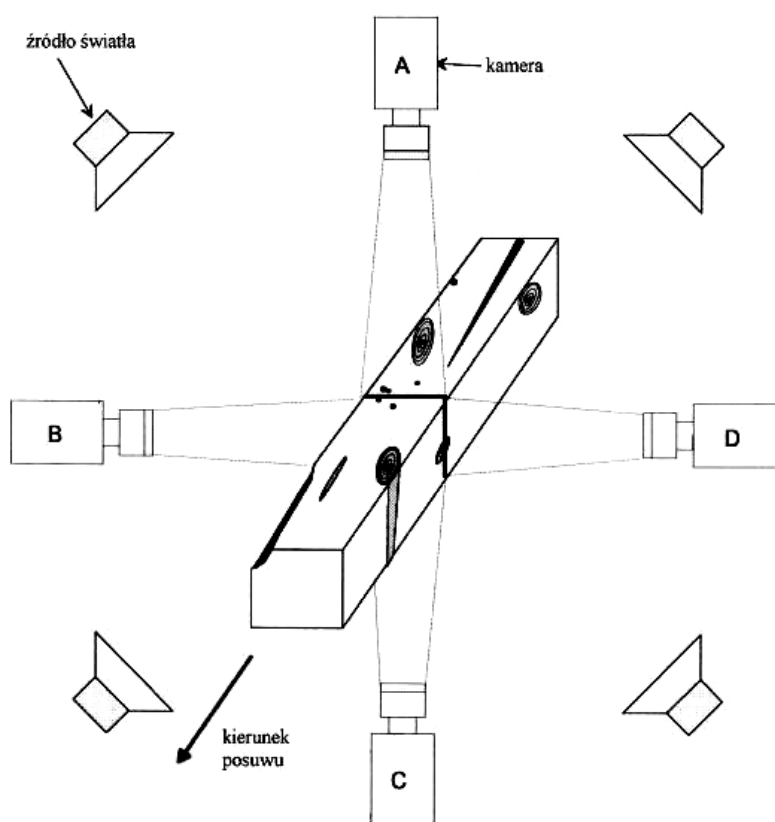


Rysunek 64. Zasada działania EuroGreComatu (Glos i Diebold 1997)

Grade Master to maszyna działająca na zasadzie pomiaru dynamicznego modułu sprężystości. Odbywało się to poprzez uderzenie w czoło deski, leżącej na przenośniku poprzecznym, specjalnym młotkiem. Uderzenie wzbudzało w desce drgania. Pomiarowi podlegała częstotliwość tych drgań. Dysponując częstotliwością drgań, długością oraz gęstością całej sztuki tarcicy, można było obliczyć dynamiczny moduł sprężystości. W celu określenia gęstości każda deska musiała być zważona i zmierzona. Urządzenie było również wyposażone w zestaw czterech kamer, które

skanowały powierzchnię deski ze wszystkich stron. System kamer umożliwiał ustalenie sękatości badanego elementu oraz innych wad i cech drewna wpływających na jego wytrzymałość – pęknięcia, pęcherze żywiczne, zakorki, chodniki owadzie i oblinę (rys. 65).

Obydwa wymienione powyżej urządzenia, jak również te tradycyjne wspomniane wcześniej, sortowały tarcicę zgodnie z obowiązującymi wówczas krajowymi normami dotyczącymi wytrzymałościowego sortowania tarcicy konstrukcyjnej. Na przykład w Niemczech była to: DIN 4074, która wyróżniała 3 klasy tarcicy sortowanej metodą maszynową: MS 13, MS 10, MS 7.

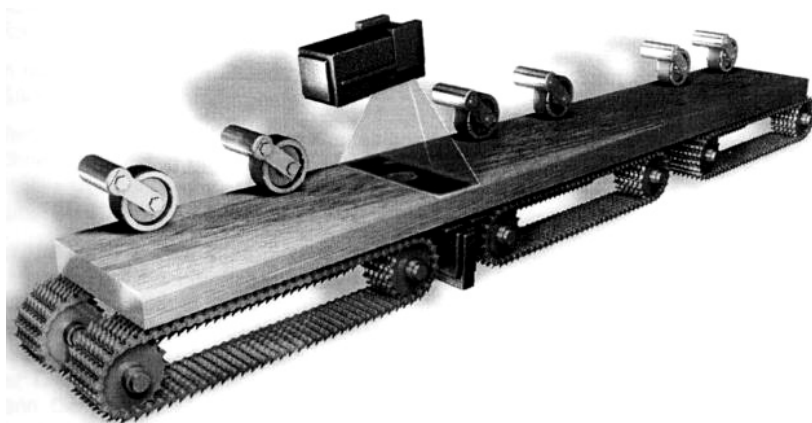


Rysunek 65. Zasada działania skanera w urządzeniu do sortowania Grade Master:
A, B, C, D kamery (materiały firmy Dimter)

W 1997 roku obie firmy – Dimter i GreCon, połączyły się. Efektem ich wspólnych prac są urządzenia znane pod nazwą EuroGreComat 702 i EuroGreComat 704, należące do maszyn najnowszej generacji. EuroGreComat 702, pracujący w trybie *on-line*, działa na zasadzie prześwietlania sortowanej, leżącej na płasko tarcicy promieniowaniem X. W efekcie uzyskuje się obraz rentgenowski tarcicy o zróżnicowanym stopniu szarości, ponieważ absorpcja promieniowania jest funkcją gęstości badanego drewna. W ten sposób ustala się położenie każdego sęka oraz jego parametry (wielkość, średnicę, kształt) w badanej tarcicy. Na podstawie tych danych określana

jest sękatość – parametr będący kryterium sortowania. Przy znanej grubości i wilgotności badanej tarcicy wyliczana jest również jej gęstość. Zasada działania maszyny przedstawiona została na rysunku 66. Urządzenie sortuje tarcicę zaliczaną do dwóch klas – MS 7 i MS 10. Stosowane jest głównie w małych zakładach produkujących drewno klejone warstwowo z tarcicy. Może pracować z systemem znakującym kolorową farbą na boku deski jej klasę jakości lub w sprzężeniu z piłą tarczową poprzeczną wycinającą wadliwe fragmenty sortowanej tarcicy w linii dołączenia na długość. Urządzenie pracuje z prędkością posuwu do $300 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. EuroGreComat 702 może być również, na życzenie klienta, wyposażony w system kamer do skanowania powierzchni sortowanych desek ze wszystkich czterech stron (Glos i Diebold 1997, Bergmann 1999).

a



b



Rysunek 66. EuroGreComat-702: a – zasada działania, b – widok maszyny podczas pracy, widoczne źródło promieniowania (materiały firmy GreCon)

EuroGreComat 704 to nazwa aktualnej wersji opracowanego w 1995 roku EuroGreComatu, działającego zarówno na zasadzie uginania, jak i prześwietlania sortowanego elementu. Urządzenie to sortuje tarcicę zaliczaną do wszystkich czterech maszynowych klas dopuszczonych przez DIN 4074 – MS 7, MS 10, MS 13 i MS 17.

W 2000 roku włoska firma Microtec kupiła część firmy GreCon, zajmującą się produkcją maszyn do sortowania wytrzymałościowego. W niedługim czasie na rynku pojawiła się maszyna pod nazwą GoldenEye 702 (rys. 67), która łączy w sobie technikę obu konkurujących do niedawna firm (Denzler i in. 2005).

a

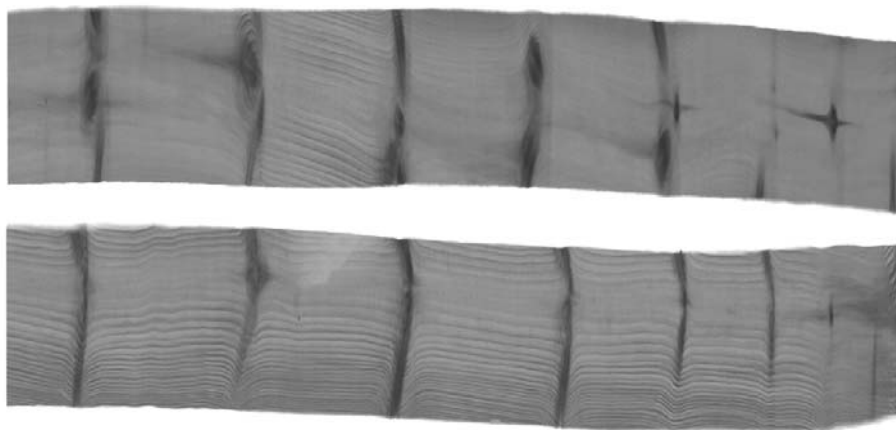


b



Rysunek 67. Urządzenie do wytrzymałościowego sortowania tarcicy firmy GoldenEye 702: a – prześwietlanie tarcicy promieniami X, b – widok ogólny urządzenia (materiały firmy Microtec)

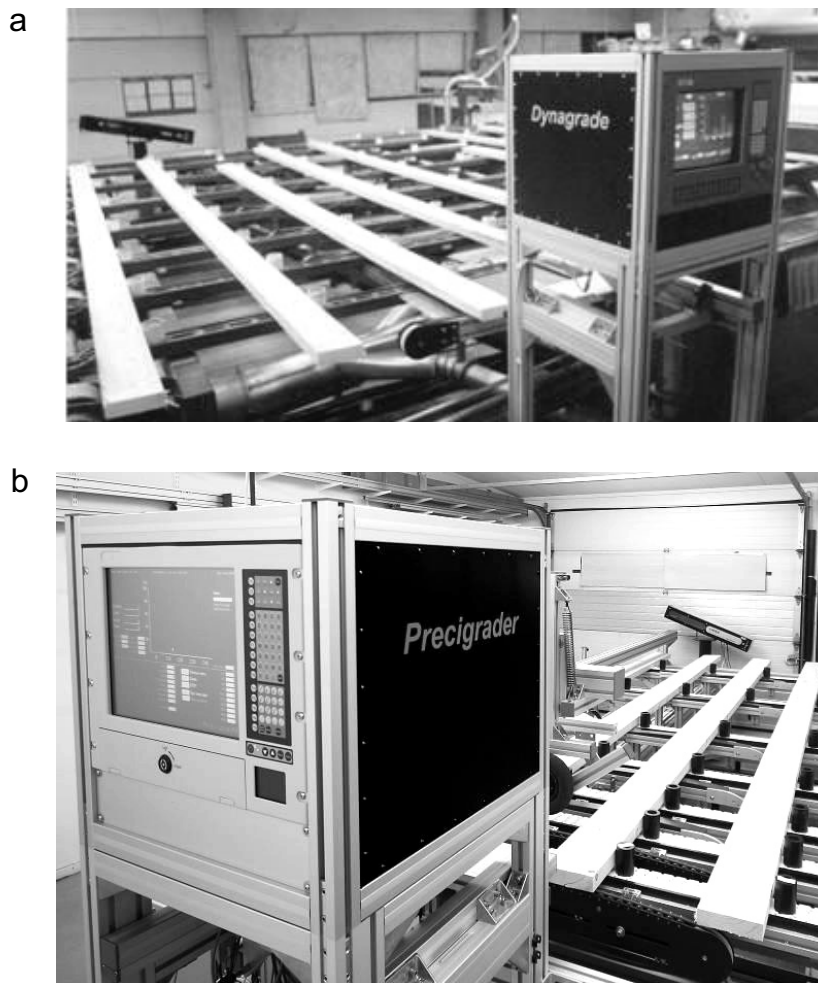
Maszyna jest wyposażona w źródło promieniowania X, lasery optyczne oraz kamery skanujące płaszczyzny i boki badanej tarcicy, znajdującej się na przenośniku wzdłużnym. Urządzenie dokonuje dokładnych pomiarów również w przypadku tarcicy niestruganej lub zabrudzonej. Wyniki pomiarów poddawane są obróbce komputerowej. GoldenEye 702 mierzy: gęstość drewna, wymiary, układ włókien oraz rozpoznaje sęki, pęknięcia, obliny, krzywizny i zwichrowania tarcicy. Przykładowe obrazy rentgenowskie desek uzyskane przy użyciu tego urządzenia przedstawiono na rysunku 68. W przypadku zastosowania kamer telewizji kolorowej urządzenie rozpoznaje również zgniliznę, siniznę, pęcherze żywiczne, zakorki oraz sęki zepsute. Maszyna może sortować, według normy DIN 4074, jak również według normy EN 384, tarcicę o grubości do 150 mm i szerokości do 500 mm, z prędkością $450 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.



Rysunek 68. Obrazy rentgenowskie sosnowych desek uzyskane z użyciem urządzenia GoldenEye 702 (długość desek 4 m)

W 1995 roku w Unii Europejskiej wprowadzono normę EN 338, która zawierała nowy podział na klasy dla tarcicy sortowanej wytrzymałościowo i wartości charakterystyczne właściwości wytrzymałościowych i sprężystych oraz gęstości dla każdej klasy. Norma wprowadziła dla tarcicy iglastej i topoli następujące klasy: C14, C16, C18, C20, C22, C24, C27, C30, C35, C40, C45 i C50.

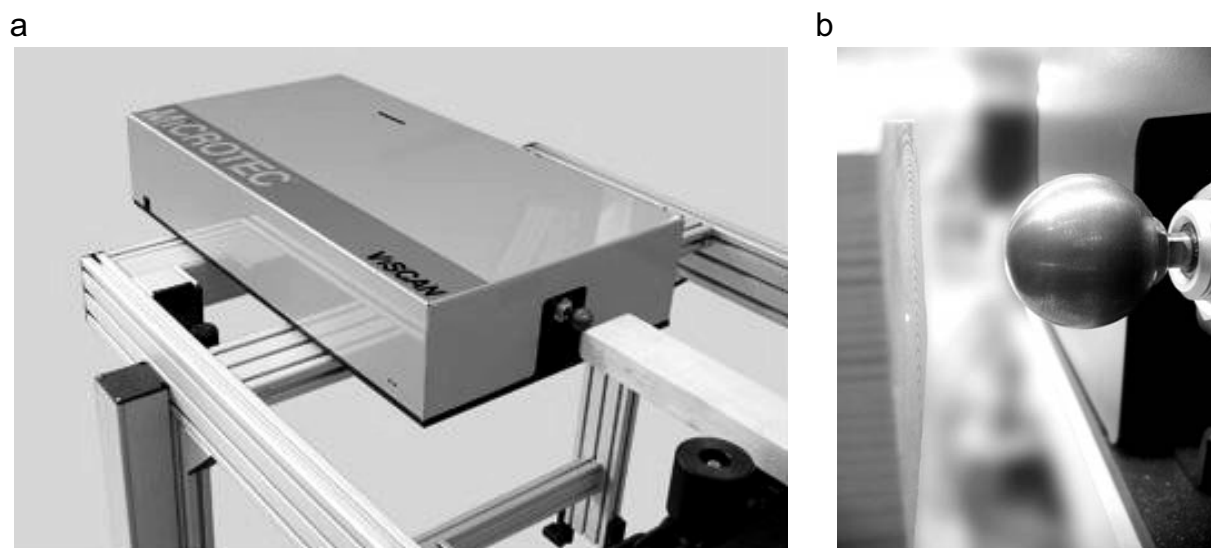
Po wprowadzeniu tej normy zaczęto produkować maszyny do sortowania wytrzymałościowego, które mogły sortować tarcicę na klasy zgodnie z normami krajowymi, jak również z normą EN 338. Obecnie wszystkie dostępne na europejskim rynku maszyny sortują tarcicę do klas C. W ostatnim dziesięcioleciu w Europie pojawiło się kilka nowych urządzeń do wytrzymałościowego sortowania tarcicy, działających na zasadzie pomiaru dynamicznego modułu sprężystości. Należą do nich popularne w Skandynawii urządzenia Dynagrade oraz Precigrader (rys. 69) szwedzkiej firmy Dynalyse. Precigrader jest unowocześnioną wersją Dynagrade. Precigrader wyznacza moduł sprężystości, uwzględniając rzeczywistą gęstość każdej badanej sztuki



Rysunek 69. Urządzenia do wytrzymałościowego sortowania tarcicy szwedzkiej firmy Dynalyse:
a – Dynagrade, b – Precigrader (materiały firmy Dynalyse)

tarcicy (w skład urządzenia wchodzi waga przemysłowa oraz moduły do pomiaru wymiarów tarcicy). Oba urządzenia mogą sortować tarcicę sosnową i świerkową według klas wytrzymałościowych: C16, C18, C24, C30 i C35 (zgodnie z EN 338), jak również zgodnie z amerykańską normą ALS, kanadyjską CLSAB i japońską JAS. Najmniejszy przekrój tarcicy, którą można sortować przy użyciu Dynagrade, to 33×60 mm, a największy – to 75×250 mm. Z kolei za pomocą urządzenia Precigrader można sortować tarcicę już o przekroju od 20×60 mm do nawet 105×300 mm. Długość sortowanej tarcicy może wynosić 2,4–6 m. Urządzenia te sortują tarcicę suszoną, o wilgotności powyżej 12%, zarówno struganą, jak i szorstką. Ich wydajność, w zależności od modelu, wynosi: dla Dynagrade – do 240 sztuk na minutę, a dla Precigrader – do 180 sztuk na minutę. Oba urządzenia są montowane przy przenośniku poprzecznym, na którym jest transportowana sortowana tarcica (Karlsson 2009).

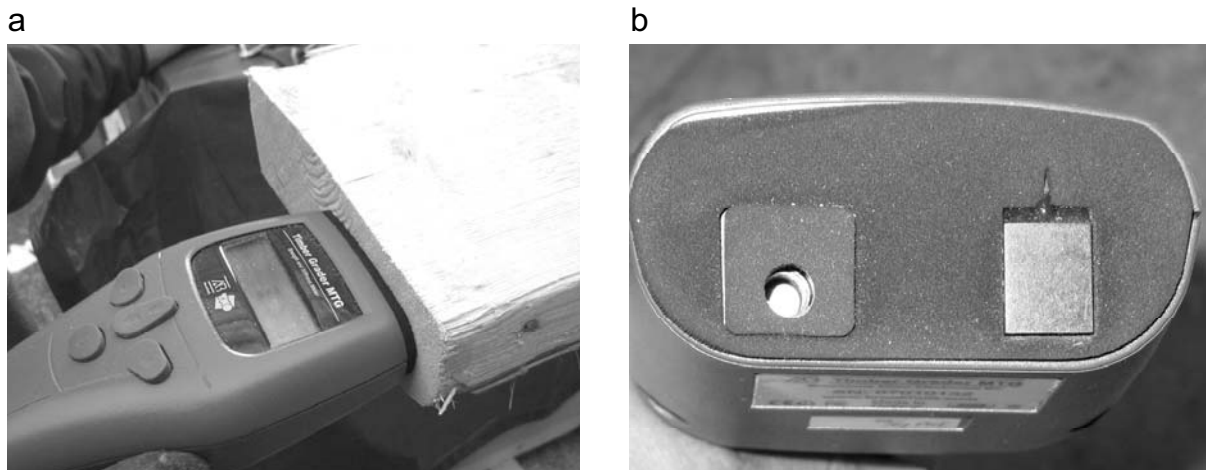
Innym urządzeniem, działającym również na zasadzie pomiaru dynamicznego modułu sprężystości, jest Viscan firmy MiCROTEC (rys. 70). Urządzenie to jest także montowane przy przenośniku poprzecznym, na którym transportowana jest sortowana tarcica. Działa ono na zasadzie uderzenia w czoło deski specjalną głowicą. Częstotliwość drgań wzbudzonych przez uderzenie jest następnie odczytywana z wykorzystaniem techniki laserowej (interferometr laserowy). Urządzenie można zestawiać razem z innym urządzeniem do sortowania tarcicy – GoldenEye 702. Taki zestaw nosi nazwę GoldenEye 706.



Rysunek 70. Urządzenie do sortowania Viscan: a – widok ogólny, b – fragment urządzenia z głowicą i widocznym na czoło tarcicy promieniem laserowym wykorzystywanym do określania częstotliwości wzbudzonych drgań (materiały firmy Microtec)

Kolejnym, jedynym – jak do tej pory – przenośnym urządzeniem do wytrzymałościowego sortowania tarcicy konstrukcyjnej, działającym na zasadzie pomiaru dynamicznego modułu sprężystości jest Mobile Timber Grader MTG holenderskiej firmy Brookhuis Micro-Electronics. Urządzenie to służy do określenia klasy wytrzymałości tarcicy konstrukcyjnej zgodnie z EN 338. Przyrząd zaprojektowała, wykonała i opatentowała firma Brookhuis Micro-Electronics we współpracy z duńskim Instytutem TNO oraz Instytutem VTT z Finlandii. Jego pierwsza prezentacja miała miejsce na targach Ligna 2005. W marcu 2006 roku w Holandii firmie Brookhuis Micro-Electronics przyznano nagrodę za innowacyjność (za Mobile Timber Grader), a w marcu 2007 roku urządzenie uzyskało aprobatę techniczną (Krzosek i Grześkiewicz 2008).

