

Na prawach rękopisu

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego  
Politechniki Wrocławskiej

**WPŁYW RODZAJU PODŁOŻA  
I WYPEŁNIENIA NA NIEZAWODNOŚĆ  
USZCZELNIENIA PRZERWY DYLATACYJNEJ  
W KONSTRUKCJACH ŻELBETOWYCH**

**Raport serii PRE nr 4/2020**

**Praca doktorska**

mgr inż. Krzysztof Wróblewski

Słowa kluczowe:

przerwy dylatacyjne

konstrukcje żelbetowe

uszczelnienie

niezawodność

Promotor: Prof. dr hab. inż. Krzysztof Schabowicz

Wrocław, czerwiec 2020

Autor:

mgr inż. Krzysztof Wróblewski

.....

Politechnika Wroclawska  
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego  
Katedra Budownictwa Ogólnego  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław  
tel. 71 320 23 45 tel./fax. 71 320 36 45  
e-mail: wydz.bud@pwr.edu.pl

Raport został złożony w Redakcji Wydawnictw Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej w czerwcu 2020 r.

Lista odbiorców:	Recenzenci	2 egz.
	Promotor	1 egz.
	CWiINT PWr	1 egz.
	Archiwum Dyscyplina Inżynieria Lądowa i Transport PWr	1 egz.
	Razem	5 egz.

*„Trwałość budowli osiągnie się wtedy, gdy fundamenty doprowadzi się do stałego gruntu i gdy spośród wielu materiałów budowlanych przeprowadzi się wybór starannie, nie kierując się skąpstwem. Użyteczność zapewni się budowli przez bezbłędne rozplanowanie przestrzeni, nie ograniczające możliwości użytkowania i uwzględniające strony świata odpowiednie do przeznaczenia budynków. Piękno będzie zapewnione, jeśli wygląd budowli będzie miły i wykwinny, a wymiary poszczególnych członów oparte będą na właściwych zasadach symetrii”.*

Witruwiusz, I w. p.n.e.

Składam podziękowania prof. dr. hab. inż. Krzysztofowi Schabowiczowi  
za opiekę naukową podczas przygotowywania rozprawy.

Panu dr. inż. Dominikowi Logoniowi dziękuję za wsparcie przy realizacji  
badań własnych oraz Panu dr. inż. Grzegorzowi Waśniewskiemu za wskazówki  
przy analizie numerycznej MES.



## SPIS TREŚCI

	<b>str.</b>
<b>Wykaz ważniejszych oznaczeń stosowanych w pracy</b> .....	<b>9</b>
<b>1. WPROWADZENIE W PROBLEMATYKĘ PRACY</b> .....	<b>12</b>
<b>2. PROBLEM NAUKOWY, CEL I ZAKRES PRACY</b> .....	<b>20</b>
2.1. Problem naukowy i cel pracy .....	20
2.2. Zakres pracy .....	20
2.3. Oryginalne elementy pracy.....	22
<b>3. ANALIZA LITERATURY PRZEDMIOTU</b> .....	<b>23</b>
3.1. Podstawowe informacje o przerwach dylatacyjnych.....	24
3.2. Wymagania normowe w zakresie formowania przerw dylatacyjnych w konstrukcjach budowlanych .....	27
3.3. Rodzaje uszczelnień przerw dylatacyjnych.....	29
3.3.1. Rodzaje uszczelnień przerw dylatacyjnych na etapie betonowania .....	30
3.3.2. Rodzaje uszczelnień przerw dylatacyjnych na istniejącej konstrukcji.....	32
3.3.3. Rodzaje uszczelnień przerw dylatacyjnych – wycieki wody .....	33
3.4. Praca konstrukcji i ruchy przerwy dylatacyjnej .....	36
3.5. Przygotowanie podłoża betonowego w przerwie dylatacyjnej.....	40
3.5.1. Urządzenia do przygotowania podłoża betonowego .....	40
3.5.2. Urządzenia do czyszczenia przerw dylatacyjnych .....	42
3.5.3. Urządzenie do pomiaru jakości przygotowanego podłoża betonowego .....	43
3.6. Profil powierzchni betonu w przerwie dylatacyjnej .....	43
3.7. Stan zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża betonowego w przerwach dylatacyjnych .....	49
3.7.1. Stan suchy.....	52
3.7.2. Stan wilgotny .....	52
3.7.3. Stan mokry.....	52
3.7.4. Stan zanieczyszczony bentonitem .....	53
3.8. Analiza wytrzymałościowa – rozciąganie osiowe.....	53

