

ANALIZA LCA DREWNA JAKO MATERIAŁU KONSTRUKCYJNEGO W PORÓWNANIU Z ALTERNATYWNYMI ROZWIĄZANAMI MATERIAŁOWYMI STOSOWANYMI W BUDOWNICTWIE.

Arkadiusz WĘGLARZ, Iwona DUSZYK

*Politechnika Warszawska, Instytut Inżynierii Budowlanej
al. Armii Ludowej 16, 00-637 Warszawa, e-mail: a.weglarz@il.pw.edu.pl, idusz@il.pw.edu.pl*

Streszczenie: W artykule opisano wyniki analiz porównawczych metodą LCA elementów konstrukcyjnych ze stali, żelbetu i drewna. Za kryteria oceny przyjęto wielkość skumulowanego zużycia energii i skumulowanej emisji CO₂. Na podstawie wyników analiz można stwierdzić, że w przypadku ścian największą energią skumulowaną charakteryzuje się ściana szkieletowa o konstrukcji stalowej. Wartość energii skumulowanej jest ok. 1,4 razy mniejsza, a ściany szkieletowej drewnianej ok. 4 razy mniejsza. W przypadku stropów podobnie największa ilość skumulowanej energii przypada na strop z belkami stalowymi - jest to wartość ponad 1,8 razy większa niż stropu żelbetowego i ponad 2,6 razy większa niż stropu drewnianego. Podobne wyniki uzyskano w przypadku skumulowanej emisji CO₂.

Słowa kluczowe: Metoda LCA, skumulowane zużycie energii, skumulowana emisja CO₂, konstrukcje drewniane.

1. WSTĘP

Konstrukcje drewniane znajdują szerokie zastosowanie, począwszy od budownictwa wiejskiego, poprzez mieszkalne, aż po budownictwo przemysłowe. Powszechność budulca, jego właściwości fizyczne oraz czas realizacji budowy sprawiają, że budynki drewniane od pokoleń cieszą się ogromną popularnością. W niniejszym artykule porównano z alternatywnymi rozwiązaniami materiałowymi stosowanymi w budownictwie, takimi jak żelbet oraz stal. Wybrano następujące kryteria porównawcze: zużycie energii i emisja CO₂, względy ekonomiczne i zgodność z ideą zrównoważonego rozwoju.

2. SKUMULOWANE ZUŻYCIE ENERGII I SKUMULOWANA EMISJA CO₂

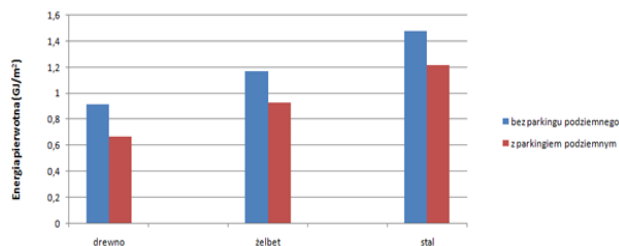
Obecnie na świecie notuje się wzrost zużycia żywności, materiałów i energii w przeliczeniu na obszary biologicznie produktywnie. Według przeprowadzonych ocen, w latach 1970-1995 świat stracił 30% zasobów naturalnych. Znaczący udział w powiększaniu zagrożeń środowiskowych i wywoływaniu nowych ma produkcja przemysłowa w zakresie wytwarzania materiałów i wyrobów budowlanych. Czynniki związane ze wznoszeniem, użytkowaniem i likwidacją obiektów budowlanych traktowane łącznie stanowią ważny składnik oddziaływania na środowisko. Budownictwo ma największy udział w sektorze gospodarczym w emisji gazów cieplarnianych (50%), wynikający jedynie ze zużycia energii. Również wznoszenie, użytkowanie i likwidacja budynków mają w Europie największy udział w tworzeniu strumienia odpadów (od 40% do 50%), z których jednak większość nadaje się do recyklingu. [1]

Szacuje się, że zużycie energii na etapie wznoszenia obiektu w Polsce wynosi około 10%, na etapie użytkowania (przy realizacji wg 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 [2].

