

GERARD KÜHNE

Perspektywy rozwoju badań w technologii tworzyw drzewnych — próba analizy*

Perspectives in Developments of Research
in Wood-base Material Technology; an Attempt of an Analysis

Mieście szacunek dla drzewa, które jest jednym wielkim cudem i które dla naszych przodków było rzeczą świętą; wrogi stosunek do drzewa jest cechą narodu o małej wartości i cechą człowieka nikczemnego.

Aleksander von Humboldt

Technolodzy drewna zajmują się surowcem, który należy do najstarszych materiałów stosowanych w budownictwie i w innych dziedzinach działalności człowieka. Zużywa się go rocznie w ilości ok. 3,5 mld m³ (około 2,1 mld t), co znacznie przewyższa ilość wszystkich innych surowców i materiałów. Ponad 50% pozyskiwanego drewna wykorzystuje się dzisiaj w różnej postaci jako materiał budowlany i konstrukcyjny.

Drewno od najstarszych czasów służyło jako materiał do budowy pomieszczeń mieszkalnych, do wyrobu narzędzi, sprzętów gospodarstwa domowego, pierwszych prymitywnych maszyn do uprawy roli, krosien, broni itp. Było ono także tym materiałem, który umożliwił techniczne wykonanie takiego przełomowego wynalazku jakim było koło. Nie pomylimy się stwierdzając, że tak jak niegdyś, tak i dzisiaj drewno towarzyszy człowiekowi przez całe życie — od kołyski aż do grobu. Dlatego trudno jest zrozumieć, że systematyczne badania drewna i jego technicznego wykorzystania rozpoczęły się tak naprawdę dopiero na początku obecnego stulecia, a badania obejmujące tworzywa drzewne dopiero w latach czterdziestych i pięćdziesiątych.

* Wykład wygłoszony na uroczystości nadania tytułu doktora *honoris causa* profesorowi dr hab. Grardowi Kühne w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie 15 lutego 1996 roku.

Przyczyn tego należy zapewne szukać w tym, że kompleksowe poznanie tego materiału wymagało wypracowania najpierw odpowiednich metod i technik badawczych (mikroskopy, maszyny wytrzymałościowe, przyrządy pomiarowe itp.). Należy stwierdzić, że drewno nie zajmowało uwagi badaczy i pozostawało w cieniu przeszłości, aczkolwiek analizy wykazywały, iż zarówno liczba zatrudnionych przy jego pozyskaniu i przerobie oraz obroty handlowe świadczyły o ważności tego surowca.

Podczas gdy znaczne środki finansowe przeznaczone były na badania stali, węgla, a później na chemię, badania drewna nie ruszały z miejsca. Równoległe z szybkim, wspieranym znacznymi środkami finansowymi rozwojem metalurgii a później tworzyw sztucznych, równoległe z rozwojem przemysłu wzrastało zainteresowanie drewnem, ale przede wszystkim jako surowcem dla powstających fabryk celulozy i papieru. Jako materiał konstrukcyjny i budowlany drewno traciło jednocześnie na znaczeniu, czego szkodliwe skutki widoczne są do dzisiaj.

Sytuacja ta zmieniała się, początkowo powoli wraz z rozwojem nauk przyrodniczych i techniki (chemii analitycznej, współczesnej fizyki, materiałoznawstwa i wreszcie mechaniki struktury), wreszcie jednak drewno zaczęło być ponownie coraz bardziej akceptowane jako surowiec i tworzywo. Jednakże dopiero wraz z powstaniem współczesnych metod badania materiałów, w szczególności mechaniki ciała stałego, rozwinęły się badania drewna, których wyniki zostały szybko przejęte przez przemysł budowy maszyn i urządzeń oraz przez przemysł przetwórczy.

Coraz bardziej umacniała się świadomość tego, że:

- las jest systemem regenerującym się a drewno jest surowcem odnawialnym,
- produkcja drewna w lesie jest przyjazna dla środowiska i przebiega przy niskim nakładzie energii,
- użytkowanie drewna daje się połączyć z wymaganiami, jakie społeczeństwo stawia wobec lasu,
- las i drewno magazynują węgiel a użytkowanie drewna przyczynia się do redukcji wzrostu CO₂ w atmosferze,
- drewno jest wielostronnie wykorzystywanym surowcem, tworzywem i materiałem budowlanym,
- większość wyrobów z drewna wykazuje szczególnie korzystny bilans ekologiczny.

