

mgr inż. Krzysztof Patoka¹⁾

Zyjemy w czasach ocieplania się klimatu. W Polsce objawia się to m.in. zanikiem zimy, a więc zmniejszeniem liczby dni mroźnych w roku. Z tego powodu na dachach pojawia się coraz mniej szronu, zwałów śniegu, oblodzenia i sopli lodu. Wydawałoby się, że w takich okolicznościach powstawanie skroplin w dachach jest zjawiskiem rzadkim, ponieważ małeje różnica temperatury między wnętrzem budynków i atmosferą. Jest to uzasadnione oczywistym związkiem między ilością skroplin a różnicą temperatury, tzn. im większy spadek temperatury przy określonej wilgotności względnej powietrza, tym ilość skroplin jest większa. To sformułowanie jest prawdziwe, ale jednocześnie mylące, ponieważ ilość skroplin zależy również od ilości schładzającego się powietrza. Nawet mała ilość pary wodnej w ochładzanym powietrzu o małej wilgotności bezwzględnej, ale przy dużej jego ilości, może spowodować po długim schładzaniu powstanie pewnej ilości skroplin. Ten efekt zbyt często nie jest brany pod uwagę w przypadku konfliktu wynikającego z pojawienia się zacieków na sufitach (fotografie 1 ÷ 3). Dotyczy to przede wszystkim obiektów o dużej kubaturze (fotografie 4 i 5), gdzie ilość wymienianego powietrza jest ogromna.

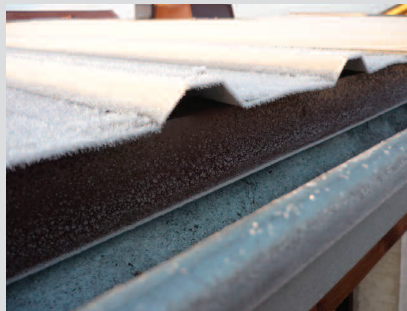


Fot. 1. Poddasze, w którym stwierdzono zacieki na paroizolacji i ścianach po zdjęciu paroizolacji i termoizolacji. Na MWK zamrożona skroplina, na krokwiach zacieki znamionujące dłuższe podciekanie wzdłuż kontrłaty. Efekt braku wylotów (fotografia 2) i wlotów (fotografia 3) ze szczeliny utworzonej przez kontrłatę

¹⁾ Rzeczoznawca Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Materiałów Budowlanych; patoka.k54@gmail.com



Fot. 2. Dach z fotografii 1 tuż po wykonaniu. Uszczelka zamyka bardzo skutecznie wylot z przestrzeni, która powinna być wentylacyjna. Ten szczegół i brak odpowiedniego wlotu w okapie zablokowały odpływ pary wodnej z termoizolacji i wilgoci technologicznej z poddasza



Fot. 3. Dach z fotografii 1 po stwierdzeniu zawilgocenia wełny. Pas dorynnowy jest za wysoki i blokuje wlot do przestrzeni utworzonej przez kontrłatę oraz prawidłowy odpływ skroplin do rynny. Na pokryciu obfity szron z charakterystycznymi igielkami

Powietrze w sposób naturalny (konwekcja) transportuje wilgoć w stronę dachu. Zjawisko to dotyczy wszystkich dachów i stanowi (razem z innymi czynnikami) specyfikę funkcjonowania dachów. Praktyka budowlana wskazuje, że ta problematyka nie jest dobrze rozpoznana. Warto więc przypomnieć mechanizmy powodujące powstawanie skroplin w i na dachach. Wspomniana specyfika dachów wynika z tego, że są one przegrodami poddawany większej liczbie zmiennych czynników niż inne fragmenty budynków.

Ciągle przemiany fazowe wody przyczyniają się do stałego jej przemieszczania w przegrodzie i są związane z wymianą ciepła. Jak wiadomo, wymiana energii cieplnej może się odbywać przez przewodzenie, konwekcję lub promieniowanie. W dachach najczęściej

występuje konwekcja. Najciekawsze efekty wywołuje jednak promieniowanie, czyli przenoszenie energii cieplnej przez fale elektromagnetyczne, głównie podczerwone (cieplne). W przypadku kondensacji pary wodnej w dachach, bardzo duże znaczenie ma zjawisko chłodzenia radiacyjnego. Jest ono często niedoceniane, a w pewnych warunkach prowadzi do bardzo dużych strat ciepła przez zewnętrzne przegrody budowlane, szczególnie dachy, ponieważ występuje dużo intensywniej na powierzchniach nachylonych i płaskich niż na pionowych (ścianach).