---

3.9. Identyfikacja materiału wypełniającego szczelinę w przerwie dylatacyjnej .....	56
3.10. Podsumowanie przeglądu literatury .....	59
<b>4. ZAKRES BADAŃ WŁASNYCH I STOSOWANA W PRACY METODYKA.....</b>	<b>60</b>
4.1. Przygotowanie modelu przerwy dylatacyjnej .....	61
4.1.1. Określenie sposobu przygotowania podłoża powierzchni betonu w modelu przerwy dylatacyjnej .....	62
4.1.2. Określenie stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia w modelu przerwy dylatacyjnej .....	64
4.2. Opis stanowiska badawczego i przebieg badania .....	65
4.2.1. Opis stanowiska badawczego.....	65
4.2.2. Przebieg badań własnych .....	67
4.3. Charakterystyka badanych materiałów żywicznych .....	70
4.3.1. Żywica nr 1 na bazie akrylu z polimerem .....	70
4.3.2. Żywica nr 2 na bazie akrylu .....	71
4.3.3. Żywica nr 3 hydrofilowa na bazie poliuretanu .....	73
4.3.4. Żywica nr 4 na bazie poliuretanu .....	74
4.3.5. Żywica nr 5 na bazie epoksydu .....	75
4.3.6. Żywica nr 6 na bazie bitumu .....	76
4.4. Metoda badawcza – rozciąganie osiowe badanych żywic .....	76
4.5. Metoda badawcza – badanie profilu podłoża betonowego .....	77
4.6. Metoda badawcza – nieniszczące badanie wilgotności metodą dielektryczną .....	81
4.7. Określenie niezbędnej liczby badanych próbek .....	84
4.8. Wybrane przypadki badawcze – rozciąganie osiowe modelu przerwy dylatacyjnej .....	85
<b>5. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA.....</b>	<b>91</b>
5.1. Metoda badawcza – rozciąganie osiowe badanych żywic .....	92
5.2. Metoda badawcza – badanie profilu podłoża betonowego - wyniki.....	94
5.3. Metoda badawcza – nieniszczące badanie wilgotności metodą dielektryczną – wyniki .	96
5.4. Badanie pojedynczej próbki modelu przerwy dylatacyjnej – próbka 1AR5 .....	97

---

5.5. Analiza rezultatów badania pojedynczej próbki modelu przerwy dylatacyjnej – próbka 1AR5 .....	98
5.6. Analiza rezultatów serii badawczej 1AR .....	100
5.7. Analiza rezultatów serii badawczej 1BR.....	104
5.8. Analiza rezultatów serii badawczej 1CR.....	106
5.9. Analiza rezultatów serii badawczej 1DR .....	108
5.10. Zestawienie rezultatów serii badawczych .....	110
5.10.1. Zestawienie rezultatów dla badanej żywicy nr 1 .....	110
5.10.2. Zestawienie rezultatów dla badanej żywicy nr 2.....	114
5.10.3. Zestawienie rezultatów dla badanej żywicy nr 3.....	118
5.10.4. Zestawienie rezultatów dla badanej żywicy nr 4.....	122
5.10.5. Zestawienie rezultatów dla badanej żywicy nr 5.....	125
5.10.6. Zestawienie rezultatów dla badanej żywicy nr 6.....	128
5.11. Analiza rezultatów badań dla serii badawczych z uwzględnieniem wpływu rodzaju wypełnienia .....	132
5.12. Analiza rezultatów badań dla serii badawczych z uwzględnieniem wpływu rodzaju podłoża (sposobu przygotowania oraz stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia) na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.....	147
5.12.1. Żywica nr 1 baza akrylowa z polimerem.....	147
5.12.2. Żywica nr 2 baza akrylowa.....	153
5.12.3. Żywica nr 3 baza poliuretanowa hydrofilowa .....	160
5.12.4. Żywica nr 4 baza poliuretanowa.....	166
5.12.5. Żywica nr 5 baza epoksydowa.....	172
5.12.6. Żywica nr 6 baza bitumiczna.....	177
5.13. Podsumowanie rezultatów badań .....	183
<b>6. ANALIZA NUMERYCZNA PRZY POMOCY MES .....</b>	<b>188</b>
6.1. Próba osiowego rozciągania .....	190
6.2. Przyjęcie modelu materiału hipersprężystego i wyznaczenie jego parametrów fizycznych na podstawie próby osiowego rozciągania .....	191