Dzisiaj można stwierdzić, że ograniczona rola jaką spełniało drewno w przeszłości została w znacznym stopniu przewyższona i że rozliczne możliwości jego przerobu spowodowały wzrost nań popytu i zainteresowania.

Prognozy FAO wskazują, że w roku 2010 (a więc za 14 lat) wystąpi deficyt surowca drzewnego w ilości około 250 mln m³ rocznie. Pociąga to za sobą konieczność rozwijania badań dotyczących ogólnie biorąc drewna a w szczególności tworzyw drzewnych. Konieczność ta jest określona przez następujące warunki:

- ← wzrastające zapotrzebowanie na surowiec przy prawie stałej jego podaży,

- wzrastającą różnorodność zapotrzebowania na wyroby z drewna,
- wzrastające wymagania odnośnie niezawodności, stabilności wymiarowej i trwałości wyrobów,
- obowiązek zrealizowania technologii przyjaznych dla środowiska, surowcowo- i energooszczędnych oraz zapewniających możliwość recyklingu wyrobów.

Z tego można wyciągnąć wniosek, że klasyczne metody produkcji wyrobów z drewna litego nie odpowiadają wymaganiom przyszłości i że będą stopniowo zastępowane przez produkcję tworzyw drzewnych o zróżnicowanej budowie i wyrównujących właściwości połączeniach elementów strukturalnych.

Co osiągnięto do chwili obecnej w obszarze badań obejmującym tworzywa drzewne i jak można scharakteryzować dzisiejszą sytuację?

Na wstępie możemy stwierdzić co następuje:

- Znane obecnie tworzywa stanowią tylko niewielką część tego, co jest do uzyskania przy uwzględnieniu wszystkich wariantów wynikających z możliwości surowcowo-recepturowych, strukturalnych i technologicznych. Celem badań musi więc być pełne wykorzystanie tych możliwości.
- Dalszy rozwój w dziedzinie tworzyw drzewnych wymaga wyraźnego skoku jakościowego, zasadniczych innowacji i niekonwencjonalnego, interdyscyplinarnego myślenia. Konwencjonalne, przez wiele lat stosowane metody, polegające na przykład na otrzymywaniu nowych tworzyw np. poprzez modyfikowanie morfologii cząstek, stosowanie różnego rodzaju klejów i różnej ich ilości, przez zmianę gęstości tworzywa i profilu jego gęstości, nadają się dla szybkich rozwiązań o ograniczonym zakresie działania. Nie prowadzą one jednakże do pożądanego skoku jakościowego.

Co należy uczynić w badaniach dotyczących tworzyw drzewnych aby ten skok osiągnąć? Przy znajomości podstawowych zakresów zastosowań i wynikających stąd wymagań prace powinny się skupiać na badaniach obejmujących modyfikację i optymalizację:

- recepturowego wsadu surowcowego,
- struktury tworzywa,
- procesów wytwórczych.

Biorąc pod uwagę interdyscyplinarny i podstawowy charakter tych badań, powinny one być prowadzone na szczególnie do tego predystynowanych uczelniach uniwersyteckich.

Dalej zostaną omówione bardziej szczegółowo te kierunki badań, które już zostały rozpoczęte i rozeznane i które mogą być uznane za mające charakter badań podstawowych.