Przyrząd działa na zasadzie wzbudzenia drgań w drewnie poprzez krótkotrwałe uderzenie w czoło badanej sztuki tarcicy trzpieniem uruchamianym elektromagnetycznie i osadzonym w obudowie urządzenia (rys. 71). Powracająca z drewna fala



Rysunek 71. Mobile Timber Grader: a – widok ogólny urządzenia, b – widok od czoła (materiały firmy Brookhuis)

(drgania) trafia do sondy zlokalizowanej obok ruchomego trzpienia i jest poddawana analizie. Na wyświetlaczu przyrządu pojawia się wartość modułu sprężystości drewna (w MPa) i oznaczenie klasy drewna według EN 338. Największą zaletą tego urządzenia jest możliwość przenoszenia go w poręcznej walizce – jest jedynym przenośnym urządzeniem do sortowania tarcicy. Jest ono z założenia przeznaczone dla drobnych producentów tarcicy konstrukcyjnej i w porównaniu z urządzeniami stacjonarnymi także atrakcyjne cenowo (Krzosek i Grześkiewicz 2008). Obecnie firma produkuje również urządzenia MTG w wersji stacjonarnej, montowane przy przenośniku poprzecznym.

Przyrząd może być stosowany zarówno do drewna iglastego (od klasy C18 do C40), jak i liściastego (od klasy D30 do D70) i może pracować w trybie szybkim – uproszczonym lub wolniejszym, ale dokładniejszym. W trybie uproszczonym, przed sortowaniem i określeniem modułu sprężystości danej sztuki tarcicy, należy wprowadzić gęstość charakterystyczną dla danego gatunku, wymiary nominalne partii tarcicy oraz jej średnią wilgotność. W trybie dokładniejszym należy podać rzeczywiste wymiary każdej badanej sztuki tarcicy, jej masę (niezbędna jest wtedy również waga), a także rzeczywistą wilgotność. Wilgotność drewna można określić za pomocą przenośnych wilgotnościomierzy lub wilgotnościomierzy stacjonarnych działających *on-line*.

Mobile Timber Grader współpracuje z zestawem komputerowym, istnieje więc możliwość gromadzenia danych i opracowania ich statystycznie, a wyniki pomiaru danej sztuki tarcicy można przekazywać bezprzewodowo, z wykorzystaniem technologii bluetooth, do notebooka. Urządzenie można zaprogramować na wykonywanie pojedynczych badań i całych ich serii (30 określeń modułu sprężystości na minutę). W ramach zestawu Mobile Timber Grader użytkownik otrzymuje program komputerowy do zbierania danych i ich przetwarzania oraz zestaw do kalibracji przyrządu.

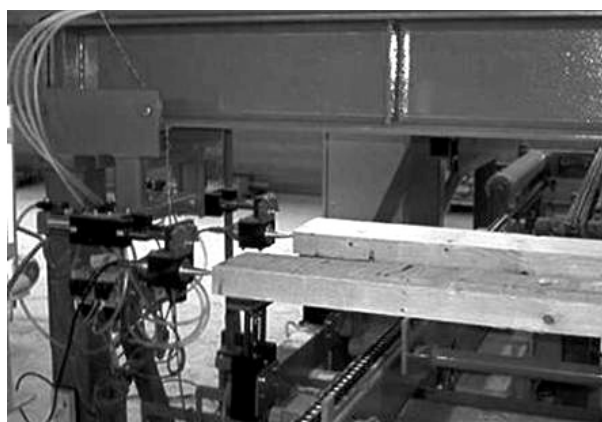
Od kilku lat producent oferuje również to urządzenie w wersji stacjonarnej, montowane przy przenośniku poprzecznym. Wersje stacjonarne urządzenia dorównują wydajnością (prędkością sortowania) innym dostępnym na rynku urządzeniom produkowanym przez konkurencję.

Od niedawna na rynku europejskim znajduje się jeszcze jedno nowe urządzenie do wytrzymałościowego sortowania tarcicy. Jest to Triomatic, francusko-szwajcarskiej firmy CBS-CBT. Urządzenie to działa na zasadzie pomiaru dynamicznego modułu sprężystości przy użyciu ultradźwięków. Ponadto mierzy gęstość i wilgotność sortowanej tarcicy (Sandoz i Benoit 2007). Jest ono montowane przy przenośniku poprzecznym transportującym sortowaną tarcicę (rys. 72).

a



b



Rysunek 72. Urządzenie do wytrzymałościowego sortowania tarcicy Triomatic firmy CBS-CBT:
a – widok ogólny, b – zbliżenie na głowice ultradźwiękowe (Sandoz i Benoit 2007)

O dużym znaczeniu wytrzymałościowego sortowania tarcicy w krajach UE świadczy fakt powołania międzynarodowego programu współpracy pomiędzy ośrodkami naukowymi i przemysłem pod nazwą COST E 53 „Quality control for wood and wood products”. Jednym z wiodących tematów tego programu było właśnie wytrzymałościowe sortowanie tarcicy metodą maszynową. W ramach programu COST E 53, zaplanowanego na lata 2006–2010, odbywały się konferencje oraz spotkania tzw. grup roboczych. Jedną z tych konferencji, w 2007 roku, odbyła się w Warszawie i była zorganizowana przez Wydział Technologii Drewna SGGW.

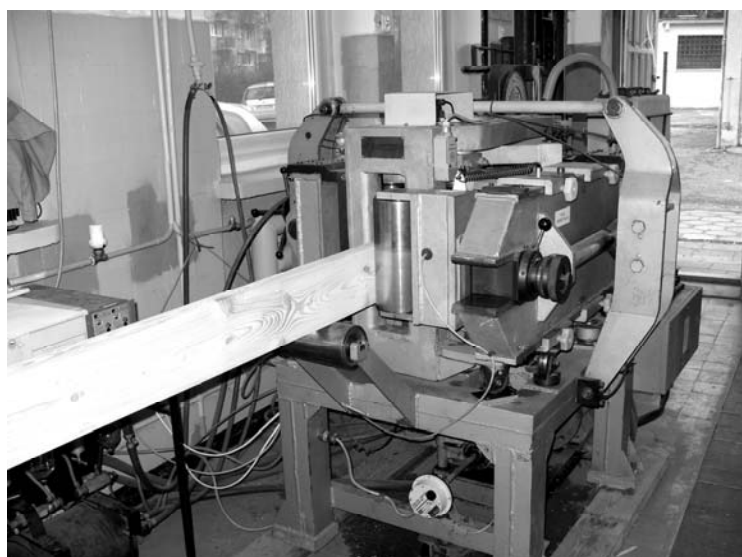
4.6.2. Wytrzymałościowe sortowanie tarcicy konstrukcyjnej metodą maszynową w Polsce

W latach 80. ubiegłego wieku w Polsce zainstalowano dwie maszyny do wytrzymałościowego sortowania. W tartaku w Sławnie i w Murowie pracowały dwie maszyny Timgrader fińskiej firmy Lahden Rautateollisuus. Sortowały one niewielką ilość tarcicy, głównie na rynek angielski (Dzbeński 1995). Na rynku krajowym

nie było wówczas zapotrzebowania na taką tarcicę. Po kilku latach pracy oba urządzenia zostały zdemontowane. Maszyna z Murowa została sprzedana firmie Partner w Szczecinie.

W tym samym czasie w Instytucie Technologii Drewna w Poznaniu powstała jedyna, jak do tej pory, pierwsza polska maszyna do wytrzymałościowego sortowania tarcicy, znana pod nazwą „ITD-3”. Jeden egzemplarz tej maszyny był z powodzeniem testowany na przełomie lat 80. i 90. ubiegłego wieku w warunkach przemysłowych w ciechanowskim „Stolbudzie”. W wyniku zagrożenia upadkiem „Stolbudu” maszyna wróciła do Instytutu Technologii Drewna w Poznaniu (obecnie nie jest wykorzystywana – wymaga modernizacji oprogramowania). Drugi, taki sam egzemplarz znajduje się w posiadaniu firmy Partner w Szczecinie (również i tam nie jest wykorzystywany).

Maszyna „ITD-3” (rys. 73) działała na zasadzie oznaczania modułu sprężystości sortowanej tarcicy w procesie jej uginania w dwóch przeciwnych kierunkach. Przy stałej strzałce ugięcia mierzono wartość siły. Deskę podawano do maszyny i uginano w ustawieniu „na sztorc”, czyli szerokość deski znajdowała się w płaszczyźnie pionowej. W urządzeniu zastosowano optymalny schemat zginania, zmienny dla różnych grubości tarcicy. Maszyna umożliwiała sortowanie na maksymalnie cztery klasy jakości oraz znakowanie sortowanej tarcicy poprzez natryskiwanie farb o różnych kolorach (Krzosek 2009, za: Urządzenie do klasyfikacji... 1986).



Rysunek 73. Urządzenie do wytrzymałościowego sortowania tarcicy „ITD-3”
w Instytucie Technologii Drewna w Poznaniu

Podstawowe dane techniczne urządzenia „ITD-3” wynoszą: wymiary sortowanej tarcicy: grubość – od 19 do 75 mm, szerokość – od 75 do 250 mm, długość – minimum 900 mm; prędkość posuwu tarcicy: 30, 45, 60, 90 m·min⁻¹.

Obecnie w Polsce do wytrzymałościowego sortowania tarcicy stosuje się jedynie metodę wizualną (Kozakiewicz i Krzosek 2011). Uprawnienia do sortowania tą metodą można uzyskać, kończąc specjalistyczne szkolenie. Badaniami w zakresie wytrzymałościowego sortowania tarcicy konstrukcyjnej zajmują się w Polsce dwa ośrodki: Wydział Technologii Drewna SGGW w Warszawie (Dzbeński i in. 2000, 2005, Krzosek i in. 2008, Krzosek 2009, Krzosek i in. 2009) oraz Instytut Technologii Drewna w Poznaniu (Szukała i Szumiński 2003, Noskowiak 2007).

Od marca 2006 roku pracuje w Polsce pierwszy egzemplarz maszyny do sortowania najnowszej generacji. Jest to GoldenEye 706 włoskiej firmy MiCROTEC. Urządzenie zakupiła firma Steico S.A. w Czarnkowie do sortowania elementów z litego drewna, służących do produkcji dwuteowników ze środkiem z płyty OSB. Aktualnie w Polsce znajdują się dwa urządzenia GoldenEye 706 – jedno w firmie Steico S.A., a drugie zostało zakupione przez firmę Timber One w Biłgoraju (zakład w budowie).

Od 2008 roku w posiadaniu Wydziału Technologii Drewna SGGW w Warszawie jest przenośne urządzenie do wytrzymałościowego sortowania tarcicy konstrukcyjnej Mobile Timber Grader (MTG). Na Wydziale prowadzone były badania z użyciem tego urządzenia. Badania obejmowały sortowanie wytrzymałościowe tarcicy konstrukcyjnej metodą wizualną, zgodnie z PN-82/D-94021 oraz sortowanie z użyciem urządzenia MTG (rys. 74).



Rysunek 74. Stanowisko do wytrzymałościowego sortowania tarcicy z użyciem urządzenia MTG na WTD SGGW w Warszawie (fot. M. Grześkiewicz)

W czasie sortowania za pomocą urządzenia MTG dla każdej deski wprowadzano do programu jej rzeczywiste wymiary, wilgotność oraz masę (każda badana sztuka była w trakcie badania ważona). Badaniami objęto tarcicę o różnych przekrojach wykorzystywanych najczęściej przy produkcji (np. więźb dachowych), pochodzącą z pięciu różnych Krain Przyrodniczo Leśnych Polski. Z każdej krainy wybrano po trzy przekroje (Krzosek 2009).

4.6.3. Stan normalizacji w zakresie wytrzymałościowego sortowania tarcicy konstrukcyjnej metodą maszynową

Zagadnienia dotyczące wytrzymałościowego sortowania tarcicy konstrukcyjnej metodą maszynową reguluje norma EN 14081, która ma też status Polskiej Normy (PN-EN 14081) Konstrukcje drewniane. Drewno konstrukcyjne o przekroju prostokątnym sortowane wytrzymałościowo. Część 1: Wymagania ogólne (2007); Część 2: Sortowanie maszynowe. Wymagania dodatkowe dotyczące wstępnych badań typu (2010); Część 3: Sortowanie maszynowe. Wymagania dodatkowe dotyczące zakładowej kontroli produkcji (2007); Część 4: Sortowanie maszynowe. Nastawy urządzeń sortujących do kontroli maszynowej (2009). Po wprowadzeniu tej normy w różnych ośrodkach badawczych w Europie rozpoczęto badania zgodnie z przewidzianymi w niej procedurami. Konkretny model maszyny do wytrzymałościowego sortowania może być wykorzystywany tylko wtedy, gdy jest on dopuszczony do użytku przez Europejski Komitet Normalizacyjny (CEN) w Brukseli i znajduje się w wykazie zamieszczonym w PN-EN 14081-4:2009. W tej części normy znajdują się szczegółowe wytyczne dotyczące zastosowania poszczególnych maszyn. Najważniejsze z nich to: kraj, w którym maszyna może być stosowana, gatunek drewna, do którego można ją stosować, wymiary przekroju poprzecznego oraz klasy C, na jakie można nią sortować drewno. Procedura dopuszczenia do użytku każdej maszyny musi być poprzedzona badaniami, które wykażą jej poprawną pracę. Dopuszczenie do użytku otrzymuje producent maszyny tylko dla tego gatunku drewna, na którym przeprowadzono badania sprawdzające według PN-EN 384:210.

W marcu 2011 roku firma MiCROTEC otrzymała dopuszczenie do sortowania polskiej tarcicy sosnowej dla następujących swoich urządzeń – Viscan i GoldenEye. Urządzenia ViSCAN, ViSCAN-COMPACT, ViSCAN-PLUS to trzy różne wersje jednego urządzenia, które różnią się między sobą sposobem określania gęstości badanej tarcicy. Urządzenie w wersji podstawowej, czyli ViSCAN, działa na zasadzie optycznego pomiaru, częstotliwości drgań własnych wzbudzonych poprzez pojedyncze uderzenie w czoło badanej deski metalową kulą przy użyciu światła laserowego. Na podstawie określonej częstotliwości drgań i wprowadzonej do programu tablicowej gęstości badanego gatunku drewna obliczany jest dynamiczny moduł sprężystości, będący kryterium zakwalifikowania danej sztuki do odpowiedniej klasy wytrzymałościowej C. Niezbędne jest też podanie wilgotności drewna w momencie badania oraz długości tarcicy. Urządzenie jest montowane przy przenośniku poprzecznym transportującym tarcicę. ViSCAN-COMPACT i ViSCAN-PLUS są wyposażone

dodatkowo w oprzyrządowanie do pomiaru gęstości każdej badanej sztuki tarcicy. W przypadku ViSCAN-COMPACT jest to zamontowana na przenośniku waga przemysłowa, a w przypadku ViSCAN-PLUS do pomiaru gęstości wykorzystywane jest promieniowanie rentgenowskie. Urządzenia ViSCAN i ViSCAN-COMPACT mogą pracować z prędkością do 35 desek na minutę, a urządzenie ViSCAN-PLUS do 180 desek na minutę.

Urządzenie GoldenEye uzyskało dopuszczenie do użytku dla dwóch modeli: GoldenEye 702 i GoldenEye 706. GoldenEye 702 to urządzenie działające na zasadzie prześwietlania badanej sztuki tarcicy promieniowaniem rentgenowskim, wyposażone dodatkowo w optyczne systemy skanujące powierzchnie tarcicy za pomocą różnokolorowych kamer oraz światła laserowego. Urządzenie jest przelotowe, montowane w systemie przenośników podłużnych. GoldenEye 706 to dwa urządzenia GoldenEye 702 i ViSCAN zestawione razem. Urządzenia GoldenEye 702 i 706 mogą sortować tarcicę długości od 2 do 6 m, grubości od 20 do 150 mm i szerokości od 50 do 300 mm, z prędkością do 600 m·min⁻¹. Są to więc urządzenia stosowane w dużych zakładach produkujących na przykład drewno konstrukcyjne klejone warstwowo z tarcicy (*Brettschichtholz* – BSH).

W tabeli 28 zamieszczono wykaz urządzeń dopuszczonych do użytku w Europie przez PN-EN-14081-4:2009 wraz z podaniem ich zasady działania. Na podstawie ostatniego wydania tej normy oraz raportów ITT do sortowania polskiej tarcicy dopuszczone są następujące rodzaje urządzeń (Krzosek i Bacher 2011):

- Cook Bolinder: tarcica świerkowa i sosnowa,
- Computermatic/Micromatic: tarcica świerkowa i sosnowa,
- Raute Timgrader: tarcica świerkowa,
- GoldenEye 702: tarcica świerkowa i jodłowa,
- EuroGreComat-704: tarcica świerkowa,
- Dynagrade: tarcica świerkowa, jodłowa i sosnowa,
- ViSCAN: tarcica świerkowa, jodłowa i sosnowa,
- GoldenEye 706: tarcica świerkowa, jodłowa i sosnowa,
- Precigrader: tarcica świerkowa i jodłowa,
- ViSCAN PLUS: tarcica świerkowa, jodłowa i sosnowa,
- ViSCAN COMPACT: tarcica świerkowa, jodłowa i sosnowa.

Tabela 28. Urządzenia do wytrzymałościowego sortowania tarcicy konstrukcyjnej dopuszczone do stosowania w różnych krajach w Europie wymienione w PN-EN 14081-4:2009

Maszyna	Zasada działania	Kryterium sortowania	Producent
Cook Bolinder	zginanie	moduł sprężystości	W. Brytania
Computermatic, Micromatic	zginanie	moduł sprężystości	W. Brytania
Raute Timgader	zginanie	moduł sprężystości	Finlandia
EuroGreComat-702	prześwietlanie	gęstość, sękatość	Włochy/Niemcy
GoldenEye 702	prześwietlanie	gęstość, sękatość	Włochy
EuroGreComat-704	prześwietlanie, zginanie	moduł sprężystości, gęstość, sękatość	Włochy/Niemcy
Dynagrade	drgania własne	moduł sprężystości	Szwecja
ViSCAN	drgania własne	moduł sprężystości	Włochy
EuroGreComat-706	prześwietlanie, drgania własne	moduł sprężystości, gęstość, sękatość	Włochy/Niemcy
GoldenEye 706	prześwietlanie, drgania własne	moduł sprężystości, gęstość, sękatość	Włochy
Timber Grader MTG wraz z wagą	drgania własne, waga	moduł sprężystości, gęstość	Holandia
Precigrader	drgania własne, waga	moduł sprężystości, gęstość	Szwecja
Grademaster	drgania własne, waga, kamery	moduł sprężystości, gęstość, sękatość	Niemcy
E-Scan	drgania własne, waga	moduł sprężystości, gęstość	Luxemburg/ Niemcy
Triomatic	ultradźwięki, waga, wilgotność drewna	moduł sprężystości, gęstość	Szwajcaria/ Francja
MSR CRP 360	zginanie	moduł sprężystości	Kanada
Xyloclass T	drgania własne, waga	moduł sprężystości, gęstość	Francja
Noesys	drgania własne, waga	moduł sprężystości, gęstość	Francja
Timber Grader MTG bez wagi	drgania własne	moduł sprężystości	Holandia
ViSCAN-PLUS	drgania własne, prześwietlanie	moduł sprężystości, gęstość	Włochy
Xyloclass F	drgania własne, waga	moduł sprężystości, gęstość	Francja
ViSCAN-COMPACT	drgania własne, waga	moduł sprężystości, gęstość	Włochy

Źródło: Krzosek i Bacher 2011.

4.6.4. Porównanie wyników sortowania wytrzymałościowego metodą wizualną i metodą maszynową polskiej tarcicy sosnowej

W różnych krajach w Europie prowadzone są projekty badawcze polegające na porównywaniu wyników uzyskanych z wytrzymałościowego sortowania tarcicy metodą wizualną oraz z zastosowaniem kilku, działających na różnych zasadach, urządzeń do wytrzymałościowego sortowania (Arriaga i in. 2005, Hanhijarvi i in. 2005, Ranta-Maunus 2007). Podobne badania były prowadzone na Wydziale Technologii Drewna SGGW w Warszawie. Ich celem było porównanie wyników wytrzymałościowego sortowania metodą wizualną z wynikami sortowania metodą maszynową oraz sprawdzenie do jakich klas C (według PN-EN 338:2011) można zaliczyć polskie klasy sortownicze (KW, KS, KG) otrzymywane przy sortowaniu wizualnym według PN-D-94021:1982 oraz projektu PN-D-94021:2013.

Według PN-EN 14081-2:2010 próba ogólna przeznaczona do badań, reprezentatywna dla całego zakresu tarcicy, do którego odnoszą się nastawy maszyny, powinna zawierać co najmniej cztery próby częściowe. Próba częściowa to tarcica pochodząca z jednej krainy przyrodniczo-leśnej. Uwzględniając ten wymóg, wybrano tarcicę z pięciu krain, przy czym cztery krainy reprezentowały Polskę Północną i Centralną, a piąta kraina – Polskę Południową (rys. 75).



