

# WYBÓR MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH W KONTEKŚCIE EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ I WPLYWU ŚRODOWISKOWEGO

Michał GOLAŃSKI\*

Instytut Zarządzania Rozwojem Lokalnym i Regionalnym, ul. Pilicka 17, 02-629 Warszawa

**Streszczenie:** Wybór materiałów budowlanych w olbrzymim stopniu kształtuje wpływ budynku na środowisko naturalne. Nieomal wszystkie materiały budowlane są przetwarzane przed zastosowaniem na budowie, każdy z nich musi być również transportowany. Przetwarzanie materiałów może być minimalne, jak w wypadku domu jednorodzinnego zbudowanego w technologii tradycyjnej z materiałów pozyskanych lokalnie, albo może być intensywne i obszerne, jak w wypadku budownictwa z prefabrykatów. Przetwarzanie materiałów wiąże się nieuchronnie z zużyciem energii i wytwarzaniem odpadów. Projektant może zasadniczo decydować o poziomie energii pierwotnej budynku poprzez specyfikację materiałów budowlanych.

*Słowa kluczowe:* materiały budowlane, efektywność energetyczna, proces budowlany, wpływ środowiskowy, zużycie energii.

## 1. Wprowadzenie

Produkcja i przetwarzanie materiału budowlanego obciąża środowisko naturalne poprzez: wydobywanie i zużycie surowców nieenergetycznych i energetycznych, zużycie wody, emisję zanieczyszczeń, powstawanie odpadów stałych i ciekłych.

Większość surowców wykorzystywana w tym procesie ma jednorazowe zastosowanie, bez możliwości recyklingu po rozbiórce, generując w ten sposób odpady. Wzniesienie obiektu, wiąże się również z zabudową powierzchni biologicznie czynnej. Obciążenie środowiska w pełnym cyklu życia obiektu można podzielić na kilka etapów, przy czym różne jest nasilenie tych oddziaływań w poszczególnych stadiach jego istnienia. Analiza relacji obiekt-środowisko naturalne pozwala wyróżnić cztery zasadnicze etapy wpływu związane z następującymi procesami: wydobywaniem surowców i produkcją materiałów, budową obiektu, eksploatacją obiektu, oraz jego rozbiórką.

Obiekty budowlane powinny zatem: wykazywać się odpowiednią trwałością, oddziaływać na środowisko w sposób nieszkodliwy, być ekonomiczne w zużyciu materiałów i energii, uwzględniać konsekwencje awarii z punktu widzenia życia i zdrowia ludzkiego (Runkiewicz, 2010). Obecnie produkowane materiały i opracowywane technologie budowlane oparte są na nowoczesnych osiągnięciach chemii i technologii. Często stanowią one zagrożenie dla zdrowia człowieka i równowagi środowiska.

## 2. Zużycie energii w procesie budowlanym

Wznoszenie obiektu budowlanego jest materiało- i energochłonne. Już początek cyklu istnienia obiektu wiąże się z zagrożeniem dla środowiska przez przemysł wydobywczy i przemysł materiałów budowlanych. Każdy z procesów składających się na produkcję materiałów budowlanych, od ekstrakcji surowców i przetworzenia, po przygotowanie i zastosowanie wymaga także energii przeznaczonej na transport i budowę. Realizacja procesów wydobywczych i produkcyjnych pochłania energię produkowaną w przeważającej ilości z surowców nieodnawialnych. Przy zastosowaniu dotychczasowych technologii budowlanych, w okresie eksploatacji obiektu, potrzebna jest przede wszystkim energia do ogrzewania obiektu przez 50-80 sezonów ogrzewczych. W wyniku eksploatacji obiektu powstają odpady stałe, ciekłe i gazowe. Cykl istnienia zamyka rozbiórka obiektu i gromadzenie lub utylizacja odpadów. Również w trakcie tego cyklu występuje zapotrzebowanie na energię i teren do składowania nieprzetworzonych pozostałości po obiekcie. Niektóre z materiałów budowlanych można ponownie zastosować lub przetworzyć.

Poszczególne etapy cyklu istnienia budynku charakteryzują się zróżnicowanym zapotrzebowaniem na energię, które zależy od wielu czynników, na przykład stosowanych rozwiązań materiałowych i konstrukcyjnych, rodzaju obiektu, systemu grzewczego i jego sprawności.

Szacuje się, że zużycie energii na etapie wznoszenia obiektu w Polsce wynosi około 10%, na etapie

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: go\_lanski@o2.pl

użytkowania (przy realizacji według obecnie obowiązujących standardów) – około 72%, na potrzeby remontów – około 15% oraz do rozbiórki obiektu – od 1 do 3% ogólnego, skumulowanego zapotrzebowania na energię w odniesieniu do cyklu istnienia obiektu (Górzyński, 2004). W Wielkiej Brytanii szacuje się, że sama produkcja materiałów budowlanych jest odpowiedzialna za około jedną dziesiątą zużycia energii i emisji dwutlenku węgla (Anink i in., 1996). Środowiskowy wpływ budynku wyznaczany jest na podstawie wpływów, które wynikają z jego codziennego użytkowania, produkcji i transportu materiałów budowlanych i komponentów. Możemy ocenić wpływ konkretnych materiałów budowlanych i rozwiązań projektowych i realizacyjnych na środowisko naturalne.

### 3. Pomiar wpływu środowiskowego materiałów budowlanych

W trakcie wyboru materiałów budowlanych należy wziąć pod uwagę szereg czynników, jednak nie ma absolutnych reguł, które znajdują zastosowanie w każdym wypadku, z uwagi na fakt unikalności budynków i lokalnych czynników środowiskowych. Podejmując się zadania wyboru materiałów należy także podjąć decyzję w jaki sposób powinien być oszacowany wpływ środowiskowy. Można wziąć pod uwagę zarówno czynniki będące rezultatem właściwości materiału, jak i czynniki wynikające z procesów powstawania materiału budowlanego i jego zastosowania na budowie.

Czynniki określone przez właściwości materiału to na przykład: energia potrzebna do produkcji materiału, emisja CO<sub>2</sub> będąca wynikiem produkcji materiału, wpływ na środowisko będący wynikiem wydobycia surowców (na przykład odkrywki i hałdy kopalń, wycięta powierzchnia leśna, zanieczyszczenie środowiska przez przemysł wydobywczy surowców energetycznych), toksyczność materiału, transport materiału podczas jego produkcji i dostawy na budowę, stopień zanieczyszczenia będący wynikiem utylizacji materiału przy końcu jego okresu użytkowania.

Czynniki kształtowane przez wybór materiałów budowlanych i decyzje projektowe to:

- możliwość pozyskania materiału lokalnie,
- trwałość materiału,
- cechy materiału budowlanego, zmniejszające wpływ budynku na środowisko (na przykład: współczynnik przewodności cieplnej),
- sposób zastosowania materiału budowlanego najlepiej odpowiadający jego właściwościom,
- wielkość nakładów niezbędnych do konserwacji materiału budowlanego i surowce konieczne dla utrzymania jego trwałości,
- elastyczność projektu umożliwiającą zarządzanie sposobem użytkowania,
- cykl życia materiału i jego potencjał dla ponownego użycia po rozbiórce budynku.

Autorzy opracowania *Green Building Handbook* proponują następujące aspekty dla porównywania

środowiskowego wpływu materiałów, używanych w późniejszym zestawieniu kontrolnym (Woolley i in., 1997). Wśród środowiskowych wpływów wynikających z produkcji materiału znajdują się: zużycie energii, wyczerpanie surowca, efekt cieplarniany, opady kwaśnego deszczu oraz emisja toksycznych substancji. Środowiskowy wpływ w wyniku użytkowania obejmuje zagrożenie dla zdrowia oraz potencjał dla recyklingu.

Niezbędne jest zatem ustalenie standardów wpływów na środowisko naturalne w Polsce. Być może najważniejszą pojedynczą miarą środowiskowego wpływu wyrobu jest pojęcie „energii pierwotnej”, czyli ilości energii potrzebnej do produkcji wyrobu. Możemy odnieść się do energii pierwotnej cegły, okna albo całego domu. Energia pierwotna jest ważną miarą ponieważ ocenia zużycie energii produkowanej najczęściej z nieodnawialnych źródeł, a jest to jeden z głównych powodów degradacji środowiska. Degradacja jest zarówno wynikiem bezpośredniej emisji szkodliwych substancji do atmosfery (głównie CO<sub>2</sub>), jak i skumulowanych emisji substancji do atmosfery, które wspólnie tworzą na przykład kwaśny deszcz. Możemy być również pewni, że mają miejsce inne efekty, które jak dotąd, pozostają nierozpoznane. Tabela 1 zawiera wartość emisji CO<sub>2</sub> dla popularnych materiałów budowlanych (Berge, 2001). Produkcja stali powszechnie używanej do zbrojenia fundamentów, wieńców oraz nadproży charakteryzuje się największą wartością emisji dwutlenku węgla. Produkcja betonu i wyrobów ceramicznych z powodu zaangażowanych w nią energochłonnych procesów prażenia i wypalania wiąże się z mniejszą, ale wciąż znaczącą emisją CO<sub>2</sub>. Produkcja drewna budowlanego, jedyne surowca odnawialnego z grupy najpopularniejszych materiałów budowlanych związana jest z obniżaniem salda CO<sub>2</sub>.

Tab. 1. Emisja CO<sub>2</sub> w produkcji materiałów budowlanych (Berge, 2001)

Stal	1220 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Beton	385 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Wyroby ceramiczne	375 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Drewno budowlane	- 900 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>

Pojęcie „pierwotnych emisji” jest podobne do energii pierwotnej i odnosi się do emisji skojarzonej z produkcją wyrobu budowlanego, na przykład elektryczność zużyta do produkcji okna zespolonego wiąże się z emisją CO<sub>2</sub> i jest bezpośrednio skojarzona z tym oknem. W dodatku, produkcja materiałów, szczególnie ta wymagająca przetwórstwa chemicznego, może zakończyć się emisją substancji toksycznych.

W celu dokładnego obliczenia wartości emisji pierwotnej, muszą być znane typy surowców energetycznych używanych w każdym procesie produkcyjnym, gdyż każde paliwo daje inną emisję szkodliwych substancji. Istnieje kilka różnych metod obliczenia energii pierwotnej, czego rezultatem jest zakres wartości opracowanych dla podobnych materiałów. Opublikowane dane powinny być potraktowane

z ostrożnością, jeżeli nie podano wyraźnie sposobu obliczeń poszczególnych wartości.

