

Szacowanie ryzyka zarysowania płyt fundamentowych według wytycznych niemieckich – komentarz

Dr inż. Ewa Jaromska, dr hab. inż. Mariusz Zych, Politechnika Krakowska

1. Wprowadzenie

W praktyce projektowej weryfikacja stanu granicznego zarysowania konstrukcji żelbetonowych sprowadza się do dwóch zagadnień: sprawdzenia kryterium zarysowania i wyznaczenia szerokości rys [1], [2]. W przypadku odkształceń wymuszonych oddziaływujących na elementy konstrukcyjne w tzw. „białych wannach” (niem. *Weißer Wann*), czyli płyt fundamentowych oraz ścian skrzepowanych przez te płyty lub sąsiednie ściany, brak jest krajowych wytycznych definiujących kryteria zarysowania i szczelności w sposób adekwatny do praktyki inżynierskiej. Taka postać rzeczy wynika z wielu czynników wpływających na zwiększenie/zmniejszenie prawdopodobieństwa pojawienia się rys: rodzaj i ilość cementu w mieszance betonowej, jakość i sposób wykonania konstrukcji, geometria elementów konstrukcyjnych, warunki atmosferyczne podczas betonowania, stosowanie lub nie dodatkowych warstw izolacyjnych z uwagi na zamiany temperatury oraz dyfuzję wilgoci itp. [3], [4].

2. Minimalizowanie ryzyka nieszczelności

Z praktycznego punktu widzenia zagadnienie minimalizowania ryzyka nieszczelności jest ważne, gdyż decyduje o użyteczności podpiwniczonej części budynków żelbetonowych, w tym też garaży podziemnych. Aktualnie zagadnienie sprowadza się do zastosowania podstawowej wiedzy z zakresu zarysowania konstrukcji żelbetonowych [5], która nie obejmuje w pełni zagadnień związanych z odkształceniami wymuszonymi [6]. Według wytycznych *Weißer Wann* [7] zarówno rysy, jak i niewłaściwa struktura betonu prowadzą do przecieków, decydujących bezpośrednio o niedopełnieniu warunku użyteczności. Należy zatem według [7] stosować następujące środki zapobiegawcze:

- podzielenie konstrukcji na sekcje betonowania, np. zaprojektowanie odpowiedniej liczby i odpowiednio usytuowanych połączeń konstrukcyjnych lub przewidzenie miejsca oraz czasu w przerwach w betonowaniu,
- określenie korzystnych warunków betonowania, np. w przypadku wysokich temperatur otoczenia (lato) z zastosowaniem schłodzonych składników betonu lub betonowanie tylko wieczorem przy sprzyjających warunkach,

- staranne zagęszczenie betonu,
- wybór odpowiednich środków ochronnych i metod pielęgnacji betonu zależnych od pogody, np. przykrywanie elementów konstrukcyjnych folią lub mokrą matą, ewentualnie utrzymanie ich przez dłuższy czas w deskowaniu,
- stosowanie prostych rozwiązań konstrukcyjnych; zalecane jest stosowanie płyt z płaskim dnem oraz warstw ułożonych pod płytą zmniejszających współczynnik tarcia między elementem betonowych a gruntem, np. dwie warstwy folii ułożonej na gładkiej warstwie chudego betonu,
- stosowanie rozwiązań konstrukcyjnych eliminujących możliwość powstania rys, np. sprzężenie płyty dennej w celu pokonania siły tarcia,
- kontrolę na budowie dotyczącą jakości wykonywanych prac i rodzaju zastosowanych materiałów, np. badania betonu, kontrola sposobu układania mieszanki betonowej, kontrola sposobów uszczelniania połączeń konstrukcyjnych, w ogólności: nadzór podczas montażu elementów przed zabetonowaniem oraz nadzór procesu betonowania.