Rysunek 75. Rozmieszczenie tartaków, w których dokonano zakupu tarcicy do badań
(opr. M. Grześkiewicz)

Badania przeprowadzono na tarcicy sosnowej. Z każdej krainy wybrano po trzy partie tarcicy o różnych wymiarach przekroju poprzecznego i liczbie 50 sztuk każda. Dwa wymiary przekroju poprzecznego, jako najczęściej stosowane przekroje w konstrukcjach w Polsce, zostały wybrane ze wszystkich krain. Były to następujące przekroje poprzeczne: 50×120 mm i 50×140 mm. Trzeci przekrój był z każdej krainy inny. Wybrano następujące pozostałe przekroje: 38×200 mm, 50×225 mm, 63×160 mm, 75×175 mm i 100×100 mm. Długość tarcicy dla wszystkich przekrojów, z wyjątkiem przekroju 50×225 mm, wynosiła 4,0 m. Tarcica o przekroju poprzecznym 50×225 mm miała długość 4,5 m. Ogółem badaniom poddano 766 sztuk tarcicy, o łącznej miąższości $24,260 \text{ m}^3$. Charakterystykę wymiarową tarcicy, pochodzącej z poszczególnych krain, przedstawiono w tabeli 29, z której wynika też, że z krainy E pochodziło o 16 sztuk tarcicy więcej niż z pozostałych krain.

Zakres badań obejmował:

- wytrzymałościowe sortowanie tarcicy metodą wizualną zgodnie z PN-D-94021:1982;
- wytrzymałościowe sortowanie tarcicy z użyciem urządzenia GoldenEye 706;
- wytrzymałościowe sortowanie tarcicy z użyciem urządzenia MTG;
- badanie modułu sprężystości i wytrzymałości tarcicy na zginanie, zgodnie z PN-EN 408: 1998, z użyciem maszyny wytrzymałościowej TiraTest 2300 o zakresie do 100 KN.

Tabela 29. Wymiary przekroju poprzecznego tarcicy pochodzącej z poszczególnych krain przyrodniczo-leśnych Polski

Wymiary przekroju poprzecznego [mm]	Kraina przyrodniczo-leśna					Razem
	A	B	C	D	E	
	Liczba sztuk tarcicy					
38×200	–	50	–	–	–	50
50×120	50	50	50	50	53	253
50×140	50	50	50	50	52	252
50×225	50	–	–	–	–	50
63×160	–	–	50	–	–	50
75×175	–	–	–	50	–	50
100×100	–	–	–	–	61	61
Ogółem	150	150	150	150	166	766

Źródło: Krzosek 2009.

Wyniki sortowania tarcicy metodą wizualną przedstawiono w tabeli 30, z zastosowaniem urządzenia GoldenEye 706 – w tabeli 31, a z zastosowaniem urządzenia Mobile Timber Grader (MTG) – w tabeli 32.

Tabela 30. Wyniki wytrzymałościowego sortowania tarcicy metodą wizualną

Kraina	Klasa sortownicza według PN-D-94021:1982							
	KW		KS		KG		Odrzut	
	szt.	%	szt.	%	szt.	%	szt.	%
A	16	10,6	20	13,3	55	36,6	59	39,3
B	0	0,0	4	2,6	30	20,0	116	77,3
C	2	1,3	4	2,6	59	39,3	85	56,6
D	12	8,0	18	12,0	72	48,0	48	32,0
E	4	2,4	9	5,4	56	33,7	97	58,4
Ogółem	34	4,4	55	7,2	272	35,5	405	52,9

Źródło: Krzosek 2009.

Z tabeli 30 wynika, że ponad połowa badanej tarcicy (52,9%) została zakwalifikowana jako odrzut, 35,5% tarcicy zostało zakwalifikowane do klasy KG, 7,2% tarcicy zakwalifikowano do klasy KS i zaledwie 4,4% tarcicy spełniało kryteria najlepszej klasy KW. Mimo iż tarcica była pobierana do badań w sposób losowy, bez żadnej wstępnej selekcji, zwraca uwagę bardzo duża ilość tarcicy zakwalifikowanej jako odrzut. Każdy producent tarcicy konstrukcyjnej sortowanej wytrzymałościowo musi liczyć się z dużą ilością tarcicy nienadającej się do zastosowania konstrukcyjnego, dla której musi znaleźć inny sposób wykorzystania.

W wyniku wytrzymałościowego sortowania tarcicy z użyciem urządzenia GoldenEye 706 (tab. 31) do klasy C 30 zakwalifikowano 232 sztuki tarcicy (30,4% całej partii), do klasy C 24 – 98 sztuk tarcicy (12,8% całej partii), a do klasy C 18 – 206 sztuk tarcicy (27% całej partii). Odrzuconych zostało 228 sztuk tarcicy, czyli 29,8%. Jak można zauważyć, w znacznym stopniu, w porównaniu z wynikami sortowania wizualnego, wzrosła liczba sztuk tarcicy zakwalifikowanych do wyższych klas wytrzymałościowych, czyli C 30 i C 24. Znacznemu zmniejszeniu uległa również liczba desek zakwalifikowanych jako odrzuty.

Tabela 31. Wyniki wytrzymałościowego sortowania tarcicy z użyciem urządzenia GoldenEye 706

Kraina	Klasa wytrzymałościowa według PN-EN 338:2011							
	C 30		C 24		C 18		odrzut	
	szt.	%	szt.	%	szt.	%	szt.	%
A	79	52,7	19	12,7	27	18,0	25	16,6
B	7	4,7	1	0,7	29	19,3	113	75,3
C	28	18,9	40	27,0	50	33,8	30	20,3
D	82	54,7	20	13,3	41	27,3	7	4,7
E	36	21,7	18	10,8	59	35,6	53	31,9
Ogółem	232	30,4	98	12,8	206	27,0	228	29,8

Źródło: Krzosek 2009.

W wyniku sortowania z zastosowaniem urządzenia MTG otrzymano małą liczbę sztuk tarcicy zakwalifikowanej jako odrzut. Prawdopodobnie ta jest widoczna dla tarcicy pochodzącej z każdej badanej krainy (tab. 32). Udział procentowy tarcicy zakwalifikowanej jako odrzut dla poszczególnych klas zawierał się w przedziale od 2 do 49,3%. Udział procentowy tarcicy zakwalifikowanej jako odrzut dla całej partii badanej tarcicy wynosił 17,5%. Dla tarcicy z wszystkich krain (z wyjątkiem krainy B) najliczniejszą klasą wytrzymałościową jest klasa C 24 (udział procentowy dla poszczególnych klas od 13,3 do 49,3%, a dla całej partii badanej tarcicy – 36,8%). Dzięki zastosowaniu do sortowania urządzenia MTG uzyskano również dużą liczbę sztuk tarcicy o klasie wytrzymałościowej C 30 (128 sztuk) oraz 44 sztuki w klasie C 35, a nawet 4 sztuki tarcicy w klasie C 40 (urządzenie może sortować tarcicę do pięciu klas: C 40, C 35, C 30, C 24 i C 18).

Tabela 32. Wyniki wytrzymałościowego sortowania tarcicy z użyciem urządzenia Mobile Timber Grader

Kraina	Klasa wytrzymałościowa według PN-EN 338:2011											
	C 40		C 35		C 30		C 24		C 18		odrzut	
	szt.	%	szt.	%	szt.	%	szt.	%	szt.	%	szt.	%
A	2	1,3	18	12,0	42	28,0	56	37,3	21	14,0	11	7,3
B	0	0,0	0	0,0	1	0,7	20	13,3	55	36,7	74	49,3
C	0	0,0	4	2,7	23	15,3	74	49,3	39	26,0	10	6,7
D	2	1,3	18	12,0	46	30,7	61	41,0	20	13,3	3	2,0
E	0	0,0	4	2,4	16	9,6	71	42,8	39	23,5	36	21,7
Ogółem	4	0,5	44	5,8	128	16,7	282	36,8	174	22,7	134	17,5

Źródło: Krzosek 2009.

Po przeprowadzeniu badania modułu sprężystości i wytrzymałości na zginanie badanej tarcicy z użyciem maszyny wytrzymałościowej (rys. 76) oraz laboratoryjnym wyznaczeniu gęstości tarcicy wykonano obliczenia wartości charakterystycznych dla modułu sprężystości, wytrzymałości na zginanie i gęstości (zgodnie z PN-EN-384:2010).

Obliczenia te wykonano dla każdej z klas sortowniczych, czyli KW, KS i KG, a następnie obliczone wartości charakterystyczne porównano z wymaganiami dla klas C zawartymi w PN-EN 338:2011. Na podstawie tego porównania dla badanej partii tarcicy stwierdzono, że klasa KW odpowiada właściwościami klasie C 30, klasa KS – klasie C24, a klasa KG – klasie C 18. Po tych ustaleniach dokonano porównania wyników sortowania badanej tarcicy metodą wizualną i metodą maszynową. Wyniki porównania przedstawiono w tabeli 33.



Rysunek 76. Niszczące badanie wytrzymałości tarcicy na zginanie z użyciem maszyny wytrzymałościowej (fot. M. Grześkiewicz)

Tabela 33. Wyniki ilościowego porównania sortowania badanej partii sosnowej tarcicy metodą wizualną i metodą maszynową z użyciem urządzeń GoldenEye 706 i Mobile Timber Grader

Klasa wytrzymałościowa według PN-EN 338:2011	Metoda sortowania					
	maszynowa				wizualna	
	GoldenEye 706		MTG			
	szt.	%	szt.	%	szt.	%
C 40	0	0,0	4	0,5	0	0,0
C 35	0	0,0	44	5,8	0	0,0
C 30	232	30,4	128	16,7	34	4,4
C 24	98	12,8	282	36,8	55	7,2
C 18	206	27,0	174	22,7	272	35,5
Odrzut	228	29,8	134	17,5	405	52,9

Sortując tarcicę metodą maszynową (tab. 33), uzyskuje się wyraźny wzrost liczby sztuk tarcicy zakwalifikowanej do wyższych klas wytrzymałościowych (C 30 i C 24) w stosunku do wyników sortowania metodą wizualną, natomiast zmniejsza się liczba sztuk tarcicy najniższej klasy (C 18) i liczba sztuk tarcicy odrzuconej. Przy sortowaniu wizualnym uzyskano tylko 4,4% tarcicy w klasie C 30, a przy sortowaniu maszynowym – 16,7% (MTG) i 30,4% (GoldenEye 706). Tarcica klasy C 24 przy sortowaniu wizualnym stanowiła 7,2%, a przy sortowaniu maszynowym – 36,8% (MTG) i 12,8% (GoldenEye 706). Przy sortowaniu wizualnym uzyskano 35,5% tarcicy klasy C 18, natomiast przy sortowaniu maszynowym liczba sztuk zaliczonych do tej klasy uległa zmniejszeniu i wynosiła 22,7% (MTG) i 27,0% (GoldenEye 706). Ponad połowa całej partii tarcicy (52,9%) została odrzucona przy sortowaniu wizual-

nym. Ilość tarcicy odrzuconej przy sortowaniu maszynowym była znacznie mniejsza i wynosiła 17,5% (MTG) i 29,8% (GoldenEye 706). Sortowanie wytrzymałościowe metodą maszynową pozwala wysortować więcej tarcicy o lepszych właściwościach mechanicznych, za którą można uzyskać na rynku wyższą cenę. Zmniejszenie ilości tarcicy odrzuconej podczas procesu sortowania to również wymierna korzyść.

5. Drzewne materiały konstrukcyjne

5.1. Sklejalność drewna

Stosowane w tradycyjnym budownictwie drewnianym (zrębowym) lite elementy konstrukcyjne są ograniczone wymiarami i jakością surowca (średnicami, długością i sękatością dłużyc, z których są wykonywane). Bardzo trudno jest pozyskać dobrej jakości drewno, które nadawałoby się do wznoszenia obiektów inżynierskich o znacznych rozpiętościach (np. hal sportowych i magazynów). Ograniczenie to znacznie osłabiło konkurencyjność drewna po pojawieniu się stali i strunobetonu. Dopiero wprowadzenie elementów klejonych przywróciło drewnu jego dawne miejsce pośród materiałów konstrukcyjnych (Dzbeński i Kozakiewicz 2004).

Poprzez łączenie klejowe tarcicy pozyskanej z drewna nawet o małych wymiarach i średniej jakości można wykonać belki i podpory o różnych kształtach, przekrojach i to o dużej wytrzymałości. Wykonywanie takich elementów jest możliwe dzięki dobrej sklejalności drewna. Na wynik klejenia istotny wpływ ma skład chemiczny i budowa anatomiczna drewna oraz stan powierzchni klejonych. Z głównych elementów chemicznej budowy ścian komórkowych największą zdolność wiązania klejów ma celuloza. Jest ona polimerem o budowie łańcuchowej, zawierającym boczne, polarne grupy wodorotlenowe. Grupy te łatwo wytwarzają wiązania wodorowe, na przykład z klejami fenolowymi, mocznikowymi i polioctanowinyłowymi (Zenkter 1996). Kleje stosowane do konstrukcji drewnianych powinny spełniać między innymi wymagania normy PN-EN 301:1994.

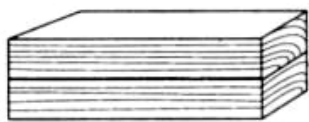
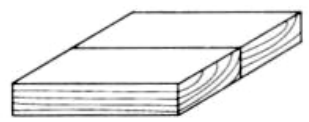
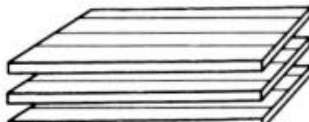
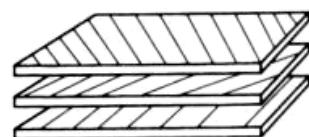

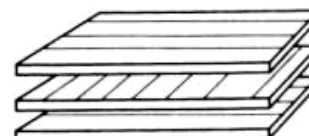

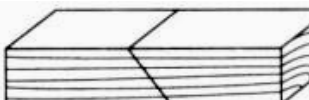


Proces klejenia drewna mogą niekiedy utrudniać lub ułatwiać zawarte w drewnie związki niestrukturalne, takie jak: żywice, tłuszcze, woski, garbniki i sole mineralne. Związki te wpływają na siły adhezji klejów, a także na szybkość zachodzących reakcji (mogą działać jak katalizatory lub inhibitory, przyspieszając lub opóźniając procesy zestalania się spoiny klejowej). Obecność tych substancji związana jest

z funkcjami fizjologicznymi, jakie w żywym drzewie pełnią różne zespoły komórek. Zawartość substancji niestrukturalnych jest zmienna – zależy od gatunku drewna i warunków wzrostu drzew. Krajowe rodzaje drewna są na ogół łatwe w klejeniu, w odróżnieniu od rodzajów drewna tropikalnego, bardziej obciążonego związkami niestrukturalnymi.

Technologia klejenia większością klejów wymaga użycia drewna w stanie powietrznosuchym, to jest o wilgotności 12–15% (jest to wilgotność, jaką uzyskuje drewno składowane w warunkach zewnętrznych, pod zadaszeniem, w naszych warunkach klimatycznych). Z jednej strony większa wilgotność drewna ułatwia jego zwilżanie przez klej, z drugiej jednak strony normy budowlane zalecają, aby sklejać drewno o wilgotności, jaką będzie miało podczas użytkowania (o przewidywanej wilgotności użytkowej). Takie postępowanie zapobiega powstawaniu naprężeń w spoinach pod wpływem nieuniknionych zmian wymiarowych niedopasowanego wilgotnościowo drewna na skutek jego wysychania lub nawilżania. Dla procesu klejenia, jak zostało wspomniane wyżej, ma znaczenie stan powierzchni klejonych, w tym zachodzące na nich przemiany (np. naturalne starzenie się). Najlepszą „przyczepność” dla klejów ma drewno świeżo obrobione (przestrugane). Ważna jest również chropowatość powierzchni klejonych oraz ich wzajemne dopasowanie (przyleganie). Spoina klejowa nie powinna być zbyt gruba (grubość nie większa niż 0,1 mm) – stąd tarcica sortowana wytrzymałościowo, stosowana do elementów klejonych, powinna spełniać bardziej rygorystyczną drugą klasę tolerancji wymiarowej. Na parametry te ma wpływ sposób obróbki i kierunek anatomiczny drewna. Największe różnice występują między powierzchniami z przekrojem poprzecznym drewna a powierzchniami równoległymi do kierunku przebiegu włókien (przekroje wzdłużne). Niejednakowy współczynnik sprężystości oraz inna twardość drewna wczesnego i późnego sprawiają, że powierzchnie prostopadłe do przebiegu włókien mają większe nierówności, utrudniające przyleganie. Poprzeczne przecięcie elementów strukturalnych drewna powoduje również większe wnikanie kleju w głąb drewna (jego „uciekanie” ze spoiny klejowej przed żelowaniem).

W wyrobach i konstrukcjach drewnianych drewno jest klejone różnymi płaszczyznami, a układ włókien drzewnych w łączonych częściach może być dowolnie zorientowany (tab. 34). Podobnie odmienna orientacja włókien drzewnych występuje przy wytwarzaniu materiałów drewnopochodnych (Zenkteler 1996).

Tabela 34. Przykłady sklejania drewna litego i wybranych tworzyw drzewnych (podział w zależności od układu włókien i sklejaných przekrojów)

Sposób łączenia	Sklejanie	
Przekrojami wzdłużnymi przy równoległym ułożeniu włókien	tarcicy na długość	
	tarcicy na szerokość	
	fornirów w lignofol równoległo-włóknisty lub LVL	
Przekrojami wzdłużnymi przy skośnym ułożeniu włókien	fornirów na lignofol gwiaździsto-warstwowy	
	wiórów w płytach wiórowych	
Przekrojami wzdłużnymi przy prostopadłym ułożeniu włókien w elementach	fornirów na sklejkę	
Przekrojami poprzecznymi przy równoległym ułożeniu włókien w elementach	tarcicy na długość, na styk	
Przekrojami skośnymi przy równoległym układzie włókien w elementach	tarcicy na długość ukośnie (na zakładkę)	
	tarcicy na długość na wczepy klinowe	
	tarcicy na długość na miniwczepy	

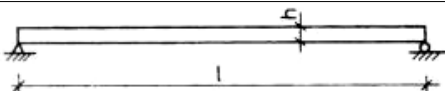
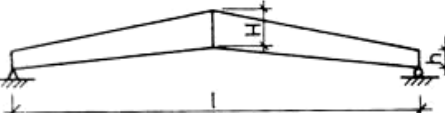

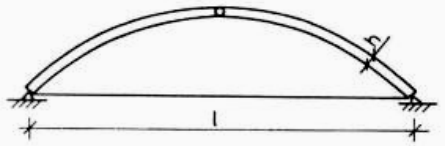
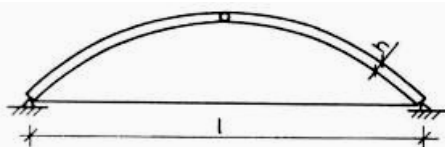
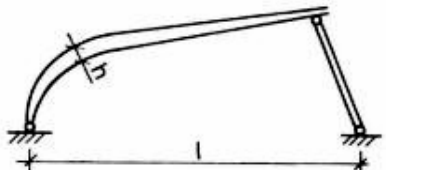
Źródło: Zenkteler 1996.

5.2. Drewno klejone warstwowo

Obecnie za drewno klejone warstwowo uważa się tworzywa utworzone w wyniku sklejenia warstw tarcicy o równoległym układzie włókien (zwykle za pomocą klejów melaminowych i rezorcynowych). Do wykonywania elementów klejonych dobiera się odpowiednio wysuszoną i przesortowaną tarcicę (pod względem wymiarów i jakości wytrzymałościowej). Jest to niezwykle istotne ze względu na charakterystykę wytrzymałościową wytworzonych elementów klejonych (Wieruszewski i in. 2009).

Tak przygotowana tarcica jest sklejana na długość na wczepy klinowe. Pozyskane z niej długie pasy są następnie składane warstwami i sklepane stykowo na grubość w specjalnych prasach, dając elementy o zaprojektowanym kształcie i wymiarach (tab. 35).

Tabela 35. Przykłady ważniejszych rozwiązań produkowanych fabrycznie elementów z drewna klejonego

Schemat statyczny	Nazwa	Rozpiętość [m]	Wysokość
	dźwigar o stałej wysokości przekroju poprzecznego	do 30	$h = \frac{l}{17}$
	dźwigar z górną i dolną krawędzią trapezową dwuspadową	10–20	$h = \frac{l}{30}$
	rama trójprzegubowa z cięgnami stalowymi	10–35	$h = \frac{S_1 + S_2}{15}$
	łuk trójprzegubowy z cięgnem stalowym lub drewnianym	20–100	$h = \frac{l}{50}$
	rama trójprzegubowa z węzłem na złącza klinowe	15–25	$h = \frac{S_1 + S_2}{13}$
	system trójprzegubowy ze słupem i łukiem	10–25	$h = \frac{l}{25}$

Źródło: Mielczarek 1994.