#### 4. Pomiar energii pierwotnej

Energia może być wymierzona, jako energia końcowa lub energia pierwotna. Zanim przystąpimy do porównywania wartości energii poszczególnych materiałów budowlanych lub typoszeręgów budynków, pierwszym rozstrzygnięciem powinien być sposób pomiaru energii. Dostarczona energia odnosi się do faktycznej ilości energii dostarczonej dla użycia do poszczególnego miejsca wydobycia, produkcji i budowy w ilości wykazanej w rachunku za energię. Energia pierwotna odnosi się do ilości energii użytej do produkcji energii dostarczonej ilości, na przykład energia węgla kamiennego spalonego w elektrowni w celu wytworzenia elektryczności. Zawartość energii gazu spalonego będzie większa niż zawartość energii generowanej elektryczności, z uwagi na fakt, że sprawność generatora nigdy nie osiągnie 100%. Także proces dostarczenia elektryczności z elektrowni do konsumenta nie jest w pełni skuteczny. Wszystkie te nieefektywności oznaczają, że każdej jednostce elektryczności dostarczonej do konsumenta, odpowiada większa ilość energii pierwotnej zużytej do jej stworzenia.

W Wielkiej Brytanii stosunek między energią pierwotną i dostarczoną energią jest największy dla elektryczności: z grubsza trzy jednostki energii pierwotnej są używane by wyprodukować jedną jednostkę dostarczonej elektryczności. Dla ropy naftowej i gazu używanego w domu, stosunki są bliższe do jednego (Hammond i Johnes, 2011).

Wartości energii pierwotnej są często cytowane bez podawania sposobu jej obliczenia, na podstawie energii pierwotnej lub energii dostarczonej. W przypadku niepewności przy zacytowanych wartościach energii pierwotnej najlepiej porównać wartości emisji pierwotnych, jako, że należy wziąć pod uwagę zbiór podstawowych paliw używanych przy produkcji wyrobów. Zapotrzebowanie na energię elektryczną w Polsce wzrasta, a starzejące się bloki wytwórcze obniżają poziom bezpieczeństwa energetycznego. Trwające inwestycje nie gwarantują, że w niedalekiej przyszłości popyt na energię elektryczną zostanie zrównoważony jej podażą. Elektrownie muszą dostosować się do unijnych regulacji prawnych w zakresie ochrony środowiska. Konieczność wyłączenia starych, nieefektywnych i wysoce zanieczyszczających źródeł rodzi więc realne zagrożenia. Uzależnienie energetyczne od węgla oraz uzależnienie dostaw gazu i ropy naftowej z Rosji stwarza konieczność dywersyfikacji źródeł wytwarzania energii elektrycznej oraz zwiększenia bezpieczeństwa dostaw energii pierwotnej.

Musimy także wyznaczyć poziom, od jakiego śledzić będziemy wejścia strumienia energii. Na przykład, rozważając energię pierwotną stali w oprawie okiennej przy pomiarze tylko wejściowej energii użytej w fabryce okien, wartości będą różnić się od obliczeń, które

zawierać będą także wartość energii użytej w hucie oraz energii użytej w kopalni rudy żelaza. Należy prześledzić wszystkie stadia, przy których energia jest w jakiegokolwiek formie używana. Będziemy znać jej dokładną wartość, jeśli rozważymy energię użytą do wydobycia surowców, przewozu do zakładów przetwórczych, energię użytą w fabrykach, przewozie na budowę i energią użytą na miejscu zastosowania wyrobu budowlanego. Do obliczeń wprowadzić należy również wartości związane z recyklingiem po rozbiórce obiektu.

##### 4.1. Recykling i energia pierwotna

Dla osiągnięcia celu jakim jest niska energochłonność budynku, w większości wypadków renowacja budynków bywa najbardziej preferowaną opcją, pod warunkiem, że stan techniczny konstrukcji budynku będzie pozwalać na jej zaadaptowanie bez modyfikacji i przebudowy. Renowacja jest zasadniczo recyklingiem budynku. Recykling musi charakteryzować uważne podejście do środowiskowych wpływów budynku. Adaptacja budynku ma swój środowiskowy sens, jeśli „zwrócenie do obiegu” budynku może być łatwo przeprowadzone oraz nie wymaga dużych wejść strumienia energii, a także wiązać się będzie z dodatkową izolacją termiczną budynku.

##### 4.2. Przetwarzanie materiałów budowlanych i energia pierwotna

Im większa liczba procesów jakim poddawany jest wyrób budowlany, tym wyższa będzie zawartość energii pierwotnej i ilość odpadów. Niektóre materiały, takie jak stal lub szkło wymagają dostarczenia bardzo wielkiej ilości energii do ich produkcji. W granicach rozsądku, powinno się dążyć do wyboru materiałów i komponentów, które są jak najbliższe swojej naturalnej postaci. Energooszczędne okno z ramą z miękkich gatunków drewna będzie bardziej pożądane od podobnego okna z ramą aluminiową. Podobnie farby organiczne lub oparte na wodzie, szczególnie jeżeli zawierają dodatkowo naturalne pigmenty lub woski lepszym wyborem od syntetycznych farb, wymagających skomplikowanej produkcji.

##### 4.3. Energia pierwotna w transporcie

Transport jest jednym z często pomijanych czynników kształtujących strumień energii pierwotnej. Im dłuższe będą odległości jakie materiał musi pokonać, tym większa będzie energia, przeznaczona na transport. Waga materiału ma także znaczenie. Powszechne są sytuacje kiedy materiał naturalny, na przykład granit, pokonuje olbrzymie odległości do miejsca gdzie podlega obróbce, po czym znowu jest transportowany, tym razem do kraju, gdzie podlega sprzedaży. Ten rodzaj informacji nie jest zawsze swobodnie dostępny.

Środowiskowy wpływ transport powinien być przeanalizowany w kontekście trwałości materiału

budowlanego. W wielu sytuacjach, importowany materiał budowlany może być trwalszy, przez co będzie bardziej pożądanym od miejscowego.

#### 4.4. Czas i energia pierwotna

Studia prowadzone w Nowej Zelandii sugerują, że ilość energii użytkowej w typowym, nie-niskoenergetycznym budynku mieszkalnym, przewidzianym na użytkowanie przez 50 lat, równa się w przybliżeniu czterokrotności energii przeznaczonej na jego wzniesienie (Willianson, 1997). Taki rodzaj bezpośredniego porównania między energią użytkową i energią pierwotną nie jest do końca miarodajny, gdyż nie jesteśmy w stanie przewidzieć wszystkich czynników. Rozważając energię pierwotną budynku, potrzebujemy wziąć pod uwagę oczekiwany czas użytkowania, nakłady na konserwację różnych elementów budynku oraz jego stan pod koniec okresu użytkowania. Poprzez podejście na zasadach „*cradle to grave*” możemy przeprowadzić analizę cyklu życia budynku. Im dłuższy będzie „cykl życia budynku”, tym procentowo niższy będzie wpływ energii i zanieczyszczeń będący wynikiem produkcji materiałów.

#### 4.5. Energia pierwotna i materiały najczęściej używane w budynkach

Obecnie nie jest łatwo dotrzeć do dokładnych, certyfikowanych wartości energii pierwotnej zawartej w materiałach budowlanych. Powszechnie nie zwraca się uwagi na problem energochłonności materiałów budowlanych, gdyż inwestorzy podejmują decyzje głównie w kontekście ograniczonych budżetów. W Polsce informacje na ten temat można znaleźć w wydawnictwach ITB (Górzyński, 2004). W Wielkiej Brytanii Building Research Establishment (BRE) na swojej witrynie WWW regularnie publikuje opracowania dotyczące analizy cyklu życia (LCA) i zestawienia energii pierwotnej.

Tab. 2. Zawartość energii pierwotnej w materiałach budowlanych (Hammond i Johnes, 2011)

MATERIAŁ	MJ/kg
Cement	5,2
Dachówka ceramiczna	10,1
Cegła ceramiczna	4,3
Beton	2,9
Miedź	69
Szkło	20
Żelazo	24,6
Wapno	4,6
Wetna mineralna	21,4
Wetna skalna	18,1
Farby	79,1
Tworzywa sztuczne	80,5
Stal	31,3
Drewno budowlane	9,4
PVC	53,7
Linoleum	30,5

Tabela 2 ilustruje zakres opublikowanych wartości, wskazujące duże rozbieżności w danych, w zależności, czy określają one energię pierwotną, czy energię końcową. Badania wykazały, że, dla większości typów zabudowy, materiały takie jak: stal, cement, drewno, materiały ceramiczne, kruszywa naturalne, szkło i gips generują w znaczącym stopniu energię pierwotną budynku. To właśnie, te materiały odpowiadają też w znacznej mierze za kubaturę i masę większości budynków. Projektant może zasadniczo decydować o poziomie energii pierwotnej budynku poprzez specyfikację materiałów budowlanych. Wybierając materiały miejscowe zmniejsza się energię pierwotną i emisję z powodu ograniczonego transportu. Wartości przedstawione w tabeli 2, pośród innych czynników, zawierają także wpływy transportu. W typowym domu ze ścianami zbudowanych z bloczków betonowych i cegły, z drewnianą więźbą i podłogami drewnianymi, te trzy materiały generują około 50% energii pierwotnej. Materiały wykończeniowe, suche tynki lub poszycie drewnianej konstrukcji szkieletowej mogą też mieć znaczący wpływ na ostateczny strumień energii pierwotnej.

Początkowe zużycie energii pierwotnej zależy od typu budynku, użytych materiałów i ich źródła (dane dotyczące konkretnego materiału budowlanego w jednym kraju mogą różnić się znacząco od tego samego materiału wyprodukowanego w innym kraju). Zużycie energii pierwotnej w pełnym cyklu życia budynku związane jest z trwałością materiałów budowlanych, komponentów i systemów zainstalowanych w budynku, sposobem utrzymania i użytkowania budynku. W przypadku budynków pasywnych lub zero-energetycznych możemy wyraźnie zauważyć wzrost zużycia energii pierwotnej przeznaczonej na budowę.

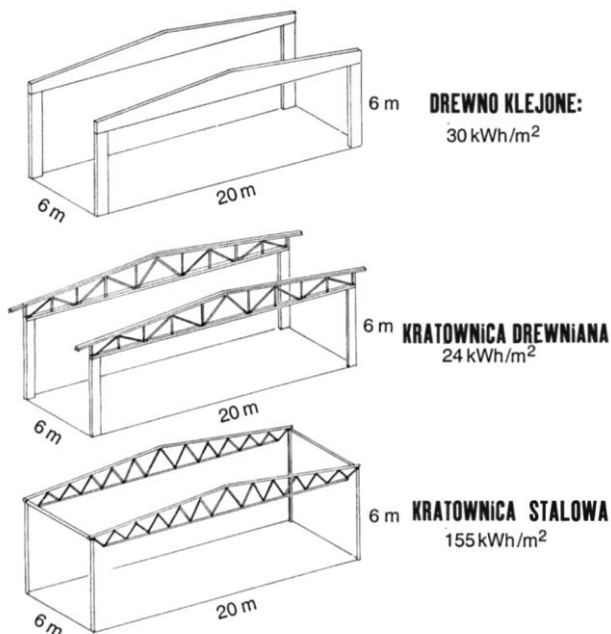
## 5. Materiały budowlane i energia zużywana przez różne systemy konstrukcyjne

Każdy system konstrukcyjny wiąże się z określonym zużyciem materiału, zależnym od jego parametrów wytrzymałościowych. Lite struktury z cegły i betonu charakteryzują się dużym zużyciem materiału, podczas gdy szkieletowe konstrukcje z drewna lub stali są zwykle bardziej ekonomiczne. Każdy wyrób budowlany, w zależności od sposobu zastosowania, może mieć rozmaite strukturalne rozwiązania wymagające różnych ilości materiału.