3. Szacowanie ryzyka nieszczelności

W celu oszacowania ryzyka nieszczelności płyt fundamentowych można posłużyć się propozycją oceny ryzyka powstania rys oraz ich następstw, jak przedstawiono w wytycznych *Weißer Wann* [7]. Podejście to jest zmodyfikowaną formą wytycznych prezentowanych w [8], [9]. W niniejszej metodzie poszczególne istotne czynniki ryzyka RK_1 wyrażane są przez wskaźnik ryzyka RK . Obejmuje on założenia projektowe dotyczące: właściwości betonu, warunków betonowania, pielęgnacji w celu ochrony dojrzewającego betonu, rodzaju powierzchni, jak również dostępności do wewnętrznych powierzchni wszystkich elementów. Poszczególne wskaźniki ryzyka dla danej płyty fundamentowej lub jej obszaru są podstawą do wyznaczenia ważonego wskaźnika ryzyka RK_{gew} pozwalającego w uproszczony sposób oszacować ryzyko nieszczelności. Według wytycznych [7] należy stosować następujące współczynniki wagowe G_i : 0,45 – dla ogólnej konstrukcji płyty fundamentowej (np. czy jest stała lub zmienna grubość i czy położona jest na jednym lub kilku poziomach); 0,05 – dla określonych obszarów płyty fundamentowej

(np. dla wklęsłych lub regularnych kształtów w rzucie pionowym); 0,1 – dla właściwości betonu (ilości zastosowanego cementu i klasy wodoszczelności); 0,1 – dla warunków betonowania (przy różnych temperaturach otoczenia oraz przy betonowaniu płyty o różnej grubości); 0,1 – dla przyjętego sposobu pielęgnacji dojrzewającego betonu; 0,2 – dla sposobu wykończenia (przyjętych warstw izolacyjnych i wykończeniowych determinujących możliwości dostępności do powierzchni na wypadek konieczności przeprowadzenia naprawy).

Wartości liczbowe powyższych współczynników wagowych oznaczają, że najważniejszym czynnikiem wpływającym na podatność na zarysowanie jest rodzaj/geometria konstrukcji ($G_1 = 45\%$). Sposób wykończenia powierzchni oraz jej dostępność na wypadek konieczności naprawy ($G_6 = 20\%$) ma również bardzo istotne znaczenie, zwłaszcza dla późniejszego jej użytkowania. Poszczególne obszary konstrukcyjne, wynikające np. z niekorzystnej geometrii płyty dennej, mogą dotyczyć lokalnych miejsc zwiększonego ryzyka ($G_2 = 5\%$). Ponadto w czasie wznoszenia konstrukcji mogą pojawić się dodatkowe czynniki wpływające na zwiększoną podatność na zarysowanie: skład betonu, temperatura otoczenia i warunki pielęgnacji betonu mają wagę 10%.

4. Charakterystyka ryzyka i wskaźniki ryzyka dla płyt dennych

Miarodajne cechy ryzyka dla płyt dennych podano razem ze wskaźnikami ryzyka według wytycznych *Weißer Wannen* [7] w tabelach od 1 do 6. Aby oszacować ryzyko zarysowania i jego konsekwencje w aspekcie zapewnienia użyteczności obiektu, należy zgodnie z założeniami projektowymi wziąć pod uwagę wszystkie odpowiednie dane dotyczące ryzyka nieszczelności. W niniejszych tabelach jest zestawione osiem indywidualnych wartości $RK_{B,i}$ dla płyt dennych, dla których z powyższymi wskaźnikami wagowymi G_j , należy obliczyć wartości ważone. Zgodnie z równaniami (1) i (2) sumując poszczególne wartości, uzyskuje się indeks ważonego ryzyka $RK_{gew,B}$ dla płyty dennej:

$$RK_{gew,B} = \sum_{j=1}^6 (RK_{B,j} \cdot G_j) \quad (1)$$

gdzie:

$j = 1.1-1.4 \dots 6.1-6.8$ (porównaj tab. 1 do 6),

$$RK_{gew,B} = (RK_{B1.1-1.4} \cdot G_1) + [(RK_{B2.1-2.2} + RK_{B2.3-2.4}) \cdot G_2] + (RK_{B3.1-3.2} \cdot G_3) + [(RK_{B4.1-4.2} + RK_{B4.3-4.4}) \cdot G_4] + (RK_{B5.1-5.2} \cdot G_5) + (RK_{B6.1-6.8} \cdot G_6) \quad (2)$$

Następnie na podstawie ważonego wskaźnika ryzyka RK_{gew} i tabeli 7 można ocenić ryzyko zarysowania jako niskie, podwyższone, wysokie lub bardzo wysokie.