Klasyfikację jakościowo-wytrzymałościową drewna klejonego warstwowo podaje polska norma PN-EN 1194:2000. Wyróżnia się tu:

- a) jednorodne drewno klejone warstwowo, którego przekrój poprzeczny tworzą warstwy tarcicy jednakowej jakości (klasy wytrzymałości) i tego samego gatunku botanicznego lub kombinacji gatunków drewna; jednorodne drewno klejone warstwowo dzieli się na cztery klasy wytrzymałościowe: GL 24 h, GL 28 h, GL 32 h i GL 36 h;
- b) kombinowane drewno klejone warstwowo, którego przekrój poprzeczny tworzą wewnętrzne i zewnętrzne warstwy tarcicy różnych jakości (klas wytrzymałości) tego samego gatunku botanicznego lub kombinacji tych gatunków; kombinowane drewno klejone warstwowo dzieli się cztery klasy wytrzymałościowe: GL 24c, GL 28c, GL 32c i GL 36c.

Ze względu na sposób obciążenia można też mówić o drewnie klejonym warstwowo o spoinach poziomych, kiedy elementy są zginane siłą przyłożoną prostopadłe do szerszej płaszczyzny sklejaney tarcicy.

Element klejony warstwowo może być zaliczony do jednej z podanych klas wytrzymałościowych, jeżeli jego właściwości charakterystyczne uzyskane w badaniach poprowadzonych zgodnie z normami PN-EN 408:2010 i PN-EN 1193:1999 nie są gorsze od wymaganych wartości podanych w normie PN-EN 1194:2000.

Pełne wymagania dotyczące drewna klejonego warstwowo (m.in. wymiarowe, stosowanej tarcicy i rodzaju połączeń na długość, układu sklejaney warstw z uwzględnieniem przebiegu słoików, charakterystyki wytrzymałościowej, wilgotności i procedur badawczych) określone są w normie PN-EN 14080:2006.

Norma PN-EN 1194:2000 określa również miejsce wykonywania konstrukcji drewnianych klejonych – powinny być one wykonywane w specjalistycznych wytwórniach, mających odpowiednie wyposażenie, wykwalifikowany personel oraz zorganizowaną kontrolę techniczną. Kontrola powinna dotyczyć rodzaju i jakości stosowanych materiałów oraz właściwego przebiegu procesu technologicznego.

Ponadto w odniesieniu do drewna klejonego warstwowo istnieje wiele wymagań określonych w kolejnych dokumentach normalizacyjnych. Przykładowo, kwestia wymiarów i dopuszczalnych odchyłek, jak również wartość współczynnika odkształcenia wilgotnościowego omówione są w normie PN-EN 390:1999.

Norma PN-EN 386:2002 podaje wymagania eksploatacyjne i minimalne wymagania produkcyjne, definiując między innymi trzy klasy użytkowania:

klasa 1 – charakteryzująca się wilgotnością materiału odpowiadającą temperaturze 20°C i wilgotności względnej powietrza 65% tylko przez kilka tygodni w roku (wilgotność drewna nie przekracza 12%);

klasa 2 – charakteryzująca się wilgotnością materiału odpowiadająca temperaturze 20°C i wilgotności względnej powietrza 85% tylko przez kilka tygodni w roku (wilgotność drewna nie przekracza 20%);

klasa 3 – charakteryzująca się warunkami klimatycznymi, w których materiał osiąga większą wilgotność niż w klasie 2 (ponad 20%).

Jest w niej również zdefiniowane drewno klejone warstwowo poziomo i pionowo.

Procedura badania spoin klejowych na rozwarstwienie opisana jest w normie PN-EN 391:2002, natomiast na ścinanie – w normie PN-EN 392:1999. Wymagania dotyczące samych klejów określone są między innymi w normie PN-EN 15425:2008.

Drewno klejone warstwowo w procesie technologicznym może być przesycane lub pokrywane środkami ochronnymi (przed czynnikami biotycznymi) oraz środkami hydrofobowymi i przeciwogniowymi. Kolejnym plusem drewna klejonego warstwowo jest mały ciężar właściwy (w porównaniu ze stalą czy zbrojonym betonem), co przekłada się na zmniejszenie kosztów fundamentowania, montażu i transportu. Niski współczynnik przewodzenia ciepła nie powoduje powstania mostków termicznych, a odporność na agresywne środowiska pozwala na użycie drewna w konstrukcjach pływalni, magazynów środków chemicznych i oczyszczalni ścieków. Zaletą elementów z drewna klejonego jest możliwość tworzenia konstrukcji pozwalających na przykrycie obiektów budowlanych o dużych rozpiętościach z jednoczesnym tworzeniem nietypowych form architektonicznych (Kotwica i in. 2011). Ich atutem jest również estetyczny wygląd.

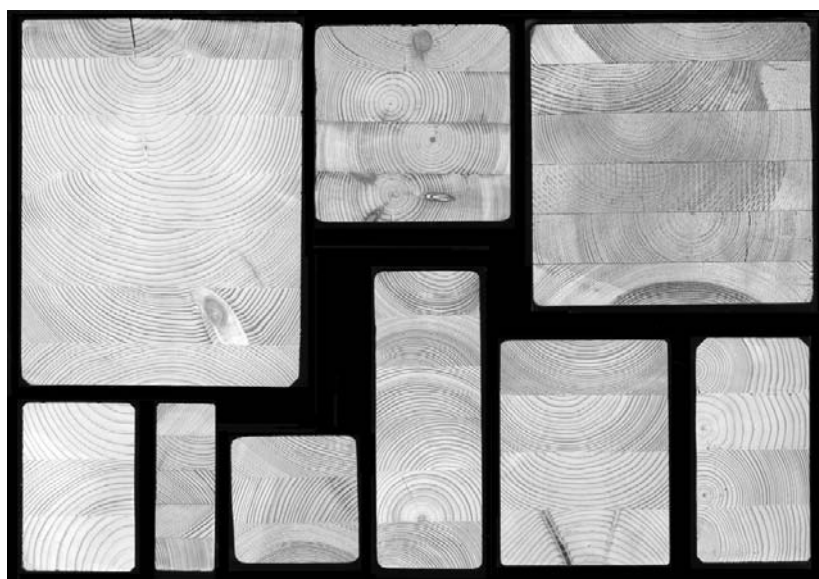
O możliwościach inżynierskich, jakie daje drewno klejone, świadczą wzniesione z niego obiekty, na przykład hala sportowa Uniwersytetu we Frescati z łukami o rozpiętości 46 m lub w Zelinie na Słowacji z kopułą żebrową o średnicy 105 m (Mielczarek 1994). Inne przykłady śmiałych konstrukcji inżynierskich z drewna i materiałów drzewnych to bioniczna konstrukcja Metropol Prasol w Sewilli (Hiszpania) lub potężne zadaszenie na terenie targów EXPO w Hanowerze (Niemcy).

Drewno konstrukcyjne klejone warstwowo w Niemczech określane jest skrótowo symbolem BSH (*Brettschichtholz*). Zwykle z BSH wykonuje się zestandaryzowane elementy konstrukcyjne długości od 3 do 18 m, a nawet do 22 m, sklejące z kilku, kilkunastu warstw tarcicy (tzw. lameli), połączonych we wstęgi bez końca za pomocą miniwczepów. Proces produkcji BSH składa się z następujących operacji:

- suszenie tarcicy w suszarniach do wilgotności około 12%,
- wstępne struganie tarcicy,
- wytrzymałościowe sortowanie tarcicy,
- wycięcie na pilarcze tarczowej poprzecznej sęków i innych niedopuszczalnych wad,

- wykonanie miniwczepów na końcach desek,
- łączenie desek na miniwczepy z użyciem kleju we wstęgę bez końca,
- struganie wstęg do grubości 45 mm,
- przycięcie wstęg bez końca do długości (według zamówień klienta lub w zależności od długości prasy),
- nanoszenie kleju na szerokie płaszczyzny lameli,
- prasowanie w prasie prostoliniowej,
- obróbka wykańczająca,
- pakowanie gotowego wyrobu.

Poszczególni producenci wytwarzają BSH z różnej liczby sklejanych lameli o różnych szerokościach (rys. 77). W tabeli 36 przedstawiono przykładową ofertę wymiarową BSH – elementy produkowane masowo i magazynowane, dostępne w każdym momencie, produkowane przez firmę Wiehag.



Rysunek 77. Elementy prostoliniowe z drewna klejonego warstwowo (BSH) o przekrojach prostokątnych (widok od czoła)

Tabela 36. Wymiary przekroju poprzecznego elementów z BSH produkowanych przez firmę Wiehag długości 13,5 m

Szerokość [cm]	Wysokość [cm]												
	8	10	12	14	16	20	24	28	32	36	40	44	52
8	X	X	X		X								
10		X	X		X	X							
12			X		X	X	X						
14				X		X	X					X	
16					X	X	X	X	X	X	X	X	
18							X		X		X		
20						X	X	X	X	X	X	X	X

Źródło: www.wiehag.com

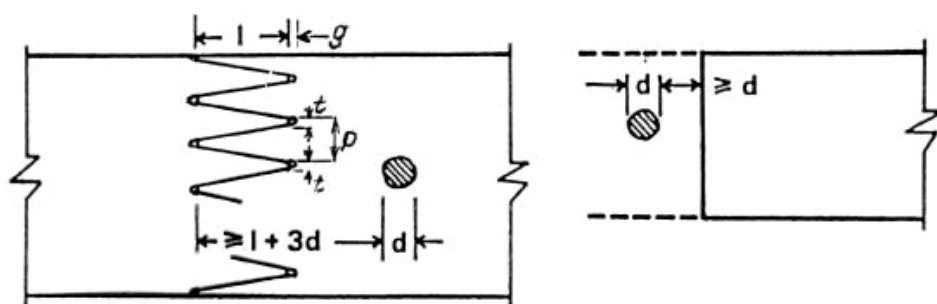
Producenci BSH oferują również elementy o wymiarach specjalnych, zamówionych przez klienta. Elementy z BSH o małych wymiarach przekroju poprzecznego są wykorzystywane jako elementy konstrukcyjne w budownictwie szkieletowym. Tym sposobem produkuje się również prostoliniowe dźwigary o dużej wysokości i długości, służące jako elementy konstrukcyjne dachów i ścian w budynkach o dużej powierzchni (hale sportowe, kryte pływalnie itp.).

Jak podaje niemiecka firma Hüttemann, jej drewno klejone warstwowo z tarcicy (BSH) ma do 80% większą wytrzymałość na zginanie statyczne i około 40% większą sztywność w porównaniu z drewnem litym. Standardowo Hüttemann produkuje drewno klejone w klasach GL 24 lub GL 32, sklepane z desek o grubości 2 lub 4 cm. Długości produkowanych elementów to: 10, 12, 14 lub 16 m (na specjalne zamówienie nawet 24 m). Przykładowo, przy najmniejszej oferowanej szerokości równej 6 cm wysokości elementu klejonego mogą wynosić 12, 14, 16 lub 20 cm. Przy największej szerokości elementu klejonego, równej 20 cm, jego wysokość może wynosić 20, 24, 28, 32, 36, lub 40 cm.

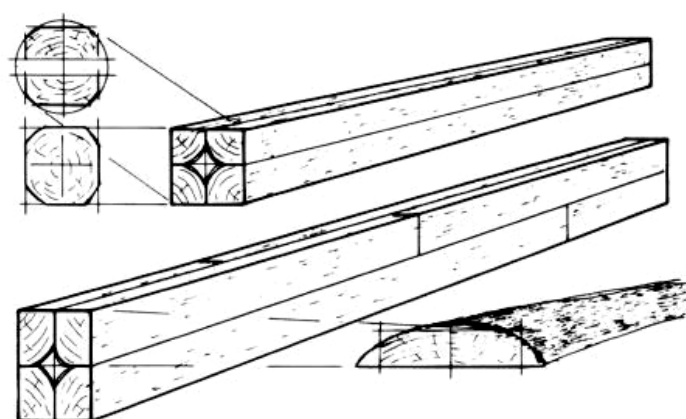
W tartakach niektórych krajów Unii Europejskiej (np. w Niemczech, a ostatnio także w Polsce) coraz popularniejsza jest produkcja różnych wyrobów konstrukcyjnych klejonych – od typowego (prostoliniowego) drewna klejonego warstwowo po inne produkty często wysoko zaawansowane technicznie:

- a) KVH (*Konstruktionsvollholz*) z tarcicy klejonej tylko na długość, w której sęki dopuszczone są zgodnie z przepisami międzynarodowymi ECE-Standards (rys. 78);
- b) *Kreuzbalken* wyrabiane z drewna okrągłego średniowymiarowego, podzielonego na ćwiartki sklepane krzyżowo i przeciwrdeniowo w taki sposób, aby utworzyć charakterystyczny, podłużny otwór, który może służyć do poprowadzenia instalacji na przykład, przewodów elektrycznych (rys. 79–81);
- c) KLH (*Kreuzlagenholz*) to wielkoformatowe masywne płyty z drewna (tarcicy) klejonego krzyżowo, wykorzystywane w konstrukcjach, na przykład do budowy domów pasywnych (rys. 82); technologia ta znana jest już od niemal 30 lat, ale dopiero obecnie szerzej stosowana;
- d) BSH (*Brettschichtholz*) w odmianach krzywoliniowych i specjalnych;
- e) *Dendro light* i *Kulmer* to klejone, przestrzenne struktury z drewna litego, nieco przypominające płyty komórkowe.

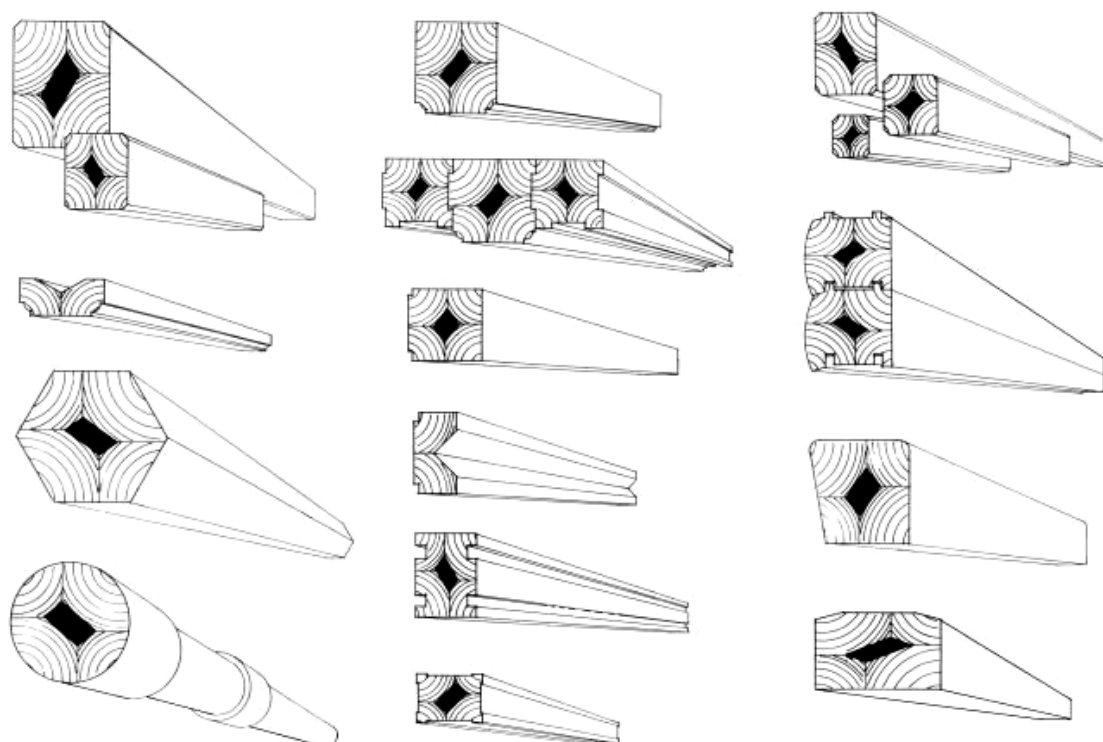
Coraz częściej standardowy kształt prostokątny przekroju poprzecznego BSH jest modyfikowany (rys. 83), na przykład poprzez głębokie fazowanie krawędzi, wykonanie szeregu nacięć zmieniających właściwości akustyczne, wykonywanie profili (wpustów i czopów). Może to być też radykalna zmiana przekroju na kołowy. Przykładowo, elementy z wpustami i czopami służą jako płyty stropowe i elementy ścian (idea zbliżona do dawnej konstrukcji sumikowo-łatkowej (rys. 84).



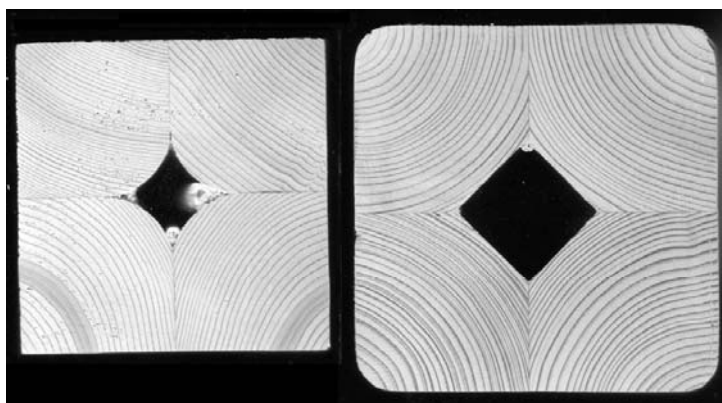
Rysunek 78. Sposób dopuszczania sęków w tarcicy łączonej na długość



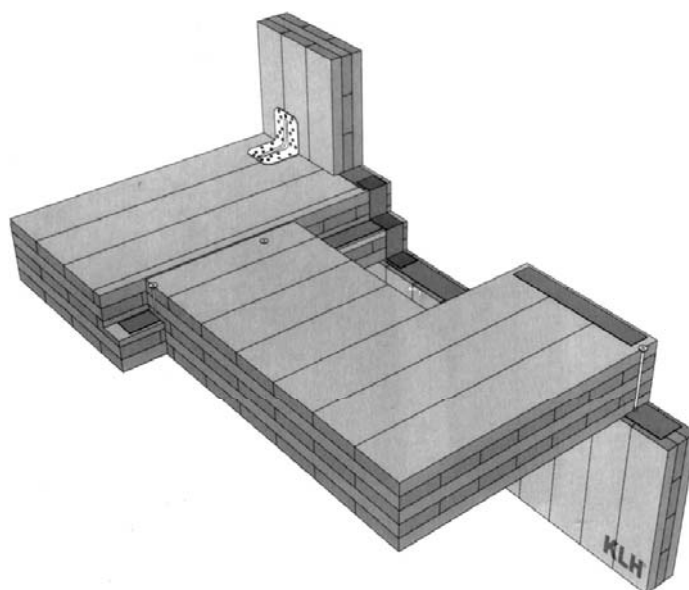
Rysunek 79. Sposób pozyskiwania elementów na klejone belki *Kreuzbalken* z kłód drewna średniowymiarowego i opołów otrzymanych z kłód drewna wielkowymiarowego



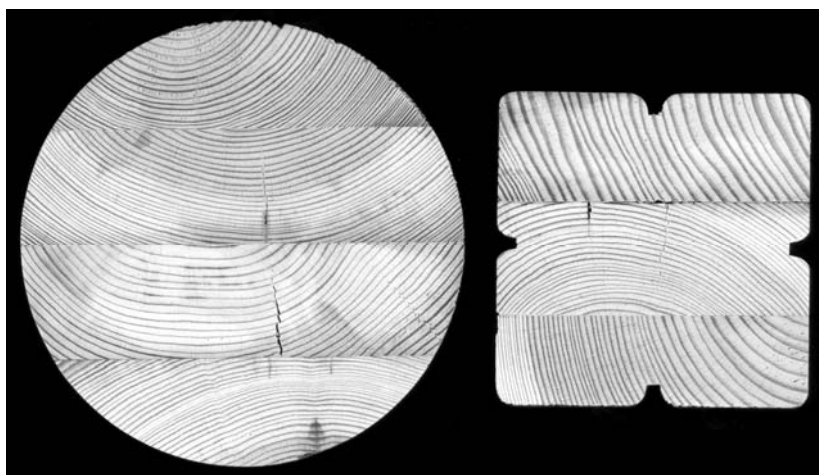
Rysunek 80. Belki klejone *Kreuzbalken*, o różnych wymiarach i przekrojach



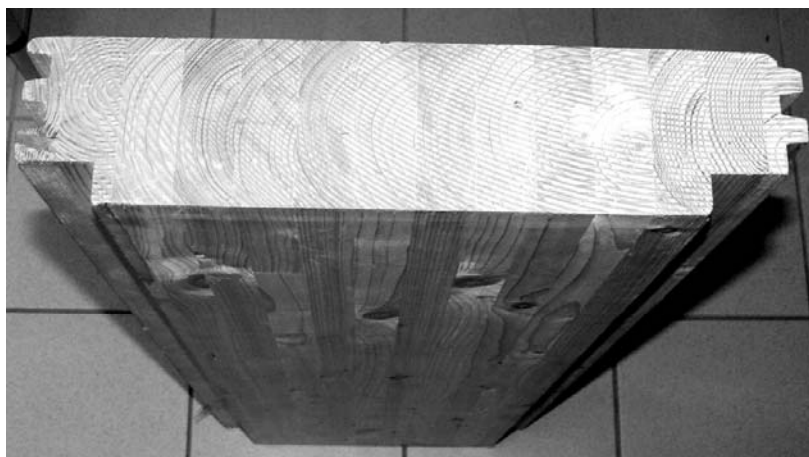
Rysunek 81. Przykładowe przekroje poprzeczne belek klejonych *Kreuzbalken*



Rysunek 82. Przykład zastosowania KLH do konstrukcji ścian i stropów (KLH Massivholz GmbH)



Rysunek 83. Elementy prostoliniowe z drewna klejonego warstwowo (BSH) o urozmaiconych przekrojach poprzecznych (widok czół)



Rysunek 84. Przykład elementu BSH (z wpustami i czopami) stosowanego do konstrukcji ścian i stropów

Tego typu elementy (drewno klejone warstwowo) wytwarzane są przez wielu producentów. Przykładowo firma WiEHAG Timber Construction używa w tym celu desek o grubości 41 mm i klejów melaminowo-formaldehydowych (MUF), dających jasne spoiny.

