UNIVERSITY
OF WARMIA AND MAZURY
IN OLSZTYN

Możliwość wykorzystania materiałów pochodzenia naturalnego i organicznego do izolacji cieplnej budynków

Dr inż. Piotr Kosiński

Wydział Geoinżynierii,
Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
www.uwm.edu.pl/zboifb

Plan prezentacji

- Wprowadzenie,
- technologia strawbale,
- technologia hempcrete,
- luźne materiały organiczne jako termoizolacje,
- wnioski.

Na czym polega efektywność energetyczna budynków?

- Zagadka?

  temperatura ↗ powierzchnia okien ↗ dopuszczalna przenikalność cieplna ↘

  Przegrzany budynek? Zakup klimatyzatora!

- Typowy pomysł na budynek niskoenergetyczny? 20-30 cm wełny mineralnej, styropianu? Może poliuretan? A może grubsza warstwa?

- **Dużo energii wkładamy w produkcję systemów które mają zapobiegać zużyciu energii. Czy zachowujemy balans?**

Jak efektywne energetycznie są budynki XXI wieku?

- Vanocuver, Canada, 1990 – przeciętne zapotrzebowanie na energię dużego budynku 315 kWh/m^2,
- Vanocuver, Canada, 2002 – redukcja do 250 kWh/m^2 = dokładnie tyle co w 1929!

kryterium	Stare budownictwo	Nowe budownictwo
Materiały	ciężkie (cegły ceramiczne, silikatowe)	lekkie (betony komórkowe, cegły drążone, pokryte termoizolacją)
Wysokość pomieszczeń	3,5-4,0 m	2,5-2,7 m
Udział okien w obudowie budynku	niewielki	bardzo duży
Uzależnienie od prądu	żadne	wielkie

Jak nową ideą są budynki z materiałów niskoprzetworzonych?

Chorwacja, Kultura Vučedolska, 3 000 p.n.e

Polska, Biskupin, 740 p.n.e.

Babilonia, 600 p.n.e.

Budynki ze słomy

Historia o 3 małych świnkach

Strawbale

nolvaku.ee

Tak może wyglądać dostawa materiału na budowę

Kenn Wells, Our Strawbale House

Słoma

- W Polsce corocznie ok. 25 mln ton (ok. 2,5 tony z hektara, w zależności od odmiany oraz warunków pogodowych w danym sezonie),
- od XIX w. kiedy wynaleziono prasę do słomy, kostka stosowana jest jako budulec,
- USA – normy techniczne dla technologii straw-bale,
- Niemcy – wydano aprobatę techniczną dla systemu budowy domów z kostek słomy,
- Wielka Brytania – aprobowane i opatentowane systemy prefabrykowanego budownictwa z modułów wypełnionych słomą,
- Francja – opracowano krajowe normy branżowe dla słomy,
- Czechy – badania i ocena straw-bale, wg wytycznych dla Normy Europejskiej dla tynkowanych gliną ścian z kostek słomy.

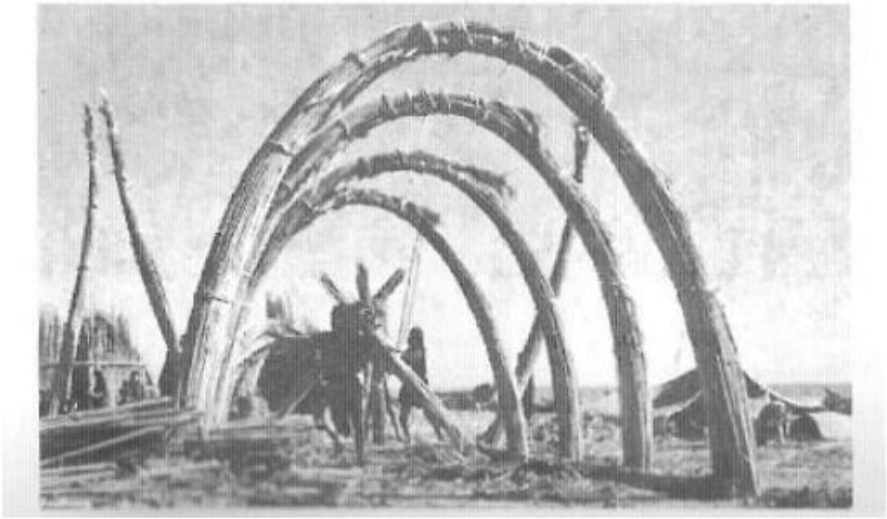
Słoma

- 1 kg słomy pochłania 1,36 kg CO_2, 1 kostka o wymiarach 40x47,5x100cm, gęstości 80kg/m³ i wadze ok.23 kg pochłania 31,28 kg CO_2,
- cena kostki słomy waha się w granicach 5-8 zł, co dla budynku o powierzchni 100 m² i zapotrzebowaniu ok. 1000 kostek daje od 5 do 8 tys. złotych,

- zaletą budynków naturalnych jest jakość środowiska wewnętrznego jakie tworzą, spełnianie wymagań zrównoważonego budownictwa poprzez bazowanie na odnawialnym surowcu, stosunkowo niski koszt materiałów oraz potencjalna możliwość wykonania wielu prac we własnym zakresie!

Konstrukcje słomiane

- Surowce naturalne z bezpośredniego otoczenia terenu budowy - głównie drewno, kamień, ziemia lub glina. Słomę, trzcinę, liście, łodygi roślin stosowano jako pokrycia dachowe, jako dodatki do mas stanowiących budulec lub jako zbrojenie.



Il. 1 Łuki kształtowane z trzcin w dorzeczu Tygrysu i Eufratu (źródło T.Kelm *Architektura ziemi – tradycja i współczesność*, Warszawa 1996, Wydawnictwo Murator, s.10)

Il. 2 Spichlerze z plemienia Dogonów. Mali (źródło T.Kelm *Architektura ziemi – tradycja i współczesność*, Warszawa 1996, Wydawnictwo Murator, s.10)

za Mariusz Zatylny, Uwarunkowania formalno-prawne dla budownictwa naturalnego w Europie i Polsce ze szczególnym uwzględnieniem zastosowania kostek słomy.

Strzecha, szachulec

www.dawnygdansk.pl

Pierwszy budynek z kostek

- Na terenie stanu Nebraska, szkoła zbudowana w roku 1896-97 roku. Ponieważ nie została otynkowana i regularnie obgryzały ją krowy przetrwała tylko do 1902. Kolejne budynki były już tynkowane tynkiem cementowym, wapiennym lub błotem,
- do 1945 roku wykonano około 70 obiektów w tej technologii, z czego kilka zachowało się do naszych czasów i są wpisane do rejestru zabytków Stanów Zjednoczonych.

Jozef van Ruiten, Presentation on Strawbale House, California, 1998

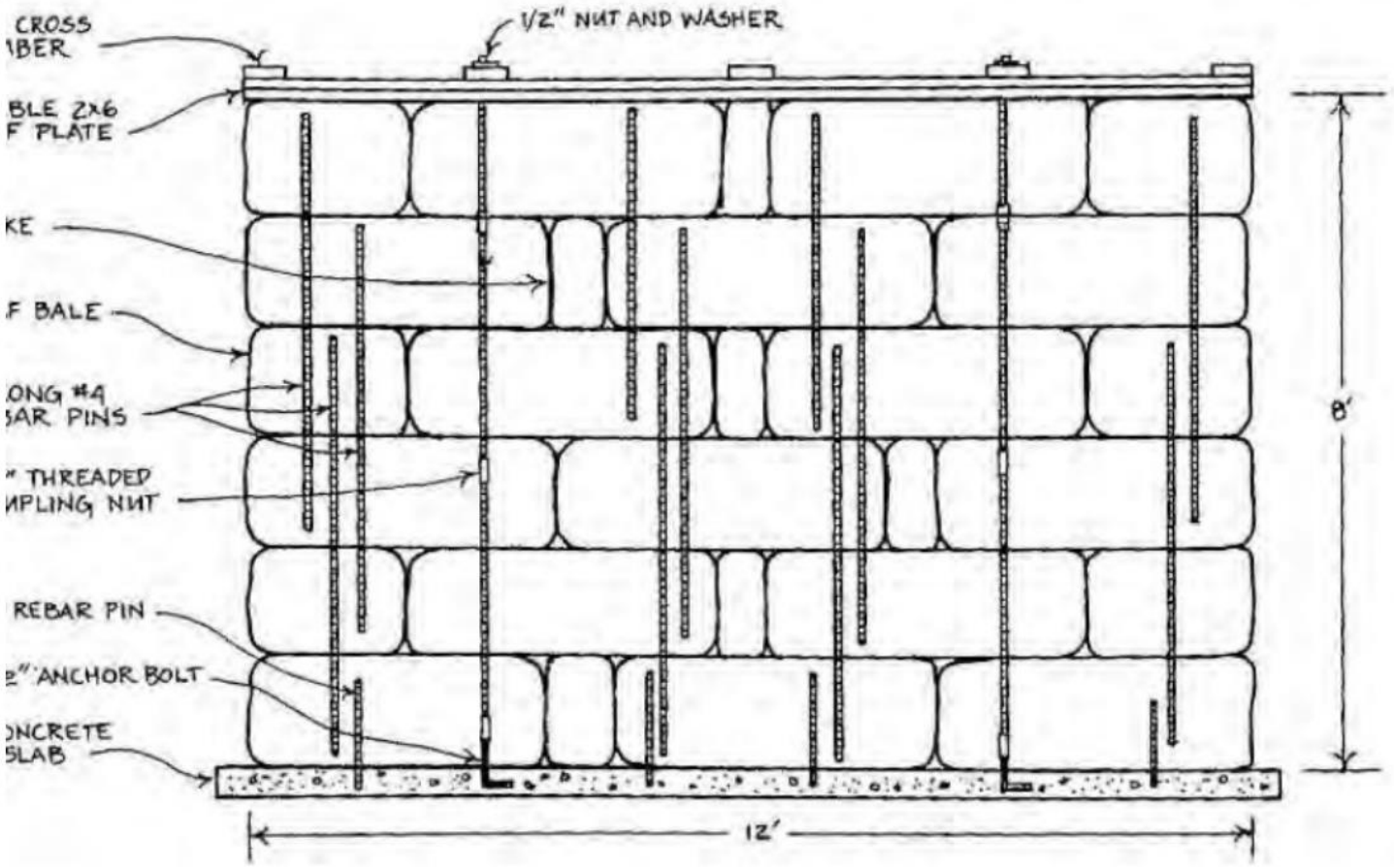
1929 Pilgrim Holiness Church w Arthur, Nebraska (USA) (źródło strona internetowa http://wapedia.mobi/en/Straw-bale_construction)

Aster Solutions - Sustainable Construction Methods by optimizing
Natural and Renewable Resources

Presentation on Strawbale House, California, 1998

- Jozef van Ruiten
- Presentation on Strawbale House, California, 1998
- https://www.slideshare.net/JozefvanRuiten/presentation-strawbale-house-4-2

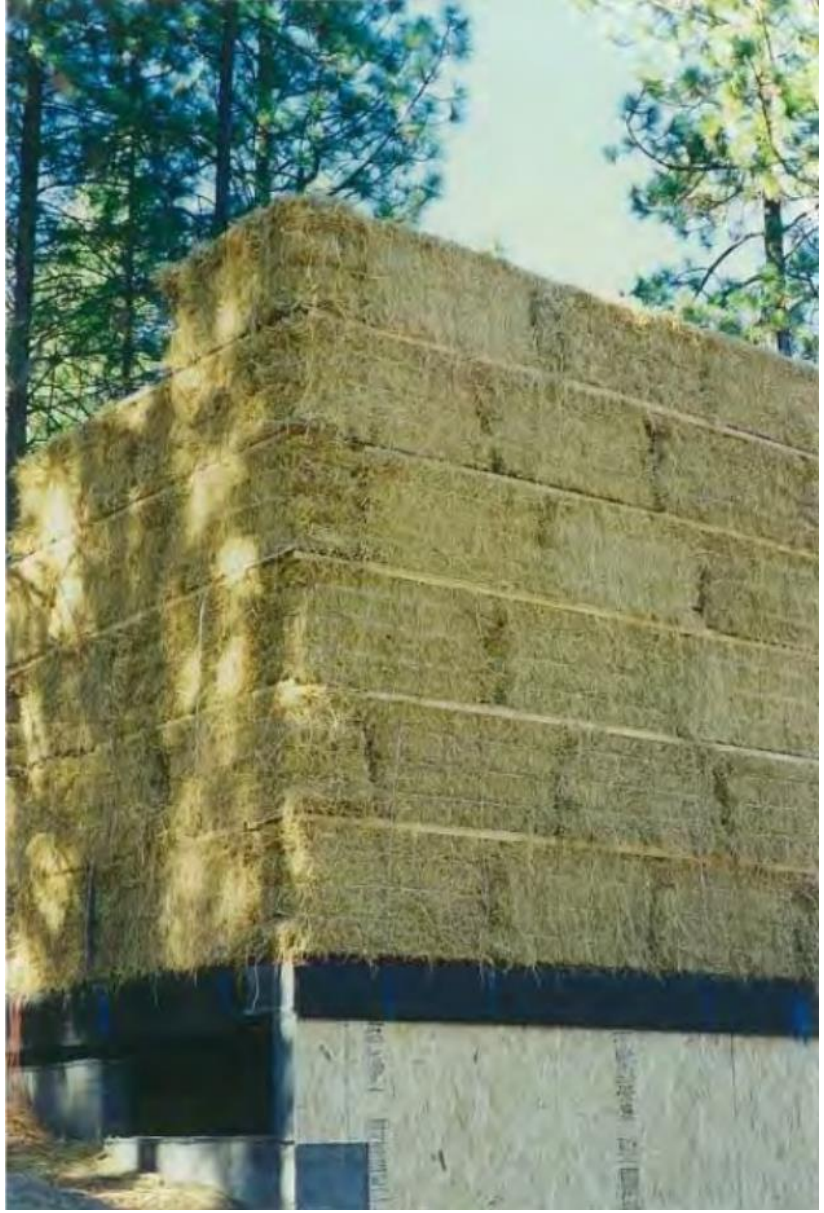
Jozef van Ruiten, Presentation on Strawbale House, California, 1998



