

ALEKSANDER BYRDY, CZESŁAW BYRDY*

OCIEPLONE STROPODACHY NA BLACHACH FAŁDOWYCH NAD KRYTYMI BASENAMI

INDOOR SWIMMING POOL INSULATED SLAB ROOF STRUCTURES LAID ON TRAPEZOIDAL SHEETING

Streszczenie

Ze względu na duże powierzchnie przekryć dachy nad basenami sportowymi wymagają zastosowania lekkich materiałów o wysokiej jakości i właściwej kolejności warstw oraz starannego wykonania. W dotychczasowych realizacjach ocieplonych stropodachów nad basenami najczęściej problemów eksploatacyjnych sprawiają stropodachy pełne, które podczas użytkowania wykazują dużo wad i usterek uciążliwych dla użytkowników. Celem artykułu jest opracowanie zasad właściwego doboru konstrukcji stropodachu w zależności od klimatu wewnętrznego pomieszczeń.

Słowa kluczowe: baseny pływackie, stropodachy pełne, kondensacja wewnątrzwarstwowa, wilgotność powietrza wewnętrznego

Abstract

Swimming pool's roofs due to their large span [surface] need to be made of high quality light materials laid in proper order. For the so far designed and developed swimming pool slab roof structures the biggest number of operating problem were caused by solid slab roofs indicating significant number of disadvantages bothersome in the service. This article is aimed to work out principles of proper slab roof design choice in regard to indoor climate.

Keywords: swimming pools, flat roofs, condensation of steam in between layers, inside air humidity

* Dr inż. Aleksander Byrdy; dr inż. Czesław Byrdy, Instytut Materiałów i Konstrukcji Budowlanych, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska.

1. Warunki klimatu wewnątrz pomieszczeń basenów krytych

Warunki klimatu wewnątrz pomieszczeń krytych basenów zależą od ich przeznaczenia, standardu wykonania, jakości urządzeń klimatyzacyjnych oraz intensywności użytkowania. Szczegółowe wymagania dotyczące parametrów klimatu wewnętrznego w halach basenowych są publikowane przez Polski Związek Pływacki lub w odpowiednich normatywach krajowych, np. w wytycznych Zrzeszenia Inżynierów Niemieckich VDI 2089. Najczęściej w obiektach basenowych przyjmuje się temperaturę powietrza wyższą o ok. 2–4°C od temperatury wody w basenie. Dla takich założeń temperatura wody w nieszce basenu zależy od sposobu wykorzystania obiektu. W basenach sportowych wynosi 24–26°C, w basenach rekreacyjno-sportowych 26–28°C, w basenach rekreacyjnych 28–30°C oraz w basenach dziecięcych 30–32°C.

Dopuszczalne temperatury powietrza w poszczególnych pomieszczeniach basenu zgodnie z wymaganiami niemieckimi [1] przedstawiono w tabeli 1.

Osobnym zagadnieniem kształtowania komfortu klimatu pomieszczeń basenu jest zachowanie odpowiedniej wilgotności powietrza. Obniżona wilgotność pomieszczeń zmniejsza ryzyko wykraplania się pary wodnej na powierzchni elementów konstrukcji hal, jednak przyspiesza parowanie wody przez co może wywoływać uczucie chłodu u użytkowników. Z kolei podwyższona wilgotność powietrza w hali basenu może powodować uczucie duszności oraz obniża komfort użytkowania (zacieki na powierzchniach przegród budowlanych, zaparowane przeszklenia i elementy okien).

Wilgotność powietrza w halach basenowych zgodnie z [1] powinna wynosić od 40 do 64% (PZP dopuszcza 65%). Klasyfikacja parametrów klimatu wewnętrznego hal basenowych zgodnie z PN-EN ISO 13788 pozwala uznać te pomieszczenia jako należące do piątej, najwyższej klasy wilgotności.

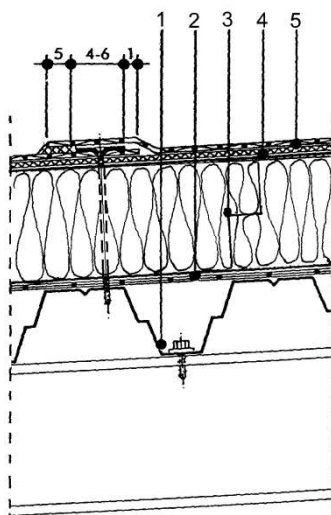
Tabela 1

Dopuszczalne temperatury powietrza w poszczególnych pomieszczeniach basenowych zgodnie z [1]

Rodzaj pomieszczenia	Temperatury powietrza t_i [°C]	
	minimalne	maksymalne
Hol wejściowy, pomieszczenia komunikacyjne i klatki schodowe	18	22
Przebieralnie	24	28
Sanitariaty, pomieszczenia administracyjne	22	26
Natryski z sanitariatami	27	31
Hala basenu	30	34

2. Typowe rozwiązania stropodachów nad krytymi basenami

Na rysunku 1 przedstawiono przykład uwarstwienia lekkiego stropodachu pełnego na blachach falowych z pokryciem z tworzyw sztucznych wg poradnika dla projektantów [2].



