

pod redakcją naukową
Jerzego Gajewskiego i Wojciecha Paprockiego

Polityka klimatyczna i jej realizacja w pierwszej połowie XXI wieku



PUBLIKACJA
EUROPEJSKIEGO
KONGRESU FINANSOWEGO

Spis treści

Jerzy Gajewski, Wojciech Paprocki

Wprowadzenie 5

Wojciech Paprocki

Jak zmienić postawę *homo sapiens*? 12

Konrad Szpak

Polityka klimatyczna Unii Europejskiej w perspektywie 2050 roku 34

Joanna Kulczycka

Gospodarka o obiegu zamkniętym dla zmian klimatu 54

Michał Drewniak

Redukcja energochłonności w budownictwie 70

Katarzyna Nowicka

Zielone łańcuchy dostaw 4.0 114

Jakub Zawieska

Auto 2.0: ewolucja modelu konsumpcji oraz miejsce samochodu osobowego
w świetle wyzwań klimatycznych i zmian potrzeb mobilności mieszkańców
Europy 136

Wojciech Szymalski

Perspektywa ograniczenia emisji gazów cieplarnianych z transportu
w metropolii – przypadek Warszawy 158

Małgorzata Kacprzak

Usuwanie CO₂ z atmosfery – zalety, wady i wyzwania. 178

Marcin Mrowiec

Ekonomiczne aspekty polityki klimatycznej 202



Michał Drewniak

Dr inż. Michał Drewniak jest absolwentem Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej. Od 2015 r. asystent naukowy na Wydziale Inżynierii Uniwersytetu w Cambridge w grupach badawczych „The Use Less Group” oraz „Resource Efficiency Collective”. Prowadzi działalność badawczą w zakresie minimalizacji energochłonności i śladu węglowego w sektorze budownictwa, ze szczególnym uwzględnieniem efektywnego wykorzystania materiałów konstrukcyjnych. Czynnie uczestniczy w międzynarodowych pracach w tym obszarze.

Wydział Inżynierii, Uniwersytet w Cambridge, Trumpington Street, Cambridge, CB2 1PZ

email: mpd43@cam.ac.uk

<https://orcid.org/0000-0003-1491-3401>

Redukcja energochłonności w budownictwie

Wstęp

Sektor budowlany jest uważany za najbardziej dynamicznie rozwijający się ze wszystkich sektorów gospodarki. Jednocześnie eksploatacja budynków (ogrzewanie, chłodzenie, oświetlenie, gotowanie) pochłania 30% globalnego zużycia energii, co przekłada się na 28% emisji CO₂. Wysokoenergetycznym materiałem znajdującym zastosowanie w budownictwie jest beton, w skład którego wchodzi cement, i stal. Produkcja stali i cementu stosowanych w budynkach odpowiedzialna jest odpowiednio za 4 i 3% globalnych emisji CO₂. Biorąc pod uwagę materiały znajdujące zastosowanie w budownictwie, procesy budowy oraz eksploatację, budynki odpowiedzialne są za 39% globalnych emisji CO₂ i 36% globalnego zużycia energii. W krajach europejskich 58% budynków mieszkalnych i ponad 66% budynków komercyjnych wykorzystuje beton jako główny materiał konstrukcyjny. W krajach europejskich powierzchnia budynków wzrośnie o 15% i 37% odpowiednio w latach 2030 i 2060 w porównaniu z 2015 r. Ponad połowa szacowanego przyrostu powierzchni budynków do 2030 r. będzie powierzchniami mieszkalnymi (55%, 7,1 mld m²), natomiast 45% – powierzchniami komercyjnymi (5,9 mld m²) (IEA, 2017).

W krajach europejskich aż 41% zużycia energii pochodzi z gospodarstw domowych i budynków związanych z usługami komercyjnymi i publicznymi. Szacuje się, że te sektory odpowiedzialne są za około 36% emisji CO₂, a ponad jedna trzecia energii (34%) dla tych sektorów pochodzi ze spalania gazu ziemnego, jedna trzecia (32%) to energia elektryczna, 14% pochodzi z OZE i biopaliw, 11% – ze spalania olejów i produktów naftowych, 7% pozyskiwanych jest z ciepłowni lub elektrociepłowni, natomiast reszta (2%) – z paliw stałych i innych (EC, EEA, 2019; Eurostat, 2019, 2020c).

W sektorze budowlanym redukcja energochłonności i emisyjności jest kluczowym aspektem dążenia do neutralności klimatycznej i należy ją rozpatrywać w dwóch aspektach: operacyjnym, związanym z ogrzewaniem, chłodzeniem, gotowaniem, oświetleniem, używaniem w budynkach urządzeń, oraz śladu węglowego materiałów i procesów budowy. W pierwszym przypadku energochłonność można znacznie zredukować poprzez poprawę termoizolacyjności przegród budowlanych, ze szczególnym uwzględnieniem aktualnych zmian klimatycznych. Pozwoliłoby to na redukcję energochłonności związanej z ogrzewaniem (obecnie 64% energochłonności dla gospodarstw domowych). Redukcja emisyjności budynków byłaby możliwa poprzez zamianę wszystkich urządzeń wykorzystujących paliwa stałe, płynne lub gazowe na urządzenia elektryczne. Korzyści z tego osiągnie się

jednak tylko wtedy, gdy energia elektryczna będzie wytwarzana ze źródeł niskoemisyjnych. W przypadku minimalizacji śladu węglowego największe korzyści przyniesie: zwiększenie efektywności materiałowej (redukcja ilości stosowanego materiału), ponowne wykorzystanie materiałów, maksymalne wydłużenie użytkowania budynków i ich elementów, stosowanie materiałów niskoenergetycznych/niskoemisyjnych. W przypadku użycia stali faworyzowane powinno być ponowne jej użycie (*reuse*), a także wykorzystanie stali pochodzącej z recyklingu (wytwarzanych w elektrycznych piecach łukowych, zasilanych niskoemisyjną energią elektryczną). W krajach europejskich 58% budynków mieszkalnych i ponad 66% budynków komercyjnych wykorzystuje beton jako główny materiał konstrukcyjny. Ponieważ najbardziej energochłonnym i wysokoemisyjnym składnikiem betonu jest cement, w celu zmniejszenia energochłonności i emisyjności należy zintensyfikować substitucję cementu innymi materiałami, które są ubocznymi produktami spalania lub produkcji stali, a w przypadku ich braku (co w niedalekiej przyszłości będzie następstwem dekarbonizacji sektora energetycznego) – kolejnymi substitutami, np. gliną kalcynowaną lub mieloną skałą wapienną. Minimalizacja śladu węglowego budynków może być również uzyskana za pomocą stosowania także innych, niskoemisyjnych materiałów.

Powyższe rozwiązania uwzględniają ogólnie dostępne i powszechnie wykorzystywane technologie. W ostatnich latach opracowano i sprawdzono nowe, niskoemisyjne technologie produkcji materiałów i pozyskiwania energii. W ich skład wchodzi: wykorzystywanie wodoru, zarówno do produkcji wysokoemisyjnych materiałów (np. stali), jak i do zastosowania w budownictwie (ogrzewania, gotowania), a także odzysk ciepła w instalacjach produkcyjnych oraz magazynowanie energii cieplnej, która może być wykorzystana do produkcji energii elektrycznej.

W przedstawionej pracy zostały wskazane rozwiązania, które mogłyby mieć zastosowanie w krajach europejskich w celu redukcji energochłonności i emisyjności sektora budowlanego, zakładając wykorzystanie dostępnych technologii. Przedstawiono również opcje możliwe do wykorzystania w niedalekiej przyszłości. W większości przypadków można znaleźć ograniczenia dla wprowadzenia innowacyjnych rozwiązań, których źródła leżą w obszarach społecznym i ekonomicznym, a nie w braku dostępności do nowych technologii.

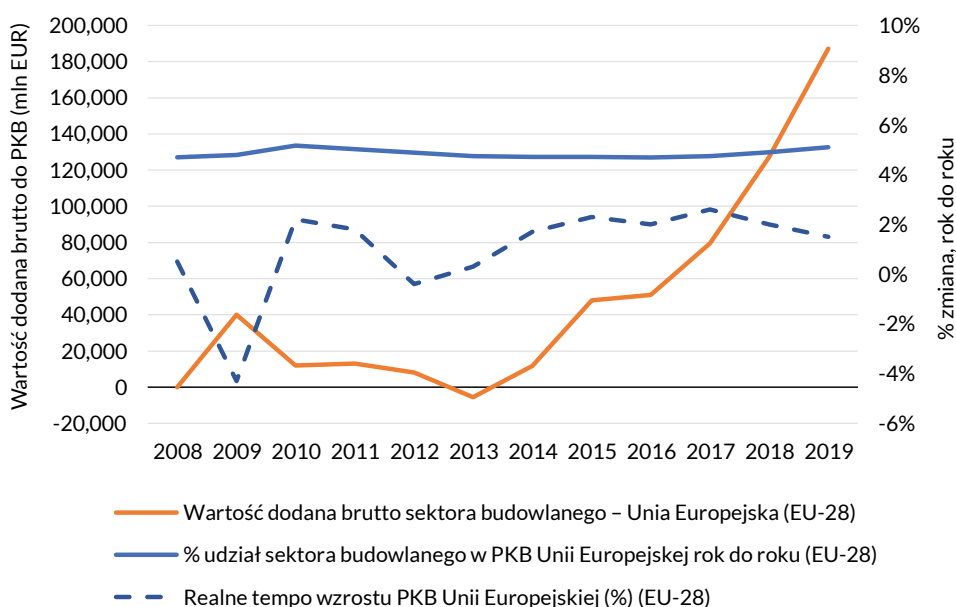
1. Globalny i europejski rynek budowlany

1.1. Wartość rynku budowlanego

Wartość globalnego rynku budowlanego w 2015 r. wynosiła 8 350 mld USD i szacuje się, że wzrośnie o 85% w 2030 r., do poziomu 15 500 mld USD (GCP, OE, 2015). Procentowy udział sektora budowlanego w globalnym PKB w 2014 r. wynosił 12,4%, natomiast w 2030 r. według szacunków wzrośnie do 14,7% (GCP, OE, 2015). Chiny, USA i Indie będą miały łącznie 57% udziału we wzroście wartości rynku budowlanego. Do 2030 r. szacowany roczny wzrost ma wynosić 3,9%, tym samym sektor budowlany uznawany jest za jedną z najbardziej dynamicznie rozwijających się ga-

łęzi przemysłu (GCP, OE, 2015). W 2018 r. wzrost okazał się jednak dużo większy, niż zakładano pierwotnie, i osiągnął 11 400 mld USD. W skorygowanej prognozie, która została przygotowana przed pandemią COVID-19, przyjęto, że wartość rynku globalnego w 2025 r. osiągnie 15 000 mld USD (Deloitte, 2019). Wyróżniającym się rynkiem wzrostu cechuje się Wielka Brytania, wyprzedzając Niemcy i według prognoz do 2030 r. zostanie największym w Europie i szóstym co do wielkości na świecie rynkiem budowlanym (GCP, OE, 2015).

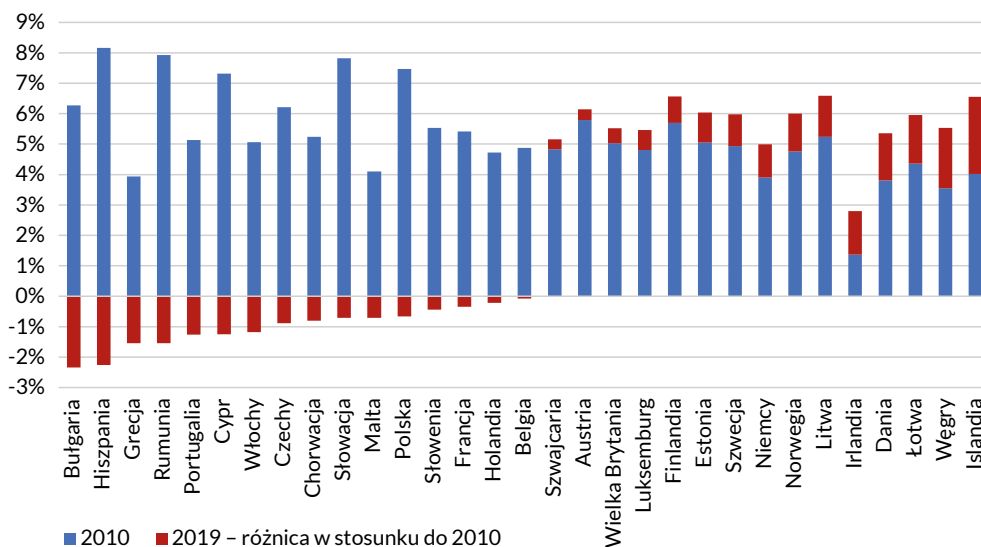
W Unii Europejskiej w minionych 12 latach realne tempo zmian PKB wahało się pomiędzy 4,3% a 2,6%, z czego najniższy wskaźnik wystąpił w 2009 r. Od 2015 r. pozostawał on na poziomie około 2%, a najwyższe tempo wzrostu, na poziomie 2,7%, zanotowano w 2017 r. (Eurostat, 2020a) (Rys. 1). W ostatniej dekadzie procentowy udział sektora budowlanego w PKB UE był na stałym poziomie wynoszącym 5,0% $\pm$ 0,3%. Wartość dodana brutto rynku budowlanego w latach 2013–2019 wyniosła 192,5 mln EUR (Eurostat, 2020b) (Rys. 1).



Rys. 1. Realne tempo wzrost PKB w Unii Europejskiej (Eurostat, 2020a), % udział sektora budowlanego w PKB UE i wartość dodana brutto rynku budowlanego

Źródło: Eurostat. (2020b). Gross value added at current basic prices, 2009 and 2019 (% share of total gross value added). Pozyskano z: <https://bit.ly/2JS26iF>

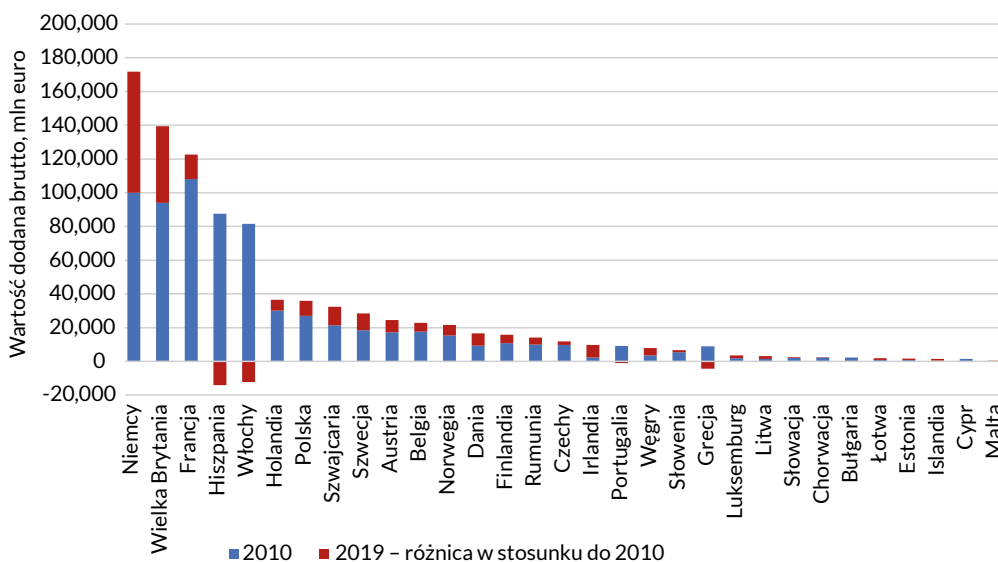
Udział rynku budowlanego w PKB poszczególnych krajów na przestrzeni ostatniej dekady kształtował się na różnym poziomie. W 2019 r. największy udział miała Słowacja (7,1%) tuż przed Polską (6,8%). Największy spadek udziału sektora budowlanego w PKB na przestrzeni 2010–2019 odnotowała Bułgaria, z 6,3% do 3,9%, oraz Hiszpania, z 8,2% do 5,9%. Największy wzrost zanotowały: Islandia z 4,0% do 6,6% oraz Węgry z 3,3% do 5,5% (Eurostat, 2020a; 2020b) (Rys. 2).



Rys. 2. Udział rynku budowlanego w PKB dla różnych krajów europejskich

Źródło: Eurostat. (2020a). Gross domestic product at market prices. Pozyskano z: <https://bit.ly/3aUjKP0>; Eurostat. (2020b). Gross value added at current basic prices, 2009 and 2019 (% share of total gross value added). Pozyskano z: <https://bit.ly/2JS26iF>

W 2019 r. w Niemczech, Wielkiej Brytanii i Francji zanotowano wśród krajów europejskich najwyższą wartość dodaną brutto w sektorze budowlanym, odpowiednio 171 732, 139 437 oraz 122 605 mln EUR (Rys. 3) (Eurostat, 2020b).