- Znamcy tworzyw drzewnych wiedzą, że tworzywa o zdefiniowanych właściwościach można otrzymać tylko przy zagwarantowaniu ściśle określonej budowy strukturalnej i że ta budowa da się zrealizować tylko w przypadku cząstek o zdefiniowanej charakterystyce morfologicznej. Warunek taki może być spełniony wyłącznie przy zastosowaniu włóknistych cząstek drzewnych. Przyszłość tworzyw drzewnych leży więc w tworzywach włóknistych a nie tworzywach otrzy-

mywanych z wiórów, ponieważ te pierwsze lepiej odpowiadają współczesnym wymaganiom. Tworzywa włókniste ze względu na budowę i proces produkcyjny stwarzają dobre możliwości dla selektywnej modyfikacji ich właściwości przez ukierunkowane stosowanie włóknistych domieszek innego pochodzenia, o innych cechach plastyczno-elastycznych (np. włókien szklanych, polimerowych itp.). W ten sposób zapewnia się np. zmianę właściwości elasto-mechanicznych, większą trwałość, czy lepszą ognio- lub wodoodporność. Potrzebne rozszerzenie właściwości takich tworzyw zostanie w przyszłości umocnione przez modyfikację za pomocą mieszanek surowców o różnej recepturze, pod warunkiem, że da się ono zrealizować technologicznie.

- Stwierdzono, że elastyczno-mechaniczne właściwości płyt pilśniowych są w istotnym stopniu określone przez morfologiczną charakterystykę wchodzących w ich skład cząstek włóknistych (kształt, smukłość). Każdej gęstości tego tworzywa można przyporządkować optymalny skład mieszaniny włókien o różnej geometrii. Skład ten zapewnia uzyskanie najwyższych właściwości elasto-mechanicznych przez maksymalne obciążenie włókien i przez stworzenie efektywnego "zbrojenia" w skali makro i mikro. Powinno stać się przedmiotem badań określenie tych optymalnych morfologicznie mieszanin włókien dla każdej gęstości tworzywa. Można będzie w ten sposób uzyskać wyraźne polepszenie właściwości przy takiej samej gęstości.
- Powodowana ekonomicznymi i ekologicznymi wymaganiami konieczność materiałowej optymalizacji polega na zmniejszeniu ilości lub całkowitej rezygnacji z zastosowania klejów syntetycznych. Wysiłki w tym kierunku są czynione od pewnego czasu w wielu krajach, jednakże brak jest jeszcze rozwiązań nadających się do wdrożenia. Wytrzymałość spoin w tworzywach składających się z dużych cząstek (płyty wiórowe) osiągana jest w zasadzie wyłącznie za pomocą obcych środków wiążących. Alternatywą może być tu tylko inny środek wiążący, korzystniejszy zarówno pod względem ekologicznym jak i ekonomicznym. Innych, własnych wiązań między cząstkami w klasycznej płycie wiórowej nie można oczekiwać także, jak się wydaje, przy ich aktywacji.

Inaczej sytuacja przedstawia się przy tworzywach włóknistych, w których przy ich homogenicznej i bardziej zwartej strukturze mogą zostać uaktywnione w zależności od gęstości dodatkowe wiązania mechaniczne oraz własne między włóknami; mogą one uzupełniać działanie obcych środków wiążących. Tu istnieją realne możliwości maksymalnego zredukowania ich udziału.

Jakie są możliwości zmniejszenia lub zastąpienia udziału klejów opartych na żywicach syntetycznych w produkcji tworzyw drzewnych?

Zastosowanie zmodyfikowanych produktów ubocznych z termicznego i chemicznego przerobu drewna, jak:

- smół drzewnych z procesu pirolizy,
- ługów poekstrakcyjnych i pocelulozowych po przeprowadzeniu ich reaktywacji przez obróbkę enzymatyczną lub przez zsyntetyzowanie fenolopodobnych żywic klejowych na bazie ligniny.

Zastosowanie produktów ubocznych pochodzących z rolnictwa np. na podstawie skrobi i ich aktywacji lub stabilizacja przez chemiczną i enzymatyczną modyfikację.

Reaktywacja i wykorzystanie zawartych w drewnie własnych substancji wiążących (szczególnie ligniny) oraz chemicznych wiązań walencyjnych (wiązania wodorowe i inne) przez:

- intensywną obróbkę hydrotermiczną i mechaniczną (przy rozwłóknianiu drewna i formowaniu tworzywa);
- obróbkę chemiczną (dodatek substancji przyspieszających reakcje i ewentualnie także aktywatorów nukleofilnych);
- obróbkę biologiczną za pomocą enzymów i bakterii.