Wall test panel design

Jozef van Ruiten, Presentation on Strawbale House, California, 1998

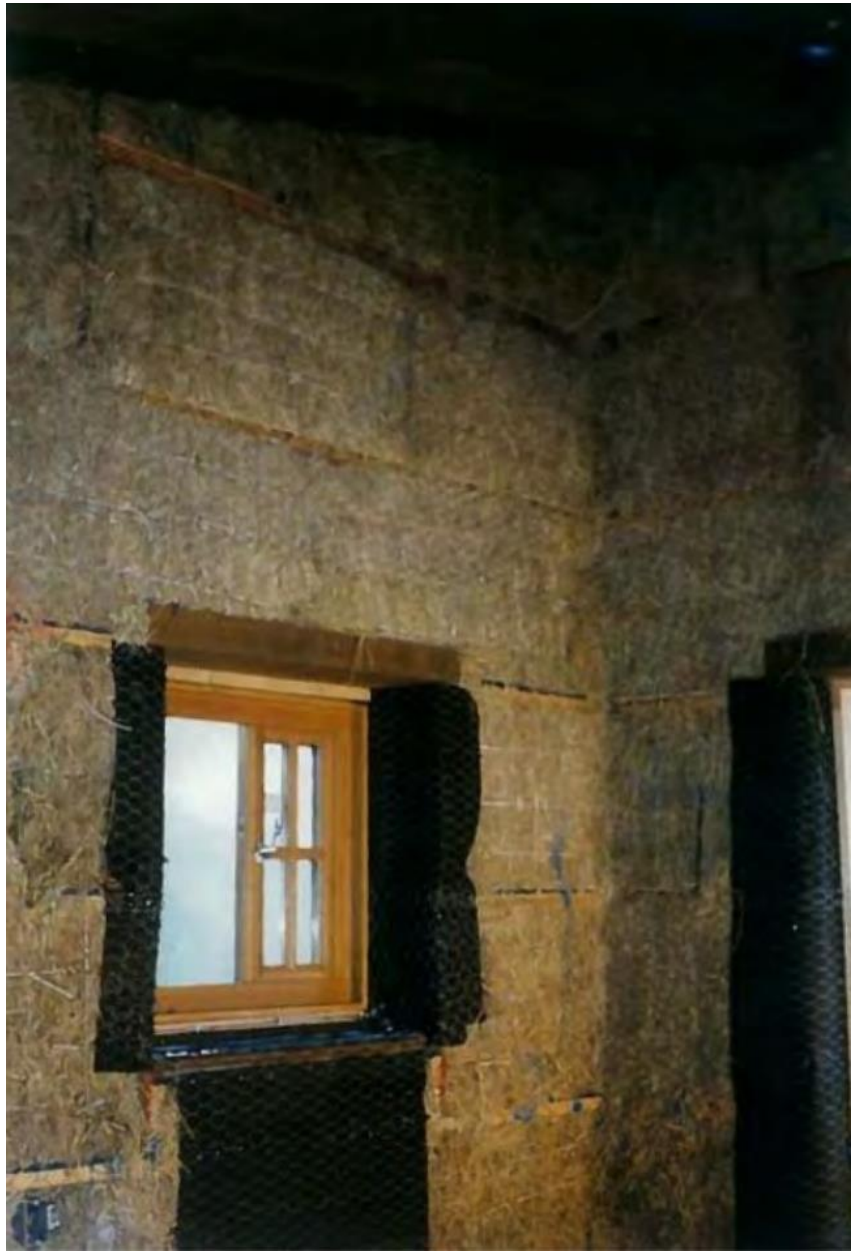
Jozef van Ruiten, Presentation on Strawbale House, California, 1998



Jozef van Ruiten, Presentation on Strawbale House, California, 1998

Jozef van Ruiten, Presentation on Strawbale House, California, 1998

Jozef van Ruiten, Presentation on Strawbale House, California, 1998



Jozef van Ruiten, Presentation on Strawbale House, California, 1998

Jozef van Ruiten, Presentation on Strawbale House, California, 1998

Jozef van Ruiten, Presentation on Strawbale House, California, 1998

Budynek szkieletowy wypełniony słomą

- Kenn Wells
- Our Strawbale House
- https://www.slideshare.net/Tadpole/our-strawbale-house

Kenn Wells, Our Strawbale House

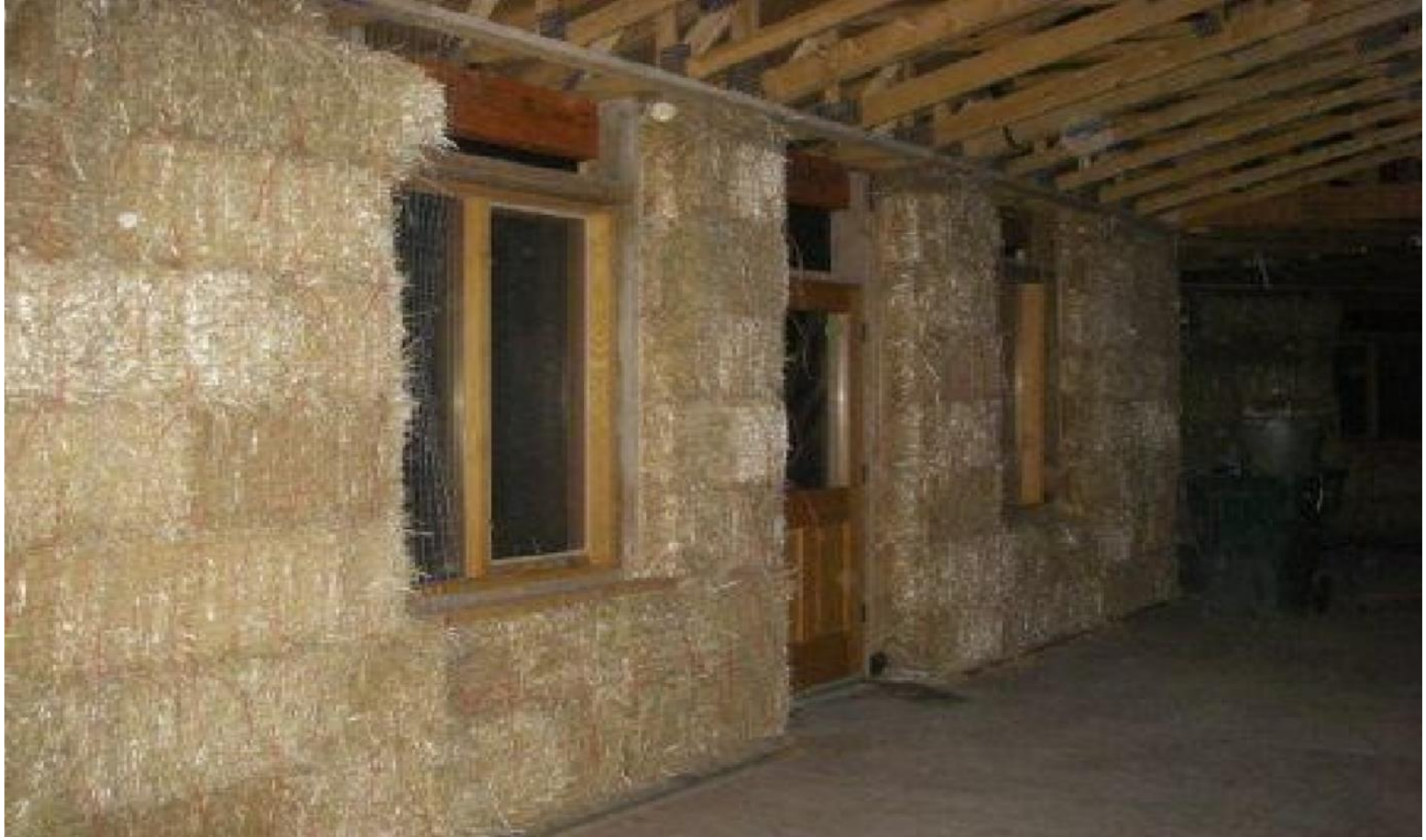
Kenn Wells, Our Strawbale House

Kenn Wells, Our Strawbale House

Kenn Wells, Our Strawbale House

Kenn Wells, Our Strawbale House

Kenn Wells, Our Strawbale House



Kenn Wells, Our Strawbale House

Kenn Wells, Our Strawbale House

Kenn Wells, Our Strawbale House

Technologia prefabrykatów słomianych

- Ecocon – firma litewska produkująca prefabrykaty słomiane

ecococon.lt

ecococon.lt

ecococon.lt

ecococon.lt

ecococon.lt

ecococon.lt

ecococon.lt

ecococon.lt

Haus Braun, Bauablauf, arch. Werner Schmidt, realizacja 2002
http://www.atelierwernerschmidt.ch/brbauablauf.html, dostęp 25.09.2011

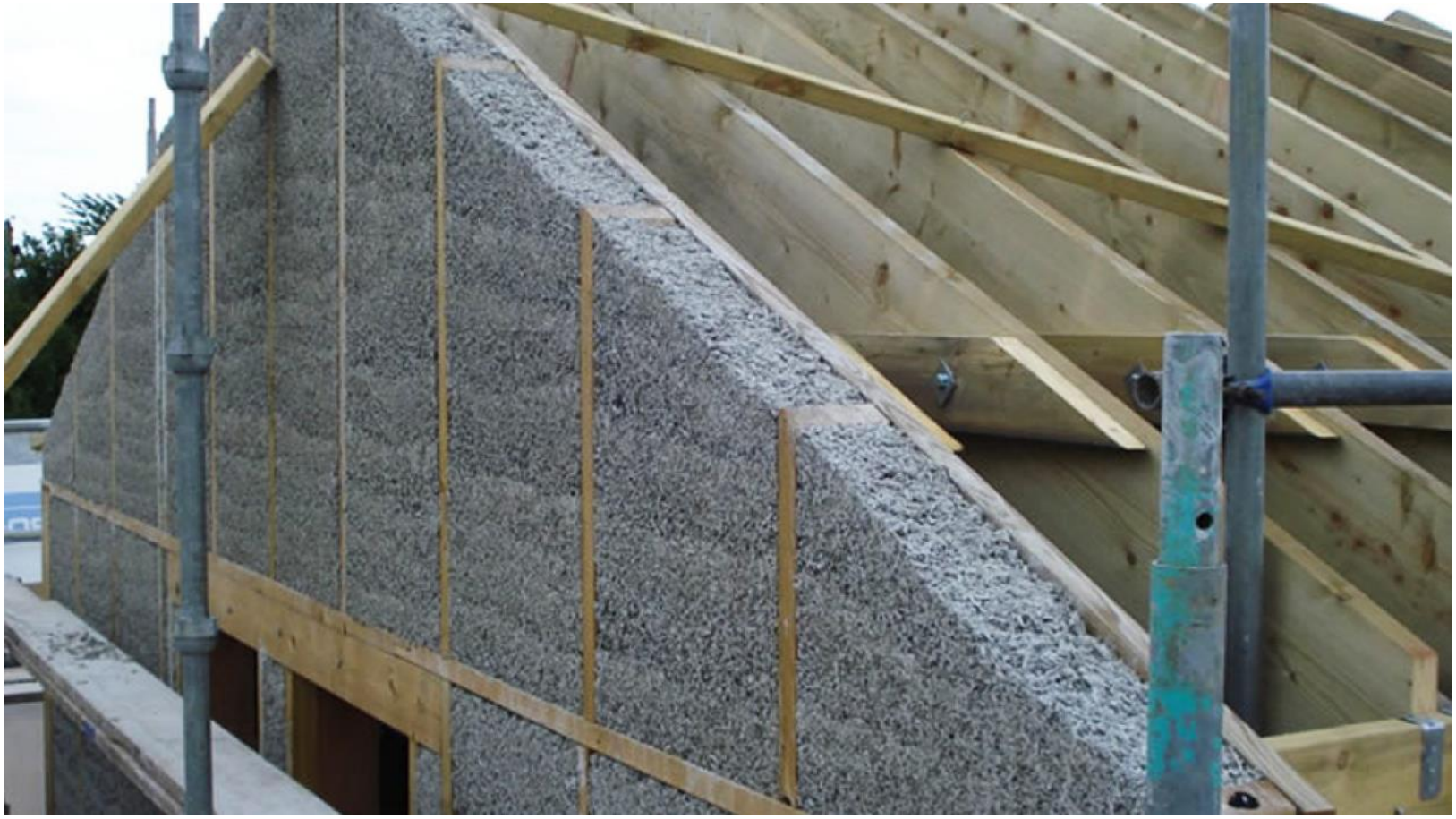
za Mariusz Zatylny, Uwarunkowania formalno-prawne dla budownictwa naturalnego w Europie i Polsce ze szczególnym uwzględnieniem zastosowania kostek słomy.

Pierre Gilbert « Opracowanie techniczne na temat domów z kostek słomy, Quebec 2005, http://www.greb.ca/GREB/La_technique_du_GREB.html, dostęp 25.09.2011 za Mariusz Zatylny, Uwarunkowania formalno-prawne dla budownictwa naturalnego w Europie i Polsce ze szczególnym uwzględnieniem zastosowania kostek słomy.