---

6.3. Wstępna weryfikacja modeli na podstawie numerycznego odwzorowania próby osiowego rozciągania .....	193
6.4. Testy biaxial i planar wraz z wyznaczeniem stałych materiałowych .....	195
6.5. Weryfikacja modeli na podstawie numerycznego odwzorowania próby osiowego rozciągania .....	198
6.6. Kryterium selekcji modeli – zbieżność analizy .....	199
6.7. Numeryczna symulacja pracy materiału żywicznego wypełniającego model przerwy dylatacyjnej i porównanie z wynikami badań własnych jako ostateczna weryfikacja modeli .....	204
<b>7. ANALIZA PROFILU BETONU I NOWATORSKIE NARZĘDZIA DO PRZYGOTOWANIA PODŁOŻA BETONOWEGO.....</b>	<b>218</b>
7.1. Narzędzia do przygotowania podłoża betonowego w przerwie dylatacyjnej .....	219
7.1.1. Narzędzie do czyszczenia powierzchni betonu w przerwie dylatacyjnej .....	219
7.1.2. Narzędzie do nacinania powierzchni betonu w przerwie dylatacyjnej .....	220
7.2. Analiza profilu betonu .....	222
7.2.1. Wstęp do analizy profilu powierzchni betonu w przerwie dylatacyjnej.....	223
7.2.2. Wyniki badań profilu betonu .....	225
7.2.3. Wnioski z badań profilu betonu .....	231
<b>8. ORYGINALNA METODYKA WYKONANIA USZCZELNIENIA PRZERWY DYLATACYJNEJ .....</b>	<b>233</b>
<b>9. PRAKTYCZNE ZASTOSOWANIE METODYKI WYKONANIA USZCZELNIENIA PRZERWY DYLATACYJNEJ.....</b>	<b>237</b>
<b>10. WNIOSKI I UWAGI KOŃCOWE .....</b>	<b>245</b>
10.1. Podsumowanie .....	245
10.2. Wnioski .....	246
10.3. Proponowane kierunki badań.....	253
<b>LITERATURA.....</b>	<b>255</b>
<b>STRESZCZENIE.....</b>	<b>271</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>272</b>



**Wykaz ważniejszych oznaczeń stosowanych w pracy**

$A$	- pole obszaru zdefiniowanego,
$A_{0X}$	- obszar utraty przyczepności,
$A_D$	- obszar kontroli odkształcenia,
$A_E$	- obszar proporcjonalności,
$A_P$	- obszar propagacji,
$A_S$	- obszar kontroli wzmocnienia,
$D_i$	- stała materiałowa wyrażająca ściśliwość materiału,
$F_{cr}$	- obciążenie w punkcie $f_{cr}$ ,
$F_d$	- obciążenie w punkcie $f_d$ ,
$F_{max}$	- obciążenie w punkcie $f_{max}$ ,
$F_x$	- obciążenie w dowolnym punkcie na wykresie obciążenie-odkształcenie,
$I_1, I_2$	- niezmienniki tensora odkształcenia,
$J$	- jacobian przekształcenia pomiędzy konfiguracjami,
$K$	- stała przeliczeniowa dla jednostek,
$K_0$	- wartość modułu sprężystości objętościowej,
$R_a$	- średnia arytmetyczna rzędnych profilu chropowatości,
$R_{sm}$	- średnia szerokość rowków elementów profilu chropowatości,
$R_t$	- całkowita wysokość profilu chropowatości,
$R_z$	- największa wysokość profilu chropowatości,
$S_a$	- średnia arytmetyczna wysokości powierzchni,
$S_{dq}$	- średniokwadratowe nachylenie powierzchni,
$S_{dr}$	- współczynnik rozwinięcia obszaru powierzchni,
$S_k$	- chropowatość rdzenia,
$S_{ku}$	- współczynnik nachylenia powierzchni,
$S_{mc}(p)$	- odwrócony udział materiałowy przestrzenny powierzchni dla poziomu $p$ ,
$S_{mc}(q)$	- odwrócony udział materiałowy przestrzenny powierzchni dla poziomu $q$ ,
$S_p$	- wysokość najwyższego wierzchołka powierzchni,
$S_{pk}$	- zredukowana wysokość wierzchołków,
$S_q$	- średnia kwadratowa wysokość powierzchni,
$S_{sk}$	- współczynnik asymetrii powierzchni o ograniczonej skali,
$S_v$	- głębokość najniższego wgłębienia powierzchni,

---

$S_{vk}$	- zredukowana głębokość wgłębień,
$S_z$	- największa wysokość powierzchni,
$U$	- gęstość energii wewnętrznej,
$V_{mc}$	- objętość materiału powierzchni rdzenia,
$V_{vv}$	- objętość pustek wgłębień powierzchni,
$W_D$	- energia w obszarze kontroli odkształcenia,
$W_E$	- energia w obszarze proporcjonalności,
$W_m$	- wilgotność masowa,
$W_S$	- energia w obszarze kontroli wzmocnienia,
$W_x$	- ilość energii w dowolnym punkcie na wykresie obciążenie-odkształcenie,
$Z_p$	- wysokość wzniesienia,
$Z_t$	- największa wysokość elementu profilu,
$Z_v$	- głębokość wgłębienia,
$d_{joint}$	- odległość między dylatacjami w metrach,
$d_x$	- zdolność do odkształceń,
$f_{oD}$	- punkt oderwania się żywicy w obszarze kontroli odkształcenia,
$f_{oE}$	- punkt oderwania się żywicy w obszarze proporcjonalności,
$f_{oP}$	- punkt oderwania się żywicy w obszarze propagacji,
$f_{oS}$	- punkt oderwania się żywicy w obszarze kontroli wzmocnienia,
$f_{oX}$	- punkt odrywania się żywicy od powierzchni betonu,
$f_{cr}$	- punkt krytyczny obszaru proporcjonalności,
$f_d$	- punkt kończący zakres analiz,
$f_{max}$	- punkt maksymalnych naprężeń obszaru kontroli wzmocnienia,
$f_x$	- dowolny punkt na wykresie obciążenie - odkształcenie,
$h$	- wysokość od linii referencyjnej,
$l_m$	- odległość w kierunku poziomym między dylatacjami pionowymi,
$m_s$	- masa próbki suchej,
$m_w$	- masa próbki wilgotnej,
$n$	- liczba próbek,
$p$	- gęstość prawdopodobieństwa wysokości nierówności powierzchni,
$t_\alpha$	- kwantyl rozkładu rzędu $\alpha$ o $k$ stopniach swobody,
$z$	- wysokość profilu,
$\Delta L$	- zmiana długości,