Tabela 1. Opis poszczególnych przypadków ryzyka i odpowiadające im wskaźniki ryzyka zarysowania $RK_{B,1-1.4}$ dla płyt fundamentowych w zakresie uwzględnienia ich kształtu konstrukcyjnego [7]

Przypadek	Przypadki ryzyka dla konstrukcji płyty fundamentowej jako całości	Wybór wskaźnika ryzyka $RK_{B,i}$
1.1	Możliwość swobodnego odkształcenia, warstwa poślizgowa ze współczynnikiem tarcia $\mu_d \leq 1,25$	$RK_{B,1.1} = 1$
1.2	Szyb windy w obszarze środkowym, a w pozostałej części możliwość swobodnego odkształcenia	$RK_{B,1.2} = 1$
1.3	Różne grubości płyt i uskoki po wysokości	$RK_{B,1.3} = 3$
1.4	Brak swobody poziomych odkształceń	$RK_{B,1.4} = 4$

Tabela 2. Opis poszczególnych przypadków ryzyka dla płyt dennych w zakresie uwzględnienia wpływu konstrukcji płyty fundamentowej z odpowiadającymi wskaźnikami ryzyka $RK_{B,2.1-2.2}$ i $RK_{B,2.3-2.4}$ [7]

Przypadek	Przypadki ryzyka dla różnej konstrukcji płyty fundamentowej	Wybór wskaźnika ryzyka $RK_{B,i}$
2.1	Brak połączeń konstrukcyjnych w płycie fundamentowej	$RK_{B,2.1} = 1$
2.2	Płyta fundamentowa z połączeniami konstrukcyjnymi; obszar płyty fundamentowej połączony z wcześniej wykonanymi elementami	$RK_{B,2.2} = 3$
2.3	Geometria płyty fundamentowej bez wklęsłych obszarów	$RK_{B,2.3} = 1$
2.4	Geometria płyty fundamentowej z wklęsłymi obszarami	$RK_{B,2.4} = 3$

Tabela 3. Opis poszczególnych przypadków ryzyka dla płyt fundamentowych w zakresie uwzględnienia wpływu warunków wykonywania z odpowiadającymi im wskaźnikami ryzyka $RK_{B,4.1-4.2}$ i $RK_{B,4.3-4.4}$ [7]

Przypadek	Przypadki ryzyka dla różnej konstrukcji i warunków wykonywania płyt fundamentowych	Wybór wskaźnika ryzyka $RK_{B,i}$
4.1	Betonowanie płyty dennej o grubości $h \geq 30$ cm	$RK_{B,4.1} = 1$
4.2	Betonowanie płyty dennej o grubości $h < 30$ cm	$RK_{B,4.2} = 2$
4.3	Betonowanie przy normalnych temperaturach otoczenia, tj. w korzystnych porach roku (wiosna, jesień), gdy $T_o < 20^\circ\text{C}$	$RK_{B,4.3} = 1$
4.4	Betonowanie przy niekorzystnych temperaturach (lato), gdy $T_o \geq 20^\circ\text{C}$	$RK_{B,4.4} = 3$

5. Przykład oceny ryzyka nieszczelności płyty fundamentowej

Przykładem obliczeniowym jest płyta fundamentowa, przy wykonywaniu której założenia projektowe opisano

KONSTRUKCJE – ELEMENTY – MATERIAŁY

w pierwszej kolumnie tabeli 8. Odpowiadające im wskaźniki ryzyka w kolumnie drugiej zostały określone na podstawie tabel 1–6. W ostatniej kolumnie zestawiono wagi odpowiadające poszczególnym wskaźnikom ryzyka. Następnie stosując wyrażenia (1), (2), otrzymano ważony wskaźnik ryzyka $RK_{gew,B} = 1,45$. Dlatego też ryzyko zarysowania według

Tabela 4. Opis poszczególnych przypadków ryzyka dla płyt fundamentowych w zakresie uwzględnienia wpływu właściwości betonu z odpowiadającymi im wskaźnikami ryzyka $RK_{B3.1-3.2}$ [7]