Polskie realizacje

Budynek agroturystyczny straw bale w trakcie budowy systemem gospodarczym. Stare Juchy. Fot.M.Jagielak

Hempcrete

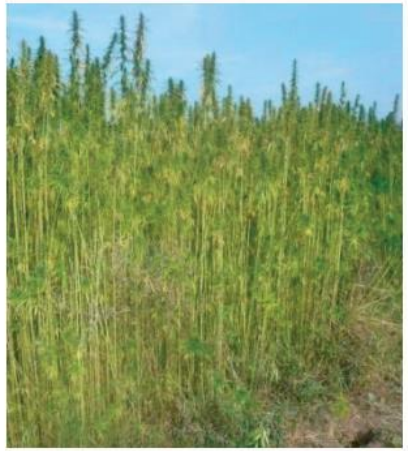


Paździerze konopne : wapno hydratyzowane : wapno hydrauliczne : woda

1,0 : 1,3-1,5 : 0,2-0,3 : 2,0-3,5

BudownictwoNaturalne.info.pl

Bloczki wapienno-konopne

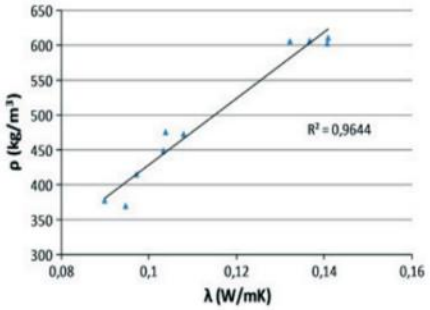


Rys. 1. Konopie włókniste – odmiana Białobrzeskie [archiwum autorów]

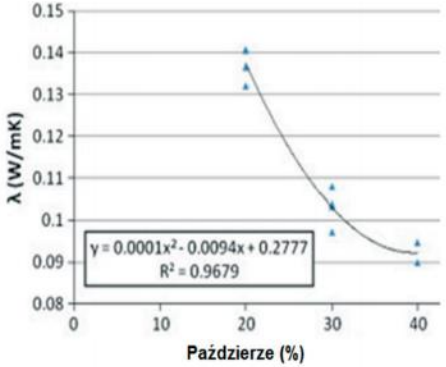
Rys. 2. Paździerze konopne [archiwum autorów]

Rys. 6. Bloczek ścienny wykonany z kompozytu wapienno- konopnego [archiwum autorów]

Przemysław **Brzyski**, Stanisław Fic,
Charakterystyka kompozytu wapienno-konopnego
i jego zastosowanie w budownictwie.
Budownictwo i Architektura 14(2) (2015) 11-19



Rys 10. Wykres zależności wartości współczynnika przewodności cieplnej od gęstości pozornej kompozytu [5]

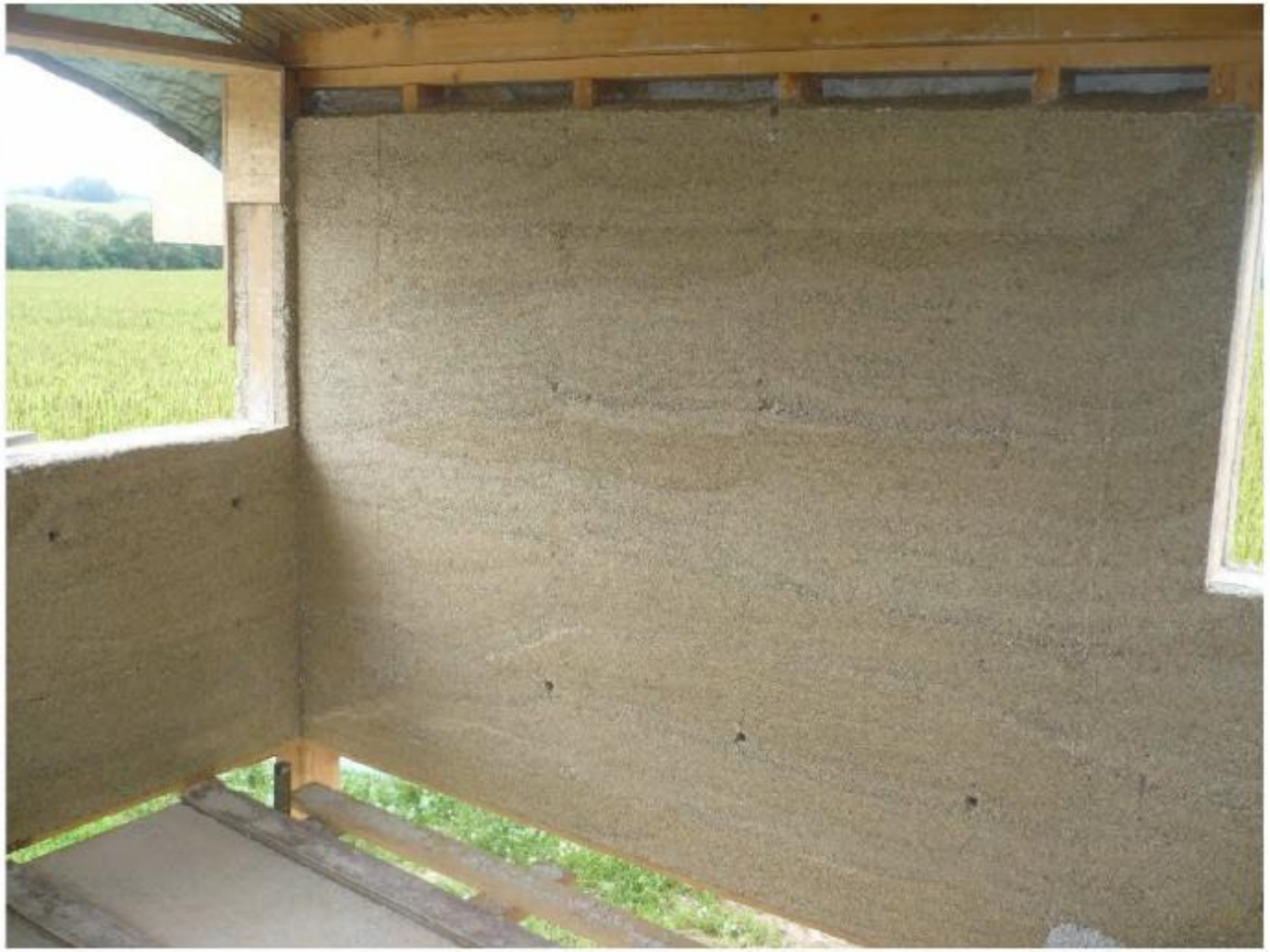


Rys 11. Wykres zależności wartości współczynnika przewodności cieplnej od zawartości paździerzy w kompozycie [5]

Realizacja budynków z hempcrete, fot. Przemysław Brzyski

Realizacja budynków z hempcrete, fot. Przemysław Brzyski

Realizacja budynków z hempcrete, fot. Przemysław Brzyski



Realizacja budynków z hempcrete, fot. Przemysław Brzyski

Realizacja budynków z hempcrete, fot. Przemysław Brzyski

Realizacja budynków z hempcrete, fot. Przemysław Brzyski

Realizacja budynków z hempcrete, fot. Przemysław Brzyski

Realizacja budynków z hempcrete, fot. Przemysław Brzyski

Realizacja budynków z hempcrete, fot. Przemysław Brzyski

Realizacja budynków z hempcrete, fot. Przemysław Brzyski

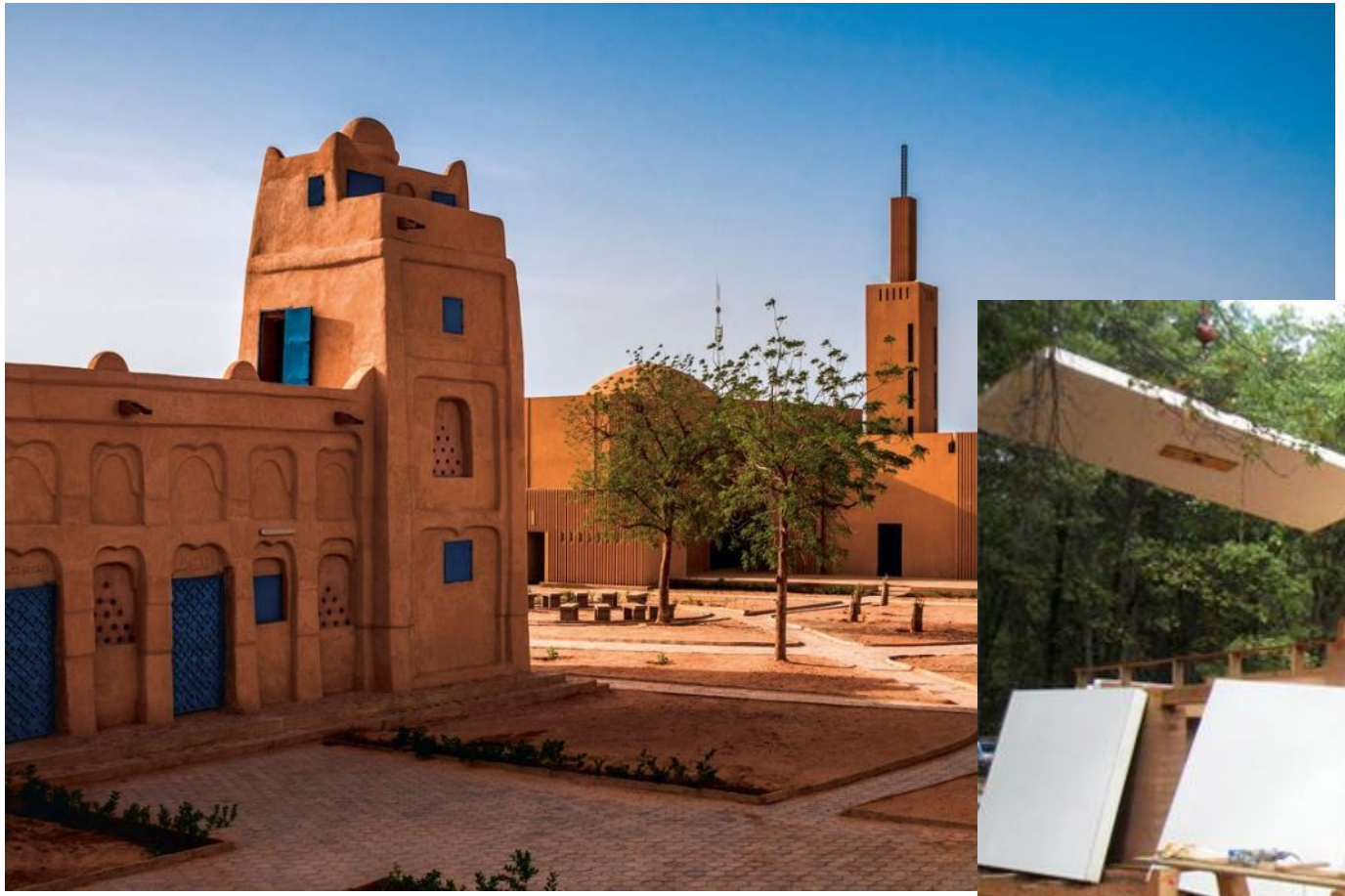
Realizacja budynków z hempcrete, fot. Przemysław Brzyski

