



Kompozyt wapienno-konopny - materiał ekologiczny

Piotr Sokołowski¹, Paweł Kossakowski²

STRESZCZENIE:

W artykule przedstawiono możliwości wykorzystania konopi przemysłowych do produkcji kompozytu wapienno-konopnego, określanego jako beton konopny lub mieszanka wapienno-konopna. Opisano technologię jego produkcji, procesy zachodzące w materiale podczas dojrzewania, a także zalety i wady oraz walory ekologiczne. Zamieszczono informacje na temat technologii budowy ścian konstrukcyjnych z betonu konopnego.

SŁOWA KLUCZOWE:

konopie przemysłowe; kompozyt wapienno-konopny; mieszanka wapienno-konopna; beton konopny

1. Wprowadzenie

Intensywnemu rozwojowi gospodarczemu, oprócz efektów pozytywnych, towarzyszy szereg niekorzystnych zjawisk, takich jak m.in. agresywna eksploatacja surowców mineralnych oraz wzrost zanieczyszczenia emitowanego do środowiska naturalnego. Już w XIX wieku poszukiwano rozwiązań, które pozwalałyby na takie prowadzenie gospodarki, aby zapewnić odpowiednie zasoby naturalne kolejnym pokoleniom. W efekcie opracowano koncepcję zrównoważonego rozwoju, która za priorytet uznaje takie gospodarowanie, które zagwarantuje przyszłym pokoleniom możliwość zaspokajania ich potrzeb na odpowiednio wysokim poziomie. Zrównoważony rozwój ukierunkowany na gospodarkę w naturalny sposób obejmuje również sferę życia społecznego, a także kwestie związane ze środowiskiem naturalnym.

Jednym z kluczowych problemów towarzyszących intensywnej produkcji przemysłowej są aspekty energetyczne. Idea zrównoważonego rozwoju zakłada zmniejszenie zużycia energii, zminimalizowanie emisji gazów cieplarnianych do atmosfery, wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii oraz zagospodarowanie odpadów poprodukcyjnych. Istotna jest minimalizacja stosowania materiałów uciążliwych dla środowiska naturalnego, co jest możliwe przy wykorzystaniu materiałów organicznych, w tym pochodzenia roślinnego. Jednym z takich materiałów są konopie przemysłowe, które do swego wzrostu potrzebują znacznych ilości dwutlenku węgla. Dzięki swoim własnościom znajdują one zastosowanie w budownictwie, m.in. jako komponent materiałów budowlanych. Mieszanka paździerz konopnych z wapnem i wodą daje kompozyt wapienno-konopny, określane potocznie jako beton konopny. Materiał ten znajduje zastosowanie w budownictwie do wznoszenia konstrukcji ścian budynków, dachów i podłóg. Charakteryzuje się bardzo dobrymi parametrami termoizolacyjnymi, co przekłada się na zmniejszenie zapotrzebowania na energię do ogrzewania budynku, przyczyniając się do ograniczenia emisji

¹ Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Budownictwa i Architektury, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, e-mail: pso.sokol@wp.pl, orcid id: 0000-0002-5043-5876

² Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Budownictwa i Architektury, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, e-mail: kossak@tu.kielce.pl, orcid id: 0000-0002-7827-4955

gazów ciepłarniach. Beton konopny jest wodoodporny i niepalny, a także w pełni biodegradowalny, poddaje się recyklingowi.

W artykule przybliżono możliwości wykorzystania kompozytu wapienno-konopnego jako nowoczesnego materiału konstrukcyjno-ekologicznego stanowiącego ciekawą alternatywę dla obecnie używanych tworzyw konstrukcyjnych. Przedstawiono technologię produkcji oraz procesy zachodzące w materiale podczas jego dojrzewania. Omówiono techniki budowy ścian konstrukcyjnych, zalety i wady materiału, a także walory ekologiczne przemawiające za jego zastosowaniem w budownictwie.

2. Przykłady zastosowania kompozytu wapienno-konopnego w budownictwie

Pierwsze próby zastosowania kompozytu wapienno-konopnego jako materiału konstrukcyjnego miały miejsce na przełomie lat 80. i 90. XX wieku [1]. We Francji poszukiwano wtedy materiałów ekologicznych, które mogłyby znaleźć zastosowanie do renowacji budynków zabytkowych, wybudowanych z drewna w technologii szkieletowej. Z uwagi na pogorszenie parametrów technicznych istniejącego wypełnienia wykonanego z materiałów naturalnych, takich jak wiklina, słoma i sierść zwierzęca, niezbędna była jego miejscowa wymiana. Konieczne było znalezienie takiego materiału, który gwarantowałby trwałość, posiadał dobre parametry termizolacyjne, był paroprzepuszczalny, a jednocześnie był ekologiczny, naturalny i przyjazny dla zdrowia. Po licznych eksperymentach z różnymi materiałami natrafiono na materiał roślinny, jakim jest konopia przemysłowa, a dokładnie tzw. paździerz konopny produkowany ze zdrewniałej części łodygi rośliny. Wykorzystano go przy remoncie „Domu Turka” w miejscowości Nogent-sur-Seine (rys. 1a) oraz renowacji XV-wiecznego „Domu Adama” w mieście Angers we Francji (rys. 1b).