Przypadek	Opis indywidualnych przypadków ryzyka dla płyt dennych z uwzględnieniem wpływu właściwości betonu	Wybór wskaźnika ryzyka $RK_{B,i}$
3.1	Płyta fundamentowa wykonana z betonu o podwyższonych właściwościach wodoszczelnych (tj. WU*3-Beton z zawartością cementu $\leq 290 \text{ kg/m}^3$ o niskim cieple hydratacji)	$RK_{B3.1} = 1$
3.2	Płyta fundamentowa wykonana z normalnego betonu wodoszczelnego (tj. WU*1, 2-Beton z zawartością cementu $> 290 \text{ kg/m}^3$ bez cementu o niskim cieple hydratacji, w przypadku WU2 dodatkowo wskaźnik $w/c \leq 0,55$)	$RK_{B3.2} = 3$

WU* – wodoszczelność (Wasserundurchlässig).

tabeli 7 dla niniejszego przypadku należy ocenić jako podwyższone. Oznacza to, że w celu zapewnienia warunków użytkowności tej płyty należy przewidzieć w wykazie robót pozycję dotyczącą późniejszego uszczelnienia ewentualnych rys.

6. Podsumowanie

W związku z brakiem szczegółowej wiedzy inwestorów w dziedzinie wznoszenia budowli i okazjonalnymi nieporozumieniami na linii projektant-wykonawca-technolog,

Tabela 5. Opis poszczególnych przypadków ryzyka dla płyt dennych w zakresie uwzględnienia pielęgnacji dojrzewającego betonu z odpowiadającymi wskaźnikami ryzyka $RK_{B5.1-5.2}$ [7]

Przypadek	Opis poszczególnych przypadków ryzyka dla płyt dennych w białych wannach z uwzględnieniem sposobu pielęgnacji dojrzewającego betonu	Wybór wskaźnika ryzyka $RK_{B,i}$	Każdorazowo odpowiedni wskaźnik ryzyka $RK_{B,i}$
5.1	Przedłużona pielęgnacja betonu wg tab. F.3 w EN 13670 [10]	$RK_{B5.1} = 1$	$RK_{B5.1-5.2}$
5.2	Normalna pielęgnacja betonu wg tab.6 NA w DIN 1045-3 [11]	$RK_{B5.2} = 3$	

Tabela 6. Opis poszczególnych przypadków ryzyka dla płyt dennych w zakresie uwzględnienia rodzaju powierzchni zewnętrznej oraz dostępności powierzchni wewnętrznych z odpowiadającymi im wskaźnikami ryzyka [7]

Przypadek	Opis poszczególnych przypadków ryzyka dla płyt fundamentowych z uwzględnieniem właściwości powierzchni zewnętrznych i dostępności powierzchni wewnętrznych	Wybór wskaźnika ryzyka $RK_{B,i}$
6.1	Płyty fundamentowe z termoizolacją leżącą na zewnątrz i z powłoką wykładzinową: o działaniu dyfuzyjnym ewentualnie z jastrychem kompozytowym ($*s_d \leq 0,5 \text{ m}$)	$RK_{B6.1} = 1$
6.2	Płyty fundamentowe z termoizolacją leżącą na zewnątrz i z powłoką jastrychową na warstwie rozdzielającej z dowolną powłoką na szczelnej dyfuzyjnej warstwie rozdzielającej ($s_d \geq 1500 \text{ m}$)	$RK_{B6.2} = 4$
6.3	Płyty fundamentowe o pływającym jastrychu i dowolnej powłoce na warstwie ograniczającej dyfuzję na termoizolacji odpornej na wilgoć z materiałami drenażowymi, odpływ podłogowy, ponadto wewnętrzna warstwa szczelna dyfuzyjnie na płycie dennej	$RK_{B6.3} = 4$
6.4	Płyty fundamentowe o dowolnej powłoce ułożonej na podwójnej podłodze z wentylacją mechaniczną, ponadto z warstwą ograniczającą dyfuzję na płycie ($s_d < 1500 \text{ m}$), wbudowany odpływ podłogowy w płycie fundamentowej, na zewnątrz ułożona warstwa termoizolacji	$RK_{B6.4} = 4$
6.5	Płyty fundamentowe z pływającym jastrychem, np. wykładzina podłogowa o właściwościach dyfuzyjnych ($s_d < 100 \text{ m}$), izolacja wilgotnościowa z warstwą ograniczającą dyfuzję ($s_d < 200 \text{ m}$), dwie warstwy folii na wodoszczelnej płycie fundamentowej	$RK_{B6.5} = 5$
6.6	Płyty fundamentowe z pływającym jastrychem, np. wykładzina podłogowa ograniczająca dyfuzję ($s_d < 1000 \text{ m}$), izolacja wilgotnościowa z warstwą ograniczającą dyfuzję ($s_d < 1500 \text{ m}$) na warstwie dyfuzyjnie szczelnej (np. zgrzewana warstwa bitumiczna ($s_d > 1500 \text{ m}$)) na warstwie wyrównawczej płyty fundamentowej z betonu wodoszczelnego	$RK_{B6.6} = 5$
6.7	Płyty fundamentowe w garażach podziemnych (z dostępnością podczas użytkowania): – jako konstrukcja nienośna w klasie obciążenia BK2 (wg [12]) – konstrukcja nośna, która jest chroniona powłoką wg wymagań Systemu – OS (Oberflächenschutzsysteme) w klasie obciążenia BK1-sdW wg DIN 18532 [13] i bez późnego wymuszenia	$RK_{B6.7} = 1$
6.8	Wodoszczelne płyty fundamentowe w garażach podziemnych w klasie obciążenia BK1-zdW bez bezpośredniej dostępności podczas użytkowania, tj. z izolacją na całej powierzchni ułożonej na górnej powierzchni, np. zgrzewana powłoka polimerowo-bitumiczna + lany asfalt wg DIN 18532 [13]	$RK_{B6.8} = 4$