Realizacja budynków z hempcrete, fot. Przemysław Brzyski

Realizacja budynków z hempcrete, fot. Przemysław Brzyski

Realizacja budynków z hempcrete, fot. Przemysław Brzyski

Ubijana ziemia



www.paleotreats.com, https://archive.curbed.com/

Różnorodność materiałów stosowanych jako luźne izolacje cieplne

Włókno konopne

celuloza

paździerze konopne

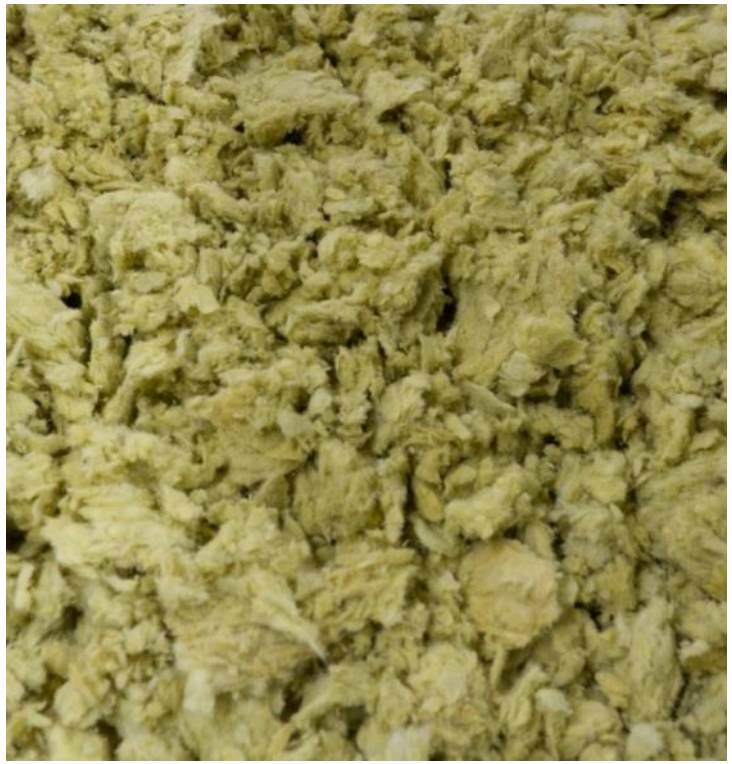
słoma

paździerze lniane

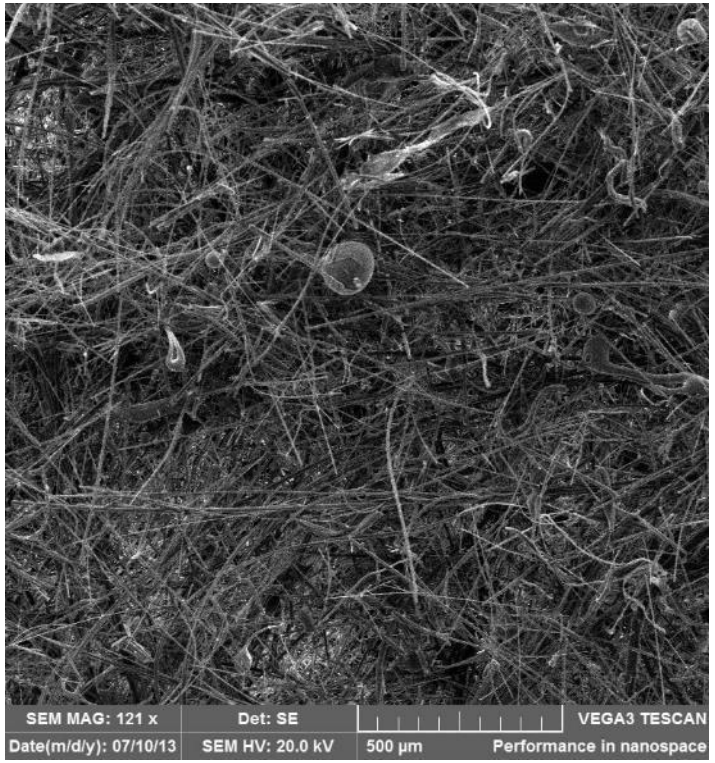
wełna drzewna

Luźne włókna izolacyjne

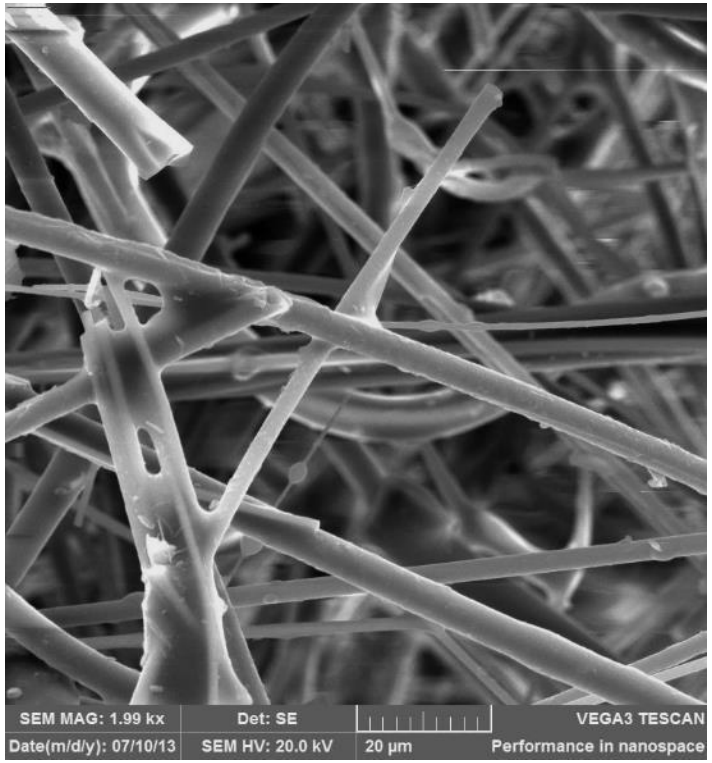
- Wełna mineralna – nie jest „bio”, najpopularniejszy materiał izolacyjny w Europie



