


Iceland 
Liechtenstein
Norway grants

BUDOWNICTWO NATURALNE

PORADNIK INWESTORA

Buduj i remontuj z użyciem nowoczesnych, ekologicznych technologii



IOŚ-PIB
Instytut Ochrony Środowiska
Państwowy Instytut Badawczy



Ogólnopolskie
Stowarzyszenie
Budownictwa
Naturalnego

BN

Tytuł: Budownictwo Naturalne. Poradnik Inwestora.

Redakcja merytoryczna: Anna Zawadzka-Sobieraj

Korekta językowa: Anna Depczyńska

Projekt graficzny: Katarzyna Woszczyńska

Skład i łamanie: Katarzyna Woszczyńska

Materiał powstał w ramach projektu „Dekarbonizacja procesów budowlanych - wprowadzenie materiałów naturalnych o zerowym śladzie węglowym, w tym drewna do gospodarki obiegu cyrkularnego w budownictwie” realizowanego przez Instytut Ochrony Środowiska - Państwowy Instytut Badawczy oraz Ogólnopolskie Stowarzyszenie Budownictwa Naturalnego. Projekt korzysta z dofinansowania o wartości 744 951 euro otrzymanego od Islandii, Liechtensteinu i Norwegii w ramach Funduszy EOG. Celem projektu jest umożliwienie rozwoju sektora budownictwa naturalnego i drewnianego oraz implementacja Gospodarki Obiegu Zamkniętego w sektorze budownictwa w Polsce. Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej, konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej.”

www.eeagrants.pl

Autorzy dołożyli wszelkich starań, by zawarte w tej publikacji informacje były kompletne i rzetelne. Nie biorą jednak żadnej odpowiedzialności za ich wykorzystywanie, ani nie ponoszą również żadnej odpowiedzialności za ewentualne szkody wynikłe z wykorzystywania informacji zawartych w publikacji.

Warszawa, 2024

Iceland
Liechtenstein
Norway grants

BUDOWNICTWO NATURALNE

PORADNIK INWESTORA

Buduj i remontuj z użyciem nowoczesnych, ekologicznych technologii



IOŚ-PIB
Instytut Ochrony Środowiska
Państwowy Instytut Badawczy



Ogólnopolskie
Stowarzyszenie
Budownictwa
Naturalnego

**DEKARBONIZACJA
PROCESÓW
BUDOWLANYCH**

Spis Treści

Wprowadzenie

Dekarbonizacja i GOZ w budownictwie naturalnym	6
Anna Zawadzka-Sobieraj	

Rozdział 1

Przegląd rozwiązań stosowanych w budownictwie opartym na zasadach GOZ	15
Anna Zawadzka-Sobieraj, Katarzyna Skiba	
1.1 Możliwe ścieżki działań	15
1.2 Materiały naturalne jako wyroby budowlane	18
1.3 Zastosowanie GOZ w budownictwie jednorodzinym	21
1.4 Zastosowanie GOZ w budownictwie wielorodzinnym i użyteczności publicznej	23

Rozdział 2

Charakterystyka wybranych technologii GOZ	28
Wojciech Piątkiewicz, dr Piotr Narloch, Borys Lewandowski, dr Maciej Jagielak, Dorota Suwaj, Anna Zawadzka-Sobieraj, Katarzyna Skiba, Paweł Wolejsza, Iwona Jadanowska-Gromke, Marcin Kacprzyk	
2.1 Konoplit (Hempcrete - beton konopny)	28
2.2 Słoma	39
2.3 Ziemia i glina.	54
2.4 Materiały zasypowe	73
2.5 Wykończenia naturalne na bazie gliny i wapna	82
2.6 Wtórne zastosowanie materiałów i komponentów budowlanych	104

Rozdział 3

Projektowanie i wykonawstwo	122
Anna Zawadzka-Sobieraj, Katarzyna Skiba, Borys Lewandowski, Ryszard Biliński, Wojciech Piątkiewicz, dr Piotr Narloch	
3.1 Wytyczne projektowe.	122
3.2 Wytyczne wykonawcze dla konoplitu	131
3.3 Wytyczne wykonawcze dla słomy.	139
3.4 Wytyczne wykonawcze dla ziemi i gliny	150

Rozdział 4

Wzornik GOZ	164
Jan Dowgiałło	
4.1 Budownictwo mieszkalne jednorodzinne	164

4.2 Budownictwo jednorodzinne w zabudowie szeregowej	172
4.3 Budownictwo mieszkalne wielorodzinne	180

Rozdział 5

Rozwiązania budowlane i wykonawcze	188
Jan Dowgiałło, Adam Parzyszek	
5.1 Budynki nowe	188
5.1.1 Konoplit	188
5.1.2 Szkielet drewniany wypełniony kostkami słomy.	195
5.1.3 Prefabrykaty słomiane	202
5.2 Budynki termomodernizowane.	209
5.2.1 Termomodernizacja budynku od wewnątrz z użyciem konoplitu	209
5.2.2 Termomodernizacja budynku z użyciem kostek słomy	215

Rozdział 6

Przykłady realizacji z wykorzystaniem naturalnych technologii	221
Przemysław Woś	

Wprowadzenie

Dekarbonizacja i GOZ w budownictwie naturalnym

Anna Zawadzka-Sobieraj

Po co ten poradnik?

Poradnik Inwestora stanowi kompendium wiedzy o materiałach i technologiach naturalnych, będących wciąż rzadko wykorzystywanym sposobem na dekarbonizację sektora budownictwa i przechodzenia na gospodarkę obiegu zamkniętego.

Rozwiązania budownictwa naturalnego pozwalają ograniczać emisje w procesie produkcji materiałów, organizacji procesu budowlanego, eksploatacji budynku i utylizacji materiałów pobudowlanych.

Publikacja adresowana jest zarówno do inwestorów indywidualnych, samorządowych, jak i deweloperów. Pomoże przygotować się do budowy domu jednorodzinnego i do realizacji inwestycji publicznej z zastosowaniem rozwiązań budownictwa naturalnego.

Budownictwo naturalne bazuje na używanych tradycyjnie materiałach: glinie, słomie, konopiach, ziemi i drewnie. Obejmuje jednak także nowe rozwiązania, odpowiadające na współczesne potrzeby: zoptymalizowany proces budowy i prefabrykację.

Poradnik Inwestora oraz inne zadania realizowane w ramach projektu „Dekarbonizacja procesów budowlanych: wprowadzenie materiałów naturalnych o zerowym śladzie węglowym, w tym drewna do gospodarki obiegu cyrkularnego w budownictwie” mają na celu popularyzację budownictwa naturalnego oraz likwidację barier i ograniczeń w jego zastosowaniu.

W Poradniku Inwestora znalazły się szczegółowe opracowania najważniejszych technologii budowania z materiałów naturalnych. Omówione zostały: budownictwo słomiane, konoplit, izolacje zasypowe i wdmuchiwane oraz ziemia ubijana. Szczegółowo opisano wykończenia naturalne takie, jak tynki gliniane, wapienne

i tadelakt, a także możliwość ich zastosowania w konwencjonalnej realizacji budynków.

Dodatkowo w poradniku znajdziemy informacje o wtórnym zastosowaniu materiałów i komponentów budowlanych. Mimo że nie opiera się ono na wykorzystaniu materiałów naturalnych, to jednak ma wpływ na dekarbonizację. To rozwiązanie pozwala bowiem zredukować ilość odpadów budowlanych i emisję dwutlenku węgla w ramach Gospodarki Obiegu Zamkniętego.

Emisje i ich konsekwencje a potrzeby dekarbonizacji

Dekarbonizacja polega na redukcji emisji gazów cieplarnianych, zwłaszcza dwutlenku węgla (CO₂), w celu ograniczenia negatywnego wpływu na zmiany klimatu. Emisje gazów cieplarnianych powstają głównie w wyniku spalania paliw kopalnych: węgla, ropy naftowej i gazu ziemnego, które są powszechnie wykorzystywane, m.in. w produkcji energii, w transporcie, przemyśle i budownictwie.

Wzrost ilości gazów cieplarnianych w atmosferze utrudnia uwolnienie promieniowania podczerwonego, emitowanego przez powierzchnię planety. W rezultacie Ziemia wypromieniowuje w kosmos mniej energii, niż pochłania ze Słońca. Energia ta kumuluje się w ziemskim systemie klimatycznym, wywołując globalne ocieplenie, którego skala zależy od poziomu emisji gazów cieplarnianych. Konsekwencje z tym związane są już nieuniknione, ale wciąż jest możliwe podjęcie skutecznych działań, dzięki którym nie będą one aż tak poważne czy katastrofalne [1].

Scenariusze emisji opracowuje IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change)

Międzypaństwowy Zespół ds. Zmian Klimatu, który jest organem Organizacji Narodów Zjednoczonych. IPCC w 2023 roku sporządziło szóste sprawozdanie (AR6), podsumowujące stan wiedzy na temat zmian klimatu, ich powszechnych skutków i zagrożeń oraz mitygacji (łagodzenia zmiany klimatu) oraz adaptacji (przystosowania się do niej) [2].

Szybkie zmiany w atmosferze, oceanach, kriosferze i biosferze, wywołane przez działalność człowieka, są niepodważalne. Powodują one ekstremalne zjawiska pogodowe i klimatyczne w każdym regionie świata, co z kolei prowadzi do niekorzystnych skutków i szkód dla przyrody oraz ludzi.

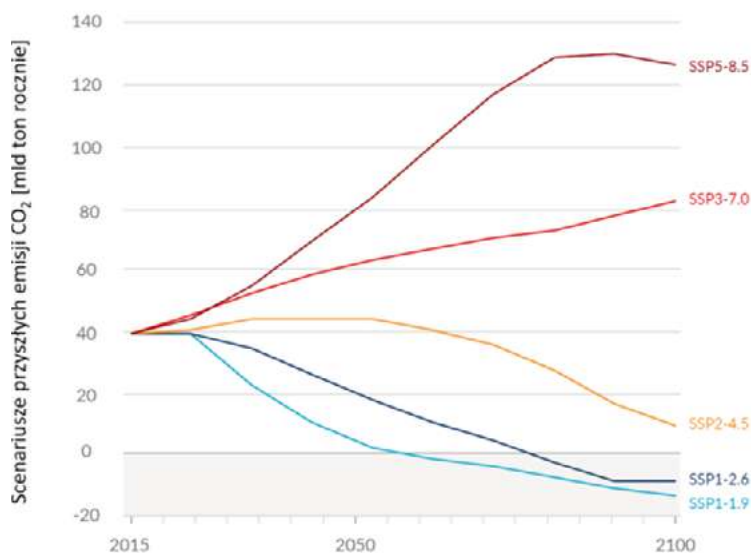
Ograniczenia globalnego ocieplenia zakładane w pierwszym w historii prawnie wiążącym porozumieniu w dziedzinie klimatu, zwanym Porozumieniem Paryskim, które zostało przyjęte podczas konferencji klimatycznej w Paryżu (COP21) w grudniu 2015 roku, wynoszą poniżej 2°C względem epoki przedprzemysłowej, kładąc nacisk na dążenie do utrzymania ocieplenia na poziomie 1,5°C [3].

Według raportu IPCC na temat globalnego ocieplenia z 2018 r., globalne emisje netto powinny zostać zredukowane do poziomu zerowego do 2050 roku, jeśli cel 2°C ma zostać osiągnięty, a w przypadku ograniczenia ocieplenia do 1,5°C, już do 2030 roku [2].

O zerowej emisji CO₂ netto mówimy wtedy, gdy ilość CO₂ wyemitowana do atmosfery jest równa ilości CO₂ usuniętego z atmosfery w wyniku działalności człowieka w określonym czasie. Ujemne emisje CO₂ netto mają miejsce, gdy pochłanianie przekracza emisje antropogeniczne. Skumulowana emisja dwutlenku węgla do czasu osiągnięcia zerowej emisji CO₂ netto oraz poziom redukcji emisji gazów cieplarnianych w tej dekadzie w dużej mierze zdecydują o tym, czy ocieplenie uda się ograniczyć do najniższego prognozy i bardziej optymistycznych scenariuszy.

Możliwych scenariuszy jest pięć, są oznaczone skrótem SSP (Shared Socio-economic Pathway, wspólne ścieżki społeczno-ekonomiczne). Odwołują się do alternatywnych możliwości rozwoju społeczno-gospodarczego,

stanowiących czynniki antropogenicznej zmiany klimatu. Redukcja emisji CO₂ do poziomu określanego w scenariuszu SSP1-1.9 wydaje się już mało realistyczna, zaś scenariusz SSP5-8.5 zakłada podejście „business as usual”, oby mało prawdopodobny, przy już obecnie podjętych działaniach.

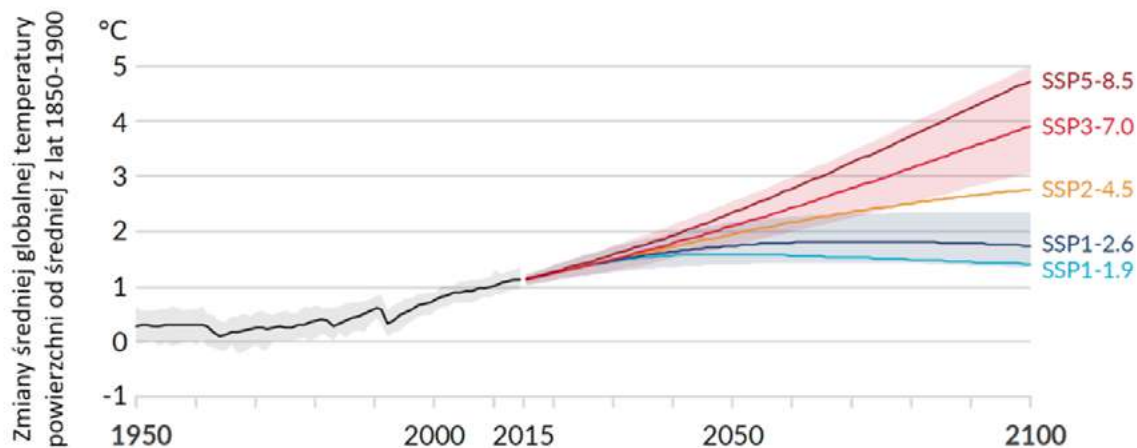


Źródło: <https://naukaoklimacie.pl>

Można przyjąć, że obecnie znajdujemy się na ścieżce scenariusza SSP2-4.5, z możliwym wahaniem od SSP1-2.6 do SSP3-7.0. To oznacza, że SSP2-4.5 to scenariusz średnich emisji, z ich poziomami podobnymi do obecnych, utrzymującymi się do drugiej połowy stulecia, później stopniowo spadającymi, lecz nie poniżej zera do końca XXI wieku. W scenariuszu SSP2-4.5 obecna polityka doprowadzi do ocieplenia o 2,7°C w 2100 r., potem będzie ono również nadal rosnąć [5].

O ile do około roku 2050 wzrost średniej globalnej temperatury we wszystkich scenariuszach jest podobny, to w dalszym horyzoncie czasowym scenariusze znacznie się od siebie różnią. Im wyższy poziom emisji, tym poważniejsze konsekwencje: podniesienie poziomu mórz i oceanów, wymieranie gatunków, susze, fale upałów, powodzie i inne gwałtowne zjawiska pogodowe, których skutki mogą okazać się nieodwracalne.

Przegląd realizacji zobowiązań w zakresie energii odnawialnej i efektywności energetycznej dokonany na ostatnim szczycie klimatycznym



Źródło: <https://naukaoklimacie.pl>

COP28, który odbył się pod koniec 2023 roku w Dubaju, potwierdził, że świat nie jest obecnie na dobrej drodze do redukcji emisji o poziom niezbędny do ograniczenia wzrostu temperatury do 1,5 °C [6].

W sprawozdaniu „Trendy i prognozy w Europie w 2023 r.” podkreślono konieczność podwojenia wysiłków w celu osiągnięcia celów, by osiągnąć cele wyznaczone na koniec obecnego dziesięciolecia, porównywane z rocznym postępem obserwowanym od 2005 r. Szybsze redukcje są szczególnie potrzebne w przypadku m.in. emisji pochodzących z budynków i odpadów, które to emisje są objęte rozporządzeniem w sprawie wspólnego wysiłku redukcyjnego [7].

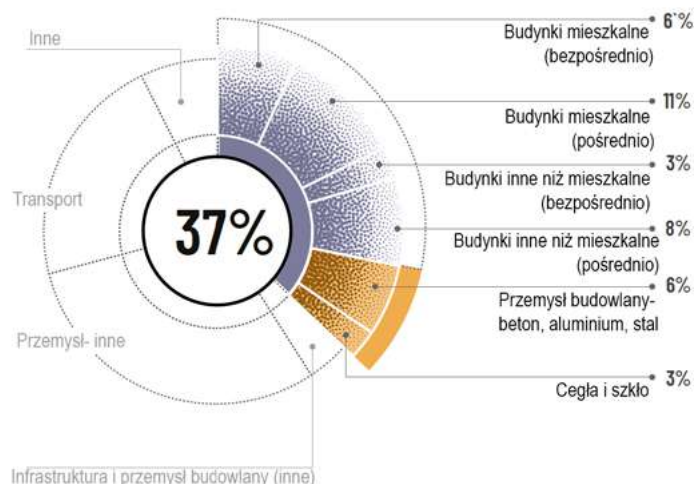
„Dowody naukowe są jednoznaczne: zmiany klimatu stanowią zagrożenie dla dobrostanu ludzi i zdrowia planety. Jakikolwiek dalsze opóźnienia w skoordynowanych działaniach globalnych spowodują, że zabraknie krótkiego i szybko zamykającego się okna, w którym można zapewnić godną życia przyszłość” - czytamy w „Ekonomii obwarzanka” Kate Raworth [8].

Stoimy przed koniecznością nieuchronnych zmian. Dotyczą one również polskiej gospodarki, w tym sektora budowlanego.

Dekarbonizacja sektora budowlanego

Sektor budowlany ze śladem produkcji materiałów, budowania i użytkowania budynków, jest największym światowym emitentem

odpowiadającym za powstawanie 37 proc. gazów cieplarnianych [4].



Źródło: Raport Building Materials and the Climate: Constructing a New Future”

Działania w tym sektorze skupiały się dotychczas na redukcji „operacyjnych” emisji dwutlenku węgla z budynków, pochodzących z fazy użytkowania, czyli: ogrzewania, chłodzenia i oświetlenia. Wiele działań zostało podjętych w kierunku zwiększenia efektywności energetycznej budynków, w tym budowania w standardzie prawie zeroenergetycznym, termomodernizacji, przejścia na niskoemisyjne źródła ciepła. Oprócz emisji „operacyjnych”, istotną rolę odgrywają emisje „wbudowane”, czyli proces produkcji i utylizacji komponentów i materiałów budowlanych.

W raporcie „Building Materials and the Climate: Constructing a New Future”, podkreślona została potrzeba ustanowienia innowacyjnych modeli działania w celu dekarbonizacji materiałów budowlanych.

Wskazano trzy nadrzędne strategie, które należy wdrożyć łącznie, aby dekarbonizować procesy budowlane:

- unikanie wydobycia surowców i produkcji materiałów, optymalizacja procesów projektowych i budowlanych, dzięki czemu będzie możliwe budowanie z mniejszej ilości surowców, wykorzystywanie wtórnie komponentów i materiałów;
- przejście na praktyki związane z materiałami z odnawialnych źródeł, stosowanie etycznie wyprodukowanych, niskoemisyjnych materiałów budowlanych pochodzenia roślinnego (drewno, odpady rolne i leśne) oraz materiałów ziemnych;
- przeprowadzenie radykalnej dekarbonizacji konwencjonalnych materiałów takich, jak beton, stal, aluminium, stosowanie materiałów nieodnawialnych, wysokoemisyjnych tylko wtedy, gdy jest to absolutnie konieczne.

Według raportu „Building Materials and the Climate: Constructing a New Future”, przejście na stosowanie biomateriałów może doprowadzić w wielu częściach świata do łącznych oszczędności emisji w sektorze sięgających nawet 40

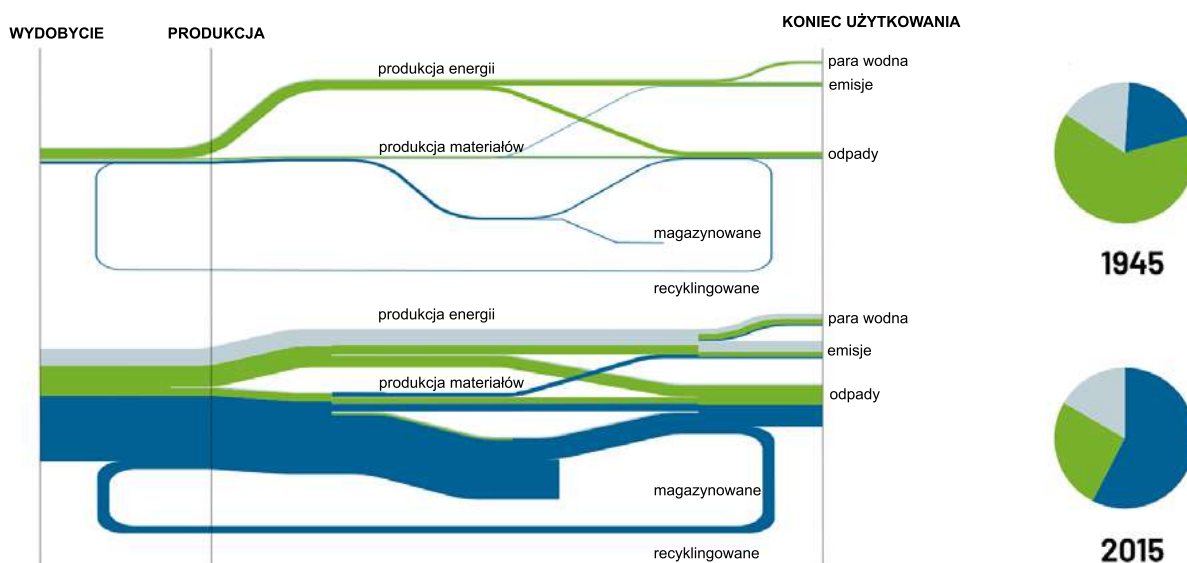
proc. do 2060 roku.

Odnawialne, biologiczne materiały budowlane mają wyjątkową zdolność zmniejszania emisji dwutlenku węgla do atmosfery, jeśli są pozyskiwane i produkowane w sposób zrównoważony.

Obecnie głównym biomateriałem jest drewno, integralny element większości konstrukcji stosowanych w budownictwie naturalnym. Konstrukcje te wymagają wypełnienia lub obłożenia materiałem izolacyjnym i wykończeniowym. To szerokie pole do zagospodarowania, ponieważ w budownictwie konwencjonalnym stosowane są głównie rozwiązania oparte na surowcach nieodnawialnych. Jako zamiennik doskonale sprawdzą się materiały naturalne, szerzej omówione w tym opracowaniu.

Wprowadzanie na szeroką skalę dotychczas mało znanych materiałów pochodzenia biologicznego wymaga wielopoziomowych działań takich, jak: włączenie ich do norm i przepisów budowlanych, standaryzacja, szerokie podniesienie kwalifikacji w branży, zachęty marketingowe i finansowe oraz regulacje.

Warto pamiętać, że nie zawsze budowano z materiałów wysokoemisyjnych. W pierwszej połowie XX wieku w wielu częściach świata powstawały budynki, również duże obiekty, z rodzimych materiałów ziemnych i biologicznych takich, jak ziemia, glina, drewno i trzcina. Jednakże w ciągu ostatniego stulecia, wraz z coraz większym dostępem do paliw kopalnych, gwałtownie



Zastosowanie materiałów opartych na paliwach kopalnych, metali i materiałów pochodzenia biologicznego w 1945 i 2015 r.

Źródło: Raport Building Materials and the Climate: Constructing a New Future

wzrosła produkcja materiałów charakteryzujących się dużą emisją dwutlenku węgla (beton i stal). Wyparty one materiały lokalne, ponadto stały się symbolem nowoczesności i postępu.

Wiele współczesnych elementów i materiałów budowlanych daje jedynie złudzenie trwałości. Ich koniec użytkowania przewidziany jest w stosunkowo krótkim czasie, po którym następuje rozbiórka budynku. Materiały te trafiają wówczas na składowiska. Zakupione zostały w ramach złożonych łańcuchów dostaw i nie są przeznaczone do łatwego demontażu lub ponownego użycia.

Istotne zatem jest wybieranie takich rozwiązań, które, oprócz niskiego poziomu energii wbudowanej, nie generują powstawania odpadów, możliwy jest recykling komponentów lub ich ponowne użycie czy adaptacja do nowych funkcji.

Gospodarka Obiegu Zamkniętego

Przez ostatnie dwieście lat produkcję opierano na systemie linearnym, zbudowanym na zasadzie „od kołyski aż po grób”. Związane z nim podejście „weź-zrób-użyj-wyrzuć” polega na wydobyciu minerałów i paliw kopalnych z ziemi, przetworzeniu ich na towary, sprzedaży konsumentowi, który pozbędzie się ich po zakończeniu użytkowania (zmieniają się jego potrzeby, moda albo zwyczajnie będzie mieć ochotę na inny produkt). Ten model funkcjonuje wbrew porządkowi przyrody, który polega na nieustannym obiegu materii. Tymczasem system linearny dąży do nieuchronnego wyczerpania zasobów natury.

Różnego typu narzędzia rynkowe lub finansowe, których celem jest obniżenie emisji i poziomu użycia materiałów opartych o paliwa kopalne, pomagają ograniczyć destrukcyjne działanie człowieka, wciąż jednak są częścią degeneracyjnego podejścia obciążającego limity Ziemi. Należy je zastąpić paradygmatem podejścia regeneracyjnego, naśladującego naturalne systemy. Przez miliardy lat naturalne systemy regenerowały się same. Odpady są wynalazkiem człowieka.

Podejście regeneracyjne zakłada zatem

pozostawienie świata w lepszym stanie, niż go zastaliśmy. Janine Benyus, myślicielka i aktywistka w dziedzinie biomimikry, stwierdziła: „(...) Chcę, żebyśmy podjęli się tego zadania (...) i zaczęli w pełni uczestniczyć w cyklach przyrody. Zaczniemy od cyklu węglowego. Nauczmy się, jak zatrzymać nasz przemysłowy „wydech” zanieczyszczeń węglowych, a następnie, naśladując rośliny, nauczmy się, jak „wdychać” dwutlenek węgla w nasze wyroby i przechowywać go przez stulecia w bogatych glebach rolnych. Kiedy spróbujemy swoich sił w cyklu węglowym, zastosujmy to, czego się nauczymy, do cykli fosforowych, azotowych i wodnych” [9].

Produkcja przemysłowa zaczęła już przemianę podejścia od degeneratywnego do regeneracyjnego, w ramach Gospodarki Obiegu Zamkniętego, zbudowanej na zasadzie „od kołyski do kołyski” - „cradle to cradle”. Zasada ta, zaproponowana przez Williama McDonougha i Michaela Braungarta, zakłada projektowanie produktów i procesów produkcyjnych w taki sposób, aby stały się surowcem dla kolejnych produktów i procesów produkcyjnych. Jest to koncepcja oparta na zapewnieniu trwałego i zrównoważonego wykorzystywania zasobów naturalnych oraz minimalizacji wpływu na środowisko [10].

W modelu gospodarki o obiegu zamkniętym, produkty, komponenty i materiały cyrkulują tak długo, jak to możliwe, co maksymalizuje ich wartość i użyteczność. Dążenie do domykania obiegów materiałowych oznacza, że komponenty, materiały i surowce zawarte w zużytych produktach są ponownie wykorzystywane w różnych modelach działania zwanych cyrkularnymi modelami biznesowymi, nie pozostawiając po sobie odpadów. Obieg materii możliwy jest w cyklu technicznym oraz biologicznym.

Cykl techniczny dotyczy surowców nieodnawialnych, poddawanych odzyskowi, ponownemu użyciu, naprawie, regeneracji czy przetworzeniu.

Cykl biologiczny dotyczy surowców odnawialnych, materiały naturalne ulegają rozpadowi biologicznemu, składniki odżywcze w nich zgromadzone wracają do ziemi, służąc regeneracji przyrody.

W założeniu GOZ, każda substancja raz wprowadzona do obiegu już w nim pozostaje na zawsze. W cyklu biologicznym jest przetwarzana w procesach naturalnych, a w cyklu technicznym utrzymywana jako zasób do kolejnego wykorzystania.

Zastosowanie zasad GOZ w budownictwie

Projektując budynki, infrastrukturę i inne elementy środowiska zabudowanego zgodnie z zasadami Gospodarki Obiegu Zamkniętego, możemy zmniejszyć emisję gazów cieplarnianych, tworząc jednocześnie miejsca, które są bardziej przyjazne do życia.

Zakładając cyrkularny obieg produktów, komponentów i materiałów, od samego początku przewiduje się możliwość adaptacji, a także demontażu i recyklingu oraz ponownego użycia. Elastyczność w projektowaniu i doborze technologii zapewnia dostosowanie budynku do zmian w zakresie użytkowania, potrzeb użytkowników,

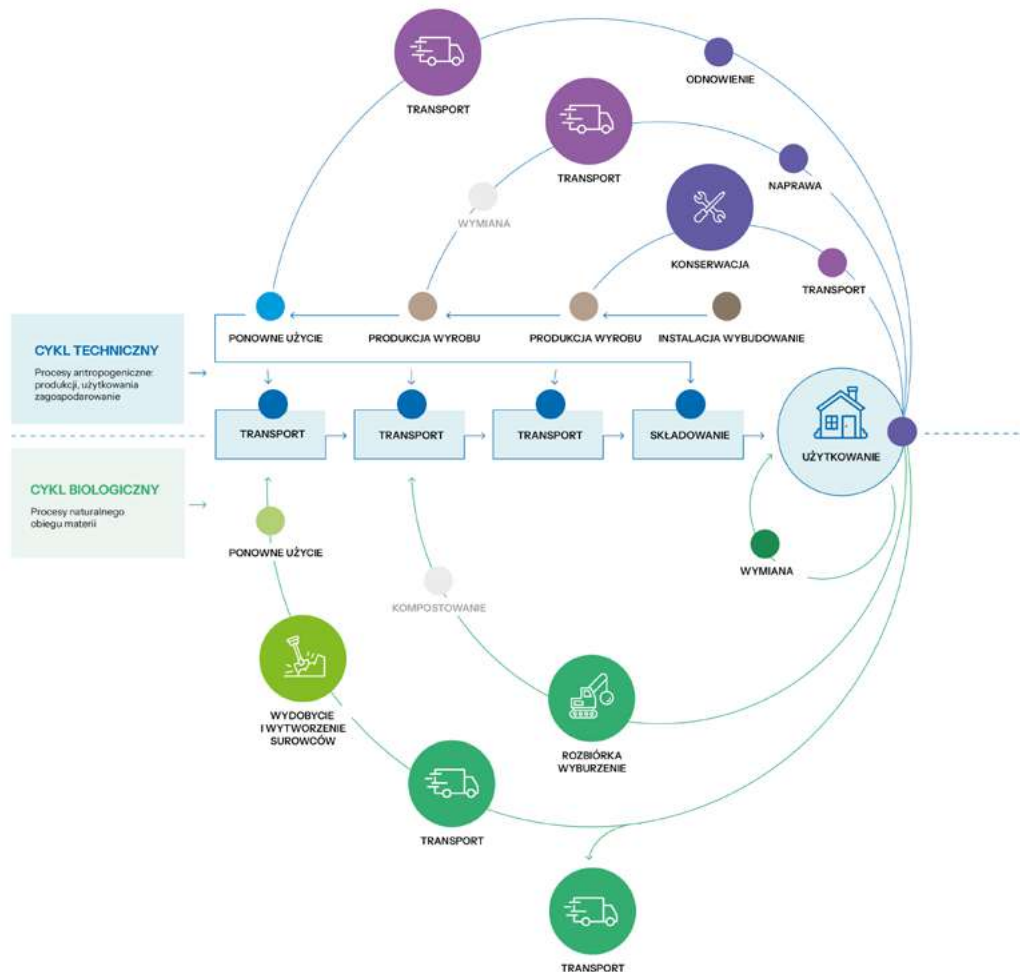
struktury demograficznej lub do zmian wynikających z czynników zewnętrznych takich, jak zmiana klimatu.

W Gospodarce o Obiegu Zamkniętym budynki stają się bankami materiałów do przyszłych realizacji.

Ślad węglowy

Ślad węglowy budynku to rodzaj śladu ekologicznego, wyrażonego w całkowitej sumie emisji gazów cieplarnianych, wywołanych bezpośrednio lub pośrednio przez budynek. Do sumy tej wliczają się zarówno emisje wbudowane, czyli wynikające z produkcji i transportu wbudowanych materiałów budowlanych, prac budowlanych przy wznoszeniu obiektu oraz rozbiórki po końcu jego użytkowania, jak i emisje operacyjne, związane z użytkowaniem budynku.

Do pomiaru wpływu danego materiału, produktu czy procesu na środowisko używana jest ocena cyklu życia produktu (Life Cycle Assessment – LCA). Ocena dokonywana jest



źródło: na podstawie butterfly diagram Ellen Macarthur foundation

w różnych kategoriach - jedną z nich jest wpływ na globalne ocieplenie wyrażony w kilogramach ekwiwalentu CO₂.

W celu redukcji śladu węglowego, a tym samym wpływu cyklu życia budynku na globalne ocieplenie, na etapie projektu koncepcyjnego należy zidentyfikować cechy budynku, które najbardziej przyczyniają się do emisji gazów cieplarnianych.

Na etapie projektów budowlanych i technicznych należy obliczać oraz modelować emisje. Można testować emisje z różnych scenariuszy projektowych i scenariuszy przyszłego cyklu życia. Należy szczególnie zwrócić uwagę na kompromis między redukcją emisji na etapie użytkowania budynku a emisjami związanymi z wytwarzaniem izolacji termicznej i innych rozwiązań, w tym OZE.

Mimo że temat renowacji zasobów budowlanych nie jest nowy, wciąż jest jednym z wyzwań infrastrukturalnych w Polsce. Budynki powinny być modernizowane w sposób spójny z transformacją w kierunku neutralności. Oprócz obniżenia zużycia energii i emisji CO₂, renowacji powinna towarzyszyć poprawa standardu budynków, a zastosowane materiały nie mogą negatywnie wpływać na zdrowie mieszkańców i użytkowników. Wbudowywane materiały nie powinny też posiadać dużego śladu węglowego, w przeciwnym razie działania w celu obniżenia emisji mogą ją w tej sytuacji zwiększyć.

Materiały budowlane możemy usystematyzować w postaci piramidy materiałowej, na szczycie której znajdują się te o największym śladzie węglowym: cement, beton, aluminium i stal.

Na dole piramidy znajdują się materiały pochodzenia roślinnego: ziemia ubijana, glina oraz materiały o ujemnym śladzie węglowym: słoma, drewno i materiały drewnopochodne [11].

Rośliny podczas procesu wzrostu pochłaniają, wiążą i przenoszą do gleby duże ilości CO₂ z powietrza. Każdy kilogram suchej masy roślinnej zawiera około 0,5 kilograma węgla. Odpowiada to sekwestracji 1,8 kilograma CO₂ z atmosfery. Węgiel ten pozostanie nienaruszony, dopóki materiał nie ulegnie spaleni lub rozkładowi. Dlatego budynki z drewna i innych

produktów roślinnych magazynują dwutlenek węgla tak długo, jak stoją [4].

Podsumowując, ślad węglowy wbudowany stanowią głównie emisje z najczęściej stosowanych, wysoko przetworzonych materiałów i odpady generowane przez procesy budowlane, zarówno z placu budowy, jak i z rozbiórek.

Uwarunkowania legislacyjne

Unia Europejska podjęła szereg działań legislacyjnych ułatwiających osiągnięcie neutralności klimatycznej.

W ramach Europejskiego Zielonego Ładu określono plan zmiany transformacyjnej, w tym działania na rzecz przejścia na Gospodarkę o Obiegu Zamkniętym.

W życie weszło też Rozporządzenie Komisji Europejskiej w sprawie Taksonomii. Ustanawia ono kryteria określające, czy dana działalność gospodarcza, w tym budownictwo, może zostać uznana za zrównoważoną. Opracowane zostały wymogi dot. wdrożenia gospodarki o obiegu zamkniętym w budownictwie. Unijne regulacje pociągnęły za sobą konieczność dekarbonizacji budownictwa w Polsce, a co za tym idzie, konieczność zmian w polskich regulacjach prawnych i strategicznych dokumentach kształtujących sektor budownictwa.

Kontynuowane są działania w zakresie renowacji budynków zgodnie z Zaleceniem Komisji Europejskiej 2019/786 z dn. 8 maja 2019 r. w sprawie renowacji budynków oraz zgodnie z Komunikatem Komisji Europejskiej COM (2020)662 „Fala renowacji na potrzeby Europy – ekologizacja budynków, tworzenie miejsc pracy, poprawa jakości życia”. W Polsce została przyjęta „Długoterminowa strategia renowacji budynków” [12].

Konieczne są dalsze kroki w celu stworzenia regulacji prawnych, narzędzi niezbędnych do osiągnięcia zerowego całkowitego śladu węglowego netto w budynkach i umożliwienie rozwoju efektywnych ekonomicznie technologii budowy i modernizacji.

Projekt „Dekarbonizacja procesów budowlanych - wprowadzenie materiałów naturalnych o zerowym śladzie węglowym, w tym drewna do gospodarki obiegu cyrkularnego w budownictwie”,

określa działania niezbędne do dalszego upowszechniania materiałów naturalnych.

Realizacja celów GOZ przez uczestników procesu budowlanego-deweloperzy, inwestorzy i właściciele budynków wobec dekarbonizacji

Do roku 2050 wszystkie budynki powinny charakteryzować się zerowym operacyjnym śladem węglowym, natomiast budynki nowe i poddawane modernizacji - zerowym śladem węglowym netto w całym cyklu życia. W zakresie redukcji zapotrzebowania na energię istniejących budynków planowane jest wykonanie 7,5 mln termomodernizacji do 2050 roku [13]. Realizacja tych celów wymaga zmian w podejściu do inwestycji budowlanych.

Pierwszym krokiem jest podniesienie poziomu wiedzy i świadomości w zakresie dekarbonizacji i Gospodarki o Obiegu Zamkniętym, a co za tym idzie, identyfikacja działań zmniejszających ślad węglowy. Jedną z możliwości jest wdrożenie naturalnych materiałów i technologii do planowanych inwestycji. To opracowanie ma przybliżyć Inwestorowi spektrum rozwiązań budownictwa naturalnego i stać się drogowskazem do przejścia na neutralność klimatyczną.

Bibliografia

1. Popkiewicz, M., Kardaś, A., Malinowski, Sz., Nauka o klimacie, Wydawnictwo Nieoczywiste, Warszawa 2020
2. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/>
3. <https://www.gov.pl/web/klimat/>
4. Raport "Building Materials and the Climate: Constructing a New Future", United Nations Environment Programme, Nairobi 2023.
5. <https://climateactiontracker.org/global/cat-thermometer/>
6. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/pl/ip_23_6591
7. <https://www.eea.europa.eu/pl/highlights/emisje-gazow-cieplarnianych-w-ue>
8. Raworth, K., Ekonomia obwarzanka, Wydawnictwo Krytyki Politycznej, Warszawa 2021
9. <https://biomimicry.net>
10. McDonough, W., Braungart, M., Cradle to Cradle, Macmillan, Londyn 2003
11. <https://www.materialepyramiden.dk>
12. Długoterminowa strategia renowacji budynków. Wspieranie krajowego zasobu budowlanego. Załącznik do uchwały nr 23/2022 Rady Ministrów z dnia 9 lutego 2022 r.
13. Krajowy Plan w dziedzinie Energii i Klimatu do 2030 r., Ministerstwo Klimatu i Środowiska, projekt z 29.02.2024

Rozdział 1

Przegląd rozwiązań stosowanych w budownictwie opartym na zasadach GOZ

Anna Zawadzka-Sobieraj, Katarzyna Skiba

1.1 Możliwe ścieżki działań

Poradnik koncentruje się na upowszechnieniu stosowania materiałów naturalnych. Jest to jedno z działań na ścieżce GOZ ku neutralności klimatycznej w budownictwie. Mamy jednak całe spektrum innych możliwości i najlepiej, aby w planowanej inwestycji stosować je łącznie, a przynajmniej jak najwięcej z nich.

Adaptacja

Na wstępie wspomniemy o wyborze drogi, którą jest ...niebudowanie. Nie jest to oczywista propozycja, biorąc pod uwagę to, że jest to poradnik o budowaniu. Jednak budowanie niekoniecznie musi oznaczać realizację obiektu na niezagospodarowanej działce wraz z całą potrzebną mu infrastrukturą.

Możemy adaptować, termomodernizować, przebudowywać, rozbudowywać i nadbudowywać. Czy to nie brzmi, jakby było wiele możliwości?

Rzecz w tym, że już zbudowaliśmy bardzo dużo i wiele budynków zestarzało się przed upływem końca swojej trwałości. W chwili pisania tego tekstu trwają w Warszawie rozbiórki biurowców, które jeszcze w latach 2000. były synonimem nowoczesności. Rozbieramy 20-, 30-letnie budynki dlatego, że tak szybko przestały być nowoczesne, wygodne i funkcjonalne. Wg danych GUS z 2020 r., w samych budynkach komunalnych jest 63,8 tys. pustych lokali, przeważnie ze względu na ich stan techniczny. Zmieniła się estetyka, potrzeby, model pracy, struktura rodziny. Z większości budynków da się odzyskać i użyć ponownie tylko część

elementów, nie były projektowane pod przyszły demontaż.

Zakładając zatem, że dysponujemy takimi zasobami, należy rozważyć, czy na pewno konieczna jest rozbiórka. Może budynek da się jednak przekształcić w satysfakcjonujący sposób?

W pierwszej kolejności zatem należy pomyśleć o poprawie izolacyjności termicznej przegród istniejącego budynku i wysokowydajnych,



źródło: Anna Zawadzka-Sobieraj

Zdjęcie 1. Wiata ogrodowa przeznaczona do adaptacji



źródło: Łukasz Matczak

Zdjęcie 2. Efekty adaptacji wiaty na „home office” w czasach pandemii, proj. Mech.build

ekologicznych źródłach ogrzewania. Ogrzewanie i chłodzenie pomieszczeń odpowiadają za niemal 70 proc. całkowitego zużycia energii w Europie [1]. W tym celu możemy również sięgnąć po rozwiązania budownictwa naturalnego. Do termomodernizacji posłużą zarówno kostki słomy, płyty słomiane, konoplity, jak i izolacje wdmuchiwane i zasypowe.

Projektowanie z myślą o przyszłej adaptacji lub demontażu budynków

Założmy jednak, że chcemy budować od podstaw. Biorąc pod uwagę powyższy przykład budynków przeznaczonych do rozbiórki, na nowy budynek należy spojrzeć przez pryzmat jego pełnego cyklu życia - „od kolebki do kolebki”. Z pomocą przychodzą nowe regulacje i istniejące normy, chociażby norma ISO 20887 w zakresie oceny możliwości demontażu lub dostosowania budynków.

Budynek projektujemy już z myślą o końcu eksploatacji. Włączenie zasad DfD/A (projektowanie pod kątem demontażu i adaptacji) na wczesnym etapie planowania i projektowania umożliwi zmianę jego funkcji w przyszłości lub efektywną rozbiórkę.

Budynek powinna cechować uniwersalność, czyli możliwość zastosowania różnych funkcji przy niewielkich zmianach całego układu. Kolejną istotną cechą jest możliwość rozbudowy - np. rezerwa nośności umożliwiająca rozbudowę w pionie (często budynki wyburzane są dlatego, że na ich miejscu można zbudować obiekty o większej liczbie kondygnacji, co jest pożądane ze względu na bardzo wysokie ceny gruntów). Z kolei myśląc o demontażu, należy przewidzieć łatwość dostępu do elementów, zwłaszcza tych o najkrótszym przewidywanym cyklu życia, a także rozważyć metody optymalnego odzyskiwania określonych produktów i materiałów, bez uszkodzenia usuwanego elementu. Podejście projektowe, stosujące standaryzację i prostotę rozwiązań, również ułatwia dalsze życie budynków.

Wtórne zastosowanie materiałów i komponentów budowlanych

Coraz bardziej popularnym nurtem w projektowaniu staje się wtórne wykorzystanie materiałów, tzw. re-use. Coraz prostsza ma być bowiem rozbiórka i coraz bardziej powszechne korzystanie przy nowych realizacjach z materiałów z demontażu. W części poradnika poświęconej temu zagadnieniu analiza prawna pokaże, że jest jeszcze wiele do zrobienia, aby swobodnie budować z użyciem rozbiórkowych komponentów. Spodziewając się zmian w tym zakresie, możemy wtórne surowce traktować jako przyszły materiał budowlany, na razie w ograniczonym zakresie.

Warto już próbować włączać te materiały do realizacji niewielkich obiektów czy wnętrz, przedstawiając się na nadchodzącą zmianę.

O spodziewanych zmianach świadczy też wymóg dotyczący segregacji oraz ponownego użycia lub recyklingu co najmniej 70% masy wszystkich odpadów z rozbiórki. Na etapie projektu nowego budynku należy przygotować jakościowe zestawienie materiałów, z myślą o ich segregacji w przyszłości.

Odpady z rozbiórki budynków z materiałów naturalnych dają się łatwo zagospodarować.

Drewno i rozkruszone tynki gliniane mogą być powtórnie wtórnie użyte nawet w obrębie tej samej inwestycji. Drewno, słoma, tynki gliniane i wapienne mogą być też poddane utylizacji/kompostowaniu po zakończeniu życia budynku. Kruszywo odpadowe z konoplitu można wykorzystać ponownie w kompozytach oraz jako bezpieczny wypełniacz wyrobisk czy dodatek do nawozów w uprawach.

Ziemia ubijana nie stabilizowana cementem może zostać ponownie wykorzystana lub trafić do gruntu. Niewielkie dodatki cementu do ziemi ubijanej nie wpływają na zagrożenie zanieczyszczeniem środowiska, kompozyty takie mogą znaleźć zastosowanie po rozkruszeniu jako podbudowa w pracach infrastrukturalnych.

Budynek wobec zmian klimatu

Skoro zmiany klimatu stają się nieuchronne, należy też brać je pod uwagę w projektowaniu.

Działania w zakresie adaptacji mają sprawić, że budynek będzie bardziej odporny i wytrzymały na ekstremalne zdarzenia pogodowe. W przypadku wystąpienia ryzyk klimatycznych, dzięki właściwemu ukształtowaniu budynku i jego otoczenia, zmniejsza się prawdopodobieństwo ich negatywnego wpływu. Główne kategorie ryzyk fizycznych to m.in. to: fale upałów, silne wiatry, silne opady, burze, powodzie opadowe, susze. Wdrażanie rozwiązań adaptacyjnych ma też na celu minimalizowanie lub uniknięcie uszkodzeń budynku i szkód wyrządzonych użytkownikom w wyniku ryzyka klimatycznego. Co to oznacza? Na razie uświadomienie projektantowi i inwestorowi, jakie kroki należy podjąć, aby zwiększyć odporność budynku. Około roku 2025, wraz z wprowadzeniem nowych Eurokodów, będzie już możliwe projektowanie budynków na przyszłe scenariusze klimatyczne w zakresie projektów technicznych (obliczanie zwiększonej wytrzymałości konstrukcji, czy przeliczanie parametrów instalacji).

Rozwiązania w tym zakresie dotyczą również redukcji efektu wyspy ciepła - konsekwencji fali upałów - przez zwiększony udział zieleni, w ramach powierzchni biologicznie czynnej: nasadzeń, zielonych ścian i dachów, a także stosowanie materiałów odbijających promienie słoneczne.

Błękitno-zielona infrastruktura

Korzystanie z zasobów wodnych w sposób efektywny, szczególnie na obszarach, na których stwierdzono długotrwały lub prognozowany deficyt wody to kolejne istotne działanie. To pojęcie jest bardziej pojemne, nie chodzi tylko o minimalizowanie zużycia wody na poziomie budynku, np. przez instalowanie przyborów o określonych parametrach, ale także ponowne użycie wody z oczyszczonych ścieków bytowych i zbieranie wody deszczowej. Błękitno-zielona infrastruktura to szereg rozwiązań

o różnej skali, służących zagospodarowaniu wód deszczowych. Są rozwiązaniami opartymi na przyrodzie (NBS, od ang. Nature-based solutions), dotyczą zastosowania wody i zieleni. Do niebiesko-zielonej infrastruktury zaliczyć można: stawy retencyjne, niecki, zbiorniki, rowy bioretencyjne, rowy infiltracyjne, ogrody deszczowe, dachy, fasady i ściany, nawierzchnie przepuszczalne, tereny zielone itp. Wody opadowe są zatrzymywane na obszarze, na którym wystąpił opad deszczu. Te rozwiązania wspierają konwencjonalny system odprowadzania wód deszczowych i go odciążają, poprzez zwiększenie powierzchni wsiąkania wody oraz parowania, umożliwienie ponownego wykorzystanie wód opadowych, np. do podlewania zieleni.

Efektywność energetyczna

Poziom wymogów dotyczących zapotrzebowania na energię pierwotną budynku EP (związaną z systemami ogrzewania, chłodzenia, przygotowania ciepłej wody użytkowej, oświetlenia i wykorzystaniem energii z nieodnawialnych zasobów) określony w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, jest zgodny z definicją budynków o niemal zerowym zużyciu energii, określoną w dyrektywie 2010/31/UE. Zatem już samo spełnienie obowiązujących przepisów sprawi, że projektowany czy modernizowany budynek będzie wymagać niewielkich nakładów energii na etapie użytkowania.

Ścieżka taksonomii dotycząca istotnego wkładu w łagodzenie zmian klimatu idzie nawet dalej, nakazując zmniejszenie zapotrzebowania na energię pierwotną o przynajmniej 10 proc. w stosunku do wymagań dotyczących budynków o niemal zerowym zużyciu energii. Nawet tak wyśrubowane parametry możemy osiągnąć przy zastosowaniu materiałów naturalnych.

Przeciwdziałanie zanieczyszczeniom- zdrowe materiały

Jedną z zasad DNSH to nieczynienie poważnych szkód względem zapobiegania zanieczyszczeniom. Ta zasada określa dopuszczalny poziom emisji LZO - lotnych związków organicznych, formaldehydów, w oparciu o istniejące rozporządzenia wprowadza także zakaz wbudowywania wielu substancji.

W przepisach podane zostały metody pomiaru, lista dokumentów prawnych, z którymi należy się zapoznać, aby upewnić się, że materiał budowlany nie zawiera zakazanych substancji.

I znów wracamy do materiałów naturalnych. W ich przypadku nie musimy badać, jaki jest ich skład. Pochodzenie roślinne, ziemia, glina, materiały nieprzetworzone lub niskoprzetworzone, te określenia dają pewność, że są one nietoksyczne. Regulacje wskazują zwłaszcza na konieczność zadbania o skład materiałów wykończeniowych, z którymi najbardziej styka się użytkownik. Budownictwo naturalne oferuje całą paletę materiałów do wykończeń. Są to: płyty gliniane, naturalne tynki, farby, pigmenty, czy wodoodporny tadelakt.



źródło: JSzymon Sarnicki/Biohabitat NB

Zdjęcie 3a i 3b. Ścianki działowe (bambus, słoma na ruszcie drewnianym, tadelakt), wyk. Szymon Sarnicki/ Biohabitat NB

Redukcja zużycia energii w cyklu życia - materiały z obiegu biologicznego

Standardem staje się analiza LCA lub GWP - współczynnika globalnego ocieplenia. Ocena środowiskowa w całym cyklu życia bierze pod uwagę również energię wbudowaną. Najniższą lub ujemną mają materiały naturalne. Są one częścią biologicznego cyklu życia, ich roślinne lub organiczne pochodzenie jest alternatywą dla przemysłowej produkcji.

1.2 Materiały naturalne jako wyroby budowlane

Osobom przyzwyczajonym do konwencjonalnych rozwiązań budowlanych często wydaje się zaskakujące, że słoma, paździerz konopny czy glina również mogą być wyrobami budowlanymi w powszechnym obrocie. Poniżej opisane zostały warunki uznania materiału za wyrób budowlany i możliwe ścieżki zmiany materiałów naturalnych w wyroby.

Uwarunkowania formalno-prawne

Zasady wprowadzania do obrotu lub udostępniania na rynku krajowym wyrobów budowlanych określa Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych oraz przepisy wykonawcze do tej Ustawy.

Zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych ustanawia Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r.

Gdy oddajemy do publikacji Poradnik Inwestora, w toku prac jest projekt rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE), ustanawiający zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych, zmieniające rozporządzenie (UE) 2019/1020 z dnia 20 czerwca 2019 r. w sprawie nadzoru rynku i zgodności produktów i uchylający rozporządzenie (UE) 305/2011.

Zgodnie z art.10 ustawy Prawo budowlane, wyroby wytworzone w celu zastosowania

w obiekcie budowlanym w sposób trwały, o właściwościach użytkowych, umożliwiających prawidłowo zaprojektowanym i wykonanym obiektom budowlanym spełnienie podstawowych wymagań, można stosować przy wykonywaniu robót budowlanych wyłącznie wtedy, gdy wyroby te zostały wprowadzone do obrotu lub udostępnione na rynku krajowym.

„Wyrób budowlany” to każdy wyrób wyprodukowany i wprowadzony do obrotu w celu trwałego wbudowania w obiektach budowlanych lub ich częściach, którego właściwości wpływają na właściwości użytkowe obiektów budowlanych i spełniają podstawowe wymagania ich dotyczące.

„Podstawowe wymagania dotyczące obiektów budowlanych” oznaczają, że objekty te muszą się nadawać do użytkowania zgodnie z zamierzoną funkcją, zwłaszcza biorąc pod uwagę zdrowie i bezpieczeństwo użytkowników. W zakresie podstawowych wymagań znajdują się: nośność i stateczność, bezpieczeństwo pożarowe, brak zagrożeń dla higieny, zdrowia i środowiska, bezpieczeństwo użytkowania i dostępność, ochrona przed hałasem, oszczędność energii i izolacyjność cieplna, oraz zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych.

„Normy zharmonizowane” to jeden z rodzajów zharmonizowanych specyfikacji technicznych (obok europejskich dokumentów oceny), służących do oceny właściwości użytkowych wyrobów budowlanych.

„Polskie Normy” dotyczące wyrobów budowlanych są specyfikacjami technicznymi, przy użyciu których producenci mogą dokonywać oceny zgodności wyrobów budowlanych w celu oznakowania ich znakiem budowlanym. Są to normy niemające statusu normy wycofanej, czyli zarówno normy własne (oznaczone symbolem PN), jak i normy wprowadzające normy europejskie lub międzynarodowe (oznaczone odpowiednio symbolem PN-EN, PN-ISO), w tym normy wprowadzone metodą uznania (tj. normy wprowadzone w języku oryginału).

„Krajowa Ocena Techniczna (KOT)” jest udokumentowaną, pozytywną oceną właściwości użytkowych wyrobu budowlanego, które mają

wpływ na spełnienie podstawowych wymagań przez objekty budowane z jego wykorzystaniem. Wykonywana jest przez autoryzowane zakłady.

Krajowa Ocena Techniczna jest podstawą do sporządzenia krajowej deklaracji właściwości użytkowych i znakowania wyrobu znakiem budowlanym B.

KOT wydaje się dla wyrobu nie objętego zakresem przedmiotowym Polskiej Normy (PN) lub przypadku, gdy metoda oceny przewidziana w PN co najmniej jednej zasadniczej charakterystyki wyrobu nie jest właściwa lub PN nie przewiduje oceny metody co najmniej jednej zasadniczej charakterystyki wyrobu budowlanego.

„Europejska Ocena Techniczna (EOT)” jest udokumentowaną, pozytywną oceną właściwości użytkowych wyrobu budowlanego. Europejskie Oceny Techniczne są dokumentami dobrowolnymi i bezterminowymi, udzielanymi dla wyrobów nieobjętych zharmonizowaną normą europejską (hEN), nie w pełni objętych zharmonizowaną normą europejską, tzn. w przypadku, gdy właściwości użytkowe wyrobu w odniesieniu do jego zasadniczych charakterystyk nie mogą być w pełni ocenione według hEN (metoda oceny w stosunku do co najmniej jednej zasadniczej charakterystyki nie jest właściwa lub nie istnieje).

Europejska Ocena Techniczna jest podstawą do sporządzenia deklaracji właściwości użytkowych i oznakowania CE wyrobu. Wykonywana jest przez autoryzowane zakłady.

Oceny KOT lub EOT są wydawane dla konkretnego producenta i dotyczą tylko jego wyrobów. Ciekawym rozwiązaniem, podanym przez Maciej Jagielaka w jego pracy doktorskiej „Straw bale, czyli architektura z kostek słomy w Polsce”, jest usługa wykonywana przez firmy BauStroh i SonnenKlee, polegająca na badaniu jakości i certyfikacji kostek słomy wyprodukowanej przez rolników.

Istnieje kilka ścieżek wprowadzenia do obrotu wyrobów budowlanych:

1. wyroby budowlane objęte normą zharmonizowaną lub dla których sporządzona została europejska ocena techniczna (EOT/ETA). Wyroby te mają oznakowanie CE

potwierdzające zgodność ich deklarowanych właściwości użytkowych.

2. wyroby budowlane nie objęte normą zharmonizowaną i dla których nie została wydana europejska ocena techniczna. W tym przypadku możliwe są następujące ścieżki:
 - wyrób budowlany może być wprowadzony do obrotu lub udostępniony na rynku krajowym poprzez oznakowanie znakiem budowlanym, jeżeli jest objęty zakresem przedmiotowym Polskiej Normy lub została dla niego sporządzona krajowa ocena techniczna (KOT);
 - wyrób budowlany może być wprowadzony do obrotu w oparciu o art. 5 ust. 3 ustawy o wyrobach budowlanych, który wyraża tzw. zasadę wzajemnego uznawania. Zgodnie z tą zasadą, państwo członkowskie nie może zakazać sprzedaży na swoim terytorium produktów, które zostały wprowadzone legalnie do obrotu w innym państwie członkowskim, nawet jeśli te produkty zostały wytworzone zgodnie z przepisami technicznymi innymi niż przepisy, które dotyczą produktów krajowych (z pewnymi wyjątkami). Wyrób budowlany może być udostępniany na rynku krajowym, jeżeli został legalnie wprowadzony do obrotu w innym państwie członkowskim Unii Europejskiej lub w państwie członkowskim Europejskiego Porozumienia o Wolnym Handlu (EFTA) – stronie umowy o Europejskim Obszarze Gospodarczym oraz Turcji, a jego właściwości użytkowe umożliwiają spełnienie podstawowych wymagań przez obiekty budowlane zaprojektowane i budowane w sposób określony w przepisach techniczno-budowlanych oraz zgodnie z zasadami wiedzy technicznej. Wyroby takie nie podlegają obowiązkowi oznakowania znakiem budowlanym;
 - wyrób budowlany wytwarzany tradycyjnie na określonym terenie przy użyciu metod sprawdzonych w wieloletniej praktyce, przeznaczony do lokalnego stosowania, zwany „regionalnym wyrobem budowlanym”, może być oznakowany znakiem budowlanym na wyłączną odpowiedzialność producenta. Dany wyrób budowlany uznaje za regionalny

wojewódzki inspektor nadzoru budowlanego na wniosek producenta;

- wyrób budowlany zastosowany jednostkowo, wykonany według indywidualnej dokumentacji technicznej, sporządzonej przez projektanta lub z nim uzgodnionej, którego producent (wykonawca) wydał oświadczenie, że zapewniono jego zgodność z tą dokumentacją oraz z mającymi zastosowanie przepisami. Indywidualna dokumentacja techniczna, stanowiąca dopuszczenie jednostkowe, powinna zawierać opis rozwiązania, charakterystykę materiałową i informację dotyczącą projektowanych właściwości użytkowych wyrobu budowlanego oraz określać warunki jego zastosowania w danym obiekcie budowlanym, w razie potrzeby także instrukcję obsługi i eksploatacji. Wyroby dopuszczone do jednostkowego zastosowania nie są oznaczane znakiem CE ani znakiem budowlanym. Z określenia „wyrób przeznaczony do jednostkowego zastosowania” wynika, że nie jest to wyrób seryjnie produkowany z przeznaczeniem do powszechnego stosowania. Wyrób przeznaczony do jednostkowego zastosowania może być użyty jedynie na budowie, dla której ta dokumentacja została sporządzona. Zwykle rozwiązania wymagające jednostkowego dopuszczenia dotyczą tych technologii, które używane są bezpośrednio na budowie.

Dla materiałów naturalnych brak jest europejskich norm zharmonizowanych, a nieliczne polskie normy w tym zakresie są już archiwalne. Warto byłoby zatem doprowadzić do opracowania ww. norm. Wprowadzanie wyrobów budowlanych z materiałów naturalnych jest obecnie możliwe na podstawie sporządzonej krajowej oceny technicznej (KOT) lub europejskiej oceny technicznej (EOT), następnie w oparciu o tę ocenę o dokumenty dopuszczające wyroby do obrotu i stosowania w budownictwie (B, CE).

Inną ścieżką jest skorzystanie z zasad wzajemnego uznawania wyrobów wprowadzonych do obrotu w innym państwie członkowskim i sprowadzenie z zagranicy materiałów do budowy.

Jest to jednak w pewnym stopniu sprzeczne z zasadą GOZ, dotyczącą wykorzystania materiałów pochodzenia lokalnego i minimalizowania śladu węglowego materiałów. Jeżeli dysponujemy lokalnie dostępną słomą, sprowadzanie jej z innego kraju jest bezcelowe.

Oceny techniczne są sporządzane dla danego wyrobu produkowanego przez danego producenta. Zatem ten sam materiał powinien za każdym razem podlegać tej samej procedurze oceny tylko dlatego, że jest produkowany przez innego wytwórcę.

Na rynku polskim obecne są już materiały naturalne posiadające dopuszczenie do obrotu i wyprodukowane w Polsce – płyty, tynki. Najczęściej jednak budowa z zastosowaniem słomy, konoplitu czy ziemi ubijanej odbywa się na podstawie jednostkowego dopuszczenia.

1.3 Zastosowanie zasad GOZ w budownictwie jednorodzinnym

Dotychczas głównymi barierami w stosowaniu rozwiązań cyrkularnych przez inwestorów indywidualnych były brak wiedzy i świadomości w zakresie dekarbonizacji oraz koszty. Inwestor, finansując budowę ze środków własnych lub starając się o kredyt, często szuka możliwie jak najtańszych rozwiązań. Te rozwiązania mogą być najtańsze „tu i teraz”, ale niekoniecznie w perspektywie całkowitego okresu użytkowania budynku, czy jeżeli chodzi o ślad ekologiczny pozostawiony przez dany obiekt. Wraz z upowszechnianiem się rozwiązań cyrkularnych, stają się one coraz bardziej konkurencyjne cenowo, zaś obciążenie materiałów budowlanych kosztem ich utylizacji będzie zdecydowanie działać na korzyść rozwiązań prośrodowiskowych.

W Polsce obiekty budowane z zastosowaniem materiałów naturalnych to przede wszystkim budynki mieszkalne jednorodzinne, gospodarcze, zagrodowe, rekreacji indywidualnej. Najczęściej z wykonywanym dla nich dopuszczeniem do jednostkowego zastosowania dla materiałów izolacyjnych. Ze względu na to, że materiały naturalne zwykle nie mają statusu wyrobu budowlanego, jest to przeważnie jedyna możliwa

ścieżka dla obiektów, które nie mają wymagań co do klasy pożarowej określonej w § 212, na podstawie § 213 Warunków Technicznych. Projektanci i wykonawcy opierają się na wynikach badań zagranicznych oraz własnej wiedzy i doświadczeniu. W ten sposób zazwyczaj budowane są obiekty w dwugąteźiowej konstrukcji wypełnionej kostkami słomy (straw bale). W budownictwie jednorodzinym coraz częściej stosowane są też prefabrykaty drewniane ze sprasowaną słomą. Ze względu na wysoki koszt ich kompleksowych badań i to, że powstają w ramach lokalnej produkcji na małą skalę w niewielkich manufakturach, często brakuje także ich produktowej oceny jakościowej, potwierdzonej badaniami i deklaracjami. W związku z tym stosowane są według opisanej powyżej ścieżki. Kolejną technologią jest konoplit, także zwykle wykorzystywany w konstrukcji szkieletowej drewnianej. Na razie niewiele jest realizacji z zastosowaniem ziemi ubijanej, używana jest raczej we wnętrzach jako element dekoracyjny, chociaż ta technologia jest przeznaczona również do wykonywania ścian zewnętrznych budynku.

W związku z Ustawą z dnia 21 listopada 2008 roku o wspieraniu termomodernizacji i remontów oraz o centralnej ewidencji emisyjności budynków (i innymi aktami prawnymi) oraz uruchomieniem programów wsparcia finansowego na



Zdjęcie 4. Tynki wapienne, wykonanie Szymon Sarnicki/Biohabitat NB

źródło: Szymon Sarnicki/Biohabitat NB

kompleksowe działania związane z modernizacją budynków mieszkalnych jednorodzinnych, w Polsce realizowanych jest coraz więcej termomodernizacji. Niestety, wykonywane są one często z zastosowaniem materiałów wytworzonych z paliw kopalnych, tworzących przegrody zamknięte dyfuzyjnie. Tymczasem materiały naturalne: - kostka słomy czy konoplit - z powodzeniem mogą być zastosowane do termomodernizacji domów jednorodzinnych.

Oprócz kompleksowych rozwiązań, w których stosowana jest naturalna technologia dla całego budynku, w obrębie budownictwa naturalnego znajdziemy różne rozwiązania wykończeniowe takie, jak: tynki gliniane, tynki wapienne, tadelakt, płyty gliniane, farby gliniane. Te produkty mogą być zastosowane również na konwencjonalnych budowach, przy renowacjach budynków. Można je aplikować na różnego typu powierzchni, w tym cegły, beton, tynki cementowo-wapienne czy płyty gipsowo-kartonowe. Ze względu na swoje właściwości takie, jak buforowanie wilgotności, brak zawartości LZO (lotnych związków organicznych), są doskonałą prozdrowotną i prośrodowiskową alternatywą dla typowych wykończeń domów jednorodzinnych.

Na etapie projektowania należy też pomyśleć o rozwiązaniach podnoszących efektywność energetyczną, możliwych do uzyskania przez właściwe zaprojektowanie budynku pod kątem

maksymalizowania zysków i minimalizowania strat ciepła. Są to m.in. zwarta bryła, odpowiednia orientacja pomieszczeń wobec stron świata, odpowiedni dobór przeszkleń, szczelność przegród, zielone dachy i ściany.

Jeżeli chodzi o instalacje dla budynku jednorodzinnego mamy niskoemisyjne źródła spalania, geotermię lub powietrzne pompy ciepła do ogrzewania budynku, zastosowanie źródeł odnawialnej energii dla potrzeb zasilania (fotowoltaika) i ciepłej wody użytkowej (kolektory słoneczne). Kolejnym obszarem jest oszczędność wody, czyli zbieranie i wykorzystanie deszczówki oraz zastosowanie instalacji wody szarej (ścieki z umywalki, prysznic).

Cyrkularność to też holistyczne podejście projektowe w stosunku do całości terenu: zrównoważone projektowanie krajobrazu, nasadzenia zacieniające budynek i chroniące przed przegrzewaniem, permakultura.

Permakultura to tworzenie siedlisk. Pojęcie to mieści w sobie kilka znaczeń: nauka projektowania ekosystemowych gospodarstw, życie w zgodzie z naturą, ekologiczny sposób uprawy ziemi. Siedlisko permakulturowe ma być zaprojektowane w taki sposób, żeby trwało możliwie niezależnie od naszych działań (cyrkularnie, jak ekosystem).

Jednym z podstawowych narzędzi w projektowaniu opartym o zasady permakultury jest strefowanie. Wg. tej zasady w strefie centralnej znajduje się budynek, zaprojektowany z materiałów naturalnych, odpowiednio usytuowany wobec stron świata, energooszczędny. Strefy blisko domu są najbardziej przekształcone i wymagające uwagi - zbierana jest tam deszczówka, jest szklarnia, uprawiane zioła, warzyw, kompostowanie, rośliny wieloletnie, ewentualnie kurnik czy ule. Dalsza strefa jest rejonem głównych upraw oraz sadem. W kolejnej na wpół dzikiej zbiera się grzyby, rosną dzikie zioła, pozyskuje się drewno. Ostatnia strefa jest już tylko dziką strefą, do obserwacji natury. W ten sposób siedlisko naturalnie wpisuje się w krajobraz i koegzystuje z przyrodą.



źródło: Jan Dowgiałło

Zdjęcie 5. Dom jednorodzinny z zielonym dachem, proj. mech.build

1.4 Zastosowanie GOZ w budownictwie wielorodzinnym i użyteczności publicznej

Konieczność stosowania reguły DNSH, kryteriów taksonomii, wytycznych opartych o wskaźniki level(s) czy normy ISO 20887 w zakresie oceny możliwości demontażu lub dostosowania budynków sprawia, że projektanci, deweloperzy i wykonawcy zaczynają sięgać po rozwiązania cyrkularne. W momencie pisania tego poradnika w przygotowaniu są pierwsze projekty budynków wielorodzinnych, oparte o regułę DNSH. Wprowadzany obowiązek liczenia śladu węglowego w całym cyklu życia budynku sprawi, że istotna stanie się kwestia emisji powstałych przy produkcji materiałów budowlanych. Dzięki temu materiały naturalne mają szansę być wprowadzone do użytku również przy większych inwestycjach. W innych krajach Europy stało się to możliwe, co jest pokazane na przykładach w rozdziale 6 Poradnika.

Wydaje się prawdopodobne, że i u nas, w najbliższej przyszłości, materiały naturalne będą mogły znaleźć zastosowanie w projektach niskich budynków użyteczności publicznej i wielorodzinnych do 5-ciu kondygnacji naziemnych, w przypadkach, gdy obiekty ograniczają się do jednej strefy pożarowej.

Materiały naturalne - słoma czy konoplit, przeważnie nie mają w Polsce statusu wyrobu budowlanego, co utrudnia ich użycie do realizacji budynków wielorodzinnych i użyteczności publicznej. Rozwiązaniem może być ścieżka wyrobu dopuszczonego do jednostkowego zastosowania, z wykonaniem dla tych materiałów kompletu badań pożarowych w akredytowanym laboratorium wraz z klasyfikacją w potrzebnym zakresie. Inną możliwością jest zastosowanie ich jako wyrobu dopuszczonego do jednostkowego zastosowania, w takim układzie, w którym inne materiały spełniają wymagania pożarowe [3].

Najłatwiej byłoby jednak, gdyby materiały naturalne zostały zastosowane na podstawie KOT lub EOT. Najbardziej zasadne, ze względu na organizację pracy, standaryzację i szybkość budowy, byłoby zastosowanie prefabrykacji, czyli dostępnych obecnie prefabrykatów

drewniano-słomianych.

W realizacjach deweloperskich czy samorządowych można skorzystać z rozwiązań w zakresie naturalnych wykończeń, nawet jeśli budynki wznoszone są w konwencjonalnych technologiach. Są to tynki gliniane, tynki wapienne, tadelakt, płyty gliniane, farby gliniane. Spełniają one kryteria nietoksyczności, jakości powietrza, komfortu akustycznego.

W realizacjach deweloperskich, w których wykonywane są prace wykończeniowe lub w przestrzeniach wspólnych, będą stanowić wartość dodaną oraz zapewniać zdrowy mikroklimat mieszkańcom i użytkownikom. W budynkach użyteczności publicznej, w tym w budynkach biurowych czy administracyjnych, zastosowanie tych materiałów będzie wpływać na komfort pracy i korzystania z przestrzeni.

Możliwe jest też użycie naturalnych technologii w przypadku elementów dekoracyjnych, np. wykonanie ściany z ziemi ubijanej czy zastosowanie elementów aranżacji wnętrza przy użyciu materiałów z recyklingu.

Obowiązujące przepisy dotyczące bezpieczeństwa przeciwpożarowego mocno ograniczają możliwości stosowania materiałów naturalnych w większych realizacjach, z więcej niż jedną strefą pożarową. Głównymi przeszkodami ograniczającymi ich użycie są wymagania dotyczące palności i rozprzestrzeniania ognia.

Jak wskazano w raporcie „Budownictwo drewniane stymulatorem rozwoju mieszkalnictwa w Polsce” sporządzonym przez Łukasiewicz Instytut Technologii Drewna, podobne bariery dotyczą rozwoju budownictwa drewnianego w Polsce. Są to przede wszystkim: stworzenie nowych lub zmodyfikowanie istniejących regulacji prawnych, w tym m.in. zmniejszenie niejasności interpretacyjnych, ujednoczenie standardów, opracowanie norm uwzględniających wymagania termiczne domów z drewna, uaktualnienie zakresu współczynnika przenikania ciepła dla domów z drewna, opracowanie regulacji w zakresie ochrony przeciwpożarowej, stworzenie norm dla projektantów domów drewnianych.

M.in. przez te utrudnienia ogólny udział budynków wznoszonych metodą konstrukcji,

drewnianych oddanych do użytkowania wg danych na rok 2019 wyniósł 0,8 proc. wszystkich oddanych do użytku w kraju budynków mieszkalnych, z czego tylko 9 proc. stanowiły budynki inne, niż budownictwo indywidualne [2].

Nieliczne budynki mieszkalne wielorodzinne lub użyteczności publicznej, np. szkoły, przedszkola zostały wykonane z prefabrykatów w szkieletcie drewnianym wypełnionych wdmuchowaną izolacją z wełny drzewnej i obudowanych płytą ognioodporną gipsowo-włóknową.

Poniżej opisane są powody ograniczeń w możliwościach szerszego stosowania materiałów naturalnych w konstrukcjach drewnianych.

W piśmie skierowanym w grudniu 2021 r. przez Oddział Warszawski Stowarzyszenia Architektów Polskich do Parlamentarnego Zespołu ds. Przemysłu Drzewnego i Budownictwa Drewnianego zostały przedstawione zdiagnozowane ograniczenia wynikające z przepisów prawa. Nowelizacja prawa likwidująca zidentyfikowane bariery umożliwi projektowanie z materiałów naturalnych, w tym drewna na szerszą skalę.

Istotne kwestie wymagające zmiany:

- reakcja na ogień: konieczność wykonania elementów oddzielenia przeciwpożarowego jako niepalnych, zgodnie z WT § 232 ustęp 1. Ściany i stropy stanowiące elementy oddzielenia przeciwpożarowego powinny być wykonane z materiałów niepalnych, a występujące w nich otwory obudowane przedsionkami przeciwpożarowymi lub zamykane za pomocą drzwi przeciwpożarowych bądź innego zamknięcia przeciwpożarowego. W przypadku konieczności podziału budynku na strefy pożarowe w pionie, ściana rozdzielająca strefy nie może być wykonana w technologii drewnianej. W przypadku konieczności podziału budynku na strefy w poziomie, brak jest możliwości wykonania stropu w technologii drewnianej. Niemożliwe jest też stosowanie drewna na elewacji, izolacji ze słomy i izolacji z konoplitu oraz okładziny drewnianej na wysokości powyżej 25 m.
- nierozprzestrzenianie ognia: w WT § 216 ust. 2 zawarte jest wymaganie, aby elementy

budynku takie, jak: konstrukcja główna budynku, konstrukcja dachu, strop, ściany zewnętrzne i wewnętrzne oraz przekrycie dachu, były nierozprzestrzeniające ogień. Rozwiązaniem zgodnym z powyższym zapisem jest malowanie elementów drewnianych środkiem zabezpieczającym do NRO. Jest to wykonalne w przypadku małego obiektu, trudne jest jednak zabezpieczenie wszystkich elementów większego budynku.

- zabezpieczenie przeciwpożarowe konstrukcji dachu: wg WT § 219 ust.2 w budynkach ZL III, ZL IV i ZL V poddasze użytkowe przeznaczone na cele mieszkalne lub biurowe powinno być oddzielone od palnej konstrukcji i palnego przekrycia dachu przegrodami o klasie odporności ogniowej: 1) w budynku niskim – E I 30; 2) w budynku średniowysokim i wysokim – E I 60. W praktyce oznacza to, że w związku z tym, iż obecnie nie ma technologii, która umożliwiłaby zabezpieczenie drewna do klasy niepalności, w wymienionych budynkach elementy konstrukcji dachu, m.in. jętki, kleszcze, słupy, muszą być zabudowywane.
- odpadanie elewacji: w WT § 225: elementy okładzin elewacyjnych powinny być mocowane do konstrukcji budynku w sposób uniemożliwiający ich odpadanie w przypadku pożaru w czasie krótszym, niż wynikający z wymaganej klasy odporności ogniowej dla ściany zewnętrznej, określonej w § 216 ust. 1, odpowiednio do klasy odporności pożarowej budynku, w którym są one zamocowane. Wg niektórych rzeczoznawców przepis ten uniemożliwia zastosowanie powszechnie używanych sposobów montażu elewacji drewnianych na podkonstrukcji drewnianej, ze względu na brak badań takiej podkonstrukcji na odpadanie (podkonstrukcja nie stanowi całościowego, przebadanego systemu montażu elewacji);
- NRO dla ścian zewnętrznych: zgodnie z WT § 208a ust.3 3. w przypadku ścian zewnętrznych budynku, w tym z ociepleniem i okładziną zewnętrzną lub tylko z okładziną zewnętrzną, elementy budynku nierozprzestrzeniające ognia, definiowane są jako

nierozprzestrzeniające ognia zarówno przy działaniu ognia wewnątrz, jak i od zewnątrz budynku. Interpretacja tego przepisu sprawia problemy. W przypadku spełnienia warunku NRO od wewnątrz, w przekroju ściany nie może być żadnego materiału o klasie niższej niż B lub stosuje się jedynie ściany stanowiące wyrób o odpowiedniej klasie reakcji na ogień, zgodnie z Polską Normą PN-EN 13501-1. W związku z tym w budynkach użyteczności publicznej i wielorodzinnych konieczne jest stosowanie rozwiązań przebadanych jako całe elementy, co niepotrzebnie ogranicza paletę dostępnych możliwości.

Powyższa analiza pokazuje, że obecny stan przepisów w wielu przypadkach dyskwalifikuje naturalne materiały.

Oczywiście istnieje możliwość zastosowania w szczególnie uzasadnionych przypadkach rozwiązań zamiennych, zgodnie z § 9.1. ustawy Prawo Budowlane (tzw. odstępstwa). Jednak jest to skomplikowane, wydłuża cały proces projektowy i zwiększa koszty ze względu na konieczność opracowywania dodatkowych analiz i ekspertyz, a na etapie realizacji - często skomplikowanych i kosztownych rozwiązań zamiennych [1].

Możliwe jest mieszanie technologii naturalnych z konwencjonalnymi, co pozwala poszerzyć zakres zastosowań, ale wiąże się z problemami technicznymi.

Należy dodać, że w innych krajach Europy istnieją wyroby budowlane stosowane w większych realizacjach, których nie można użyć w analogicznych sytuacjach w Polsce.

W ramach projektu „Dekarbonizacja procesów budowlanych - wprowadzenie materiałów naturalnych o zerowym śladzie węglowym, w tym drewna, do gospodarki obiegu cyrkularnego w budownictwie”, którego częścią jest ten poradnik, wykonywane są badania pożarowe dla słomy i konoplitu [4].

W projektach budynków wielorodzinnych i użyteczności publicznej możemy zastosować nie tylko odpowiednie materiały, ale i następujące rozwiązania z obszaru GOZ:

- adaptacyjne do zmian klimatu, oparte na

zasobach przyrody, zielonej i niebieskiej infrastrukturze, po uprzednim przeprowadzeniu oceny ryzyk klimatycznych zgodnej ze scenariuszami klimatycznymi do 2050/2060 (rozwiązania adaptacyjne stanowią odpowiedź na zdefiniowane ryzyka klimatyczne);

- adaptacyjne do lokalnego mikroklimatu: w tym rozwiązania oparte o potencjał pasywnego ogrzewania/chłodzenia i komfortowe oświetlenie dzienne;
- związane z łagodzeniem zmian klimatu: efektywność energetyczna - izolacyjność przegród i użycie wysokowydajnych, odnawialnych źródeł energii, szczelność, zwartość bryły, redukcja śladu węglowego;
- minimalizowanie wyspy ciepła: nasadzenia roślinne, wykończenia zewnętrzne odbijające światło;



Zdjęcie 6. Budynek komunalny z izolacją z konoplitu, Paryż

- elastyczność rzutów, możliwości adaptacji/zmiany funkcji/przebudowy w przyszłości;
- zamykanie obiegu materiałów, redukcja ilości odpadów na etapie budowy i projektowanie pod kątem przyszłej rozbiórki/demontażu budynku i odzysku materiałów;
- redukcja zanieczyszczenia hałasem i światłem.

Projektując budynki mieszkalne wielorodzinne i użyteczności publicznej należy zadbać o:

- zdrowie, samopoczucie i komfort mieszkańców/użytkowników, w tym: jakość powietrza, komfort akustyczny, wentylację naturalną/przewietrzanie;
- dostępność pieszą, dostępność transportu publicznego, bliskość niezbędnych usług oraz rozwiązania proekologiczne w zakresie parkowania, parkingów rowerowych, elektromobilności;
- zagospodarowanie działki: dużą ilość powierzchni biologicznie czynnych, w tym zielone ściany i dachy czy retencję wody w obrębie działki.

Bibliografia

1. Poprawa charakterystyki energetycznej budynków. Poradnik., Ministerstwo Rozwoju i Technologii, Warszawa 2024.
2. Bidzińska, G., Leszczyszyn, E., Augustyniak D., Budownictwo drewniane stymulatorem rozwoju mieszkalnictwa w Polsce, Łukasiewicz Instytut Rozwoju Drewna, Poznań 2020.
3. Jagielak, M., Straw bale, czyli architektura z kostek słomy w Polsce, praca doktorska, Wydział Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2023.
4. Raport z badań pożarowych realizowany w ramach projektu „Dekarbonizacja procesów budowlanych: wprowadzenie materiałów naturalnych o zerowym śladzie węglowym, w tym drewna do gospodarki obiegu cyrkularnego w budownictwie” .
5. Poprawa charakterystyki energetycznej budynków. Poradnik., Ministerstwo Rozwoju i Technologii, Warszawa 2024.
6. Poradnik dla inwestorów realizujących inwestycje mieszkaniowe finansowane z udziałem środków KPO. Potwierdzanie zgodności z regułą DNSH. Ministerstwo Rozwoju i Technologii, Warszawa 2023.
7. Mollison B., Slay R.: Wprowadzenie do permakultury, Permakultura.edu.pl, Ustroń, 2019
8. Zatylny M. Uwarunkowania formalno-prawne budownictwa naturalnego, 2011
https://issuu.com/pawesroczycki/docs/uwarunkowania_formalno-prawne_budownictwa_naturalnego
9. Habitat StartUP KIT, Fundacja Gospodarki i Administracji Publicznej, Kraków 2014 ISBN: 978-83-938313-3-3 .
10. Nowe rozporządzenie w sprawie wyrobów budowlanych. Poprawki przyjęte przez Parlament Europejski w dniu 11 lipca 2023 r. w sprawie wniosku dotyczącego rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady ustanawiającego zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych, zmieniającego rozporządzenie (UE) 2019/1020 i uchylającego rozporządzenie (UE) nr 305/2011.
11. Dz.U. 2004 nr 92 poz. 881 Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych.
12. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. - Prawo budowlane (Dz.U. 2021 poz. 2351, z późn. zm.)
13. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. z 2022 r. poz. 1225)

Rozdział 2

Charakterystyka wybranych technologii GOZ

Borys Lewandowski, Wojciech Piątkiewicz, dr Piotr Narloch,
Anna Zawadzka-Sobieraj, Katarzyna Skiba, Paweł Wołęjsza,
Iwona Jadanowska-Gromke, Marcin Kacprzyk

2.1 Konoplit (Hempcrete - beton konopny)

Wojciech Piątkiewicz

Do czego konoplit jest stosowany w budownictwie?

Konoplit może być stosowany w formie bloczków, płyt, ubijania w szalunku, w formie natryskowej lub jako duże panelowe prefabrykaty - jako wypełnienie (izolacja) ścian zewnętrznych lub wewnętrznych.

W formie zasykowej może być wypełnieniem stropów lub podłóg. Stosowany jest w nowych budynkach, do termomodernizacji i wykonywania uzupełnień w starych murach. Posiada cechy izolacyjności cieplnej, paroprzepuszczalności, aktywności kapilarnej, pojemności cieplnej i wilgotnościowej oraz wytrzymałości na ściskanie, w zależności od gęstości mieszanki.

Co to jest konoplit?

Naukowa nazwa tego materiału to kompozyt wapienno-konopny, popularnie nazywany jest również betonem konopnym. Najbardziej popularna jego znana nazwa, obecna również w języku polskim, to hempcrete. Jest ona zlepkiem słów hemp (ang. konopie) oraz concrete (ang. beton). W uproszczeniu konoplit to połączenie dwóch składników (kruszywa roślinnego i spoiwa): konopi i wapna. Kruszywo roślinne stanowią konopie pod postacią paździerzki konopnych, czyli krótkich kawałków zdrewniałej łodygi. Kawałki te mogą mieć różną długość i szerokość, nieraz można znaleźć wśród nich krótkie włókna, które są pozostałością po procesie przeróbki słomy konopnej. Spoiwo materiału to przede

wszystkim wapno i woda. Łączy ono paździerzę, nadając kształt kompozytowi, oraz decyduje o jego trwałości.

Krótką historia

Konopie stosowano w budownictwie od wieków, natomiast użycie ich jako składnika w kompozycie wapienno-konopnym miało swój początek pod koniec XX wieku we Francji. Wówczas to poszukiwano materiału do renowacji historycznych budynków, który będzie paroprzepuszczalny, z dobrą izolacyjnością termiczną, a także będzie dobrze współpracował z konstrukcją drewnianą. Postanowiono wykorzystać odpad przy produkcji wełny konopnej i wymieszać go z wapnem. Tak powstał materiał, który w Polsce nazywamy dziś konoplitem - betonem konopnym (fr. beton de chanvre [zalecane jest odchylenie od pojęcia betonu konopnego, ze względu na znacząco różne właściwości od betonów towarowych]). Wkrótce zaczęto go wykorzystywać także do budowania nowych budynków, rozwijać jego receptury oraz możliwe zastosowania. Do dziś Francja pozostaje liderem w stosowaniu tego materiału, a technologia ta rozprzestrzeniła się na cały świat. Z konoplitu powstają budynki użyteczności publicznej, osiedla wielorodzinne, budynki jednorodzinne, a nawet magazyny.

Początek rozwoju budownictwa z betonu konopnego w Polsce to 2011 rok, wówczas w Instytucie Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich - Państwowym Instytucie Badawczym w Poznaniu zbudowano z konoplitu obiekt doświadczalny. Od tamtego czasu technologia ta konsekwentnie się rozwija i dziś można znaleźć około 80-ciu budynków, w których zastosowano ten materiał. Na terenie Polski znajdują

się także uprawy konopi do celów spożywczych, włókienniczych i budowlanych oraz zakłady przetwarzające je na włókno i paździerze, m.in. w Wielkopolsce i na Podlasiu. Popyt na paździerze jest na tyle duży, że w trakcie sezonu budowlanego bywają one sprowadzane z zagranicy, m.in. z Ukrainy, krajów Beneluksu, Rumunii i Litwy.



Zdjęcie 1. Sześciokondygnacyjny budynek mieszkalny w Paryżu, 2014. konoplit został użyty jako wypełnienie ścian i dachu. Do budowy zużyto 150 m3 materiału.

Jak stosuje się konoplit?

Konoplit najczęściej jest wykorzystywany do wypełniania ścian. Pełni rolę izolacji termicznej i wypełnienia szkieletu budynku, zazwyczaj o konstrukcji drewnianej. Jest wówczas układany w szalunku lub natryskiwany. Jego zastosowanie może być jednak szersze - możliwe jest



Zdjęcie 2. Gotowa ściana z betonu konopnego oraz drewnianej konstrukcji nośnej

stosowanie go jako izolacja stropów, dachów i podłóg oraz jako tynk czy materiał do termomodernizacji istniejących budynków, zarówno na zewnątrz ścian jak i wewnątrz. Jego skład można modyfikować w zależności od przeznaczenia materiału. Dzięki temu konoplit, także jako zasyp, może mieć różne właściwości, w zależności od gęstości i potrzeb inwestora.

Skąd się biorą paździerze konopne?

Historia

Współcześnie konopie kojarzą się przede wszystkim z ich narkotycznym wykorzystaniem, jednak człowiek od dawna stosował je w innych celach.

Konopia siewna (*Cannabis sativa* L.), która bywa nazywana również konopią włóknistą lub przemysłową, ma długą historię wykorzystania, sięgającą tysięcy lat, co potwierdzają znaleziska archeologiczne z Azji. Dzięki swojej łatwości przystosowania do różnych warunków klimatyczno-glebowych, roślina ta rozprzestrzeniła się na cały świat. Obecnie występują dziesiątki jej odmian. Różnią się one między sobą m.in. budową, okresem wegetacji lub zawartością substancji chemicznych. Konopie uprawiano w celach przemysłowych głównie dla włókien, ze względu na wytrzymałość i odporność na gnicie. Konopne worki, sznury, liny okrętowe czy żagle miały nieraz tak istotne znaczenie dla gospodarek europejskich krajów, że władcy nakazywali rolnikom uprawę. W XX wieku Polska była jednym z liderów uprawy tej rośliny na świecie. Wszystko zmieniło się wraz z wynalezieniem włókien syntetycznych oraz kryminalizacją marihuany, co doprowadziło do zakazów produkcji konopi wszelkiego typu.

Wzrost świadomości ekologicznej w Europie pod koniec XX wieku spowodował odrodzenie zainteresowania konopiami. Dziś konopie uprawia się dla wielu zastosowań. To przede wszystkim produkcja włókna, również uprawy do celów spożywczych, farmaceutycznych czy kosmetycznych. Znajdują także zastosowanie jako rośliny do

rekultywacji terenów przemysłowych i przyczyniają się do regeneracji biologicznej terenu [1].

Uprawa

Konopie są łatwe w uprawie i mogą rosnąć na różnych rodzajach gleb, choć wymagają odpowiedniego pH (6,5 lub więcej). Do prawidłowego wzrostu i osiągnięcia odpowiedniego plonu, potrzebują nawożenia. Rośliny te mają duże wymagania wodne i jako młode siewki są wrażliwe na okresy suszy. Jednak, dzięki głębokiemu systemowi korzeniowemu, dobrze radzą sobie w takich warunkach w stadium dorosłym, co może być istotne w sytuacji zmian klimatu. Dzięki szybkiemu wzrostowi, konopie tłumią inne rośliny i wygrywają walkę o dostępność światła. Przy ich uprawie nie trzeba stosować środków przeciw chwastom (herbicydów). Konopie mają wysoką odporność na choroby i szkodniki, nie wymagają stosowania pestycydów, co pomaga ograniczyć zużycie chemii w rolnictwie oraz chronić bioróżnorodności w okolicy.

Konopie przemysłowe są rośliną intensywnej uprawy o wysokiej wydajności biomasy z hektara sięgającej 10-20 t/ha (przy wilgotności 15 proc.), dającej 9-18 t/ha suchej biomasy. W wyniku przerobu mechanicznego (dekortykacji) słomy konopnej, możliwe jest uzyskanie włókna w ilości około 35 proc. oraz paździerz w ilości około 65 proc. Przy średniej wydajności zbioru suchej słomy konopnej w ilości około 8t/ha możliwe jest więc uzyskanie ok. 5-5,5 ton paździerz.



Zdjęcie 3. Uprawa konopi przemysłowej na Podlasiu

Paździerz konopne

Paździerz konopny jest to zdrewniała część rośliny, stanowi około 70 proc. objętości łodygi. Dotychczas używany był przede wszystkim jako wyściółka dla zwierząt, biomasa na cele energetyczne lub w papiernictwie. Od kilkadziesiąt lat wykorzystywany jest do celów budowlanych. Proces oddzielania włókien od paździerza zaczyna się od odpowiedniego skoszenia roślin, potem następuje ich rośnienie na polu („naturalny proces rozkładu” pektyn sklejących włókna ze zdrewniałym rdzeniem), międlenie i dekortykacja, czyli mechaniczne oddzielenie paździerzy od włókien.



Zdjęcie 4. Paździerz wykorzystywany do betonu konopnego wyprodukowany przez polską firmę

Paździerz konopne mają budowę gąbczastą, tzn. składają się z sieci zamkniętych mikroporów. Dzięki takiej budowie wypadają najlepiej w porównaniu do innych potencjalnych kruszyw roślinnych pod względem izolacyjnym. Częstki paździerza do celów budowlanych mają zwykle wielkość od 5 mm do 35 mm. Większe cząstki utrudniają obróbkę technologiczną. Mniejsze natomiast potrzebują większej ilości spoiwa, co przekłada się na spadek izolacyjności termicznej. Im większy udział drobnych paździerzy, tym tworzony materiał będzie bardziej jednorodny oraz osiągnie większą wytrzymałość na ściskanie. Paździerz powinien być jak najlepiej odpylony, w przeciwnym wypadku konieczne jest użycie większej ilości wody w mieszance, co negatywnie wpływa na wiązanie materiału. Niewskazana jest również duża ilość włókien, które w niewielkiej

ilości pełnią rolę mikrozbrojenia konoplitu. Kolor paździerzy konopnych powinien być beżowy, ze względu na proces roszenia dopuszczalne jest zabarwienie lekko ciemne. Należy jednak sprawdzić, czy nie powstało ono w trakcie przechowywania już wyprodukowanego paździerza.

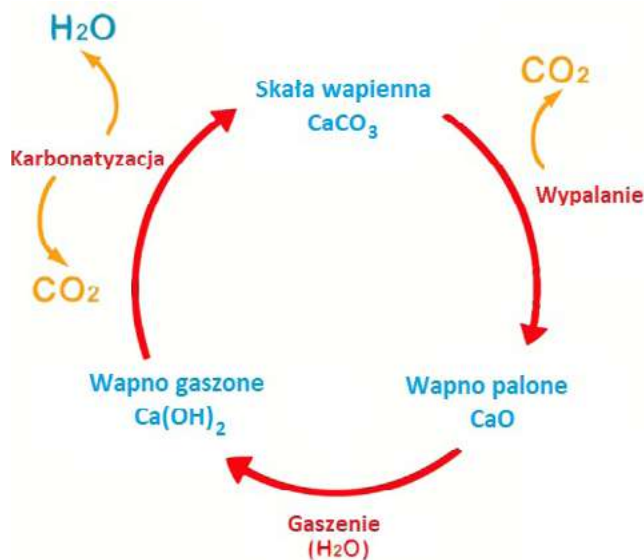
Paździerze, w zależności od uziarnienia, mają gęstość nasypową około 100-120 kg/m³, pakowane są w worki 15, 20 lub 25 kg. Skład chemiczny paździerzy konopnych jest podobny do drewna, z przewagą celulozy, hemicelulozy i ligniny.

Spoivo

Głównym składnikiem wykorzystywanym w spoiwie betonu konopnego jest wapno hydratyzowane. Stanowi ono zazwyczaj 70-80 proc. masy spoiwa. Wapno hydratyzowane powstaje przez wypalenie skały wapiennej, czyli wapienia. Polska ma go bogate złoża, głównie na południu kraju. Wapno hydratyzowane (zwane również gaszonym) jest szeroko dostępne w składach budowlanych na terenie całego kraju.

Cykl życia wapna

W pierwszym etapie wypalana jest skała wapienna, zawierająca głównie węglan wapnia. Podczas tej reakcji chemicznej zostaje uwolniony dwutlenek węgla. Powstaje wapno palone, które następnie jest gaszone. Przez dodanie odpowiedniej ilości wody, powstaje wapno hydratyzowane w postaci suchego proszku. Po dodaniu wody następuje wiązanie wapna, które można podzielić na dwa procesy: wiązanie wstępne, podczas którego odparowuje woda i następuje krystalizacja wodorotlenku wapnia, oraz właściwe wiązanie, czyli karbonatyzacja. Materiał w tym procesie wyłapuje z powietrza dwutlenek węgla i w obecności wody ponownie zmienia się w węglan wapnia. Proces ten, zwany cyklem wapiennym, powoduje, że powstały podczas produkcji dwutlenek węgla, jest z powrotem pochłaniany przez materiał. Stanowi to o ekologiczności tego spoiwa oraz przekłada się na niski wpływ środowiskowy konoplitu.



Zdjęcie 5. Uproszczony cykl życia wapnia

Dlaczego wapno?

Wapno nie bez powodu ma tak szerokie zastosowanie w budownictwie i jest głównym składnikiem spoiwa w betonie konopnym. Oto kilka jego najważniejszych cech:

- wysoki odczyn pH (około 12) - to tworzy środowisko wysoce zasadowe i sprawia, że pokryte wapnem paździerze konopne stają się odporne na działanie większości grzybów i bakterii
- wysoka paroprzepuszczalność spoiwa wapiennego - to pozwala z jednej strony odparować wodzie wchłoniętej przez paździerz w trakcie mieszania, z drugiej zapewnia gotowej przegrodzie swobodny przepływ pary wodnej, co wpływa na trwałość konstrukcji budynku
- wapno ma lepszą izolacyjność termiczną oraz pojemność cieplną i wilgotnościową w porównaniu z innymi materiałami do budowy ścian osłonowych
- zapewnia ognioodporność gotowego kompozytu

Dodatki do spoiwa

Wapno hydratyzowane, mimo swoich zalet, jest spoiwem wolno wiążącym i osiagającym niską wytrzymałość. Aby poprawić właściwości spoiwa, w konoplacie stosuje się dodatki. Mają one za zadanie poprawić wytrzymałość kompozytu, zwłaszcza tę wczesną, która przyspiesza

możliwość prowadzenie prac budowlanych.

Do najważniejszych dodatków w spoiwie stosowanym do konoplitu należą:

- spoiwa hydrauliczne: wapno hydrauliczne, cement portlandzki i cement romański. Główną cechą tego rodzaju dodatków jest osiągnięcie przez nie wysokiej wytrzymałości oraz wiązanie w obecności wody
- pucolany: metakaolin, pył krzemionkowy, popiół lotny i inne. Dodatki te mają pochodzenie naturalne (np. metakaolin i pył krzemionkowy) lub sztuczne (np. popiół lotny). Pucolany mają przede wszystkim za zadanie zwiększyć wytrzymałość, dzięki swojemu pochodzeniu mogą również obniżyć ślad węglowy kompozytu.

Przez lata rozwoju technologii stworzono także gotowe mieszanki spoiw do konoplitu. Produkowane są one np. w Wielkiej Brytanii, Francji czy Ukrainie i ich wytwórcy zalecają używać ich razem z konkretnym paździerzem. Tego typu spoiwa są trudniej dostępne, dlatego w Polsce najczęściej wykonawcy opracowują własne mieszanki.

Ślad węglowy i gospodarka obiegu zamkniętego

Kompozyt konopny składa się z mieszanki spoiwa wapiennego, które wymaga wypalenia w temperaturze 800°C. Wykorzystuje się wówczas paliwa kopalne, powodujących emisję gazów cieplarnianych. Proces ten coraz częściej zastępowany jest bilansowo neutralnie klimatyczną biomasą. Spoiwo wapienne w trakcie wiązania bilansuje i wiąże część dwutlenku węgla w procesie karbonatyzacji. Zawartość węgla biogenego w paźdierzem organicznym z konopii pozwala na uzyskanie lekkim kompozytom konopnym ujemnego lub zrównoważonego bilansu emisyjności GHG (gazów cieplarnianych) dla większej neutralności klimatycznej wyrobów. Wartości te mogą się w nich różnić, zarówno ze względu na sposób produkcji i udział spoiwa wapiennego, jak i ilość stosowanych nawozów azotowych oraz emisję w procesie uprawy konopii.