a)



b)



Rys. 1. Przykłady budynków mieszkalnych, w których do remontów zastosowano materiał konopny:
a) „Dom Turka” [<http://www.coulouris.net/george-jean/tandemfrance2006a/nogent/Images/7.jpg>],
b) „Dom Adama” [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/01/Maison_Adam_Angers.jpg]

W kolejnych latach materiał konopny wielokrotnie modyfikowano, uzyskując finalnie strukturę umożliwiającą wznoszenie nowych budynków. Powstały również stowarzyszenia skupiające sympatyków tej technologii z całego świata, jak np. *Construire en Chanvre* (Francja 1998) i *The International Hemp Building Association* (Irlandia 2009).

Od początku XXI wieku obserwuje się dynamiczny wzrost realizacji budynków z użyciem betonu konopnego, przede wszystkim w Europie Zachodniej i USA. W 2006 roku w Anglii wybudowano magazyn i centrum dystrybucji Adnams Brewery w Reydon (rys. 2), a w 2007 roku w Abingdon budynek Lime Technology LTD Head Office. Na terenie Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu zrealizowano pierwszy w Polsce obiekt z użyciem konopi przemysłowych (rys. 4).



Rys. 2. Adnams Brewery

[<https://www.agefotostock.com/age/en/Stock-Images/Rights-Managed/VIW-AUK-ADC-0001-A>]



Rys. 3. Dom z betonu konopnego w Asheville (USA)

[http://img4.dmtpl.pl/uploads/201511/gallery_1446593628_559652.jpg]



Rys. 4. Pierwszy w Polsce budynek z kompozytu wapienno-konopnego

[<https://scontent.fbud2-1.fna.fbcdn.net>]

3. Rodzaje stosowanych spoiw i paździerzy konopnych

Do produkcji kompozytu wapienno-konopnego stosuje się spoiwo wapienne, stanowiące składnik wiążący. Najistotniejsze jest osiągnięcie odpowiedniej wytrzymałości niezbędnej do utrzymania ciężaru stwardniałej ściany, umożliwienie wysychania paździerzy konopnych oraz zapewnienie stabilności i trwałości struktury w długim czasie. Spoiwo powinno charakteryzować się dużą wytrzymałością początkową. Musi być paroprzepuszczalne podczas i po zakończeniu procesu wiązania, tak aby zapewnić możliwość odparowywania wilgoci z paździerzy konopnych, jak również z całej objętości materiału. Te dwie właściwości można osiągnąć, stosując spoiwa stworzone specjalnie z myślą o kompozycie konopnym. Jest on mieszaniną wapna hydratyzowanego jako głównego składnika, cementu portlandzkiego oraz niewielkiej ilości składników pucolanowych. Dokładny skład mieszanki kompozytu dostępnego na rynku jest objęty tajemnicą handlową i zależy od producenta. Odpowiednia ilość zastosowanego cementu gwarantuje dużą wytrzymałość początkową oraz wymaganą paroprzepuszczalność. Stosuje się również sam naturalny cement, bardzo szybko wiążący, twardniejący i zachowujący paroprzepuszczalność. Innym rozwiązaniem jest zastosowanie w mieszance wysokiej proporcji wapna hydratyzowanego.

Z uwagi na niewielką ilość odmian paździerzy konopnych dostępnych do celów budowlanych przyjęto, że do produkcji mieszanki wapienno-konopnej należy stosować łądygi o długości w granicach $10 \div 25$ mm [2]. W procesie technologicznym bardzo trudne jest uzyskanie paździerzy o konkretnej długości. Z przyczyn technologicznych nieunikniona jest również frakcja spoza podanego przedziału. Dlatego też produkuje się paździerz konopne w zróżnicowanych frakcjach pod względem długości i grubości, ograniczając do minimum zawartość frakcji pylastej, redukując tym samym wodożądność mieszanki. Konieczne jest również oczyszczenie paździerzy z włókien konopnych, bowiem duża ich zawartość wydłuża czas wysychania kompozytu. Wysoka porowatość paździerzy rzędu 60% decydująca o korzystnym, niskim współczynniku przewodzenia ciepła, rzędu $0,04 \div 0,06$ W/mK, przemawia o celowości stosowania tego materiału w budownictwie [3]. Paździerz mogą wchłonać wodę w ilości ich trzykrotnej masy. Obecna w składzie łądygi konopi celuloza w ilości około 59÷67% zapewnia możliwość wchłaniania, a następnie odparowywania wody. Jest to jednak uwarunkowane otoczeniem, jednakże nie wpływa na parametry techniczne paździerza [3, 6, 7].