1 x



121 x

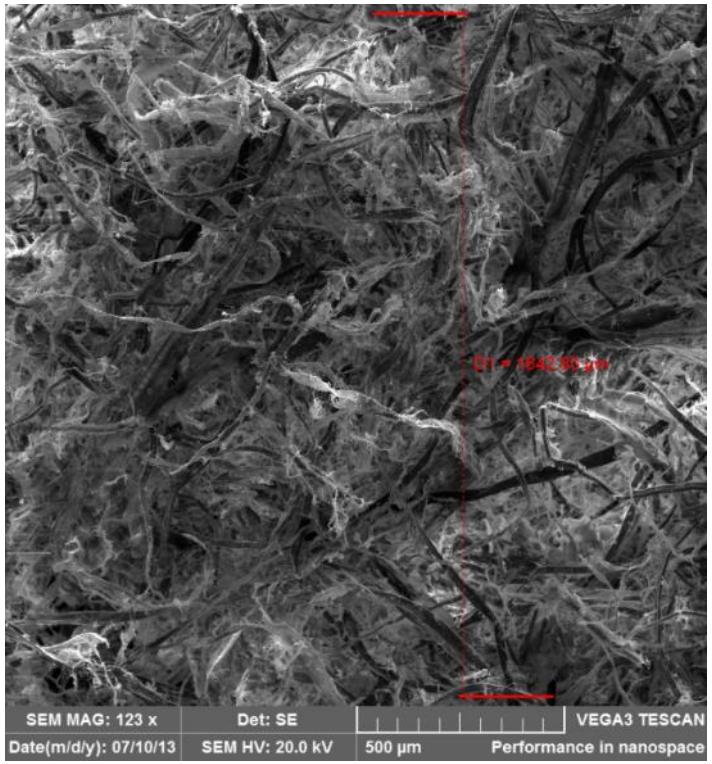


2 000 x

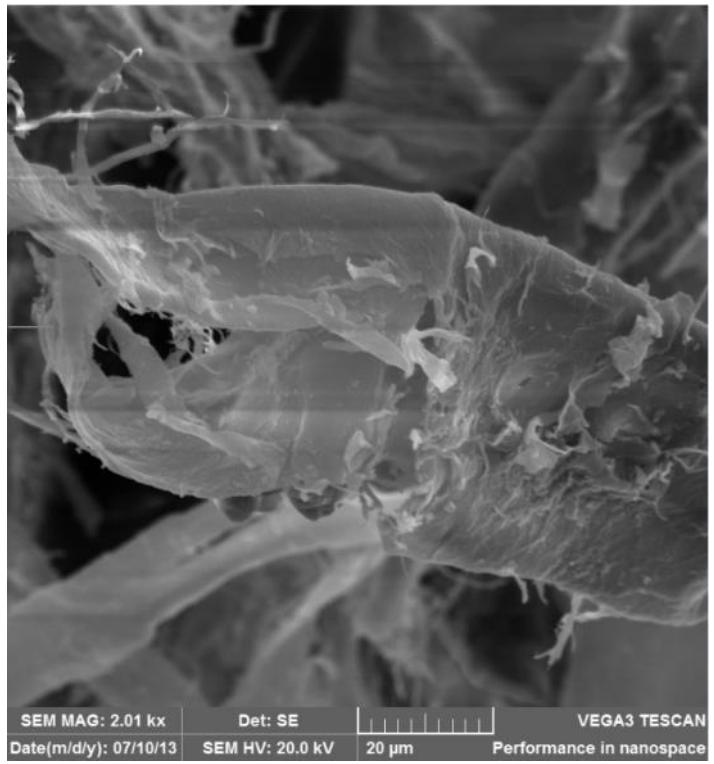
Luźne włókna izolacyjne

- Włókna celulozowe

1 x



121 x

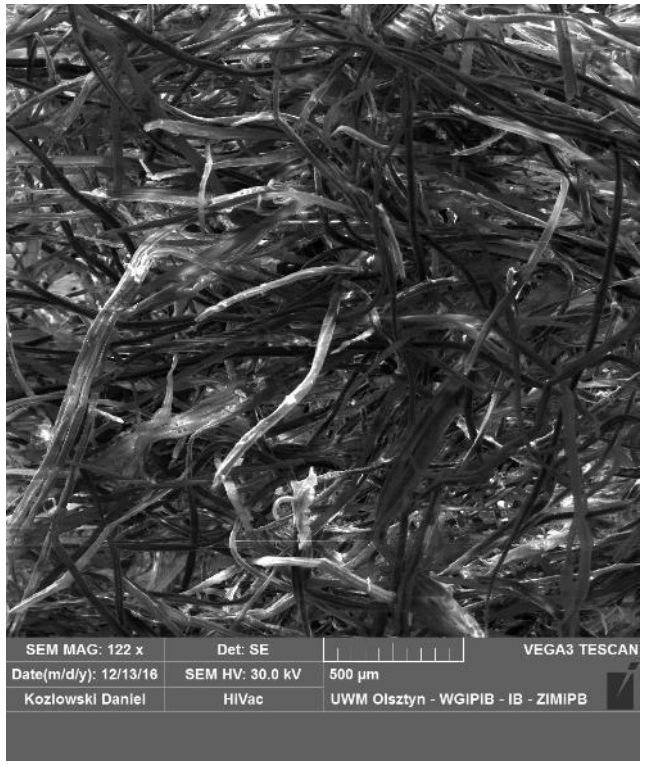


2 000 x

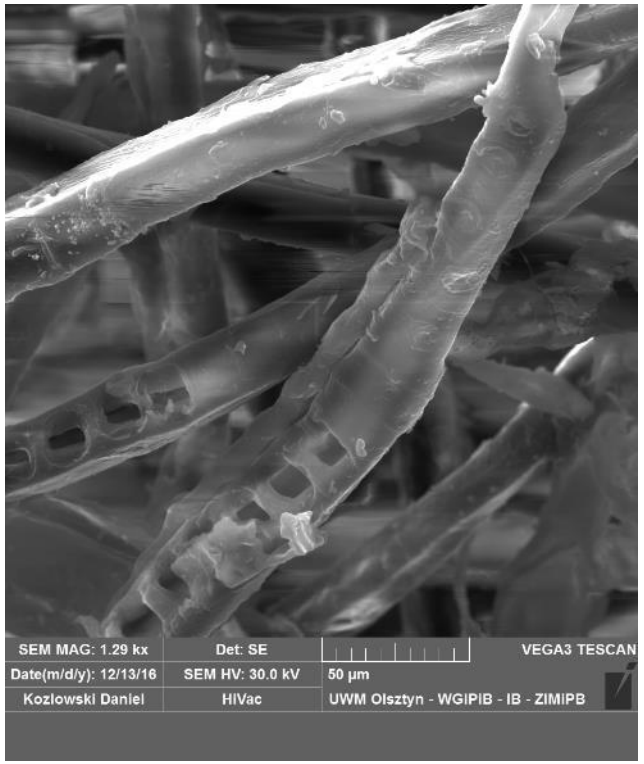
Luźne włókna izolacyjne

- Wełna drzewna

1 x



122 x

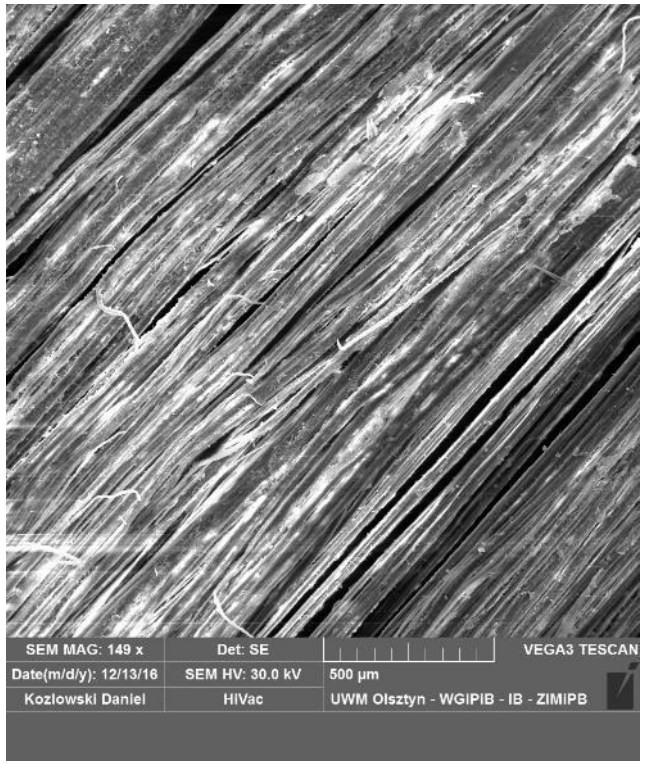


1 290 x

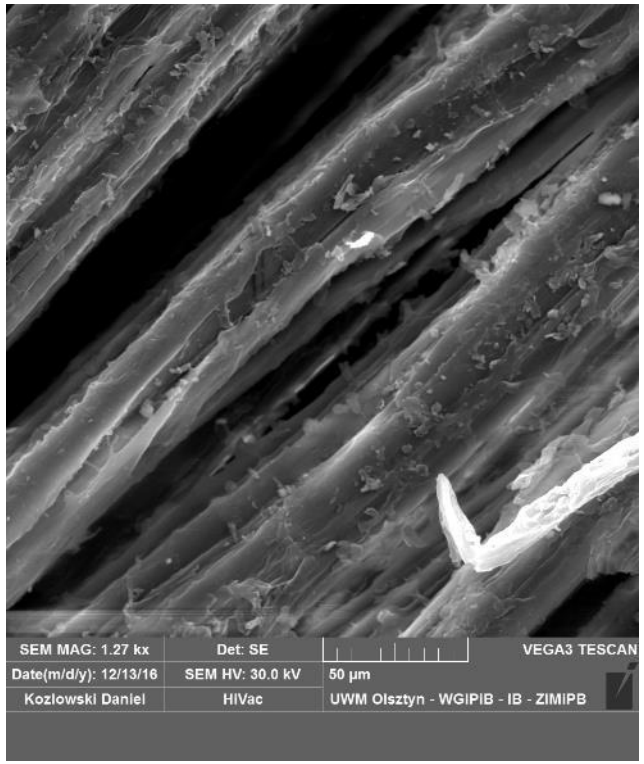
Luźne włókna izolacyjne

- Włókna konopne

1 x



149 x



1 270 x

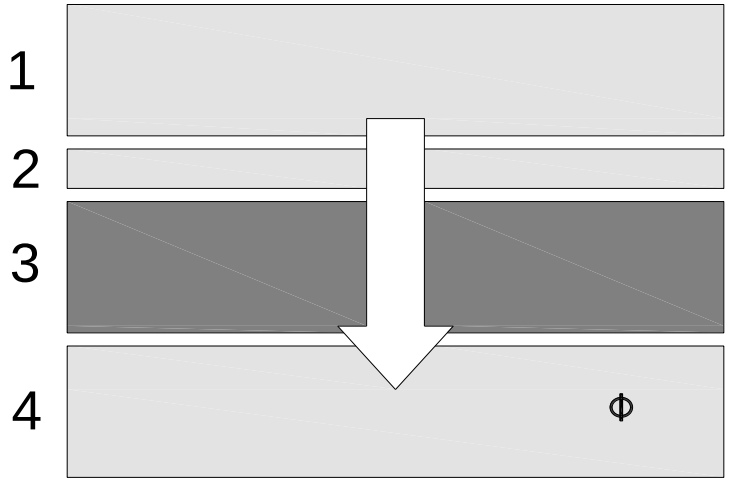
Luźne włókna izolacyjne

Paździerze konopne

Paździerze lniane

Badania laboratoryjne

Przewodzenie ciepła

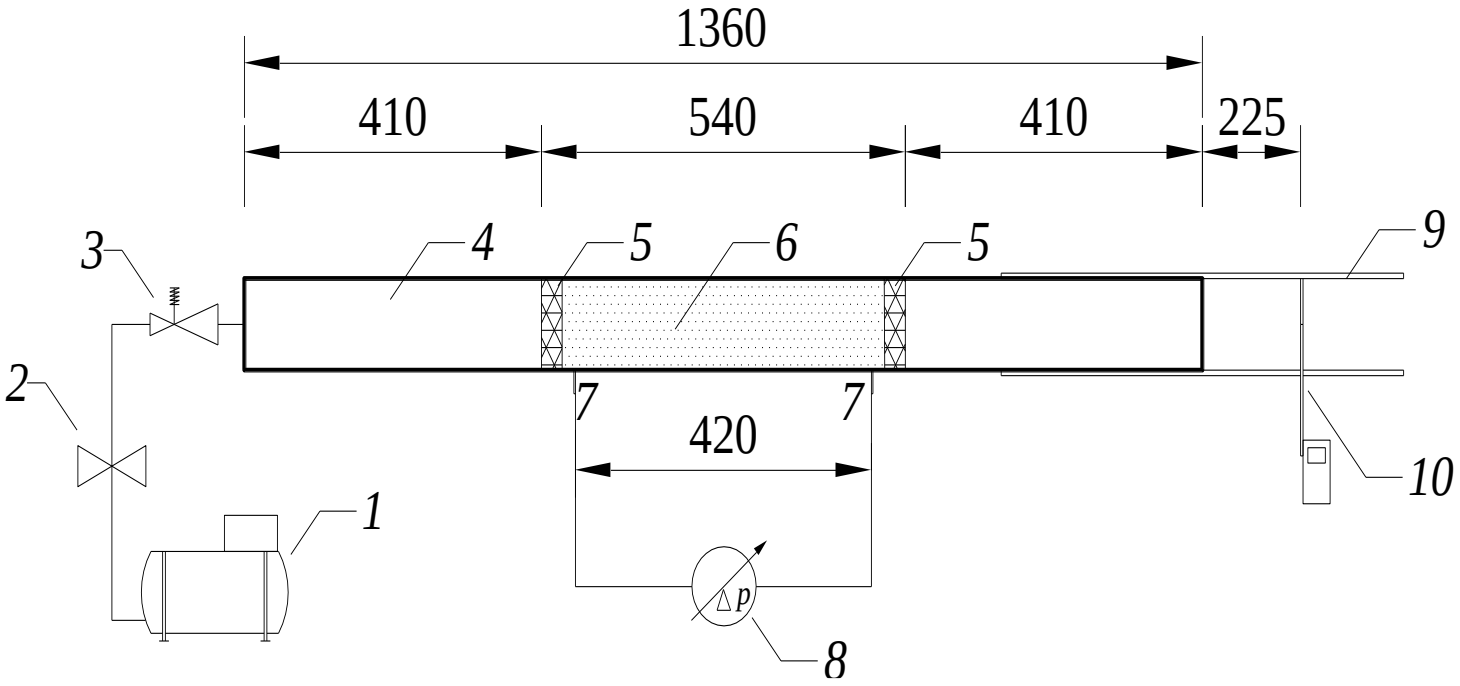


1 – ciepła płyta,
2 – miernik strumienia ciepła,
3 – próbka,
4 – zimna płyta

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx}$$

q – strumień ciepła (W/m^2),
λ – wsp. przewodzenia ciepła (W/mK),
dT/dx – gradient temperatury

Przepuszczalność powietrzna



Schemat aparatu do badania przepuszczalności powietrznej luźnych materiałów izolacyjnych: *1 – kompresor powietrza, 2 – zawór, 3 – reduktor ciśnienia, 4 – rura z plexi, 5 – sitka, 6 – próbka, 7 – króćce ciśnieniowe, 8 – miernik ciśnienia, 9 – wylot, 10 – termo-anemometr.*

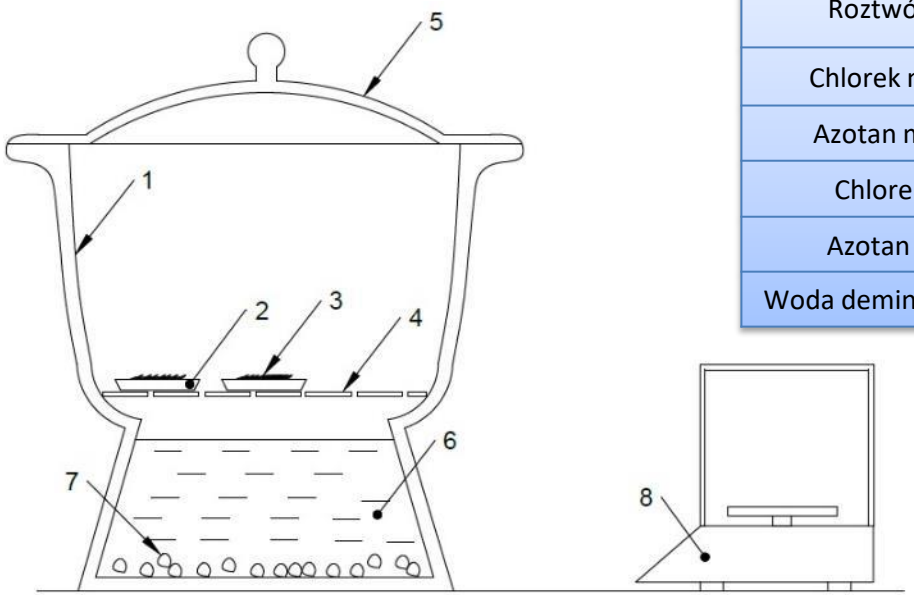
Przepuszczalność powietrzna

Równanie Forchheimera dla przepływów o Re > 1

$$-\frac{dp}{dx} = \frac{\mu}{\kappa} \cdot v + \beta \cdot \rho \cdot v^2$$

dp – różnica ciśnienia między króćcami (Pa),
dx – odległość między króćcami (m),
μ – lepkość dynamiczna (Pa·s),
κ – wsp. przepuszczalności powietrznej (m^2),
β – współczynnik Forchheimera (1/m),
ρ – gęstość powietrza (kg/m^3),
v – prędkość powietrza (m/s).

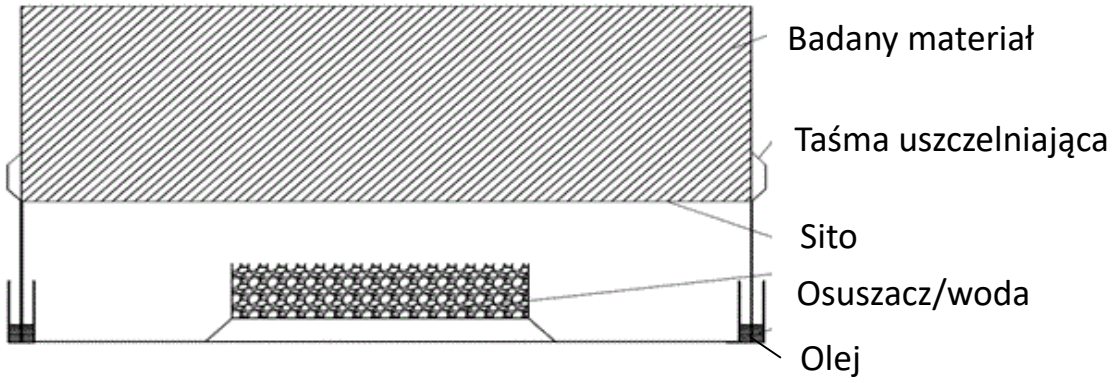
Badania wilgotności sorpcyjnej



Roztwór solny	Równanie soli	Wilgotność względna (%)
Chlorek magnezu	$MgCl_2$	32
Azotan magnezu	$Mg(NO_3)_2$	54
Chlorek sodu	NaCl	75
Azotan potasu	$K(NO_2)_3$	95
Woda demineralizowana	H_2O	100

Stanowisko do badania sorpcyjności luźnych materiałów izolacyjnych: 1 - eksykator, 2 – tacka aluminiowa, 3 – badana próbka, 4 – metalowa siatka-podstawka, 5 - pokrywa, 6 – nasycony roztwór solny, 7 – nierozpuszczone kryształy soli, 8 - waga laboratoryjna

Paroprzepuszczalność



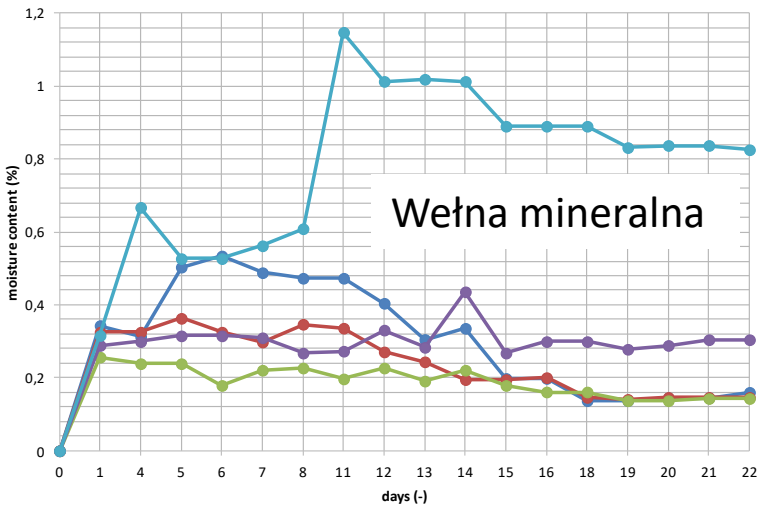
$$\delta = \frac{d}{R_v}$$

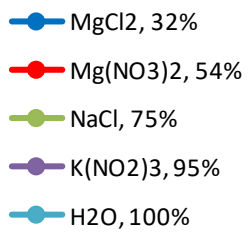
δ – wsp. przepuszczalności pary wodnej (g/mhPa)
d – grubość próbki (m)
R_v – opór dyfuzyjny próbki (m^2hPa/g)

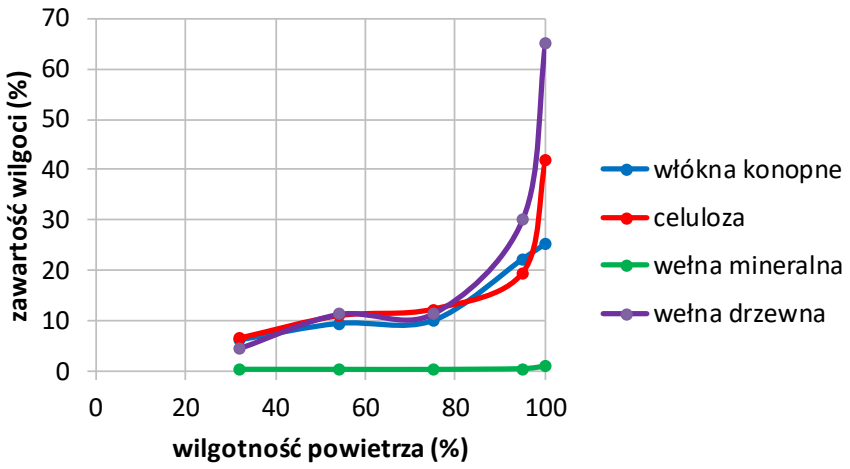
$$R_v = \frac{A \cdot P}{g - r}$$

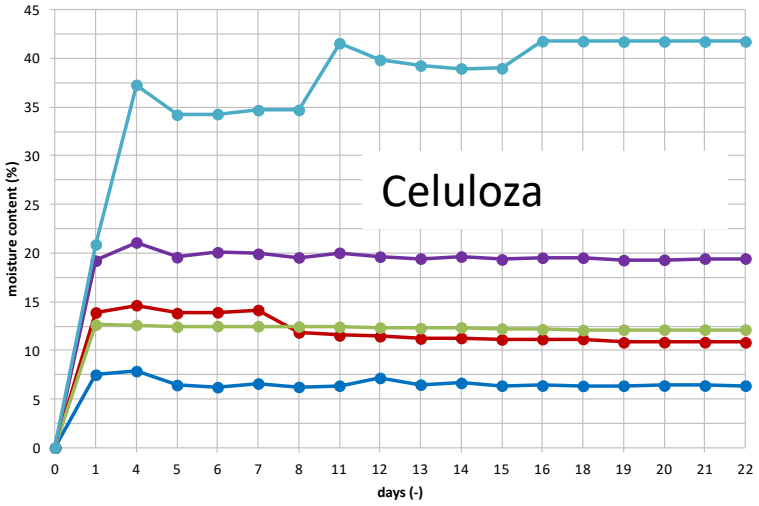
R_v – opór dyfuzyjny próbki (m^2hPa/g)
A – badana powierzchnia (m^2),
P – różnica ciśnienia (Pa),
g – ilość pary wodnej przenikającej przez próbkę w godzinę (m^2hPa/g),
r – opór napływu i odpływu pary wodnej (m^2hPa/g),

