Trwałość niewentylowanych dachów płaskich

Ważne jest odpowiednie rozwiązanie konstrukcyjne – wyniki badań weryfikują poprawność poszczególnych wariantów

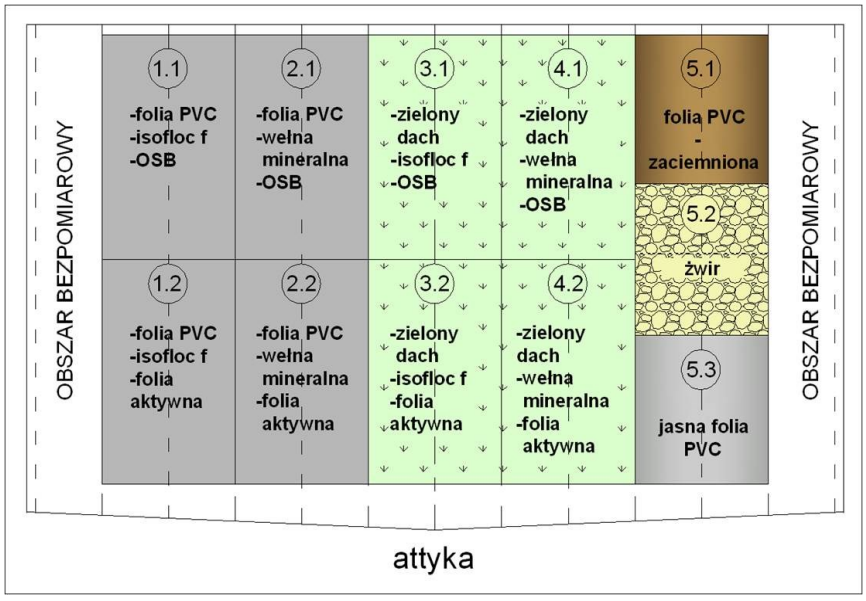
Problem niewentylowanych i wentylowanych dachów płaskich w budownictwie drewnianym został już niejednokrotnie poruszany zarówno w kilku artykułach tego czasopisma[1] jak i w innych publikacjach (np. [Schmid/Winter 2008]). Przedstawiano w nich szczegóły konstruowania takich przegród oraz warunki w jakich mogą one bezpiecznie funkcjonować. Projekt badawczy przeprowadzony przez MFPA Leipzig i TU München pozwolił na zweryfikowanie poprawności powyższych zaleceń dla konstrukcji niewentylowanych dachów płaskich.

Rys. 1:
Obiekt badawczy w Lipsku

Autorzy:
Norman Werther, pracownik Katedry Budownictwa Drewnianego i Konstrukcji Budowlanych Technicznego Uniwersytetu w Monachium (TUM München) (n.werther@tum.de)
Claudia Fülle, wykładowca Towarzystwa Badań Materiałowych i Instytutu Badań Budownictwa w Lipsku (MFPA Leipzig) (fuelle@mfpa-leipzig.de)

Stan początkowy

Konstrukcje dachów płaskich uchodziły w minionych latach za mało interesujące. Dziś stropodachy zaliczane są do najchętniej wybieranych przez projektantów i wykonawców konstrukcji dachowych. Szczególnym zainteresowaniem cieszą się zrównoważone rozwiązania z ekologicznych materiałów budowlanych, o wysokiej efektywności energetycznej i nie wymagające zastosowania chemicznych środków ochrony drewna.



Rys. 2:
Rzut dachu, warianty rozwiązań konstrukcyjnych

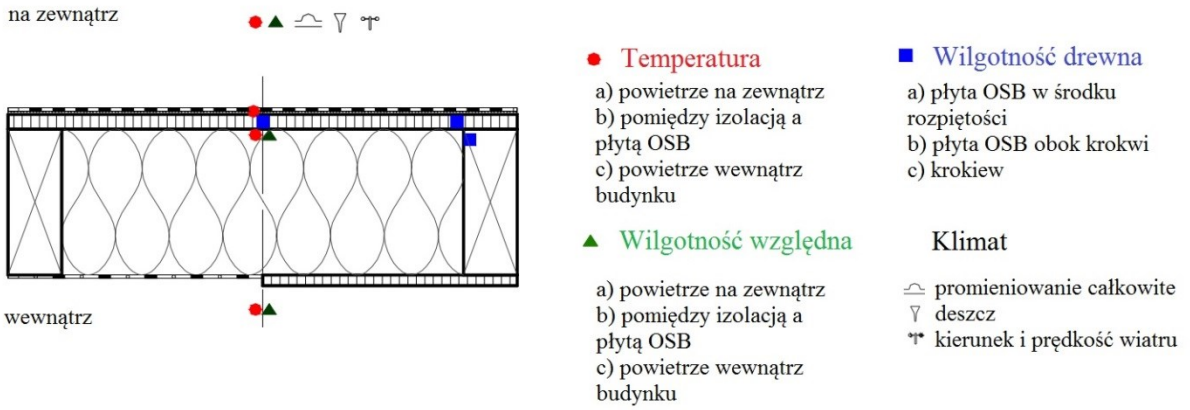
Z punktu widzenia fizyki budowli niewentylowane konstrukcje dachów płaskich z wbudowaną od strony pomieszczeń warstwą parochronną o dużym oporze dyfuzyjnym (S_d>100m), nawet jeżeli skonstruowane są

