

PRZEGLĄD INCYDENTÓW POWSTAWANIA PĘCZERZY POD HYDROIZOLACJĄ NA OBIEKTACH MOSTOWYCH

Tomasz GAJDA, Krzysztof GERMANIUK, Barbara RYMSZA
Instytut Badawczy Dróg i Mostów

Pęcherze pod izolacjami płyt pomostów obiektów mostowych powstawały zawsze. Powody zjawiska były znane - były to błędy wykonawcze, tak charakterystyczne, że zdiagnozowano je po przecięciu pęcherza i oględzinach izolacji. Pęcherze mogły być wypełnione: wodą lub parą wodną, powietrzem albo rozpuszczalnikami, które nie odparowały z asfaltowego środka gruntującego. W roku 2003 zaobserwowano nowy rodzaj pęcherzy, które były wypełnione gazem. Po przecięciu takich pęcherzy i wypuszczenia z nich gazu izolacja z papy zgrzewalnej samoistnie przyklejała się do podłoża.

W artykule zestawiono szacunkowe dane o skali zjawiska „pęcherzenia” w kraju oraz wybrane dane o obiektach mostowych, na których ono wystąpiło. Podano też dane dotyczące składu chemicznego pobranego gazu oraz zaobserwowanego skokowego wzrostu temperatury w otoczeniu obiektu, bezpośrednio przed pojawieniem się pęcherzy. Przedstawiono wyniki dotychczasowych obserwacji i badań, które wskazują na przyczyny powstania pęcherzy gazowych.

Słowa kluczowe: izolacje mostowe, papy zgrzewalne, pęcherze pod izolacją, pęcherze gazowe

1. WSTĘP

Pęcherze pod izolacjami płyt pomostów obiektów mostowych powstawały zawsze. Powody zjawiska były znane i były to błędy wykonawcze takie jak:

- przyklejenie izolacji na niezagruntowanym lub niedostatecznie zagruntowanym podłożu,
- przyklejenie izolacji na wilgotnym podłożu,
- przyklejenie izolacji na nie wyschniętym środku gruntującym,
- przyklejanie na zbyt grubo zagruntowanym podłożu,
- przyklejenie izolacji na podłożu zabrudzonym błotem lub pyłem,
- niedostateczne lub punktowe doklejenie izolacji do podłoża,
- zamknięcie pęcherza powietrza pod izolacją na stykach arkuszy lub w pobliżu wywinięć izolacji na powierzchni pionowe,
- niewłaściwe sklejenie arkuszy izolacji umożliwiające przesączenie się wody pod arkusz izolacji.

Każdy z ww. błędów był na tyle charakterystyczny, że można go było zdiagnozować po przecięciu pęcherza i oględzinach izolacji. Pęcherze mogły być wypełnione: wodą lub parą wodną, powietrzem albo rozpuszczalnikami, które nie odparowały z asfaltowego środka gruntującego. Pęcherze pojawiały się zawsze po znacznym wzroście temperatury otoczenia, gdy ciecze zamknięte pod izolacją zmieniały się w parę lub powietrze zamknięte pod izolacją zwiększało swoją objętość. W pęcherzu, po rozcięciu izolacji można było zaobserwować m.in.: wodę (rys. 1), wilgoć, błoto, niewyschnięty środek gruntujący, zbyt grubo ułożoną warstwę półpłynnego środka gruntującego, nienadtopioną dolną powierzchnię papy zgrzewalnej, nie było natomiast śladów gruntowania lub śladów przyklejenia papy do podłoża, itp. Cechą charakterystyczną wszystkich pęcherzy było, że oderwana izolacja po przecięciu pęcherza i wypuszczeniu wypełniającego go gazu nie mogła się ponownie przykleić do podłoża.



Rys. 1. Widok pęcherza („starego typu”) przy krawężniku po usunięciu zniszczonej warstwy ścieralnej; pęcherz był wypełniony wodą

2. PĘCHERZE GAZOWE – OBSERWACJA ZJAWISKA

W roku 2003 zaobserwowano nowy rodzaj pęcherzy, które były wypełnione gazem. Po przecięciu takich pęcherzy i wypuszczenia gazu izolacja z papy zgrzewalnej samoistnie przyklejała się do podłoża. Zespół Diagnostyki i Napraw Mostów Zakładu Mostów IBDiM wykonał kilkanaście ekspertyz takich pęcherzy.