Jedną z miar wpływu materiału na środowisko jest energia pierwotna. Ocenia się zazwyczaj zużycie energii produkowanej z nieodnawialnych źródeł, co jest jednym z głównych powodów degradacji środowiska. Energia pierwotna budynku jest energią użytą do pozyskania surowców, ich przetwórstwa, transportu i montażu

elementów budowlanych celem wytworzenia konstrukcji budynku.

W pracy [3] porównano skumulowaną energię pierwotną dla 3-kondygnacyjnego biurowego budynku o powierzchni 4620 m² o alternatywnych konstrukcjach z drewna, stali i żelbetu, z parkingiem podziemnym oraz bez parkingu podziemnego.



Rys. 1. Porównanie systemów konstrukcyjnych pod względem energii pierwotnej potrzebnej do wytworzenia konstrukcji budynku [3]

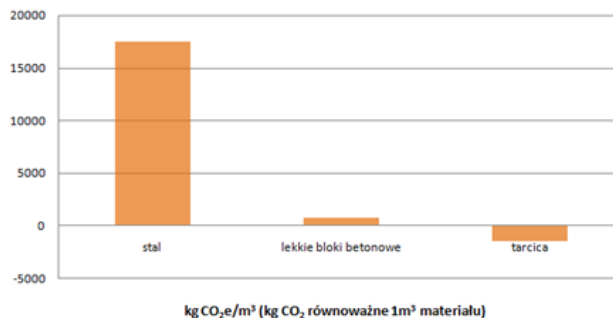
Fig. 1. Comparison of structural systems according to the primary energy needed for building construction

Energia pierwotna ze względu na wytworzenie konstrukcji budynku drewnianego z parkingiem podziemnym (0,92GJ/m²) jest znacząco mniejsza niż dla tego samego budynku wytworzonego ze stali (1,48GJ/ m²) lub z żelbetu (1,17GJ/m²). Ta sama energia pierwotna dla konstrukcji budynku stalowego jest 1,61 razy większa a budynku żelbetowego 1,27 niż budynku drewnianego. Różnice są większe w przypadku konstrukcji bez garażu podziemnego. W tym wypadku, bez kondygnacji podziemnej żelbetowego parkingu, energia pierwotna budynku stalowego jest 1,82 razy większa, a budynku żelbetowego 1,39 niż dla budynku drewnianego [3].

Należy pamiętać o tym, że podczas użytkowania, istnieje konieczność przeprowadzania napraw i remontów, nie tyle systemu strukturalnego budynku, lecz urządzeń i wykończenia wewnątrz. W zależności od czasu życia budynku, energia pierwotna ze względu na wytworzenie konstrukcji może być większa lub mniejsza od energii związanej z remontami i utrzymaniem tego obiektu. Przez typowy pięćdziesięcioletni czas życia budynku, skumulowana energia pierwotna przeznaczona na wybudowanie konstrukcji stanowi względnie małą część energii pierwotnej całego cyklu życia budynku (mniej niż 5%) i w konsekwencji, różnicowanie między systemem konstrukcyjnym drewnianym, stalowym a żelbetowym ma w tym wypadku mniejsze znaczenie. [3]

Poza niskim zużyciem energii przy obróbce i wykonawstwie drewno jest najbardziej ekologicznym materiałem pod względem emisji dwutlenku węgla. Pochłonięta ilość

CO₂ przez cały okres życia drzewa znacznie przewyższa tę wyemitowaną podczas produkcji drewna budowlanego.



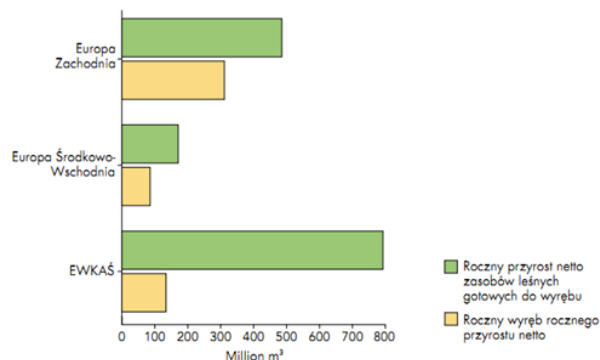
Rys. 2. Porównanie surowców: ekwiwalentna emisja CO₂/pochłanianie CO₂ [4]