[1] (np. Robert Borsch-Laaks w 5/2004, condetti 6/2004, Daniel Schmidt in 3 und 4/2007)

zgodnie z obowiązującymi normami (bez weryfikacji ilości kondensatu wg DIN 4108-3: 2001), traktowane są jako rozwiązania nieprawidłowe. W takiej konstrukcji wilgoć technologiczna oraz wilgoć, która dostała się do wnętrza stropodachu na skutek nieszczelności, nie ma możliwości odparowania w okresie lata, co może prowadzić do powstania wielu szkód budowlanych (Zeszyt 3-2007, Cooling 2000).

Powstało przypuszczenie, że poprawienie szczelności powietrznej konstrukcji dachów niewentylowanych przez stosowanie odpornych na wilgoć materiałów w płytach, wysokiej jakości wysuszonego drewna konstrukcyjnego oraz materiałów nowoczesnych takich jak folie o zmiennym oporze dyfuzyjnym i higroskopijne materiały izolacyjne może przyczynić się do poprawy bezpieczeństwa niewentylowanych konstrukcji dachów płaskich.

Aby zweryfikować powyższe przypuszczenia Towarzystwo Badań Materiałowych i Instytut Budownictwa w Lipsku (MFPA Leipzig) oraz Katedra Budownictwa Drewnianego i Konstrukcji Budowlanych Technicznego Uniwersytetu w Monachium rozpoczęli wspólnie projekt badawczy. Obok polowych badań eksperymentalnych podczas trwania projektu przeprowadzono liczne symulacje cieplno-wilgotnościowe dla różnych przypadków przegród.