Pierwsze niewyjaśnione dotąd zjawisko, występowania pęcherzy wypełnionych gazem na płycie pomostu pod izolacją, na bardzo dużą skalę zaobserwowano w Polsce na obiekcie 1, wg tablicy 1.

Obiekt stanowiły dwa wiadukty usytuowane równolegle obok siebie, prowadzące po jednej jezdni. Pęcherze pojawiły się tylko na jednej jezdni (rys. 2). Na drugiej jezdni, wykonanej prawie w tym samym czasie, pęcherze się nie pojawiły (rys. 3). Oba bliźniacze wiadukty były wykonane przez tego samego wykonawcę i na obu ułożono tę samą izolację.

Przełomowym rokiem dotyczącym zjawiska występowania pęcherzy był rok 2011, kiedy na wielu obiektach mostowych w całym kraju wystąpiło zjawisko „pęcherzenia”, a łączna powierzchnia płyt pomostów obiektów, na których wystąpiło ww. zjawisko przekroczyła w skali kraju 100 tys. m². W tabeli 1 podano zestawienie wybranych obiektów mostowych, na których w latach 2003-2014 obserwowano zjawisko „pęcherzenia”.



Rys. 2. Obiekt 1; jezdnia z pęcherzami; widok po wykonaniu pierwszej naprawy



Rys. 3. Obiekt 1; jezdnia, na której nie pojawiły się pęcherze

Pęcherze wypełnione gazem pojawiały się pod izolacją zarówno na odcinkach, na których była ułożona:

- tylko izolacja (rys. 2 i 4),
- izolacja i warstwa wiążąca nawierzchni z asfaltu lanego (rys. 5, 6 i 7),
- izolacja, warstwa wiążąca i warstwa ścieralna nawierzchni.

Tabela 1. Zestawienie wybranych obiektów mostowych, na których obserwowano zjawisko pęcherzenia

Lp.	Obiekt mostowy	Rok ^{*)}	PO ^{**)} obiektu [m ²]	PUI ^{***)} [m ²]	Uwagi
1	2	3	4	5	6
1	Estakada (droga ekspresowa)	2003	16 000	6 000	–
2	Most drogowy	2002 i 2003	1 150	–	lokalne naprawy na powierzchni kilkunastu m ²
3	Wiadukty droga ekspresowa)	2011	2 400	2 400	wymieniono izolację
4	Wiadukty (autostrada)	2011	20 000	20 000	wymieniono izolację
5	Most autostradowy	2011	20 000	20 000	wymieniono izolację
6	Estakada w ciągu autostrady	2011	1 200	1 200	nie wymieniono izolacji
7	Wiadukty droga ekspresowa)	2012	1 000	500	wymieniono ok. 500 m ² izolacji; lokalne naprawy na powierzchni ok. 500 m ²
8	Obiekt w ciągu autostrady	2012	800	-	lokalne naprawy na pow. ok. 50 m ²
9	Most (droga ekspresowa)	2012	1 200	500	wymieniono izolację na powierzchni ok. 500 m ²
10	Wiadukt nad drogą ekspresową	2012	300	300	wymieniono izolację
11	Wiadukt nad drogą ekspresową	2012	300	-	lokalne naprawy; nie wymieniono izolacji
12	Estakada (droga ekspresowa)	2012	2 200	2 000	wymieniono izolację na powierzchni ok. 2 000 m ² ;
13	Wiadukt (droga ekspresowa)	2012	580	–	lokalne naprawy na powierzchni ok. 200 m ²
14	Wiadukty drogowe	2013	–	–	lokalne naprawy na powierzchni kilku m ²
Suma			67 130	52 900	–

*) – rok wystąpienia zjawiska pęcherzenia;

**) – powierzchnia obiektu;

***) – powierzchnia uszkodzonej izolacji



Rys. 4. Obiekt 11; widok pomostu ze śladami zaklejonych punktów przebicia izolacji



Rys. 5. Obiekt 8; spękana warstwa wiążąca nawierzchni nad pęcherzami pod izolacją



Rys. 6. Obiekt 8; pomiar rozwartości pęknięcia w warstwie wiążącej nawierzchni nad pęcherzem



Rys. 7. Obiekt 3; spękana warstwa wiążąca nawierzchni nad pęcherzami pod izolacją



Rys. 8. Obiekt 3; zdejmowanie nawierzchni i izolacji po powstaniu pęcherza



Rys. 9. Obiekt 4; podłoże zgruntowane roztworem asfaltowym po odrywaniu papy przez pęcherz, po zdjęciu nawierzchni i izolacji

Pęcherze pojawiły się pod izolacją na betonowych płytach pomostów:

- na betonach wykonywanych wg różnych receptur, przy zastosowaniu domieszek i dodatków do betonu dostarczanych przez różnych producentów,
- pod izolacjami wykonywanymi z różnych rodzajów pap zgrzewalnych, układanych na różnych środkach gruntujących: asfaltowych (rys. 8, 9) lub żywicznych (rys. 10, 11).