Fig. 2. Comparison of materials: equivalent emission and absorption of CO₂

Na podstawie analizy rysunku 2 można zauważyć, że stal emituje najwięcej dwutlenku węgla - nawet 15 tys. kg CO₂/m³, podczas gdy tarcica wykazuje ujemny wskaźnik, gdyż nie tylko nie emituje, ale kumuluje dwutlenek węgla. Wykorzystywanie drewna w budownictwie może przyczyniać się do redukcji koncentracji CO₂ w atmosferze przez długi okres i przez to mieć również znaczący wpływ na zjawisko globalnego ocieplenia. Dwutlenek węgla nie dostanie się do atmosfery dopóty, dopóki budynek nie ulegnie zniszczeniu za 50 lub 100 lat.[5]

3. IDEA ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU I WZGLĘDY EKONOMICZNE

Materiały budowlane wykorzystywane w budownictwie powinny zapewniać spełnienie zasad zrównoważonego rozwoju. Zrównoważony rozwój wymaga projektowania budynków, które będą bezpieczne w użytkowaniu i w maksymalny sposób zapewnią pożądane walory użytkowe, higieniczne i zdrowotne. Ponadto przy wznoszeniu i użytkowaniu budynków powinno się w maksymalny sposób wykorzystać cenne zasoby (teren, surowce naturalne, wodę, energię) w stosunku do uzyskanych efektów w całym cyklu życia i nakładów środowiskowych (wysoka efektywność wykorzystania zasobów). Należy również ograniczyć emisję dwutlenku węgla poprzez eliminowanie materiałów, których produkcja jest zbyt energochłonna. [6]



Rys.3. Wyręb roczny i roczny przyrost netto zasobów drzewostanu gotowego do wycięcia w Europie Zachodniej, Środkowo-Wschodniej oraz Wschodniej, Kaukazu i Azji Środkowej [7]

Fig 3. Annual logging and annual netto growth of forests ready for logging in Western Europe, Middle-East Europe and East Europe, Caucasus and Middle Asia

Z informacji przedstawionych na rys. 3 wynika, że we wszystkich częściach Europy roczny wyręb lasów jest znacznie mniejszy aniżeli ich przyrost. W Rosji wykorzystuje się jedynie 16% rocznego przyrostu, podczas gdy w Europie Zachodniej odsetek ten wynosi 65%, a w Europie Środkowej i Wschodniej 50% [7]. Fakt ten świadczy o tym, że jest materiałem odnawialnym, spełniającym ideę budownictwa zrównoważonego.

Względny ekonomiczny wiąże się m.in. z ilością zużytego materiału w konstrukcji jak również ze sposobem jej wykonania. Każdy system konstrukcyjny wymaga odpowiedniej ilości materiału, a różnica między systemami może mieć istotne znaczenie. Ilość materiału użytego w stalowym słupie może być zredukowana kilkakrotnie poprzez optymalizację projektu; belka kratowa wymaga mniej materiału niż belka o pełnym przekroju, niezależnie od tego czy jest zrobiona z drewna czy stali.

Wybór lekkiej konstrukcji np. drewna zamiast żelbetu w znacznym stopniu redukuje gabaryty fundamentów. Na słabym podłożu geologicznym, np. o wysokim poziomie zwierciadła wody, lub pylastym, obliczono, że użycie lekkiej konstrukcji redukuje zużycie żelbetu na fundamenty z 250 do 150 kg/m² [5]. Natomiast przy wykonywaniu wysokich budynków z drewna użycie ciężkiego sprzętu na placu budowy zostaje zredukowane do minimum, co również ma wpływ na zmniejszenie kosztów budowy.

4. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

Celem poniższych przykładów jest porównanie ilości energii skumulowanej i ilości skumulowanej emisji dwutlenku węgla na 1m² stropów i ścian, odpowiednio wykonanych w technologii żelbetowej, stalowej i drewnianej. Założono, że elementy mają zbliżoną grubość.