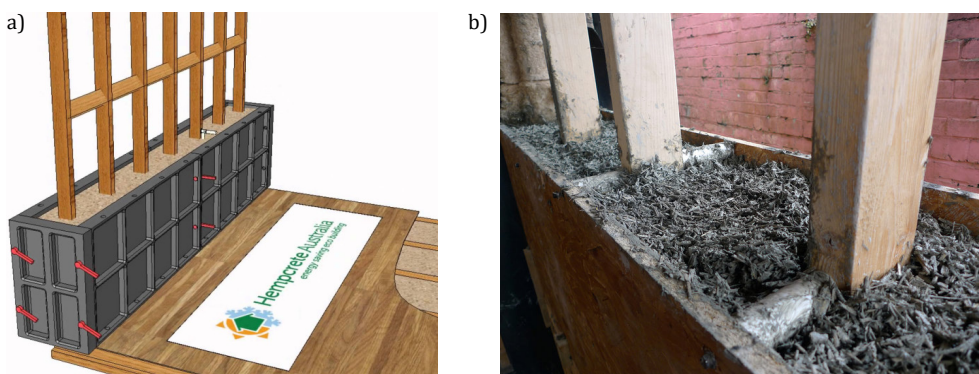
W mieszance dopuszcza się również frakcje drobniejsze. Mogą one znaleźć zastosowanie przy aplikacji natryskowej, gdzie z kolei nie należy stosować frakcji grubszych z uwagi na blokowanie dyszy. Te z kolei nadają się jedynie do ręcznego nakładania materiału, gdyż zapewniają mocną i dobrze oddychającą strukturę ściany. Zastosowanie krótszych paździerzy przy wykorzystaniu techniki natryskowej nie pozwala na uzyskanie takiej struktury, ale umożliwia uzyskanie warstwy charakteryzującej się dodatkową przyczepnością.

4. Technologia produkcji betonu konopnego

Pierwszy etap produkcji kompozytu wapienno-konopnego to dokładne wymieszanie suchego wapna hydratyzowanego z paździerzami konopnymi i niewielką ilością cementu. Na 1 kg wapna przypada ok. 1,75 kg paździerzy i 0,1 kg cementu. Do tak przygotowanej mieszanki dodaje się wody w ilości ok. 1,75 kg. W efekcie uzyskuje się masę o gęstości w granicach $300-330$ kg/m³. Przygotowana w ten sposób mieszanka wapienno-konopna jest wlewana do szalunków. Istotnym czynnikiem na tym etapie produkcji elementów konstrukcyjnych jest przyczepność materiału do powierzchni szalunków, które najczęściej są wykonywane ze sklejki lub płyt drewnopochodnych. Szalunki z tego typu materiałów należy demontować względnie szybko, bo po 12 godzinach ich usunięcie jest problematyczne. O wysokim stopniu izolacyjności betonu konopnego decydują kawałki paździerzy otoczone wapnem. Pozostawiają one pory powietrzne określane jako tubule konopne. Podczas procesu wiązania spoiwo łączy kawałki paździerzy. Woda jest stopniowo wchłaniana przez wapno i paździerz, dochodzi do krystalizacji zaprawy wapiennej oraz karbonizacji, podczas której wapno reaguje z dwutlenkiem węgla. Procesy te powodują, że beton konopny twardnieje, stając się materiałem konstrukcyjnym.

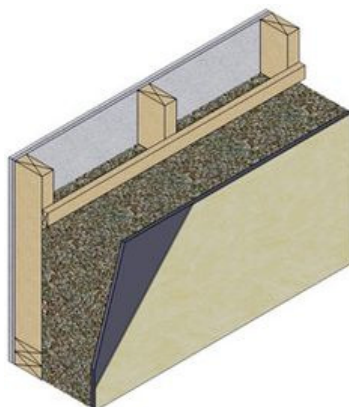
5. Formowanie elementów z betonu konopnego

Jedną z powszechnie stosowanych technik jest warstwowe układanie mieszanki w deskowaniu tymczasowym ze słupami ustawionymi centralnie w stosunku do osi ściany (rys. 5). Optymalna wysokość pojedynczej warstwy wynosi około 50÷60 cm. W trakcie układania mieszanki nie powinna być ona zbyt mocno zagęszczona, gdyż powoduje to obniżenie parametrów izolacyjnych wykonywanej ściany. Wraz z osiągnięciem wymaganego związania materiału deskowanie jest podnoszone w górę, tak aby przejść do układania kolejnej warstwy materiału. Powstała konstrukcja przegrody posiada wysoką sztywność podłużną, co eliminuje konieczność stosowania dodatkowych elementów usztywniających. Istotne jest prawidłowe wykonanie deskowania, tak aby jego ściany były ze sobą zespolone poprzecznie, co uniemożliwi wypychanie mieszanki.