Rys. 10 Obiekt 4; mały pęcherz pod izolacją na podłożu zagruntowanym żywicą epoksydową



Rys. 11. Obiekt 4; podłoże zagruntowane żywicą epoksydową po usunięciu papy w miejscu pęcherza

W tabelach 2, 3 i 4 zestawiono niektóre dane o wybranych obiektach mostowych, na których stwierdzono pęcherze gazowe. Dane te są niekompletne, ponieważ nie wszystkie dane można było uzyskać podczas wykonywania ekspertyz. W tabeli 2 zestawiono dane dotyczące klasy betonu, z którego wykonano obiekt mostowy, cementu i kruszywa użytego do produkcji betonu. W tabeli 3 podano informację o terminie wykonania izolacji i pojawienia się pęcherzy oraz stanu wykończenia lub eksploatacji obiektu, przy którym zaobserwowano pęcherzy.

W tabeli 4 zestawiono dane dotyczące składu chemicznego gazu pobranego, informację o znalezieniu drobinek metali w strefie kontaktu izolacji z betonem, we wszystkich wypadkach zaobserwowano bezpośrednio przed pojawieniem się pęcherzy skokowy wzrost temperatury w otoczeniu obiektu o 15-20°C.

Tabela 2. Zestawienie danych dotyczących betonu wybranych obiektów mostowych

Numer obiektu	Klasa betonu	Cement	Kruszywo	
			Grube	Piasek
1	2	3	4	5
1	B60	–	–	–
3	B40 (C30/37)	Cem I 42,5 HSR/NA; Rejowiec	granit, kopalnia Graniczna	kopalnia Kalenice
4a	B60 (C50/60)	Cem I 42,5 R; Góraźdże	granit; kopalnia Gołszyce	kopalnia Brzezinki
4b	B60 (C50/60)	Cem I 42,5 R; Góraźdże	granit; kopalnia Gołszyce	kopalnia Brzezinki
4d	B60 (C50/60)	–	–	–
4e	B50	–	–	–

tabela 2 cd.

1	2	3	4	5
5	B60	Cem I 42,5 R; Góraźdże	granit	–
6	B50	Cem I 52,5 N-NA	granit, kopalnia Wieśnica	kopalnia Szczytniki
7a	B35 (C30/37)	Cem I 42,5 HSR/NA; Chełm	granit, kopalnia Chmielnickij UK	kopalnia Radłów
7c	B50 (C40/50)	Cem I 42,5 HSR/NA; Chełm	granit, kopalnia Chmielnickij UK	kopalnia Radłów
7d	B45 (C35/45)	Cem I 42,5 HSR/NA; Chełm	granit, kopalnia Chmielnickij UK	kopalnia Radłów
8a	C30/37	–	–	–
8b	C30/37	–	–	–
9	B35 (C30/37)	Cem I 42,5 HSR/NA; Chełm	granit, kopalnia Chmielnickij UK	kopalnia Radłów
10	C30/37	–	–	–
11	C30/37	–	–	–
12	B40	Cem I 42,5 HSR/NA; Chełm	granit, kopalnia Schwarzholm	kopalnia Łapka
14a	C 35/45	Cem I 42,5 HSR/NA	granit; kopalnia Gołszyce	–
14b	C 40/50	Cem I 52,5 HSR/NA	granit; kopalnia Gołszyce	–