* s_d – grubość warstwy elementu lub grubość składająca się z wielu warstw elementu, który ma taki sam opór dyfuzji pary wodnej, jaki ma spoczywająca warstwa powietrza.

Tabela 7. Ocena ryzyka zarysowania w funkcji ważonego wskaźnika ryzyka RK_{gew} [7]

Ryzyko zarysowania	niewielkie	podwyższone	wysokie	bardzo wysokie
RK_{gew}	= 1,15	> 1,15... <1,60	= 1,6... <2,10	≥ 2,10

Tabela 8. Przykład oszacowania ryzyka zarysowania dla przykładowej konstrukcji betonowej płyty fundamentowej przy użyciu miary ważonego ryzyka [14], [15]

Charakterystyka ryzyka dla przykładowej płyty fundamentowej	Wskaźnik ryzyka	Waga
Swobodne odkształcenie poziome	$RK_{B 1.1-1.4} = 1$	$G_1 = 45\%$
Płyta denna bez połączeń konstrukcyjnych	$RK_{B 2.1-2.2} = 1$	$G_2 = 5\%$
Geometria z wklęsłymi elementami	$RK_{B 2.3-2.4} = 3$	
Normalny beton wodoszczelny WU*-Beton ($ZL^* > 290 \text{ kg/m}^3$)	$RK_{B 3.1-3.2} = 3$	$G_3 = 10\%$
Grubość płyty $h \geq 30 \text{ cm}$	$RK_{B 4.1-4.2} = 1$	$G_4 = 10\%$
Betonowanie wiosną $T_o < 20^\circ\text{C}$	$RK_{B 4.3-4.4} = 1$	
Przedłużona pielęgnacja betonu zgodnie z tab. F.3 w EN 13670 [10],	$RK_{B 5.1-5.2} = 1$	$G_5 = 10\%$
Izolacja termiczna ułożona na zewnątrz: filcowa wykładzina o właściwościach dyfuzyjnych lub jastrych kompozytowy ($s_a < 0,5 \text{ m}$)	$RK_{B 6.1-6.8} = 1$	$G_6 = 20\%$

WU* – wodoszczelność (*Wasserundurchlässig*),
ZL* – objętościowa zawartość cementu (*Zementleimvolumen*).

w zakresie możliwości wystąpienia nieszczelności wznoszonych konstrukcji, zasadnym jest fachowe przedstawienie i odpowiedni wybór założeń projektowych mających istotny wpływ na ryzyko zarysowania i ich konsekwencje finansowe w zakresie ewentualnych napraw. Uzgodnienia pomiędzy stronami w zakresie możliwych rozwiązań konstrukcyjnych i ich następstw ułatwią projektantowi uzasadnić przyjmowane koncepcje, które zawsze wiążą się z określonymi kosztami zastosowanych materiałów budowlanych oraz przyjętej technologii wykonywania konstrukcji. Konflikt interesów występuje przede wszystkim na linii projektant-wykonawca ze względu na wyższe koszty jakościowo korzystniejszych rozwiązań konstrukcyjnych i spełnienie uwarunkowań związanych z wymagającą technologią betonowania. Oszczędności finansowe wykazane na etapie projektowania mogą w znaczący sposób zwiększyć ryzyko pojawienia się nieszczelności we wznoszonym obiekcie, co pociąga za sobą konieczność

poniesienia w przyszłości dodatkowych kosztów związanych z naprawami i ewentualnymi opóźnieniami w oddaniu inwestycji do użytku.