Ważnym aspektem konstrukcji charakteryzujących się ekonomicznym zużyciem materiału jest fakt, że ich wykonanie jest często bardziej pracochłonne od prostych struktur. Koszt produkcji drewnianego dźwigara kratowego z wieloma połączeniami jest dużo większy niż wyprodukowanie równoważnego dźwigara z klejonego warstwowo drewna, nawet jeżeli zużycie materiału jest dwadzieścia razy mniejsze. W trakcie rozważań ekonomicznych i ekologicznych należy wtedy oszacować koszt transportu w zestawieniu z dużym

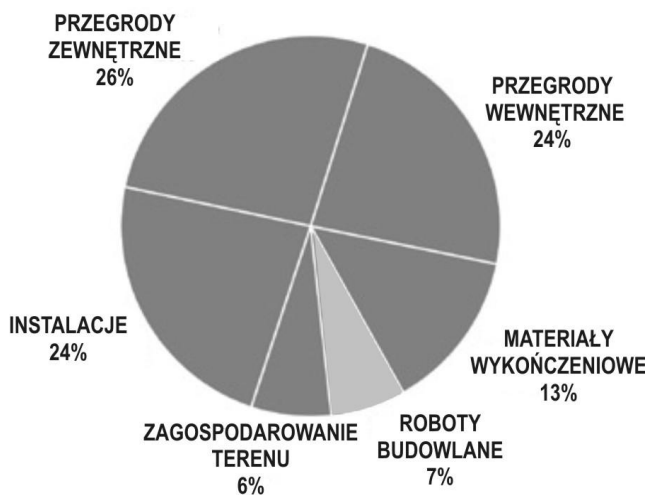
zużyciem surowców i ewentualną możliwością montażu na budowie.

Zużycie energii pierwotnej podczas produkcji materiałów strukturalnych jest zależne od ilości i cech materiału użytego w produkcji. Badania norweskiego *Norsk Treteknisk Institutt* pokazują, że pod względem nakładów energetycznych dźwigar kratowy z drewna wypada najlepiej w porównaniu z dźwigarem z drewna klejonego i kratownicą stalową (Berge, 2001), co pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Porównanie zużycia energii pierwotnej w różnych systemach konstrukcyjnych wykonanych z różnych materiałów (Berge, 2001)

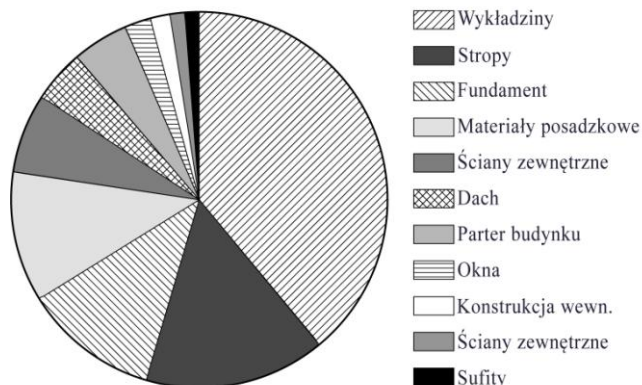
Badania Cole i Kernana (1996) wykonane na podstawie modelu typowego trzypiętrowego budynku biurowego z garażem podziemnym uwzględniały trzy różne systemy konstrukcyjne (drewno, stal i żelazobeton), przez co określono średnie wyniki dla przeciętnej całkowitej początkowej energii pierwotnej (rys. 2).



Rys. 2. Zużycie energii w trakcie budowy (Cole i Kernan, 1996)

Obudowa budynku, konstrukcja i instalacje odpowiadają za około trzy czwarte całkowitej energii pierwotnej. Wykończenie budynku reprezentuje tylko 13% energii początkowej, jednak w pełnym cyklu użytkowania budynku możemy spodziewać się dużego wzrostu zużycia nieodnawialnej energii przeznaczonej na utrzymanie, konserwację, naprawę lub zastąpienie materiałów, komponentów lub systemów budowlanych. Energia pierwotna nie musi być znacząco różna pomiędzy systemami budowlanymi (na przykład przy rozważaniu konstrukcji stalowej i betonowej), jednak środowiskowe wpływy skojarzone z poszczególnymi materiałami mogą być dramatycznie różne.

British Research Establishment (BRE) także podaje dane dotyczące obciążeń ekologicznych poszczególnych elementów budynku typowych obciążeń ekologicznych. Procentowy wkład każdego elementu budowlanego typowego biurowca w skumulowany strumień obciążeń ekologicznych pokazany jest na diagramie kołowym na rysunku 3. Ujęte są tam wszystkie elementy budowlane, włączając utrzymanie i konserwację elementów w czasie 60-letniego użytkowania.



Rys. 3. Ekologiczny wpływ elementów budynku (Anderson i Shiers, 2002)

Badania pokazują, że największy wpływ ekologiczny mają wykładziny podłogowe – negatywny wpływ środowiskowo skojarzony z tym elementem to około 40% całego strumienia. W budynkach biurowych najczęściej pojawiały się wykładziny z tworzyw sztucznych. Z uwagi na fakt używania się, wykładziny były często wymieniane – w niektórych przypadkach ponad 12 razy w trakcie 60-letniego użytkowania. Negatywny wpływ materiałów podłogowych można obniżyć nawet o dwie trzecie poprzez zmianę specyfikacji materiałów, na przykład poprzez zastosowanie wykładziny z recyklowanej gumy na podkładzie z włókien naturalnych.

Struktura stropów to kolejna pozycja, która odpowiada za około 15% całkowitych wpływów. Często stosowane w budynkach biurowych podłogi podniesione, to trzeci największy wpływ. Podniesione podłogi dostępu zapewniają nowoczesnym biurom i urzędom znaczną elastyczność, ale 12% sumy negatywnych wpływów środowiskowych, to liczba jest znacząca.

Fundamenty, z uwagi na konieczność stosowania stalowego zbrojenia ma podobny wpływ. Zsumowany wpływ ścian i okien wyjaśnia około 10% całkowitego wpływu typowego budynku biurowego.

Wpływy dachu i parteru budynku są podobnej wielkości, w obu przypadkach około 5% sumy. Wpływy obu elementów zależne są od wysokości budynku i będą największe dla budynków parterowych.

Z najważniejszych elementów powłoki budynku, to okna mają najniższy wpływ – tylko około 3% sumy. Naturalnie w przypadku budynków z większą ilością przeszkleń, negatywny wpływ okien wzrośnie, natomiast spadnie wpływ ścian zewnętrznych.

Wewnętrzna konstrukcja budynku ma zaskakująco mały wpływ w porównaniu z innymi elementami. Wynika to głównie z faktu, że badane budynki realizowane były w szkieletowej konstrukcji stalowej lub żelbetowej, gdzie zużycie materiałów nie było znaczące. Badania BRE pokazują, że wybór ustroju konstrukcyjnego budynku nie miał znaczącego wpływu na skumulowany strumień wpływów środowiskowych, ponieważ oba systemy wyjaśniały około 2% sumy.

Najmniejszy wpływ – około 1%, miały ściany wewnętrzne. Badane budynki funkcjonowały na zasadzie „open-space” i pozbawione były sztywnego podziału powierzchni. Rozwiązania sufitów oparte były na kombinacji sufitów podwieszanych i tynkowanych. Pomimo faktu, że sufity podwieszane ulegały szybkiemu zużyciu i częstej wymianie, ich niewielka waga ograniczała ich negatywny wpływ.

Budynek (rys. 4) składa się z kilku równoległych funkcjonujących systemów: wyposażenia wnętrza, podziału przestrzennego pomieszczeń, instalacji technicznych, konstrukcji (struktury), obudowy i zagospodarowania działki (Brand, 1994).



Rys. 4. Częstotliwość zmian warstw systemowych budynku

Struktura budynku, w zależności od przeznaczenia budynku ma z reguły trwałość 30-50 lat. Podział przestrzenny pomieszczeń, instalacje techniczne oraz obudowa mają dużo mniejszą trwałość i muszą być odnawiane w krótszych odstępach czasu. W nowoczesnych budynkach wspomniane wyżej „warstwy systemowe” projektowane są często jako pojedyncza struktura. Na pierwszy rzut oka, może się to wydawać efektywną strategią, jednak systemy długoterminowe mogą zablokować krótkoterminowe. W wyniku szybszej degradacji niektórych warstw systemowych wymagana jest wtedy ingerencja w systemy podlegające dłuższemu cyklowi. To tłumaczy, czemu

powszechną praktyką jest rozbiórka budynków, gdzie instalacje są trudne do utrzymania, gdyż są zintegrowane ze strukturą budynku.

Również podział przestrzenny pomieszczeń może być tak wyspecjalizowany i nieelastyczny, że skraca znacząco okres użytkowania budynku. Rozpiętość średniego czasu użytkowania nowoczesnych biurowców w centrum Tokio wynosi tylko 17 lat (Brand, 1994).

Poszczególne systemy techniczne budynku powinny być rozdzielone. Dlatego w projektowaniu należy szukać rozwiązań zapewniających łatwy dostęp do poszczególnych systemów. Powinny one być technicznie rozdzielone. To jest także podstawowy warunek dla skutecznego recyklingu zarówno dla całych budynków, jak i pojedynczych wyrobów oraz komponentów budowlanych.