Podobnie, jak w przypadku typowego BSH, wygląda proces produkcyjny dźwigarów krzywoliniowych, które wytwarzane są zgodnie z indywidualnymi projektami budynków. Jedyną różnicą polega na tym, że zamiast prasy prostoliniowej do klejenie dźwigaru krzywoliniowego wykorzystuje się prasy krzywoliniowe (rys. 85).



Rysunek 85. Proces klejenia krzywoliniowego dźwigaru o promieniu krzywizny wewnętrznej 3 m (fot. Wiehag)

Stosowanie krzywoliniowych dźwigarów stwarza bardzo duże możliwości projektantom i architektom przy tworzeniu nowoczesnych konstrukcji wielkowymiarowych (rys. 86)

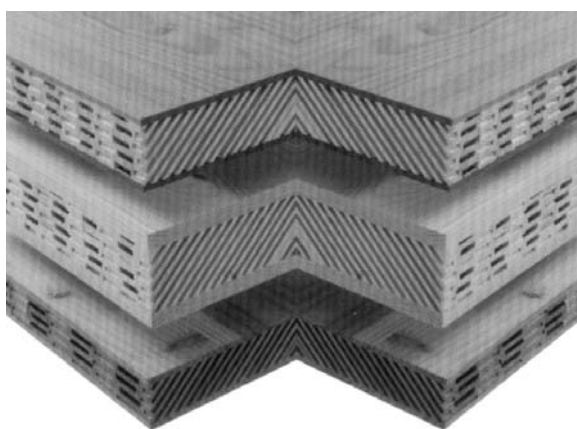


Rysunek 86. Konstrukcja hali krytej pływalni w Sunderland Aquatic Centre w Wielkiej Brytanii (fot. Wiehag)

Krzywoliniowe dźwigary z drewna klejonego warstwowo osiągają wysokość do 200 cm, przy grubości do 22 cm. Na specjalne zamówienia produkowane są również dźwigary o wysokości do 300 cm i szerokości 26 cm.

„Lekką” alternatywą wobec typowego drewna konstrukcyjnego są przestrzenne konstrukcje klejone. Należą do nich między innymi płyty *Denro light* i elementy *Kulmer* (rys. 87). Jest to tworzywo o gęstości wynoszącej $250\text{--}300\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, wytrzymałości na rozciąganie poprzeczne (prostopadłe do płaszczyzny płyty) – 2,5 MPa i module sprężystości – około 8000 MPa. Ze względu na porowatą strukturę tworzywo to charakteryzuje się niskim współczynnikiem przewodności cieplnej równym $0,087\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Istotnym parametrem technicznym ze względu na pewność

a



b



Rysunek 87. Przestrzenne (komórkowe) elementy klejone z drewna litego: a – płyta *Denro light*, b – elementy klejone *Kulmer*

połączeń jest siła utrzymania wkrętów, wynosząca 1000 N. Płyty *Dendro light* wykorzystywane są w meblarstwie, stolarce otworowej (drzwi i okna), do wykonywania schodów, a także jako materiał konstrukcyjny w lekkim budownictwie szkieletowym służącym również do wykonywania poszyc i elewacji.

5.3. Przegląd ważniejszych tworzyw drzewnych

Tworzywa drzewne to materiały, których podstawowym składnikiem jest drewno. Materiały te są otrzymywane przez:

- modyfikację drewna litego metodami mechanicznymi, chemicznymi lub termicznymi,
- sklejanie, często pod wysokim ciśnieniem i w wysokiej temperaturze, klejami organicznymi lub spoiwem mineralnym warstw fornirów, desek i listew bądź wiórów,
- sklejanie naturalnym lepiszczem (głównie ligniną lub z dodatkiem substancji klejących) wcześniej rozwłóknionego drewna.

Zaletą tworzyw drzewnych jest możliwość dostosowania ich właściwości (np. gęstości, wytrzymałości, odporności na ścieranie, nasiąkliwości, właściwości cieplnych i akustycznych) oraz rozmiarów do wymagań wynikających z zastosowania. Wytwarzając tworzywa drzewne, uzyskuje się materiał bardziej jednorodny. Niekorzystne cechy drewna litego, wynikające z jego anizotropowej budowy i higroskopijności oraz występowania wad (np. sęków), są w tworzywach znacznie ograniczane lub eliminowane. Dodatkowym atutem tworzyw drzewnych jest możliwość użycia do ich wytwarzania drewna małowartościowego, a często również odpadów drzewnych, co daje wymierne oszczędności.

Istnieje wiele zasad klasyfikacji tworzyw drzewnych. Jedną z nich jest systematyka oparta na elementach wchodzących w ich skład (Onisko 2002). Według tego kryterium podział materiałów drewnopochodnych jest następujący:

- tworzywa na bazie drewna litego (drewno klejone i ulepszone, np. lignoston i lignomer, płyty stolarskie, KVH, drewno termowane, acetylowane, furfuryzowane),
- tworzywa na bazie forniru (sklejka, lignofol oraz nowe materiały, np. LVL i PSL),
- tworzywa na bazie elementów otrzymywanych przez wzdłużne rozszczepianie drewna litego (Scrimber, Tim Tec),
- tworzywa na bazie wiórów (różne odmiany płyt wiórowych oraz OSB i LSL),
- tworzywa na bazie włókien (płyty pilśniowe wytwarzane metodą moką i metodą suchą).

O rosnącym znaczeniu tworzyw drzewnych w budownictwie świadczy obserwowane w ostatnich latach wyraźne zwiększenie ich produkcji. Poniżej omówiono niektóre z nich.

Lignoston uzyskuje się przez sprasowanie litego drewna (głównie gatunków liściastych) pod ciśnieniem około 30 MPa i w temperaturze około 130°C. W zależności od sposobu prasowania lignoston dzieli się na jednostronnie, dwustronnie i wielostronnie prasowany. Ponadto może być on lekki ($1050 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), średni ($1250 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) i normalny ($1460 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$). Podstawowe właściwości lignostonu podane zostały w zestawieniu porównawczym wybranych tworzyw drzewnych w tabeli 37.

Tabela 37. Charakterystyka niektórych tworzyw drzewnych produkowanych w Polsce

Rodzaj tworzywa*	Grubość [mm]	Wilgotność [%]	Spęcznie-nie (po 24 h) [%]	Nasiąkliwość (po 24 h) [%]	Gęstość [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Wytrzyma-łość przy zginaniu statycznym [MPa]	Moduł sprężystości przy zginaniu statycznym [GPa]
Lignoston	około 40	5–10	0,1–6,0	2–10	1050–1460	123–280	–
Sklejki	4–30	5–12	nie określa się	nie określa się	600–750	41–68	7,0
Lignofol	5–120	4–8	6–10	8–16	1200	100–180	–
Płyty wiórowe średnio ciężkie	15–25**	6–11	12	40	680	23	1,8–3,2
Płyty wiórowe wodoodporne	13–25**	6	8	25	750	27	2,1–3,5
Płyty paździerzowe	14–22	6–10	15–25	60–150	300–700	5,5–18,5	nie określa się
Płyty pilśniowe bardzo twarde	2,4–6,4	6	12–25	17–30	ponad 900	32–50	–
Płyty pilśniowe twarde	2,4–6,4	7	17–35	25–50	ponad 800	20–35	2,9–5,0
Płyty pilśniowe porowate	9,5–25,0	12	nie określa się	25–80***	350	0,8–2,0	nie określa się

* OSB i płyty pilśniowe produkowane metodą suchą omówiono bardziej dokładnie w tabelach 39 i 40.

** Niekiedy o grubości 6–40 mm.

*** Nasiąkliwość po 2 godzinach.

Lignomer otrzymuje się dzięki głębokiej modyfikacji struktury drewna litego z użyciem tworzyw syntetycznych (np. polistyrenu lub polimetakrylanu winylu). Polega to na wprowadzeniu do drewna małych cząstek tworzyw sztucznych (monomerów), a następnie ich spolimeryzowaniu w wyniku działania ciepła i substancji inicjujących reakcje polimeryzacji. Lignomer w porównaniu z drewnem, z którego

został wytworzony, charakteryzuje się zmniejszonym pęcznieniem i nasiąkliwością oraz zdecydowanie lepszą wytrzymałością na ściskanie (nawet sześciokrotnie), a także większą odpornością na działanie czynników biotycznych. W budownictwie ligno-mer może być stosowany na ramy okienne, rusztowania, płyty szalunkowe i podłogi (te ostatnie szczególnie w pomieszczeniach dla zwierząt).

Do drewna modyfikowanego termicznie należą między innymi: Plato, Termoholz, Pedure Wood lub **ThermoWood**. Ostatni z wymienionych produktów jest najbardziej znany. Proces produkcji nowego tworzywa, polegający na wygrzewaniu drewna sosnowego, świerkowego, brzoźowego lub osikowego, rozwinął i opatentował Fiński Instytut Badań Technicznych (VTT). Wygrzewanie składa się z kilku faz. Najwyższa temperatura wygrzewania (utrzymywana przez 2–3 godziny) wynosi od 180 do 230°C. W wyniku takiej obróbki nieznacznie wzrasta twardość drewna i wytrzymałość na ściskanie. Najważniejszym jednak efektem jest wydatne zmniejszenie higroskopijności i nasiąkliwości drewna, a ubocznym – wyraźna zmiana barwy na ciemniejszą i – niestety – częściowe pogorszenie właściwości mechanicznych.

Chemiczna modyfikacja drewna polega na wprowadzaniu do niego substancji chemicznych, które reagują ze składnikami budowy strukturalnej drewna (holoceluloza i lignina), zmieniając ich właściwości. Jest to metoda aktywna. Do chemicznej modyfikacji drewna stosuje się między innymi: amoniak, monomery winylowe, związki krzemoorganiczne i izocyjaniiny. Drewno może być modyfikowane również alkoholem furfurylowym. Jest to organiczny związek chemiczny z grupy alkoholi heterocyklicznych (pochodna furanu o wzorze $C_4H_3O-CH_2-OH$). Alkohol ten dobrze rozpuszcza się w wodzie i rozpuszczalnikach organicznych. Z powietrzem tworzy mieszanki wybuchowe.

Pierwszy etap procesu modyfikacji polega na ciśnieniowej impregnacji drewna wymienionym wyżej związkiem chemicznym, pozwalającej na jego wnikięcie do struktury drewna i przesycenie ścian komórkowych. Dokładny skład roztworu impregnującego zawierającego alkohol furfurylowy jest znany producentom specjalizującym się w takiej modyfikacji. Drugi etap to utwardzanie. W specjalnej komorze działa się na przesycone drewno podwyższoną temperaturą (ok. 100°C), co przyspiesza polimeryzację i sieciowanie alkoholu furfurylowego, a w konsekwencji – jego wbudowanie w strukturę drewna.

Metoda ta stosowana jest przede wszystkim do beztworzywowych gatunków drewna o otwartej strukturze, takich jak: buk, brzoza i klon. W przypadku sosny furfuryzacja następuje tylko w części bielastej, bo tylko tam ma szansę wniknąć alkohol. Na rynku, w zależności od producenta, modyfikowane w ten sposób drewno występuje pod nazwami handlowymi **KebonyWood** lub **VisorWood**.

Materiał taki wykazuje odporność na mikroorganizmy oraz owady. Ma zwiększoną stabilność wymiarową (jest bardziej hydrofobowy) – skurcze są o 50% mniejsze niż w drewnie niemodyfikowanym. Korzystnie zmieniają się parametry wytrzymałościowe – drewno modyfikowane ma nieco większą twardość i wytrzymałość na zginanie. Atutem jest też wzmocnienie barwy, upodabniające jasne drewno gatunków strefy umiarkowanej do ciemnego drewna tropikalnego.

Kolejną metodą modyfikacji chemicznej drewna jest jego acetylowanie. Proces ten polega na zmianie struktury chemicznej drewna poprzez wprowadzanie do jego wnętrza w komorach ciśnieniowo-próżniowych bezwodnika kwasu octowego. W podwyższonej temperaturze w wyniku reakcji grupy hydroksylowe celulozy są zamieniane na grupy acetylowe, a jako produkt uboczny powstaje kwas octowy, który następnie trzeba zneutralizować lub usunąć z drewna (co decyduje o skuteczności całego procesu).

Zacetylowane i pozbawione kwasu octowego drewno nabiera dużej odporności na działanie mikroorganizmów i staje się hydrofobowe – przyjmuje zdecydowanie mniejszą wilgotność równoważną w porównaniu z drewnem normalnym. Przykładowo przy temperaturze powietrza 20°C i wilgotności względnej 65% osiąga wilgotność około 5%. Zmodyfikowane drewno jest bardziej stabilne wymiarowo od drewna tikowego: jednostkowy skurcz w kierunku promieniowym w całym zakresie higroskopijnym nie przekracza 1%, a w kierunku stycznym – 2%. Niewielkiemu wzrostowi ulega także wytrzymałość na zginanie statyczne, przy czym moduł sprężystości jest taki sam jak w drewnie normalnym. Zmianie ulega także barwa – drewno jaśnieje. Na rynku, w zależności od producenta, acetylowane drewno występuje nad nazwą handlową AccoyaWood lub TitanWood.

Z materiału tego wykonuje się głównie konstrukcje zewnętrzne (np. w postaci mostów). Być może przyszłościowo będą z Accoya wykonywane także elementy podłogowe, jednak już dziś wiadomo, że prawdopodobnie wymagałyby one zastosowania dedykowanych dla nich środków uszlachetniających powierzchnię (specjalnych farb i lakierów).

Płyta stolarska to płyta złożona z warstwy środkowej, oklejona obustronnie jedną lub dwiema warstwami obłogu lub arkuszami płyt pilśniowych. Płyty te są materiałem konstrukcyjnym, którego budowa ma na celu ujednolicenie wytrzymałości oraz zmniejszenie możliwości paczenia się drewna. Ze względu na budowę, płyty stolarskie dzieli się na płyty o środkach pełnych i pustakowe, nazywane inaczej komórkowymi (te ostatnie należą do materiałów kompozytowych). Gęstość płyt stolarskich pełnych dochodzi do 700 kg·m⁻³. Produkowane są one w grubościach od 12 do 35 mm. Wykorzystuje się je głównie w meblarstwie, w budownictwie służą jako elementy płycin drzwiowych i szaf wnękowych.

Lignofol, czyli zagęszczone drewno warstwowe, jest tworzywem otrzymywanym w procesie klejenia na gorąco klejami wodoodpornymi, pod ciśnieniem 5–20 MPa, arkuszy lub skrawków forniru o grubości poniżej 1 mm. Zależnie od wzajemnego układu włókien w sąsiednich warstwach lignofol dzieli się na równoległowłóknisty, krzyżowowłóknisty i gwiaździstowłóknisty. Produkowany jest w grubościach od 5 do 120 mm, do określonych z góry celów. Oprócz wymienionych odmian wytwarza się też lignofole specjalne, jak lignofol samosmarowny lub elkon. Właściwości lignofolu w dużej mierze zależą od jego gęstości, która z kolei zależy od ciśnienia i czasu prasowania. Podstawowe właściwości tego tworzywa podane są w zestawieniu porównawczym z innymi tworzywami zawartym w tabeli 37. Lignofol stosuje się przede wszystkim do wytwarzania listew sprężynujących, prowadnic, kół zębatach i innych części maszyn.

Sklejka to płyty sklejane z nieparzystej liczby fornirów, w których włókna w przyległych do siebie warstwach przebiegają pod kątem prostym. Jest ona najstarszym z tworzyw drzewnych, produkowanych w bardzo wielu odmianach.

Na jakość sklejki wpływają rodzaje użytego drewna i kleju. W sklejках suchotrwałych stosuje się kleje mocznikowe, a w wodoodpornych – kleje fenolowe i rezorcynowe. Sklejka budowlana (np. Multi, EKO, Biaform) jest stosowana na ścianki działowe i podłogi, pod pokrycia dachowe, jako tarcze szalunkowe, a zwłaszcza jako elementy belek złożonych i środniki w belkach dwuteowych.

Do wymienionych elementów nośnych konstrukcji zwykle stosuje się sklejkę wodoodporną, składającą się z minimum pięciu fornirów, o wilgotności nieprzekraczającej 10%. Do zalet sklejki zalicza się wyrównanie właściwości mechanicznych wzdłuż i w poprzek arkusza, a także polepszenie właściwości fizycznych związanych z działaniem wilgoci. Zaletą są również duże wymiary arkuszy oraz znaczna wytrzymałość przy niewielkiej grubości (tab. 37). Wartości charakterystyczne właściwości mechanicznych dla sklejki stosowanej w konstrukcjach, potrzebne do obliczeń statycznych, podane są między innymi w normie PN-B-03150:2000.

Sklejka elastyczna (*flexible plywood*) to tworzywo konkurencyjne wobec nacinanych płyt pilśniowych średniej gęstości lub kształtek sklejkowych. Zaletą sklejek elastycznych jest łatwość ich wyginania, bez użycia ciepła i ciśnienia, na bardzo małym promieniu (nawet do 3 cm przy grubości sklejki 3 mm), a także mała gęstość oraz dwie „gładkie” powierzchnie (nie ma tu strony lewej i prawej – obie są takiej samej, dobrej jakości). Sklejki elastyczne produkowane są w różnych grubościach (od 3 do 16 mm). W zależności od grubości skleja się je z 3 lub 5 warstw (fornirów) z użyciem klejów termoutwardzalnych (np. na bazie żywic melaminowo-formaldehydowych). W porównaniu ze „zwykającymi” (np. trzywarstwowymi) sklejkami różnią się grubością poszczególnych warstw. Odwrotnie niż w zwykłych sklejках

ich warstwy zewnętrzne są zdecydowanie grubsze od warstwy środkowej. Niewielka grubość warstwy środkowej (ok. 0,8 mm), wykonanej z wytrzymałego długowłókniastego drewna, decyduje o giętkości sklejk i jej wytrzymałości. Zginanie ułatwiają również warstwy zewnętrzne wykonane z miękkich i lekkich rodzajów drewna, które łatwiej poddają się odkształceniu. Ze sklejek elastycznych wykonuje się krzywoliniowe elementy do mebli, zabawek, aranżacji wnętrz oraz łodzi i jachtów. Gęstość tych sklejek wynosi od 300 do 400 kg·m⁻³, moduł sprężystości w poprzek włókien (w stosunku do warstw zewnętrznych) – 0,23 GPa, a wzdłuż włókien – 6,3 GPa.

W ostatnim półwieczu obserwuje się dynamiczny rozwój w zakresie wytwarzania nowych materiałów drewnopochodnych, szczególnie stosowanych w budownictwie. Typowe i dobrze znane tworzywa: sklejki, płyty stolarskie, płyty wiórowe i pilśniowe, są stopniowo zastępowane przez materiały specjalistyczne (Dzbeński i Kozakiewicz 2004). W tej grupie tworzyw znajdują się między innymi: konstrukcyjne tworzywa z forniru i dużych wiórów (np. LVL, PSL i LSL). Pierwsze z nich to drewno warstwowe z fornirów (LVL – *laminated venner lumber*). Początki LVL sięgają II wojny światowej, kiedy to pierwowzór tego tworzywa stosowano do wytwarzania śmigieł i innych części samolotów wymagających lekkich materiałów o dużej wytrzymałości. Materiał ten zalicza się do tworzyw warstwowych, wytwarzanych z fornirów skrawanych obwodowo. Jako materiał konstrukcyjny w budownictwie po raz pierwszy pojawił się w USA po 1970 roku. Od tego czasu zarówno sam produkt, jak i proces jego wytwarzania ewoluowały – pojawiały się wciąż jego nowe odmiany. Obecnie LVL wytwarzane jest w wielu krajach i przez to znane pod wieloma określeniami handlowymi, jak: Kerto Q, Kerto S, Kerto T, Microllam LVL, Svedlam lub PLV (*parallel laminated venner*). Należy ono do tworzyw warstwowych uzyskiwanych przez sklejenie fornirów pozyskanych w skrawaniu obwodowym. W zależności od układu włókien w sąsiadujących warstwach fornirów wyróżnia się:

- LVL o wzajemnie równoległym układzie włókien we wszystkich sklejanym warstwach,
- LVL, w którym większość warstw posiada wzajemnie równoległy układ włókien (występują również warstwy o układzie prostopadłym, zwiększające sztywność tworzywa).