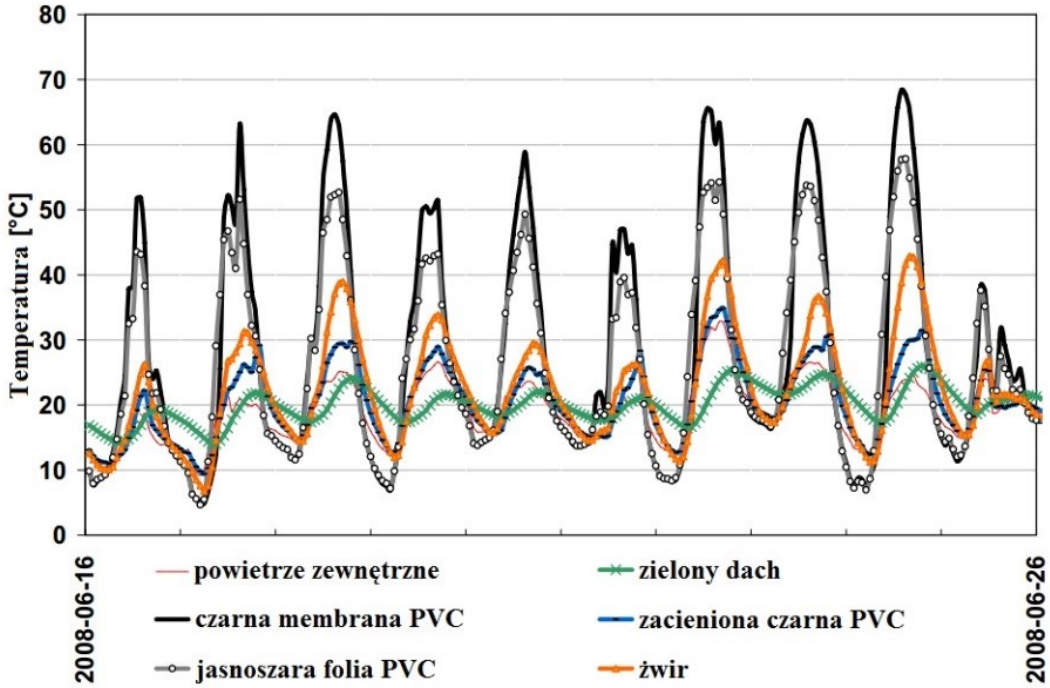


Rys. 3:
Budowa przegrody i rozmieszczenie czujników pomiarowych

Stanowisko badawcze pod gołym niebem

Badania eksperymentalne były prowadzone na parterowym budynku należącym do MFPA Leipzig. Obiekt badawczy został pokryty płaskim niewentylowanym dachem o konstrukcji drewnianej. Stworzono 8 wariantów dachowych różniących się między sobą rodzajem poszycia dachowego (czarna membrana PVC, zielony dach), izolacją termiczną (celuloza, wełna mineralna) oraz warstwą hamującą przepływ pary wodnej stosowaną od wewnątrz pomieszczeń (płyta OSB/3, aktywna folia parochronna). Dach o nachyleniu 2% w kierunku południowym został ze wszystkich stron okolony attyką. Trzy pozostałe pola pomiarowe z jasną folią PVC, jasnoszarą warstwą żwiru oraz zaciemnioną folią PVC posłużyły do dalszych badań wpływu warstwy zewnętrznej dachu na warunki panujące w przegrodzie. Przekrój poprzeczny przegrody dachowej w każdym wariancie składał się z belek drewnianych (80x220 mm), izolacji termicznej między belkami na całej ich wysokości oraz górnej płyty OSB/3. Średnia wartość współczynnika przenikania ciepła U wynosiła 0,2 W/m^{2}K (Rys. 3). Aby stworzyć rzeczywiste warunki w jakich konstrukcja dachu pracuje, wnętrze budynku było klimatyzowane (temperatura 20^{o}C, wilgotność względna 55%).

Kryteria oceny



Rys. 4:
Rozkład temperatury pod pokryciem dachowym w zależności od rodzaju pokrycia (średnia temperatura godzinowa, lato)

Przydzielenie belek stropowych do klasy użytkowania (wcześniej klasy zagrożenia) 0 wg DIN 68800 jest możliwe jedynie przy trwałym utrzymywaniu się wilgotności drewna u < 20 M% i wilgotności względnej powietrza w konstrukcji poniżej 90%.

Płyty OSB/3 o grubości 22 mm (DIN EN 300), stanowiące poszycie badanej konstrukcji dachowej, zgodnie ze standardowymi warunkami stosowania, mogą być wykorzystane w wilgotnych warunkach. W takim obszarze zastosowań przyjmuje się klasę użytkowania 2 wg DIN 1052: 2008-12, która charakteryzuje się wilgotnością materiału odpowiadającą temperaturze 20°C i wilgotnością względną otaczającego powietrza przekraczającą 85% tylko przez kilka tygodni w roku. Zatem wilgotność zastosowanych płyt OSB/3 wynosząca maksymalnie 18 M% byłaby dopuszczalna. Aby uzyskać niekorzystne warunki początkowe, których nie można wykluczyć w praktycznym zastosowaniu, płyty OSB zostały przed wbudowaniem umieszczone w komorze klimatycznej, aby zawartość wilgoci wynosiła w nich 12 M%.

Rejestracja wyników pomiarów

Obok sterowania klimatem wewnętrznym oraz rejestrowania temperatury i wilgotności we wnętrzu pomieszczenia, stale prowadzono pomiary meteorologiczne danych klimatu zewnętrznego (temperatura, wilgotność względna, natężenie promieniowania słonecznego, wysokość opadów atmosferycznych oraz prędkość i kierunek wiatru), aby umożliwić przeprowadzenie symulacji cieplno-wilgotnościowych.

Mierzono również temperaturę pod pokryciem dachowym. Jednocześnie prowadzono pomiary zawartości wilgoci w materiałach z drewna i drewnopochodnych oraz pomiary temperatur i wilgotności względnych panujących wewnątrz konstrukcji.

Oprócz pomiarów prowadzonych na obiekcie eksperymentalnym w Lipsku oraz symulacji cieplno-wilgotnościowych, w ramach eksperymentu prowadzono również badania na istniejących obiektach z niewentylowanym dachem płaskim.