Chłodzenie radiacyjne zachodzi, gdy nie ma chmur na niebie i polega na wzmożonym promieniowaniu cieplnym wszystkich płaskich i nachylonych powierzchni. To zjawisko jest powodem powstawania przygruntowych przymrozków i gołolodzi na jezdniach,



Fot. 4. W tej hali każdego ranka zbierano kilka wiader wody wyciekającej z zakładów na blasze trapezowej. Połączenia między blachą a ścianami zewnętrznymi, świetlikami i wentylatorami mają szczeliny a paroizolacja z folii PE leży na blasze w luźnych niesklejonych pasmach



Fot. 5. Hala w budowie. Strop z blachy trapezowej wyraźnie odstaje od konstrukcji ściany, a paroizolacja leży na krawędzi blachy w przypadkowych fałdach. Przy tak prowadzonej budowie uszczelnienie warstwy paroizolacyjnej jest niemożliwe. Tędy dostaje się powietrze i para wodna do wełny mineralnej

a na dachach szronu (zimą) i rosy (latem). Im mniejsze jest nachylenie dachu, tym promieniowanie radiacyjne jest większe. O skali tego zjawiska świadczy duża różnica temperatury na oknach dachowych i ściennych przy tej samej temperaturze powietrza atmosferycznego w bezchmurne noce. Warto o tym pamiętać, **szukając przyczyn powstawania skroplin na oknach dachowych**, które zbyt często posądzone są o przeciekanie w takich okolicznościach.

W przypadku zjawisk związanych z powstawaniem skroplin w dachach ważne jest to, że znajduje się w nich powietrze, które jest mieszaniną gazów zawsze zawierającą parę wodną. Dzięki wymianie ciepła i ruchom powietrza para wodna i wilgoć penetrują kolejne warstwy przegrody. Wędrówka powietrza zależy od konstrukcji dachu oraz ilości i wielkości przestrzeni lub szczelin wypełnionych powietrzem. Przemieszczająca się w przegrodach para wodna nie jest dla nich groźna, dopóki się nie skropli. Wiadomo, że kierunek

przepływu pary jest zgodny z kierunkiem przepływu ciepła i to jest powodem częstego powstawania skroplin w górnych zewnętrznych warstwach dachów, pomimo występujących zmian kierunku przepływu ciepła w dachach w naszym klimacie. Bez względu na kierunek przepływu ciepła w dachach, w przenoszeniu tego ciepła ogromną rolę odgrywa powietrze i zawarta w nim para wodna.

Na podstawie tych rozważań można sformułować następujący wniosek: **w celu ograniczenia ilości skroplin, jakie mogą powstawać w dachach, należy dolożyć wszelkich starań, aby zminimalizować ruchy powietrza zamkniętego między lub w warstwach tworzących dach**. Zabiegi te powinny dotyczyć zarówno fazy projektowej, jak i wykonawczej. Ma to szczególnie duże znaczenie w przypadku dominujących obecnie w Polsce konstrukcji dachowych. Mam na myśli dwa rodzaje konstrukcji: **dachy jednopowłokowe** na konstrukcyjnych blachach trapezowych, popularne na dużych obiektach halowych

oraz dachy dwudzielne (teoretycznie) wentylowane, dominujące na budynkach jednorodzinnych. W obu typach dachów funkcjonują przewiewy i pustki powietrzne transportujące wilgoć na omówionych zasadach. Składa się na to wiele przyczyn, ale ważne są negatywne efekty niekontrolowanego działania powietrza w tych konstrukcjach. Zawsze wilgoć pogarsza termoizolacyjność i zmniejsza trwałość dachów.

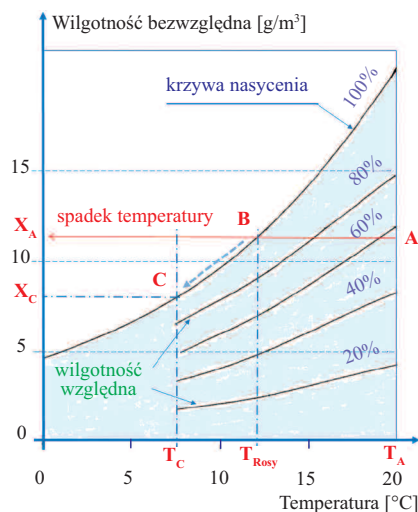
Analizując budowę wymienionych typów dachów, można stwierdzić, że teoretycznie skropliny mogą powstawać we wszystkich ich częściach, wszędzie tam, gdzie może dotrzeć i przepływać powietrze. Najłatwiej jest to wykazać na przykładzie dachów dwudzielnych budynków jednorodzinnych, z popularnymi pokryciami leżącymi na łątach. Dachy te powinny być wykonywane w wersji wentylowanej (stąd nazwa), szczególnie gdy mają wbudowaną wysoko paroprzepuszczalną MWK. Powszechnie popełnianym błędem jest blokowanie samoistnego przepływu powietrza wzdłuż kontrłat. Blokada ta wy-

Punkt rosy (temperatura punktu rosy)

Jest to temperatura, w której przy danym składzie gazu oraz ustalonym ciśnieniu rozpoczyna się proces skraplania gazu lub wybranego składnika mieszaniny gazu. W przypadku pary wodnej w powietrzu jest to temperatura, w której staje się ona nasyconą przy określonej ilości pary wodnej i ciśnieniu powietrza. Poniżej tej temperatury staje się przesycona i skrapla się. Jest to temperatura krytyczna, w której powietrze w czasie ochładzania przy danym ciśnieniu pary wodnej staje się nią nasycone, a przy dalszym ochładzaniu dochodzi do kondensacji pary wodnej w postaci kropli wody.