---

$\Delta T$	- zmiana temperatury,
$\alpha$	- liniowy współczynnik rozszerzalności termicznej,
$\alpha_i$	- stała materiałowa,
$\alpha_t$	- współczynnik ekspansji termicznej,
$\varepsilon_{cr}$	- odkształcenie w punkcie $f_{cr}$ ,
$\varepsilon_d$	- odkształcenie w punkcie $f_d$ ,
$\varepsilon_{ij}$	- odkształcenia układu,
$\varepsilon_{max}$	- odkształcenie w punkcie $f_{max}$ ,
$\varepsilon_{ms}$	- współczynnik skurczu,
$\varepsilon_x$	- odkształcenie w dowolnym punkcie na wykresie obciążenie- odkształcenie,
$\lambda_i$	- odkształcenie główne rozciągnięcia,
$\mu_0$	- wartość modułu sprężystości poprzecznej,
$\mu_i$	- stała materiałowa,
$\nu$	- współczynnik Poissona,
$\sigma_{ij}$	- naprężenia układu,
$\vartheta$	- założona tolerancja wartości średniej.

## 1. WPROWADZENIE W PROBLEMATYKĘ PRACY

Współcześnie, dzięki rozwojowi coraz to nowszych technik obliczeniowych, specjalistycznych urządzeń montażowych, czy rozwojowi chemii budowlanej powstają coraz to większe i wyższe obiekty budowlane. Wymaga to od architektów i projektantów odpowiedniego podziału tych obiektów na części, oddzielane przerwami dylatacyjnymi. Materiały konstrukcyjne z roku na rok ulegają modyfikacjom, a ich parametry techniczne pozwalają na konstruowanie różnych kształtów elementów i realizację coraz trudniejszych zadań budowlanych. Stosowane są w tym względzie innowacyjne rozwiązania, które umożliwiają budowę obiektów budowlanych w coraz trudniejszych warunkach i w coraz trudniejszych lokalizacjach. Nie powoduje to jednak całkowitego wyeliminowania kłopotów realizacyjnych, czy później eksploatacyjnych. Czas realizacji jest zazwyczaj bardzo krótki, co w konsekwencji ma wpływ na jakość i trwałość wykonywanych robót budowlanych, w tym przerw dylatacyjnych, które traktowane są przez Wykonawców zazwyczaj jak przysłowiowe „zło konieczne”.

Poważny problem na budowach stanowi woda, której pojawienia się wymusza na projektantach i wykonawcach zastosowanie prawidłowych i trwałych zabezpieczeń hydroizolacyjnych oraz uszczelniających poszczególnych elementów konstrukcji, w tym także przerw dylatacyjnych.

Niezawodność uszczelnień w przerwach dylatacyjnych należy w tym przypadku rozumieć jako własność zabezpieczeń przeciwwodnych stanowiąca o tym, że „pracuje” ona poprawnie, spełnia wszystkie funkcje przez wymagany czas i w określonych warunkach eksploatacji, w danym zespole czynników wymuszających. Ogólnie, warunkiem zachowania niezawodności przerw dylatacyjnych jest zastosowanie odpowiednich norm projektowania i wykonania, a także właściwa eksploatacja w całym cyklu istnienia konstrukcji.

Spełnienie kryterium niezawodności uszczelnienia oznacza w tym przypadku zapewnienie trwałości wykonanego zabezpieczenia przeciwwodnego, poprzez odpowiednie przygotowanie podłoża i zastosowanie właściwie dobranego systemu wypełnienia przerwy dylatacyjnej.

Stan awaryjny [23], [164] wypełnienia przerwy dylatacyjnej należy rozumieć jako przejaw zawodności, w którym zmiana stanu wypełnienia, niezamierzona utrata jego właściwości, czy odspojenie od powierzchni ścian bocznych w przerwie dylatacyjnej,

uniemożliwia jego użytkowanie zgodne z przeznaczeniem, co w konsekwencji powoduje pojawienie się przecieków wody.