Rys. 1. Przekrój poprzeczny przez stropodach pełny o pokryciu z tworzywa sztucznego – rozwiązanie wg instrukcji wykonawczych: 1 – warstwa konstrukcyjna – ocynkowana blacha stalowa, min. grubość blachy większa niż 0,88 mm; 2 – paroizolacja; 3 – izolacja termiczna; 4 – warstwa wyrównująca ciśnienie i rozdzielcza – tkanina z włókna szklanego o gramaturze 120 g/m² (dla termoizolacji ze styropianu); 5 – pokrycie wodochronne np. z miękkiego PCV

Fig. 1. Transverse cross-section of flat roof structure plastic covered – designed according to the manufacturer procedure manual

Z doświadczeń praktycznych realizacji stropodachów pełnych nad pomieszczeniami wilgotnymi można wymienić następujące, najważniejsze błędy:

- za mała sztywność blach trapezowych (nadmierne ugięcia),
- brak wypełnienia fałd wkładkami termoizolacyjnymi (alternatywnie sztywna deska z wełny mineralnej) stosowanego w celu uzyskania równego podłoża pod paroizolację,
- za mały opór dyfuzyjny paroizolacji w porównaniu z oporem dyfuzyjnym pokrycia,
- przebicia paroizolacji łącznikami mocującymi pokrycie i strop podwieszony,
- stosowanie za miękkiej termoizolacji,
- brak zastosowania łączników teleskopowych,
- częsty brak warstwy rozdzielającej i wyrównującej ciśnienie w przypadku termoizolacji ze styropianu (EPS, XPS).

3. Zalecane materiały i minimalne grubości izolacji termicznej stropodachów

Warstwę nośną (konstrukcyjną) stropodachu stanowi stalowa blacha trapezowa oparta najczęściej na stalowych lub drewnianych płatwiach lub bezpośrednio na dźwigarach dachowych (dachy bezpłatwiowe). W przypadku dachów bezpłatwiowych wysokość fałd blachy powinna wynosić min. 100 mm ze względu na rozstaw podpierających ją dźwigarów. Dokładny dobór wysokości fałd blachy w zależności od rozpiętości wymaga obliczeń statyczno-wytrzymałościowych. Stalowa blacha trapezowa powinna być pokryta

warstwą cynku o grubości 20–25 μm i dodatkowo pokryta fabrycznie powłoką antykorozyjną, lakierami na bazie z tworzyw sztucznych.

Warstwę paroizolacyjną wykonuje się najczęściej z folii PE o grubości 0,25 lub 0,4 mm, o współczynniku oporu dyfuzyjnego $\mu = 30\,000$. Można również stosować papy zgrzewalne o grubościach 4–5 mm z wkładkami nośnymi z folii aluminiowej o dyfuzyjnie równoważnej grubości warstwy powietrza $S_d \geq 1500\text{ m}$.

Warstwa termoizolacyjna wykonywana jest z płyt styropianowych EPS 100–200 lub z płyt XPS o wytrzymałości na ściskanie od 200 do 700 kPa. W stropodachach płaskich mają zastosowanie płyty twarde z wełny mineralnej, o gęstości objętościowej przekraczającej 110 kg/m^3 , stosowane jako płyty wierzchnie w ociepleniach dwuwarstwowych oraz płyty półtwarde stosowane jako płyty podkładowe.

Zgodnie z aktualnymi wymaganiami [3] maksymalny współczynnik przenikania ciepła stropodachów powinien wynosić $U = 0,25\text{ W/(m}^2\text{K)}$. Wyniki przeprowadzonych obliczeń minimalnych grubości termoizolacji przedstawiono w tabeli 2.

Warstwy pokryciowe z materiałów bitumicznych tworzą najczęściej papy polimerowe zgrzewalne o grubościach od 5 do 5,2 mm o równoważnej grubości warstwy powietrza S_d równej około 200–250 m.