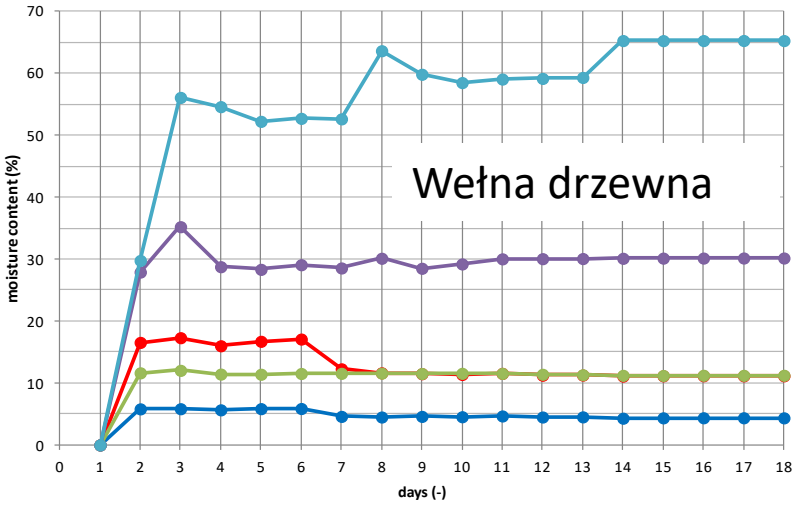
Wyniki sorpcji

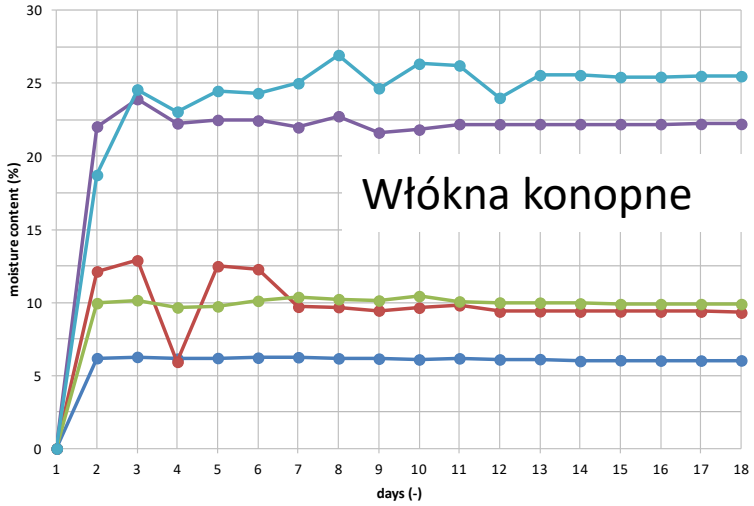




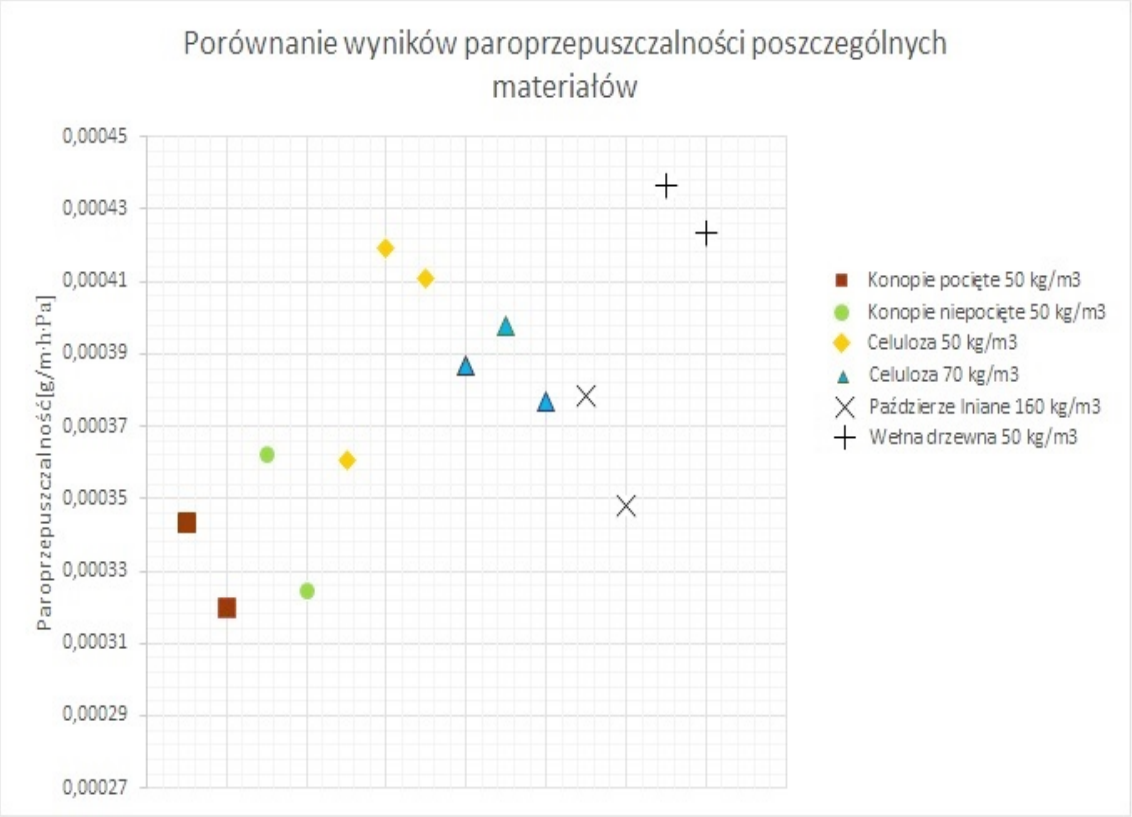




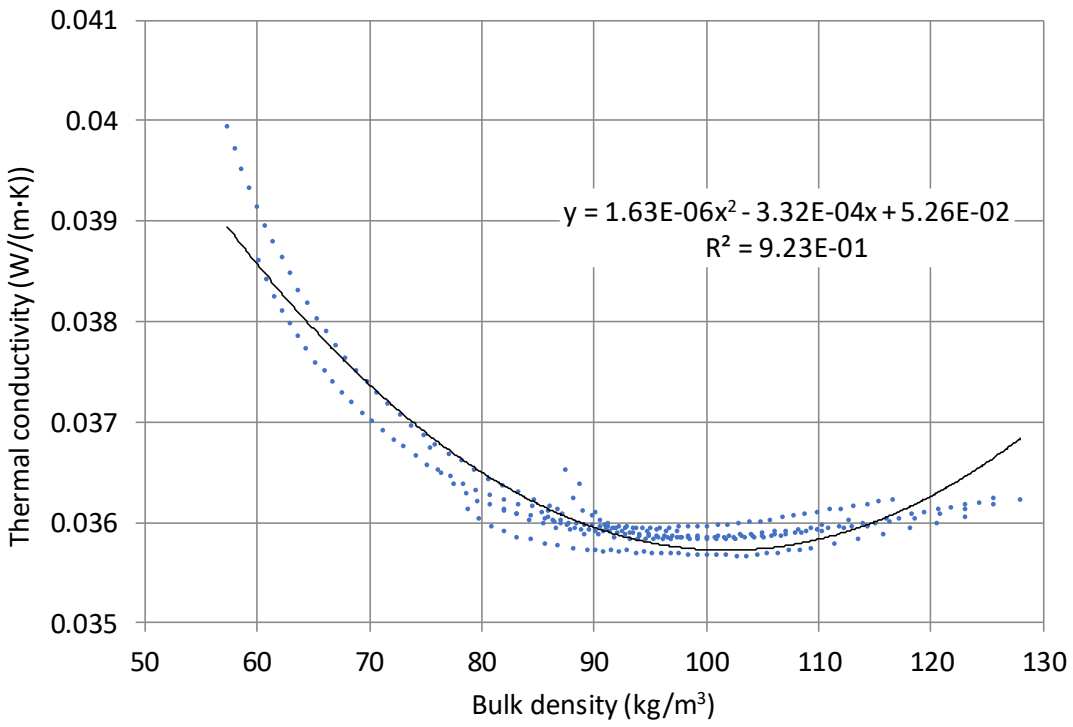




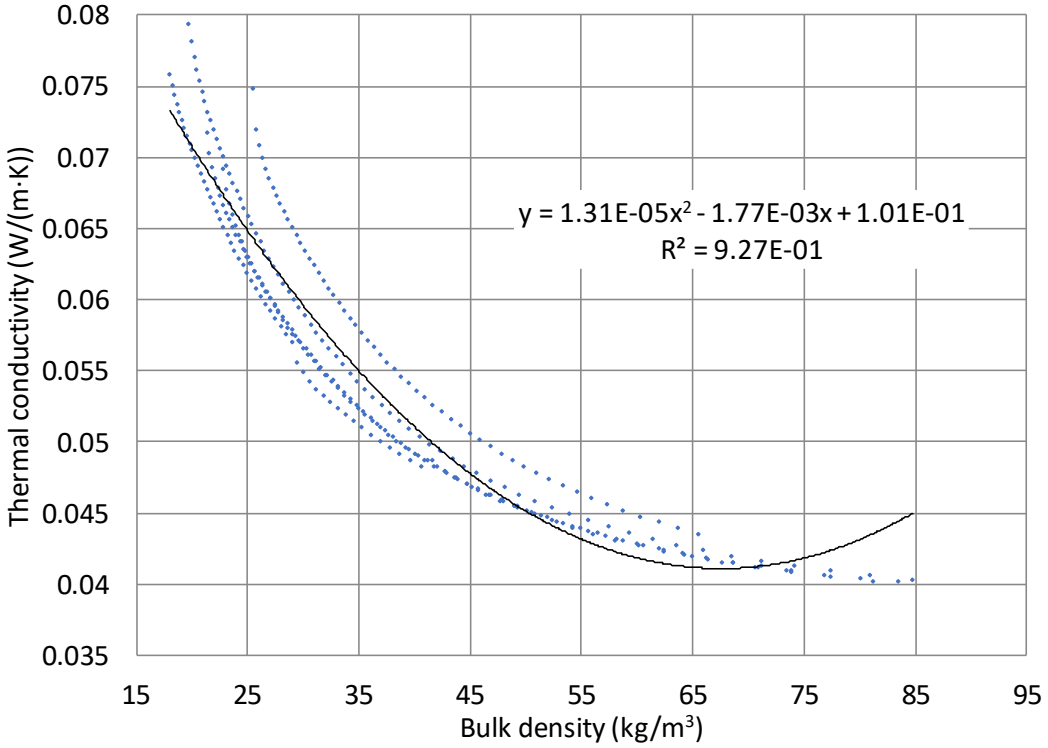
Przepuszczalność pary wodnej



Przewodność cieplna

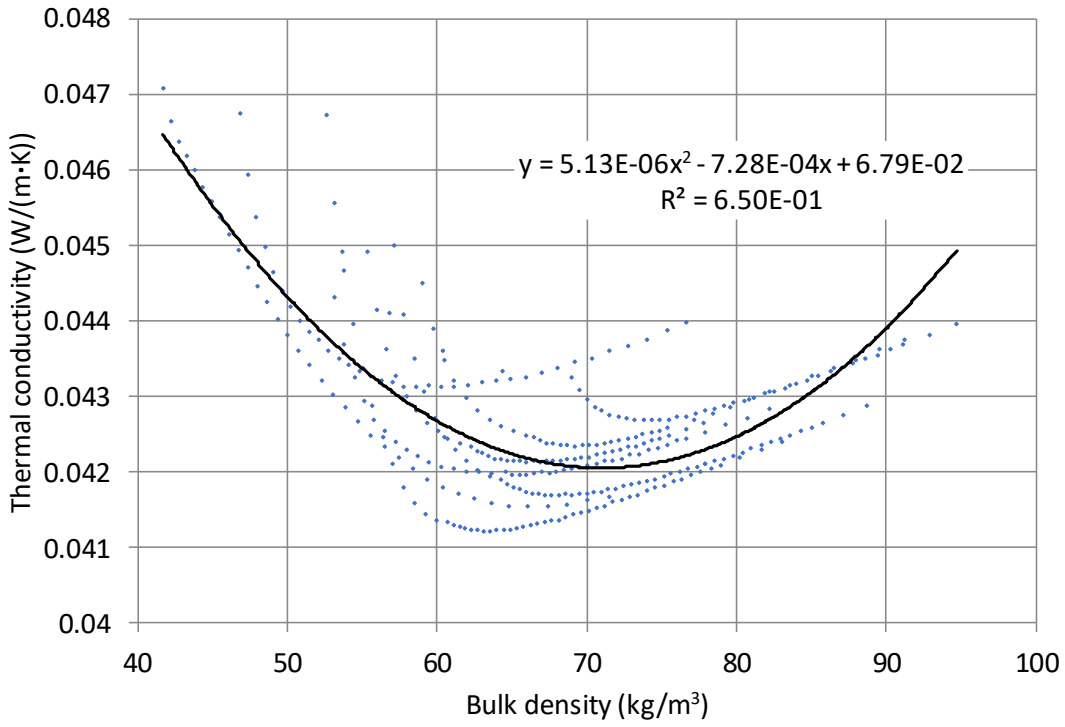


Luźna wełna mineralna

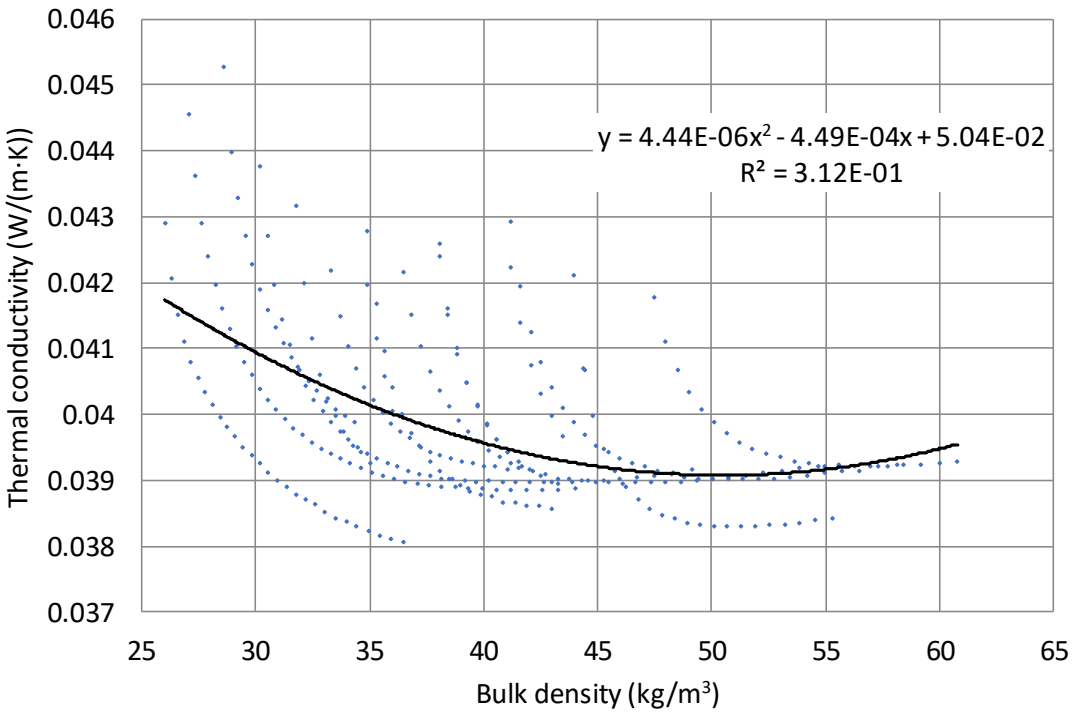


włókna konopne

Przewodność cieplna

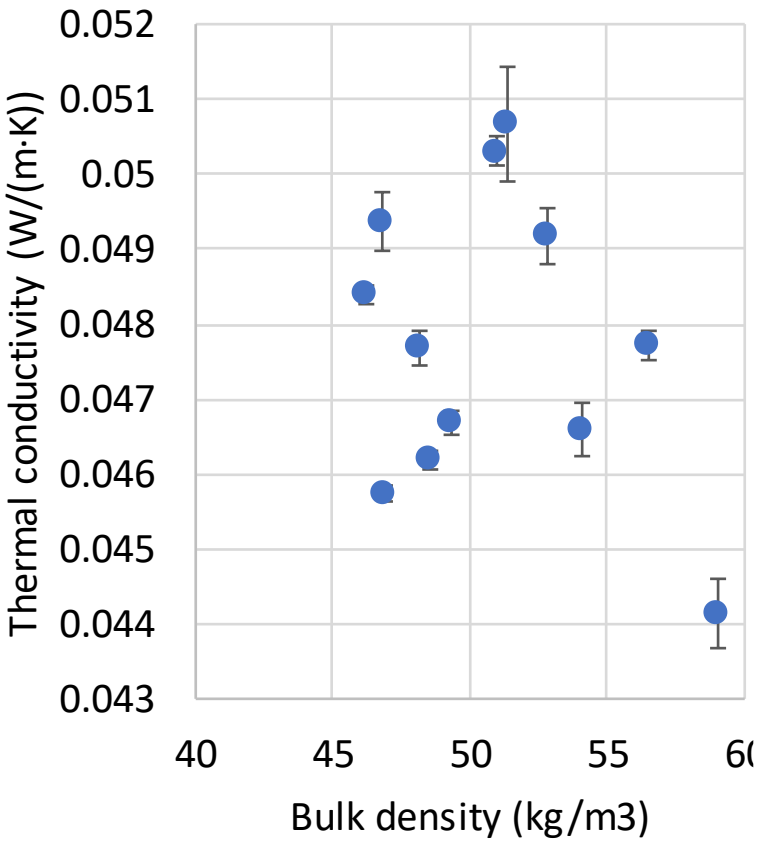


celuloza

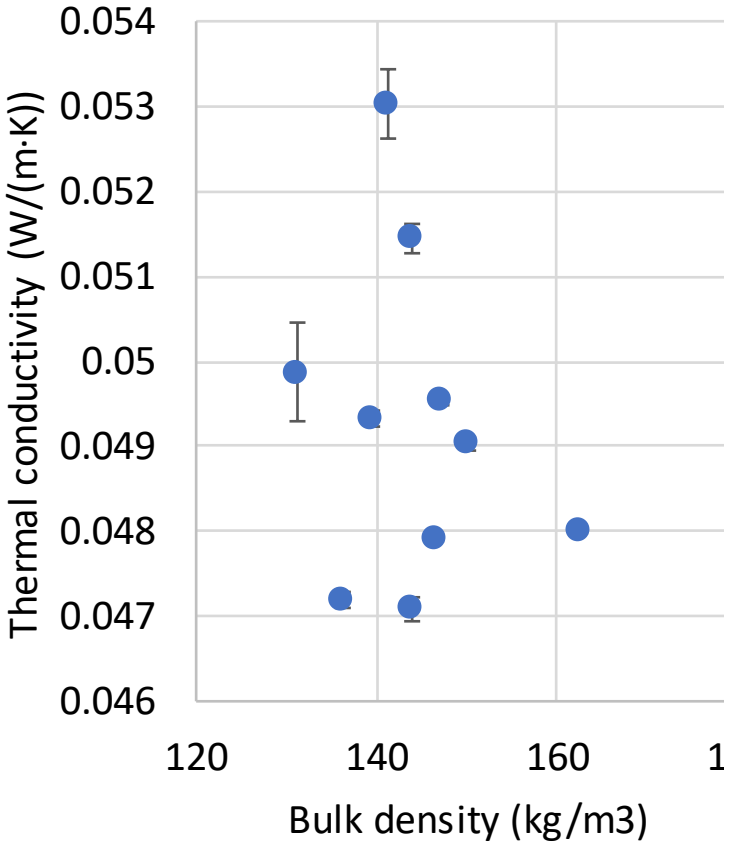


luźna wełna drzewna

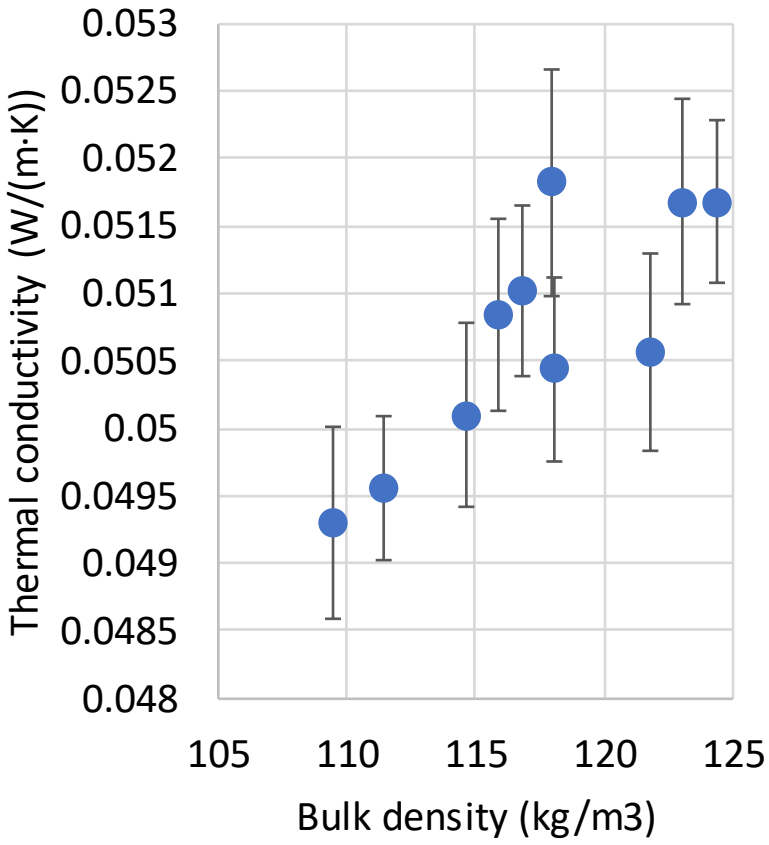
Przewodność cieplna



słoma

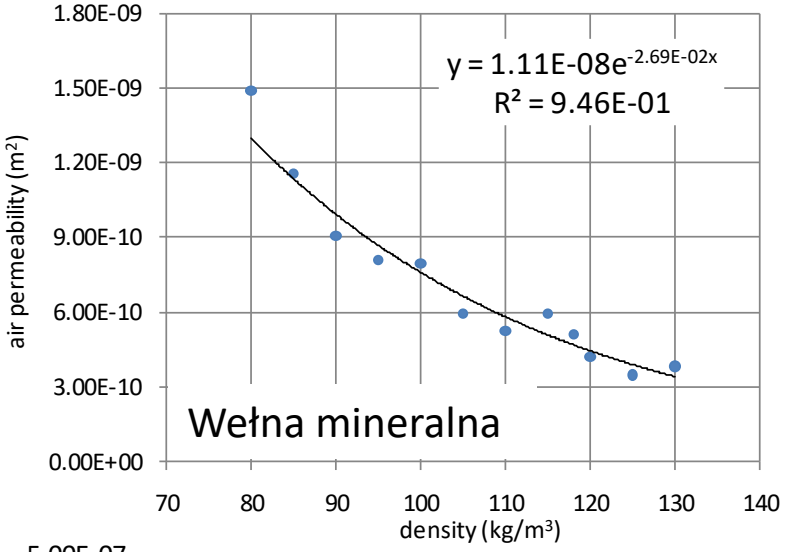


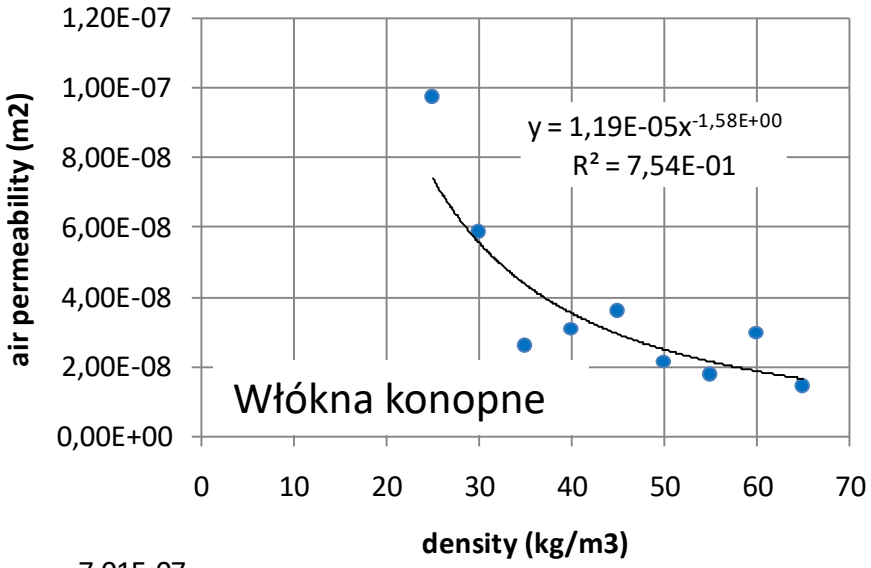
paździerze lniane

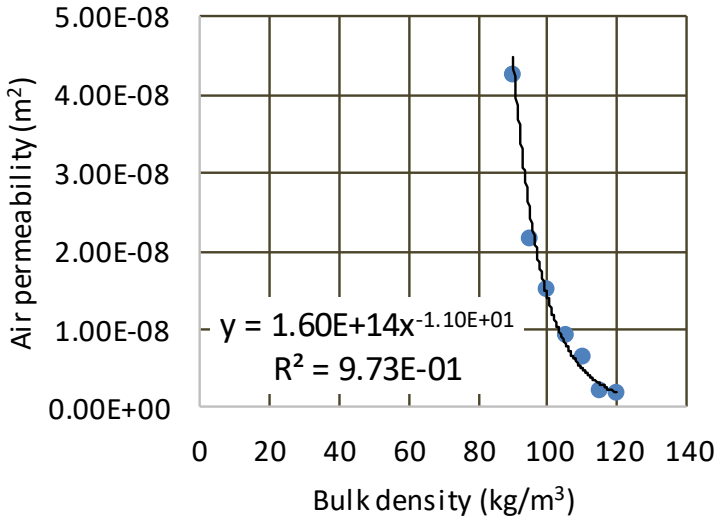


paździerze konopne

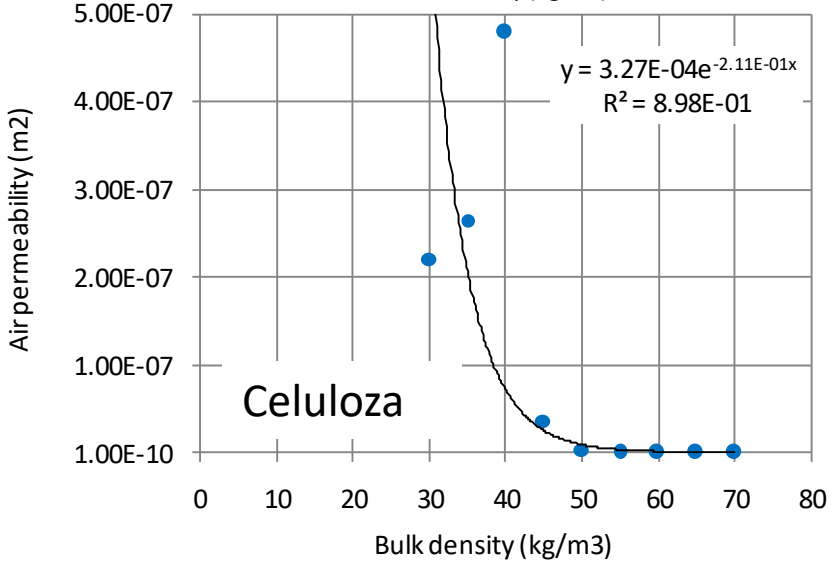
Przepuszczalność powietrzna

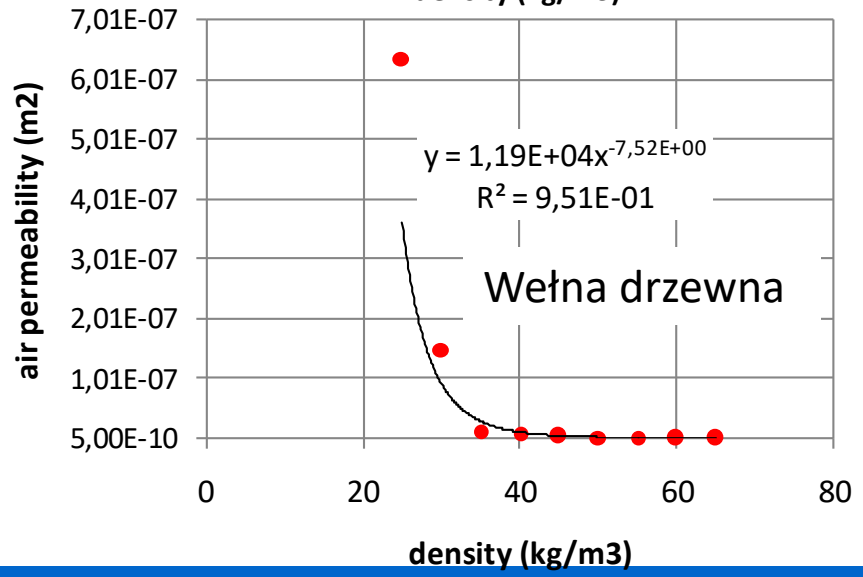






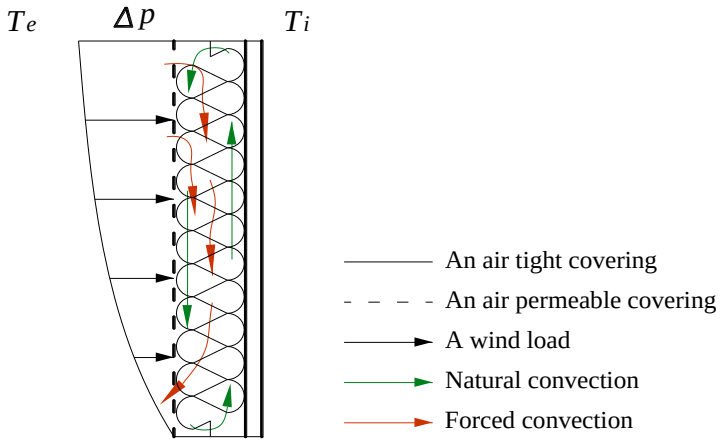
paździerze lniane

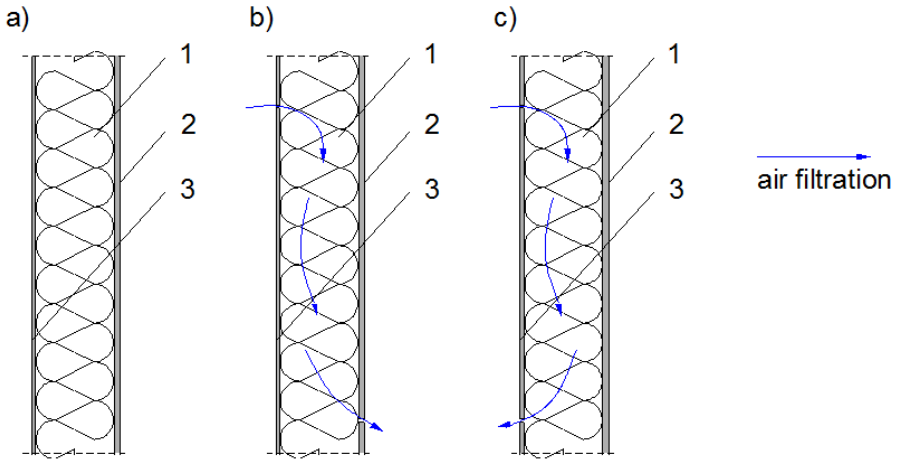




Symulacja numeryczna przepływu ciepła

- Ściana szkieletowa izolowana celulozą
- Delphin 5.8, Metoda Objętości Skończonych





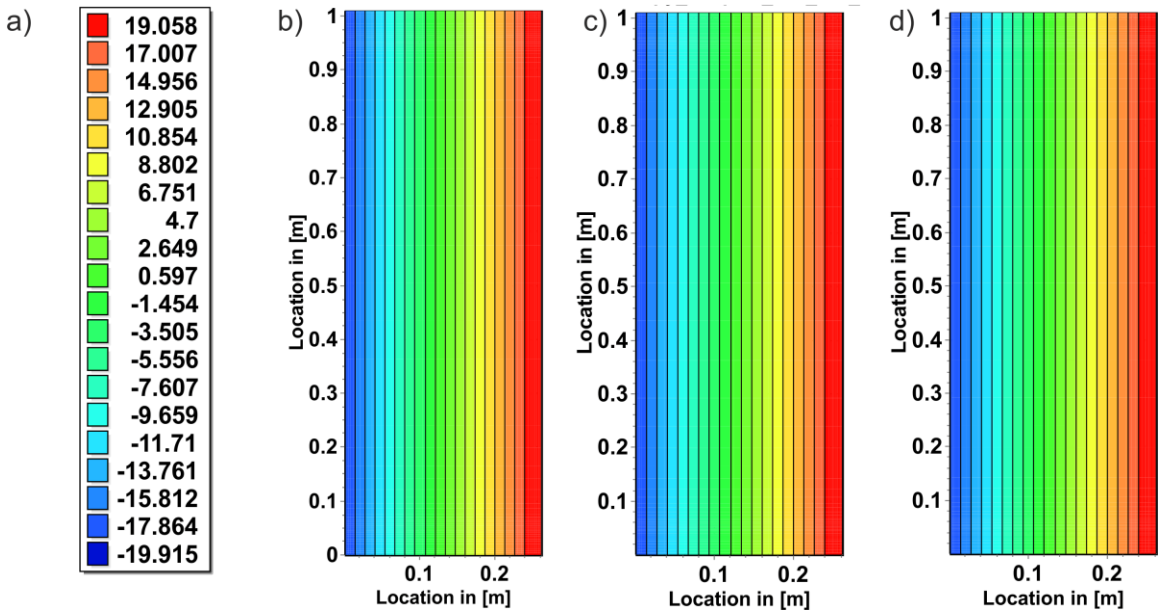
Materiał	d (m)	λ (W·m^{-1}·K^{-1})	κ (m^2)
Płyta gipsowo-kartonowa	0.0125	0.200	-
Luźne włókna celulozy 45 kg/m^3	0.25	0.046	3.696E-08
Luźne włókna celulozy 55 kg/m^3	0.25	0.043	1.214E-09
Luźne włókna celulozy 70 kg/m^3	0.25	0.042	2.897E-10

Warunki brzegowe:
T_i = 20.00 °C, T_e = -20.0°C,
Δp = 5.00 Pa,
α_e = 25.0 W/(m^2·K),
α_i = 8.0 W/(m^2·K)

Brzyski P., Kosinski, P., Skoratko A., Motackii W., (2019) Thermal properties of cellulose fiber as insulation material in a loose state, AIP Conference Proceedings 2133 (1), 020006