Tabela 3 Wybrane informacje dotyczące terminów związanych z pęcherzeniem

Numer obiektu	Termin		Moment zauważenia pęcherzy
	Wykonania izolacji	Pojawienia się pęcherzy	
1	7	8	9
1	–	–	po ułożeniu izolacji
2	–	–	po ok. 5 i po 17 miesiącach eksploatacji obiektu
3	18.10.2010 17.11.2010	21.05.2011	po ułożeniu asfaltu lanego
4a	16.04.2011 09.05.2011	21.05.2011	po ułożeniu asfaltu lanego
4b	10.05.2011 20.05.2011	21.05.2011	po ułożeniu izolacji
4c	–	–	w trakcie układania izolacji
4d	od 17.03.2011	21.05.2011	po ułożeniu asfaltu lanego
4e	03.05.2011	21.05.2011	po ułożeniu asfaltu lanego
5	–	–	po ułożeniu izolacji
6	–	–	po ułożeniu izolacji
7a – 7d	–	–	po ułożeniu izolacji
8a	28.09.2011, 30.09.2011	04.05.2012	po ułożeniu SMA
8b	28.09.2011, 30.09.2011	04.05.2012	po ułożeniu asfaltu lanego
9	–	–	po ułożeniu asfaltu lanego
10	11.04.2012 12.04.2012	21.05.2012	po ułożeniu izolacji

tabela 3 cd.

1	7	8	9
11	12.05.2012	22.05.2012	po ułożeniu izolacji
12	–	–	po ułożeniu asfaltu lanego
13	–	–	po ułożeniu izolacji
14a	04.10.2011	18.05.2013	po ok. roku eksploatacji obiektu
14b	14.11.2011	maj 2013	

Tabela 4. Zestawienie danych o wybranych obiektach mostowych

Numer obiektu	Skład chemiczny gazu, [%]					Drobinki metali
	Azot	Tlen	Dwutlenek węgla	Wodór	Metan	Tak/Nie (stwierdził)
1	3	4	5	6	8	9
3	96,1	1,7	–	1,2	0,07	Tak (ICiMB)
5	79,3	0,0	–	18,7	0,06	Tak (ICiMB)
14a	94,1	2,26	0,03	0,2	0,05	Tak (IBDiM)
14b	94,3	2,00	0,02	0,24	0,05	Tak (IBDiM)

3. WYNIKI BADAŃ I OBSERWACJI PĘCHERZY GAZOWYCH

Dokonując przeglądu incydentów powstawania pęcherzy nie stwierdzono zależności między pojawieniem się pęcherzy gazowych a terminem wykonania izolacji i nawierzchni na obiektach, a także czasem między ułożeniem izolacji a pojawieniem się pęcherzy. W skrajnych wypadkach zaobserwowano powstawanie pęcherzy w trakcie układania izolacji oraz po upływie ponad roku od oddania obiektu do eksploatacji. Na wszystkich obiektach, na których przystąpiono do układania nawierzchni, izolacja była odebrana przez nadzór jako wykonana prawidłowo.

Na wszystkich badanych obiektach wykonano izolację z pap zgrzewalnych. Cztery rodzaje pap zgrzewalnych, dwa rodzaje asfaltowych środków gruntujących oraz trzy rodzaje żywicznych środków gruntujących zostały przebadane w IBDiM na zgodność z odpowiednimi Aprobatami Technicznymi. Badania nie wykazały żadnych niezgodności.

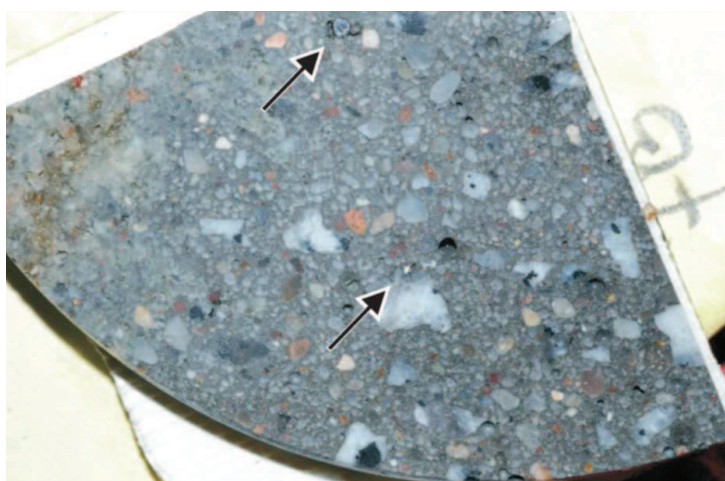
Na kilku obiektach wykonano badania składu chemicznego gazu pobranego z pęcherzy. Badania wykazały, że skład chemiczny gazu jest charakterystyczny. W pobranych próbkach stwierdzono głównie azot, więcej niż 80%, wodór w ilości od kilku do 40%, tlen w ilości od zera do kilku procent oraz dwutlenek węgla i węglowodory tj. metan, etan, eten i propan. Podobne wyniki składu chemicznego gazu w pęcherzach gazowych pokazano w publikacji [5].