W przypadku pokryć z tworzyw sztucznych mają najczęściej zastosowanie folie PCV (miękkie) bez wkładki lub folie PCV z wkładką z włókna syntetycznego lub szklanego o grubościach od 1,2 do 2,4 mm i współczynniku μ od 14 000 do 20 000.

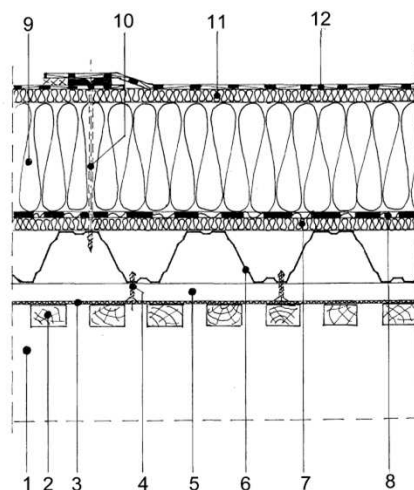
Tabela 2

Minimalne grubości termoizolacji stropodachów

Materiał termoizolacyjny	Minimalna grubość termoizolacji w [cm]	
	budynki standardowe $U = 0,25\text{ [W/(m}^2\text{K)]}$	budynki energooszczędne $U = 0,15\text{ [W/(m}^2\text{K)]}$
Płyty twarde z wełny mineralnej $\lambda = 0,042\text{ W/(mK)}$	16	26
Płyty XPS 200 $\lambda = 0,036\text{ W/(mK)}$	14	23
Płyty EPS 200 $\lambda = 0,036\text{ W/(mK)}$	14	23
Styropian EPS 100 $\lambda = 0,038\text{ W/(mK)}$	15	25

4. Problemy eksploatacyjne przykładowego stropodachu nad czynnym basenem pływackim

Na rysunku 2 przedstawiono stropodach zastosowany nad halą pływalni eksploatowanej od 4 lat. Mimo prawidłowego doboru materiałów przeciwwilgociowych, oraz większej od wymaganej ilości termoizolacji zauważono zawilgocenie konstrukcji stropodachu i czasowe występowanie kałuż wody na posadzce pływalni w okresie zimowym (por. fot. 1).



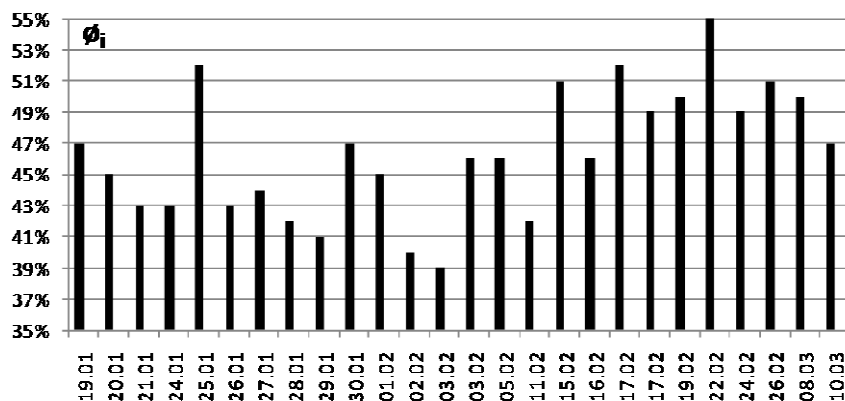
Rys. 2. Przekrój poprzeczny przez stropodach opisywanego basenu: 1 – dźwigar z drewna klejonego; 2 – listwy boazeryjne z drewna 6×8 cm; 3 – tkanina techniczna (flizelina) – warstwa akustyczna; 4 – blachowkręt; 5 – listwa dystansowa z drewna; 6 – blacha trapezowa o wysokości fałdy 110 mm; 7 – twarda deska z wełny mineralnej grubości 2 cm; 8 – paraizolacja – papa asfaltowa termozgrzewalna z wkładką nośną z folii aluminiowej; 9 – płyty podkładowe z wełny mineralnej gr. 20 cm; 10 – długi łącznik do mocowania pokrycia dachowego; 11 – twarda płyta z wełny mineralnej grubości 2 cm; 12 – pokrycie z miękkiej folii PCV o grubości 1,5 mm

Fig. 2. Described indoor swimming pool slab roof structure transverse cross-section



Fot. 1. Podpora dachowego dźwigara z drewna klejonego – widoczne zacieki na powierzchni bocznej dźwigara