Temperatura powierzchni - wpływ pokrycia dachowego

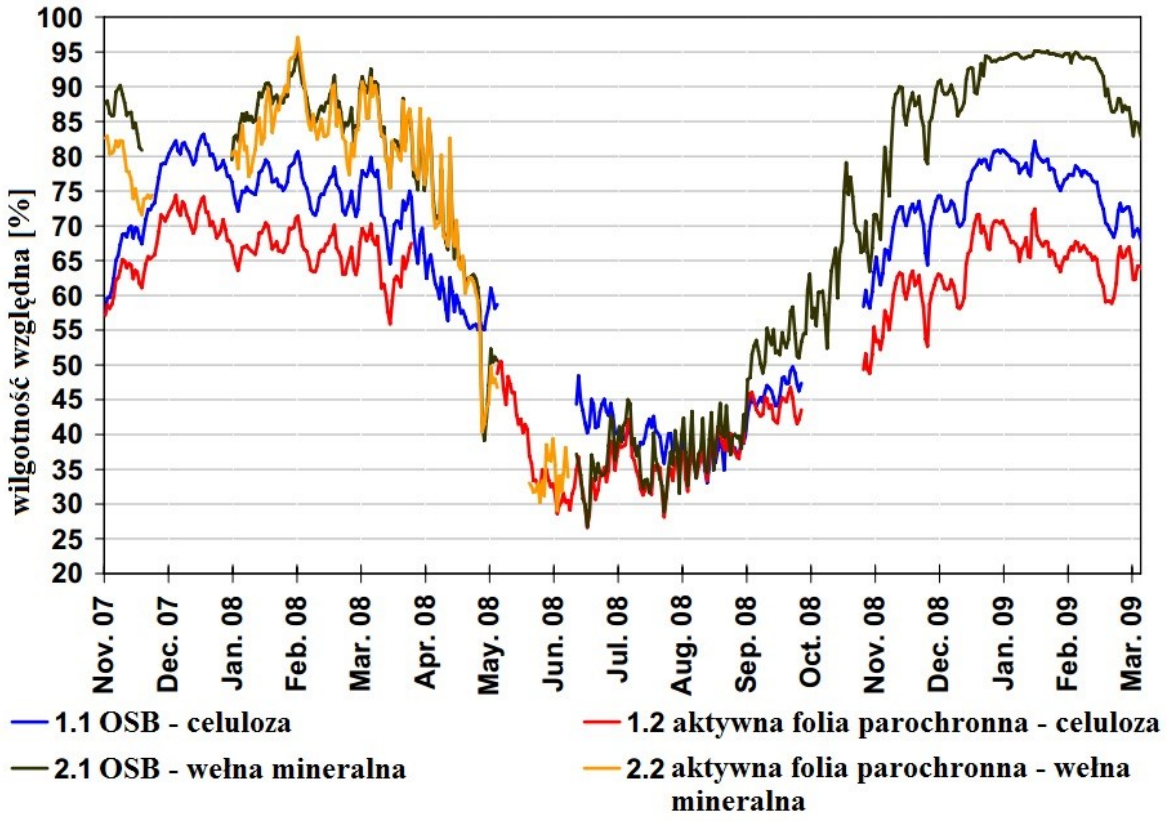
Wyniki pomiarów pokazują, że szczególnie w miesiącach letnich w czasie dużego nasłonecznienia, średnie dobowe temperatury pod powierzchnią pokrycia dachowego znacznie przekraczają temperatury powietrza zewnętrznego (Rys. 4). Natomiast w miesiącach zimowych w warunkach czystego nieboskłonu występuje nocne wychłodzenie przegrody, wskutek czego temperatury pod powierzchnią pokrycia dachowego są niższe niż temperatury powietrza zewnętrznego.

Największe wahania temperatur pod pokryciem dachowym zaobserwowano zarówno zimą jak i latem w wariantach z czarną membraną PVC i jasnoszarą folią PVC. Różnice temperatur dla obu wariantów wynikają z faktu, że czarna membrana PVC w większym stopniu absorbuje promieniowanie słoneczne niż jasna folia PVC. Dach zielony, żwir oraz zacienienie dachu przyczyniło się do obniżenia temperatury pod pokryciem dachowym, co wpłynęło na zmniejszenie potencjału wysychania.