Rys. 5. a) Widok deskowania ściany [<https://i.ytimg.com/vi/G2qhjxnSiU4/maxresdefault.jpg>];
b) mieszanka ułożona w deskowaniu [<https://www.ukhemp.co.uk/articles/hemp-for-construction>]

Innym rozwiązaniem jest zastosowanie ram drewnianych, montowanych od wewnątrz przegrody, do których mocowane są płyty deskowania traconego. Istotne jest, aby materiały na deskowania były odporne na długotrwałe działanie wody z uwagi na dość długi okres wysychania ścian z mieszanki wapienno-konopnej. Stosowane materiały deskowań to płyty z włókna drzewnego, płyty MgO, maty z wikliny. Kluczowa jest tu zdolność materiału do dyfuzji pary wodnej, która powinna być podobna jak w przypadku betonu konopnego. Niska zdolność przepuszczania pary wodnej przez płytę spowoduje pojawienie się pleśni od wewnętrznej strony ściany (rys. 6) [3].



Rys. 6. Konstrukcja ściany z jednostronnym traconym deskowaniem [<https://i.pinimg.com/236x/c0/a5/90/c0a5900b279535e7cd64725a37081523.jpg>]

Kolejną metodą jest natrysk kompozytu wapienno-konopnego. Poszczególne składniki podawane są oddzielnie za pomocą sprężonego powietrza. Ich mieszanie następuje w momencie wylotu z poszczególnych przewodów, co opóźnia kontakt z wodą (rys. 7). W efekcie proces wysychania mieszanki nakładanej natryskowo jest krótszy w porównaniu do tradycyjnej, monolitycznej metody formowania ścian z betonu konopnego.



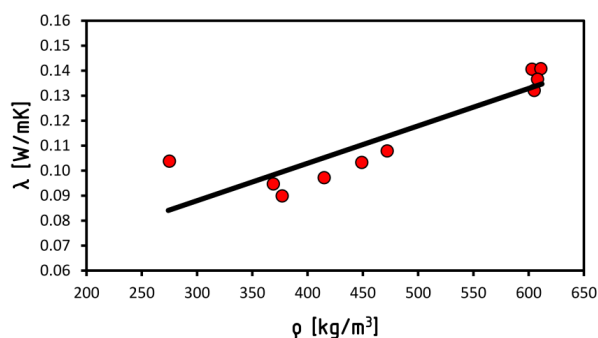
Rys. 7. Nakładanie mieszanki wapienno-konopnej metodą natrysku
[<https://cannabisdigest.ca/building-future-hempcrete/>]

Przy wznoszeniu ścian z betonu konopnego używane są również elementy drobnowymiarowe w postaci bloczków. Ich zaletą jest możliwość ciągłego formowania ścian bez konieczności stosowania przerw technologicznych. Mieszanka przeznaczona do produkcji tego typu elementów zawiera dodatek piasku, co poprawia jej sztywność.

Zastosowanie znajduje również technologia prefabrykacji w której formuje się panele ścienne, z których wykonuje się poszczególne segmenty ścian. Panele składają się ze szkieletu drewnianego wraz z deskowaniem oraz wypełnienia betonem konopnym.

6. Zalety i wady oraz ekologiczne walory mieszanki wapienno-konopnej

Podstawową zaletą mieszanki wapienno-konopnej są znakomite właściwości termoizolacyjne. Decydującym czynnikiem jest tutaj frakcja paździerzy konopnych, która pozwala na uzyskanie bardzo korzystnej przewodności cieplnej. Według badań przeprowadzonych przez Benfratello [7], stosując 40% frakcji paździerzy konopnych w mieszance, uzyskano wartość współczynnika przewodności cieplnej $\lambda = 0,0899 \text{ W/mK}$. Redukując dwukrotnie ilość paździerzy konopnych, współczynnik ten wzrósł do $\lambda = 0,1406 \text{ W/mK}$ (rys. 8).