Woda działająca na konstrukcje jest głównym czynnikiem wpływającym na weryfikowanie niezawodności zastosowanych systemów uszczelnień w elementach budynku. Wprawdzie jak podano w [186]:

*„Zasoby wody w Polsce w porównaniu z innymi krajami Europy są małe. Wpływają na to niekorzystne warunki klimatyczne i hydrologiczne. Polska leży na terenie, gdzie ścierają się wpływy klimatu oceanicznego i kontynentalnego. Ilość opadów maleje w kierunku z zachodu na wschód, dlatego w krajach Europy Zachodniej w porównaniu z Polską opady są większe. Dodatkowo na terenie naszego kraju duże jest zróżnicowanie opadów, np. W Tatrach wynoszą ok. 1800 mm, pojezierzach do 800 mm, a na nizinach wielkopolskich miejscami nawet poniżej 500 mm. Natomiast parowanie jest podobne do sąsiednich krajów europejskich. Większość opadów charakteryzuje duża intensywność, co w połączeniu z uwolnieniem znacznych objętości wody pochodzących z topniejących śniegów powoduje, że w naszym kraju woda w większym stopniu odpływa, niż wsiąka w podłoże. Stąd procent wód podziemnych magazynowanych w Polsce jest bardzo niski w porównaniu z innymi krajami europejskimi”.* Niemniej jednak okresowe zmiany hydrologiczne powodują pojawienie się nadmiernej ilości wody i tym samym „testowanie” zastosowanych systemów uszczelnień w obiektach budowlanych. Istotne znaczenie ma w tym względzie również rodzaj wody.

Generalnie można wyodrębnić następujące rodzaje wód działających na konstrukcje budowlane:

1. Woda gruntowa, czyli woda zalegająca pod ziemią na większych głębokościach, nie podlegająca bezpośrednim wpływom czynników atmosferycznych. Woda ta nie podlega zmianom temperatury w ciągu doby, cechuje ją równowaga termiczna. Woda gruntowa występuje przez cały czas trwania obiektu, a jej poziom może się też zmieniać, toteż zmienne może być wywierane na element konstrukcji ciśnienie parcia wody. Konstrukcje budowlane są chronione przez wodą gruntową izolacjami wodochronnymi wykonywanymi na etapie budowy.
2. Woda opadowa (potocznie zwana deszczówką) – woda, która spada na konstrukcje budowlane lub powierzchnię ziemi w postaci opadów atmosferycznych (deszczu, śniegu, gradu). Oddziaływanie wody opadowej i gruntowej na elementy konstrukcji jest odmienne. Woda opadowa pojawia się czasowo, czasem bardzo intensywnie. Konstrukcje budowlane zabezpiecza się na działanie wody opadowej poprzez izolacje

wodochronne, np. na dachach wraz z systemami odprowadzenia wody do instalacji deszczowej lub kanalizacyjnej. Przez wodą opadową chronione są również podziemne części budynków, np. poprzez izolacje przeciwwilgociowe.

Główne elementy konstrukcji narażone na działanie wody to przede wszystkim:

- poziome fragmenty budynku: dachy płaskie, tarasy, balkony, stropodachy. Woda opadowa bezpośrednio oddziałuje na te elementy. Konstrukcja w tych miejscach wymaga zabezpieczenia przez wodą poprzez zastosowanie odpowiedniej izolacji jak i odprowadzenia wody do systemów kanalizacyjnych;

- elewacje. Woda opadowa bezpośrednio oddziałuje na te elementy. Powierzchnia elewacji chroniona jest poprzez tynki strukturalne, płyty lub inne systemy elewacyjne;

- ściany fundamentowe. Zbierająca się i czasowo zalegająca przy konstrukcji woda opadowa, a czasami woda gruntowa oddziałująca na te elementy. Konstrukcja ścian fundamentowych budynku zagłębionych w gruncie wymaga zabezpieczeń przeciwwilgociowych lub przeciwwodnych;

- płyta fundamentowa lub posadzka na gruncie. Zbierająca się i czasowo zalegająca pod konstrukcją woda opadowa, a czasami woda gruntowa stale oddziałująca na te elementy. Konstrukcja płyty fundamentowej lub posadzki na gruncie wymaga zabezpieczeń przeciwwilgociowych lub przeciwwodnych.

Wszystkie elementy zabezpieczeń wymagają staranności w wykonaniu i odpowiedniego doboru systemu ochrony przeciwwodnej, w zależności od panujących warunków. Należy zauważyć, że konstrukcja budynków, oprócz wody, narażona jest także na inne czynniki mające wpływ na jej trwałość [99], między innymi takie jak:

- uszkodzenia mechaniczne, do których można zaliczyć np. uderzenie, przeciążenie, ścieranie, wibracje;

- fizyczne, to różnice temperatur, dobowe, sezonowe, wpływ np. wysokiej temperatury i efekty związane z różnymi współczynnikami rozszerzalności cieplnej kruszywa i stwardniałego zaczynu cementowego w betonie. Cykliczne zamrażanie i rozmrażanie. Woda zawarta w porach kapilarnych zamarza i wywiera ciśnienie na otaczające ją ścianki pory, co może prowadzić do mikropęknięć;

- chemiczne, to między innymi działanie agresywnych jonów, miękkiej wody, kwasów i wody morskiej.