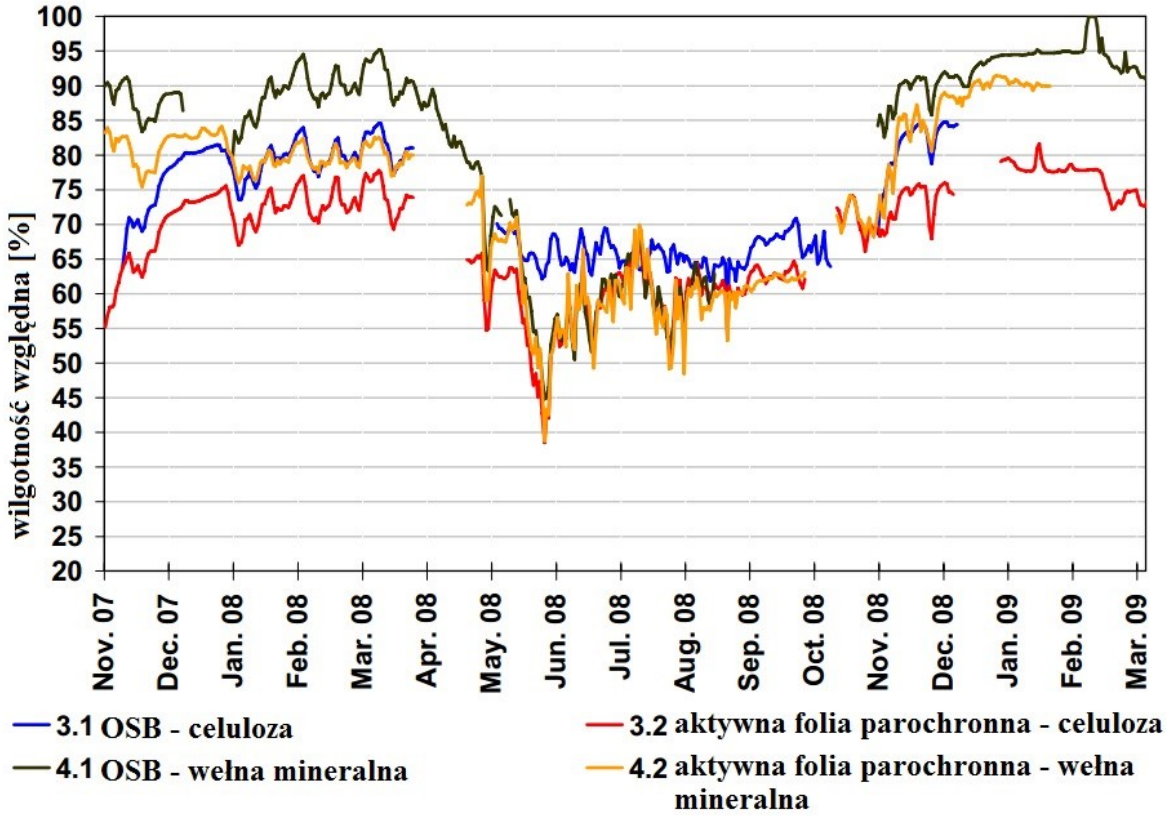
Wpływ materiału termoizolacyjnego

Rysunek 5 i 6 przedstawia rozkład wilgotności względnej powietrza na styku górnej płyty OSB/3 i materiału termoizolacyjnego w różnych wariantach. Wyraźnie widać, że higroskopijny materiał jakim jest celuloza – niezależnie od zastosowanego pokrycia dachowego – znacząco przyczynił się do obniżenia wilgotności względnej w miesiącach krytycznych. W okresie zimowym warianty z celulozą (1.1, 1.2, 3.1, 3.2) w porównaniu do tych, w których zastosowano wełnę mineralną, wykazują do 15% niższy poziom wilgotności względnej powietrza ponad termoizolacją.

Zdolność celulozy do wchłaniania wolnej wody przyczynia się do zmniejszenia zawartości wilgoci wykondensowanej w okresie zimy na styku materiału termoizolacyjnego z płytą OSB lub krokwiami. Zgromadzona przez celulozę woda zostaje odparowana w okresie lata.



Rys. 5:
Średnia dobowa wilgotność względna na styku izolacji termicznej i płyty OSB/3 w wariantach z czarną membraną PVC (brak danych od lata 2008 r. dla wariantu 2.2).



Rys.6:
Średnia dobowa wilgotność względna na styku izolacji termicznej i płyty OSB/3 w wariantach z zielonym dachem.