## 6. Porównanie materiałów budowlanych

Opublikowane dane (West i in., 1994) dotyczące energii pierwotnej zwykle odnoszą się do indywidualnych materiałów, na przykład cegły, betonu, drewna albo szkła. To dane użyteczne podczas podejmowania strategicznych decyzji odnośnie projektu budynku na przykład wybór pomiędzy konstrukcją lekkiego szkieletu drewnianego lub murem z bloczków betonowych. Wartość energii pierwotnej zwykle jest podawana odnośnie jednostki ciężaru lub objętości materiału budowlanego użytego w projekcie budynku. Podejście na zasadach „cradle to grave” i analiza cyklu życia powinny stać się ważnym odniesieniem dla projektowania. Musimy mieć także świadomość, że wybór materiału należy skoordynować z innymi rozwiązaniami energooszczędnymi (na przykład zjawiska akumulacji ciepła, zastosowania wentylacji mechanicznej z rekuperatorem, ogrzewania solarne). Pewne materiały, takie jak tworzywa sztuczne albo metale, mają bardzo dużą zawartość energii pierwotnej, jednak używane w małych ilościach, mogą mieć korzystny wpływ na całość budynku pod postacią kompozytowego wyrobu budowlanego, na przykład dźwigara z drewna klejonego, gdzie zwiększenie rozpiętości materiału osiągnięte jest dzięki tworzywom sztucznym. Prawdopodobnie zaprojektowany detal architektoniczny, eleganckie połączenie różnych materiałów może przełożyć się zarówno na zwiększoną trwałość wyrobu, jak i ułatwić może recykling zastosowanych materiałów.

Materiały syntetyczne, drewno i metale to materiały, dookoła których toczy się najwięcej dyskusji na temat ich wpływu na środowisko naturalne.

Wzrastające zainteresowanie niskoenergetycznymi, wysokosprawnymi i ekologicznymi rozwiązaniami budowlanymi w dalszym ciągu stymulować będzie wzrost tego segmentu rynku.

Organiczne pochodzenie surowców w materiałach budowlanych wyróżnia je na tle innych produktów, których produkcja oparta jest o tradycyjną ekstrakcję surowców i energochłonne procesy. Nowoczesna technologia produkcji jest w stanie wydobyć z naturalnych

materiałów ich najlepsze cechy, zapewniając jednocześnie wytrzymałość, trwałość, odporność na czynniki atmosferyczne i korozję biologiczną oraz niskie nakłady związane z utrzymaniem.

### 6.1. Materiały budowlane z tworzyw sztucznych

Tworzywa sztuczne to materiały oparte na polimerach syntetycznych, ich energia pierwotna jest nadzwyczaj wysoka. Tworzywa syntetyczne oparte są najczęściej na związkach będących pochodnymi odpadów po rafinacji ropy naftowej. Możemy więc podkreślić fakt, że ich produkcja stanowi swego rodzaju recykling. Z drugiej strony przemysł chemiczny zaangażowany w produkcję materiałów syntetycznych odpowiedzialny jest za wielką skalę emisji do środowiska naturalnego CO<sub>2</sub> i ponad połowę emisji związków toksycznych. Eksploatacja i utylizacja tworzyw sztucznych wiąże się z emisją gazów do atmosfery. Związki te zwane są VOCs (*Volatile Organic Compounds*) i wdychane przez ludzi mogą być szkodliwe nawet w najmniejszych ilościach. Posadzki z tworzyw sztucznych, dywany i nowoczesne farby, oparte są na ropie naftowej. Farby, zawierają duże ilości potencjalnie toksycznych i kancerogennych substancji. Szkodliwy wpływ VOCs zaczyna się wkrótce po instalacji. Na temat dopuszczalności stosowania i celowości stosowania materiałów z tworzyw sztucznych wciąż toczy się debata. Zdaniem wielu ekspertów należy unikać stosowania materiałów z tej grupy (Hammond i Johnes, 2001). Najlepiej byłoby uniknąć stosowania polichloru winylu. Wyroby z PVC niezwykle trudno zutylizować i zwrócić do obiegu.

### 6.2. Metale w budownictwie

Metale to kolejna grupa materiałów o wysokiej zawartości energii pierwotnej. Energochłonny proces produkcyjny degraduje środowisko naturalne znaczną ilością odpadów. Spory procent metali poddawanych jest recyklingowi z powodu wysokiej ceny metali. Proces ten naturalnie nie odbywa się bez swojego własnego szkodliwego wpływu środowiskowego, wytopianie metali wymaga dostarczenia wielkiej ilości energii, ze związków chloru wykorzystywanych w obróbce metali, powstają wysoko toksyczne dioksyny. Aż do czasu kiedy produkcja metali zorganizowana zostanie sposób bardziej przyjazny środowisku, na przykład poprzez użycie na dużą skalę energii z odnawialnych źródeł, najlepszą strategią jest ograniczenie stosowania metali w budownictwie (Hammond i Johnes, 2001). Metale powinny być używane w małych ilościach albo dla szczególnych celów, na przykład dla łączenia i zamocowania innych materiałów. Stal nierdzewna i aluminium mają wysoki potencjał dla recyklingu, ale ich produkcja ma wysoce negatywny środowiskowy wpływ. Ekstensywne użycie materiałów opartych na metalach w budownictwie nie może być uważane za ekologiczne. Należy unikać szczególnie ołowiu, głównie z powodu jego toksycznej natury i skojarzonych zanieczyszczeń wynikających z procesu produkcyjnego. Z ołowiu były wykonywane

płyty odpływowe, rury kanalizacyjne, arkusze ołowiane umieszczone w konstrukcji dużych budynków chroniące przed wibracjami i hałasem. Materiały zawierające ołów, były używane głównie do krycia dachów i sprawdzały się, jako element izolacyjny pomiędzy ścianami, a pokryciem dachu albo przy połączeniach pomiędzy połaciami dachu. Jednak woda z ołowiem spływająca z dachów przenikała potem do gruntów a była używana do podlewania owoców albo warzyw, absorbujących ołów w trakcie wegetacji. Związki ołowiu służyły również do wyrobu farb antykorozyjnych i malarskich, pigmentów i zapraw. W trakcie utylizacji, po rozbiórce nie należy spalać odpadów pomalowanych farbami ołowiomymi. Ponadto należy bezwzględnie unikać wdychania jego oparów i gryzącego dymu.

### 6.3. Materiały budowlane pochodzenia organicznego

Architekci, projektanci, wykonawcy i inwestorzy wciąż odkrywają korzyści płynące z zastosowania produktów pochodzenia organicznego jako materiałów budowlanych. Choć w dalszym ciągu kojarzyć się mogą z popularną „strzechą”, produkty te nie występują już w surowej postaci. Nowa generacja materiałów budowlanych wykorzystuje zdobycze współczesnej technologii. Wśród zalet materiałów opartych na produktach organicznych wymienia się mały ciężar, trwałość, odporność na korozję, wysoką wytrzymałość i niskie nakłady na konserwację.

Podstawowym argumentem przemawiającym za stosowaniem tego rodzaju materiałów w budownictwie jest fakt, że są one surowcem odnawialnym. Surowce pozyskiwane na użytek przemysłu materiałów budowlanych pochodzą najczęściej z kopalni odkrywkowych odznaczających się dużym negatywnym wpływem na środowisko naturalne. Surowce pochodzenia organicznego dzięki zastosowaniu nowoczesnej technologii stanowią składnik wielu złożonych, kompozytowych materiałów budowlanych.

Surowce pochodzenia organicznego charakteryzują się również mniejszą zawartością energii pierwotnej i toksycznością. Z uwagi na fakt, że pozyskiwane są z upraw rolnych i leśnych, w trakcie wegetacji absorbują dwutlenek węgla. Także faza przetwarzania i produkcji, jako pełnowartościowych materiałów budowlanych wiąże się z mniejszym skomplikowaniem procesów i energochłonnością. Wśród innych pozytywnych aspektów środowiskowych stosowania materiałów pochodzenia organicznego wymienia się możliwość recyklingu. Niskie nakłady energetyczne związane z przetwarzaniem dają możliwość ponownego zastosowania lub przetworzenia materiału. Częstym sposobem utylizacji jest użycie jako surowca przy produkcji energii (*downcycling*). Materiały pochodzenia organicznego ulegają także szybkiej i naturalnej biodegradacji.

Wskazuje się też inne, bardziej pragmatyczne korzyści płynące ze stosowania materiałów pochodzenia organicznego. Ich produkcja, przetwarzanie, stosowanie i utylizacja wiąże się po prostu z niskim kosztem ekonomicznym. W dobie powszechnego uświadczenia

występowania problemów zdrowotnych wynikających z toksyczności otaczających nas substancji, zdrowe i bezpieczne materiały pochodzenia organicznego bardzo zyskują w oczach użytkowników.

Nowoczesne technologie pozwalają nam w pełni wykorzystać dobre właściwości fizyczne i mechaniczne tego rodzaju materiałów, czego efektem są często produkty nieustępujące parametrami innym, wiodącym materiałom budowlanym. Nie bez znaczenia jest także fakt, że stosowanie naturalnych surowców doskonale wpisuje się w aktualny globalny trend ekologicznego stylu życia oraz renesansu tradycyjnych materiałów podpartych nowoczesną techniką.

Główne kategorie produktów pochodzenia organicznego to:

- bio-paliwa pochodzące z upraw roślin energetycznych (oleje, bio-diesel, etanol);
- substancje chemiczne pochodzenia organicznego (farby, barwniki, polimery, lubrykanty, rozpuszczalniki, żywyce);
- materiały pochodzenia roślinnego i zwierzęcego (produkty z włókien naturalnych, drewno, tarcica, skóra, laminaty, plastiki, izolacje).

#### 6.4. Drewno w budownictwie

Drewno to materiał, który jest ogólnie uważany za materiał mający wysokie środowiskowe noty. Po pierwsze drewno jest zasobem odnawialnym, po drugie, jego produkcja, czyli wegetacja lasów zmniejsza ilość CO<sub>2</sub> w atmosferze. Drewno łatwo poddać recyklingowi albo użyć jako surowca energetycznego. Istnieją jednak, potencjalne wady drewna, wynikające z jego transportu, na przykład przy imporcie drewna i tarcicy gatunkowej z Rosji i Ukrainy. Inny problem to sposób uprawy i wegetacji drzew w lasach. Najpopularniejsze miękkie gatunki drewna pochodzą z lasów, obsadzanych tylko kilkoma gatunkami drzew, o małym potencjale bio-rozmaitości. W wypadku importowanego nieeuropejskiego twardego drewna istnieje wysokie prawdopodobieństwo, że pochodzi z tropikalnych lasów deszczowych. W procesie produkcji drewna budowlanego powinno być wykorzystywane wyłącznie drewno pochodzące z przecinki, wysokiej jakości drewno odpadowe z tartaków oraz odpowiednio recyklowane drewno. W Wielkiej Brytanii „*Forestry Stewardship Council*” wydaje odpowiednie zaświadczenia, że drewno produkowane jest i pozyskiwane z lasów sposób zgodny ze zrównoważonym rozwojem. Posiada je tylko kilka procent drewna dostępnego na rynku (Sarté, 2010).

Przy zamawianiu drewna na budowę rozważyć należy dostępność lokalnego drewna. Preferowane powinny być dostawy i wykorzystanie drewna z najbliższego sąsiedztwa, co pozwala uniknąć długotrwałych transportów.