Rys. 3. Sektor budowlany – wartość dodana brutto krajów europejskich

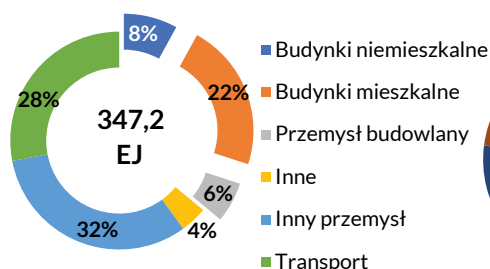
Źródło: Eurostat. (2020b). Gross value added at current basic prices, 2009 and 2019 (% share of total gross value added). Pozyskano z: <https://bit.ly/2JS26iF>

1.2. Energochłonność i emisyjność rynku budowlanego – globalnego i europejskiego

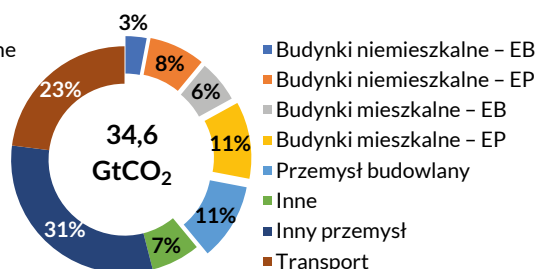
Energochłonność i emisyjność globalnego rynku budowlanego

Energochłonność i emisyjność sektora budowlanego wzrasta z roku na rok. W 2018 r., w porównaniu do 2017 r., wzrost określono na poziome 2% i 1%, odpowiednio dla dwutlenku węgla i finalnej energii. W 2018 r. w wartościach bezwzględnych osiągnięto poziom emisji 13,5 gigaton CO₂ i zużycia 128 exadżuli (EJ) energii. Powoduje to, że sektor budowlany odpowiedzialny jest za 36% globalnego zużycia energii i 39% globalnych emisji CO₂ (GABC, IEA, 2019). Budynki odpowiedzialne są za 30% globalnego zużycia energii podczas eksploatacji, co przekłada się na 28% emisji CO₂ (GABC, IEA, 2018), nie wliczając procesu produkcji materiałów i ich wznoszenia (Rys. 4).

Energochłonność globalna wg sektorów (2018)



Emisyjność globalna wg sektorów (2018)

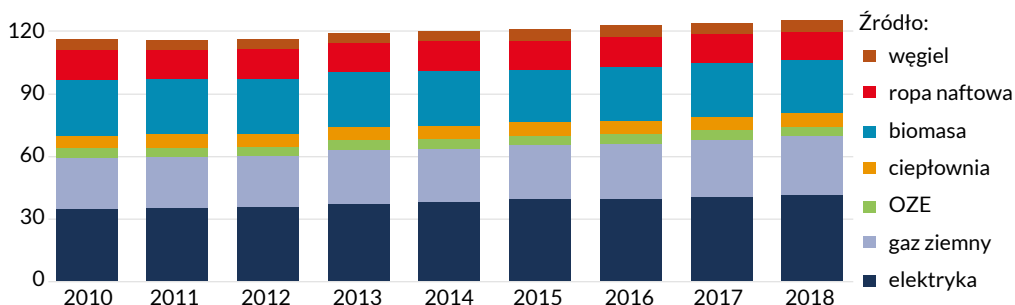


Rys. 4. Globalna energochłonność i emisyjność w 2018 r. (GABC, IEA, 2019) (EB – emisje bezpośrednie, EP – emisje pośrednie), szacowana przez IEA emisyjność w 2018 wynosi 33,1 Gt CO₂ (IEA, 2018), w 2016 emisyjność określona była na poziomie 36,7 Gt CO₂ (WRI, 2017)

Źródło: GABC, IEA. (2019). *Global Status Report 2019 – Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector*. Global Alliance for Building, Construction and International Energy Agency. Pozyskano z: <http://bit.ly/2Imepmb>; IEA. (2018). *Global Energy & CO₂ Status Report. The latest trends in energy and emissions in 2018*. Pozyskano z: <https://www.iea.org/geco>; WRI. (2017). *World Greenhouse Gas Emissions: 2016*. World Resources Institute. Pozyskano z: <https://bit.ly/3dJ39iJ>

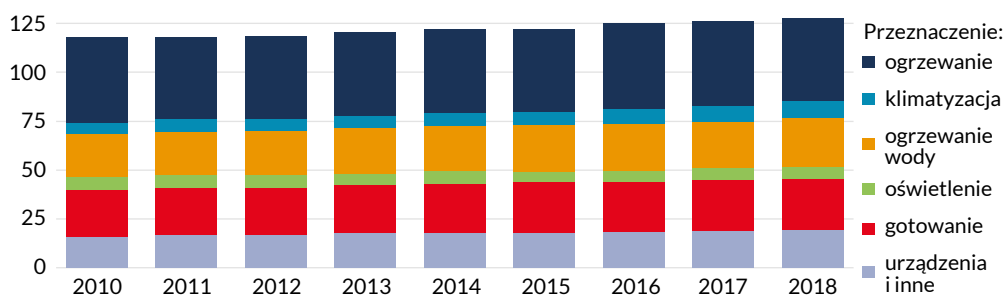
W 2018 r. 38% globalnej energii elektrycznej pochodziło ze spalania węgla kamiennego, 23% ze spalania gazu ziemnego, 3% ze spalania oleju, 10% z energii nuklearnej. Reszta pochodziła ze źródeł odnawialnych (IEA, 2020). W tym samy roku globalne zużycie energii w budynkach wynosiło 128 EJ (wzrost o ok. 4% w porównaniu z 2010 r.). Było ono związane głównie ze zużyciem energii elektrycznej, spalaniem gazu ziemnego oraz biomasy, w mniejszym stopniu spalaniem oleju opałowego czy energii pochodzącej z elektrociepłowni. Energia ze spalania węgla czy pozyskiwana ze źródeł odnawialnych stanowiła łącznie około 5% (Rys. 5). Jedna trzecia energii była wykorzystywana do ogrzewania pomieszczeń, po około 20% do podgrzewania wody i gotowania. Pozostała część związana była z używaniem urządzeń, chłodzeniem pomieszczeń, oświetleniem (Rys. 6). Wzrost energochłonności związany jest ze wzrostem liczby nowych budynków, a ich budowa ze wzrostem populacji (Rys. 7). Pomimo gwałtownego wzrostu powierzchni budynków energochłonność w przeliczeniu na jednost-

kę powierzchni znacząco spada w przypadku ogrzewania i oświetlenia, w mniejszym stopniu ogrzewania wody i gotowania. Od 2010 r. energochłonność urządzeń utrzymuje się na w miarę stałym poziomie. Jednak gwałtowny wzrost można zauważyć w przypadku energochłonności klimatyzacji, szczególnie od 2014 r. (Rys. 8).



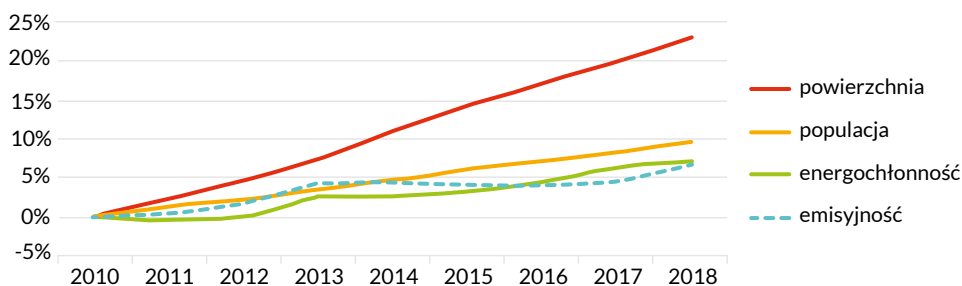
Rys. 5. Zużycie energii w sektorze budownictwa wg źródła (OZE – odnawialne źródła energii)

Źródło: GABC, IEA. (2019). *Global Status Report 2019 – Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector*. Global Alliance for Building, Construction and International Energy Agency. Pozyskano z: <http://bit.ly/2Imepmb>



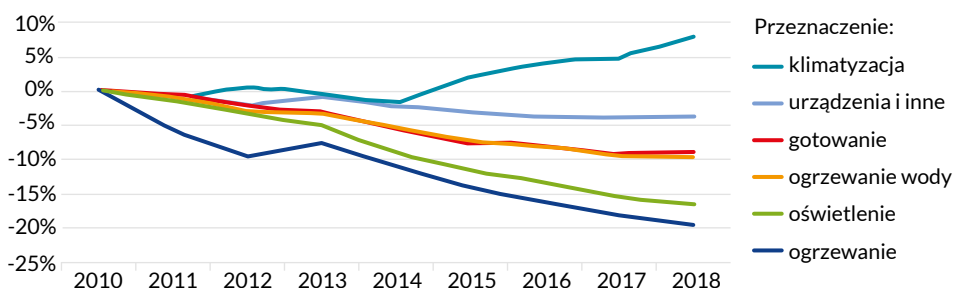
Rys. 6. Zużycie energii w sektorze budownictwa wg przeznaczenia

Źródło: GABC, IEA. (2019). *Global Status Report 2019 – Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector*. Global Alliance for Building, Construction and International Energy Agency. Pozyskano z: <http://bit.ly/2Imepmb>



Rys. 7. Sektor budowlany – zmiana globalnej powierzchni budynków, populacji, energochłonności i emisyjności

Źródło: GABC, IEA. (2019). *Global Status Report 2019 – Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector*. Global Alliance for Building, Construction and International Energy Agency. Pozyskano z: <http://bit.ly/2Imepmb>

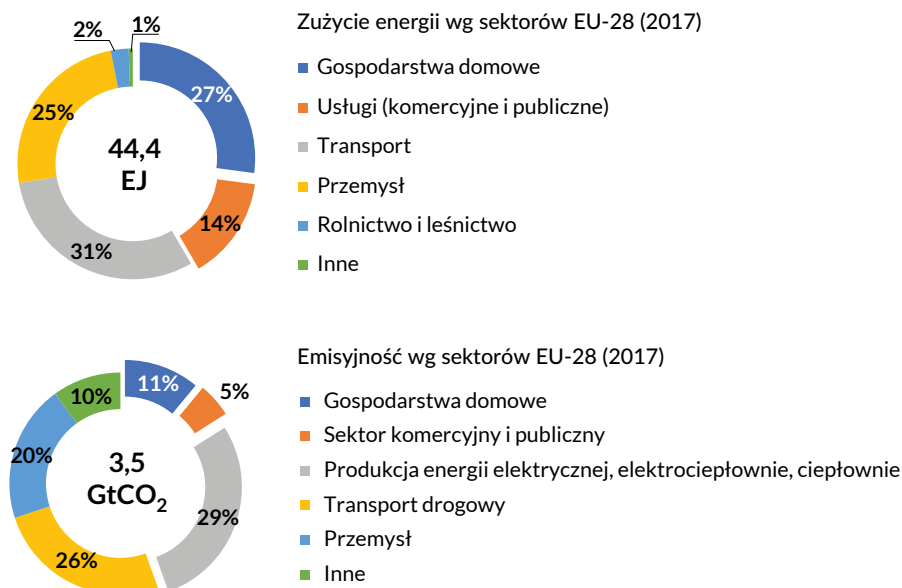


Rys. 8. Zużycie energii w sektorze budownictwa wg przeznaczenia na m² powierzchni

Źródło: GABC, IEA. (2019). *Global Status Report 2019 – Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector*. Global Alliance for Building, Construction and International Energy Agency. Pozyskano z: <http://bit.ly/2Imepmb>

Energochłonność i emisyjność europejskiego rynku budowlanego

W 2017 r. zużycie energii w krajach Unii Europejskiej (EU-28) wyniosło 44,4 EJ (Eurostat, 2019). Ponad 40% dotyczyło gospodarstw domowych (12,0 EJ) oraz usług komercyjnych i publicznych (6,4 EJ) (Rys. 9, górna część).



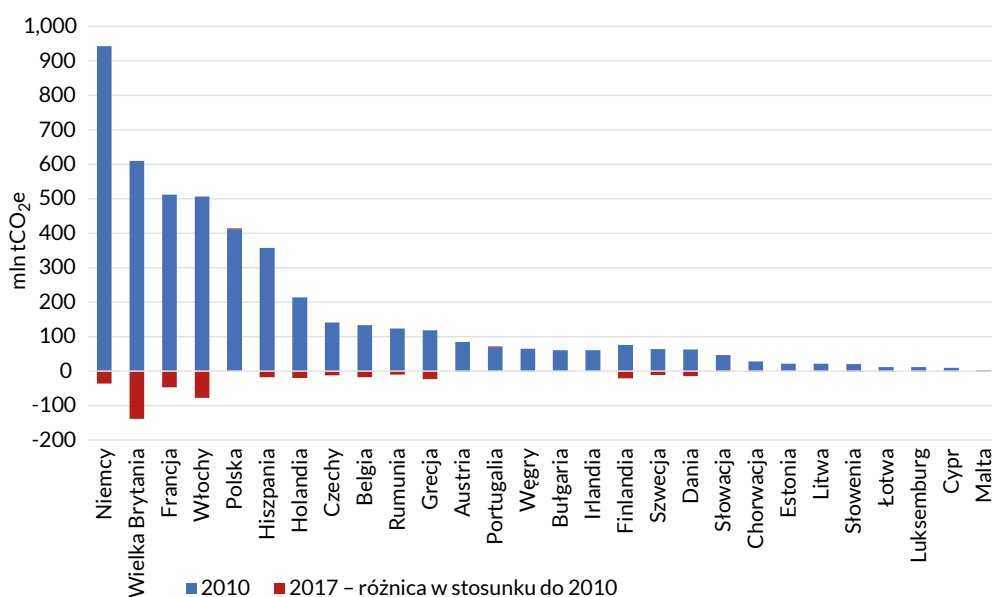
Rys. 9. Zużycie energii (u góry) (Eurostat, 2019) i emisyjność (u dołu) (EC, EEA, 2019) według sektorów

Źródło: Eurostat. (2019). *Energy, transport and environment statistics. Statistical Book*. Pozyskano z: <https://bit.ly/33Pc53s>; EC, EEA. (2019). *Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2017 and inventory report 2019*. EEA/PUBL/2019/051. Pozyskano z: <https://bit.ly/2XIVVoF>

Emisyjność UE-28 w 2017 r. wyniosła 3,5 Gt CO₂ (Rys. 9, część dolna) (EC, EEA, 2019), co przy emisji globalnej wynoszącej 33,1 Gt CO₂ (Eurostat, 2020a) stanowiło 10,5%. Gospodarstwa domowe, sektor komercyjny i publiczny oraz produkcja

energii elektrycznej stanowiły 44% emisji CO₂. W przypadku gospodarstw domowych emisje dotyczą jedynie spalania paliw stałych i płynnych w ich obrębie. Dla sektora komercyjnego i publicznego emisyjność obejmuje wszystkie źródła spalania, które wykorzystywane są do ogrzewania hal produkcyjnych i budynków operacyjnych w instytucjach, obiektach handlowych i usługowych. Brak jest jednak danych dotyczących udziału poszczególnych nośników wtórnych.

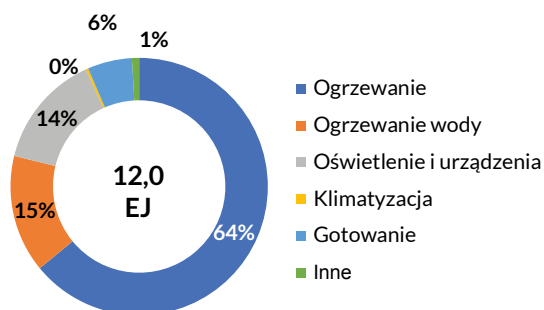
Uwzględniając, oprócz CO₂ inne gazy cieplarniane, tj. m.in. CH₄, N₂O, HFC, emisyjność w jednostkach przeliczeniowych wynosi 4,3 Gt CO_{2e} (EC, EEA, 2019). Krajami europejskimi, które charakteryzują się największą emisyjnością, są Niemcy, Wielka Brytania, Francja i Hiszpania (Rys. 10). W ciągu ostatnich siedmiu lat w Wielkiej Brytanii i Hiszpanii nastąpił największy bezwzględny spadek emisji gazów cieplarnianych.



Rys. 10. Zmiana emisji gazów cieplarnianych państw UE w latach 2010–2017

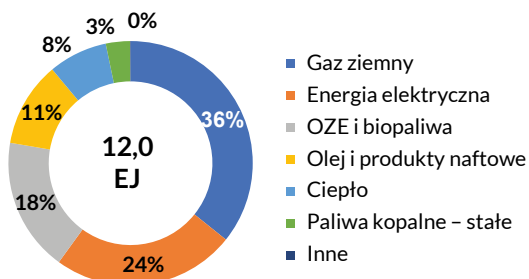
Źródło: EC, EEA. (2019). *Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2017 and inventory report 2019*. EEA/PUBL/2019/051. Pozyskano z: <https://bit.ly/2XIVVoF>

W przypadku gospodarstw domowych 64% energii służyło do ogrzewania pomieszczeń (Rys. 11), z czego 43% pochodziło z gazu ziemnego, 23% ze źródeł odnawialnych oraz 14% z ze spalania olejów i produktów naftowych (Rys. 12 oraz Tab. 1). Odpowiednio 14,8% oraz 14,4% energii służyło do ogrzewania wody i oświetlenia oraz obsługi urządzeń. W przypadku ogrzewania wody 48% energii pozyskiwano z gazu ziemnego oraz 19% z energii elektrycznej (Tab. 1). Cała energia służąca do oświetlenia i obsługi urządzeń pochodziła z energii elektrycznej (Tab. 1). Gotowanie odpowiada za 5,6% całkowitego zużycia energii, której niemal połowa (48%) pochodziła z energii elektrycznej, a 34% z gazu ziemnego (Tab. 1). Zużycie energii do chłodzenia pomieszczeń wynosiło niecałe 0,3% całkowitej energii w sektorze gospodarstw domowych.