Rys. 8. Zależność współczynnika przewodzenia ciepła od gęstości [7]

Podstawowym czynnikiem jest tutaj gęstość materiału, która istotnie rośnie wraz ze spadkiem zawartości frakcji paździerzki konopnych. Parametry termoizolacyjne pozwalają w warunkach krajowych na wykonywanie ścian zewnętrznych o grubości rzędu 300÷400 mm bez konieczności stosowania izolacji termicznej. Z uwagi na właściwości izolacyjne, zdolność akumulacji ciepła oraz jednorodność materiału, stosując beton konopny, skutecznie redukuje się mostki termiczne w konstrukcji budynków. Mieszanka wapienno-konopna charakteryzuje się wysoką przepuszczalnością pary wodnej, umożliwia pochłanianie dużych ilości wilgoci w okresach deszczowych i oddawanie jej w okresie suszy (autoregulacja wilgotności, „oddychające” ściany). Bardzo dobre właściwości izolacyjne oraz brak mostków cieplnych umożliwiają wykonywanie konstrukcji szczelnych termicznie. Niski współczynnik przenikania ciepła, który przy grubości ściany 300 mm wynosi w granicach $U = 0,23 \div 0,36 \text{ W/m}^2\text{K}$, a przy grubości 400 mm $U = 0,13 \div 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$, pozwala na budowę domów energooszczędnych (zgodnie z wymaganiami dla ścian zewnętrznych w budynku energooszczędnym wartość współczynnika U wynosi od 0,15 do 0,20 $\text{W/m}^2\text{K}$, co pozwala na rezygnację z dodatkowego ocieplenia ścian).

Beton konopny to materiał pozytywnie wpływający na środowisko naturalne. Ten nietoksyczny i niezawierający dioksyn materiał znakomicie pochłania dwutlenek węgla (ok. 108 kg dwutlenku węgla może być zmagazynowanych w 1 m^3 kompozytu), redukując zawartość CO_2 w atmosferze. Jego nieprzetworzone chemicznie, naturalne składniki powodują, że posiada on duże walory prozdrowotne, co jest istotne dla alergików. Kompozyt wapienno-konopny ma bardzo dobre parametry w zakresie izolacyjności akustycznej oraz ognioodporności. Jest odporny na korozję biologiczną (zagrzybienie, pleśń, ataki insektów i gryzoni), co zapewnia trwałość w czasie funkcjonowania obiektu. Niebagatelnym faktem jest również to, że jest to materiał względnie tani.

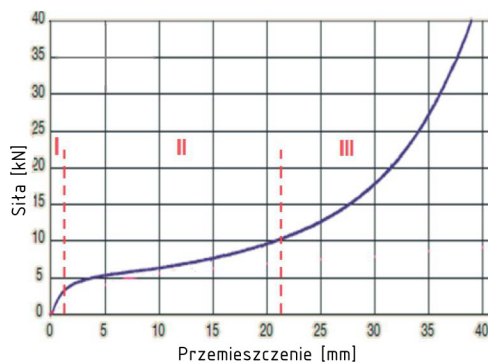
Kolejną zaletą jest łatwość obróbki, elementy dają się przecinać podobnie jak drewno. Może znaleźć zastosowanie zarówno przy wznoszeniu nowych obiektów budowlanych, jak i przy renowacji obiektów starych, zabytkowych, np. wykonywanych w historycznej już technologii szachulcowej. Należy również podkreślić doskonałe zdolności do recyklingu materiału, który jest w pełni przetwarzalny, a tym samym przyjazny dla środowiska.

Podstawowa wada to względnie niskie parametry mechaniczne, wytrzymałość na ściskanie waha się od 0,4 do 0,7 MPa. Powoduje to konieczność stosowania szkieletów wewnętrznych w ścianach nośnych. Problemem jest również dostępność konopi przemysłowych z uwagi na zakazy upraw w wielu krajach świata.

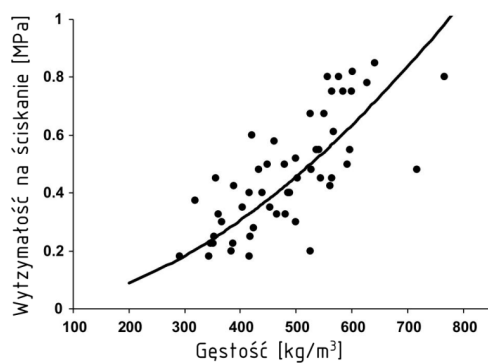
7. Właściwości mechaniczne materiału - wytrzymałość na ściskanie

Badania wytrzymałości na ściskanie betonu konopnego pokazują, że przebieg i mechanizm jego zniszczenia jest odmienny w porównaniu do betonu, co jest spowodowane obecnością w mieszance wypełniacza organicznego. Fazy pracy betonu konopnego w próbie ściskania pokazano na rysunku 9. W pierwszej, bardzo krótkiej, fazie obciążania materiał odkształca się sprężysto. Następnie obserwuje się relatywnie niewielki przyrost siły dla postępującego przemieszczenia, dochodzącego do około połowy analizowanego zakresu pracy materiału. W tej fazie relacja siła-przemieszczenie jest nieliniowa. Materiał ulega dalszej deformacji, przy czym jego wytrzymałość ulega postępującej redukcji. W trzeciej, ostatniej, fazie następuje stabilizacja odkształceń i znaczny, nieliniowy wzrost obciążenia, prowadzący do całkowitego zniszczenia próbki.