Polskie lasy i tartaki mogą dostarczyć bardzo dobre jakościowo drewno, odpowiednie dla konstrukcji nośnej każdego budynku. Jeżeli konieczne jest zastosowanie importowanego drewna, należy rozważyć drewno

ze Skandynawii, z uwagi na małą odległość oraz dobrą renomę ekologiczną skandynawskich lasów.

Drewno, to właściwy wybór w aspekcie zasad zrównoważonego rozwoju, wymaga jednak impregnacji. Jeżeli ma być użyte zewnętrznie, odpowiednie detalowanie architektoniczne i prawidłowe wykonawstwo musi zapobiec jego gniciu. Należy dobrać najbardziej prawidłowy dla danej sytuacji „gatunek drewna”. Szczególnie miękkie gatunki drewna nie są odpowiednie do użytku zewnętrznego. Twarde drewno może być stosowane zewnętrznie przy prawidłowych rozwiązaniach projektowych. Należy szczególnie upewnić się, że w przypadku ryzyka kontaktu z wilgocią, woda szybko odcieknie i drewno jest dobrze przewietrzane. Należy sprawdzić trwałość jakiegokolwiek zewnętrznego drewna przed zastosowaniem. Dąb i modrzew, na przykład, to trwałe zewnętrzne gatunki drewna, podczas gdy dużo miękkich gatunków nie może być używanych zewnętrznie. Z reguły najwłaściwsze materiały są dostępne lokalnie i wymagają minimum przetworzenia.

Aktualnie, pozyskanie drewna dobrej jakości nie nastęrcza problemów, jednak powszechnie używane substancje zapobiegające szkodnikom, gniciu i ogniochronne są wysoko toksyczne i powinny być unikane jeśli mamy zamiar wybudować ekologiczny budynek.

Drewno znajduje około 30 tysięcy zastosowań. Postęp techniczny i rozwój technologii sprawiły, że choć jest to jeden z pierwszych surowców, który w rękach pierwotnego człowieka wyznaczał kierunek cywilizacji, wciąż pozostaje ono materiałem trudnym do zastąpienia, a przy tym odnawialnym.

Do najczęściej stosowanych produktów drewnianych zalicza się:

- drewno budowlane,
- drewno klejone,
- forniry,
- sklejki,
- płyty pilśniowe,
- płyty wiórowe,
- płyty LDF, MDF i HDF,
- płyty stolarskie,
- materiały podłogowe.

Gatunki iglaste, głównie sosna i świerk, są używane do wykonywania konstrukcji dachowych, stolarki budowlanej czy desek podłogowych. Gatunki liściaste sprawdzają się przy robotach stolarskich, wykonywaniu podłóg i posadzek. Budownictwo jednorodzinne nadal proponuje budowanie z drewna, szczególnie popularne są domy z bali i domy szkieletowe. Drewno, inaczej niż pozostałe materiały budowlane, jest najłatwiej dostępne i całkowicie odnawialne, co ma dodatkowe znaczenie dla ochrony środowiska naturalnego. Drewno charakteryzuje się niezwykłą lekkością, wytrzymałością i sztywnością. Struktura komórkowa drewna pozwalają na zatrzymywanie powietrza w ścianach komórkowych, pełniąc tym samym rolę naturalnego izolatora. W rezultacie budynki drewniane wymagają mniejszego zasilania w energię cieplną niż budynki stalowe lub



betonowe. Wilgotność w budynkach drewnianych jest regulowana także w sposób naturalny. Powietrze w budynkach drewnianych tworzy bardzo zdrowe i korzystne warunki dla życia człowieka.

Drewno zajęło poczesne miejsce w historii architektury. Jednak także w czasach współczesnych w wielu regionach świata wciąż zachowuje pozycję podstawowego materiału budowlanego. Szczególnie w krajach Ameryki Północnej i Skandynawii budownictwo indywidualne to w przytłaczającej większości domy drewniane. Budowa drewnianych ścian domku parterowego o wymiarach  $10 \times 10$  m wymaga zużycia 3,5 razy mniej energii niż wzniesienie podobnych rozmiarów ścian o konstrukcji murowanej. Jednocześnie do atmosfery ulatnia się prawie trzy razy mniej  $\text{CO}_2$ , wielokrotnie niższe jest zużycie wody i nie ma uciążliwych ścieków w trakcie budowy. Pod względem izolacyjności cieplnej ściana domku z litego drewna ma zdecydowaną przewagę nad innymi materiałami budowlanymi – konstrukcja z litych belek drewnianych grubości 10 cm odpowiada tej samej izolacyjności cieplnej, co ściana z cegły pełnej grubości około 35 cm, a przy tym jest prawie trzy razy lepsza. Lżejsza ściana to mniejsze koszty budowy lżejszych fundamentów (Berge, 2001).

Dom z litego drewna lepiej akumuluje ciepło niż budynek z cegły pełnej czy z betonu. Dla mieszkańca domu oznacza to wyższy komfort latem (pomieszczenia w budynku mniej się nagrzewają) i mniejsze koszty ogrzewania zimą. Wszystko to można przeliczyć na emisję dwutlenku węgla do atmosfery.

Drewno jest trwałe i długo opiera się procesom starzenia, w sprzyjających warunkach potrafi przetrwać wieki. Łatwo poddaje się procesowi przystosowania do warunków wilgotnościowych otoczenia. Potraktowane współczesnymi preparatami, staje się niepalne. Jest lekkie (choć różne gatunki cechuje różny ciężar właściwy), elastyczne i wytrzymałe. Jego porowata struktura sprawia, że cechuje je niski współczynnik przewodzenia ciepła, jest więc znakomitym materiałem izolacyjnym.

Cechą, której nie ma żadne inne tworzywo konstrukcyjne poza drewnem, jest jego odnawialność – zasoby drewna dadzą się odbudować w relatywnie szybkim procesie, który praktycznie (w odniesieniu do przynajmniej niektórych gatunków) można mierzyć czasem życia człowieka. I jeszcze jedna szczególna cecha: surowiec ten powstaje w wyniku naturalnego procesu biologicznego – fotosyntezy i nie wymaga żadnych nakładów energii, obciążających środowisko.

Od zarania dziejów drewno w postaci naturalnej (pociętych pni, gałęzi) jest surowcem energetycznym; pozostaje nim również w obecnie. Współcześnie ważnym aspektem ekologicznym jest to, że spalanie drewna w nikłym stopniu narusza bilans dwutlenku węgla w naturalnym obiegu tego gazu – można przyjąć, że ilość  $\text{CO}_2$  wydzielanego w czasie spalania drewna jest równa ilości gazu przyswojonego w procesie wzrostu rośliny.

Rozwój przemysłu przeróbki drewna przyczynia się do wzrostu masy powstających odpadów. W dzisiejszych czasach określenie „odpad” w odniesieniu do drewna

zupełnie nie odpowiada prawdzie – trociny, wióry i zrębki stały się pełnowartościowym surowcem energetycznym. Znajdują także zastosowanie przy produkcji kompozytowych materiałów budowlanych.

#### 6.5. Kompozyty z drewna i tworzyw sztucznych

Kompozyty z drewna i tworzyw sztucznych wytwarza się z trocin drzew iglastych lub włókien naturalnych. Elementy budowlane powstałe na bazie żywicy fenolowych wzmocnione są włóknami celulozowymi, takimi jak bawełna, drewno, konopie, len, a także żywice fenolowe z włóknami drzewnymi stosowane przede wszystkim jako materiał konstrukcyjny i izolacyjny. Trociny pozbawiane są zanieczyszczeń, poddawane są procesowi mineralizacji przez użycie dobranej, odpowiedniego mineralizatora oraz zabezpiecza się je przed butwieniem. Do mieszanki dodaje się żywice, które pełnią rolę spoiwa. Żywice produkowane są z polimerów pochodzenia organicznego.

Kompozyty z drewna i tworzyw sztucznych charakteryzują się:

- małym ciężarem,
- możliwością szybkiego montażu,
- niskimi nakładami związanymi z utrzymaniem,
- trwałością,
- odpornością na korozję i czynniki pogodowe,
- możliwością różnorodnego kształtowania powierzchni.

Kompozyty z drewna i tworzyw sztucznych charakteryzują się wielką różnorodnością i wszechstronnością. Decyduje o tym fakt, że dzięki współczesnej technice można wyprodukować materiał o pożądanym parametrach.

Większość kompozytów z drewna i tworzyw sztucznych jest produkowanych przez osadzanie włókien naturalnych pochodzących z tyka lub z zewnętrznego pienia roślin (pszenica, len, juta, kenaf, sisal, konopie i orzech kokosowy) w poliestrze albo w matrycy polipropylenowej. Umiarkowane właściwości mechaniczne włókien naturalnych często uniemożliwiają zastosowanie tego rodzaju materiału, jednak ich stosunek wytrzymałości i sztywności do ciężaru jest ogólnie bardzo korzystny.

Inne włókno naturalne, jest używane głównie w złożonych wersjach budowania produktów takich jak sztukaterie, profile okienne i drzwiowe, listwy wykończeniowe, ogrodzenia i różnego rodzaju panele. Produkty te mogą zawierać od 30% do 70% drewna, w zależności od sposobu zastosowania. Najbardziej typowa zawartość drewna, to około 50%. Bez względu na proporcje, włókna drewna używane w kompozytach mają najczęściej postać raczej mączki, niż dłuższych, indywidualnych włókien. Do najpowszechniej używanych gatunków drewna zaliczają się sosna, klon i dąb.

Podobnie, jak ma to miejsce w przypadku materiałów kompozytowych z włóknami nieorganicznymi, stosuje się rozmaite dodatki w celu usprawnienia procesu produkcji oraz polepszenia parametrów wytrzymałościowych produktu. Jako dodatki stosuje się stabilizatory, pigmenty, smary, środki grzybobójcze i środki spieniające.

Drzewno-polimerowe produkty budowlane charakteryzują się przede wszystkim lekką wagą i odpornością na korozję. Materiały te współzawodniczą z tradycyjnymi materiałami w licznych mieszkaniowych, handlowych i budownictwa przemysłowego zastosowaniach, włączając rury kanalizacyjne i przewody wentylacyjne, okładziny ścian oraz gonty. Materiały polimerowe zbrojone włóknami pochodzenia organicznego mogą być stosowane przy wszelkich elementach strukturalnych wymagających wzmocnienia, takich jak ściany albo belki.