Należy zaznaczyć, że w rzeczywistej konstrukcji sporadycznie mamy do czynienia z uszkodzeniem spowodowanym przyczynami tylko z jednej z wymienionych powyżej grup.

Najczęściej uszkodzenie wywołane jest połączonym działaniem kilku czynników, np. korozja siarczanowa wzmaga skutki uszkodzenia wywołanego cyklami zamrażania i rozmrażania. I tak naprawdę to tylko w warunkach laboratoryjnych możliwe jest obserwowanie wpływu jednego z czynników powodujących uszkodzenie konstrukcji budowlanej [201].

W zależności od otaczającego środowiska i intensywności działających na element konstrukcji budynków czynników powodujących jej uszkodzenie lub korozję można stwierdzić, że właściwe przygotowanie podłoża oraz zastosowanie odpowiedniego wypełnienia i systemu zabezpieczenia przeciwwodnego ma bezpośredni wpływ na niezawodność uszczelnień przerw dylatacyjnych. Prawidłowo dobrany i wykonany sposób zabezpieczenia konstrukcji przed wodą powinien gwarantować trwałość i bezpieczeństwo jej użytkowania.

Na etapie budowy, dzięki odpowiednim technikom można istniejący poziom wody gruntowej tak obniżyć, aby zrealizować budynek w wykopie otwartym. Można też zastosować ściany lub palisadę odcinające wody gruntowe do wykopu, poprzez zastosowanie np. ścian szczelinowych lub grodzie stalowych. Dodatkowo stosowane są systemy odwodnienia, pompowania, czy igłofiltrów w celu kontroli poziomu wody gruntowej na czas realizacji budowy.

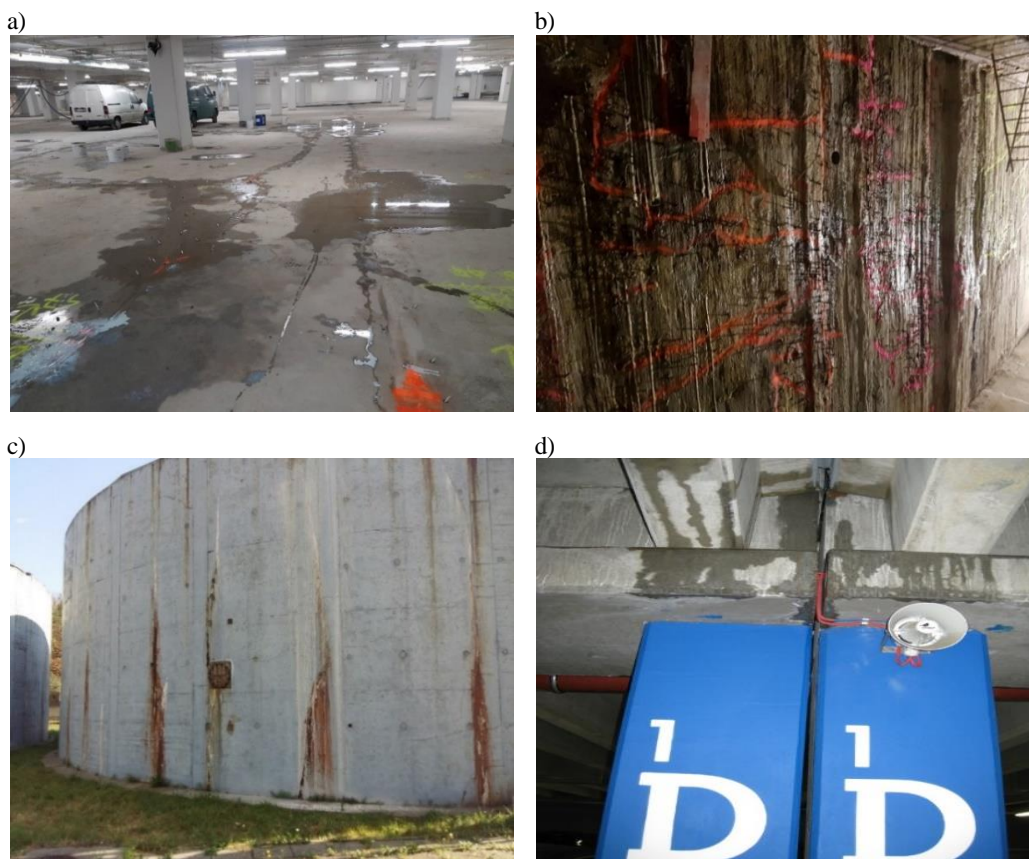
Po zakończeniu budowy woda gruntowa z reguły wraca do pierwotnego poziomu. W tym momencie mogą pojawić się nieszczelności i wycieki wody, tak jak pokazano to na rysunku 1.1.