Potencjalne zagospodarowanie odpadów kompozytu konopnego nie jest szczegółowo

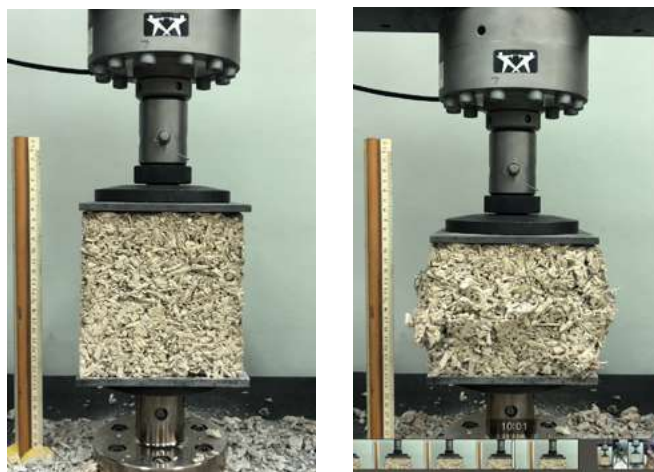
określone. Ze względu na brak możliwości spalania jako biomasa energetyczna, zakłada się trwałe wiązanie węgla. Kruszywo odpadowe z konoplitu może być jednak wykorzystane ponownie w kompozytach oraz jako bezpieczny wypełniacz wyrobisk czy potencjalny dodatek do nawozów w uprawach. Docelowo zatem część węgla związana z rozkładem materii zostanie uwolniona do atmosfery.

Właściwości konoplitu

Wytrzymałość

Beton konopny nie jest materiałem konstrukcyjnym, jest jednak samonośny i nie ulega kompaktowaniu pod własnym ciężarem. Jego zadaniem nie jest przenoszenie obciążeń od innych elementów takich, jak wyższe piętra, dach czy wiatr. Usztywnia on konstrukcje szkieletowe, trwają także badania nad uwzględnieniem jego wpływu w obliczeniach konstrukcyjnych. Jego główną funkcją jest izolacja termiczna. Konoplit musi mieć wystarczającą wytrzymałość, by przenieść swój własny ciężar, tzn. zachować kształt i spełniać wymagania użytkowości. Jeżeli zostaną zachowane podstawowe zasady podczas wykonywania przegród z betonu konopnego, osiągnięcie takich efektów nie będzie stanowić problemu.

Budowa konoplitu sprawia, że pod obciążeniem zachowuje się on bardzo charakterystycznie. Podczas ściskania początkowo jest niemal sprężysty. Gdy wiązania spoiwa zostaną



Zdjęcie 6. Badanie wytrzymałości betonu konopnego. Próbka ściśnięta o 20 % swojej wysokości

Źródło: archiwum autora

przerwane, hempcrete ulega kompresji. Materiał łatwo poddaje się prasowaniu z użyciem niewielkiej siły, a to dzięki porowatości. Taki proces może przebiegać długo bez szczególnego momentu zniszczenia. Dzięki temu beton konopny sprawdza się w regionach narażonych na trzęsienia ziemi, a także może być stosunkowo łatwo wtórnie wykorzystany w końcu cyklu życia budynku.

Wpływ różnych czynników na wytrzymałość betonu konopnego został dobrze przebadany. By bezpiecznie stosować ten materiał, należy pamiętać o kilku aspektach. Większa ilość spoiwa w mieszance to większa jego gęstość i wytrzymałość, należy jednak pamiętać, że więcej spoiwa obniża izolacyjność termiczną. Podobnie będzie z kompresją materiału: nie powinien być zbyt mocno ubijany, konieczne jest jednak takie ułożenie mieszanki, aby nie tworzyły się duże pustki powietrzne, a materiał był homogeniczny. Przy większej ilości dużych cząstek paździerza (>30 mm) konoplit trudniej się układa i obniża się jego wytrzymałość na ściskanie. Również zbyt mała ilość wody w mieszance może sprawić, że zabraknie jej dla związania spoiwa, paździerze nie połączą się ze sobą i materiał nie osiągnie odpowiedniej wytrzymałości.

Ważną składową wytrzymałości betonu konopnego jest również wytrzymałość na zginanie. Włókna pozostałe po przetwórstwie paździerza i jego dłuższe kawałki działają jak naturalne zbrojenie kompozytu i poprawiają wytrzymałość [2].

Specyfika spoiwa wapiennego sprawia, że jego głównym etapem twardnienia jest karbonatyzacja. Dzięki temu konoplit z czasem zwiększa swoją wytrzymałość. Odporność na ściskanie

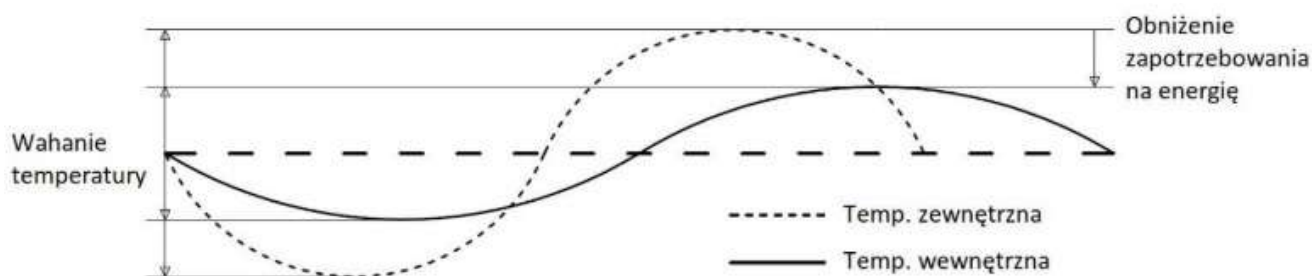
może wzrosnąć nawet trzykrotnie między pierwszym a dwudziestym czwartym miesiącem po wybudowaniu [3].

Komfort termiczny w budynku

Najważniejsza w Europie Środkowej cecha betonu konopnego to jego izolacyjność termiczna. Paździerze konopne, które stanowią większość objętości materiału, mają niski współczynnik przewodzenia ciepła wynoszący 0,05-0,06 W/m²*K [4]. Dodatek spoiwa i kompresja materiału sprawiają, że wartość ta dla betonu konopnego rośnie, a izolacyjność termiczna spada.

Metody produkcji tego materiału i sposób budowania z niego mają duży wpływ na ostateczną izolacyjność termiczną budynku.

Współczynnik przewodzenia ciepła betonu konopnego może osiągać wartość od 0,065 do 0,12 W/m²*K [5]. Może się to wydawać gorszym wynikiem, niż w przypadku innych materiałów izolacyjnych (styropian, wełna mineralna), jednak konoplit wygrywa większą pojemnością cieplną. Chodzi o prędkość nagrzewania się materiałów, magazynowanie energii cieplnej i ograniczanie przegrzewania się budynków. Wysoka pojemność cieplna to wysoka masa termiczna. Wpływa ona, poprzez niwelowanie gwałtownych zmian, na regulację temperatury wewnątrz budynku, co bezpośrednio przekłada się na komfort użytkowników oraz koszty ogrzewania lub chłodzenia pomieszczeń. Jednocześnie zbyt wysoka pojemność cieplna (np. w betonie lub kamieniu) może powodować zbyt dużą akumulację ciepła przez przegrodę i pogarszać komfort mieszkańców. Konoplit ma pojemność cieplną na poziomie 1000-1100 J/kg*K [6]. Taka wartość jest zasługą spoiwa wapiennego



Zdjęcie 7. Wpływ zdolności materiału do magazynowania ciepła i niwelowania dziennych różnic temperatury wewnątrz budynku.

i higroskopijności celulozy konopnej. Powyższe cechy oraz izolacyjność termiczna i masa termiczna, wpływają na komfort cieplny wewnątrz pomieszczeń. Konoplit jako wypełnienie przegrody niweluje kwestię małej pojemności cieplnej budynku, zwłaszcza w przypadku lekkich konstrukcji szkieletowych.

Opisując wpływ naturalnych materiałów budowlanych na komfort użytkowania budynku, należy brać pod uwagę więcej cech materiału, nie tylko przykładowo izolacyjność termiczną. Paroprzepuszczalność i zdolność do pochłaniania oraz oddawania wilgoci betonu konopnego wpływają na wilgotność i regulują ją wewnątrz pomieszczeń (zwłaszcza w przypadku, gdy ściana z konoplitu nie zostanie pokryta dodatkową osłoną od strony wewnętrznej). Dodatkowym, trudnym do zbadania i zapisania liczbowo zjawiskiem, jest absorbowanie i uwalnianie energii. Dzięki swojej wysokiej pochłaniałości wody w obrębie paździerzy konopnych, w materiale zachodzi zmiana stanu skupienia. Te dynamiczne zmiany wzmacniają efekt magazynowania i przenoszenia ciepła, co pozytywnie wpływa na właściwości termiczne betonu konopnego.

Bardzo ważną zaletą budowania z konoplitu w sposób monolityczny jest tworzenie przegród szczelnych, pozbawionych mostków termicznych. Powstają ściany będące jednolitymi przegrodami, gdzie konstrukcję nośną otacza beton konopny, a ilością połączeń między poszczególnymi materiałami jest zminimalizowana. Dzięki temu unika się nieszczelności i mostków termicznych, przez które może uciekać ciepło.

Odporność na ogień i korozję biologiczną

Naturalne materiały budowlane budzą wątpliwości inwestorów, czy nie będą gnić lub czy nie są łatwopalne. Obawy te mogą być uzasadnione, ponieważ, materiały pochodzenia organicznego, tzn. roślinne, są zazwyczaj bardziej narażone na działanie takich czynników, jak grzyby, bakterie lub ogień. Paździerze w betonie konopnym są otoczone i zabezpieczone spoiwem wapiennym. Taka bariera ochronna zapewnia środowisko niesprzyjające rozwojowi większości mikroorganizmów takich, jak grzyby lub pleśń. Paździerze

konopne same w sobie również nie są pożywnym pokarmem (budową chemiczną przypominają drewno) i nawet organizmy, które potrafią przetrwać w alkaicznym środowisku wapna, niechętnie rozwijają się w konoplicie. W przeprowadzonych badaniach „zarażano” konoplit mikroorganizmami, które degradują materiały budowlane. W efekcie wszystkie całkowicie obumarły [7].



Zdjęcie 8. Reakcja na ogień ściany z konoplitu.

Paździerze konopne, czyli zdrewniałe częścią rośliny, są materiałem łatwopalnym i trzeba go chronić przed ogniem. Taką ochronę w betonie konopnym zapewnia spoiwo wapienne. Paździerz konopny w trakcie mieszania zostaje pokryty powłoką ze spoiwa, co stanowi zabezpieczenie w razie pożaru. Wśród licznych badań przeprowadzonych na świecie można znaleźć informację, że ściana z betonu konopnego potrafi wytrzymać w warunkach pożarowych ponad godzinę, a według niektórych nawet do czterech godzin (w przypadku przegrody nie konstrukcyjnej). Dodatkowo w trakcie pożaru z konoplitu nie uwalniają się żadne toksyczne opary, a ilość dymu jest tak niewielka, że spełnia wymagania dla materiałów stosowanych z przejściami ewakuacyjnymi itp. Hempcrete jest naturalnym zabezpieczeniem ogniowym dla drewnianej konstrukcji, która jest otoczona kompozytem z każdej ze stron. W przeprowadzonym na potrzeby

projektu badania reakcji na ogień, zgodnie z polską normą, ściana z konoplitu uzyskała klasę B-s1 d0. Oznacza to, że materiał klasyfikuje się jako niezapalny o najniższej klasie wytwarzania dymu i płonących cząstek.

Nasiąkliwość

Nie ma materiałów idealnych. Także konoplit taki nie jest. Z jego wysoką porowatością oraz szybką wchłanianością wody przez paździerz łączy się także duża nasiąkliwość materiału. Jest ona tym większa, im więcej paździerza znajduje się w mieszance. Obecność większej ilości składników hydraulicznych w spoiwie będzie tę cechą obniżać [8]. Dlatego też konoplit powinien być zabezpieczony przed oddziaływaniem deszczu oraz podciąganiem wody z gruntu. Materiał wilgotny łatwiej przewodzi ciepło i staje się gorszym izolatorem termicznym. Długie zawilgocenie betonu konopnego także ma wpływ na jego trwałość. Mimo to zawartość wapna oraz przewaga celulozy w paździerzach zabezpiecza go i uodparnia nawet na krótkotrwałe zalania czy zawilgocenia.

Izolacja akustyczna

Konoplit cechuje pochłanianie i tłumienie dźwięków [9]. Wynika to z wysokiej porowatości i składu paździerzy konopnych, chaotycznie rozmieszczonych w materiale. Podczas przechodzenia przez konoplit fali akustycznej, cząstki powietrza wprawiane są w drgania, co powoduje deformację ścian porów paździerzy i tarcie. W ten sposób energia akustyczna jest zamieniana w ciepłą, a materiał wytłumia przechodzący przez niego dźwięk. Istotne jest jednak to, że za izolację akustyczną przegrody w dużej mierze odpowiada warstwa wierzchnia (np. tynk).

Przygotowywanie konoplitu

Konoplit najczęściej przygotowuje się na placu budowy, mieszając składniki w mieszalniku i układając mieszankę w szalunku. Deskowanie z płyt jest tylko tymczasowe. Płyty mają wysokość około 60-80 cm, aby przestrzeń między nimi można było swobodnie wypełniać konoplitem.

Po wypełnieniu deskowanie jest przesuwane w górę, po czym wykonuje się kolejną warstwę. W ten sposób powstaje płaska powierzchnia ściany.



Zdjęcie 9. Najprostsza metoda zastosowania betonu konopnego czyli ręczne układanie mieszanki w szalunku.

Mieszanie składników

Proces mieszania jest szczególnie ważny, ponieważ łączy się w ten sposób materiały o różnej gęstości: luźne konopie i gęste spoiwo. W trakcie tego procesu może łatwo dojść do segregacji składników. Na efektywne wymieszanie ze sobą składników betonu konopnego wpływ mają przede wszystkim: rodzaj użytego mieszalnika, kolejność dodawania składników i czas mieszania.

Układanie konoplitu

Po wymieszaniu składników i osiągnięciu odpowiedniej konsystencji (wilgotno-sypka), konoplit układa się w formie. Wsypuje się go między szalunek, następnie równomiernie rozgarnia. Pojedyncza warstwa luźnego materiału przed kompresją nie powinna być grubsza niż 10-15 cm.

Jego główną zaletą jest wysoka porowatość. Zbyt mocne ubijanie betonu konopnego obniża jego zdolność izolacji cieplnej. Jednak aby materiał zachował kształt formy musimy zadbać o jego właściwe ułożenie. W miejscu styku z elementami konstrukcji (np. drewnianymi słupami) oraz przy szalunku, dla uzyskania płaskiej struktury ściany, konoplit powinien być mocno kompresowany, zaś pomiędzy tymi elementami lekko

przyklepany ręką w celu równomiernego ułożenia betonu konopnego przy zachowaniu jak największej porowatości. Wówczas uzyskuje się optymalne właściwości termoizolacyjne.



Źródło: [11]

Zdjęcie 10. Rozprowadzanie betonu konopnego wewnątrz szalunku.

Kontynuowanie prac

Zdjęcie deskowania i przestawienie go wyżej możliwe jest zaraz po wypełnieniu szalunku kompozytem. Proces zasypywania i układania poszczególnych warstw konoplitu następnie się powtarza, do kolejnego napełnienia szalunku i przemieszczenia go. Na etapie mieszania składników do mieszanki dodawana jest duża ilość wody, potrzebnej do prawidłowego przebiegu karbonatyzacji. Należy unikać wspomaganego osuszania budynku, a świeżo wykonane przegrody powinny być chronione przed zbyt intensywnym oddziaływaniem słońca i wiatru. Przy planowaniu prac z betonem konopnym, należy dobrze zaplanować harmonogram robót. Mur z konoplitu potrzebuje długiego czasu do wyschnięcia, zwykle 2 cm/tydzień, jednak dokładny czas zależy od pory roku i warunków klimatycznych.

Konoplit natryskiwany i prefabrykaty

Zastosowanie metody natryskowej i prefabrykatów przyspieszy proces wznoszenia przegród z betonu konopnego.

Natrysk betonu konopnego polega na układaniu mieszanki przy pomocy agregatu. Hempcrete jest wyrzucany z dyszy w formie paździerzki połączonych ze spoiwem lub rozdzielnie, wówczas paździerzki mieszane są ze spoiwem u wylotu rury. W przypadku pierwszej metody używana jest zwykle mniejsza ilość wody, zaś wykonane nią ściany szybciej wysychają. Dodatkowo natrysk jest dużo szybszą metodą układania betonu konopnego, niż metoda ręczna oraz daje bardziej nieregularne ułożenie cząstek, co pozytywnie wpływa na właściwości hempcrete. Agregat do natryskiwania betonu konopnego jest jednak drogi i trudno dostępny w Polsce, a jego sprawna obsługa i metoda natryskowa wymagają doświadczenia operatora.



Zdjęcie 11. Natryskiwanie betonu konopnego znacznie przyspiesza pracę.

Źródło: <https://hempstone.net/services-1>

Jednym z zastosowań betonu konopnego jest produkcja prefabrykowanych elementów. Mogą to być zarówno małe elementy w formie bloczków, jak i duże w postaci całych ścian z drewnianą ramą. Jest to dynamicznie rozwijająca się gałąź wykorzystania betonu konopnego. Obecnie nie ma dostępnych prefabrykatów produkowanych w Polsce, dostępne są bloczki z betonu konopnego sprowadzane z zagranicy. Małe bloczki nie są materiałem nośnym i nadal niezbędna jest konstrukcja nośna.

Prefabrykacja betonu konopnego ma wiele zalet. Są to m.in.

- kontrolowany proces produkcji w zakładzie

prefabrykacji oraz możliwość produkcji niezależnie od warunków pogodowych

- elementy są wstępnie wysuszone, dzięki czemu można szybciej przystąpić do kolejnych prac
- montaż dużych fragmentów ścian jest dużo szybszy, niż wykonywanie ich metodą tradycyjną
- wykonywanie przegród z bloczków konopnych jest metodą znaną już pracownikom budowlanym

Metoda budowy przy pomocy prefabrykatów może mieć również wady:

- ze względu na wymagania technologiczne, bloczki z betonu konopnego mogą mieć większą gęstość i gorsze parametry izolacyjne niż mieszanka wykonywana na placu budowy do układania w szalunku lub natryskiwania
- przez konieczność stosowania spoin między bloczkami lub łączenia paneli, istnieje ryzyko mostków termicznych i nieszczelności
- koszty transportu mogą zwiększyć ślad węglowy produktu i obniżyć/osłabić potencjał ekologiczny betonu konopnego

spełniać wymagań wytrzymałościowych takich, jak w przypadku ścian. Wówczas konoplity może mieć mniej spoiwa w stosunku do paździerz (około 1:1). Spoiwo w tym wypadku ma za zadanie jedynie pokryć równomiernie cząstki paździerza oraz zabezpieczyć je ogniowo i biologicznie. Zasyp konoplitu w takiej formie ma gęstość ok. 210 kg/m³, ma też dzięki temu o wiele niższy współczynnik przewodzenia ciepła ($\lambda=0,06$ W/m*K) [10].

Z betonu konopnego można również wykonać podłogę na gruncie, spełnienie wymogu wysokiej wytrzymałości materiału na ściskanie, zapewni odpowiednia ilość spoiwa. W przypadku warstwy podłogowej stosowana jest mieszanka, w proporcji spoiwa do paździerza około 3:1. Daje to wysoką wytrzymałość (powyżej 1 MPa), ale też wysoką przewodność cieplną ($\lambda=0,1$ W/m*K) [10].

Dzięki zastosowaniu ocieplenia z konoplitem, także w przestrzeniach poziomych zyskuje się ciągłość izolacji termicznej wokół całego budynku. Przyczynia się to do ograniczenia mostków cieplnych oraz zachowania spójności i charakteru przegród.

Źródło: <https://naturalbuildingstore.com/shop/iso hemp-pre-cast-hempcrete-blocks/>



Zdjęcie 12. Pełna paleta rozmiarów bloczków z betonu konopnego jednego z producentów zagranicznych

Nie tylko ściany – podłogi, stropy, tynki

Konoplity najczęściej wykorzystuje się jako wypełnienie ścian w budynkach. Może być jednak stosowany także jako wypełnienie przestrzeni w podłodze podniesionej, stropie lub dachu. W takich zastosowaniach mieszanka nie musi

Bibliografia

1. Cierpucha, W. *Technologia Uprawy i Przetwórstwa Konopi Włóknistych*; Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich: Poznań, 2013; ISBN 9788392861836.
2. Brzyski, P.; Gładdecki, M.; Rumińska, M.; Pietrak, K.; Kubiś, M.; Łapka, P. Influence of Hemp Shives Size on Hygro-Thermal and Mechanical Properties of a Hemp-Lime Composite. *Materials (Basel)*. 2020, 13, 1–17, doi:10.3390/ma13235383.
3. Arnaud, L.; Gourlay, E. Experimental Study of Parameters Influencing Mechanical Properties of Hemp Concretes. *Constr. Build. Mater.* 2012, 28, 50–56, doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.07.052.
4. Balčiūnas, G.; Vėjelis, S.; Lekūnaitė, L.; Kremensas, A. Assessment of Structure Influence on Thermal Conductivity of Hemp Shives Composite. *Environ. Eng. Manag. J.* 2016, 15, 699–705, doi:10.30638/eemj.2016.075.
5. Jami, T.; Karade, S.R.; Singh, L.P. A Review of the Properties of Hemp Concrete for Green Building Applications. *J. Clean. Prod.* 2019, 239, 117852, doi:10.1016/j.jclepro.2019.117852.
6. Sáez-Pérez, M.P.; Brümmer, M.; Durán-Suárez, J.A. A Review of the Factors Affecting the Properties and Performance of Hemp Aggregate Concretes. *J. Build. Eng.* 2020, 31, doi:10.1016/j.job.2020.101323.
7. Gołębiowski, M. *Aspekty Zastosowania Kompozytów Wapienno-Konopnych w Budownictwie Indywidualnym Domów Mieszkalnych w Architekturze Proekologicznej*, Warsaw University of Technology, 2020.
8. Walker, R.; Pavia, S.; Mitchell, R. Mechanical Properties and Durability of Hemp-Lime Concretes. *Constr. Build. Mater.* 2014, 61, 340–348, doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.02.065.
9. Kinnane, O.; Reilly, A.; Grimes, J.; Pavia, S.; Walker, R. Acoustic Absorption of Hemp-Lime Construction. *Constr. Build. Mater.* 2016, 122, 674–682, doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.06.106.
10. Lhoist Southern Europe Natural Hempcrete Insulation; 2017;
11. Sahmenko, G.; Sinka, M.; Namsone, E.; Korjakins, A.; Bajare, D. Sustainable Wall Solutions Using Foam Concrete and Hemp Composites. *Environ. Clim. Technol.* 2021, 25, 917–930, doi:10.2478/rtuect-2021-0069.

2.2 Słoma

dr Maciej Jagielak, Borys Lewandowski, Dorota Suwaj

Do czego jest stosowana słoma w budownictwie?

We współczesnym budownictwie słomę stosuje się głównie jako materiał izolacyjny do wypełniania konstrukcji szkieletowych ścian, stropów i dachów. Materiał może być wbudowywany w formie kostek (ang. straw bale), prefabrykatów słomiano-drewnianych, sieczki do zasypu i do wdmuchiwania lub w formie płyt i mat wytwarzanych na bazie słomy. Nośne zastosowanie kostek słomy w ścianach (ang. loadbearing straw bale) jest, pod pewnymi warunkami, również możliwe - głównie w niskich obiektach o prostych bryłach. Najbardziej interesującym dla przemysłu budowlanego kierunkiem rozwoju wyrobów z kostek słomy (i/lub słomy w ogóle) wydaje się obecnie prefabrykacja słomiano-drewnianych elementów modułowych ścian i/lub dachów i podłóg. Zainteresowanie wzbudza ją także materiały ociepleniowe w postaci płyt i mat, wytwarzane bezpośrednio ze słomy i/lub włókien lignocelulozowych z niej pochodzących. Warto zaznaczyć, że angielskie określenie straw bale oznacza szereg różnych metod budowania opartych na zastosowaniu kostek słomy - i to na nich głównie skupimy się w niniejszym rozdziale.

Podstawowe informacje na temat słomy

Większość osób kojarzy, czym jest słoma, jednak czy na pewno wszyscy to wiemy? Zacząć należy od rozróżnienia słomy i siana, które bywają mylone.

Słoma (ang. straw) to łodygi i liście jednorocznych roślin uprawnych, np. zbóż, trzciny, roślin oleistych, jak rzepak i len, oraz włóknistych, jak len czy konopie, zebrane w stanie dojrzało-suchym (żniwa), po omłocie (pozbawione nasion). Słoma nie zawiera domieszki siana, lecz w praktyce nie da się tego zupełnie uniknąć. Zmniejszenie zawartości zielonej masy odbywa się już na etapie uprawy i zwykle nie musimy

się tym martwić, szukając materiału do budowy - jednak warto zwracać na to uwagę. W tym rozdziale słoma będzie oznaczać słomę ze zbóż takich, jak żyto lub pszenica, a nie z innych roślin np. włóknistych lnu czy konopi. Ta ostatnia jest jednak na tyle ceniona, że poświęciliśmy jej osobny rozdział podręcznika.

Siano (ang. hay) to także łodygi i liście roślin jednorocznych, głównie traw i bobowatych, dawniej zwanych motylkowymi, (koniczyna, ubik), jednak skoszonych przed dojrzałością (sianokosy), a następnie wysuszonych. W odróżnieniu od słomy, siano zawiera znacznie więcej wartości odżywczych i służy głównie do karmienia zwierząt. Z tego powodu łatwo fermentuje i kompostuje. Ma za to dużo mniej krzemionki, która odpowiada za twardość, sprężystość i trwałość słomy, czyli cechy cenne dla budownictwa.

Oba surowce używane są w hodowli zwierząt i rolnictwie, przy czym siano bardziej jako pasza, a słoma głównie jako ściółka (zarówno w hodowli, jak i ogrodnictwie), a także jako źródło materii organicznej w glebie - próchnicy (tzw. przyoranie).

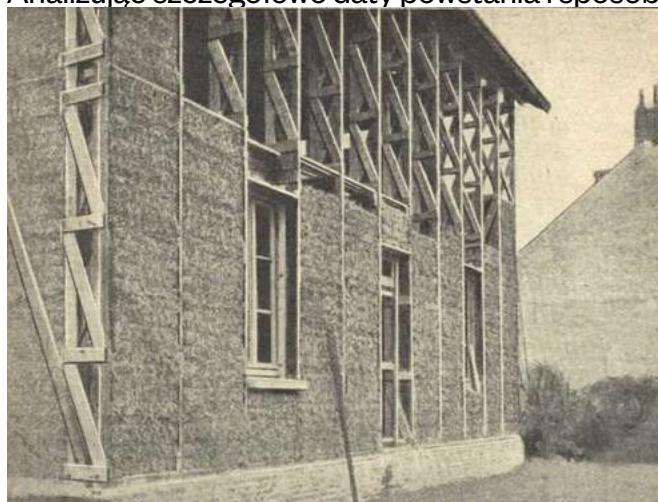
Rys historyczny

W tradycyjnym budownictwie słoma była szeroko stosowana: jako materiał na pokrycia dachowe (strzechy), izolacyjny i uszczelniający (warkocze słomiane, strychulec), jako podkład pod tynki (maty słomiane) i w połączeniu z innymi materiałami, np. gliną, jako zbrojenie i izolacja (cegły suszone, glina lekka, ściany szachulcowe, klepiska, polepy, tynki gliniane). Współczesne zastosowanie tego materiału różni się jednak znacznie od tradycyjnego. Przełomowym momentem był nowy wynalazek: prasa do siana i słomy wytwarzająca kostki - które nadawały się dobrze do układania jedna na drugiej. Pierwsze praktyczne, budowlane zastosowanie dla kostek znaleźli osadnicy w stanie Nebraska w drugiej połowie XIX wieku. W roku 1886 lub 1887 wykonano najstarszy udokumentowany prosty budynek szkolny z kostek siana [11]. Budynki hay bale i straw bale były wznoszone w rejonie Sand Hills do lat 40. XX wieku. Technologia straw bale na nowo rozwinęła się w latach 70. w wyniku kryzysu energetycznego oraz w związku z ideą powrotu

do natury. W latach 90. nastąpił intensywny transfer wiedzy z Ameryki Północnej do Europy - gdzie obecnie nadal rośnie popularność straw bale, w szybkim rozwija się także technologia, postępują prace badawcze.

Pojedyncze przypadki budowania z kostek słomy pojawiały się w Europie wcześniej. Najstarszy to Maison Feuillette, zbudowany w latach 1920–1921 dom we Francji [3], zaprojektowany i zrealizowany przez inżyniera Émila Feuillette'a. Drewniana konstrukcja budynku składa się z podwójnych słupów, połączonych przewiązkami (tak, jak w kratownicach). Budynek jest w dobrym stanie i stanowi dowód trwałości kostek słomy jako materiału izolacyjnego.

Analizując szczegółowo daty powstania i sposób



Źródło: La Science et la Vie, nr 56, Paryż 1921

Zdjęcie 1. Budowa domu w Montargis (Francja, 1920–1921). Pierwszy przykład zastosowania konstrukcji szkieletowej w budynku z kostek słomy. Proj. Émile Feuillette

budowy kilku innych “pierwszych” budynków z kostek słomy można stwierdzić, że ta technika budowania została „wynaleziona” w różnych odmianach wielokrotnie, równolegle w różnych częściach świata. Przełomowy czas dla szerokiego rozwoju nastąpił w ostatnich trzech dekadach XX wieku na kontynencie amerykańskim. Współcześnie liderem w rozwoju budownictwa straw bale jest Francja, gdzie liczbę budynków tego typu szacuje się na ponad 10 tys.



Źródło: Maciej Jagieliak

Zdjęcie 2. „Gateway Building” Uniwersytetu w Nottingham, Bonnington (Wielka Brytania). Budynek powstał w 2011 roku, kostki słomy pozyskano z upraw na terenie uczelni, a prefabrykaty wykonano w pobliżu budowy.. Proj. Make Architects

Dostępność/pozyskiwanie

Jak wygląda zbiór słomy? Do niedawna jeszcze popularne były napędzane ciągnikiem prasy do zbierania i kostkowania słomy na polu. W efekcie ich pracy powstają tzw. małe kostki o wymiarach: długość ok. 50-120 cm, szerokość ok. 45-50 cm, wysokość ok. 35-40 cm. Regionalna nazwa tej formy na wschodzie Polski to ciuk, a prasa do ich wykonania to ciukarka. Współcześnie występują również duże kostki (ang. jumbo bales) o rozmiarach dochodzących do 2 m. Bardziej popularne w rolnictwie są jednak baloty, czyli rolki o średnicy zwykle 1,5 - 2,0 m, wiązane siatką polipropylenową, ładowane i układane podnośnikiem widłowym, mocowanym do ciągnika. Zastosowanie tak sprasowanej słomy do budowy wymaga “przeprasowania” ponownie z balotu do docelowej formy, czyli kostki lub prefabrykatu. Dzieje się to ze szkodą dla struktury materiału. Ma to mniejsze znaczenie w przypadku produkcji prefabrykatów, gdy stosuje się odpowiednie maszyny oraz prowadzi kontrolę jakości. W produkcji systemem gospodarczym powinno się unikać przeformatowania. Warto zaznaczyć, że pomimo ogromnego popytu na słomę w rolnictwie, jej produkcja znacząco przewyższa zapotrzebowanie.

Ślad węglowy i gospodarka obiegu zamkniętego

Jeżeli chodzi o ślad węglowy oraz ślad ekologiczny straw bale opublikowano wiele kalkulacji [7]. Wyniki wskazują, że kostki słomy są wyjątkowo dobrze oceniane w porównaniu do innych materiałów izolacyjnych. Porównując parametry, należy jednak rozpatrywać każdy przypadek indywidualnie i brać pod uwagę całą przegrodę -, a najlepiej cały budynek, na wszystkich etapach życia. Analizy LCA (life cycle assessment, czyli środowiskowa ocena cyklu życia) dla przegród o konstrukcji drewnianej wypełnionej słomą także wypadają korzystnie. Wpływ na wyniki mają również pozostałe materiały zastosowane w przegrodzie. Najważniejszym czynnikiem są jednak nakłady energetyczne w całym czasie użytkowania budynku, które w skali 30-50 lat są zwykle wielokrotnie wyższe niż podczas budowy. Dla wspomnianych kalkulacji bardzo duże znaczenie ma uwzględnienie sekwestracji (magazynowania) CO₂ przez rośliny podczas wzrostu. Jeśli jest ona wzięta pod uwagę, materiały pochodzenia roślinnego mogą mieć ujemny ślad węglowy, a przegrody z nich powstałe mogą być postrzegane jako "magazyn" dwutlenku węgla.

Mając na uwadze cele zrównoważonego rozwoju, straw bale wykazuje wiele pozytywnych cech:

- niski ślad węglowy kostek słomy i materiałów zwykle stosowanych łącznie z nimi (zwłaszcza drewna i tynków glinianych);
- niski ślad ekologiczny materiałów (jw.);
- niski nakład energii na produkcję materiałów i budowę (jw.);
- lokalna, dość powszechna dostępność materiałów, duże zasoby (jw.);
- roczna odnawialność zasobów słomy, powiązana z produkcją ziarna;
- redukcja ilości odpadów na etapie budowy (słoma, drewno, glina, piasek, wapno są materiałami, które można łatwo utylizować - często w obrębie terenu inwestycji);
- możliwość wtórnego użycia drewna czy tynków glinianych lub niekłopotliwej utylizacji/

kompostowania drewna, słomy, tynków glinianych i wapiennych) po zakończeniu życia budynku;

- dobre właściwości termoizolacyjne przegród, umożliwiające realizację budynków energooszczędnych [4 s.72,73].

Parametry techniczne

Izolacyjność termiczna

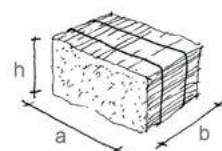
Od sposobu prasowania zależy kierunek ułożenia źdźbeł słomy, a to wpływa na różne właściwości kostki. Można to sobie łatwo wyobrazić, porównując źdźbła do rurek. Przepływ strumienia ciepła wzdłuż ułożonych ciasno koło siebie rurek napotyka na mniejszy opór niż przepływ w poprzek.

Różnice pomiędzy licznymi, dostępnymi w literaturze wynikami badań laboratoryjnych są na tyle istotne, że utrudniają wyciągnięcie jednoznacznych wniosków do celów projektowania. Duże znaczenie ma również sposób przygotowania próbek do badań - układ źdźbeł w małej próbce bywa znacznie bardziej uporządkowany, niż w kostce słomy.

W praktyce projektowej najlepiej jest korzystać z parametrów dla konkretnych, zbadanych

Typowe wymiary małych kostek słomy

długość $a = 50 - 120$ cm
szerokość $b = 45 - 50$ cm
wysokość $h = 35 - 40$ cm

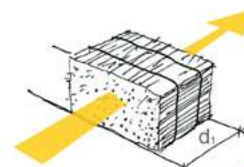


Sposób wbudowania / ułożenia kostek w ścianie

na płask

grubość izolacji $d_1 = b$

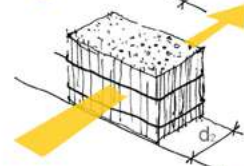
kierunek przepływu strumienia ciepła równoległy do źdźbeł słomy



na rąb

grubość izolacji $d_2 = h$

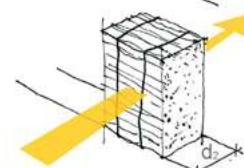
kierunek przepływu strumienia ciepła prostopadły do źdźbeł słomy



stojąco

grubość izolacji $d_2 = h$

kierunek przepływu strumienia ciepła prostopadły do źdźbeł słomy



Rysunek 1. Wymiary i sposób układania kostek słomy.

Źródło: Maciej Jagielak, cyt. [4] s. 26



Zdjęcie 3. Próbkę przygotowane na zlecenie OSBN do badania współczynnika przewodności cieplnej kostek słomy. Wykonawca próbek: Moritz Reichert.

wyrobów budowlanych. Wyniki badań z dokumentów EOT z Niemiec, Austrii, Portugalii i Litwy [13]-[20], a także badań z Polski, przeprowadzonych w ITB (zgodnie z normą PN-EN 12667:2002, potwierdzają poniższe wartości współczynnika λ , o gęstości słomy ok. 100 kg/m^3 :

- przepływ prostopadle do źdźbeł: $0,046 - 0,052 \text{ W/m}^2\text{K}$
- przepływ równolegle do źdźbeł: $0,073 - 0,080 \text{ W/m}^2\text{K}$

W badaniach prefabrykatów, w których słoma jest ułożona wielokierunkowo, wartość plasuje się mniej więcej pośrodku skali: $\lambda_d = 0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$. Co ciekawe, znakomity wynik osiągnęła w badaniach słoma ryżowa (nie podano jej kierunku ułożenia): $\lambda_d = 0,044 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Kostki słomy wykazują bardzo dobre właściwości izolacyjne, w porównaniu do innych naturalnych, niskoprzetworzonych materiałów, takich jak drewno lub glina lekka. W porównaniu do stosowanych aktualnie produktów izolacyjnych, np. wełny mineralnej, styropianu, PIR) straw bale cechuje mniej korzystny współczynnik przewodności cieplnej, który wymusza stosowanie grubszej izolacji. Jest to jednak spójne z praktyką budowania, gdzie grubość warstwy izolacji wynika z wymiaru kostki słomy. Dla obliczeń izolacyjności ściany istotne znaczenie ma sposób ułożenia w niej kostek. Wariant bez tego najczęściej stosowany w Polsce to ułożenie małych kostek słomy na płask, gdzie przepływ strumienia ciepła występuje wzdłuż źdźbeł. Dla takiej ściany, przy

grubości warstwy izolacji ze słomy 42–45 cm można oczekiwać współczynnika U na poziomie $0,17-0,185 \text{ (W/m}^2\text{K)}$. Przyjęty przedział 42–45 cm, wynika z tego, że w praktyce ściana z kostek 45 cm powinna być projektowana na 42 cm, by umożliwić strzyżenie. Wyniki obliczeń uzyskane w programie Ubakus [<https://www.ubakus.de/u-wert-rechner/>? dostęp 19.02.2023] kształtują się następująco: $\lambda_r = 0,08$, $d = 42-45 \text{ cm}$, tynk gliniany wewn. = 4 cm, tynk wapienny zewn. = 3 cm i zależą od rozmieszczenia konstrukcji drewnianej.

Wartość współczynnika U będzie się wahać w zależności od szczegółów konstrukcji i zastosowanych układów warstw. Lepsze parametry można osiągnąć przez wbudowanie kostek na rąb, użycie dodatkowych warstw izolacji (np. płyt z włókien drzewnych lub lignocelulozowych) albo zastosowanie dużych kostek (jumbo bales).

Pojemność cieplna

Izolację z kostek słomy cechuje znacznie większa gęstość (od 85 kg/m^3 wzwyż) niż typowe materiały izolacyjne (np. wełna mineralna – ok. 27 kg/m^3 , styropian – ok. 18 kg/m^3). Przy wysokiej wartości ciepła właściwego $c = \text{ok. } 2 \text{ kJ/(kgK)}$ oznacza to, że izolacja z kostek słomy ma wyraźnie wyższą pojemność cieplną od np. wełny mineralnej czy styropianu, tj. $C = 56 \text{ Wh/(m}^3\text{K)}$ [8]. Ten parametr wypada więc bardzo korzystnie w porównaniu do współczesnego, lekkiego budownictwa szkieletowego. Wpływa to na wolniejsze zmiany temperatury w budynku, a więc redukuje skoki temperatury wewnątrz w ciągu dobowych zmian temperatury na zewnątrz. Latem zapewnia ochronę przed upałem, szczególnie w miejscach, gdzie występują duże dobowe różnice temperatur [2].

Odporność na ogień

Bezpieczeństwo pożarowe domów ze słomy budzi wiele kontrowersji. Co zapewne zaskoczy wiele osób, ściany straw bale przeszły z dobrymi wynikami wiele testów ogniowych - w USA, Kanadzie i Europie, również w Polsce. Od strony praktycznej, rozpatrzenia wymagają dwie odmienne sytuacje: czas budowy i okres użytkowania obiektów.

Bezpieczeństwo pożarowe na etapie budowy

Podwyższone ryzyko pożaru może wystąpić na etapie budowy - luźna słoma jest łatwopalna. Należy regularnie usuwać ją z przestrzeni pracy i wywozić lub składować w bezpiecznym miejscu.

Poprawnie składowana luźna słoma może przydać się do wypełnienia szczelin w przegrodach lub jako dodatek do tynku w formie sieczki. Ważne jest zachowanie zasad bezpieczeństwa i porządku na placu budowy: należy egzekwować bezwzględny zakaz palenia i używania otwartego ognia, oraz zakaz używania w pobliżu słomy narzędzi generujących iskry (np. cięcia stali szlifierką kątową). Kostki wbudowane w ściany i „ostrzyżone”, należy jak najszybciej pokryć warstwą podkładowego tynku lub płytowaniem w zależności od projektu. Po tym etapie jest już znacznie bezpieczniej, jednak przez cały okres budowy należy brać pod uwagę, że budynek składa się w dużej mierze z materiałów palnych takich jak słoma, drewno. Wszyscy uczestnicy budowy powinni być o tym poinformowani i przeszkoleni, zwłaszcza że większość wykonawców w Polsce ma doświadczenie głównie ze wznoszeniem budynków murowanych. O podniesienie poziomu bezpieczeństwa można zadbać już na etapie projektu, np. w budynku straw bale nie należy projektować papy zgrzewanej w podłodze czy na balkonach. Stosowanie prefabrykowanych paneli z drewna i słomy także może zmniejszać ryzyko pożaru, niezabezpieczona słoma i drewno znajdują się na budowie znacznie krócej, do minimum ograniczona jest również ilość luźnej słomy.

Reakcja na ogień

Kostka słomy (słoma sprasowana do gęstości min. 85 kg/m³) bez dodatków, wg dostępnych dokumentów EOT [13]-[20], ma klasę E (tzw. euroklasę), określoną na podstawie testów reakcji na ogień. To minimalna klasa dopuszczająca materiał do zastosowania, np. w roli izolacji termicznej budynków, i oznacza, że to materiał palny o dużym udziale w pożarze (zgodnie z normą EN 13501). Z tego względu właściwym rozwiązaniem jest stosowanie słomy w zestawieniu z innymi wyrobami, np. niepalnymi tynkami czy płytami.

NRO

Badanie stopnia rozprzestrzeniania ognia przez ściany zewnętrzne przy oddziaływaniu ognia z zewnątrz, jest wykonywane w celu potwierdzenia klasyfikacji NRO, czyli nierozprzestrzeniania ognia przez ścianę. Badanie takie przeprowadzono w naszym kraju na zlecenie OSBN na podstawie normy PN-90/B-0286 w akredytowanym laboratorium. Badane próbki ścian słomianych z tynkiem wapiennym zostały sklasyfikowane jako NRO. Badanie przeprowadzono na zlecenie Ogólnopolskiego Stowarzyszenia Budownictwa Naturalnego [Klasyfikacja ogniowa nr: K/09/NRO/2017, Raport z Badań 09/NRO/2017/T1].

Odporność ogniowa

Ściany z kostek słomy osiągają bardzo korzystne wyniki w testach odporności ogniowej REI (gdzie R – nośność, E – szczelność, I – izolacyjność). Przedmiotem badania są próbki o wymiarach ok. 3 × 3 m, czyli wykończone ściany w naturalnej wielkości. Ponieważ ściana ma pełnić funkcje nośne, test jest wykonywany pod obciążeniem.

Badania tego typu wykonano już wielokrotnie w różnych krajach, także w Polsce. Ściany poddawane są w nich działaniu płomieni i temperatur przekraczających 1000°C. Wynik testu mówi nam o tym, jak długo przegroda chroni ludzi przed pożarem, co wpływa np. na ilość czasu na ewakuację. Tak określane są progi czasowe - 30, 60, 90, 120 minut. Test uznaje się za zdany, jeśli konstrukcja wytrzyma, a przez ścianę nie przedostaną się ogień, ani wysoka temperatura.

W Polsce testy odporności ogniowej zostały

przeprowadzone w marcu 2024 r., badaniom poddano prefabrykaty o konstrukcji drewnianej, wypełnione sprasowaną słomą o gęstości ok. 100 kg/m³. Od wewnątrz wykończono je płytami glinianymi (gr. 1,6 cm) i tynkiem glinianym (gr. 0,5 cm), a od zewnątrz płytami izolacyjnymi na bazie lignocelulozy (gr. 6 cm). Próbkę poddano obciążeniu 32 kN/m długości ściany. Jedno badanie dotyczyło działania ognia od zewnątrz budynku, drugie od wewnątrz. Ściana otrzymała klasyfikację REI 90 / REI 90 (o→i) - dla oddziaływania ognia z zewnątrz i REI 120 (i→o) - dla oddziaływania ognia od środka budynku

Raport z badań zostanie opublikowany w ramach projektu „Dekarbonizacja procesów budowlanych: wprowadzenie materiałów naturalnych o zerowym śladzie węglowym, w tym drewna do gospodarki obiegu cyrkularnego w budownictwie”.

Zachowanie środków bezpieczeństwa

Odporność pożarowa przegród to jednak nie wszystko. Należy mieć na uwadze pozostałe aspekty bezpieczeństwa pożarowego. Kostki słomy są materiałem palnym, a domy straw bale to najczęściej obiekty o konstrukcji drewnianej, często z drewnianymi, odsłoniętymi stropami, drewnianymi elementami wykończenia, podłogami itd.

Często stosuje się drewniane pokrycia dachu takie, jak gont, wiór osikowy. Ponadto źródłem ciepła nierzadko są piece lub kotły na paliwo stałe: kominki, kozy, piecokuchnie. Biorąc to wszystko pod uwagę, należy zachować podwyższoną ostrożność.

Ryzyko można zminimalizować poprzez poprawny projekt, wykonanie i użytkowanie. Za to szczególnie niebezpieczne mogą się okazać błędy budowlane, brak wiedzy czy presja czasowa, by np. zacząć użytkowanie pomimo niezakończonych prac, zwłaszcza w przypadku budowy prowadzonej systemem gospodarczym.

Paroprzepuszczalność, zabezpieczenie przed działaniem wody

Ściany straw bale najczęściej składają się z warstw materiałów wysoce paroprzepuszczalnych, czyli takich, które cechuje mały opór dyfuzyjny. Dlatego potocznie opisywane są jako “oddychające”. Zaletą stosowania takich materiałów zwłaszcza po zewnętrznej stronie jest przede wszystkim to, że przegroda wysycha po zawilgoceniu.

Nie należy tego procesu utożsamiać z wymianą powietrza i odprowadzaniem wilgoci z wnętrza budynku. Za to odpowiada przede wszystkim sprawna wentylacja, która jest podstawowym, niezbędnym systemem w każdym budynku. Rolą wentylacji jest odprowadzanie nadmiaru wilgoci, dwutlenku węgla i innych czynników szkodliwych dla zdrowia lub zwyczajnie uciążliwych, takich jak np. przykre zapachy. Ilości wilgoci odprowadzanej z budynku przez system wentylacji i absorbowanej przez przegrody charakteryzują zupełnie różne wielkości.

Słoma w warunkach suchych jest materiałem trwałym. Podstawą jej trwałości jest więc niedopuszczenie do nadmiernego oddziaływania na nią wilgoci, w tym skroplin czy opadów. Kostki słomy jako materiał budowlany muszą być chronione przed wodą, m.in. deszczem na wszystkich etapach - od produkcji, przez składowanie do wbudowania.

Przy projektowaniu i wykonywaniu budynków z kostek słomy należy zapewniać ochronę przed wilgocią:

- ściany z kostek słomy należy zabezpieczyć przed opadami, np. poprzez stosowanie odpowiednich okapów, cokołów, elewacji wentylowanych, impregnowanie tynków;
- prace mokre muszą być planowane z uwzględnieniem możliwości wysychania/wiązania tynków i kontrolowania wilgotności w budynku;
- należy uwzględnić analizy cieplno-wilgotnościowe przy projektowaniu układu warstw w przegrodach z kostek słomy. Często dochodzi do wykrapłania wilgoci w przekroju

przegrody straw bale, ich trwałość zależy od tego czy będą mogły wysychnąć, zanim powstaną warunki sprzyjające rozwojowi grzybów;

- rozwiązania, polegające na nakładaniu tynków bezpośrednio na słomę, są dopuszczalne pod warunkiem ochrony ściany przed opadami (zgodnie z dokumentem EOT [16]). Ochrona przegród, zwłaszcza ścian tynkowanych, przed deszczem jest kluczowym, a niedocenianym wymogiem projektowania budynków straw bale. Konieczna jest również najwyższa staranność w zmniejszaniu szczelności i mostków cieplnych, zarówno od strony projektowej, jak i wykonawczej.

Zabezpieczenie przed działaniem gryzoni, insektów, grzybów

Kostki słomy są narażone na działanie gryzoni i innych małych ssaków, podobnie jak inne izolacje termiczne. Muszą być przed nimi zabezpieczone tynkami o co najmniej dwucentymetrowej grubości lub płytowaniem. Dodatkowo stosuje się siatki stalowe w miejscach szczególnie narażonych (np. cokół).

Bardzo istotne jest projektowanie przegród w taki sposób, by nie dochodziło w nich do warunków umożliwiających wzrost grzybów pleśniowych, czyli wysokiej wilgotności i odpowiedniej temperatury. Konieczność zabezpieczenia słomy przed wilgocią wymusza stosowanie rozwiązań, które równocześnie służą ochronie przegrody przed szkodnikami, tj. wykonanie szczelnych tynków lub płytowań jako warstw ochronnych oraz projektowanie przegród w sposób nie dopuszczający do zawilgocenia.

Akustyka

Badania laboratoryjne izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych dla ścian zewnętrznych wskazują na wyniki w przedziale 43–49 dB [7]. Z relacji praktyków oraz z wyników badań wynika, że izolacyjność akustyczna ścian straw bale nie zależy wyłącznie od użytej w nich słomy, bardzo istotna jest tu zastosowana konstrukcja

oraz dobór materiałów towarzyszących słomie, zwłaszcza materiałów o dużej gęstości – np. tynków. Kluczowym zagadnieniem od strony wykonawczej jest szczelne wykonanie ścian i połączeń, np. ze stolarką, stropem, oraz unikanie mostków akustycznych, np. belek przechodzących przez ścianę [2].

Aspekty zdrowotne

Decyzja o budowaniu z kostek słomy często jest podyktowana myślą o dobrym mikroklimacie wewnątrz - budownictwo naturalne jest postrzegane jako zdrowy sposób budowania. Wiele osób mieszkających w domach straw bale odbiera je jako korzystnie wpływające na ich zdrowie i samopoczucie. Na podstawie nielicznych (na razie) wyników badań naukowych trudno jest jednak jednoznacznie potwierdzić prozdrowotne cechy tej technologii. Brak jest przekrojowych badań dotyczących dużych grup budynków.

Stosowanie we wnętrzach tynków glinianych, cegieł niepalonych czy drewna pomaga stabilizować wilgotność powietrza. Poziom wilgotności zależy jednak od zdecydowanie większej ilości czynników, przede wszystkim od systemu wentylacji i ogrzewania, a także stylu życia domowników. Znaczenie ma więc tutaj całościowe, świadome projektowanie, wykonanie oraz użytkowanie. Konsekwentne stosowanie naturalnych materiałów (przy jednoczesnym zadbaniu o wyżej wymienione aspekty) może prowadzić do uzyskania zdrowego wnętrza, dobrze odbieranego wszystkimi zmysłami.

Możliwości zastosowania

Pierwszym i nadal podstawowym jest zastosowanie kostek słomy w ścianach zewnętrznych budynków, chociaż bywają one również wbudowywane w dachach, podłogach, a eksperymentalnie - nawet w kopułach i sklepieniach.

Ściany

Podział na loadbearing i non-loadbearing (infill)

Metody wykorzystania kostek słomy jako materiału budowlanego dzieli się głównie na dwie grupy [9], w zależności od funkcji, jaką ma pełnić sprasowana słoma w ścianie. W pierwszej grupie, loadbearing (ang. nośny, przenoszący obciążenia) kostki słomiane pełnią w ścianie funkcję nośną. W drugiej grupie (non-loadbearing) kostki nie przenoszą obciążeń, służą najczęściej jako „wypełnienie” ściany o konstrukcji szkieletowej, stąd termin infill (ang. wypełnienie). Tu funkcję nośną pełni zazwyczaj konstrukcja drewniana, ale możliwe są również inne opcje.

Infill, czyli wypełnienie konstrukcji szkieletowej

Technika infill nie wprowadza rewolucyjnych zmian w sposobie projektowania i budowania - dlatego też jest bardzo rozpowszechniona. Wykonanie konstrukcji może, po krótkim przeszkoleniu prowadzić firma, zajmująca się budową standardowych konstrukcji ciesielskich. Obliczanie wytrzymałości konstrukcji przebiega standardowo, nie trzeba się też zmagać z problemem osiadania ścian. Ważne jest również poczucie bezpieczeństwa, związane z zastosowaniem „sprawdzonej” konstrukcji. Wykonanie dachu jest możliwe przed rozpoczęciem prac z użyciem słomy, co znacznie uniezależnia proces budowy od pogody [10]. Minusami techniki infill w stosunku do loadbearing jest nieco większe zużycie drewna oraz pracochłonność wypełniania konstrukcji kostkami słomy, co z kolei, w przypadku niestarannego wykonania, powoduje ryzyko powstawania dodatkowych mostków cieplnych i nieszczelności.

Kluczowe, w przypadku rozwiązania infill, jest zaprojektowanie konstrukcji tak, by nadawała się do wypełnienia słomą zgodnie z przyjętym rozmiarem kostek oraz sposobem układania z uwzględnieniem ewentualnej dodatkowej kompresji. Znane powszechnie, tradycyjne konstrukcje drewniane - konstrukcja słupowo-ryglowa oraz typowa konstrukcja szkieletowa lekka (kanadyjska, amerykańska czy skandynawska) - nie spełniają tych wymogów,

konieczne są istotne modyfikacje.

Właściwym rozwiązaniem może być zastosowanie: pojedynczych słupów drewnianych, słupów podwójnych, tzw. dwugałęziowych czy dwuteowników drewnianych, a nawet szerokich elementów z drewna klejonego. Konstrukcje drewniane ze słupami dwugałęziowymi są w Polsce najbardziej rozpowszechnione [4].

Prefabrykacja

Coraz popularniejszym kierunkiem rozwoju budownictwa słomianego jest prefabrykacja. Korzyścią w rozwiązaniach prefabrykowanych jest przede wszystkim czas montażu, a także powtarzalna, wysoka jakość wykonania elementów, wynikająca z kontrolowanych warunków w zakładzie (np. niezależność od pogody). Barię przy niewielkiej jak dotąd skali produkcji jest jednak cena, zwykle dość wysoka w porównaniu do konwencjonalnych systemów budowlanych.

Prefabrykacja zbliża budownictwo straw bale do standardowych rozwiązań rynku budowlanego, zamiast rzemieślniczego wykonania prac na miejscu budowy, ze słomy powstaje wyrób, przywieziony z zakładu produkcyjnego i montowany na placu budowy. Wzrost liczby realizacji i firm oferujących wykonanie budynków z prefabrykowanych elementów drewniano-słomianych świadczy o rozwoju technicznym straw bale w Polsce.



Zdjęcie 4. Budowa „ASZ House” w Łodzi z prefabrykatów drewniano-słomianych (2018–2019). Proj. Koziej Architekci

Źródło: Koziej Architekci

Loadbearing, czyli nośne zastosowanie kostek słomy

Zwolennicy tego rozwiązania podkreślają przede wszystkim ograniczenie ilości użytego drewna, co pozwala na pewne oszczędności [5]. Nie oznacza to jednak całkowitej rezygnacji z konstrukcji drewnianej, lecz jedynie eliminację słupów, rygli i zastrzałów. Ściany loadbearing potrzebują solidnych, szerokich podwalin i ociepów oraz obudowy otworów okiennych. Zaletą bywa łatwość wznoszenia ścian oraz ciągłość warstwy materiału izolacyjnego, nieprzerwanej słupami, co potencjalnie redukuje ilość mostków termicznych. Budowanie w ten sposób powoduje jednak pewne ograniczenia, pozostaje proste wykonawczo tylko w przypadku budynków o nieskomplikowanej bryle z umiarkowaną liczbą otworów okiennych. Zaplanowania wymaga ochrona przed deszczem przez cały proces budowy, ponieważ w przypadku tego rozwiązania dach powstaje najczęściej dopiero po wykonaniu ścian ze słomy [10].

Wyzwanie stanowi kompresja (złęg) słomy pod wpływem obciążenia - uwzględnienie tego procesu wymaga odpowiedniej wiedzy i doświadczenia zarówno na etapie projektowania, jak i wykonawstwa. Podstawowym warunkiem powodzenia rozwiązań loadbearing jest użycie mocno sprasowanych kostek słomy (min. 110 kg/m^3), które w Polsce są trudno dostępne.

Inne rozwiązania non-loadbearing. Izolacja kostkami słomy od wewnątrz lub od zewnątrz – w przypadku nowych konstrukcji

Istnieją również rozwiązania, w których kostki słomy znajdują się po zewnętrznej lub wewnętrznej stronie elementów konstrukcyjnych. Bardziej zasadne technicznie i rozpowszechnione jest umieszczenie słomy, czyli materiału izolacyjnego, po zewnętrznej stronie.

Rozwiązanie takie spotyka się w połączeniu z konstrukcjami drewnianymi, np. zrębową, z konstrukcją z płyt drewna klejonego CLT, lub też tradycyjną konstrukcją słupowo-ryglową, -gdy zależy nam na wyeksponowaniu konstrukcji wewnątrz pomieszczeń. Dobrym przykładem

tego zastosowania może być austriacki projekt „S-house” (proj. Architekten Scheicher).

Układ ze słomą po wewnętrznej stronie konstrukcji może być skomplikowany technicznie, jednak jest spotykany tam, gdzie celem jest wyeksponowanie konstrukcji drewnianej na zewnątrz budynku. Takie zastosowanie wymaga przeprowadzenia szczególnie wnikliwych analiz cieplno-wilgotnościowych i nie zawsze jest dopuszczalne.

Konstrukcje hybrydowe

Oprócz wymienionych wyżej grup spotkać można również rozwiązania mieszane [5], łączące cechy grup loadbearing i non-loadbearing. Jednym z rozwiązań hybrydowych jest technika GREB (występująca głównie w Kanadzie i Francji).

Termomodernizacje

W celu termomodernizacji, do istniejącej ściany dodać można warstwę izolacyjną z kostek słomy. Ze względu na technikę montażu i wymiary kostek słomy, zwykle konieczne jest wykonanie albo prostego fundamentu i ściany cokołowej, albo konstrukcji wspornikowej, które będą mogły nieść ciężar słomy i warstw wykończeniowych.

Wbudowanie kostek może przebiegać podobnie jak w technice infill, co wymaga odpowiedniej podkonstrukcji np. z drewna konstrukcyjnego lub desek. Możliwe jest też układanie warstw kostek słomy w sposób podobny do wznoszenia ściany loadbearing, z uwzględnieniem mocowania kostek do ściany konstrukcyjnej. Inną opcją jest montaż prefabrykatów drewniano-słomianych, np. poprzez przykręcenie ich do istniejącej przegrody.

Biorąc pod uwagę szeroką dostępność słomy i ogromną ilość budynków wymagających termomodernizacji i w Polsce, i całej Europie, wykorzystanie kostek słomy do termomodernizacji istniejących budynków wydaje się bardzo dobrą metodą. Problemem mogą być jednak gabaryty kostek słomy. Konieczność zapewnienia oparcia dla warstwy kostek, a także ochrony ich przed deszczem, co może wiązać się np. z koniecznością przedłużenia okapów dachu wymaga

znaczących nakładów, pracy i/lub finansowych. W rezultacie powstają bardzo grube ściany, co np. może zmniejszać ilość światła dziennego wpadającego do pomieszczeń, ale może też być wykorzystane jako element ekspresji architektonicznej (dobrym przykładem jest House Simma, proj. Georg Bechter).

Termomodernizacja przy użyciu kostek słomy jest warta rozważenia głównie jako szansa na użycie lokalnego, naturalnego materiału o niskim śladzie węglowym i dobrych parametrach opisanych powyżej, celem zmniejszenia zużycia energii w istniejącym budynku. Szereg firm w Europie prowadzi prace rozwojowe nad ulepszonymi wyrobami ze słomy do przeprowadzania termomodernizacji. Nadzieje budzą rozwiązania w formie mat i płyt o różnej konstrukcji i składzie, ponieważ ich montaż przebiega w sposób porównywalny do dominujących na rynku materiałów takich jak EPS czy wełna mineralna.



Zdjęcie 5. Dom Simma w Egg (Austria, 2011). Przykład przebudowy i termomodernizacji z użyciem dużych kostek słomy. Proj. Georg Bechter Architektur

Źródło: Georg Bechter Architektur



Zdjęcie 6. Przebudowa i termomodernizacja - agroturystyka „Osiedlisko nad Soną” w Spądoszynie. Po lewej na górze: stodoła przed adaptacją. Po prawej na górze: ściana murowana stodoły i lekka konstrukcja drewniana przygotowana do montażu kostek słomy. Budowa 2015. Proj. Janusz Kubiczek.

Źródło: Dominik Kucia

Dachy skośne i płaskie izolowane kostkami słomy w połaci

Kostki słomy znajdują również zastosowanie w dachach, jednak rzadziej niż w ścianach. Wykonanie na budowie izolacji termicznej połaci dachu skośnego kostkami słomy stanowi wyzwanie wykonawcze. W wypadku wbudowywania słomy od góry połaci trzeba mieć na uwadze przede wszystkim zapewnienie ochrony słomy przed opadami. Montaż kostek słomy od dołu połaci (od strony poddasza) jest trudny ze względu na wagę i gabaryty kostek, a także konieczność dokładnego wypełnienia. Na etapie projektu, konieczne jest dostosowanie konstrukcji dachu do wymiarów kostek.

Znaczna część budynków w Polsce, w których słoma została użyta jako izolacja dachu, jest zbudowana z prefabrykatów drewniano-słomianych. W takich wypadkach montaż dachu zajmuje zwykle nie więcej niż jeden dzień i połacie mogą zostać od razu zabezpieczone, np. membraną dachową, co uniezależnia proces budowy od warunków atmosferycznych. Same prefabrykaty mogą też być pokryte na etapie produkcji płytami odpornymi na opady.

Kostki słomy bywają w Europie stosowane w dachach płaskich, jednak z punktu widzenia fizyki budowli jest to rozwiązanie bardzo kłopotliwe. Trudno zaprojektować efektywną wentylację pomiędzy izolacją termiczną a warstwą hydroizolacji (papy, EPDM czy innego szczelnego materiału). Układy warstw stropodachu bez przestrzeni wentylacyjnej budzą natomiast poważne wątpliwości ze względu na ryzyko zawilgocenia słomy.

Stropy izolowane kostkami słomy

W przypadku stropów pomiędzy ogrzewanym pomieszczeniem a poddaszem nieużytkowym (lub innym pomieszczeniem nieogrzewanym) wykonywanie izolacji termicznej z kostek słomy może być praktycznym rozwiązaniem. Celem zabezpieczenia słomy przed pożarem, przewiewaniem, wilgocią i szkodnikami, izolacja stropu powinna spełniać te same wymogi co

w przypadku ścian, tj. należy zapewnić właściwą gęstość oraz zastosować odpowiednie płyty, membrany, tynk lub polepę.

Użycie kostek słomy w stropach jako izolacji akustycznej pomiędzy kondygnacjami użytkowymi nie jest rozwiązaniem racjonalnym ze względu na konieczność zbudowania stropu o znacznej grubości

Podłogi z izolacją termiczną z kostek słomy

Stosowanie kostek słomy jako izolacji termicznej podłóg jest dość rzadkie, ale możliwe - pod warunkiem zastosowania układu podłogi wentylowanej, czyli takiej, gdzie warstwy podłogi oddziela od gruntu pusta przestrzeń, w której jest przepływ powietrza.

Podłoga taka może być wykonana jako konstrukcja z belek drewnianych, wypełniona kostkami słomy, zabezpieczona od spodniej strony deskowaniem i/lub membraną i/lub płytami i podniesiona ponad grunt (najlepiej na nie mniej niż 0,50 m), np. na fundamentach punktowych. Od górnej strony oprócz warstw wykończeniowych zalecane jest także wykonanie szczelnych warstw np. w oparciu o membrany i/lub płyty.



Zdjęcie 7. Budowa "Kryjówki Strawbale" 35m2. Proj. eKodama Studio, Magdalena Górską

Wykończenia ścian z kostek słomy

Tynki

Pokrycie ścian kilkucentymetrową warstwą tynku glinianego lub wapiennego, ewentualnie kombinacji powyższych jest najczęściej stosowanym w Polsce rozwiązaniem wykończenia ścian straw bale. Zewnętrzna warstwa tynku chroni ścianę przed działaniem warunków atmosferycznych - zwłaszcza wiatru oraz (do pewnego stopnia) deszczu. Tynki cementowe, choć stosowane w budynkach straw bale w USA, w Europie nie cieszą się powodzeniem, ze względu na podatność na pękanie podczas osiadania słomy oraz słabą paroprzepuszczalność. Wielu autorów uważa ich użycie za błąd [10]. Tynki gliniane i wapienne są bardziej elastyczne, dzięki temu są mniej podatne na pękanie [5]. Oprócz tego są również wysoce paroprzepuszczalne, co umożliwia wysychanie kostek słomy w wypadku zawilgocenia ściany [12].

Tynkom glinianym i wapiennym przypisuje się również korzystny wpływ na zdrowie mieszkańców oraz mikroklimat we wnętrzu domu. Tynki gliniane mają niski ślad ekologiczny, dlatego ich stosowanie jest szczególnie korzystne. Są wyjątkowe również dlatego, że nie wiążą chemiczne - zaschnięty tynk gliniany można rozmoczyć i wykorzystać ponownie, łatwo też wprowadzać poprawki w trakcie tynkowania, co jest bardzo pomocne dla początkujących. Ich wykonywanie jest pracochłonne, ale bezpieczne, brak w nich składników szkodliwych dla zdrowia. To zatem dobra propozycja dla osób, planujących budowę systemem gospodarczym [5].

Tynki zewnętrzne, w tym najczęściej stosowane tynki wapienne, powinny być chronione przed częstym, bezpośrednim moczeniem przez opady. Według Europejskiej Oceny Technicznej [16] dla kostek słomy Baustroh tynkowanie (jako warstwa zewnętrzna) kostek słomy jest dopuszczone tylko warunkowo, gdy można zapewnić ich ochronę przed deszczem (np. przez impregnację lub odpowiednie zadaszenia).

Płyty

Jako elementy ściany izolowanej kostkami słomy można stosować także różnego rodzaju płyty. Bezpośredni ich montaż (za pomocą gwoździ, zszywek lub wkrętów) jest możliwy w tych rozwiązaniach, gdzie słupy konstrukcji drewnianej są widoczne w licu ściany. Po zewnętrznej stronie stosuje się płyty z materiałów izolacyjnych o wysokiej paroprzepuszczalności - takie jak płyty z włókien drzewnych lub innych włókien roślinnego pochodzenia (np. z włókien lignocelulozowych).

Płyty tworzą również dodatkową izolację termiczną, co korzystnie wpływa też na bezpieczeństwo wilgotnościowe słomy, a jeśli są wykonane z połączeniami na pióro-wpust i uszczelnieniem taśmami, stanowią także warstwę wiatroizolacyjną. Zewnętrzna strona płyt bywa wykończona tynkiem lub elewacją wentylowaną. Od wewnątrz stosowane bywają płyty izolacyjne lub sztywne płyty drewnopochodne, np. OSB czy płyty na bazie cementu lub magnezu. Uzasadnieniem dla stosowania płyt OSB, MFP, cementowych etc. mogą być względy konstrukcyjne lub potrzeba zaprojektowania warstwy opóźniającej przenikanie pary do wnętrza ściany. Szczelność zapewnia płytom klejenie połączeń taśmami lub przyklejenie do nich odpowiedniej membrany. Obliczenia ciepłno-wilgotnościowe często wskazują, że jest to rozwiązanie bardziej bezpieczne niż bezpośrednie tynkowanie słomy, choć nie zawsze spotyka się z aprobatą zwolenników materiałów naturalnych. Od strony pomieszczeń płyty mogą zostać wykończone np. tynkiem glinianym po wcześniejszym obiciu płyt np. matą trzcinową. Zamiast tynków wewnętrznych można również zastosować płyty gliniane lub płyty gipsowo-kartonowe.

Elewacje wentylowane

Gdy za warstwą materiału widocznego na elewacji, np. desek czy blachy znajduje się pionowa szczelina umożliwiająca przepływ powietrza, mówimy o elewacji wentylowanej. Na dole ściany znajdują się wloty do szczeliny, a na górze - wyloty. Szerokość szczeliny wynosi nie mniej niż 3 cm, powinna być dobrana indywidualnie, w projekcie.

Taka elewacja ma za zadanie spełnić dwa warunki: zabezpieczyć budynek przed deszczem i umożliwić odprowadzenie wilgoci pochodzącej z pary wodnej zgromadzonej w przegrodzie i/lub przemieszczającej się przez warstwy ściany drogą dyfuzji z wnętrza budynku na zewnątrz.

W budynkach straw bale takie rozwiązanie podnosi bezpieczeństwo całego układu ściany – znacznie zmniejsza ryzyko zamoczenia słomy czy podniesienia wilgotności wewnątrz ściany w wyniku oddziaływania deszczu na tynk. (Wg Europejskiej Oceny Technicznej [16] elewacja wentylowana jest właściwym wyborem w większości przypadków).



Źródło: eKodama

Zdjęcie 8. Dom w Kotlinie Kłodzkiej (2015–2017). Widać połączenie elewacji wentylowanej z desek oraz tynków wapiennych. Proj. eKodama Studio

W jakich budynkach możemy zastosować słomę?

W Polsce powstało już kilkaset budynków straw bale, głównie domów. Przykłady z innych krajów pokazują, że zastosowanie kostki słomianej nie muszą się ograniczać do zabudowy jednorodzinnej. Przykładowo we Francji i Niemczech zrealizowano także obiekty użyteczności publicznej o interesujących formach architektonicznych, w tym przedszkola, szkoły, biura czy budynki wielorodzinne.

Architekci z pracowni Architektura Pasywna Pyszczek i Stelmach zaprojektowali najprawdopodobniej jedyny dotychczas w Polsce obiekt użyteczności publicznej, znany jako "Ekozofia Niepełnosprawnych", dla którego wydano

pozwolenie na budowę - nie został on jednak jeszcze zrealizowany.

Uwarunkowania prawne

Sytuacja obecnie różni się w poszczególnych krajach, w warunkach europejskich zagadnienia zastosowania nietypowych materiałów budowlanych sprowadzają się głównie do potwierdzenia, w jaki sposób dany wyrób został dopuszczony do stosowania w budownictwie, czy jeszcze bardziej formalnie rzecz ujmując: wprowadzony do obrotu. Jedynie we Francji wypracowano zasady dobrej praktyki, które obowiązują na prawach normy, dając podstawy do działania profesjonalnym wykonawcom, zarówno producentom, jak i rzemieślnikom.

W Polsce mamy co najmniej dwie drogi, które umożliwiają wykazanie, że kostki słomy lub wyroby z nich wykonane mogą być zastosowane w budynku jako wyroby budowlane:

1. opracowanie indywidualnej dokumentacji i "dopuszczenie do jednostkowego zastosowania" - na podstawie art. 10 Ustawy o Wyrobach Budowlanych z dn 16.04 2004 (z późniejszymi zmianami);
2. zastosowanie wyrobu budowlanego z kostek słomy, który został dopuszczony do obrotu w innym państwie na podstawie krajowej lub europejskiej oceny technicznej (KOT lub EOT).

Procedura zgłoszenia czy pozwolenia na budowę dla budynku z zastosowaniem takich wyrobów nie powinna odbiegać od typowej. Najprostszym rozwiązaniem w projektowaniu większych obiektów z zastosowaniem kostek słomy jest stosowanie wyrobów certyfikowanych (objętych EOT) z innego kraju lub udział podmiotu z innego kraju w certyfikacji kostek słomy wykonanych w Polsce. Dobrym rozwiązaniem byłoby w przyszłości uzyskanie przez producenta z Polski dokumentów KOT/EOT dla swoich wyrobów, kostek lub prefabrykatów. Rozwiązaniem docelowym powinno być opracowanie krajowych lub europejskich norm dla straw bale zarówno jako wyrobu, jak i techniki budowania.

W przypadku izolacji zasypowych, mat i płyt na bazie słomy sytuacja jest łatwiejsza dla

producentów, ponieważ istnieją normy, do których mogą się odnieść, deklarując właściwości użytkowe. Dopuszczone do obrotu wyroby tego rodzaju polskiej produkcji są już dostępne na rynku.

Zastosowanie słomy (klasa reakcji na ogień E) i konstrukcji drewnianych (klasa D) jest w Polsce znacznie ograniczone poprzez przepisy pożarowe. Dotychczas w technologii straw bale projektowano u nas głównie budynki mieszkalne jednorodzinne, gospodarcze, zagrodowe, rekreacji indywidualnej. W najbliższej przyszłości prawdopodobnie będzie możliwe także projektowanie niskich budynków użyteczności publicznej i wielorodzinnych do 5-ciu kondygnacji naziemnych, zwłaszcza w sytuacji, gdy obiekty ograniczają się do jednej strefy pożarowej. Mieszanie technologii ze „standardowymi”, czyli np. wykonanie ścian oddzielenia pożarowego z materiałów niepalnych lub stosowanie systemów płyto-warń i wykończeń o dobrze udokumentowanych cechach, może pozwolić na dalsze poszerzenie zakresu zastosowań.

Podsumowanie

Słoma jako materiał budowlany może być szeroko stosowana w budownictwie, a dzięki swoim cechom dobrze wpisuje się w założenia gospodarki obiegu zamkniętego. Stanowi dobrą izolację termiczną i bazę do produkcji wielu wyrobów, jest produktem ubocznym upraw zbożowych na ziarno, odnawialnym rokrocznie. Technika straw bale może być alternatywą dla konwencjonalnych technik budowlanych, właściwie zaprojektowane i wykonane przegrody z izolacją z kostek słomy są odporne na działanie warunków atmosferycznych oraz spełniają warunki ochrony przeciwpożarowej. Przykłady z innych krajów pokazują, że możliwe jest używanie słomy w szerszej skali: w budynkach użyteczności publicznej i mieszkalnych wielorodzinnych.

Bibliografia

1. da Costa, B.B.F. et al.: Analyzing user satisfaction regarding straw bales buildings: A survey study, *Informes de la Construcción*, tom 74, nr 568, 2022 [dostępne online] <https://doi.org/10.3989/ic.89959> [dostęp 9.02.2023].
2. *Design of Straw Bale Buildings: The State of Art*, [ed.] B. King, Green Building Press, San Rafael 2006.
3. Floissac, L.: *La construction en paille. Principes fondamentaux - Techniques de mises en œuvre - Exemples de réalisations*, Terre vivante, Mens 2012.
4. Jagielak, M., rozprawa doktorska: „Straw bale, czyli architektura z kostek słomy w Polsce”, Wydział Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2023.
5. Jones, B.: *Building with straw bales*, Green Books, Dartington 2009.
6. King, B.: *Buildings of earth and straw. Structural design for rammed earth and straw-bale architecture*, Ecological Design Press, Sausalito 1996.
7. Koh C.H., Kraniotis D.: A review of material properties and performance of straw bale as building material, *Construction and Building Materials*, tom 259, 2020, numer artykułu: 120385.
8. Minke, G., Krick, B.: *Podręcznik budowania z kostek słomy: podstawy, konstrukcje, przykłady*, tłum. Z. Bieliński, Fundacja Cohabitat, Łódź 2015.
9. Minke G., Mahlke F.: *Building with straw. Design and technology of a sustainable architecture*, Birhauser, Basel-Berlin 2005.
10. Nitzkin, R., Termens, M.: *A complete guide to straw bale building*, Permanent Publications, East Meon 2020.
11. Welsch, R.L.: *Baled hay*, [w:] Shelter, Shelter Publications Inc., Bolinas, 2010 [reprint wydania z 1973].
12. Wihan, J.: *Humidity in strawbale walls and it's effects on decomposition of straw*, praca magisterska, University of East London School of Computing and Technology, 2007.

Europejskie i krajowe oceny techniczne (EOT, KOT):

13. Aprobata techniczna (niemiecka): AbZ Z-23.11-1595 (3 kolejne dokumenty) z dnia: 10.02.2006, 13.02.2009, 01.02.2014
14. Aprobata techniczna (niemiecka): AbZ Z-23.11-1595 (zmieniona) z dnia 03.06.2014 dla wyrobu „Baustrohballen”
15. Aprobata techniczna (austriacka): ÖTZ-2013/008/6 z dnia 30.12.2013 dla wyrobu „S-HAUS Ballen”
16. Europejska Ocena Techniczna ETA-17/0247 z 21.06.2017 dla wyrobu „Baustroh”
17. Europejska Ocena Techniczna ETA-10/0032 z 12.04.2010 dla wyrobu „Waldland Baustrohballen”
18. Europejska Ocena Techniczna ETA-10/0032 z 30.09.2019 dla wyrobu „SonnenKlee Baustrohballen”
19. Europejska Ocena Techniczna ETA 19/0219 z 03.03.2020 – dla wyrobu „DuraBale – Rice straw building systems”
20. Krajowa ocena techniczna (litewska) NTJ-01-061:2019 z 14.01.2019 dla wyrobu EcoCocon

2.3 Ziemia i glina

dr Piotr Narloch

Dlaczego warto budować z ziemi i gliny?

Surowa ziemia od wieków wykorzystywana była do wznoszenia budynków. Wynikało to z jej dostępności, niskich kosztów i dobrych właściwości budowlanych. Zapomniano o budowaniu z ziemi w XX wieku, wraz z rozwojem przemysłu i pojawieniem się nowych materiałów budowlanych takich, jak beton i stal. Materiały te były postrzegane jako bardziej nowoczesne i trwałe, a budowa z nich była szybsza i łatwiejsza.

Jednak w ostatnich latach obserwujemy wzrost zainteresowania budownictwem z surowej ziemi. Wynika to z kilku powodów. Pierwszym z nich jest rosnąca świadomość ekologiczna społeczeństw rozwiniętych. Obecnie budownictwo z surowej ziemi jest wykorzystywane do budowy różnego rodzaju obiektów, od domów jednorodzinnych po duże budynki publiczne. O rosnącym zainteresowaniu materiałami z ziemi świadczy szybko rosnąca liczba norm projektowych w rozwiniętych gospodarkach – jedna trzecia z nich powstała w ostatnich dziesięciu latach.

Materiały z ziemi są zwykle pozyskiwane lokalnie, co minimalizuje wpływ na środowisko i zapotrzebowanie na energię. Są to rozwiązania ekonomiczne, ekologiczne, o doskonałych parametrach fizycznych.

Budynki z ziemi mają dużą masę termiczną, co oznacza, że mogą magazynować ciepło w ciągu dnia i oddawać je w nocy, pomagając w utrzymaniu stabilnej temperatury wewnętrznej. Materiały z ziemi naturalnie regulują wilgotność, co może przyczyniać się do lepszego komfortu wewnątrz budynku. Materiały te nie wydzielają toksycznych substancji, co jest częstym problemem w przypadku niektórych „nowoczesnych” materiałów budowlanych. Może to wpływać na lepszą jakość powietrza wewnątrz i ogólnie lepsze środowisko mieszkalne, wpływające korzystnie na zdrowie mieszkańców.

Budynki z ziemi są naturalnie odporne na ogień, co zmniejsza ryzyko i potencjalne straty w przypadku pożaru. Ponadto masywne ściany budynków z ziemi mogą skutecznie tłumić dźwięki z zewnątrz, co prowadzi do cichszych, bardziej odizolowanych przestrzeni wewnętrznych. Jest to szczególnie wartościowe w gęsto zaludnionych lub hałaśliwych obszarach. Nie bez znaczenia są walory estetyczne. Budynki z ziemi wkomponowują się w naturalny krajobraz otoczenia. Gлина stosowana w materiałach budowlanych oferuje wyjątkową plastyczność, co pozwala na tworzenie zaokrąglonych kształtów i niestandardowych form, trudnych do osiągnięcia przy użyciu bardziej tradycyjnych materiałów. Dzięki temu budynki mogą lepiej wtopić się w otoczenie naturalne lub wyróżniać unikalną architekturą.

Techniki budowania z ziemi często czerpią z lokalnych tradycji i pomagają zachować dziedzictwo kulturowe. Ponadto projekty budowlane wykorzystujące ziemię, dzięki zastosowaniu miejscowych materiałów i umiejętności, mogą wspierać lokalne gospodarki. Wybór technologii budowy z ziemi może być zatem nie tylko wyborem ekologicznym, ale także estetycznym, zdrowotnym i społecznym, z potencjalnymi korzyściami na wielu płaszczyznach.

Gлина jako spoiwo nie wymaga wypalania, co oznacza, że materiały z niej są mniej energochłonne i charakteryzują się niską emisją CO₂. Materiały z ziemi są naturalne i biodegradowalne. Materiały z rozbiórki mogą zostać użyte ponownie do innej budowy lub stanowić nieszkodliwy odpad.

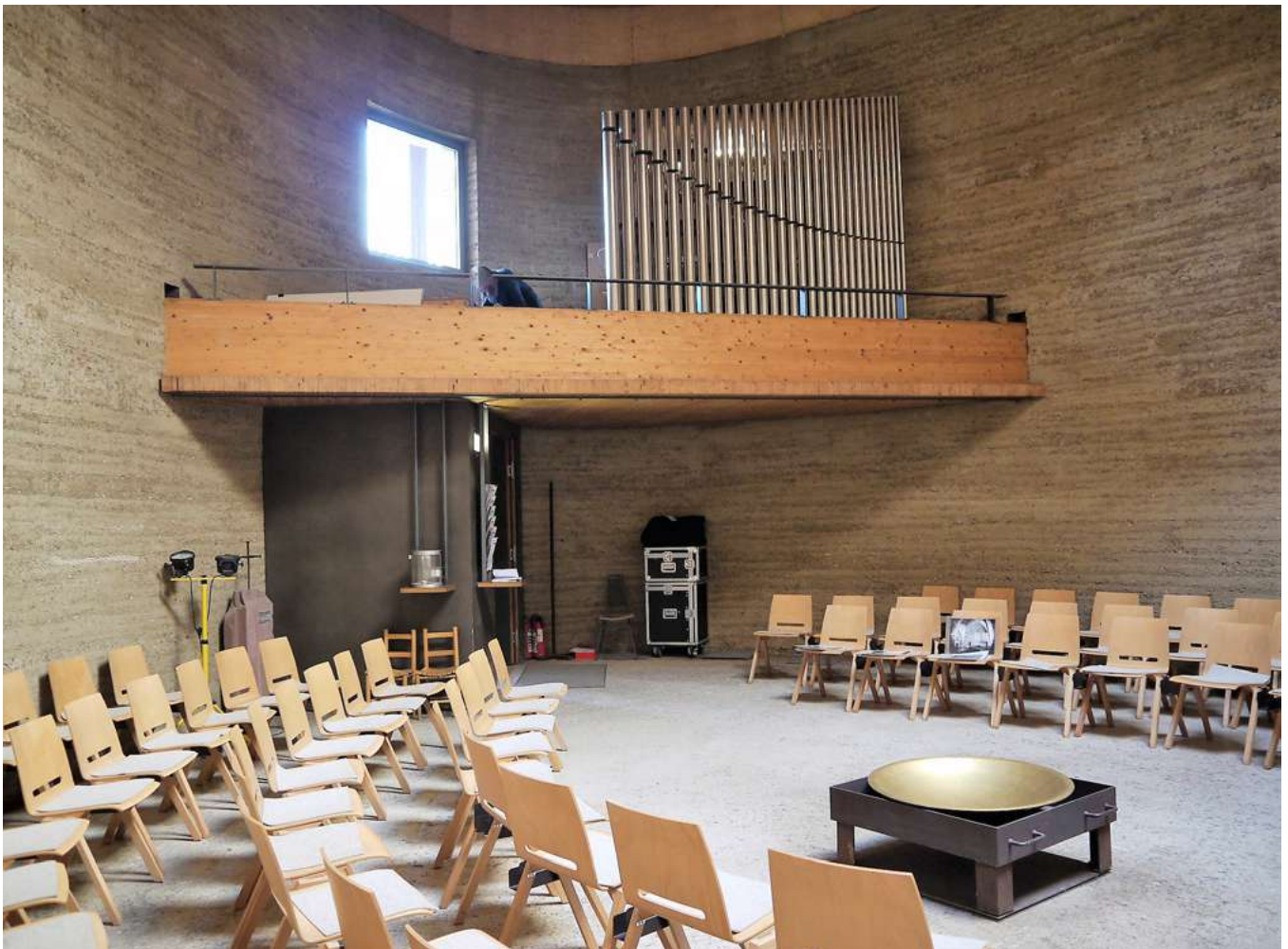
Budynki z ziemi są energetycznie wydajne w klimacie, w którym temperatury mogą znacznie wahać się między dniem a nocą. W klimacie umiarkowanym takim, jaki występuje m.in. w Polsce, techniki budowy z ziemi mają również zastosowanie. Na świecie pojawiają się kolejne realizacje budynków, w tym projektowane przez znamienitych światowych architektów (Zdjęcie 1, Zdjęcie 2).



Źródło: <https://www.archdaily.com/634724/ricola-krauterzentrum-herzog-and-de-meuron>

Zdjęcie 1. Centrum Zielarskie Ricola w Laufen, Szwajcaria

Zdjęcie 2. Wnętrze Kaplicy Pojednania w Berlinie, Niemcy.



Źródło: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Berlin,_Kapelle,_Versöhnung_\(1\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Berlin,_Kapelle,_Versöhnung_(1).jpg)

Terminy „głina” i „ziemia”

W podręcznikach i normach budowlanych spotyka się dwa terminy na określenie nieorganicznego gruntu, mającego zastosowanie do produkcji materiałów budowlanych i wznoszenia budynków - są to „ziemia” i „głina”. Obydwa terminy mają swoje źródła w regionalnych tradycjach budowlanych i nie zawsze nadają się do opisywania współczesnych terminów technicznych. W latach 50. i 60. XX wieku w Polsce wprowadzono szereg norm branżowych i krajowych (Tabela 1), w których wykorzystywano termin „głina”. Współcześnie tego terminu używa się dla określenia gruntu o konkretnym uziarnieniu, definiowanego zgodnie z normą PN-EN ISO 14688-2:2006 (Tabela 2). „Głina” tak zdefiniowana nie

obejmuje w całości gruntów mających zastosowanie do budowy budynków. We współczesnych polskich publikacjach naukowych i instrukcjach inżynierskich stosowany jest termin „ziemia”. Podobnie w anglojęzycznej literaturze i normach, grunt stosowany do budowy określa się terminem „earth” (nie stosuje się terminu „clay”). Termin „ziemia” można uznać za bardziej ogólny.

Analiza Tabeli 1 może dać mylne wrażenie, że w Polsce istnieje szereg norm dotyczących stosowania różnych technologii budowy z wykorzystaniem ziemi (gliny). Niestety, nie jest to prawdą. Podane normy przez ponad pół wieku nie były aktualizowane, a Polski Komitet Normalizacyjny uznaje je za przestarzałe pod względem technicznym i nie zaleca ich stosowania [1].

Tabela 1. Normy dotyczące budownictwa z nieorganicznych gruntów rodzimych.

L. p.	Numer normy	Tytuł normy	Związany z normą materiał budowlany lub technologia budowy
1	BN-62/6738-1	„Masy cementowo-gliniane z wypełniaczami”	głina ubijana, głina wylewana, bloczki z gliny
2	BN-62/6738-2	„Budownictwo z gliny. Masy gliniane”	głina ubijana, bloczki z gliny
3	BN-62/8841-04	„Budownictwo z gliny. Ściany z gliny ubijanej – Warunki techniczne wykonania i odbioru”	głina ubijana
4	BN-62/6749-02	Pustaki cementowo - gliniane; dymowe, spalinowe, wentylacyjne	pustaki z gliny stabilizowanej cementem służące do budowy przewodów instalacyjnych
5	BN-62/9012-01	„Cegły i bloki cementowo-gliniane z wypełniaczami”	Bloczki z gliny
6	PN-B-14501:1965	„Zaprawy budowlane cementowo-gliniane” (wycofana w 1975)	zaprawy gliniane stabilizowanej cementem
7	PN-B-14501:1955	„Zaprawy cementowo-gliniane” (wycofana w 1967)	

Tabela 2. Znaczenie terminu głina w normie geotechnicznej PN-EN ISO 14688-2:2006.

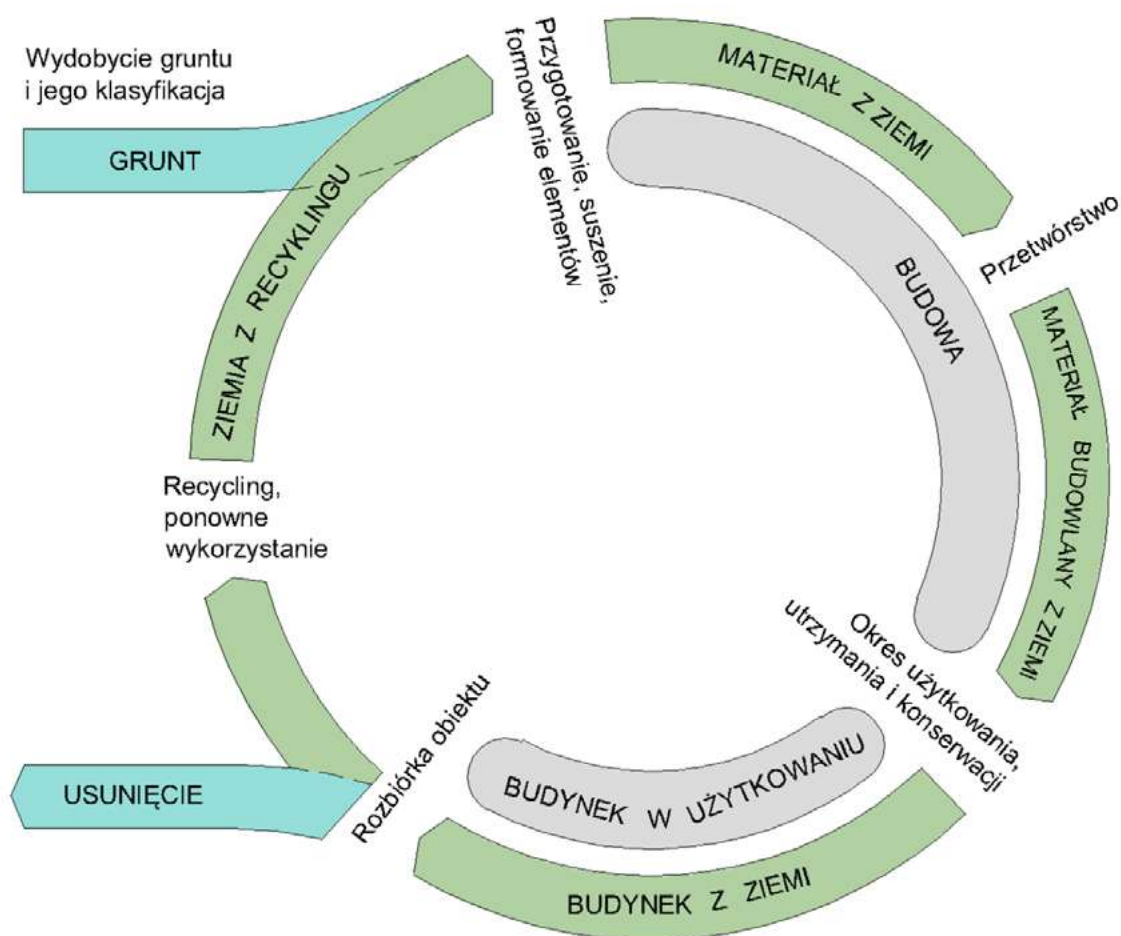
Nazwa gruntu		Zawartość frakcji [%]			
		Ił (Cl)	Pył (Si)	Piasek (Sa)	Żwir (Gr)
Głina	Głina pylasta	8-17	33-72	20-60	
	Głina ilasta	8-31	25-65	20-60	

Z drugiej strony, w krajach rozwiniętych klimatu umiarkowanego (m.in. w Niemczech lub Nowej Zelandii) istnieje szereg norm krajowych, dotyczących wielu różnych technik budowy z ziemi.

Ziemia – zrównoważona alternatywa współczesnego budownictwa

Stosując materiały budowlane pochodzenia naturalnego, w tym z ziemi, minimalizuje się nie tylko negatywny wpływ na środowisko naturalne (Rysunek 1). Dominującą na świecie metodą oceny i certyfikacji zrównoważonego budownictwa jest analiza BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method). Materiały budowlane z użyciem surowej ziemi, m.in. ziemia ubijana, w wyniku analizy tą metodą uzyskały najwyższą ocenę A+, świadcząca o bardzo wysokim zrównoważeniu rozwiązania budowlanego.

Materiały z ziemi, w zależności od zastosowanej technologii, mają przynajmniej 10-krotnie mniejsze zapotrzebowanie na energię pierwotną, niż uważane za bardzo ekologiczne drewno (Tabela 3). Wiele technologii budowy z ziemi dodatkowo korzysta z materiału dostępnego na placu budowy, co ogranicza znacząco zużycie energii związanej z transportem (Tabela 4).



Rysunek 1. Budownictwo z ziemi jako samopodtrzymujący się cykl życia materiału [2,3]

Tabela 3. Zużycie energii przy produkcji materiałów budowlanych [5]

Materiał budowlany	[kWh/m ³]
Materiały z ziemi	0-30
Drewno	300
Materiały z drewna	800-1500
Cegła palona	500-900
Cement	1700
Beton	450-500
Panele szklane	15000
Stal	63000

Tabela 4. Zużycie energii na transportowanie materiału [5]

Środek transportu	[kWh/t·km]
Kolej	0,43
Samochód (Zachodnia Europa)	1,43
Ciężarówka 40t	0,72
Ciężarówka 28t	1,00
Ciężarówka 16t	1,45
Ciężarówka <3,5t	3,10
Jednostka pływająca morska	0,04
Jednostka pływająca rzeczna	0,27

Budownictwo z ziemi w klimacie umiarkowanym

Przez tysiące lat, aż do XX wieku, wznoszenie budowli z surowej, naturalnej ziemi było powszechną praktyką w cywilizacjach na całym świecie. Do dzisiaj szacuje się, że jedna trzecia ludności świata mieszka w budynkach wzniesionych w technologiach wykorzystujących ziemię – najczęściej w postaci masy glinianej. Łatwość dostępu do tego naturalnego materiału sprawia, że konstrukcje z niego wykonane można spotkać na każdym kontynencie (Rysunek 2). Budowle wykonane z użyciem surowej ziemi często uważane są za nietrwałe, jednak w wielu miejscach można znaleźć starożytne budowle, które w dobrym stanie technicznym przetrwały do współczesności. Przykładem jest Wielki Mur Chiński (Zdjęcie 4), którego liczne fragmenty

wzniesione w technologii ziemi ubijanej tysiące lat temu możemy podziwiać do dziś. Mur został wybudowany w różnych regionach geograficznych, w tym w klimacie umiarkowanym podobnym do występującego w Polsce.

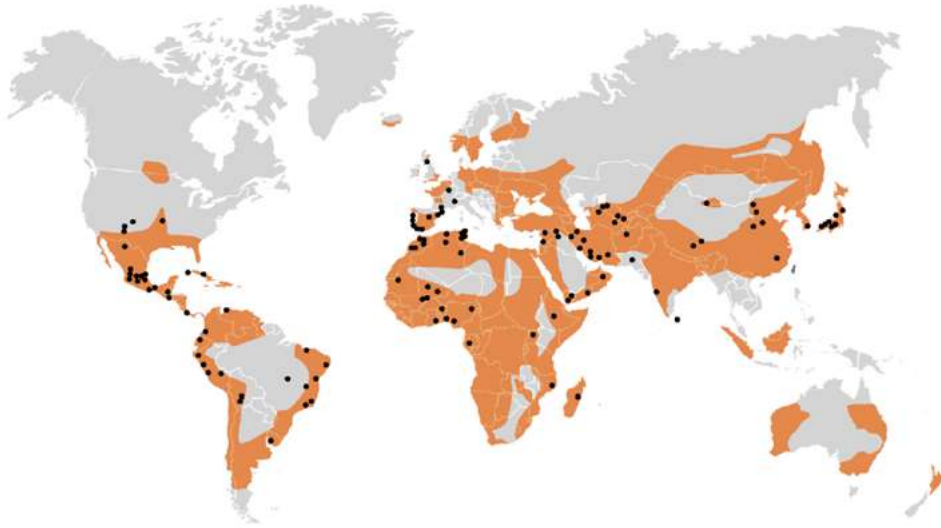
Często możemy nie być świadomi, że wielokondygnacyjne realizacje budynków nas otaczających wykonane są z materiałów z gliny. Przykładem może być wielopiętrowy budynek w Weilburgu w Niemczech (Zdjęcie 3), wzniesiony w 1828 roku i użytkowany do dnia dzisiejszego. Zewnętrzne ściany budynku pokryte zostały tynkiem, który kamufluje konstrukcyjny materiał – ziemię ubijaną.

Materiały te wykorzystywane są również w budownictwie mieszkalnym - przykładem jest budynek mieszkalny w Austrii (Zdjęcie 5), zbudowany przez Rogera Boltshausera we współpracy z Martinem Rauchem w latach 2005-2008. Jest to przykład nowoczesnego zastosowania tradycyjnej techniki budowania z użyciem ubitej ziemi.

Zdjęcie 3. Budynek mieszkalny z gliny ubijanej, Weilburg, Niemcy



Źródło: Horst Schroeder, The Development of Earth Building



Rysunek 2. Obszary występowania licznych budowli ziemnych (kolor żółty). Czarnymi punktami zaznaczono budynki z ziemi wpisane na Listę Światowego Dziedzictwa UNESCO [2]

Źródło: <https://onestep4ward.com/visit-great-wall-china-beijing>



Zdjęcie 4. Wielki Mur Chiński w klimacie umiarkowanym. Główna część muru wykonana z ziemi ubijanej, obłożona z zewnątrz bloczkami z różnych materiałów naturalnych

Źródło: <https://www.architectural-review.com/buildings/earth/rauch-house-in-austria-by-roger-boltshauser-with-martin-rauch>



Zdjęcie 5. Dom Martina Raucha w Austrii w klimacie umiarkowanym

Budownictwo z ziemi w Polsce

Rys historyczny

Chociaż technologie budowy z ziemi nie są tak popularne, jak konstrukcje betonowe czy ceramiczne, w Polsce możemy spotkać wiele realizacji z ich zastosowaniem. Podobnie jak w przypadku budynku z Weilburga w Niemczech, wizualnie nie różnią się one od innych obiektów. Jako różne przykłady można podać zabytkowy Pałac Mostowskich w Warszawie przełomu XVII i XVIII wieku (Zdjęcie 6). Jego ściany zostały wykonane w technologii ziemi ubijanej warstwami. Ściany budynku zostały otynkowane, przez co nie różni się od pobliskich budynków.