Wytrzymałość betonu konopnego na ściskanie w naturalny sposób zależy od składu jego mieszanki i temu poświęcono przeprowadzone do tej pory badania parametrów mechanicznych. Elfordy [9] badał kompozyt o składzie wagowym: 34% spoiwa na bazie wapna (70% wapna hydratyzowanego, 15% materiału pucolanowego i 15% spoiwa hydraulicznego), 16% paździerzki konopnych i 50% wody. Podczas formowania próbek metodą natryskową sterowano parametrami technologicznymi, takimi jak m.in. odległość dyszy od formy, dzięki czemu uzyskano materiał o różnej gęstości. Wyznaczona wytrzymałość na ściskanie materiału zmieniała się praktycznie parabolicznie w zależności od gęstości, od wartości 0,18 MPa dla gęstości pozornej 290 kg/m^3 do 0,85 MPa dla gęstości pozornej 610 kg/m^3 (rys. 10).



Rys. 9. Fazy pracy betonu konopnego poddanego ścisłaniu [3, 8]



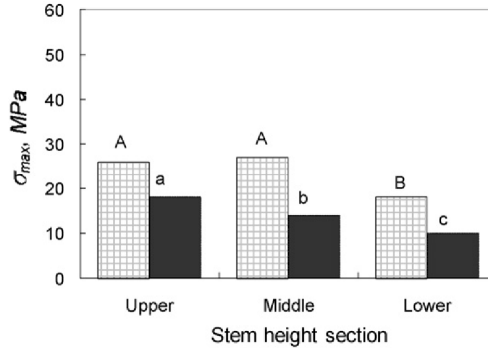
Rys. 10. Zależność wytrzymałości na ściskanie od gęstości pozornej kompozytu [9]

Właściwości mechaniczne badali też Brzyski i in. [1], używając do badania próbek o różnym stosunku spoiwo - paździerz. Najlepsze wyniki uzyskano dla mieszanki o zawartości 70% wapna, 30% cementu i stosunku spoiwa do paździerzy 2:1. Wytrzymałość na ściskanie dla tej próbki wyniosła 0,54 MPa. Podczas prób wytrzymałościowych nie obserwowano również nagłych objawów zniszczenia przy narastającym odkształceniu próbek. Naprężenia wzrastały nawet przy poziomie odkształceń względnych na poziomie 33%, co świadczy o zdolności do przeniesienia przez materiał znacznych odkształceń plastycznych. Jest to zjawisko korzystne w przypadku wystąpienia znacznych odkształceń konstrukcji budynku.

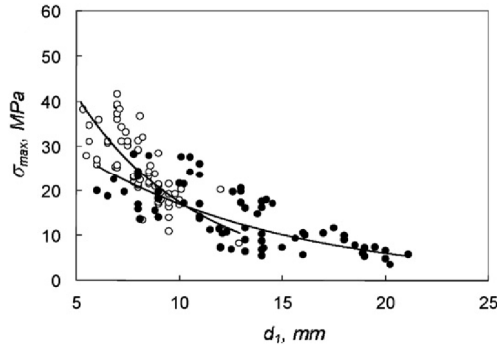
Jak podano wcześniej, wytrzymałość na ściskanie betonu konopnego jest w oczywisty sposób zależna od jego składników. O ile wytrzymałość stosowanych w kompozycie spoiw została przebadana już dawno temu, o tyle interesujące są parametry mechaniczne samych konopi. Testy takie przeprowadzili m.in. Khan i in., badając parametry mechaniczne łądyg uzyskane w trzech miejscach na długości (dół, środek i góra). Wytrzymałości łądyg konopi różniły się znacznie, przy czym dla obu gatunków ich wartości malały wraz z obniżaniem się badanego przekroju (rys. 11).

Uzyskane wyniki dobrze korespondują z wynikami analizy zależności wytrzymałości na ściskanie łądyg od ich średnicy. Wraz ze wzrostem średnicy wytrzymałości te maleją (rys. 12).

Badania wpływu długości frakcji paździerzy w zakresie od 0,063 do 8 mm na właściwości mechaniczne kompozytu przeprowadziła z kolei Stevulova [11]. Stwierdziła ona, że wzrost długości paździerzy konopnych powoduje spadek wytrzymałości na ściskanie betonu konopnego, co jest związane z ilością spoiwa, która w takim przypadku maleje. Kluczowym parametrem jest tutaj powierzchnia właściwa paździerzy, która zwiększa się wraz ze zmniejszaniem się ich długości. Przy większej powierzchni właściwej rośnie ilość spoiwa, które otaczają paździerze, co przekłada się na zwiększenie gęstości i wytrzymałości materiału.