Wszystkie wycieki wody i nieszczelności są wynikiem błędnie zaprojektowanych lub wykonanych hydroizolacji.

Na polskim rynku można znaleźć wiele zróżnicowanych systemów hydroizolacyjnych. Tak naprawdę to każdy z producentów chemii budowlanej ma w swojej ofercie system do zabezpieczeń przeciwwodnych.

Do podstawowych systemów hydroizolacyjnych stosowanych w Polsce należy zaliczyć: hydroizolacje membranowe z folii HDPE, maty bentonitowe, izolacje bitumiczne z papy zgrzewalnej, systemy białej i czarnej wanny.

Każdy system hydroizolacji powinien być dobrany w zależności od głębokości posadowienia, wysokości parcia wody gruntowej, zagrożenia środowiska, czy trudności i czasu montażu, niezależnie od panujących warunków atmosferycznych. Wszystkie systemy wymagają jednak uwagi i dokładności w układaniu. Nieduży błąd może w konsekwencji prowadzić do pojawienia się wody wewnątrz w budynku, czyli przecieków.



**Rys. 1.1.** Zawodność zabezpieczeń hydroizolacyjnych konstrukcji: a) wycieki wody w elementach konstrukcji przez rysy w płycie dennej na obiekcie parkingu podziemnego, b) wycieki wody przez strukturę ściany szczelinowej na nowobudowanej stacji kolejowej, c) wycieki wody przez rysy w konstrukcji żelbetowej zbiornika, d) wycieki wody przez dylatacje konstrukcyjną w stropie parkingu wielopoziomowego.

Miejscami, którymi woda przy nieszczelnej izolacji, najczęściej dostaje się do podziemnych części budynków to:

- rysy, czyli miejsca nieciągłości w konstrukcji betonowej lub żelbetowej wynikające z pracy konstrukcji, nadmiernych naprężeń lub innych czynników wytrzymałościowych;
- dylatacje, czyli przerwy w ciągłości konstrukcji, utworzone w budynku lub budowli mające za zadanie wydzielenie elementów lub ich fragmentów do samodzielnego przenoszenia przewidywanych obciążeń i przemieszczeń;
- gniazda żwirowe, czyli niejednorodności w strukturze betonu wynikające z rozsegregowania się kruszywa żwirowego i zaczynu cementowego na etapie betonowania;
- styki robocze, czyli połączenia etapów betonowania poszczególnych sekcji, czy działek;
- przejścia instalacji, czyli miejsca przebieg przewodów lub rur instalacyjnych przez elementy konstrukcji.



Systemy hydroizolacji, które bezpośrednio odpowiadają za uzyskanie szczelności w podziemnych częściach budynków stanowią przeważnie zestawy różnych elementów wzajemnie ze sobą współpracujących. Ułożenie ich wszystkich i właściwe połączenie wpływa na niezawodność uszczelnień i trwałość zabezpieczenia konstrukcji przed wodą, w tym przerw dylatacyjnych.

Uszkodzone lub niewłaściwie dobrane hydroizolacje skutkują permanentnymi wyciekami wody wpływającymi na estetykę i bezpieczeństwo użytkowania pomieszczeń wewnątrz budynku. Najczęstszym sposobem naprawy nieuszczelnej izolacji jest jej demontaż, roboty ziemne i wykonanie na nowo izolacji wodochronnej na powierzchni danego elementu konstrukcji budynku. W ostatnich latach dość popularną metodą napraw w miejscach trudnodostępnych lub gdy nie ma możliwości odkopania danego fragmentu konstrukcji, jest iniekcja ciśnieniowa. W obszary wycieków lub zawilgoceń podawana jest odpowiednia żywica, która po związaniu wypełnia i uszczelnia miejsce przecieku.