Photo. 1. Girder stay supporting pillar made of gluelam – noticeable damp patches on pillar side surface

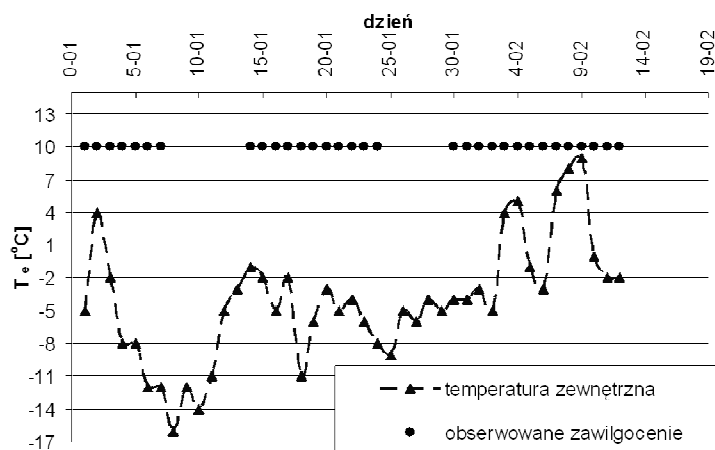


Rys. 3. Zmiany wilgotności względnej powietrza wewnątrz w hali basenu pływackiego podczas eksploatacji w okresie zimowym

Fig. 3. Indoor swimming pool hall relative air humidity change observed during winter operating season

Zawilgocenie powierzchni stropodachu i wycieki wody na powierzchni dźwigarów były obserwowane okresowo w miesiącach zimowych. Natomiast podczas miesięcy letnich nawet w okresach obfitych deszczy nie obserwowano zawilgocenia powierzchni wewnętrznych stropodachu co świadczy o szczelności pokrycia dachowego.

Zależność zawilgocenia powierzchni stropodachu w czasie miesięcy zimowych pokazano na rys. 4.



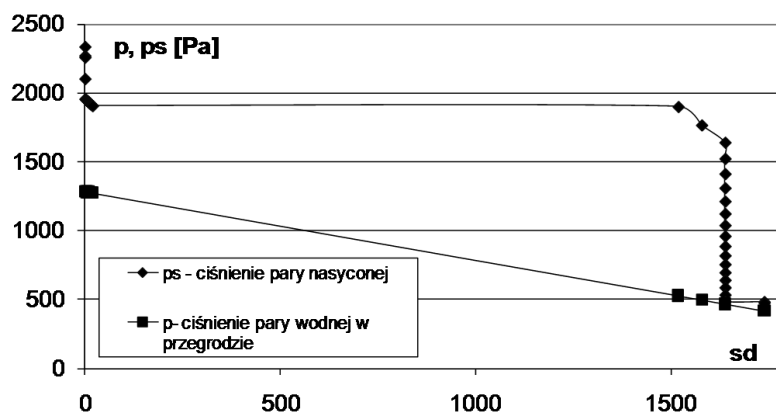
Rys. 4. Rozkład zależności pojawiania się zawilgocenia na powierzchniach wewnętrznych od zmian temperatury zewnętrznej w otoczeniu basenu pływackiego

Fig. 4. Moisture occurrences on internal surfaces distribution in regard to external temperature changes at swimming pool proximity

Na podstawie danych materiałowych uwarstwienia stropodachu (por. rys. 2) przeprowadzono analizy przepływu pary wodnej przez przegrodę. Do analiz przyjęto parametry ciepło-wilgotnościowe powietrza wewnętrznego opracowane w wyniku przeprowadzonych pomiarów, natomiast temperaturę zewnętrzną i wilgotność względną powietrza zewnętrznego przyjęto na podstawie średnich wieloletnich temperatury i wilgotności względnej powietrza w konkretnej lokalizacji zgodnie z [4] i [5].

Rozkład ciśnień pary wodnej opracowany przy zastosowaniu prawa Ficka dla stropodachu (por. rys. 2) pokazano na rys. 5.

Z przeprowadzonych analiz obliczeniowych i dokonanych odkrywek wynika, że na styku termoizolacji i warstw pokrycia stropodachu w sezonie zimowym dochodzi do kondensacji wewnątrzwarstwowej (por. rys. 5). Pomiar wilgotności wełny mineralnej pobranej z odkrywki na powierzchni stropodachu wykazał ponad 10% zawilgocenie próbki (pomiar wilgotności masowej). Wprawdzie obliczeniowy sezonowy bilans kondensacji w stropodachu wykazał całkowite wysychanie kondensatu w miesiącach letnich, ale nawet okresowa kondensacja w analizowanym stropodachu może powodować problemy eksploatacyjne.