Wyniki analiz zestawiono w poniższych tabelach. - ściany:

Tabela 1. Energia skumulowana i emisja CO₂ przypadająca na 1m² ściany

Table 1. Accumulated energy and CO₂ emission related to 1m² of wall

Nazwa elementu	Opis elementu	Grubość	Grubość		Waga	Energia skumulowana	Energia skumulowana	Energia skumulowana	Emisja CO ₂	Emisja CO ₂	Emisja CO ₂
			m	kg/m ²							
ściana zewnętrzna	ściana żelbetowa	1) belka cementowo-wapniowa	0.118	1850	21.8	1.03	29		0.148	4.02	
		2) belka drewniana	0.08	2400	200.0	0.78	488	798	0.168	43.90	0.0
		3) belka stalowa	0.11	30	3.0	86.40	259		2.710	8.73	0.0
		4) belka cementowo-wapniowa	0.118	1850	21.8	1.03	29		0.148	4.02	
		5) belka drewniana	0.08	2400	200.0	0.78	488		0.168	4.02	
ściana zewnętrzna	ściana szkieletowa drewniana	1) belka drewniana OSB 3	0.03	800	18.0	9.90	171		0.810	9.13	
		2) belka drewniana 20x160mm co 80cm	0.1600	420	4.3	7.40	31	248	0.480	1.92	16
		3) belka drewniana	0.01	0.2	0.0	18.00	0		1.200	0.02	
		4) belka stalowa	0.002	92	0.2	134.00	28		4.200	0.77	
		5) belka stalowa	0.02	1	0.0	6.79	0		0.380	0.01	
ściana zewnętrzna	ściana szkieletowa stalowa	1) belka drewniana OSB 3	0.03	800	18.0	9.90	171		0.810	9.13	
		2) belka drewniana 20x160mm co 80cm	0.16	1350	22.3	25.10	881	1044	1.350	24.52	
		3) belka drewniana	0.01	0.2	0.0	18.00	0		1.200	0.02	
		4) belka stalowa	0.002	92	0.2	134.00	28		4.200	0.77	
		5) belka stalowa	0.02	1	0.0	6.79	0		0.380	0.01	

- stropy:

Tabela 2. Energia skumulowana i emisja CO₂ przypadająca na 1m² stropu

Table 2. Accumulated energy and CO₂ emission related to 1m² of floor

Nazwa elementu	Opis elementu	Grubość	Grubość		Waga	Energia skumulowana	Energia skumulowana	Energia skumulowana	Emisja CO ₂	Emisja CO ₂	Emisja CO ₂
			m	kg/m ²							
strop międzyprętowy	strop żelbetowy	1) belka stalowa	0.118	880	8.3	7.40	81		0.480	3.71	
		2) belka drewniana	0.08	1350	10.0	1.33	38	687	0.21	13.38	
		3) belka stalowa	0.04	30	1.2	86.40	104		2.710	3	
		4) belka cementowo-wapniowa	0.002	92	0.2	134.00	28		4.200	0.77	
		5) belka drewniana	0.018	1850	21.8	1.03	29		0.148	4.02	
strop międzyprętowy	strop drewniany	1) belka stalowa	0.118	880	8.3	7.40	81		0.480	3.71	
		2) belka drewniana	0.028	880	13.0	8.30	30	484	0.480	8	32
		3) belka drewniana	0.028	880	13.0	7.40	102		0.480	8.19	
		4) belka cementowo-wapniowa	0.018	1850	21.8	1.03	29		0.148	4.02	
		5) belka drewniana	0.018	1850	21.8	1.03	29		0.148	4.02	
strop międzyprętowy	strop stalowo-drewniany	1) belka stalowa	0.118	880	8.3	7.40	81		0.480	3.71	
		2) belka drewniana	0.04	1350	74.0	1.33	38		0.21	13.38	
		3) belka drewniana	0.08	0.2	0.0	18.00	0		1.200	0.01	
		4) belka stalowa z izolacją	0.118	878	88.1	8.30	430	1247	0.48	28.78	100
		5) belka stalowa z izolacją 150mm	0.048	-	14.9	28.40	178		1.780	28	
strop międzyprętowy	ściana szkieletowa stalowa	1) belka stalowa	0.118	1850	21.8	1.03	29		0.148	4.02	
		2) belka drewniana	0.08	2400	200.0	0.78	488		0.168	4.02	