Wpływ warstwy paroizolacyjnej

Rysunki 5 i 6 pokazują również wpływ folii parochronnej aktywnej i płyty OSB na zawartość wilgoci w przegrodzie. Stosowanie aktywnej folii parochronnej okazało się być korzystniejsze. Porównując ze sobą odpowiednie warianty (1.1 i 1.2, 3.1 i 3.2, 4.1 i 4.2) można stwierdzić, że wyższy opór dyfuzyjny folii aktywnej w okresie zimy i niższy w lecie sprawia, że zawartość wilgoci w przegrodzie z folią aktywną jest dużo niższa niż w przegrodzie z płytą OSB.

Wpływ dachu zielonego

W wariantach z dachem zielonym można zaobserwować zwiększoną zawartość wilgoci w przegrodzie w porównaniu do pozostałych wariantów, z uwagi na zmniejszony potencjał wysychania przegrody spowodowany niższą temperaturą pod pokryciem dachowym (mniejszym gradientem ciśnienia pary wodnej, Rysunek 4).

Z tego powodu wszystkie warianty z dachem zielonym na początku drugiego sezonu badawczego startują z większą zawartością wilgoci. Już w grudniu 2009 r. w wariantach z wełną mineralną wilgotność względna przekroczyła limit 85%. Wariant z płytą OSB jako warstwą paroizolacyjną i izolacją z celulozy już wczesną zimą osiąga również taki poziom wilgoci.

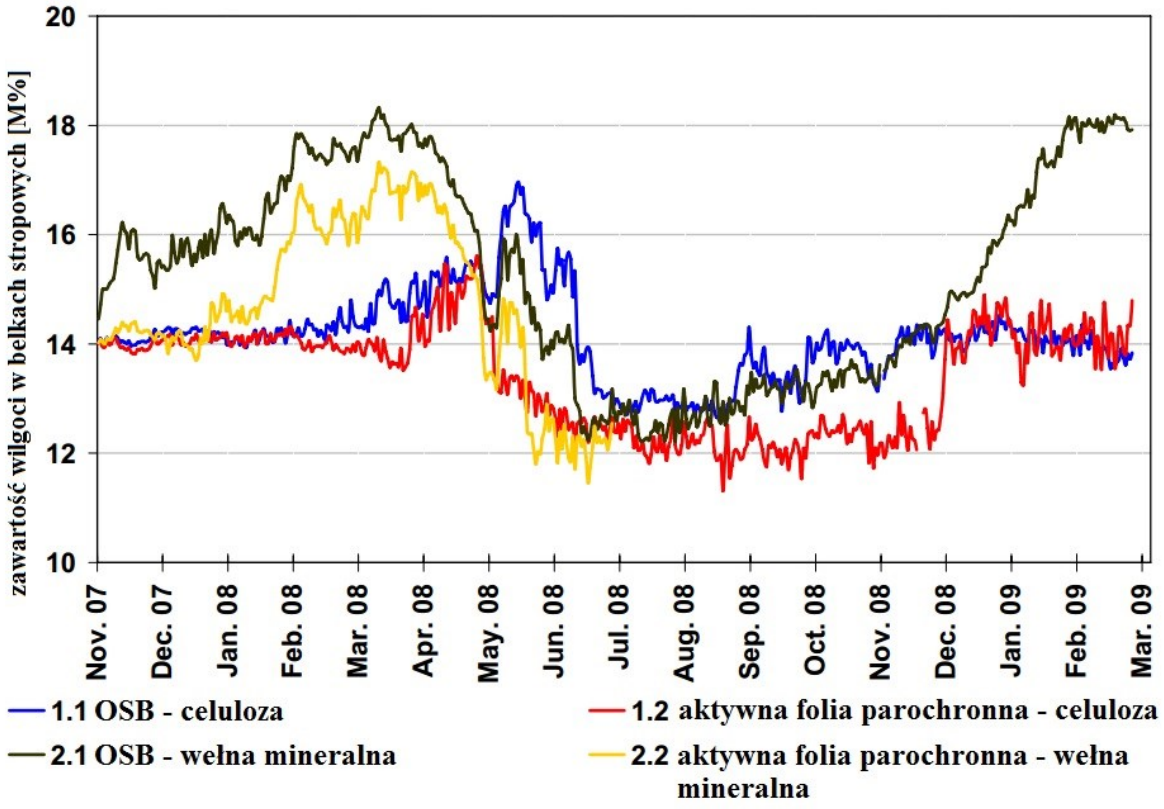
Tylko w przypadku wariantu z aktywną folią parochronną i celulozą (3.2) zawartość wilgoci była na bezpiecznie niskim poziomie i ten wariant można uznać za bezpieczny.