Polepszenie mechanicznego przeplecenia (spilśnienia) cząstek wewnątrz przestrzennej siatki strukturalnej przez:

- modyfikowanie morfologii cząstek (czynnik kształtu, smukłości);
- optymalny skład zespołów cząstek (pod względem morfologicznym i materiałowym).

Wszystkie te możliwości zostały przez pracowników naszej Katedry w sposób co najmniej orientacyjny przebadane, a uzyskane wyniki są obiecujące. Nastąpić teraz muszą badania systematyczne.

- Wyjaśniałem już ścisłą zależność między strukturą tworzywa a osiągalnymi jego właściwościami. Dająca się ująć ilościowo w odniesieniu do najważniejszych parametrów definicja struktury tworzywa jest warunkiem do zdefiniowania jego właściwości.

Przy zagwarantowaniu zdefiniowanej w dużym stopniu struktury tworzywa możliwe będzie przy formułowaniu pożądanych jego właściwości określenie potrzebnej dla ich uzyskania optymalnej receptury surowcowej oraz optymalnych parametrów strukturalnych (np. gęstość, morfologia cząstek, udział środka wiążącego, profil gęstości i innych) i wprowadzenie ich jako wielkości nastawczych do urządzeń produkcyjnych.

Przesłanką do tego jest, że znane są wzajemne zależności między wielkościami określającymi strukturę tworzywa a jego właściwościami. Znając te zależności i mając możliwości ich kwantyfikacji powinno się móc przerabiać surowce o zmiennych właściwościach bez zmiany właściwości końcowych tworzywa. Matematyczne określenie, opisanie i obliczenie zależności między strukturą tworzywa i jego właściwościami może zostać wykonane przy pomocy równań modelowych, w których zostaną uwzględnione wymienione już parametry (gęstość, udział środka wiążącego itd.).

Celem musi być spełniająca wymagania konstrukcja tworzywa ("tworzywo na miarę"). Sprzężenie z właściwym, optymalizującym algorytmem umożliwi jednocześnie zminimalizowanie wybranych parametrów struktury, np. udziału kleju, rodzaju i morfologii cząstek i inn. bez pogorszenia właściwości wyrobu.

Przesłanką do tego musi być jednak wykonanie badań podstawowych dotyczących zależności zachodzących między surowcem a strukturą i w końcu takie dostosowanie urządzeń

produkcyjnych, aby uzyskana w rezultacie tych poczynąń duża elastyczność mogła być właściwie wykorzystana.

W naszej Katedrze rozpoczęliśmy prace nad tego rodzaju obliczeniami modelowymi i optymalizującymi. Pierwsze wyniki wskazują, że przy kontynuowaniu tych prac, również w przypadku skomplikowanych strukturalnie tworzyw, będzie możliwe obliczenie receptur i parametrów potrzebnych do otrzymania określonych właściwości i zastosowanie ich jako podstawy w technicznej realizacji procesu.

Ponadto, przy wykorzystaniu ogólnej wiedzy o właściwościach materiałów, należy stworzyć reologiczne modele odnoszące się do tworzyw drzewnych, za pomocą których możliwe będzie określenie dynamiki odkształceń przy różnych obciążeniach i wyciągnięcie wniosków dotyczących struktury tworzyw i ich zachowania się w miarę upływu czasu.

- Omówione już optymalne parametry dotyczące stosunków występujących między surowcowym składem recepturowym i strukturą tworzywa i odnoszące się do wynikających stąd zależności mają znaczenie tylko wtedy, gdy będą mogły być racjonalnie zrealizowane w procesie produkcyjnym. Obecnie stosowane urządzenia stwarzają możliwości dopasowania ich pracy do zoptymalizowanych parametrów (np. warunków zaklejania, prasowania itp.) i pozostaje to w zakresie ich wydajności. Oczekiwane są istotne zmiany w procesie otrzymywania wiórów i włókien. Obecnie prawie 40 do 45% całkowitego zużycia energii przy produkcji płyt pilśniowych przypada na proces rozwłókniania. Oprócz tego w trakcie rozwłókniania termomechanicznego dochodzi do stosunkowo dużego uszkodzenia włókien, co negatywnie wpływa na strukturę i właściwości płyt.