Najczęstsze zastosowania wykorzystujące walory tego materiału to wykończenie powierzchni tarasów, ścian oraz dachów. Kompozyty stosuje się również w budownictwie prefabrykowanym, przenośnym oraz modułowym, jak również jako zewnętrzną okładzinę. Drzewno-polimerowe produkty budowlane mogą z powodzeniem emulować wykończenie kamieniarskie. We wnętrzach kompozyty drzewno-polimerowe znajdują najczęściej zastosowanie jako obudowy kabin prysznicowych, wanien, basenów oraz kanałów. Oparte na poliuretanie spoiwa są używane do produkcji złożonych paneli w rozmaitej konfiguracji, włączając płyty OSB, twarde płyty pilśniowe HB, średniej gęstości płyty pilśniowe (MDF), płytę pilśniową (PB), laminaty oraz formiry.

Płyty OSB, często używane jako materiał strukturalny w budownictwie drewnianym, a także przy układaniu podłóg i pokryciu dachów, produkowane są jako płyty jedno- lub wielowarstwowe. Płyty jednowarstwowe znajdują zastosowanie jako warstwy środkowe sklejk. Płyty wielowarstwowe (najczęściej 3-warstwowe) zbudowane są w następujący sposób: wszystkie warstwy składają się z długich, wysmukłych wiórów (najczęściej sosnowych) pozyskanych poprzez skrawanie małowymiarowego drewna okrągłego (kłody o długości z reguły 2,2 m). Skrawanie odbywa się wzdłuż przebiegu włókien, w kierunku stycznym. Warstwy zewnętrzne składają się z orientowanych w kierunku tak zwanej większej osi płyty (równoległe do przebiegu linii produkcyjnej). Co najmniej 70% wiórów musi być zorientowanych w tym kierunku, inaczej płyty nie możemy nazwać orientowaną. Wióry warstwy wewnętrznej zorientowane są najczęściej w kierunku prostym w stosunku do wiórów warstwy zewnętrznej. Ze względu na pożądane właściwości płyt OSB do ich zaklejania używa się różnych żywic syntetycznych

Polichlorek winylu jako termoplastyczna matryca jest często używanym tworzywem sztucznym w produkcji okien i drzwi. Włókna używane w oknach i drzwiach to włókna drewna. Produkt ten zyskuje na popularności z uwagi na parametry izolacyjności cieplnej, odporność na wilgoć oraz sztywność.

W nowoczesnych produktach przeznaczonych na zewnątrz budynków, zarówno żywice winylowe, jak i polietylenowe oraz polipropylenowe połączone są z mączką drzewną, aby uniemożliwić gniciu i szkodliwe działanie warunków atmosferycznych. Efektem jest szeroka gama produktów, które typowo nie wymagają malowania oraz używania środków konserwujących.

Innym rodzajem materiału „sandwiczowego” znajdującym szerokie zastosowanie w architekturze mieszkaniowej i handlowej budowy są strukturalnie izolowane panele (SIP). Składają się one ze styropianowego rdzenia przekładanego dwoma cienkimi warstwami z płyty OSB. Te wytrzymałe i lekkie materiały kompozytowe, które mogą być zaprojektowane by mieć wyjątkowe własności izolacji. Uwagi na fakt prefabrykacji, panele mogą być dostarczone na budowę w zadanym rozmiarze. Elementy te mogą być uzbrojone są w przewody elektrotechniczne i wodno-kanalizacyjne.

Rośnie także użycie kompozytów drzewno-polimerowych w naprawie i konserwacji betonów, robót kamieniarskich oraz we wzmacnianiu drewnianych belek.

Producenci oferują także gonty wykonane recyklowanej gumy, tworzyw sztucznych oraz włókna celulozowego wiązanych ze spoiwami polimerowymi. Gont może być stylizowany na podobne elementy wykonane z drewna, standardowe dachówki, jak również gont bitumiczny. Użycie materiałów drzewno-polimerowych prowadzić może do obniżenia zużycia energii na produkcję i utrzymanie w trakcie użytkowania.

#### 6.6. Trocinobeton

Trocinobeton wytwarza się z trocin drzew iglastych – pozbawionych zanieczyszczeń, zmineralizowanych przez użycie dobranego, odpowiedniego mineralizatora i zabezpieczającego przed butwieniem. Proces produkcji odbywa się ściśle według recept i zaprogramowanej technologii. Do mieszanki dodaje się cement, który jest głównym spoiwem. Są to lekkie termoizolacyjne betony, w składzie których spoiwem jest cement portlandzki, a wypełniaczami – trociny, wióry i zrąbki drzew iglastych (sosna, jodła lub świerk) o ściśle określonych wymiarach i właściwościach, bez zanieczyszczeń, zbutwień. Trociny mają długość do 10 mm, wióry – do 60 mm, a wymiary zrąbków 40 × 20 × 6 mm (długość, szerokość, grubość). Wypełniacze poddawane są mineralizacji, która zapobiega gniciu, zapewnia odpowiednią trwałość, zmniejsza skurcz własny, zwiększa przyczepność do zaczynu cementowego i umożliwia właściwe wiązanie oraz twardnienie betonu.

Ściany wznoszone z trocinobetonowych elementów charakteryzują się:

- znaczną odpornością cieplną;
- współczynnikiem  $k = 0,25-0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;
- „czystością” ekologiczną, gdyż są wznoszone ze „zdrowych” materiałów: trocin i cementu;
- są wytrzymałe, lekkie i trwałe (ciężar objętościowy trocinobetonu odmiany 600 wynosi 600-700 kg/m<sup>3</sup> przy wytrzymałości na ściskanie minimum 1 MPa, a ciężar objętościowy trocinobetonu odmiany 1200 wynosi 1000-1300 kg/m<sup>3</sup> przy wytrzymałości na ściskanie minimum 5 MPa);
- prostotą wykonawczą.

#### 6.7. Materiały termoizolacyjne pochodzenia organicznego

Wykorzystanie izolacyjnych materiałów ropopochodnych, takich jak włókno szklane i piany, nie jest zgodne

z zasadą zrównoważonego rozwoju. Ponadto, wiele materiałów izolacyjnych zawiera chemiczne preparaty ogniochronne i kleje, a także charakteryzuje się wysoką wartością „szarej energii”. Na szczęście na rynku znaleźć można szereg innych, ekologicznych rozwiązań. Bloczki z konopi i wapna, włókno lniane oraz włókno drewniane to tylko niektóre z bardziej ekologicznych oferowanych materiałów. Wełna owcza oraz celuloza są energooszczędne i nie mają negatywnego wpływu na środowisko, jak dzieje się to w przypadku materiałów tradycyjnych. Izolacja wełną owczą, na przykład, wymaga poniżej 15% energii potrzebnej do wytworzenia izolacji z włókna szklanego, do tego może wchłaniać z powietrza wilgoć i uwalniać ją bez wpływu na sprawność cieplną. W okresie zimowym wełna uwalnia energię w postaci ciepła i pochłania wilgoć, w miesiącach letnich w naturalny sposób uwalnia wilgoć i ten sposób chłodzi budynek.

Porównanie energii pierwotnej materiałów (Hammond i Johnes, 2011):

– włókna ligno-celulozy	4-15 MJ/kg
– włókno szklane	14-55 MJ/kg
– styropian	50-82 MJ/Kg
– włókno węglowe	130 MJ/kg

#### 6.8. Materiały izolacyjne z celulozy

W krajach zachodnich celuloza, będąca produktem przemysłu drzewnego, od dawna z powodzeniem pełni rolę materiału budowlanego, jako warstwa izolacyjna w ścianach. Uzyskana z przeróbki makulatury celuloza wymaga znacznie niższego nakładu energii niż produkcja włókna szklanego czy wyrobów piankowych. Ponadto celuloza charakteryzuje się znacznie niższą wartością „szarej energii”. Jest to materiał trudnopalny i nierozprzestrzeniający ognia. Dzięki zawartości związków boru nie tylko sam nie ulega biodegradacji, ale powstrzymuje rozpoczęty proces rozwoju pleśni i grzybów na konstrukcjach drewnianych. Pozwala to zaniechać stosowania folii paroizolacyjnej, ponieważ w przypadku zawilgocenia izolacji do chwili jej ponownego wyschnięcia nie rozwiną się szkodliwe mikroorganizmy. W kontakcie z ogniem nie płonie – tylko się zwęglą. Nie wydziela przy tym substancji trujących.

Materiały izolacyjne z celulozy nadają się do izolowania termicznego przestrzeni trudno dostępnych, w których nie da się poprawnie ułożyć tradycyjnych materiałów ociepleniowych, na przykład płyt wełnianych lub styropianowych. Celulozę produkuje się z makulatury papieru gazetowego zabezpieczonego retardantami i impregnatami. Celuloza to materiał o właściwościach izolacyjnych termicznych jak i akustycznych. Ocieplenie z celulozy posiada właściwości termiczne identyczne jak wełna mineralna czy styropian.

Włókna celulozowe sprzedawane są w kilkunastokilogramowych workach i zagęszczane są do około  $150 \text{ kg/m}^3$  co daje duże oszczędności przy transporcie. Włókna celulozowe sprzedawane są również w formie elastycznych i łatwych w obróbcę płyt.

Izolacja tym materiałem posiada liczne zastosowania, lecz póki co nie cieszy się wielką popularnością w naszym kraju, w przeciwieństwie do USA czy Kanady. Obawy przed tą technologią i materiałem wiążą się z koniecznością zlecenia izolacji wyspecjalizowanej ekipie. Izolacji tej nie jesteśmy w stanie wykonać na własną rękę, dlatego też obawiamy się, że będzie ona droga i nie opłacalna, lecz tak naprawdę cena wykonania jej nie różni się wiele od stosowanych powszechnie systemów ociepleń.

Celuloza jako jeden z niewielu materiałów termoizolacyjnych jest paroprzepuszczalna, czego nie można powiedzieć o styropianie i wełnie mineralnej oraz nie wymaga stosowania paroizolacji w przegrodach gdzie została zastosowana. Celuloza jest także materiałem bezpiecznym dla zdrowia i niewywołującym alergii. Parametry izolacyjno-termiczne są identyczne jak dla wełny mineralnej i styropianu – współczynnik przewodzenia ciepła dla celulozy wynosi  $0,037-0,042 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ . Celuloza jest także dobrym izolatorem akustycznym.

Stosowanie celulozy powoduje ciągłość izolacji eliminując powstałe mostki termiczne przy użyciu innych materiałów izolacyjnych. Dzięki zastosowaniu soli boru do impregnacji celulozy, nie istnieje konieczność chemicznej ochrony drewna, zarówno przed owadami, jak i grzybami. Celuloza osusza zagrzybione podłoża i jednocześnie je konserwuje. Wszystkie te czynniki powodują, że jest materiałem niezwykle trwałym.