Rys. 11. Zużycie energii wg przeznaczenia w gospodarstwach domowych EU-28 (2017)

Źródło: Eurostat. (2020c). Simplified energy balances [nrg_bal_s]. Pozyskano z: <https://bit.ly/3fMNLS9>



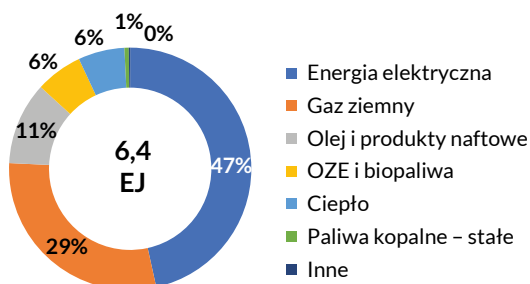
Rys. 12. Zużycie energii dla gospodarstw domowych według źródła energii EU-28 (2017)

Źródło: Eurostat. (2020c). Simplified energy balances [nrg_bal_s]. Pozyskano z: <https://bit.ly/3fMNLS9>

Tab. 1. Procentowe zużycie energii dla gospodarstw domowych według źródła i przeznaczenia

Źródła energii	Ogrzewanie	Klimatyzacja	Ogrzewanie wody	Gotowanie	Oświetlenie i urządzenia	Inne	Razem
Energia elektryczna	3,4	0,3	2,8	2,7	14,4	0,7	24,3
Ciepłownia	6,1	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	7,8
Gaz ziemny	27,6	0,0	7,1	1,9	0,0	0,0	36,5
Paliwa stałe	3,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	3,3
Olej i produkty naftowe	9,0	0,0	1,6	0,7	0,0	0,1	11,3
Odnawialne źródła energii i odpady	15,0	0,3	1,5	0,3	0,0	0,1	16,8
Razem:	64,1	0,3	14,8	5,6	14,4	0,9	100%

Źródło: Eurostat. (2019). *Energy, transport and environment statistics. Statistical Book*. Pozyskano z: <https://bit.ly/33Pc53s>



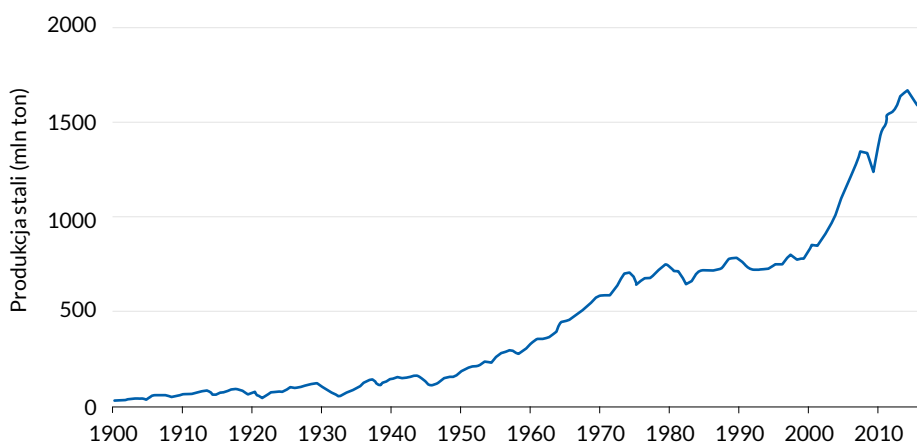
Rys. 13. Zużycie energii w sektorze usług komercyjnych i publicznych

Źródło: Eurostat. (2020c). Simplified energy balances [nrg_bal_s]. Pozyskano z: <https://bit.ly/3fMNLS9>

W przypadku usług komercyjnych i publicznych niemal połowa energii (47%) pochodziła z energii elektrycznej, 29% z gazu ziemnego i 11% ze spalania olejów i produktów naftowych (Rys. 13).

1.3. Materiały używane w budownictwie – globalny i europejski rynek budowlany

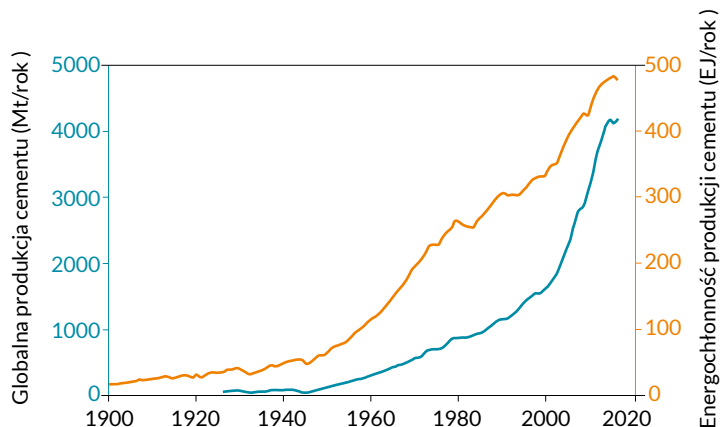
Głównymi i najbardziej energochłonnymi materiałami używanymi w budownictwie jest stal i beton. Wysokoemisyjnym składnikiem betonu jest cement. W 2017 r. produkcja stali i cementu stanowiła 12% globalnego zużycia energii i 13% globalnej emisji CO₂ (IEA, 2019a). W 2019 r. produkcja stali wzrosła w porównaniu do 2018 r. o 3,4% i aż o 120% w porównaniu z 2000 r., do poziomu 1 870 Mt (WorldSteel, 2020) (Rys. 14). Ponad połowa masy wyrobów stalowych (996 Mt) była produkowana z Chinach, a jedynie 8,5% (160 Mt) w Unii Europejskiej (EU-28). Ponad połowa wyrobów stalowych ma zastosowanie w budownictwie (budynkach i infrastrukturze), co powoduje, że sektor ten jest odpowiedzialny za około 4% globalnych emisji CO₂ (WSA, 2019b; 2018).



Rys. 14. Globalna produkcja stali

Źródło: WSA. (2019a). *Steel Statistical Yearbooks*, WSA. Pozyskano z: <http://bit.ly/2DzmVg3>

Produkcja cementu w 2019 r. wynosiła 4 200 Mt (statista, 2020) i gwałtownie wzrosła od 2000 r. (Andrew, 2018) (Rys. 15). Największym producentem cementu są Chiny, odpowiadające za ponad połowę produkcji (2 200 Mt) (statista, 2020), natomiast kraje europejskie odpowiadają za niecałe 4,2% produkcji globalnej (175 Mt) (ECA, Cembureau, 2019). Połowa globalnej produkcji cementu używana jest w budynkach, reszta w obiektach inżynierskich, takich jak drogi, mosty i inna infrastruktura techniczna i transportowa (IEA, 2019a).



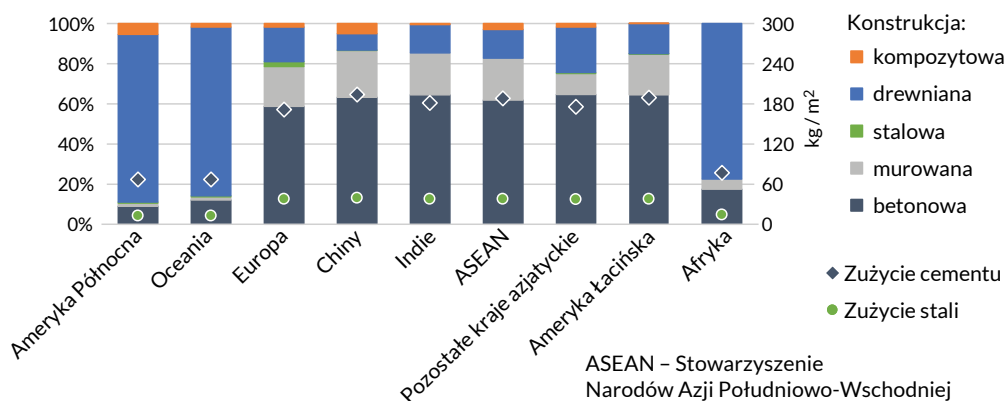
Rys. 15. Globalna produkcja cementu

Źródło: Andrew, R. M. (2018). Global CO₂ emissions from cement production. *Earth System Science Data*, 10(1), 195.

Różnorodność klimatu, dostępność i cena materiałów oraz lokalne podejście do projektowania i budowy powoduje, że rodzaj materiałów konstrukcyjnych w budynkach w różnych regionach może być znacząco odmienny, zarówno dla budynków mieszkalnych, jak i komercyjnych (Rys. 16 oraz Rys. 17). W krajach europejskich 58% budynków mieszkalnych i ponad 66% budynków komercyjnych wykorzystuje jako główny materiał konstrukcyjny beton. Budynki o konstrukcji betonowej charakteryzują się znacznie większą intensywnością materiału na jednostkę powierzchni. Co więcej, cement/beton, w odróżnieniu od stali, jest regionalnym materiałem budowlanym. Powoduje to, że ciężar produkcji i emisyjności ponoszony jest w państwach, w których jest używany.

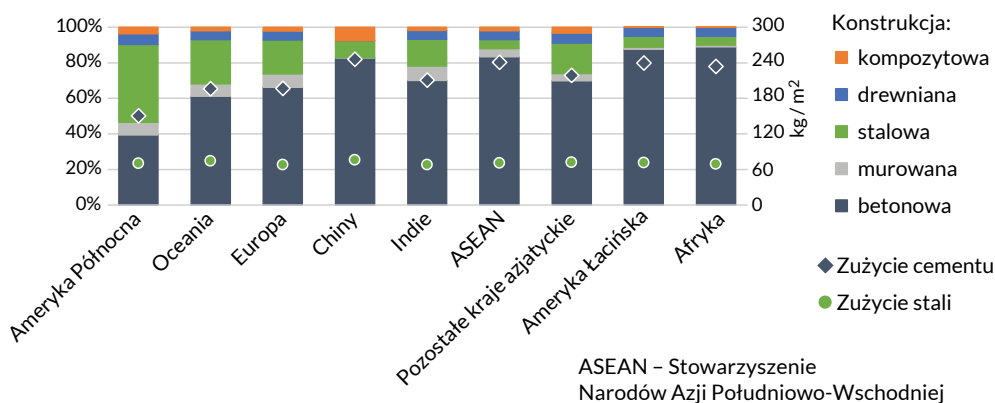
Oprócz betonu (58%) materiałami konstrukcyjnymi wykorzystywanymi w budynkach mieszkalnych w krajach europejskich są elementy małogabarytowe (cegła, pustak) z udziałem 18%, drewno (15%), elementy kompozytowe (5%) oraz stal (4%).

W budynkach komercyjnych, poza zbrojonym betonem (66%), są używane stal konstrukcyjna z udziałem 21%, elementy małogabarytowe (7%), drewno (4%), elementy kompozytowe (2%).



Rys. 16. Budynki mieszkalne ze względu na rodzaj materiału oraz intensywność cementu i stali na m² powierzchni budynku (2017)

Źródło: GABC, IEA. (2018). *Global Status Report 2018 – Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector*. Global Alliance for Building and Construction, International Energy Agency. Pozyskano z: <http://bit.ly/2Imepmb>

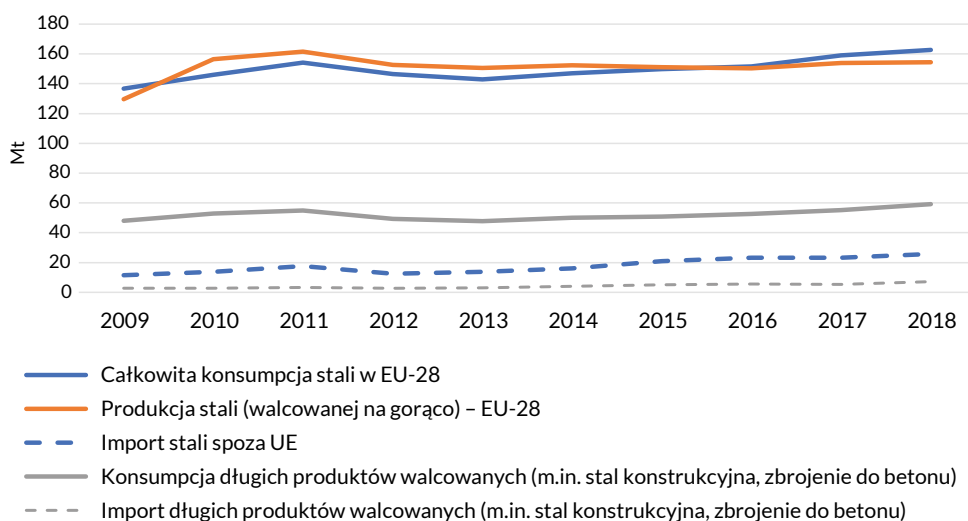


Rys. 17. Budynki komercyjne ze względu na rodzaj materiału oraz intensywność cementu i stali na m² powierzchni budynku (2017)

Źródło: GABC, IEA. (2018). *Global Status Report 2018 – Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector*. Global Alliance for Building and Construction, International Energy Agency. Pozyskano z: <http://bit.ly/2Imepmb>

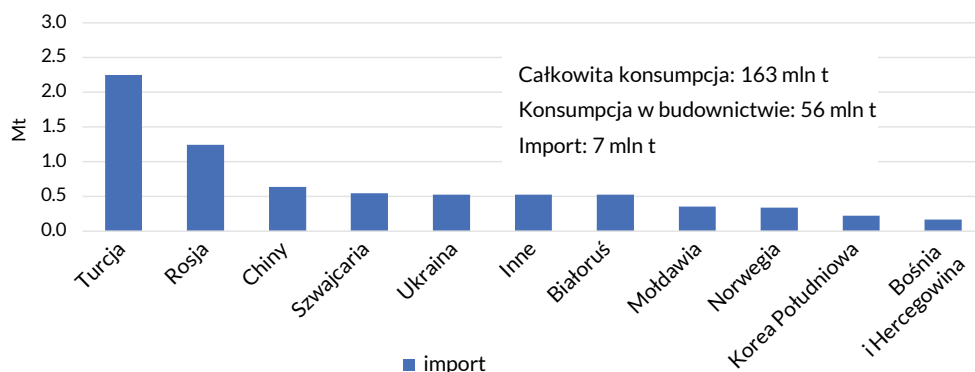
Jak wspomniano powyżej, stal nie jest produktem regionalnym – w odróżnieniu od cementu, który może być przewożony na dowolne odległości i składowany w nieograniczonym czasie. Warto zauważyć, że całkowita konsumpcja stali w EU-28 w 2018 r. wynosiła 163 Mt, produkcja natomiast – 155 Mt (import do EU-28 wynosił 29 Mt, export poza UE-28 – 21 Mt). Od 2016 r. można zauważyć nieznaczny wzrost konsumpcji stali (Rys. 18) (Eurofer, 2020; WorldSteel, 2020; WSA, 2019a). 56 Mt stali (34% konsumpcji stali EU-28) jest wykorzystywane w budownictwie (Eurofer, 2020) (kolor szary na Rys. 18). 13% stali używanej w budownictwie (7 Mt) jest importowane

spoza krajów UE (szara linia przerywana na Rys. 18), głównie Turcji i Rosji (Rys. 19). Udział wysokoemisyjnej produkcji stali z rud żelaza (w piecach martenowskich – BOF) i ze złomu stalowego (w elektrycznych piecach łukowych – EAF) dla tych krajów wynosi odpowiednio 30/70 i 70/30 (WSA, 2019a). Należy wspomnieć, iż średni udział tych dwóch sposobów produkcji w EU-28 wynosi 60/40. Dla poszczególnych krajów wyszczególniony jest na rysunku (Rys. 20).