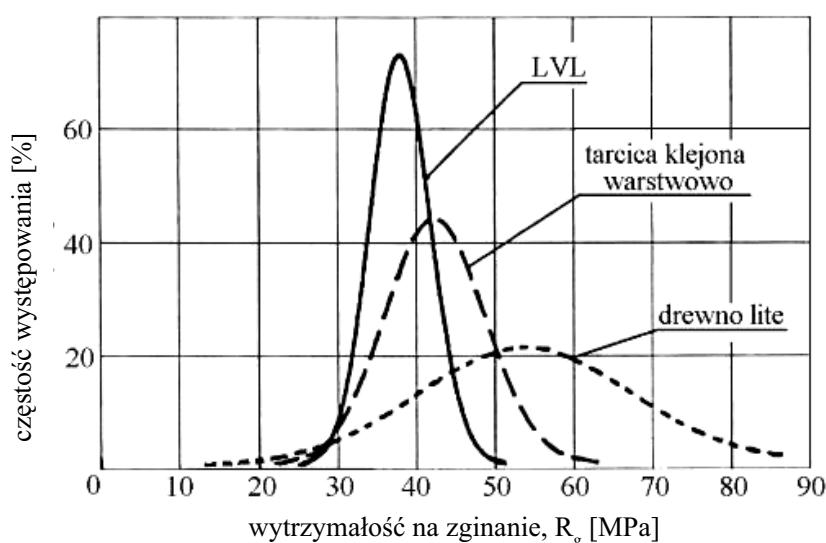
Pierwszy z wymienionych wyżej rodzajów LVL wykorzystuje się w konstrukcjach do wytwarzania długich elementów nośnych, na przykład belek, słupów, stojaków, podpór, a drugi – ze względu na większą sztywność i mniejsze tendencje do paczienia się – do elementów płytowych. Tworzywo to często łączone jest ze sklejką lub płytami OSB w belki dwuteowe (drewno warstwowe z fornirów pełni w nich rolę pasów zewnętrznych).

Przy wytwarzaniu drewna warstwowego z fornirów bardzo istotny jest sposób ich łączenia na długość. Stosowanie połączeń stykowych powoduje wyraźne zmniejszenie wytrzymałości. Najkorzystniejsze jest użycie połączeń wieloklinowych, jednak w warunkach przemysłowych są one trudne do wykonania, dlatego zwykle stosuje się połączenia zakładkowe uciosowe. Wytrzymałość LVL z tak połączonymi fornirami w warstwach jest porównywalna lub tylko nieznacznie zmniejszona w stosunku do LVL sklejanego z całych (niełączonych na długość) fornirów (Jong i Murphy 1983).

Sukces LVL, polegający na systematycznie rosnącym udziale w konstrukcjach drewnianych, wynika z kilku czynników (Grześkiewicz i Krzosek 1995):

- możliwości uzyskania elementów o wymiarach trudno osiągalnych lub wręcz niedostępnych dla drewna litego, na przykład uzyskanie z małych wyrzynków (o niewielkich średnicach) elementów o dużych przekrojach przy dobrej wydajności materiałowej,
- lepszej stabilności wymiarowej i bardziej jednorodnych właściwości mechanicznych w porównaniu z drewnem litym (rys. 88), pozwalających na przyjmowanie wyższych współczynników bezpieczeństwa i tym samym „pocienianie” konstrukcji (wymierne oszczędności materiałowe),
- dużej dokładności wykonania i wysokiej jakości powierzchni pozwalającej na bezpośrednie pokrywanie jej powłokami malarsko-lakierniczymi,
- łatwości impregnacji środkami ochrony drewna zabezpieczającymi przed czynnikami biotycznymi i ogniem.

Więcej informacji na temat wytwarzania, właściwości i zastosowania LVL znajduje się między innymi w opracowaniu Nicewicz i innych (2004).



Rysunek 88. Porównanie rozkładu wytrzymałości na zginanie drewna litego, wykonanej z tego drewna tarcicy klejonej warstwowo i LVL (Yougquist 1978)

W porównaniu z drewnem litego tworzywo to charakteryzuje się lepszymi parametrami wytrzymałościowymi (rys. 88). Wynika to z usunięcia typowych wad drewna litego w postaci okółków, sęków, pęknięć i skrętu włókien. Zarówno na długości, jak i na przekroju poprzecznym LVL wykazuje homogeniczność (wyrównanie) właściwości. Parametry wytrzymałościowe zależne są od gęstości surowca wyjściowego oraz od budowy gęstości samego tworzywa. Przykładowo LVL o gęstości około $500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ma wytrzymałość na zginanie statyczne równą 65 MPa, a przy gęstości około $800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, wytrzymałość ta wynosi 140 MPa (Kawai i in. 1993). Zaletą omawianego tworzywa jest to, że do jego wytwarzania można użyć gatunków drewna nienadających się do użycia w konstrukcjach w postaci litej tarcicy.

W tabeli 38 przedstawione są wybrane właściwości czterech odmian LVL (Kerto S, Kerto Q, Kerto T i Microllam) oraz PSL Parallam.

Tabela 38. Wybrane właściwości LVL, na przykładzie Kerto i Microllam, oraz PSL, na przykładzie Parallamu

Właściwość	LVL				PSL
	Kerto S	Kerto Q	Kerto T	Microllam	Parallam
Wymiary:					
– grubość [mm]	21–75	21–69	39–75	44–89	44–483
– szerokość [mm]	< 1820	< 2500	< 2000	150–610	40–280
– długość [m]	< 23	< 20	< 23	< 20	< 20
Gęstość [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	480–550	480–550	410–480	500–600	600–700
Współczynnik przenikalności cieplnej [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14
Wytrzymałość [MPa]:					
– na zginanie	20	15	13	21	21
– na rozciąganie równoległe do włókien	16	12	9	17	18
– na ściskanie równoległe do włókien	16	12	11	19	20
– na ściskanie prostopadłe do włókien	3	3	2	~ 4	~ 3
– ścinanie równoległe do włókien	0,9	0,6	0,9	1,3	1,0
– ścinanie prostopadłe do włókien	2	2,2	0,9	2,5	2,8
Moduł [GPa]:					
– sprężystości	13	10	10,5	14,5	14,5
– odkształcenia postaci	0,5	0,5	0,5	0,75	0,75

Źródło: Dzbeński i Kozakiewicz 2004.

Drugim z wymienionych tworzyw, opartych na bazie forniru, jest Parallam (lub **PSL** – *parallel standard lumber*, co w wolnym tłumaczeniu na język polski oznacza pasmowe drewno równoległowłókniste). Tworzywo to otrzymuje się z odpowiednio ułożonych (zorientowanych wzdłużnie) pasków forniru o grubości około 3 mm,

związanych klejami wodoodpornymi (przy zastosowaniu żywic fenolowo-formaldehydowych). Paski forniru wytwarza się z różnych rodzajów drewna (np. sosny, daglezi, topoli). Wykonane z tego tworzywa belki dostępne na rynku mają długość dochodzącą do 20 m (co jest limitowane głównie możliwościami obróbki wykańczającej i późniejszym transportem), szerokość od 40 do 280 mm i wysokość od 44 do 483 mm.

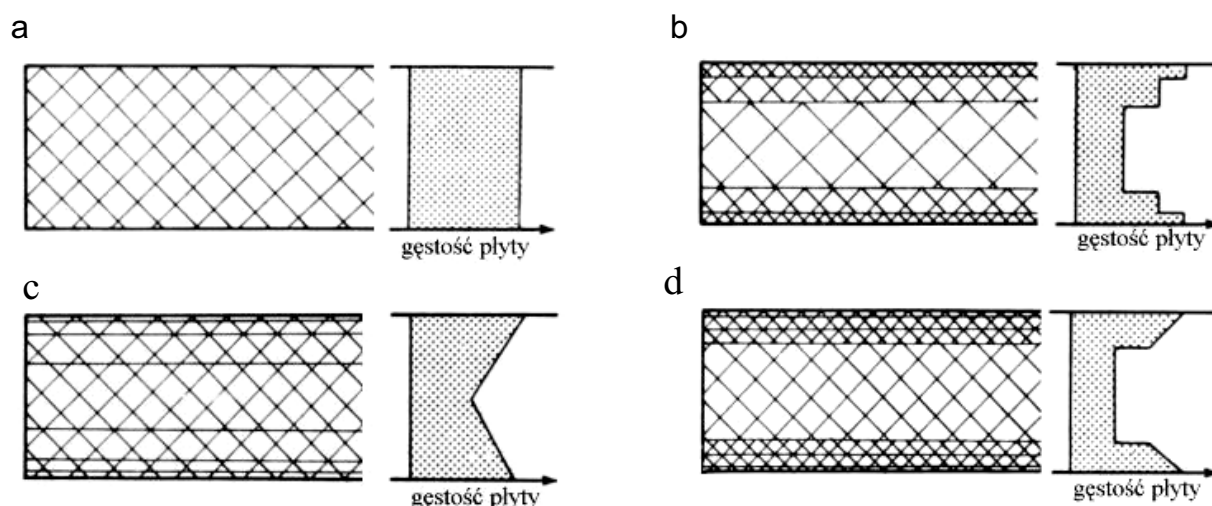
Wymienione wyżej dane i inne właściwości charakteryzujące PSL podane są w tabeli 38. Tworzywo PSL, podobnie jak LVL, to materiał konstrukcyjny, wyróżniający się dobrymi właściwościami mechanicznymi oraz homogeniczną, pozbawioną wad strukturą, która korzystnie wpływa na stabilność wymiarową i obrabialność. Atutem PSL jest stosunkowo mała gęstość ($600\text{--}700\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) przy gwarantowanych wysokich parametrach wytrzymałościowych i dobrej stabilności wymiarowej. W porównaniu z drewnem litym używanym w konstrukcjach PSL zapewnia ponad dwukrotnie większe naprężenia dopuszczalne przy zginaniu i ścinaniu. W pełni zachowuje też zalety naturalnego drewna, to jest estetyczny wygląd i przyjemną barwę. W budownictwie jest szeroko wykorzystywany na elementy nośne. Odpowiednio zabezpieczony środkami ochrony drewna może być z powodzeniem stosowany w warunkach pracy zewnętrznej, na przykład do konstrukcji kładek i mostów. Elementy konstrukcyjne wykonane z nowych tworzyw warstwowych – LVL i PSL, mogą być łączone, podobnie jak drewno lite, za pomocą gwoździ, wkrętów, sworzni, płytek kołczastych oraz profilowanych stalowych kotwi, zawiesi i uchwyty.

Oprócz wykorzystania w konstrukcjach domów jednorodzinnych tworzywo to jest używane do budynków wielkogabarytowych – hal i magazynów. Po dodatkowym zabezpieczeniu przed działaniem wilgoci i mikroorganizmów PSL może być użyte w konstrukcjach kładek i mostów (Nicewicz i in. 2004).

Scrimber (albo Tim-Tek) to tworzywo wynalezione w 1975 roku w Australii. Wytwarza się go z małowymiarowego drewna okrągłego, które jest stopniowo miazdzone i rozdzierane na wzdlużne pasma poprzez przepuszczenie między poprzecznie rowkowanymi walcami. Uzyskane pasma są suszone, zaklejone i prasowane, dając belki o różnej długości i grubości (do 152 mm). Przy gęstości $705\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, wytrzymałość na zginanie statyczne tego tworzywa waha się od 13,8 do 16,6 MPa, a moduł sprężystości – od 0,83 do 15,86 GPa (Oniśko 2002).

Płyty wiórowe są produkowane przede wszystkim z wiórów drzewnych łączonych ze sobą pod ciśnieniem, w podwyższonej temperaturze, przy zastosowaniu klejów syntetycznych. Obecnie do wytwarzania płyt wiórowych używa się również znacznej ilości trocin, których udział może osiągnąć aż 70% wsadu (Oniśko 2002).

Ze względu na budowę płyty wiórowe dzieli się na jednowarstwowe, wielowarstwowe (trzy- i pięciowarstwowe) oraz frakcjonowane i warstwowo-frakcjonowane (rys. 89). Ze względu na gęstość wyróżnia się płyty lekkie – o gęstości do $500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, płyty średnio-ciężkie – o gęstości $500\text{--}700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ oraz płyty ciężkie – o gęstości powyżej $750 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Wytwarza się je o grubości od 5 do 25 mm (Drouet 1992). Decydujący wpływ na właściwości wytrzymałościowe płyt wiórowych ma wzajemne ułożenie cząstek drzewnych i wielkość powierzchni ich styku.

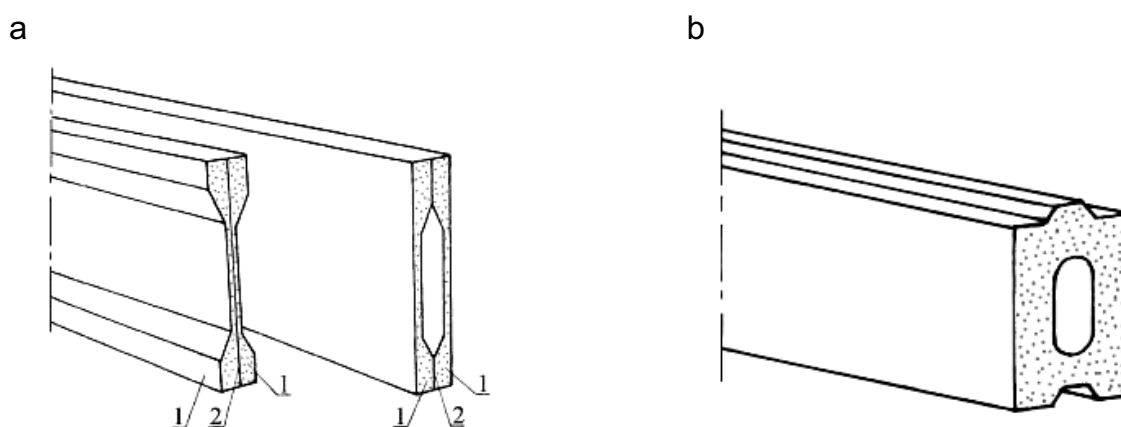


Rysunek 89. Schemat budowy płyt wiórowych z zaznaczonym rozkładem gęstości na grubości płyty:
a – jednowarstwowej, b – pięciowarstwowej, c – frakcjonowanej, d – warstwowo-frakcjonowanej
(Drouet 1992)

Podstawowe właściwości płyt wiórowych podane są w tabeli 37. Podobnie jak w przypadku sklejek, w zależności od zastosowanego kleju możemy uzyskać płyty wiórowe suchotrwale lub wodoodporne (np. V-100). Można je również modyfikować przez dodatek środków hydrofobowych lub grzybobójczych oraz chroniących przed żerowaniem owadów i działaniem ognia.

W Polsce płyty wiórowe są stosowane głównie w przemyśle meblarskim, w mniejszym stopniu w budownictwie. Płyty stosowane w konstrukcjach dzielą się na: przenoszące obciążenia, użytkowane w warunkach suchych (PN-EN 312-4:2000) lub wilgotnych (PN-EN 312-5:2000) oraz o podwyższonej zdolności do przenoszenia obciążeń, użytkowane w warunkach suchych (PN-EN 312-6:2000) lub wilgotnych (PN-EN 312-7:2000). Wilgotność tych płyt powinna być uzależniona od miejsca i zakresu stosowania (zwykle nie większa niż 10%). Wartości charakterystyczne właściwości mechanicznych dla płyt wiórowych stosowanych w konstrukcjach, potrzebne do obliczeń statycznych, podane są między innymi w normie PN-B-03150:2000.

W połączeniu z drewnem litym płyty wiórowe można wykorzystywać na klejone konstrukcje nośne (np. na płyty stropowe). Formuje się z nich również profilowane belki o przekroju ceowników, które następnie sklejane są do przekroju dwuteowego lub skrzynkowego (rys. 90a). Belki wytłaczane z wiórów to również występujące na rynku Merk-Formholz (MFH) o gęstości około $560 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Do ich wytwarzania stosuje się wióry z odpadowego drewna świerkowego, które łączone są przy użyciu żywicy mocznikowo-fenolowo-formaldehydowej. Uzyskany produkt to belka z pustym środkiem o wymiarach przekroju poprzecznego $140 \times 200 \text{ mm}$. Na węższej, górnej powierzchni znajduje się biegnący wzdłuż belki występ, a na dolnej – rowek (rys. 88b), co pozwala – przez ich wzajemne nakładanie – na tworzenie szczelnych ścian (Oniśko 2002).



Rysunek 90. Belki wytłaczane z wiórów drewnnych: a – sklejane (1 – belka wiórowa, 2 – spoina klejowa), b – MFH (Drouet 1992)

Wióry i włókna drzewne są również składnikami **plyt cementowych i gipsowych**. W płytach tych stanowią swoistego rodzaju zbrojenie, wpływające korzystnie na wytrzymałość, jak również materiał wypełniający, polepszający obrabialność i izolacyjność płyt. Najbardziej rozpowszechnione są płyty wiórowo-cementowe z cementem portlandzkim o gęstości od 1100 do $1400 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (zawartość waga drewna ok. 20%). Ich wytrzymałość na zginanie wynosi od 9 do 18 MPa . Jest to tworzywo trudnopalne i wodoodporne, a jednocześnie łatwe w obróbce. Stosuje się je na osłonowe ściany zewnętrzne, ścianki działowe, stropy i podłogi. Zamiast wiórów w płycie cementowej może znajdować się wełna drzewna. Płyty produkowane z wełną drzewną mają grubości od 15 do 100 mm . Ich wytrzymałość na zginanie waha się od $0,4$ do $0,7 \text{ MPa}$. Stosuje się je do pokryć dachowych, jako płyty wyłumiające hałas i płyty termoizolacyjne, szczególnie w połączeniu z tworzywami piankowymi lub wełną mineralną. Płyty gipsowo-drewnne charakteryzują się gęstością rzędu 1150 – $1200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ i wytrzymałością na zginanie statyczne od $5,5 \text{ MPa}$ (włókniste) do $9,0 \text{ MPa}$ (wiórowe). Płyty te produkowane są także

jako trójwarstwowe, z większym udziałem włókien lub wiórów w warstwie środkowej (Onisko 2002). Płyty gipsowo-drzewne stosuje się głównie do wykładania wewnętrznych ścian budynków.

Płyty OSB (*oriented standard board*) są specyficzną odmianą płyt wiórowych, przeznaczonych głównie dla budownictwa, która dobrze oddaje specyfikę ich budowy. Wióry stosowane do produkcji OSB to tzw. wióry płaskie, długości 70–150 mm. Mają one większe wymiary niż wióry stosowane do wytwarzania tradycyjnych płyt wiórowych – przypominają swą morfologią skrawki forniru. Ponadto dłuższa oś wiórów w warstwach zewnętrznych orientowana jest zgodnie z dłuższą osią arkusza płyty. Krótsze wióry w warstwach wewnętrznych są układane prostopadle do warstw zewnętrznych. Częstki te łączone są przy użyciu żywic syntetycznych. Norma PN-EN 300:2000 dzieli OSB na cztery rodzaje płyt w zależności od ich przeznaczenia:

- OSB/1, płyty nienośne w warunkach suchych,
- OSB/2, płyty nośne w warunkach suchych,
- OSB/3, płyty nośne i nienośne w warunkach wilgotnych,
- OSB/4, płyty o podwyższonych obciążeniach mechanicznych w warunkach suchych i wilgotnych.

Poszczególne rodzaje płyt produkowane są o grubości od 6 do 20 mm. Ich gęstość zawiera się najczęściej w przedziale od 620 do 640 kg·m⁻³, a współczynnik przewodności cieplnej wynosi 0,13 W·m⁻¹·K⁻¹. Różnią się między sobą stopniem wodoodporności oraz poziomem właściwości mechanicznych (tab. 39).

Tabela 39. Porównanie wymagań dla różnych rodzajów płyt OSB o grubości 10–18 mm

Właściwość	Źródło	OSB/1	OSB/2	OSB/3	OSB/4
Wytrzymałość na zginanie – oś większa [MPa]	PN-EN 310:1994	18	20	20	28
Wytrzymałość na zginanie – oś mniejsza [MPa]	PN-EN 310:1994	9	10	10	15
Moduł sprężystości przy zginaniu – oś większa [GPa]	PN-EN 310:1994	2,5	3,5	2,5	4,8
Moduł sprężystości przy zginaniu – oś mniejsza [GPa]	PN-EN 310:1994	1,2	1,4	1,4	1,9
Wytrzymałość na rozciąganie prostopadle do płaszczyzny [MPa]	PN-EN 319:1999	0,28	0,32	0,32	0,45
Spęcznie na grubość po 24 h moczenia w wodzie [%]	PN-EN 317:1999	25	20	15	12

Przytoczone wyżej rodzaje i przeznaczenie płyt OSB to bardzo ogólne stwierdzenia dotyczące wymagań użytkowych. Warto więc wymienić kilka przykładów faktycznego zastosowania tych płyt. W budownictwie szkieletowym, jako materiał konstrukcyjny, wykorzystuje się głównie wodoodporne płyty OSB/3 i OSB/4.