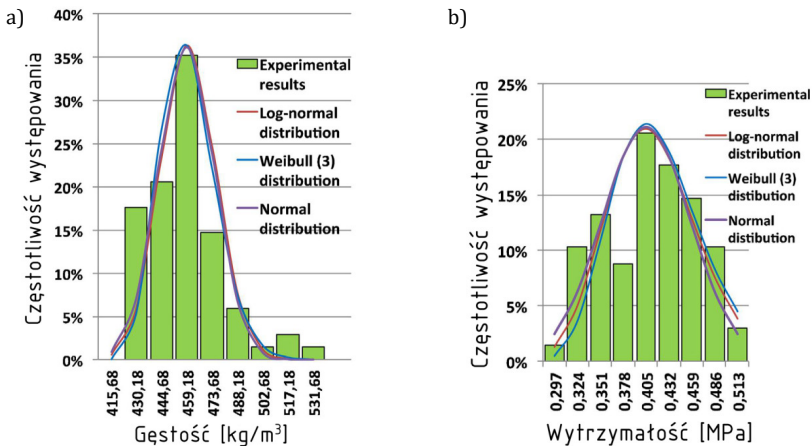


Rys. 11. Zależność wytrzymałości na ściskanie łodyg konopi od umiejscowienia [10]



Rys. 12. Zależność wytrzymałości na ściskanie łodyg konopi od ich średnicy [10]

Posługując się w zagadnieniach inżynierskich wytrzymałościami na ściskanie betonu konopnego, nie można zapominać, że jest to materiał kompozytowy o bardzo niejednorodnej budowie. Powoduje to zmienność cech materiałowych, w tym parametrów mechanicznych. Badania nad statystycznym rozkładem gęstości, wytrzymałości na ściskanie i modułem sprężystości podłużnej betonu konopnego przeprowadzili między innymi Niyigena i in. [12]. Analizowali oni mieszankę, gdzie zastosowano dwa rodzaje paździerzy, cement naturalny i niewielką ilość kwasu cytrynowego. Na 80 kg mieszanki zastosowano 8 kg paździerzy, 20 kg cementu naturalnego i 0,06 kg kwasu cytrynowego. Uzyskano statystyczne rozkłady gęstości i wytrzymałości na ściskanie, pokazane na rysunku 13.

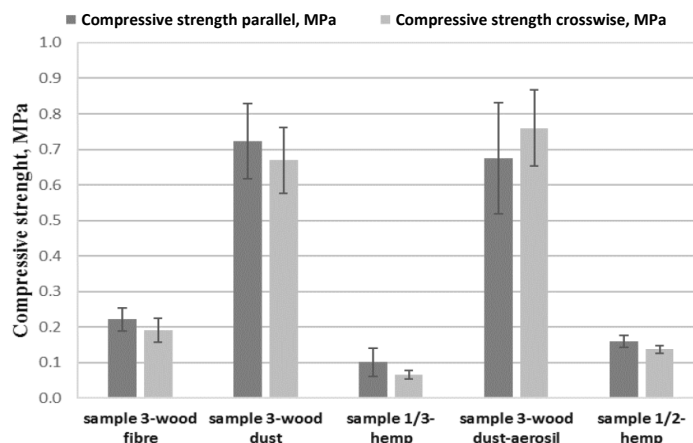


Rys. 13. Histogramy: a) gęstość; b) wytrzymałość na ściskanie [12]

Jak widać, gęstość nie rozkłada się zgodnie z rozkładem normalnym, a przewagę mają wartości niższe od wartości średnich. W przypadku wytrzymałości na ściskanie rozkład ten jest już bardziej zharmonizowany, a jego kształt odpowiada rozkładowi normalnemu. Większość zbadanych wytrzymałości na ściskanie jest niższa od wartości średniej. Należy to brać pod uwagę w obliczeniach, stosując odpowiednie współczynniki redukcyjne, tak aby zminimalizować ryzyko przekroczenia wytrzymałości materiału.

Beton konopny nie jest przeznaczony do przenoszenia dużych obciążeń pochodzących od stropów czy dachu. Rodzaj spoiwa nie odgrywa bardzo znaczącej roli w wytrzymałości na ściskanie, gdyż są to wartości nieprzekraczające 0,4 MPa dla każdego rodzaju spoiwa w mieszankach o optymalnym składzie. Parametry mechaniczne determinują zatem możliwości stosowania betonu konopnego jako materiału konstrukcyjnego. Tym samym, projektując skład mieszanki kompozytowej, nie można spodziewać się uzyskania materiału o wysokiej wytrzymałości, a wiodącą cechą betonu konopnego pozostaje jego termoizolacyjność.