Od XVII do XX wieku dużą popularnością na obszarze współczesnej Polski cieszyły się budynki, w których drewniana konstrukcja nośna budynku była wypełniana masą ziemną (tzw. konstrukcja szachulcowa) lub cegłami (surowymi lub palonymi, tzw. konstrukcja ryglowa). Rozwój konstrukcji ryglowej i szachulcowej, począwszy od XVII wieku, wynikał ze zmniejszenia dostępności drewna [6]. Przykład budynku o konstrukcji ryglowej z XVII wieku pokazano na Zdjęciu 7. Po drugiej wojnie światowej, w obliczu konieczności przyspieszonej odbudowy kraju, coraz częściej stosowano technologie budowlane z użyciem ziemi, inspirowano się przy tym dorobkiem inżynieryjnym Niemiec. Adaptacja tych metod włączyła wdrożenie zaawansowanych technologicznie rozwiązań, co zapewniło możliwość realizacji konstrukcji wielopiętrowych (Zdjęcie 8).



Zdjęcie 6. Pałac Mostowskich na Tarchominie w Warszawie z przełomu XVII i XVIII. Ściany zewnętrzne wykonano z ziemi ubijanej, stabilizowanej wapnem



Zdjęcie 7. Dom mieszkalny na Helu z XVII w. Konstrukcja ryglowa, wypełniona masą ziemną i cegłami z ziemi



Zdjęcie 8. Budynek mieszkalny w Pruszkowie, wzniesiony w latach 50. XX wieku w technologii ziemi ubijanej

Realizacje współczesne

Obecnie w Polsce budowane są obiekty z ziemi i gliny, w których, podobnie jak pokazano na przykładzie z Austrii, dąży się do pokazania zarówno na zewnętrznej, jak i wewnętrznej elewacji, naturalnego materiału – surowej ziemi. Na Zdjęciu 9. pokazano budynek z ziemi ubijanej, wykonany w Pasłęckim Parku Ekologicznym przez grupę inżynierów-naukowców z Politechniki Warszawskiej. Do ścian konstrukcyjnych i zewnętrznych zastosowali oni technologię ziemi ubijanej w szalunkach. Ich uzupełnieniem wewnątrz jest warstwa wzniesiona z bloczków słomiano-glinianych, a ściany działowe wykonane zostały z bloczków ziemnych prasowanych. Warto dodać, że budynek ten jest energooszczędny i umożliwia pasywne odzyskiwanie ciepła, zatem jest konkurencyjny dla innych nowoczesnych rozwiązań materiałowo-technologicznych. Obiekt powstał w 2009 roku i do dziś (2024) nie posiada znamion utraty trwałości.

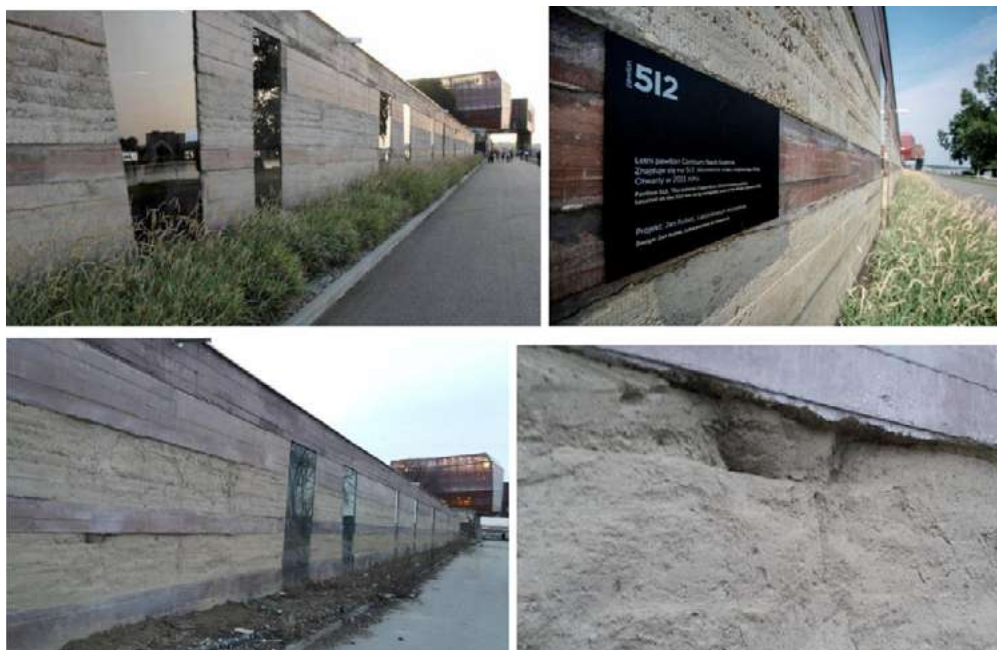
Czynnikiem ograniczającym zastosowanie materiałów z ziemi w Polsce jest niska popularność metod projektowania i wykonawstwa. Prowadzi to do powstawania błędów projektowych, które wzbudzają obawy społeczne. Jako przykład można podać szybko postępującą degradację ścian Pawilonu 512 Centrum Nauki Kopernik w Warszawie (Zdjęcie 10).

Obiekt został wzniesiony w 2012 roku z wykorzystaniem betonu (czerwone elementy) i ziemi ubijanej (żółte elementy). Użycie ubitej ziemi jako materiału budowlanego miało na celu promowanie tej ekologicznej metody, która wcześniej była eksponowana na wystawach tego opiniotwórczego centrum nauki. Jednak po trzech latach użytkowania (2015), w ścianach z ubitej ziemi zaczęły pojawiać się liczne pęknięcia i znaczne uszkodzenia wzdłuż całej ich długości. Wynikało to z braku zastosowania właściwej technologii wznoszenia ścian pawilonu.

Zdjęcie 9. Budynek z ziemi ubijanej znajdujący się w Pasłęku w Polsce



Źródło: <https://kobieta.onet.pl/dom/energooszczedny-dom-z-ubitej-ziemi/2nbnm9>



Zdjęcie 10. Pawilon 512 Centrum Nauki Kopernik w Warszawie. Górny wiersz ilustracji: zdjęcia wykonane niedługo po ukończeniu budynku w 2012 roku. Dolny wiersz: izolacja wykonana w 2015 roku

Klasyfikacja technologii budowy z ziemi

Organizacją specjalizującą się w badaniach, promowaniu i rozwoju technik budowlanych, opartych na ziemi, jest Międzynarodowe Centrum Badań i Zastosowań Budownictwa z Ziemi (CRATERRE). Instytucja ta zajmuje się szkoleniami, doradztwem technicznym i wspieraniem projektów związanych z budownictwem z ziemi na całym świecie. Odgrywa ona ważną rolę w promowaniu zrównoważonego budownictwa oraz działa na rzecz zachowania i rozwijania tradycyjnych technik naturalnych.

CRATERRE dokonało klasyfikacji technik budownictwa z ziemi, które pokazane są na Rysunku 3. Istnieją trzy główne grupy technologii budowy z wykorzystaniem ziemi:

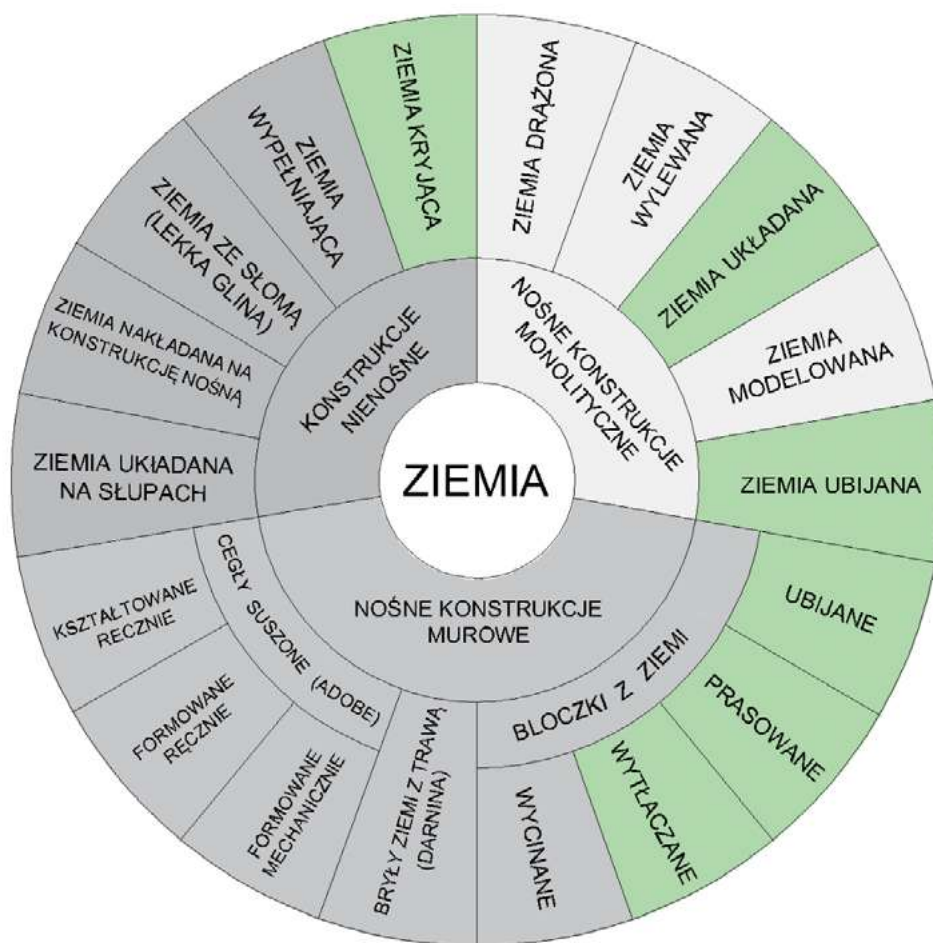
- wykorzystanie surowej ziemi w nośnych konstrukcjach monolitycznych
- wykorzystanie surowej ziemi w nośnych

konstrukcjach murowych

- wykorzystanie surowej ziemi jako nienośnego materiału budowlanego.

Gлина będąca spoistym rodzajem nieorganicznej ziemi, odgrywa rolę naturalnego spoiwa, przez co dominuje pośród konstrukcyjnych rozwiązań budowlanych, ograniczając częściowo konieczność zastosowania cementu i innych energochłonnych spoiw.

Choć wszystkie technologie budowy z użyciem ziemi są ekologiczne, nie każda z nich możliwa jest do zastosowania w klimacie umiarkowanym, w tym w Polsce. Wynika to zarówno z charakterystyki klimatycznej, jak i rodzaju gruntu występującego na danym obszarze. W kolejnych rozdziałach omówiono poszczególne technologie budowy z ziemi spotykane w naszej strefie klimatycznej (zaznaczone na Rysunku 2. kolorem zielonym).



Rysunek 3. Podział technologii budowy z surowej ziemi według International Center for the Research and Application of Earth Construction (CRATERRE). Zielonym kolorem oznaczono technologie rekomendowane do zastosowania w Polsce (w klimacie umiarkowanym).

Konstrukcje monolityczne z ziemi

Ziemia drążona (ziemianki)

Ziemia drążona to technologia wykonywania tzw. ziemianek – rodzaju konstrukcji budowlanych częściowo lub całkowicie zagłębionych w ziemi. Ziemianki wykorzystują naturalne cechy krajobrazu (Zdjęcie 11): zbocza lub zagłębienia, które stanowią przegrody budynku. Dzięki temu ziemianki są często mało widoczne w krajobrazie, mają zatem niski wpływ na środowisko.



Zdjęcie 11. Współczesna ziemianka w Szwajcarii

Grunt, który otacza ziemianki, działa jak naturalna izolacja - latem wnętrza są chłodniejsze, zimą cieplejsze, co zmniejsza potrzebę używania systemów ogrzewania i chłodzenia. Ziemianki uznaje się za bardzo ekologiczne, ponieważ do ich budowy stosuje się minimalną ilość zewnętrznych materiałów budowlanych i zużywa niewiele energii. Budynki wykonane w technologii ziemi drążonej są również cenione za swoją naturalną odporność na czynniki atmosferyczne takie, jak wiatr czy śnieg, a także za lepszą ochronę przed hałasem zewnętrznym oraz za unikalne połączenie z naturą. Ich projektowanie i budowa wymagają jednak zwrócenia szczególnej uwagi na szczegóły konstrukcyjne, aby zapewnić ich bezpieczeństwo i trwałość.

Ziemianki kojarzą się z mało nowoczesnym budownictwem. Wynika to w dużej mierze z faktu, że były wykorzystywane od czasów prehistorycznych, ze względu na prostotę wykonania. Należały do pierwszych przestrzeni

tworzonych przez ludzi do celów mieszkalnych. Współcześnie jednak wymienione wyżej właściwości obiektów wykonywanych w technologii ziemi drążonej ponownie przyciągają uwagę inwestorów.

Technologia ziemi drążonej nie jest rozwiązaniem uniwersalnym. Podstawowym ograniczeniem jest odpowiednia lokalizacja, która umożliwi wykorzystanie istniejącego ukształtowania terenu: zboczy wzgórz czy naturalnych wgłębień. Ważne jest również to, by grunt był stabilny i miał odpowiednie właściwości drenażowe, co pozwoli uniknąć problemów z wilgocią. Ziemiankę można drążyć ręcznie lub maszynowo. Ściany i sufit ziemianki muszą być stabilizowane, do czego często używa się wsporników (np. drewnianych). Dodatkowo, by poprawić komfort termiczny ziemianki, przestrzeń często izoluje się za pomocą naturalnych materiałów takich, jak słoma, wełna drzewna lub specjalne maty izolacyjne. W celu zapewnienia światła naturalnego stosuje się świetliki i okna w przegrodach zewnętrznych. Niezbędne jest właściwe zaplanowanie systemów wentylacyjnych, by uniknąć problemów z wilgotnością i zapewnić świeże powietrze.

Ziemia ubijana

Ziemia ubijana, nazywana w literaturze międzynarodowej rammed earth, to technologia wznoszenia konstrukcyjnych przegród pionowych poprzez ubijanie warstwami w szalunkach wilgotnej ziemi, często z niewielkim dodatkiem stabilizatora w postaci cementu lub wapna (Rysunek 4). Gлина pozyskiwana jest najczęściej bezpośrednio z placu budowy, co czyni technologię niezwykle ekologiczną i ekonomiczną. Wilgotną, sypką mieszankę gruntowo-cementową układa się w deskowaniu, a następnie ubija ręcznie lub za pomocą zmechanizowanych urządzeń. Po uzyskaniu wymaganej gęstości każdej warstwy, kontynuuje się dodawanie kolejnych, aż do osiągnięcia odpowiedniej wysokości przegrody. Ostateczna nośność i trwałość ściany zależy od jakości zastosowanej gliny i dodatków stabilizujących oraz techniki ubijania.

Technologia ziemi ubijanej jest popularna w klimacie suchym i ciepłym, jednak może być

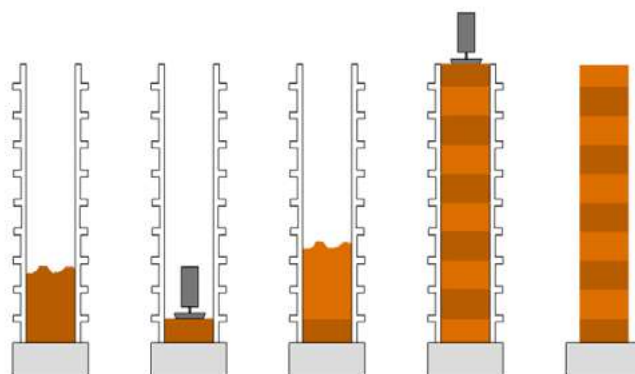
stosowana również w klimacie umiarkowanym, jaki mamy w Polsce. Ściany z ziemi ubijanej mają znakomite właściwości termiczne – dzięki dużej masie termicznej, wewnątrz utrzymują chłód latem i ciepło zimą, co może znacząco obniżyć koszty ogrzewania i chłodzenia. Budynki historyczne takie, jak pokazany w rozdziale wcześniejszym Pałac w Tarchominie (Zdjęcie 6), pokazują, że odpowiednia konserwacja ścian z ziemi ubijanej zapewnia ich wysoką trwałość. Inwestorzy często decydują się na takie rozwiązanie ze względu estetycznych. Ziemia ubijana pozwala na tworzenie ścian z różnorodnymi teksturami i naturalnymi barwami ziemi, co sprawia, że budynki są wizualnie atrakcyjne i unikatowe (Zdjęcie 12).

Ziemia układana

Technologia ziemi układanej, znanej również pod nazwą glinobitka lub cob w literaturze angielskiej, polega na wznoszeniu ścian z gliny, z dodatkiem słomy lub innych włókien roślinnych dla wzmocnienia struktury. Ściany są formowane poprzez delikatne ubijanie nieregularnych brył mieszanki gliny, piasku i włókien organicznych i (często słomy) bez użycia deskowania (Zdjęcie 13). Włókna organiczne w mieszance pełnią funkcję zbrojenia oraz poprawiają izolacyjność termiczną ścian. Gлина zapewnia spójność i przyczepność, piasek zapobiega nadmiernemu skurczowi. Mieszanka charakteryzuje się dużą plastycznością, dzięki czemu można nadać budynkowi oryginalne kształty. Należy jednak zauważyć, że budowa ścian tą techniką wymaga doświadczonego zespołu budowlanego. Jest ona także pracochłonna i może być czasochłonna, ponieważ masa musi być odpowiednio przygotowana i ułożona, a następnie powinna wolno schnąć. Podczas przygotowania mieszanki oraz na etapie budowy, wykorzystuje się proste narzędzia budowlane. W technice tej mokra mieszanka zwykle ręcznie układana jest warstwami i formowana w odpowiednie kształty. Masa po ułożeniu powoli wysycha i twardnieje, tworząc bardzo konstrukcyjne i trwałe ściany.

Budynki z glinobitki wymagają odpowiedniej ochrony przed wilgocią, szczególnie u podstawy

ścian, aby zapobiec erozji materiału. Mimo to technologia jest popularna, zwłaszcza wśród entuzjastów zrównoważonego rozwoju i budownictwa naturalnego, budownictwa ekologicznego na całym świecie, w tym także w Polsce.



Rysunek 4. Schemat wznoszenia w szalunku ściany z ziemi ubijanej warstwami



Zdjęcie 12. Budynek z gliny ubijanej



Zdjęcie 13. Wznoszenie ściany w technologii gliny układanej (cob)

Źródło: <https://thearchitecturestake.com/interviews/david-easton-45-years-of-rammed-earth-construction/>

Źródło: <http://www.cobtherapy.com/gallery>

Bloczki z gliny

Bloczki prasowane z gliny (ang. compressed Earth Blocks, CEB) powstają przez mechaniczne sprasowanie gliny z dodatkiem stabilizującym. Zwiększa to ich wytrzymałość i stabilność. CEB są ekologiczną alternatywą tradycyjnych cegieł i betonowych bloków, ponieważ wykorzystują lokalny grunt (glinę), wymagają mniej energii do produkcji w porównaniu z wypalonymi cegłami i mają mniejszy ślad węglowy. Technologia bloczków prasowanych umożliwia wykonywanie elementów zarówno na placu budowy, jak i w lokalnej wytwórni. Zagęszczanie ziemi możliwe jest i za pomocą pras ręcznych, i zmechanizowanych urządzeń (Zdjęcie 14), ułatwiających masową produkcję. Bloczki z gliny oferują masę cieplną, pomagającą regulować temperaturę w pomieszczeniach i zmniejszyć koszty energii potrzebnej do ogrzewania i chłodzenia. Ta metoda budowlana jest popularna w projektach zrównoważonego budownictwa, szczególnie w obszarach, w których dostęp do przystępnych i zrównoważonych materiałów budowlanych jest kluczowy.

Bloczki ubijane (ang. tamped blocks) różnią się od bloczków prasowanych sposobem zagęszczenia. Bloczki ubijane są formowane poprzez ręczne lub mechaniczne ubijanie w formach suchej albo lekko wilgotnej mieszanki ziemi, często z dodatkiem stabilizującym.

Metoda ta nie wykorzystuje tak wysokiego ciśnienia jak w przypadku prasowania, przez co jednorodność i gęstość bloczków może być mniejsza. Obydwa typy bloczków mogą być stosowane w konstrukcjach ścian nośnych i nienośnych, jednak ze względu na większą regularność kształtów i jednorodność, CEB są częściej wybierane do precyzyjnych projektów budowlanych.

Innym typem bloczków z gliny są bloczki wytłaczane (ang. extruded earth blocks). Ich produkcja polega na formowaniu bloczków z wilgotnej gliny do określonego kształtu (Zdjęcie 15). Bloki te zazwyczaj posiadają otwory, które nie tylko zmniejszają ich masę, ale również poprawiają ich właściwości termoizolacyjne.



Zdjęcie 14. Produkcja bloczków prasowanych z mieszanki cementowo-glinianej

Źródło: <https://aectearthblock.com/>



Zdjęcie 15. Bloczki wytłaczane z gliny

Źródło: <https://www.dluzzag.com/compressed-earth-blocks-disadvantages/>

Materiały nienośne z ziemi

Lekka glina

Termin lekka glina odnosi się do technologii polegającej na wypełnianiu konstrukcji nośnej, najczęściej drewnianej, mieszanką gliny ze słomą (Zdjęcie 16). W przeciwieństwie do ziemi układanej, glina lekka jest lżejsza i posiada lepsze właściwości izolacyjne. Ta metoda zapewnia dobrą izolację i regulację wilgoci w systemie ścian oraz służy jako doskonałe podłoże pod naturalne tynki. Lekka glina nadaje się zarówno na ściany zewnętrzne, jak i wewnętrzne oraz można ją dostosowywać do różnych szerokości ścian. Słoma w technologii lekkiej gliny zapewnia izolację, zaś glina podnosi masę termiczną i reguluje wilgoć. W odróżnieniu od techniki glinobitki, która

jest samonośna, ta metoda budowlana wymaga zastosowania szkieletu konstrukcyjnego, dzięki czemu jednak szybciej schnie i można wznosić lżejsze przegrody pionowe. Proces przygotowania lekkiej gliny rozpoczyna się od mieszania gliny z wodą do uzyskania plastycznej, łatwej do modelowania, konsystencji. Następnie dodaje się lekkie materiały (trociny, słomę, kawałki korka lub perlit) w odpowiednich proporcjach, starannie mieszając, aby wszystkie składniki były równomiernie rozprowadzone.

W Polsce technologia ta promowana była m.in w poradniku "Domy z lekkiej gliny" [26]. Obecnie w nielicznych przypadkach lekką glinę wykorzystują właściciele domów jednorodzinnych. Ze względu na wysoką pracochłonność i brak opracowanych materiałów szkoleniowych oraz problemy w wykazaniu wymaganej obecnie bardzo wysokiej izolacyjności termicznej, jest coraz rzadziej spotykana. Autorzy podręcznika "Domy z lekkiej gliny" podają, że ściany wykonane z lekkiej gliny o gęstości 700 kg/m^3 i grubości 45 cm charakteryzują się współczynnikiem przenikania ciepła równym $0,42 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ [10]. Obecnie (2024) na polskim rynku dostępne są cegły z lekkiej gliny [11] o współczynniku przewodzenia ciepła $0,21 \text{ W/m}^2\text{K}$. W polskich warunkach klimatycznych zewnętrzne ściany z tego materiału wymagają dodatkowego ocieplenia, obecne normy bowiem wymagają, aby współczynnik przewodzenia ciepła dla pionowych przegród zewnętrznych nie przekraczał $0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Warto jednak nadmienić, że technologia lekkiej gliny jest wśród istniejących budynków jedną z bardziej popularnych metod budownictwa z użyciem ziemi w Polsce [12]. Przykładem zastosowania tej technologii są Kościoły Pokoju w Jaworze i Świdnicy (Zdjęcie 17), które zbudowano w połowie XVII wieku na terenie Śląska. Te zabytkowe budowle, zbudowane w technice szachulcowo-ryglowej z wypełnieniem z ziemi i słomy, zachowały się w dobrym stanie do dzisiaj i są wpisane na Listę Światowego Dziedzictwa UNESCO.



Zdjęcie 16. Konstrukcja wypełniona lekką gliną



Zdjęcie 17. Kościół Pokoju w Świdnicy z XVII wieku, Świdnica, Polska [2]

Źródło: <https://visioncreationadobe.com/2020/10/24/light-straw-clay-insulation-wall/>

Źródło: <http://www.cobotherapy.com/gallery>

Ziemia kryjąca

Technologia ziemia kryjąca (ang. sheltered earth) polega na wykorzystaniu ziemi jako naturalnego izolatora w budownictwie, poprzez osłanianie budynku za pomocą ziemi, często organicznej – Zdjęcie 18. Metoda ta może obejmować częściowe lub całkowite osłonięcie budynków ziemią układaną na dachach i wokół ścian zewnętrznych. Wykorzystuje się w niej do stabilizacji temperatury wewnątrz budynku termiczną masę ziemi, dzięki czemu zmniejsza się zapotrzebowanie na energię do ogrzewania zimą i chłodzenia latem. Zaletą tej techniki budowy jest zintegrowanie budynku z otaczającym go krajobrazem, co pozytywnie wpływa na estetykę i wpasowanie w środowisko naturalne.

Budowa z wykorzystaniem ziemi w Polsce

W Polsce brakuje wytycznych dotyczących metodyki budowy z użyciem ziemi, co jest głównym, jeśli nie jedynym, problemem w upowszechnieniu tego rodzaju budownictwa zrównoważonego. Trudności wiążą się z brakiem potwierdzenia parametrów konstrukcyjnych i izolacyjnych dla wykonywanych indywidualnie



Zdjęcie 18. Dom mieszkalny w Niemczech z dachem pokrytym ziemią i roślinnością

Źródło: <https://www.familyhandyman.com/article/what-are-earth-sheltered-homes/>

komponentów budowlanych. Obecnie w naszym kraju projekty wykorzystujące technologie z użyciem ziemi wymagają pozwolenia na procedurę dopuszczenia jednostkowego. Należy jednak podkreślić, że w wysokorozwiniętych krajach o klimacie podobnym do polskiego od lat istnieją normy dotyczące konstrukcyjnych materiałów budowlanych z ziemi. Przykładowe normy dla technologii ziemi ubijanej podano w Tabeli 5. Ponadto powstaje szereg przemysłowych inicjatyw związanych z budownictwem

Tabela 5. Normy dotyczące technologii ziemi ubijanej w klimacie umiarkowanym.

Nazwa dokumentu	Kraj	Właściwości mieszanki ziemi				Właściwości stwardniałego materiału				
						Wytrzymałość mechaniczna		Cechy określające trwałość		
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
Lehmbau Regeln (2009)	Niemcy		X	X		X		X		
NZS 4297 (1998) NZS 4298 (1998) NZS 4299 (1998)	Nowa Zelandia			X		X	X	X		X
14.7.4 NMAC (2006)	USA	X	X	X		X				
ASTM D 560 (1996)									X	
ASTM D559 (2003)										X

(A)Uziarnienie, (B) Zawartość substancji organicznych, (C) Zawartość soli rozpuszczalnych, (D) Plastyczność ziemi, (E) Wytrzymałość na ściskanie, (F) Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu, (G) Skurcz, (H) Mrozoodporność, (I) Odporność na działanie wody

z ziemi. Przykładowo w Austrii otwarto fabrykę produkującą konstrukcyjne płyty prefabrykowane z ubijanej ziemi. Proces produkcji obejmuje ubijanie ziemi w duże płyty w celu wytworzenia ścian o długości 40 metrów, które po wysuszeniu i przycięciu płyty (Zdjęcie 19) są wysyłane na miejsce montażu. Jak wspomniano wcześniej, również na polskim rynku pojawiają się materiały z ziemi takie, jak wymienione bloczki z lekkiej gliny (Zdjęcie 20) [11].



Zdjęcie 19. Prefabrykaty z ziemi ubijanej produkowane w Austrii

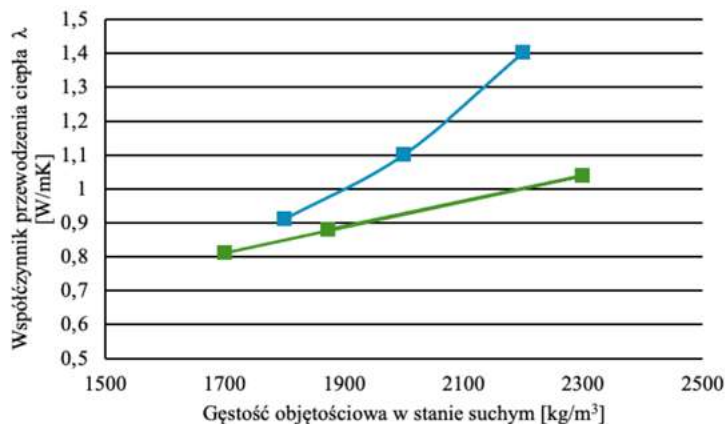


Zdjęcie 20. Cegły z lekkiej gliny produkowane w Polsce

W Polsce i wielu innych krajach europejskich dopuszczalny współczynnik przenikania ciepła wynosi ok. $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Osiągnięcie takiej izolacyjności termicznej dla przegrody z ziemi ubijanej wymaga zastosowania izolacji termicznej o bardzo dobrych parametrach.

Przewodność cieplna materiału wynika z wielu jego właściwości, między innymi gęstości, wilgotności, struktury i temperatury. Wraz ze wzrostem wilgotności, zwiększa się przewodność cieplna, a tym samym maleje izolacyjność termiczna. Dlatego przegrody należy projektować w taki sposób, aby nie dochodziło w nich do kondensacji pary wodnej. Jest ona związana między innymi z rozkładem temperatury w przegrodzie oraz oporem dyfuzyjnym poszczególnych warstw materiałowych.

W zależności od uziarnienia mieszanki, dodatku cementu i energii zagęszczania, gęstość objętościowa ziemi ubijanej wynosi od ok. 1700 do 2300 kg/m^3 . Dla tego zakresu współczynnik przewodzenia ciepła wynosi od $0,81$ do $1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Rysunek 4). Rozbieżności w prezentowanych wynikach wiążą się ze zróżnicowanymi metodami wyznaczania współczynnika przewodzenia ciepła oraz różnymi rodzajami mieszanki ziemi. Niezależnie od tego można z całą pewnością stwierdzić, że przegroda z ziemi ubijanej wymaga zastosowania izolacji termicznej. Podane wartości współczynników przewodności cieplnej pochodzą z badań laboratoryjnych. W rzeczywistości materiały budowlane funkcjonują w różnych warunkach, dla których należy



Rysunek 5. Zależność współczynnika przewodzenia ciepła od gęstości objętościowej ziemi ubijanej Kolor zielony – wg [2], kolor niebieski wg [13]

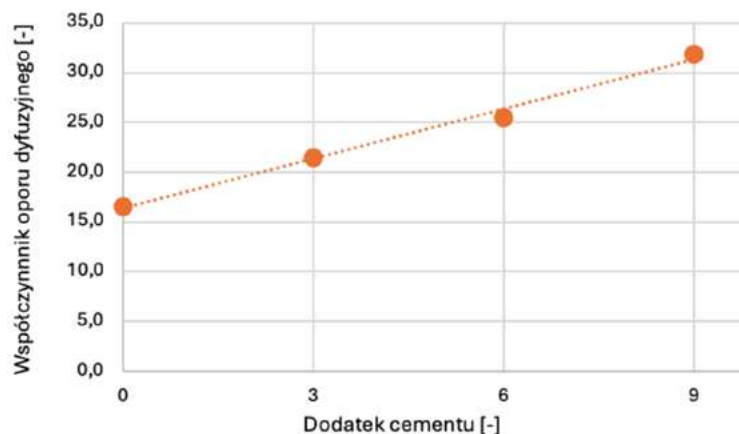
Źródło: <https://archello.com/product/prefabricated-rammed-earth-walls>

Źródło: <https://www.lepianka.org/pl/sklep/cegły.html>

używać różnych parametrów. W klimacie umiarkowanym materiały budowlane ekspozowane są zarówno na bardzo wysokie, jak i bardzo niskie temperatury. Wartość projektowa współczynnika przewodności cieplnej jest określona zgodnie z normą PN-EN ISO 10456, która uwzględnia konwersję z uwagi na wilgotność, temperaturę i starzenie się materiału.

Ochrona przegrody przed międzywarstwową kondensacją pary wodnej jest istotna z kilku powodów, które mają bezpośredni wpływ na trwałość budynku, jego efektywność energetyczną oraz komfort i zdrowie mieszkańców. Kondensacja pary wodnej wewnątrz przegród może prowadzić do zawilgocenia materiałów, co z kolei może spowodować obniżenie ich wytrzymałości mechanicznej. Materiały izolacyjne będą też tracić swoje właściwości izolacyjne, gdy zostaną zawilgocone, co może zwiększyć straty ciepła. Nawilżone materiały stanowią idealne środowisko dla rozwoju pleśni i grzybów, co może mieć negatywny wpływ na jakość powietrza wewnątrz w obiekcie oraz na zdrowie mieszkańców, wywoływać alergie, problemy z układem oddechowym i inne dolegliwości. Wilgoć jest też powodem korozji biologicznej. Ponadto kondensacja pary wodnej może prowadzić do powstawania plam wilgoci i zacieków na powierzchniach ścian, co negatywnie wpływa na estetykę. Lokalne zawilgocenie przegród może prowadzić również do zimnych mostów termicznych, zwiększając odczuwanie chłodu przez użytkowników pomieszczeń, co bezpośrednio wpływa na komfort termiczny mieszkańców.

Do oceny ryzyka kondensacji pary wodnej wewnątrz przegrody potrzebna jest znajomość współczynnika oporu dyfuzyjnego. W przypadku ziemi ubijanej, wartość ta zmienia się znacząco, niemal liniowo, wraz ze wzrostem dodatku cementu. Charakter zmiany dla mieszanki ziemi zakresu rekomendowanego uziarnienia [7] pokazano na Rysunku 6. Zastosowanie stabilizatora spowodowało około dwukrotny wzrost oporu dyfuzyjnego materiału z wartości ok. 16 do 32. Dla porównania, opór dyfuzyjny betonu wynosi w zależności od jego klasy: od 50 (beton B15) do 100 (beton C30/37).



Rysunek 6. ZWspółczynnik oporu dyfuzyjnego ziemi ubijanej o różnym dodatku cementu [45]

W przegrodach z ziemi ubijanej konieczne jest zastosowanie izolacji termicznej o bardzo wysokim oporze dyfuzyjnym, bardzo niskim współczynnikiem przewodzenia ciepła oraz wysokiej twardości. Wysoka twardość izolacji potrzebna jest z uwagi na proces ubijania warstw ziemi – izolacja znajduje się pomiędzy nimi. Przegroda spełniająca rygorystyczne europejskie wymogi w zakresie współczynnika przenikania ciepła, grubość całkowita powinna wynosić 60-65 cm. We współczesnym budownictwie dostępne są termoizolacje, które z powodzeniem mogą być stosowane jako warstwa pomiędzy ziemią ubijaną. Zapewnią one z jednej strony wysoką izolacyjność termiczną, z drugiej ochronę przez międzywarstwową kondensacją pary wodnej. Niestety, stosowane izolacje nie są ekologiczne. Izolacje ekologiczne takie, jak kompozyt wapienno-konopny (hempcrete), wełna drzewna czy panele słomiane, nie spełniają dwóch podstawowych warunków – wysokiej twardości i niskiej przepuszczalności pary wodnej.

W Tabeli 6 podano wartości współczynników oporu dyfuzyjnego i przewodzenia ciepła termoizolacji o wysokim oporze dyfuzyjnym i twardości. Podane wartości cech fizycznych mają charakter orientacyjny i mogą się nieznacznie różnić w zależności od gęstości materiału, grubości płyty, dodatków poprawiających właściwości izolacyjne oraz producenta. W przypadku przegród z ziemi ubijanej, rekomenduje się rozwiązania izolacyjne o współczynniku oporu dyfuzyjnego wynoszącym ok. 200 i współczynniku przewodzenia ciepła o możliwie niskiej wartości, niższej niż $0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tabela 6. Materiały termoizolacyjne o wysokim współczynniku oporu dyfuzyjnego.

Materiał izolacyjny	Gęstość (kg/m ³)	Współczynnik przewodzenia ciepła (W/m*K)	Współczynnik oporu dyfuzyjnego (μ)	Twardość (kPa)
PIR (Poliizocyanurat)	30 - 60	0.022 - 0.027	70-200	100 - 200
PUR (Poliuretan)	30 - 60	0.023 - 0.028	30 - 200	100 - 160
XPS (Ekstrudowany polistyren)	28 - 45	0.029 - 0.039	80 - 200	300 - 700

Według głównych norm dotyczących ziemi ubijanej, minimalna grubość warstw z ziemi ubijanej powinna wynosić od 200 mm (norma Australia) do 250 mm (norma Nowa Zelandia) [2]. Dla przegród z dwóch warstw ziemi ubijanej o grubości 25 cm, pomiędzy którymi znajduje warstwa izolacji termicznej o grubości 12 cm, wykonane zostały symulacje rozkładu temperatury i ciśnienia pary wodnej. Ściana poddana symulacji stanowiła przegrodę hipotetycznego budynku mieszkalnego w Warszawie. Za izolację przyjęto płyty PIR o współczynniku przewodzenia ciepła 0,025 W/m*K i współczynniku oporu dyfuzyjnego 200, dla ziemi ubijanej przyjęto współczynnik przewodzenia ciepła 1,1 W/m*K oraz współczynnik oporu dyfuzyjnego równy 32. W tak zaprojektowanej przegrodzie nie ma ryzyka kondensacji pary wodnej, a jej współczynnik przewodzenia ciepła wynosi około 0,18 W/ m*K, tj. spełnia polskie warunki techniczne.

Izolacja o niższym, choć wciąż wysokim, oporze dyfuzyjnym, wynoszącym 150, powoduje to, że w przegrodzie zaczyna kondensować

woda. Choć jej ilość nie jest duża i może odprowadzać w cieplejszej części roku, ze względu na trwałość przegrody należy unikać kondensacji pary wodnej.

Symulacja została wykonana z rozkładem temperatury w przegrodzie dla średniej miesięcznej temperatury w styczniu w Warszawie, wynoszącej ok. -1,1 °C, i dla temperatury wewnętrznej, typowej dla budynku mieszkalnego, wynoszącej 20°C. Cała warstwa ziemi ubijanej, znajdująca się po zewnętrznej stronie, ulega przemarzeniu. Według Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, w zależności od lokalizacji, temperatura w ciągu roku przechodzi przez 0°C do 48 razy w roku. Zamarzająca woda zgromadzona w przegrodzie jest najczęstszą przyczyną degradacji ścian z ziemi ubijanej. Dodatkowo gromadząca się w nich woda zwiększa ryzyko korozji biologicznej. Dlatego też ważne jest, by zwracać uwagę nie tylko na właściwości termiczne, ale i na wysoki opór dyfuzyjny izolacji termicznej, stosowanej w technologii ziemi ubijanej.

Jak wspomniano wyżej, popularne rozwiązania

Tabela 7. Właściwości popularnych materiałów termoizolacyjnych pochodzenia naturalnego

Materiał izolacyjny	Gęstość (kg/m ³)	Współczynnik przewodzenia ciepła (W/mK*)	Współczynnik oporu dyfuzyjnego (μ)	Twardość (kPa)
Wełna owcza	30 - 40	0.035 - 0.040	1-2	5-10
Celuloza	40 - 70	0.038 - 0.042	2-3	10-20
Korek	100 - 160	0.040 - 0.045	5-10	15-30
Panele słomiane	100 - 200	0.065 - 0.080	2-5	20-100
Hempcrete	30 - 150	0.038 - 0.044	1-2	5-15
Wełna drzewna	100 - 250	0.038 - 0.050	2-5	50-100

izolacyjne w przegrodach z ziemi ubijanej nie należą do szczególnie ekologicznych. Trzeba jednak podkreślić, że na pierwszym miejscu w ocenie zrównoważonego rozwiązania materiałowo-technologicznego jest bezpieczeństwo konstrukcji. Orientacyjne właściwości materiałów termoizolacyjnych pochodzenia naturalnego podano w Tabeli 7. Każdy z nich charakteryzuje się dużo niższym współczynnikiem oporu dyfuzyjnego oraz wyższą przewodnością cieplną.

Uniknięcie problemu kondensacji międzywarstwowej jest możliwe z ich zastosowaniem w jeden z poniższych sposobów:

- rezygnacja z warstwy zewnętrznej z ziemi ubijanej
- zastosowanie w zewnętrznej warstwie ziemi ubijanej otworów technologicznych, umożliwiających odparowanie zgromadzonej wody
- zastosowanie powłoki paroszczelnej (na bazie naturalnych składników) pomiędzy izolacją a wewnętrzną warstwą z ziemi ubijanej.

Należy jednak dodać, że takie rozwiązanie będzie bezpieczne tylko wtedy, gdy prawidłowo zostanie wyłożona izolacja paroszczelna i zrezygnuje się z często stosowanych łączników mechanicznych między zewnętrzną a wewnętrzną warstwą ziemi ubijanej. Zastosowany powinien być wtedy także izolator o twardości zapewniającej odporność na dynamiczne ubijanie warstw przegrody, by móc montować izolację termiczną podczas procesu ubijania ściany w szalunku (atutem technologii ziemi ubijanej jest szybkie tempo budowy). Układanie izolacji w szczelinie między wcześniej wniesionymi warstwami z ziemi ubijanej jest utrudnione i nierekomendowane.

Bibliografia

1. Jaki Jest Status Norm Branżowych Bn? Available online: <https://www.pkn.pl/na-skroty/faq/jaki-jest-status-norm-branzowych-bn>.
2. Narloch, P.L. Ziemia Ubijana Stabilizowana Cementem Jako Konstrukcyjny Materiał Budowlany w Klimacie Umiarkowanym, Warsaw University of Technology, 2016.
3. Schroeder, H. Modern earth building codes, standards and normative development. In Modern Earth Buildings: Materials, Engineering, Constructions and Applications; Hall, M.R., Lindsay, R., Krayenhoff, M., Eds.; Woodhead Publishing Limited: Oxford, Cambridge, Philadelphia, New Delhi, 2012; pp. 72–109 ISBN 9780857090263.
4. Gandreau, D.; Delboy, L. World Heritage Inventory of Earthen Architecture; CRATerre-ENSAG: Paris, 2012; ISBN 978-2-906901-70-4.
5. Horst Schroeder The Development of Earth Building. In Sustainable Building with Earth; 2016 ISBN 978-3-319-19490-5.
6. Kelm, T. Katalog Budyneków z Surowej Ziemi.
7. Houben, H.; Guillard, H. Earth Construction: A Comprehensive Guide; Intermediate Technology Publications, 1994; ISBN 9781853391934.
8. Building Materials and Resilience Are Intrinsically Linked. Rammed Earth Is Perhaps the Longest-Enduring Building Material. Available online: <https://thearchitectstake.com/interviews/david-easton-45-years-of-rammed-earth-construction/>.
9. Beautiful Earthen Buildings For Future Generations Available online: <https://livingsystemsarchitecture.com/>.
10. Hyła, M.; Kupiec-Hyła, D. Domy z Lekkiej Gliny; Zarząd Zespołu Jurajskich Parków Krajobrazowych: Kraków, 1994; ISBN 83-901471-0-6.
11. Lepianka. Budownictwo Naturalne. Sprzedaż Ekologicznych Materiałów Budowlanych. Available online: <https://www.lepianka.org/pl/sklep/cegly.html>.
12. Kelm, T.; Długosz-Nowicka, D. Budownictwo z Surowej Ziemi. Idea i Realizacja.; Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2011; ISBN 978-83-7207-899-5.3.
13. Kelm, T.; Długosz-Nowicka, D. Realizacja Budynku Eksperymentalnego. Właściwości Fizyczne i Mechaniczne Elementów Próbnych z Ziemi. Energ. i Budynek 2010, 16–22.
14. Narloch, P.; Piątkiewicz, W.; Pietruszka, B. The Effect of Cement Addition on Water Vapour Resistance Factor of Rammed Earth. Materials (Basel). 2021, 14, doi:10.3390/ma14092249.

2.4 Materiały zasypowe

Anna Zawadzka-Sobieraj, Katarzyna Skiba

Do czego stosujemy w budownictwie zasypy i izolacje wdmuchiwane?

Zasypy i izolacje wdmuchiwane mają szereg zastosowań jako materiały izolacyjne w budownictwie opartym na zasadach GOZ. Są pochodzenia roślinnego, mineralnego lub z recyklingu, biodegradowalne lub nadają się do powtórnego użytku. Zastępują powszechnie stosowane syntetyczne materiały oparte na paliwach kopalnych, których produkcja zużywa więcej energii i powoduje emisję toksycznych substancji.

Mogą być stosowane zarówno w konwencjonalnej realizacji budynków, jak i w połączeniu z technologiami budowania z materiałów naturalnych. Niektóre z materiałów - konopie i włókna roślin jednorocznych - zostały opisane szerzej w innych rozdziałach dotyczących całościowo tych materiałów.

Zasypy dzielą się na: mineralne (ekspandowane) - perlit, szkło spienione, keramzyt, oraz organiczne - konoplit, celuloza recyklingowa. Zasypy mineralne są stosowane najczęściej w izolacji fundamentów, podłóg na gruncie i płyt fundamentowych. Zasypy organiczne mogą być zastosowane w stropach i poddaszach oraz w podłogach na gruncie, które są podniesione.

Jako izolacje wdmuchiwane/nadmuchiwane stosuje się celulozę recyklingową, włókna drzewne, włókna roślin jednorocznych. Używane są w dachach skośnych, ścianach szkieletowych, stropach, prefabrykacjach.

Materiały te wykazują różną odporność ogniwą. Zasypy mineralne mają klasę reakcji na ogień A, zasypy i izolacje wdmuchiwane pochodzenia organicznego mają klasę reakcji E. Materiały roślinne tworzą warstwy otwarte dyfuzyjnie, paroprzepuszczalne i buforują wilgotność pomieszczeń. Zasypy mineralne tworzą także warstwy otwarte dyfuzyjnie, ale mają zróżnicowaną absorpcję wilgoci. Szkło spienione jej nie pochłania, zaś perlit tak, chociaż dostępny jest też perlit hydrofobizowany. Materiały izolacyjne

z włókien drzewnych, z włókien roślin jednorocznych i z konopi mają dużą pojemność cieplną. Parametr ten wskazuje na to, jaką ilość energii cieplnej jest w stanie przyjąć materiał izolacyjny oraz jak długo zajmie oddanie przez niego tej energii do wnętrza budynku. Duża pojemność cieplna w praktyce oznacza to, że pomieszczenia są chronione przed nagrzewaniem w lecie oraz przed nagłymi zmianami temperatury w zimie.

Zasypy mineralne są też odporne na ściskanie - szkło spienione czy keramzyt mogą zastąpić spodnie warstwy stosowane w podłogach na gruncie: podsypkę piaskową - jako kruszywo równomiernie rozkładają się nawet na nierówno przygotowanym podłożu gruntowym, chudy beton - stanowią stabilne podłoże pod posadzkę oraz izolację termiczną.

Zaletami zasypów i izolacji wdmuchiwanych są: brak mostków cieplnych - wypełnienie przestrzeni, których nie da się zaizolować w inny sposób ze względu na to, że są trudno dostępne, lub mają nierówne podłoże, łatwość obróbki materiału, brak odpadów i pozostawienie czystego placu budowy.

Mimo że zasypy oraz izolacje wdmuchiwane są wyrobami budowlanymi i są dostępne na rynku budowlanym, nie są zbyt rozpowszechnione. Tymczasem mogą stanowić alternatywę dla styropianu czy styroduru w dociepleniach podłóg na gruncie lub fundamentów, a także być zamiennikiem wełny mineralnej w dociepleniach poddasza i dachu.

Możemy je stosować zarówno w budynkach nowych, jak i termomodernizowanych, w tym w budynkach zabytkowych. Często poprawa izolacyjności przestrzeni stropów, dachów czy fundamentów w budynkach istniejących, ze względu na nierówności, czy skomplikowany dostęp, jest utrudniona. Ze względu na zawilgocenie przegród należy stosować materiały, które mają wysokie zdolności absorpcyjne i dyfuzyjne, buforujące poziom wilgotności. Wówczas omówione poniżej materiały mogą być dobrym rozwiązaniem.

Wyzwaniem dla GOZ są kwestie impregnacji - nasączenia materiałów pochodzenia organicznego środkami dającymi ochronę przed

szkodnikami, rozwojem grzybów i pleśni oraz zwiększającymi odporność na ogień, jak również mieszanki tych materiałów z gliną lub wapnem. Innymi ograniczeniami przy popularyzacji tych rozwiązań jest zwiększona grubość warstw dla zapewnienia właściwej izolacyjności (np. głębsze wykopy), czy brak szczegółowych wytycznych dla termomodernizacji przy użyciu tych materiałów.

Zасыpy mineralne

Perlit ekspandowany

Podstawowe informacje

Perlit to naturalna skała pochodzenia wulkanicznego, w której podczas powstawania zamknięte zostały spore ilości wody. Jej głównym składnikiem jest krzemionka – SiO_2 .

W wyniku procesu ekspansji, tj. prażenia w temperaturze 850 - 1150 °C, uwieczona woda zamienia się w parę wodną, która powoduje rozszerzenie ziarna i wytwarza puste, zamknięte mikropory oraz zwiększa objętość materiału nawet kilkunastokrotnie. Tak powstaje perlit ekspandowany. W zależności od sposobu prowadzenia tego procesu, można uzyskać frakcje o różnym uziarnieniu, którym przypisuje się odpowiednią klasę perlitu.

Perlit znajduje zastosowanie w budownictwie, hutnictwie, przemyśle spożywczym, rolnictwie i ochronie środowiska. Jest wydobywany, przetwarzany i różnorodnie wykorzystywany od

ponad 50 lat.

Występuje w formie sypkiej, jest obojętny chemicznie, odporny na mróz, wysokie temperatury, szkodniki i mikroorganizmy. Posiada właściwości sorpcyjne, buforuje wilgotność w pomieszczeniach oraz ma dobre właściwości dźwiękochłonne.

Perlit po recyklingu może być użyty np. jako składnik podłoża do roślin lub jako dodatek do ziemi ogrodniczej spulchniający i poprawiający retencję wody. Podczas przetwarzania perlitu nie tworzą się produkty uboczne, zmienia się tylko jego forma fizyczna. Niestety, mimo pochodzenia naturalnego, jest obciążony śladem węglowym ze względu na proces produkcji oraz transport. W Polsce nie ma złóż perlitu, ok. 70 proc. rezerw światowych znajduje się na terenie Turcji, do nas jest sprowadzany ze Słowacji i Węgier.

Parametry techniczne

Perlit ekspandowany jest materiałem lekkim, o ciężarze od 50 kg/m^3 . Charakteryzuje się dobrym współczynnikiem przewodzenia ciepła (0,040 - 0,049 $\text{W/m}^{\circ}\text{K}$). Jest niepalny i nierozprzestrzeniający ognia. Ma klasę reakcji na ogień: A1. Ze względu na dużą chłonność wody i wilgoci, stosowany jest w budownictwie zazwyczaj w postaci hydrofobizowanej preparatami krzemianowymi.

Materiał ten występuje w trzech klasach różniących się rozmiarem ziarna.

Podane parametry pochodzą od producentów



Zdjęcie 1. Perlit ekspandowany



Zdjęcie 2. Zasyp ściany perlitem

perlitu sklasyfikowanego jako wyrób budowlany ze znakiem B np. [1].

Sposób użycia

Perlit ekspandowany można stosować w dociepleniach różnych rodzajów stropów i konstrukcji dachowych, a także jako izolację akustyczną podłóg, ścian i stropów. Używa się go jako wypełniacza poprawiającego właściwości izolacyjne materiałów konstrukcyjnych, np. do zasypywania pustki w pustakach ceramicznych oraz tynków, czy do docieplania kominów poprzez zasypianie przestrzeni pomiędzy wkładem a cegłami. Zalecany jest do ocieplania starych budynków, w których pojawiają się problemy zawilgocenia i zagrzybienia ścian. Dzięki wysokiemu pH (równemu 10) chroni przed powstawaniem korozji biologicznej.

Keramzyt

Podstawowe informacje

Keramzyt wytwarzany jest bezpośrednio z gliny, właściwie nie zawiera domieszek. Surowiec do produkcji keramzytu - glina ilasta - wydobywany jest na Pomorzu Gdańskim i na Mazowszu.

Proces produkcji keramzytu wygląda następująco: glina leżakuje przez 2-3 tygodnie, zostaje do niej dolana woda, drobiny margla są rozgniatane walcami. Powstała w ten sposób uplastyczniona glina trafia do pieca rozgrzanego do temperatury około 1150°C. W trakcie wypału kilkakrotnie zwiększa swoją objętość. Po wypaleniu powstają kulki keramzytowe.

Keramzyt występuje w postaci sypkiego granulatu. Jest lekkim kruszywem odpornym na działanie wilgoci, kwasów, szkodników i mikroorganizmów. Charakteryzuje go również mrozoodporność i niepalność.

Jego zalety zostały odkryte na początku XX wieku. W Polsce produkcję rozpoczęto w latach 70. Keramzyt z rozbiórek może być zastosowany ponownie, nadaje się do recyklingu, po oczyszczeniu i rozkruszeniu może być wykorzystany np. jako kruszywo spulchniające podłoże gruntowe. Ze względu na nakłady energetyczne poniesione w procesie produkcji posiada wyższy ślad węglowy.

Parametry techniczne

Średnice granulatu to 10-20 mm, 4-10 mm, 2-4 mm oraz 0-2 mm. Materiał jest porowaty i bardzo lekki, granulat o średnicy 10-20 mm ma ciężar objętościowy nieco poniżej 300 kg/m³.

Gęstość nasypowa w stanie luźnym wynosi 246-333 kg/m³. Ze względu na współczynnik przewodzenia ciepła (0,1 W/m*K) dla uzyskania parametrów wymaganych w warunkach technicznych należy zastosować grubszą warstwę niż stosowana dla lepszych izolatorów. Keramzyt ma klasę reakcji na ogień A1. Jego kapilarność, czyli zdolność podciągania wilgoci z gruntu, jest ograniczona do 5 cm - warstwa keramzytu ułożona bezpośrednio na gruncie powyżej 5 cm nie zmienia w sposób istotny swojej wilgotności. Występuje też w formie impregnowanej.

Podane parametry pochodzą od producentów keramzytu i potwierdzone są deklaracjami właściwości użytkowych np. [3].

Sposób użycia

Keramzyt stosowany jest do izolacji stropów, stropodachów, dachów zielonych, ścian fundamentowych i piwnicznych oraz podłóg na gruncie. To odpowiedni materiał do docieplania istniejących stropów i podłóg drewnianych, w trakcie renowacji stropu izolowanego polepą można np. dokonać wymiany polepy na warstwę keramzytu. Keramzyt dobrze współpracuje ze stropami drewnianymi oraz reguluje wilgotność pustki stropowej.

Keramzytowa obsypka ścian fundamentowych może być zastosowana do polepszenia izolacyjności cieplnej, a także przeciwwilgociowo i jako odprowadzenie wody opadowej do drenażu.

Przykładowe rozwiązanie podłogi na gruncie przy użyciu keramzytu:

- usunięcie humusu;
- wyrównanie podłoża;
- ułożenie keramzytu impregnowanego o grubości ok. 35 cm;
- zagęszczenie mechanicznymi zagęszczarkami płytowymi lub ręcznymi ubijakami (następuje zmniejszenie grubości warstwy o ok. 10 proc.);

- ułożenie izolacji przeciwwilgociowej;
- wykonanie warstw posadzkowych.

Przykładowe rozwiązanie izolacji ściany fundamentowej i drenażu przy użyciu keramzytu w budynku istniejącym:

- sprawdzenie czy rzeczywiście drenaż jest potrzebny, co zależy od rodzaju gruntu i poziomu wody gruntowej (należy wykonać badania geotechniczne i zasięgnąć opinii projektanta);
- wykonanie wykopu wzdłuż fundamentów (należy pamiętać o wykonywaniu odcinkowego odsłonięcia fundamentów);
- wykonanie izolacji przeciwwilgociowej (np. szlamem mineralnym);
- ułożenie geowłókniny;
- ułożenie rury drenarskiej na dnie wykopu;
- zasyp keramzytem o grubości ok. 50 cm;
- przekrycie wypełnienia geowłókniną i zasypanie gruntem.

Przykładowe rozwiązanie remontu stropu drewnianego przy użyciu keramzytu:

- usunięcie starej posadzki i wypełnienia, np. polepy, gruzu lub żużlu;
- ułożenie membrany paroprzepuszczalnej;
- zasypka z keramzytu izolacyjnego (grubość w zależności od warstw stropowych);
- ułożenie geowłókniny;
- warstwy posadzkowe.



Zdjęcie 3. Izolacja stropu keramzytem

Szkło spienione (piankowe)

Podstawowe informacje

Szkło spienione to materiał pochodzenia mineralnego, otrzymywany z czystej stłuczki szklanej, pochodzącej z recyklingu szkła, przez dodanie domieszek pianotwórczych. Nie zawiera żadnych środków wiążących.

Jako lekkie kruszywo jest stosowany do ulepszania produktów przemysłowych oraz w budownictwie. Na skalę przemysłową produkcja szkła spienionego rozwinęła się po II wojnie światowej. Materiał ten stanowi dobrą alternatywę dla użycia granulatu styropianowego EPS, pianki polistyrenowej czy wełny mineralnej.

Wadą stosowania tego materiału jest wysoki ślad węglowy, powstający podczas obróbki termicznej, zaletą zaś to, że powstaje z odpadów. Szkło spienione może być recyklingowane i wykorzystane powtórnie. Skład chemiczny szkła piankowego zbliżony jest do materiału wyjściowego, czyli szkła, zatem odpady mogą być ponownie wykorzystane do produkcji tego samego materiału.

Ze szkła spienionego uzyskuje się trzy rodzaje produktów: granulaty, kruszywo i panele. Jest to materiał termoizolacyjny i hydroizolacyjny, może być też stosowany do drenażu. Granulat składa się z ziarenek w kolorze kremowobiałym, których wielkość wynosi od ułamka milimetra po kilkanaście milimetrów, kruszywo składa się z frakcji 32 - 63 mm.

Produkty ze szkła spienionego są lekkie, dźwiękochłonne, nie absorbują wody, są odporne na pleśń, mróz, ciepło, gryzonie i starzenie się.

Parametry techniczne

Kruszywo ma gęstość nasypową ok 150 kg /m³.

Współczynnik przewodzenia ciepła dla szkła spienionego wynosi 0,070-0,08 W/m*K.

Wysokość nasypowa około 50 cm (po zagęszczeniu 40 cm) pozwala uzyskać izolacyjność cieplną $U=0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ [4]. Szkło spienione jest niepalne i nierozprzestrzeniające ognia. Klasa palności materiału A1.

Sposób użycia

Szkło spienione w postaci granulatu jest stosowane jako wypełniacz termoizolacyjny do ścianek działowych i podłóg.

Szkło w postaci płyt stosuje się do izolacji ścian fundamentowych, ścian zewnętrznych i dachów oraz do wykonywania termoizolacji wewnętrznej ścian, podłóg i sufitów.

Kruszywo jest materiałem stosowanym do izolacji poziomej płyty fundamentowej czy podłogi na gruncie, jako izolacja pozioma dachów płaskich (w tym zielonych dachów) i podłóg budynków wielkopowierzchniowych.

Izolacja płyty fundamentowej przy pomocy szkła spienionego jest często stosowana w budynkach energooszczędnych. Materiał ten może również pełnić funkcję drenażu i stabilizacji gruntu. Dzięki stabilizacji podłoża nie jest konieczne wykonywanie podbudowy ze żwiru czy chudego betonu. Do izolacji podłogi na gruncie lub płyty fundamentowej używa się warstwy szkła spienionego o wysokości od 40 do 50 cm, którą następnie zagęszcza się. Stanowi ona bazę do wykonania wylewanej płyty fundamentowej lub warstw posadzki na gruncie z materiałów naturalnych (klepiska, podłogi wapienne).



Źródło: Tomasz Mielczyński

Zdjęcie 4. Izolacja termiczna, drenaż i stabilizacja pod płytą fundamentową

Zasypy organiczne/ izolacje wdmuchiwane

Celuloza recyklingowa

Podstawowe informacje

Celuloza jest materiałem pochodzenia roślinnego, to polimer liniowy, który współtworzy ściany komórkowe roślin. W języku łacińskim słowo „cellula” oznacza komórkę. Produkcja włókien celulozowych zachodzi dzięki procesowi fotosyntezy.

Celuloza ma wiele zastosowań, jednym ze szczególnie istotnych jest zastosowanie w przemyśle papierniczym. Wytwarzane z celulozy produkty to m.in.: papier, kartony, opakowania i artykuły higieniczne (papier toaletowy, ręczniki kuchenne).

Izolacja cieplna z włókien celulozowych powstaje z segregowanego papieru z gazet, kartonów i innych papierów odpadowych, czyli mamy do czynienia z recyklingiem. Papier jest poddawany rozwłóknieniu i zmielony. Celuloza otrzymywana jest z drzew, które w czasie wzrostu pobierają i wiążą dwutlenek węgla z atmosfery. 1 kg celulozy może zmagazynować ok.1,4 kg CO₂. Proces produkcji izolacji celulozowej zużywa ok. 30-krotnie mniej energii, niż produkcja wełny mineralnej. Po demontażu izolacja z celulozy może być wykorzystana ponownie w tym samym celu. Granulat celulozy pakowany jest w worki papierowe, nadające się do recyklingu.

Właściwości termoizolacyjne materiału wynikają z wysokiej zawartości powietrza we włóknach i w przestrzeniach między nimi. Celuloza buforuje także poziom wilgotności i tłumi dźwięki.

Parametry techniczne

Izolacja celulozowa charakteryzuje się dobrym współczynnikiem przewodzenia ciepła (od 0,042 W/m*K, do 0,037 W/m*K). Jest niepalna, jedynie zewnętrzna warstwa ulega zwęgleniu. Klasa reakcji na ogień to B-s2, d0 (dla grubości >10cm).

Powyższe dane pochodzą od producentów celulozy stosowanej jako wyrób budowlany oznaczony znakiem CE.

Celuloza nasączana jest solami mineralnymi, które zapewniają jej ochronę przed szkodnikami, grzybami i pleśnią oraz zwiększają jej odporność na ogień. Obecnie odchodzi się od używania w tym celu soli boru i siarczanu amonu. W dużych dawkach są one toksyczne dla zdrowia człowieka. Materiał występuje również w wariacie bez zabezpieczenia.

Sposób użycia

Stosuje się następujące metody ocieplania celulozą: wdmuchiwanie, otwarty nadmuch, mokry natrysk i zasyp. Ocieplenie celulożą poprzez wdmuchiwanie świetnie sprawdza się tam, gdzie klasyczne docieplenia w postaci płyt, nawet tych miękkich, są trudne do wykonania.

Ocieplenie celulożą poprzez zasyp pozwala na izolację dużych powierzchni, najczęściej jest stosowane na poddaszach nieużytkowych.

Metoda natryskowa jest najbardziej czasochłonna i dlatego najrzadziej stosowana. Nakładanie na mokro jest możliwe dzięki aktywowaniu przy pomocy dodatku wody naturalnie występującego w celulozie kleju



Zdjęcie 5. Docieplenie poddasza celulożą

Konoplit

Podstawowe informacje

Konoplit został szczegółowo omówiony w rozdziale 2 - charakterystyka wybranych technologii GOZ oraz 3 - wytyczne wykonawcze dla budownictwa naturalnego. Poniżej zostały zawarte skrótowe informacje dotyczące

zasypów, szerzej rozwinięte w wymienionych opracowaniach.

Zasyp z konoplitu jest stosowany w podłogach podniesionych (ponad poziom gruntu), stropach i dachach.

Parametry techniczne

Stosunek spoiwa (wapna hydratyzowanego z dodatkami) do paździerza powinien wynosić około 1:1 do zasypu stropów i dachów, natomiast do podłóg 2,5-3,0.

Współczynnik przewodzenia ciepła betonu konopnego osiąga wartości od 0,065 do 0,12 W/m*K.

Zasyp konoplitu o gęstości ok. 210 kg/m³ ma współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda=0,06$ W/m*K. Spoiwo zabezpiecza paździerz ogniowo i biologicznie. Konoplit cechuje pochłanianie i tłumienie dźwięków.

Sposób użycia

Warstwa konoplitu w podłodze ma dużą gęstość i wymaga izolującej warstwy podkładowej, np. ze szkła piankowego lub keramzytu. Mieszanka powinna mieć konsystencję mokro - sypką, nie należy jej nadmiernie kompresować, aby zachowała jak najlepsze parametry izolacyjne. Układa się ją za pomocą grabi, powierzchnię wyrównuje się za pomocą poziomicy.

W izolacja stropów i dachów w postaci luźnego zasypu od spodu przegrody stosowany jest szalunek tracony. Mogą to być płyty z wełny drzewnej, maty trzciniowe lub gęsto przybite łaty.



Zdjęcie 6. Docieplenie podłogi podniesionej

Włókna roślin jednorocznych

Podstawowe informacje

Włókna roślin jednorocznych są pozyskiwane z pszenicy i żyta. Jest to surowiec powszechnie dostępny, z którego można uzyskać pełnowartościowe izolacje termiczne. Izolacja kostką słomy została szczegółowo omówiona w rozdziale 2 i 3 - charakterystyka wybranych technologii GOZ oraz wytyczne wykonawcze dla budownictwa naturalnego.

Włókna lignocelulozowe są mocno rozdrobnione, mają podobne cechy i parametry, jak włókna drzewne. Ze względu na swoje właściwości akustyczne, mogą być także stosowane do wytłumiania pomieszczeń. Są produktem biodegradowalnym, podlegającym pełnemu recyklingowi materiałowemu. Po zakończeniu użytkowania mogą zostać wykorzystane jako biopaliwo.

Parametry techniczne

Współczynnik przewodzenia ciepła wynosi $0,042 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$. Gęstość materiału wynosi do 70 kg/m^3 . Włókna lignocelulozowe mają wysoką pojemność ciepłą $2100 \text{ J/(kg}^{\circ}\text{K)}$.

Klasyfikacja ogniowa to E, włókna nasączone są polifosforanem amonu, uniemożliwiającym podtrzymywanie ognia. Powyższe dane pochodzą od producenta włókien lignocelulozowych stosowanych jako wyrób budowlany oznaczony znakiem CE [5].

Sposób użycia

Włókna lignocelulozowe mogą być stosowane jako izolacje wdmuchiwane i zasypy. Używane są przy ocieplaniu dachów, stropodachów wentylowanych i ścian szkieletowych.

Są dobrym dopełnieniem do izolacji termicznej budynku wykonanej ze słomy w miejscach, w których zastosowanie kostki jest trudne lub niemożliwe.



Zdjęcie 7. Włókna lignocelulozowe

Źródło: vestaeco.pl

Włókna drzewne

Podstawowe informacje

Surowcem do produkcji włókien drzewnych jest świeże drewno, najczęściej sosnowe. Za pomocą pary wodnej i obróbki mechanicznej drewno rozdrabniane jest na pojedyncze włókna w tzw. procesie suchym. Jeżeli włókno drzewne ma być zastosowane w budownictwie ekologicznym, to niezwykle ważne jest pochodzenie drewna ze zrównoważonych upraw leśnych i najlepiej z odpadu w procesie produkcji innych elementów drewnianych.

Z włókien drzewnych formuje się również płyty. Włókna drzewne są otwarte dyfuzyjnie i sorpcyjne, dzięki czemu buforują nadmiar wilgoci, wchłaniają do 20 proc. wagowo wilgoci z otoczenia - bez silnego zawilgocenia i utraty efektu izolacyjnego. Wchłoniętą parę wodną oddają podczas parowania, dzięki czemu termoizolacja i konstrukcja budynku nie są narażone na rozwój pleśni i grzybów.

Materiał jest dostarczany na budowę w postaci sprasowanej i rozdrabniany w agregatach do wdmuchiwania izolacji.

Parametry techniczne

Izolacja z wdmuchiwanych włókien drzewnych ma dobry współczynnik przewodzenia ciepła (od $0,038 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$). Klasa reakcji na ogień to B-s2, d0, uzyskana dzięki nasączeniu włókien solami mineralnymi [6]. Podczas kontaktu z ogniem wytwarza się zwęglona warstwa,

która zapobiega rozprzestrzenianiu się płomieni i szybkiemu wypalaniu.

Utylizacja materiału przebiega tak, jak w przypadku innych materiałów drewnopochodnych.

Sposób użycia

Włókna drzewne używane są jako izolacje wdmuchiwana i nadmuchiwana. Materiał zachowuje swoją formę i objętość dzięki klinowaniu się poszczególnych włókien drzewnych. Należy zastosować o 15-20 proc. więcej materiału, niż zamierzona grubość termoizolacji.

Włókna drzewne do wdmuchiwania wymagają agregatów o większej mocy, niż te do celulozy. Możliwa jest regulacja gęstości materiału podczas wdmuchiwania, dzięki czemu uzyskuje się przegrody o lepszej izolacyjności akustycznej. W związku z dużym ciśnieniem należy zastosować odpowiednio twarde i grube płyty uszczelniające przegrodę, aby wytrzymały duże ciśnienie podczas nadmuchu i nie popękały.



Źródło: steico

Zdjęcie 8. Wdmuchiwanie włókien drzewnych w ścianę szkieletową

Prefabrykaty

Izolacje wdmuchiwane z włókien drzewnych są również stosowane w prefabrykacji ścian i elementów dachowych. Komponenty budynków są montowane w fabryce z lekkich, szkieletowych konstrukcji drewnianych, zamkniętych płytami: OSB, z włókna drzewnego lub włóknowo - gipsowych. W tak przygotowany element wdmuchiwana jest izolacja.



źródło: ecologiqa

Zdjęcie 9. Prefabrykacja

Bibliografia

1. <http://www.perlit-polska.pl>
2. <https://www.perlite.org/perlite-loose-fill-masonry-insulation/>
3. <https://leca.pl/produkty/izolacje/>
4. <http://www.isopor.pl>
5. <https://vestaeco.myshopify.com>
6. <https://www.steico.com>
7. Pietra, M. Właściwości i zastosowanie perlitu, Izolacje nr 3/2018
8. Brzyski, P. Ekologiczne aspekty wykorzystania wybranych materiałów stosowanych jako izolacje termiczne, Izolacje nr 11-12/2014
9. Kosiński P. Możliwość wykorzystania materiałów pochodzenia naturalnego i organicznego do izolacji cieplnej budynków, Olsztyn, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski

2.5 Wykończenia naturalne na bazie gliny i wapna

Iwona Jadanowska-Gromke, Marcin Kacprzyk

Wykończenia naturalne na bazie gliny i wapna

Wykończenia naturalne mają dużą otwartość dyfuzyjną, nie zawierają dodatków utrudniających powtórne wykorzystanie czy bezpieczne zagospodarowanie w gruncie. Zaliczamy do nich głównie tynki gliniane, farby gliniane, farby kredowe, a także materiały na bazie spoiwa wapiennego: tynk wapienny, tadelakt czy farby wapienne.

Glina

Glina była niewątpliwie pierwszym spoiwem odkrytym i użytym do wykonania tynków, a budownictwo na bazie gliny to nasza najstarsza ciągła tradycja budowlana.

Gliny powstają w wyniku milionów lat erozji mineralnej: góry rozpadają się na głazy, głazy na skały, skały na kamyki, piasek, muł i w końcu, kiedy muł osiąga pewien rozmiar, następuje niesamowita przemiana. Zamiast być po prostu luźną mieszanką, drobne cząsteczki przyciągają wodę i siebie nawzajem na poziomie molekularnym. To obecność minerałów ilastych wywiera znaczący wpływ na właściwości tynków glinianych.

Glina ma budowę przypominającą stos krystalicznych arkuszy krzemionki i tlenku gliny, co daje różne rodzaje i kolory minerałów ilastych. Najpopularniejszymi minerałami są kaolinit, illit i montmorylonit. Cechą gliny, szczególnie istotną z punktu widzenia budownictwa naturalnego, jest jej plastyczność, która wynika z wielkości cząstek, geometrii oraz zawartości wody. Na plastyczność duży wpływ ma skład chemiczny materiału zawartego w glinie. Jeżeli zatrzymuje wodę, glina może być formowana w dowolny sposób. Skład mineralny decyduje o różnych właściwościach tynków glinianych.

Materiałem zbliżonym do glin są gleby lessowe, które nie posiadają właściwości wiążących i mogą przyczynić się do pylenia materiału.

Decydując się zatem na zastosowanie tynku glinianego, musimy znać jego skład mineralny, pozwoli to kontrolować proces aplikacji, zapewni właściwą jakość, a także wykluczy ewentualne problemy pojawiające się podczas aplikacji.

Tynki gliniane różnią się od innych tynków sposobem wiązania i utwardzania się. W przypadku cementu, gipsu i w pewnym stopniu wapna hydraulicznego, proces utwardzania przebiega w wyniku reakcji hydraulicznej pomiędzy spoiwem a wodą. Tynki gliniane natomiast twardnieją, gdy nadmiar wody dodanej podczas mieszania zostaje utracony, a cząstki gliny w wyniku zjawisk fizycznych zbliżają się do siebie. To siła przyciągania i odpychania się cząstek gliny odpowiada za wielkość siły spójności i wiązania gliny w stanie plastycznym oraz za wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie w stanie stałym. Proces ten, w przeciwieństwie do wiązania chemicznego, jest zatem odwracalny i powtarzalny.



Zdjęcie 1. Minerały używane do produkcji tynków glinianych

Źródło: www.costka.com

Właściwości tynków glinianych a zdrowie

Tynki gliniane mają bardzo specyficzne i unikalne właściwości, dzięki czemu doskonale nadają się do budownictwa zabytkowego, naturalnego oraz konwencjonalnego.

Jedną z ważniejszych zalet tynków glinianych, która bezpośrednio wpływa na zdrowie człowieka, jest ich tzw. **oddychalność** - otwartość dyfuzyjna. Tynki gliniane mają nie tylko

doskonałą przepuszczalność pary, ale także wyjątkowo dobre właściwości higroskopijne. Związane jest to z ich kapilarną strukturą. Może to stanowić ważną strategię kontroli nadmiaru wilgoci we wrażliwych budynkach, zagrożonych wzrostem poziomu wilgoci.

Tynki gliniane są nietoksyczne, charakteryzują się brakiem emisji lotnych związków organicznych i nie powinny zawierać dodatków syntetycznych, betonu czy wapna.

Są najbardziej zrównoważonym, dostępnym wykończeniem ścian i sufitów, nadają się do recyklingu, naprawy, zagospodarowania w gruncie czy jako dodatek do kompostowania. Pozwalają budynkom oddychać, tłumią dźwięki i **pomagają regulować wilgotność** oraz temperaturę. Ich właściwości buforowania wilgoci pomagają utrzymać komfortowy dla domowników poziom wilgotności (40-60 proc.), jednocześnie zmniejszając ryzyko powstania pleśni czy rozwoju grzybów, bakterii i wirusów. Badania wykazały, że tynki gliniane mają potencjał **redukcji z powietrza LZO** (lotnych związków organicznych) pochodzących z innych źródeł. Podobnie jak rośliny pokojowe, są zjonizowane ujemnie, a wraz z aktywną wymianą wilgoci, mogą wiązać lotne zanieczyszczenia.

Estetyka

Tynki gliniane to bardzo elastyczny i wyjątkowo trwałe materiały. Może on być renderowany w celu uzyskania nieskończonej gamy tekstur, od rustykalnych z widocznym kruszywem po gładkie i błyszczące. Kreatywność projektanta i zaangażowanie wykonawcy pozwalają na osiągnięcie niepowtarzalnych rozwiązań i detali, które nadają przestrzeni ekskluzywność i unikalność.

Tynki gliniane, by wykorzystać ich potencjał akumulacji ciepła i wilgoci, zazwyczaj aplikowane są warstwowo począwszy od:

- szprycu
- tynku bazowego
- tynku o średnim uziarnieniu
- cienkowarstwowych gładzi wykończeniowych.

Dla ułatwienia rodzaje wykończeń zostały podzielone na cztery kategorie:

- **Tynk gliniany wykończony na szorstko** — wykończony wyłącznie poprzez gąbkowanie, wysuszony i omieciony z nadmiaru piasku, jest podstawowym wykończeniem ścian łatwym do zaaplikowania; materiał: tynk drobnoziarnisty, narzędzia: paca z gąbką, gąbka;
- **Tynki gliniane wykończone na gładko** — dzięki miękkiej fakturze to delikatne wykończenie pozwala uzyskać gładkie ściany i często jest wybierane w prywatnych domach. Zauważalne są bardzo subtelne różnice tonalne i fakturalne; materiał: tynk drobnoziarnisty, narzędzia: paca z gąbką, gąbka, paca wenecka;
- **Tynki gliniane wykończone półrustykalnie** — powierzchnia tynku nadal jest gładka, ale obserwujemy lekkie nierówności, wgłębienia. W tym wykończeniu możemy do tynku dodać różne organiczne i mineralne dodatki: słomę, mieniające się minerały dla uzyskania nieskończonej gamy odmian i możliwości; materiał: tynk drobnoziarnisty lub tynk strukturalny, narzędzia: paca z gąbką, pędzel, paca japońska;
- **Tynki gliniane wykończone rustykalnie** — materiał charakterystyczny, o różnym stopniu szorstkości. Wykończenie to można zastosować do stworzenia rustykalnego, a zarazem nowoczesnego stylu. Oferuje wyjątkowe możliwości personalizacji przestrzeni; materiał: tynk strukturalny, tynk wzbogacony dodatkami mineralnymi lub organicznymi, praca na mokrym tynku, narzędzia: paca japońska, paca wenecka, pędzle, gąbka.

Tynki gliniane oferują również bogactwo kolorów. Swoją szlachetną, ziemistą kolor zawdzięczają **różnobarwnym złożom gliny**, ich selekcji i mieszanii. Są to tynki najbardziej naturalne, **nie pigmentowane**, których kolor jest wynikiem użycia glin o różnym **zabarwieniu**. W sprzedaży dostępne są także tynki gliniane barwione pigmentami mineralnymi.



Zdjęcie 2. Tynk gliniany personalizowany



Zdjęcie 4. Tynk gliniany szary wykończony pacą



Zdjęcie 3. Tynk gliniany brązowy wykończony gąbką



Zdjęcie 5. Tynk gliniany wykończony pędzlem



Zdjęcie 6. Tynk gliniany wykończony pędzlem i pacą



Zdjęcie 7. Tynk gliniany wzbogacony o paździerzę lniane



Zdjęcie 8. Tynk gliniany wykończony pędzlem



Zdjęcie 9. Przykłady kolorów tynków glinianych niepigmentowanych

Wytyczne projektowe

Tynki gliniane możemy aplikować na wielu podłożach, jednak w zależności od tego, z czego wykonana jest ściana, na którą aplikować będziemy tynk, istnieją różne procedury przygotowawcze. Podłoże musi być strukturalnie mocne i solidne, odpowiednio szczerpane i chropowate tak, aby tynk mógł dobrze się do niego przyczepić. Bardzo istotna jest także chłonność podłoża, im bardziej chłonne podłoże, tym bardziej będzie „piło” wodę z zaprawy, co może w efekcie doprowadzić do zbyt szybkiego wyschnięcia tynku i jego pęknięcia. Jeśli aplikacja tynków glinianych będzie wykonywana w nowych budynkach, trzeba pamiętać, aby zastosowane w nich tynki cementowo-wapienne były sezonowane. Coraz częstszą praktyką jest aplikacja tynków glinianych na miękkie lub półtwarde płyty organiczne. Wymagają one jednak dodatkowego zbrojenia najczęściej siatką jutową lub siatką z włókna szklanego międzywarstwowo.

Podłoża niepłaskie i zakrzywione mogą wymagać innego przygotowania niż standardowe.

W obszarach o dużym natężeniu ruchu zaleca się stosowanie listew narożnikowych montowanych na powierzchni. W przypadku grubszych wykończeń zaleca się zaokrąglone rogi, ponieważ zapewniają większą trwałość.

Rodzaj podłoża wymaga właściwej procedury przygotowawczej, co jest kluczowe dla trwałości i jakości tynku glinianego.

Tynki gliniane wymagają dylatacji na styku materiałów o odmiennej elastyczności. Zazwyczaj na styku z futrynami drzwiowymi, czy okiennymi stosuje się planowe mikro dylatacje.

Bardzo chłonne podłoża wymagają zwilżenia przed aplikacją tynku.

Warunki pracy

Nie należy wykonywać aplikacji, gdy temperatura spadnie poniżej 5°C lub wzrośnie powyżej 30°C. Wilgotność powietrza nie powinna przekraczać 70 proc.. Czas schnięcia zależy od warunków otoczenia i szybkości wchłaniania podłoża. W idealnych warunkach tynk powinien całkowicie wyschnąć w ciągu 24-48 godzin. Podczas aplikacji i po jej zakończeniu

wymagana jest dobra cyrkulacja powietrza. Ogrzewanie pomieszczeń może być stosowane w niskich temperaturach, ale należy zachować ostrożność, ponieważ zbyt szybkie wysychanie może powodować pęknięcia w tynku. Częstym błędem jest nadmierna temperatura pomieszczeń - suszenie poprzez nagrzewanie, co wymusza transport wilgoci do struktury przegrody. Skutecznym sposobem suszenia jest owiewanie przegród, z możliwością jednoczesnego obniżania wilgotności pomieszczeń, poprzez wietrzenie lub osuszenie.

Ograniczenia

Tynk gliniany jest wszechstronnym materiałem, który z powodzeniem można aplikować na ściany i sufity. Tynki gliniane dobrze sprawdzają się w łazienkach, kuchniach i pomieszczeniach o okresowo podwyższonej wilgotności. Jednak nie nadają się do pomieszczeń mokrych z bezpośrednim kontaktem z wodą (np. kabina prysznicowa lub powierzchnia za umywalką). Tynki gliniane w naszej szerokości geograficznej są przeznaczone wyłącznie do użytku wewnętrznego. Tradycyjnie stosowane na zewnątrz, wymagają regularnych kontroli i napraw.

Ochrona i pielęgnacja

Tynki gliniane są wykończeniem stosunkowo delikatnym i są mniej odporne na uderzenia czy mocniejsze otarcia. Jednak z uwagi na fakt, że są wodno-rozpuszczalne, uszkodzenia — np. drobne rysy i pęknięcia można łatwo naprawić miejscowo, spryskując powierzchnię wodą i delikatnie zacierając gąbką. Większe uszkodzenia mechaniczne należy miejscowo naprawić, stosując zaprawę glinianą.

Plamy i zabrudzenia należy w pierwszej kolejności próbować usunąć na sucho, stosując miękką gąbkę lub pędzel, w przypadku trudniejszych zabrudzeń powierzchnię można przetrzeć w delikatny sposób lekko zwilżoną, miękką gąbką.

Tynk gliniany, jeśli jest dobrej jakości i został zaaplikowany w zalecanej grubości bez pominięcia żadnej fazy, nie powinien się „rysować”, ani „osypywać/pylić” (po wykończeniu) . Aby

zwiększyć jego trwałość, dopuszcza się zastosowanie utrwalaczy: naturalnych impregnatów (szczegóły w podrozdziale: Rozwiązania dla inwestora domu jednorodzinnego oraz dewelopera - zastosowanie naturalnych wykończeń w ujęciu projektowania zrównoważonego).

Zużycie materiału oraz wytyczne do kosztorysu

Tynk gliniany gruboziarnisty

Tynk gliniany gruboziarnisty zwany także tynkiem bazowym wykorzystujemy jako tynk zasadniczy przy aplikacji na ściany wykonane w technologii budownictwa naturalnego z zastosowaniem betonu konopnego, kostek słomy, płyt z włókien drzewnych czy konstrukcji z bala drzewnego, jak również ścian murowanych z cegieł. **Średnie zużycie tego materiału to 60 m² z 1000 kg przy grubości aplikacji ok. 10 mm.**

Tynk drobnoziarnisty

Tynk drobnoziarnisty zwany także wykończeniowym stosujemy bezpośrednio do wykańczania powierzchni ścian i sufitów aplikując na różne powierzchnie, w tym również te wcześniej obrzucone tynkiem glinianym. Dodatkowo również jako samodzielna warstwa wykończeniowa w przypadku aplikacji na tynki wapienno-cementowe czy ściany wykonane z karton gipsu. **Aplikujemy go maksymalnie na grubość 5 mm, przy wydajności ok. 5 m² z 20 kg tynku.** W przypadku aplikacji na ściany wykonane z karton-gipsu w kosztorysie należy uwzględnić również koszt związany z aplikacją gruntu szczerpnego. W przypadku aplikacji na inne podłoża, w kosztorysie należy uwzględnić konkretny system tynkarski.

- Szacowane zużycie tynku glinianego wykończeniowego: 4-4,5 kg/m²
- Szacowana cena tynku glinianego wykończeniowego brutto: 20-25 PLN/m²
- Szacunkowy koszt aplikacji tynków wykończeniowych w 2024 roku wynosi 100-140 PLN/m² w zależności od lokalizacji, wielkości inwestycji oraz efektów wizualnych.

Tynki wapienne

Tynk wapienny jest jednym z najstarszych surowców stosowanych w budownictwie. Jego początki sięgają jeszcze początków Cesarstwa Rzymskiego. W okresie ostatnich 60 lat promocja tynków na bazie gipsu doprowadziła do niemal całkowitego upadku tynkarstwa wapiennego. Rosnąca świadomość ekologiczna oraz niezwykle właściwości oddychające tego surowca, powodują ponowne zastosowanie go w nowoczesnych budynkach zarówno wykonanych według założeń budownictwa naturalnego, jak i konwencjonalnego.

Wapienna zaprawa tynkarska składa się głównie z wapna, piasku i wody. Jednak, aby zmienić jej podstawowe właściwości, potrzebne są różne dodatki. To, co odróżnia tynk wapienny od tynku glinianego to jego proces twardnienia. Tynk gliniany osiąga wytrzymałość po wyschnięciu, a po dodaniu wody mogą ponownie się rozmiękczyć. Tynk wapienny natomiast twardnieje na skutek procesu chemicznego zachodzącego w jego składnikach.

Jeśli decydujemy się na zastosowanie tynku wapiennego ze względów ekologicznych i zdrowotnych, musimy w pierwszej kolejności ocenić jego skład. Sucha zaprawa, produkowana na bazie dolomitowego wapna powietrznego lub naturalnego wapna hydraulicznego oraz gotowa do użycia zaprawa tynkarska z wapna dołowanego to produkty naturalne.

Właściwości tynków wapiennych

Tynk wapienny jest surowcem ekologicznym i nietoksycznym. Oprócz czarującej faktury tynk wapienny podobnie, jak tynk gliniany **utrzymuje w budynku chłód latem, a ciepło zimą.** Dodatkowo tynki wapienne mają **właściwości przeciwgrzybicze i antyalergiczne**, są zatem idealnym wyborem dla osób zmagających się z alergiami czy częstymi infekcjami górnych dróg oddechowych. Tynki wapienne to materiał niezwykle **plastyczny**, co daje olbrzymie możliwości aplikacyjne. Jest materiałem trwałym, który nadaje się do stosowania wewnątrz i na zewnątrz, jako powłoki bazowe i wykończeniowe. Można nakładać go bezpośrednio na dowolne podłoża

mineralne, które jest nieobrobione, niezabezpieczone, niepomalowane. Można także aplikować go na płyty gipsowo-kartonowe i inne podłoża mineralne, pod warunkiem, że zostały one przygotowane za pomocą podkładu wiążącego. Tynk wapienny pozbawiony jest szkodliwych lotnych związków organicznych, jest bezwonny. Jego naturalnie wysoka alkaliczność zapobiega rozwojowi bakterii, pleśni i grzybów.

Estetyka

Tynk wapienny dzięki swoim niezwykłym właściwościom plastyczno-elastycznym można zastosować w przeróżnych aranżacjach. Wykańczanie tynku wapiennego daje szeroki wachlarz możliwości.

Surowiec ten wykorzystuje się również do kreowania małych detali, tj. okapów kuchennych czy ścian kominkowych. Można uzyskać nieskończoną gamę tekstur, od rustykalnych z wyraźnym kruszywem po gładkie i błyszczące.

Tynki wapienne mają zdecydowanie mniejszą gamę kolorystyczną, przy założeniu, że kolor wynika ze spoiwa (tynki wapienne nie pigmentowane). Niemniej jednak tynki wapienne możemy pigmentować używając pigmentów naturalnych. Trzeba stosować pigmenty odporne na działanie soli wapiennych, a przy stosowaniu tynku wapiennego na zewnątrz, również odporne na kwasy. Zawartość pigmentu w zaprawie nie powinna przekraczać 5 proc. objętości spoiwa. Proces pigmentowania przeprowadzamy techniką „sucho na sucho”.

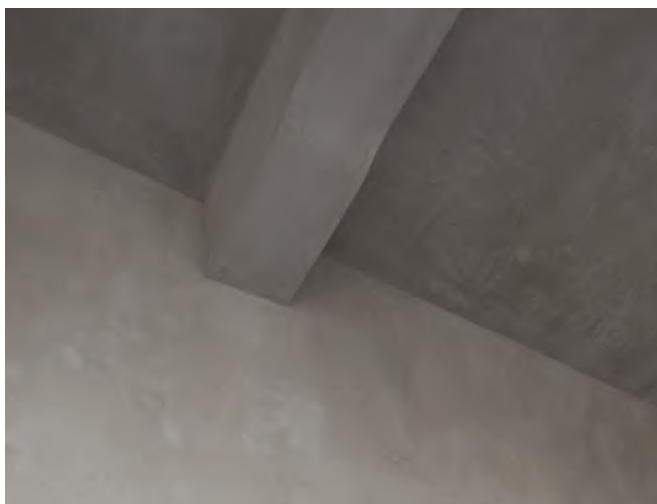
Wytyczne projektowe

Tynk wapienny aplikujemy na podłoża chłonne i stabilne. Nakłada się go zwykle w systemie trzech cienkich warstw, a proces aplikacji wykonujemy „mokro na mokro”.

Pierwsza warstwa o grubości około 10 mm, jest nakładana na podłoża, takie jak drewno lub odstonięty mur ceglany. Składa się z grubego kruszywa stosowanego w celu uzyskania szorstkiego wykończenia, które zapewnia dobrą przyczepność do następnej warstwy. Druga warstwa jest wykonana z grubego kruszywa i ma grubość 10 mm, jest bardziej wygładzona i tylko lekko szorstka, aby zapewnić dobre efekty wizualne. Warstwa wykończeniowa ma grubość ok. 4 mm. Wykonana jest z gładkiego kruszywa, co daje dekoracyjny i bardzo estetyczny efekt końcowy. Wykończeniowy tynk wapienny można aplikować również na tynk gliniany bazowy lub jako samodzielną wykończeniową warstwę na podłoża typu: karton-gips czy tynki cementowo-wapienne po uprzednim jego przygotowaniu.



Zdjęcie 10. Tynk wapienny



Zdjęcie 11. Tynk wapienny pigmentowany

Warunki pracy

Tynk wapienny należy przygotować minimum 24 godziny przed planowaną aplikacją. Nie należy wietrzyć pomieszczenia, należy utrzymać możliwie największą wilgotność i dość niską temperaturę. Jeśli tynk wapienny aplikujemy na zewnątrz, prace należy prowadzić w miesiącach wiosennych lub jesiennych. Zakres temperatur podczas pracy: 5-20°C Czas schnięcia zależy od warunków otoczenia oraz podłoża. Suchość dotykowa obserwowana jest po 24-48 h, a całkowite utwardzenie po 28 dniach.

Ograniczenia

Tynk wapienny można stosować w pomieszczeniach wilgotnych, ale nie nadaje się do wnęk prysznicowych. Nie nadaje się również do aplikacji na podłogę oraz powierzchnie nieutwardzone i mało stabilne.

Trwałość i pielęgnacja

Tynk wapienny jest wyjątkowo trwały, odporny na ścieranie oraz dość odporny na działanie wody, ale najlepiej stosować go na suche obszary. Większe uszkodzenia mechaniczne należy miejscowo naprawić, stosując zaprawę wapienną naprawczą. Plamy i zabrudzenia należy w pierwszej kolejności próbować usunąć na sucho, stosując miękką gąbkę lub pędzel, w przypadku trudniejszych zabrudzeń powierzchnię można przetrzeć w delikatny sposób lekko zwilżoną, miękką gąbką.

Zużycie materiału oraz wytyczne do kosztorysu

Tynk wapienny bazowy

Tynk wapienny bazowy wykorzystujemy jako tynk zasadniczy przy aplikacji na ściany wykonane w technologii budownictwa naturalnego z zastosowaniem betonu konopnego, kostek słomy, płyt z włókien drzewnych czy konstrukcji z bala drzewnego, jak również ścian murowanych z cegły. Średnie zużycie tego materiału to ok. 50 m² z 1000 kg przy grubości aplikacji ok. 10 mm.

Tynk wapienny drobnoziarnisty wykończeniowy

Tynk wapienny drobnoziarnisty wykończeniowy aplikujemy maksymalnie na grubość 5 mm, przy wydajności ok. 5 - 6 m² z 20 kg tynku. W przypadku aplikacji na ściany wykonane z karton-gipsu w kosztorysie należy uwzględnić również koszt związany z aplikacją gruntu szczepnego. W przypadku aplikacji na inne podłoża, w kosztorysie należy uwzględnić konkretny system tynkarski.

- Szacowane zużycie tynku wapiennego: 3,5-4,5 kg/m²
- Szacowana cena tynku wapiennego wykończeniowego brutto: 18-23 PLN/m²
- Szacunkowy koszt aplikacji tynków wykończeniowych w 2024 roku wynosi 100-140 PLN/m² w zależności od lokalizacji, wielkości inwestycji oraz efektów wizualnych.

Farby gliniane

Farby gliniane są przyjazne dla środowiska oraz dla człowieka. Charakteryzują się brakiem LZO (lotnych związków organicznych), a ich skład jest w 100 proc. naturalny, dzięki czemu są w pełni biodegradowalne. Oferują wysoki poziom krycia i łatwość aplikacji. Ich ogromną zaletą jest również brak nieprzyjemnego zapachu podczas aplikacji, a w pomieszczeniu można zamieszkać zaraz po pomalowaniu. Poza bezpiecznym i w pełni naturalnym składem farby gliniane gwarantują również artystyczną, unikatową, niejednorodną i oddychającą powierzchnię.

Aplikacja farb glinianych wygląda dokładnie tak, jak aplikacja standardowych farb malarskich, dedykowanymi narzędziami są przede wszystkim pędzle i wałki malarskie. Naturalne farby gliniane są całkowicie wolne od olejów i akryli, są to farby wodne, odpowiednie do ścian i sufitów. Nadają się szczególnie do tynków wapiennych i glinianych oraz innych podłoży chłonnych. Na rynku obecne są farby gliniane dające matowe i gładkie wykończenie, których kolory powstały w wyniku zastosowania pigmentów naturalnych, jak i bardziej organiczne i szlachetne farby gliniane niepigmentowane, wzbogacone o minerały

i kruszywa, dzięki czemu dają lekko strukturalne wykończenie. Kolory tych farb uzyskano poprzez zastosowanie glin o różnym zabarwieniu, pozyskanych z różnych regionów i różnych głębokości.

źródło: www.costka.com



Zdjęcie 12. Farby gliniane niepigmentowane strukturalne

Estetyka

Farby gliniane dają aksamitnie wykończenie, które nie odbija promieni słonecznych. Stosując farbę glinianą gładką, uzyskujemy kombinację matowo-jedwabistego wykończenia, natomiast w przypadku zastosowania farb glinianych strukturalnych otrzymujemy intensywnie matowe wykończenie z widoczną strukturalną powierzchnią. Farby gliniane niepigmentowane można mieszać ze sobą, dzięki czemu możemy uzyskać personalizowany kolor. Innym sposobem na uzyskanie unikalnego koloru jest zastosowanie pigmentów naturalnych. Najlepsze efekty wizualne, bardziej artystyczne, osiągnąć można poprzez aplikację pędzlami.

Wytyczne projektowe

Farba gliniana jest farbą wodną, która nadaje się do powierzchni zdolnych do absorpcji wody. Idealnym podłożem dla farb glinianych są: tynki (tynki gliniane, tynki wapienne, tynki mineralne), kamień (cegła, beton konstrukcyjny), płyty karton-gips po wcześniejszym zagruntowaniu. Aby uzyskać pełne krycie i intensywność koloru, należy zaaplikować dwie warstwy. Drugą warstwę nakładamy po całkowitym wyschnięciu warstwy pierwszej, tj. po 1-4 godzinach, w zależności od panującej wilgotności i chłonności podłoża. Do aplikacji nie stosujemy agregatu hydrodynamicznego, ponieważ minerały zawarte w farbie mogą zapychać dysze.

Większość farb dostępnych na rynku jest sprzedawana w konsystencji proszkowej, co pozwala zminimalizować straty. Rozwodnioną farbę można przechowywać w szczelnie zamkniętym pojemniku bez obawy, że utwardzi się czy zwietrzeje.

Warunki pracy

W przypadku starych powłok podłoże należy oczyścić i umyć wodą z dodatkiem mydła szarego. Zaleca się również zagruntowanie naturalnym gruntem celulozowym, który wyrówna chłonność podłoża w przypadku świeżych i sezonowanych tynków. Farbę glinianą najlepiej przygotować minimum 12 godzin przed planowaną aplikacją..

Źródło: Kreidezeit



Zdjęcie 13. Farba gliniana strukturalna

Źródło: UKU Pure Earth



Zdjęcie 14. Farba gliniana gładka

Ograniczenia

Gliniana farba do wnętrz, choć jest wyjątkowo korzystna dla naszego zdrowia, ma swoje ograniczenia. Nie nadaje się do obszarów o dużym natężeniu ruchu, miejsc, które mogą wymagać szorowania lub kontaktu z wodą. Farb glinianych nie aplikujemy na niechłonne powierzchnie tj: płyta MDF, metal, tworzywa sztuczne.

Trwałość i pielęgnacja

Należy bezwzględnie unikać intensywnego kontaktu z wodą. Zabrudzenia najlepiej usuwać za pomocą suchej szmatki wykonując ruchy w różnych kierunkach. Dla większości zabrudzeń taka czynność będzie wystarczająca. Klasa odporności na ścieranie przypomina farby wapienne, oznacza to, że dopiero intensywne przecieranie szmatką, powoduje ścieranie farby. W przypadku bardziej intensywnych zabrudzeń czy otarć można użyć wilgotnej gąbki i delikatnie przetrzeć zabrudzenia. Jeśli podczas tego procesu usuniemy znaczną część farby, możemy wykonać przemalowanie miejscowe, stosując mały pędzel lub watek, wykonując krótkie ruchy w różnych kierunkach.

Zużycie materiału oraz wytyczne do kosztorysu

Wydajność jakiej można spodziewać się po farbach glinianych to około 20 m² z 5 kg proszku przy jednokrotnym kryciu. Dla założeń kosztorysu należy również uwzględnić koszt gruntu celulozowego..