Celulozę stosujemy do ocieplenia i do izolowania akustycznego: ścian zewnętrznych i wewnętrznych, stropów, sufitów, poddaszy i dachów. Występują trzy metody wykonania takiej izolacji: metoda luźnego nadmuchu, metoda wdmuchiwanie pod ciśnieniem i metoda natrysku na mokro. Celulozę stosuje się głównie wypełniając wolne przestrzenie poprzez nadmuch, w ten sposób izolujemy stropodachy wentylowane, zamknięte ściany, stropy, sufity czy wolne przestrzenie poddaszy nie użytkowych. Metoda natrysku na mokro izolujemy sufity, ściany zewnętrzne jak i wewnętrzne. Wysoka zdolność zatrzymywania ciepła w czasie upałów, a także mrozów. Rzeczywisty opór cieplny jest wyższy o około 20% od mierzonego laboratoryjnie. Badania laboratoryjne nie uwzględniają gęstości i budowy włókien, w której w bardzo niewielkim stopniu dochodzi do konwekcyjnej wymiany ciepła (infiltracja powietrza w materiale izolacyjnym). Dzięki zastosowaniu urządzenia mechanicznego można wielokrotnie skrócić czas ocieplania obiektu

#### 6.9. Słoma i wełna owcza jako materiał izolacyjny

Słoma, to chyba najbardziej tradycyjny materiał ociepleniowy. Ze słomy produkuje się elastyczne płyty grubości około 2 do 5 cm. Słoma jest powiązana sznurkami i nasączona impregnatem, który zmniejsza jej podatność na ogień. Płyty słomiane można stosować do ocieplania dachów, ścian szkieletowych, stropów oraz poddaszy. Mają gęstość około  $190 \text{ kg/m}^3$ . Współczynnik

przewodzenia ciepła dla tego materiału wynosi od 0,042 do 0,056 W/(m·K).

Zwykła wełna owcza także może być materiałem ociepleniowym stosowanym w budownictwie. Produkowane są z niej maty laminowane jednostronnie włókniną lub folią aluminiową i strzępki wełniane do wykonywania izolacji wdmuchiwanych. Wełna charakteryzuje się dobrą izolacyjnością termiczną i akustyczną. Jest trwała i świetnie reguluje poziom wilgotności powietrza w pomieszczeniach. Pochłania nadmiar wilgoci i oddaje go, gdy robi się sucho. Nie pyli w trakcie cięcia i nie stanowi pokarmu dla gryzoni. Nie jest jednak odporna na trwałe zawilgocenie. Materiał taki polecany jest do ocieplania poddaszy użytkowych.

#### 6.10. Materiały budowlane z włókien naturalnych

Materiały budowlane z włókien naturalnych w warunkach środkowoeuropejskich produkowane są z lnu włóknistego i konopi siewnej. Do najczęściej stosowanych materiałów z włókien naturalnych zalicza się:

- geowłókniny,
- trawniki,
- materiały filtracyjne,
- materiały izolacyjne.

Materiały termoizolacyjne z włókien naturalnych posiadają parametry nieustępujące obecnym na rynku materiałom termoizolacyjnym:

- $k = 0.040-0.045$  W/(m<sup>2</sup>·K),
- gęstość – 25-50 kg/m<sup>3</sup>,
- grubość – 20-300 mm.

Płyty ociepleniowe z włókna lnianego są materiałem stosunkowo tanim w pozyskiwaniu i w pełni ekologicznym. Włókna łączy się skrobią ziemniaczaną, służącą jako lepiszcze i sprasowuje. Tak powstałe płyty są dobrym izolatorem akustycznym i termicznym. Nie hamują przepływu pary wodnej gromadzącej się wewnątrz ogrzewanych pomieszczeń. Włókna lniane są jednak łatwopalne i by płyty takie zostały dopuszczone do stosowania w budownictwie muszą być zabezpieczone impregnatami ogniochronnymi. Materiał ten niestety nie jest odporny na działanie insektów i gryzoni.

Materiałem termoizolacyjnym są też płyty z konopi. Produkt ten jest szczególnie popularny w Stanach Zjednoczonych. W Polsce hodowla konopi jest utrudniona z powodu dużego podobieństwa konopi tradycyjnych do konopi indyjskich. Płyty konopne mają właściwości podobne do płyt z włókien lnianych. Oznaczają się jednak gorszą odpornością na zawilgocenie. Maty i płyty produkuje się także z włókien kokosowych. Są one wytrzymałe, sprężyste, odporne na działanie ognia i nie zawierają żadnych chemicznych domieszek. Mają grubość od 1 do 4 cm i gęstość 85-125 kg/m<sup>3</sup>. Ich współczynnik przewodności cieplnej wynosi około 0,043-0,045 W/(m·K). Mimo tak dobrych właściwości ciepłochronnych służą głównie do wykonywania izolacji akustycznej.

Wśród zalet konopi, jako rośliny przemysłowej wymienia się (Grabowska, 2009):

- dopasowanie do środkowoeuropejskich warunków klimatyczno-glebowych,
- szybki przyrost biomasy (w ciągu 100 dni osiągają wysokość około 4 m),
- wysoki plon biomasy (około 10 t/ha, nawet przy umiarkowanym nawożeniu),
- uprawa nie wymaga stosowania środków ochrony roślin oraz poprawia strukturę gleby,
- uprawa jest znakomitym przedplonem dla innych gatunków,
- odporność na okresowe braki wody,
- mogą być rośliną rekultywacyjną,
- uprawa konopi pozwala na zachowanie różnorodności biologicznej,
- konkurencyjność w stosunku do rosnących cen drewna.

#### 6.11. Materiały wykończeniowe

Materiały wykończeniowe stanowią grupę, która generuje olbrzymie obciążenia ekologiczne. Grupa ta jest niezwykle szeroka i obejmuje produkty do wykańczania między innymi ścian, podłóg i sufitów. Materiały te bardzo często oparte są o związki chemiczne pochodzące z paliw kopalnych, natomiast w produkcję zaangażowane są energochłonne procesy. Alternatywą dla tworzyw sztucznych bardzo często stosowanych jako materiały posadzkowe oraz farb opartych na rozpuszczalnikach mogą być materiały oparte na surowcach odnawialnych.

Wykładziny naturalne powstają także w oparciu o surowce pochodzenia organicznego. Najbardziej rozpowszechnionym produktem o naturalnym pochodzeniu jest linoleum.

Linoleum – materiał składający się z warstwy barwionej w masie utwardzonej masy plastycznej (o podstawowym składzie: olej lniany, kalafonia i mączka drzewna lub korkowa) nałożonej na płótno jutowe (lub podobną tkaninę). Linoleum cechuje niespotykane bogata kolorystyka, duża wytrzymałość na użytkowanie i odporność na żar z papierosów, co czyni ten produkt niezwykle użytecznym w profesjonalnych zastosowaniach.

Nakładanie powłok malarskich jest jednym z podstawowych procesów wykańczania powierzchni wyrobów w celu zmniejszenia ich podatności na wpływy zewnętrzne, w szczególności na korozję, a także nadania im wyższych walorów użytkowych. Pierwotnie stosowano głównie farby zawierające znaczne ilości rozpuszczalników organicznych niosących duże zagrożenie dla środowiska. W skład takich klasycznych farb wchodziło średnio 60% rozpuszczalników, 30% spoiwa, 7-8% pigmentów i wypełniaczy oraz 2-3% dodatków.

Farby produkowane są z naturalnych materiałów (woda, oleje i pigmenty roślinne, minerały). Spoiwem farby są najczęściej: olej lniany, glina, wapno lub białko mleka (Kazimierczak i Gorzkowski, 2009). Farby nie zawierają niebezpiecznych dla zdrowia lotnych związków organicznych (VOCs).

Konieczność zmniejszenia emisji lotnych związków organicznych, przez które rozumie się każdą ciecz organiczną (lub substancję stałą), która sama odparowuje w warunkach otoczenia, doprowadziła do opracowania wielu farb o zmniejszonej zawartości tych substancji. Farby te można podzielić na trzy grupy.

„High-solids” – farby z tej grupy zawierają dużą ilość składników stałych, charakteryzują się niższą emisją rozpuszczalników (do 50% mniej w stosunku do farb tradycyjnych), dobrym kryciem, dają możliwości nakładania grubych powłok przy zmniejszonej liczbie nakładanych warstw oraz stwarzają mniejsze zagrożenie pożarowe i mogą być nakładane przy zastosowaniu typowego sprzętu.

Najpopularniejsze „ekologiczne” farby to farby wodorozcieńczalne. Ich głównym rozpuszczalnikiem jest woda stanowiąca około 80% farby. Korzyści wynikające ze stosowania takich farb, to znaczne zmniejszenie emisji rozpuszczalników organicznych (ich zawartość z reguły nie przekracza 35% ilości zawartej w nich wody), zmniejszenie zagrożenia pożarowego, długi okres przydatności do użytku, dobre właściwości powłoki i zmniejszenie narażenia użytkowników na substancje organiczne zawarte w powietrzu, gdyż powszechnie uznaje się farby wodorozcieńczalne za nieszkodliwe.

Farby proszkowe składają się w 100% ze sproszkowanej żywicy zawierającej stałe dodatki. Proszek nanoszony jest na malowaną powierzchnię metodą zanurzania w złożu fluidalnym, natryskiwania lub natryskiwania elektrostatycznego. Po naniesieniu powłoki proszku jest ona najczęściej stapiana, tworząc trwałą, odporną na korozję powłokę o wysokiej jakości.

## 7. Podsumowanie

Rynek materiałów budowlanych oferuje szeroką gamę produktów, gdzie zastosowanie znajdują produkty i odpady rolnictwa, leśnictwa oraz przemysłu drzewnego. Wykwalifikowani projektanci i wykonawcy rozumiejący unikalne własności i uwarunkowania tej grupy produktów mogą istotnie wpłynąć na obniżenie energochłonności w pierwszej fazie cyklu życia obiektu budowlanego.

Tak jak w przypadku każdego produktu organicznego, zastosowanie materiałów pochodzenia roślinnego wykorzystuje lokalny potencjał biologiczny. Szerokie pole potencjalnych zastosowań pozwala zagospodarować produkty wegetacyjne niezależnie od obszaru uprawy, klimatu i sezonowych zmian. Biotechnologia jest jednocześnie jedną z najprężniej rozwijających się dziedzin nauki, także już w najbliższej przyszłości spodziewać się można dalszego upowszechnienia „zielonych materiałów”.

Odnawialne surowce mają potencjał, by zachować bogactwa naturalne. Ich szczególnym atutem jest możliwość utrzymywania bilansu CO<sub>2</sub> oraz niska energochłonność produkcji. Użycie odnawialnych surowców w produkcji materiałów budowlanych doskonale wpisuje się w politykę zrównoważonego rozwoju, oczekiwać zatem można, wzorem krajów

zachodnich (LEED, BREEAM), wprowadzenia instrumentów polityki budowlanej związanej ze specyfikacją materiałów budowlanych.