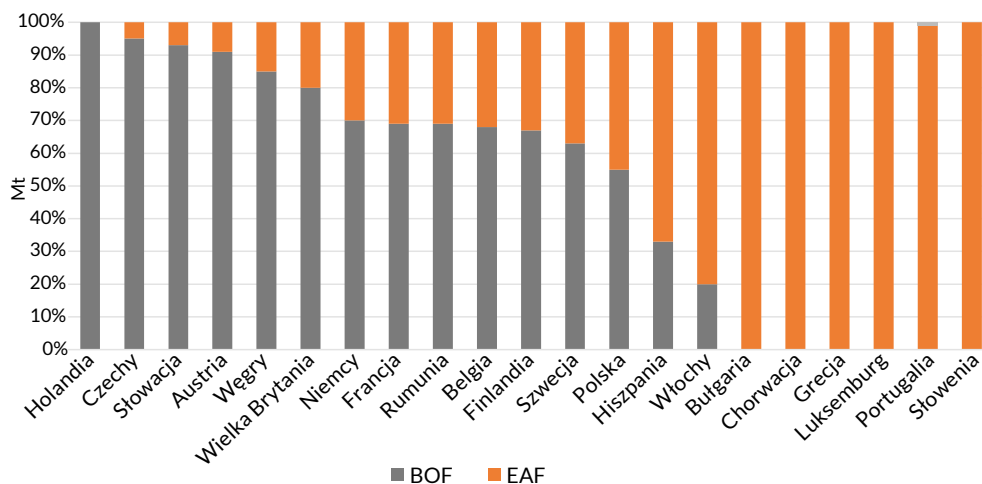
Rys. 18. Produkcja i konsumpcja stali państw UE oraz import

Źródło: Eurofer. (2020). *European Steel in Figures*. Pozyskano z: <https://www.eurofer.eu/assets/Uploads/European-Steel-in-Figures-2020.pdf>; WorldSteel. (2020). *World Crude Steel Production – Summary*. *WorldSteel*. Pozyskano z: <https://bit.ly/2KtFdTn>; WSA. (2019a). *Steel Statistical Yearbooks*. WSA. Pozyskano z: <http://bit.ly/2DzmVg3>



Rys. 19. Import długich produktów walcowanych (m.in. stal konstrukcyjna, zbrojenie do betonu) (2018)

Źródło: Eurofer. (2020). *European Steel in Figures*. Pozyskano z: <https://www.eurofer.eu/assets/Uploads/European-Steel-in-Figures-2020.pdf>

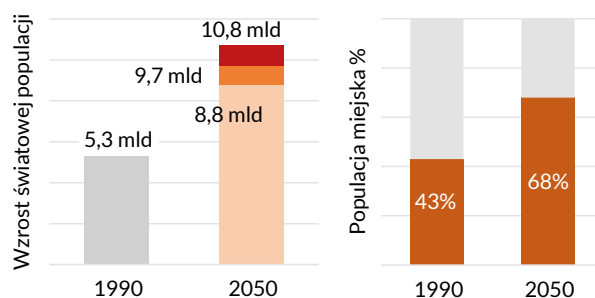


Rys. 20. Sposób produkcji stali dla różnych krajów EU-28

Źródło: WSA. (2019a). *Steel Statistical Yearbooks*. WSA. Pozyskano z: <http://bit.ly/2DzmVg3>

1.4. Wzrost populacji a planowany wzrost powierzchni budynków – rynek globalny i europejski

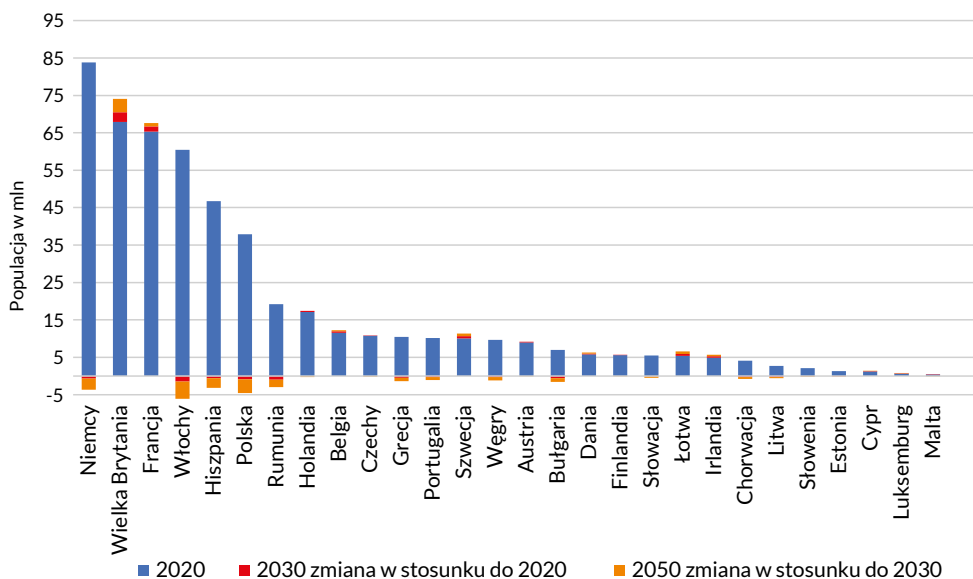
Według szacunków globalna populacja mieszkańców globu wzrośnie dwukrotnie do 2050 r. w porównaniu z 1990 r. (Rys. 21) i osiągnie 10,8 mld. W porównaniu z 2017 r. wzrost szacuje się na 40% do 2050 r. (Population, 2019). Wzrost populacji, rozwój krajów rozwijających się, jak również migracja ludzi do miast, spowodują znaczące zapotrzebowanie na nowe budynki.



Rys. 21. Szacunkowy wzrost populacji (z lewej), populacja miejska (z prawej)

Źródło: Population. (2019). *World Population Review 2019*. Pozyskano z: <http://worldpopulationreview.com/>

Według szacunków ONZ populacja Europy w 2030 r. zmaleje o 1% i aż o 10% w 2050 r. w stosunku do 2020, osiągając 710 mln (UN, 2019). Największy przyrost populacji szacowany jest w Wielkiej Brytanii i Francji, odpowiednio 6,1 oraz 2,3 mln. Największy spadek populacji szacuje się we Włoszech (o 6,1mln), Polsce (o 4,6 mln), Niemczech (o 3,7 mln), Hiszpanii i Rumunii (o 3,0 mln) (Rys. 22).



Rys. 22. Zmiana populacji krajów europejskich w latach 2020–2050

Źródło: UN. (2019). *Probabilistic Population Projections Rev. 1 based on the World Population Prospects 2019 Rev. 1*. Pozyskano z: <http://population.un.org/wpp/>

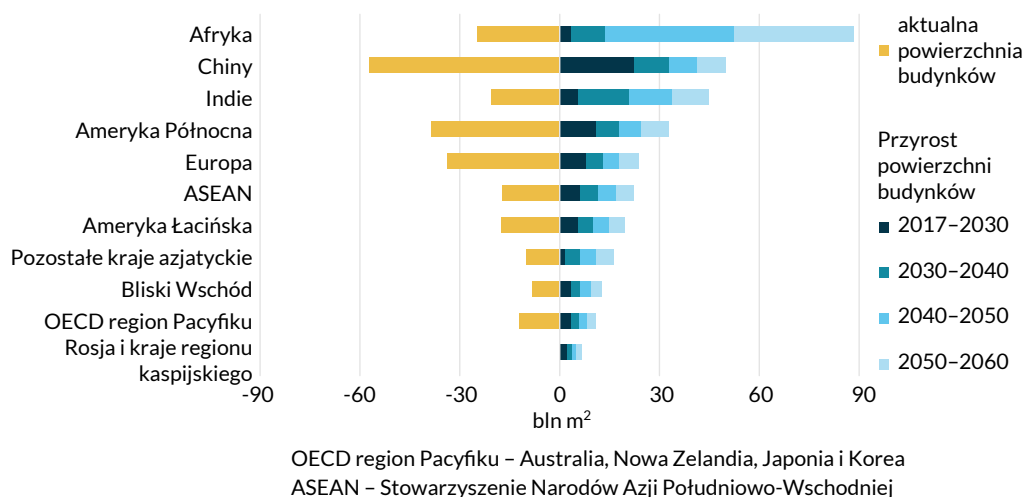
Całkowita globalna powierzchnia budynków wzrosła o 55% w porównaniu z 2000 r., osiągając w 2015 r. prawie 223 mld m² (IEA, 2017). Według szacunków do 2060 r. globalna powierzchnia budynków ulegnie podwojeniu do 453 mld m² w porównaniu z 2015 r., szczególnie w krajach rozwijających się (GABC, IEA, 2017; 2018; IEA, 2019b). Do roku 2030 i 2050 globalna powierzchnia budynków wzrośnie odpowiednio o 41% i 86% w porównaniu z 2015 r. (Tab. 2, Rys. 23).

Największy bezwzględny przyrost szacowany jest w Chinach i Indiach. W Europie Zachodniej przyrost do 2030 r. i 2050 r. szacowany jest odpowiednio o 15,1% i 23,8% (Tab. 1). Odpowiada to globalnemu przyrostowi powierzchni o odpowiednio 2,0% i 3,2%. Stosunkowo mały przyrost powierzchni budynków w Europie, szczególnie w przypadkach krajów rozwiniętych, spowodowany jest malejącą populacją i istniejącymi już zasobami budowlanymi. Szacuje się, że 65% zapotrzebowania budynków w 2060 w krajach OECD (Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju) została już wybudowana (GABC, IEA, 2017).

Tab. 2. Szacunkowy przyrost powierzchni budynków (%) w porównaniu z 2015 r. (GPB – globalna powierzchnia budynków)

	mld m ²	mld m ²	% zmiana w stosunku do 2015 r.	% zmiana w stosunku do 2015 r. GPB	mld m ²	% zmiana w stosunku do 2015 r.	% zmiana w stosunku do 2015 r. GPB
Region / kraj/rok	2015	2030	2030	2030	2050	2050	2050
Ameryka Północna	38,1	47,1	23,6%	4,0%	56,8	49,1%	8,4%
Europa Zachodnia	29,8	34,3	15,1%	2,0%	36,9	23,8%	3,2%
Eurazja	9,8	13,1	33,7%	1,5%	14,9	52,0%	2,3%
Chiny	57,8	79,3	37,2%	9,6%	84,9	46,9%	12,1%
Indie	15,8	32,1	103,2%	7,3%	57,6	264,6%	18,7%
Korea i Japonia	9,8	10,9	11,2%	0,5%	11,1	13,3%	0,6%
Azja Południowo-Wschodnia	15,6	23,8	52,6%	3,7%	32,3	107,1%	7,5%
Australia i Oceania	2,1	2,7	28,6%	0,3%	3,4	61,9%	0,6%
Ameryka Łacińska	19,3	29,1	50,8%	4,4%	43,1	123,3%	10,7%
Bliski Wschód	8,0	12,7	58,8%	2,1%	18,2	127,5%	4,6%
Afryka	17,3	30,3	75,1%	5,8%	56,0	223,7%	17,3%
Świat (GPB)	223,4	315,4	41,0%		415,2	86,0%	

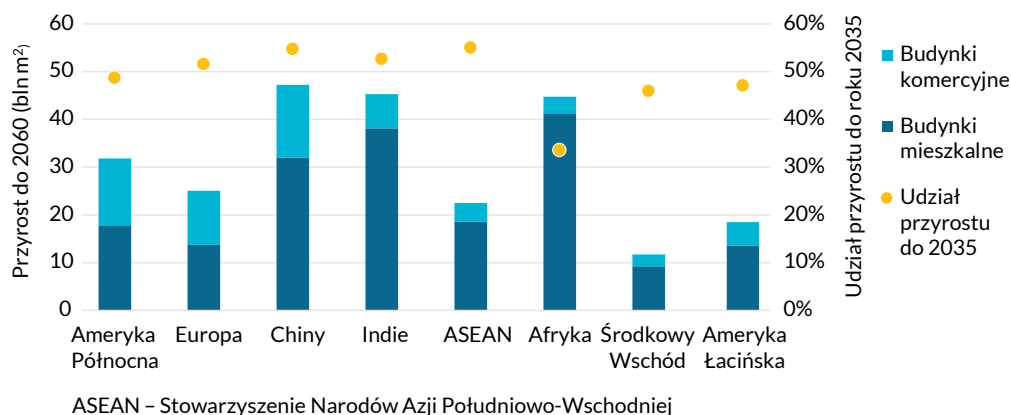
Źródło: GABC, IEA. (2017). *Global Status Report 2017 – Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector*. Global Alliance for Building and Construction, International Energy Agency. Pozyskano z: <http://bit.ly/2Imepmb>



Rys. 23. Szacunkowy przyrost powierzchni budynków (%) w porównaniu z 2015 r.

Źródło: GABC, IEA. (2017). *Global Status Report 2017 – Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector*. Global Alliance for Building and Construction, International Energy Agency. Pozyskano z: <http://bit.ly/2Imepmb>

Udział przyrostu powierzchni budynków mieszkalnych i komercyjnych ze względu na region kształtuje się na różnym poziomie. Dla regionów rozwiniętych, takich jak Europa i Ameryka Północna, przyrost jest w miarę wyrównany (pod względem powierzchni). Natomiast dla krajów rozwijających się przeważająca liczba budynków (pod względem powierzchni) będzie budynkami mieszkalnymi (Rys. 24). Spowoduje to znaczący wzrost globalnej energochłonności w sektorze budowlanym.



Rys. 24. Szacunkowy przyrost powierzchni budynków w porównaniu z 2015 r. ze względu na ich rodzaj

Źródło: IEA. (2017). *Energy Technology Perspectives 2017. Catalysing Energy Technology Transformations*. Pozyskano z: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2017>

2. Minimalizacja energochłonności i emisyjności w budownictwie w EU

Minimalizacja energochłonności, a tym samym emisyjności, w sektorze budownictwa obejmuje dwa obszary: energochłonność operacyjną budynków, związaną z ogrzewaniem, chłodzeniem, gotowaniem i używaniem urządzeń, oraz energochłonność produkcji materiałów używanych w budownictwie (minimalizacja śladu węglowego), a także minimalizacja ilości materiałów w budynkach. Zidentyfikowano strategię umożliwiającą natychmiastową i przyszłościową redukcję energochłonności w sektorze budowlanym w Europie. Ze względu na emisyjność strategię powinny być rozpatrywane wspólnie z dekarbonizacją sektora energetycznego, gdyż niektóre z nich ściśle się łączą z tą gałęzią przemysłu. Na podstawie zidentyfikowanych scenariuszy zmian przedstawiono bardziej szczegółowy opis i sformułowano ocenę ryzyka poszczególnych rozwiązań pod względem społecznym, ekonomicznym oraz technologicznym.

2.1. Energochłonność/emisyjność operacyjna

Scenariusze gotowe do zastosowania „od dziś”

Poniższe scenariusze bazują na istniejących zasobach budowlanych i zakładają doskonalenie przyzwyyczaję użytkownika:

I. Edukacja – powinna uwzględniać przede wszystkim aspekt zbędnej konsumpcji energii, np.:

- nadużywanie ogrzewania i świadome obniżanie temperatury ogrzewania pomieszczeń o 1–2°C przy dążeniu do komfortowej temperatury nieprzekraczającej 18°C;
- wyłączanie bojlera elektrycznego w przypadku nieużywania go przez dłuższy czas;
- wyłączanie funkcji podgrzewania wody w zasobnikach kotłów C.W.U., co pozwoli zaoszczędzić nawet 2 kWh/dzień;
- nienadużywanie oświetlenia;
- nienadużywanie urządzeń elektrycznych (np. gotowanie jedynie takiej ilości wody, która jest w danym momencie niezbędna);

II. Kontrola emisyjności spalania (i innych zanieczyszczeń), szczególnie dla energii wytwarzanej w procesach spalania paliw stałych (węgli) oraz płynnych (oleje i paliwa ropopochodne); w przypadku stwierdzenia nieprawidłowości, montowanie filtrów oraz stosowanie alternatywnych sposobów wytwarzania energii.

Ad. I. Edukacja w zakresie minimalizacji konsumpcji

Obszar społeczny:

Działania w tym obszarze mają minimalny wpływ na komfort życia.

Główną barierą może być percepcja typu: *moje działania nie mają znaczącego na wpływu na minimalizację energochłonności i emisyjności. Zachętą oraz rekompensatą za nie-*

dogodności może być przedstawienie realnych oszczędności finansowych wynikających z minimalizacji konsumpcji energii.

Obszar ekonomiczny:

Zmniejszenie ilości zużywanej energii, elektrycznej, ciepłej, paliw (np. gazu ziemnego), powinno generować realne oszczędności dla użytkownika, w myśl zasady: *mniej używam, mniej płacę*. Niemniej jednak obniżenie konsumpcji nie prowadzi zazwyczaj do redukcji miesięcznych kosztów za energię (paliwo, np. gazowe). Powodem tego jest fakt, że kwota na rachunku, poza kosztem za paliwo („stawka za energię” × ilość energii), uwzględnia również cenę „za punkt odbioru” oraz „za dystrybucję” (w wielu przypadkach składa się z wielu innych, określonych przez dystrybutora). W przypadku niższej konsumpcji energii (w tym paliw), dążąc do wyrównania strat lub osiągnięcia wyższych korzyści, dystrybutor w sposób nieuzasadniony podnosi cenę „za punkt odbioru” oraz „za dystrybucję” (i wprowadza wiele innych), zwiększając miesięczne koszty użytkownika.

Podstawowym celem państw europejskich powinny być działania zmierzające do przeciwdziałania wzrostowi cen, zarówno energii jednostkowej, jak i wprowadzeniu ograniczeń związanych z dowolnością kształtowania dodatkowych, czasem niepotrzebnych dla użytkownika kosztów.

Obszar techniczny:

W tym zakresie brak barier technicznych po stronie użytkowników. Po stronie producentów energii konieczne jest natomiast poszukiwanie rozwiązań, których zastosowanie pozwoliłoby na obniżenie kosztów operacyjnych produkcji energii elektrycznej.

Ad. II. Kontrola emisyjności spalania

Obszar społeczny:

Stygmatyzowanie obszarów (społeczności) charakteryzujących się wyższymi emisjami i/lub zanieczyszczeniami może mieć negatywny wpływ na społeczność. Działania powinny polegać na zachęcaniu do minimalizacji emisyjności, a nie karaniu za zaniechanie w tym zakresie. Przeciwdziałanie powinno być skupione na jak najmniejszej ingerencji w istniejące instalacje, aby nie powodować znaczących, dodatkowych kosztów dla użytkowników (np. może dotyczyć wymiany kotła, który można zastosować w istniejącej instalacji, lub wprowadzenia filtrów kominowych). Dostępność niskoenergetycznych paliw stałych, powodujących wzrost emisyjności zanieczyszczeń, powinna zostać znacząco ograniczona. Może to spowodować wzrost kosztów nabycia nośników energii przez konsumentów. Przejściowo mogą być stosowane subwencje dla gospodarstw domowych, które nie dysponują odpowiednio dużym budżetem, aby bez znaczącego obniżenia poziomu życia mogły sprostać podwyższonym kosztom pozyskiwania wtórnych nośników energii. Opisane zmiany w perspektywie czasu spowodują znaczącą poprawę środowiska lokalnego i globalnego.