Rys. 5. Rozkład ciśnienia pary wodnej w skali oporów dyfuzyjnych obliczony dla grudnia

Fig. 5. Steam pressure distribution scaled in terms of diffusion resistance calculated for December

Zawilgocenie warstw izolacji termicznej z wełny mineralnej niekorzystnie wpływa na jej parametry izolacyjności cieplnej oraz na parametry wytrzymałościowe. Zgodnie z badaniami [7] zawilgocenie wełny mineralnej powoduje poważne obniżenie współczynnika izolacyjności cieplnej λ nawet o 38%.

Zmierzone zawilgocenie wełny mineralnej było zbliżone do stanu jej całkowitego nasycenia wodą. Zawilgocenie powierzchni wewnętrznych stropodachu powstawało na skutek przeciekania kondensatu do wnętrza basenu poprzez otwory w paroizolacji i blasze trapezowej. Kondensat zawarty w górnych warstwach termoizolacji w czasie występowania niskich temperatur zamarzał w przekroju stropodachu (por. rys. 4) natomiast w czasie odwilży służył do dolnych warstw termoizolacji i przedostawał się do wnętrza hali (por. fot. 1).

5. Podsumowanie

Przykładowy stropodach nad halą basenową został zrealizowany na podstawie projektu powtarzalnego. W Polsce południowej zbudowano kilka basenów o bliźniaczej konstrukcji i być może będą powstawać kolejne. Zaprojektowane uwarstwienie stropodachu tylko pozornie jest poprawne. Projektant przyjął wystarczającą grubość warstw termoizolacji, a także zastosował wysokosprawną paraizolację w postaci papy termozgrzewalnej z wkładką z folii aluminiowej o oporze dyfuzyjnym większym od oporu dyfuzyjnego pokrycia. Warstwa nośna w postaci blach trapezowych nie może być traktowana jako warstwa paroszczelna. Blachy trapezowe w analizowanym rozwiązaniu były wielokrotnie przebijane poprzez mocowania wykończenia wewnętrznego (listew boazeryjnych), dodatkowo styki podłużne arkuszy blach nie stanowią szczelnych połączeń dla pary dyfundującej w głąb stropodachu. Zastosowane pokrycie dachowe wymaga mocowania membran dachowych do warstw konstrukcyjnych za pomocą łączników, które podczas montażu i eksploatacji mogą uszkadzać warstwę paraizolacyjną.

Z powyższego przykładu wynika, że ocieplone stropodachy pełne na blachach fałdowych mogą być stosowane w pomieszczeniach o niskiej wilgotności względnej. W halach basenowych przy temperaturze zbliżonej do 30°C dla 50% wilgotności względnej powietrza występuje wysokie ciśnienie pary wodnej na poziomie zbliżonym do 2100 Pa. Dla porównania w pomieszczeniach o wilgotności względnej 50% i temperaturze wewnętrznej ciśnienie pary wodnej wynosi około 1200 Pa. Przy tak wysokiej prężności pary wodnej w halach pływalni zaleca się stosowanie stropodachów szczelinowych lub stropodachów dwudzielnych. Dzięki zastosowaniu skutecznej wentylacji stropodachu z przegrody usuwana jest para wodna, co pozwala zredukować niebezpieczeństwo kondensacji wewnątrzwarstwowej.

Reasumując, o jakości i trwałości stropodachu decyduje zarówno właściwy dobór materiałów, właściwy dobór warstw, jak również staranność wykonania połączeń dachu oraz szczegółów połączeń.

Literatura

- [1] VDI 2089, Blatt 1 Entwurf, *Technische Gebäudeausrüstung von Schwimmbädern. Hallenbäder*, Verlag Beuth GmbH, Berlin 2003.
- [2] *Izolacje styropianowe w budownictwie. Poradnik dla projektantów*, Termo Organika, Kraków 2005.
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dziennik Ustaw 2008 Nr 201, poz. 1238.
- [4] Pogorzelski J.A., Pogorzelska-Firkowicz K., *Przydatność PN-EN ISO 13788 do oceny wilgotności przegród*, Materiały Budowlane 2/2004.
- [5] PN-B-02025:2001, Obliczenie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego.
- [6] Karamanos A., Hadjarakou S., Papadopoulos A.M., *The impact of temperature and moisture on the thermal performance of stone wool*, Energy and Buildings 40 (2008), 1402-141.