Temperaturę punktu rosy można przedstawić jako parametr zależny od bezwzględnej ilości pary wodnej zawartej w powietrzu. „Punkt rosy” zawsze leży na krzywej nasycenia. Po odpowiednim ochłodzeniu powietrza o określonej zawartości pary wodnej (X_A) zawsze zaczyna wykraplać się zawarta w nim para wodna. Mechanizm powstawania skroplin ilustruje rysunek 1. Prosta X_A prezentuje powietrze o określonej wilgotności bezwzględnej X_A , czyli o określonej ilości pary wodnej przypadającej na jednostkę objętości. Ze spadkiem temperatury tego powietrza będzie wzrastała jego wilgotność względna (R_h – krzywe oznaczone %). Wynika to z cechy powietrza polegającej na tym, że ze wzrostem jego temperatury wzrasta możliwa zawartość pary wodnej w powietrzu, a ze spadkiem temperatury maleje. W punkcie A wilgotność względna $R_{hA} < 60\%$, a w punkcie B – $R_{hB} = 100\%$. Dalszy spadek temperatury powietrza aż do punktu C spowoduje, że powietrze musi pozbyć się pewnej ilości wody, aby nie przekroczyć $R_h = 100\%$. Ilość tej wody określa zależność $X_{sk} = X_A - X_C$.

W punkcie B powietrze ma temperaturę, w której zaczyna się proces skraplania pary wodnej. Z tego powodu temperaturę tę nazywa się **punktem rosy** lub **temperaturą punktu rosy**. Jeżeli nie znamy poziomu wilgotności bezwzględnej, a dysponujemy pomiarami hydrometru, który pokazuje wilgotność względną powietrza i znamy jego temperaturę, to możemy określić z podobnych wykresów wilgotność bezwzględną lub ciśnienie cząstkowe pary i posługując się przedstawioną metodą, ustalić punkt rosy. Wilgotność względna to stosunek ciśnienia cząstkowego pary wodnej zawartej w powietrzu do ciśnienia nasycenia. Można wyrazić to mniej „akademicko”. Wilgotność względna to stosunek ilości wody zawartej w powietrzu do maksymalnej ilości, jaka mogłaby się w nim znaleźć w aktualnej jego temperaturze.

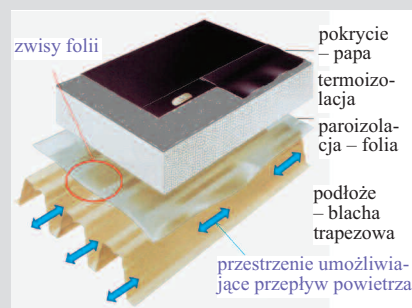


Rys. 1. Zawartość pary wodnej w powietrzu

nika z wadliwie wykonywanych okapów, w których nie ma wystarczających wlotów dla powietrza wentylującego (fotografia 3) oraz ze stosowania uszczelek na kalenicach zamykających wylot (fotografia 2). Takie wykonawstwo powoduje, że dach teoretycznie podzielony warstwą wentylacyjną na dwie części, nie podlega żadnej klasyfikacji. Nie zachowuje się jak dwudzielny dach wentylowany ani jak dach jednopowłokowy. Skropliny mogą w nim łatwiej powstawać i mają więcej miejsca do gromadzenia się. Warto więc przeanalizować, jak odbywają się te procesy, ponieważ możemy dzięki temu łatwiej zrozumieć wpływ powietrza na powstawanie skroplin w dachach. W tym celu przyjrzymy się konkretnemu przypadkowi źle zbudowanego dachu, w którym już w fazie budowy pojawiły się bardzo obfite skropliny. Powstałe problemy dobrze ilustrują fotografie 1 ÷ 3. Na fotografii 1 widać rozebraną wewnętrzną stronę dachu z zmarzniętą skropliną na MWK. Rozbiórki dokonano po stwierdzeniu zacieków na folii paroizolacyjnej oraz dużego zawilgocenia wełny mineralnej. Przyczynami takiego zgromadzenia wilgoci (głównie technologicznej) były brak wentylacji pokrycia i przewiewy na paroizolacji. W Polsce jest bardzo mało dachów z prawidłowo wykonanym dachem z wbudowaną wysoko paroprzepuszczalną membranę wstępnego krycia (MWK). Takie membrany nie pochłaniają wilgoci, lecz jedynie przepuszczają parę wodną do przestrzeni utworzonej przez kontrłaty pod pokryciem. W tej przestrzeni musi stale przepływać wentylujące powietrze atmosferyczne. W przeciwnym przypadku przestrzeń ta nasycy się parą wodną i skroplinami, które nasączają łatę i podlegają stale powtarzającym się procesom częściowego odparowywania i ponownego skraplania się. Ciśnienie pary wodnej nad MWK jest na tyle wysokie, że para napływająca od środka nie przechodzi przez MWK. Skrapla się na niej i nawadnia termoizolację, pogarszając