Obszar ekonomiczny:

W krajach, w których paliwa stałe mają znaczący udział w ogrzewaniu budynków mieszkalnych (np. Polska, w której 46% energii do ogrzewania budynków mieszkalnych pozyskiwana jest z paliw stałych; GUS, 2019), decyzja dotycząca wyboru stosowanego paliwa w głównej mierze zależy od jego ceny, a ta od jakości paliwa. W przypadku dostępności paliw stałych niskiej jakości i z nieefektywną instalacją spalania wzrasta ilość emitowanych zanieczyszczeń. Należy zatem ograniczyć dostępność do niskoenergetycznych, wysokoemisyjnych paliw, udzielając jednocześnie wsparcia użytkownikom gospodarstw domowych kupującym wysokoenergetyczne i niskoemisyjne paliwa. Wsparcie, zarówno krajowe, jak i europejskie, powinno obejmować zarówno wymianę kotłów oraz instalacji ogrzewania, jak i stosowanie wysokoenergetycznych i niskoemisyjnych paliw.

W niektórych krajach, pomimo licznych programów modernizacji sposobów ogrzewania, nadal brak jest motywacji do korzystania z takich dotacji. Niezbędna jest ich krytyczna ocena, wprowadzenie zmian zapewniających szybsze osiąganie zaplanowanych efektów, a także promocja i wsparcie podczas składania wniosków.

Obszar techniczny:

Brak barier technicznych w tym obszarze. Na rynku dostępne są niskoemisyjne technologie ogrzewania, jak również niskoemisyjne paliwa. Nie ma barier związanych z monitorowaniem zanieczyszczeń (np. przy użyciu dronów).

Scenariusze przewidziane do zastosowania „od jutra”

- I. Zweryfikowanie wytycznych budowlanych pod względem wymagań termoizolacyjności przegród budowlanych i dostosowanie ich do aktualnych zmian klimatu w poszczególnych krajach europejskich.
- II. Stosowanie okien i drzwi, które spełniają wymagania termoizolacyjności, jednak nie takich, które wielokrotnie przewyższają obowiązujące wymagania (dotyczy to również minimalizacji śladu węglowego, którego celem jest nienadużywanie materiałów).
- III. Ocieplanie istniejących budynków, w celu dostosowania ich do stref klimatycznych, a tym samym wymagań termoizolacyjności (dotyczy to zarówno budynków mieszkalnych, jak i użyteczności publicznej); jest to powiązane ze śladem węglowym w dwóch aspektach: energochłonności materiałów izolacyjnych (np. styropian, styrodur, wełna mineralna, wełna szklana – ocieplenie od zewnętrznej strony budynku) oraz stosowania ocieplenia odpowiedniej grubości (od pewnej grubości zyski termiczne są minimalne, a powodują znacznie większą energochłonność wytworzenia materiału izolacyjnego).
- IV. Zamiana konwencjonalnego ogrzewania paliwami stałymi (węgle), płynnymi (oleje i paliwa ropopochodne) oraz gazem ziemnym na ogrzewanie elektryczne (należy rozpatrywać wspólnie z programem dekarbonizacji sektora energetycznego); zamiana kuchenek gazowych/węglowych na elektryczne; zamiana spalinowych kotłów ciepłej wody użytkowej na elektryczne.

V. Projektowanie i wznoszenie budynków niskoenergetycznych (niskoemisyjnych) – mieszkalnych i użyteczności publicznej, przy zastosowaniu niskoenergetycznych (niskoemisyjnych) i trwałych materiałów, jak również niskoemisyjnych systemów pozyskiwania energii, np. pomp ciepła, ogniw fotowoltanicznych czy paneli termicznych (Lazzarin, Noro, 2020).

VI. Stosowanie inteligentnego sterowania dla ogrzewania, chłodzenia i oświetlenia, szczególnie w budynkach biurowych i użyteczności publicznej.

Ad. I. Zweryfikowanie wytycznych budowlanych w aspekcie termoizolacyjności

Obszar społeczny:

Brak barier społecznych w tym zakresie.

Obszar ekonomiczny:

Wytyczne termoizolacyjności można znaleźć w krajowych wytycznych projektowych, jednak z dużym prawdopodobieństwem nie uwzględniają one obecnych zmian klimatu, tzn. istnieje wysokie prawdopodobieństwo, że aktualne wytyczne zawyżają istotnie minimalną termoizolacyjność. Tym samym niezbędne są prowadzone na szeroką skalę pomiary zmian temperatury dla poszczególnych regionów europejskich oraz wykonanie długoterminowych symulacji zmian temperatury, co może okazać się czasowo- i kosztochłonne. Obecnie pomiary i symulacje wykonywane dla poszczególnych regionów są fragmentaryczne i nie stanowią spójnej całości. Otrzymane z pomiarów dane miałyby posłużyć do określenia minimalnych i maksymalnych wytycznych termoizolacyjności dla poszczególnych obszarów. Nie powinno mieć zastosowania stwierdzenie: *im lepsza termoizolacyjność, tym lepiej*.

Obszar techniczny:

Brak barier technicznych w tym zakresie.

Pomiary i prognozy są obecnie wykonywane dla nowo projektowanych budynków i są częścią projektu budynku. Brak jest jednak kompleksowych wytycznych dla krajów europejskich.

Ad. II. Stosowanie odpowiednich okien i drzwi

Obszar społeczny:

Nie powinno stosować się okien i drzwi o znacząco różniących się parametrach termoizolacyjnych w porównaniu z parametrami termoizolacyjnymi ścian zewnętrznych. Może to powodować niezamierzone konsekwencje (np. mostki termiczne). Jednak pod względem społecznym wybór *im niższy współczynnik, tym lepszy*, nawet jeżeli droższy, jest powszechny. Powinno się położyć nacisk na edukację i stosowanie elementów spełniających minimalne wymagania, dostosowane do zmian klimatu.

Niższe parametry termoizolacyjne, tj. bardziej skomplikowany kształt, większa liczba szyb zespolonych, większa liczba komór etc., powoduje znaczne zwiększenie intensywności śladu węglowego produktów.

Obszar ekonomiczny:

Stosowanie odpowiednich okien i drzwi, dostosowanych do warunków klimatycznych i termoizolacyjności przegród zewnętrznych, może być z ekonomicznego punktu widzenia znacznie korzystniejsze dla właściciela niż montaż droższego rozwiązania o znacznie lepszych parametrach (lepszej termoizolacyjności, większej szczelności, ale niepotrzebnej dla istniejących w danym miejscu/regionie warunków klimatycznych). Lepsza termoizolacyjność i szczelność okien i drzwi nie poprawia znacząco całkowitej energochłonności budynku, a tym samym kosztochłonności. Stosowanie „lepszego” rozwiązania może natomiast spowodować straty finansowe związane z niezamierzonymi konsekwencjami (np. koszty odgrzybiania, wymiany wykończenia wewnętrznego, modyfikacji instalacji wentylacyjnej etc.).

Obszar techniczny:

Brak barier technicznych w tym zakresie. Na rynku dostępny jest cały wachlarz różnych produktów, które mogą mieć zastosowanie w tym obszarze.

Ad. III. Poprawa termoizolacyjności przegród budowlanych – ocieplanie istniejących budynków

Obszar społeczny:

Parametry termoizolacyjne powinny być dostosowane do warunków klimatycznych. Jednak pod względem społecznym wybór *im niższy współczynnik, tym lepszy* (więcej materiału izolacyjnego), nawet jeżeli jest droższy, jest powszechny. Ilość materiału izolacyjnego ma również wpływ na energochłonność produkcji tych materiałów (śladu węglowego). Przy ocieplaniu budynków powinna obowiązywać zasada: *ocieplenie spełniające minimalne wymagania*. Stosowanie grubszej warstwy izolacyjnej może doprowadzić do coraz częściej występujących efektów przegrzania w mieszkaniach (Lomas, Porritt, 2017; Yannas, Rodríguez-Álvarez, 2020).

Najbardziej efektywne ocieplanie ścian powinno dotyczyć ich usytuowania po stronie niższych temperatur – od strony zewnętrznej. Największą społeczną barierą w tym zakresie jest niezachowanie istniejącej faktury elewacji (np. przykrycie ceglanej warstwy licowej kamieniem warstwą izolacyjną). Problem ten dla użytkownika może być rozwiązany dzięki wskazaniu korzyści ekonomicznych. Większym problemem są (i tak jest w rzeczywistości) wytyczne określone w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego (i odpowiednikach dla krajów europejskich) i obszarach objętych nadzorem konserwatora zabytków (np. budynki wpisane w rejestr zabytków). Decyzje o modyfikacjach i zmianie wyglądu są zazwyczaj subiektywne, nieuwzględniające znaczących korzyści związanych z energochłonnością czy emisyjnością. Powinno się edukować – i użytkowników, i decydentów – odnośnie minimalizacji energochłonności, zarówno operacyjnej (np. ogrzewanie), jak i produkcji materiałów izolacyjnych.

Obszar ekonomiczny:

Warstwa izolacji termicznej powinna być dostosowana do warunków klimatycznych z uwzględnieniem ich zmian. Grubość izolacji powinna również uwzględniać efektyw-

ność termoizolacyjną w aspekcie kosztów (Kaynakli, 2012). Wybór materiału izolacyjnego, spełniającego wymogi termoizolacyjności, powinien również uwzględniać ślad węglowy. W większości przypadków materiały o wyższym śladzie węglowym są tańsze, co dla inwestora jest argumentem wyboru. Istniejące programy termomodernizacji budynków nie uwzględniają intensywności śladu węglowego stosowanych materiałów termoizolacyjnych. Programy te powinny zostać znacznie zweryfikowane. Jednym z kryteriów, które powinny zostać wprowadzone, jest minimalizacja energochłonności przy minimalizacji śladu węglowego lub wprowadzenie współczynnika termoizolacyjności do śladu węglowego, jako kluczowego współczynnika dla uzyskania dofinansowania.

Obszar techniczny:

Brak barier technicznych w tym zakresie. Najwyższa efektywność ocieplenia ścian występuje przy ociepleniach ścian budynku od zewnętrznej strony (od niższej temperatury). Powoduje to minimalizację występowania mostków termicznych i skraplania się pary wodnej w przegrodzie prowadzącej do zagrzybienia. Na rynku budowlanym dostępne są różne produkty, które mogą mieć zastosowanie w tym zakresie.

Ad. IV. Eliminacja paliw stałych na rzecz elektryczności

Obszar społeczny:

Największymi społecznymi barierami związanymi z tymi rozwiązaniami (dla właścicieli/użytkowników lokali/budynków) mogą być: niechęć do zmian sposobów ogrzewania ze względu na przyzwyczajenie, kwestie ekonomiczne modernizacji i późniejsze koszty zakupu energii elektrycznej, techniczne kwestie modernizacji (uciążliwość prac), przyzwyczajenie do gotowania na kuchenkach gazowych.

Oprócz powyższych barier w krajach, w których paliwa stałe mają znaczący udział w produkcji energii elektrycznej, brak jest zachęt społecznych do zamiany systemów na elektryczne, co prowadzi do myślenia: *czy warto coś zmieniać, skoro i tak energia elektryczna pozyskiwana jest z wysokoemisyjnych źródeł, takich jak np. węgiel?*

Rozwiązaniem może być szeroko rozumiana edukacja, skupiająca się na korzyściach i istniejących możliwościach.

Obszar ekonomiczny:

Zamiana dla użytkownika ogrzewania/kuchenek na elektryczne wiąże się z następującymi aspektami ekonomicznymi:

- wymiana kotła centralnego ogrzewania/kuchenek/kotła ciepłej wody użytkowej;
- dostosowanie instalacji centralnego ogrzewania (ciepłej wody użytkowej) do nowego źródła ciepła (w większości przypadków niezbędna jest wymiana całej instalacji centralnego ogrzewania);
- dostosowanie instalacji elektrycznej lokalu do nowych urządzeń (w większości niezbędna jest wymiana całej instalacji elektrycznej);
- dostosowanie instalacji elektrycznej budynku do nowych urządzeń (w większości przypadków niezbędna jest wymiana całej instalacji elektrycznej);
- ceny energii elektrycznej.

Niezbędne są krajowe/europejskie programy dofinansowania, związane z kompleksowym wsparciem, które w sposób efektywny miałyby zminimalizować koszty dostosowania urządzeń i instalacji. Rozwiązania powinny uwzględniać długoterminowy bilans emisyjności, biorąc pod uwagę emisyjność operacyjną (ogrzewanie, gotowanie) i ślad węglowy (urządzeń, instalacji).

Obszar techniczny:

Brak jest barier technicznych w zakresie zamiany sposobu ogrzewania (kotła spaliniowego na elektryczny), kuchenek gazowych/węglowych na elektryczne czy wymiany instalacji elektrycznej. Na rynku istnieje wiele różnych rozwiązań, które mogą mieć zastosowanie. Poważną barierą techniczną dla właściciela lokalu/budynku jest dostosowanie instalacji elektrycznej do wymogów nowych urządzeń, przy spełnieniu norm budowlanych.

Główną barierą techniczną jest również zapewnienie dostarczenia energii elektrycznej ze źródeł niskoemisyjnych.

Ad. V. Projektowanie i wznoszenie niskoemisyjnych budynków

Obszar społeczny:

W przypadku projektowania i wznoszenia niskoemisyjnych budynków, przy użyciu trwałych materiałów, niskoemisyjnych źródeł pozyskiwania energii (pompy ciepła, ogniw fotowoltaniczne, panele termiczne), największymi zaletami są: komfort życia, prestiż dla inwestora/użytkownika i długoterminowe oszczędności. Niemniej jednak największym problemem może się okazać nakład finansowy związany z realizacją inwestycji.

Należy edukować, że wznoszenie budynku jest inwestycją długoterminową, wymagającą łącznej kalkulacji wielkości nakładów inwestycyjnych oraz kosztów eksploatacji obiektu przez kilka dziesięcioleci.

Obszar ekonomiczny:

Koszty projektowania i wznoszenia niskoemisyjnych budynków, w tym używania niskoemisyjnych materiałów i niskoemisyjnych metod pozyskiwania energii, są przeważnie znacznie przeszacowane z powodów marketingowych. Nieuzasadnione są „dodatkowe” koszty projektowania, materiałów i urządzeń.

Te aspekty powinny zostać uregulowane na poziomie legislacyjnym.

Obszar techniczny:

Generalnie brak jest barier technicznych w tym zakresie. Obecnie coraz częściej projektowane są bardzo niskoemisyjne budynki, głównie pod względem operacyjnym, lecz czasem również pod względem śladu węglowego. Nowo projektowane budynki są oceniane pod kątem energochłonności i emisyjności oraz otrzymują na tej podstawie odpowiednie certyfikaty (Marsh, 2019).

W przypadku śladu węglowego brak jest jednak jednoznacznych wytycznych dotyczących specyfikacji niskoemisyjnych materiałów. Prowadzone są prace normalizacyjne w tym kierunku (CEN).

Ad. VI. Stosowanie sterowania inteligentnego

Obszar społeczny:

Największymi obawami związanymi z zastosowaniem sterowania inteligentnego mogą być te dotyczące kosztu dostosowania budynku do niego, braku zaufania do nowych technologii, jak również obawy przed utratą kontroli nad systemem. Pierwszy typ obaw może zostać zneutralizowany poprzez wskazanie długoterminowych korzyści ekonomicznych. Dwa kolejne mogą natomiast zostać zredukowane poprzez edukację, ze szczególnym uwzględnieniem realnych zagrożeń związanych z przejęciem kontroli przez osoby trzecie (zostało to rozwinięte w „obszarze technicznym”).

Obszar ekonomiczny:

Bariery związane z nakładami inwestycyjnymi mogą być usunięte dzięki przeprowadzeniu kalkulacji i przedstawieniu bilansu nakładów z jednej strony oraz długofalowym oszczędnościom związanym z dostosowaniem budynku do sterowania inteligentnego z drugiej strony. W przypadku niekorzystnego długoterminowego bilansu niezbędne jest wprowadzenie krajowych/europejskich programów dofinansowania.

Obszar techniczny:

Brak jest barier technicznych dla użytkowników budynków w tym zakresie. Na rynku budowlanym istnieje wybór systemów sterowania inteligentnego. Barię techniczną systemów może okazać się brak odpowiednich zabezpieczeń, powodujących niepożądaną ingerencję w system *smart home* przez osoby trzecie. Spowodować to może przejęcie kontroli nad system sterowania oraz naruszenie prywatności użytkowników (podgląd z kamer, odbezpieczenie drzwi i okien, dezaktywacja alarmu). Barię techniczną jest również zapewnienie dostarczenia energii ze źródeł niskoemisyjnych.

2.2. Ślad węglowy

Rozwiązania gotowe do zastosowania „od dziś”

- I. Zintensyfikowanie ponownego użycia materiałów konstrukcyjnych (stali, betonu, drewna), sprzętów (RTV, AGD), wyposażenia (mebli), zarówno w istniejących, jak i nowo wznoszonych budynkach; to podejście jest najważniejsze spośród wszystkich zawartych w planie zrównoważonego rozwoju.
- II. Wymiana elementów budynków: elewacji, instalacji, wykończenia (np. podłogi, drzwi, okna), wyposażenia (meble, wykładziny, sprzęt RTV, AGD), gdy jest to niezbędne, tj. w przypadku braku możliwości naprawy (tak jak powyżej przedłużanie czasu użytkowania jest najważniejszym podejściem spośród wszystkich zawartych w strategii zrównoważonego rozwoju).