Należy przy tym pamiętać, że w wyniku specyficznej orientacji wiórów płaskich w arkuszu właściwości nośne tego tworzywa są zależne od kierunku obciążenia. Płyta ma tzw. główną oś nośności (oś większa) pokrywającą się z osią orientacji wiórów płaskich na powierzchni płyty. Wytrzymałość i sztywność wzdłuż osi głównej (osi większej) jest około 2,5-krotnie większa niż wytrzymałość i sztywność wzdłuż osi poprzecznej (osi mniejszej). W elementach nośnych płyty OSB używane są środki do belek dwuteowych. Poza tym stosuje się je na poszycia elementów ścian wewnętrznych i zewnętrznych, stropów, podłóg i połaci dachowych. Płyty OSB, podobnie jak zwykłe płyty wiórowe, można laminować, okleinować i tapetować czy pokrywać wykładzinami dywanowymi. Poza tym wykonuje się z nich nakładki i pasy montażowe oraz używa w robotach wykończeniowych, na przykład na elementy szaf wnękowych (Dzbeński i Kozakiewicz 2004).

Kolejnym budowlanym zastosowaniem płyt OSB jest wykonywanie z nich tarcz szalunkowych wielokrotnego użytku. Cienkie odmiany tych płyt są predysponowane do szalunków na powierzchnie z załomami. Przy szalowaniu konstrukcji mostowych i wsporczych z płyt OSB wykonuje się z powodzeniem także żebra, nakładki, środki i jarzma. Znalazły one również zastosowanie w produkcji opakowań. Wykonuje się z nich różnego rodzaju skrzynie transportowe, poszycia palet i listwy dystansowe (Hikiert 2001).

Oprócz wymienionych wyżej płyt OSB produkowane są również płyty OSB light, cechujące się ciężarem właściwym mniejszym o 25%. Ich gęstość wynosi około $480 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, moduł sprężystości wzdłuż osi głównej – 2,8 GPa, wytrzymałość na zginanie (oś większa) – 15 MPa, a współczynnik przewodności cieplnej – $0,13 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

Inną odmianą płyt OSB jest wiórowe drewno równoległowiątkowe, znane pod nazwą **LSL** (*laminated strand lumber*) lub Intrallam. Surowcem do jego produkcji są duże wióry, długości około 300 mm, otrzymywane głównie z miękkiego drewna topolowego. Orientowane wióry są łączone żywicami poliuretanowymi, zapewniając powstającemu tworzywu wodoodporność. Produkuje się go o grubości od 30 do 140 mm. Cieńsze płyty są stosowane jako elementy ścienne lub pokrycia dachowe, a grubsze przecinane są na belki o żądanych wymiarach. Typowa gęstość LSL to około $600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Płyta pilśniowa to płyta wytworzona z włókien ligno-celulozowych z dodatkiem lub bez dodatku środków chemicznych. Płyty pilśniowe otrzymywane są metodą moką lub suchą. W zależności od gęstości płyty otrzymywane metodą moką można ogólnie podzielić na: porowate – o gęstości poniżej $400 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, półtwarde – o gęstości $400\text{--}800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, twarde – o gęstości $800\text{--}900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ i bardzo twarde – o gęstości powyżej $900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Wszystkie z wymienionych rodzajów płyt można poddać zabiegom uszlachetniającym, polegającym na dodatku substancji hydrofo-

bowych, impregnujących i ochronnych. Płyty porowate stanowią dobry materiał izolacyjny. Jako materiał konstrukcyjny stosowane są w zasadzie tylko płyty półtwarde i twarde. Powinny one spełniać wymagania zawarte w normach PN-EN 622-2:2006 i PN-EN 622-3:2006. Wybrane właściwości płyt wiórowych zestawiono w tabeli 40. Wartości charakterystyczne właściwości mechanicznych dla płyt pilśniowych stosowanych w konstrukcjach potrzebne do obliczeń statycznych podane są również w normie PN-B-03150:2000.

Tabela 40. Wybrane właściwości płyt pilśniowych (HDF i MDF) formowanych metodą suchą

Cecha lub właściwość	Źródło	Wymagania w zależności od grubości płyty [mm]						
		2,5– –4,0	> 4,0– –8,0	> 8,0– –9,0	> 9,0– –12,0	> 12,0– – 9,0	<19,0– –30,0	> 30,0– –38
Gęstość	PN-EN-310:1994	1050	870	830	820	800	770	750
Wytrzymałość na zginanie [MPa]	PN-EN-310:1994	23	23	23	22	20	18	17
Moduł sprężystości wzdłuż osi wzdłużnej [GPa]	PN-EN-310:1994	–	2,7	2,7	2,5	2,2	2,1	1,9
Wytrzymałość na rozrywanie [MPa]	PN-EN-319:1999	0,65	0,65	0,65	0,6	0,55	0,55	0,5
Spęcznie po 24 h [%]	PN-EN-317:1999	35	30	17	15	12	10	8
Wilgotność [%]	PN-D-04247:1981	od 4 do 7						

Płyty pilśniowe można również otrzymywać metodą suchą z włókien drzewnych lub roślin jednorocznych łączonych żywicami syntetycznymi. Spośród płyt pilśniowych otrzymywanych metodą suchą najpopularniejsze są płyty MDF (*medium density fiberboard* – płyty pilśniowe średniej gęstości, od 600 do 800 kg·m⁻³). Płyty te do niedawna były stosowane głównie w meblarstwie. Obecnie produkowane są w szerszym zakresie gęstości (od 450 do 1050 kg·m⁻³) i wykorzystywane do wykończenia wnętrz oraz na materiały pokryciowo-izolacyjne w budownictwie. Europejska Federacja Producentów Płyt (EPF – *European Panel Federation*) wprowadziła następujący podział płyt pilśniowych formowanych na sucho pod względem ich gęstości:

- ultralekkie (ULDF), o gęstości 450–550 kg·m⁻³ (stosowane na profilowane wypraski i materiały izolacyjne),
- lekkie (LDF), o gęstości > 550–650 kg·m⁻³ (przeznaczone głównie do produkcji mebli),
- zwykłe (MDF), o gęstości > 650–800 kg·m⁻³ (do produkcji mebli i elementów stolarki, np. płycin drzwiowych, parapetów, kasetonów, paneli ściennych i listew profilowanych),

- twarde (HDF) o gęstości $>800-1050 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (stosowane głównie na panele podłogowe).

Wymienione wyżej płyty mogą być produkowane jako standardowe (przeznaczone do pracy w warunkach nienarażających je na bezpośredni kontakt z wodą) lub odporne na wilgoć (gdzie dopuszczalna jest praca przy wilgotności względnej powietrza powyżej 70% i krótkotrwały kontakt z wodą). Powierzchnie widoczne płyt zwykle pokrywa się powłokami malarsko-lakierniczymi lub foliami z nadrukiem, które podnoszą ich estetykę i dekoracyjność. Wymagania stawiane poszczególnym płytom MDF zawarte są w normach przedmiotowych (np. PN-EN 622-5:2010). Wybrane właściwości tych płyt przedstawiono w tabeli 40.

Wśród materiałów budowlanych z płyt pilśniowych formowanych metodą suchą dominują płyty izolacyjne, przeznaczone zarówno do pokrywania ścian, jak i dachów oraz podłóg. Płyty te nie są laminowane, aby zapewnić właściwą wymianę wilgotnościową w pomieszczeniach. Płyty łączone na pióro i wpust nie wymagają używania klejów i podkładek, a ponadto mogą być montowane niezależnie od rozstawienia wiązarów dachowych. Płyty do pokrywania powierzchni ścian mogą mieć boki proste, natomiast do pokrywania dachów zwykle są frezowane na pióro i wpust (Nicewicz i in. 2004).

Mimo opisanych wyżej przykładów, płyty MDF służą przede wszystkim do produkcji mebli i elementów wykończenia wnętrz, takich jak: panele ściennie, listwy ozdobne, kasetony, a także do produkcji stolarki budowlanej, na przykład drzwi, ościeżnic i parapetów. Płyty MDF poddane specjalnej obróbce żywicami podczas ich wytwarzania są rekomendowane do obróbki skrawaniem, a następnie wykańczone materiałami dekoracyjnymi, jak: farby i lakiery, okleiny, filmy aminowe (mocznikowe i melaminowe). Kolejna modyfikacja płyt MDF polega na ich uodpornieniu na działanie wilgoci, wówczas mogą być stosowane na zewnątrz (np. tablice reklamowe, witryny sklepowe, ościeżnice okienne). Więcej informacji na temat wytwarzania, właściwości i zastosowania płyt MDF znajduje się w między innymi w opracowaniu Nicewicz (2006).

Intensyfikacja badań w zakresie uzyskiwania nowych tworzyw drzewnych daje wymierne efekty, a wdrażane sukcesywnie technologie pozwalają na ich ekonomiczną, opłacalną produkcję. Postęp ten dotyczy również znanych już materiałów – wciąż pojawiają się ich nowe odmiany, jak: cienkie płyty wiórowe (o grubości poniżej 8 mm i gęstości powyżej $800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), „Shen Compact” otrzymywane przez prasowanie pod wysokim ciśnieniem i temperaturą, impregnowane żywicami płyty pilśniowe pokryte papierami dekoracyjnymi, ultralekkie płyty pilśniowe (np. „eko-płyta”), sklejkopodobne płyty Europly® otrzymywane w wyniku sklejanía pasków forniru o grubości 0,5 mm w technologii zbliżonej do produkcji płyt OSB.

5.4. Kompozyty drewna z materiałami nie-drzewnymi

W konstrukcjach budowlanych coraz częściej łączy się drewno z materiałami nie-drzewnymi. Przykładem takiego rozwiązania jest stosowanie obwarstwień nośnych, na przykład w drewnianych elementach konstrukcyjnych – laminatów na osnowie włókien szklanych zwiększających wytrzymałość na zginanie. Często do elementów drewnianych mocuje się lub przykleja łączniki metalowe. Metalowe kształtowniki są również wpuszczane między warstwy drewna, stanowiąc wzmocnienie w strefie naprężeń rozciągających. Kolejnym krokiem, po łączeniu w jednej konstrukcji drewna z innymi materiałami, jest wytwarzanie kompozytów. Mogą one stanowić elementy nośne w konstrukcji lub być materiałem wykończeniowym i izolacyjnym.

Przy sklejaniu materiału nie-drzewnego z drewnem w jeden kompozyt należy dobrać klej o dobrej adhezji do obu powierzchni oraz uwzględnić rozszerzalność cieplną i wilgotnościową. Przy różnych współczynnikach rozszerzalności cieplnej i wilgotnościowej sklejanych materiałów spoina klejowa musi być odpowiednio elastyczna, co zapobiega powstawaniu w niej niepożądanych naprężeń na skutek nierównych odkształceń obu elementów.

Kompozytowe, drewniane elementy nośne znane są pod ogólnym symbolem **SCL** (*structural composite lumber*). Przykładem takiego materiału są belki z drewna klejonego i włókien sztucznych o nazwie Firp[®]lamella. Produkt ten wytwarzany jest z tarcicy świerkowej klejonej warstwowo z włóknami szklanymi, aramidowymi lub węglowymi. Włókna te mają wytrzymałość na rozciąganie nawet 5-krotnie przewyższającą wytrzymałość stali. Zwiększona wytrzymałość Firp[®]lamelli pozwala na wykonywanie z nich konstrukcji o dużych rozpiętościach (np. hale wystawiennicze, produkcyjne i magazynowe, kładki piesze i mosty). Korzystna wartość współczynnika jakości wytrzymałościowej i uzyskiwana jednorodność tworzywa pozwala na stosowanie mniejszych przekrojów, a więc lżejszych konstrukcji, niewymagających ciężkiego fundamentowania. Według PN-EN 1194:2000 Firp[®]lamella produkowana jest w klasach od GL 24 do GL 36.

Kompozytowe, drewniane elementy płytowe to cały szereg produktów. Należą do nich materiały wybitnie izolacyjne, jak komórkowe płyty stolarskie. Płyty komórkowe mają środki z tektury, z papieru wzmocnionego żywicami syntetycznymi lub szkłem wodnym, z pasków płyt pilśniowych, z forniru lub z piankowych tworzyw sztucznych (np. z polistyrenu). Środki te są oklejone sklejką lub płytami pilśniowymi. Gęstość takich płyt jest niewielka – może być nawet mniejsza niż $150 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Do kompozytów można również zaliczyć sklejkę szalunkową. Jest to

sklejka wodoodporna, w której zewnętrzne powierzchnie (płaszczyzny) są dodatkowo zabezpieczone warstwą wodoodpornego kleju lub cienką blachą.

Kolejny przykład kompozytu to tworzywa drzewne spajane termoplastami, czyli **WPC** (*wood plastic composite*). Jest to mieszanina cząstek lignocelulozowych (np. mączki lub włókien drzewnych) oraz termoplastycznych tworzyw sztucznych (np. polistyren PS, polipropylen PP, polichlorek winylu PCV). Za początki WPC można uznać wynalezienie bakelitu w 1916 roku. Była to mieszanina mączki drzewnej spajanej żywicą PF (fenolowo-formaldehydową). Opcjonalnie, jako wypełniacza, używano azbestu i papieru. Tworzywo to, pomimo niezbyt dużej wytrzymałości mechanicznej i sporej kruchości, charakteryzowało się wieloma zaletami: niepalnością, nietopliwością, nierozpuszczalnością, małym przewodnictwem elektrycznym, słabą przewodnością cieplną oraz względnie dużą odpornością chemiczną. Stosowano je między innymi w przemyśle elektrotechnicznym jako materiał konstrukcyjny i izolacyjny.

Przełomem w wytwarzaniu WPC były lata 1980–1990, związane z opanowaniem technologii wytłaczania elementów z mas zawierających ponad 50% napelniaczy (rozdrobnionego drewna) oraz związków pomostowych (sprzęgających), ułatwiających ich wiązanie z tworzywami termoplastycznymi. Kolejny rozpoczął się od 1996 roku, kiedy uruchomiono produkcję granulatu WPC jako półproduktu do wytwarzania elementów o dowolnym kształcie. Obecnie przyjął się podział WPC na trzy grupy:

- „Plastic-like”, gdzie cząstki włókniste stanowią od 1–do 40% objętości tworzywa,
- typowe, zawartość cząstek lignocelulozowych wynosi od 40 do 70%,
- „Woody”, o dominującym udziale drewna – od 70 do 90%.

Według innego podziału, WPC dzieli się na dwie grupy: w pierwszej powstałe produkty miały większą gęstość od drewna, gładką powierzchnię, „plastikowy” wygląd oraz pełną, zwartą strukturę, w drugiej wyroby charakteryzowały się gęstością równą bądź mniejszą niż gęstość drewna, teksturowaną powierzchnią, często imitującą wygląd drewna, oraz spienioną strukturą.

Pomysł zastosowania termoplastów w technologii drewna pojawił się po 1980 roku i wynikał z chęci zagospodarowania odpadów (np. polichlorku winylu), głównie po jednorazowych opakowaniach. Odpadowe termoplasty (w postaci butelek, kubków, tacek) nie są szkodliwe dla środowiska, jednak ich naturalna biodegradacja jest niezwykle powolna. Użycie ich jako spoiwa do cząstek drzewnych pozwala na szybki recykling i rozwiązuje problem składowania.

Można wyróżnić dwie grupy tworzyw uzyskiwanych z zastosowaniem termoplastów: płyty, które wytwarzane są przez prasowanie oraz elementy profilowane

(kształtowniki, stosowane głównie w budownictwie), które produkuje się przez wytłaczanie lub wtrysk do form. Obie grupy tworzyw charakteryzuje bardzo duża odporność na działanie zimnej wody (Pawlicki i Nicewicz 2000).

Pomysłów na kompozyty jest bardzo wiele i ciągle pojawiają się nowe produkty, głównie dla budownictwa. Są to na ogół tworzywa warstwowe. Właściwości poszczególnych składników kompozytu wzajemnie się uzupełniają i dają w rezultacie efekt, jaki trudno byłoby osiągnąć w inny sposób.

Szeroka oferta obecnych na rynku materiałów drewnopochodnych o zróżnicowanych właściwościach pozwala na ich optymalny dobór w zależności od zastosowania i funkcji, jakie mają pełnić w gotowym obiekcie budowlanym. Przy obecnej technologii można z nich wykonać w zasadzie wszystkie elementy współczesnego budynku szkieletowego – począwszy od konstrukcji nośnej, po wypełnienia i izolacje ścian oraz stolarkę. Wśród nich odnajdziemy doskonałe tworzywa na nawierzchnie podłogowe, sufity, pokrycia dachowe, a także instalacje (np. rury i rynny) oraz materiały do wyposażenia i aranżacji wnętrz. Materiały drzewne i drewnopochodne to również godne uwagi tworzywa przy wznoszeniu śmiałych konstrukcji inżynierskich (Dzbeński i Kozakiewicz 2004).

Literatura

- AAS G., RIEDMILLER A., 1993: Drzewa – encyklopedia kieszonkowa. Wydawnictwo Muza S.A., Warszawa.
- ANTKOWIAK L., 1999: Materiały do ćwiczeń z oznaczania drewna. Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu, Poznań.
- ARRIAGA F., INIGUEZ G., ESTEBAN M., 2005: Assessment of strength and stiffness properties using longitudinal stress wave on structural gross cross section timber of Radiata Pine (*Pinus Radiata* D. Don). Proceedings of the 14th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, University of Applied Sciences, May 2–4, Eberswalde: 103–109.
- BAJKOWSKI B., 1994: Automatyzacja procesów technologicznych w przemyśle drzewnym. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- BANFI E., CONSOLINO F., 2001: Drzewa – podręczny leksykon przyrodniczy. Grupa Wydawnicza Bertelsmann Media, Warszawa.
- BERGMANN B., 1999: Neue Wege in der maschinellen Holzsortierung. Materiały firmy GreCon. Maszynopis.
- CZEMKO B., 2010a: Problematyczny system sprzedaży drewna. *Rynek Drzewny* 1: 4–6.
- CZEMKO B., 2010b: Mechanizmy funkcjonowania rynku drewna okrągłego w wybranych krajach UE. *Rynek Drzewny* 2: 4–6.
- CZEMKO B., HIKIERT M.A., ADAMOWICZ M., NITKA W., 2011: Przemysł płyt drewnopochodnych i tartaczny podstawą rozwoju nowoczesnego budownictwa w Polsce i w Europie. III Europejski Kongres Gospodarczy, 16–18 maja, Katowice.
- DENZLER J.K., DIEBOLD R., GLOS P., 2005: Machine strength grading – commercially used grading machines – current developments. Proceedings of the 14th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, University of Applied Sciences, May 2–4, Eberswalde: 11–16.
- DROUET T., 1992: Technologia płyt wiórowych. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE (tekst mający znaczenie dla EOG).
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/147/WE z 30.11.2009 r. w sprawie odnowy dzikiego ptactwa (ze zm.).
- Dyrektywa Rady 89/106/EWG z 21.12.1988 r. w sprawie zbliżenia przepisów ustawowych, wykonawczych i administracyjnych Państw Członkowskich odnoszących się do wyrobów budowlanych.

- Dyrektywa Rady 92/43/EEC z 21.05.1992 r. w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory (ze zm.).
- DZBEŃSKI W., 1984: Nieniszczące badania mechanicznych właściwości tarcicy konstrukcyjnej wybranymi metodami statycznymi i dynamicznymi. Wydawnictwo SGGW-AR, Warszawa.
- DZBEŃSKI W., 1995: Polska tarcica budowlano-konstrukcyjna na tle wymagań europejskich. XI Konferencja Naukowa Wydziału Technologii Drewna SGGW, 14 listopada. Fundacja „Rozwój SGGW”, Warszawa: 27–34.
- DZBEŃSKI W., 2002: Drewno jako materiał konstrukcyjny z polskich lasów. *Przemysł Drzewny* 12: 17–18.
- DZBEŃSKI W., 2003: Compliance of wood in production of composite reinforced with steel. *Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW, Forestry and Wood Technology* 53: 66–69.
- DZBEŃSKI W., KOZAKIEWICZ P., 2004: Drewno i materiały drewnopochodne na konstrukcje nośne. Materiały konferencyjne XIX Ogólnopolskiej Konferencji „Warsztat pracy projektanta konstrukcji”, 25–28 lutego, Ustronie I: 177–212.
- DZBEŃSKI W., KRZOSEK S., KOZAKIEWICZ P., 2000: Właściwości, metody sortownicze i normalizacja tarcicy budowlano-konstrukcyjnej w programie przedsięwzięć szkoleniowych i wdrożeniowych. *Przemysł Drzewny* 12: 13–16.
- DZBEŃSKI W., KOZAKIEWICZ P., KRZOSEK S., 2005: Wytrzymałościowe sortowanie tarcicy konstrukcyjnej. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- DZBEŃSKI W., MAŃKOWSKI P., KRZOSEK S., 2008: Theoretical and practical usefulness of radiation methods for wood density testing. *Folia Forestalia Polonica. Seria B – Drzewnictwo* 39: 31–43.
- GALEWSKI W., KORZENIOWSKI A., 1958: Atlas najważniejszych gatunków drewna. PWRiL, Warszawa.
- GLOS P., 1982: Die maschinelle Sortierung von Schnittholz. Stand der Technik – Vergleich der Verfahren. *Holz-Zentralblatt*, 13: 153–155.
- GLOS P., 1993: Aktuelle Entwicklungen im Bereich der Holzsortierung – Anforderungen der Praxis und Stand der Normung. Dreiländer – Holztagung in Garmisch-Partenkirchen.
- GLOS P., DIEBOLD R., 1997: Aktuelle Entwicklungen im Bereich der Holzsortierung. *Holz-Zentralblatt Special*, März.
- GÖRLACHER R., 1993: Maschinelle Holzsortierung – aktuelle Entwicklungen und erste Erfahrungen aus der Praxis. Dreiländer – Holztagung in Garmisch-Partenkirchen.
- GRZEŚKIEWICZ M., KRZOSEK S. 1995: Technologia, wytwarzanie, właściwości oraz zastosowanie w budownictwie LVL (drewna warstwowego z fornirów). Konferencja Naukowa WTD SGGW „Technologie wyrobów z drewna i materiałów drewnopochodnych dla budownictwa”. 14 listopada, Warszawa.