- Szacowane zużycie farby glinianej przy dwukrotnym malowaniu: 0,3-0,5 kg/m²
- Szacowana cena materiału brutto przy dwukrotnym malowaniu: 10,50 - 15 PLN/m²

Pigmenty ziemne, naturalne i tlenkowe

Pigmenty ziemne to naturalnie występujące minerały, głównie tlenki żelaza, których ludzie używali w farbach od tysięcy lat. Ich niezastąpionym walorem jest organiczne pochodzenie, które gwarantuje w pełni naturalny kolor. Te naturalne

pigmenty można znaleźć w skałach i glebach na całym świecie, gdzie różne kombinacje minerałów tworzą żywe kolory, unikalne dla regionalnych krajobrazów. Niektóre pigmenty ziemne są prażone w celu zintensyfikowania ich koloru. Do pigmentów ziemnych należą ochry, sienna i umbry. Pigmenty ziemi dają miękkie, ziemiste odcienie, które pozwalają uzyskać wyjątkowo szlachetne, naturalnie harmonijne wnętrza. Ochry pochodzą z naturalnie zabarwionej gliny zawierającej tlenki minerałów. Jedne z najstarszych pigmentów znanych ludzkości - ochry są dostępne w różnych odcieniach żółci, złota i czerwieni. Sienna jest formą glinki limonitowej. Pigment został po raz pierwszy użyty we Włoszech w czasach prehistorycznych. Unikalny kolor pochodzi od tlenków żelaza. Sienna dostępna jest w bogatej, ziemistej czerwieni. Umbry to pigmenty gliniaste zawierające tlenki żelaza i manganu. Odkopane umbry zbiera się we Włoszech, w Ardenach i na Cyprze. Dają kolory ciemniejsze niż ochra i sienna. Kolory wahają się od kremowego do brązowego, w zależności od stosunku związków żelaza i manganu. Naturalne pigmenty ziemne mają charakter półprzezroczysty i dają delikatniejsze, bardziej ziemiste odcienie, szczególnie po zmieszaniu z nieprzezroczystymi podłożami, takimi jak białe farby i tynki.



Zdjęcie 15. Pigmenty naturalne

Pigmenty mineralne to pigmenty powstające w wyniku łączenia i podgrzewania naturalnie występujących pierwiastków. Należą do nich pigmenty ultramarynowe i spinelowe. Ultramaryny czyli błękit ultramarynowy pochodził z kamienia szlachetnego lapis lazuli. W okresie renesansu cena tego rzadkiego pigmentu przewyższała cenę złota. Obecnie ultramarynę wytwarza się przez ogrzewanie sody, gliny i siarki. Dzięki ultramarynie możemy otrzymać głębokie błękity i fiolety. Spinele to twarde, krystaliczne minerały pochodzenia wulkanicznego. Czyste spinele są bezbarwne. Naturalnie kolorowe spinele są niezwykle rzadkie i są pożądanymi kamieniami szlachetnymi. Kolor pojawia się, gdy spinel łączy się z zanieczyszczeniami mineralnymi wewnątrz wulkanu. Odważne i żywe kolory spinelu powstają w wyniku wymiany niektórych jonów w minerałach poprzez ogrzewanie i łączenie ich z innymi minerałami. Pigmenty spinelowe zapewniają żywe kolory z iskrą. Dostępne w kolorze żółtym, pomarańczowym, zielonym, turkusowym i niebieskim.

Pigmenty tlenkowe to produkowane barwniki wykonane z materiałów naturalnych. Mają bogatsze właściwości barwiące i większą nieprzezroczystość niż inne pigmenty, co skutkuje mocniejszymi, wyrazistymi kolorami. Są to głównie tlenki żelaza. Bardziej miękkie kolory można uzyskać, zmniejszając ilość i dodając biały pigment.

Pigmentowanie tynków i farb glinianych

Dla tynków glinianych i farb glinianych zazwyczaj używa się większy dodatek pigmentów, ale nie większy niż 10 proc. objętości suchych komponentów. Zazwyczaj jest to 3-5 proc. Trzeba mieć również na uwadze, że pigmentacja wpływa na „osypywanie się tynku”, dlatego praktykuje się albo dodatek specjalnego spoiwa do zaprawy, albo utrwalenie impregnatem naturalnym po aplikacji i wyschnięciu.

Pigmentowanie można przeprowadzić na dwa sposoby: metodą suchą przez dodanie pigmentu do suchej zaprawy i wymieszanie oraz metodą moką przez rozpuszczenie pigmentu w wodzie i dodanie do mokrej zaprawy.

Przy intensywnej obróbce tynku, np. zacieraniu

gąbką, może dojść do usunięcia znacznej części pigmentu, przez co można zaobserwować „faciatiość powierzchni”.

Pigmentowanie tynków i farb wapiennych

Nie wszystkie pigmenty nadają się do barwienia spoiw na bazie wapna. Zasadowość wapna powoduje bardzo szybkie blaknięcie niektórych pigmentów. Dlatego tworząc autorski kolor, należy używać pigmentów dedykowanych do tego materiału. Idealnie nadają się do tego **umbry palone i naturalne, sienny palone i naturalne, czerwony tlenek żelaza, żółty tlenek żelaza, czarny tlenek żelaza, biel tytanowa, ultramaryna, naturalne ochry i ziemie zielone.**

Proces pigmentacji przeprowadza się metodą „sucho na sucho” - dodanie pigmentu do suchych składników i dokładne wymieszanie.

Zawartość ilość pigmentu w zaprawie wapiennej nie powinna przekraczać 5 proc. objętości spoiwa.

Tadelakt (wodoodporny tynk wapienny)

Historycznie tadelakt wywodzi się z regionu płaskowyżu Marrakeszu w Maroku. Po raz pierwszy został użyty w XI wieku do uszczelnienia królewskich cystern berberyjskich. Słowo tadelakt oznacza po arabsku „wcierać” lub „masować”. Marokański wodoodporny tynk wapienny to jedno z najstarszych, znanych ludzkości wykończeń architektonicznych. Określenie tadelakt odnosi się do specyficznego procesu aplikacji tynku wapiennego, ale obecnie używa się go do odróżnienia klasycznego tynku wapiennego od wodoodpornego tynku wapiennego.

Tadelakt (wodoodporny tynk wapienny) to jedno z najbardziej pożądaných obecnie wykończeń architektonicznych. Poprzez wymagający proces aplikacji uzyskujemy jedwabistą, gładką i wodoodporną powierzchnię, w postaci jednej wielkiej tafli pozbawionej spoin i łączeń. Tadelakt jest wyjątkową alternatywą dla tradycyjnych płytek ceramicznych. Jego powierzchnia jest odporna na pleśń i wymaga bardzo delikatnej i naturalnej konserwacji.



Zdjęcie 16. Pigmentowany tadelakt, wykończenie prysznic



Zdjęcie 17. Umywalka wykonana z tadelaktu



Zdjęcie 18. Tadelakt



Zdjęcie 19. Pigmentowany tadelakt

Właściwości

Ten wyjątkowy tynk wapienny dzięki technice aplikacji, jest wodoodporny i niezwykle trwały. Precyzyjnie i umiejętnie wcierane mydło z oliwy z oliwek, wchodzi w reakcję chemiczną z wapnem, dając stearynian wapna, to dzięki niemu powierzchnia staje się wodoszczelna i odporna na zarysowania. Tadelakt, choć nie przepuszcza wody, doskonale przepuszcza parę wodną, dzięki czemu jest „oddychający” i jeszcze bardziej odporny na grzyby i pleśń. Jest w 100 proc. naturalny, wspomaga zdrowe i bezpieczne środowisko życia. W jego skład wchodzi jedynie naturalne surowce, które są w pełni biodegradowalne i mogą być poddane recyklingowi poprzez rozdrobnienie i ponowne użycie w nowych zaprawach tynkarskich.

Estetyka

Powierzchnie wykonane tym tynkiem uzyskują niepowtarzalnie luksusowe, monolityczne wykończenie. Tadelakt można wykończyć na wiele sposobów, od półmatowych do lśniących powierzchni. Ze względu na swój unikalny skład, pokrywa się patyną, która potęguje jego orientalny urok. Poza niewątpliwymi aspektami wizualnymi - lśniącą i monolityczną taflą, tadelakt oferuje niesamowite wrażenia dotykowe. Powierzchnia twarda jak kamień, przypominająca swoim ubarwieniem marmur, w efekcie jest satynowa, miękka i niezwykle gładka. Tadelakt można również zabarwić, w tym celu należy użyć pigmentów przeznaczonych do tynków wapiennych, a proces pigmentacji przeprowadzić na sucho.

Wytyczne projektowe

Tadelakt można nakładać na różne powierzchnie: drewno, cegłę, beton i inne materiały ogólnie stosowane w budownictwie. Trzeba pamiętać, by takie podłoże było odpowiednio przygotowane. Najlepszym podłożem pod tadelakt są tynki mineralne, przede wszystkim wapienne, cementowo-wapienne. Wodoodporny tynk wapienny nie lubi się jednak z podłożami gipsowymi. Jego pierwotnym zastosowaniem były powierzchnie, które często ulegają zamoczeniu:

łazienki, fontanny, baseny. Obecnie stosowany jest do wykańczania ścian wewnętrznych, kuchni, kominków, siedzeń, półek, umywalk, kabin prysznicowych, wanien, basenów, spa, łaźni parowych. Może być stosowany na podłogach, ale tylko w miejscach, w których użytkownicy nie będą nosili twardego obuwia, ponieważ piasek i drobne kamienie mogą rysować powierzchnię i znacznie ją uszkodzić.

Warunki pracy

Tadelakt należy przygotować min. 24 godziny przed planowaną aplikacją. Aplikacja wymaga doświadczenia, w przeciwnym razie może zakończyć się niepowodzeniem. Marokański tynk wapienny nakładamy na podłoże czysto mineralne, wapienne, cementowo-wapienne, cementowe, rzadziej gliniane, w kilku cienkich warstwach. Bezpośrednio przed aplikacją należy wyrównać chłonność podłoża wodą, do momentu aż przestanie się wchłaniać. Po nałożeniu jest gładzony pacą i polerowany specjalnym kamieniem. Ostatnim i dość czasochłonnym etapem jest wcieranie w jego powierzchnię mydła marsylskiego z oliwy z oliwek. Procesu aplikacji nie można przerwać. Kluczowe jest dobre rozplanowanie pracy. Wilgotność i temperatura wpływają na czas utwardzenia. Tempo pracy dyktuje proces schnięcia. Nie należy wietrzyć pomieszczenia, należy utrzymać możliwie największą wilgotność i dość niską temperaturę. Przy większych powierzchniach tadelakt powinien aplikować zespół rzemieślników.

Ograniczenia

Tadelaktu nie poleca się aplikować na podłogę, ponieważ obuwie, jak i drobne kamienie mogą porysować powierzchnię i ją zmatowić. Tadelakt można nakładać praktycznie w każdym pomieszczeniu. Jednak trzeba pamiętać, że jest on prawdopodobnie droższy niż standardowa aplikacja płytek ceramicznych czy innych wykończeń, dlatego budżet może okazać się głównym ograniczeniem. Przypadkowe użycie ostrych środków czyszczących, może zniszczyć wodoodporną powierzchnię. Dlatego należy ściśle przestrzegać właściwego sposobu

konserwacji. Raz uszkodzonej agresywnymi środkami czystości powierzchni tadelaktu, nie można naprawić i trzeba ją wymienić.

Trwałość i pielęgnacja

Tadelakt jest prosty w utrzymaniu. Pielęgnację należy ograniczyć do minimum. Należy raz w tygodniu czyścić go gąbką nasączoną roztworem wodnym mydła marsylskiego z oliwy z oliwek. Należy bezwzględnie unikać ostrych środków chemicznych, tj. wybielaczy oraz środków ściernych. Tadelakt jest niezwykle trwałym wykończeniem pod warunkiem, że pielęgnowany jest we właściwy sposób. Drobne uszkodzenia mechaniczne możemy naprawiać punktowo, dokładając nieco świeżego materiału i delikatnie obrabiając uszkodzenie, maskując je — nie zapominamy o wygładzeniu i wtarceniu mydła. Przy dbaniu o powierzchnię i świadomym korzystaniu z tadelaktu, uszkodzenia zdarzają się bardzo rzadko.

Zużycie materiału oraz wytyczne do kosztorysu

Aplikacja tynku wodoodpornego wapiennego jest procesem kilkuwarstwowym, dlatego jego wydajność jest znacznie niższa niż klasycznych tynków wapiennych. Wydajność, jakiej można się spodziewać wynosi 5-7 kg/m². W założeniach kosztorysowych należy uwzględnić również koszt mydła marsylskiego oraz wosków konserwujących, które wydłużają trwałość tynku.

- Szacowana cena materiału brutto: 200 PLN/m²
- Szacunkowe koszty aplikacji w 2024 roku: 1000-1500 PLN/m²

Podłoża

Podłoża pod tynki naturalne

Tynki naturalne można z powodzeniem kłaść na różne podłoża występujące w budownictwie. Idealnym podłożem pod tynki naturalne są wszystkie materiały otwarte dyfuzyjnie. Można również aplikować je na ściany wykonane z bali drewnianych czy płyt drewnopochodnych, czy

inne mniej chłonne i gładkie powierzchnie, ale należy zastosować w tym przypadku maty trzcinowe jako nośnik tynku.

Podłoża pod farby gliniane

Farbę glinianą można stosować do malowania ścian i sufitów wewnątrz budynku. Idealnie nadaje się również do malowania tynków glinianych, wapiennych oraz typowych, chłonnych powierzchni, jak karton-gips czy tynk cementowo-wapienny. W przypadku starych powłok podłoża należy oczyścić i umyć wodą z dodatkiem mydła szarego. Powierzchnię przed aplikacją farby glinianej należy zagruntować gruntem celulozowym, który wyrówna chłonność podłoża w przypadku świeżych i sezonowanych tynków.

Dodatkowe ekologiczne materiały budowlane polecane przy pracy z tynkami i farbami naturalnymi

Praca z tynkami naturalnymi wymaga dość elastycznego podejścia. Trzeba pamiętać, że przede wszystkim są to produkty naturalne, które wymagają zastosowania dedykowanych produktów kompatybilnych z ich składem. Poniżej przedstawiamy listę najbardziej powszechnych produktów, które znajdują zastosowanie w aplikacji i użytkowaniu tynków naturalnych.

Impregnat naturalny

Jego zadaniem jest wzmocnienie nietrwałych i osypujących się powierzchni. Znajduje zastosowanie podczas pracy ze starymi powierzchniami. Idealny produkt dla wszystkich, którzy przeprowadzają renowację starych budynków i zależy im na korzystaniu jedynie z naturalnych komponentów budowlanych. W niektórych przypadkach, w wyniku aplikacji złej jakości tynku naturalnego albo jego nieprawidłowego wykonania, impregnat stosujemy, aby związać powierzchnię tynku, co zapobiega przed osypywaniem się minerałów. Impregnat musi być paroprzepuszczalny. Zastosowanie: drewno, tynk, beton, płyty kartonowo – gipsowe, tynki gliniane, wapienne, dekoracyjne rodzaju II.

Grunt celulozowy

Zmniejsza i wyrównuje chłonność podłoża. Przeznaczony jest do przygotowania podłoża wewnątrz budynków, szczególnie przed aplikacją farb glinianych. Jest także idealnym produktem przy przeprowadzaniu remontów i renowacji starych budynków, ponieważ wzmacnia osypujące się i nietrwałe powierzchnie. Powstaje na bazie metylocelulozy. Zastosowanie: drewno, tynk, beton, płyty kartonowo – gipsowe, tynki gliniane, wapienne, dekoracyjne rodzaju II.

Mata trzciniowa

Mata trzciniowa, podtynkowa jest najlepszym nośnikiem dla tynków glinianych i wapiennych. Maty trzciniowe mogą być stosowane przy renowacji i remontach budynków, jak również przy nowych konstrukcjach, na przykład w konstrukcji szkieletowej. Mogą być montowane na ścianach drewnianych, kamiennych czy płytach drewnopodobnych.

Grunt szczepny (krzemianowy)

Znajduje zastosowanie jako podkład pod tynki wapienne i gliniane nakładane na płyty karton-gips. W swoim składzie zawiera piasek kwarcowy, który zapewnia przyczepność dla tynków naturalnych. Warto wybrać produkt ekologiczny, przyjazny dla środowiska.

Izolacyjna płyta z włókna drzewnego lub konopnego

Termoizolacyjne płyty chronią przed zimnem, upałem, hałasem i wilgocią. Jednocześnie są otwarte dyfuzyjnie i tworzą zdrowy mikroklimat w domu. Na większość płyt izolacyjnych dostępnych na rynku można aplikować tynk naturalny.

Płyty gliniane

Produkowane są z mieszanki gliny, piasku i siewki słomianej. Stanowią doskonały zamiennik płyt OSB i płyt kartonowo gipsowych. Mają nad nimi przewagę, gdyż podobnie jak tynki

PODŁOŻE POD TYNK	SPOSÓB APLIKACJI	UWAGI
Tynk cementowo-wapienny	Przygotowanie podłoża (wyrównanie chłonności), cienkowarstwowy, drobnoziarnisty tynk gliniany	Nowe tynki powinny zostać wysezonowane.
Cegła	Przygotowanie podłoża (wyrównanie chłonności), obrzutka, warstwa zasadnicza (gruboziarnisty tynk gliniany), warstwa wykończeniowa (drobnoziarnisty tynk gliniany)	Należy zwrócić szczególną uwagę na chłonność podłoża ceglanego, aby uniknąć zbyt szybkiego pochłonięcia wody przez powierzchnię cegieł, co w efekcie może spowodować zbyt szybkie wysychanie tynku glinianego i jego pękanie.
Pustaki	Przygotowanie podłoża, obrzutka, warstwa zasadnicza (gruboziarnisty tynk gliniany), warstwa wykończeniowa (drobnoziarnisty tynk gliniany)	Beton porowaty jest bardzo nasiąkliwy i pozbywa się wody bardzo powoli, z tego powodu zaleca się raczej obniżenie nasiąkliwości podłoża poprzez gruntowanie.
Płyta gliniana	Zbrojenie według zaleceń producenta płyty; warstwa zasadnicza, cienkowarstwowy, drobnoziarnisty tynk gliniany	Z reguły stosuje się delikatne, drobnoziarniste tynki gliniane.
Płyta karton gips	Gruntowanie gruntem szczepnym, cienkowarstwowy, drobnoziarnisty tynk gliniany	Zalecana grubość aplikacji do 4 mm.
Belki drewniane	Przygotowanie podłoża, aplikacja maty trzciniowej, obrzutka, gruboziarnisty tynk gliniany z zatopioną siatką, cienkowarstwowy, drobnoziarnisty tynk gliniany	
Płyty drewnopodobne	Przygotowanie podłoża, aplikacja maty trzciniowej, obrzutka, gruboziarnisty tynk gliniany z zatopioną siatką, cienkowarstwowy, drobnoziarnisty tynk gliniany	
Płyty izolacyjne ekologiczne	Przygotowanie podłoża, warstwa zasadnicza tynku z siatką, warstwa wykończeniowa - cienkowarstwowy, drobnoziarnisty tynk gliniany	Nie wszystkie płyty izolacyjne nadają się do aplikacji tynków. Należy zapoznać się z informacją producenta

Tabela 1. System aplikacji tynku glinianego na różne podłoża

doskonale regulują wilgotność. Można je zastosować w miejscach, gdzie nie można zastosować tynku glinianego bazowego, co jest związane z wysoką wilgotnością wydzielaną podczas schnięcia tynku.

Jak wykończyć ściany wykonane z betonu konopnego lub kostek słomy?

Budynki postawione w technologii budownictwa naturalnego, czyli np. budynki z kostek słomy czy betonu konopnego można wykończyć różnymi technikami, w zależności od pożądanych wymagań estetycznych i funkcjonalnych.

Tynk wapienny - tynk wapienny to tradycyjny i popularny wybór do wykańczania ścian z betonu konopnego czy kostek słomy. Polega na nałożeniu na powierzchnię betonu konopnego/słomy mieszaniny wapna, piasku i czasami innych dodatków. Tynk wapienny nie tylko zapewnia gładki i atrakcyjny wygląd, ale także zwiększa trwałość i odporność betonu konopnego/słomy na warunki atmosferyczne.

Tynk gliniany - tynkowanie powierzchni betonu konopnego/słomy polega na nałożeniu warstwy tynku glinianego. Tynk gliniany jest ekologiczny i oddychający, dzięki czemu beton konopny zachowuje swoje naturalne właściwości regulujące wilgotność.

Procedura wykańczania ścian wykonanych z kostek słomy, z bloczków ziemi czy betonu konopnego wymaga kilkuetapowej aplikacji. Pierwszym etapem jest przygotowanie podłoża, które ma na celu wyrównanie powierzchni np. przycięcie wystających elementów słomy. Następnie należy zastosować zbrojenie matą trzcinową konstrukcyjnych elementów drewnianych. Kolejnym etapem jest szprycowanie rozwodnioną gliną oraz obrzutka, a po niej aplikacja zasadniczej (bazowej) warstwy tynku naturalnego z siatką. Aplikujemy ją warstwowo na max. grubość 10-15 mm. Ostatnim etapem jest aplikacja warstwy wykończeniowej maks. do 5 mm, która zapewnia walory estetyczne.

Rozwiązania dla pomieszczeń mokrych

Pomieszczenia mokre, narażone na zawilgotnienie, takie jak łazienki, toalety, kabiny prysznicowe

wymagają dokładnej analizy oraz wyboru właściwych wykończeń naturalnych. W pomieszczeniach takich stosuje się zasadę, że w strefach narażonych na bezpośredni kontakt z przyskającą wodą, a więc na ścianach prysznic, ścianie za umywalką, ścianie przy wannie, nie powinno się aplikować tynku glinianego, ani tynku wapiennego wykonanego w klasyczny sposób. W obszarach tych najczęściej instaluje się glazurę, jednak budownictwo naturalne oferuje także wodoszczelne rozwiązanie znane pod nazwą tadelakt. Stanowi on świetną alternatywę dla kafli ceramicznych, ale także można nim wykleić wnętrza umywalk, wanien i pryszniców. Na pozostałych obszarach, które nie są narażone na bryzganie wody, można z powodzeniem zastosować tynk gliniany lub wapienny. Zastosowanie tych tynków będzie sprzyjało utrzymaniu prawidłowego poziomu wilgotności, ponieważ tynki te świetnie wchłaniają wilgoć z powietrza, aby po pewnym czasie ponownie ją oddać, jeśli poziom wilgotności spadnie.

Jeśli z jakichś względów aplikacja tadelaktu nie jest możliwa lub właściciele nie zdecydowali się na jego aplikację, wówczas najsensowniejszym rozwiązaniem, który będzie wspierał ideę budownictwa naturalnego, jest aplikacja glazury w niewielkich obszarach, jedynie tam, gdzie powierzchnia będzie miała styczność z bryzającą wodą. Dzięki temu na pozostałych powierzchniach będzie można zastosować tynk gliniany lub wapienny.

Glazurę aplikować najlepiej na powierzchni pokryte tynkiem wapienno-piaskowym, cementowo wapiennym lub cementowym, jak również na inne powszechnie stosowane w sztuce budowlanej. Należy także pamiętać o wykonaniu hydroizolacji podłogowej, wszystko zgodnie z rzemiosłem glazurniczym.

Tadelakt może być stosowany na podłogach, ale tylko w miejscach, w których użytkownicy nie będą nosili twardego obuwia, ponieważ piasek i drobne kamienie mogą rysować powierzchnię i znacznie ją uszkodzić. Tadelakt bardzo ładnie komponuje się z drewnem, dlatego dobrym wyborem w przypadku podłogi, jest montaż desek zabezpieczonych naturalnym olejem

Inianym. Alternatywnym wyborem dla podłogi jest także użycie płytek kamiennych.

Zastosowanie naturalnych wykończeń w ujęciu projektowania zrównoważonego- rozwiązania dla inwestora domu jednorodzinnego oraz dewelopera

Ideą budownictwa naturalnego jest projektowanie w taki sposób, aby zapewnić użytkownikowi przestrzeni możliwie jak najlepsze samopoczucie, ale starając się jednocześnie nie wpływać negatywnie na środowisko. To projektowanie, które wspiera zdrowy styl życia. Zdrowie i dobre samopoczucie zawsze były kluczowe dla zrównoważonego projektowania.

Projektując jednorodzinny dom mieszkalny zgodnie z podejściem, które na pierwszym miejscu stawia dobro jego mieszkańców oraz dobro planety, musimy rozważyć wiele czynników, które będą miały bezpośredni lub pośredni wpływ na stan psychiczny i fizyczny domowników. Pod uwagę powinniśmy wziąć między innymi styl życia, lokalizację, wielkość pomieszczeń, ich układ itp.

Budynki zaprojektowane w taki sposób, aby zapewniać komfort mieszkańców, będą dostarczały mu: najlepszą jakość powietrza, komfort termiczny, wizualny i akustyczny, właściwe standardy higieny, dostęp do natury, udogodnienia dostosowane do aktywności, równowagę pomiędzy życiem osobistym a zawodowym, efektywność energetyczną oraz estetykę zgodną z ich upodobaniami.

Z dostępnych badań jasno wynika, że nie ma pojedynczych i uniwersalnych rozwiązań projektowych, które zapewniłyby optymalizację każdego parametru zdrowotnego oraz ogólny rozwój mieszkańców.

Co uwzględnić w projekcie?

Jako absolutne minimum podczas decydowania się na konkretne materiały budowlane powinniśmy wziąć pod uwagę poszczególne parametry takie, jak: jakość powietrza, oświetlenie, aspekty

wizualne, akustykę, komfort cieplny i starać się osiągnąć je na dobrym poziomie, przy jednoczesnym ograniczeniu negatywnego wpływu na środowisko.

Niestety badania pokazują, że zanieczyszczenie powietrza w pomieszczeniach zamkniętych jest 3,5-krotnie większe niż na zewnątrz. Jest to spowodowane wieloma czynnikami, takimi jak: brak wentylacji, gotowanie, stosowanie środków chemicznych do sprzątania. Jednak główną przyczyną tkwi w emisji gazów cieplarnianych i toksycznych substancji z materiałów budowlanych i mebli. Główną grupą budzących obawy substancji chemicznych są lotne substancje organiczne (LZO), do których należą formaldehyd, benzyna, naftalen oraz inne chemikalia. Znajdziecie je w klejach, farbach, syntetycznych tynkach, meblach, drewnie kompozytowym itp.

Poprawa jakości i higieny powietrza

Podstawowe środki zapobiegawcze powinny obejmować wybór nietoksycznych materiałów wykończeniowych, pozbawionych groźnych dla zdrowia LZO. Zarówno tynki naturalne, jak i farby gliniane są całkowicie obojętne (przy wyborze właściwego producenta, należy dość dokładnie zapoznać się ze składem i sposobem wytwarzania, ponieważ na rynku dostępne są tynki naturalne i farby naturalne wzbogacone o różne rodzaje wypełniaczy i utrwalaczy, co powoduje, że nie są to w pełni naturalne produkty). Naturalne tynki i farby są nietoksyczne i nie uwalniają do powietrza lotnych związków organicznych (LZO) ani podczas ich produkcji, ani podczas stosowania we wnętrzu. Właściwości buforowania wilgoci przez tynki gliniane pomagają utrzymać komfortowy poziom wilgotności dla mieszkańców, jednocześnie redukując ryzyko powstania pleśni we wnętrzach. Dodatkowo udowodniono, że tynki gliniane mają zdolność do pochłaniania emitowanych z innych źródeł szkodliwych substancji chemicznych.

Kolejną przyczyną złej jakości powietrza w pomieszczeniach są pleśnie, grzyby i drobnoustroje. Dodatkowo wyższa wilgotność powietrza zwiększa uwalnianie LZO z innych materiałów. Dlatego tak ważne jest dbanie o właściwy

poziom wilgotności w pomieszczeniach. Wybór tynków glinianych okazuje się najbezpieczniejszym i korzystnym dla zdrowia rozwiązaniem, ponieważ materiał ten ma zdolność utrzymywania wilgotności na poziomie 40-60 proc., czyli idealnej do wyeliminowania większości niekorzystnych zjawisk.

Komfort wizualny, akustyczny i termiczny

Zastosowanie materiałów wykończeniowych zgodnych z ideą budownictwa naturalnego takich jak np. farby gliniane, wapienne, tynki gliniane, tynki wapienne w tym tadelakt, przyczynia się również do innych aspektów dobrego samopoczucia. Naturalne materiały budowlane zapewniają przyjemną przestrzeń, w której nie tylko dobrze się czujemy, ale możemy również się rozwijać. Matowa powierzchnia tynku glinianego odbija światło w rozproszony sposób, redukując je i zmniejszając odbłaski. Dodatkowo wykończenie go w sposób teksturowany, umożliwia osiągnięcie nieporównywalnych efektów wizualnych oraz subtelną grę światła. Tadelakt wprowadza do wnętrza szlachetność i naturalność kamienia. Jednocześnie jest aksamitny, twardy, matowy z subtelnym, rozproszonym blaskiem. Tynk gliniany pomaga także pochłaniać i tłumić dźwięki w pomieszczeniu oraz zmniejsza ich przenoszenie pomiędzy przestrzeniami, aby stworzyć spokojne i harmonijne wnętrze. Gлина ma również doskonałe właściwości masy termicznej, wysoką pojemność cieplną właściwą i szybkość dynamiczną zmian, co pozwala złagodzić wahania temperatury i utrzymać ją na stałym poziomie w pomieszczeniach bez konieczności stosowania dodatkowej energii.

Poprawa stanu psychicznego

Udowodniono, że kontakt z naturą i użycie naturalnych surowców w naszej przestrzeni, może obniżyć ciśnienie krwi, poprawić koncentrację i pamięć, po prostu sprawić, że będziemy czuć się zrelaksowani. Uwzględnienie biofilnych elementów w projekcie, będzie wspierało autentyczne połączenie mieszkańca z naturą. Projekt biofilny wykorzystuje naturalne surowce i materiały, aby złagodzić stres, poprawić jakość powietrza

i wspierać funkcje poznawcze. Podkreśla związek pomiędzy środowiskiem wewnętrznym i jego mieszkańcami a naturą.

Biorąc pod uwagę wszystkie utrzymujące się trendy projektowe, które w rezultacie ugruntowały się, popyt skupił się na materiałach organicznych, imitujących środowisko zewnętrzne takich jak: drewno, kamień, tynki gliniane, wapienne, farby gliniane i wapienne.



Zdjęcie 20. Tynk gliniany w budynku mieszkalnym

Źródło: Ballicka Design



Zdjęcie 21. Połączenie różnych naturalnych wykończeń: rozwodniona farba gliniana na powierzchni cegły, tynk gliniany

Źródło: +Ars Studio

Wymagania

Uwzględnianie aspektów zdrowotnych i środowiskowych podczas zakupu, montażu i utylizacji materiałów budowlanych, poprawi warunki życia w nieruchomości. Jako mieszkańcy budynków jesteśmy narażeni na działanie substancji chemicznych tworzących środowisko zabudowane. Osoby budujące oraz mieszkańcy społeczności, w których wytwarzane są produkty budowlane, mogą być narażeni w większym stopniu. Lepiej dla nas wszystkich będzie wiedzieć, na jakie chemikalia jesteśmy narażeni i jakie zagrożenia dla zdrowia mogą wiązać się z tymi chemikaliami.

W szczególności osoby odpowiedzialne za projektowanie, budowę i eksploatację budynków są w stanie działać na podstawie tych informacji i unikać znanych i potencjalnych zagrożeń. Wiedza o składzie materiałów budowlanych pozwala zespołom projektowym na dokonywanie bardziej świadomych wyborów. Pełne ujawnienie zawartości i znanych zagrożeń związanych z produktami to pierwszy krok w kierunku optymalizacji budynków, pozwalający nam unikać budowy domów z użyciem niebezpiecznych chemikaliów.

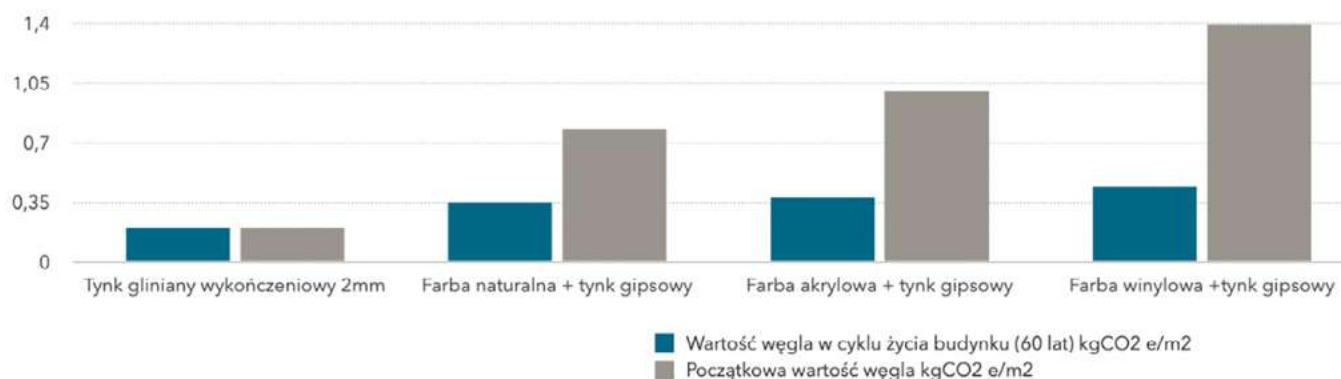
Znajdź produkty, których wykazy zostały ujawnione publicznie, a których zawartość jest scharakteryzowana i sprawdzona przy użyciu list zagrożeń dla zdrowia. Większość polskich producentów ujawnia składy swoich produktów naturalnych. Dla wykończeń naturalnych możesz odnieść się do poniższych składów:

- skład naturalnego tynku glinianego: kolorowe gliny, piaski kwarcowe, mąka marmurowa i włókna naturalne, dodatki mineralne i organiczne, pigmenty naturalne i mineralne;

- skład naturalnego tynku wapiennego: wapno hydratyzowane, kaolin, piaski kwarcowe, mąka marmurkowa, pigmenty naturalne i mineralne;
- skład naturalnej farby glinianej: kaolin i mieszanka dodatków mineralnych, pigmenty naturalne;
- skład tadelaktu: wapno hydrauliczne, wapno hydratyzowane, kruszywo marmurowe, piasek kwarcowy, wyselekcjonowane kruszywa wapienne, dodatki mineralne oraz naturalne pigmenty.

Unikaj produktów, w których znajdują się LZO. Farby, powłoki, podkłady, kleje i uszczelniacze mogą uwalniać LZO, szczególnie gdy są nowo nałożone lub mokre. Narażenie na poszczególne LZO i mieszaniny LZO może powodować, lub pogarszać warunki zdrowotne, w tym alergie, astmę i podrażnienie oczu, nosa i dróg oddechowych. Niektóre LZO, takie jak formaldehyd, są powiązane ze skutkami zdrowotnymi, np. nowotworami. Wybór produktu ma wpływ na środowisko, zarówno podczas produkcji, jak i całej działalności. Tynki naturalne i farby gliniane nie wydzielają LZO i mogą stać się idealną alternatywą dla syntetycznych wykończeń architektonicznych.

Wybieraj produkty o niskiej emisji CO₂ w skali cyklu życia budynku. Przejrzystość dotycząca emisji gazów cieplarnianych z materiałów, jest kluczowym pierwszym krokiem w określeniu optymalnego wyboru produktu. Tynki naturalne stanowią bardziej zrównoważoną alternatywę dla tynków gipsowych i farb syntetycznych. Dostarczane są w postaci gotowej



Wykres 1. Powszechne wykończenia ścian a emisja CO₂

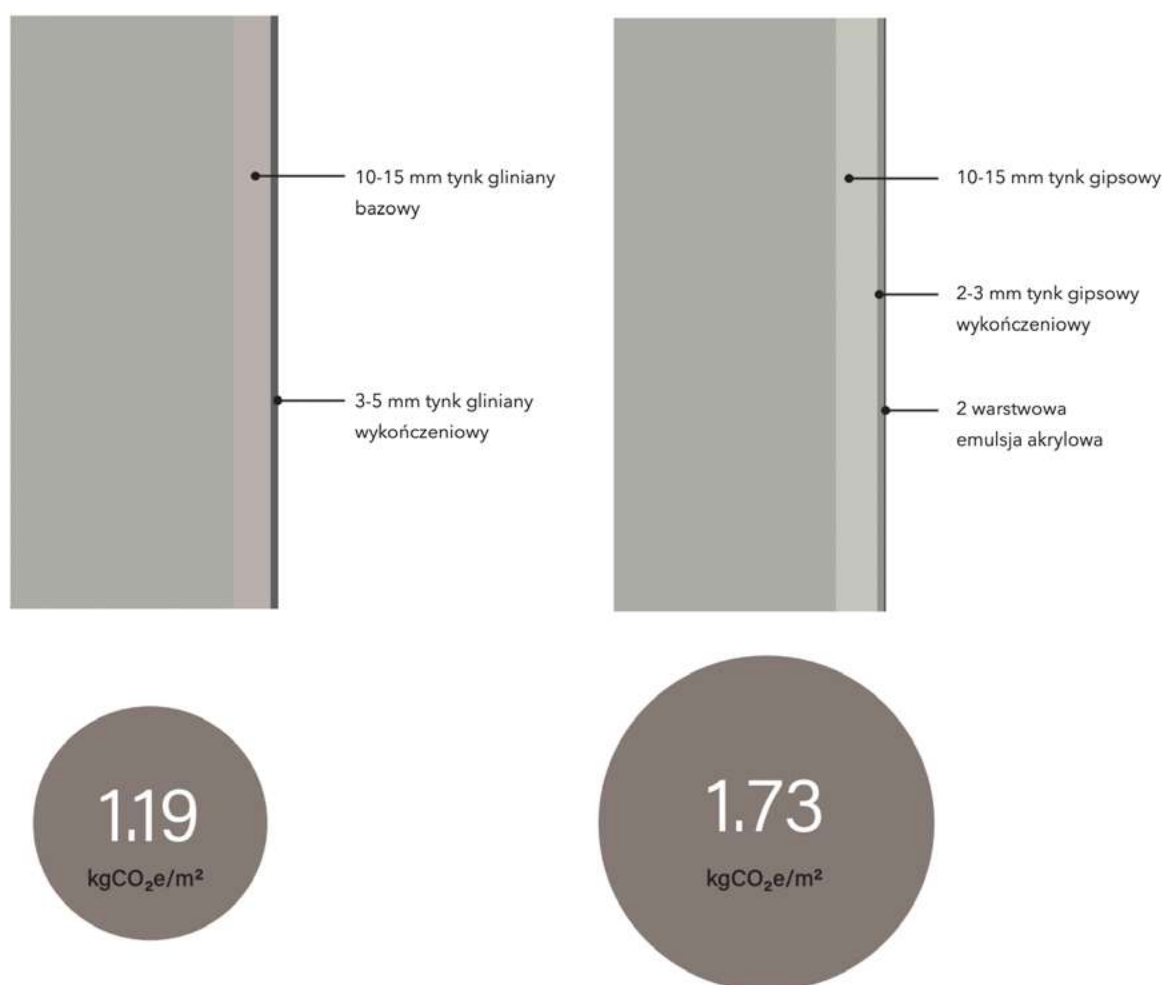
do mieszania z wodą i nakładania przy użyciu konwencjonalnych narzędzi i umiejętności tynkarskich. Podczas procesu produkcyjnego potrzeba bardzo mało energii, nie używa się wody i nie powstają żadne odpady. Tynki gliniane to jedne z najbardziej zrównoważonych dostępnych na rynku wykończeń ścian, które nadają się do recyklingu, naprawy i kompostowania. Tynki gliniane charakteryzują się nieporównywalnie niższą emisją CO₂ niż inne wykończenia architektoniczne, i jest ona na poziomie 0,05 kg CO₂e/kg.

Oczekiwana trwałość przeciętnej farby wynosi 10 lat, co wymaga sześciokrotnej aplikacji w ciągu 60 lat życia budynku. Ponieważ farba wymaga wielokrotnego nakładania, tynki gliniane zapewniają niższą wartość zawartego węgla. To pokazuje, jak ważne jest projektowanie długowieczne, jako strategia zrównoważonego

projektowania.

Używaj materiałów, które można poddać recyklingowi, ponownie wykorzystać lub zwrócić do systemów naturalnych bez ich wyczerpania. Po zakończeniu okresu użytkowania tynk gliniany można poddać recyklingowi i ponownie wykorzystać w prostym, niskoenergetycznym procesie. Jeśli konieczna jest utylizacja, tynk gliniany jest nietoksyczny i ulega biodegradacji. Można go łatwo poddać kompostowaniu.

Stosuj produkty wpisujące się w projektowanie długowieczne — tynk gliniany wymaga niewielkiej konserwacji, jest odporny na promieniowanie UV i nie ulega degradacji z biegiem czasu. Wszelkie szkody, które wystąpią, można łatwo naprawić na miejscu. Dzięki tym właściwościom oczekiwana trwałość tynku glinianego wynosi 60 lat.



Wykres 2. Porównanie emisyjności CO₂ dla wykończeń: tynk gliniany oraz tynk gipsowy + farba akrylowa

Stosuj materiały regionalne — materiały budowlane wydobywane, przetwarzane i produkowane lokalnie w bliskiej lokalizacji miejsca realizacji projektu minimalizują zużycie energii związane z ich transportem i przyczyniają się do rozwoju lokalnej gospodarki. Wykorzystanie materiałów lokalnych może również odzwierciedlać lokalną tożsamość, historię lub kontekst, zwiększając poczucie przywiązania do miejsca. Tynki gliniane oraz farby gliniane - szczególnie te niepigmentowane w znaczący sposób podkreślają tożsamość z miejscem. Są wydobywane z określonych regionów Polski i mogą stać się cennym argumentem w projekcie uwzględniającym lokalną tożsamość.

Bibliografia

1. Fromme, I., Herz, U.: Tynkowanie gliną i wapnem, Fundacja Cohabitat, Łódź 2016.
https://issuu.com/kasiabreczko/docs/tynkowanie_glina_i_wapnem_small
2. Borer, P., Harris C.: The Whole House Book, The Centre for Alternative Technology, Powys 2005.
3. <https://www.sustainablebuildconsultancy.com/blog/embodiedcarbon>
4. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ina.12345>
5. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aaq0524>
6. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aaq0524>
7. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132317305589>
8. https://www.researchgate.net/publication/334509982_Assessment_of_adhesive_strength_of_an_earth_plaster_on_different_substrates_through_different_methods
9. Bryce, K., Weismann, A.: Clay and Lime Renders, Plasters and Paints: A How-To Guide to Using Natural Finishes, Green Books, Londyn 2015.
10. Hermel, J.: Tynki szlachetne, stiuki, sztukaterie, Arkady, Warszawa 1962.
11. Ziesemann, G., Krampfet, M.: Tadelakt, Sehlem, Drezno 2007.
12. https://media.voog.com/0000/0037/2776/files/tadelakt_english.pdf

2.6 Wtórne zastosowanie materiałów i komponentów budowlanych

Paweł Wołejka

Wtórne zastosowanie materiałów i komponentów budowlanych jest obecne w budownictwie od dawna. Elementy drewniane były wielokrotnie wykorzystywane - kompostowano je organicznie lub używano jako opału po zakończeniu cyklu życia budynku. Obiekty murowane z cegieł, często po selektywnym demontażu, były transportowane nawet setki kilometrów, aby posłużyć do budowy w innym miejscu. Przykładem są cegły z Elbląga, których użyto do odbudowy powojennej Warszawy, co pokazuje wartość ówczesnego surowca budowlanego. Materiały budowlane i komponenty naturalne pod koniec cyklu życia budynku trafiały do środowiska jako część obiegu zamkniętego natury. W związku z tym dzisiaj nie zalegają na składowiskach odpadów. To, co zostało to wykute w kamieniu, całe budynki lub ich elementy, po rozbiórce wykorzystane przy budowie innych obiektów. Ta trwałość lub jej brak stanowi wyzwanie dla współczesnego budownictwa. Inwestorzy, chcąc budować obiekty na pokolenia, wybierają materiały budowlane wysoko przetworzone, które są promowane jako niewymagające konserwacji. Wielu producentów, aby wydłużyć trwałość materiałów, dodaje do ich składu trudno degradowalne substancje chemiczne, które nie rozkładają się w środowisku. Mimo to długowieczność materiałów ma kluczowe znaczenie dla minimalizowania wpływu na środowisko. Ponowne użycie trwałych materiałów jest wskazane bardziej, niż ich utylizacja. Adaptacja istniejących budynków do nowych funkcji jest bardziej ekologiczna, niż ich rozbiórka. Przebudowa i adaptacja obiektów do nowych funkcji generuje mniejszy wpływ na środowisko naturalne.

Rok do roku jednak branża budowlana zwiększa ilości generowanych odpadów. W USA szacuje się, że w latach 2005-2018 poziom odpadów budowlanych wzrósł ponad dziesięciokrotnie w porównaniu do lat 1990-2005. Wynika to z wielu czynników, ale przede wszystkim z potrzeby nieustannej zmiany - funkcji

obiektu lub jego estetyki. Znacznie trudniej jest się pozbyć rzeczy atrakcyjnych i estetycznych, ponadczasowych, a nawet jeśli już podejmiemy tę decyzję, to sprzedamy je prędzej czy później z zyskiem. Chwilowe mody na wykończenia wewnątrz są jednym z największych problemów wolnego rynku i nieruchomości. Nigdy wcześniej teza postawiona przez Witruwiusza, rzymskiego architekta z I w. p.n.e., że architektura powinna być trwała, piękna i funkcjonalna, nie była tak aktualna, jak obecnie. Warunek jest jednak taki, by obiekt mógł być rozebrany, a jego elementy wykorzystane na budowie, jako surowiec do innych, bezpiecznych dla użytkowników wyrobów.

W przypadku wymiany materiału budowlanego, nawet z przyczyn wyłącznie estetycznych, materiał wysoko przetworzony zazwyczaj trafia na składowisko odpadów budowlanych, które obecnie stanowią globalnie od 30 do 40 proc. wszystkich odpadów. Największym wyzwaniem dla budów jest segregacja i selektywne rozdzielanie odpadów. Ciężkie komponenty, często łączone ze sobą projektowanymi jako trwałe spoiwami i łączeniami, są trudne do rozdzielania. Po wrzuceniu do kontenera na odpady, zlewają się i tworzą nierozłączną masę. Pracownicy fizyczni i budowlańcy, którzy często wykonują swoją pracę na akord, nie mają ani czasu, ani siły na segregację. Niestety dla nich, ale na szczęście dla środowiska zmieni się to już od 1 stycznia 2025 roku. Dlatego ważne jest, aby już teraz zacząć myśleć w trakcie opracowania projektu, a także decyzji o nowej inwestycji, o sposobie wykorzystania komponentów budynku powtórnie.

Jedną ze strategii kontroli tego procesu jest prefabrykacja elementów, np. schodów, lub całych modułów budynków, np. pokoi czy łazienek. Prefabrykowane budynki wykonywane są z dużych "klocków" i montowane na placu budowy. W zakładach prefabrykacji można precyzyjnie zaplanować to, jakie materiały zostaną zastosowane do ich budowy. Prace wykonywane są w warunkach kontrolowanych, pogoda nie ma na nie wpływu. Budowa obiektów prefabrykowanych generuje zatem mniej odpadów niż

realizacje tzw. in-situ. Ponadto zdemontowany podczas rozbiórki prefabrykowany, nieuszkodzony element budowlany często może być ponownie wykorzystany podczas kolejnej budowy.

Inną metodą jest budowa in situ, czyli w konkretnym miejscu, bez użycia prefabrykatów. Elementy budowlane przywożone są w całości w formie modułów systemowych i obrabiane, dopasowywane oraz montowane na placu budowy. Metoda ta nie jest tak przewidywalna

i dokładna, jak prefabrykacja, ale wciąż dominuje na placach budowy.

Branża budowlana zużywa 50 procent zasobów naturalnych planety. Szacuje się, że do 2025 roku roczne odpady budowlane wyniosą 2,2 mld ton na całym świecie. Sektor budowlany, związany z produkcją i eksploatacją budynków oraz infrastruktury, generuje około 40 procent emisji CO₂. Według Amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska, tylko w 2018 roku całkowita ilość odpadów budowlanych była dwukrotnie wyższa, niż odpadów komunalnych. Temat szeroko pojętego „reuse” w branży budowlanej, czyli ponownego wykorzystywania bez przetwarzania, jest aktualny w związku z globalnymi regulacjami, które dotyczą negatywnego wpływu sektora budowlanego na środowisko naturalne. W badaniu Ministerstwa Klimatu i Środowiska z 2022 roku 86 procent Polaków zadeklarowało, że są skłonni ograniczyć zakup dóbr materialnych, aby zmniejszyć ilość produkowanych odpadów, chociaż było to zaraz po największej fali remontów w roku 2020, podczas epidemii COVID-19. O zasadach cyrkularnego budownictwa łatwiej jest mówić i pisać, niż je faktycznie wdrażać. Tymczasem miasta są pełne materiałów i komponentów budowlanych, „skarbów”, które mogą być ponownie użyte. W krajach Europy zachodniej od kilku lat funkcjonuje termin urban mining, według którego miasto to kopalnia elementów budowlanych, źródło potencjalnego bogactwa i zasobów, w przeciwieństwie do składowania na wysypisku czy spalania.

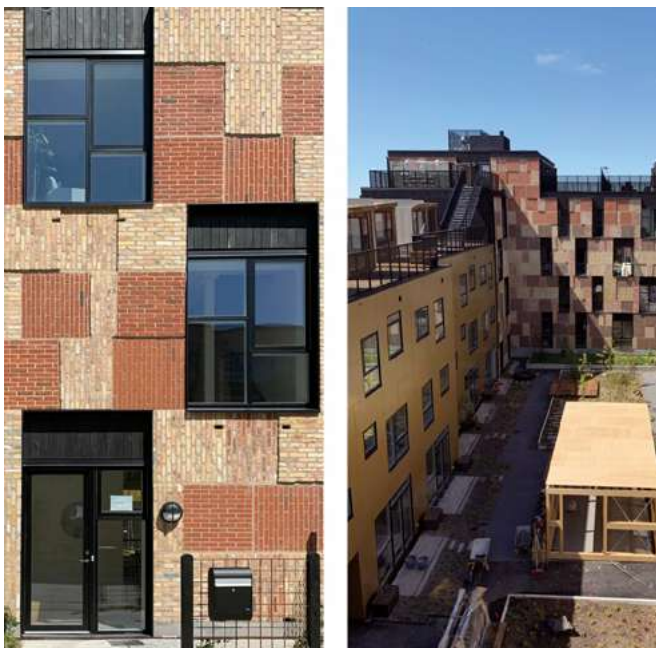
Materiały z budynków wznoszonych tradycyjnymi metodami stanowią mniejszy problem dla GOZ, gdyż łatwiej można je przetworzyć, często są to także materiały lokalne. Jeżeli do ich impregnacji zastosowano naturalne metody (opalenie, malowanie dziegciem, itd.) lub zaimpregnowano neutralnymi dla środowiska lakierami, mogą być wykorzystane jako surowiec energetyczny, zagospodarowane lokalnie po uprzednim rozdrobieniu lub kompostowane. Obecnie jednak zarówno spalanie odpadów rozbiórkowych, jak i kompostowanie elementów konstrukcyjnych, przykładowo wykonanych z litego drewna, wymaga specjalnych zezwoleń i stanowi przetwarzanie

Źródło: <https://www.architectsjournal.co.uk/buildings/old-into-new-recycled-bricks-form-facade-of-copenhagen-housing-project>



Zdjęcie 1. Rozbiórkowe cegły użyte jako materiał wykończeniowy prefabrykowanych ścian elewacyjnych w budynku w Kopenhadze

Źródło: <https://www.architectsjournal.co.uk/buildings/old-into-new-recycled-bricks-form-facade-of-copenhagen-housing-project>



Zdjęcie 2. Rozbiórkowe cegły użyte jako materiał wykończeniowy prefabrykowanych ścian elewacyjnych w budynku w Kopenhadze

odpadów. Współcześnie rzadko można spotkać materiały, które zaimpregnowano wyłącznie naturalnymi środkami. Stąd sporym wyzwaniem jest znalezienie specjalistów z danej branży, którzy są w stanie rozpoznać to, jakie substancje zostały użyte w danym materiale lub jakimi został on nasączony.

Przykładem jest hala w Augustowie, z unikalną strukturą dachu o kształcie kolebki, tzw. współzależną. Elementy nośne zostały w przeszłości zabezpieczone olejem kreozotowym o charakterystycznym zapachu, który jest rakotwórczy, dlatego też obiekt musiał być wyburzony.



Zdjęcie 3. Hala Augustów

Z niemiarodajnej, ale pouczającej ankiety, przeprowadzonej 6 grudnia 2021 roku na Facebooku, wynika, że największym problemem dla redukcji odpadów w branży budowlanej jest brak wiedzy o elementach z rozbiórki. Zgodnie z tym, co mówi amerykańskie powiedzenie „one man’s trash is another man’s treasure” (w tłumaczeniu: to, co dla jednej osoby stanowi odpad,

dla innej jest “skarbem”), to co dla branży może być jednak “treasure”, z punktu widzenia przepisów odpadowych stanowi po prostu “trash”. Tendencja do powtórnego wykorzystywania materiałów budowlanych jest bardziej zauważalna w społeczeństwach o dużych dysproporcjach społecznych, gdzie część elementów takich, jak złom, jest kradziona z placów budowy i trafia do skupu. O powszechności takich praktyk świadczy obecność kilku tysięcy ogłoszeń w kategorii budowlanych na portalach społecznościowych, dotyczących produktów z drugiego obiegu, których oficjalnie nie powinno się powtórnie wykorzystywać i jako odpad wprowadzać na rynek budowlany.

Różne strategie cyrkularne z przykładami z Polski i Świata

Przykłady ekonomii cyrkularnej w budownictwie – gospodarki obiegu zamkniętego (GOZ) można coraz częściej spotkać na całym świecie. Trend ten dociera do Polski, gdzie również powstają projekty w duchu GOZ, mające na celu maksymalizację wykorzystania zasobów oraz minimalizację ilości odpadów. Podczas projektowania i budowania można stosować następujące strategie:

Reduce

Reduce (redukcja) odnosi się do zmniejszania ilości używanych materiałów poprzez minimalizowanie marnotrawstwa i ograniczanie nadmiernego zużycia zasobów. Może to obejmować projektowanie bardziej efektywnych konstrukcji, wybór trwałych materiałów oraz optymalne zarządzanie procesami budowlanymi. W Holandii do zaprojektowania konstrukcji budynku Alliander HQ, autorzy projektu RAU Architects zatrudnili firmę inżynieryjną, projektującą na co dzień kolejki, tzw. roller coaster. Dzięki temu zużyto znacznie mniej stali, optymalizując wielokrotnie konstrukcję oraz umożliwiając w przyszłości jej łatwy demontaż. Obiekt ten powstał poprzez nadbudowanie potężnego dachu pomiędzy istniejącymi budynkami, z maksymalnym wykorzystaniem istniejących zasobów, dzięki połączeniu wielu obiektów, poprawiono poziom zużycia energii.

Źródło: <https://anewdawn.rau.eu/>



Zdjęcie 4. Zespół budynków przed realizacją dużej struktury zadaszającej

Źródło: <https://anewdawn.rau.eu/>



Zdjęcie 5. Budynek Liander, którego dach przykrył kilka istniejących obiektów budowlanych, łącząc je w jeden

Reuse

Reuse (ponowne użycie) polega na wykorzystaniu istniejących elementów, komponentów lub materiałów w celu stworzenia nowych wartościowych produktów lub konstrukcji.

W USA od ponad 30 lat istnieją sklepy, w których można nabyć materiały i elementy z drugiej ręki oraz z odzysku, np. Re-Use Hawaii, Second-Use Seattle. W Polsce fundacja Habitat for Humanity prowadzi od lat pionierski sklep

charytatywny Restore, w którym można kupić elementy wyposażenia wewnątrz z drugiej ręki. Niekiedy zdarzają się nawet nowe, nierozpakowane materiały budowlane w korzystnych cenach. Fundacja BRDA realizuje projekt sklepu z materiałami z rozbiórki – BUDO. W internecie, poza popularnymi platformami typu marketplace, dostępna jest platforma www.uzyj.to, na której można kupić materiały budowlane z drugiej ręki. Na portalu Facebook działa również grupa “Uwaga, rozbiórka - budynki i materiały budowlane”, gdzie społeczność licząca blisko 4000 osób za darmo dzieli się materiałami i całymi obiektami. Dzięki inicjatywom umożliwiającym dotarcie do materiału, który mógłby stać się odpadem, powstają wyjątkowe projekty architektoniczne. W Holandii projektanci De Architekten Cie stworzyli cyrkularny parking dla rowerów przy peronie kolejowym, a do zadaszenia i ścian pawilonu wykorzystali szyby ze starych pociągów. Moduł szyby z wagonów jest powtarzalny, elementów było dużo do wykorzystania, wystarczył zatem dobry pomysł, aby powstał wyjątkowy projekt.

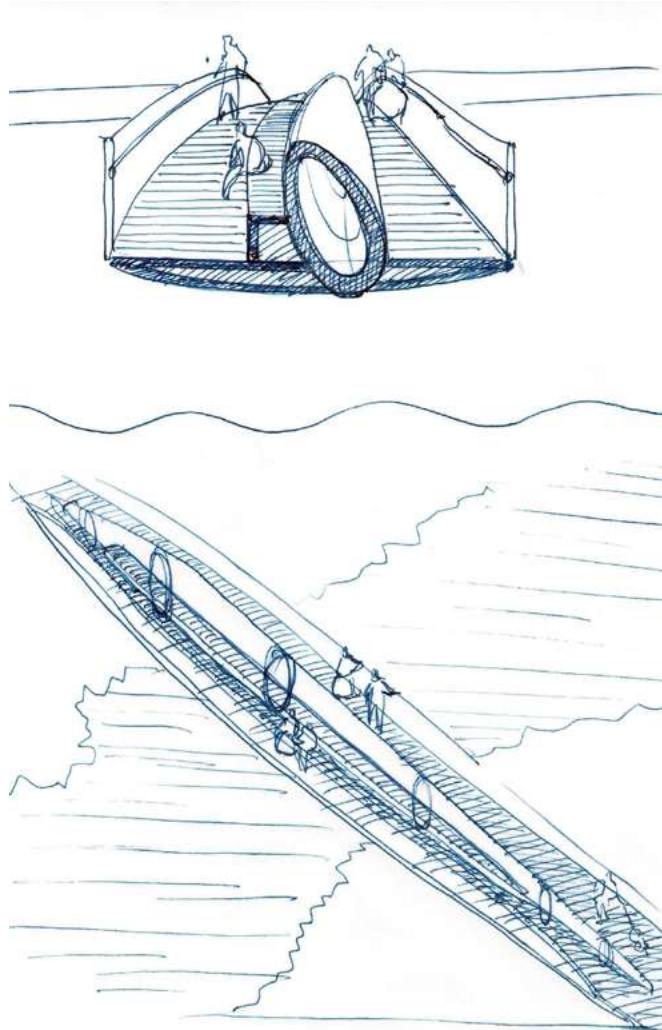
Recycle

Recycle (recykling) polega na przetwarzaniu użytych materiałów budowlanych na surowce wtórne, które mogą być ponownie wykorzystane do produkcji nowych. Przykładem może być recykling betonowych elementów, które, dzięki kruszarkom, stają się kruszywem zdatnym do wykorzystania w nowych konstrukcjach. Amerykański startup Urban Machine stosuje roboty do odzysku drewna rozbiórkowego i odpadów drewnianych w celu ponownego wykorzystania surowca wysokiej jakości.

Upcycle

Upcycle (zwiększenie wartości) oznacza podnoszenie wartości odpadów poprzez ich przekształcanie w produkty o wyższej jakości lub wartości użytkowej, np. stare łopaty od wiatraków mogą być przerobione na meble miejskie – ławki, wiaty rowerowe czy nawet kładki. Dzięki takiemu rozwiązaniu, tego typu elementy nie trafiają na składowisko, mają nowe zastosowanie. Pierwsza w Polsce kładka dla pieszych

i rowerzystów, zbudowana z łopaty od wiatraka, znajduje się w Szprotawie, powstała z inicjatywy właściciela firmy zajmującej się recyklingiem metali i materiałów kompozytowych. Projekty typu upcycle to próba rozwiązania problemu, wygenerowanego przez producentów. Nie są jednak w stanie rozwiązać go całościowo. Należy pamiętać, że ważniejsze jest projektowanie nowych elementów w taki sposób, aby nie stanowiły problemu dla przyszłych pokoleń. Mówi o tym definicja zrównoważonego rozwoju (z angielskiego sustainability, w dosłownym tłumaczeniu - zdolność trwania, podtrzymywania). Niedawno wdrożona została w Unii Europejskiej, a zatem także w Polsce, zasada DNSH (do not significant harm – nieczynienia poważnej szkody środowisku), dotyczy ona bezpośrednio działań finansowanych ze środków i funduszy unijnych. Z dużym optymizmem obserwujemy, że powstają firmy, które łopaty do wiatraków ponownie



Rysunek 1. Grafika obrazująca koncepcję kładki w Szprotawie z użyciem łopaty z wiatraka jako konstrukcji



Rysunek 2. Projekt kładki w Szprotawie z użyciem łopaty wiatraka jako elementu nośnego, autor: Agata Kowalczyk

projektują i produkują z drewna – surowca naturalnego, który łatwiej jest przetworzyć.

Down-cycle (degradacja)

Down-cycle (degradacja) oznacza przetwarzanie odpadów w produkty o niższej jakości lub wartości, niż oryginalne materiały. Przykładem może być przetworzenie starych plastikowych butelek na opakowania niższej jakości. Standardowym rozwiązaniem down-cycle na polskich budowach jest używanie do podbudowy pod drogi materiału powstałego ze zgruzowanego wcześniej miksu cegieł z betonem. Materiały te nie opuszczają terenu inwestycji, dzięki temu inwestor oszczędza pieniądze, a budowa jest mniej uciążliwa dla okolicznych mieszkańców. Należy pamiętać, że podbudowa z ceramiki powinna być każdorazowo obliczona przez projektanta konstrukcji, a jej objętość zwiększa się o około 10 proc. w stosunku do standardowego kruszywa, np. żwiru.

Urban mining (górnictwo miejskie)

Urban mining (górnictwo miejskie) polega na wykorzystaniu istniejących materiałów i zasobów. Obejmuje pozyskiwanie wartościowych materiałów z wyburzanych budynków i wykorzystywanie z terenów miejskich zasobów takich, jak odpady przemysłowe czy materiały budowlane z rozbiórek. Austriackie konsorcjum BauKarussell, wspierane i współprowadzone przez podmioty z branży budowlanej oraz

Źródło: <https://gazetalubuska.pl/zobacz-jak-niesamowicie-będzie-wyglądała-kładka-na-szprotawie/gn/c15-15593458>

miasto Wiedeń, powstało po to, by ustanowić cyrkularne procesy w sektorze budowlanym aglomeracji, ze szczególnym uwzględnieniem dużych rozbiórek. Dzięki dobremu przepływowi informacji oraz wymianie doświadczeń różnych uczestników, konsorcjum odzyskuje duże ilości surowców z rozbiórek.

Circular Design

Circular Design (projektowanie cyrkularne) to podejście projektowe koncentrujące się na tworzeniu produktów, budynków i systemów optymalizowanych pod kątem ekonomii cyrkularnej. Chodzi o łatwy demontaż, ponowne wykorzystanie materiałów i minimalizowanie produkcji odpadów. Jedną ze strategii takiego projektowania jest traktowanie budynków jako banków materiałów budowlanych, w których każdy element, przede wszystkim prefabrykowany, może być użyty ponownie po zakończeniu cyklu budynku. Każdy taki element ma swój paszport budowlany, dzięki czemu właściciel obiektu dysponuje odpowiednią dokumentacją, która opisuje szczegółowo zawartość „konta bankowego”. Uwzględnia ona szczegółowe dane charakterystyczne elementów budowlanych, zapisane w bazie BIM (building information modelling). Dzięki temu po latach baza danych będzie mogła stanowić podstawę do dysponowania materiałami na długo przed etapem rozbiórki, a projektanci innych budynków z łatwością skorzystają z rozbieranych komponentów budowlanych. Jedną z firm zajmujących się projektowaniem cyrkularnym jest holenderski Madaster, działający na kilku europejskich rynkach. Informacje z paszportu budowlanego są również przydatne dla zarządców nieruchomości, dane o trwałości poszczególnych elementów mogą im pomóc w planowaniu remontów związanych z eksploatacją obiektu, przedłużając jego żywotność. Zmniejsza to znacznie koszty eksploatacji budynku w dłuższej perspektywie.

Sharing economy

Sharing economy (ekonomia współdzielenia) to podejście polegające na wypożyczaniu zamiast jednokrotnego sprzedawania. Przykładem

ekonomii współdzielenia może być realizacja oświetlenia w budynkach projektowanych przez RAU Architects, w których oświetlenie jest wypożyczane przez firmę produkującą żarówki. Okazuje się, że lampy wypożyczone mają znacznie dłuższą trwałość, niż kupowane, firmie bowiem zależy na tym, aby nie było potrzeby ich serwisowania. Za specjalnie zaprojektowane oprawy, wspomniana firma architektoniczna płaci abonament za usługę „oświetlenia”. Jest to zdecydowanie lepsze dla środowiska i w dłuższej perspektywie bardziej korzystne, niż w przypadku gospodarki liniowej, gdy więcej sprzedanych „światłówek” oznacza większe zyski dla producenta. Z ekonomią współdzielenia już dziś można się spotkać w przypadku najmu narzędzi i maszyn budowlanych.

Zagospodarowanie materiałów i odpadów powstających w trakcie robót budowlanych

Stan obecny: Analiza prawna

Zagadnienie gospodarki odpadami budowlanymi w polskim prawie jest regulowane przepisami, które, choć nie odnoszą się bezpośrednio do kwestii wtórnego wykorzystania materiałów, kładą duży nacisk na ochronę środowiska poprzez minimalizację produkcji odpadów.

Ponowne wykorzystanie materiałów powstających w trakcie robót budowlanych przyczyni się nie tylko do zmniejszenia ilości powstających odpadów, ale pośrednio wpłynie również na zmniejszenie zużycia zasobów środowiska.

Już pierwszy artykuł ustawy o odpadach (U.O) zdaje się wyraźnie wskazywać na celowe przejście na system gospodarczy z zamkniętą pętlą procesów, w których materiały stanowiące odpady są wykorzystywane jako surowce. Celem regulacji odpadowych jest bowiem określenie środków służących ochronie środowiska, życia i zdrowia ludzi poprzez zapobieganie powstawaniu odpadów i zmniejszenie ich ilości oraz negatywnego wpływu ich wytwarzania. Pojęcie gospodarki obiegu zamkniętego (GOZ) nie zostało wprost zdefiniowane przez

ustawodawcę, z pewnością jego użycie nie pozostanie bez wpływu na interpretację przepisów odpadowych, a co za tym idzie definicję odpadu. Takie podejście otwiera drogę do głębszej refleksji nad możliwościami ponownego wykorzystania materiałów budowlanych w szerokim spektrum - od całych elementów konstrukcyjnych, przez poszczególne składniki, aż po bazowe surowce, z których są one wytworzone.

Przed podjęciem decyzji o ponownym użyciu materiałów wytwarzanych w ten sposób, konieczna jest analiza przepisów odpadowych. Jeśli bowiem uznamy, że dany materiał powinien zostać zaklasyfikowany jako odpad, jego wykorzystanie będzie obwarowane szeregiem obowiązków, których źródłem są przede wszystkim przepisy wspomnianej już wyżej U.O. Konsekwencje zaniechań w tym zakresie mogą okazać bardzo dotkliwe i skutkować różnego rodzaju sankcjami, w tym finansowymi, sięgającymi nawet miliona złotych.

Na rynkach światowych mamy do czynienia z dwiema strategiami likwidacji budynków.

Różnice między nimi wynikają głównie z podejścia do procesu rozbiórki oraz efektów końcowych. Wyburzenie jest znacznie bardziej popularne, ale nie uwzględnia ukrytych kosztów środowiskowych, które w przyszłości będą brane pod uwagę. Metoda selektywna może być czasochłonna i wymagać większej ilości pracy ręcznej, co generuje wzrost kosztów w porównaniu do prostego wyburzenia. Koszty rozbiórki selektywnej mogą być zrekompensowane poprzez oszczędności w przyszłości, dzięki potencjalnemu wykorzystaniu odzyskanych wartościowych materiałów. Częściej jednak wybierana jest tradycyjna rozbiórka ze względu na wyższy koszt wyjściowy i dłuższy czas potrzebny na metodę selektywną.

Wyburzenie

Wyburzenie to proces całkowitego bądź częściowego zniszczenia budynku lub struktury, najczęściej przy użyciu ciężkiego sprzętu takiego, jak koparki czy kruszarki. Jego celem jest usunięcie istniejącej konstrukcji w sposób szybki i skuteczny, bez konieczności zachowania

jej elementów do ponownego wykorzystania. Po wyburzeniu pozostaje duży i zróżnicowany stos odpadów, który często trafia na wysypiska śmieci. W przypadku terenów zabudowanych, podczas projektowania należy przeprowadzić analizę oddziaływania wyburzenia, by wykluczyć ewentualne zniszczenia sąsiednich budynków. Dodatkowym mankamentem wyburzenia jest immisja: pył i hałas.

Rozbiórka selektywna

Metoda ta to inaczej dekonstrukcja, czyli demontaż budynków, podczas którego konstrukcja jest demontowana i rozkładana na części, w celu odzyskania i ponownego wykorzystania materiałów. Elementy budynku są starannie segregowane na miejscu lub w specjalnych zakładach, a następnie przetwarzane lub sprzedawane jako surowce wtórne. Struktura bywa w przemyślny sposób usuwana od środka na zewnątrz, wówczas zmniejsza się wpływ rozbiórki na okoliczną zabudowę. Rozbiórka selektywna jest obowiązkowo stosowana w przypadku obiektów wpisanych do Rejestru Zabytków.

Przed demontażem

Odnowienie i modernizacja gotowego elementu budowlanego to zdecydowanie najbardziej ekologiczna metoda. Jest to czasochłonne i wymaga staranności. Konieczna jest także modernizacja tych elementów pod kątem dostosowania do aktualnych przepisów regulujących rynek budowlany.

Przykładem są stare okna, których modernizacja jest możliwa, jednak spełnienie wyśrubowanych parametrów termicznych, szczelności i akustyki, określonych w „Rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie” (WT), może nastręczać trudności. W projektach komercyjnych standardem jest stosowanie tak zwanych KZM-ów, czyli Kart Zatwierdzenia Materiałów. W nowszych budynkach powinna już być dostępna dokumentacja dotycząca wyrobów budowlanych i deklaracji właściwości użytkowych elementów wbudowanych w budynek. Taka dokumentacja uwzględnia parametry

zastosowanych materiałów i komponentów oraz stanowi podstawę do podjęcia decyzji o tym, co należy z elementem zrobić. Z pewnością ułatwi ona opracowanie jednostkowego dopuszczenia w przypadku planów modernizacyjnych. Należy pamiętać, że dokumenty deklaracji właściwości elementu budowlanego nie obowiązują w przypadku jego demontażu po latach użytkowania. Obowiązkiem podmiotu wprowadzającego wyrób uprzednio zdemontowany będzie zatem deklarowanie właściwości i branie odpowiedzialności za te informacje. Przed rozpoczęciem prac najlepiej zaplanować miejsce składowania zdemontowanych materiałów.

W trakcie demontażu

Największy problem stanowią czas i zabezpieczenie fragmentów komponentów budowlanych, narażonych na zniszczenia podczas demontażu, składowania lub transportu.

Po demontażu

Zdemontowane elementy lub ich części mogą mieć dodatkowe zastosowanie. Kluczowe jest w tym wypadku ustalenie, czy to "materiał używany", czy odpad, od tego bowiem będzie zależać dalsze postępowanie.

Jeśli uznamy, że zdemontowany komponent budowlany nie został uszkodzony podczas demontażu, spełnia przepisy oraz normy budowlane i nadaje się do wykorzystania zgodnie ze swoim pierwotnym przeznaczeniem, możemy spróbować znaleźć dla niego dalsze zastosowanie. Jeżeli konieczne będą czynności związane z odzyskiem, potraktowany zostanie jako odpad. Przykładem takiego odpadu są podkłady kolejowe nielegalnie stosowane jako elementów architektury krajobrazu. Co więcej, ze względu na zawartość rakotwórczego oleju krezotowego stanowią tzw. odpad niebezpieczny.

Jeśli natomiast uznamy, że zdemontowany materiał powinien zostać uznany za odpad, dalsze jego wykorzystanie stanowić będzie odzysk, co wymaga spełnienia zasad gospodarki odpadami. Osobie fizycznej mogą być przekazane jedynie odpady ściśle określone i do ściśle określonych celów. Dobrą praktyką

jest sporządzenie oświadczenia od osoby fizycznej, że zdaje sobie sprawę do jakich celów dany odpad będzie wykorzystany w innym miejscu. Sprawa wygląda inaczej w przypadku nie zanieczyszczonej ziemi z wykopu z art. 2 U.O. (wyłączenia). Nie jest ona traktowana jako odpad, o ile materiał nie opuści działki inwestora i na niej zostanie wykorzystany. Taka ziemia staje się odpadem budowlanym w momencie odbioru przez firmę transportową. Zdemontowany i zaklasyfikowany jako odpad element budowlany może być magazynowany od 1 roku do 3 lat. W sytuacji uznania materiału za odpad zastosowanie znajdują dodatkowe wymagania prawne, odnoszące się do jego magazynowania.

Gdy materiał stanie się odpadem

Odpady budowlane nie mogą zostać wyrzucone do zwykłego pojemnika na odpady komunalne. Obecnie ustawa wyróżnia tylko dwie kategorie odpadów dla wyrobów budowlanych: odpady wytwarzane w trakcie robót budowlanych przez podmioty gospodarcze i odpady wytwarzane w gospodarstwach domowych. Przy segregacji odpadów budowlanych na kilka frakcji, wywóz kontenera jest również tańszy.

Po nowelizacji ustawy o odpadach, selektywna zbiórka odpadów budowlanych będzie obowiązkowa i będzie obejmować podział na co najmniej sześć frakcji. Zmiany zaczną obowiązywać 1 stycznia 2025 roku. Odpady budowlane i rozbiórkowe, które nie zostały zebrane i odebrane w sposób selektywny, będą podlegać sortowaniu na: drewno, metale, szkło, tworzywa sztuczne, gips, odpady mineralne, w tym beton i kamienie. Obowiązek ten jednak nie będzie dotyczyć gospodarstw domowych i punktów selektywnego zbierania odpadów komunalnych (PSZOK), w których już obecnie obowiązuje selektywna segregacja. Jeśli osoba prywatna z gospodarstwa domowego zatrudni firmę świadczącą usługi remontowo-budowlane, wymusi to selektywną zbiórkę odpadów.

Definicja odpadu

Definicja odpadu pozornie nie powinna być problematyczna. Odpadem jest bowiem każda substancja lub przedmiot, których posiadacz pozbywa się, zamierza się pozbyć lub do których pozbycia się jest obowiązany (por. art. 3 ust. 1 pkt 6 U.O). W praktyce jednak ustalenie, czy dany materiał jest lub nie jest odpadem, przysparza kłopotów nie tylko samym wytwórcom, ale i organom administracji.

W orzecznictwie sądowo-administracyjnym ukształtował się pogląd, zgodnie z którym do kategorii odpadów włączyć należy nie tylko te przedmioty, które ich posiadacz uważa za zbędne i których chciałby się pozbyć, ale także te, które podlegają powtórnemu gospodarczemu wykorzystaniu. To że właściciel ma zamiar ponownie wykorzystać dany materiał, nie zmienia jego statusu. Pojęcie odpadu nie wyłącza substancji i przedmiotów, które nadają się do dalszego gospodarczego wykorzystania. Odpadami są także materiały podlegające ponownemu gospodarczemu wykorzystaniu przez nabywcę, posiadające dla niego określoną wartość gospodarczą, rynkową. Obiektywna wartość materiału surowca lub komponentu w żadnym stopniu nie przesądza, czy jest on odpadem, czy nie.

Użyte przez ustawodawcę pojęcie "pozbycie się", stanowiące przesłankę do uznania za odpad, powinno więc być odczytywane jako zmiana sposobu użytkowania wskazanego przedmiotu. Wykorzystanie danego przedmiotu w sposób inny, niż jego dotychczasowe przeznaczenie, mogłoby wywoływać niekorzystne oddziaływanie na środowisko.

Na gruncie ww. definicji, ustawodawca wyodrębnił różne kategorie odpadów, w tym odpady budowlane i rozbiórkowe, przez które rozumie się odpady powstałe podczas robót budowlanych. To jednak pierwotna klasyfikacja materiału jako odpadu pociągnie za sobą jego uznanie za odpad budowlany i rozbiórkowy, nie sam fakt prowadzenia procesów budowy czy rozbiórki. To wytwórca materiałów decyduje, czy tak powstały materiał stanowi odpad, czy też nie, biorąc pod uwagę m.in. wskazane powyżej okoliczności.

Zanim zdecydujemy się rozstać z jakimkolwiek elementem konstrukcyjnym, warto więc rozważyć możliwość jego ponownego użycia i uznania za "używany materiał", przy jednoczesnym wzięciu pod uwagę ww. definicji odpadu. Zastanówmy się, czy może on znaleźć nowe zastosowanie w innym miejscu lub wzbogacić inny projekt budowlany. Czy może zostać wykorzystany zgodnie z jego pierwotnym przeznaczeniem, bez konieczności poddawania go procesom przygotowawczym, noszącym znamiona procesów odzysku.

Dopiero po zdecydowaniu, że dany materiał stanowi odpad, należy dobrać klasyfikację odpadów, zgodnie z katalogiem odpadów. Jeżeli materiał lub komponent budowlany ma być ponownie wykorzystany zgodnie z polskim prawem, istotne jest, czy taki materiał ma status odpadu czy nie. Jeśli nie, to podlega on swobodnemu obrotowi, z pominięciem regulacji odpadowych. Jeżeli zaś jest odpadem, to czynności z jego wykorzystaniem będą stanowiły odzysk, co obwarowane jest koniecznością posiadania pozwolenia lub powołania się na zwolnienie z obowiązku jego posiadania.

Decyzja co do statusu materiału uzależniona jest od określonych okoliczności. Jeśli bowiem posiadamy na swojej nieruchomości materiały powstałe po demontażu jakiegoś obiektu, trudno a priori przyjąć, że z założenia stanowią one odpady. Nie można bowiem z góry wykluczyć, że ich właściciel planuje ich wykorzystanie do planowanej nowej inwestycji. Może się jednak okazać, że rodzaj i stan zgromadzonych materiałów nie pozwoli na ich wykorzystanie bez poddania ich procesom przygotowania do ponownego użycia, co z kolei może przesądzić o konieczności traktowania ich jako odpadów.

Należy pamiętać, że wartość materiału lub to, że substancja lub element budowlany mogą podlegać odzyskowi, nie wpływa na jego ocenę w kontekście definicji odpadu. Na jego status wpływają okoliczności towarzyszące jego przekazaniu, stopień prawdopodobieństwa ponownego użycia danego materiału, a także to, czy będzie wykorzystywany do swojego pierwotnego celu. Takie zapisy powodują absurd, na

przykład użycie starej rozbiórkowej cegły, pociętej wtórnie na płytki okładzinowe, nie jest bezpośrednim wykorzystaniem do celów konstrukcyjnych, tylko do dekoracyjnych. Według niektórych interpretacji może to stanowić problem prawny i być nielegalne.

Wyłączenia - pierwszy wyjątek od odpadu

W ustawie o odpadach znajdują się także regulacje, dające możliwość swoistej „ucieczki” od obowiązków w niej określonych. Ich zastosowanie sprawi, że materiały lub elementy budowlane nie zostaną uznane za odpady.

W art. 2 U.O. ustawodawca określił katalog wyłączeń, wskazując do jakich przedmiotów lub substancji nie stosuje się regulacji odpadowych. Przykładowo na liście znalazły się grunty w pierwotnym położeniu (w miejscu), w tym nie wydobyta zanieczyszczona gleba, budynki trwale związane z gruntem czy niezanieczyszczona gleba i inne materiały występujące w stanie naturalnym, wydobyte w trakcie robót budowlanych. W tym ostatnim przypadku ustawodawca wprowadza dodatkowy warunek w postaci konieczności ich wykorzystania do celów budowlanych w stanie naturalnym na terenie, na którym zostały wydobyte.

Gleba wydobyta w trakcie robót budowlanych i niewykorzystana w celu budowlanym na tym samym terenie jest odpadem, nawet jeśli mogłaby być przetransportowana na inną działkę tego samego inwestora. Według wyroków sądów, jeżeli gruntu nie wykopujemy, to nie mamy do czynienia z odpadem. Jeśli już natomiast zrobimy wykop pod fundamenty, magazynowana i zanieczyszczona gleba może być skategoryzowana jako odpad i wtedy składowanie jej podlega terminom zapisanym w ustawie, czyli od 1 roku do 3 lat.

Produkty uboczne - drugi wyjątek od odpadu

Procedura uznania produktu za uboczny, zgodnie z Art. 10 rozdziału 4 U.O., wskazuje, że powstające w trakcie procesu produkcyjnego przedmioty lub substancje mogą zostać uznane za pełnowartościowy materiał (produkt, a nie

odpad), o ile spełniają wskazane w tym przepisie przesłanki. Jedną z nich jest możliwość ich dalszego, bezpośredniego wykorzystania bez konieczności przetwarzania, w inny sposób niż przyjęty w normalnej praktyce przemysłowej. Jeśli zastosowanie będzie inne, niż w normalnej praktyce przemysłowej z uwagi na ich nieprzydatność dla pierwotnego posiadacza, mogłyby zostać potraktowane jako zbędne odpady. Materiał poddawany tej procedurze musi nadawać się bezpośrednio do użycia. Ustawodawca wskazał również, że dalsze wykorzystanie przedmiotu lub substancji musi być pewne, co pociąga za sobą konieczność przedstawienia w tym zakresie odpowiednich dowodów. Jeżeli zostaną spełnione pewne przesłanki, wskazane w Art. 10 i n. U.O., to można wystąpić do Marszałka Województwa, który w drodze decyzji potwierdzi, że materiał może być traktowany jako produkt, a nie odpad. Taka procedura trwa dość długo zgodnie z Art. 11 ust. 4c i 4e U.O., jednak obligatoryjna kontrola WIOŚ może jeszcze znacząco wydłużyć całe postępowanie. Mogą powstać również wątpliwości, czy proces rozbiórki lub demontażu stanowi proces produkcyjny, na który wskazuje ww. Art. 10 U.O.

Utrata statusu odpadu - trzeci wyjątek od odpadu

Ostatnim, trzecim wyjątkiem pozwalającym uznać, że odpad przestał nim być, jest określona w Art. 14 U.O. procedura utraty statusu odpadu. Należy tu jednak zwrócić uwagę, że ten tryb postępowania wiąże się z koniecznością uzyskania odpowiednich zezwoleń z zakresu gospodarki odpadami, co może stanowić dla inwestorów pewne utrudnienie. Określone rodzaje odpadów przestają być odpadami, jeżeli, dzięki poddaniu ich recyklingowi lub innemu odzyskowi, spełniają wskazane w przepisie przesłanki. Chodzi o spełnienie wymagań technicznych dla zastosowania do konkretnych celów oraz wymagań określonych w przepisach, w szczególności dotyczących chemikaliów i produktów mających zastosowanie do danego przedmiotu lub danej substancji. Inną możliwością jest spełnienie norm mających zastosowanie do danego

produktu lub szczegółowych warunków określonych w przepisach prawa Unii Europejskiej albo w przepisach krajowych, a jeżeli takowe nie zostały określone - w zezwoleniu na przetwarzanie odpadów. Do tego dochodzą różne interpretacje prawne i nowe wyroki sądowe. W wyniku prac rozbiórkowych czy remontowych, podwykonawca staje się wytwórcą odpadu, chyba że w umowie z wykonawcami znajdują się odmienne zapisy.

Jeżeli chcielibyśmy wykorzystać cały element budowlany, na przykład stalową belkę lub kratownicę z rozbiórki, należałoby sporządzić dla niej tzw. jednostkowe dopuszczenie, czyli indywidualną dokumentację techniczną, która z kolei zapewni pewnego rodzaju gwarancję inwestorowi i przyszłemu użytkownikom na dany element. Taką dokumentację można sporządzić dla tych elementów, które nie zostały odpadami lub dla tych, które przeszły utratę statusu odpadu czy też zostały wyłączone z definicji odpadu. Dopiero po sporządzeniu takiego jednostkowego dopuszczenia możliwe jest uznanie, że element może być wbudowany. Jeżeli nie chcemy robić odstępstw od obowiązujących przepisów, dany element powinien być dostosowany do aktualnych projektowych norm prawnych dla nowych budynków i dopiero wówczas będzie mógł być użyty lub zamontowany. Odpowiedzialność za ten materiał ponosi wówczas autor jednostkowego dopuszczenia. Taka dokumentacja techniczna może się różnić w zależności od zakresu opracowania, którego koszt powinien wynosić od kilkuset złotych do kilku tysięcy. Może to być kolejną barierą w ponownym zastosowaniu tych elementów, zwłaszcza gdy mają niewielkie gabaryty lub są niepowtarzalne i w dużych ilościach. W ustawie o wyrobach budowlanych istnieją zapisy o deklarowanych właściwościach użytkowych oraz o zasadniczej charakterystyce wyrobu. Określenie niektórych właściwości może być trudne, na przykład określenie klasy stali konstrukcyjnej w demontowalnym elemencie. Nie należy zatem spodziewać się większych zmian na rynku, jeżeli nie powstanie nowa ustawa o materiałach budowlanych z rozbiórki lub nie będzie korekty istniejących ustaw o odpadach

i obowiązujących rozporządzeń. W przypadku jakichkolwiek wątpliwości, należy skonsultować się z prawnikiem.

Istnieje jeszcze droga uzyskania odstępstwa od Rozporządzenia o Warunkach Technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Konieczna jest też zmiana treści tego rozporządzenia, aby ułatwić wprowadzenie produktów demontowalnych wtórnie na rynek.

Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie listy rodzajów odpadów, które osoby fizyczne lub jednostki organizacyjne niebędące przedsiębiorcami mogą poddawać odzyskowi na potrzeby własne, oraz dopuszczalnych metod ich odzysku, aktualnie nie uwzględnia możliwości kompostowania przydomowego na przykład elementów z drewna litego z rozbiórki. Tabela stanowiąca załącznik do ww. rozporządzenia przedstawia dopuszczalne metody odzysku różnych typów odpadów przez osoby fizyczne lub jednostki organizacyjne niebędące przedsiębiorcami. Do tabeli tej powinno zostać włączone szersze spektrum materiałów naturalnych do kompostowania, by ułatwić wdrażanie gospodarki obiegu zamkniętego w budownictwie.

Projektowanie i budowa z zastosowaniem reuse?

Projektowanie i budowa budynków z zastosowaniem zasad reuse są możliwe, stanowią istotny obszar rozwoju w dziedzinie architektury i budownictwa. Wyznaczają jeden z głównych nurtów współczesnej architektury. Podejście to może obejmować ponowne wykorzystanie zarówno fizycznych elementów, jak i rozwiązań projektowych, w celu zmniejszenia produkcji odpadów. Poprzez projektowanie i wbudowywanie komponentów, które mogą być ponownie wykorzystane, można obniżyć koszty i zwiększyć efektywność energetyczną. To obecnie szczególnie istotne, ponieważ ludzkość konsumuje 1,6 razy więcej zasobów, niż pozwalają na to możliwości regeneracyjne planety. Projektowanie z zastosowaniem reuse wymaga dialogu między wykonawcą, projektantem a inwestorem oraz wspólnej wizji realizacji, w której odpowiedzialność za budynek

jest współdzielona. W realizacji projektów cyrkularnych najważniejszy jest udział wielu profesjonalistów z różnych branż. Współpraca zespołu, rozmowa o oczekiwaniach wobec architektury cyrkularnej i wspólne rozwiązywanie problemów są niezbędne do odniesienia sukcesu projektów cyrkularnych. Bardzo ważne jest zaangażowanie wykonawcy i konsultanta ds. wyburzeń już na etapie wstępnego projektu architektonicznego.



Źródło: Zbigniew Sulikowski

Zdjęcie 6. Szklarnia z materiałów z odzysku pod Wyszkowem

Projektowanie w zgodzie z gospodarką obiegu zamkniętego

W przypadku budynków cyrkularnych, najważniejszy jest etap projektowania. Na wstępnych etapach planowania inwestycji wiele można zmienić niewielkim kosztem. Wymóg cyrkularności w budynkach niezwykle wzmacnia rolę projektantów w całym procesie inwestycyjnym. Wiele zależy bowiem od ich umiejętności projektowych, wyobraźni, ale i wiedzy na temat różnych materiałów oraz wyrobów budowlanych. Jeżeli celem jest ponowne wdrożenie materiału do projektowanego budynku, to każdorazowo należy przygotować specjalną dokumentację – indywidualną dokumentację techniczną, uzgodnioną lub sporządzoną z projektantami, posiadającymi odpowiednie uprawnienia budowlane. Powinna ona być zgodna z obowiązującymi przepisami

i normami budowlanymi. Taki komponent budowlany z opracowanym jednostkowym dopuszczeniem należy certyfikować oświadczeniem o zgodności wyrobu z powyższą dokumentacją. Wówczas element, zwany dalej „wyrobem” budowlanym, jest dopuszczony do jednostkowego zastosowania w obiekcie budowlanym.

Formalności te są czasochłonne i kosztowne, a proces projektowy wymaga ciągłych, często szybkich decyzji. Dlatego w cyrkularnych projektach warto jest zbierać materiały budowlane już na etapie projektowania. Jak już zostało wspomniane, magazynowanie elementów, które będą miały status odpadu, może trwać do trzech lat. Należy opracować dokumentację umożliwiającą zastosowanie tego typu elementów i określającą ich właściwości. Pionierski budynek cyrkularny powstał w miejscowości Winterthur w Szwajcarii, nazwano go „K.118”. Projekt elewacji został całkowicie zmieniony w trakcie realizacji, spowodowane było to brakiem na rynku wtórnym surowca wybranego przez projektantów. Zmienione zostały również otwory okienne, w efekcie zmian tzw. nieistotnych dostosowano je do dostępnych na rynku komponentów. To cenne zagraniczne doświadczenie pokazuje, że konieczna jest całkowita zmiana podejścia do projektowania i komercjalizacji tego typu obiektów. Przy dzisiejszych standardach niedopuszczalna byłaby sytuacja, w której firma deweloperska sprzedaje budynek materiałami marketingowymi i wizualizacjami budynku, niezgodnymi z realizacją generalnego wykonawcy. Zapewne wiązałyby się to z reklamacjami oraz niezadowoleniem klientów i uszczerbkiem na wizerunku firmy deweloperskiej. Takie innowacyjne podejście do projektowania i budowy mogłoby zapewne przynieść sukces w projektach zarządzanych odgórnie, tzw. PRS lub inwestycjach biurowych czy co-livingach. Konieczna jest zmiana mentalności i podejścia do projektowania - bardziej elastycznego i spontanicznego, z założonym marginesem zmian, aby móc pomyślnie wdrażać materiały z drugiej ręki. Młode pokolenia zwracają uwagę zarówno na ekologię, jak i na budżet. Na etapie projektowania w duchu reuse można ponownie używać całych komponentów budowlanych

lub materiałów budowlanych, które pochodzą z przetworzenia surowca.

Najbardziej ekologicznym podejściem są adaptacja, modernizacja i przebudowa istniejących budynków, generują bowiem najmniejszy ślad środowiskowy. W ramach nowej inwestycji bazującej na starej tkance, należy zastanowić się, które z elementów budowlanych danego obiektu mogą być ponownie wykorzystane lub modernizowane i adaptowane do nowej funkcji. Warto pamiętać, że społeczne przyzwyczajenia zmieniają się szybciej niż kiedykolwiek, wraz z postępującą technologią, a więc zmiana funkcji będzie nam wielokrotnie towarzyszyła. Budynki w Holandii już obecnie często projektuje się tak, aby po 25 latach łatwo było je zdemontować.

Komponenty budowlane takie, jak słupy, belki czy nawet całe kratownice stalowe, mogłyby być ponownie wykorzystane, jeżeli pozwala na to ich stan techniczny. W celu sporządzenia jednostkowego dopuszczenia komponentu, należy każdorazowo postępować zgodnie z wytycznymi podanymi w instrukcji wskazanej przez projektanta. Do takich obowiązków należą sprawdzenie aktualnego stanu elementu, wyboczenia, korozji, doprowadzenie komponentu do stanu zgodnego z aktualnymi przepisami i normami. Czasami konieczne jest sporządzenie ekspertyzy mykologicznej, entomologicznej, konstrukcyjnej lub innej wymaganej w przypadku danego projektu i wbudowywanego elementu. Nie podejmowanie takich przedsięwzięć wynika często z konieczności wzięcia za nie odpowiedzialności, co może być również kosztowne. Projektanci i autorzy ekspertyz oraz wykonawcy wdrażający wyroby na podstawie jednostkowego zastosowania biorą odpowiedzialność cywilną za podjęte decyzje i muszą to ryzyko ubezpieczyć. Z tego powodu komponenty budowlane stosowane są najczęściej jako elementy wykończenia wnętrza czy małej architektury. Wówczas nie muszą spełniać części wymagań wysrubowanych przepisami budowlanymi. Grupa deweloperska Arche na Inwestycji Dwór Uphagena w Gdańsku zastosowała ławki i murki wykonane z gabionów, które wypełniono starą ceramiczną pokruszoną dachówką, która nie mogła być ponownie użyta

do pokrycia dachu. W inwestycji Cukrownia Żnin w Żninie, aby nadać industrialny charakter wnętrzom, jako ozdobne elementy wykończenia ścian wykorzystano stare rury.



Zdjęcie 7. Zdjęcie z dworu Uphanega w Gdańsku

źródło: Paweł Wolejsza



Zdjęcie 8. Zdjęcie z dworu Uphanega w Gdańsku

źródło: Paweł Wolejsza

Materiały budowlane również mogą być wykorzystywane ponownie lub zostać przetworzone. W Warszawie, podczas wyburzania zrujnowanych w czasie II wojny światowej domów Warszawy, przy użyciu kruszarek tworzono gruzobeton. Stał się on budulcem m.in. dzielnicy Muranów.

Obecnie procedury dotyczące ponownego stosowania materiałów są bardziej skomplikowane, coraz częściej powstają jednak wyroby bazujące na wykorzystywaniu surowców z recyklingu. Projektanci mają do wyboru cyrkularne

odpowiedniki materiałów budowlanych. Jednym z przykładów dostępnym od lat na polskim rynku jest specjalny beton, który ma domieszkę kruszywa betonowego z wyburzeń. Inną ciekawą innowacją jest membrana hydroizolacyjna na dachu, wykonana z folii pozyskanej z rozbitych klejonych szyb samochodów. W związku z regulacjami ESG i koniecznością obliczania oraz raportowania emisji dwutlenku węgla, produkty z recyklingu będą coraz bardziej powszechne, wraz ze wzrostem popytu i podaży, ich cena będzie spadać. Na rynku już są obecne produkty z recyklingu w niemal każdym obszarze budownictwa.

Na etapie projektowania w duchu reuse, podczas wyboru materiałów i komponentów budowlanych, należy pamiętać o dwóch głównych strategiach projektowych. Pierwsza z nich polega na tym, aby stosować materiały jak najbardziej trwałe i dzięki temu zmniejszać ilość produkowanych odpadów. W przypadku jej zastosowania, nie ma konieczności częstej wymiany elementów ulegających korozji biologicznej lub mechanicznym uszkodzeniom.

Druga strategia polega na stosowaniu jak największej liczby materiałów naturalnych, pochodzenia roślinnego takich, jak drewno, beton konopny i słoma, wykańczaniu naturalnymi technikami i impregnatami. Jeżeli materiały takie, jak słoma, nie są narażone na działanie wody, a projekt i wykonanie są realizowane zgodnie ze sztuką budowlaną, to obiekt może przetrwać ponad sto lat. Wzorcem takiej strategii są zarówno tradycyjne konstrukcje historyczne, jak i bardziej współczesne, na przykład francuski dom Maison Feuillette, wzniesiony w technologii straw bale.

Jeszcze jeden materiał jest zarówno naturalny, jak i trwały – kamień, obecnie mocno niedoceniany w budownictwie kubaturowym, za to powszechnie stosowany w budownictwie infrastrukturalnym. To właśnie kamieniem obłożone są urzekające stare miasta południowej Europy. W Polsce mamy kilka kamiennych miast, które zachwycają pięknem – Kazimierz Dolny nad Wisłą czy Kraków. Wykończone naturalnym kamieniem nawierzchnie ciągów pieszych

w starych miastach znacznie lepiej się starzeją estetycznie i mechanicznie, niż kostka brukowa, wykonana nawet z najlepszej klasy betonu.

Budowa z zastosowaniem reuse

W trakcie realizacji prac z zastosowaniem metod reuse mogą pojawić się niespodzianki związane z materiałem lub komponentem budowlanym. Należy przewidzieć dodatkowy zapas czasu, pracy i pieniędzy, zwłaszcza że obecnie na polskim rynku trudno znaleźć firmy realizujące kompleksowo tego typu przedsięwzięcia. Materiały budowlane mogą być wcześniej przygotowane i odnowione. Wtedy maleje ryzyko związane na przykład z brakiem danych materiałów.

Działania, które możesz podjąć już dziś, aby Twoja budowa sprzyjała gospodarce obiegu zamkniętego oraz dekarbonizacji w projektowaniu i budownictwie:

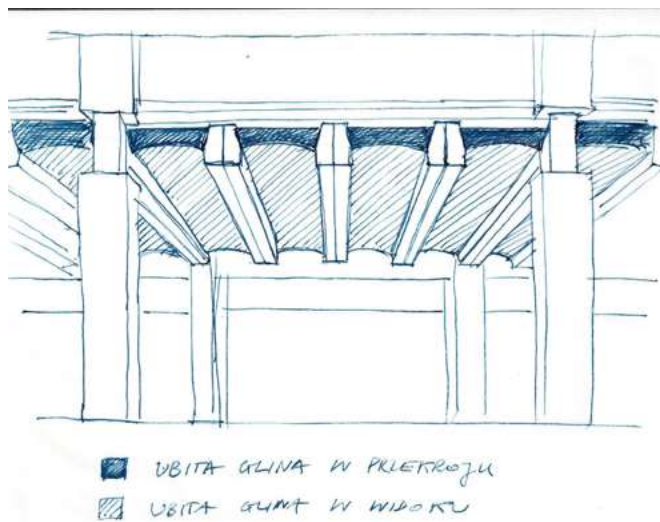
Działania ze względu na materiały budowlane:

- świadomy wybór materiałów do budowania budynku, mogą to być materiały naturalne: biologiczne biodegradowalne, a nawet kompostowalne lub o wysokiej trwałości, które pod wpływem wody lub warunków atmosferycznych nie korodują biologicznie;
- stosowanie struktur wykonanych z jak najmniejszej liczby materiałów – umożliwia to łatwą segregację w przypadku rozbieranych budynków;
- wykorzystanie lokalnie dostępnych materiałów naturalnych, słoma i drewno są materiałami ogólnodostępnymi, występującymi właściwie w każdym rejonie Polski;
- stosowanie w procesie projektowania drewna jako materiału naturalnego, jako zasób odnawialny, ale ograniczony – ze względu na powolny wzrost – drewno powinno być uzupełniane materiałami szybko rosnącymi, które mogłyby wypełnić strukturę szkieletu, na przykład słomą lub betonem konopnym; dzięki temu można zmniejszyć procentowy udział surowca drzewnego w całkowitej substancji obiektu;
- wykorzystywanie odzyskanych lub

zrecyklowanych materiałów budowlanych takich, jak drewno, metal czy beton lub gotowych produktów z tych materiałów;

- wykorzystywanie masy ziemnej z wykopów.