Ad. I. Ponowne użycie materiałów

Obszar społeczny:

Nieufność w stosunku do ponownego użycia materiałów konstrukcyjnych związana jest z ich właściwościami fizycznymi, wytrzymałością i trwałością. Jednak w więk-

szości przypadków elementy konstrukcyjne spełniają założone wymagania. Niechęć do ponownego ich stosowania może być spowodowana przekonaniem inwestorów czy architektów, że w budynku powinny zostać zainstalowane jedynie nowe materiały (Dunant et al., 2017). Bardzo podobne nastawienie spotyka się w stosunku do materiałów niekonstrukcyjnych, np. elewacji, okien, drzwi, które spełniają zarówno wymagania techniczne, jak i estetyczne. W krajach rozwiniętych, takich jak Wielka Brytania, Niemcy, Francja, brak jest przekonania do wydłużania czasu użytkowania sprzętów i wyposażenia, jak również ich ponownego stosowania. W krajach rozwijających się takie postępowanie jest bardziej powszechne, natomiast w krajach nierozwiniętych bardzo powszechne, głównie ze względu na brak dostępności nowych materiałów i produktów.

Rozwiązaniem powyższych problemów jest edukacja, głównie odnośnie przedstawiania korzyści wynikających z ponownego wykorzystania materiałów.

Obszar ekonomiczny:

Koszt ponownego wykorzystania materiałów konstrukcyjnych (np. stali) jest zazwyczaj porównywalny z nowymi (np. stali konstrukcyjnej). Niemniej jednak w pewnych sytuacjach koszt ten jest znacznie niższy (np. przy wykorzystaniu części lub całych konstrukcji) (Dunant et al., 2017; Dunant et al., 2018b). W przypadku betonu, który zazwyczaj musi być wykorzystany w miejscu pierwotnego wbudowania (np. fundamenty, część lub cała konstrukcja), kosztochłonność materiałowa jest minimalna. W przypadku używanych elementów niekonstrukcyjnych, spełniających wymagania techniczne i estetyczne oraz sprzętów i wyposażenia, koszt jest znacznie niższy w porównaniu z zakupami nowych.

Stosowanie używanych materiałów konstrukcyjnych i niekonstrukcyjnych może powodować zwiększenie kosztów ubezpieczenia budynku, jak również jego utrzymania.

Należy wspomnieć, iż elementy konstrukcyjne w budynkach projektowane są na 50 lub więcej lat (CEN, 2002) lecz ich rzeczywista trwałość jest znacznie dłuższa. Budynki są wyburzane średnio po około 40 latach (Huuhka & Lahdensivu, 2016), czasem okres ich użytkowania nie przekracza nawet 25 lat (Athena, 2004).

Stosowanie używanych sprzętów i wyposażenia może powodować zwiększenie kosztów utrzymania w związku z ich naprawami.

Obszar techniczny:

Ponowne użycie materiałów konstrukcyjnych w budynkach może wymagać określenia ich właściwości, co nie jest problemem, gdyż dostępne są do tego metody. Jedyną barierą może być koszt ich wykonania. Jednak w wielu przypadkach określenie właściwości fizycznych czy chemicznych nie jest wymagane, np. w przypadku stali konstrukcyjnej (Dunant et al., 2018b). Problemem może być dostępność (w przypadku stali konstrukcyjnej; Densley-Tingley et al., 2017; Dunant et al., 2017; Hradil P. et al., 2014). W przypadku używanych sprzętów i wyposażenia problemem może być brak części zamiennych lub możliwości ich naprawy, co wyeliminuje je z dalszego użytkowania.

Ad. II. Wymiana elementów budynków

Obszar społeczny:

Wymiana elementów elewacji, instalacji, wykończenia zazwyczaj nie wynika z niespełniania przez nie wymagań technicznych, lecz raczej ze względów estetycznych, co prowadzi do skrócenia zamierzonego i projektowanego życia tych elementów.

Nacisk powinien być położony na szeroko rozumianą edukację, skupiającą się na korzyściach związanych z długoterminowym użytkowaniem.

Obszar ekonomiczny:

Częstsze wymiany elementów budynków powodują nieuzasadniony wzrost kosztów.

Obszar techniczny:

Brak barier technicznych w tym zakresie.

Rozwiązania przewidziane do zastosowania „od jutra”

- I. Podczas wymiany elementów budynku (np. okna, drzwi) należy stosować elementy spełniające wymagania (np. termiczne), ale nie takie, których parametry wielokrotnie przewyższają wymagane charakterystyki; takie postępowanie powoduje, iż mają one znacznie wyższy ślad węglowy i są znacznie droższe.
- II. Przeprowadzenie analizy związanej z zapotrzebowaniem na obiekty budowlane lub nowe budynki.
- III. Wykorzystanie istniejących budynków.
- IV. Redukcja emisyjności i energochłonności podczas projektowania nowych budynków.
- V. Redukcja emisyjności i energochłonności podczas produkcji/wznoszenia nowych budynków.

Ad. I. Wymiana elementów budynków

Obszar społeczny:

Ten aspekt został opisany przy omawianiu „Energochłonności operacyjnej”, należy jednak powtórzyć, że elementy o lepszych parametrach są niekoniecznie korzystniejsze do zastosowania. Postrzeganie jest jednak następujące: *im wyższe parametry termoizolacyjne, tym lepiej*. Wyższe parametry termoizolacyjne i tym samym rozwiązanie droższe ma wyższy ślad węglowy. W tych przypadkach powinno mieć zastosowanie stwierdzenie: *używać tego, co potrzebne, nie przepłacając*. Nacisk powinien zostać położony na szeroko rozumianą edukację, skupiającą się na korzyściach finansowych związanych ze stosowaniem elementów spełniających w minimalnym stopniu wymagania.

Obszar ekonomiczny:

Elementy o niższych parametrach, spełniające jednak wymagania techniczne i trwałości, są wielokrotnie tańsze.

Obszar techniczny:

Brak barier technicznych w zakresie.

Ad. II. Zapotrzebowanie na obiekty budowlane

Obszar społeczny:

W tym zakresie należy odpowiedzieć na następujące pytania:

- Czy nowy budynek jest niezbędny?
- Jaki jest cel jego budowy?
- Co się zyska, budując nowy budynek?
- Czy można korzystać z istniejących zasobów?

Największe oszczędności, zarówno odnośnie energochłonności, jak i finansów, osiągnie się, nie budując. Doświadczenie pokazuje, że istniejące, nowo wzniesione budynki, z różnych powodów nie są w pełni wykorzystane i dlatego należy rozważyć, czy planowane inwestycje przyniosą długoterminowe korzyści, zarówno dla właściciela, jak i użytkowników.

Nacisk powinien zostać położony na szeroko rozumianą edukację oraz analizy kosztów i strat oraz aktualnych trendów.

Obszar ekonomiczny:

W przypadku wykorzystania istniejących zasobów budowlanych koszty są o wiele niższe.

Obszar techniczny:

Brak barier technicznych w zakresie.

Ad. III. Wykorzystanie istniejących budynków

Obszar społeczny:

Największymi zaletami w tym zakresie mogą być prestiż i kreatywność wykorzystania istniejących zasobów, a barierami – brak możliwości spełnienia wymagań klienta/inwestora ze względu na ograniczenia związane z istniejącym systemem strukturalnym, ułożeniem pomieszczeń, ich wysokością. Bariery mogą jednak zostać zniwelowane dzięki kreatywności projektantów. Istnieje wiele miast, w których adaptacja budynków jest powszechna, np. w Londynie 47% nowo budowanych powierzchni komercyjnych (0,12 mln m²) jest efektem adaptacji już istniejących budynków (Deloitte, 2018).

Nacisk powinien zostać położony na edukację inwestorów, firm developerskich.

Obszar ekonomiczny:

Zwykle wykorzystywanie istniejących budynków, przebudowa, dobudowa, adaptacja jest znacznie mniej kosztochłonna niż wznoszenie nowych budynków.

Obszar techniczny:

Największym problemem może być dostępność budynków do adaptacji, jak również ich dostosowanie do aktualnych wymagań technicznych. W tym drugim przypadku można jednak poszukiwać skutecznych metod dostosowania obiektu do aktualnych wymagań.

Ad. IV. Nowe budynki – etap projektowania

W przypadku projektowania nowych budynków nacisk powinien być położony na redukcję ilości materiałów, zarówno konstrukcyjnych (stali, betonu, zbrojonego betonu), jak i innych (wykończeniowych), oraz na poprawę ich wykorzystania. Obowiązujące normy konstrukcyjne są bardzo konserwatywne, dając znaczny margines bezpieczeństwa (rodzina Eurokodów; CEN, 2002). Pomimo to powszechnie stosowane jest przewymiarowywanie konstrukcji (Drewniak et al., 2020; Dunant et al., 2018a; Moynihan, Allwood, 2014) oraz zawyżonych założeń – obciążeń, limitów ugięć etc. (Drewniak, Orr, 2019; Orr et al., 2018). Projektowanie powinno uwzględniać jak najdłuższe użytkowanie, czego efektem jest minimalizacja energochłonności w ogólnym rachunku całego cyklu życia.

Na etapie projektowania szczególny nacisk powinien zostać położony na:

- a) stosowanie minimalnych wytycznych projektowych – aktualne wytyczne projektowe zakładają nierealne obciążenia, np. od obciążeń ludzi (Drewniak, Orr, 2019), które na etapie projektowania są zazwyczaj niepotrzebnie zwiększane (Orr, Drewniak, 2018); zwiększenie o 50% normowego obciążenia zmiennego w budynkach (od ludzi, sprzętów, wyposażenia) może spowodować wzrost o 15% śladu węglowego konstrukcji i wzrost o 20% kosztów (Acheng, 2015);
- b) analizując konstrukcje betonowe Orr et al. (Orr et al., 2011) oraz stalowe Moynihan i Allwood (Moynihan & Allwood, 2014), Dunant et al. (Dunant et al., 2018a), stwierdzili, że niewykorzystane jest nawet do 40% materiału, a więc zbędne z konstrukcyjnego punktu widzenia (nie wykraczając poza wytyczne norm konstrukcyjnych);
- c) na podstawie istniejących budynków biurowych oraz edukacyjnych Dunant et al. (Dunant et al., 2018a) stwierdzili, że niemal połowę (48%) śladu węglowego konstrukcji, a tym samym 37% kosztów, można zaoszczędzić dzięki odpowiedniemu wyborowi rozwiązania konstrukcyjnego, stosowania nieskomplikowanych kształtów i optymalizowania elementów (nie wykraczając poza wytyczne norm konstrukcyjnych);
- d) Drewniak et al. (Drewniak et al., 2020) wykazali, że 26,5% stali konstrukcyjnej można zaoszczędzić, jeżeli elementy będą projektowane według minimalnych wymagań norm konstrukcyjnych; przekłada się to na redukcję śladu węglowego o 25%.

Obszar społeczny:

Używanie niezbędnej ilości materiałów. W większości przypadków projekty są przewymiarowane, (nawet 40% więcej materiału niż potrzeba). Jest to spowodowane:

- brakiem zaufania projektantów do wytycznych projektowych,

- brakiem wystarczającej wiedzy projektantów o sposobie zachowania się konstrukcji,
- brakiem wystarczającej wiedzy projektantów co do systemów konstrukcyjnych, które mogłyby zostać wykorzystane w celu spełnienia wymagań inwestora/wizji architekta;
- włączanie prowizji architektów, projektantów, wykonawców do kosztu projektu, który jest bezpośrednio związany z ilością materiału – brak zachęty do używania mniejszej ilości materiałów.

Nacisk powinien zostać położony na edukację projektantów w kierunku lepszego wykorzystania materiałów, dostępnych technologii, jak również inwestorów, z przedstawieniem korzyści minimalizacji zużycia materiałów.

Obszar ekonomiczny:

Używanie większej ilości materiałów powoduje znacznie większe koszty budowy (zbędne koszty). Jednocześnie prowizja projektantów jest ustalana na podstawie wartości projektu, wynikającego bezpośrednio z ilości zużytych materiałów. Brak jest zachęty ze strony projektantów do zmniejszenia ilości materiałów/optymalizacji. Co więcej, występować mogą dodatkowe, nieuzasadnione koszty związane z projektowaniem, dodatkową optymalizacją i zmniejszeniem materiałochłonności.

Obszar techniczny:

Brak barier technicznych w zakresie.

Ad. V. Nowe budynki – etap produkcji

Na etapie produkcji nacisk powinien być położony na stosowanie mniej energochłonnych materiałów, minimalizację ilości odpadów podczas produkcji i podczas budowy (w przypadku sektora budowlanego); stosowanie ilości materiału wyspecyfikowanego w projekcie, w tym:

- a) ponowne wykorzystanie materiałów (Nußholz et al., 2020);
- b) substytucja klinkieru w cemencie, stosowanie cementów wieloskładnikowych (Golaszewski et al., 2019; Van den Heede, De Belie, 2012; Yang et al., 2015);
- c) stosowanie niskoemisyjnego cementu;
- d) minimalizacja cementu w betonie i projektowanie zoptymalizowanego składu (w praktyce ilość cementu zwyczajowo jest o 20% wyższa) (Colangelo et al., 2018; Purnell, 2013);
- e) stosowanie odpowiedniego cementu do założonych celów (Favier et al., 2018);
- f) zastosowanie stali z „odzysku” (UKRI, 2015);
- g) stosowanie stali z recyklingu.

Obszar społeczny:

Nacisk powinien być położony na ponowne wykorzystanie istniejących materiałów. Zdarza się jednak, że wymagania klienta czy architekta skierowane są na wykorzystanie jedynie nowych materiałów (zob. Dunant et al., 2017) – ze względu na

nieuzasadnione postrzeganie używanych materiałów jako mniej wartościowych i nieatrakcyjnych estetycznie. W przypadku projektantów konstrukcji występuje nieuzasadniony brak zaufania do ponownego użycia stalowych elementów konstrukcyjnych ze względu na ich wytrzymałość i trwałość. W przypadku, gdy nie jest możliwe ponowne wykorzystanie materiałów, zalecane jest stosowanie niskoenergochłonnych (niskoemisyjnych). Niestety w wielu przypadkach postrzegane są one jako mniej trwałe i droższe. Powszechnie jest stosowanie większej ilości materiału, np. w przypadku cementu w mieszankach betonowych, z powodu niepewności związanej z błędami wykonawczymi. Sektor budowlany jest bardzo odporny na innowacje, dlatego wdrażanie nowych rozwiązań jest bardzo czasochłonne, tym samym zmiana tradycyjnych metod budowania na nowe/innowacyjne jest znacznie utrudniona.

Coraz powszechniej stosowane są materiały z recyklingu (głównie stali), nie jest to jednak spowodowane chęcią użycia mniej energochłonnych materiałów, tylko z coraz większą ich dostępnością na rynku.

Nacisk w tym obszarze powinien zostać położony na edukację wszystkich uczestników procesu budowlanego, ze szczególnym uwzględnieniem ekonomicznych korzyści stosowania minimalnej ilości niskoenergochłonnych materiałów.

Obszar ekonomiczny:

Postrzeżoną zaletą stosowania większej ilości materiałów, która jednak wymaga akceptacji wyższych nakładów inwestycyjnych, jest długoterminowe zmniejszenie prawdopodobieństwa roszczeń związanych z błędami wykonawczymi. Jest to nieracjonalna postawa, ponieważ elementy są projektowane pod względem wytrzymałości i trwałości, a nadmierna ilość materiałów jest zbędna.

W przypadku niskoemisyjnych materiałów, ze względu na brak powszechności, występuje niepewność związana z ich kosztem nabycia. Interesujący jest fakt, iż cena stali konstrukcyjnej pochodzącej z recyklingu nie różni się znacząco, a w wielu przypadkach jest identyczna, co cena stali wytopionej z rud żelaza. A przecież stal ze złomu stalowego przetwarzana w elektrycznych piecach łukowych jest uzyskiwana przy uzyskaniu nawet 75% oszczędności energii w porównaniu z wytopem stali w piecu martenowskim z rudy żelaza. Występowanie braku różnicy cen stali wytwarzanej w różny sposób powoduje, że brak jest finansowej zachęty dla inwestorów do stosowania stali niskoemisyjnej.

Redukcja cen stali z recyklingu mogłaby być możliwa w przypadku zwiększenia jej produkcji. To jednak wiąże się z inwestycjami w zmianę sposobu produkcji. Pomocne mogłyby się okazać programy pomocowe umożliwiające transformację technologiczną. Niezbędne są również innowacyjne rozwiązania dotyczące separacji złomu stalowego przed wprowadzeniem do pieca łukowego, ponieważ wysoki udział zanieczyszczeń, szczególnie miedzią ze złomu samochodowego, powodować może zmiany właściwości produkowanej stali.

Obszar techniczny:

W przypadku ponownego wykorzystania materiałów budowlanych, w tym konstrukcyjnych, brak jest barier technicznych.

Cement / beton:

Produkcja cementu jest wysokotemperaturowa (w temperaturze 1450°C) i zatem jest wysokoenergetyczna. 40% emisyjności związane jest z produkcją ciepła (pochodzącej ze spalania paliw stałych, kopalnych i alternatywnych), 60% z dekarbonizacją margli (Schneider et al., 2011). Tak więc produkcja cementu, nawet przy zmniejszeniu emisyjności związanej z procesami termicznymi, jest wysokoemisyjna. Możliwa jest natomiast produkcja cementu niskoenergochłonnego – w temperaturze 1350°C (Popescu et al., 2003; Staněk, Sulovský, 2015). Jego zastosowanie wiąże się z wydłużeniem czasu wiązania betonu i tym samym spowolnieniem robót budowlanych.

