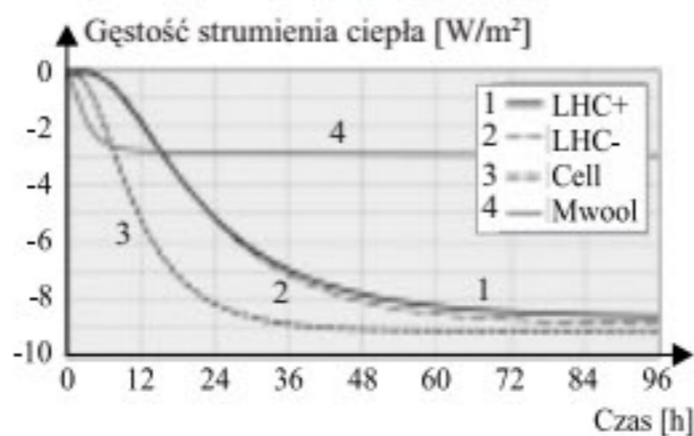


Fenomen materiału został zauważony m.in. w Haverhill [6], gdzie budynek z **hempcrete** mimo ścian o współczynniku $U = 0,58$ [$W/m^2 \cdot K$] wykazał w warunkach dynamicznych lepszą charakterystykę energetyczną niż identyczny budynek o U ścian = $0,35$ [$W/m^2 \cdot K$]. Przyczyn może być wiele. W przypadku stosowania materiału na mokro można dobrze wypełnić wszystkie styki materiałowe i miejsca trudno dostępne, eliminując liniowe mostki termiczne i zwiększając szczelność przegród. Materiał ma dużą pojemność cieplną i zdolność do akumulowania oraz redystrybuowania zysków ciepła. Dobrze „radzi sobie” z nadmiarem wilgoci i kondensacją, co może prowadzić do oszczędności związanych z wentylacją budynku. Jego paroprzepuszczalność, higroskopijność i kapilarność mogą umożliwić zagospodarowanie zysków ciepła z przemian fazowych wilgoci w przegrodach, podobnie jak w materiałach zmiennofazowych (PCM). Szczególnie ważna jest kombinacja parametrów materiału: niewielki współczynnik przewodzenia ciepła, średnia gęstość i duże ciepło właściwe, które skutkują bardzo małą dyfuzyjnością termiczną ($\lambda/\rho c$) i niezbyt dużą efuzyjnością (aktywnością) cieplną ($\lambda/\rho c$)^{1/2}. W badaniu [9] porównano trzy dwudziestopięciocentymetrowe warstwy materiałów: **hempcrete** ($\lambda = 0,12$ [W/mK], $\rho = 480$ [kg/m^3], $c = 1550$ [J/kgK]); betonu komórkowego ($\lambda = 0,12$ [W/mK]) i wełny mineralnej ($\lambda = 0,04$ [W/mK]). Na początku badania temperatura po obu stronach przegród wynosiła 20 [$^{\circ}C$], a wilgotność względna 50% po wewnętrznej i 80% po zewnętrznej stronie. Następnie po zewnętrznej stronie temperatura została obniżona do 0 [$^{\circ}C$]. Wykonano symulację zmiany gęstości strumienia ciepła w czasie, aż do jego ustabilizowania się, co osiągnięto w przypadku: **hempcrete** po 64 ± 100 h, betonu komórkowego po ok. 30 h i wełny mineralnej po ok. 12 h (rysunek). W efekcie przez pierwsze 24 h, pomimo większego współczynnika przewodzenia ciepła, przez **hempcrete** przepłynęło najmniej ciepła (190 [kJ/m^2]) w porównaniu z wełną mineralną (220 [kJ/m^2]) i betonem komórkowym (410 [kJ/m^2]). Dynamiczne badania sorpcji [15] wykazały także, jak właściwości fizyczne materiału, pozwalające naturalnie regulować wilgotność, wpływają na kom-



Gęstość strumienia ciepła przez wewnętrzną powierzchnię 25-centymetrowej warstwy materiału: hempcrete (LHC: „+” z uwzględnieniem, „-” bez uwzględnienia „utajonego efektu cieplnego” spowodowanego zmianą stanu skupienia wody wewnątrz przegrody); betonu komórkowego (Cell) i wełny mineralnej (Mwool) [9]

Heat flux through interior surface of 25 cm wall elements in hempcrete (LHC: „+” taking into account; „-”, not taking into account latent heat effect), cellular concrete (Cell) and mineral wool (Mwool) [9]

fort cieplno-wilgotnościowy i zdrowy mikroklimat pomieszczeń.