- GRZYWACZ A., 1995: Poznajmy las. Agencja Reklamowo-Wydawnicza Arkadiusz Grzegorzczak, Warszawa.
- HANHIJARVI A., RANTA-MAUNUS A., TURK G., 2005: Potential of strength grading of timber with combined measurement techniques. Report of the Combigrade – project – phase 1. VTT Publications 568, Finland.
- HIKIERT M.A., 2001: Płyty OSB materiałem dla budownictwa. *Przemysł Drzewny*: 3–6.
- JOUNG J., MURPHY J.F., 1983: An investigation of the failure of butt joints in parallel-laminated veneer. *Wood and Fiber Science* 15 (2): 116–134.
- KARLSSON M., 2009: Maschinelle Festigkeitssortierung mit dem Precigrader. 4 Internationaler Kongress der Säge- & Holzindustrie, 16–17 Februar, Rosenheim.
- KAWAI S., WANG Q., SASAKI H., TANAHASHI M., OHOTA C., 1993: Properties of compressed Laminated Veneer Lumber produced by steam pressing. *Mokuzai-Gakkaishi. Journal of the Japan Wood Research Society* 39 (5): 550–554.
- KOKOCIŃSKI W., 2005: Anatomia drewna. Wydawnictwo-Drukarnia Prodrak, Poznań.
- KOLLMANN F., 1951: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Springer-Verlag, Berlin – Göttingen – Heidelberg.
- KOTWICA E., GIL Z., ORŁOWICZ R., 2011: Konstrukcje z drewna klejonego – analiza przyczyn awarii i katastrof. *Inżynier Budownictwa*. 11 (84): 76–80.
- KOZAKIEWICZ P., 2002: Badanie właściwości mechanicznych tarcicy konstrukcyjnej charakteryzujących kohezję poprzeczną drewna sękatego. Rozprawa doktorska. Katedra Nauk o Drewnie i Ochrony Drewna, SGGW, Warszawa.
- KOZAKIEWICZ P., 2010: Wpływ temperatury i wilgotności na wytrzymałość na ścislenie wzdłuż włókien wybranych rodzajów drewna o zróżnicowanej gęstości i budowie anatomicznej. Rozprawy Naukowe i Monografie 370. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- KOZAKIEWICZ P., 2012: Fizyka drewna w teorii i zadaniach. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- KOZAKIEWICZ P., KRZOSEK S., 2011: Wytrzymałościowe sortowanie tarcicy konstrukcyjnej w Polsce. W: Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych. Red. Z. Mielczarek. Szczecin, T. IX: 153–164.
- KOZAKIEWICZ P., MATEJAK M., 2006: Klimat a drewno zabytkowe. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- KOZAKIEWICZ P., NOSKOWIAK A., PIÓRO P., 2012: Atlas drewna podłogowego. Wydawnictwo Profi-Press, Warszawa.
- KOZAKIEWICZ P., WIERUSZEWSKI M., 2005: Daglezja zielona (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Frnaco) – drewno egzotyczne z Ameryki Północnej. *Przemysł Drzewny* 2: 15–20.
- KOZAKIEWICZ P., BORYSIUK P., KRZOSEK S., 2011: Struktura zapotrzebowania na surowiec drzewny głównych odbiorców w Polsce. Konferencja Naukowo-Techniczna SITLiD „Rozwój zasobów drzewnych i strategia ich wykorzystania”. 8 listopada, Gołuchów.

- KRZOSEK S., 1995: Maszynowe sortowanie tarcicy w Niemczech. *Przemysł Drzewny* 2: 10–12.
- KRZOSEK S., 2009: Wytrzymałościowe sortowanie polskiej sosnowej tarcicy konstrukcyjnej różnymi metodami. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- KRZOSEK S., 2009: Vergleich der Sortieregebnisse bei visuelle Festigkeitssortierung von polnischen Kieferkonstruktionsschnittholz nach PN-82/D-94021 und nach DIN 4074-1:2003. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology* 68, 448–452.
- KRZOSEK S., 2011: Timber strength grading of *Pinus sylvestris* L. using a visual method according to Polish Standard PN-82/D-94021 and German Standard DIN 4074. *Wood Research*, Vol 56, nr 3, 435–440.
- KRZOSEK S., 2012: Przegląd technik tartacznych stosowanych w polskich tartakach. *Rynek Drzewny* 1: 9–11.
- KRZOSEK S., BACHER M., 2011: Aktueller Stand der maschinellen Festigkeitssortierung von Schnittholz in Polen und in Europa. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology* 74: 254–259.
- KRZOSEK S., DZBEŃSKI W., 1998: Pomiar gęstości drewna metodą radiometryczną. *Przemysł Drzewny* 10: 16–18.
- KRZOSEK S., GRZEŚKIEWICZ M., 2008: Strength grading Polish-grovn *Pinus sylvestris* L. structural timber using Timber Grader MTG and visual method. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology* 66: 26–31.
- KRZOSEK S., BACHER M., GRZEŚKIEWICZ M., 2009: Comparison of strength grading machine settings for different grade Combinations for Polish-grovn *Pinus sylvestris* L. structural sawn timber. COST Action E53 Conference 22–23 October, Lisbon, Portugal.
- KRZOSEK S., GRZEŚKIEWICZ M., BACHER M., 2008: Mechanical properties of Polish-grown *Pinus sylvestris* L. structural sawn timber. COST E53 Conference proceedings, 29–30 of October, Delft, Netherlands: 253–260.
- KRZYSIK F., 1978: Nauka o drewnie. PWN, Warszawa.
- LIS W., 2011: Czy drewno powinno być źródłem energii odnawialnej? *Przemysł Drzewny* 1: 7–23.
- Mała encyklopedia leśna, 1991. PWN, Warszawa.
- MIELCZAREK Z., 1994: Budownictwo drewniane. Wydawnictwo „Arkady”, Warszawa.
- NICEWICZ D., 2006: Płyty pilśniowe MDF. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- NICEWICZ D., BORYSIUK P., PAWLICKI J., 2004: Tworzywa drzewne specjalnego przeznaczenia. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.

- NOSKOWIAK A., 2007: Normy EN dla drewna konstrukcyjnego zharmonizowane z Dyrektywą 89/106 EEC. Konferencja Polskiej Izby Gospodarczej Przemysłu Drzewnego: Aspekty prawne i technologiczne produkcji drewna konstrukcyjnego. 26–28 września, Darłówko.
- ONIŚKO W., 2002: Drewnopochodne materiały budowlane. *Przemysł Drzewny* 6: 3–10.
- PAWLICKI J., NICEWICZ D., 2000: Wood-thermoplastic composites. *Annals of Warsaw Agriculture University* 50: 99–101.
- Pozyskanie drewna, sprzedaż, ceny 2010, 2011. PGL Lasy Państwowe (www.lasy.gov.pl).
- Projekt bliźniaczy PL 2005/IB/EC-01, 2008: Oznakowanie CE dla wyrobów. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa (www.mg.gov.pl...).
- PROSIŃSKI S., 1984: Chemia drewna. PWRiL, Warszawa.
- RANTA-MAUNUS A., 2007: Strength of Finnish grown timber. VTT Publications 668, Espoo, Finland.
- Raport o stanie lasów w Polsce 2011, 2012. PGL Lasy Państwowe ([www.lasy.gov.pl/dokumenty/raporty/...](http://www.lasy.gov.pl/dokumenty/raporty/)).
- SANDOZ J.-L., BENOIT Y., 2007: Timber grading machine using multivariate parameters based on ultrasonic and density measurement. COST E 53 Conference – Quality Control for Wood and Wood Products. 15–17 October, Warsaw University of Life Sciences: 121–128.
- STROJNY W., 1981: Nasze drzewa. PWRiL, Warszawa.
- STRYKOWSKI W., 2011: Drewno w gospodarce UE i w Polsce. III Europejski Kongres Gospodarczy, 16–18 maja, Katowice.
- SZLEZYNGIER W., 2000: Tworzywa sztuczne. T.1 i 2. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów.
- SZUKAŁA R., SZUMIŃSKI G., 2003: Badanie podstawowych właściwości iglastej tarcicy konstrukcyjnej zgodnie z normami europejskimi. Maszynopis. Instytut Technologii Drewna, Poznań.
- Urządzenia do klasyfikacji tarcicy konstrukcyjnej ITD-3, 1986. Instytut Technologii Drewna, Poznań.
- WIERUSZEWSKI M., GOTYCH V.R., HRUZIŁ G.J., GOŁUŃSKI G., 2009: Jakość sosnowych elementów klejonych dla budownictwa szkieletowego. Mat. konf. „Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych” pod red. Z. Mielczarka. T. VIII. Szczecin.
- WILKINSON J.G., 1979: Industrial Timber Preservation. Associated Business Press, London.
- WÓJCIK T., 2011: Pozyskiwanie drewna z Lasów Państwowych w warunkach zrównoważonego rozwoju i realizacji funkcji pozaprodukcyjnych – szanse i ograniczenia. III Europejski Kongres Gospodarczy, 16–18 maja, Katowice.

YOUNGQUIST J.A., 1978: Production and marketing opportunities for parallel – laminated veneer products. Reprint from Proceedings of the sixth Plywood Clinic, Portland, Oregon.

Zarządzenie nr 51 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 27 października 2011 (www.lasy.gov.pl).

ZENKTELER M., 1957: Klucz do oznaczania drewna. PWRiL, Warszawa.

ZENKTELER M., 1996: Kleje i klejenie drewna. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Poznaniu, Poznań.

Normy

BS 4978:2007 Specification for visual strength grading of soft wood.

BS 5268-2:2002 Structural Use of timber. Code of practice for permissible stress design. Materials and workmanship.

DIN 4074:2003 Sortierung von Nadelholz nach der Tragfähigkeit, Nadelschnittholz.

DIN 52181-08:1975 Bestimmung der Wuchseigenschaften von Nadelschnittholz.

PN-B-03150:1981 Konstrukcje z drewna i materiałów drewnopochodnych. Obliczenia statyczne i projektowanie.

PN-B-03150:2000 Konstrukcje drewniane – obliczenia statyczne i projektowanie.

PN-D-01011:1979 Drewno okrągłe. Wady.

PN-D-01012:1979 Tarcica. Wady.

PN-D-04247:1981 Płyty pilśniowe i wiórowe. Oznaczanie wilgotności.

PN-D-94021:1982 Tarcica iglasta konstrukcyjna sortowana metodami wytrzymałościowymi.

PN-D-94021:2013 (projekt) Tarcica konstrukcyjna iglasta sortowana metodami wytrzymałościowymi.

PN-EN 1193:1999 Konstrukcje drewniane. Drewno konstrukcyjne i drewno klejone warstwowo. Oznaczanie wytrzymałości na ścinanie i właściwości mechanicznych w poprzek włókien.

PN-EN 1194:2000 Konstrukcje drewniane. Drewno klejone warstwowo. Klasy wytrzymałości i określanie wartości charakterystycznych.

PN-EN 1309-1:2002 Drewno okrągłe i tarcica. Metody oznaczania wymiarów. Część 1: Tarcica.

PN-EN 1310:2000 Drewno okrągłe i tarcica. Metody pomiaru cech.

PN-EN 1311:2000 Drewno okrągłe i tarcica. Metody pomiaru biologicznej degradacji.

PN-EN 1312:2002 Drewno okrągłe i tarcica. Oznaczanie objętości partii tarcicy.

PN-EN 1313-1:2010 Drewno okrągłe i tarcica. Dopuszczalne odchyłki i zalecane wymiary. Część 1: Tarcica iglasta.

PN-EN 13183-1:2004 Wilgotność sztuki tarcicy. Część 1: Oznaczanie wilgotności metodą suszarkowo-wagową.

PN-EN 13183-2:2007 Wilgotność sztuki tarcicy. Część 2: Oznaczanie wilgotności za pomocą elektrycznego wilgotnościomierza oporowego.

PN-EN 13501-1:2007+A1:2010 Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków. Część 1: Klasyfikacja na podstawie wyników badań reakcji na ogień.

PN-EN 13501-1+A1:2010 Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków. Część 1: Klasyfikacja na podstawie wyników badań reakcji na ogień.

PN-EN 13556:2005 Drewno okrągłe i tarcica. Terminologia stosowana w handlu drewnem w Europie.

PN-EN 13823:2010 Badania reakcji na ogień wyrobów budowlanych. Wyroby budowlane, z wyłączeniem podłogowych, poddane oddziaływaniu termicznemu pojedynczego płonącego przedmiotu.

PN-EN 14080:2006 Konstrukcje drewniane. Drewno klejone warstwowo. Wymagania.

PN-EN 14081-1:2007 Konstrukcje drewniane. Drewno konstrukcyjne o przekroju prostokątnym sortowane wytrzymałościowo. Część 1: Wymagania ogólne.

PN-EN 14081-2:2010 Konstrukcje drewniane. Drewno konstrukcyjne o przekroju prostokątnym sortowane wytrzymałościowo. Część 2: Sortowanie maszynowe; wymagania dodatkowe dotyczące wstępnych badań typu.

PN-EN 14081-3:2007 Konstrukcje drewniane. Drewno konstrukcyjne o przekroju prostokątnym sortowane wytrzymałościowo. Część 3: Sortowanie maszynowe. Wymagania dodatkowe dotyczące zakładowej kontroli produkcji.

PN-EN 14081-4:2009 Konstrukcje drewniane. Drewno konstrukcyjne o przekroju prostokątnym sortowane wytrzymałościowo. Część 4: Sortowanie maszynowe. Nastawy urządzeń sortujących do kontroli maszynowej.

PN-EN 15228:2009 Drewno konstrukcyjne. Drewno konstrukcyjne zabezpieczone przed korozją biologiczną.

PN-EN 15425:2008 Kleje. Jednoskładnikowe kleje poliuretanowe do drewnianych konstrukcji nośnych. Klasyfikacja i wymagania użytkowe.

PN-EN 1912:2004+A4:2010 Drewno konstrukcyjne. Klasy wytrzymałości. Wizualny podział na klasy i gatunki.

PN-EN 1995-1-1:2010 Eurokod 5: Projektowanie konstrukcji drewnianych. Część 1-1: Zasady ogólne i zasady dla budynków.

PN-EN 1995-1-2:2008 Eurokod 5: Projektowanie konstrukcji drewnianych. Część 1-2: Odporność na działanie ognia.

PN-EN 1995-2:2007 Eurokod 5: Projektowanie konstrukcji drewnianych. Część 2: Mosty.

PN-EN 292:1999 Drewno klejone warstwowo. Badanie spoin klejowych na ścinanie.

PN-EN 300:2000 Płyty o wiórach orientowanych (OSB). Definicje, klasyfikacja i specyfikacja.

PN-EN 301:1994 Kleje na bazie fenolo- i aminoplastów do drewnianych konstrukcji nośnych. Klasyfikacja i wymagania użytkowe.

PN-EN 310:1994 Płyty drewnopochodne. Oznaczanie modułu sprężystości przy zginaniu i wytrzymałości na zginanie.

PN-EN 312-4:2000 Płyty wiórowe. Wymagania techniczne. Wymagania dla płyt przenoszących obciążenia, użytkowanych w warunkach suchych.

PN-EN 312-5:2000 Płyty wiórowe. Wymagania techniczne. Wymagania dla płyt przenoszących obciążenia, użytkowanych w warunkach wilgotnych.

PN-EN 312-6:2000 Płyty wiórowe. Wymagania techniczne. Wymagania dla płyt o podwyższonej zdolności do przenoszenia obciążeń, użytkowanych w warunkach suchych.

PN-EN 312-7:2000 Płyty wiórowe. Wymagania techniczne. Wymagania dla płyt o podwyższonej zdolności do przenoszenia obciążeń, użytkowanych w warunkach wilgotnych.

PN-EN 317:1999 Płyty wiórowe i pilśniowe. Oznaczanie spęczenia na grubość po moczeniu w wodzie.

PN-EN 319:1999 Płyty wiórowe i pilśniowe. Oznaczanie wytrzymałości na rozciąganie w kierunku prostopadłym do płaszczyzny.

PN-EN 336:2004 Drewno konstrukcyjne. Wymiary, odchyłki dopuszczalne.

PN-EN 338:2011 Drewno konstrukcyjne. Klasy wytrzymałości.

PN-EN 350-2:2000 Trwałość drewna i materiałów drewnopochodnych. Naturalna trwałość drewna. Wytyczne dotyczące naturalnej trwałości i podatności na nasycanie wybranych gatunków drewna mających znaczenie w Europie.

PN-EN 384:2010 Drewno konstrukcyjne. Oznaczanie wartości charakterystycznych właściwości mechanicznych i gęstości.

PN-EN 386:2002 Drewno klejone warstwowo. Wymagania eksploatacyjne i minimalne wymagania produkcyjne.

PN-EN 390:1999 Drewno klejone warstwowo. Wymiary. Dopuszczalne odchyłki.

PN-EN 391:2002 Drewno klejone warstwowo. Badanie spoin klejowych na rozwarstwienie.

PN-EN 392:1999 Drewno klejone warstwowo. Badania spoin klejonych na ścinanie.

PN-EN 408:1998 Konstrukcje drewniane. Drewno konstrukcyjne lite i klejone warstwowo. Oznaczanie niektórych właściwości fizycznych i mechanicznych.

PN-EN 408:2010 Konstrukcje drewniane. Drewno konstrukcyjne lite i klejone warstwowo. Oznaczanie niektórych właściwości fizycznych i mechanicznych.

PN-EN 460:1997 Trwałość drewna i materiałów drewnopochodnych. Naturalna trwałość drewna litego. Wytyczne dotyczące wymagań w zakresie trwałości drewna stosowanego w klasach zagrożenia.

PN-EN 518:2000 Drewno konstrukcyjne. Sortowanie. Wymagania w odniesieniu do norm dotyczących sortowania wytrzymałościowego metodą wizualną.

PN-EN 622-2:2006 Płyty pilśniowe. Wymagania techniczne. Wymagania dla płyt twar-
dych.

PN-EN 622-3:2006 Płyty pilśniowe. Wymagania techniczne. Wymagania dla płyt pil-
śniowych półtwardych.

PN-EN 622-5:2010 Płyty pilśniowe. Wymagania techniczne. Wymagania dla płyt for-
mowanych na sucho (MDF).

PN-EN 844-1:2001 Drewno okrągłe i tarcica. Terminologia. Terminy ogólne wspólne
dla drewna okrągłego i tarcicy.

PN-EN 844-10:2001 Drewno okrągłe i tarcica. Terminologia. Terminy dotyczące prze-
barwień i uszkodzeń grzybowych.

PN-EN 844-11:2001 Drewno okrągłe i tarcica. Terminologia. Terminy dotyczące uszko-
dzeń powodowanych przez owady.

PN-EN 844-12:2002 Drewno okrągłe i tarcica. Terminologia. Terminy uzupełniające
i indeks ogólny.

PN-EN 844-3:2002 Drewno okrągłe i tarcica. Terminologia. Terminy ogólne dotyczące
tarcicy.

PN-EN 844-6:2002 Drewno okrągłe i tarcica. Terminologia. Terminy dotyczące wymia-
rów tarcicy.

PN-EN 844-7:2000 Drewno okrągłe i tarcica. Terminologia. Terminy dotyczące anato-
micznej budowy drewna.

PN-EN 844-9:2002 Drewno okrągłe i tarcica. Terminologia. Terminy dotyczące cech
tarcicy.

PN-ISO 2859-1:2003 Procedury kontroli wrywkowej metodą alternatywną. Część 1:
Schematy kontroli indeksowane na podstawie granicy akceptowanej jakości (AQL)
stosowane do kontroli partii za partią.