Cement jest jednym ze składników betonu, stanowiącym około 15% jego składu pod względem masy. Możliwe jest stosowanie dodatków zmniejszających ilość stosowanego (wysokoemisyjnego) cementu w postaci ubocznych produktów spalania (popioły lotne) oraz ubocznych produktów produkcji stali (granulowany żużel wielkopiecowy). Wraz z dekarbonizacją przemysłu energetycznego i redukcją produkcji stali te dodatki mogą jednak być niedostępne lub dostępne w mniejszej ilości. Nowe technologie pozwalające na użycie materiałów zastępujących częściowo cement są niezbędne. Obiecującym kierunkiem zmian wydaje się zastosowanie gliny kalcynowanej i mielonego wapnia, które są naturalnymi materiałami i są niskoemisyjne pod względem przygotowania do zastosowania (Favier et al., 2018; Shanks et al., 2019).

Stal konstrukcyjna:

Ponowne wykorzystanie stali umożliwia znaczne obniżenie jej energochłonności. Dodatkowa energochłonność wiąże się z pozyskaniem stali z budynku oraz dostosowania jej wymiarów do wymagań projektowych. Zastąpienie produkcji stali z rud żelaza na rzecz produkcji ze złomu stalowego w elektrycznych piecach łukowych (wykorzystujących niskoemisyjną energię elektryczną) jest ograniczone z dwu powodów:

- braku wystarczającej ilości złomu stalowego, co może spowodować brak możliwości pokrycia zapotrzebowania na stal;
- stal pochodząca z recyklingu może wykazywać znaczną ilość zanieczyszczeń, szczególnie miedzią (ze złomu samochodowego); w przypadku zbrojenia do betonu nie jest to ograniczenie, ale w przypadku stali konstrukcyjnej ma to znaczenie; niezbędne są technologie separacji złomu stalowego przed wprowadzeniem do pieca łukowego.

Inne niskoemisyjne spoiwa:

Stosowanie niskoemisyjnych geopolimerów i spoiw aktywowanych alkaliami (wykorzystujących uboczne produkty spalania i produkcji stali) jest bardzo obiecujące. W miarę dekarbonizacji przemysłu energetycznego i redukcji produkcji stali brak jednak będzie możliwości ich wykorzystania na masową skalę ze względu na brak materiału do ich produkcji.

3. Dyskusja

Informacje i analizy zawarte w prezentowanym rozdziale obrazują stan faktyczny energochłonności i emisyjności sektora budowlanego, ze szczególnym uwzględnieniem krajów europejskich. Jeszcze do niedawna energochłonność i emisyjność rozpatrywana mogła być jako dwie równoznaczne miary. Powodem tego był brak różnorodności paliw służących do uzyskiwania energii. Wraz z wprowadzeniem niskoemisyjnych źródeł energii i tym samym produkcji niskoemisyjnych materiałów, energochłonność i emisyjność powinny być rozpatrywane oddzielnie. Może wystąpić sytuacja, w której znaczący wzrost energochłonności (energii elektrycznej czy ciepłej) nie doprowadzi do zwiększenia emisyjności, a w szczególnym przypadku spowoduje nawet znaczące zmniejszenie emisyjności w porównaniu ze stanem obecnym. Byłoby to możliwe, jeśli nastąpi zmiana sposobu pozyskiwania energii na nisko- lub nawet nieemisyjną.

Czy jest jednak możliwe, aby w przeciągu 10, 20 czy nawet 30 lat zasadniczo zmienić sposób pozyskiwania energii w krajach europejskich? Jakie źródła energii jesteśmy w stanie stworzyć? Czy jesteśmy w stanie pokryć zapotrzebowanie na energię, stosując nisko- lub nieemisyjne źródła energii? (np. jaka część terytorium lądowego i morskiego szelfu w Europie musiałaby być wykorzystana pod farmy wiatrowe czy instalacje fotowoltaiczne celem pokrycia zapotrzebowania na energię?). Dlatego jedyną zasadną wydaje się strategia minimalizacji energochłonności, zarówno operacyjnej, jak i produkcji materiałów, prezentująca w domyśle redukcję emisyjności.

W rozdziale wskazano rozwiązania, które można zastosować zarówno „od dziś”, jak i „od jutra” celem minimalizacji konsumpcji energii. Opierają się one głównie na dostępnych dziś technologiach. W większości przypadków brak jest barier techniczno-technologicznych. Głównymi są jednak bariery społeczne i ekonomiczne. Te pierwsze mogą zostać przezwyciężone poprzez szeroko rozumianą edukację i zmianę przyzwyczajeń inwestorów, właścicieli i użytkowników budynków. Drugie natomiast poprzez wskazanie rzeczywistych, długoterminowych korzyści ekonomicznych. W przypadku jednak niekorzystnego długoterminowego bilansu nastąpić powinna weryfikacja istniejących i wprowadzenie nowych programów wsparcia, których celem jest minimalizacja energochłonności i emisyjności w sektorze budowlanym. Rozwiązaniem do zastosowania „od dziś” dla istniejących budynków jest minimalizacja energochłonności poprzez poprawę izolacyjności termicznej oraz zamianę wszystkich urządzeń i instalacji na elektryczne. Ta ostatnia musi zostać rozpatrywana łącznie ze zmianą technologii produkcji energii elektrycznej na niskoemisyjną.

W przypadku nowo projektowanych obiektów najważniejsze powinno okazać się pytanie: czy potrzebny jest nowy budynek? Czy nie można wykorzystać istniejących zasobów (budynków, materiałów)? Dopiero w następnej kolejności można stosować metody projektowania uwzględniające energochłonność początkową (związaną z energochłonnością materiałów, powiązaną z maksymalizacją ich wykorzystania – opisane to zostało powyżej), operacyjną (związaną z użytkowaniem budynku naprawami, wymianami), jak również związaną z rozbiórką i utylizacją materiałów (ponownym wykorzystaniem). Jednym ze sposobów jest zastosowanie wytycznych zawartych

w normie EN 15978:2011 (BSI, 2011; UKGBC, 2019). Znajdują one jednak zastosowanie odnośnie emisyjności, choć biorą pod uwagę zmiany sposobu pozyskiwania energii. Inną, skupioną na energochłonności, jak również uwzględniającą zmiany kosztu zakupu energii, jest metoda ECM (Energy Cost Metric) (MacKay et al., 2020).

W przypadku energochłonności produkcji materiałów budowlanych, poza elektryfikacją (tam, gdzie to możliwe) nacisk powinien zostać położony na polepszanie efektywności produkcji. Tradycyjne metody koncentrują się głównie na określeniu zakresu możliwej redukcji nakładów energii, pomijając jednak energię zawartą w materiale poddanym procesom przemysłowym. Nie uwzględniają również strat materiałowych i energochłonności podczas produkcji. W ostatnich latach nastąpiła znaczna intensyfikacja określania efektywności wykorzystania materiałów, obok doskonale znanej analizy efektywności energetycznej. Korzyści tego podejścia zostały dostrzeżone w książce *Sustainable Materials: with both eyes open* (Allwood et al., 2012). Aby jednak zrozumieć interakcje i możliwe kompromisy między obydwoma zasobami, niezbędna jest jednoczesna analiza energii i materiałów służących do produkcji (Gonzalez-Hernandez, 2018). Metodą umożliwiającą taką analizę jest Metoda Efektywnego Wykorzystania Zasobów – REM (ang. *Resource Efficiency Method*), która stanowi narzędzie określające wzajemne interakcje pomiędzy energią a zasobami podczas produkcji i bazuje na określeniu egzergii (J) (Szargut et al., 1988). Analiza egzergii wskazuje również obszary produkcji, które wykazują znaczące straty energii, głównie cieplnej (to rozwinięte zostanie poniżej).

Poza opisanymi w „możliwe do zastosowania od dziś” i „przewidziane do zastosowania od jutra” metodami i strategiami minimalizacji energochłonności w budownictwie, które opierają się głównie na dostępnych technologiach, nie można pominąć technologii, które zostały opracowane i są wdrażane. Nie znajdują jednak jeszcze zastosowania na globalnym rynku budowlanym, jednak okazują się bardzo obiecujące.

3.1. Możliwe do zastosowania od „jutra wieczorem”

I. Odzysk energii cieplnej z instalacji produkcyjnych

Podczas procesów produkcyjnych (np. przemysł chemiczny, mineralny, metali żelaznych) wytwarzane są ogromne ilości ciepła, które, jeżeli nie są wykorzystywane wtórnie podczas produkcji, wykazywane są jako straty energii cieplnej (np. straty ciepła wokół pieca obrotowego w cementowych zakładach produkcyjnych czy piecach podczas produkcji stali). Jego wychwytywanie i ponowne zastosowanie zależy od źródła ciepła i jego intensywności. Istnieje wiele metod wychwytywania energii cieplnej (Jouhara et al., 2018). Metody te, w powiązaniu z magazynowaniem ciepła (opisanego poniżej), mogłyby posłużyć do celów operacyjnych budynków.

II. Zastosowanie wodoru

Jedną ze strategii dekarbonizacji jest zastosowanie technologii wodorowej. Dostępnych jest coraz więcej metod zastosowania wodoru, zarówno w produkcji przemysłowej, transporcie, jak i do ogrzewania budynków i gotowania. Jest to dopiero raczkująca technologia, jednak rozwijająca się w bardzo szybkim tempie (Nuttall, Bakkenne, 2020; Parra et al., 2019).

- a) Produkcja stali przy zastosowaniu wodoru może się przyczynić do redukcji o 30% emisyjności w porównaniu z tradycyjną produkcją stali (w piecach martenowskich). Pomyślność tej technologii uzależniona jest jednak od kosztu produkcji wodoru i energii elektrycznej (Bhaskar et al., 2020);
- b) Istnieje możliwość stosowania paliwa wodorowego do ogrzewania budynków i gotowania jako nieemisyjnego źródła, niemniej jednak uzależnione jest to od kosztów produkcji paliwa wodorowego, regulacji prawnych, jak również od usunięcia barier społecznych (Dodds et al., 2015; Scott, Powells, 2020).

III. Magazynowanie ciepła

Magazynowanie energii cieplnej (TES) to technologia, która magazynuje energię ciepłą poprzez ogrzewanie lub chłodzenie nośnika, dzięki czemu zgromadzona energia może być później wykorzystana w kwestiach związanych z ogrzewaniem i chłodzeniem oraz do wytwarzania energii. TES jest szczególnie ważny dla magazynowania energii elektrycznej w elektrowniach słonecznych – ciepło może być magazynowane i wykorzystywane do produkcji energii elektrycznej w nocy. Nośnikiem magazynowania ciepła może być materiał zmiennofazowy (PCM) (Sarbu, Sebarchievici, 2018). Zaletą tej technologii jest fakt, że w przypadku nadprodukcji energii elektrycznej (na obszarach bardzo nasłonecznionych) może zostać wykorzystana do wysokoenergochłonnych procesów produkcji, w tym np. produkcji wodoru.

Podsumowanie

Od 2013 r. wartość dodana brutto rynku budowlanego w latach 2013–2019 gwałtownie wzrastała i osiągnęła 192,5 mln EUR. Powoduje to, że sektor budowlany jest najbardziej dynamicznie rozwijającym się ze wszystkich sektorów gospodarki. Emisyjność UE-28 w 2017 r. stanowiła 10,5% globalnych (światowych) emisji CO₂. W krajach europejskich aż 41% zużycia energii powiązane jest z gospodarstwami domowymi, budynkami komercyjnymi i publicznymi. Szacuje się, że te sektory odpowiedzialne są za około 36% emisji CO₂. Jedna trzecia energii pochodzi ze spalania gazu ziemnego, jedna trzecia – z wytwarzania energii elektrycznej, 14% – z OZE i biopaliw, 7% – z ciepłowni lub elektrociepłowni, reszta (2,3%) – z paliw stałych i innych. W krajach europejskich 58% budynków mieszkalnych i ponad 66% budynków komercyjnych wykorzystuje jako główny materiał konstrukcyjny beton, którego składnikiem jest wysokoenergetyczny i wysokoemisyjny cement, będącym regionalnym materiałem budowlanym. Stal konstrukcyjna używana jest w 15% budynków komercyjnych i jedynie prawie 4% budynków mieszkalnych. Szacuje się, że w Europie Zachodniej do 2030 r. powierzchnia budynków wzrośnie o 15% w porównaniu z 2015 r. Powoduje to, że energochłonność i emisyjność w sektorze budownictwa również gwałtownie wzrośnie. Aby temu przeciwdziałać, niezbędne stają się działania prowadzące do ich redukcji.

Redukcję energochłonności (emisyjności) w sektorze budownictwa należy rozpatrywać w dwóch aspektach: operacyjnej, związanej z ogrzewaniem, chłodzeniem, gotowaniem, oświetleniem, używaniem urządzeń w budynkach, oraz związanej ze śladem węglowym materiałów i procesów budowy. W pierwszym przypadku ener-

gochłonność można znacznie zredukować poprzez poprawę termoizolacyjności przegród budowlanych, zarówno istniejących, jak i nowych budynków, ze szczególnym uwzględnieniem aktualnych zmian klimatycznych. Pozwoliłoby to na znaczne zredukowanie energochłonności związanej z ogrzewaniem, która obecnie wynosi 64% dla gospodarstw domowych. Redukcja emisyjności z aktualnych 36% dla gospodarstw domowych i budynków związanych z usługami komercyjnymi i publicznymi możliwa byłaby poprzez zamianę urządzeń wykorzystujących paliwa stałe, płynne lub gazowe na elektryczne. Ta strategia będzie miała sens jedynie wtedy, gdy energia elektryczna będzie wytwarzana ze źródeł niskoemisyjnych. W przypadku istniejących budynków największymi ograniczeniami dla właścicieli/użytkowników mogą się okazać kwestie finansowe, związane z modernizacją istniejących instalacji, jak również przyzwyczajenie do istniejących sposobów ogrzewania – centralne ogrzewanie wykorzystujące paliwa stałe, ciekłe czy gazowe.

Celem minimalizacji śladu węglowego budynków, strategiami, które mogłyby przynieść największe korzyści, są: zwiększenie efektywności materiałowej (redukcja ilości stosowanego materiału); maksymalne wydłużenie użytkowania budynków i ich elementów; stosowanie materiałów niskoenergetycznych/niskoemisyjnych. W przypadku użycia stali, faworyzowane powinno zostać używanie stali pochodzącej z recyklingu. W tym przypadku, energochłonność produkcji jest nawet o 75% mniejsza w porównaniu z produkcją stali z rud żelaza. W przypadku zwiększenia produkcji stali z recyklingu w elektrycznych piecach łukowych emisyjność może znacznie zmaleć, lecz tylko w przypadku produkcji energii elektrycznej z niskoemisyjnych źródeł. Największymi problemami mogą się okazać niewystarczająca ilość złomu stalowego do pokrycia zapotrzebowania na stal, niezadowalająca jakość stali z recyklingu, jak również wysokie koszty modernizacji produkcji stali.

W przypadku cementu używanego w betonie (w krajach europejskich 58% budynków mieszkalnych i ponad 66% budynków komercyjnych wykorzystuje beton jako główny materiał konstrukcyjny) istnieje możliwość substytucji cementu poprzez uboczne produkty spalania lub uboczne produkty produkcji stali (głównie z produkcji stali z rud żelaza). W tym przypadku jednak, ze względu na dekarbonizację przemysłu energetycznego oraz minimalizację produkcji stali, brak będzie materiałów służących do substytucji i potrzebne będzie wprowadzenie nowych materiałów, które mogłyby być zastosowane w makroskali. Perspektywicznymi materiałami wydają się być glina kalcynowana i mielony wapień. Glina niestety nie jest uwzględniona w normach budowlanych. Emisyjność produkcji cementu wiąże się w 2/3 z procesami chemicznymi rozkładu węglanu wapnia, dlatego poza zwiększeniem elektryfikacji produkcji czy produkcją klinkieru (składnika cementu) w niższych niż dotychczas temperaturach, niezbędne jest zwiększenie efektywności wykorzystania materiałów cementowych.

Poza dostępnymi technologiami szczególną uwagę należy zwrócić na nowe, innowacyjne, nisko- lub nawet nieemisyjne metody dostarczania energii. W ich skład wchodzi: paliwo wodorowe, odzysk ciepła z instalacji produkcyjnych oraz technologia magazynowania energii cieplnej. Wszystkie trzy mogą w niedalekiej przyszłości stanowić trzon niskoemisyjnej produkcji energii.

Podziękowania:

Chciałbym podziękować Jonathanowi Cullen z *Resource Efficiency Collective* za wsparcie podczas pracy nad tym rozdziałem, Tiffany Vass, Thibaut Abergel i Peterowi Levi z Międzynarodowej Agencji Energetycznej (IEA) za przekazanie niezbędnych danych oraz Iwonie Drynkowskiej za bardzo cenne uwagi merytoryczne i redakcyjne.