Na koniec należy zauważyć, że kompozyt wapienno-konopny jest materiałem, który został w miarę dobrze przebadany od wielu już lat i z powodzeniem znajduje zastosowanie w budownictwie, lecz wciąż poszukuje się materiałów ekologicznych, których składnikami są materiały organiczne. Przykładem tego może być kompozyt, w którym spoiwem jest sapiropele, a wypełnieniem materiały organiczne, takie jak właśnie konopie czy włókna drzewne. Charakteryzują się one rewelacyjnymi parametrami izolacyjnymi oraz zbliżonymi do betonu konopnego parametrami mechanicznymi (rys. 14).



Rys. 14. Zależność wytrzymałości na ściskanie różnych kompozytów na bazie sapiropele [13]

8. Podsumowanie

Budynek ekologiczny to obiekt oszczędny, komfortowy i przyjazny dla środowiska naturalnego. Od dłuższego czasu trwają poszukiwania materiałów, które pozwoliłyby na realizację tego typu budynków. Beton konopny ma szansę stać się nowoczesnym materiałem o korzystnym bilansie ekologicznym. Liczne zalety sprawiają, że może konkurować choćby z tradycyjną cegłą. Czy jednak domy z betonu konopnego wejdą do standardów budownictwa, na razie nie wiadomo. Pokaże to przyszłość.

Literatura

- [1] Brzyski P., Jastrzębski P., Pacquet M.-L., Budowanie z konopi, Seria samodzielnik, Cohabitat, Katowice 2016.
- [2] Stanwix W., Sparrow A., Podręcznik budowania z konopi. Architektura z betonu konopnego, Projektowanie i budowa, Cohabitat, Łódź 2016.
- [3] Brzyski P., Fic S., Charakterystyka kompozytu wapienno-konopnego i jego zastosowanie w budownictwie, Budownictwo i Architektura 2015, 14(2), 11-19.

- [4] Brzyski P., Budownictwo z wykorzystaniem kompozytu wapienno-konopnego - charakterystyka materiału, *Przegląd Budowlany* 2016, 87(1).
- [5] Kymalainen H.R., Sjöberg A.M., Flax and hemp fibres as raw materials for thermal insulations, *Building and Environment* 2008, 43(7), 1261-1269.
- [6] Struik P.C., Amaducci S., Bullard M.J., Stutterheim N.C., Venturi G., Cromack H.T.H., Agronomy of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.) in Europe, *Industrial Crops and Products* 2000, 11(2-3), 107-118.
- [7] Benfratello S., Capitano C., Peri G., Rizzo G., Scaccianoce G., Sorrentino G., Thermal and structural properties of a hemp-lime biocomposite, *Construction and Building Materials* 2013, 48, 745-754.
- [8] Bevan R., Woolley T., *Hemp Lime Construction: A Guide to Building with Hemp Lime Composites*, Bracknell, 2008.
- [9] Elfordy S., Lucas F., Tancret F., Scudeller Y., Goudet L., Mechanical and thermal properties of lime and hemp concrete ("hempcrete") manufactured by a projection process, *Construction and Building Materials* 2008, 22(10), 2025-2152.
- [10] Khan M.M.R., Chen Ying, Laguë C., Landry H., Peng Qinglin, Zhong Wen, Compressive properties of Hemp (*Cannabis sativa* L.) stalks, *Biosystems Engineering* 2010, 106(3), 315-323.
- [11] Stevulova N., Kidalova L., Cigasova J., Junak J., Sicakova A., Terpakova E., Lightweight composites containing hemp hurds, *Procedia Engineering* 2013, 65, 69-74.
- [12] Niyigena C., Amziane S., Chateaneuf A., Arnaud L., Bessette L., Collet F., Lanos C., Escadeillas G., Lawrence M., Magniont C., Marceau S., Pavia S., Peter U., Picandet V., Sonebi M., Walker P., Variability of the mechanical properties of hemp concrete, *Materials Today Communications* 2016, 7, 122-133.
- [13] Obuka V., Šinka M., Kļaviņš M., Stankeviča K., Korjakins A., Saproel as a Binder: Properties and Application Possibilities for Composite Materials, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 2015, 96, 1-10.

Lime-hemp composite - ecological material

ABSTRACT:

The paper presents the possibilities of using industrial cannabis to produce hemp-based cement based on lime binders. The technology of production of hemp concrete as well as processes occurring in the material during its maturation are described. Various construction techniques for building walls using hemp concrete have been presented, as well as the advantages and disadvantages and the environmental qualities of the material.

KEYWORDS:

hemp concrete; lime-hemp composite; hemp houses