Humus, glina, piaski wydobyte w trakcie prac ziemnych, pod warunkiem, że zostaną wykorzystane na terenie realizowanej inwestycji, można wykorzystać jako substrat do tworzenia zielonych dachów. Przykładem wykorzystania ziemi z wykopów do wykonywania elementów budynku w technologii ziemi ubijanej jest HORTUS zaprojektowany przez szwajcarską pracownię ZPF Ingenieur. Gлина z wykopu na działce jest wprowadzana pomiędzy drewniane kasety stropowe i formowana w każdej z nich w kształt



kolebki, następnie ubijana.

Ta innowacja zwiększa odporność stropu na ogień oraz zwiększa masę termiczną budynku, przez co obiekt stabilniej utrzymuje temperaturę wewnątrz. Nad realizacją czuwała pracownia architektoniczna Herzog & de Meuron.

Działania ze względu na komponenty budowlane, czyli np. stropy, schody, okna:

- elementy powinny być projektowane tak, by ich demontaż nie był uciążliwy, a wbudowywane w taki sposób, by możliwe było ich ponowne użycie. W przeszłości domy z bali były realizowane in-situ, powstawały z masywnego surowca. Do dziś jest popyt na materiał z ich rozbiórki, przenoszone są także całe budynki tego typu;
- duże inwestycje wymagają obecnie powtarzalności i precyzji, którą zapewnia prefabrykacja, czyli realizacja elementów lub całych modułów budynków poza działką, w fabryce. To podejście pozwala na oszczędność czasu i zasobów, uzyskanie wyższej jakości i zmniejszenie ilości odpadów budowlanych. Powtarzalność elementów ułatwia zarządzanie zasobami po ich demontażu;
- oznaczanie elementów budowlanych odpowiednimi kodami, które stanowią paszport materiału budowlanego i zawierają specyfikę całego obiektu. Takie rozwiązania stosowane jest już w Holandii, niedługo też pojawią się w Polsce;
- wykorzystanie modułowych rozwiązań i systemów konstrukcyjnych, które umożliwiają elastyczne dostosowanie do różnych funkcji i wymagań, w przyszłości umożliwi to rozbudowę lub modyfikację obiektu;
- stosowanie połączeń skręcanych, wiązanych i ściskanych zamiast klejonych trwale, przy zachowaniu jak najmniejszej ilości typów połączeń i wkrętów.

Działania ze względu na projektowanie:

- współpraca i zaangażowanie wielu profesjonalistów z różnych branż od początku trwania projektu, uwzględniająca doświadczenie osób zajmujących się wykonawstwem i rozbiórkami;

Rysunek 3. Grafika obrazująca przekrój drewniano-gliniany



Rysunek 4. Grafika obrazująca przekrój drewniano-gliniany

- optymalizacja bryły budynku, architektura powinna być prosta;
- liczba funkcji powinna być zredukowana przez inwestora, technologa i architekta, układ funkcjonalny powinien umożliwiać potencjalne adaptacje z uwzględnieniem różnych scenariuszy projektowych. Równie istotne jak rozwiązania cyrkularne, są rozwiązania funkcjonalne;
- uwzględnienie jak najmniejszej liczby klejonych połączeń, mechaniczne połączenia ułatwiają demontaż;
- działania regeneratywne, aby tworzyć część ekosystemu, nie tylko minimalizować negatywny wpływ na środowisko inwestycji, ale także aktywnie przyczyniać się do jego odnowy i poprawy;
- uwzględnienie każdej z faz życia budynku, nie tylko fazy budowy;
- użycie oprogramowania do projektowania w BIM (Building Information Modelling), które uwzględnia szczegółowe informacje o wbudowanych komponentach i zmniejsza liczbę błędów projektowych, co wpływa z kolei na ilość odpadów na budowie;
- na etapie projektowania stworzenie na działce miejsca do składowania materiałów z rozbiórki, zwykle takiego miejsca brakuje. W przypadku dużych obiektów kluczowe jest zastosowanie just-in-time delivery i dobra logistyka budowy. Naturalne materiały będą wówczas mniej narażone na ekspozycję na niekorzystne warunki atmosferyczne i inne czynniki mogące wpłynąć na ich degradację;
- jeśli na działce jest budynek, warto rozważyć, czy możliwa jest jego przebudowa lub adaptacja zamiast wyburzania i stawiania nowego obiektu.

Kierunki rozwoju oraz niezbędne zmiany dotyczące uczestników procesu budowlanego i organów administracji

Można oczekiwać, że niebawem projektowanie cyrkularne stanie się nieodłącznym elementem pracy każdego architekta. Przejście na model cyrkularny wymaga jednak zaangażowania, wiedzy i otwartości. By możliwe było realizowanie projektów w duchu GOZ, będzie musiała zmienić się legislacja, by nie tylko projektanci brali odpowiedzialność za decyzje dotyczące ponownego wprowadzania materiałów. W związku z koniecznością raportowania ESG i CSR, inwestycja wspierająca GOZ świadczy obecnie o odpowiedzialności biznesu. Konieczność obliczenia dwutlenku węgla w całym cyklu życia budynku, która będzie obowiązywać przy każdej inwestycji od 2027 roku, a także konieczność ograniczenia emisji i paliw kopalnych, wpłynie na wzrost cen materiałów i wytwarzania komponentów budowlanych.

Unia Europejska będzie dążyć do utrzymania surowców w ponownym obiegu. Wprowadzenie gospodarki o obiegu zamkniętym może zwiększyć PKB UE do 2030 roku o 7 proc.. Zwiększy się zatrudnienie w usługach takich, jak naprawy, recykling czy renowacja całych budynków oraz ich części. Otworzy to nowe możliwości dla materiałów naturalnych pochodzenia roślinnego. W trakcie swojego wzrostu, rośliny magazynują w tkance dwutlenek węgla, być może zatem będą zwolnione z „podatku od emisji za dwutlenek węgla”. Może się wydawać, że te zmiany to daleka przyszłość, jednak już od przyszłego roku 2025 w Niderlandach każdy projektowany budynek będzie musiał spełniać zasady obiegu zamkniętego. Zachodnie kraje są pionierami we wdrażaniu GOZ, ale pamiętajmy, że to one mają nadal największe emisje CO₂ per capita. Reuse jest dziś trendy - kiedyś wdrażano do projektowania jego elementy, w przyszłości całe obiekty będą planowane tak, aby mogły być zdemontowane po określonym czasie. Takie przepisy prędzej czy później dotrą także do Polski.

Kolejnym dokumentem obowiązującym przedsiębiorców będzie tzw. Taksonomia, dotycząca także sektora budowlanego. Taksonomia

oraz Europejski Zielony Ład mają na celu rozwój ekonomii obiegu zamkniętego CEAP (Circular Economy Action Plan). Na pewno wpłynie to na liczbę inwestycji realizowanych w duchu GOZ. Już dziś inwestycje, które powstają zgodnie z KPO (Krajowym Planem Odbudowy i Zwiększenia Odporności), muszą spełniać wymogi zasady DNSH (Do Not Significant Harm). Zasada ta narzuca firmom korzystającym z funduszy unijnych obowiązek dbania o środowisko i klimat, poprzez brak negatywnego wpływu na nie. Pomimo braku oficjalnych wymogów i parametrów GOZ, w ocenach projektów wprowadzono dodatkową punktację dla projektów, które wykażą realizację celów gospodarki obiegu zamkniętego.

Państwo Polskie będzie zmieniało finansowanie inwestycji ekologicznych poprzez różne zachęty. Już dziś firmy, które przekażą darowiznę na rzecz działalności OPP (Organizacji Pożytku Publicznego), mogą odliczyć 6 proc. podatku od wartości tej darowizny. Darowiznami mogą być na przykład elementy wykończenia i komponenty budowlane lub niewykorzystane produkty z budowy. Wówczas organizacje mają przełożenie zasad GOZ na własny zysk, który mogą raportować w strategiach ESG. Banki już dziś coraz chętniej finansują zielone inwestycje, rozpisywane są nowe granty, związane m.in. z nadchodzącą „Falą Renowacji” (Renovation Wave), która ma na celu modernizację istniejących zasobów nieruchomości. Jej integralną częścią jest dyrektywa budynkowa, tzw. EPBD (Energy Performance of Buildings Directive), przyjęta w marcu 2024. Zakłada ona termomodernizację i przejrzystość w efektywności energetycznej w celu osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 roku. Uważam, że nie jest to możliwe bez wprowadzenia do codziennej pracy GOZ. Rozpocznie ona prawdziwą rewolucję w materiałach naturalnych oraz ponownym użyciu materiałów budowlanych, które prawdopodobnie będą miały zerowy lub ujemny negatywny ślad węglowy jako już wyprodukowane. Miasto Amsterdam w roku 2020 opublikowało przewodnik „Circular Amsterdam”, aby zachęcić mieszkańców do działania na rzecz szerzenia

i wspierania idei gospodarki obiegu zamkniętego. Z kolei Francuzi opisują dobre przykłady oraz praktyki wdrożeń ekologicznych i cyrkularnych w tzw. „Białej Księdze Wielkiego Paryża”. Rząd Finlandii wprowadza nową regulację dotyczącą deklaracji materiałowych.

Wszystkie te zmiany wpłyną na uczestników procesu budowlanego, gdyż projektować będzie się po prostu inaczej, niż dotychczas. W trakcie procesu opracowywania projektu budowlanego konieczna będzie klasyfikacja materiałów budowlanych na kategorie oraz opisywanie ich jakości, odnawialności, możliwości odzysku lub ponownego przetworzenia, a także deklaracja używanych szkodliwych substancji. Rozpowszechnienie modelu GOZ będzie wymagało zmiany nastawienia społeczeństwa. Zmieni się sposób rozbiórki, elementy budynku nie będą mogły być po prostu zniszczone. Nowoprojektowane budynki będą posiadały cyfrowy dziennik budowy z uwzględnieniem paszportów z materiałami budowlanymi. Idea GOZ powinna towarzyszyć każdemu z nas nie tylko w sektorze budowlanym, ale i w codziennych decyzjach i biznesie, dlatego że jej wartości są ponadczasowe. Dzięki niej zyskuje nie tylko środowisko, ale i my poprzez większą dbałość, uważność i troskę o otaczający nas świat.

Bibliografia

1. Stricker, E., Brandi, G, Sonderegger, A i in, Bauteile wiederverwenden, Park Books, Zurich 2021, ISBN 978-3-03860-259-0
2. Rau, T., Oberhuber, S., Routledge, Material Matters, London 2023, ISBN 9781032193274
3. Buckminster Fuller, R., Operating Manual for Spaceship Earth, Lars Muller Publishers, Zurich 2008, ISBN 978-3-03778-126-5
4. Ludwig, M., Architekci Natury, Znak Horyzont, Kraków 2018, s. , ISBN 978-83-240-4260-9
5. Przywara, A. i in., Zgruzowanie, Muzeum Warszawy, Warszawa 2023, ISBN 978-83-864731-8-9
6. Chyliński. A., Żakowska, M.. i in., Eco Avengers, Polski Związek Firm Deweloperskich, Warszawa 2020, ISBN 978-83-944009-2-7
7. Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Zachowanie i ochrona środowiska naturalnego oraz wspieranie efektywnego gospodarowania zasobami, 2021; Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Badanie dotyczące gospodarki odpadami, 2022
8. Warunki Techniczne - Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 27 października 2023 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie Dz.U. 2023 poz. 2442 z ostatnią aktualizacją
9. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach, Dz.U. 2013 poz. 21
10. Wołęjsza P., Uwaga rozbiórka, online: <https://www.facebook.com/groups/uwagarozbiorka>, dostęp: 24.02.2024.
11. <https://www.epa.gov/>

Rozdział 3

Projektowanie i wykonawstwo

Anna Zawadzka-Sobieraj, Katarzyna Skiba,

Borys Lewandowski, Ryszard Biliński,

Wojciech Piątkiewicz, dr Piotr Narloch

3.1 Wytyczne projektowe

Anna Zawadzka-Sobieraj, Katarzyna Skiba

Inwestycja

Inwestor, planując budowę, podejmuje również decyzję odnośnie jej śladu węglowego. Dysponując działką z istniejącą zabudową, należy w pierwszej kolejności rozważyć, czy naszych potrzeb nie zaspokoją zasoby, które można poddać renowacji, termomodernizacji, przebudowie czy rozbudowie.

Bez względu na to, czy zdecydujemy się na termomodernizację, rozbudowę czy budowę nowego obiektu, kolejną istotną decyzją jest wybór technologii. Z troski o środowisko i zdrowie, dobrym wyborem jest zastosowanie naturalnych i niskoprzetworzonych materiałów. Projekt budynku powinien uwzględniać możliwość przyszłej adaptacji do zmieniających się potrzeb, funkcji, co uchroni budynek przed rozbiórką przed końcem jego trwałości. Należy też zaplanować strukturę z myślą o przyszłym demontażu, wtedy budynek ma szansę stać się bankiem materiałów dla kolejnej realizacji, zamiast zasilić składowiska odpadów.

Wybór działki

Inwestor planujący swoją pierwszą budowę z wykorzystaniem materiałów naturalnych może zastanawiać się jak wygląda proces inwestycyjny i czy różni się on od przyjętego w konwencjonalnym budownictwie. Różni się on nieznacznie, większość koniecznych do podjęcia kroków jest taka sama.

W zależności od skali inwestycji, wybierając działkę należy sprawdzić szereg uwarunkowań:

- zapisy Miejscowego Planu Zagospodarowania Przestrzennego (MPZP). Należy uzyskać wypis i wyrys. W ten sposób możemy dowiedzieć się, jaki rodzaj zabudowy jest dopuszczony na danym terenie oraz jakie wytyczne należy spełnić (w tym jakie są dopuszczalne: kąt nachylenia dachu, szerokość elewacji frontowej, powierzchnia zabudowy, wymagana powierzchnia biologicznie czynna etc.);
- w przypadku braku MPZP, należy wystąpić o warunki zabudowy i zagospodarowania terenu (WZZiT). Warto również zapoznać się ze studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego;
- czy z nieruchomości jest dostęp do drogi publicznej. Jest to warunkiem realizacji inwestycji - uzyskania WZZiT czy decyzji o pozwoleniu na budowę;
- czy do działki są doprowadzone media lub jakie media można do niej doprowadzić;
- czy działka nie znajduje się w strefie ochrony przyrody lub ochrony konserwatorskiej, czy budynek nie jest w ewidencji lub rejestrze zabytków.

Projektant i wykonawca

Kolejnym krokiem jest znalezienie pracowni projektowej. Wybór architekta powinien być podyktowany nie tylko estetyką jego projektów, ale też doświadczeniem w stosowaniu materiałów naturalnych. Uprawniony projektant formalnie ma możliwość zaprojektowania każdego typu budynku, w dowolnej technologii. Jednak ze względu na specyfikę materiałów naturalnych powinna być to pracownia obeznana z technologią lub należy sięgnąć po kompletne rozwiązania

systemowe, np. prefabrykaty, których producent dostarcza architektowi wszystkie niezbędne wytyczne i techniczne rysunki. Bardziej złożonym zagadnieniem jest termomodernizacja i tu też warto zadbać o wybór architekta, który potrafi dobrze zanalizować pojawiające się przy tej okazji zagadnienia z zakresu fizyki budowli.

W przypadku małych budowli - budynków gospodarczych, rekreacyjnych czy niewielkich domów jednorodzinnych - inwestor decyduje się czasem na samodzielne wykonawstwo (metodą gospodarczą). Technologia budowania z materiałów naturalnych ma tę przewagę nad konwencjonalnym budownictwem, że daje dużo satysfakcji z samodzielnego budowania.

Pracujemy z nieprzetworzonymi lub niskoprotworzonymi, zdrowymi materiałami, bez oparów chemii budowlanej. Efekty pracy nie muszą być też doskonałe. Jeżeli nie zatrzymamy równo tynku gipsowego czy nie zamalujemy równomiernie powierzchni farbą akrylową, to raczej nie będziemy zadowoleni z uzyskanego efektu. W przypadku tynków glinianych czy farb glinianych te niedoskonałości dodadzą naturalności. Możliwa jest także do uzyskania idealna równość, która sprawi, że budynek nie będzie różnić się od zrealizowanego konwencjonalnie.

Jeżeli realizujemy budowę domu jednorodzinnego z ekipą budowlaną, warto znaleźć wykonawcę już na etapie pracy z architektem. Dzięki temu rozwiązania projektowe będą jak najlepiej dopasowane do jego możliwości.

Dla większych realizacji, np. szkół, przedszkoli czy budynków wielorodzinnych, typowa jest

ścieżka „zaprojektuj i wybuduj”, w przypadku której projekt wykonuje firma wykonawcza, posiadająca często własną linię produkcyjną. W tym przypadku trzeba zwrócić uwagę na doświadczenie wykonawcy.

Zgodnie z art. 20 ustawy Prawo budowlane do obowiązków architekta należy zapewnienie, w razie potrzeby, udziału w opracowaniu projektu budowlanego osób posiadających uprawnienia budowlane do projektowania w odpowiedniej specjalności oraz wzajemne skoordynowanie techniczne wykonanych przez nich opracowań. Architekt pracuje z zespołem: projektantem konstrukcji, instalacji sanitarnych (wod-kan, ogrzewania, wentylacja), elektrycznych, projektantem drogowym, rzeczoznawcą do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych, rzeczoznawcą do spraw bezpieczeństwa i higieny pracy, a także z architektem krajobrazu, projektantem wnętrz i innymi uczestnikami procesu projektowego, w zależności od skali inwestycji. Dodatkowo przy projektach z obszaru budownictwa naturalnego, uczestnikiem zespołu projektowego bywa często projektant permakultury.

Odpowiedzialność architekta jest nadrzędna, główny projektant musi posiadać ubezpieczenie od odpowiedzialności cywilnej z tytułu szkody wyrządzonej w następstwie swego działania lub zaniechania działań.

W Polsce naturalni projektanci, budowniczowie i producenci materiałów zrzeszają się w Ogólnopolskim Stowarzyszeniu Budownictwa Naturalnego OSBN. Podobne stowarzyszenia funkcjonują w innych krajach.

Proces projektowy i dokumentacja

Prawo budowlane wskazuje dwie ścieżki rozpoczęcia budowy. Najczęstszą jest uzyskanie pozwolenia na budowę, natomiast dla mniejszych obiektów możliwa jest budowa na zgłoszenie.

Zanim jednak projekt zostanie złożony do urzędu, przechodzi przez różne etapy pracy. Są one przedstawione poniżej, dzięki nim inwestor będzie wiedział, na jaki zakres opracowania powinien się umówić z projektantem. Nowelizacje prawa budowlanego przyniosły

źródło: <https://mech.build/>



Zdjęcie 1. Budowa domu 35 m² metodą gospodarczą/warsztatową

zmniejszenie wymagań formalnych dla domów jednorodzinnych, należy jednak pamiętać, że do prawidłowego wykonania budowy potrzebna jest dokumentacja wykraczająca ponad to niezbędne urzędowe minimum.

Prace przedprojektowe:

- wizja lokalna (wizyta architekta na działce w celu obejrzenia sąsiedztwa, terenu, zadrzewienia, istniejących obiektów);
- analiza uwarunkowań (sprawdzenie zapisów miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego, jeżeli jest sporządzony dla terenu, określenie zapotrzebowania na opracowania zewnętrzne, np. ekspertyzy, badania specjalistyczne);
- analiza możliwości zagospodarowania terenu;
- analiza możliwości funkcjonalno-przestrzennych dla planowanego obiektu (w przypadku większych realizacji niż budynek mieszkalny, a zwłaszcza przy przetargach, na tym etapie wykonuje się PFU: program przestrzenno - użytkowy);
- wstępne bilanse zapotrzebowania na media i wystąpienia o wydanie warunków technicznych podłączeń mediów;
- sporządzenie wniosków o wydanie decyzji WZZiT: warunków zabudowy i zagospodarowania terenu;
- jeżeli na działce są budynki, które zamierzamy adaptować, należy wykonać ekspertyzy konstrukcyjno-budowlane, ekspertyzy mykologiczne (jeżeli przegrody są zawilgoczone) oraz inwentaryzację budowlaną;
- wykonanie przez geodetę mapy do celów projektowych;
- w przypadku dużych inwestycji, dochodzą jeszcze inne złożone zagadnienia takie, jak przeprowadzenie oceny oddziaływania na środowisko, opracowania drogowe i inne.

Projekt koncepcyjny:

- jest to etap intensywnej współpracy architekta z klientem, który dobrze jest rozpocząć od poszukania wspólnego języka poprzez inspiracje i moodboardy;

- w przypadku mniejszych obiektów takich, jak domy jednorodzinne, architekt pracuje na podstawie briefu od klienta, w przypadku dużych inwestycji bazą może być PFU;
- na tym etapie powstaje pomysł na budynek lub zespół budynków, wraz z układem funkcjonalnym, bryłą, charakterem elewacji;
- budynek jest też sytuowany na działce oraz zostaje wykonane wstępne zagospodarowanie terenu;
- po ustaleniu położenia budynku, należy wykonać badania geotechniczne (odwierty i określenie rodzaju gruntów i poziomu wody gruntowej).

Projekt budowlany:

- zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rozwoju z dnia 11 września 2020 roku w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego, na projekt budowlany składają się następujące elementy: projekt zagospodarowania terenu, projekt architektoniczno-budowlany, projekt techniczny;
- projekt zagospodarowania terenu zawiera wszystkie elementy istniejące i projektowane: urządzenia budowlane związane z obiektami budowlanymi, sposób odprowadzania lub oczyszczania ścieków, układ komunikacyjny, sposób dostępu do drogi publicznej, parametry techniczne sieci i urządzeń uzbrojenia terenu, ukształtowanie terenu i układ zieleni;
- projekt architektoniczno-budowlany określa sposób użytkowania, układ funkcjonalny oraz formę przestrzenną budynku wraz z jego podstawowymi elementami wyposażenia budowlano-instalacyjnego (główne elementy konstrukcji, sposób ogrzewania, odprowadzenie ścieków, pobór wody) oraz elementami wizualnymi takimi, jak kolorystyka, materiały wykończeniowe, projekt ten określa także wpływ na środowisko;
- projekt zagospodarowania terenu i projekt architektoniczno-budowlany podlegają zatwierdzeniu i wydaniu decyzji o pozwoleniu na budowę lub zgłoszeniu;
- projekt architektoniczno-budowlany nie

zawiera wystarczających informacji do rozpoczęcia budowy, w tym celu należy wykonać projekt techniczny oraz ewentualnie wykonawczy;

- projekt techniczny dostarczany jest kierownikowi budowy przed rozpoczęciem prac;
- projekt techniczny zawiera szczegółowe informacje dotyczące konstrukcji i instalacji budynku oraz innych rozwiązań budowlanych. Wymagany prawem zakres projektu technicznego nie wystarczy przy realizacji konstrukcji drewnianych, brakuje np. detali połączeń. Należy wykonać go w takim stopniu szczegółowości, jak projekt wykonawczy, wówczas w pełni posłuży budowie lub też trzeba zamówić opracowanie projektu wykonawczego.

Projekt wykonawczy:

- jest niezbędny dla większych inwestycji, przy domach jednorodzinnych wystarczy wykonawczy poziom szczegółowości konstrukcji, warto też rozrysować w ten sposób bardziej złożone czy charakterystyczne elementy (np. detale elewacji).
- stanowi uzupełnienie i uszczegółowienie projektu budowlanego w zakresie koniecznym do sporządzenia przedmiaru robót, kosztorysu inwestorskiego, przygotowania oferty przez wykonawcę i realizacji robót budowlanych;

Inne projekty

- w zależności od potrzeb sporządza się także projekty warsztatowe, służące produkcji, w tym prefabrykacji, czy też projekty montażowe;
- dla większych realizacji wykonuje się projekty wnętrz;
- dla domu jednorodzinnego opcjonalnie można wykonać projekt wnętrz lub jego elementy, np. projekt kuchni;
- należy pamiętać, że im więcej elementów jest dokładnie rozrysowanych na poziomie wykonawczym czy wnętrzarskim, tym mniej niespodzianek i nieprzewidzianych kosztów wyniknie w trakcie budowy. W przypadku

nieuzgodnienia szczegółów, rozwiązaniem problemów będzie się musiał zająć klient lub wykonawca.

Zwykle trudno jest uzyskać od wykonawcy odpowiedź na pytanie, jaki będzie koszt realizacji budynku bez sporządzenia chociażby projektu koncepcyjnego. Widelki dla każdej z technologii są spore, gdyż wpływ na cenę mają różne warianty bryły, rozpiętości, wykończeń czy detali. Projekt koncepcyjny pozwala na ogólne szacunki, a dokładny kosztorys inwestorski jest możliwy do wykonania dopiero na poziomie technicznym czy wykonawczym rysunków.

Dopuszczenie do jednostkowego zastosowania

Podczas projektowania z użyciem materiałów naturalnych może pojawić się konieczność sporządzenia dopuszczenia do jednostkowego zastosowania. Dzieje się tak w przypadku materiałów naturalnych nieposiadających oceny KOT, EOT lub znaku budowlanego B. Dotyczy to szczególnie rozwiązań, w których całość prac realizowana jest na budowie: wypełnianie szkieleto drewnianego kostkami słomy, ubijanie ziemi w szalunku czy wykonywanie ścian z konoplitu. Obecnie w Polsce nie ma niezbędnych badań i norm, na których można by się oprzeć podczas stosowania tego typu rozwiązań.

Nie oznacza to, że są to rozwiązania niepewne. To sprawdzone, przebadane w krajach zachodnich metody, tam wcześniej niż w Polsce zaczęto stawiać na budownictwo zrównoważone. W opracowaniu do dopuszczenia do jednostkowego zastosowania można powołać się na badania zagraniczne.

Architekt sporządza jednostkowe dopuszczenie danego materiału/technologii do zastosowania, a wykonawca bierze odpowiedzialność za dobór receptury i osiągnięcie koniecznych parametrów.

Zagospodarowanie działki/ permakultura

Decyzja o lokalizacji budynku/budynków na działce jest jedną z pierwszych w projekcie. W przypadku budynków w zwartej zabudowie

lub układu obiektów, należy wykonać analizę nasłonecznienia i przesłaniania, aby mieć pewność, że ich usytuowanie będzie właściwe, istniejąca zabudowa nie zostanie zaciemniona, a pomieszczenia zostaną odpowiednio doświetlone. Wymogi z tym związane określone są w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

W przypadku budynku jednorodzinnego położonego na niezabudowanej działce, należy również kierować się jego usytuowaniem wobec stron świata. Trzeba przeanalizować, w jakich porach dnia do budynku będzie wpadać światło słoneczne i właściwie rozmieścić pomieszczenia.

Budownictwo naturalne to nie tylko zastosowanie materiałów takich, jak słoma, glina czy konopie, liczy się także holistyczne podejście projektowe w stosunku do całości terenu, które można oprzeć o zasady permakultury.

Wybór technologii

W poradniku zostały omówione wszystkie technologie budowania z użyciem materiałów naturalnych, które mają zastosowanie w naszej strefie klimatycznej. Wybór między słomą w konstrukcji dwugałęzowej wypełnianej na budowie, prefabrykatami słomianymi, konoplitem w szalunku, bloczkami z betonu konopnego, konstrukcjami szkieletowymi z izolacją wdmuchiwaną, zastosowaniem ziemi ubijanej, powinien zostać dokonany na etapie koncepcji. Ta decyzja zależy m.in. od tego, czy chcemy wykonywać część prac samemu, czy powierzamy wszystko ekipie wykonawczej, czy mamy dostępny lokalnie materiał np. kostki słomy, lub glinę wykopaną na działce, która może posłużyć do wstępnej obrutki.

Trzeba też znaleźć wykonawcę i zdecydować jaki będzie harmonogram prac (np. konstrukcję drewnianą ciętą CNC, prefabrykowane panele drewniano-słomiane można zmontować w kilka dni, wykonanie szkieletu dwugałęzowego z wypełnieniem in situ zajmie cały sezon budowlany).

Projektant znając technologię, w której będzie

wykonywany budynek, już na etapie koncepcji, będzie mógł wybrać optymalne rozwiązania.

Fundamenty

Fundamenty zwykle projektuje się tak, jak w budownictwie konwencjonalnym - mogą być to ławy i stopy fundamentowe albo płyty fundamentowe. Istotna jest redukcja ilości betonu i np. zastosowanie tam, gdzie to możliwe, fundamentów punktowych, zamiast ciągłych. W budynkach z ogrzewaniem podłogowym często wykonywana jest płyta fundamentowa. W trosce o ślad węglowy budynku, należy rozważyć izolacje zasypowe jako bardziej ekologiczną alternatywę dla izolacji termicznej płyty, podłogi na gruncie, czy ścian fundamentowych.

Konstrukcja

Najczęstszym typem jest drewniana konstrukcja szkieletowa, wypełniona naturalnym materiałem izolacyjnym - kostkami słomy lub konoplitem w szalunku, w bloczkach lub izolacją wdmuchiwaną: włóknami roślin jednorocznych, celulozą czy wełną drzewną. Inną możliwością jest zastosowanie prefabrykowanych ścian z konoplitu w drewnianych ramach, czy słomiano-drewnianych paneli, które zapewniają nośność i przeniosą obciążenia stropów i dachów. Z ziemi ubijanej oraz z kostek słomy możemy też budować bez użycia dodatkowej konstrukcji, jednak obecnie w Polsce jest to utrudnione ze względu na brak aktualnych norm krajowych.

Przegrody

Przy projektowaniu przegród, czyli ścian, dachu, podłogi na gruncie należy uwzględnić analizy cieplno-wilgotnościowe. Przegrody należy zaprojektować tak, aby nie dochodziło w nich do kondensacji pary wodnej, a jeżeli już do tego dojdzie, przegroda ma umożliwiać usunięcie nadmiaru wilgoci. W przypadku budynków w technologii straw bale czy konoplitu, a także izolacji wdmuchiwanych, przegrody należy kształtować z materiałów wysoce paroprzepuszczalnych o małym oporze dyfuzyjnym (ściany „oddychające”). Izolacje z kostek słomy, konoplitu, czy ziemi ubijanej mają wysoką pojemność cieplną,

co spowodują zmiany temperatury w budynku spowodowane jej wahaniami na zewnątrz.

Istotne jest zaprojektowanie połączeń i detali budynku tak, aby uniknąć mostków termicznych, czyli ucieczki ciepła z obiektu.

Izolacyjność cieplna musi być zgodna z załącznikiem II do Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

Kostki słomy, konoplity oraz izolacje zasypowe są dobrymi rozwiązaniami do docieplania istniejących przegród.

Wykończenia

Najczęściej stosowanym wykończeniem ścian z materiałów naturalnych są: od strony zewnętrznej tynki wapienne lub wentylowane elewacje drewniane oraz tynki gliniane od wewnątrz. Kostka słomy, ze względu na zabezpieczenie pożarowe, zawsze musi być otynkowana warstwą gliny. Konoplity możemy pozostawić widoczny od wewnątrz. Ziemię ubijaną możemy pozostawić widoczną na zewnątrz i wewnątrz budynku.

Istotną kwestią jest ochrona ścian z kostek słomy i konoplity przed deszczem i wodą rozbryzgową. Należy zaprojektować cokół w ten sposób, żeby materiał naturalny nie stykał się np. z zalegającym śniegiem. Ściany dobrze jest zabezpieczyć okapem.

Wewnętrzne wykończenia ścian, oprócz zastosowania tynków glinianych mogą być wykonane z płyt glinianych czy tadelaktu.

Konstrukcje, rodzaje przegród oraz wykończenia zostały szeroko omówione w poradniku, w opracowaniach dotyczących materiałów i technologii.

Efektywność energetyczna

Ślad ekologiczny budynku istniejącego lub projektowanego na etapie użytkowania jest określany przez jego efektywność energetyczną. Przez to pojęcie rozumiemy zapewnienie użytkownikowi budynku komfortu cieplnego przy jednoczesnym możliwie najniższym zużyciu energii przez budynek.

Efektywność energetyczną oblicza się na

etapie projektu budowlanego, określona jest przez projektanta w opracowaniu nazywanym projektowana charakterystyka energetyczna. Dla budynków istniejących (lub lokali mieszkalnych i użytkowych) sporządza się świadectwo charakterystyki energetycznej.

W tych dokumentach znajdziemy informacje dotyczące:

- obliczeniowej rocznej ilości zużywanego nośnika energii (paliwa, prądu);
- wskaźnika zapotrzebowania na energię użytkową (EU). Jego niska wartość świadczy o niskich stratach ciepła, czyli m.in. o dobrym zaizolowaniu przegród;
- wskaźnika rocznego zapotrzebowania na energię końcową (EK). Jego niska wartość świadczy o wysokosprawnym systemach ogrzewania, chłodzenia, przygotowania ciepłej wody użytkowej, czy oświetlenia;
- wskaźnika rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną (EP). Jego niska wartość wskazuje, oprócz pokazania poziomu energii końcowej, na niskie wykorzystanie energii z nieodnawialnych zasobów;
- udziału odnawialnych źródeł energii OZE w wytwarzaniu energii w budynku;
- wielkości emisji CO₂ określonej w stosunku do powierzchni budynku.



Zdjęcie 2. Tynki gliniane

Co wpływa na efektywność energetyczną budynków?

Przede wszystkim usytuowanie budynku na działce, jego bryła, przeszklenia, układ funkcjonalny, izolacyjność cieplna przegród, systemy instalacyjne.

Widać zatem, jak ważne jest podjęcie właściwych decyzji już na etapie planowania budowy nowego obiektu. W dłuższej perspektywie oszczędzimy w ten sposób nakłady finansowe, które trzeba byłoby ponieść na ogrzewanie i ciepłą wodę użytkową, a patrząc bardziej globalnie, nasza budowa będzie mniej obciążać środowisko.

Przemysłane usytuowanie budynku na działce daje korzyść w postaci pasywnych zysków ciepła pochodzących od promieni słonecznych i minimalizowania przegrzewania oraz strat ciepła. Uzyskamy to projektując otoczenie budynku, w którym zimą od strony południowej będzie wpadać jak najwięcej promieni słonecznych, a latem będzie on zacieniony przez drzewa. Z kolei od strony północnej przy pomocy zieleni uzyskamy strefę buforową, która chroni przed stratami ciepła, np. przez nasadzenia zimozielone.

Innym możliwym rozwiązaniem jest zastosowanie systemów przeciwsłonecznych zapewniających ochronę przed nadmiernym nasłonecznieniem i umożliwiających insolację w trakcie zimy. Mogą być to rozwiązania architektoniczne takie jak: gzyms, okap, daszek, okiennice czy zewnętrzne żaluzje lub też ruchome, instalowane od zewnątrz rolety.

Kształt budynku mocno wpływa na ograniczanie strat ciepła. Bryła powinna być jak najbardziej zwarta, piętrowa zamiast rozległej, parterowej. Energooszczędność bryły sprawdza się podczas projektowania poprzez obliczenie stosunku przegród zewnętrznych do jego ogrzewanej kubatury (im mniejszy, tym budynek traci mniej ciepła).

Od strony południowej możemy zaplanować ogród zimowy lub szklarnię. Działają one jak strefa buforowa - w zimie budynek mniej się wychładza, a latem mniej przegrzewa.

Układ funkcjonalny należy kształtować w oparciu o strony świata. Pomieszczenia, w których mieszkańcy spędzają mało czasu i może panować w nich niższa temperatura powinny być usytuowane od strony północnej (np. spiżarnia, pomieszczenie gospodarcze czy klatka schodowa). Należy też rozważyć usytuowanie garażu poza bryłą budynku lub jego termiczne odizolowanie, zwykle bowiem jest to spora powierzchnia nie wymagająca zazwyczaj nakładów grzewczych.

Termomodernizacja

Największe straty ciepła w budynku związane są z przenikaniem ciepła przez przegrody budowlane. Przez ściany budynek traci 15 - 25 proc, przez dach 10 - 15 proc, a przez podłogę na gruncie 5 - 10 proc. Straty przez okna i drzwi to z kolei 20 - 25 proc. Pozostałe straty powodują wentylacja i mostki cieplne budynku.

Mostki cieplne są to słabe miejsca budynku, przez które przenika ciepło w znacznie wyższym stopniu niż przez przegrodę. Dochodzi wtedy do punktowego przemarzania, które oprócz wpływu na bilans cieplny powoduje zawilgocenie na skutek wykraplania się pary wodnej. Takie miejsca w budynku są bardziej zniszczone i zagrzybione. Występują one najczęściej przy oknach i drzwiach, balkonach, wieńcach czy nadprożach.

Termomodernizacja polega na poprawie izolacyjności cieplnej przegród i/lub zwiększeniu sprawności działania instalacji: ogrzewania, ciepłej wody użytkowej, wentylacji, chłodzenia i oświetlenia, wymianie lub modernizacji źródła ciepła. Należy również poprawić szczelność budynku i zminimalizować występowanie mostków cieplnych.

Najlepszym rozwiązaniem z punktu widzenia fizyki budowli jest docieplenie budynku od strony zewnętrznej. Nie zawsze jednak jest to możliwe np. ze względu na zabytkowy charakter budynku lub gdy chcemy zachować istniejący wygląd elewacji. Wówczas możemy zaizolować obiekt od wewnątrz. Należy zwrócić uwagę na prawidłowe zaprojektowanie i wykonanie tego rozwiązania. Błędy mogą spowodować zawilgocenie ścian i rozwój grzybów pleśniowych, a także degradację

przemarzającej od zewnątrz ściany.

Budownictwo naturalne oferuje rozwiązania z wykorzystaniem materiałów paroprzepuszczalnych o niskim oporze dyfuzyjnym. Pozwalają one na swobodny przepływ pary wodnej i oddawanie jej, gdy obniży się poziom wilgotności w pomieszczeniu. Przy ocieplaniu od wewnątrz należy wykonać analizę kondensacji wilgoci i możliwości jej odparowywania.

Szczelność budynku

Jest to parametr określony w Warunkach Technicznych. Szczelność budynku, czyli przepuszczalność powietrzna, określa stopień „przewiewania budynku”. Aby go zminimalizować należy właściwie osadzić okna i drzwi, wykonać przejścia instalacji, czy ułożyć pokrycie dachowe

Akumulacja ciepła

W budynkach energooszczędnych istotną rolę odgrywa zdolność akumulowania ciepła. Jest to możliwość zgromadzenia energii słonecznej w ciągu dnia i oddawania jej w nocy, kiedy nie jest dostarczana dodatkowa energia w postaci promieni słonecznych. W tym celu należy zastosować materiały o dużej przewodności i pojemności cieplnej. Przykładem takiego rozwiązania jest zastosowanie od strony południowej przeszklenia o dużej powierzchni oraz naprzeciwko niego ściany z cegły niewypalanej, która w ciągu dnia będzie akumulować ciepło.

Instalacja grzewcza, wentylacji mechanicznej i ciepłej wody użytkowej

Najczęściej źródło ciepła jest wspólne dla ogrzewania budynku i ciepłej wody użytkowej. Wybór źródła ciepła zależy od lokalnych warunków zaopatrzenia, a także preferencji użytkownika. W przypadku braku dostępu do sieci miejskiej lub gminnej, pompa ciepła jest często stosowanym rozwiązaniem, inną możliwością są niskoemisyjne kotły.

Wentylacja z rekuperacją

W budynkach z zastosowaniem materiałów naturalnych stosuje się często tradycyjny system

wentylacji grawitacyjnej. Rozwiązaniem typowym dla budynków wysoce energooszczędnych jest instalacja nawiewno-wywiewna z wysokosprawnym odzyskiem ciepła o współczynniku efektywności $\geq 75\%$. Stosować można też wentylację hybrydową, w której wentylacja naturalna i mechaniczna wzajemnie się uzupełniają lub działają naprzemiennie.

Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii

Odnawialne źródła energii (OZE) przetwarzają energię m.in. z promieniowania słonecznego i geotermii. Panele fotowoltaiczne wraz z kontrolerem napięcia, falownikiem i/lub akumulatorami stanowią dodatkowy system zasilający budynek i sieć w energię. Są stosowane wspólnie z pompą ciepła, tylko w ten sposób źródło grzewcze pobierające prąd jest w pełni ekologiczne

Bibliografia

1. Cotterell, J., Dadeby, A.: The Passivhaus Handbook: A Practical Guide to Constructing and Retrofitting Buildings for Ultra-Low Energy Performance (Sustainable Building), Green Books, Londyn, 2021
2. <https://nape.pl/wp-content/uploads/2020/11/Budynki-pasywne-w-polskich-warunkach-klimatycznych.pdf>
3. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. - Prawo budowlane (Dz.U. 2021 poz. 2351, z późn. zm.)
4. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. z 2022 r. poz. 1225)
5. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej Dz.U. z 2015 r. poz. 376, z późn. zm.
6. Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 11 września 2020 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego (Dz.U. z 2020 poz. 1609, z późn. zm.)
7. Poprawa charakterystyki energetycznej. Poradnik, Ministerstwo Rozwoju i Technologii, Warszawa 2024.

3.2 Wytyczne wykonawcze dla konoplitu

Wojciech Piątkiewicz

Przygotowywanie mieszanki

Aby właściwie zastosować konoplit na budowie, należy prawidłowo wykonać mieszankę. Odpowiednie połączenie dwóch różnych składników, czyli lekkiego kruszywa, jakim jest paździerz konopny, oraz płynnego spoiwa wapiennego, jest kluczowe dla uzyskania odpowiednich właściwości. W celu należytego zabezpieczenia paździerzy przed korozją i ogniem, materiał powinien zostać dokładnie pokryty spoiwem. Właściwości izolacyjne obniża mieszanka zbyt gęsta i zawierająca dużo spoiwa, zatem odpowiednia jej konsystencja jest kluczowa dla powodzenia prac. Na osobie nadzorującej ten proces spoczywa największa odpowiedzialność podczas prac wykonawczych. W przypadku braku doświadczenia z pracy z konopliem, należy uprzednio spróbować wykonać ściankę próbną.

W czym mieszać konoplit?

Paździerze konopne są lekkim materiałem o gęstości objętościowej co najmniej 10-krotnie niższej od piasku. Pojedyncze cząstki mają wydłużony kształt, przypominający równoległosciany. To sprawia, że mieszanie ich w standardowych mieszalnikach do betonu jest utrudnione. Płynność takiego kruszywa jest stosunkowo niska, im większe są bowiem cząstki paździerzy



Zdjęcie 1. Przygotowywanie konoplitu

w użytej mieszance, tym trudniejsze będzie ich dokładne wymieszanie ze spoiwem. To większe wyzwanie, niż w przypadku owalnego i jednorodnego kruszywa, jakim jest piasek.

Betoniarka bębnowa

Powszechnie dostępną maszyną do mieszania konoplitu jest betoniarka bębnowa. Istotną w mieszaniu kompozytu jest prędkość obrotowa mieszalnika, powinna być ona jak najniższa (betoniarka wolnospadowa). Duża prędkość mieszania może spowodować to, że kompozyt stanie się niejednorodny, zbije się w granulki, wówczas praktycznie niemożliwe jest przywrócenie mieszanki do właściwej konsystencji. Pojemność betoniarki do wytwarzania konoplitu to około 30 proc. objętości zbiornika. Z tego powodu tempo wykonywania prac przy użyciu betoniarki powinno być niskie i wykorzystuje się ją głównie przy małych projektach, renowacji starych budynków lub w przypadku skomplikowanego deskowania.

Kolejność dodawania składników do betoniarki bębnowej:

1. dodanie prawie całej wody, pół wiadra można zachować w rezerwie na koniec mieszania
2. dodanie spoiwa i wymieszanie do jednorodnej konsystencji
3. stopniowe dodawanie paździerzy, na tym etapie mieszalnik powinien być ustawiony jak najbardziej poziomo, aby kruszywo dobrze wymieszało się ze spoiwem. Mieszanie paździerza powinno trwać jak najkrócej. Gdy zostanie on pokryty spoiwem, należy wyłączyć betoniarkę, by nie zaczęły powstawać granulki i mieszanka nie uległa segregacji.

Betoniarka planetarna

Do właściwego wymieszania paździerzy i spoiwa w warunkach placu budowy najbardziej optymalne są mieszalniki z pionową osią obrotu (ang. pan mixer). To między innymi betoniarki planetarne, które składają się z cylindrycznego zbiornika, w którym obraca się pionowy wał z przymocowanymi łopatkami mieszającymi materiał. Sprawdzają się one w przypadku mieszania dużych ilości konoplitu. Dostępne są mieszalniki

o pojemności od 100 do 1200 litrów. Przy użyciu betoniarki planetarnej o dużej pojemności, można osiągnąć wysoką wydajność produkcji konoplitu i szybkie tempo powstawania przegród. Kolejność dodawania składników do betoniarki planetarnej:

1. dodanie paździerzy konopnych do mieszalnika
2. dodawanie spoiwa podczas pracy mieszalnika, mieszanie całości do momentu uzyskania jednorodnej konsystencji
3. równomierne i stopniowe rozprowadzanie wody, z jednoczesnym kontrolowaniem jej konsystencji i ilości. Po równomiernym pokryciu się paździerzy spoiwem, należy wyłączyć mieszalnik.

Popularny producent spoiwa do konoplitu podaje kolejność dla tego rodzaju mieszalnika 1-3-2. Niektórzy wykonawcy w Polsce także stosują zmodyfikowaną kolejność, zwilżając lekko paździerze przed dodaniem spoiwa. Najważniejsze jest to, by nie mieszać konoplitu zbyt długo i pilnować odpowiedniej konsystencji.

Proporcje składników

Proporcje spoiwa i paździerza zależą od planowanego zastosowania konoplitu oraz oczekiwanych właściwości materiału. Należy stosować się do zaleceń producentów spoiwa i paździerza. Na konsystencję i właściwości mieszanki wpływ mają zarówno jakość zastosowanego kruszywa, jak i skład spoiwa. Najważniejsze jest to, aby cząstki paździerzy zostały równomiernie pokryte spoiwem w celu zabezpieczenia go przed korozją i ogniem. Orientacyjne (wagowe) proporcje spoiwa, paździerzy oraz wody podane są w tabeli 1.

Przeznaczenie	Spoiwo	Paździerz	Woda
Luźny zasyp	1	1	1,5- 2
Ściana monolityczna	1,5	1	2-2,5
	1,7	1	2,4-2,8
	2,2	1	3-3,5
Nośna warstwa podłogi	3	1	3,5

Tabela 1. Orientacyjne proporcje na podstawie danych od producentów i wykonawców konoplitu

Konsystencja konoplitu

Kluczowa jest odpowiednia konsystencja. Zbyt mokry materiał będzie długo wysychał, spoiwo może także spływać w dół przegrody,

a mieszanka będzie się bardziej poddawać kompresji, tworząc gęstszy materiał. Zbyt mała ilość wody w mieszance może ograniczyć wiązanie spoiwa i w konsekwencji obniżyć wytrzymałość konoplitu. Mieszanka powinna przypominać „wilgotną owsiankę”.

Brak jest jednoznacznej formuły na określenie potrzebnej wody do wytworzenia konoplitu. Przy wyznaczaniu jej ilości należy kierować się kilkoma zasadami:

- paździerze konopne bardzo szybko pochłaniają wodę, zanurzone w wodzie w ciągu 1 minuty trzykrotnie zwiększają swoją masę. Trzeba o tym pamiętać podczas dodawania składników, im więcej bowiem płynu wchłona paździerze, tym dłużej przegroda będzie wysychać. Podstawowa zasada w tym wypadku mówi o tym, że wody powinno być co najmniej dwa razy więcej, niż masy paździerzy;
- mieszanka powinna być tak długo mieszana, aż stanie się homogeniczna, wszystkie paździerze powinny zostać pokryte spoiwem, zbyt długie mieszanie może jednak prowadzić do segregacji składników;
- na wymaganą ilość wody wpływają warunki otoczenia, jeśli prace odbywają się w upalny, słoneczny dzień, woda będzie szybko wyparowywać z mieszanki. Trzeba to uwzględnić zarówno podczas przygotowywania konoplitu, jak i przy doborze tempa jego wykorzystania. Jeżeli mieszanka wyschnie zanim



Zdjęcie 2. Sprawdzenie konsystencji metodą „kulki i palca”

- znajdzie się w szalunku, można ją dodać do kolejnej partii i wymieszać z odrobiną wody;
- wilgotność paździerzy również wpływa na wodozadržność mieszanki, dlatego w przypadku zmiany rodzaju paździerzy, należy od nowa obliczyć odpowiednią ilość wody w mieszance.

Najpowszechniejszym sposobem określania odpowiedniej konsystencji mieszanki jest metoda tzw. kulki i palca. Polega ona na tym, że z gotowej mieszanki formuje się w rękach kulkę o rozmiarze piłki do tenisa. Następnie wciska się palec w środek kulki, aż rozpadnie się ona na części. Po tym, w jaki sposób się rozpada, można ocenić konsystencję mieszanki. Jeśli jest to kilka większych części (od 3 do 5), oznacza to odpowiednią konsystencję. Jeżeli kulka rozsypuje się na wiele drobnych cząstek, oznacza to, że jest zbyt mokra lub zbyt sucha, a paździerze nie sklejają się.

Na co zwracać uwagę?

Zarówno paździerze, jak i spoiwo wapienne, są wrażliwe na kontakt z wodą i wilgoć. Wapno łatwo pochłania wilgoć z powietrza, dlatego należy je przechowywać w suchym miejscu. Paździerze powinny znajdować się w foliowych workach, osłonięte od deszczu, aby nie chłonięły wilgoci z powietrza. Zawilgocenie paździerzy wpływa na ilość wody w mieszance, po długim kontakcie z wodą zaczynają gnić.

Stanowisko mieszania konoplitu na budowie powinno być zabezpieczone przed czynnikami atmosferycznymi. Mieszalnik należy osłonić przed bezpośrednim nasłonecznieniem oraz chronić przed deszczem.

Przed pierwszym dodaniem składników do mieszalnika należy zwilżyć ścianki bębna, aby nie przywierała do nich mieszanka. Zminimalizuje to również efekt wchłaniania wody przez elementy maszyny.

Zużycie materiałów

Zużycie składników na m³ konoplitu będzie zależęć zarówno od proporcji składników, jak i stopnia kompresowania materiału. Przyjmuje się, że

do wykonania 1 m³ ściany z konoplitu w technologii szalunkowej trzeba zużyć od 125 kg do 135 kg paździerzy.

Wykonywanie ścian z konoplitu

Najczęstszym zastosowaniem konoplitu jest wypełnienie ścian o konstrukcji szkieletowej drewnianej. Mur z tego materiału powinien mieć około 40-50 cm grubości, aby spełniać polskie wymagania izolacyjności cieplnej. W celu uformowania powierzchni ściany i po to, by świeża mieszanka miała czas na wstępne wiązanie, mieszankę konoplitu układa się w szalunku. Poniżej przedstawione są kolejne etapy tego procesu wraz z uwagami.

Przewodzenie instalacji

Dobłą praktyką jest ułożenie wszystkich niezbędnych instalacji przed wykonaniem ścian z konoplitu. Zaleca się prowadzenie instalacji w plastikowej lub metalowej osłonie. Rury miedziane należy zabezpieczyć przed korozją, którą może spowodować kontakt z wapnem. Instalację elektryczną najlepiej przymocować do drewnianej konstrukcji



Zdjęcie 3. Instalacja elektryczna poprowadzona wewnątrz ściany

przed wypełnieniem jej betonem konopnym.

Puszki elektryczne należy przymocować do elementów wspierających i zlicować z szalunkiem, co zapewni równe wykończenie z powierzchnią ściany. W przypadku konieczności poprowadzenia instalacji w poprzek muru (np. rury doprowadzającej wodę), element taki należy owinać wewnątrz ściany sprężystym materiałem izolacyjnym (np. wełną konopną) w celu uniknięcia nieszczelności.

W przypadku montażu instalacji po wykonaniu przegród, można wyciąć w betonie konopnym kanały i w nich osadzić instalację. Kabel w osłonie przybija się do kompozytu, a następnie okłada tynkiem wapiennym lub mieszanką konoplitu o zmodyfikowanym składzie, aby była ona bardziej lepka i szybciej wiązała.

Wykonywanie szalunku

W celu nadania ścianom z konoplitu kształtu, używa się deskowania z płyt o wysokości około 50-80 cm. Wysokość umożliwia swobodne rozprowadzenie materiału na dole szalunku. Płyty powinny być wytrzymałe, lekkie, sztywne, łatwe w obróbce i mocowaniu oraz powinny nadawać się do wielokrotnego użytku. Mogą to być płyty OSB lub wszelkiego rodzaju sklejki takie, jak powlekane płyty szalunkowe. W zależności od położenia konstrukcji ściany, deskowanie montuje się bezpośrednio do słupów lub przy pomocy odpowiednich dystansów. Pierwsza metoda będzie łatwiejsza oraz pozwoli położyć np. szalówki na powierzchni zewnętrznej. W przypadku zastosowania dystansów, zachowana zostanie ciągłość materiału, co ułatwi położenie tynku. Dystanse mogą mieć formę plastikowych rurek stosowanych w hydraulice, łatwych do przycięcia na odpowiednią długość. Osłaniają one wkręty, za pomocą których płyty są przykręcane do konstrukcji, jednocześnie zapewniają zachowanie odpowiedniej odległości między słupem a deskowaniem. Po wykonaniu przegrody, zdjęciu płyt oraz wyjęciu dystansów, dziury po nich wypełnia się na bieżąco świeżym betonem konopnym. Montując szalunek należy pamiętać o kilku podstawowych zasadach:

- układanie szalunku, a co za tym idzie,

wykonywanie ścian, powinno odbywać się wokół budynku, aby kolejne warstwy mogły wstępnie związać;

- należy sprawdzać, czy płyta jest przykręcona w pionie, aby jej ewentualne odchylenie nie wpłynęło na ścianę po zdjęciu szalunku;
- podczas ubijania konoplitu przy krawędziach deskowania generowane jest ciśnienie, które naciska na płyty. Należy brać to pod uwagę podczas mocowania płyt np. w narożnikach;
- płyty szalunkowe powinny być połączone ze sobą deseczkami w celu zachowania gładkiego połączenia i ograniczenia wyginania się krawędzi;
- demontaż deskowania z warstwy należy wykonywać poprzez ślizganie płyty by zminimalizować przyklejanie się cząstek do płyty;
- deskowanie nie powinno długo przylegać do konoplitu, zwłaszcza w przypadku płyt nie pokrytych gładką powłoką. Szalunek można zdjąć od razu po wykonaniu warstwy, to przęłoży się na większe tempo prac i szybsze wysychanie przegrody.



Zdjęcie 4. Szalunek na rogu budynku

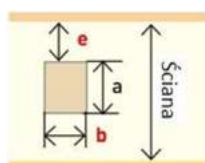
Ściany można również wykonać za pomocą szalunku traconego. Tego typu deskowanie wykonuje się z różnego typu materiałów, które będą stałym elementem ściany. Należy jednak pamiętać, że takie deskowanie może być zastosowane tylko z jednej strony, aby materiał mógł właściwie wysychać. Przykręca się je wówczas bez dystansów, by nie tworzyć mostków cieplnych. Tego typu szalunek powinien być wykonany z materiału paroprzepuszczalnego, np. płyty z wełny drzewnej czy płyty magnezowej. Szalunek tracony stosowany jest zwykle przy aplikacji hempcretu metodą natryskową.

Przy montowaniu szalunku należy pamiętać o zachowaniu minimalnej otuliny wokół elementów konstrukcji. Grubość mieszanki powinna wynosić 5 cm plus pół grubości elementu.

Przykładową grubość otuliny prezentuje tabela 2

Grubość elementu b	4 cm	5 cm	6 cm	7 cm	8 cm
Minimalna otulina e	7 cm	7,5 cm	8 cm	8,5 cm	9 cm

Tabela 2. Przykładowa grubość otuliny



Praktyka wykonawców pokazuje również, że grubość otuliny i słupa mogą być jednakowe.

Układanie mieszanki w szalunku

Po wymieszaniu składników i przygotowaniu deskowania, można przystąpić do układania konoplitu. Beton konopny powinien wypełniać równomiernie cały szalunek i przylegać do elementów konstrukcyjnych oraz ścian deskowania. Ubicie konoplitu wpływa na jego gęstość. Odpowiednia gęstość kompozytu pozwoli na przenoszenie własnego ciężaru, równocześnie wewnątrz materiału znajdzie się ilość powietrza potrzebna do odpowiedniej izolacji termicznej.

Konoplit powinien być układany w warstwach 10-15 cm, następnie uklepywany ręką w celu uniknięcia pustek powietrznych. W niektórych miejscach należy skorzystać z drewnianych ubijaków, im luźniejszy materiał, tym lepsze jego właściwości izolacyjne. Ubijak może również

służyć jako przedłużenie dłoni w trudno dostępnych miejscach. Miejsca, w których należy zadbać o większą kompresję konoplitu:

- obszar wokół elementów wewnątrz ściany (np. słupy konstrukcyjne, rurki z instalacją);
- obszar przy szalunku (nie jest to potrzebne w przypadku szalunku traconego);
- w zewnętrznych narożnikach oraz wokół okien i drzwi, aby miejsca te miały większą wytrzymałość na uderzenia;
- miejsca, w których konoplit będzie mieć małą grubość.

W miejscach, w których nie da się ułożyć mieszanki od góry (np. pod poziomym lub skośnym elementem konstrukcji), należy ułożyć mieszankę od boku. W tym celu można zastosować bardziej lepką mieszankę, uzyskaną przez dodanie wody i spoiwa.

W miejscach nadproży należy pamiętać, by obszar 30 cm nad otworem i 30 cm po jego bokach był ułożony jednocześnie, bez przerwy na wysychanie materiału. Dzięki temu powstanie jednorodny element. Ponadto jeżeli grubość konoplitu pomiędzy konstrukcyjnymi elementami nadproża jest większa niż 5 cm i żaden element w tym miejscu nie będzie go podtrzymywać, należy zastosować listwy „zbrojące”.

Jeżeli nie skończymy wykonywać danej ściany jednego dnia należy zakończyć układanie tworząc lekki skos. Nie zaleca się przerywania pracy poprzez tworzenie pionowego uskoku. Następnego dnia można lekko zwilżyć wodą lub zawiesiną spoiwa warstwę z dni poprzednich w celu lepszego połączenia ze sobą kolejnych warstw.

Narzędzia

Do pracy z betonem konopnym potrzeba niewielu dodatkowych narzędzi. Przydadzą się wiadra do odmierzania składników i do noszenia gotowej mieszanki. Także kilka ubijaków drewnianych, które pomogą ułożyć materiał w trudno dostępnych miejscach oraz skompresować go przy krawędzi ściany i wokół elementów konstrukcyjnych. Po zdjęciu szalunku świeży konoplit można formować i np. zaokrąglać krawędzie na narożnikach, do czego przydaje się paca do

ścierania. Przydatnym narzędziem jest także elektroniczny miernik wilgoci, którym możemy sprawdzić wilgotność ściany z konoplitu przed położeniem tynku. Do zakładania szalunku potrzebne będą następujące narzędzia: piła tarczowa, wkręty, rurki plastikowe na dystanse, wkrętarka i poziomica.

Zdejmowanie szalunku

Szalunek można zdejmować zaraz po wykonaniu warstwy i przełożyć w inne miejsce lub wyżej, stosując odpowiedni zakład. Najlepiej nie odrywać płyt od powierzchni, tylko zsuwać je wzdłuż ścian. W ciągu jednego dnia można wykonać ścianę o wysokości do 3 metrów. Miejsca po dystansach, pod puszkami lub poziomymi elementami, które nie zostały dobrze wypełnione konoplitem, należy uzupełnić świeżą mieszanką. Powinno się sprawdzić spójność wykonanej warstwy, w tym celu trzeba dobrze jej się przyjrzeć i sprawdzić ręką czy nie ma sypiących się fragmentów. Jeśli w którymś miejscu powierzchnia ściany jest zbyt krucha lub niedokładnie wypełniona, zmniejszy się jej wytrzymałość i przyczepność tynków. Takich miejsc nie należy uzupełniać od razu, najlepiej po około tygodniu. Wówczas możliwe będzie usunięcie luźnych fragmentów i wypełnienie ich nową mieszanką z zastosowaniem tymczasowego deskowania. Takie błędy mogą wynikać ze zbyt wysokiej warstwy, która była ubijana (gdy materiał na górze jest wtedy skompresowany, na dole nie) lub z niedokładnego rozprowadzenia mieszanki.

Schnięcie ściany

Często podkreślaną wadą budowania przegród z konoplitu jest ich czas wysychania. Zależy to od takich czynników, jak grubość ściany, warunki klimatyczne (pora roku), proporcja składników, skład spoiwa czy technika wykonywania. Po wykonaniu przegród, budynek należy pozostawić w stanie surowym otwartym. Po zainstalowaniu okien i drzwi, czas wysychania się wydłuży. Podczas planowania budowy powinno się zatem przygotować harmonogram tak, aby możliwe było prowadzenie innych prac w trakcie wysychania ścian z konoplitu.

Przebieg wiązania i dbanie o jego właściwe tempo

Wiązanie konoplitu składa się z kilku etapów. Pierwszy to wstępne wiązanie spoiwa, które następuje szybciej przy dużej zawartości wody. Zaraz po uformowaniu kompozyt ma wystarczającą nośność, aby przenieść swój ciężar, dzięki czemu możliwe jest natychmiastowe zdjęcie deskowania. Usunięcie deskowania pozwala także materiałowi lepiej schnąć. Kolejny etap to dalsze utwardzanie i wiązanie spoiwa. Następuje hydratacja składników spoiwa związanych z wodą oraz karbonatyzacja, która jest dłuższym i wolniejszym procesem, niż hydratacja. Ten proces trwa latami i powoduje wzmacnianie się przegrody, poprzez wiązanie dwutlenku węgla z powietrza. Jednocześnie woda, która nie weszła w reakcję ze spoiwem, będzie stopniowo odparowywać z przegrody. Proces wysychania konoplitu jest wpisany w jego naturę i nie należy go spowalniać, ani sztucznie przyspieszać.

Czas wysychania

Przyjmuje się, że ściana o grubości 42 cm, z otwartą powierzchnią z obu stron, wysycha od 2 do 8 miesięcy lub 2 cm/tydzień. Nie należy jednak zakładać, że czas wysychania jest linearnie związany z grubością ściany, wpływa na to wiele czynników. Dla wiarygodnej oceny należy użyć wilgotnościomierza. Jeden z zagranicznych producentów spoiwa hempcrete podaje, że nakładanie tynków można rozpocząć, gdy wilgotność na głębokości 4 cm wynosi maksymalnie 23 proc.

Wykonywanie izolacji podłóg, stropów, dachu

Z konoplitu wykonuje się nie tylko ściany, ale i warstwy podłogowe nośne oraz luźny zasyp do stropów, dachów i podłóg podniesionych. Wówczas stosuje się inne proporcje składników i inne sposoby układania mieszanki.

Podłoga

Konoplit można zastosować w warstwie podłogi jako część izolującą, paroprzepuszczalną, która dodatkowo posiada sporą masę termiczną.

Mieszanka na podłogi ma więcej spoiwa niż ścienna. Proporcja spoiwa do paździerza wynosi w niej 2,5-3,0. Warstwa konoplitu w podłodze ma dużą gęstość i wymaga izolującej warstwy podkładowej, np. ze szkła piankowego lub keramzytu. Będzie ona też dłużej wysychać, ponieważ ma dostęp do powietrza tylko od jednej strony, ważne jest zatem, by została nieosłonięta na czas schnięcia. Mieszanka powinna mieć konsystencję mokro - sypką, nie należy jej nadmiernie kompresować, aby zachowała jak najlepsze parametry izolacyjne. Układa się ją za pomocą grabi, powierzchnię wyrównuje się za pomocą poziomicy. Warstwa konoplitu powinna znajdować się ponad poziomem gruntu.

Strop i dach

Konoplit świetnie się sprawdza jako izolacja stropów i dachów w postaci luźnego zasypu. W tej metodzie od spodu przegrody stosowany jest szalunek tracony. Mogą to być płyty z wełny drzewnej, maty trzcinowe lub gęsto przybite łaty. Konoplit w tym zastosowaniu ma bardzo małą ilość spoiwa, jedynie do zabezpieczenia paździerzy pożarowo i biologicznie. Proporcja spoiwa do paździerza wynosi około 1:1. Przestrzeń między krokiewiami lub belkami wypełnia się betonem konopnym. Hempcrete w takim zastosowaniu nie ma żadnych właściwości nośnych, dlatego wszelkie obciążenia pochodzące z wyższych warstw muszą być rozłożone na elementy konstrukcyjne.

Wykończenia

Istnieje wiele różnorodnych typów wykończeń przegród z konoplitu. Najważniejsze jest to, aby zachować jego „oddychający” charakter i stosować materiały paroprzepuszczalne. Gdy powierzchnia z konoplitu jest zabezpieczona przed warunkami atmosferycznymi, zwłaszcza deszczem, nie trzeba dodatkowo zabezpieczać ściany. Taka powierzchnia będzie też świetnie tłumić dźwięki. Aby jednak poprawić efekt wizualny, ograniczyć możliwość zbierania się kurzu lub zabezpieczyć powierzchnię przed kruszeniem się drobnych cząstek, stosuje się różnego

rodzaju pokrycia. Ściany z konoplitu najczęściej pokrywa się tynkami glinianymi (wewnątrz budynku) i wapiennymi (wewnątrz i na zewnątrz). Dla większej wytrzymałości dodaje się drobną frakcję paździerzy konopnych, posiekaną słomę lub siatki. Dzięki pigmentom i naturalnym kruszywom, naturalne tynki mogą mieć różne kolory i faktury.

Tynki wapienne

Najczęściej wykorzystywanym wykończeniem konoplitu jest tynk wapienny. Ten rodzaj tynku, podobnie jak glina (choć w mniejszym stopniu), reguluje wilgoć, w zależności od zmian wilgotności powietrza w pomieszczeniu. Ponadto jest odpowiedni do wykorzystywania na zewnątrz. Dzięki karbonatyzacji wapna, powierzchnia tynku wytrzymuje różne warunki atmosferyczne, a przy tym nie przestaje być paroprzepuszczalna. Dodatkowo tynki wapienne, oparte na wapie hydratyzowanym lub słabym wapie hydraulicznym, mają zdolność samonaprawy. Wraz z deszczem cząsteczki wolnego wapna poruszają się w kierunku pęknięć, dzięki obecności wody ponownie karbonatyzują i naprawiają strukturę tynku w tych miejscach. Ściana z konoplitu ma płaską, a jednocześnie chropowatą powierzchnię, dzięki czemu tynki mają od początku zapewnioną dobrą przyczepność.

Przed nałożeniem tynku na ścianę z konoplitu, należy zrosić spryskiwaczem jej powierzchnię. Dzięki temu uzyskamy lepszą przyczepność i ograniczymy wyciąganie przez konoplit wody z tynku. Do tynków zewnętrznych stosuje się najczęściej warstwę bazową oraz warstwę wierzchnią w proporcji piasek: wapno 5:2. Pierwsza warstwa ma grubość 10-12 mm, natomiast druga 8-10 mm (dla piasku 0-4 mm) lub 4-6 mm (dla piasku 0-2 mm). W przypadku tynków wapiennych wewnętrznych, proporcje warstwy bazowej wynoszą 5:2, zaś warstwy wierzchniej 2:1. Grubość warstw jest też odpowiednio mniejsza, niż w przypadku tynków zewnętrznych. Pierwsza warstwa to 6 mm (zależy to od potrzeby uzyskania równej powierzchni), a druga 1-2 mm.

Zasady BHP w pracy z betonem konopnym

Praca na placu budowy niesie za sobą potencjalnie niebezpieczne sytuacje, których nie wolno ignorować. Poza tymi, które nie różnią się od innego typu budowy, jak upadki z wysokości, porażenia prądem czy wypadki związane z narzędziami, zagrożenia mogą wynikać bezpośrednio z pracy z konoplitem. Należy pamiętać, że kierownik budowy odpowiada za bezpieczeństwo na budowie i powinien przygotować Plan Bezpieczeństwa i Ochrony Zdrowia (potocznie BIOZ). Kodeks Pracy zobowiązuje pracodawcę do zapewnienia niezbędnych środków, procedur i działań w zakresie bezpieczeństwa pracy na budowie.

Główne niebezpieczeństwa związane z pracą z betonem konopnym wiążą się z naturą spoiwa. Wapno jest materiałem silnie drażniącym. W postaci sypkiej łatwo się przenosi i silnie pyli. W kontakcie z ciałem podrażnia skórę, oczy, błony śluzowe gardła i nosa. Gdy jest mokre, powoduje oparzenia i mocno wysusza. Szczególnie niebezpieczne jest dostanie się wapna do oczu, w takiej sytuacji należy niezwłocznie przemyć je wodą.

Najważniejsze zasady BHP przy pracy z betonem konopnym:

- miejsce, w którym mieszane są składniki, powinno być wydzielone. Unosi się tam pył z wapna i paździerzy, zagrożenie stanowi także pracujący mieszalnik. Osoba pracująca przy mieszalniku musi mieć zapewnioną odzież ochronną (długi rękaw), dobrze dopasowaną maskę przeciwpyłową z filtrem co najmniej klasy P2, okulary ochronne oraz gumowe rękawice. Dodatkowo powinna być przeszkolona z obsługi mieszalnika i powinna zachowywać szczególną ostrożność, gdyż zdarza się potrzeba ingerowania w mieszanie składników wewnątrz bębna (obowiązkowo mieszalnik musi być wtedy wyłączony z prądu);
- do układania konoplitu należy się zaopatrzyć w dobrej jakości rękawice ochronne z PVC (zaleca się również zakładanie lateksowych rękawiczek pod spód), odzież z długim

rękawem i okulary ochronne;

- kontakt skóry z kompozytem jest nieunikniony, drobne cząstki prędkiej czy później znajdują drogę do nieosłoniętej części ciała. Aby zminimalizować efekt działania wapna na skórę, należy stosować kremy nawilżające na wysuszone miejsca oraz szczelne opatrunki w miejscu powstawania ran.

Podczas pracy z betonem konopnym, oprócz standardowej apteczki znajdującej się na każdej budowie, należy zwrócić szczególną uwagę na obecność zestawu do płukania oczu oraz środków przeciw podrażnieniom i oparzeniom.

3.3 Wytyczne wykonawcze dla słomy

Ryszard Biliński

Budynki z prasowanej słomy (straw bale)

Intuicyjnie dostrzegamy, że budowanie z prostych materiałów, dostępnych lokalnie, jest rozwiązaniem kryjącym w sobie duży potencjał. Wielu z nas widzi w takim budowaniu realizację celów związanych z ochroną środowiska, kreowaniem zdrowego otoczenia czy wreszcie możliwość samodzielnego wykonania wielu prac dla oszczędności lub satysfakcji. Zapoznanie się z zasadami najpopularniejszych technik budowania ze słomy będzie przydatne zarówno dla osób zamierzającym wykonywać prace samodzielnie, jak i tych, które po prostu chcą rozumieć, na czym to polega i na co szczególnie należy zwracać uwagę. Najwięcej miejsca poświęcimy najbardziej rozpowszechnionej w Polsce technice budowania w szkieletcie dwugałęziowym (ang. infill), możliwej do wykonania samodzielnie i wspomnimy o innych spotykanych u nas sposobach budowania, w tym z prefabrykatów (nie zamieszczamy szczegółowych wytucznych wykonawczych, gdyż są związane z konkretnymi produktami i są dostarczane przez producentów).

Czym jest konstrukcja dwugałęziowa

Tę technikę rekomenduje się osobom planującym budowę jednorodzinne go budynku straw bale z maksymalnym udziałem pracy własnej. Polega ona na wykonaniu drewnianego szkieletu, tzw. dwugałęziowego, do wypełnienia kostkami prasowanej słomy.

Technika ta najbardziej zadomowiła się w Polsce, ponieważ w sposób zbalansowany łączy ekonomię i łatwość wykonania, co nie jest tak jednoznaczne w wypadku innych technik. Umożliwia ona także dodatkową kompresję kostek słomy o zbyt niskich początkowych parametrach gęstości.

Drewniana konstrukcja dwugałęziowa to dość prosty technicznie szkielet drewniany, wykonywany w sposób podobny do tego, jaki spotykamy

w budynkach szkieletowych (wypełnianych np. izolacją z wełny mineralnej). Z tą różnicą, że mamy dwie ściany z wmontowaną prasowaną słomą, zamiast pojedynczej zewnętrznej ściany konstrukcyjnej.

Konstrukcja drewniana zbudowana w tej technice odpowiada za wytrzymałość, czyli przenosi obciążenia statyczne i dynamiczne, działające na budynek. Słoma w tym wypadku stanowi materiał izolacyjny i choć poprawia sztywność budynku, przy projektowaniu nie bierze się tego pod uwagę.

Ponieważ konstrukcja drewniana pełni kluczową rolę w przenoszeniu obciążeń, musi być wykonywana ściśle wg projektu konstrukcji, będącego integralną częścią opracowania projektowego. Konstruktor na podstawie obliczeń dobiera wymiary poszczególnych elementów drewnianych oraz odpowiednią klasę drewna. W tym miejscu warto wspomnieć, że nasze wybory na etapie projektowym będą decydowały o koniecznych rozwiązaniach konstrukcyjnych, a co za tym idzie wpłyną zarówno na wymiary elementów, jak i na stopień skomplikowania prac. Decyzje te będą mieć oczywisty wpływ na koszt materiałów i robocizny. Jak na każdym etapie budowy, działa tu zasada, że im prościej, tym lepiej. Prościej oznacza mniejsze prawdopodobieństwo popełnienia błędów, które w wypadku konstrukcji – szkieletu nośnego naszego domu – mogą mieć poważne konsekwencje.



Zdjęcie 1. Budowa szkieletu drewnianego dwugałęziowego przez inwestorów

źródło: Beata Nasitowska

Bryła budynku

Zdecydowanie najłatwiej jest zbudować dom na planie prostokąta. Wszelkie odstępstwa od tego oznaczają dodatkowe komplikacje i podnoszą koszty. Koszty mogą wzrosnąć ze względu na ilość potrzebnego materiału oraz większą pracochłonność. Przy planowaniu własnego domu warto wiedzieć, że drewno jako materiał konstrukcyjny, poza niewątpliwymi zaletami, ma też swoje ograniczenia. Jednym z nich jest rozpiętość standardowych elementów drewnianych - belek stropowych. Wynosi ona 6 metrów, więc drewniane budynki o większej szerokości wymagają dodatkowego podparcia stropu lub stosowania belek stropowych drewnopochodnych.

Strop

Strop w budynkach w konstrukcji drewnianej wykonuje się z belek drewnianych. Jeśli poddasze ma być użytkowe, na stropach można wykonywać podłogi drewniane, a także podłogi wymagające wylewki betonowej jako podkładu. Belki stropowe często zostawia się na widoku, by cieszyć się pięknem drewna, choć bywają także realizacje z sufitem wykończonym tynkiem lub gładzią. Przy projektowaniu domu warto się zastanowić na tym, jak ma wyglądać nasz sufit, ma to wpływ na sposób wykonania izolacji akustycznej. Wiele osób docenia piękno drewna i decyduje się na wyeksponowanie belek. Izolacja akustyczna stropu jest zbudowana z dwóch składowych, inaczej tłumi się dźwięki rozprzestrzeniające się przez powietrze, a inaczej te, które rozchodzą się przez elementy konstrukcji (stukowe). Dźwięki powietrzne tłumi się poprzez stosowanie miękkiej warstwy izolacyjnej, np. z miękkiej wełny (różnego rodzaju - drzewna, owcza), która izoluje poprzez masę i strukturę materiału. Dźwięki stukowe minimalizuje się wytłumiającymi podkładkami, np. filcowymi, układanymi na belkach stropowych lub legarach podłogowych i dylatacją wykończeń podłogowych od ścian. Jeżeli belki stropowe mają być zakryte, wykonanie izolacji akustycznej powietrznej jest proste - warstwę tłumiącą wełny w postaci mat lub materiału zasypanego, np. celulozy, włókna drzewnego lub słomianego,

układa się między belkami stropowymi. Gdy belki chcemy wyeksponować, izolacja ta musi być wykonana nad belkami lub w części wysokości belek (widoczna pozostaje pozostała część).

Dach

W budynkach drewnianych najłatwiej jest wykonać dach dwuspadowy. Taki dach najprościej jest także pokryć dachówką lub blachą. Zdecydowanie najwięcej budynków w technologii straw-bale jest realizowanych z dachem dwuspadowym. Taka konstrukcja umożliwia również proste wykonanie okien w płaszczyznach ścian szczytowych (bocznych) poddasza. Wadą takiego rozwiązania jest większe narażenie ścian szczytowych na działanie wody, ponieważ ściany te nie są chronione przez okap dachu. Gdy budynek na otwartych przestrzeniach jest wystawiony na działanie wiatru, wskazane może być wykonanie deskowania na ścianach szczytowych, gdyż samo tynkowanie tynkiem wapiennym nie zabezpieczy wystarczająco przed działaniem wody.

Dach czterospadowy jest trudniejszy do wykonania. Warto jednak rozważyć takie rozwiązanie, gdy budynek ma być parterowy. Odpowiedni okap sprawi, że nie będzie potrzeby deskowania elewacji, wystarczy tynk wapienny. Przy czterospadowej konstrukcji dachu, czy większej powierzchni, niż w przypadku dwuspadowego, wzrasta koszt pokrycia. Rosną także koszty materiału i robocizny ze względu na dodatkowe krawędzie i straty materiału spowodowane cięciem pod kątem.

Na budynkach straw bale można również wykonać dach jednospadowy lub płaski z minimalnym nachyleniem. Wariant taki warto rozważyć, gdy nie planujemy wykorzystywać poddasza, a rozmiar i kształt budynku umożliwiają takie rozwiązanie. Jego niewątpliwą zaletą jest obniżenie wysokości bryły budynku, co może być wymagane przez lokalne przepisy. Na dachu płaskim łatwiej jest też wykonać dach zielony - z pokryciem roślinnym. Mogą być jednak problemy z wykonaniem komina odpowiedniej wysokości, niezbędnej do uzyskania właściwego ciągu. W budynku o dachu dwuspadowym

umiejscowienie komina bliżej kalenicy dachu zazwyczaj zapewnia wysokość niezbędną dla dobrego ciągu. Natomiast gdy w budynku nie jest planowany piec czy komin, komin nie będzie potrzebny, o ile zastosujemy wentylację mechaniczną.

Zabezpieczenie drewna

Wymagania dotyczące zabezpieczenia drewna są opisane w projekcie budowlanym. Drewno, które zostanie zabudowane słomą i zamknięte tynkiem, nie wymaga specjalnego zabezpieczenia, ponieważ jest chronione warstwami tynku. Inaczej sytuacja wygląda w wypadku drewna, które jest narażone na działanie warunków zewnętrznych, wówczas należy je zabezpieczyć przed zniszczeniem przez wodę i promieniowanie słoneczne. Jeszcze inaczej wygląda to w przypadku widocznych wewnątrz pomieszczeń elementów drewnianych. Innych zabiegów wymaga też drewno konstrukcji drewnianej dachu (więźby).

Zabezpieczanie drewna widocznego na zewnątrz

Najczęściej stosowane w budownictwie drewno sosnowe "brzydko się starzeje". Dość szybko zmienia kolor na mało atrakcyjny - szarzeje. Po dłuższym czasie nie tylko ciemnieje pod wpływem promieniowania UV, także jego struktura staje się mocno porowata, co jest związane z rozkładem ligniny. Paradoksalnie wówczas drewno sosnowe staje się atrakcyjne jako "staro drewno". Wtedy też, z uwagi na porowatość, lepiej przyjmuje olej i nabiera szlachetnego wyglądu. Jednak na ten naturalny efekt trzeba czekać wiele lat, jest on niejednorodny, ponieważ drewno w różny sposób jest wyeksponowane na światło słoneczne. Efekt impregnowania drewna olejami będzie tym lepszy, im starsze będzie drewno sosnowe. Warto kilka lat poczekać z olejowaniem drewna.

Drewno modrzewiowe

Widoczne zewnętrzne elementy drewniane budynku warto, jeżeli to możliwe, wykonywać z drewna modrzewiowego. Jest ono wysoko

żywiczne, a przez to odporne na działanie grzybów, trudniejsze dla drewnojadów, dodatkowo zdecydowanie ładniej się starzeje niż sosna. Cena drewna modrzewiowego jest nieco wyższa, niż sosnowego, jednak warto wykonać z niego widoczne elementy konstrukcji. Drewno modrzewiowe może być jednak problematyczne wewnątrz pomieszczeń, ponieważ bardzo długo wydziela żywicę.

Zabezpieczenie więźby dachowej

Dobrze zaprojektowana i poprawnie wykonana więźba dachowa nie jest szczególnie narażona na zawilgocenie, które przyczynia się do niszczenia drewna i zwiększa jego atrakcyjność dla szkodników. Przy budowie domu powinniśmy brać pod uwagę potencjalne uszkodzenia pokrycia dachu. Dlatego więźbę dachową należy impregnować z myślą o takich nadzwyczajnych okolicznościach. Sposób impregnacji więźby dobrze jest uzgodnić z konstruktorem. Najlepsza w tym przypadku jest impregnacja ciśnieniowa.

Podwaliny - przypadek szczególny

Podwaliny są tym elementem, który łączy całą konstrukcję budynku z fundamentami. Należy je wykonać wyjątkowo solidnie i starannie. Podwaliny są też potencjalnie najbardziej narażone na wilgoć, dlatego zarówno sam projekt budynku, jak i wykonanie, powinny minimalizować ryzyko ich zawilgotnienia. Jeżeli jest to możliwe, do wykonania podwalin warto zastosować drewno bardziej odporne na wilgoć. Drewno modrzewiowe będzie lepsze, niż sosnowe czy świerkowe. Nie jest jednak błędem wykonanie podwalin z drewna sosnowego. Ważne jest, by drewno było dobrej i odpowiednio zabezpieczone. Możemy zamówić drewno impregnowane już w tartaku. Warto wówczas sprawdzić technologie, jakimi dysponuje dostawca.

W tartakach zazwyczaj dostępne są trzy metody impregnacji:

- zanurzeniowa
- ciśnieniowa
- natryskowa

Zdecydowanie najpewniejsza jest metoda ciśnieniowa. Nie wszystkie tartaki dysponują jednak tą technologią, jeżeli jednak mamy taką możliwość, wybierzmy ją do zabezpieczenia podwalin.

Większość tartaków impregnuje drewno metodą zanurzeniową. Polega ona na zanurzeniu drewna w wannie z środkiem impregnującym. Tu kluczowy jest czas zanurzenia, im dłuższy, tym głębiej środek wniknie. Po takiej impregnacji drewno musi wyschnąć, często zdarza się, że przyjeżdża świeżo po moczeniu w impregnacji. Z takim drewnem źle się pracuje, ponadto trudno się trzymać wówczas jakichkolwiek zaleceń dotyczących wilgotności drewna konstrukcyjnego.

Ostatnia z dostępnych metod, czyli impregnacja powierzchniowa, polega na malowaniu drewna za pomocą pędzla lub natrysku. Jakość takiej impregnacji zależy od ilości naniesionych warstw. Jednokrotne pomalowanie prowadzi zwykle do zabarwienia drewna, nie do jego ochrony. Taką impregnację zatem należy traktować jako słabe powierzchniowe zabezpieczenie, które odradzamy.

Tradycyjna naturalna metoda zabezpieczenia podwalin

Jedną z najstarszych metod zabezpieczenia drewna przed erozją biologiczną jest opalanie. Sterylizuje ono drewno i powoduje wytworzenie na jego powierzchni warstwy węgla, która jest odporna na erozję biologiczną. Metodę tę stosowano od dawna do zabezpieczania elementów drewnianych, mających kontakt z ziemią. Współcześnie metoda ta stosowana jest na wielu budowach budynków straw bale do zabezpieczania najniżej położonych elementów konstrukcji drewnianej - podwalin. Podwaliny zazwyczaj opala się palnikiem na gaz propan - butan z typową 1l kilogramową butlą, to metoda prosta i niedroga. Opalanie wytworzy warstewkę węgla, nie powinno być jednak za głębokie, tzn. nie powinno powodować osłabienia mechanicznego drewna przez zmniejszenie wymiarów.

Wypełnienie przestrzeni pomiędzy belkami podwaliny najlepiej wykonać z hydrofobowego materiału izolacyjnego: szkła spienionego, perlitu

hydrofobizowanego lub impregnowanej wkładki z izolacji organicznej. To miejsce o najwyższej wilgotności w przegrodzie, wymagające detalicznego podejścia.

Olejowanie

Po opaleniu podwaliny należy dodatkowo zaimpregnować, najlepiej sprawdza się do tego mieszanka technicznego oleju lnianego i smoły sosnowej, czyli dziegciu, w proporcji 1:1. Można ją rozcieńczyć terpentyną lub benzyną apteczną. Stosujemy olej lniany techniczny lub pokost, czyli olej lniany z dodatkami przyspieszającymi krystalizację, tzw. sykatywami. Nie wolno stosować oleju jadalnego, ponieważ zawiera on białka, które będą się rozkładać - jełczeć. Olej wnika w głąb drewna i tam krystalizuje, powodując jego wzmocnienie i zwiększenie odporności na wodę. Natomiast smoła sosnowa (dziegieć) jest doskonałym impregnatem i ma silne właściwości przeciwgrzybiczne.

Jeżeli do rozcieńczania mieszanki dziegciu i oleju lnianego stosujemy terpentynę, powinniśmy szczególnie chronić drogi oddechowe. Prace z terpentyną powinny być przeprowadzane na otwartym powietrzu, substancja ta ma działanie alergizujące, można ją zatem zastąpić benzyną apteczną.

Olejowanie wykonujemy do momentu, w którym olej przestanie się wchłaniać. Zazwyczaj wystarczy dwie do trzech warstw, które należy cienko nakładać pędzlem, nałożenie zbyt grubej warstwy może utrudnić wnikanie oleju w drewno. Niewchłonięty olej należy wytrzeć z powierzchni drewna.

Uwaga! Szmatka używana do wycierania oleju może samoczynnie się zapalić. Najbezpieczniej, po wykonaniu czyszczenia, namoczyć ją w wodzie.

Kotwienie podwalin

Są dwie metody kotwienia, czyli mocowania podwalin, do fundamentu. Pierwsza polega na zamontowaniu kotew podczas wylewania betonu, druga na zastosowaniu kotew wklejanych bezpośrednio w trakcie montażu podwalin (tzw.

kotwa chemiczna).

Podczas układania podwaliny, należy kontrolować wszystkie wymiary: długość, szerokość i przekątne. Sprawdzenie przekątnych da nam pewność, że kąty w narożnikach będą prawidłowe.

Ustawione podwaliny, po wcześniejszym wykonaniu otworów przez drewno podwalin i beton fundamentu (na głębokość około 15 - 20 cm), można kotwić do fundamentu kotwą chemiczną przez wklejanie prętów gwintowanych. Należy kierować się wskazaniem producenta danej kotwy oraz zaleceniami zamieszczonymi w projekcie budowlanym, dotyczącymi wymiarów kotew i ich rozmieszczenia.

Montaż słomy, jaka słoma?

Po wykonaniu konstrukcji drewnianej budynku przystępujemy do montażu słomy. Słoma jest doskonałym materiałem do izolacji termicznej, długo będzie nam służyć, jeżeli zostanie zabezpieczona przed zawilgoceniem. Powszechnie uważa się, że najlepsza do celów budowlanych jest słoma żytnia, to przekonanie z czasów, gdy używano jej do krycia wiejskich chałup. Jest ona bardziej odporna na działanie grzybów, niż inne słomy. Dzięki temu wolniej się rozkłada i dłużej służy na dachu. W przypadku słomy stosowanej do izolacji termicznej, odporność na rozkład pod wpływem wilgoci nie jest czynnikiem kluczowym. Słoma zamknięta w poprawnie wykonanej ścianie nie jest narażona na wilgoć. Zdarza się, że ściana zostanie zalana, wówczas dany fragment należy wymienić, niezależnie od tego, jaką słomę stosujemy. Uważa się, że do celów budowlanych można stosować słomę żytnią, pszenżytnią i pszeną.

Różne są opinie na temat przydatności słomy jęczmiennej, zaś słomę owsianą uważa się za nieodpowiednią. W tym sposobie budowania istotna jest zdolność słomy do zachowania sprężystości po kompresji w ścianie. Sprężysta słoma zapewnia to, że wykonana z niej ściana nie będzie osiadać i zachowa dobre parametry przez cały czas istnienia budynku. W Polsce najczęściej uprawia się pszenicę, żyto zajmuje drugą pozycję. Zasięg tych upraw sprawia, że zakup tych zbóż

nie będzie problemem w żadnym regionie kraju.

Często spotykamy się z poglądem, że słoma powinna być przesezonowana, czyli z poprzedniego lata. Zwykle stosuje się słomę z poprzedniego roku, ale wynika to z kalendarza budowy. Prace tynkarskie wewnątrz budynku powinny być wykonane w ciepłych miesiącach, prace z montażem słomy w ścianach powinny być zakończone w czerwcu, by w lipcu i sierpniu dokończyć te wymagające suchej i ciepłej pogody. Żniwa w Polsce odbywają się w lipcu i sierpniu, lepiej zatem korzystać z wcześniej zebranej słomy. Wykonanie prac „słomarskich” po żniwach jest możliwe, ale zostaje bardzo mało czasu na skończenie prac przed wilgotnym i chłodnym sezonem.

Jakość słomy

Osoba bez doświadczenia w pracy ze słomą może mieć problem z oceną jej jakości. Polecamy bardzo proste badanie składające się z trzech kroków:

1. zapach - słoma powinna mieć przyjemny zapach przypominający trochę zapach siana, natomiast zapach stęchły dyskwalifikuje materiał i świadczy o rozpoczęciu procesów gnilnych i zwiększonej ilości zarodników pleśni i grzybów;
2. kolor - słoma powinna mieć dość „żywy” złoty kolor, najlepiej bez czarnych kropek zwiastujących zarodniki grzybów;
3. wytrzymałość - garść słomy (wiecheć) nie powinna dać się łatwo rozerwać, o ile na polu nie było długo wilgotno, co może osłabiać słomę.

Jeżeli słoma przejdzie test zapachu, będzie słomą odpowiednią. Natomiast drugi i trzeci punkt świadczą o jej jakości.

Kostki słomiane

Do budowania wykorzystuje się małe kostki o przybliżonych wymiarach: długość od 40 do 110 cm, szerokość ok. 46 cm, wysokość ok. 30 lub 40 cm. Wymiary te mogą się różnić z powodu typu prasy, długość jest każdorazowo ustawiana przez prasującego. Niestety, obecnie rolnicy

coraz rzadziej robią małe kostki. Gospodarstwa rolne są coraz większe i rolnicy preferują duże baloty słomy. Są jednak rolnicy uprawiający mniejsze pola i nadal stosujący małe prasy, niektórzy także nastavili się już na wykonywanie kostek do celów tego budownictwa słomianego. Jeśli w okolicy nie znajdziemy rolnika produkującego małe kostki, możliwe jest znalezienie rolnika dysponującego prasą do małych kostek i zrobienie dużego balotu słomy na małe kostki.

Przy zamawianiu lub produkcji kostek nie mamy wpływu na ich szerokość i wysokość, natomiast ważna jest ich długość. Optymalnie kostki mają długość 80 cm, dłuższe mogą się odkształcać (bananowanie). Kostki powinny być foremne i tak gęsto sprasowane, by nie straciły kształtu podczas wielokrotnego przenoszenia. Właściwą gęstość słomy uzyskuje się w procesie kompresji w samej ścianie, zatem lekkie foremne kostki o małej gęstości będą odpowiednie do naszych celów.

Przechowywanie słomy

Jeżeli musimy przechować słomę do czasu budowy, należy zrobić to w odpowiedni sposób. Przez kilka tygodni kostki mogą być ułożone pod plandeką na paletach, jeżeli położymy je bezpośrednio na ziemi, najniższa warstwa może nie nadawać się do użytku. W przypadku konieczności dłuższego przechowywania, należy składować je pod dachem. Słomę najlepiej przechowywać w stodole, można umówić się z rolnikiem, by umieścić ją w swoim pomieszczeniu gospodarskim. Zostawienie słomy pod przykryciem na dłużej może spowodować skraplanie się pary wodnej na plandecę i w efekcie zamoczenie kostek, co uniemożliwi ich użycie w celach budowlanych.

Uwaga! Zamoczona kostka nie nadaje się do budowania domu, nawet jeżeli wydaje się nam sucha. Woda, która dostała się do sprasowanej słomy, nie jest w stanie odparować przed rozpoczęciem się rozkładu słomy. Może się zdarzyć, że wybudujemy w ścianę kostkę wyglądającą na suchą, jednak rozkładającą się już wewnątrz, taka kostka traci swe walory izolacyjne.

Prawidłowe zamontowanie słomy zapewnia bardzo dobrą izolację termiczną i pozwala spełnić wymagania domu energooszczędnego. Parametry termoizolacyjne słomy zachowane przy ciągłości izolacji. Jeżeli między kostkami będą przerwy lub w ścianie wystąpią miejsca o zbyt niskiej gęstości słomy, pogorszy się jakość izolacji całej ściany.

By zapewnić jednorodną gęstość ściany, bez przerw między kostkami, wykonuje się kompresję w ścianie. Jest to kluczowa czynność dla powodzenia naszej budowy. Kompresja sprawia, że nawet przy użyciu kostek gorzej sprasowanych, efekt końcowy może być bardzo dobry. W Polsce, inaczej niż w innych krajach, przyjęło się układanie kostki w układzie tak, jak wychodzą z prasy - z włóknami ułożonymi zwykle w poprzek ściany. Jest to układ gorszy pod względem właściwości izolacyjnych słomy w porównaniu z ułożeniem na boku z włóknami pionowo. By uzyskać odpowiednią izolację termiczną ściany, należy unikać przerw na łączeniach (jednorodność = ciągłość izolacji). Najczęściej jednak stosuje się teoretycznie gorszy układ z włóknami w poprzek ściany, ponieważ tylko w takim układzie skutecznie działa kompresja słomy. Kompresja w ścianie zwiększa gęstość słomy i sprawia, że „znikają” miejsca łączenia między kostkami. Idealnie widać to po strzyżeniu ściany, gdy trudno jest wskazać, gdzie kończy się jedna kostka a zaczyna druga. Słoma w układzie innym, niż w poprzek ściany, źle się kompresuje.

Do kompresji słomy w ścianie stosuje się najczęściej hydrauliczne podnośniki słupkowe, nazywane też butelkowymi. Kompresję wykonuje się aż do uzyskania przez ścianę gęstości, przy której uderzenie w ścianę wywołuje wyraźny głuchy odgłos. Kostki prasuje się przez położoną na nich deskę, która po zakończeniu prasowania zostaje w ścianie zamocowana odpowiednimi przekładkami. Praktykowane jest kompresowanie co dwie lub trzy warstwy kostek, zależy to od ilości warstw kostek do wypełnienia ściany.

Trudne miejsca

W każdym budynku występują miejsca, które trudniej jest wypełnić słomą i skompresować. Dotyczy to zwłaszcza warstwy na samej górze ścian, gdzie nie ma już możliwości wykonania kompresji podnośnikami, a także wszelkich ścian skośnych. Można powiedzieć, że każdy wykonawca dopracowuje się swoich technik dobrego umieszczania słomy w tych trudnych miejscach. Przykładowe techniki radzenia sobie w takich miejscach:

- ręczne wypełnianie i zagęszczanie przez uzupełnianie pakietami słomy aż do uzyskania odpowiedniej gęstości i jednorodności;
- wykonywanie kostek o specjalnych wymiarach pasujących do miejsca, z wykorzystaniem improwizowanych narzędzi do wiązania sznurkiem lub paskami do pakowania (paskarka);
- pozostawianie miejsc niemożliwych do skompresowania do wypełnienia zasypowym materiałem izolacyjnym takim, jak celuloza, włókno drzewne lub słomiane.

Warto zapoznać się z technikami stosowanymi przez praktyków, w publikacji trudno taką wiedzę przekazać. Zachęcamy zatem



Zdjęcie 2. Strzyżenie za pomocą szlifierki kątowej

zainteresowanych do uzupełniania wiedzy teoretycznej umiejętnościami praktycznymi, które można zdobyć podczas warsztatów lub praktyki pod okiem profesjonalistów na budowie.

Strzyżenie

By uzyskać równe ściany i zapewnić stabilne podłoże pod tynki, słomiane ściany należy strzyć. Do strzyżenia można użyć mocnych nożyc do żywoplotu lub szlifierek kątowych z cienką tarczą do drewna.

Budowanie z prefabrykatów

Budowa z ręcznym montażem i kompresowaniem słomy jest pracochłonna. Nie każdy może sobie pozwolić na zaangażowanie w samodzielną budowę na dłuższy czas, nie każdy ma fizyczne i manualne zdolności do samodzielnego wykonania prac. Wiele osób decyduje się zatem na wariant z zakupem prefabrykowanych elementów, które na miejscu budowy są montowane przez profesjonalną ekipę. Metoda ta pozwala zaoszczędzić czas oraz daje pewność, że zbudowane w wytwórni elementy będą odpowiednio skompresowane i nie wystąpią miejsca o gorszej izolacyjności.



Zdjęcie 3. Montaż prefabrykatów

Wszystkie firmy zajmujące się produkcją i montażem domów z prefabrykowanych elementów słomianych oferują odpowiednie wsparcie projektowe.

W technologii prefabrykatów drewniano-słomianych wykonywane są też elementy konstrukcji dachowej z fabrycznie wykonaną izolacją słomianą. Ponieważ wykonanie izolacji termicznej połaci dachu jest pracochłonne i kosztowne, znacząco usprawnia to proces budowy. Należy tu zaznaczyć, że odpowiednie zabezpieczenie przed wodą i zapewnienie wentylowania tak wykonanej konstrukcji dachu powinno być dobrze opisane w projekcie i zgodnie z nim wykonane.

Firmy wykonujące elementy prefabrykowane drewniano-słomiane oferują wykonanie prac "pod klucz" oraz sam montaż prefabrykowanej konstrukcji, co pozwala zaplanować proces budowy w sposób elastyczny.

Inne techniki budowy ze słomy

Technika budowania z użyciem konstrukcji dwugązłowej (infill) dominuje na polskim rynku budownictwa słomianego, ale spotykamy też inne rozwiązania. Wśród innych technik budowania spotykanych w Polsce należy wymienić:

- budowle samonośne z małogabarytowych kostek (load bearing);
- budowle samonośne z tzw "jumbo bails";
- budowle ryglowe z izolacją słomianą na zewnątrz.

Budowle samonośne z małogabarytowych kostek

Choć historycznie najstarsze, obecnie są spotykane w Polsce w zasadzie tylko w budynkach niewymagających pozwolenia na budowę, ze względu na trudność w uzyskaniu odpowiednich obliczeń konstrukcyjnych, niezbędnych do pozwolenia na budowę. Ten typ budowania rozwija się dynamicznie w Wielkiej Brytanii, propagowany m.in. przez Barbarę Jones. Pierwszy w Polsce budynek słomiany zbudowany w tej technice powstał w roku 2000 w Przetomce na Suwalszczyźnie, według projektu Pauliny Wojciechowskiej.

Budowle samonośne z "jumbo bails"

W rolnictwie obecnie spotyka się prasowanie słomy do postaci dużych kostek o różnych wymiarach. Przykładowe wymiary to szerokość 80 cm, wysokość 70 cm lub szerokość 120 cm i wysokość 90cm. Długość takich kostek wynosi do 260 cm. Wielkogabarytowe kostki są bardzo mocno sprasowane, dlatego możliwe jest wznoszenie budowli samonośnych przez proste zestawianie kostek jedna na drugiej. Zaletą tego sposobu budowania jest ograniczenie zużycia drewna oraz bardzo dobra izolacyjność tak wykonanych ścian.