Symulacja numeryczna przepływu ciepła

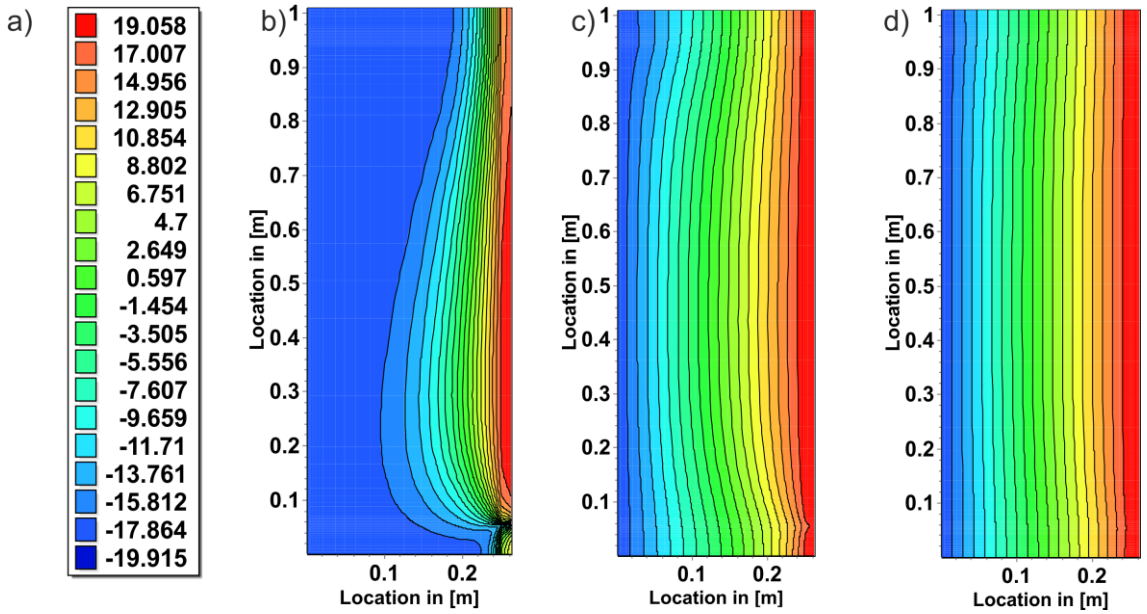
- Rezultaty, przypadek bez filtracji powietrza



45 kg/m^3 55 kg/m^3 70 kg/m^3

Thermal simulation on heat transfer

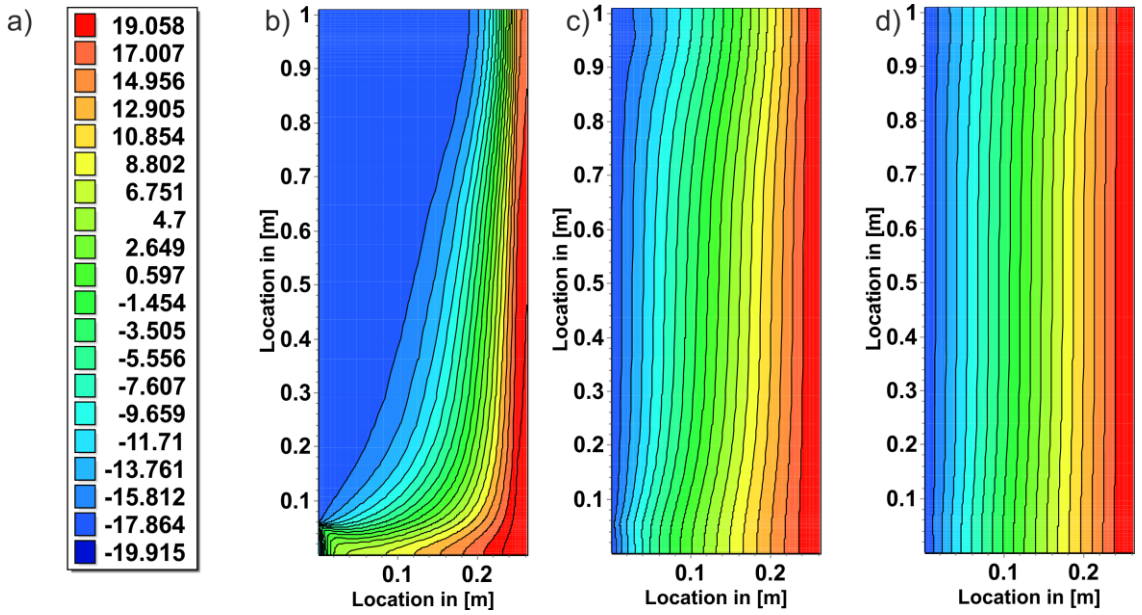
- Infiltracja powietrza



45 kg/m^3 55 kg/m^3 70 kg/m^3

Thermal simulation on heat transfer

- Przewiewanie jednostronne



45 kg/m^3 55 kg/m^3 70 kg/m^3

Podsumowanie

- Materiały pochodzenia naturalnego mają duży potencjał stosowania ich w budownictwie,
- w wielu krajach istnieją zaakceptowane technologie budowy przy wykorzystaniu materiałów pochodzenia naturalnego, niskoprzetworzonego,
- mimo, że przewodność cieplna dla większości z nich jest wyższa niż dla wełny mineralnej, są tańsze w produkcji.
- materiały pochodzenia naturalnego mogą być stosowane nie tylko jako izolacja cieplna, ale służą też do tworzenia masy cieplnej w budynku – buforują ciepło i wilgoć,
- izolacje włókniste są przepuszczalne dla powietrza i należy je chronić przed nim,
- ciągle kontynuujemy badania, szukamy nowych materiałów, rozpoznajemy nowe właściwości,

Brakuje polskich produktów na rynku izolacji z materiałów naturalnych!

Ostatnie publikacje dotyczące materiałów pochodzenia naturalnego

- Kosiński P., Brzyski P., Tunkiewicz M., Suchorab Z., Wiśniewski D., Palczyński P. 2022. Thermal Properties of Hemp Shives Used as Insulation Material in Construction Industry. Materials 15(7):2461