Przez stosowanie wysokiej temperatury uplastycznienia (180°C) następuje ze względu na przekroczenie punktu zeszklenia dezaktywacja ligniny, która zmniejsza w dużym stopniu jej właściwości wiążące. Przez zastosowanie enzymatycznej obróbki wstępnej jest możliwe przeprowadzenie procesu rozwłókniania w niższej temperaturze, nie wyższej niż $125\text{--}130^{\circ}\text{C}$ w celu zachowania reaktywności ligniny.

Pierwsze doświadczenia wykazały, że wstępna obróbka zrębków odpowiednim enzymem lub grzybem w warunkach laboratoryjnych i trochę technicznych daje następujące wyraźne efekty:

- zmniejszenie zużycia energii na rozwłóknianie o 30 do 40%,
- widoczne zmniejszenie stopnia uszkodzenia włókien,
- utrzymanie zdolności wiążącej ligniny w stopniu pozwalającym na rezygnację z obcych środków wiążących.

Ponadto możliwe jest podwyższenie wydajności rozwłóknarki i stopnia zmielenia przy zachowaniu czasu mielenia. Konieczne są więc intensywne badania, aby wyniki uzyskane w małej skali można było przenieść na skalę techniczną.

Punktami ciężkości są w tym przypadku:

- znalezienie racjonalnych metod oceny stanu surowca w procesie enzymatycznego rozkładu, aby na ich podstawie można było opracować parametry procesu,

- podwyższenie wydajności w czasie i w objętości przy rozkładzie fermentacyjnym przy jednoczesnym zapewnieniu powtarzalnych warunków prowadzenia procesu.

Te przykłady w żadnym przypadku nie wyczerpują wykazu niezbędnych podstawowych prac badawczych w dziedzinie tworzyw drzewnych.

Dalszymi istotnymi problemami są:

- powtórne wykorzystanie częściowo zanieczyszczonego drewna poużytkowego i poużytkowych tworzyw drzewnych do produkcji nowych tworzyw (w sposób przyjazny dla środowiska),
- podwyższenie trwałości tworzyw drzewnych w warunkach ekstremalnych i znalezienie skutecznych sposobów uszlachetniania i stabilizacji wyrobów,
- opracowanie skutecznych materiałów izolacyjnych na bazie drewna lub na bazie innych materiałów lignocelulozowych,
- ukierunkowane wykorzystanie innych włóknistych materiałów lignocelulozowych (w szczególności pochodzenia rolniczego) ewentualnie w połączeniu z cząstkami drewna do produkcji tworzyw zespolonych, przeznaczonych do celów konstrukcyjnych jak i izolacyjnych.

Należy założyć, że tworzywa drzewne będące szczególną, ulepszoną postacią drewna, ze względu na rosnące w skali światowej zużycie surowców będą przybierały na znaczeniu przy stale zwiększającym się zakresie zastosowań. Będzie to wymagało prowadzenia intensywnych, kompleksowych i interdyscyplinarnych badań obejmujących zarówno zagadnienia budowy i uszlachetniania wyrobów jak i ich dalszego przerobu.

Jest zrozumiałe, że właściwym miejscem dla takiego typu badań są uczelnie uniwersyteckie, w których praktykowany jest zintegrowany styl pracy będący podstawą współczesnego, efektywnego procesu kształcenia i gdzie zadaniem badaczy, którzy są jednocześnie nauczycielami, jest przekazywanie studentom tego właśnie sposobu myślenia.

Pozwólcie mi Państwo na sformułowanie następującego podsumowania:

Drewno jest wysokowartościowym, odtwarzalnym surowcem i spoczywa na nas obowiązek wykorzystania go w mądry sposób. Oznacza to konieczność maksymalnego jego przewartościowania poprzez zastosowanie racjonalnych metod przerobu, odpowiadających zaostżonym wymaganiom ekologicznym. Sprostajmy tej naszej odpowiedzialności w maksymalny sposób.