Zawartość wilgoci w krokwiach

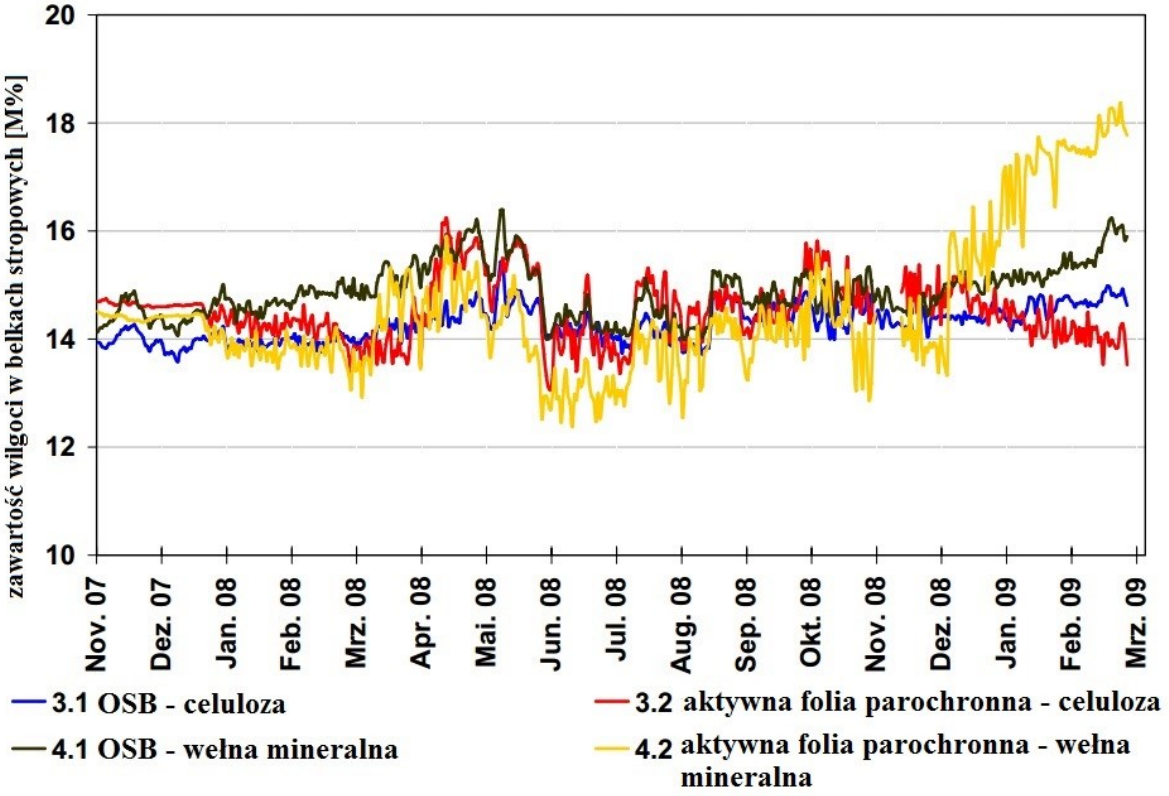
Aby sprawdzić, czy zawartość wilgoci w drewnianych belkach nie przekracza dopuszczalnej wartości, do ich zewnętrznych krawędzi przymocowano czujniki wilgoci.

Rysunek 7 i 8 pokazuje, że zawartość wilgoci w krokwiach we wszystkich wariantach nie przekracza krytycznej wartości 20 M-%, ale tylko w wariantach z wełną mineralną w mniejszym lub większym stopniu występuje efekt zawilgacania (nawet do 18%M) drewnianych krokwi wskutek dyfuzji pary wodnej do przegrody zimą.

Warunki początkowe (zawartość wilgoci w krokwiach 15%M) i szczelność konstrukcji na przenikanie powietrza zapewniają, że procesy dyfuzji pary wodnej mają znikomy wpływ na zawartość wilgoci w elementach konstrukcyjnych i wykluczają możliwość powstania szkód budowlanych



Rys. 7:
Średnia dobowa zawartość wilgoci w belkach stropowych w wariantach z czarną membraną PVC (brak danych od lata 2008 r. dla wariantu 2.2)



Rys. 8:
Średnia dobowa zawartość wilgoci w belkach stropowych w wariantach z zielonym dachem.