- Kosinski, P., Wójcik R., Skoratko D., Attia, S. 2021. *An impact of moisture content on the air permeability of the fibrous insulation materials*, 8th International Building Physics Conference - IBPC2021 Copenhagen, Denmark, 25-28 August 2021
- Kosiński P., Brzyski P., Suchorab Z., Łagód G. 2020. *Heat Losses Caused by the Temporary Influence of Wind in Timber Frame Walls Insulated with Fibrous Materials*. Materials 13 (23), 5514
- Kosiński P., Brzyski P., Suchorab Z., Łagód G. 2020. *Comparison of air permeability and thermal properties of loose mineral wool and hemp fibers*. AIP Conference Proceedings 2305 (1), 020007
- Kosiński P., Brzyski P., Duliasz B. 2020. *Moisture and wetting properties of thermal insulation materials based on hemp fiber, cellulose and mineral wool in a loose state*. Journal of Natural Fibers 17(2), pp. 199-213
- Brzyski P., Kosiński P., Nadratowska M. 2019. *Thermal bridge occurrence in straw-bale timber frame walls*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 710(1),012029
- Brzyski P., Kosiński P. Skoratko A. 2019. *Thermal bridges occurrence analysis in timber construction walls filled with hemp fibers*. AIP Conference Proceedings 2133,020005
- Brzyski P., Kosiński P., Zgliczyńska A., Iwanicki P., Poko J. 2019. *Mass Transport and Thermal Conductivity Properties of Flax Shives for Use in Construction Industry*. Journal Of Natural Fibers (in press)
- Kosiński P., Brzyski P., Szewczyk A., Motacki W. 2018. *Thermal Properties of Raw Hemp Fiber as a Loose-Fill Insulation Material*. Journal of Natural Fibers 15 (5), pp. 717-730

Dziękuję za uwagę!

Zapraszam do współpracy!

Wydział Geoinżynierii,
Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
www.uwm.edu.pl/zboifb