Budowle ryglowe z izolacją z prasowanych kostek

Budowle ryglowe (słupowo - belkowe) z masywnego drewna, by spełniały obecne wymagania dotyczące energooszczędności, potrzebują dodatkowej izolacji termicznej. Połączenie tradycyjnej roboty ciesielskiej z nowoczesnym zastosowaniem prasowanej słomy daje wyjątkowy efekt w postaci bardzo dużej masy termicznej ścian ryglowych wypełnionych gliną, o doskonałych parametrach izolacji termicznej. W takim rozwiązaniu drewnianą konstrukcję słupowo belkową wypełnia się gliną zmieszaną ze słomą, bloczkami gliniano-słomianymi lub surową, niepaloną cegłą. Budynek taki nie tylko jest energooszczędny, ale też doskonale stabilizuje temperaturę wewnątrz. Należy też docenić walory estetyczne masywnej konstrukcji widocznej od wewnątrz. Budowa budynku w takiej konstrukcji wymaga większej wiedzy ciesielskiej, niż w wypadku domów o lekkiej konstrukcji szkieletowej.

Izolacje podłóg, stropów i połaci dachowych słomą

Izolowanie podłóg słomą

W niektórych jednorodzinnych budynkach mieszkalnych budowanych w Polsce zastosowano izolację podłogi kostkami słomy. Taka izolacja wymaga szczególnych rozwiązań konstrukcyjnych. Stosuje się wtedy podłogę na

fundamentach punktowych, wentylowaną od spodu. Taki wariant daje korzyści związane ze znacznym obniżeniem kosztu materiału izolacyjnego podłogi, wymaga jednak zapewnienia odpowiedniego przepływu powietrza pod podłogą przy jednoczesnym zabezpieczeniu przed dostawaniem się tam małych zwierząt czy owadów. Dodatkowym utrudnieniem jest konieczność szczególnego zabezpieczenia przyłącza wody przed zamarzaniem.

Izolowanie stropów słomą

W wypadku poddaszy nieużytkowych, można w prosty sposób wykonać izolację stropu za pomocą kostek słomy. Wystarczy ułożyć kostki na podłodze stropu dbając o właściwy opóźniacz pary wodnej od dołu i paroprzepuszczalne pokrycie kostek od góry. Z uwagi na to, że para wodna chętniej migruje przez strop niż przez ściany, konieczne jest takie zaprojektowanie i wykonanie przegrody, żeby nie doszło do wykraplania pary wodnej w słomie od strony zimnego poddasza. Wykraplanie może spowodować rozkład słomy.

Izolowanie połaci dachowych słomą

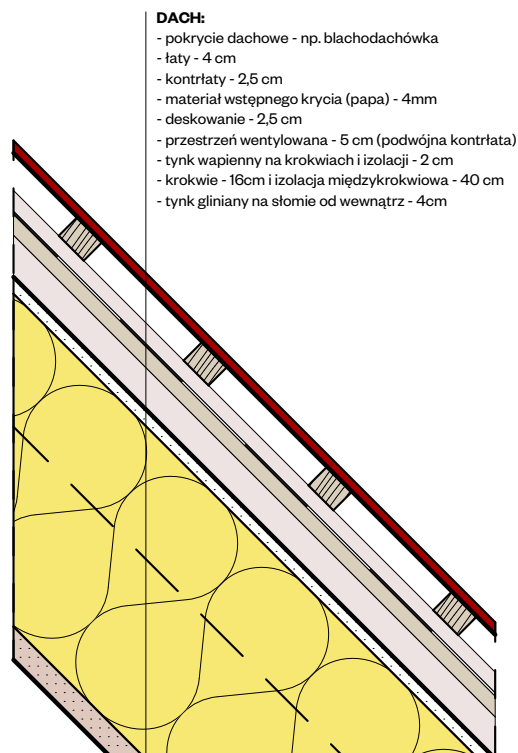
Izolowanie połaci dachowych słomą jest praktykowane stosunkowo rzadko, choć nie mają na to wpływu jakieś ograniczenia techniczne. Pewną trudnością może być to, że izolację taką najlepiej wykonywać między krokiewmi, układając kostki od zewnętrznej strony dachu, co wymaga przygotowania się na wypadek deszczu. Wystarczy jednak zabezpieczyć je plandekami. Inną sprawą jest konieczność uwzględnienia w konstrukcji dachu dodatkowego obciążenia od kostek słomy, które może być niebagatelne i może wymagać zastosowania ponadprzeciętnych wymiarów krokwi lub innego wzmocnienia konstrukcji dachu. Przy gęstości 90 kg/m^3 , izolacja połaci dachu słomą dodaje 36 kg obciążenia na każdy m^2 . Można to porównać do obciążenia dachówką. Projektant konstrukcji powinien koniecznie uwzględnić te dodatkowe obciążenia.

Izolowanie połaci dachowych słomą należy do standardowych rozwiązań stosowanych przez firmy wykonujące prefabrykowane elementy

budynków drewniano-słomianych.

Przy izolowaniu połaci dachu słomą jest szczególnie ważne dobre zabezpieczenie przed zamoknięciem. Nawet niewielki przeciek może powodować zawilgocenie słomy do stopnia powodującego jej rozkład. Dodatkowo, z uwagi na dużą masę i grubość takiej izolacji, przeciek może pojawić się po dłuższym czasie i lokalizacja miejsca uszkodzenia może być bardzo trudna, zaś naprawa kosztowna. Z tego powodu słoma od strony zewnętrznej połaci musi być koniecznie dodatkowo zabezpieczona. Zazwyczaj stosuje się do tego tynk wapienny lub gliniany lub nabicie na połać dachową płyt z wełny drzewnej/ słomianej. Na terenach wiejskich zabezpieczenie tego typu musi też chronić słomę przed szkodnikami, szczególnie kunami.

W wypadku izolowania połaci dachowych słomą, konieczne jest zapewnienie wentylacji między słomą a kolejną warstwą dachu. Od strony wewnętrznej taka słomiana izolacja powinna być otynkowana gliną i zabezpieczona przed nadmiernym wnikaniem pary wodnej, w tym celu projektant dobiera odpowiedni opóźniacz pary wodnej.



Rysunek 1. Przekrój przez połacie dachu z izolacją słomianą

STROP DREWNIANY Z BELKAMI WIDOCZNYMI:

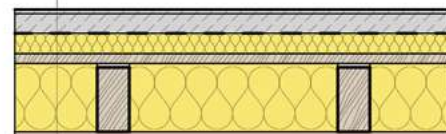
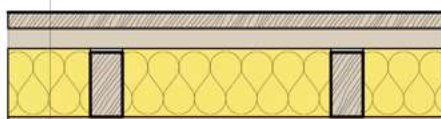
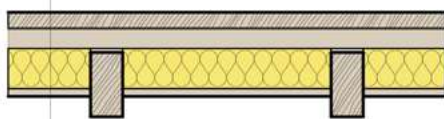
- drewno podłogowe
- legary podłogowe (w widoku)
- belki stropowe (wg projektu konstrukcji) z podkładkami filcowymi / izolacja akustyczna miękka 10 mm
- sufit - płyty gliniane 16 mm / płyty g/k 12,5 mm / płyty fermacell 12,5 mm

STROP DREWNIANY Z BELKAMI UKRYTYMI - PODŁOGA DREWNIANA:

- drewno podłogowe
- legary (w widoku)
- belki stropowe (wg projektu konstrukcji) z podkładkami filcowymi / izolacja akustyczna miękka
- sufit - płyty gliniane 16 mm / płyty g/k 12,5 mm / płyty fermacell 12,5 mm

STROP DREWNIANY Z BELKAMI UKRYTYMI - PODŁOGA Z PŁYTEK:

- płytki podłogowe
- wylewka betonowa - 50 mm
- folia PE
- płyta twarda z włókna drzewnego lub słomianego - 30 mm
- podłoga ślepa - 25 mm
- belki stropowe (wg projektu konstrukcji) z podkładkami filcowymi / izolacja akustyczna miękka
- sufit - płyty gliniane 16 mm / płyty g/k 12,5 mm / płyty fermacell 12,5 mm



Rysunek 2. Przekrój przez ścianę

„Oddychanie” przegród w budynku słomianym

W budynkach straw bale stosuje się zwiększenie oporu dla pary wodnej od strony wewnętrznej, zmniejszenie od strony zewnętrznej. W tym celu wykonuje się grube warstwy tynku glinianego wewnątrz budynków. Taka warstwa sama w sobie ma zdolności do magazynowania nadmiaru pary wodnej, a także, dzięki swojej grubości, umożliwia akumulację i aktywne odprowadzanie wilgoci do wnętrza.

Poprawnie wykonany tynk wapienny zapewnia wysoką paroprzepuszczalność i ogranicza wnikanie wilgoci opadowej. Ponadto ważne jest poprawne opracowanie i wykończenie detali stolarki okiennej oraz drzwiowej, okapu i podwaliny budynku. Obecnie coraz częściej stosowanym rozwiązaniem jest pokrycie ściany od zewnątrz warstwą organicznej izolacyjnej elewacyjnej płyty (np. wełna drzewna lub na bazie słomy) i wykończenie otwarto dyfuzyjnymi systemowymi tynkami wapiennymi i farbami krzemianowymi.

Podsumowanie

Budowanie z użyciem słomy nie jest skomplikowane, o ile zrozumie się najważniejsze procesy i wpływ poszczególnych prac na efekt końcowy. Żeby się o tym przekonać, warto wybrać się na warsztaty lub dobrze prowadzoną budowę. Niezależnie od tego, czy zamierzamy sami brać udział w budowie, czy zlecimy ją fachowcom, wiedza i umiejętności własne będą bezcenne. Nie sposób opisać wszystkich ważnych

szczegółów, które staną się oczywiste, gdy weźmiemy udział w pracach. Dobrze jest czerpać wiedzę z kilku źródeł, żeby mieć pewność, iż nabyliśmy właściwe umiejętności. W procesie projektowania własnego domu warto współpracować z architektem i konstruktorem, posiadającymi doświadczenie w tego typu budowlach.

Bibliografia:

1. Minke, G., Krick, B., Podręcznik budowania z kostek słomy, Fundacja Cohabitat, Łódź 2014
2. Jones, B., Building with straw bales
3. Jagielak, M., Straw bale, czyli architektura z kostek słomy w Polsce, praca doktorska, Kraków 2023
4. Kopkowicz, F., Ciesielstwo polskie, Arkady, Warszawa 1958

3.4 Wytyczne wykonawcze dla ziemi i gliny

dr Piotr Narloch

Ziemia ubijana to zrównoważona technologia budowy monolitycznych przegród wykorzystująca lokalny grunt. Jej szczególna atrakcyjność wynika z dostępności, konstrukcyjnej funkcji ścian oraz atrakcyjności wizualnej. Kluczowym etapem zastosowania tej technologii jest ocena lokalnego gruntu, zwłaszcza pod kątem zawartości substancji organicznych, które powodują korozję biologiczną, a także uziarnienia i składu mineralnego.

Istoty wpływ na właściwości konstrukcyjne ścian ma wilgotność mieszanki gruntowo-cementowej. Ilość dodanej wody ma zapewnić uzyskanie wilgotności optymalnej, tj. wilgotności, która przy przyjętej metodzie ubijania zapewni największą gęstość objętościową materiału. Uformowana przegroda może zostać rozformowana niedługo po wzniesieniu, jako że istotną zaletą materiału jest wysoka wczesna wytrzymałość, zapewniająca samonośność przegrodzie. Nośność przegród z ziemi ubijanej zależy od czynników, takich jak uziarnienie, wilgotność, dodatek cementu, metoda ubijania, czas dojrzewania i skład mineralny gruntu. Dzięki zastosowaniu sztucznych sieci neuronowych i innych metod uczenia maszynowego, możemy przewidzieć jej wytrzymałość mechaniczną.

Popularny układ warstw w przegrodzie zewnętrznej zawiera warstwę ziemi ubijanej zarówno od strony zewnętrznej, jak i wewnętrznej budynku, pomiędzy którymi znajduje się izolacja termiczna. Decyzja o obustronnym ekspozowaniu ziemi ubijanej wynika z jej estetyki i wykończeniowych walorów. W celu uniknięcia kondensacji międzywarstwowej, zaleca się stosowanie izolacji o wysokim oporze dyfuzyjnym lub układu izolacji termicznej i warstwy paroszczelnej, mocowanej od wewnętrznej strony tej izolacji.

Z uwagi na układ warstw, trwałość przegrody w klimacie Polski zależy przede wszystkim od odporności na cykliczne działanie mrozu, jako że w kraju występuje duża liczba dni z przymrozkami. Zapewnienie bezpiecznej odporności wymaga zastosowania minimum 9 proc.

dodatku cementu oraz odpowiedniego uziarnienia. Mieszanka o takim składzie spełnia również inne kryteria trwałościowe, do których należą rozmiękanie i skurocz materiału.

Grunt stosowany w technologii ziemi ubijanej

Zawartość substancji organicznych

Pierwszym etapem w technologii ziemi ubijanej jest ocena, czy dostępny w danej lokalizacji grunt nadaje się do budowy. Ziemia wydobyta z głębokości mniejszej niż 40 cm zazwyczaj zawiera materię roślinną i próchnicę (produkt rozkładu roślin), które składają się głównie z cząstek koloidalnych i są kwaśne (wartość pH mniejsza niż 6). Ziemia jako materiał budowlany powinna być wolna od próchnicy i materii roślinnej. Wierzchnią warstwę gruntu, humus, zdejmuje się i składowe w bocznym miejscu na placu budowy, gdyż po jej zakończeniu posłuży do utworzenia terenów zielonych w otoczeniu budynku. Głębsze warstwy gruntu muszą zostać sprawdzone na zawartość związków organicznych, które mogłyby być przyczyną korozji biologicznej. Istnieje wiele polowych metod wyznaczania zawartości substancji organicznej w gruncie.

Dostępne są przenośne zestawy testowe, które pozwalają na szacowanie zawartości materii organicznej poprzez proste reakcje chemiczne. Metody te mogą dostarczyć przybliżonych informacji o zawartości materii organicznej w glebie na miejscu.

Współcześnie stosuje się również przenośne



Zdjęcie 1. Badanie składu chemicznego gruntu przenośnym spektrometrem rentgenowskim

analizatory gruntu, wykorzystujące różne techniki pomiarowe, takie jak fluorescencja rentgenowska, pomiary przewodności elektrycznej, czy spektroskopia widzialna i bliskiej podczerwieni do oszacowania zawartości substancji organicznej w gruncie. Każda z tych metod ma swoje unikalne zastosowania, ale również określone ograniczenia.

Dla dokładniejszych wyników można wykonać w laboratorium prosty test straty przy prażeniu. Polega on na ogrzewaniu próbki gruntu do określonej temperatury w celu spalania substancji organicznych. Następnie porównuje się masę próbki przed i po ogrzewaniu, co pozwala na określenie zawartości substancji organicznej w gruncie. Inną metodą laboratoryjną jest metoda Walkleya-Blacka. Polega ona na oksydacji substancji organicznej za pomocą roztworu dichromianu potasu w środowisku kwasu siarkowego. Oznaczenie ilościowe substancji organicznej odbywa się poprzez pomiar ilości niewykorzystanego dichromianu potasu. Większość metod laboratoryjnych wymaga odpowiedniej kalibracji oraz standardowych próbek referencyjnych, aby wyniki były wiarygodne i porównywalne. Jednakże wymienione wyżej metody, stosowane terenowo, pozwalają bezpiecznie określić zawartość substancji organicznej w gruncie.

Uziarnienie

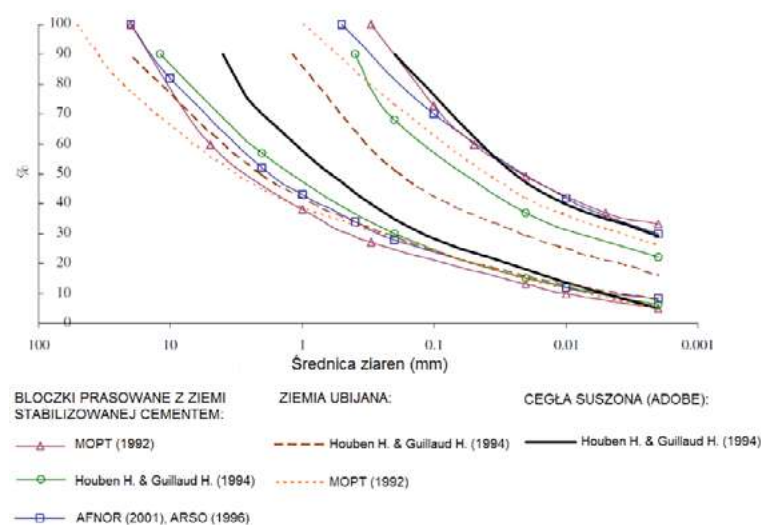
Uziarnienie mieszanki ziemi stanowi jej podstawową cechę, determinującą zarówno trwałość jak i wytrzymałość mechaniczną materiału. Na Rysunku 1. pokazano rekomendowane obszary uziarnienia dla popularnych materiałów wykorzystujących ziemię. Brązową i pomarańczową linią przerywaną zaznaczono rekomendowane obszary uziarnienia, dotyczące ziemi ubijanej bez dodatku spoiw. W technologii ziemi ubijanej niestabilizowanej stosuje się zwiększoną zawartość frakcji iłowej, która pełni rolę naturalnego spoiwa. Taka technologia nie jest jednak możliwa do zastosowania jako zewnętrzna warstwa przegrody zewnętrznej w klimacie umiarkowanym ze względu na trwałość materiału [1]. W przeglądzie literatury naukowej [2] podano, że w przypadku

stabilizowania ziemi ubijanej dodatkiem cementu, ilość frakcji iłowej i pyłowej powinna wynosić łącznie 25-40 proc., zaś frakcji piaskowej i żwirowej od 65-75 proc.

Mimo że stabilizacja wiąże się z dodatkiem niewielkiej ilości cementu, przegrody z ziemi ubijanej wciąż stanowią jeden z najbardziej zrównoważonych konstrukcyjnych materiałów budowlanych. Uzyskuje on najwyższą klasę A+ mierzoną metodą klasyfikacji BREEAM, świadcząca o bardzo wysokiej ocenie w zakresie zrównoważonego rozwoju. Należy dodać, że zrównoważony materiał budowlany, poza kwestiami ekologicznymi, musi również spełniać wymagania w zakresie bezpieczeństwa. Dlatego też rekomenduje się ten kilkuprocentowy dodatek cementu.

Dodatki stabilizujące

Decyzję o zastosowaniu stabilizacji spoiwem należy podjąć na podstawie warunków środowiskowych, w jakich ma znajdować się projektowany budynek z ziemi ubijanej oraz potrzeb związanych z jego wytrzymałością mechaniczną. W warunkach klimatu umiarkowanego, użycie stabilizatorów jest kluczowe dla zapewnienia trwałości zewnętrznej warstwy ziemi ubijanej, co jest istotne dla ochrony przed negatywnym



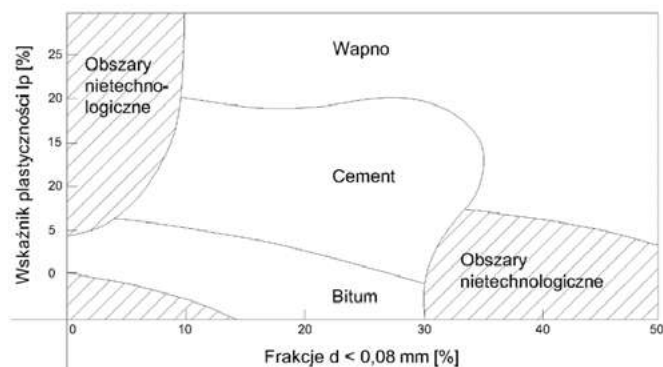
Rysunek 1. Granice obszarów rekomendowanego uziarnienia mieszanki ziemnej używanej w różnych technologiach budowy z ziemi, w tym ziemi ubijanej bez dodatku spoiw [3]



Rysunek 2. Efekt długotrwałego działania wody na próbkę ziemi ubijanej nie stabilizowanej dodatkowym spoiwem. Po lewej próbka przed zanurzeniem w wodzie; po prawej próbka po 30 minutowej ekspozycji w wodzie [4]

wpływem wody i mrozu (Rysunek 2). Najczęściej do ziemi stosuje się stabilizatory takie jak cement, wapno czy emulsje bitumiczne [5]. Wybór odpowiedniego stabilizatora powinien zależeć od granulacji i plastyczności mieszanki. Zgodnie z australijską normą dotyczącą ziemi ubijanej [6], zaleca się używanie niehydraulicznego wapna dla gruntów spoistych, a hydraulicznych spoiw (takich jak cement) oraz emulsji bitumicznych dla gruntów sypkich.

Decyzję o zastosowaniu stabilizacji spoiwem należy podjąć na podstawie warunków środowiskowych, w jakich ma znajdować się projektowany budynek z ziemi ubijanej oraz potrzeb związanych z jego wytrzymałością mechaniczną. W warunkach klimatu umiarkowanego, użycie stabilizatorów jest kluczowe dla zapewnienia trwałości zewnętrznej warstwy ziemi ubijanej, co jest istotne dla ochrony przed negatywnym wpływem wody i mrozu (Rysunek 2). Najczęściej do ziemi stosuje się stabilizatory takie, jak cement, wapno czy emulsje bitumiczne [5]. Wybór odpowiedniego stabilizatora powinien zależeć od granulacji i plastyczności mieszanki. Zgodnie z australijską normą dotyczącą ziemi ubijanej [6], zaleca się używanie niehydraulicznego wapna dla gruntów spoistych, a hydraulicznych spoiw takich, jak cement oraz emulsji bitumicznych dla gruntów sypkich. Wykres przedstawiający zalecenia dotyczące wyboru stabilizatorów w zależności od plastyczności i udziału ziaren mniejszych niż 0,08 mm można znaleźć na Rysunku 3.



Rysunek 3. Kryteria wyboru stabilizatorów z uwzględnieniem właściwości ziemi [7]

Wilgotność mieszanki ziemi

Wilgotność mieszanki ziemi z dodatkiem cementu powinna być równa wilgotności optymalnej uzyskanej dla takiej mieszanki. Jest to ilość wody w mieszance, przy której osiąga ona największą gęstość objętościową. Zarówno niedobór, jak i nadmiar wody, mogą utrudnić osiągnięcie odpowiedniego zagęszczenia, co może prowadzić do osiadania gruntu, zmniejszenia jego nośności i w konsekwencji do problemów z trwałością i bezpieczeństwem konstrukcji.

Wilgotność optymalna jest parametrem indywidualnym dla mieszanki z każdego gruntu oraz charakterystycznym dla danej technologii zagęszczania. W celu jej ustalenia rekomenduje się wykonanie prostego pomiaru, możliwego do realizacji w warunkach budowy. Polega on na przygotowaniu mieszanki ziemi z założonym dodatkiem cementu i wykonaniu kilku próbek w niedużych formach (zagęszczanych w sposób przewidziany dla całych przegród). Następnie należy zważyć próbki – te charakteryzujące się największą masą stanowią najlepsze rozwiązanie (charakteryzują się największą gęstością). Dodatkowym atutem powyższego rozwiązania jest uwzględnienie, że grunt pozyskiwany z terenu do wykonania mieszanki ma pewną naturalną wilgotność, zależną od aktualnych warunków atmosferycznych na placu budowy. Suszenie gruntu do stałej masy, by dalej dolewać do niego wodę dla wyznaczenia optymalnej jej ilości wody w mieszance w warunkach budowy nie jest opłacalne czasowo i ekonomicznie.

Metoda wznoszenia ścian w ziemi ubijanej

Metoda wznoszenia prostej, jednowarstwowej ściany z ziemi ubijanej pokazana została na Rysunku 4. Jest to przykład konstrukcyjnej ściany wewnętrznej, bez izolacji termicznej. Prace rozpoczyna się od zbadania uziarnienia i składu mineralnego lokalnie dostępnego gruntu. Grunt jest również oceniany pod kątem zawartości substancji organicznej. Te prace należy wykonać wcześniej, aby możliwe było zaprojektowanie mieszanki ziemi. Nawet jeśli grunt nie jest z zakresu rekomendowanego uziarnienia ze względu na zbyt dużą zawartość frakcji ilowej lub pyłowej, możliwa jest jego korekta, najczęściej poprzez dodanie piasku.

Po przygotowaniu kruszywa dodaje się stabilizator. W klimacie umiarkowanym rekomenduje się cement CEM I 42.5R. Jego bezpieczna ilość to 9 proc. masy suchej mieszanki gruntowo-cementowej [8], chociaż ściana wewnętrzna może zawierać znacznie mniej stabilizatora, zależy to od wymaganej wytrzymałości na ściskanie (opis w dalszej części rozdziału). Dla przygotowanej mieszanki ziemi z cementem wyznacza się wilgotność optymalną. Jest to możliwe i rekomendowane w warunkach budowy. Następnie na wykonanych betonowych fundamentach ustawiane jest deskowanie, w którym układa się mieszankę. Wznoszenie ściany następuje poprzez jej ubijanie warstwami o wysokości ok. 20-30 cm. Najbardziej wydajne czasowo jest używanie w tym celu ubijaków pneumatycznych (widocznych na Zdjęciu 2), można jednakże użyć także tradycyjnych, ręcznych ubijaków niezmechanizowanych.

Chociaż w wielu źródłach podkreśla się, że rozformowanie gotowej ściany może nastąpić zaraz po jej wykonaniu, rekomenduje się odczekanie jednej doby. Wzrost wytrzymałości na ściskanie przegrody będzie następował w długim okresie, jednakże po jednej dobie ziemia ubijana zawierająca cement uzyskuje wytrzymałość wynoszącą kilka MPa, co pozwala na jej obciążenie. Najlepiej odczekać nieco dłużej, by zapewnić ochronę przed opadami atmosferycznymi i nadmiernym nasłonecznieniem. Otwory okienne i drzwiowe należy

wykonywać w trakcie formowania ścian.

W technologii ziemi ubijanej unika się nadproży, gdyż istotnie zaburzają one efekt wizualny, szczególnie w linii elewacji (Zdjęcia 3). Otwory okienne i drzwiowe projektuje się najczęściej na całą wysokość kondygnacji. Możliwe jest jednak wykonywanie nadproży monolitycznych z ziemi ubijanej zbrojonych stalą, jak ma to miejsce w przypadku betonu (Zdjęcie 4). Rozwiązanie to jest jednak pracochłonne ze względu na konieczność ustawienia tymczasowej konstrukcji podpierającej ubijany fragment nad otworem. Nad nim, pomiędzy warstwami ubijanej ziemi, układa się jest zbrojenie. Nadproża wykonane w ten sposób mają ograniczone rozpiętości.



Zdjęcie 2a. Etapy wznoszenia ściany z ziemi ubijanej [9]. Transport wilgotnej mieszanki ziemi w miejsce przygotowanego deskowania



Zdjęcie 2b. Etapy wznoszenia ściany z ziemi ubijanej [9]. Ubijanie warstwy mieszanki ziemi



Zdjęcie 2c. Etapy wznoszenia ściany z ziemi ubijanej [9]. Montaż następných deskowań i ubijanie kolejnych warstw ziemi



Zdjęcie 4. Przykład nieprefabrykowanych nadproży wykonywanych na budowie podczas wznoszenia ściany z ziemi ubijanej. Szalunki podparto od spodu w trakcie ubijania warstw ziemi ubijanej, pomiędzy nimi układano zbrojenie

Źródło: <https://www.murchisonrammedearth.com.au/bindoon-rammed-earth-building/>



Zdjęcie 2d. Etapy wznoszenia ściany z ziemi ubijanej [9]. Ściana z ziemi ubijanej w trakcie rozformowywania



Zdjęcie 5. Science and Resource Centre w Lauriston Girls School, Melbourne, Australia

Źródło: <http://www.earthstructures.co.uk/>



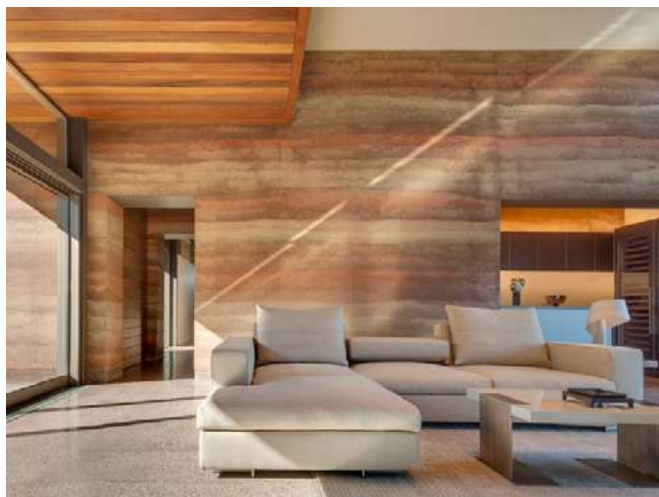
Zdjęcie 3. Wmontowane żelbetowe nadproża w ściany z ziemi ubijanej, jako przykład złych efektów wizualnych



Zdjęcie 6. Sanbaopeng Art Museum w Chinach

Źródło: <https://www.dezeen.com/2017/11/27/sanbaopeng-art-museum-dl-atelier-rammed-earth-walls-reflecting-pools-architecture-china-jingdezhen>

Źródło: <https://glsrammedearth.com/blog/rammed-earth-vs-concrete/>



Zdjęcie 7. Wnętrze budynku ze ścianą z ziemi ubijanej

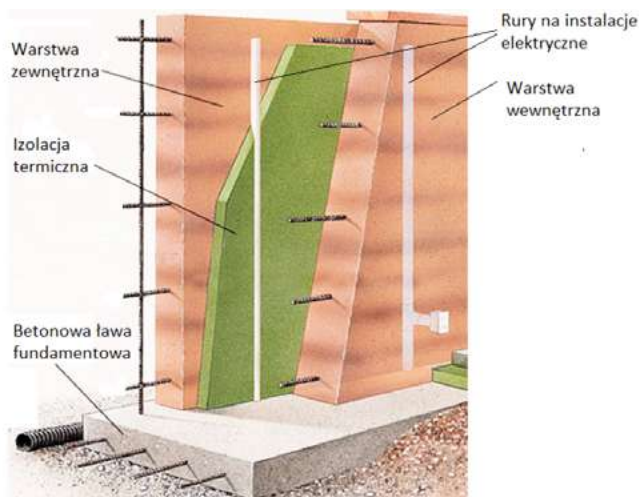
Układ warstw ściany z ziemi ubijanej

Ekspozowanie ziemi ubijanej

Decyzja o budowie z ziemi ubijanej wynika najczęściej, poza ekologią, z możliwości otrzymania unikalnego charakteru elewacji. Pomysł architektoniczny na wiele reprezentatywnych budynków wznoszonych w tej technologii jest związany z ekspozowaniem surowej ziemi (Zdjęcie 5 i 6). Jednocześnie ziemia ubijana uważana jest za wysokiej klasy wewnętrzny materiał wykończeniowy (Zdjęcie 7). Z tego powodu upowszechnił się układ warstw przegrody, w którym zarówno wewnętrzna, jak i zewnętrzna warstwa wykonane są z ziemi ubijanej, pomiędzy którymi znajduje się izolacja termiczna.

Izolacyjność termiczna przegród z ziemi ubijanej

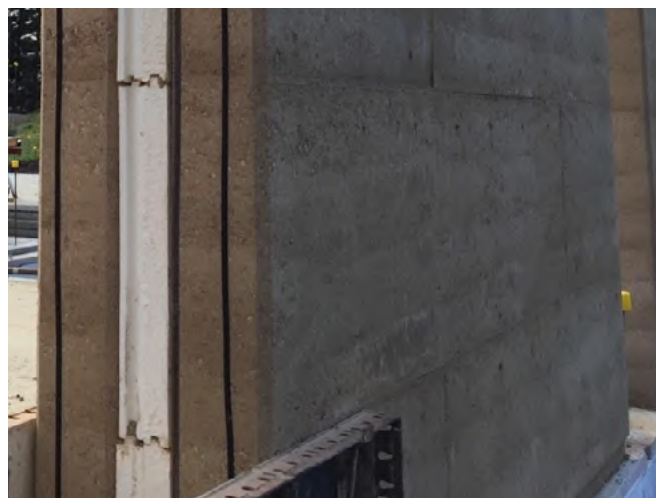
Na Rysunku 4. pokazano schemat przekroju przegrody izolowanej, zaś na Zdjęciu 8. procedurę ubijania i gotową przegrodę z widoczną warstwą izolacji termicznej. Na ilustracjach tych widoczne jest zbrojenie w warstwach ziemi ubijanej. Jego zastosowanie jest możliwe, jednak nie jest niezbędne. Ewentualne zbrojenie umieszcza się w warstwach ziemi podczas procesu ubijania, aby zapewnić równomierne rozłożenie sił i zwiększyć wytrzymałość konstrukcji. Stosuje się je zwłaszcza w regionach, gdzie występują duże siły sejsmiczne lub przy większych budynkach. Zastosowanie techniki rammed earth bez zbrojenia jest odpowiednie dla budynków mieszkalnych jednorodzinnych.



Rysunek 4. Schemat budowy wielowarstwowej ściany z ziemi ubijanej z izolacją węgelną, proponowany przez jedną z firm wykonawczych



Zdjęcie 8a. Ubijanie ziemi w deskowaniu z izolacją termiczną



Zdjęcie 8b. Gotowa przegroda

Nośność przegród z ziemi ubijanej

Czynniki wpływające na wytrzymałość mechaniczną

Wytrzymałość na ściskanie jest kluczową własnością materiałów konstrukcyjnych. W przypadku ziemi ubijanej stabilizowanej istnieje bardzo dużo czynników, które wpływają na jej wartość. Kluczowy jest omówiony wcześniej skład mieszanki – uziarnienie, dodatek cementu i ilość wody. Optymalna wilgotność mieszanki podczas ubijania jest krytyczna dla uzyskania zakładanej wytrzymałości. Zarówno zbyt suchy, jak i zbyt mokry materiał, mogą prowadzić do słabszego zagęszczenia. Ponadto ważny jest proces ubijania – im lepiej ubita mieszanka, tym większa jej gęstość i wytrzymałość na ściskanie. Do wznoszenia ścian zwykle używa się mechanicznych, ubijaków choć możliwe jest również stosowanie tradycyjnych, co wiąże się dłuższym procesem ubijania. Przy zagęszczaniu ważna jest również technika warstwowania. Nierównomierne warstwy lub niewystarczające spajanie mogą prowadzić do słabych punktów w strukturze. Warstwy ziemi powinny mieć 15 cm grubości [9,10]. Podobnie jak w innych materiałach z dodatkiem cementu, wytrzymałość na ściskanie rośnie wraz z upływem czasu a także z warunkami ekspozycji, zależy m.in. od wilgotności względnej, w której ściana z ziemi ubijanej się znajduje.

Wpływ poszczególnych czynników omówiono krótko poniżej. Wyniki prezentowane są dla próbek z mieszanek o uziarnieniu gruntu przedstawionym na Rysunku 17. Są to przykładowe mieszanki i nie jedyne do zastosowania w technologii ziemi ubijanej. Celem było przedstawienie wyników dla mieszanki z zakresu rekomendowanego uziarnienia (grunt 433) zaproponowanego w książce *Earth Construction: A Comprehensive Guide*, oraz spoza tego zakresu (grunt 703). Symbole 703 oraz 433 oznaczają proporcje masowe frakcji: piaskowej, żwirowej oraz pyłowej z łąką w danym gruncie. Przykładowo symbol 433 oznacza, że grunt składa się w 40 proc. z piasków, 30 proc. z żwirów i 30 proc. łąk z pyłami. Obydwa grunty charakteryzowały się tym samym składem mineralnym, dzięki czemu możliwe było ustalenie wpływu pojedynczych,

przedstawionych w dalszej części, czynników charakteryzujących wytrzymałość na ściskanie.

Cel pokazania mieszanki spoza zakresu rekomendowanego uziarnienia wynika z kilku względów. Po pierwsze, grunt pozyskiwany bezpośrednio z placu budowy może nie zawierać żwirów. Mimo to jego właściwości są często wystarczające do zastosowania w technologii ziemi ubijanej w Polsce, w przypadku ścian wewnętrznych, na którą nie oddziałują bezpośrednio warunki atmosferyczne (problem trwałości zostanie omówiony w dalszym rozdziale). Ponadto często inwestorzy budowlani oraz architekci dążą do stosowania gruntu bez frakcji żwirowej ze względów wizualnych. Ziemia ubijana bez zawartości żwiru daje wrażenie skały metamorficznej z charakterystycznym żyłkowaniem – unikalnymi subtelnymi lub wyrazistymi wzorami. Wzory te wynikają z technologii ubijania warstwami gruntu, do którego może być dodawany pigment. Układ kolorów może być także efektem składu mineralnego gruntu.

Współcześnie opracowywane są narzędzia sztucznej inteligencji, wykorzystujące sztuczne sieci neuronowe, które pozwalają projektantom na precyzyjne prognozowanie wytrzymałości na ściskanie ziemi ubijanej z gruntu pozyskanego bezpośrednio z budowy [11]. Dzięki temu możliwe jest upowszechnianie technologii wykorzystywania gruntu z budowy, jako że nie ma konieczności dostosowywania składu gruntu pod konkretną krzywą uziarnienia podaną w literaturze.

Dodatek cementu

Większa ilość cementu w mieszance istotnie zwiększa wytrzymałość na ściskanie ziemi ubijanej. Zależność będzie ona od warunków dojrzewania elementów. Wyniki uzyskane laboratoryjnie na próbkach sześciennych 100x100x100 mm, sezonowanych w warunkach bardzo wysokiej i niskiej wilgotności przez 28 dni, pokazano na Rysunku 6. Warto zaznaczyć, że nawet serie nie zawierające cementu charakteryzowały się wytrzymałością wynoszącą od 2,4 do 2,9 MPa. Dla porównania, wytrzymałość na ściskanie bardzo popularnego w Polsce betonu komórkowego, w zależności od jego gęstości mieści się

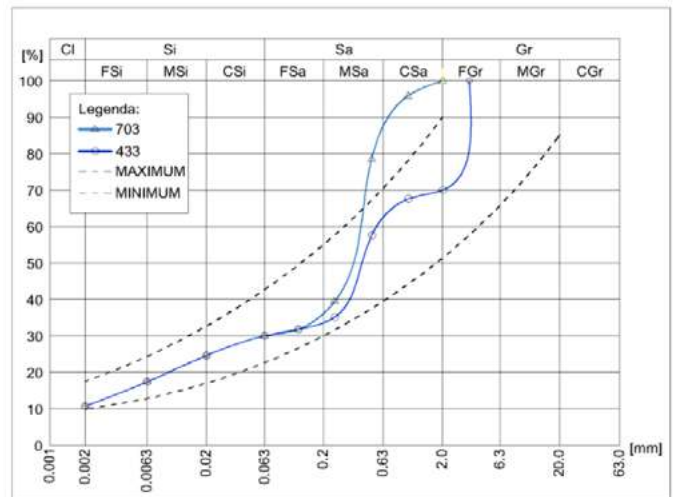
w zakresie od 2,0 MPa do 4,0 MPa (klasy wytrzymałości wg normy PN-EN 771-4 w zależności od gęstości materiału). Należy jednak dodać, że beton komórkowy o niskiej gęstości charakteryzuje się również dobrą izolacyjnością termiczną (współczynnik przewodzenia ciepła 0,07 do 0,10 W/m*K). Zastosowanie dodatku stabilizacyjnego w technologii ziemi ubijanej pozwala na uzyskanie wysokich wartości wytrzymałości na ściskanie, co umożliwia wznoszenie wielokondygnacyjnych budynków.

Wilgotność mieszanki

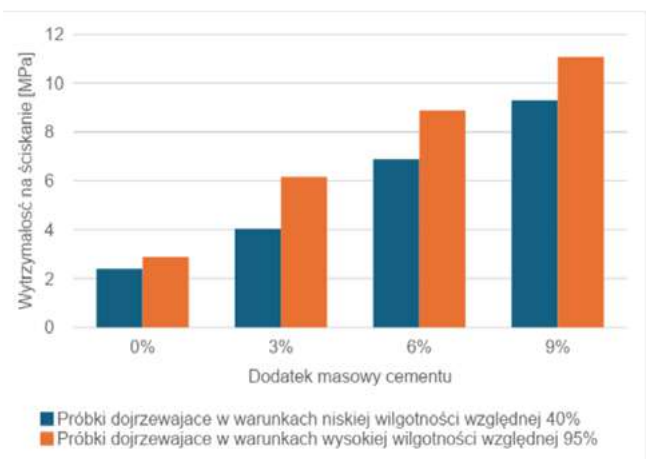
Obok dodatku stabilizującego i uziarnienia, wilgotność jest kluczowym elementem decydującym o trwałości materiału. Nawet nieduża zmiana w tym zakresie może powodować istotną zmianę w parametrach wytrzymałościowych. Zmiany te dla gruntu zawierającego frakcję żwirową (433) pokazano na Rysunku 7. Warto zauważyć, że już przy wilgotności o 2 proc. od niej niższej lub wyższej uzyskuje się istotnie niższe wartości.

W normie nowozelandzkiej NZS.4298.1998, dotyczącej technologii ziemi ubijanej, podano metodę sprawdzenia, czy mieszanka ziemi przeznaczona do budowy ma właściwą wilgotność (Rysunek 8.). Metoda polega na uformowaniu w dłoni kuli z mieszanki ziemi, upuszczenia jej na równą powierzchnię z wysokości 1,5 m i oceny wilgotności na podstawie sposobu jej rozpadu:

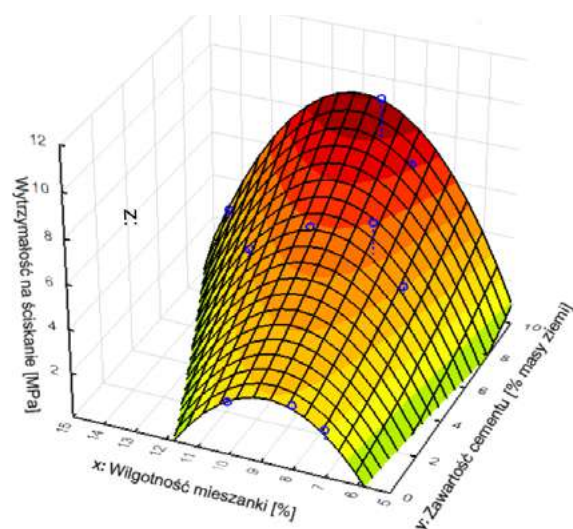
- wilgotność mieszanki ziemi niższa od wilgotności optymalnej – kula rozpada się na bardzo dużą ilość drobnych fragmentów;
- wilgotność optymalna lub zbliżona do wilgotności optymalnej – kula rozpada się na kilka dużych fragmentów;
- wilgotność wyższa od wilgotności optymalnej – kula po upadku nie rozpada się na mniejsze fragmenty.



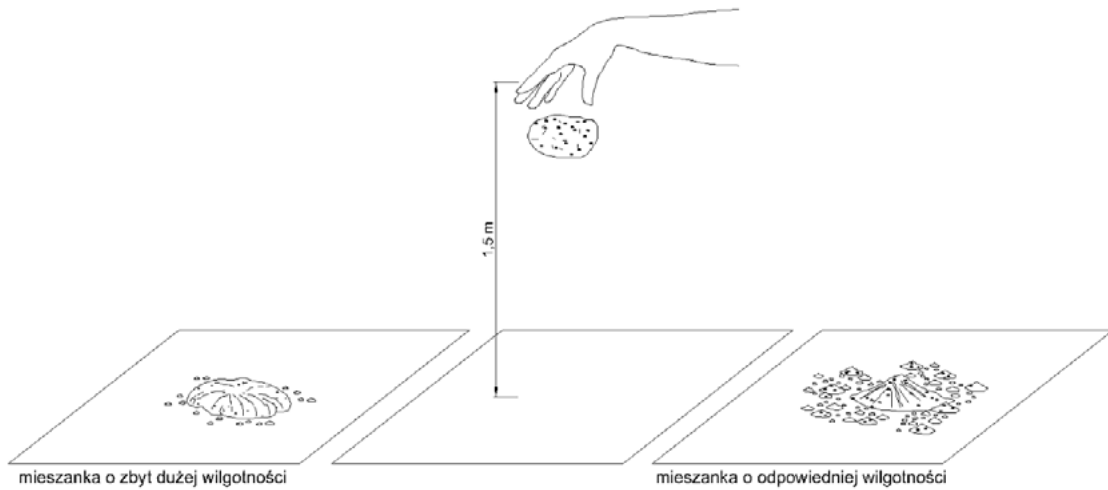
Rysunek 5. Krzywe uziarnienia dla których przedstawiono wpływ innych czynników na wytrzymałość mechaniczną i trwałość ziemi ubijanej. Minimum i maximum - graniczne krzywe rekomendowanego uziarnienia zgodnie z [7].



Rysunek 6. Wytrzymałość na ściskanie próbek ziemi ubijanej z mieszanki 433 po 28 dniach sezonowania w różnych warunkach wilgotnościowych [1,12]



Rysunek 7. Wytrzymałość na ściskanie w funkcji zawartości cementu i wilgotności mieszanki ziemi z gruntu 433 [1]



Rysunek 8. Badanie wilgotności mieszanki ziemi w warunkach terenowych – schemat badania spadającej kuli z normy NZS.4298.1998.

Przykładowe zastosowanie powyższej metody dla mieszanek ziemi z gruntu o uziarnieniu 433, z różną zawartością cementu i o różnych wilgotnościach, pokazano graficznie w Tabeli 2. Choć jest to dobra metoda weryfikacyjna, nie sprawdza się dla wszystkich gruntów i ocena wilgotności nie powinna być wykonywana tylko na jej podstawie.

Czas dojrzewania

Charakter zmiany wytrzymałości na ściskanie ziemi ubijanej stabilizowanej cementem w czasie pokazano na Rysunku 9. W przeciwieństwie do betonu, po 28 dniach dojrzewania wytrzymałość wciąż intensywnie rośnie. Ponadto warto podkreślić, że materiał ten już po pierwszym dniu

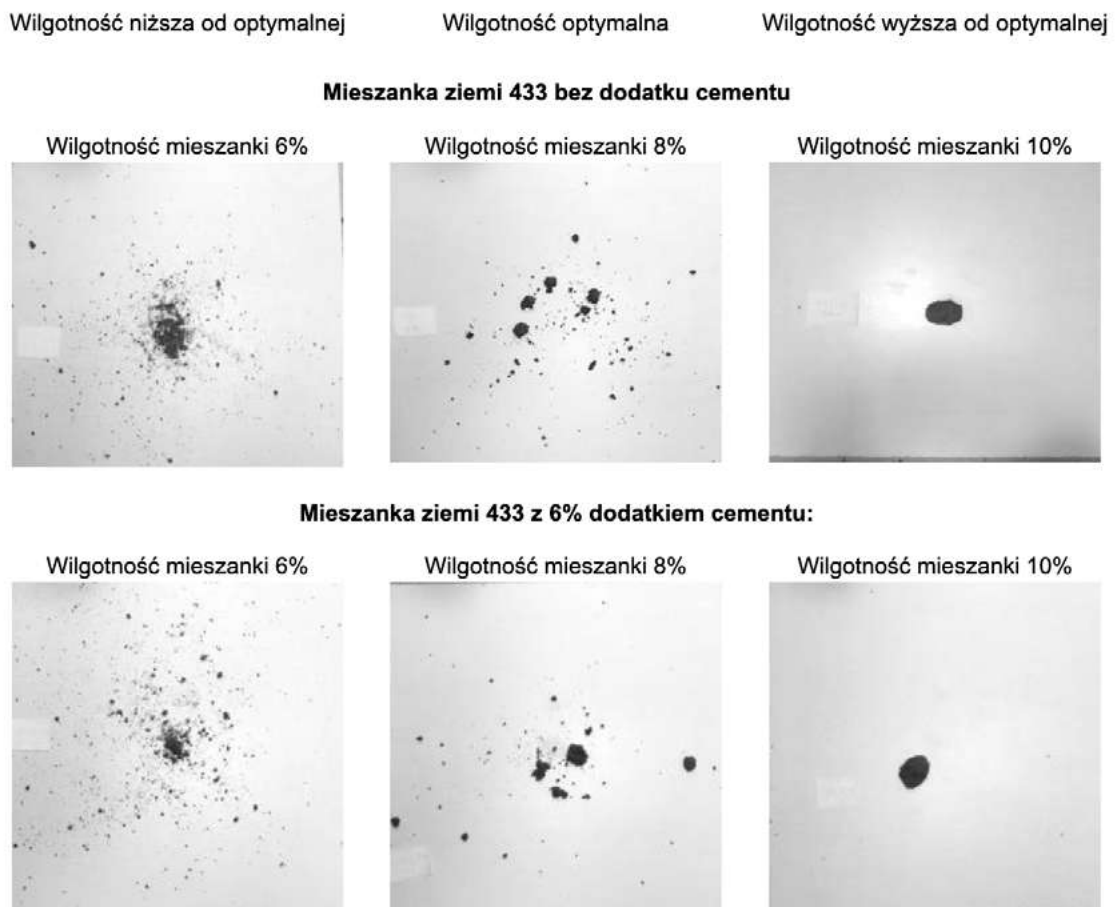


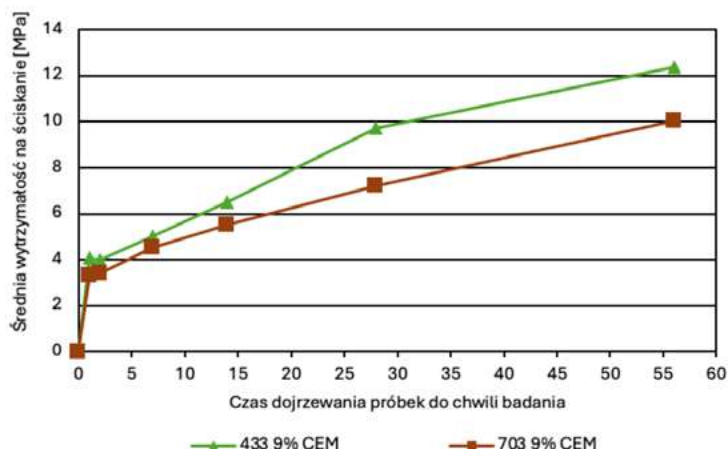
Tabela 1. Wyniki badań metodą upadku kuli [1]

dojrzwania osiąga wytrzymałość na ściskanie umożliwiającą dalsze etapy prac budowlanych, obciążających element z ziemi ubijanej. Próbkę po jednodniowym dojrzwaniu w warunkach bardzo wysokiej wilgotności względnej (ok. 95 proc.), a więc mniej korzystnych, osiągnęły średnią wytrzymałość na poziomie 3,5-4,0 MPa, w zależności od mieszanki. Choć badania przedstawiają wyniki po jednym dniu dojrzwania, przewagą ziemi ubijanej nad betonem jest możliwość rozformowania przegrody z niej wzniesionej zaraz po jej uformowaniu, gdy zaistnieje taka konieczność.

Wpływ składu mineralnego

Często pomijanym problemem w opisie zarówno technologii ziemi ubijanej jak i wszystkich innych technologii budowy z wykorzystaniem gliny jest brak uwzględniania wpływu składu mineralnego na uzyskiwane właściwości materiałowe. O ile w przypadku betonów skład mineralny jest prosty do ustalenia, o tyle w materiałach budowlanych z gliny może występować bardzo dużo minerałów ilastych poprawiających lub pogarszających ich właściwości. Jako ilaste klasyfikuje się zwykle 15 minerałów, które należą do czterech głównych grup: kaolin, illit, smektyt i palygorskit [13]. Pierwsze trzy grupy to najczęściej występujące minerały ilaste w glebach [14]. Kaolinit jest najbardziej rozpowszechnionym minerałem w grupie kaolinu, Illit w grupie Illitu, a beidellit i montmorylonit w grupie smektytów. Poszczególne minerały różnią się zdolnością do absorpcji wody – największą ma grupa smektytów, zwłaszcza montmorylonit. Wymienione minerały istotnie zmieniają kolorystykę mieszanek ziemi ubijanej (Rysunek 10).

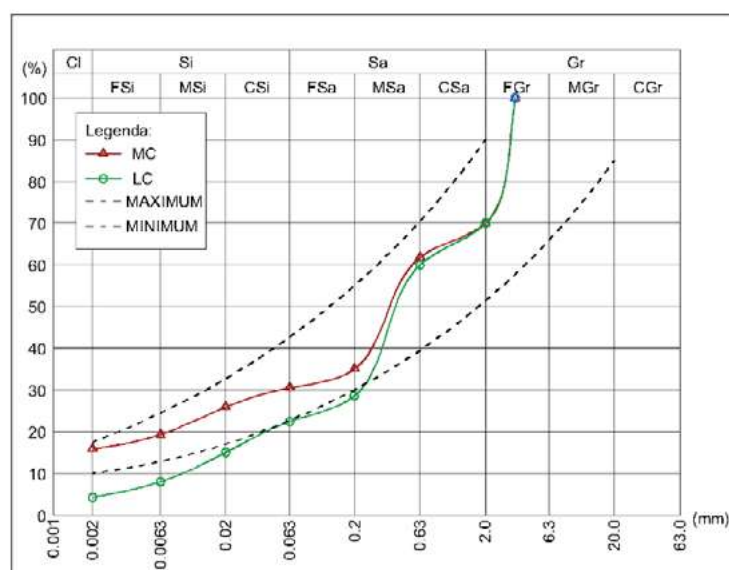
Aby wykazać wpływ minerałów na właściwości mieszanki, przedstawiono wyniki wytrzymałościowe z publikacji [53], uzyskane dla mieszanek zawierających dwa różne uziarnienia - małą (LC) i dużą (MC) frakcję ilastą (Rysunek 11). Dla każdej z mieszanek przygotowano inny skład mineralny - nazwy mieszanek i zawartość minerałów podano w Tabeli 2. Mieszanki te zawierały najbardziej popularne minerały,



Rysunek 9. Wytrzymałość na ściskanie w zależności od okresu dojrzwania próbek [1]



Rysunek 10. Próbkę ziemi ubijanej gruntów o różnym uziarnieniu [15]



Rysunek 11. Uziarnienie gruntów zastosowany w badaniach wytrzymałości na ściskanie [52]

Symbol mieszanki	Montmorylonit [%]	Beidelit [%]	Kaolinit [%]	Illit [%]	Geotyt [%]	Syderyt [%]	Kalcyt [%]	Substancja organiczna [%]	Kwarc i inne [%]	Zawartość wody [%]
LC II		2,6	0,4	0,8	0,3		6,8	0,2	88,9	7
LC VII		2,3	1,2		0,8	0,7		0,3	94,6	
LC XI		1,8	0,4	2,7		0,5			94,6	
MC III		6,6	1,9		0,9		13,1	0,1	77,3	8
MC IV			21,8		0,3			0,1	77,8	
MC V			21,1					0,1	78,7	
MC X	3,0	4,1	6,9	2,9		1,1		0,4	81,7	

Tabela 2. Składy mineralne mieszanek glebowych podane w procentach. Tabela przedstawia również procentowe dodatki wody [52].

występujące w gruntach w Polsce. Ze względu na różnice w zawartości mineralnej, poszczególne mieszanki charakteryzowały się różną wilgotnością optymalną. Dla mieszanki z małą ilością minerałów ilastych, przy zastosowaniu wysokiej 9 proc. stabilizacji cementem, uzyskano podobne wyniki. Wraz ze wzrostem minerałów silnie pęczniejących, w szczególności przy zawartości montmorylonitu, bardzo mocno spada wytrzymałość mechaniczna.

Choć rozrzut wyników może wydawać się niepokojący, ziemia ubijana stabilizowana cementem jest materiałem o przewidywalnych właściwościach wytrzymałościowych. Niestety, nie każdy grunt nadaje się do zastosowania w technologii ziemi ubijanej, a informacja o typie gruntu (ogólne określenie uziarnienia według geotechnicznej PN-EN ISO 14688-2:2006) jest niewystarczająca. Kluczem do bezpiecznego projektowania jest określenie składu mineralnego (lub analogicznie składu chemicznego), co często jest pomijane w opracowywanych wytycznych projektowych dotyczących ziemi ubijanej. Dużo badań naukowych wykonanych na świecie dostarczyło szerokiej bazy danych pozwalającej na prognozowanie cech ziemi ubijanej z wysokim poziomem ufności [11,16,17].

Oporność na działanie mrozu

Wśród zjawisk pogodowych mających szczególnie destruktywny wpływ na trwałość ziemi ubijanej jest zjawisko cyklicznego zamarzania i odmrażania. Znaczącym czynnikiem jest odporność na wodę, w szczególności zjawisko powtarzającego się zawilgocenia i wysychania

powierzchni materiału, które może powodować jego stopniowe niszczenie. Innymi kryteriami podawanymi w literaturze i normach są skurcz, stosunek wytrzymałości na ściskanie w stanie mokrym do suchego, odporność na erozję wodną pod wpływem strumieni wody pod ciśnieniem.

W pracach [1,8] porównano wpływ powyższych różnych metod oceny trwałości, które podaje się w literaturze i normach na całym świecie. Na tej podstawie ustalono, że największy wpływ na trwałość ziemi ubijanej ma odporność na cykliczne zamrażanie i rozmrażanie materiału. Jeśli warstwa ziemi ubijanej ma bezpośredni kontakt z środowiskiem zewnętrznym, mieszanka ziemi musi charakteryzować się gruntem o odpowiednim uziarnieniu, składzie mineralnym, a także posiadać minimum 9 proc. dodatek cementu (CEM I 42.5R).

Rekomenduje się przeprowadzenie badań w oparciu o normę PN-B-06250:1988, stawiając wymaganie, by ziemia ubijana uzyskała stopień mrozoodporności F25. To oznacza, że po 25 cyklach zamrażania i odmrażania próbki wykazują:

- ubytek masy w stosunku do próbek porównawczych nie przekraczający 5 proc;
- spadek wytrzymałości w stosunku do próbek porównawczych nie większy niż 20 proc. Próbki porównawcze formowane są razem z próbkami poddanymi mrożeniu, z tym, że po 28 dniach są dalej sezonowane w warunkach wysokiej wilgotności względnej, podczas gdy próbki mrożone zaczynają być poddawane cyklicznemu mrożeniu i rozmrażaniu.

Na Rysunku 13. pokazano wynik badania

mrozoodporności na próbkach z mieszank 433 i 703 z 9 proc. dodatkiem cementu. Jak widać, próbka z mieszanki 703 uległa erozji (ubytek masy 6,4 proc.), podczas gdy próbka z mieszanki 433 wykazała trwałość (ubytek 2,5 proc.). W przeprowadzonym następnie badaniu wytrzymałości na ściskanie, seria 433 uzyskała niski 6 proc. spadek wytrzymałości na ściskanie.

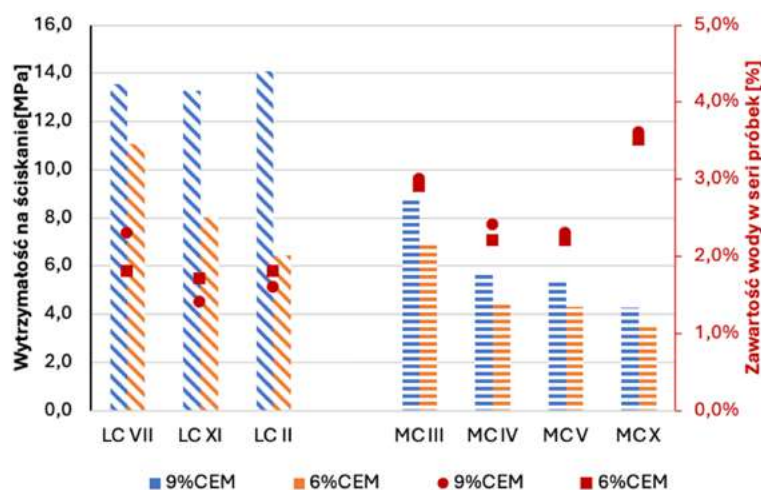
Przyjęta metoda badań jest bardzo restrykcyjna. Na świecie istnieje poza tym tylko jedna norma używająca tej metody oceny trwałości ziemi ubijanej – jest to amerykańska norma ASTM D 560, w której badany jest jedynie ubytek masy po 12 cyklach mrożenia, a ocena erozji jest określana wizualnie, bez ścisłego kryterium.

Z tego powodu zewnętrzna warstwa ziemi ubijanej, choć przenosi mniej obciążeń (konstrukcja stropów opiera się na ścianie wewnętrznej, która przenosi obciążenia), ze względu na trwałość musi zawierać albo dodatek frakcji żwirowej, albo większy dodatek cementu. Wyniki badań na ten temat są obecnie również przedmiotem badań z zastosowaniem sztucznej inteligencji, by dla posiadanego gruntu wyznaczyć wymaganą stabilizację, zapewniającą odporność na działanie mrozu.

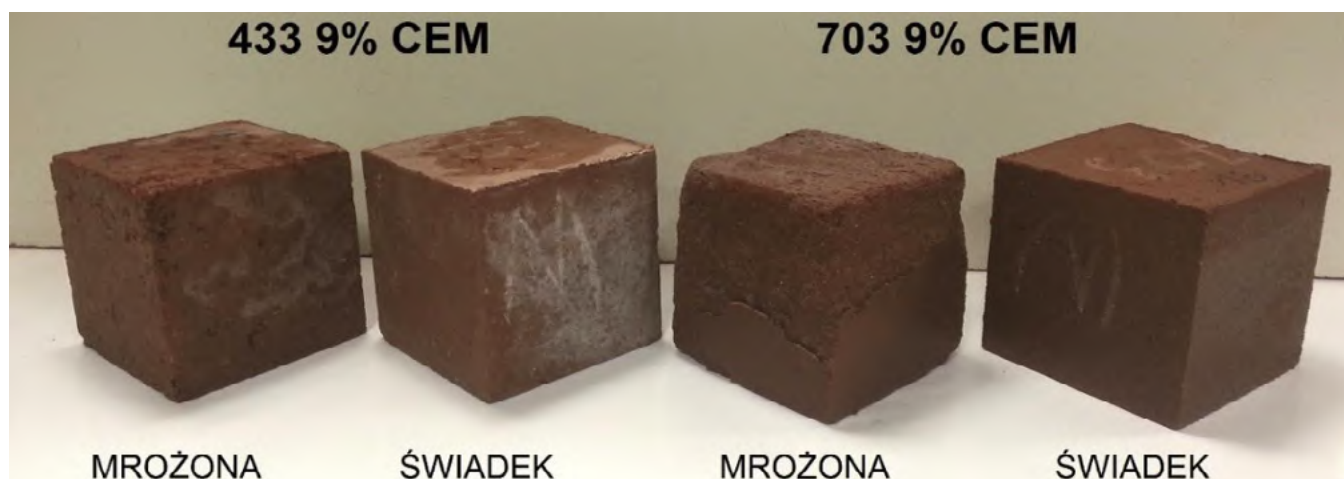
Odporność na działanie wody

Gdy ściana z ziemi ubijanej nie jest wystawiona na bezpośrednie oddziaływanie ujemnych temperatur, wymogiem, który należy przyjąć do oceny trwałości, jest współczynnik rozmiękania. Jest on definiowany jako stosunek wytrzymałości materiału w stanie suchym i w stanie

nasylenia wodą. Zniszczeniu w tym badaniu ulegają próbki niezawierające dodatku cementu, natomiast już 6 proc. stabilizacja mieszank z zakresu rekomendowanego uziarnienia gwarantuje wystarczającą trwałość określoną w taki sposób. Jako kryterium przyjmuje się stosunek średniej wytrzymałości na ściskanie próbek nasyconych do wytrzymałości próbek wysuszonych nie niższą niż 0,33 [18]. Zarówno serie z mieszank zawierające żwir w uziarnieniu, jak i bez niego, gdy zawierają już 6 proc. dodatku cementu, spełniają to kryterium (Rysunek 14).



Rysunek 12. Średnia wytrzymałość na ściskanie próbek z mieszank o dużej i małej zawartości frakcji żwirowej, oraz o innym składzie mineralnym [15]

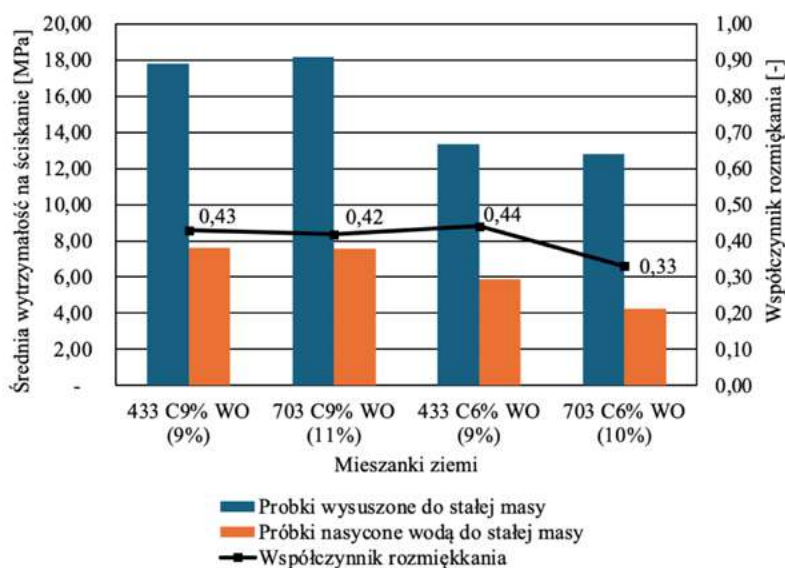


Rysunek 13. Porównanie stanu wizualnego próbek poddanych 25 cyklom mrożenia i ich próbek porównawczych [1]

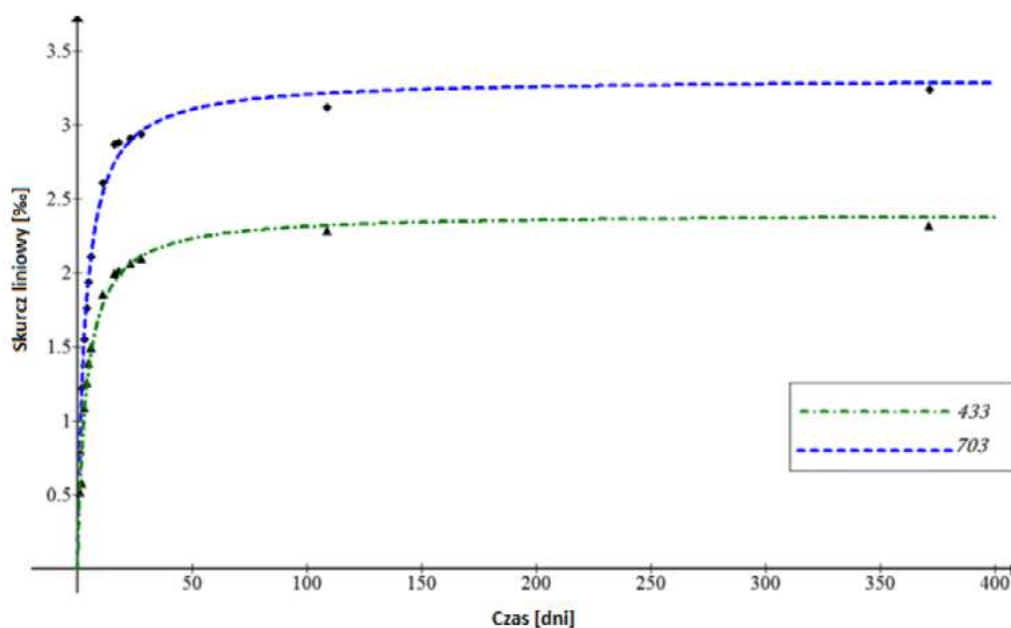
Skurcz liniowy

Kryterium trwałości pojawiającym się w wielu normach z klimatu umiarkowanego (niemieckich, brytyjskich, nowozelandzkich) jest dopuszczalny skurcz liniowy próbek. Najbardziej rygorystyczny wymóg zawiera norma NZS 4298:1998, według której skurcz po 28 dniach powinien być mniejszy niż 0,5 proc. Dla mieszanek ziemi ubijanej stabilizowanej dziewięcioprocentowym dodatkiem cementu, o wilgotności optymalnej, uzyskuje się wartości skurczu liniowego spełniające wymagania istniejących norm.

Kluczowy etap skurczowy ma miejsce w pierwszym miesiącu. Ponadto można spodziewać się, że przy właściwie wyznaczonej wilgotności optymalnej, niezależnie od warunków wilgotnościowych otoczenia, rozformowane ściany z ziemi ubijanej stabilizowanej cementem nie ulegną zbyt dużemu skurczowi.



Rysunek 14. Wartości średnich wytrzymałości na ściskanie próbek wysuszonych do stałej masy i całkowicie nasyconych wodą oraz współczynniki rozmiękania dla różnych próbek ziemi ubijanej o różnym uziarnieniu i zawartości cementu [1]



Rysunek 15. Skurcz liniowy ziemi ubijanej w funkcji wieku próbek, ich uziarnienia i wilgotności otoczenia [8]

Bibliografia

1. Narloch, P.L. Ziemia Ubijana Stabilizowana Cementem Jako Konstrukcyjny Materiał Budowlany w Klimacie Umiarkowanym, Warsaw University of Technology, 2016.
2. Maniatidis, V.; Walker, P. A Review of Rammed Earth Construction. *Dev. rammed earth UK Hous.* 2003, 109.
3. Jiménez Delgado, M.C.; Guerrero, I.C. The Selection of Soils for Unstabilised Earth Building: A Normative Review. *Constr. Build. Mater.* 2007, 21, 237–251, doi:10.1016/j.conbuildmat.2005.08.006.
4. Narloch, P.; Woyciechowski, P. Assessing Cement Stabilized Rammed Earth Durability in a Humid Continental Climate. *Buildings* 2020, 10, 1–20, doi:10.3390/buildings10020026.
5. Hall, M.R.; Najim, K.B.; Keikhaei Dehdezi, P. Soil stabilization and earth construction: materials, properties and techniques. In *Soil stabilization and earth construction: materials, properties and techniques; Woodhead Publishing Series in Energy*, 2012; pp. 222–255.
6. Walker, P.; Standards Association of Australia HB 195-2002. *The Australian Earth Building Handbook*; Sydney, Australia, 2002;
7. Houben, H.; Guillard, H. *Earth Construction: A Comprehensive Guide*; Intermediate Technology Publications, 1994; ISBN 9781853391934.
8. Narloch, P.L.; Woyciechowski, P. Durability Assessment of Monolithic Rammed Earth Walls. *Arc* 2015, LXI, doi:10.1515/ace-2015-0015.
9. Minke, G. *Building with Earth. Design and Technology of a Sustainable Architecture.* 2006.
10. Lindsay, A. Australian modern earth construction. In *Modern Earth Buildings. Materials, engineering, construction and applications*; Woodhead Publishing Limited, 2012; pp. 607- ISBN 978-0-85709-616-6.
11. Anysz, H.; Narloch, P. Designing the Composition of Cement Stabilized Rammed Earth Using Artificial Neural Networks. *Materials (Basel)*. 2019, 12, doi:10.3390/ma12091396.
12. Leon, P.; Woyciechowski, P.; Rosicki, Ł.; Cichocki, D.; Łądowej, W.I.; Warszawska, P. Ziemia Ubijana Stabilizowana Cementem Jako Materiał Konstrukcyjny – Ocena Nasiąkliwości. 2015, 22–25.
13. Punmia, B.C.; Ashou, K.J.; Arun, K.J. *Soil Mechanics and Foundations*; 16th Editi.; Laxmi Publications, 2017; ISBN 978-8170087915.
14. Venkatarama Reddy, B. V. Soil materials for earth construction: properties, classification and suitability testing. In *Modern Earth Buildings. Materials, engineering, construction and applications*; Woodhead Publishing Series in Energy, 2012; pp. 155–171.
15. Narloch, P.; Woyciechowski, P.; Kotowski, J.; Gawriuczenkow, I.; Wójcik, E. The Effect of Soil Mineral Composition on the Compressive Strength of Cement Stabilized Rammed Earth. *Materials (Basel)*. 2020, 13, doi:10.3390/ma13020324.
16. Narloch, P.; Woyciechowski, P.; Kotowski, J.; Gawriuczenkow, I.; Emilia, W. The Effect of Soil Mineral Composition on the Compressive Strength of Cement Stabilized Rammed Earth. *Materials (Basel)*. 2020, 13 (324), 1–21, doi:doi:10.3390/ma13020324.
17. Narloch, P.; Hassanat, A.; Tarawneh, A.S.; Anysz, H.; Kotowski, J.; Almohammadi, K. Predicting Compressive Strength of Cement-Stabilized Rammed Earth Based on SEM Images Using Computer Vision and Deep Learning. *Appl. Sci.* 2019, 9, 1–14, doi:10.3390/app9235131.
18. Rogala, W.; Anysz, H.; Narloch, P. Designing the Composition of Cement-Stabilized Rammed Earth with the Association Analysis Application. *Materials (Basel)*. 2021, 14, 1390, doi:10.3390/ma14061390.
19. Heathcote, K.A. Durability of Earthwall Buildings. *Constr. Build. Mater.* 1995, 9, 185–189, doi:10.1016/0950-0618(95)00035-E.

Rozdział 4

Wzornik GOZ

Jan Dowgiałło

4.1 Budownictwo mieszkalne jednorodzinne

Dom jednorodzinny w technologii staw bale

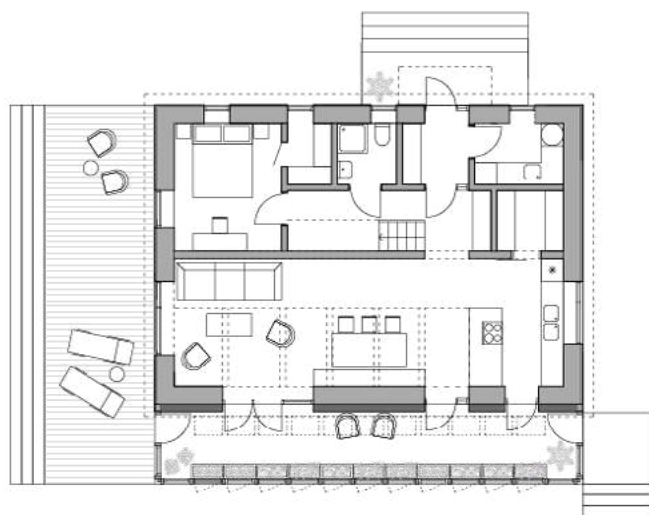
Dom o tradycyjnej, prostej i zwartej bryle, zaprojektowany z lokalnych materiałów. Konstrukcja przewidziana jako szkieletowa drewniana, dwugałęziowa, izolowana kostkami słomy. Elewacje zaproponowane w dwóch wariantach: z tynkami wapiennymi od zewnątrz lub drewniane, z desek rozbiórkowych. Ściany tynkowane wewnątrz gładką. Ścianki działowe z cegły niewypalanej.

Na parterze znajdują się kuchnia i jadalnia, otwarte na południowy salon, na piętrze mieszczą się dwie przylegające do siebie sypialnie, które można połączyć w jeden duży pokój, oraz łazienka i gabinet, służący także za pokój gościnny. Antresola otwarta na salon może pełnić funkcję biblioteki lub miejsca wypoczynku i zabawy. Pomieszczenia techniczne i łazienki nie wymagające dużych przeszkleń zlokalizowane są od północy, co pozwala zmniejszyć straty ciepła.

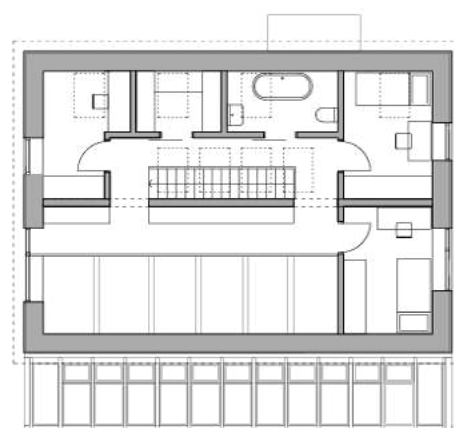
Ulokowanie okien sypialni od wschodu i zachodu pozwala na dostosowanie tych pomieszczeń do rytmu życia ich użytkowników (dom może być wybudowany w lustrzanym odbiciu, zgodnie z preferencjami mieszkańców).



przekrój



rzut parteru



rzut piętra



**4.1 Budownictwo mieszkalne
jednorodzinne**

Wariant z elewacją tynkowaną
wapnem

**4.1 Budownictwo mieszkalne
jednorodzinne**

Wariant z elewacją tynkowaną
wapnem





autor ilustracji: Jan Dowgiałło

4.1 Budownictwo mieszkalne jednorodzinne Wariant z elewacją tynkowaną wapnem

4.1 Budownictwo mieszkalne jednorodzinne

Wariant z wentylowaną elewacją
z rozbiórkowego drewna
i mniejszymi okapami

autor ilustracji: Jan Dowgiałło





**4.1 Budownictwo mieszkalne
jednorodzinne**
Wariant z wentylowaną
elewacją z rozbiórkowego
drewna i mniejszymi okapami

**4.1 Budownictwo mieszkalne
jednorodzinne**
Wariant z wentylowaną
elewacją z rozbiórkowego
drewna i mniejszymi okapami



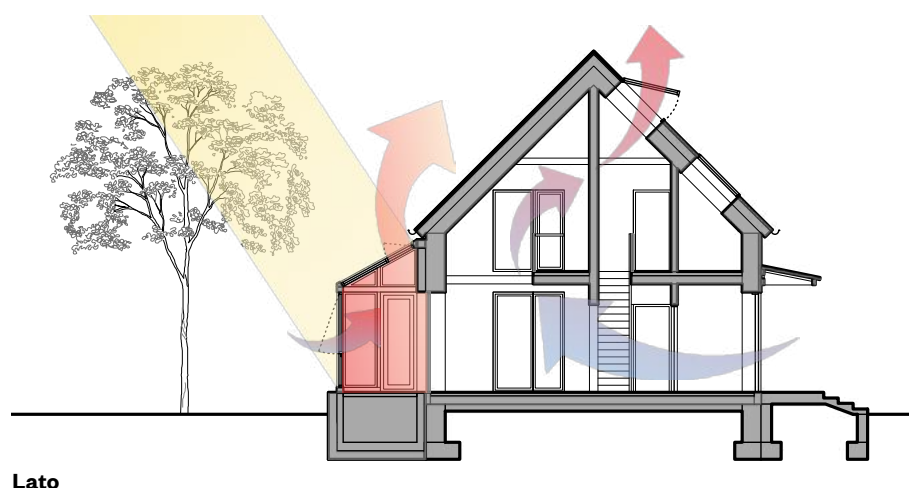
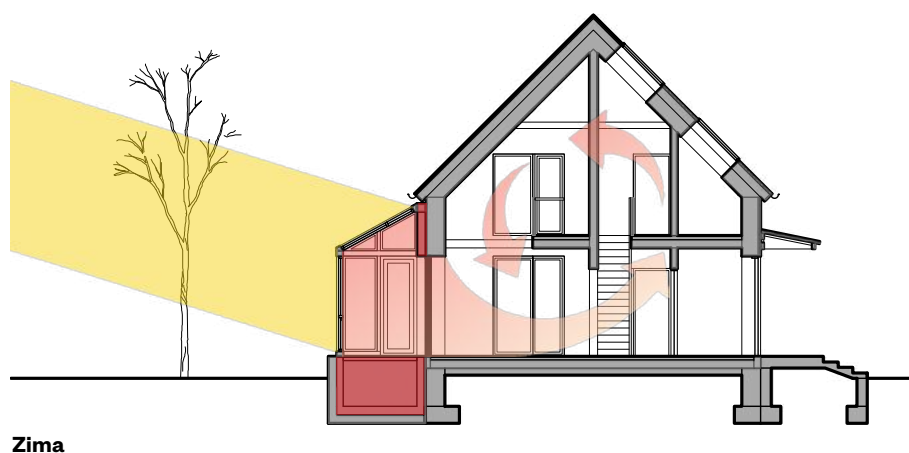
4.1 Budownictwo mieszkalne jednorodzinne

Wariant z wentylowaną
elewacją z rozbiórkowego
drewna i mniejszymi okapami

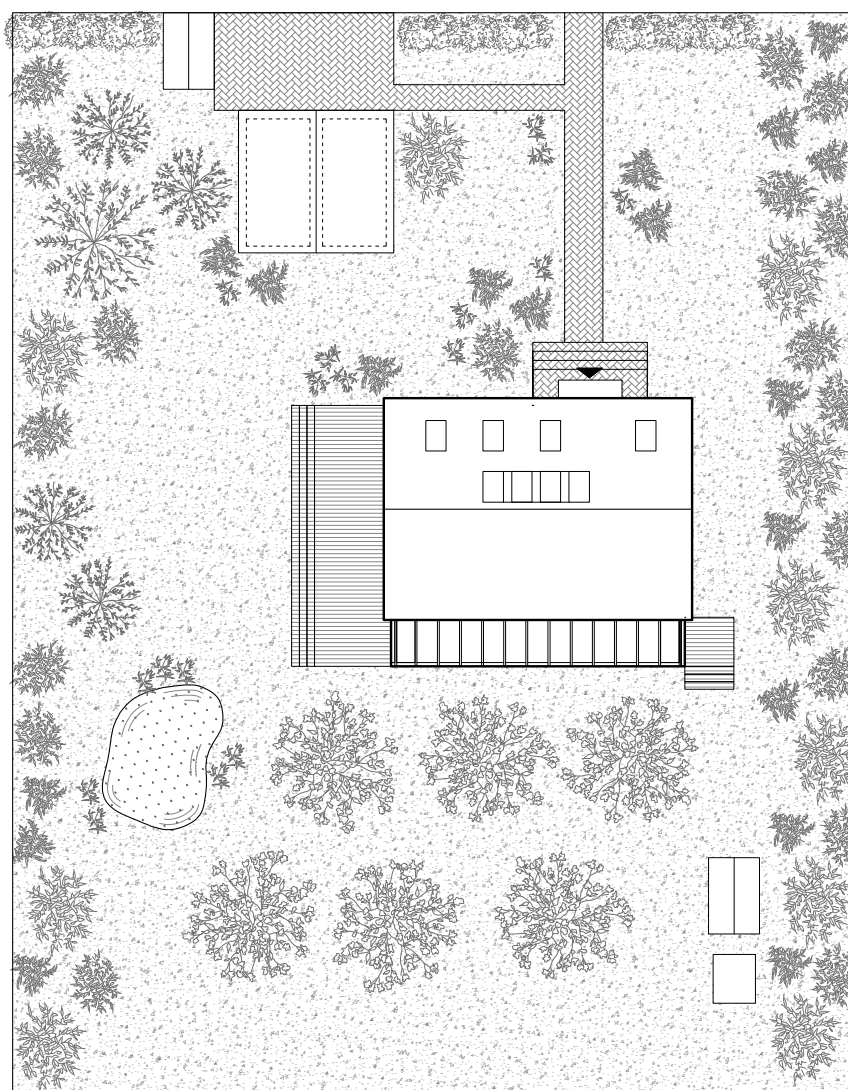


Opcjonalnym elementem jest usytuowana od południa szklarnia, służąca jako oddzielna oranżeria lub przedłużenie wysokiego na dwie kondygnacje salonu. Jej zadaniem jest łapanie energii słonecznej i magazynowanie jej w masie termicznej - grubej, kamiennej podłodze i ceglany murze dostawionym obok słomiano-drewnianej ściany domu. Zimą, gdy drzewa nie mają liści, a słońce jest nisko nad horyzontem, jego promienie z łatwością wpadają do szklarni. Przechwycone ciepło przenika do środka domu dużymi oknami tarasowymi i jest rozprowadzane wewnątrz dzięki wysokiemu salonowi i otwartej klatce schodowej.

Latem promienie słońca są blokowane przez rosnące w pobliżu drzewa liściaste i zainstalowane w dachu rolety. W razie nadmiernego nagrzania, szklarnię można odciąć od domu, zamykając okna tarasowe, a nadmiar ciepłego powietrza wypuścić, otwierając okna i świetliki dachowe.



Zagospodarowanie terenu zostało zaprojektowane w formie niewielkiego ogrodu, otoczonego żywopłotem z roślin jadalnych. Miejsca parkingowe znajdują się pod wiatą obok bramy w celu uniknięcia niepotrzebnego utwardzania terenu. Od strony południowej usytuowany jest niewielki sad, którego rolą jest zacienianie latem południowej elewacji i szklarni. Mały staw służy magazynowaniu wody podczas suszy, poprawia mikroklimat w ogrodzie, przyciąga zapylacze i pomaga im przetrwać upalną część roku. Od strony zachodniej do salonu dostawiono taras wypoczynkowy.



autor ilustracji: Jan Dowgiatło

4.1 Budownictwo mieszkalne jednorodzinne zagospodarowanie terenu

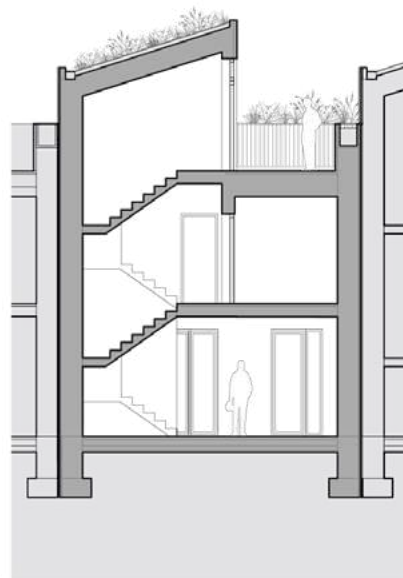
4.2 Budownictwo jednorodzinne w zabudowie szeregowej

Dom jednorodzinny w zabudowie szeregowej izolowany betonem konopnym

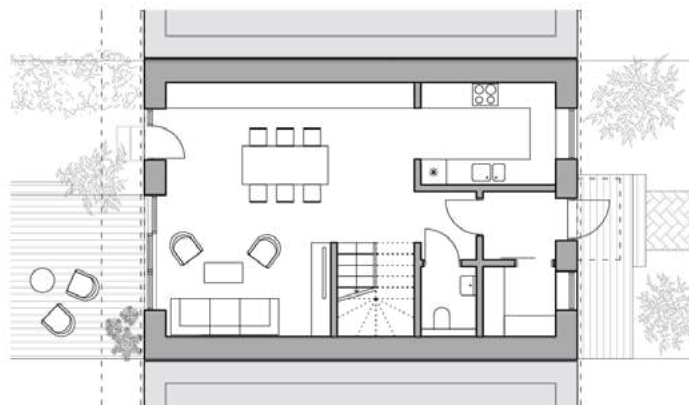
Dom o tradycyjnej, prostej i zwartej bryle, zaprojektowany z lokalnych materiałów. Konstrukcja przewidziana jako szkieletowa drewniana, dwugałęziowa, izolowana kostkami słomy. Elewacje zaproponowane w dwóch wariantach: z tynkami wapiennymi od zewnątrz lub drewniane, z desek rozbiórkowych. Ściany tynkowane wewnątrz gliną. Ścianki działowe z cegły niewypalanej.

Drewniana konstrukcja wypełniona betonem konopnym w szalunkach. Ściany wewnętrzne tynkowane gliną. Elewacje tynkowane wapnem lub kryte dachówką ceramiczną (odzyskową).

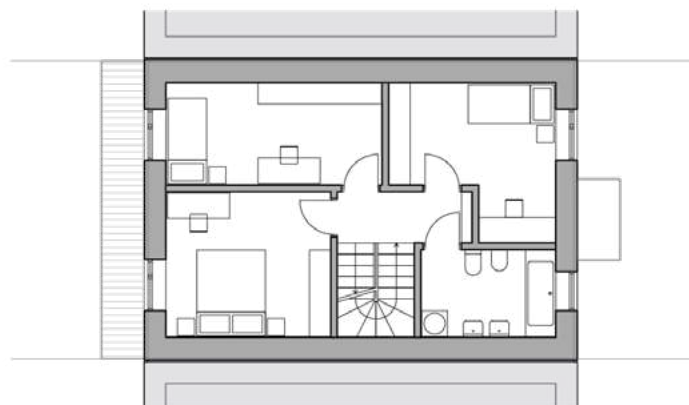
Dom szeregowy zaprojektowany został dla czteroosobowej rodziny. Parter przeznaczony jest na część dzienną z salonem i kuchnią. Na piętrze znajdują się sypialnie. Pomieszczenie techniczne ulokowane zostało na kondygnacji użytkowego dachu.



przekrój



rzut parteru

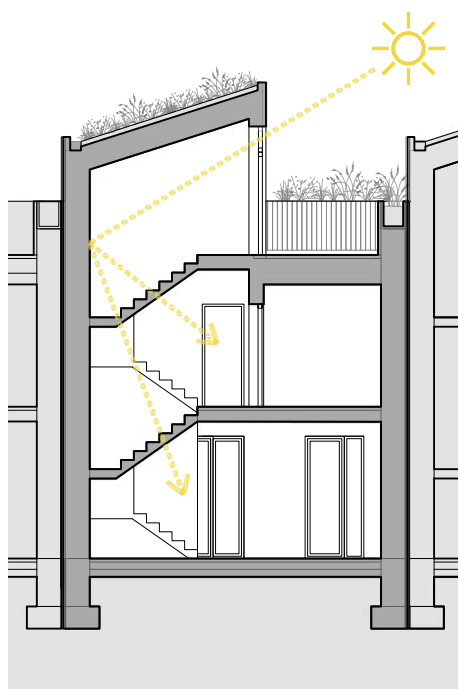
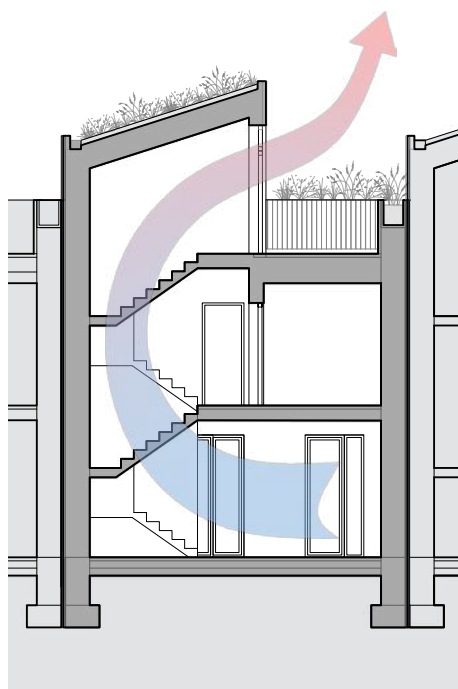


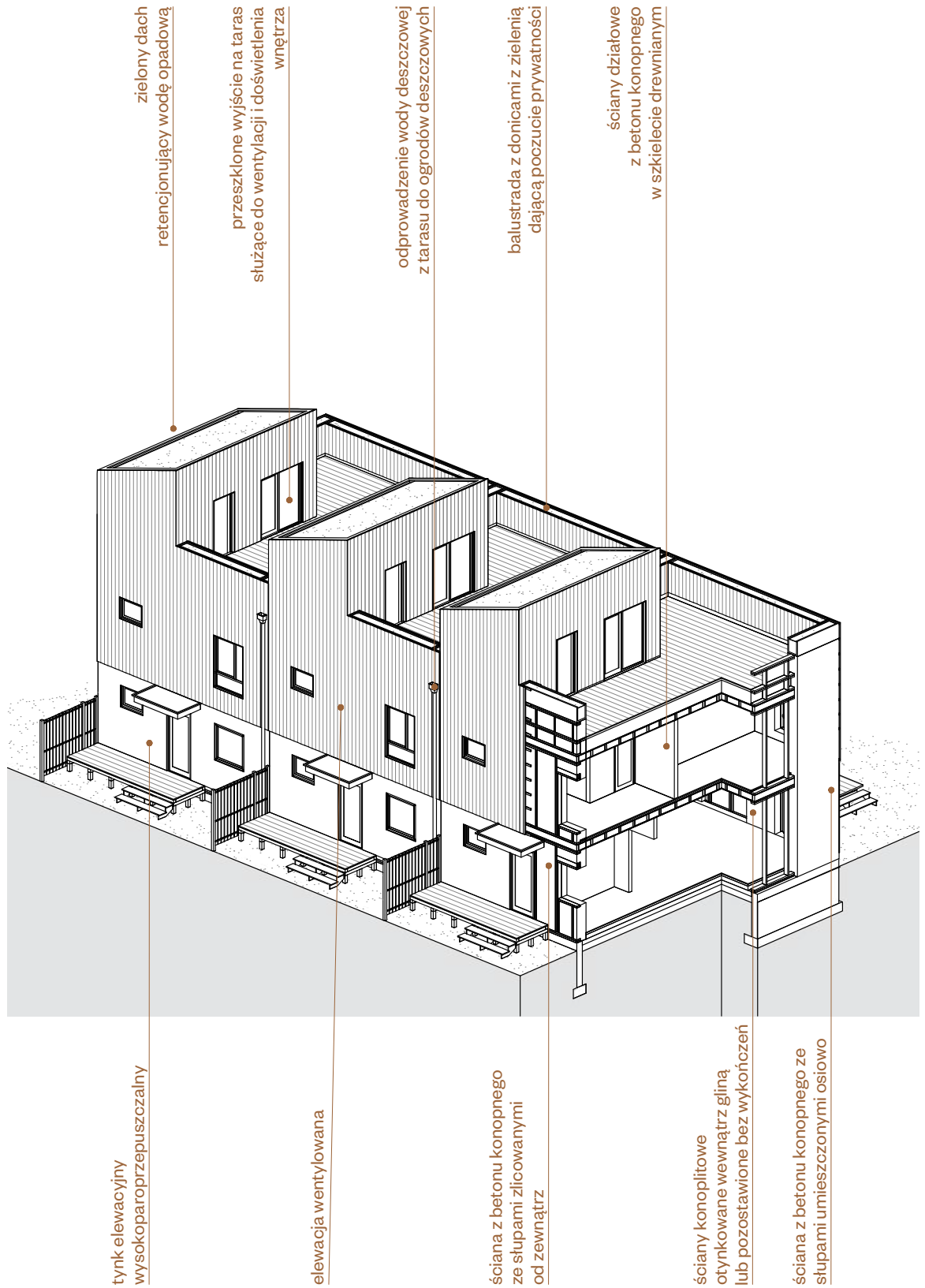
rzut piętra

Urządzenie tarasu na dachu pozwala na pełne wykorzystanie rzutu budynku i zminimalizowanie powierzchni działki. Taras otoczony jest donicami z roślinnością, która retencjonuje część wody deszczowej i daje poczucie prywatności.

Klatka schodowa jest zwieńczona przeszkloną latarnią, która wprowadza do środka domu światło słoneczne i daje możliwość szybkiego przewietrzenia segmentu.

Zarówno ściany działowe, jak i zewnętrzne, mogą być we wnętrzach otynkowane gliną. W tynkowaniu mogą brać udział mieszkańcy domu, co pozwala zmniejszyć koszty wykonawstwa i nadaje wnętrzom osobisty charakter. Solidnie ułożony w szalunkach beton konopny tworzy organiczne powierzchnie o wyjątkowym wyglądzie, często zostaje odkryty i nie wymaga dodatkowych wykończeń.





4.2 Budownictwo jednorodzinne w zabudowie szeregowej

W podstawowej wersji projektu elewacje są podzielone na poziome pasy, podkreślające liniowy charakter zabudowy.

Górna część, ze względu na większe narażenie na działanie warunków atmosferycznych, wykończona jest drewnem. Parter chroniony okapami może być wykończony odpornym na deszcz, ale wysokoparoprzepuszczalnym, tynkiem wapiennym, mineralnym lub silikatowym.

Drewniane elementy konstrukcyjne, znajdujące

się w środku ściany, ze wszystkich stron szczelnie izolowane konoplitem, posiadają bardzo dobre właściwości przeciwogniowe. Jednak, ze względu na obecne zapisy w Warunkach Technicznych, w Polsce nie mogą pełnić roli przegród oddzielenia przeciwpożarowego. Stąd w tym wariantcie projektu wszystkie segmenty traktowane są jako elementy jednego budynku wielorodzinnego i mieszczą się w pojedynczej strefie pożarowej.



autor ilustracji: Jan Dowgiałto

4.2 Budownictwo jednorodzinne w zabudowie szeregowej



autor ilustracji: Jan Dowgiałto



autor ilustracji: Jan Dowgiatło

4.2 Budownictwo jednorodzinne w zabudowie szeregowej

wizualizacje



autor ilustracji: Jan Dowgiatło

Alternatywną opcję zaprojektowano bez tarasów na dachu, za to z częściowo użytkowym poddaszem, mieszczącym pomieszczenia techniczne. Zarówno dach, jak i elewacje, wykończone są ceramiczną dachówką o ziemistych kolorach, w różnych odcieniach na poszczególnych segmentach, odzyskaną najlepiej z rozbiórki.

Stojące na oddzielnych działkach segmenty przedzielone są murowanymi ścianami

oddzielenia pożarowego o odporności klasy REI 60. Pozostałe ściany zewnętrzne mają konstrukcję drewnianą zlicowaną od zewnątrz, co pozwala na łatwą instalację wentylowanej elewacji.



autor ilustracji: Jan Dowgiałło

4.2 Budownictwo jednorodzinne w zabudowie szeregowej



autor ilustracji: Jan Dowgiałło



autor ilustracji: Jan Dowgiatło

4.2 Budownictwo jednorodzinne w zabudowie szeregowej

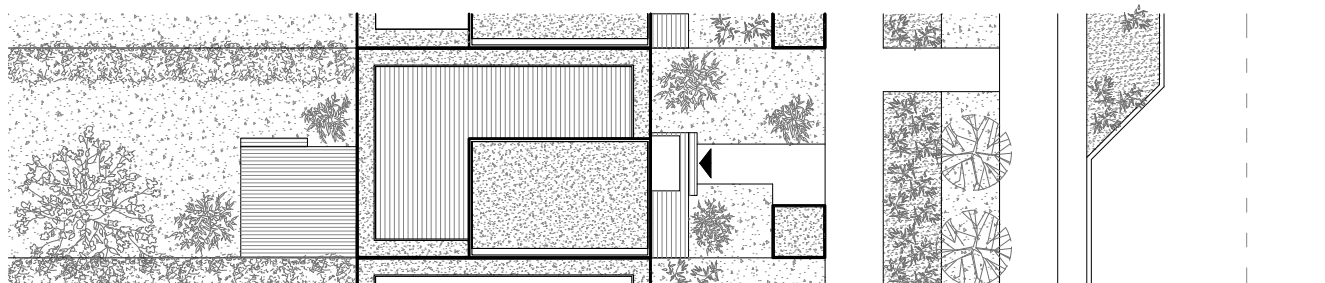
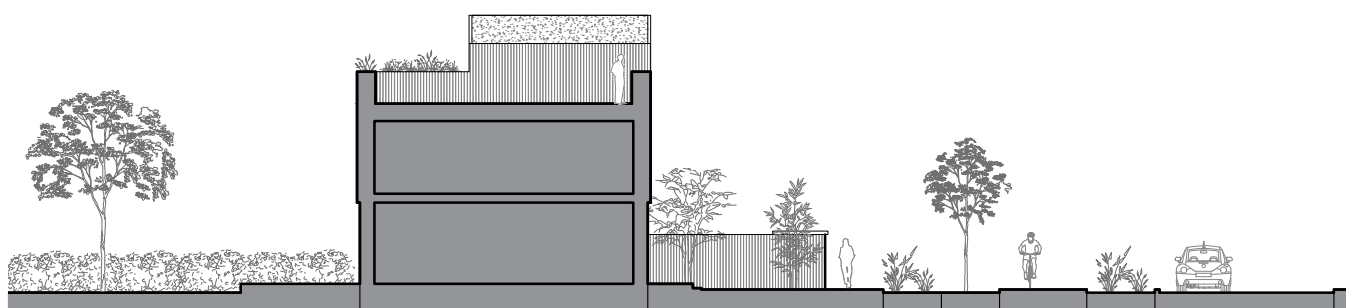
wizualizacje



autor ilustracji: Jan Dowgiatło

Segmenty zaprojektowano w ramach większego założenia, w którym priorytet ma ruch pieszy i rowerowy, a maksymalną ilość powierzchni pozostawiono nieutwardzoną, by przepuszczała wodę deszczową bezpośrednio do gruntu. Nadmiar deszczu z jezdni, chodników i ścieżek osiedla spływa do równoległych do nich ogrodów deszczowych, co pozwala na odciążenie kanalizacji i oszczędność wody do podlewania.

autor ilustracji: Jan Dowgiątko



4.2 Budownictwo jednorodzinne w zabudowie szeregowej

zagospodarowanie terenu

4.3 Budownictwo mieszkalne wielorodzinne

Budynek mieszkalny wielorodzinny z prefabrykowanych modułów drewniano-słomianych

Panele drewniano-słomiane powstają prawie w 100% z naturalnych, odnawialnych surowców, czyli z drewna i słomy, która jest uznawana za produkt uboczny rolnictwa. Ich wytworzenie wymaga niewielkich ilości wody i energii i jest neutralne klimatycznie. W panelach uwięziony jest dwutlenek węgla wychwycony z atmosfery przez rośliny, co sprawia, że mają one ujemny ślad węglowy.