Na podstawie wyników analiz metodą LCA umieszczonych w tabelach 1 i 2 można stwierdzić, że w przypadku ścian największą wartość energii skumulowanej osiągnęła ściana szkieletowa o konstrukcji stalowej. Wartość energii skumulowanej ściany żelbetowej jest ok. 1,4 razy mniejsza, a ściany szkieletowej drewnianej ok. 4 razy mniejsza. W przypadku stropów podobnie największa ilość skumulowanej energii przypada na strop z belkami stalowymi - jest to wartość ponad 1,8 razy większa niż stropu żelbetowego i ponad 2,6 razy większa niż stropu drewnianego.

Analizując emisję dwutlenku węgla w przypadku ścian największą wartość emisji CO₂ przypada na 1m² ściany wykonanej w konstrukcji żelbetowej - wartość ta jest ok. 1,4 razy większa niż w przypadku ściany szkieletowej stalowej oraz 5 razy większa niż ściany szkieletowej drewnianej. Najmniejszą emisją dwutlenku węgla przypadającą na 1m² stropu charakteryzuje się strop drewniany. Około 2,3 razy większa emisja CO₂ przypada na strop żelbetowy i odpowiednio 4 razy więcej dwutlenku węgla emituje strop Kleina.

5. PODSUMOWANIE

Zastosowanie drewna w procesie budowlanym zapobiega emisji zmagazynowanego w drewnie węgla, który w normalnym procesie rozkładu lub spalania uwolniłby się do atmosfery. Dodając do tego pełną odnawialność surowca i jego „darmową” produkcję w wyniku naturalnych procesów biologicznych drewno stoi na pierwszym miejscu pod względem ekologiczności.

Publikacje przygotowano w ramach projektu: „Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa i trwałości obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju”, umowa o dofinansowanie POIG.01.01.02-10-106/09-01

COMPARATIVE ANALYSIS OF WOOD AS A CONSTRUCTION MATERIAL WITH THE ALTERNATIVE MATERIALS TO BE USED IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY CONSIDERING ENERGY ASPECTS AND THE IDEA OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT.

Summary: The paper presents the results of comparative analysis of LCA method for structural elements of steel, reinforced concrete and timber. The criteria of assessment were: amount of accumulated usage of energy and accumulated emission of CO₂. On the basis of results it can be stated, that in the case of walls - the steel framework wall is characterised by the highest accumulated energy. For the reinforced concrete wall the accumulated energy is about 1,4 times lower and for timber framework wall about 4 times lower. In the case of floors - the floor with steel beams has the highest accumulated energy, which is about 1,8 times as much as for reinforced concrete slab and about 2,6 times as much as for timber floor. Similar results were obtained for accumulated emission of CO₂.

Literatura

- [1] Górczyński J., *Obciążenia środowiska w produkcji wyrobów budowlanych*. Prace naukowe ITB, Warszawa 2004,
- [2] Golański M., *Wybór materiałów budowlanych w kontekście efektywności energetycznej i wpływu środowiskowego*, Budownictwo zeroenergetyczne, Przegląd budowlany 3/2011, str. 76-83,
- [3] Cole R., Kernan P., "Life-cycle energy use in office buildings", *Building and Environment*, vol.31, No.4, str. 307-317,
- [4] "Drewno - surowiec strategiczny?", Instytut Technologii Drewna, 2012,
- [5] Berge B., *The Ecology of Building Materials*, Oxford Architectural Press 2001,
- [6] Runkiewicz L., *Wykonywanie obiektów budowlanych zgodnie z zasadami rozwoju zrównoważonego*, "IZOLACJE, budownictwo przemysł, ekologia 11/12 2009", str.22-25,

- [7] Europejska Agencja Środowiska, "Środowisko Europy: Trzeci Raport Oceny. Streszczenie", Kopenhaga 2003,
- [8] Becker N., *Ressourceneffizienz der Tragwerke*, Zentrum RessourcenEffizienz und Klimaschutz, 01/2013,
- [9] Hammond G., Jones C., *A BSRIA Guide Embodied Carbon*, The Inventory of Carbon and Energy (ICE), 2011,