W wypadku zjawiska występowania pęcherzy gazowych na obiekcie 1 stwierdzono, iż gaz wydobywający się z pęcherza był palny (rys. 12).



Rys. 12. Obiekt 1. Spalanie gazu wydobywającego się z pęcherza; papier został zapalony od palącego się gazu; asfalt w papie nadtopia się wokół otworu w izolacji

Stężenie azotu i tlenu w próbkach może sugerować, że gaz pochodzący z pęcherza uwolnił się z porów w betonie. Niskie stężenie tlenu (w stosunku do powietrza, gdzie jego zawartość średnio wynosi 21%) może wskazywać, że został on zużyty w reakcji utleniania-redukcji np. metali zawartych w matrycy cementowej. Wodór jest gazem występującym w śladowych ilościach w powietrzu. Ilość wodoru w pobranych próbkach dochodząca do kilkunastu procent może świadczyć o przebiegu reakcji utleniania-redukcji (redox). W warunkach izochorycznych podgrzanie nawet niewielkiej ilości gazu może doprowadzić do dużego wzrostu ciśnienia, co z kolei może powodować powstawanie pęcherzy.



Rys. 13. Obiekt 3; sfrezowana powierzchni próbki betonu; głębokość 2,5 mm; strzałki wskazują śruciny żelazne. (foto. ICiMB)

Na trzech obiektach (nr 3, 5 i 14 w tabeli 4) stwierdzono obecność w strukturze betonu drobinek żelaza o wielkości kilkuset mikrometrów (rys. 13). Obecność wtrąceń metalicznych w strukturze betonu opisano także w publikacji [5].

W publikacjach [1, 2] jako najbardziej prawdopodobną przyczynę powstania pęcherzy gazowych podano reakcję wolnego krzemu, który jest obecny w mikrokrzemionce dodawanej do betonu z wodą zawartą w betonie. W wyniku takiej reakcji wydziela się gazowy wodór. Do wydzielenia wodoru, który może spowodować powstanie dużych pęcherzy konieczne jest, aby zawartość wolnego krzemu w mikrokrzemionce wynosiła ok. 4%. W mikrokrzemionce zbadanej w ramach ekspertyzy wykonanej przez IBDiM zawartość wolnego krzemu wynosiła 0,12% przy wartości dopuszczalnej przez normę PN-EN 13263-1 równej 0,4%. Jednocześnie analiza receptur betonów w rozpatrywanych obiektach mostowych wykazała, że pęcherze obserwowano także na betonach wykonanych bez dodatku mikrokrzemionki.

W pracy [3] zwrócono uwagę na obecność dużej ilości azotu w gazie wypełniającym pęcherze. Należy zwrócić uwagę, że w betonie, papach zgrzewalnych i środkach gruntujących do betonu nie ma składników zawierających azot. Istotną zawartość azotu w gazie wypełniającym pęcherze potwierdziły wyniki badań opisane w pracy [5].

W pracy [5] zwrócono też uwagę, że materiały papy zgrzewalne i żywice stosowane do gruntowania betonu pod izolację nie mogą być źródłem gazów bogatych w wodór. Postawiono hipotezę, że źródłem wodoru mogło być zanieczyszczenie płyty betonowej iniektem uszczelniającym kanały kablowe (zawierającym pył aluminiowy).

W pracy [4] zwrócono uwagę na możliwość wydzielenia wodoru z betonu w wyniku reakcji składników betonu i wody z wolnymi metalami takimi jak krzem (Si), aluminium (Al) i cynk (Zn). Postawiono hipotezę, że zjawisko pęcherzenia betonu można ograniczyć przez układanie izolacji na suchym betonie oraz przez uszczelnienie powierzchniowej warstwy betonu i zamknięcie jej za pomocą środków gruntujących.

W pracy [6] zwrócono uwagę na wpływ zawilgocenia podłoża pod izolacją na powstawanie pęcherzy.

Omawiane prace nie rozwiązały problemu przyczyn powstawania pęcherzy gazowych. Pęcherze gazowe nie zawierają wody; nie są więc spowodowane wilgocią w betonie. Zagadką jest zawartość w pęcherzach azotu; jego pochodzenia nie udało się wskazać.