Produkty certyfikowane posiadają odporność ogniową do 120 minut.

Wysoka masa termiczna sprasowanej słomy pomaga uniknąć przegrzewania latem i utrzymać ciepłą temperaturę w zimne noce.

Z kolei elementy z CLT (Cross Laminated Timber), czyli z drewna klejonego warstwowo, są znane z wytrzymałości, ognioodporności i precyzji wykonania.

Ściany międzylokalowe z CLT dodatkowo usztywniają konstrukcję budynku i zapewniają bardzo dobrą izolację akustyczną. Nie wymagają dodatkowych wykończeń i nadają wnętrzom niepowtarzalny wygląd i klimat.

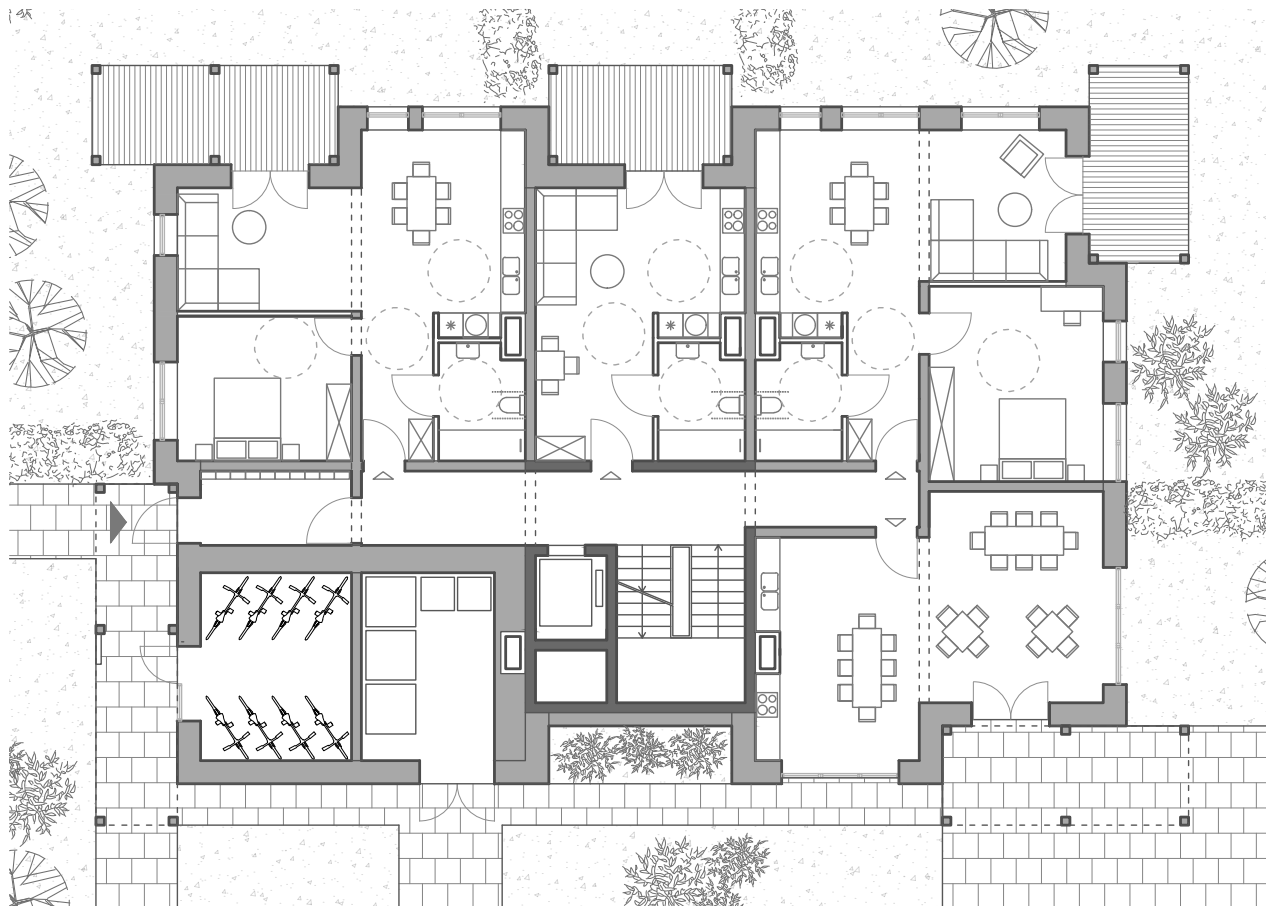
Prefabrykacja stropów oraz ścian zewnętrznych i wewnętrznych pozwala na znaczne ograniczenie czasu i ilości pracowników na placu budowy, co wiąże się z obniżeniem kosztów i ryzyka wypadków. Prefabrykowanie dużych elementów w kontrolowanych warunkach daje możliwość zwiększenia precyzji ich wykonania i zminimalizowania ilości powstających odpadów budowlanych.

W Polsce i w Europie działa kilka firm produkujących prefabrykowane elementy konstrukcyjne zarówno z CLT jak i sprasowanej słomy. Producenci korzystają z technologii i detali w pewnym stopniu autorskich i wyjątkowych, o nieco różniących się między sobą właściwościach. Istnieją firmy oferujące produkty w pełni

certyfikowane na terenie Unii Europejskiej, z których możliwe jest stawianie niskich i średnio-wysokich budynków wielorodzinnych.

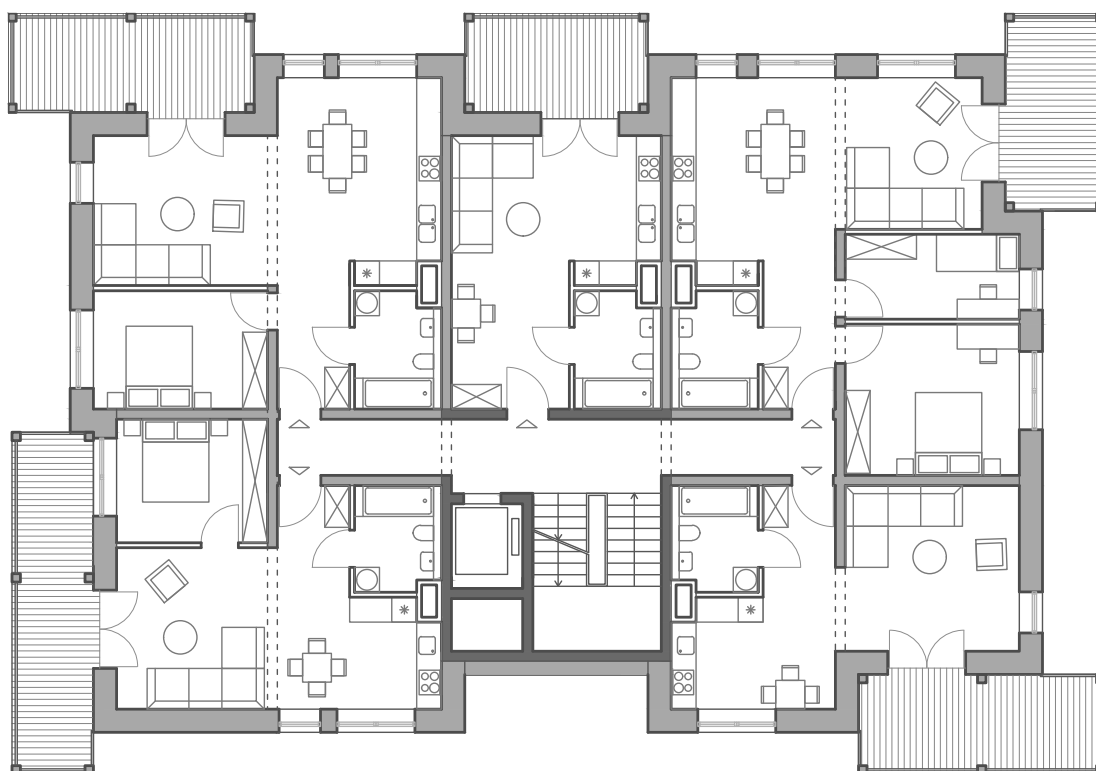
Mieszkania na parterze dostosowano do potrzeb osób z niepełnosprawnością, a program funkcjonalny uzupełniono o rowerownię oraz klub mieszkańców lub lokale usługowe. Użytkowy dach służy jako półprywatny ogród dostępny tylko dla mieszkańców i ich gości.

autor ilustracji: Jan Dowgiałto



4.3 Budownictwo mieszkalne wielorodzinne - rzut parteru

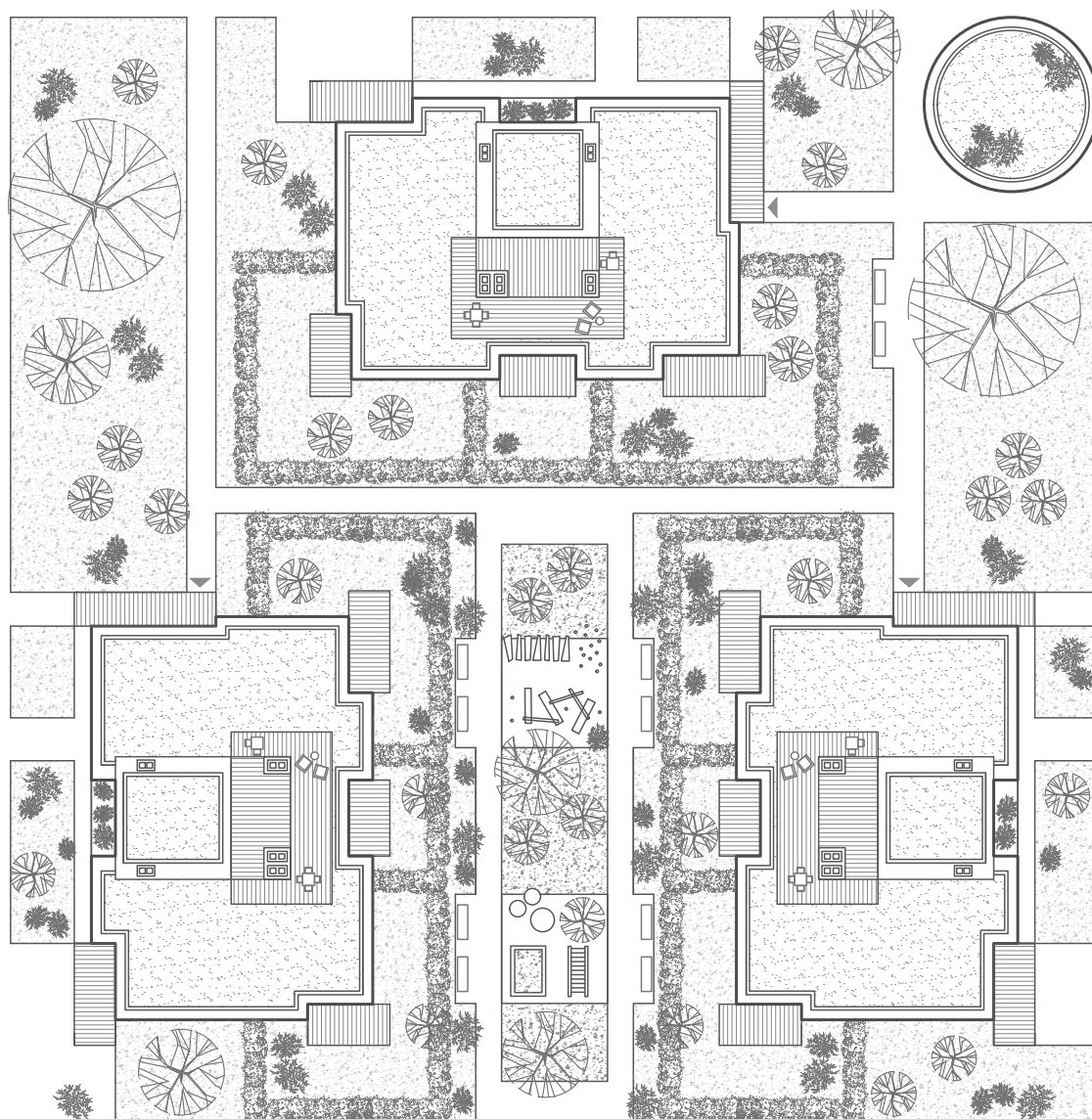
autor ilustracji: Jan Dowgiałto



4.3 Budownictwo mieszkalne wielorodzinne - rzut kondygnacji powtarzalnej

Pośrodku założenia składającego się z trzech budynków zaprojektowano ogród deszczowy zasilany wodą z dachów i balkonów, będący miejscem wypoczynku dla ludzi i zwierząt, wspomagający bioróżnorodność i poprawiający mikroklimat pomiędzy budynkami. Na obszarze tego ogrodu znajdują się elementy sensorycznego placu zabaw dla dzieci.

autor ilustracji: Jan Dowgiałło



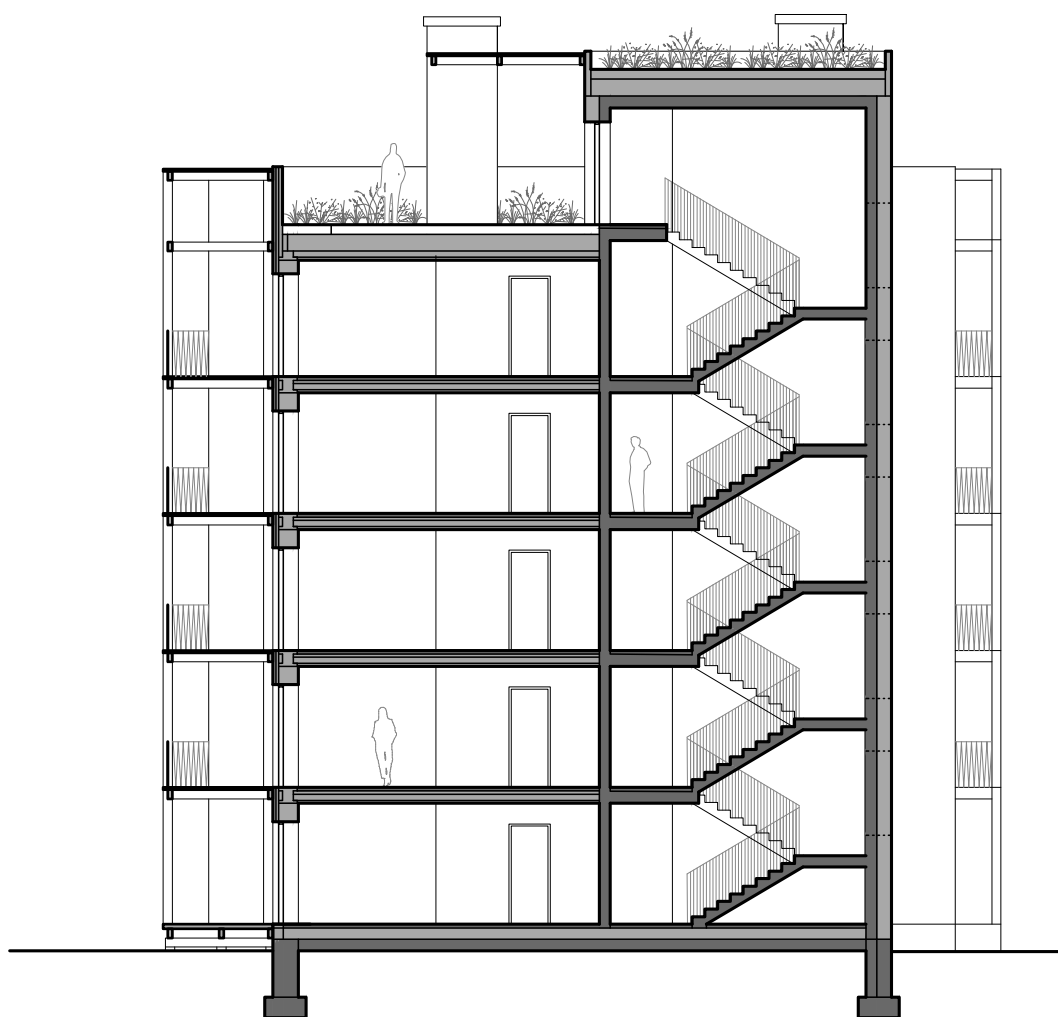
4.3 Budownictwo mieszkalne wielorodzinne

zagospodarowanie terenu

Konstrukcja nadziemna składa się z dwóch głównych rodzajów elementów. Są to stropy i ściany wewnętrzne z CLT i ściany z prefabrykatów drewniano-słomianych.

Fundamenty i klatka schodowa z szybem windowym to jedyne elementy żelbetowe w budynku. Mogą być obliczone na mniejsze obciążenia, niż w standardowym budownictwie, dzięki względnej lekkości wykorzystanych rozwiązań. Możliwe jest posadowienie bloków nad garażami podziemnymi.

Balkony i loggie posiadają własną, niezależną konstrukcję.



autor ilustracji: Jan Dowgiatto

4.3 Budownictwo mieszkalne wielorodzinne
Przekrój

Projekt zakłada dwa warianty. W pierwszym budynki mają po pięć kondygnacji i są wyposażone w windy. Dzięki zagospodarowaniu dachów, otoczenie budynków nie wymaga ogrodzenia i może być ogólnodostępne, z wyjątkiem wydzielonych żywopłotami przedogródków przynależnych do mieszkań na parterze.



autor ilustracji: Jan Dowgiałto

4.3 Budownictwo mieszkalne wielorodzinne wariant 1



autor ilustracji: Jan Dowgiałto



autor ilustracji: Jan Dowgiatło

4.3 Budownictwo mieszkalne wielorodzinne wariant 1



autor ilustracji: Jan Dowgiatło

W drugim wariantcie 3-kondygnacyjne budynki wykończone są opalonym drewnem. Nie ma konieczności instalowania w nich wind, a zielone dachy nie są użytkowe.



autor ilustracji: Jan Dowgiatło

4.3 Budownictwo mieszkalne wielorodzinne wariant 2



autor ilustracji: Jan Dowgiatło



autor ilustracji: Jan Dowgiatto

4.3 Budownictwo mieszkalne wielorodzinne wariant 2



autor ilustracji: Jan Dowgiatto

Rozdział 5

Rozwiązania budowlane i wykonawcze

Jan Dowgiałło, Adam Parzyszek

5.1 Budynki nowe

Jan Dowgiałło

5.1.1 Konoplit

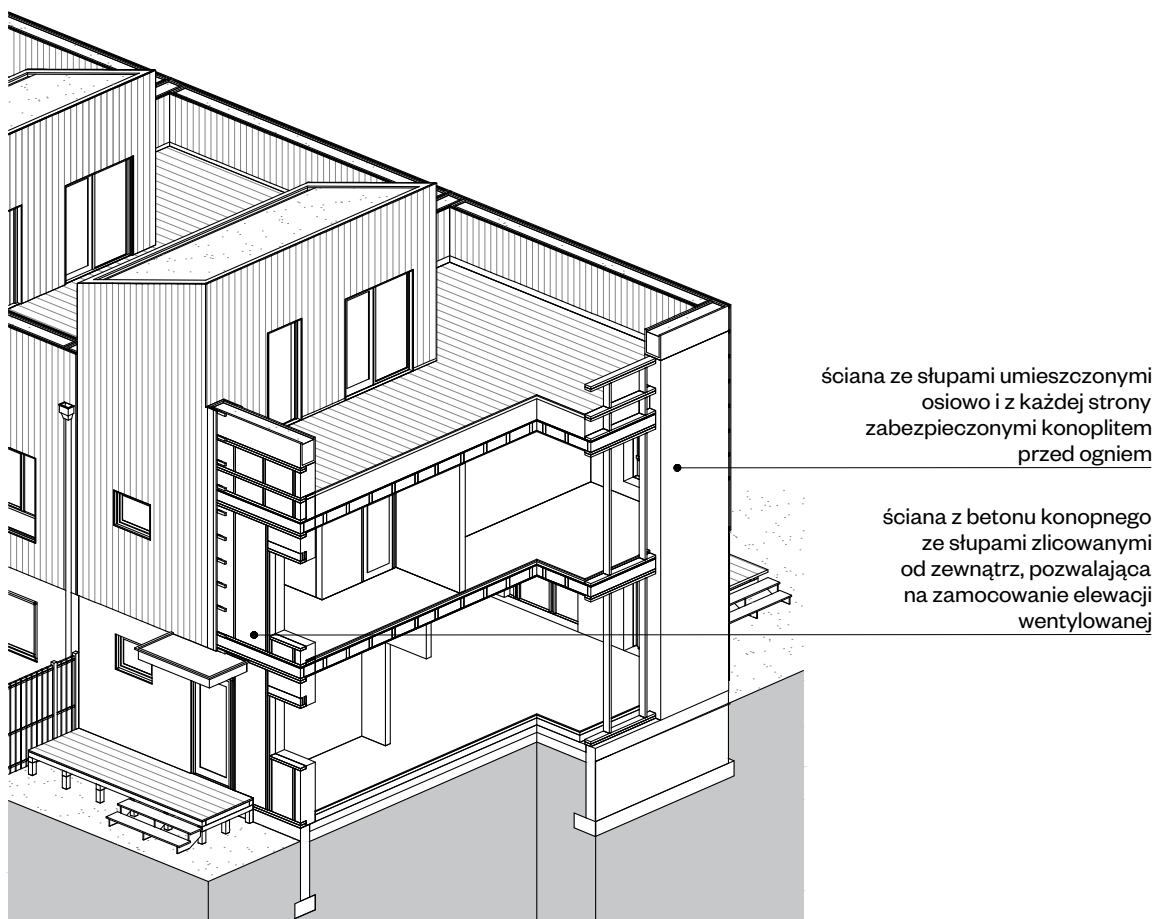
Konoplit, znany również jako hempcrete lub beton konopny, to materiał ekologiczny, o zerowym lub ujemnym śladzie węglowym, który powstaje z wymieszania paździerza konopnego (zmielonych łodyg konopi przemysłowych) z wapnem.

W wyniku natryskowego lub szalunkowego kładzenia konoplitu, powstaje monolityczna ściana, zapewniająca brak mostków termicznych,

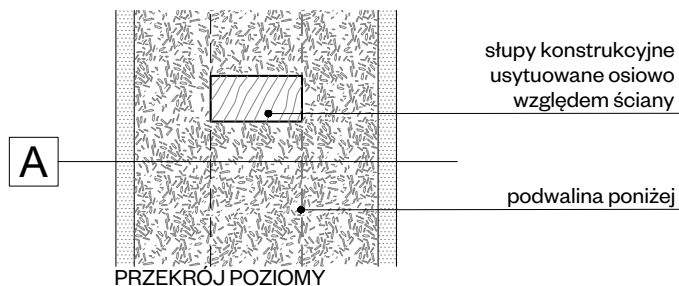
otulająca i chroniąca drewnianą konstrukcję przed skraplającą się wilgocią i ogniem.

Umieszczenie słupów w osi ściany zapewnia im najlepszą ochronę. To rozwiązanie jest jednocześnie najbardziej pracochłonne, ponieważ konieczne jest używanie dwóch zestawów elementów dystansowych do tymczasowych szalunków - po obu stronach słupów.

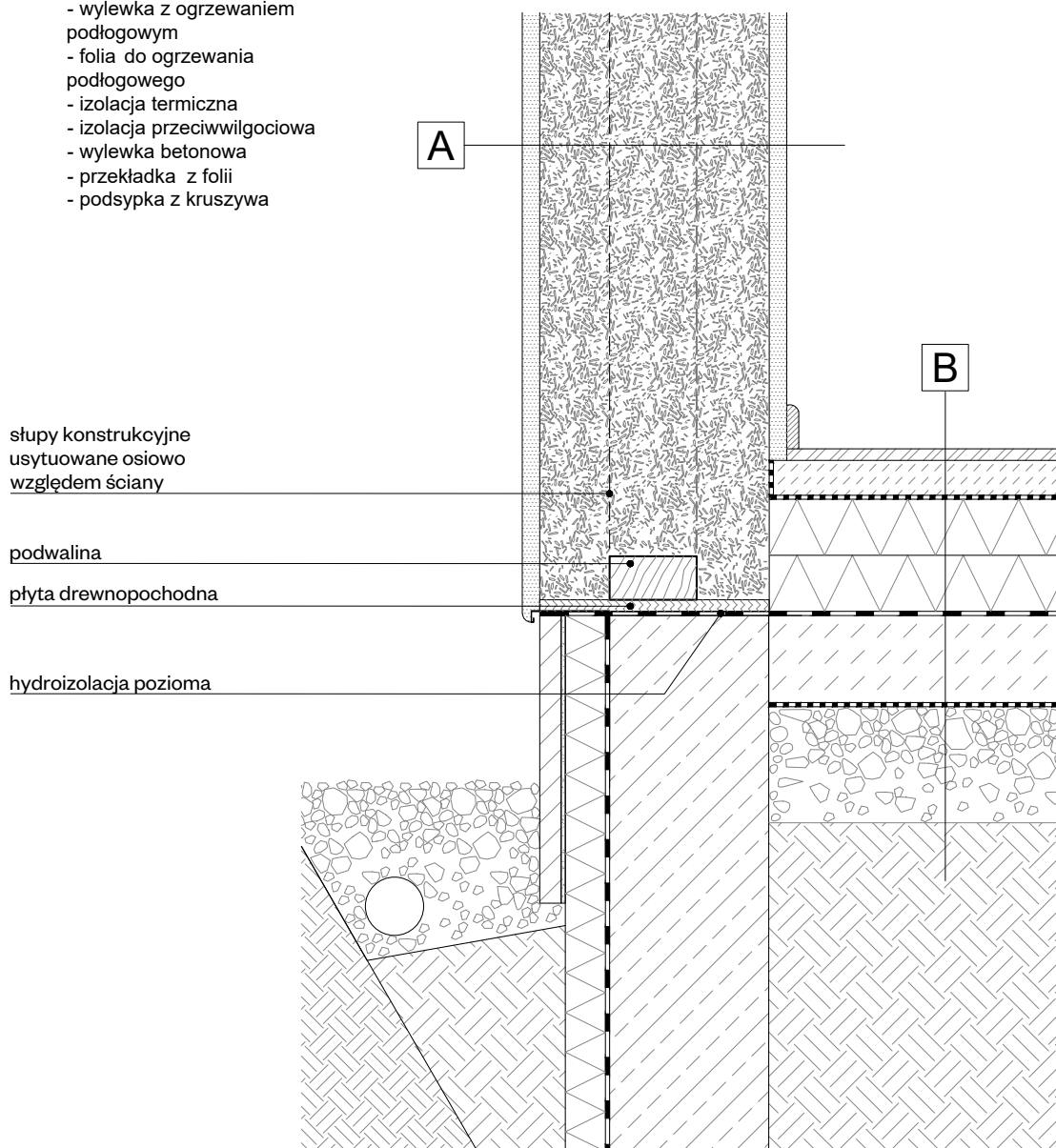
W takim układzie ścianę można pozostawić bez dodatkowych wykończeń lub otynkować - wewnątrz przeważnie tynkami glinianymi, od zewnątrz wapiennymi lub innymi, o wysokiej paroprzepuszczalności.



- A. ŚCIANA ZEWNĘTRZNA:
- zewnętrzny tynk paroprzepuszczalny np. wapienny
 - konstrukcja drewniana umiejscowiona w osi ściany / konoplit
 - tynk wewnętrzny paroprzepuszczalny np. gliniany



- B. PODŁOGA NA GRUNCIE
- posadzka
 - wylewka z ogrzewaniem podłogowym
 - folia do ogrzewania podłogowego
 - izolacja termiczna
 - izolacja przeciwwilgociowa
 - wylewka betonowa
 - przekładka z folii
 - podsypka z kruszywa



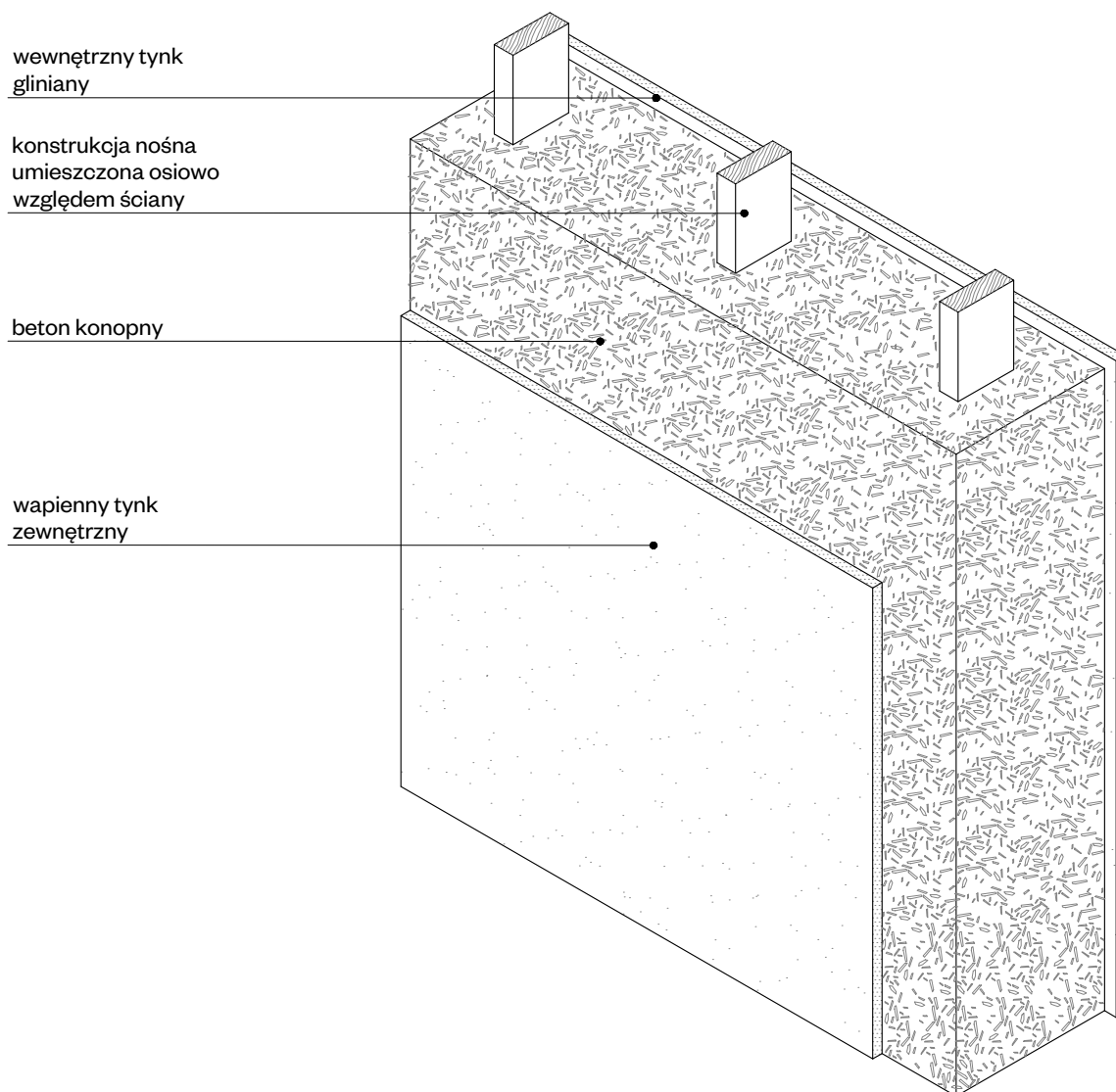
autor ilustracji: Jan Dowgiałto

5.1.1 Konoplit

ściana z betonu konopnego obustronnie tynkowana ze słupami umieszczonymi osiowo na ścianie fundamentowej

Słupy mogą być również zlicowane ze ścianą, po dowolnej jej stronie. Stanowią one podkonstrukcję szalunku, co pozwala zmniejszyć ilość pracy. Są za to słabiej chronione przez konoplit, ponieważ jedna ich płaszczyzna pozostaje otwarta.

autor ilustracji: Jan Dowgiałło



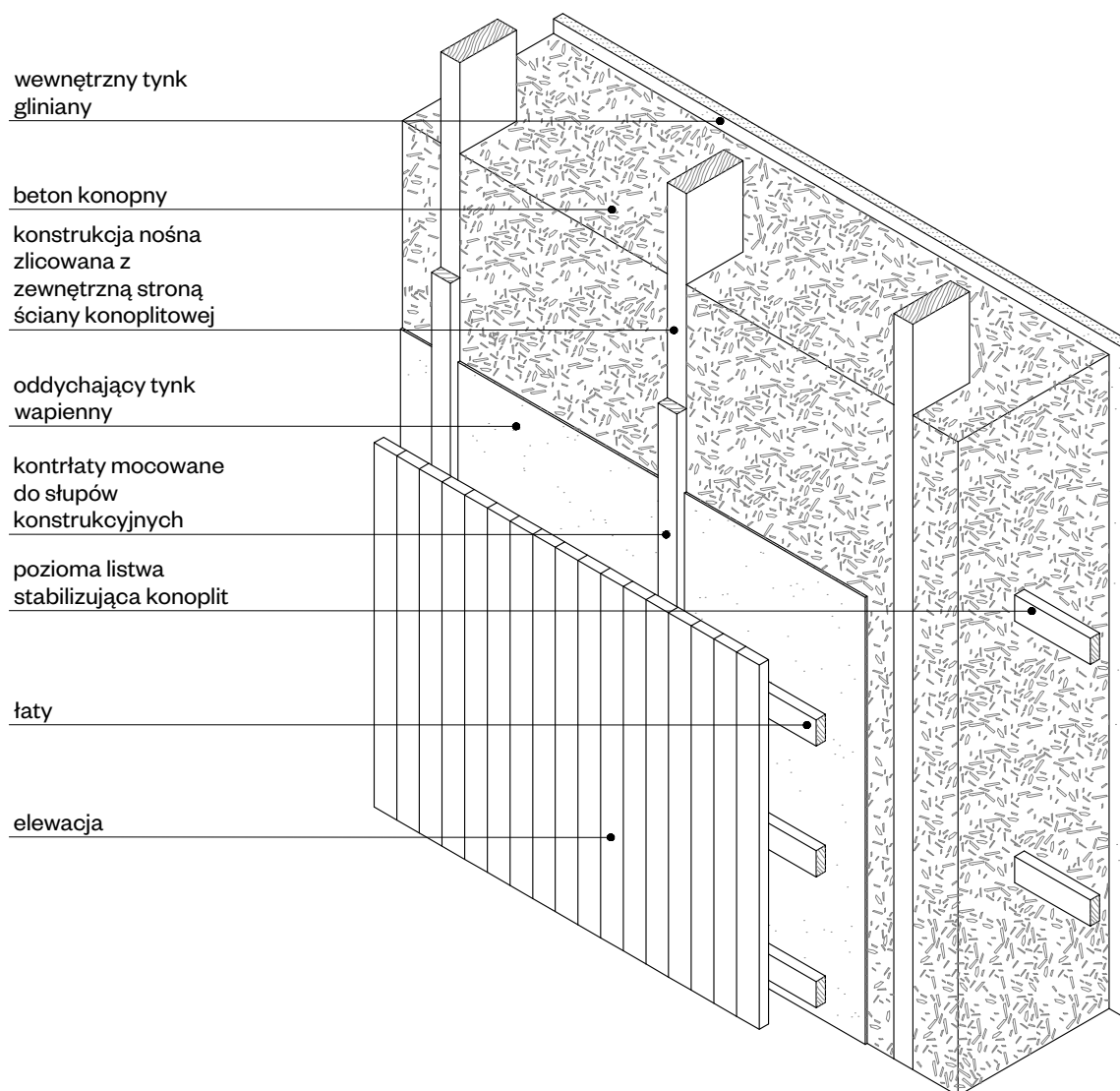
5.1.1 Konoplit

ściana z betonu konopnego ze słupami
umieszczonymi osiowo

Umieszczenie konstrukcji od strony zewnętrznej pozwala na zamocowanie do niej elewacji wentylowanej z drewna lub innych materiałów takich, jak ceramika czy blacha.

Przy nieosiowym ustawieniu słupów istnieje ryzyko odklejania się od nich konoplitu. Żeby temu zapobiec, wewnątrz ściany dodaje się co kilkadziesiąt centymetrów stabilizujące go elementy, np. poziome listwy lub pionowe deski.

autor ilustracji: Jan Dowgiatto



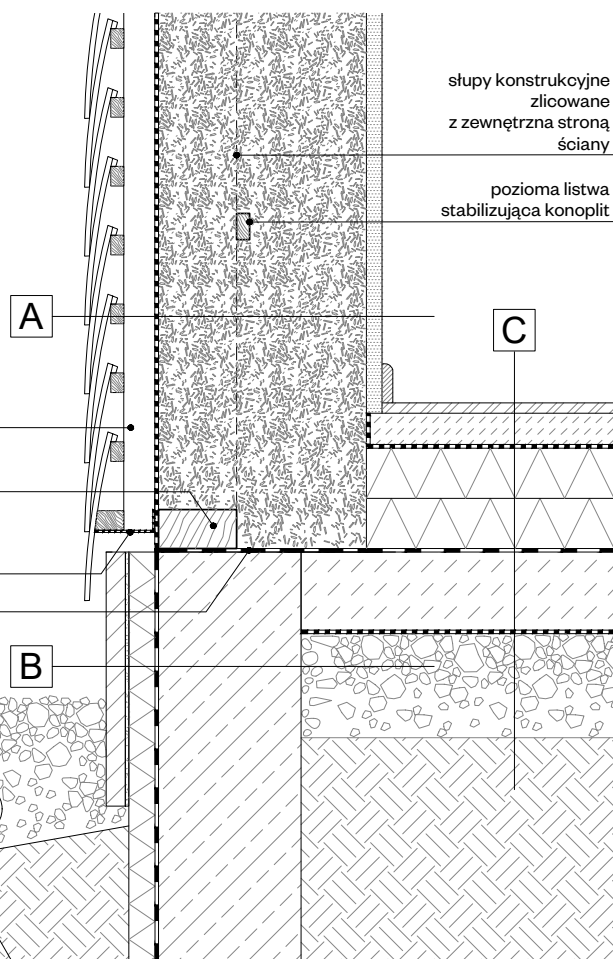
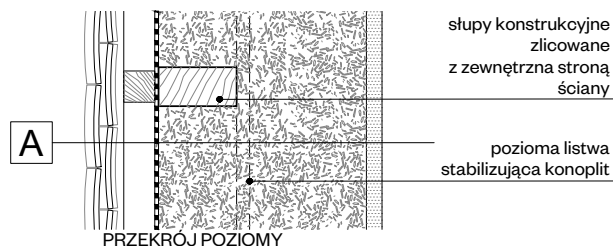
5.1.1 Konoplit

ściana z betonu konopnego ze słupami zlicowanymi od zewnątrz

Do słupów zlicowanych po wewnętrznej stronie ściany można z kolei mocować szafki i inne ciężkie przedmioty. W połączeniu ze starannie położonym konoplitem, mogą stać się charakterystycznymi elementami wykończenia wnętrz. Wykonuje się także słupy dwugałęziowe, otwarte z obu stron ściany. Dzięki temu nie jest wymagane stosowanie tymczasowych elementów podtrzymujących szalunki, ale potrzebna jest do tego większa ilość drewna.

Podłoga na gruncie może być wykonana w sposób tradycyjny, z użyciem wodoszczelnych materiałów nie przepuszczających pary wodnej. Należy pamiętać o odizolowaniu ściany z konoplitem od wszelkich elementów potencjalnie wilgotnych takich, jak cokół lub fundamenty mogące podciągać wodę.

- A. ŚCIANA ZEWNĘTRZNA:
- elewacja wentylowana
 - wiatroizolacja wysokoparoprzepuszczalna
 - konstrukcja drewniana zlicowana z zewnętrzną stroną ściany / konoplit
 - tynk wewnętrzny paroprzepuszczalny np. gliniany
- B. FUNDAMENT
- cokół na zaprawie klejowej
 - styropian ekstrudowany
 - hydroizolacja
 - ściana fundamentowa
- C. PODŁOGA NA GRUNCIE
- posadzka
 - wylewka z ogrzewaniem podłogowym
 - folia do ogrzewania podłogowego
 - izolacja termiczna
 - hydroizolacja
 - wylewka betonowa
 - przekładka z folii
 - podsypka z kruszywa



przestrzeń wentylowana

podwalina

siatka chroniąca przed owadami

hydroizolacja pozioma

autor ilustracji: Jan Dowgiałto

5.1.1 Konoplit

ściana z betonu konopnego z elewacją wentylowaną

Dom jednorodzinny w zabudowie szeregowej, ze ścianami zewnętrznymi z drewna i konoplitu wariant z elewacją wentylowaną z okładziną ceramiczną

autor ilustracji: Jan Dowgiałło



Dom jednorodzinny w zabudowie szeregowej, ze ścianami zewnętrznymi z drewna i konoplitu

wariant z elewacją wentylowaną na
piętrze i otynkowaną na parterze

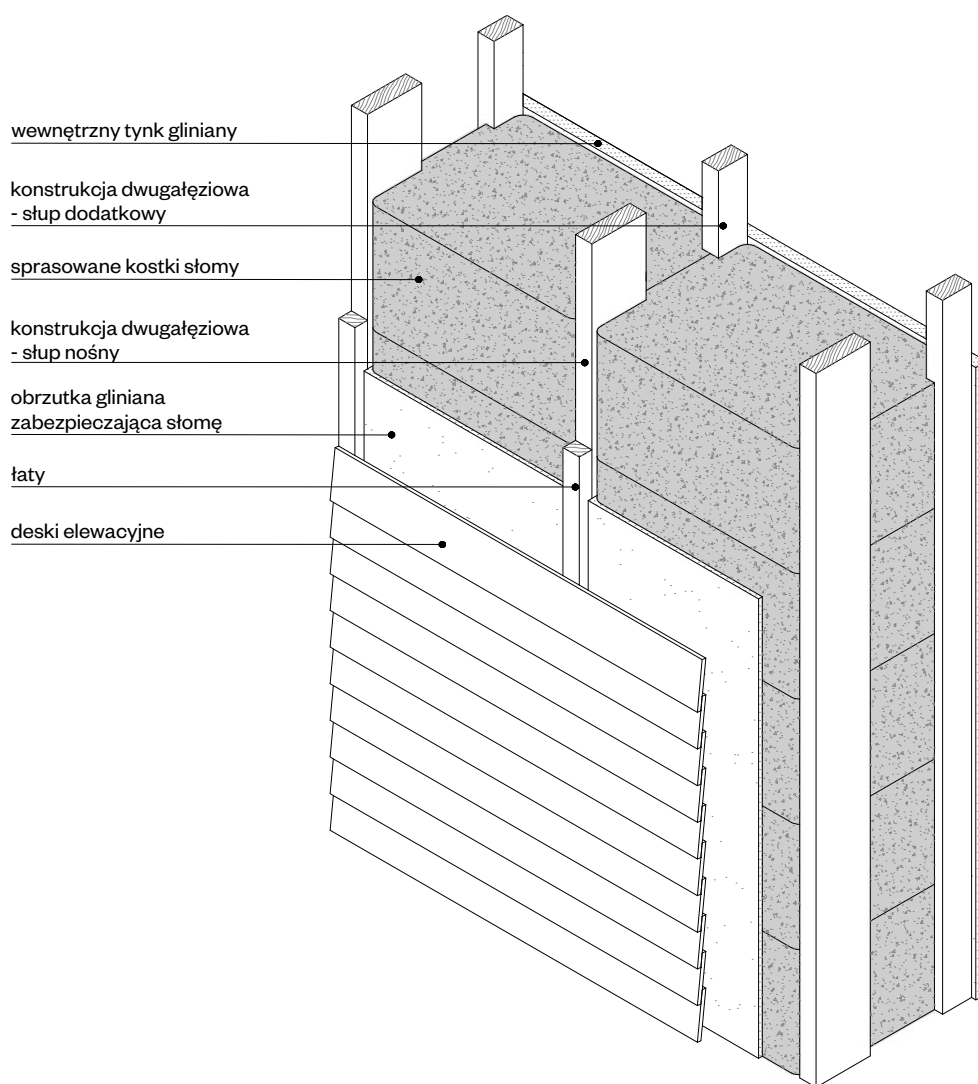
autor ilustracji: Jan Dowgiało



5.1.2 Szkielet drewniany wypełniony kostkami słomy

Szkielet ze słupów dwugałęziowych to jeden z najpopularniejszych typów konstrukcji budynków izolowanych kostką słomy. Słup dwugałęziowy składa się z dwóch pionowych elementów, połączonych ze sobą w rozstawie dostosowanym do rozmiarów typowej, dostępnej lokalnie, kostki słomy. Elementy te mogą być takie same - wtedy oś konstrukcyjna znajduje się w środku ściany, lub asymetryczne - wówczas oś konstrukcyjna znajduje się po wewnętrznej lub zewnętrznej stronie przegrody.

autor ilustracji: Jan Dowgiątko

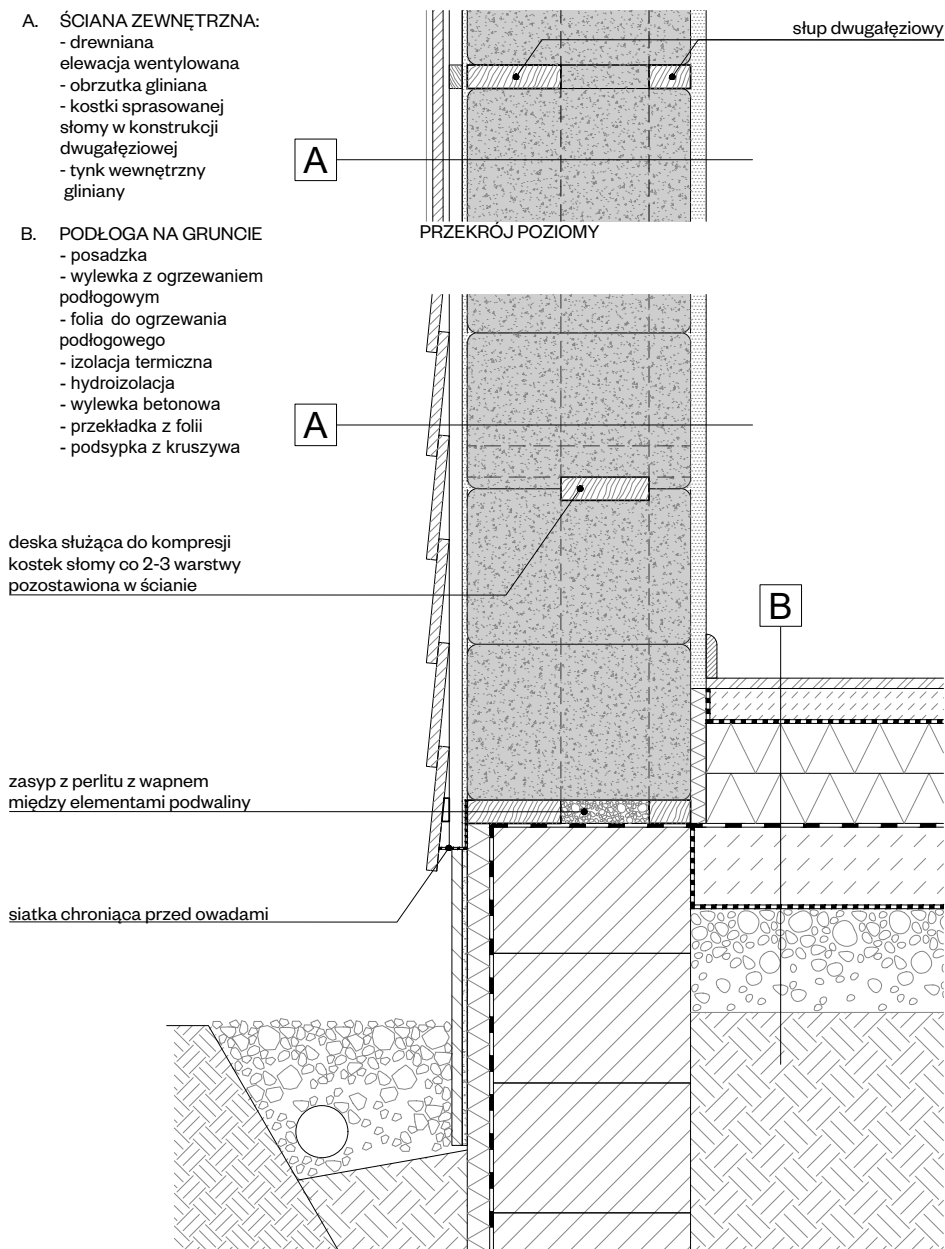


5.1.2 Szkielet drewniany wypełniony kostkami słomy

ściana ze sprasowanej słomy w szkielecie dwugałęziowym z drewnianą elewacją wentylowaną

Ponieważ niezabezpieczona, a zwłaszcza luźna słoma, nie jest odporna na wilgoć, owady i ogień, ściana powinna być ze wszystkich stron otynkowana lub obrzucona warstwą gliny. Od wewnątrz jest to przeważnie kilkuwarstwowy tynk wykończony. Od zewnątrz, przy zastosowaniu elewacji wentylowanej, wystarczy pojedyncza warstwa tynku. Przed deszczem i uszkodzeniami

mechanicznymi ściana chroniona jest materiałem elewacyjnym, najczęściej drewnem. Szczelinę wentylacyjną zamyka się siatką, która uniemożliwia dostanie się do niej zwierzętom.



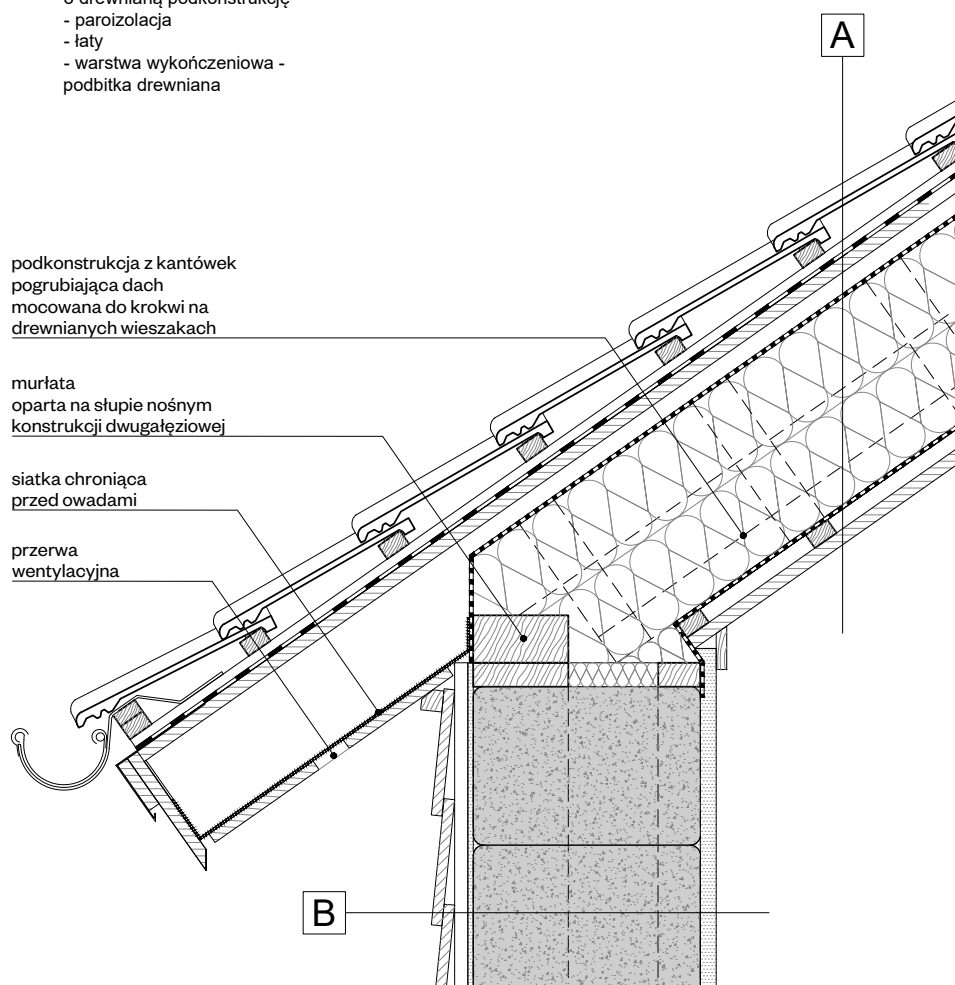
autor ilustracji: Jan Dowgiałto

5.1.2 Szkielet drewniany wypełniony kostkami słomy

ściana ze sprasowanej słomy w szkielecie dwugąteziowym z drewnianą elewacją wentylowaną na fundamencie z bloczków betonowych

Dachy domów straw-bale mogą mieć dowolny kształt. Wykonanie elewacji z drewna lub ceramiki zabezpiecza ścianę przed deszczem, dzięki czemu można projektować dachy bezokapowe. Najczęściej jednak stosuje się dachy dwuspadowe z okapami, które odprowadzają wodę dalej od budynku.

- | | |
|---|--|
| <p>A. DACH:</p> <ul style="list-style-type: none"> - dachówka - łąta - kontrłata - membrana dachowa - deskowanie - szczelina wentylacyjna - wiatroizolacja - wełna drzewna pomiędzy krokwiami pogrubionymi o drewnianą podkonstrukcję - paroizolacja - łąty - warstwa wykończeniowa - podbitka drewniana | <p>B. ŚCIANA ZEWNĘTRZNA:</p> <ul style="list-style-type: none"> - drewniana elewacja wentylowana - obrzutka gliniana - kostki sprasowanej słomy w konstrukcji dwugąteziowej - wewnętrzny tynk gliniany |
|---|--|



5.1.2 Szkielet drewniany wypełniony kostkami słomy

połączenie ściany ze sprasowanej słomy w szkielecie dwugąteziowym z dachem okapowym

Kostki słomy muszą mieć możliwość oddychania, czyli przepuszczania gromadzącej się w ich wnętrzu pary wodnej, aby nie doszło do ich gnicia. W tym celu do wykończenia ścian obustronnie tynkowanych używa się naturalnych, wysokoparoprzepuszczalnych materiałów. Od strony wewnętrznej dobrze sprawdza się przyjemny w dotyku, ciepły w kolorze i zdrowy tynk gliniany.

Od zewnątrz przeważnie wykorzystywane są tynki wapienne, o wiele bardziej odporne na wpływ warunków atmosferycznych.

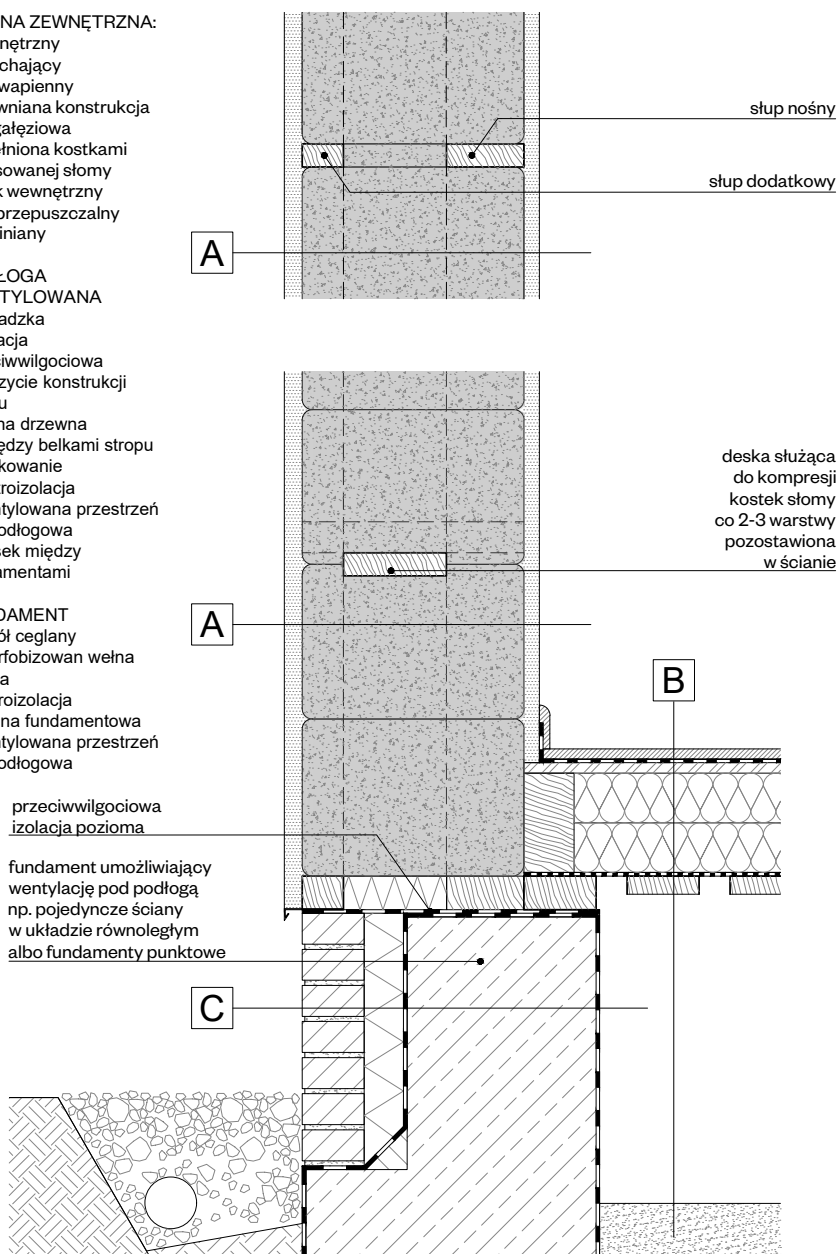
- A. ŚCIANA ZEWNĘTRZNA:
- zewnętrzny oddychający tynk wapienny
 - drewniana konstrukcja dwugąździowa wypełniona kostkami sprasowanej słomy
 - tynk wewnętrzny paroprzepuszczalny np. gliniany

- B. PODŁOGA WENTYLOWANA
- posadzka
 - izolacja przeciwwilgociowa
 - poszycie konstrukcji stropu
 - wełna drzewna pomiędzy belkami stropu
 - deskowanie
 - wiatroizolacja
 - wentylowana przestrzeń podpodłogowa
 - piasek między fundamentami

- C. FUNDAMENT
- cokół ceglany
 - hydrofobizowan wełna skalna
 - hydroizolacja
 - ściana fundamentowa
 - wentylowana przestrzeń podpodłogowa

przeciwwilgociowa izolacja pozioma

fundament umożliwiający wentylację pod podłogą np. pojedyncze ściany w układzie równoległym albo fundamenty punktowe

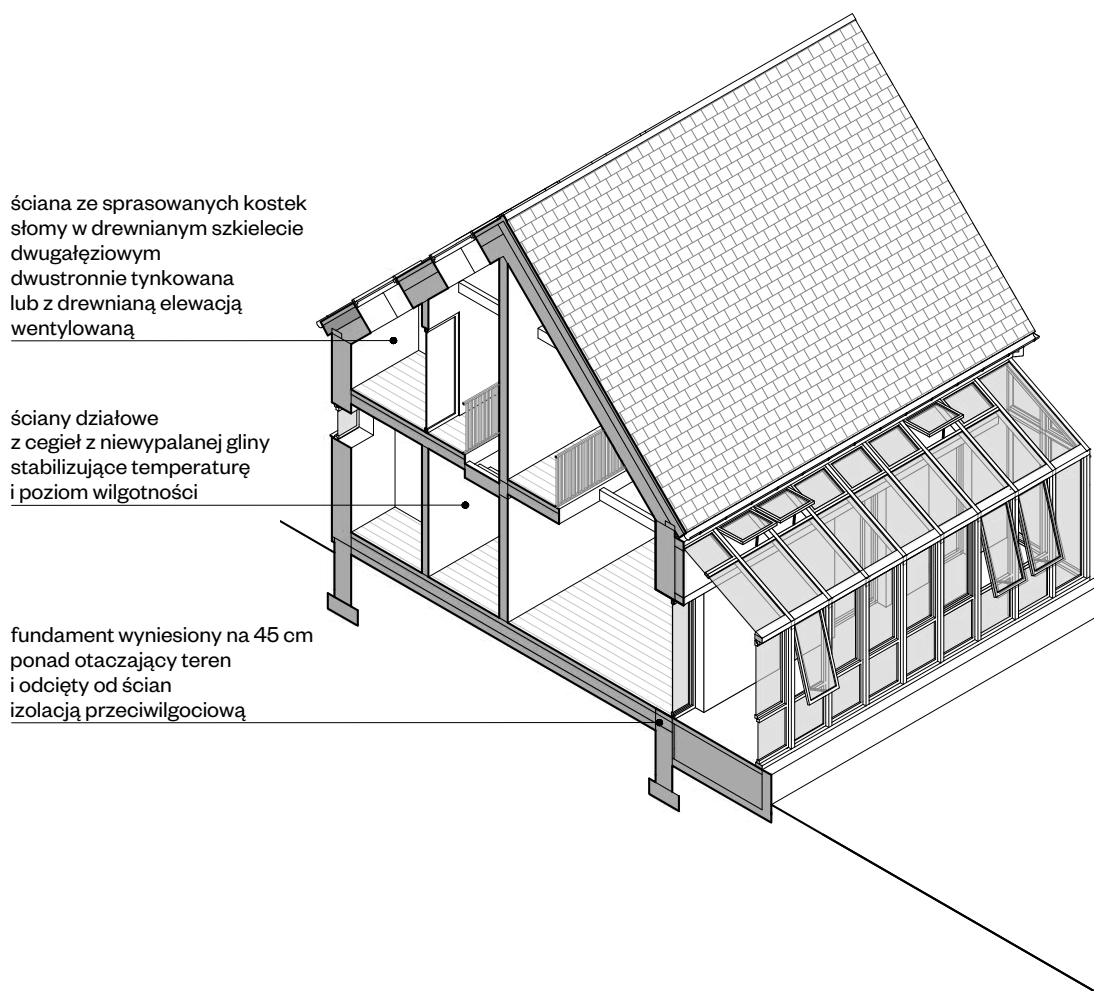


autor ilustracji: Jan Dowgiatto

5.1.2 Szkielet drewniany wypełniony kostkami słomy

ściana ze sprasowanej słomy w szkielecie dwugąździowym obustronnie tynkowana z wentylowaną przestrzenią podpodłogową

Niezależnie od zastosowanych rozwiązań, zawsze należy pamiętać o wrażliwości słomy na wilgoć i wszędzie tam, gdzie może mieć ona kontakt z wodą, stosować odpowiednie zabezpieczenia. Ważne jest, aby elementy drewniane i słomiane znajdowały się kilkadziesiąt centymetrów powyżej terenu i były odcięte od fundamentów izolacją chroniącą przed wodą kapilarną.



5.1.2 Szkielet drewniany wypełniony kostkami słomy

schemat

Dom jednorodzinny ze ścianami z kostek sprasowanej słomy w drewnianym szkielecie

ściany przed deszczem chroni
wentylowana elewacja drewniana

autor ilustracji: Jan Dowgiałło





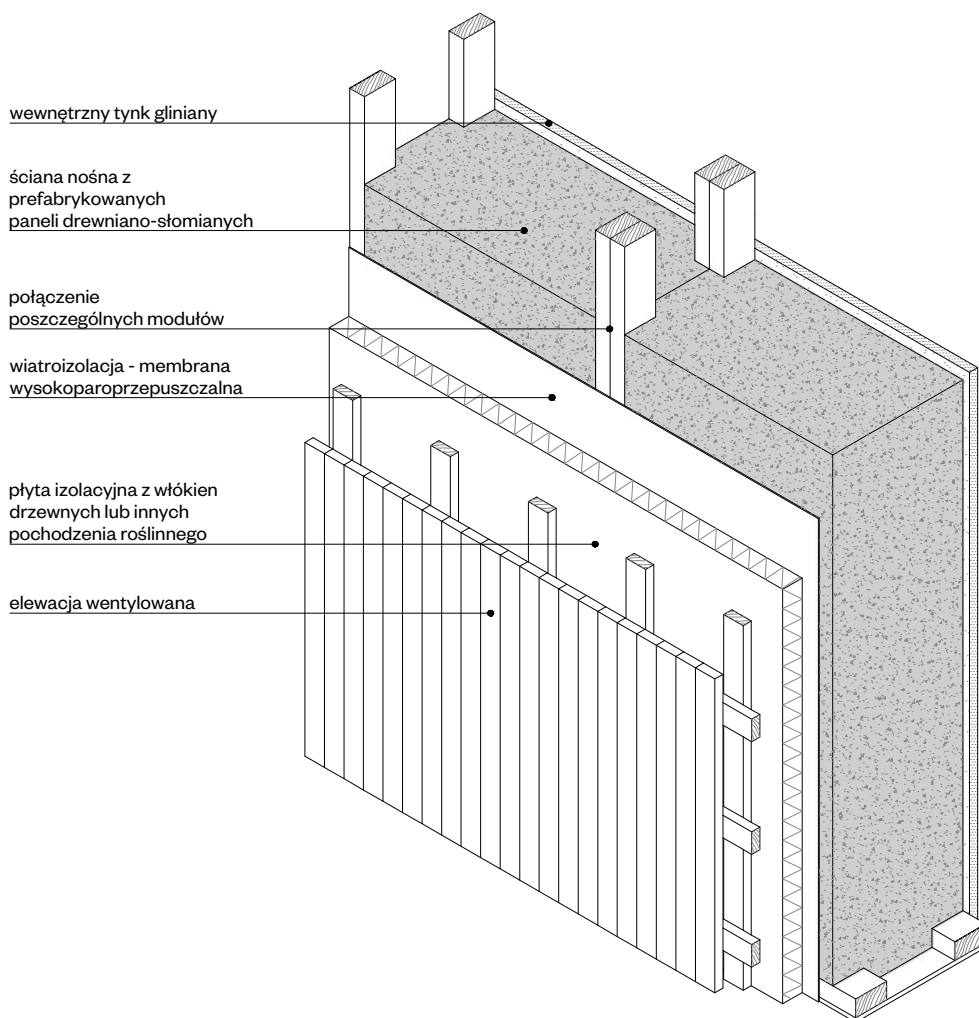
autor ilustracji: Jan Dowgiatto

**Dom jednorodzinny
ze ścianami z kostek
sprasowanej słomy
w drewnianym szkielecie**
ściany z tynkiem wapiennym
przed deszczem chronią znacznie
wysunięte okapy

5.1.3 Prefabrykaty słomiane

Na polskim rynku dostępne są certyfikowane, nośne panele drewniano-słomiane, które wykorzystuje się między innymi do budowy ścian zewnętrznych w niskich i średniowysokich budynkach mieszkalnych. Każdy producent ma nieco inną technologię i metodę produkcji, jednak zasada działania jest podobna.

Przeważnie panel składa się z drewnianej ramy wypełnionej mocno sprasowaną słomą. Prefabrykacja pozwala na precyzyjne wykonywanie na zamówienie elementów o różnych wymiarach i kształtach wg projektu, które po dostarczeniu na plac budowy montuje się szybko i precyzyjnie. Przedstawione poniżej rozwiązania bazują na systemowych detalach EcoCocon.



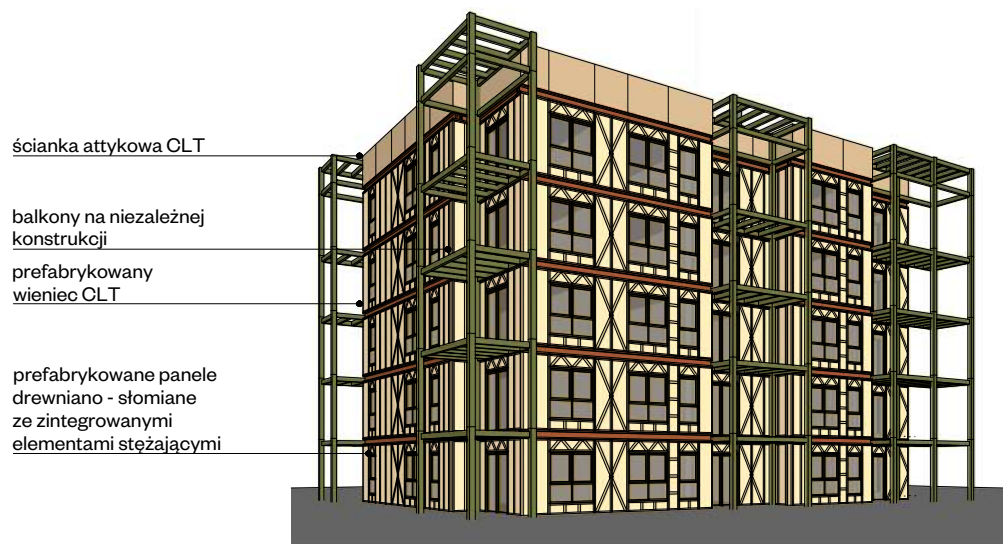
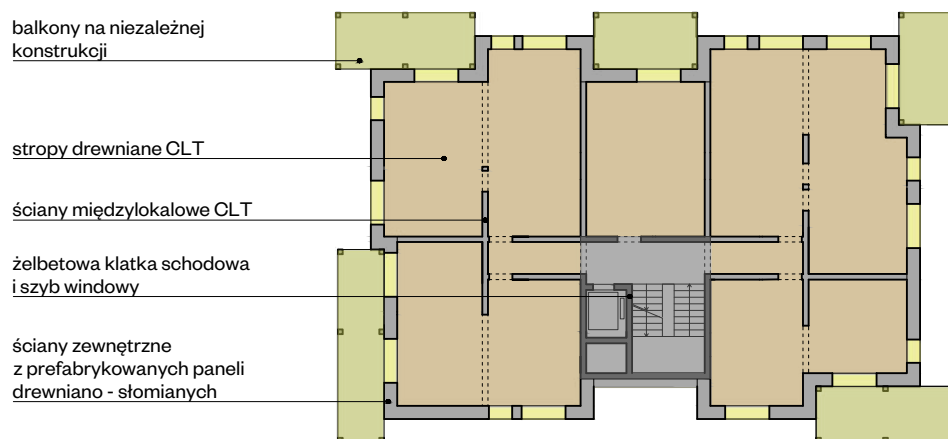
autor ilustracji: Jan Dowgiatto

5.1.3 Prefabrykaty słomiane

ściana z prefabrykowanych modułów drewniano-słomianych

Ściany między mieszkaniami oraz stropy wykonywane są z prefabrykatów z drewna klejonego krzyżowo (CLT).

Klatki schodowe i szachty windowe w tego typu budynkach są przeważnie żelbetowe i pełnią funkcję usztywniającą cały budynek.



autor ilustracji: Jan Dowgiałto

5.1.3 Prefabrykaty staliowe

schemat

Stropy układa się bezpośrednio na nośnych ścianach z paneli drewniano-słomianych i CLT, w razie potrzeby wzmocnionych elementami stalowymi. Ściany zewnętrzne zabezpieczone są folią wiatroizolacyjną i obłożone płytą izolacyjną z włókien drzewnych lub innych pochodzenia roślinnego. Takie rozwiązanie pozwala na łatwy montaż i ciągłość izolacji bez mostków termicznych oraz zabezpieczenie ścian przed

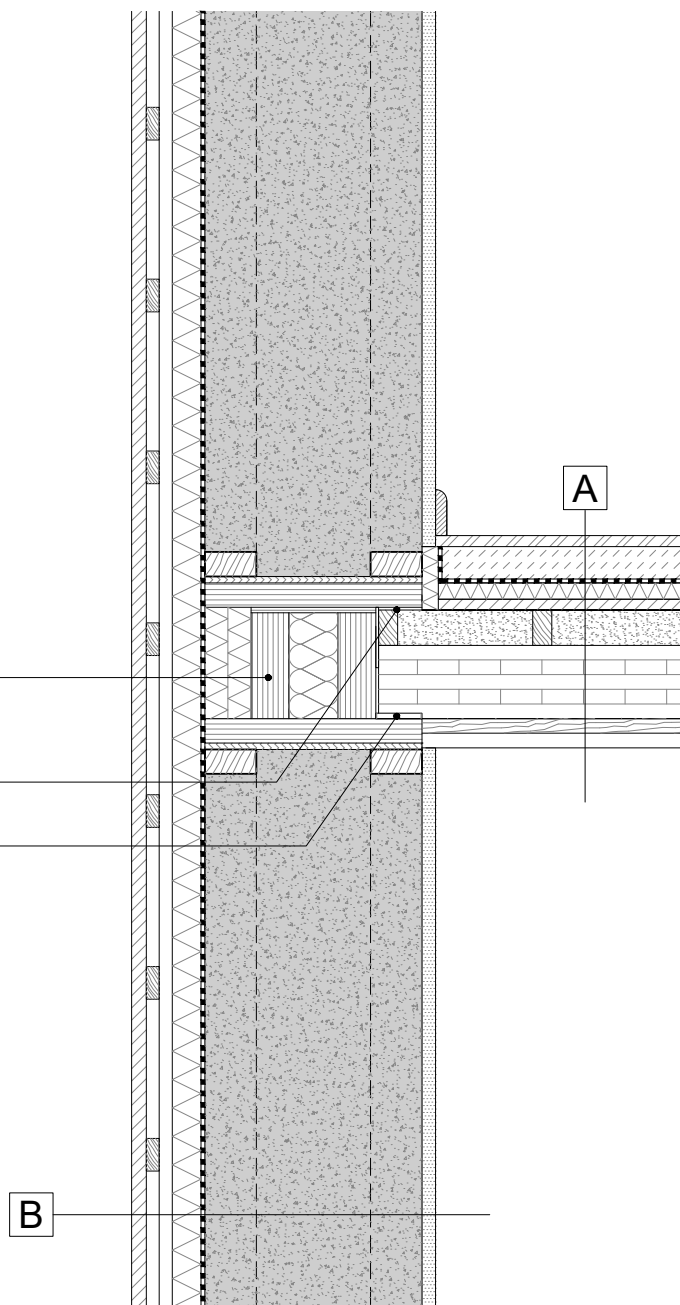
działaniem warunków atmosferycznych. Ściany mogą być wykończone od zewnątrz tynkiem, drewnem lub innymi materiałami w sposób zapewniający otwartość dyfuzyjną przegrody.

- A. STROP MIĘDZY KONDYGNACJAMI:
- posadzka
 - wylewka cementowa
 - przekładka z folii
 - izolacja akustyczna
 - płyta OSB
 - drewniane legary / dociążająca warstwa piasku
 - prefabrykowana płyta stropowa CLT
 - drewniany sufit akustyczny
- B. ŚCIANA ZEWNĘTRZNA:
- elewacja wentylowana
 - płyta z wełny drzewnej
 - membrana wysokoparoprzepuszczalna
 - drewniano-słomiany panel ścienny
 - wewnętrzny tynk gliniany

prefabrykowany wieniec z izolacją termiczną

dylatacja

przekładka akustyczna



autor ilustracji: Jan Dowgiałto

5.1.3 Prefabrykaty słomiane

połączenie stropu clt ze ścianą z prefabrykatów drewniano-słomianych

Dachy płaskie powstają z elementów stropowych z dodatkową warstwą termoizolacyjną z celulozy ułożonej pomiędzy systemowymi drewnianymi dwuteownikami. Ścianki attykowe, balustrady lub inne elementy wieńczące ścianę

również są prefabrykowane i zależnie od potrzeby i projektu są zrobione z paneli drewniano-słomianych albo CLT lub z innych, prefabrykowanych na zamówienie elementów.

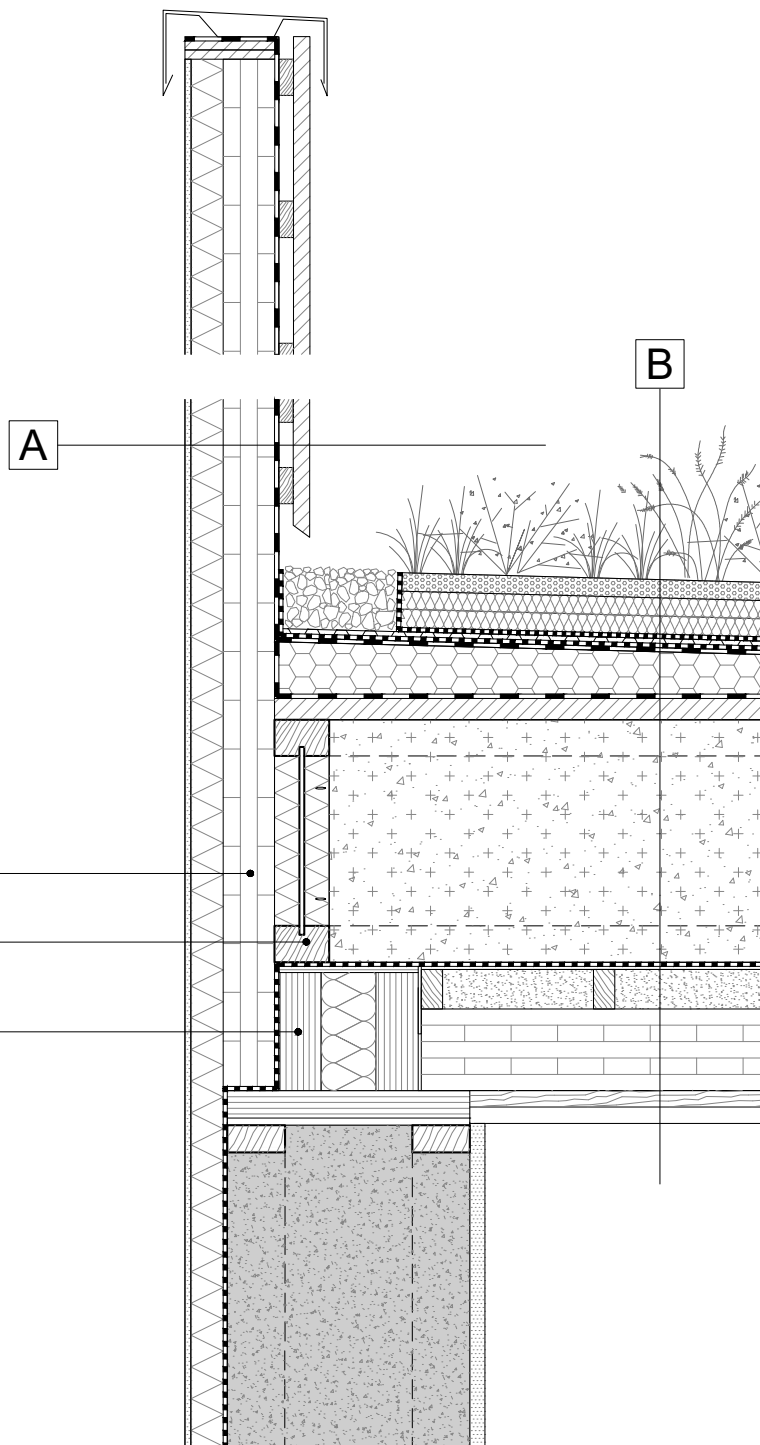
- A. BALUSTRADA PEŁNA:
- tynk zewnętrzny
 - paroprzepuszczalny
 - płyta izolacyjna z włókien drzewnych lub innych pochodzenia roślinnego
 - konstrukcja balustrady z CLT
 - folia EPDM
 - łaty
 - deska elewacyjna

- B. DACH:
- mata wegetacyjna
 - higroskopijna wełna skalna
 - geowłóknina filtracyjna
 - drenaż kubełkowy
 - folia przeciwkorpenna
 - folia EPDM
 - warstwa spadkowa
 - membrana dachowa
 - płyta OSB
 - systemowy dwuteownik drewniany / wdmuchiwana celuloza
 - paroizolacja
 - drewniane legary / dociążająca warstwa piasku
 - prefabrykowana płyta stropowa CLT
 - drewniany sufit akustyczny

balustrada pełna CLT

konstrukcja z systemowych drewnianych dwuteowników

prefabrykowany wieniec z izolacją termiczną



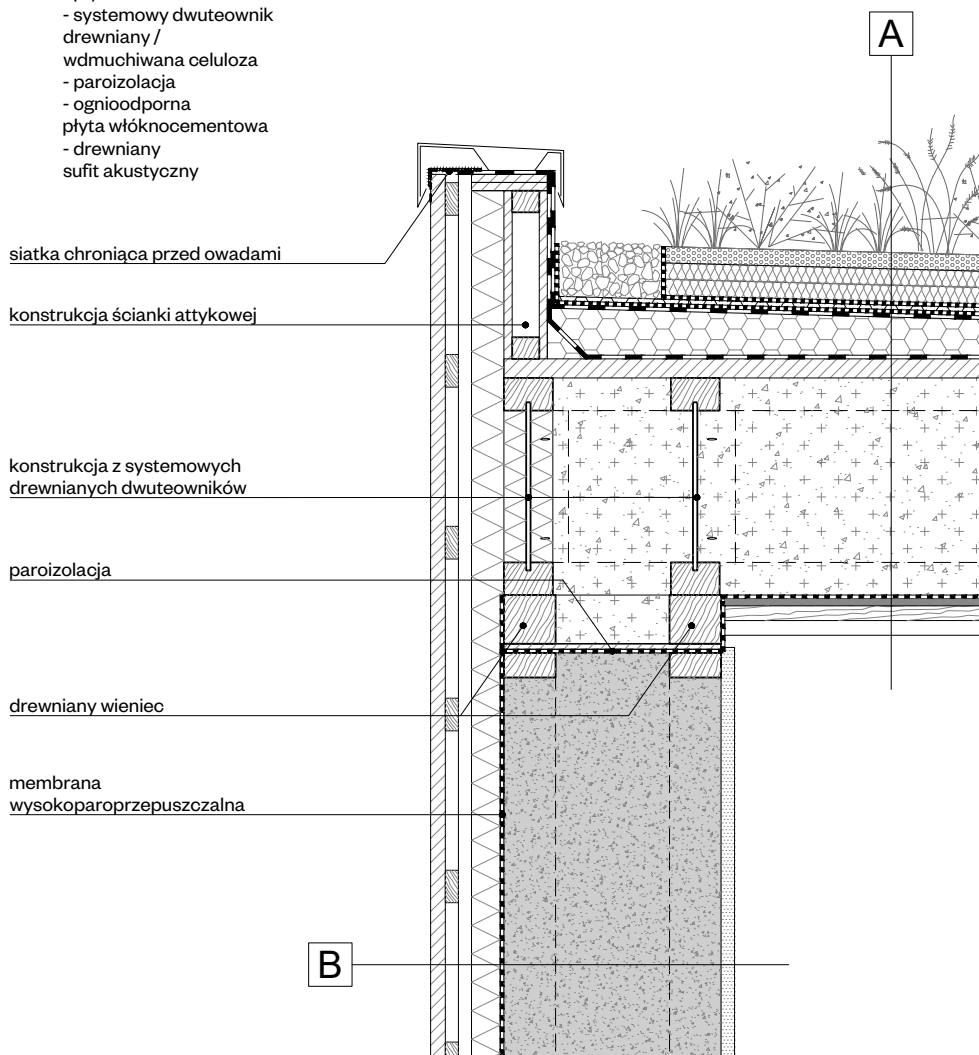
autor ilustracji: Jan Dowgiatto

5.1.3 Prefabrykaty słomiane

połączenie ściany z prefabrykatów drewniano-słomianych z dachem użytkowym

Możliwe jest zrezygnowanie ze stropu z CLT i zastosowanie jedynie dwuteowników z warstwą termoizolacji, o ile wyliczenia konstrukcyjne na to pozwalają. Jest to rozwiązanie mniej kosztowne i stosowane także w przypadku dachów spadzistych.

- A. STROPODACH:
- mata wegetacyjna
 - higroskopijna wełna skalna
 - geowłóknina filtracyjna
 - drenaż kubełkowy
 - folia przeciwkorzenna
 - folia EPDM
 - warstwa spadkowa
 - membrana dachowa
 - płyta OSB
 - systemowy dwuteownik drewniany / wdmuchiwana celuloza
 - paroizolacja
 - ognioodporna płyta włóknocementowa
 - drewniany sufit akustyczny
- B. ŚCIANA ZEWNĘTRZNA:
- elewacja wentylowana
 - płyta izolacyjna z włókien drzewnych lub innych pochodzenia roślinnego
 - wysokoparoprzepuszczalna
 - drewniano-słomiany panel ścienny
 - wewnętrzny tynk gliniany



autor ilustracji: Jan Dowgiatto

5.1.3 Prefabrykaty słomiane

połączenie ściany z prefabrykatów drewniano-słomianych ze stropodachem

Wizualizacje osiedla różnej wysokości budynków wielorodzinnych z prefabrykowanych elementów CLT i modułów drewniano-słomianych. Budynki różnią się między innymi wykończeniami oraz detalami stanowiących oddzielne konstrukcje balkonów.



autor ilustracji: Jan Dowgiałło

Osiedle różnej wysokości budynków wielorodzinnych z prefabrykowanych elementów CLT i modułów drewniano-słomianych



autor ilustracji: Jan Dowgiąto

Osiedle różnej wysokości budynków wielorodzinnych z prefabrykowanymi elementami CLT i modułami drewniano-słomianymi

5.2 Budynki termomodernizowane

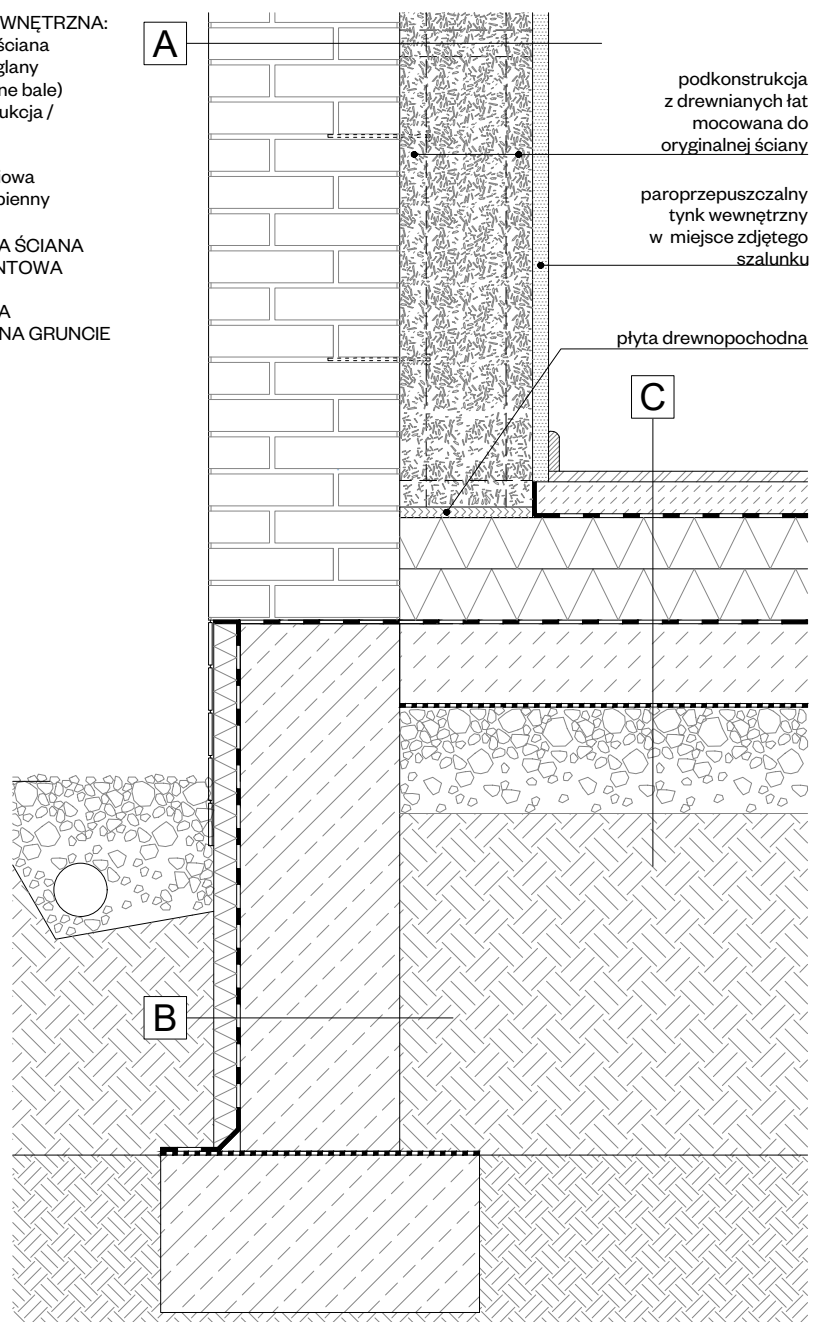
Jan Dowgiałto, Adam Parzyszek

5.2.1 Termomodernizacja budynku od wewnątrz z użyciem konoplitu

Budynki sprzed I wojny światowej, często również późniejsze, zbudowane są niemal wyłącznie z naturalnych materiałów. Mają zdolność do samoregulacji poziomu wilgoci, a w ich wnętrzach panuje przyjazny mikroklimat. Beton konopny (hempcrete, konoplit) był pierwotnie wykorzystywany w renowacjach tego typu obiektów, w tym także zabytkowych. Jego zadaniem było

zastąpienie XX - wiecznych materiałów renowacyjnych nieprzepuszczających pary wodnej, których stosowanie zaburza funkcjonowanie budynku i powoduje uszkodzenia remontowanych obiektów. Konoplit to oddychający materiał termoizolacyjny, który bardzo dobrze łączy się z przegrodami z naturalnych materiałów, nie szkodząc im ani nie wpływając negatywnie na ich właściwości. Stosuje się go między innymi do docieplania ścian od zewnątrz i od wewnątrz. Jest to istotne wówczas, gdy inwestor nie chce lub nie może zmieniać wyglądu zewnętrznego budynku.

- A. ŚCIANA ZEWNĘTRZNA:
 - istniejąca ściana (np. mur ceglany lub drewniane bale)
 - podkonstrukcja / konoplit
 - warstwa wykończeniowa np. tynk wapienny
- B. ISTNIEJĄCA ŚCIANA FUNDAMENTOWA
- C. ISTNIEJĄCA PODŁOGA NA GRUNCIE



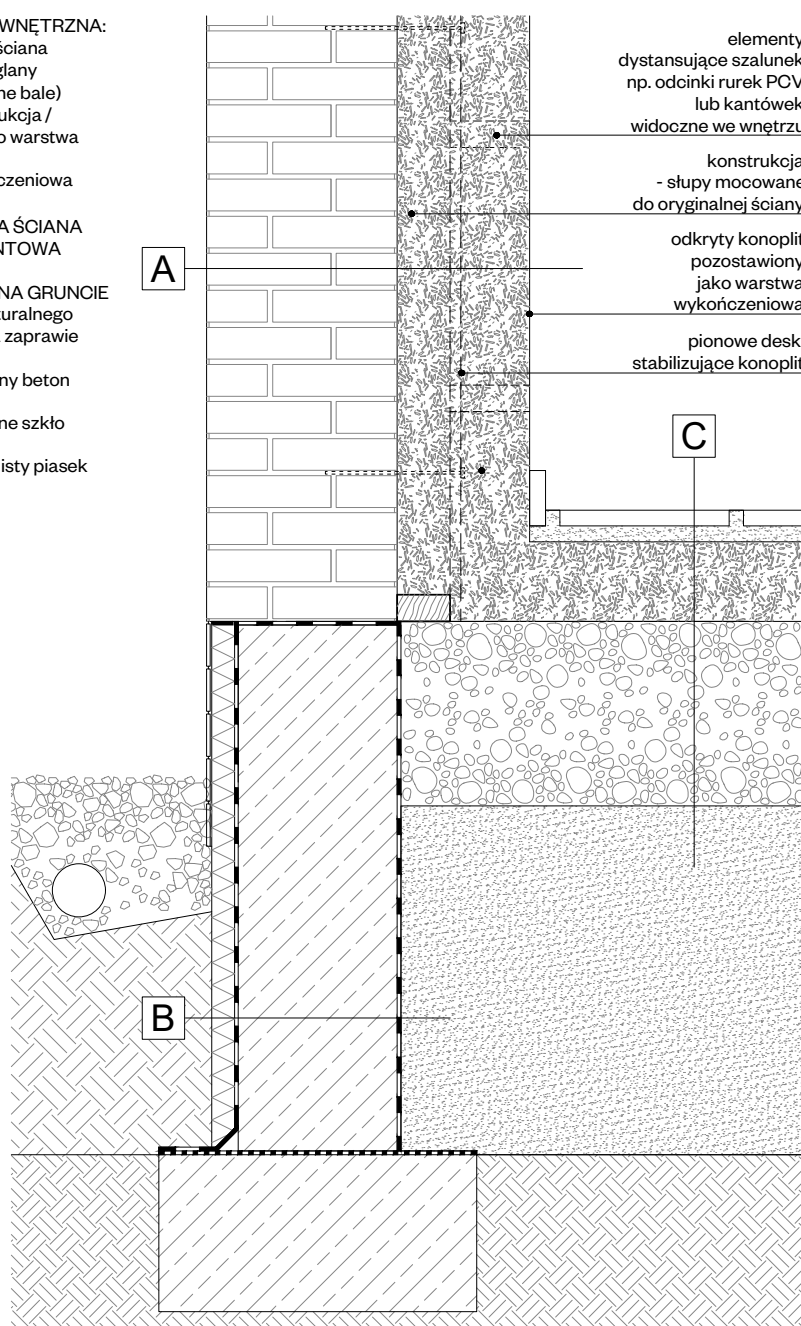
5.2.1 Termomodernizacja budynku od wewnątrz z użyciem konoplitu
docieplenie istniejącej ściany konoplitem od wewnątrz

autor ilustracji: Jan Dowgiałto

Warstwę dociepleniową z betonu konopnego najczęściej układa się pomiędzy ścianą zewnętrzną a mocowanym do niej tymczasowym szalunkiem. Zastosowanie dwusłupowej drewnianej podkonstrukcji pozwala na łatwy montaż szalunków oraz stabilne i równomierne wypełnienie konoplitem.

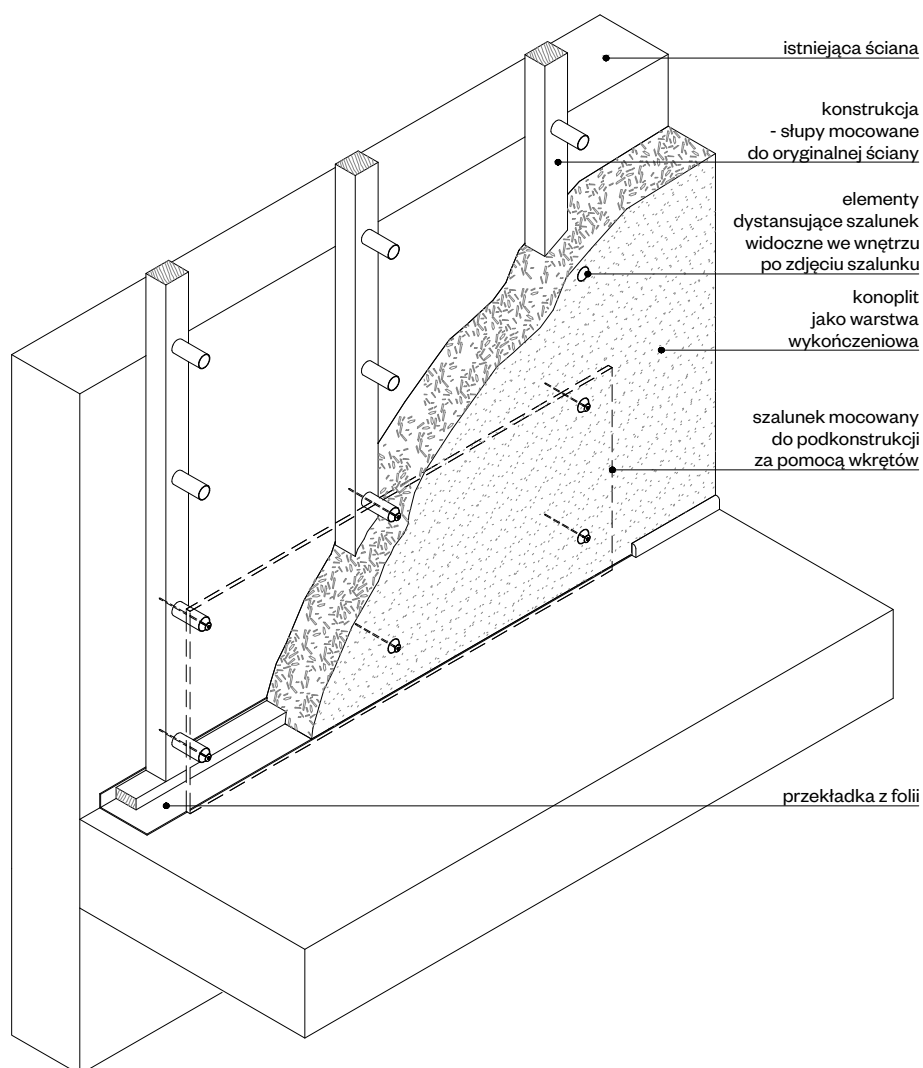
Podkonstrukcja może też być schowana w ścianie, a do dystansowania szalunku można wykorzystać pocięte na równe odcinki rurki PCV lub kantówki. Dla lepszej stabilizacji konoplitu, do słupków podkonstrukcji mocuje się przytrzymujące go dodatkowe elementy, takie jak poziome lub pionowe listwy albo rozpinany poziomo drut.

- A. ŚCIANA ZEWNĘTRZNA:
 - istniejąca ściana (np. mur ceglany lub drewniane bale)
 - podkonstrukcja / konoplit jako warstwa izolacyjna oraz wykończeniowa
- B. ISTNIEJĄCA ŚCIANA FUNDAMENTOWA
- C. PODŁOGA NA GRUNCIE
 - płytki z naturalnego kamienia na zaprawie wapiennej
 - zagęszczany beton konopny
 - granulowane szkło piankowe
 - gruboziarnisty piasek



5.2.1 Termomodernizacja budynku od wewnątrz z użyciem konoplitu
 docieplenie istniejącej ściany konoplitem od wewnątrz z wymianą podłogi

Zastosowana metoda ma wpływ na wygląd ściany od strony docieplanego pomieszczenia. Jeśli konoplit i podkonstrukcja są porządnie i estetycznie wykonane, można przestać na zdjęciu szalunków i pozostawieniu ściany bez dodatkowych wykończeń.