Bibliografia

- Acheng, P. O. (2015). *Realistic gravity loading of structures*. (Masters Dissertation). Bath. Pozyskano z: <https://bit.ly/2DNCB2w>
- Allwood, J. M., Cullen, J. M., Carruth, M. A., Cooper, D. R., McBrien, M., Milford, R. L., Moynihan, M. C., Patel, A. C. H. (2012). *Sustainable materials: with both eyes open*. Citeseer.
- Andrew, R. M. (2018). Global CO₂ emissions from cement production. *Earth System Science Data*, 10(1).
- Athena. (2004). *Minnesota Demolition Survey: Phase two Report*. Pozyskano z: http://briscoman.com/sites/default/files/Athena_Demolition_Survey.pdf
- Bhaskar, A., Assadi, M., Nikpey Somehsaraei, H. N. (2020). Decarbonization of the Iron and Steel Industry with Direct Reduction of Iron Ore with Green Hydrogen. *Energies*, 13(3).
- BSI. (2011). BS EN 15978 – Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation method. W: IBSI.
- CEN. CEN/TC 350 – Sustainability of construction works. Pozyskano z: <http://bit.ly/2yfMMA0>
- CEN. (2002). *EN 1990: Eurocode: Basis of Structural Design*. Pozyskano z: <https://bit.ly/31IDEZE>
- Colangelo, F., Forcina, A., Farina, I., Petrillo, A. (2018). Life Cycle Assessment (LCA) of Different Kinds of Concrete Containing Waste for Sustainable Construction. *Buildings*, 8(5). doi:10.3390/buildings8050070
- Deloitte. (2018). *Maintaining Momentum? London Office Crane Survey Winter 2018*. Pozyskano z: <https://bit.ly/33Hkrdy>
- Deloitte. (2019). *PPoC 2018 – Global Powers of Construction*. Pozyskano z: <https://bit.ly/3aTB7PY>
- Densley-Tingley, D., Cooper, S., Cullen, J. (2017). Understanding and overcoming the barriers to structural steel reuse, a UK perspective. *Journal of Cleaner Production*, 148.
- Dodds, P. E., Staffell, I., Hawkes, A. D., Li, F., Grünewald, P., McDowall, W., Ekins, P. (2015). Hydrogen and fuel cell technologies for heating: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(5). doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.11.059>
- Drewniok, M. P., Campbell, J., Orr, J. J. (2020). The Lightest Beam Method – a methodology to find ultimate steel savings and reduce embodied carbon in steel framed buildings. *Structures*, 27. doi:<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.06.015>
- Drewniok, M. P., Orr, J. J. (2019). *MEICON – The origins of office floor loading*. Pozyskano z: <https://www.meicon.net/>
- Dunant, C. F., Drewniok, M. P., Eleftheriadis, S., Cullen, J., Allwood, J. (2018a). Regularity and optimisation practice in steel structural frames in real design cases. *Resources, Conservation and Recycling*, 134.
- Dunant, C. F., Drewniok, M. P., Orr, J. J., Allwood, J. M. (2020). Good early stage design decisions can halve embodied CO₂ and lower structural frames' cost. *Structures*, Submitted 20/01/2020.

- Dunant, C. F., Drewniok, M. P., Sansom, M., Corbey, S., Allwood, J. M., Cullen, J. M. (2017). Real and perceived barriers to steel reuse across the UK construction value chain. *Resources, Conservation and Recycling*, 126. doi:10.1016/j.resconrec.2017.07.036
- Dunant, C. F., Drewniok, M. P., Sansom, M., Corbey, S., Cullen, J. M., Allwood, J. M. (2018b). Options to make steel reuse profitable: An analysis of cost and risk distribution across the UK construction value chain. *Journal of Cleaner Production*, 183. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.141
- EC, EEA. (2019). *Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2017 and inventory report 2019*. EEA/PUBL/2019/051. Pozyskano z: <https://bit.ly/2XIVVoF>
- ECA, Cembureau. (2019). *Activity Report 2018. Built in concrete, Made with cement*. Pozyskano z: <https://cembureau.eu/media/1818/activity-report-2018.pdf>
- Eurofer. (2020). *European Steel in Figures*. Pozyskano z: <https://www.eurofer.eu/assets/Uploads/European-Steel-in-Figures-2020.pdf>
- Eurostat. (2019). *Energy, transport and environment statistics. Statistical Book*. Pozyskano z: <https://bit.ly/33Pc53s>
- Eurostat. (2020a). *Gross domestic product at market prices*. Pozyskano z: <https://bit.ly/3aUjKP0>
- Eurostat. (2020b). *Gross value added at current basic prices, 2009 and 2019 (% share of total gross value added)*. Pozyskano z: <https://bit.ly/2JS26iF>
- Eurostat. (2020c). *Simplified energy balances [nrg_bal_s]*. Pozyskano z: <https://bit.ly/3fMNL59>
- Favier, A., DeWolf, C., Scrivener, K., Habert, G. (2018). *A Sustainable Future for The European Cement and Concrete Industry*. Pozyskano z: https://europeanclimate.org/wp-content/uploads/2018/10/AB_SP_Decarbonisation_report.pdf
- GABC, IEA. (2017). *Global Status Report 2017 – Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector*. Global Alliance for Building and Construction, International Energy Agency. Pozyskano z: <http://bit.ly/2Imepmb>
- GABC, IEA. (2018). *Global Status Report 2018 – Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector*. Global Alliance for Building and Construction, International Energy Agency. Pozyskano z: <http://bit.ly/2Imepmb>
- GABC, IEA. (2019). *Global Status Report 2019 – Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector*. Global Alliance for Building and Construction, International Energy Agency. Pozyskano z: <http://bit.ly/2Imepmb>
- GCP, OE. (2015). *Global Construction 2030. A global forecast for the construction industry to 2030*. Pozyskano z: <https://bit.ly/2PCYK67>
- Golaszewski, J., Kostrzanowska-Siedlarz, A., Ponikiewski, T., Miera, P. (2019). Influence of Multicomponent and Pozzolan Cements Containing Calcareous Fly Ash and Other Mineral Admixtures on Properties of Fresh Cement Mixtures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471, 112024. doi:10.1088/1757-899X/471/11/112024
- Gonzalez-Hernandez, A. (2018). *Site-level resource efficiency analysis*. (PhD). University of Cambridge.
- GUS. (2019). *Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2018 roku*. Pozyskano z: <https://bit.ly/3gJh49K>

- Hradil P., Talja A., Wahlström M., Huuhka S., Lahdensivu J., Pikkuvirta J. (2014). *Re-use of structural elements – Environmentally efficient recovery of building components*. Pozyskano z: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2014/T200.pdf>
- Huuhka, S., Lahdensivu, J. (2016). Statistical and geographical study on demolished buildings. *Building Research & Information*, 44(1). doi:10.1080/09613218.2014.980101
- IEA. (2017). *Energy Technology Perspectives 2017. Catalysing Energy Technology Transformations*. Pozyskano z: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2017>
- IEA. (2018). *Global Energy & CO₂ Status Report. The latest trends in energy and emissions in 2018*. Pozyskano z: <https://www.iea.org/geco>
- IEA. (2019a). *Material Efficiency in Clean Energy Transitions*. Pozyskano z: <https://www.iea.org/publications/reports/MaterialEfficiencyinCleanEnergyTransitions/>
- IEA. (2019b). *Perspectives for the Clean Energy Transition – The Critical Role of Buildings*. Pozyskano z: <https://bit.ly/3acAbGx>
- IEA. (2020). World gross electricity production, by source, 2018. Pozyskano z: <https://bit.ly/3ioPMpp>
- Jouhara, H., Khordehghah, N., Almahmoud, S., Delpech, B., Chauhan, A., Tassou, S. A. (2018). Waste heat recovery technologies and applications. *Thermal Science and Engineering Progress*, 6. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tsep.2018.04.017>
- Kaynakli, O. (2012). A review of the economical and optimum thermal insulation thickness for building applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1). doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.006>
- Lazzarin, R., Noro, M. (2020). Photovoltaic/Thermal (PV/T)/ground dual source heat pump: Optimum energy and economic sizing based on performance analysis. *Energy and Buildings*, 211, 109800. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109800>
- Lomas, K. J., Porritt, S. M. (2017). Overheating in buildings: lessons from research. *Building Research & Information*, 45(1–2). doi:10.1080/09613218.2017.1256136
- MacKay, D., Bock, M., Cebon, D., Cullen, J., Doig, K., Drewniok, M., Gustafsson, J., Guthrie, P., Hibbert, A., Smith, S., Swallow, P., Symons, K., Tzokova, P., Williams, B. (2020). *Energy Cost Metric. Energy Design Guide for the Civil Engineering Building in West Cambridge. Part 1: Early stage design decisions*. Pozyskano z: <https://www.refficiency.org/category/publications/>
- Marsh, E. (2019). Carbon Certification Systems. Pozyskano z: <https://www.meicon.net/carbon-maps>
- Moynihán, M. C., Allwood, J. M. (2014). Utilization of structural steel in buildings. *Proc. R. Soc. A*, 470(2168), 20140170.
- Nußholz, J. L. K., Rasmussen, F. N., Whalen, K., Plepys, A. (2020). Material reuse in buildings: Implications of a circular business model for sustainable value creation. *Journal of Cleaner Production*, 245, 118546. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118546>
- Nuttall, W. J., Bakenne, A. T. (2020). Deep Decarbonisation – *The Role of Hydrogen*. In *Fossil Fuel Hydrogen*. Springer.

- Orr, J. J., Copping, A., Drewniok, M. P., Emmitt, S., Imbell, T. (2018). *Minimising Energy in Construction – Survey of Structural Engineering Practice*. Pozyskano z: <https://www.meicon.net/survey2018/>
- Orr, J. J., Darby, A. P., Ibell, T. J., Evernden, M. C., Otlet, M. (2011). Concrete structures using fabric formwork. *Structural Engineer*, 89(9).
- Orr, J. J., Drewniok, M. P. (2018). MEICON Rentable floor loading according to data from Letting Agencies. Pozyskano z: <https://www.meicon.net/letting-floor-data/>
- Parra, D., Valverde, L., Pino, F. J., Patel, M. K. (2019). A review on the role, cost and value of hydrogen energy systems for deep decarbonisation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.010>
- Popescu, C. D., Muntean, M., Sharp, J. H. (2003). Industrial trial production of low energy belite cement. *Cement and Concrete Composites*, 25(7).
- Population. (2019). World Population Review 2019. Pozyskano z: <http://worldpopulationreview.com/>
- Purnell, P. (2013). The carbon footprint of reinforced concrete. *Advances in Cement Research*, 25(6).
- Sarbu, I., Sebarchievici, C. (2018). A comprehensive review of thermal energy storage. *Sustainability*, 10(1).
- Schneider, M., Romer, M., Tschudin, M., Bolio, H. (2011). Sustainable cement production – present and future. *Cement and Concrete Research*, 41(7). doi:<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.03.019>
- Scott, M., Powells, G. (2020). Sensing hydrogen transitions in homes through social practices: Cooking, heating, and the decomposition of demand. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(7). doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.12.025>
- Shanks, W., Dunant, C. F., Drewniok, M. P., Lupton, R. C., Serrenho, A., Allwood, J. M. (2019). How much cement can we do without? Lessons from cement material flows in the UK. *Resources, Conservation and Recycling*, 141. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.11.002>
- Staněk, T., Sulovský, P. (2015). Active low-energy belite cement. *Cement and Concrete Research*, 68. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2014.11.004>
- statista. (2020). Global cement production 1995–2019. *statista*. Pozyskano z: <https://www.statista.com/statistics/1087115/global-cement-production-volume/>
- Szargut, J., Morris, D. R., Steward, F. R. (1988). *Exergy analysis of thermal, chemical, and metallurgical processes*. Hemisphere.
- UKGBC. (2019). *Net Zero Carbon Buildings: A Framework Definition*. Pozyskano z: <https://bit.ly/3gKaEXJ>
- UKRI. (2015). Innovate UK – Supply chain integration for structural steel reuse. Pozyskano z: <https://gtr.ukri.org/projects?ref=132106>
- UN. (2019). *Probabilistic Population Projections Rev. 1 based on the World Population Prospects 2019 Rev. 1*. Pozyskano z: <http://population.un.org/wpp/>
- Van den Heede, P., De Belie, N. (2012). Environmental impact and life cycle assessment (LCA) of traditional and ‘green’ concretes: Literature review and theoretical calculations. *Cement and Concrete Composites*, 34(4). doi:<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.01.004>

- WorldSteel. (2020). World Crude Steel Production – Summary. *WorldSteel*. Pozyskano z: <https://bit.ly/2KtFdTn>
- WRI. (2017). World Greenhouse Gas Emissions: 2016. *World Resources Institute*. Pozyskano z: <https://bit.ly/3dJ39iJ>
- WSA. (2019a). *Steel Statistical Yearbooks*, WSA. Pozyskano z: <http://bit.ly/2DzmVg3>
- WSA. (2019b). *Steel's contribution to a low carbon future and climate resilient society – Worldsteel position paper*. Pozyskano z: <http://bit.ly/2QLILU5>
- WSA. (2018). *World Steel in Figures 2018*, World Steel Association. Pozyskano z: <https://bit.ly/30ItHvW>
- Yang, K.-H., Jung, Y.-B., Cho, M.-S., Tae, S.-H. (2015). Effect of supplementary cementitious materials on reduction of CO₂ emissions from concrete. *Journal of Cleaner Production*, 103. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.018>
- Yannas, S., Rodríguez-Álvarez, J. (2020). Domestic overheating in a temperate climate: Feedback from London Residential Schemes. *Sustainable Cities and Society*, 59, 102189. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102189>

Streszczenie

Sektor budowlany jest najbardziej dynamicznie rozwijającym się ze wszystkich sektorów gospodarki. Odpowiada również za znaczącą część globalnej energochłonności. Biorąc pod uwagę materiały, procesy budowy i eksploatację (ogrzewanie, chłodzenie, oświetlenie, gotowanie), budynki odpowiedzialne są za 36% globalnego zużycia energii i 39% globalnych emisji CO₂. Prawie 20% pochodzi z produkcji cementu (składnika betonu) i stali wykorzystywanych w konstrukcji budynków. W krajach europejskich 58% budynków mieszkalnych i ponad 66% budynków komercyjnych wykorzystuje zbrojony beton jako główny materiał konstrukcyjny. Ich eksploatacja pochłania 41% europejskiej energii oraz 36% emisji CO₂. Rozdział przedstawia sposoby redukcji energochłonności i emisyjności dla europejskiego sektora budowlanego, zakładając zarówno dostępne, jak i nowe technologie. W większości przypadków przyczyn ograniczeń należy szukać w obszarach społecznym i ekonomicznym, a nie w braku dostępności innowacyjnych technologii.

Słowa kluczowe: energochłonność, emisyjność, budownictwo, ślad węglowy, energochłonność operacyjna.

ENERGY REDUCTION IN CONSTRUCTION

SUMMARY

The construction sector is considered to be the most dynamically developing of all sectors of the economy. Is responsible also for a significant part of global energy consumption and global gas emissions. Structural materials used in buildings, construction processes as well as energy used for building operation (heating, cooling, lighting, cooking) consume 36% of global energy and 39% of global CO₂ emissions, 20% of which represent emissions from cement (a component of concrete) and steel production. In European countries, 58% of residential buildings and 66% of commercial buildings are reinforced concrete. These buildings consume 41% of EU energy and emit 36% of EU CO₂. This chapter presents ways to reduce both energy and emissions in this section assuming both available and new technologies. In most cases, the barriers lie in the social and economic areas rather than the lack of available, innovative technologies.

Keywords: Embodied carbon, operational carbon, energy intensity, construction, reduction.

JEL: L74, O33

Ideę dokonania analizy i krytycznej oceny wpływu wybranych aspektów gospodarowania na skutki klimatyczne należy uznać za ze wszech miar potrzebną i wartościową z punktu widzenia interesu publicznego. (...) Analiza struktury książki dowodzi, że przyjęto zasadę rozwijania treści od ogółu do szczegółu. Dlatego trzy pierwsze fragmenty dotyczą spraw na wysokim poziomie uogólnienia i referują problematykę ewolucji cywilizacji ludzkiej, reakcji politycznej na pojawiające się negatywne zjawiska oraz idei gospodarki zamkniętej pętli jako remedium na klimatycznie negatywne ekonomiczne efekty zewnętrzne. Kolejne rozdziały dotyczą niektórych aspektów realnej gospodarki w perspektywie zagadnień klimatycznych. Ostatni jest swoistym podsumowaniem wcześniejszych rozważań.

Prof. dr hab. Piotr Banaszyk, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu (fragment recenzji)

Centralnym zagadnieniem jest zahamowanie globalnego ocieplenia, które jest w najbliższej przyszłości największym wyzwaniem dla mieszkańców Ziemi. W publikacji Autorzy reprezentujący różne dyscypliny nauki i ośrodki naukowe w Polsce i nie tylko (także Wielkiej Brytanii – Cambridge) przedstawili wyniki prac badawczych, w których analizowali przyczyny, możliwości, bariery i rozwiązania zmierzające do osiągnięcia zahamowania, a przynajmniej spowolnienia wzrostu temperatury na kuli ziemskiej.

Zalety recenzowanej publikacji:

1. interesująca tematyka,
2. poprawność merytoryczna,
3. interdyscyplinarność w prezentowaniu różnych zagadnień z zakresu polityki klimatycznej,
4. szczegółowe analizy istotnych dla redukcji emisji GHG branż,
5. duża ilość danych rzeczywistych i szacunkowych odnośnie redukcji energochłonności i emisyjności,
6. przekrój czasowy prezentowanych analiz,
7. włączenie do analiz danych i przemysłów z początkowego okresu pandemii COVID-19.

Dr hab. inż. Elżbieta Pietrzyk-Sokulska, em. prof. IGSMiE PAN (fragment recenzji)



ISBN 978-83-954392-4-7
EAN 9788395439247

ISBN 978-83-954392-4-7



9 788395 439247