Większość pęcherzy gazowych omawianych w niniejszym artykule zaobserwowano bezpośrednio po wystąpieniu w miejscu lokalizacji obiektu mostowego skokowego wzrostu temperatury o ok. 15-20°C w ciągu doby. Stanowi to przesłankę wskazującą, że gaz wydziela się z betonu w reakcji katalitycznej, która jest spowodowana szybkim wzrostem temperatury.

4. WNIOSKI

Maksimum zjawiska powstawania pęcherzy gazowych zaobserwowano w latach 2011 – 2012. Obecnie natężenie występowania pęcherzy jest znacznie mniejsze. Trudność zbadania zjawiska polega na tym, że pęcherze powstają gwałtownie a wydzielanie gazu trwa czasem tylko kilka godzin. Głównym gazem jest wodór, który z uwagi na bardzo małą masę cząsteczkową łatwo „ucieka” z każdego zbiornika, w tym z pęcherza. Czas dostępny na pobranie gazu wynosi tylko kilka dni i jest zdecydowanie krótszy od czasu niezbędnego na podjęcie decyzji o wykonaniu badań i nawiązanie kontaktu z jednostką naukową, która potrafi pobrać i zbadać gaz. Sam proces pobierania gazu jest dość trudny, w związku z tym, iż bardzo łatwo można zanieczyścić próbkę gazu powietrzem.

Wykonane obserwacje wskazują, że przyczyną powstania pęcherzy są drobne wtrącenia metali w strukturze betonu. Wtrącenia takie są obserwowane w betonach. Jednak nie wszystkie wtrącenia metaliczne reagują z wodą zawartą w betonie, pomimo, że rozdrobnione pyłki metali są bardzo reaktywne. Do zainicjowania reakcji wtrąceń metalicznych z wodą konieczny jest skokowy wzrost temperatury otoczenia oraz jeszcze jakiś katalizator, którego nie znamy. Katalizator ten jest prawdopodobnie domieszką, która może się pojawić losowo w niektórych partiach cementu.

LITERATURA

1. Czarnecki L., Chmielewska B., Czarnecki Z., Wolański M.: *Zniszczenie izolacji bitumicznej na żelbetowej płycie estakady spowodowane wydzielaniem wodoru przez beton*, Inżynieria i Budownictwo, 10 (2004) 534-536.
2. Chmielewska B., Nikiforov K., Łunarska E.: *Wydzielanie wodoru w betonie modyfikowanym pyłem krzemowym*, Ochrona przed korozją, 11 (2009) 481-484.
3. Germaniuk K.: *Papy zgrzewalne – materiał do wykonywania izolacji przeciwwodnych w budownictwie mostowym – cz. II*, Inżynier Budownictwa, 11 (2015) 81-84.
4. Budka E., Rabięga J., Woźnicki A.: *Zjawisko pęcherzenia izolacji mostowych: przyczyny i sposoby przeciwdziałania*, referat, XXII Seminarium: „Współczesne metody budowy, wzmocnienia i przebudowy mostów”, Rosnówko k. Poznania, 5-6 czerwca 2012 r.
5. Tramer A., Topolnicka T., Kordas T., Wałęga - Chwastek H., Wala T.: *Analiza przyczyn powstawania pęcherzy gazowych na styku warstwy izolacyjnej z betonową płytą estakady*, LABportal.pl laboratoria (<http://www.labportal.pl>), 1-13.
6. Mieczkowski P.: *Izolacje z pap termozgrzewalnych na obiektach mostowych – problemy technologiczne*, Magazyn Autostrady, 4 (2010), 48-53.
7. PN-EN 13263-1:2006-12 Pył krzemionkowy do betonu – Część 1: Definicje, wymagania i kryteria zgodności

INCIDENT FORMATION OF THE WATERPROOFING BLISTERING ON BRIDGES

Summary

Blisters under the insulation plate bridges were created forever. The reasons for the phenomena were known - were mistakes regulations, so characteristic that diagnosed them after cutting examination of the bladder and insulation. Blisters can be filled in: water or steam, air or solvents which are not evaporated from the asphalt primer. In 2003, we observed a new type of bubbles, which were filled with gas. After cutting these bubbles and the release of these gas insulation roofing weld able itself from adhering to the substrate.

The article summarizes the estimates of the scale of the phenomenon of “blistering” in the country and selected data on bridges, on which it occurred. Also recorded data on the chemical composition of the gas collected and observed an abrupt increase in temperature in the vicinity of the object, just before the appearance of blisters. We presented the results of previous observations and studies that indicate the cause of the gas bubbles.