jej izolacyjność. To powoduje ochładzanie się dachu i powstawanie większej ilości skroplin. Nieszczelnie ułożona paroizolacja dostarcza dodatkowej wilgoci przez działania przewiewów, czyli przepływu ciepłego i wilgotnego powietrza wewnątrz budynku. W tego typu dachach skroplina może powstawać we wszystkich ich warstwach.

Wadliwe, bo nieszczelne układanie paroizolacji dotyczy większości polskich dachów. W dużych dachach też zbyt często występuje ten mankament (fotografie 4 i 5). W najpopularniejszych obecnie konstrukcjach ze stropami wykonanymi z blach trapezowych tego typu wada otwiera dach dla niekontrolowanych przepływów powietrza. Z powodu konieczności pozostawienia szczelin dylatacyjnych na połączeniach blach trapezowych ze ścianami i instalacjami przechodzącymi przez dach (fotografia 4) oraz zakładów między poszczególnymi arkuszami, przestrzenie utworzone pod paroizolacjami w profilu nad dolną półką (rysunek 2) są otwarte dla powietrza wewnętrznego i zewnętrznego. W tych przestrzeniach



Rys. 2. Dach przemysłowy z konstrukcyjnymi blachami trapezowymi z termoizolacją mocowaną mechanicznie. Folia PE zwisa i jest podziurawiona. Profil blach jest głęboki i stanowi kanały znakomicie transportujące powietrze i parę wodną, które przenikają wyżej przez zakłady w paroizolacji
o dużej wysokości odbywają się przepływy powietrza zawsze przenoszące parę wodną, ponieważ jest to najczęściej ciepłe powietrze wewnętrzne. Miejsca powstawania i gromadzenia się skroplin powstających z tej pary mogą być na różnych poziomach dachu, po-

nieważ paroizolacja nie jest warstwą szczelną, a termoizolację układa się warstwami mocowanymi mechanicznie tymi samymi łącznikami co pokrycie. Jak wiadomo, przez wełnę mineralną para wodna swobodnie przenika. Natomiast przez termoizolację piankową (EPS, XPS, PIR) przenosi ją powietrze dzięki szczelinom między poszczególnymi płytami termoizolacji, powstałymi na skutek ruchów termicznych spowodowanych bardzo dużą rozszerzalnością termiczną tych termoizolacji. Rozpatrując takie zjawiska, warto pamiętać, że dachy podlegają stałym i wysokim dobowym zmianom temperatury. W dzień się nagrzewają, a w nocy schładzają i z tego powodu zawsze są najzimniejsze rano. Dlatego tuż po wschodzie słońca występująca między warstwami dachów różnica temperatury jest największa. Bardzo często różnica ta jest na tyle duża, że wytrąca się kondensat. Jego ilość zależy nie tylko od różnicy temperatury, ale również od ilości powietrza przepływającego przez schłodzone miejsce.

Podsumowanie

Artykuł powstał, ponieważ uczestnicząc w sporach spowodowanych powstawaniem zacieków, zbyt często zauważam, że strony sporów w ogóle nie biorą pod uwagę możliwości powstawania skroplin z powietrza. Odnotowałem takie poglądy również w trakcie dyskusji dotyczących wycieków wody z sufitów nad basenami. Przypomnę, że pod sufitem basenów panują warunki odpowiadające atmosferze w dżungli, czyli z wilgotnością względną $R_h = 80 - 90\%$ oraz z temperaturą powietrza $30 - 36^\circ\text{C}$. W takich warunkach spadek temperatury o kilka stopni może spowodować deszcz skroplin. Proszę sprawdzić (najlepiej za pomocą wykresu Molliera). Jedynym problemem jest precyzyjne określenie ilości powietrza przepływającego przez lub pod sufitem. Można ją jedynie oszacować na podstawie występujących i zmierzonych lub zaprojektowanych wymiany powietrza w tych obiektach.

Partner działu:

Fakro Sp. z o.o.
www.fakro.pl

FAKRO®