Podsumowanie: zalecane rozwiązania konstrukcyjne

Wyniki przeprowadzonych badań polowych i laboratoryjnych oraz liczne symulacje cieplno-wilgotnościowe pokazują, że konstrukcje niewentylowanych dachów płaskich w budownictwie drewnianym, przy zachowaniu odpowiednich warunków konstrukcyjnych, stanowią wytrzymałe, funkcjonalne i bezpieczne rozwiązania.

Ze względu na szczególne właściwości materiałów budowlanych zastosowanych w eksperymencie, osiem przebadanych wariantów różniło się znacznie pod względem cieplno-wilgotnościowego zachowania.

Materiały higroskopijne takie jak celuloza, lepiej niż wełna mineralna, radzą sobie z wilgocią w przegrodzie, ponieważ potrafią wchłonąć wykondensowaną zimą wodę , a latem oddać ją w postaci pary wodnej, chroniąc tym samym elementy drewniane przed niepożądanym zawilgoceniem. Aktywna folia parochronna stanowi lepsze rozwiązanie jako warstwa paroizolacyjna niż płyta OSB, ze względu na zmienny opór dyfuzyjny, który utrudnia wnikanie pary wodnej do przegrody zimą i umożliwia odparowanie wilgoci w lecie. Jako pokrycie dachu korzystniej jest stosować czarną membranę PVC o stosunkowo niskim oporze dyfuzyjnym (Sd 20m), niż jasną folię PVC lub papę o wysokim oporze dyfuzyjnym (Sd 300 m).

Poprawne rozwiązania konstrukcyjne

Dotychczasowe wyniki badań polowych pozwalają na stwierdzenie, że jedynie 3 warianty z celulozą jako ociepleniem nie są narażone na powstanie szkód budowlanych w wyniku działania wilgoci, co więcej chronią konstrukcje drewniane przed jej destrukcyjnym działaniem:

- 1.1 czarna membrana PVC – płyta OSB/3 – celuloza – OSB
- 1.2 czarna membrana PVC – płyta OSB/3 – celuloza – aktywna folia parochronna
- 3.2 dach zielony (max. 80 mm) – płyta OSB/3 – celuloza – aktywna folia parochronna

Awaria urządzenia pomiarowego w przypadku wariantu 2.2 uniemożliwiła jego porównanie z innymi wariantami podczas drugiego sezonu zimowego. Wyniki symulacji cieplno-wilgotnościowych i badań polowych pozwalają przypuszczać, że wariant:

- 2.2 czarna membrana PVC – płyta OSB/3 – wełna mineralna – aktywna folia parochronna

może funkcjonować bez szkód budowlanych. Pomiary tego wariantu są kontynuowane.

Wewnątrz wymienionych konstrukcji panują warunki cieplno-wilgotnościowe odpowiadające 2 klasie użytkowania wg DIN 1052:2008-12, wobec czego płyty drewnopochodne OSB/3 mogą być w tych konstrukcjach stosowane. Warunki te pozwalają również na przydzielenie belek stropowych do 0 klasy użytkowania wg DIN 68800-2. Dodatkowe środki ochrony drewna nie są zatem konieczne.

Wszystkie warianty konstrukcyjne wymagają starannego zaprojektowania jak i wykonania, szczególnie pod względem szczelności powietrznej.

Podziękowanie

Autorzy dziękują Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung za wsparcie projektu badawczego w ramach inicjatywy „Zukunft Bau", sponsorowi projektu Deutschen Gesellschaft für Holzforschung (DGfH) za dobrą opiekę oraz partnerom przemysłowym (Fa. Egger, Kronoply, Glunz, Moll pro clima, isofloc, Henkel und Optigrün) za wsparcie materiałowe i finansowe.

Bibliografia

[Colling 2000] Francois Colling: Lernen aus Schäden im Holzbau, Ursachen Vermeidung Beispiele. Fraunhofer IRB-Verlag Stuttgart 2000

[Schmidt/Winter 2008] Daniel Schmidt, Stefan Winter: Flachdächer In Holzbauweise; Informationsdienst Holz Spezial – 10/2008

[Winter/Fülle/Werther 2009+ Winter, S., Fülle, C., Werther, N.: Experimentelle und numerische Untersuchung des hygrotermischen Verhaltens von flach geneigten Dächern in Holzbauweise mit oberer Dampfdichter Abdichtung unter Einsatz ökologischer Bauprodukte zum Erreichen schadensfreier, markt-und zukunftsgerechter Konstruktionen - Abschlussbericht Mai 2009, Fraunhofer IRB Verlag