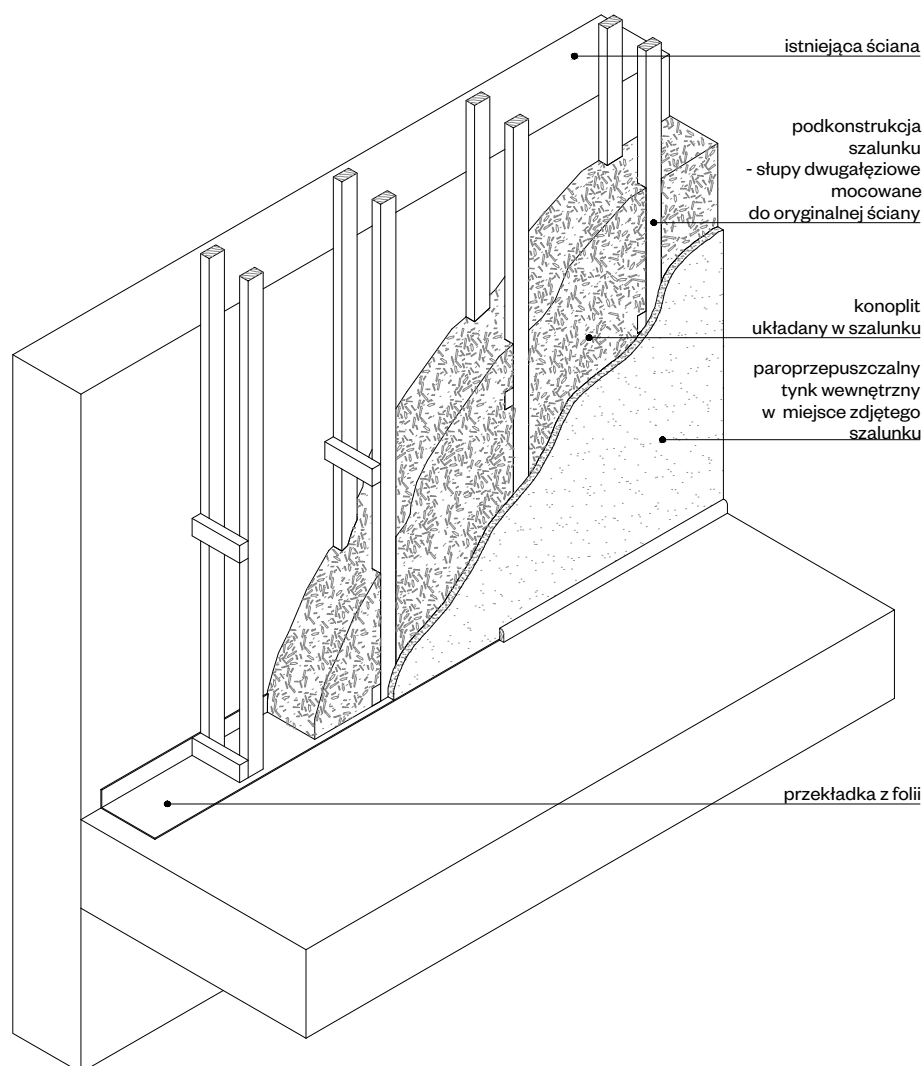


5.2.1 Termomodernizacja budynku od wewnątrz z użyciem konoplitu
docieplenie istniejącej ściany konoplitem od wewnątrz metodą szalunkową z dystansami

W innym przypadku ściany wykańcza się w sposób umożliwiający przenikanie pary wodnej do i z przegrody, np. paroprzepuszczalnym tynkiem wapiennym lub glinianym. Grubość, rodzaj spoiwa, gęstość, czyli parametry izolacyjności, powinny być odpowiednio dobrane każdorazowo do budowy ściany istniejącej i potwierdzone analizą cieplno-wilgotnościową przegród. Należy uwzględnić porę roku i czas schnięcia warstwy kompozytu oraz możliwość czasowego zawilgocenia istniejących przegród.

Zasypowym kompozytem konopno-wapiennym izoluje się również posadzki na gruncie i stropy. Można skorzystać z tej metody wówczas,

gdy poziom wód gruntowych jest niski i nie ma ryzyka kapilarnego podciągania wilgoci. Trzeba wtedy pamiętać, że podłoga powinna pozwalać na odpływ wody z pomieszczenia, czyli w dół, a jednocześnie zapobiegać jej podsiąkaniu z ziemi do wnętrza. Rozwiązaniem może być zastosowanie pod konoplitem, termoizolacyjnej warstwy nienasiąkliwego szkła piankowego.



5.2.1 Termomodernizacja budynku od wewnątrz z użyciem konoplitu

docieplenie istniejącej ściany konoplitem od wewnątrz metodą szalunkową z dwugałęziową podkonstrukcją drewnianą

Alternatywą dla betonu konopnego układanego w szalunku są prefabrykowane bloczki, które można kupić lub wyprodukować samodzielnie. Prefabrykaty wymagają spoin, ale pozwalają na uniknięcie szalunkowania oraz na wykonywanie przegród o mniejszej początkowo wilgotności. Warstwa z bloczków najczęściej nie przylega ściśle do starej ściany i wymaga odsunięcia się od niej, czyli pozostawienia małej szpary, w celu ewentualnego zasypania paździerzem. Wówczas między ścianą a bloczkami instaluje się wiatroizolację.

Konoplit można także natryskiwać maszynowo. Jest to szybka metoda, pozwalająca na dokładniejsze wypełnienie szczelin w starej ścianie.

Termomodernizacja budynku z bali w Świętokrzyskiem

wykonanie: inwestor wspierany przez Hemp System



źródło: Mikołaj Wojciechowski

Stara chata z bali o grubości 14 cm została docieplona od środka, co pozwoliło zachować oryginalny wygląd zewnętrzny drewnianych ścian. Paroprzepuszczalną izolację z betonu konopnego wykonano na miejscu przy użyciu mieszalnika o poj. 300 L z pionową osią mieszania.

Podkonstrukcję pod 10-centymetrową warstwę izolacji wykonano z drewnianych łąt. Większe szpary w ścianach zostały wypełnione włóknem konopnym.

Jednym z pierwszych kroków było położenie peszli instalacyjnych ukrytych wewnątrz ściany.



źródło: Mikołaj Wojciechowski



źródło: Mikołaj Wojciechowski

Oryginalne bale zostały od środka pomalowane mleczkiem wapiennym w celu ochrony drewna przed korozją biologiczną. Do podkonstrukcji przykręcono tymczasowy szalunek z płyty OSB.



źródło: Mikołaj Wojchechowski

Pomiędzy starą ścianą a stopniowo podnoszonym szalunkiem, ręcznie układano warstwami mokrą mieszankę betonu konopnego. Po jego wyschnięciu, otwornicą wywiercono otwory pod puszkę i wyprowadzono kable z wcześniej zatopionych peszli.

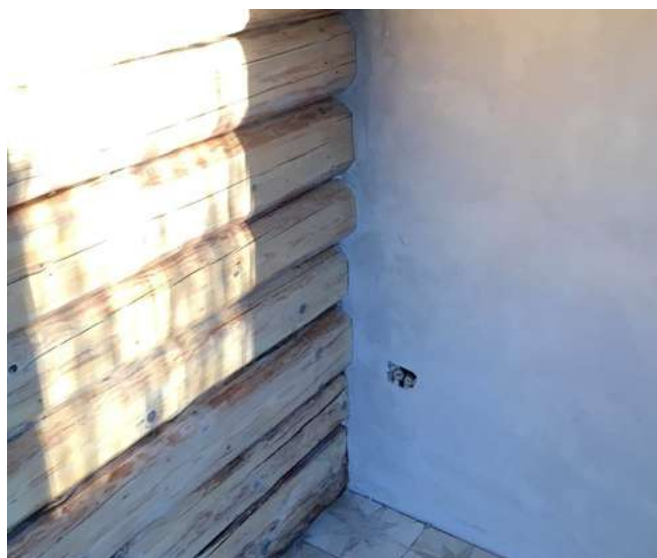


źródło: Mikołaj Wojchechowski

10-centymetrowa warstwa konoplitu poprawia termoizolacyjność ścian, ale nie jest wystarczająca, żeby spełnić wymagania wynikające z warunków technicznych. Natomiast plastyczna, monolityczna struktura konoplitu umożliwia wypełnienie szczelin, dotarcie do wszelkich



źródło: Mikołaj Wojchechowski



źródło: Mikołaj Wojchechowski

zagłębień i nierówności oraz uniknięcie mostków termicznych.

Precyzyjnie wykonane ściany z betonu konopnego można pozostawić bez wykończenia, jako wyjątkowe elementy wystroju wnętrz. W tym wypadku ściany zostały otynkowane gliną.

5.2.2 Termomodernizacja budynku z użyciem kostek słomy

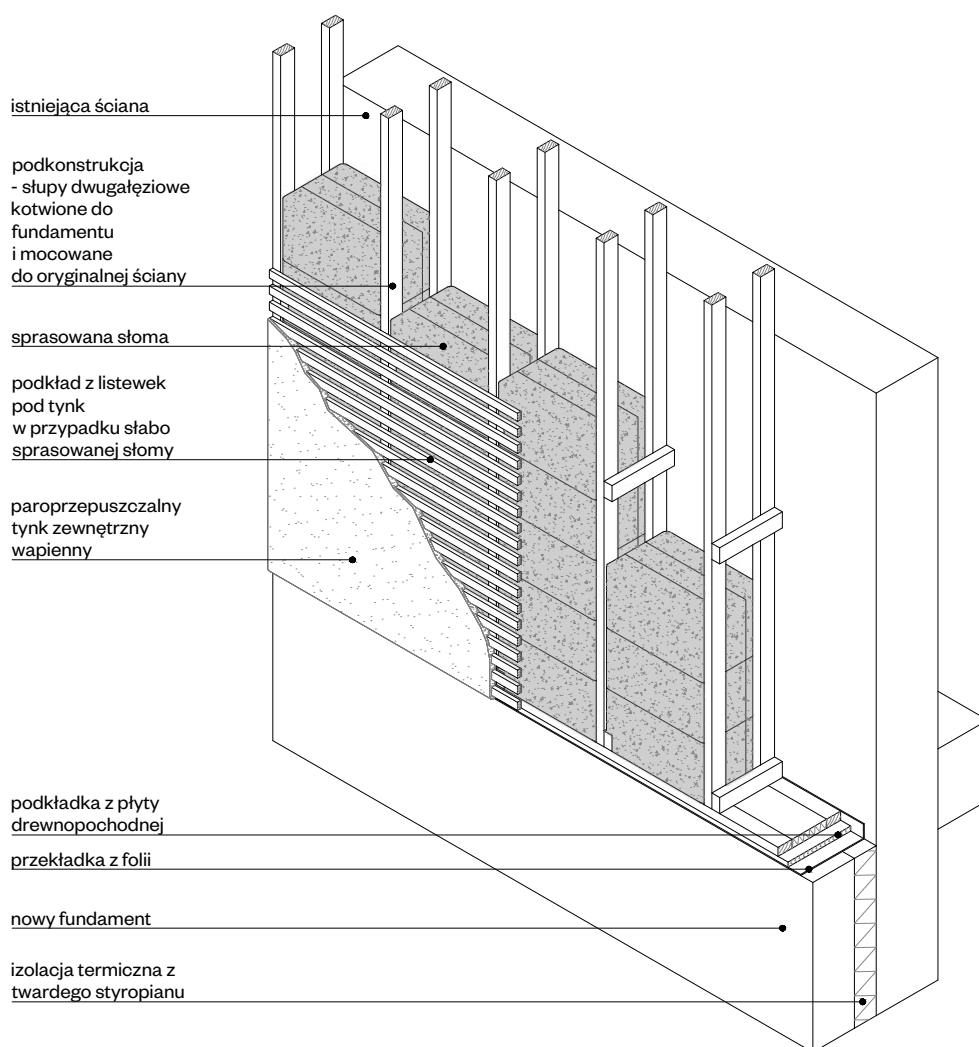
Docieplanie istniejących budynków kostkami sprasowanej słomy może być prowadzone w sposób energooszczędny i niskim nakładem kosztów materiałowych.

Ściana izolowana od zewnątrz słomą zachowuje swoją paroprzepuszczalność i jest odporna na wzrost wilgotności (do 16-18 proc.). Słoma zatem w wielu przypadkach sprawdza się lepiej,

niz rynkowe materiały izolacyjne takie, jak styropian czy wełna mineralna. Jej odpowiednie użycie nie prowadzi do negatywnych skutków ograniczenia dyfuzji takich, jak zawilgocenie murów czy powstawanie pleśni.

Kostki słomy muszą mocno przylegać do izolowanej ściany. Można to uzyskać poprzez użycie wkrętów oczkowych lub sznurka. Kostki mogą być układane w rozmaitych drewnianych podkonstrukcjach, przytwierdzonych do budynku.

Izolacja ze słomy powinna być stosunkowo gruba, żeby spełniać współczesne normy. Jej wartość izolacyjna zależy przede wszystkim od rzeczywistej gęstości kostki i kierunku ułożenia słomek w stosunku do przepływu ciepła. Istotne jest również to, by nie miała styczności z wodą. Dlatego podkonstrukcję stawia się na



5.2.2 Termomodernizacja budynku z użyciem kostek słomy

docieplenie istniejącej ściany od zewnątrz kostkami sprasowanej słomy w lekkiej dwugąździowej podkonstrukcji

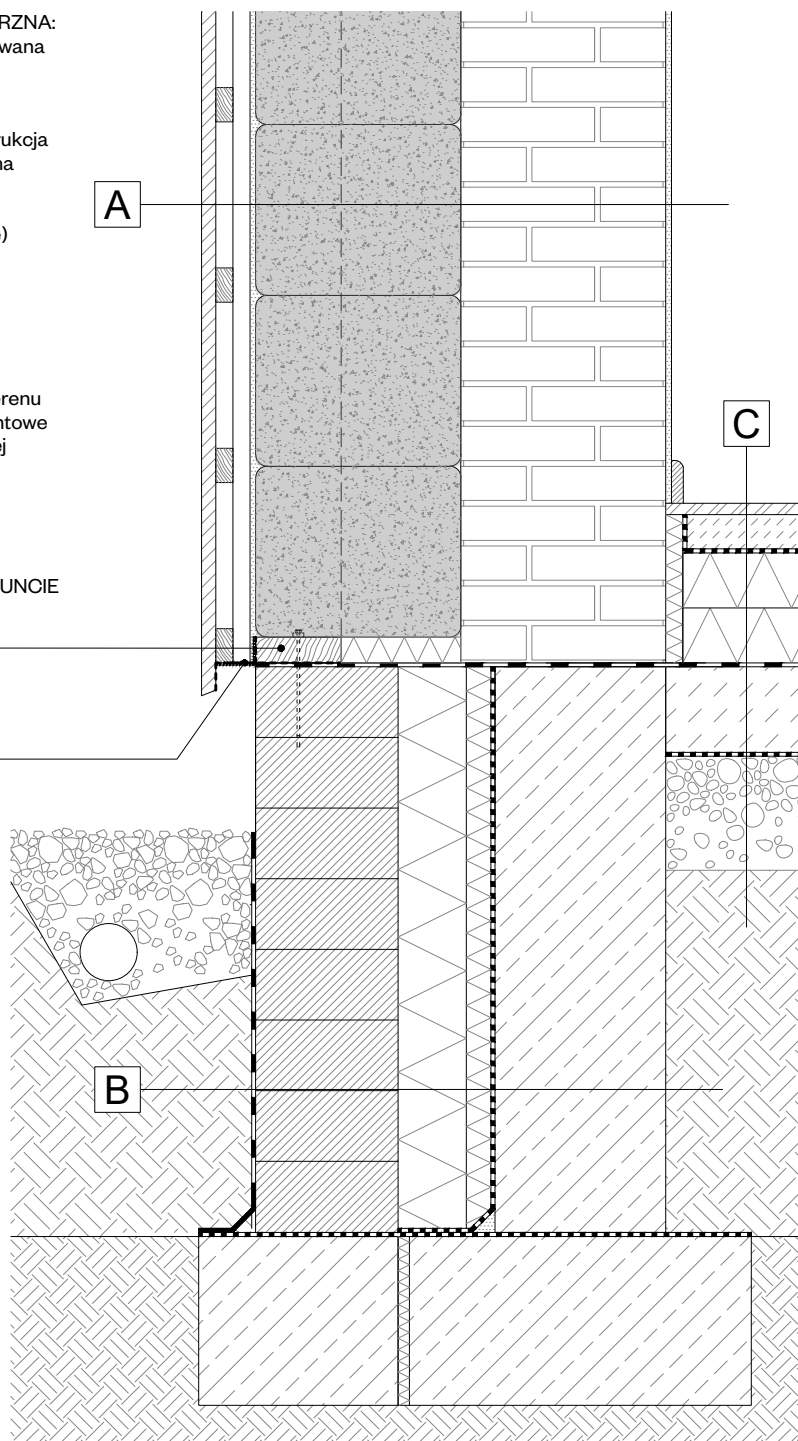
kilkudziesięciocentymetrowej wysokości cokole i odcina od niego izolacją poziomą. Zależnie od ciężaru i rodzaju konstrukcji, cokół może, ale nie musi, pełnić rolę fundamentu.

Od strony zewnętrznej słoma powinna być zawsze zabezpieczona przed fauną i ogniem. Przeważnie używa się do tego obrzutki glinianej, można także wykorzystać płyty z izolacji organicznej lub tynk wapienny.

Warstwa wykończeniowa powinna być paroprzepuszczalna. W tym celu najczęściej stosuje się elewację wentylowaną lub wysoko-paroprzepuszczalny tynk (np. wapienny, gliniany lub silikatowy - krzemianowy), kładziony w kilku warstwach na siatce, podkonstrukcji lub bezpośrednio na wyrównanej warstwie słomy.

- A. ŚCIANA ZEWNĘTRZNA:
 - elewacja wentylowana
 - tynk gliniany chroniący słomę przed ogniem
 - drewniana konstrukcja / sprasowana słoma
 - istniejąca ściana (np. mur ceglany lub drewniane bale)
 - warstwa wykończeniowa np. tynk wapienny
- B. FUNDAMENT
 - hydroizolacja poniżej poziomu terenu
 - bloczki fundamentowe na ławie żelbetowej
 - styropian EPS
 - istniejąca ława fundamentowa
- C. ISTNIEJĄCA PODŁOGA NA GRUNCIE
 podwalina kotwiona do fundamentu

siatka chroniąca przed owadami



5.2.2 Termomodernizacja budynku z użyciem kostek słomy

docieplenie istniejącej ściany od zewnątrz kostkami sprasowanej słomy w lekkiej dwugałęziowej podkonstrukcji

Przebudowa i termomodernizacja starego domu na Mazowszu

projekt: mech.build + Ryszard Biliński

wykonanie: Ryszard Biliński + Józef Chromik



źródło: inwestor

Stary dom o ścianach z mieszanki gliny i słomy (glinobitka), wymurowany z dodatkiem kamieni polnych i cegieł, łączonych zaprawą wapienną, wymagał pilnego remontu ze względu na pogarszający się stan techniczny. Inwestor zdecydował się całkowicie przebudować poddasze, zostawiając na pamiątkę ściany parteru. Zależało mu na odświeżeniu fragmentów starego muru we wnętrzach i na tym, by ściany mogły oddychać, zachowując potencjał gliny do stabilizacji wilgotności i temperatury. Do docieplenia zdecydował się zatem wykorzystać kostki sprasowanej słomy.



źródło: Ryszard Biliński

W pierwszej kolejności rozebrano dach i osuszono stare kamienne fundamenty. Po obwodzie domu ułożona została pionowa termoizolacja

z twardego i wodoodpornego styropianu EPS, a następnie wylana w szalunku żelbetowa ściana fundamentowa.



źródło: Ryszard Biliński

Na nowym fundamencie położono poziomą warstwę hydroizolacji, zapobiegającą kapilarnemu podciąganiu wód gruntowych do ścian. Na niej postawiono, niezależną od istniejących ścian, drewnianą konstrukcję podtrzymującą nowy strop i dach. Odległość konstrukcji od ścian domu została obliczona z uwzględnieniem grubości sprasowanej kostki słomy.



źródło: Ryszard Biliński

Słupy stopniowo okładano podkonstrukcją z drewnianych łąt. Pomiędzy nimi a starymi murami ułożono i ubito kostki słomy. Łaty posłużyły jako rodzaj ażurowego szalunku, który utrzymuje słomę i stanowi podkład pod kładzione warstwami wapienny tynk.



źródło: Jan Dowgiałło

Podkładowa warstwa tynku została ułożona przed sezonem deszczowym w celu zabezpieczenia ścian przed wpływem warunków atmosferycznych.

Dzięki temu, że stare mury zostały zaizolowane od zewnątrz oddychającym materiałem, we wnętrzu możliwe było pozostawienie oryginalnych fragmentów ścian z gliny, kamienia i cegły. Ich nieregularne kształty zostały podkreślone poprzez wykończenie naturalnym tynkiem glinianym.



źródło: Jan Dowgiałło

Do czasu napisania tego tekstu, parter domu został obrzucony pierwszą, podkładową warstwą wysokoparoprzepuszczalnego tynku wapiennego. Docelowo wykonana będzie wykończeniowa warstwa, która nada elewacjom niepowtarzalny, nieco organiczny urok, kojarzący się z architekturą dawnych polskich dworów.

5.2.2 Termomodernizacja budynku z użyciem kostek słomy

Przebudowa i termomodernizacja starego domu na Mazowszu



źródło: Józef Chromik



źródło: Józef Chromik



źródło: Józef Chromik

5.2.2 Termomodernizacja budynku z użyciem kostek słomy

Przebudowa i termomodernizacja
starego domu na Mazowszu

Rozdział 6

Przykłady realizacji z wykorzystaniem naturalnych technologii

Przemysław Woś

Rezydencja Jules Ferry / Saint Dié des Vosges, Francja

Lokalizacja: Saint-Dié-des-Vosges, Francja

Realizacja: 2014

Projekt ASP Architecture

Zamawiający: Le Toit Vosgien

Powierzchnia użytkowa: 2 700m²

Realizacja składa się z dwóch obiektów - trzykondygnacyjnego i siedmiokondygnacyjnego - będącego, w momencie budowy, najwyższym dotychczas budynkiem z użyciem izolacji słomianej. Łącznie mieszczą one 26 mieszkań (o metrażu 76 m² i 90 m²). Konstrukcja ścian i stropów powstała z prefabrykatów z drewna klejonego (CLT), a do izolacji w prefabrykowanych kasetonach posłużyła słoma. Następnie dla ochrony przed deszczem i podwyższenia odporności ogniowej, elewację w znacznej części pokryto płytkami ceramicznymi.

Obiekt ma ujemny ślad węglowy. Zastosowanie materiałów pochodzenia naturalnego pozwoliło zamknąć w budynku 1100 ton CO₂ (po odliczeniu śladu węglowego wytworzonego w czasie budowy), co oznacza, że dzięki naturalnym materiałom udało się uniknąć emisji takiej ilości dwutlenku węgla. Dla porównania, analogiczny budynek w technologii konwencjonalnej (beton/styropian/PCV) emituje do atmosfery 600 ton CO₂.

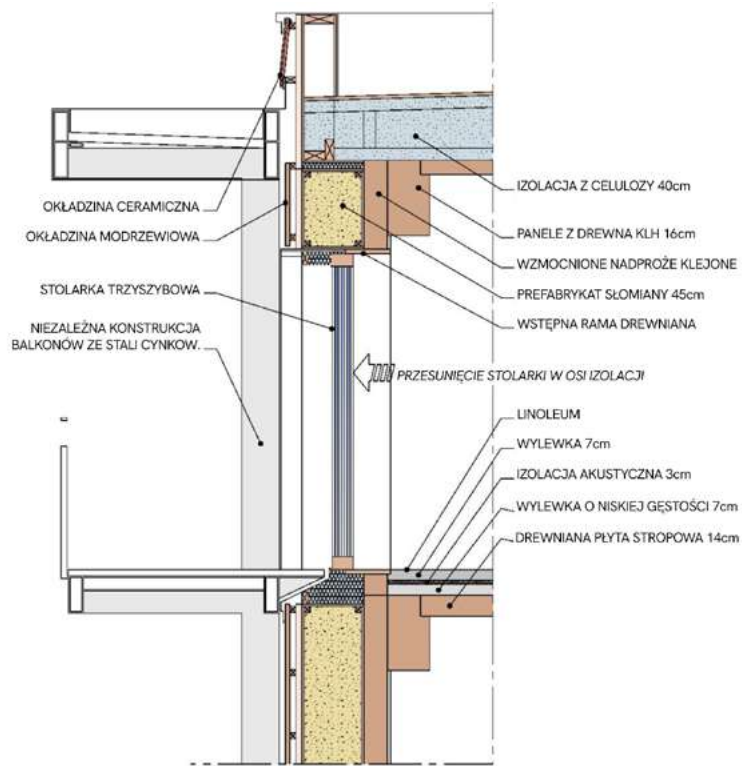
Ograniczenie śladu węglowego wzięto pod uwagę nie tylko na etapie budowy. Budynek spełnia standardy pasywności, z gruntową pompą ciepła, wentylacją mechaniczną z rekuperacją i kolektorami słonecznymi na dachu. Ponadto prowadzony jest w nim odzysk ciepła ze zużytej wody i energii z ruchu windy.



źródło: Lignatec



źródło: KLH.at



Przekrój przez ścianę zewnętrzną

Rezydencja Jules Ferry / Saint Dié des Vosges we Francji



źródło: ASP Architecture

Zespół szkół Stéphane Hessel - Les Zéfirottes / Montreuil, Francja

Lokalizacja: Montreuil, Francja

Realizacja: 2014

Architektura: Christian Hackel / Méandre etc' /
M'Cube architectes

Zamawiający: Miasto Montreuil-sous-Bois

Powierzchnia użytkowa: 6200 m²

Koszt budowy: 13 milionów euro netto z wyposażeniem zewnętrznym

Technologia: prefabrykaty słomiane

Inwestycja składa się z trzech połączonych budynków, obejmujących szkołę podstawową (15 klas), przedszkole (9 klas), ośrodek rekreacyjny i zaplecze gastronomiczne (na 550 posiłków). Układ tych obiektów pozwolił na umieszczenie sal lekcyjnych od północy, przez co ograniczone zostało ryzyko przegrzania pomieszczeń. Placówka przewidziana jest na 650 dzieci.

Budynki szkolne zbudowane są z elementów drewnianych: na zewnątrz z sosny dąglezji (zabezpieczonej okładziną modrzewiową), wewnątrz ze świerku (z poszyciem z jesionu poddanego obróbce cieplnej). Prefabrykowane skrzynki elewacyjne (7,20 m x 3,20 m) i boksy dachowe (do 16 m) zostały wypełnione zagęszczoną słomą pszenną o grubości 36 cm, hermetycznie zamknięte i wyłożone warstwą wełny mineralnej o grubości 50 mm pod dwiema skrzyżowanymi płytami Fermacell (w ten sposób zostały spełnione wymagania bezpieczeństwa pożarowego).

Dwie trzecie potrzebnego prądu dostarczane jest przez 700 m² paneli fotowoltaicznych i kogenerację na olej rzepakowy, ciepło jest odzyskiwane do ogrzewania szkoły. Wodę na stołówkę ogrzewa 25 m² solarów. Zaplanowane zostało wykorzystanie wody deszczowej do toalet i podlewania ogrodu o powierzchni 3500m², w którym rośnie 8000 roślin wieloletnich.



źródło: Izabel Da Silva et Xavier Point



źródło: Izabel Da Silva et Xavier Point



źródło: Izabel Da Silva et Xavier Point



Zespół szkół Stéphane Hessel - Les Zéfirottes / Montreuil, Francja



The Gateway Building / Uniwersytet w Nottingham, Wielka Brytania

Lokalizacja: Nottingham, Wielka Brytania

Realizacja: 2011

Architektura: Make Architects

Zamawiający: Uniwersytet w Nottingham

Powierzchnia użytkowa: 3100 m²

Koszt budowy: 5.5 milionów funtów

Technologia: prefabrykaty słomiane

Nowy Gateway Building (budynek przy wjeździe) Uniwersytetu Nottingham łączy ze sobą Wydział Nauk Biologicznych oraz Wydział Nauk Weterynaryjnych i Medycznych. Został zaprojektowany tak, by pomieścić biura, laboratoria, sale seminaryjne i komputerowe. Na charakter projektu miało wpływ dziedzictwo rolnicze kampusu i silna polityka zrównoważonego rozwoju uczelni. Fasada budynku składa się z prefabrykowanych paneli ze słomą pochodzącą z własnych pól uprawnych uniwersytetu, które widać z okien budynku. Panele mają prawie 14 metrów długości, zbudowane są z drewna klejonego krzyżowo, wypełnione słomą i zewnętrznie tynkowane paroprzepuszczalnym tynkiem. Zostały one wykonane w pobliżu kampusu w tymczasowej "latającej" fabryce. Tim Brooksbank, dyrektor ds. rozwoju uniwersytetu, mówi, że to właśnie propozycja użycia słomy zapewniła architektom z Make zwycięstwo w konkursie na projekt. Przyjęta technologia okazała się 30 proc. tańsza, niż panele popularnej wtedy firmy Modcell, z ceną porównywalną do konwencjonalnych systemów ścian osłonowych.



źródło: Przemysław Woś



źródło: Przemysław Woś



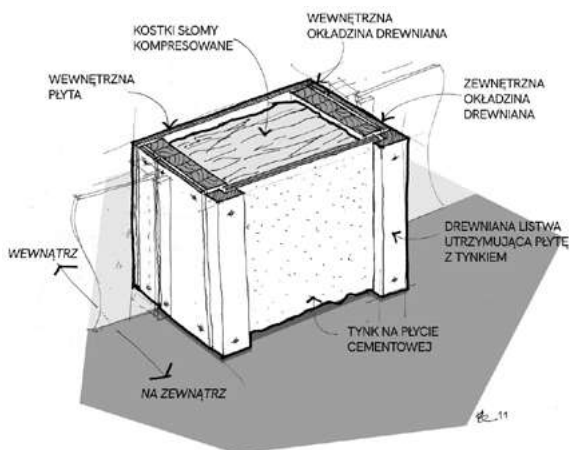
źródło: MakeArchitects

źródło: Izabel Da Silva et Xavier Point



The Gateway Building / Uniwersytet w Nottingham, Wielka Brytania

źródło: Przemysław Woś



źródło: Przemysław Woś

Osiedle LILAC / Leeds, Wielka Brytania

Lokalizacja: Leeds, Wielka Brytania

Realizacja: 2013

Architektura: White Design

Zamawiający: kooperatywa LILAC

Powierzchnia użytkowa: 1670 m²

Koszt budowy: 2 222 000 funtów

Technologia: prefabrykaty słomiane

Po 6 latach oddolnej pracy nad przedsięwzięciem, spółdzielni z Leeds udało się zbudować osiedle LILAC [Low Impact Living Affordable Community]. Na działce o pow. 2800 m² zmieściło się 6 budynków, a w nich 20 lokali różnej wielkości na 50 mieszkańców i jeden budynek do użytku wspólnego. Jako pierwsze w Wielkiej Brytanii stowarzyszenie wzajemnej własności domów (MHOS), LILAC utrzymuje ceny domów na stałym, przystępnym poziomie. Koszty są bezpośrednio powiązane ze wzrostem przeciętnego wynagrodzenia, nie zaś ze wzrostem wartości rynkowej. Mieszkańcy współdzielą przestrzeń między budynkami, staw, ogród, plac zabaw, warsztat oraz wspólne zasoby takie, jak sprzęt ogrodowy, elektronarzędzia i samochody. Na 20 rodzin posiadają ich 10.

Osiedle zostało wybudowane w modelu „zaprojektuj i zbuduj” w konstrukcji z drewnianych prefabrykatów, wypełnianych słomą. W pracach budowlanych pomagali mieszkańcy. Ściany zewnętrzne i wykończenia wewnątrz pokryte są tynkiem wapiennym. Okna są trzyszybowe, w większości zwrócone na południe dla zysków ciepła słonecznego podczas zimy. Zastosowana została również wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła - kolektory do ogrzewania ciepłej wody i panele fotowoltaiczne. LILAC posiada system zapobiegania powodziom, w ramach którego zrównoważony miejski system odwadniania (SUDS) zasila centralny staw. Woda deszczowa, spływająca z dachu, zbierana jest do beczek i wykorzystywana do podlewania ogrodów. Nadmiar wody z beczek wpływa do centralnego stawu.

Koszt budowy tego osiedla był droższy od średniej w Wielkiej Brytanii o 45 proc. Jednak inwestycja w efektywność energetyczną i odnawialne źródła energii pozwoliła zmniejszyć rachunki o dwie trzecie względem średniej krajowej za m².



źródło: ModCell

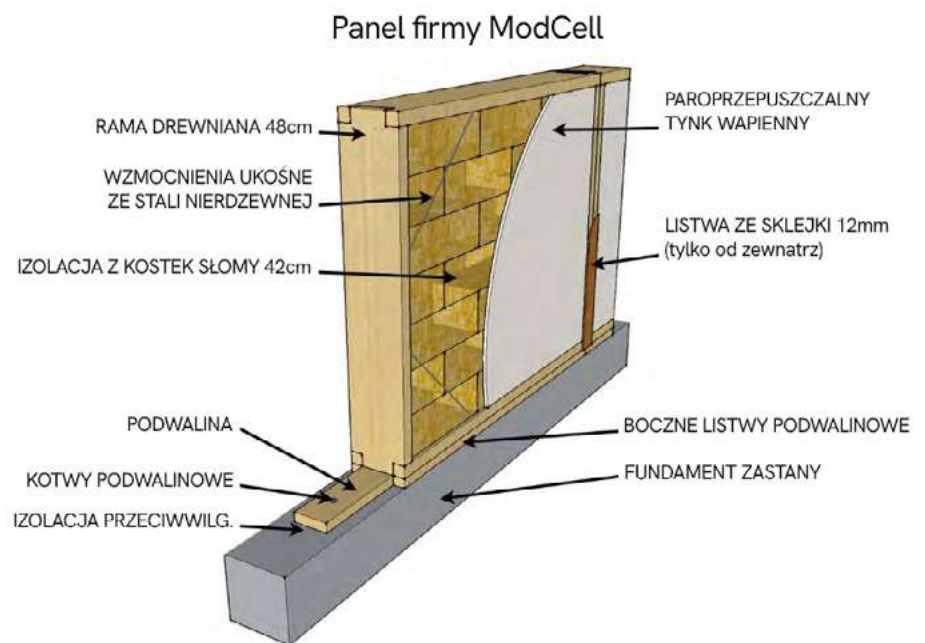


źródło: ModCell



źródło: ModCell

Osiedle LILAC / Leeds, Wielka Brytania



Patent No: GB245789B1

źródło: ModCell

Przedszkole Les Boutours / Rosny sous Bois, Francja

Lokalizacja: Rosny sous Bois, Francja

Realizacja: 2014

Architektura: Atelier d'Architecture LA RUCHE

Zamawiający: Miasto Rosny sous Bois

Powierzchnia użytkowa: 2 500 m²

Przedszkole Les Boutours powstało na przedmieściach Paryża, w regionie, który znany był z tradycji ogrodnictwa i produkcji żywności dla stolicy. Była to jedna z inspiracji stworzenia miejsca edukacji dla dzieci, w którym będą one uczyć się odpowiedzialnych relacji z przyrodą. Wszystko – od użytych materiałów budowlanych, przez sposób użytkowania budynku, z prawdziwym ogrodem warzywnym na dachu, po zaangażowanie lokalnej społeczności w powstanie tego miejsca – zostało pomyślane tak, by mieć pozytywny wpływ na bezpośrednie otoczenie i środowisko.

Jest to budynek spełniający pasywny standard energetyczny, ze ścianami wykonanymi z prefabrykatów słomianych. Urządzenia wentylacyjne zostały zredukowane do minimum dzięki zastosowaniu studni kanadyjskich (wymienika gruntowego) i naturalnej wentylacji, wspieranej czujnikami stanu powietrza wewnątrz i na zewnątrz budynku. Farby użyte we wnętrzach zostały przygotowane na bazie olejów z okolicznych roślin.

Na dachu budynku znajduje się ogród o powierzchni 600 m², w którym dzieci mogą poznać życie roślin i nauczyć się odpowiedzialnego gospodarowania zasobami naturalnymi. Istotne jest to, że rodzice, nauczyciele, a także dzieci, uczestniczyli w projektowaniu ogrodu od momentu wyboru lokalizacji budynku, a także wykonali ozdabiające go mozaiki oraz zaprojektowali i zbudowali jego ogrodzenie. Wszystkim tym działaniom towarzyszyły warsztaty ogrodnicze, np. dotyczące permakultury miejskiej, budowlane oraz regularne szkolenia dla osób bezrobotnych z urzędu pracy. Projekt okazał się sukcesem, co zachęciło jego twórców do powielenia zawartych w nim rozwiązań.



źródło: Przemysław Woś



źródło: Przemysław Woś



źródło: Przemysław Woś



Przedszkole Les Boutours / Rosny sous Bois, Francja



Przedszkole Les Boutours 2 / Rosny sous Bois, Francja

Lokalizacja: Rosny sous Bois, Francja

Realizacja: 2017

Architektura: Architekci Miasta Rosny sous Bois
/ Emmanuel Pezrès et Fanny Mathieu

Zamawiający: Miasto Rosny sous Bois

Powierzchnia użytkowa: 2 000 m²

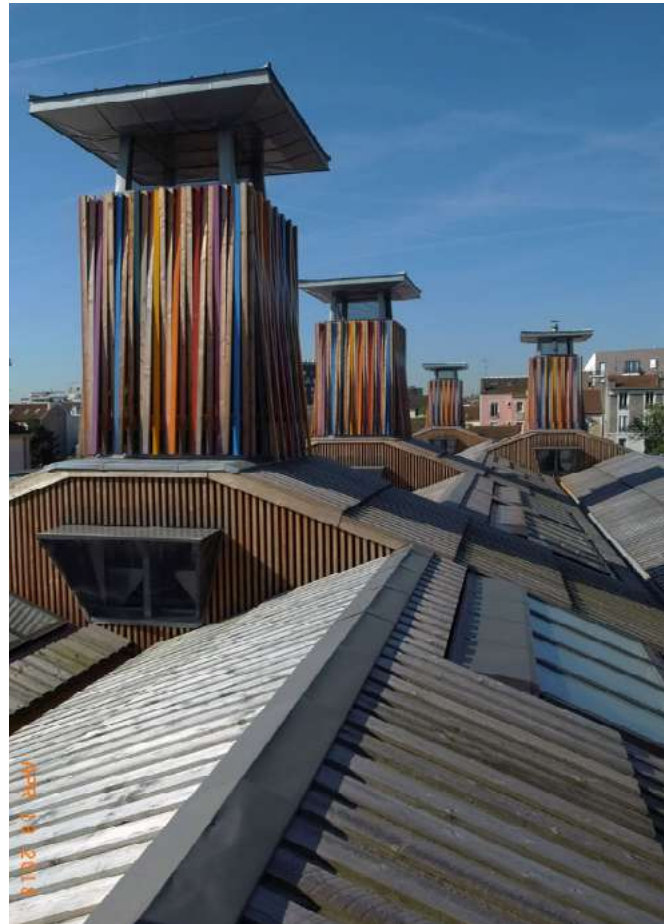


źródło: la Ville de Rosny sous Bois

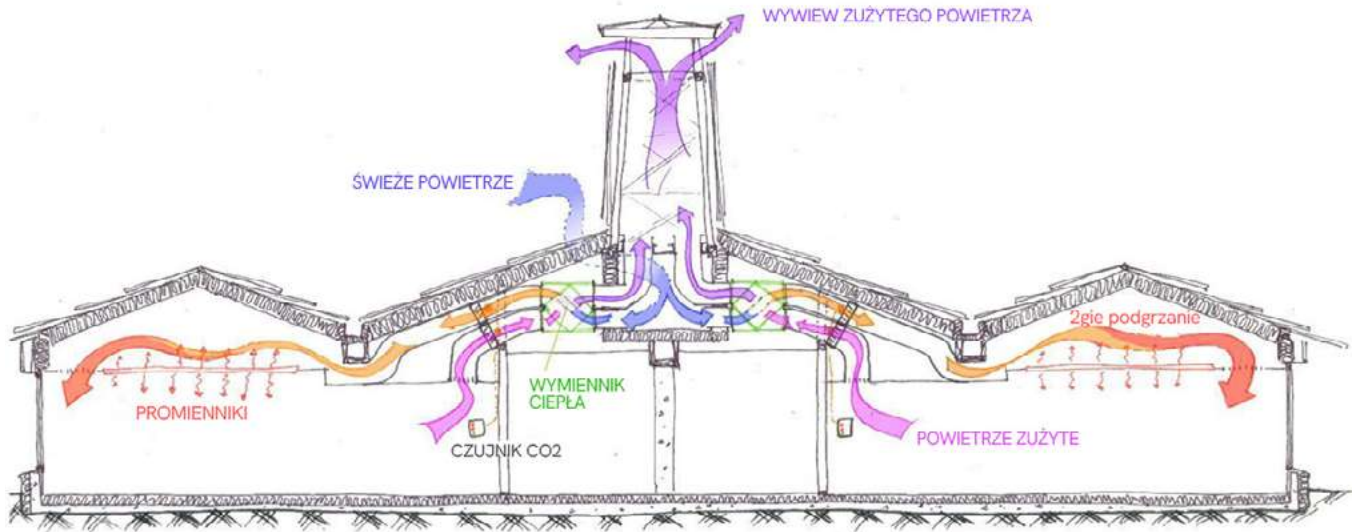
Po sukcesie przedszkola Les Boutours, miasto zdecydowało się pójść o krok dalej. Na sąsiedniej działce, korzystając z istniejących zabudowań po nieczynnym targowisku miejskim, przeprowadziło kolejną przyjazną dla środowiska inwestycję. Pierwszą placówkę Les Boutours zamieniono na szkołę podstawową (klasy 0-4), a przedszkole zostało przeniesione do budynku Les Boutours 2.

Betonowe ściany zostały zaizolowane warstwą słomy o grubości 36 cm. Ponadto, w technologii słomy samonośnej (ściana konstrukcyjna ze słomy grubości 50 cm, bez konstrukcji drewnianej) dobudowano nowe pomieszczenie przedszkolne do leżakowania dla dzieci. Ściany działowe powstały z cegły suszonej. Użyty został również pionierski w tym regionie system wież wiatrowych i wymienników ciepła do kontrolowanej wentylacji naturalnej.

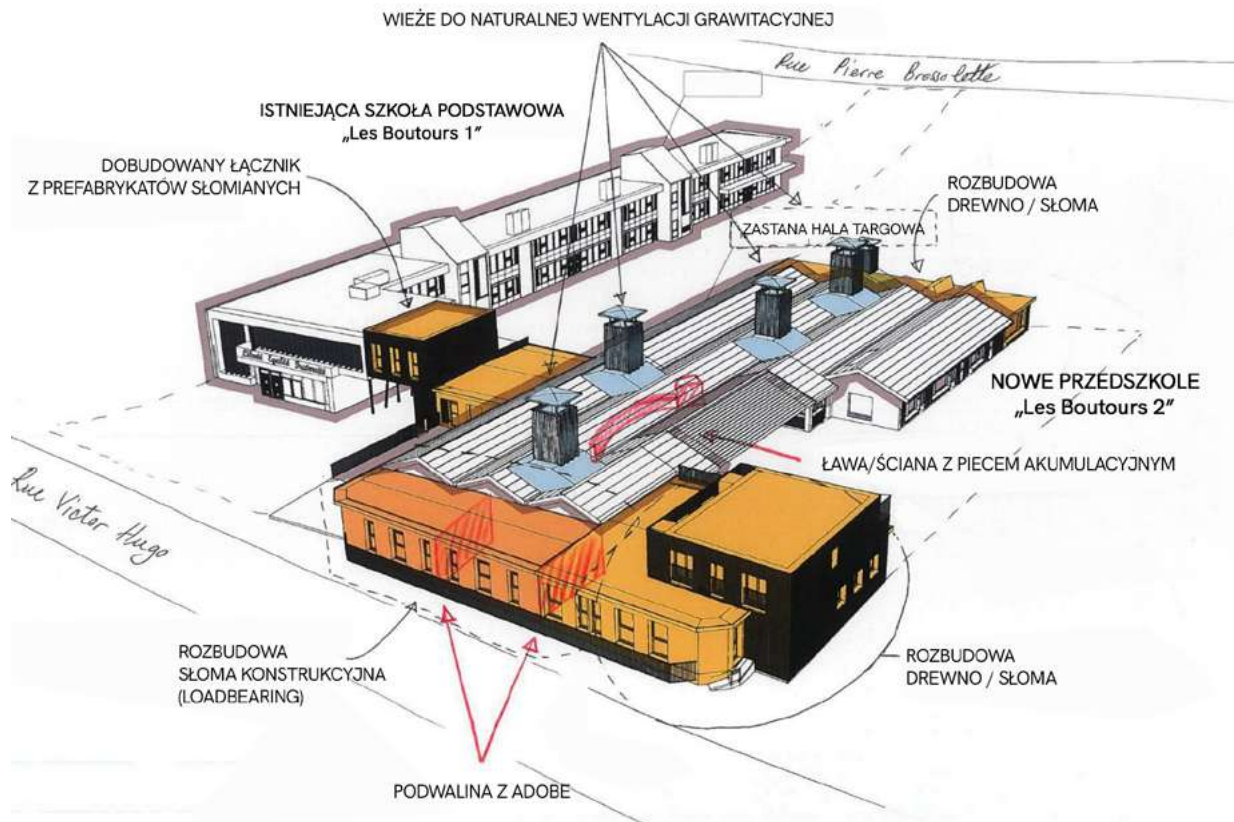
Cały proces ponownie przebiegał przy udziale społeczności lokalnej, a towarzyszyły mu warsztaty z rozwiązań przyjaznych dla środowiska. Warte uwagi jest także zaangażowanie w to przedsięwzięcie - po dobrych doświadczeniach zebranych podczas pierwszej realizacji przedszkola z wykorzystaniem materiałów naturalnych - architektów miejskich.



źródło: la Ville de Rosny sous Bois



Przedszkole Les Boutours 2 / Rosny sous Bois, Francja



Querbeet / Lüneburg, Niemcy

Lokalizacja: Lüneburg, Niemcy

Realizacja: 2023

Architektura: Deltagrün Architektur, Dirk Scharmer, Lüneburg

Zamawiający: Spółdzielnia Mieszkaniowa Querbeet GbR

Powierzchnia brutto: 6 950 m²

Koszt budowy: 18 900 000 euro

Technologia: wypełnienie słomą in situ



źródło: Jorg Jackle

Kompleks składa się z dwóch budynków o czterech kondygnacjach, w których mieści się 40 lokali mieszkalnych. Obiekty powstały na płycie fundamentowej i garażu podziemnym (z powodu wymogów planistycznych dotyczących miejsc parkingowych). Ze względów przeciwpożarowych, ściany zewnętrzne wypełnione słomą w szkieletcie drewnianym są tylko izolacyjne, nie konstrukcyjne. Obciążenia przenoszą ściany wewnętrzne z drewna klejonego (CLT) o grubości 12 cm, obustronnie pokryte płytą gipsową. Ściany działowe są szkieletowe, wypełniane celulozą, zamknięte również płytą gipsową. Ściany międzylokalowe mają podwójną warstwę drewna klejonego, każda o grubości 12 cm. Pomiędzy nimi, dla izolacji akustycznej, umieszczono wełnę mineralną o grubości 12 cm. Dach płaski, z drewna klejonego 20 cm, izolowany jest wełną mineralną 20-30 cm. Budynki posiadają żelbetowe klatki schodowe, których wybudowanie było wymagane ze względów przeciwpożarowych.

Obiekty wyposażone są w ogrzewanie podłogowe, zasilane z sieci ciepłowniczej, wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła z centralną w każdym lokalu. Zestaw czepni/wyrzutni jest widoczny na elewacjach.

Budynki powstały na zamówienie spółdzielni mieszkaniowej, dlatego też powierzchnie wspólne, korytarze są bardziej obszerne, wydzielony został także jeden wspólny lokal na spotkania wspólnoty. W procesie budowy brali udział przyszli mieszkańcy, co pomogło stworzyć więzi społeczne jeszcze przed wprowadzeniem się do mieszkań.

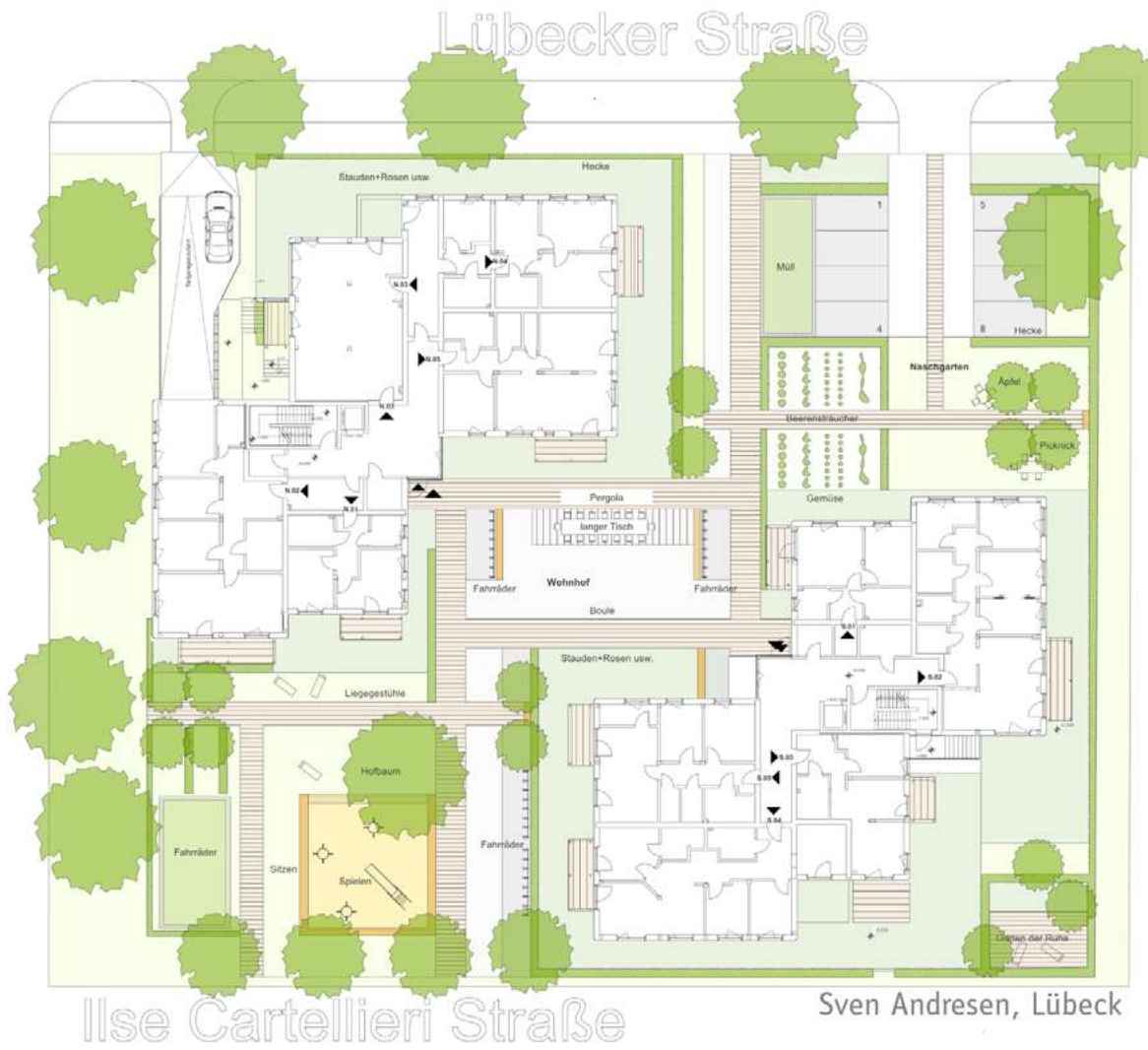


źródło: querbet



źródło: Przemysław Woś

Carl Gottlieb Scharff Straße



Querbeet / Lüneburg, Niemcy



Szkoła Anny Frank w Lüneburgu

Lokalizacja: Lüneburg, Niemcy

Realizacja: 2024

Architektura: Dohse and Partner Architects

Zamawiający: Miasto Lüneburg

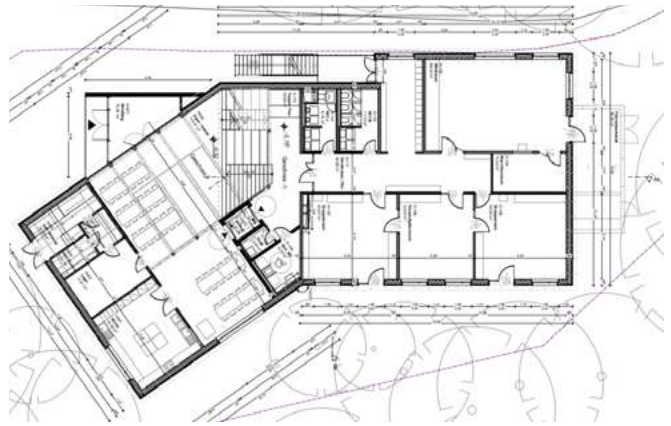
Powierzchnia użytkowa: 1313 m²

Technologia: prefabrykaty słomiane

Obiekt stanowi rozbudowę szkoły Anny Frank w Lüneburgu z 1970 roku.

W zakres inwestycji weszła nowa świetlica z czterema salami grupowymi dla 80 dzieci, specjalistyczna sala lekcyjna i stołówka na 60 miejsc.

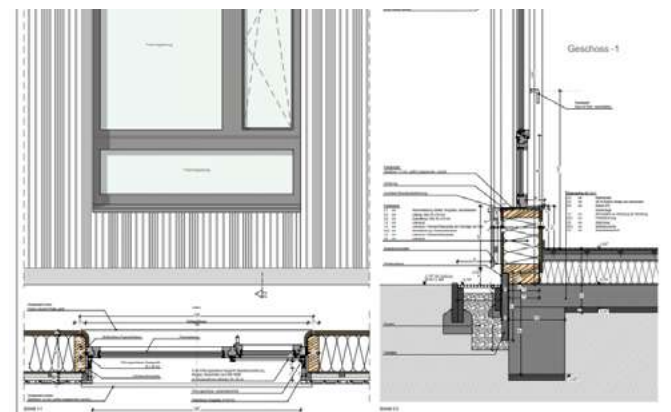
Aspekt zrównoważonego rozwoju odegrał główną rolę w planowaniu. Wymogiem zamawiających było zastosowanie materiałów budowlanych, produkowanych w sposób zrównoważony, odnawialnych lub nadających się do recyklingu. Ściany zewnętrzne, wykonane w konstrukcji szkieletowej, zostały zaizolowane słomą i zatynkowane od wewnątrz gliną. Od zewnątrz zastosowane zostały drewniane elewacje wentylowane. Stropy i konstrukcyjne ściany wewnętrzne są z drewna klejonego (CLT). Zielony dach z ekstensywną zielenią izolowany jest wełną mineralną, zaś podłoga na gruncie perlitem. Większość instalacji prowadzono natynkowo. Szczególna uwaga podczas planowania zwrócona została na możliwość demontażu i recyklingu elementów składowych.



źródło: Dohse and Partner Architects



źródło: Dohse and Partner Architects



źródło: Dohse and Partner Architects



źródło: Dohse and Partner Architects

Szkoła Anny Frank w Lüneburgu



źródło: Przemysław Woś

Szkoła Feldballe'a / Rønde, Dania

Lokalizacja: Rønde, Dania

Realizacja: 2022

Projektant: Henning Larsen

Zamawiający: Szkoła Feldballe

Powierzchnia użytkowa: 250 m²

Technologia: prefabrykaty słomiane

Szkoła Feldballe'a to istotny ośrodek ekospołeczności we Frylandi. Projekt polegał na jej rozbudowie o dwie sale zajęć, w tym jedno laboratorium, z zapleczem technicznym. Powstał on z inicjatywy rodziców, którzy znali już możliwości zastosowania słomy w budownictwie. Znane biuro projektowe Henning Larsen zgodziło się dołączyć do przedsięwzięcia, stosując tę technologię po raz pierwszy. Realizacja ta wpisała się w prośrodowiskową politykę pracowni, której autorstwa są projekty dzielnicy Fælledby w Kopenhadze, centrum doświadczeń World of Volvo w Göteborgu czy inwestycję Quayside w Toronto.

W prezentowanym budynku ściany zewnętrzne zostały złożone z prefabrykatów drewnianych, wypełnionych słomą. Zastosowane zostały elewacje wentylowane z okładziną drewnianą na zewnątrz. Na dachu zamontowano panele fotowoltaiczne. Interesujące jest to, że naturalna wentylacja została ukryta w ścianie, wkomponowana w elewację obok okien. Filtr wykonano z trawy morskiej, którą zbiera się na plażach, przez co jest to materiał lokalny i łatwo dostępny.

Po sukcesie tego przedsięwzięcia, pracownia Henning Larsen zaangażowała się w kolejne projekty z użyciem technologii prefabrykatów słomianych. Tym razem o powierzchni 13 000 m².



źródło: Przemysław Woś



źródło: Przemysław Woś



źródło: Przemysław Woś

Park biznesowy Inspire / Bradford, Wielka Brytania

Lokalizacja: Bradford, Wielka Brytania

Realizacja: 2013

Architektura: Waller & Partners

Koszt budowy: 4 400 000 funtów

Powierzchnia użytkowa: 2 800 m²

Technologia: prefabrykaty słomiane

Park biznesowy Inspire składa się z dwóch budynków. Przewidziano w nim 14 biur z niezależnymi wejściami i 16 biur połączonych, sale konferencyjne, kawiarnie i przestrzeń do opieki nad dziećmi. Zmontowany został z 260 drewnianych paneli prefabrykowanych, wypełnionych słomą. Wyposażono go w ogrzewanie podłogowe z gruntową pompą ciepła, panele fotowoltaiczne i zbiorniki podziemne na wodę deszczową. W certyfikacji BREEM obiekt osiągnął poziom "excellent" za efektywność energetyczną.

W trakcie użytkowania okazało się jednak, że pompa ciepła i eksploatacja ogrzewania generują nieprzewidziane koszty. Według użytkowników nie sprawdziły się także ogrzewanie podłogowe i okładziny drewniane. Serwis budynku wymaga specjalistów, a przez wymóg przetargu europejskiego, części zamienne trzeba sprowadzać z Europy, co utrudnia utrzymanie budynku i podnosi koszt tego utrzymania. Mimo to zarządcy są bardzo zadowoleni z rozwiązań funkcjonalnych, technologii ścian, fotowoltaiki i zbiorników wody, które obniżają koszty eksploatacji.



źródło: Przemysław Woś



źródło: Przemysław Woś



źródło: Przemysław Woś

Centrum dla zwiedzających Cuerden Valley Park, Lancashire, Wielka Brytania

Lokalizacja: Lancashire, Wielka Brytania

Realizacja: 2018

Architektura: Barbara Jones i Jakub Wihan, Straw Works

Powierzchnia użytkowa: 238 m² + tarasy

Koszt budowy: 400 000 funtów

Technologia: wypełnienie słomą in situ



źródło: Przemysław Woś

Centrum dla zwiedzających Cuerden Valley Park, w którym znajduje się między innymi kawiarnia, sala lekcyjna i przestrzeń biurowa dla strażników, zostało zbudowane przez Straw Works przy udziale Park Trust, podwykonawców i wolontariuszy. Według szacunków pozwoliło to obniżyć koszty budowy o 100 000 funtów i zbudować społeczność wokół tego miejsca.

Budynek ma konstrukcję hybrydową, częściowo szkieletową, częściowo samonośną (loadbearing - gdzie słoma przenosi obciążenie stropu). Dach pokryty jest gontem cedrowym – tylna część jest jednospadowa, przednia tworzy łukowy dach. W miejscu połączenia dachów zaprojektowano okna zapewniające światło dzienne w korytarzu poniżej. Zakrzywiony przeszklony taras tworzy elewację frontową z widokiem na park.

Charakterystyczne dla realizacji w Wielkiej Brytanii są fundamenty z opon. Takie rozwiązanie zostało zastosowane przez projektantów ze Straw Works w tym przypadku, co pozwoliło na rezygnację z betonu w obiekcie.

Projekt jest pierwszym budynkiem zarejestrowanym w programie Living Building Challenge w Wielkiej Brytanii, który jest najbardziej wymagającym międzynarodowym programem certyfikacji budynków zrównoważonych, zainicjowanym przez organizację non-profit International Living Future Institute. Certyfikacje obejmują siedem obszarów: miejsce, wodę, energię, zdrowie i szczęście, materiały, równość i piękno.



źródło: Przemysław Woś



źródło: Cuerden Visitor Center

Centrum dla zwiedzających Cuerden Valley Park, Lancashire, Wielka Brytania



źródło: Cuerden Visitor Center

Maison Feuillet / Montargis, Francja

Lokalizacja: Montargis, Francja

Realizacja: 1920

Architektura: Émile Feuillette

Zamawiający: prywatny

Powierzchnia użytkowa: 110 m²

Technologia: słoma

Technologia: wypełnienie słomą in situ

Maison Feuillette to najstarszy w Europie budynek wykonany w technologii szkieletu drewnianego, wypełnionego słomą. Główną ideą przyświecającą projektantowi-wizjonerowi, było stworzenie domu ekonomicznego i szybkiego w budowie. Konstrukcja składa się z drewnianych ram kratownicowych z dębu i topoli, wraz z dachem została ona wykonana przed "słomowaniem", by chronić izolację przed deszczem. Kostki słomy, za pomocą prasy, kształtowane były na miejscu, a następnie umieszczone w konstrukcji, bez potrzeby ich docinania.

Inżynier przewidział system awaryjny w postaci rurki wystającej z elewacji - nią miałyby być doprowadzany trujący gaz w celu pozbycia się z wnętrza ścian niechcianych lokatorów czy grzybów. Jednakże nigdy takie działanie nie było potrzebne.

Ściany działowe wykonane są z paneli prefabrykowanych pokrytych tynkiem. Ściany od zewnątrz wykończono jasnym tynkiem cementowo-wapiennym na siatce. Dom pokrywa bluszcz, który zazielenia się w ciepłych okresach roku. Mimo to trwałe tynk nie wykazuje oznak zniszczenia. Dzięki lekkiej konstrukcji, fundamenty są płytko posadowione.

Na parterze znajdują się salon, jadalnia, przedpokój i kuchnia, na piętrze: łazienka, przedpokój i trzy sypialnie. Salon, jadalnia i dwie sypialnie przekształcono w biura. Od 2013 roku właścicielem jest Centre National de la Construction Paille (CNCP), które przeprowadziło renowację budynku, dostosowało go do potrzeb osób poruszających się na wózkach i rozpoczęło działalność edukacyjną w tym miejscu. W marcu 2020

roku budynek został wpisany na listę zabytków.

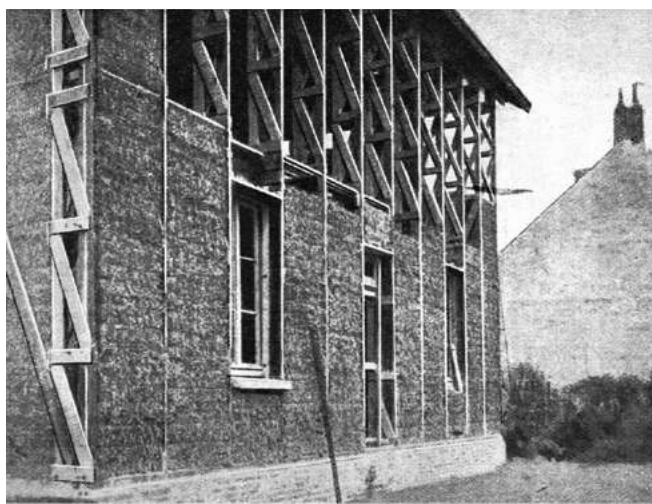
W 2023 roku, na terenie za zabytkowym domem, otwarte zostało Centrum Szkoleniowe Ekobudownictwa o powierzchni 300 m².



źródło: RFCEP



źródło: RFCEP



źródło: La Science et la Vie

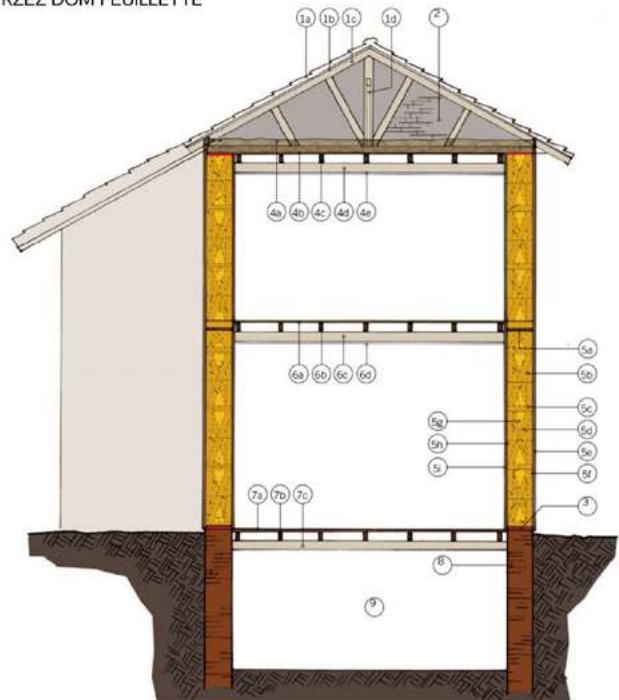


źródło: RFOP

Maison Feuillet / Montargis, Francja

PRZEKRÓJ POPRZECZNY PRZEZ DOM FEUILLETTE

- Dach
 - a. dachówki
 - b.łaty
 - c. krokwie
 - d. zastrzały
- Ceglany szczyt
- Izolacja ze smoty
- Strop nad piętrem
 - a. mieszanka wiórów i trocin
 - b. drewniany parkiet
 - c. legary
 - d. belki stropowe
 - e. zbrojone płyty gipsowe
- Ściana zewnętrzna
 - a. oczepek górny
 - b. stupek
 - c. rygiel
 - d. zastrzał
 - e. tynk zewnętrzny
 - f. siatka
 - g. słoma 40cm
 - h. siatka
 - i. tynk wewnętrzny
- Strop nad parterem
 - a. drewniany parkiet
 - b. legary
 - c. belki stropowe
 - d. zbrojone płyty gipsowe
- Strop nad piwnicą
 - a. płytki podłogowe lub parkiet
 - b. legary
 - c. belki stropowe
- Ściany piwnicy i fundamenty murowane z cegiel
- Piwnica



źródło: RFOP

STROHHAUS / Dornbirn, dom ze słomy w Austrii

Lokalizacja: Dornbirn, Austria

Realizacja: 2014

Architektura: Georg Bechter Architektur+Design

Zamawiający: prywatny

Powierzchnia użytkowa: 175 m²

Technologia: słoma samonośna (loadbearing)

Dom dla dwojga znajduje się na skraju osiedla budynków jednorodzinnych. Brak schodów sprawia, że jest dostępny dla osób starszych i z niepełnosprawnościami. Wykonany został niemal wyłącznie z materiałów naturalnych, odnawialnych i dostępnych lokalnie.

Ściany o grubości 120 cm, zbudowano w technologii samonośnej z dużych kostek słomy typu „jumbo”. Projektanci umiejętnie to wykorzystali, tworząc wnęki, w których można umieścić siedziska lub wannę z widokiem na przyrodę.

Zielony dach to prefabrykowana konstrukcja drewniana, ocieplona słomą. Ściany zostały otynkowane od wewnątrz tynkiem glinianym, a od zewnątrz wapiennym, dzięki czemu przegrody zewnętrzne są paroprzepuszczalne. Ściany osiągają współczynnik U, wynoszący 0,04 W/m²K, a dach - 0,05 W/m²K. Dzięki wysokiej izolacyjności, do ogrzewania domu wystarcza niewielki piec kaflowy, masę termiczną, magazynującą ciepło, stanowi płyta podłogi. Ciepło promieniuje na cały dom, który został zaprojektowany na planie otwartym, w najdalszych pomieszczeniach takich, jak sypialnia czy łazienka, temperatura jest jedynie o 2 stopnie niższa. Nie zastosowano tu pomp ciepła ani skomplikowanych instalacji wentylacyjnych. Szczelina widoczna pod okapem służy do wentylacji ścian.

Od strony południowo-zachodniej, na całej długości budynku, zbudowano taras, przeszklenie sięga od sufitu do podłogi, aby maksymalnie korzystać ze światła dziennego w czasie zimy. W lecie wysunięty okap chroni przed znajdującym się wysoko słońcem. Otwory od północy są znacznie mniejsze, ale zapewniają wizualny kontakt z otoczeniem. Przy projektowaniu

układu wnętrza, wzięto pod uwagę ustawienie budynku względem stron świata: część nocna znajduje się od wschodu, dzienna, z jadalnią - od południowego zachodu. Całe wnętrze zaprojektowane zostało według zasady elastyczności przestrzeni, składają się na nie cztery pomieszczenia - pudełka, w których znajdują się pomieszczenia sanitarne oraz miejsca do spania dla właścicieli i gości. Ścianki można przesuwac, wytyczając nową konfigurację pomieszczeń, dostosowaną do aktualnych potrzeb.

Surowe świerkowe drewno na skośnej elewacji wprowadza naturalną harmonię i sprawia wrażenie zapraszania do środka. Delikatny i prosty charakter budynku wydaje się zlewać z otaczającymi go trzcin.



źródło: Adolf Bereuter



źródło: Adolf Bereuter

źródło: Adolf Bereuter



STROHHAUS / Dornbirn, dom ze słomy w Austrii

źródło: Adolf Bereuter



źródło: Adolf Bereuter

SCL Straw-Bale House / Jimmi Pianezzola Architetto

Lokalizacja: Vicenza, Włochy

Realizacja: 2016

Architektura: Jimmi Pianezzola Architetto

Zamawiający: prywatny

Powierzchnia użytkowa: 160 m²

Technologia: wypełnienie słoma in situ

Jest to pierwszy budynek z kostek słomy w Vicenzie, zarazem pierwszy zaprojektowany w tej technologii przez pracownię Jimmi Pianezzola Architetto. Źródłem wiedzy były dla projektantów literatura, wizyty studyjne i doświadczenie konstruktora. Główną inspiracją w przypadku formy budynku był archetyp domu i jego modyfikacje. W efekcie powstał dom z dachem w kształcie złożonej kartki papieru i podtrzymującą go masywną białą ścianą.

Od południowej strony znajduje się prywatne patio, na które wychodzą okna pokoju dziennego. W części północnej znajdują się pokoje, a na poddaszu bawialnia i sypialnia dla gości.

Proces projektowy opierał się na analizie kontekstu i klimatu. Wzięto pod uwagę informacje dotyczące zacienienia w zależności od pór roku, obecności wody, kierunków i siły wiatru. Otwory skierowane na południe sprawiają, że w domu jest jasno nawet w zimę. Wysunięty dach zapewnia cień w lecie. Mur rozbija okoliczne wiatry, co daje komfort użytkowania ogrodu. Dobrze zaprojektowany przepływ powietrza oraz otwarte dyfuzyjne ściany pozwoliły zredukować zastosowanie skomplikowanych technologii. Pod żwirową nawierzchnią patio znajduje się zbiornik na wodę, która służy do podlewania roślin w ogrodzie.

Dach został pokryty blachą, fundamenty zostały wykonane z betonu zbrojonego, jednak izolacja parteru, w postaci pokruszonego szkła piankowego, pochodzi z recyklingu. Aby zapobiec podciąganiu wilgoci, bezpośrednio na podłożu umieszczono membranę geotekstylną. Początkowo klienci planowali budowę domu z drewna, zdecydowali się jednak na

zredukowanie ilości tego surowca w budynku.

Ściany obwodowe wykonane w technologii szkieletu drewnianego z wypełnieniem ze słomy i wykończone tynkiem wapiennym o grubości 3 cm oraz farbą silikatową, pozwalającą ścianie „oddychać” i zapewniają wysoki poziom odporności ogniowej.



źródło: Alberto Sinigaglia



źródło: Alberto Sinigaglia



źródło: Alberto Sinigaglia



SCL Straw-Bale House / Jimmi Pianezzola Architetto



Dom Tagra [Żubr] / Bircza, Polska

Lokalizacja: Bircza, Polska

Realizacja: 2022

Architektura: Świadom

Zamawiający: prywatny

Powierzchnia użytkowa: 140 m²

Technologia: prefabrykaty słomiane

Dom Tagra powstał na szczycie wzgórza, z którego roztacza się wyjątkowy widok na Bieszczady. Miała to być część większego założenia - czterech podobnych budynków zaprojektowanych przez tę samą pracownię. Teren dookoła został objęty projektem permakulturowym, by w kolejnych latach regenerować zarówno glebę, jak i cały ekosystem, dając schronienie i wyżywienie lokalnej faunie.

Obiekt zmontowany został z prefabrykowanych elementów słomianych. Powstał na fundamencie słupowym z podniesioną podłogą, również z paneli słomianych. Na ścianach wewnątrz budynku znajduje się tynk gliniany na płycie glinianej, na zewnątrz w znacznej części znajduje się wentylowana elewacja, kryta opalnymi deskami. Dach z prefabrykowanych paneli, wypełnionych wdmuchiwaną słomą, pokryty został blachą trapezową, by komponować się z okolicznymi zabudowaniami gospodarczymi. Zastosowano ogrzewanie elektryczne i wentylację mechaniczną z rekuperacją, na dachu zamontowane zostały panele fotowoltaiczne. Taki wariant najbardziej odpowiadał sezonowemu trybowi użytkowania budynku przez właścicieli.

Od południa powstały większe przeszklenia, dające widok na góry i pozwalające na rozświetlenie wnętrza oraz pasywne zyski ciepła w czasie zimy. Od strony północnej znajduje się droga dojazdowa, dlatego z tamtej też strony zbudowano wiatę i pomieszczenie na rowery. Zostawiono także otwarcie widokowe z kuchni, na wjazd na posesję i wzgórze po drugiej stronie domu.

Tagra jest projektem katalogowym pracowni Świadom.



źródło: Mateusz Kamiński



źródło: Mateusz Kamiński



źródło: Mateusz Kamiński

Haus Simma

Lokalizacja: Langenegg, Austria

Realizacja: 2011

Architektura: Georg Bechter Architektur+Design

Zamawiający: prywatny

Technologia: termomodernizacja słomą

Budynek z lat 60-tych został poddany przekształceniu i termomodernizacji. Dom miał nieergonomiczny rozkład pomieszczeń, był słabo zaizolowany, możliwe było ogrzanie jedynie salonu. Projektantom zależało na tym, aby zachować jak najwięcej istniejącej struktury i wykorzystać do rozbudowy wyłącznie naturalne materiały. Pozostawiono parter, a poddasze podniesiono o pół kondygnacji. Wnętrze zostało przearanżowane. Nowy kompaktowy kształt, izolacja ze słomy i zastosowanie systemu wentylacji z odzyskiem ciepła pozwoliły uzyskać niski standard energetyczny.

Skorupę zewnętrzną budynku stanowi ocieplenie z kostek słomy o grubości 45 cm, co sprawiło, że ściany są o grubości do 81 cm. Ze względu na dodanie izolacji, okna są głęboko osadzone. Postanowiono zatem wprowadzić ukośne glify, które jak lejki wprowadzają światło do wnętrza. Drewniane wykończenie wnętrza pochodzi z lokalnego lasu i dobrze komponuje się z płytami glinianymi grubości 2,5 cm. Gлина zapewnia naturalną regulację wilgoci we wnętrzu. Dach i elewacja zostały pokryte gontem, co wpisuje się w lokalną architekturę Bregenzerwaldu. Wszystkie firmy pracujące przy rozbudowie również były lokalnymi przedsiębiorstwami.



źródło: GEORG BECHTER SIMMA



źródło: GEORG BECHTER SIMMA



źródło: GEORG BECHTER SIMMA

Ratusz Voorst / Holandia

Lokalizacja: Twello / Holandia

Realizacja: 2022

Architektura: De Twee Snoeken

Zamawiający: Miasto Voorst

Powierzchnia użytkowa: 5752 m²

Koszt budowy: 15 000 000 euro

Technologia: hempcrete (konoplit, beton konopny)

Nowy ratusz w miejscowości Twello został wybudowany na miejscu poprzedniego budynku z lat 80-tych XX wieku. Nowy budynek połączono ze szkieletem starego, rozebranego uprzednio, ratusza, z którego wykorzystano także materiały i elementy wyposażenia, na przykład drewno, ściany przesuwne czy słupy. Ściany wykonano z hempcretu. Początkowo w projekcie brano pod uwagę zastosowanie ziemi ubijanej ze względu na jej widoczną strukturę. Ostatecznie zdecydowano się na beton konopny, ręcznie ubijany w szalunku, o podobnej estetyce, co ziemia ubijana, będący jednocześnie materiałem izolacyjnym. Oszacowano, że koszt jego zastosowania będzie podobny do kosztu ścian ceglanych, jednak znacznie niższy będzie ślad węglowy. Konoplit nie został zakryty z zewnątrz tynkiem czy drewnem. Pomalowano go jedynie specjalnie zaprojektowaną farbą krzemianową z niewielkim dodatkiem barwnika zatrzymującego promieniowanie UV. Ta farba mineralna została nałożona kilka miesięcy po wyschnięciu betonu konopnego i wymaga ponownego nakładania co 10 lat.

Od wewnątrz zastosowano paroprzepuszczalny tynk kredowy o grubości 2 cm, by zapewnić jednolitą płaską powierzchnię elewacji. Ściany zewnętrzne, by chronić je przed działaniem deszczu, osłonięte zostały poprzez wysunięcie dachu o 70 cm od elewacji. Przy ziemi zastosowano cokół ceglany o wysokości 25 cm, który ma chronić beton konopny przed wilgocią i deszczem.

Według autorów, ratusz jest w 100 proc. neutralny energetycznie, z ekonomicznymi instalacjami, dobrą powłoką izolacyjną

i panelami słonecznymi na dachu. W ogrodzie przed ratuszem zainstalowano tzw. zbiornik lodowy jako źródło dla pompy ciepła. To zakopany, wypełniony wodą zbiornik, o średnicy 12 metrów i głębokości 4 metrów. Temperatura wody oscyluje wokół punktu zamarzania. Dzięki panelom słonecznym lód ten topi się latem, chłodząc budynek. Kiedy po lecie robi się chłodniej i woda powoli zamienia się w lód, uwalniana jest ogromna ilość energii. Nazywa się to ciepłem krystalizacji. Energia ta jest następnie wykorzystywana do ogrzewania budynku.

W elewację obiektu zostały w widocznym miejscu wkomponowane skrzynki dla owadów i nietoperzy.



źródło: Joep Jacobs



źródło: Joep Jacobs



źródło: Joep Jacobs

Ratusz Voorst / Holandia



źródło: Joep Jacobs

Osiedle Triangle / Swindon, Wielka Brytania

Lokalizacja: Swindon / Wielka Brytania
Realizacja: 2011
Architektura: Glen Howells Architects
Zamawiający: Hab Oakus
Powierzchnia użytkowa: 3 465 m²
Koszt budowy: 4 300 000 funtów
Technologia: hempcrete (konoplit, beton konopny)

Triangle (Trójkąt) to niskoenergetyczne osiedle mieszkaniowe w angielskim mieście Swindon. Zamówione zostało przez Haboakus – wspólne przedsięwzięcie firmy deweloperskiej HAB Kevina McClouda i grupy mieszkaniowej GreenSquare. Składa się z 42 lokali, od 1-2 osobowych mieszkań po 4-5 osobowe domy. Koncepcja opierała się na nawiązaniu do lokalnej historii architektury dziedzictwa kolejowego, obejmującej zabudowę szeregową środkowego okresu epoki wiktoriańskiej i bliźniaki z okresu międzywojennego.

Proces projektowy odbywał się w formie partycypacyjnej, z udziałem przyszłych mieszkańców. Podczas warsztatów, prezentacji i indywidualnych spotkań, omawiane były zagadnienia dotyczące skali przedsięwzięcia, stylu zabudowy czy odległości do istniejących zabudowań.

Na wszystkich etapach budowy osiedla, materiały wybierane były z uwzględnieniem energii wbudowanej, możliwości ich recyklingu i wymagań konserwacyjnych. Struktura budynków została wykonana z drewna. Ściany zewnętrzne zaizolowano konoplitem o grubości 35 cm (mieszanką paździerzy konopnych, wapna i wody), ubijanym na miejscu w szalunkach, pokryto tynkiem wapiennym.

Charakterystycznym elementem tych budynków jest rytm kominów wentylacyjnych. Zostały zaprojektowane w taki sposób, by latem zapewnić wywiew ciepłego powietrza na zewnątrz, a zimą cyrkulację ciepłego powietrza z parteru na piętro. Domy wyposażone są w powietrzne pompy ciepła i systemy gromadzenia wody deszczowej. Mimo opóźnień

z powodu niesprzyjającej pogody, budowa trwała jedynie 14 miesięcy.



źródło: Glen Howells Architects



źródło: Glen Howells Architects



źródło: Glen Howells Architects



Osiedle Triangle / Swindon, Wielka Brytania



Ricola Kräuterzentrum / Szwajcaria

Lokalizacja: Laufen / Szwajcaria

Realizacja: 2014

Architektura: Herzog & de Meuron

Zamawiający: Ricola AG

Powierzchnia brutto: 4 800 m²

Technologia: ziemia ubijana, niestabilizowana,
nienośna

Kräuterzentrum, czyli centrum ziołarstwa, jest produkcyjnym obiektem firmy Ricola. Budynek ma 110 metrów długości, 29 metrów szerokości i 11 metrów wysokości, przez co jest obecnie największym budynkiem z ziemi ubijanej w Europie. Atrakcją w tym budynku jest strefa dla zwiedzających, znajdująca się na trzeciej kondygnacji, gdzie będzie można oglądać procesy przetwarzania i mieszania ziół.

Konstrukcja wykonana jest z żelbetu, fasada z ziemi ubijanej o grubości 45 cm jest samonośna. Została prefabrykowana 5 kilometrów od terenu inwestycji z mieszanki iltów i margli, pochodzących z kamieniołomów i kopalni, zlokalizowanych w promieniu 10 kilometrów od budowy. Elementy elewacji przygotowano zimą, a zamontowano latem. Ubijana ziemia nie jest ustabilizowana. Wykonawca przewidział „kontrolowaną erozję”: przez pierwsze dwie zimy deszcz zmywa drobne cząstki ziemi do punktu stabilizacji. Co 60 cm wprowadzono „linie erozyjne” z wapna, pucolanów i piasku. Linie te spowalniają spływanie kropli po elewacji, co spowalnia erozję.

Istotne w projekcie było uzyskanie odpowiedniego mikroklimatu wewnątrz budynku. Moduły fotowoltaiczne na dachu i wykorzystanie ciepła odpadowego z pobliskiego centrum produkcyjnego przyczyniają się do poprawy bilansu energetycznego Kräuterzentrum.



źródło: Herzog and de Meuron



źródło: Herzog and de Meuron



źródło: Herzog and de Meuron

Dom LO / Czechy

Lokalizacja: Velehrad / Czechy

Realizacja: 2018

Architektura: Atelier Lina Bellovičová

Zamawiający: Ondřej Koniček

Powierzchnia użytkowa: 195 m²

Technologia: konoplit (hempcrete, beton konopny)

Dom LO powstał dla podróżnika, nomady, który, po pojawieniu się rodziny, chciał osiąść w miejscu blisko natury. Architektka, nawiązała do okolicznego krajobrazu i zaprojektowała dom jako metaforę dwóch skał przykrytych liściem. Budynek o prostej formie i funkcji mieści w sobie sypialnie dla 4 osób, salon na przestrzał (wielkie przeszklenia wsuwają się w grubość ściany), otwartą kuchnię, dużą łazienkę i piwnicę z miejscem na wina, rowery i ciemnią fotograficzną. Całość jest zaprojektowana w taki sposób, aby odpowiadała zmieniającym się potrzebom mieszkańców. Dom najpierw będzie użytkowany przez rodzinę z dziećmi, następnie jako letniskowy dom wakacyjny, aby ostatecznie stać się wygodnym domem dla starszego małżeństwa.

Wybór materiałów był inspirowany m.in. możliwością włączenia się właścicieli w proces budowy. Ściany, które miały symbolizować skały, powstały z konoplitu (hempcrete'u) i były układane w szalunkach przez inwestorów oraz ich przyjaciół. Konstrukcja i więźba dachowa są drewniane. Zieleń na dachu sadzona była przez dziadków właściciela. We wnętrzu zostały zaprojektowane zabudowy meblowe ze sklejki brzozej.

Specyficzne dla tej realizacji jest pozostawienie odkrytego konoplitu, bez tynku. Zabieg ten pozwolił uwydatnić estetykę materiału i podkreślić nawiązanie do skał. By ograniczyć erozję ściany przez czynniki atmosferyczne, zastosowane zostały charakterystyczne, bardzo szerokie okapy, które uzupełniły wizualną tożsamość tego projektu.



źródło: BoysPlayNice



źródło: BoysPlayNice

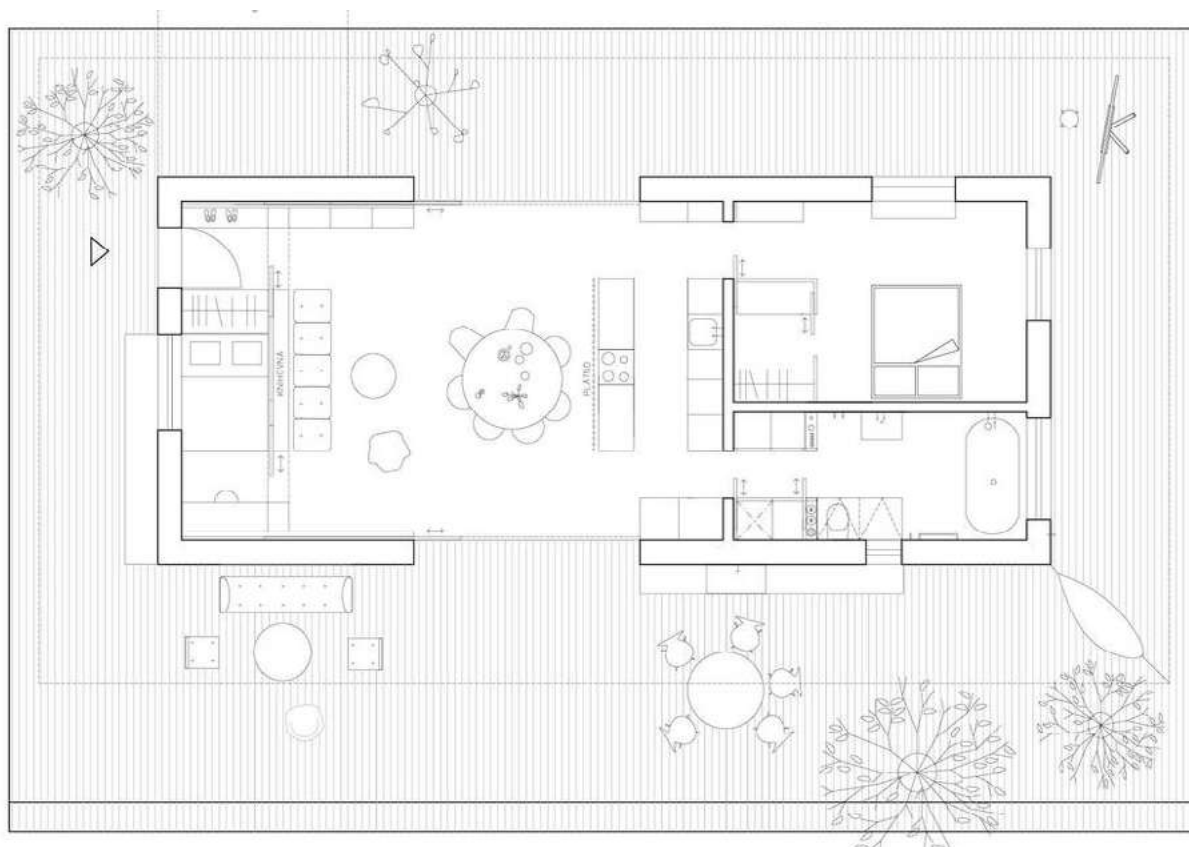


źródło: BoysPlayNice



źródło: BoysPlayNice

Dom LO / Czechy



źródło: Atelier Lina Bellovičová

Dom naturalny / Borzymy, Polska

Lokalizacja: Borzymy, Polska

Realizacja: 2017

Architektura i wnętrza: mech.build

Zamawiający: prywatny

Powierzchnia użytkowa: 270 m²

Technologia: szkielet drewniany ciężki cięty na CNC, izolacja z kostek słomy, tynki gliniane, farba gliniana, naturalne oleje



źródło: Emilia Oksentowicz

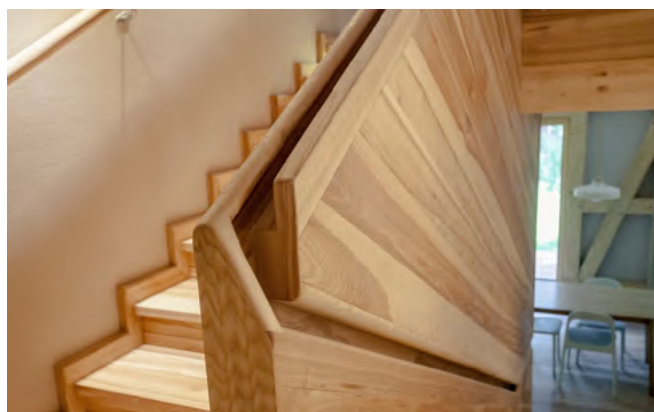
Podwarszawski dom jednorodzinny oraz jego wnętrza zaprojektowane zostały z myślą o zdrowiu i dobrym samopoczuciu jego mieszkańców. Zastosowano ascetyczną paletę kolorów ziemi w pełni naturalnych materiałów, głównie drewna i gliny.

Drewniana konstrukcja domu została zaprojektowana jako odsłonięta wewnątrz, a jej pola wypełnione słomą otynkowano glinianymi tynkami w odcieniach jasnych, ciepłych beżów. Duża ilość gliny w naturalny sposób buforuje wilgotność, zapewniając bardzo przyjemny dla mieszkańców zdrowy mikroklimat, działa antyalerogenicznie i przeciwpleśniowo. Odkryte, naturalne drewno działa na zmysły wzroku, węchu i dotyku. Uspokaja, pomaga w koncentracji, obniża ciśnienie krwi.

Serce domu stanowi obszerny, dwukondygnacyjny, rozświetlony słońcem salon, otwarty na otaczający las. Okalające go ceglane ściany konstrukcyjne pozostawiono widoczne i jednocześnie zintegrowano z wnętrzem, dzięki pomalowaniu ich glinianą farbą.



źródło: Emilia Oksentowicz



źródło: Emilia Oksentowicz



Dom naturalny / Borzymy, Polska



Wnętrza - Agroturystyka / Sienno Dolne, Polska

Lokalizacja: Sienno Dolne / Polska

Realizacja: 2023

Architektura: Loft Kolasiński

Zamawiający: prywatny

Powierzchnia użytkowa: 240 m²

Technologia: tynk gliniany

Wnętrza przeznaczone pod agroturystykę zostały zaprojektowane w stylu Modern Country Style, łączącym inspirację wiejską zabudową, tradycyjne naturalne materiały i współczesne, minimalistyczne wzornictwo. Znajdują się w tam trzy apartamenty o powierzchni 80 m². Budynek powstał w konstrukcji szkieletowej. Ściany zewnętrzne izolowane są konoplitem (hempcrete), zastosowano również cegły rozbiórkowe.

Wnętrza zostały wykończone tynkiem glinianym, strukturalnym, w kolorze białym. Tworzą one harmonijną całość z drewnianymi elementami konstrukcyjnymi i drewnianym wyposażeniem, zaprojektowanym przez pracownię Loft Kolasiński. Tynki gliniane, oprócz wyjątkowych walorów estetycznych, pomagają buforować wilgotność i akumulować ciepło we wnętrzu.



źródło: Michał Szatkiewicz



źródło: Michał Szatkiewicz

źródło: Michał Szatkiewicz



źródło: Michał Szatkiewicz

Wnętrza - Agroturystyka / Siemno Dolne, Polska

źródło: Michał Szatkiewicz



źródło: Michał Szatkiewicz

Wnętrza - Salon odzieżowy / Wrocław, Polska

Lokalizacja: Galeria Dominikańska, Wrocław /
Polska

Realizacja: 2023

Architektura: +Ars Studio / Małgorzata Kufel

Zamawiający: firma Patrizia Aryton

Producent tynków i doradztwo techniczne: firma
Costka

Powierzchnia użytkowa: 96 m²

Technologia: tynk gliniany

Historia wykonania zaczęła się od tego, że projektantka szukała materiału do wykończenia swojego prywatnego zabytkowego mieszkania. Po długich poszukiwaniach natrafiła na tynki gliniane, które sprawdziły się tak dobrze, że zdecydowała się na zastosowanie ich w pracy zawodowej. Tak powstał pierwszy salon odzieżowy sieci sklepów, w których zastosowano tynkowanie gliną.

Początkowo inwestorzy byli sceptyczni co do wytrzymałości materiału, jego utrzymania i trwałości, jednak wstępnie zaakceptowali propozycję. Po wykończeniu pierwszego lokalu byli usatysfakcjonowani realizacją i dziś podobne można znaleźć w kilku kolejnych miastach w Polsce.

Ściany, na których kładziono tynk, były dość równe, wystarczyło nałożyć jedynie warstwę o grubości 3 mm. Cienka warstwa szybko wysychała i pozwoliła zmieścić się w krótkim, 3 - tygodniowym harmonogramie przygotowania lokalu. Przy pierwszej inwestycji przed aplikacją mieszane były trzy kolory jasnego tynku, by stworzyć autorski równomierny odcień. Przy kolejnych realizacjach tynk mieszano na ścianie. Nakładane i następnie zacierane były 2 - 3 kolory, co pozwoliło uzyskać niepowtarzalne delikatne wzory w gradientowych odcieniach. W kolejnych realizacjach autorki, np. w C.H. Arkadia w Warszawie, widać również eksperymentowanie z fakturą powierzchni i z użyciem tynku na elementach wyposażenia.

Dziś ten materiał na stałe zagościł w projektach +Ars Studio, m.in. przy modernizacji znanej sieci hoteli.



źródło: Ars Studio



źródło: Ars Studio



źródło: Ars Studio

Wnętrza - Madame Brasserie / Wieża Eiffle'a, Paryż, Francja

Lokalizacja: Paryż / Francja

Realizacja: 2022

Architektura: RF Studio / Encore Heureux
architectes

Zamawiający: Umanis

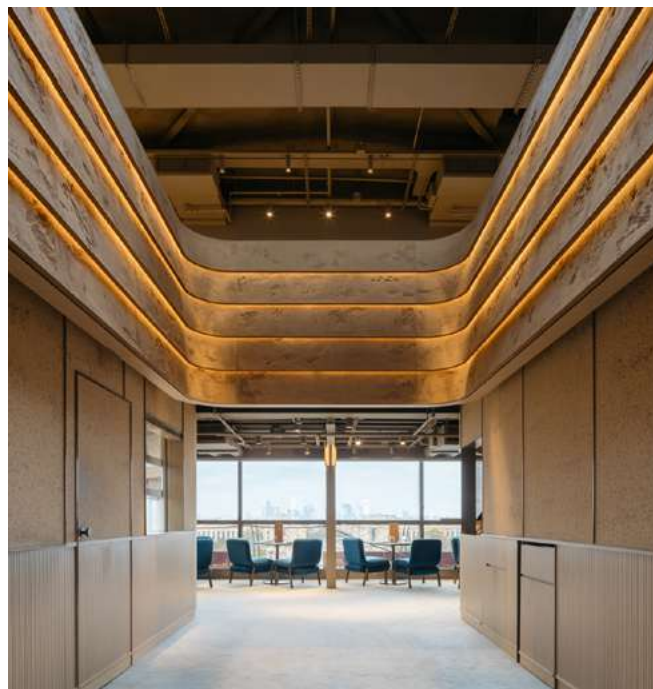
Powierzchnia użytkowa: 934 m²

Technologia: płyty gliniane

Projekt techniczny i wykonanie elementów glinianych: amàco

Wieża Eiffle'a to ikona architektury, którą codziennie odwiedza 20 000 osób z całego świata. Dwa zespoły architektów współpracowały z nagrodzonym gwiazdką Michelin szefem kuchni Thierryem Marxem przy projekcie wnętrza restauracji, serwującej zrównoważoną, lokalną i odpowiedzialną kuchnię. W wystroju restauracji Madame Brasserie główne miejsce zajmuje surowa ziemia (zarówno pod względem estetycznym, jak i symbolicznym) jako materiał, z którego pochodzi całe nasze jedzenie, a także rudy metali tworzących wieżę. Projektanci postawili na powściągliwość uzyskaną za pomocą naturalnych materiałów, w tym drewna i korka oraz ubitej ziemi.

Lokal znajduje się na pierwszym piętrze wieży, 57 metrów nad ziemią, z wyjątkowym widokiem na Paryż. Specyfiką tego projektu była waga elementów wnętrza. Każdy dodany kilogram wymagał odjęcia kilograma w innym miejscu projektu. Po demontażu wystroju poprzedniej restauracji zważono cały gruz - tyle dokładnie musiał ważyć nowy wystrój. Mimo tych ograniczeń, w przestrzeni łączącej obie kondygnacje restauracji udało się zmieścić okładziny z płyt glinianych i okładziny z korka na ścianach niższego poziomu lokalu. Sufity i elementy stalowe zostały pomalowane na kolory z historycznej palety barw, którymi przez ponad 100 lat malowana była Żelazna Dama.



źródło: Nicolas Trouillard



źródło: Nicolas Trouillard

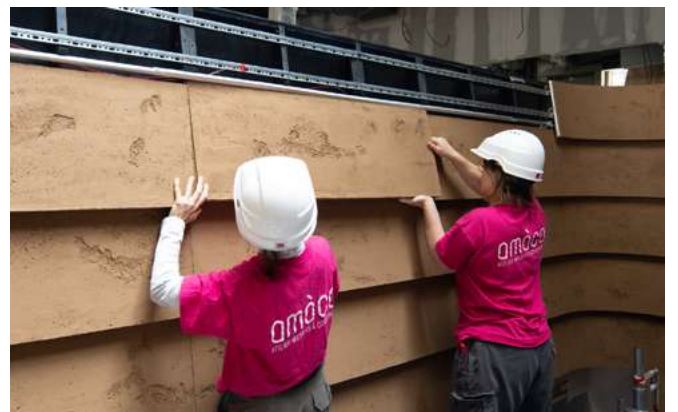


źródło: RF-STUDIO

Wnętrza - Madame Brasserie / Wieża Eiffla, Paryż, Francja



źródło: Amàco



źródło: Nicolas Grosmond

Iceland 
Liechtenstein
Norway grants



IOŚ-PIB
Instytut Ochrony Środowiska
Państwowy Instytut Badawczy



Ogólnopolskie
Stowarzyszenie
Budownictwa
Naturalnego



**DEKARBONIZACJA
PROCESÓW
BUDOWLANYCH**