Do czynników, które w sposób zdecydowany zwiększają ryzyko nieszczelności płyt fundamentowych, należy zaliczyć z wagą 0,45 rozwiązania konstrukcyjne, które utrudniają lub uniemożliwiają swobodę odkształceń wymuszonych. W drugiej kolejności – czynniki z wagą 0,2 – zarezerwowane są dla rodzaju i konstrukcji poszczególnych warstw płyty, które determinują możliwość dostępu do jej powierzchni, w razie konieczności ewentualnych napraw. W trzeciej grupie czynników – z wagą 0,1 – znajduje się wpływ ilości zastosowanego cementu, który generuje wielkość odkształceń wymuszonych, jak również wpływ zewnętrznych warunków betonowania (tj. lato, jesień, wiosna) oraz rodzaj zastosowanej pielęgnacji. W ostatniej grupie czynników – z wagą zaledwie 0,05 i ku zaskoczeniu autorów niniejszego artykułu – znajdują się m. in. warianty rozwiązań wykonawczych z/bez wykonywania połączeń konstrukcyjnych. Zdaniem autorów czynnik ten zasadniczo wpływa na skrzepowaną część odkształceń wymuszonych generujących naprężenia rozciągające.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Eurokod 2: EN 1992-1-1. Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków, 2004, str. 205
- [2] Eurokod 2: EN 1992-3. Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 3: Silosy i zbiorniki na ciecze, listopad 2008, str. 23
- [3] Kiernożycki W., Betonowe konstrukcje masywne, Polski Cement, Kraków, 2003
- [4] Klemczak B., Knoppik-Wróbel A., Wpływ warunków prowadzenia robót betonowych na ryzyko powstania wczesnych rys termiczno-skurczowych, Przegląd Budowlany 2/2013, str. 14–20
- [5] Knauff M., Podstawy projektowania konstrukcji żelbetowych i sprężonych wg EC2, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław, 2006, str. 579–648
- [6] Zych M., Zarysowanie ścian zbiorników żelbetowych – teoria i projektowanie, Monografie Politechniki Krakowskiej, ISBN 978-83-7242-936-0, str. 333
- [7] Lohmeyer G., Ebeling K., Weiße Wannen – einfach und sicher, Konstruktion und Ausführung wasserundurchlässiger Bauwerke aus Beton, Verlag: VBT Verlag Bau und Technik, Ausgabe: 11. überarbeitete Auflage 2018, str. 592
- [8] Aurnhammer H.E. Zielbaumethode – Verfahren zur Bestimmung von Wertminderungen, Fachzeitschrift Baurecht, 1978
- [9] Kamphausen P. A., Die Quotierung der Mangel und Schadensverantwortlichkeit Baubeteiligter durch technische Sachverständige, Fachzeitschrift, Baurecht, 1996
- [10] EN 13670. Wykonywanie konstrukcji z betonu, 2011
- [11] DIN 1045-3 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 3: Bauausführung
- [12] Lohmeyer G., Ebeling K., Tiefgaragen und Parkdecks, Verlag Bau+Technik, Düsseldorf, 2017
- [13] DIN 18532, Abdichtung von befahrenen Verkehrsflächen aus Beton
- [14] Ebeling K., Vorschlag zur Abschätzung des Riss-Risikos Weißer Wannen, IndustrieBau, Heft 03/2014, S. 30-35, Forum Zeitschriften und Spezialmedien GmbH, Merching, 2014
- [15] Ebeling K., Qualitätsklassen bei Weißen Wannen – Gleichwertige Lösungen trotz verschiedener Abdichtungsstrategien. Tagungsband Aachener Bausachverständigentage 2014, Qualitätsklassen im Hochbau: Standard oder Spitzenqualität?, Springer Vieweg, Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2015