Istnieją różne możliwości ekologicznego zagospodarowania **hempcrete**, **pod koniec cyklu życia materiału**. Można go rozdrobnić i dodać do nowej mieszanki bez pogorszenia jej właściwości, kompostować lub zastosować jako nawóz. Ze względu na naturalny skład **hempcrete** jako odpad nie stanowi zagrożenia dla środowiska.

Bilans emisji dwutlenku węgla w cyklu życia omawianego materiału jest jedną z metod oceny jego wpływu na środowisko naturalne. Dane zawarte w publikacjach dotyczących bilansu węglowego w ujęciu *cradle to gate* („od kołyski do bram zakładu produkcyjnego”), ze względu na różnice metodologiczne, wynoszą od -358 do 62 [$kg CO_2/m^3$] [3, 4, 14]), lecz wszystkie wskazują na niewielki lub wręcz ujemny poziom emisji CO_2 **hempcrete**.

W ujęciu *cradle to grave* („od kołyski po grób”) przeprowadzono analizę [13], porównując warstwy materiałowe o takim samym oporze cieplnym (wykorzystując współczynnik λ materiału) wykonane z **hempcrete** i popularnych materiałów termoizolacyjnych (EPS, PUR, wełny mineralnej). W przypadku przyjętym jako „najbardziej prawdopodobny” (konopie uprawiane w monokulturze, wapno ze scentralizowanej produkcji o stopniu karbonatyzacji w ścianach – 50% , transport materiałów z fabryki na budowę na odległość 150 km, użycie urządzeń na budowie, trwałość

materiału 60 lat, użycie dodatkowej ilości – 25% wapna do napraw, ponowne użycie materiału po rozbiórce z transportem na odległość 100 km) uzyskano emisję CO_2 **hempcrete** $-3,5$ [kg/m^3]. Z analizy wynika, że emisja CO_2 w całym cyklu życia tego materiału jest mniejsza niż porównywanych materiałów termoizolacyjnych, a w optymalnym wariantcie może być ujemna.

Optymalizacja emisji CO_2 **hempcrete** musi uwzględniać proces produkcji surowca konopnego i spoiwa oraz metody utylizacji materiału. W [10] zauważono, że jego gęstość nie ma większego wpływu na poziom karbonatyzacji (odwrotnie stwierdzono w [15]); mniejszy udział spoiw hydraulicznych zwiększa poziom karbonatyzacji; lecz głównym źródłem sekwestracji CO_2 pozostaje komponent konopny, a więc obniżanie emisji CO_2 powinno być prowadzone przez maksymalne zwiększanie jego udziału w mieszance. Będzie to skutkowało mniejszą gęstością materiału, a więc i mniejszym współczynnikiem λ .

Potencjał stosowania hempcrete w Polsce

Poza zastosowaniem w rewitalizacji zabytków **hempcrete** może być powszechnie wykorzystywany na wewnętrzne i zewnętrzne jednowarstwowe ściany monolityczne (ewentualnie docieplane) o drewnianym lub stalowym szkieletcie w niskiej zabudowie jednorodzinnej. Główne zalety takiego rozwiązania to omówione właściwości termiczne wpływające na komfort użytkowania oraz prostota budowy. Wykonywanie izolacji poziomych w tej technologii wydaje się mniej atrakcyjne (większy niż u popularnych materiałów współczynnik λ , pracochłonność), aczkolwiek również możliwe. Na fotografii przedstawiono przykład budowy obiektu w technologii **hempcrete**.

Drugi kierunek zastosowania, to wykonywanie ścian wypełniających z prefabrykowanych bloczków **hempcrete** (dostarczanych na budowę w stanie suchym) w budynkach wielorodzinnych, usługowych, magazynowych itd. w konstrukcji szkieletowej, głównie żelbetowej. Ściany takie byłyby dodatkowo izolowane, ale zastosowanie **hempcrete** miałyby istotny walor ekologiczny. **Hempcrete** pod względem właściwości fizycznych jest podobny do lek-