Obecnie zasady zrównoważonego rozwoju wpisane zostały jako kluczowe wytyczne w polityce wielu krajów w Europie i na świecie. Walka z emisją gazów cieplarnianych i skojarzoną zmianą klimatu stała się jednym z głównych bodźców restrukturyzacji materiałowej i energochłonnych gospodarek. Rządy kilku krajów prowadzą politykę związaną z kontrolą i doskonaleniem przemysłu budowlanego. Ważne działania zawierają minimalizację zużycia energii w budynkach, rozumne użycie bogactw naturalnych i ściślejszą kontrolę emisji szkodliwych substancji. Wszystkie te wytyczne powinny mieć zastosowanie podczas wyboru materiałów.

Główne podejścia mogłyby być następujące:

- użycie odnawialnych zasobów energetycznych dla wydobycia surowców, dla wytwarzania, przetwarzania i przewozu materiałów budowlanych;
- użycie materiałów pochodzących z odnawialnych źródeł;
- zmniejszenie konsumpcji nieodnawialnych surowców;
- nacisk na materiały budowlane dostępne lokalnie;
- renesans tradycyjnych technologii budowlanych;
- eliminacja strat energii, wody i materiałów poprzez doskonalenie procesów produkcyjnych;
- zwiększenie użycie surowców pochodzących z recyklingu;
- zwiększenie potencjału dla recyklingu produkowanych materiałów budowlanych;
- zwiększenie jakości, wytrzymałości trwałości materiałów budowlanych;
- staranne projektowanie przekładające się w konsekwencji na niskie koszty utrzymania i konserwacji.

Jedną z głównych strategii na rzecz poprawy funkcjonalności i środowiskowych wyników tradycyjnych materiałów może być użycie nowoczesnych technologii z dziedziny biotechnologii. Produkcja materiałów budowlanych w duchu zrównoważonego rozwoju charakteryzować się powinna większą dostępnością dla inwestorów i procesami produkcji nie stanowiącymi zagrożenia dla ludzkiego zdrowia i środowiska naturalnego.

Celem długofalowym powinna być stopniowa ewolucja rynku materiałów budowlanych. Istotna jest popularyzacja problemów energo- i materiałochłonności procesów produkcji oraz użycie instrumentów polityki budowlanej do kształtowania preferencji nabywców. Najważniejszymi czynnikami wyboru materiałów podczas prac remontowo-budowlanych są niestety w dalszym ciągu, cena i trwałość, przy czym to cena jest oceniana jako czynnik ważniejszy. Najwyższa pora, aby równie ważnym kryterium decydującym o specyfikacji materiałów budowlanych była jakość zamieszkiwanego przez nas wszystkich środowiska naturalnego.

Dotychczasowe podejście uczestników procesu budowlanego jest oparte na strategii zaspokajania doraźnych potrzeb. W większości przypadków głównym celem jest wzniesienie obiektu przy możliwie niskich

nakładach inwestycyjnych. Wpływ wybranych rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych na środowisko nie jest z reguły brany pod uwagę.

Ponadto realizacja obiektu bez oceny jego wpływu na środowisko naturalne w pełnym cyklu życia jest nadal dopuszczalna przepisami prawa. W najbliższym czasie również w Polsce konieczna będzie zmiana tego podejścia, gdyż jest ono sprzeczne z już wprowadzonymi w UE rozwiązaniami prawnymi opartymi na metodzie LCA. Oficjalnie wydawane wielu krajach specyfikacje zawierają wykaz preferowanych materiałów budowlanych przeznaczonych do wznoszenia budynków o różnych funkcjach. Rozwija się również system certyfikacji budynków, zarówno w kontekście energochłonności, jak i dobranych materiałów budowlanych.

Dom przyszłości to dom niskoenergetyczny w całym cyklu istnienia obiektu. W okresie jego istnienia zapotrzebowanie na surowce oraz inne oddziaływania na środowisko powinny być utrzymane na racjonalnie niskim poziomie. Taki dom powinien być w okresie użytkowania uniezależniony od nieodnawialnych naturalnych surowców energetycznych. Rezygnacja z paliw ze źródeł nieodnawialnych na rzecz energii z surowców ze źródeł odnawialnych, w tym ciągle jeszcze niedocenianej bezpłatnej energii słonecznej i wiatrowej, to istotny kierunek rozwoju budownictwa zharmonizowanego.

Dotychczas obowiązujące prawo budowlane wraz z przepisami wykonawczymi obligują do tego, aby zapotrzebowanie na energię w czasie użytkowania obiektu było utrzymane na racjonalnie niskim poziomie. Krokiem naprzód w naszym kraju jest wprowadzenie obowiązku oceny energetycznej budynku. Świadectwo jest dokumentem określającym wielkość energii, wyrażoną w kWh/m<sup>2</sup>/rok, niezbędnej do zaspokojenia różnych potrzeb związanych z użytkowaniem budynku. Wprowadzenie certyfikatów powinno pobudzić ekologiczne myślenie projektantów i inwestorów za pomocą instrumentu ekonomicznego. Osobną kwestią jest zwiększenie ekologicznej świadomości oraz kompetencji urzędników zatrudnionych w organach administracji architektoniczno-budowlanej.

Wprowadzenie oceny wyrobu budowlanego przy pomocy „ekokosztu” może w jeszcze większym stopniu zrewolucjonizować nasze podejście do wyrobów budowlanych. Koszt ekologiczny wyrobu budowlanego stanie się w niedalekiej przyszłości jednym z ważnych kryteriów oceny energetyczno-ekologicznej obiektu budowlanego, narzędziem umożliwiającym optymalizację rozwiązań projektowanych z uwzględnieniem analizy długofalowej wpływu budynku na środowisko naturalne. Znajomość wyników wielokierunkowej analizy wpływu obiektu na środowisko, przy jednoczesnym porównaniu skutków zastosowań różnych rozwiązań, pozwoli znaleźć odpowiedź na pytanie, który z wariantów realizacji obiektu, w tym doboru materiałów budowlanych, najmniej ingeruje w środowisko naturalne w czasie pełnego cyklu życia obiektu.

Całkowite skumulowane zużycie energii paliw w ciągu pełnego cyklu życia obiektu jest sumą skumulowanego

zużycia energii w fazie wznoszenia, skumulowanego zużycia nośników energii bezpośredniej podczas użytkowania (przez użytkowników i do wykonywania czynności związanych z obsługą obiektu), skumulowanego zużycia energii niezbędnej do wykonania zabiegów naprawczych (remontów bieżących lub kapitalnych) i skumulowanego zużycia energii niezbędnej do likwidacji obiektu (rozbiórki obiektu po zakończeniu okresu eksploatacji, transportu odpadów na wysypisko śmieci) oraz ewentualnego zagospodarowania odpadów pochodzących z rozbiórki na przykład przetworzenia do ponownego wykorzystania na drodze recyklingu.

Charakterystyka energetyczno-ekologiczna wyrobów budowlanych zawiera dane dotyczące oddziaływania na efekt cieplarniany, uszczuplenie warstwy ozonowej, efekt zakwaszenia, eutrofizację, ekotoksyczność, zużycie surowców mineralnych, zużycie energii pierwotnej, zużycie wody oraz smog fotochemiczny. Badaniu podlega także emisja niebezpiecznych dla człowieka substancji do wody i atmosfery oraz energia pierwotna przeznaczona na transport. Tego typu dane, w niedalekiej przyszłości, będą podstawą do powstania systemu deklaracji środowiskowych. Informacja o wpływie wyrobu na środowisko ma pobudzać producenta do podejmowania działań sprzyjających zmniejszeniu stopnia uciążliwości wyrobu lub jego wyeliminowania z obrotu. Deklaracja środowiskowa może również ułatwić wybór materiałów, technologii oraz stymulować producentów do działań w celu poprawy wskaźników z zakresu ekologii. Dyskusja związana z ekologią, energochłonnością produkcji energii oraz energooszczędnością budynków zyskuje coraz bardziej na aktualności, także deklaracja środowiskowa może zatem być jednocześnie kolejnym sposobem promocji wyrobu budowlanego.

## Literatura

- Anderson J., Shiers D. (2002). The Green Guide to Specification. *Blackwell Science Ltd.*, Oxford.
- Anink D., Boonstra C., Mak J. (1996). Handbook of sustainable building, an environmental preference method for selection of materials for use in construction and refurbishment. *James & James*, London.
- Berge B. (2001). The Ecology of building materials. *Architectural Press*, Oxford.
- Brand S. (1994). How Buildings Learn. *Viking Penguin*, New York.
- Cole, R.J., Kernan, P.C. (1996). Life-cycle energy use in office buildings, building and environment. *Elsevier Science Ltd.*, Oxford.
- Grabowska L. (2009). Rynek konopny w EU i w Polsce. *Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich*, Poznań
- Górzyński J. (2004). Obciążenia środowiska w produkcji wyrobów budowlanych. *Prace naukowe Instytut Techniki Budowlanej*, Warszawa
- Hammond G., Jones C. (2011). Inventory of carbon & energy. *University of Bath*, Bath.
- Kazimierczak Z., Gorzkowski S. (1999). Ekologiczne technologie wytwarzania powłok organicznych. *Instytut Chemii Przemysłowej*, Warszawa.

- Runkiewicz L. (2010). Wykonywanie obiektów budowlanych zgodnie z zasadami rozwoju zrównoważonego. *Instytut Techniki Budowlanej*, Warszawa.
- Sarté B. (2010). Sustainable infrastructure the guide to green engineering and design. *J. Willey & Son, Inc.*, Oxford.
- West J., Atkinson C., Howard N. (1994). *Proceedings of the first international conference of buildings and environment, CIB*.
- Williamson A. G. (1997). Energy efficiency in domestic buildings, a literature review and commentary. *Ministry of Commerce*, New Zealand.
- Woolley T., Kimmins S., Harrison P., Harrison R. (1997). Green building handbook. *Spon Press*, London

#### **SELECTION OF BUILDING MATERIALS IN THE CONTEXT OF ENERGY EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL IMPACT**

**Abstract:** Almost all the building materials are processed before application on construction site. This is inevitably connected with waste of energy and production wastes. The introduction of

the estimation of building materials by means of 'eco-costs' can revolutionize our approach to construction products. The ecological cost of the building materials will become an important evaluation criteria, a tool making possible the optimization of solutions with the regard of the long-term analysis of the influence of the building on the environment. An architect can fundamentally decide about level of primitive energy of building across specification of building materials.

Pracę wykonano w ramach realizacji projektów strategicznych Narodowego Centrum Badań i Rozwoju: SP/B/1/91454/10 – Analiza możliwości i skutków socjoekonomicznych wzrostu efektywności energetycznej w budownictwie oraz SP/B/8/91015/10 – Warunki i możliwości oszczędzania energii za pomocą instrumentów polityki miejskiej.