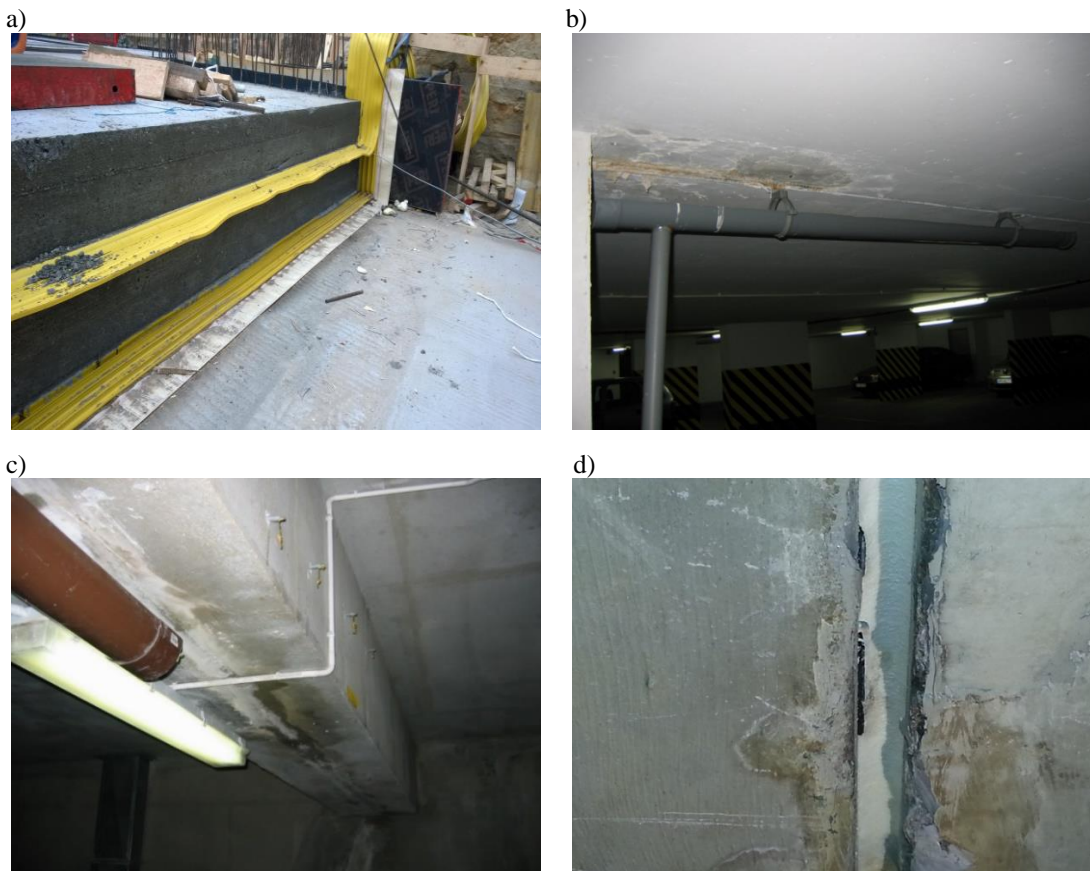
Do jednych z najtrudniejszych miejsc wymagających uszczelnień należą przerwy dylatacyjne. Z reguły dylatacje formowane są na szerokość 20 mm. Na terenach górniczych takie przerwy dochodzą nawet do 100 mm.

Na etapie budowy przerwy dylatacyjne zabezpieczane są specjalnymi taśmami PCW, ukształtowanymi do przenoszenia pracy konstrukcji, tak jak pokazano to na rysunku 1.2a. Taśmy dylatacyjne są produkowane w określonych długościach i na placu budowy należy takie taśmy połączyć z odpowiednim zakładem, aby zachować ciągłość uszczelnienia na całej długości przerwy dylatacyjnej. Łączenie brzegów taśm odbywa się poprzez zgrzewanie.

W większości przypadków główną przyczyną wycieków wody z przerw dylatacyjnych są uszkodzenia lub niewłaściwie połączenia taśm dylatacyjnych. Weryfikacja uszkodzeń i ich bezpośrednia naprawa po zabetonowaniu taśm w konstrukcji jest technicznie niemożliwa.

Praktycznie jedyną metodą naprawy, wykonywaną od wewnątrz pomieszczeń, bez konieczności odkopywania budynku, jest uszczelnienie przy użyciu żywic w technice iniekcji ciśnieniowej. Polega to na podaniu żywicy bezpośrednio w przerwę dylatacyjną. Po utwardzeniu w przerwie dylatacyjnej żywica ma być szczelna dla wody. Takie wypełnienie pozwala na uzyskanie niestety jedynie czasowej szczelności. Konstrukcja budowlana ulega przemieszczeniom głównie, w zależności od zmian temperatury. W związku z tym, szczelina przerwy dylatacyjnej, dzieląca elementu budynku, zmienia swoją rozwartość. Wypełnienie szczeliny przerwy dylatacyjnej poddane cyklicznemu ścisnaniu i rozszerzaniu z czasem ulega

rozszerzeniu i w miejscach wcześniej wypełnionych pojawiają się nowe wycieki wody, tak jak pokazano to na rysunku 1.2b, c i d.



**Rys. 1.2.** Zawodność uszczelnień przerw dylatacyjnych: a) przerwa dylatacyjna na etapie betonowania płyty dennej wraz z taśmami uszczelniającymi, zanieczyszczenia taśm b) wycieki wody z przerwy dylatacyjnej i sposób jej tymczasowego odbierania przy zastosowaniu systemu rynnowego, c) wycieki wody z przerwy dylatacyjnej w miejscu uszczelnienia metodą iniekcji ciśnieniowej z zastosowaniem żywicy na bazie poliuretanu, d) widok wypełnienia przerwy dylatacyjnej przy użyciu żywicy na bazie akrylu. Widoczne odspojenie żywicy od powierzchni bocznej w dylatacji – miejsce wycieku wody.

Powyższe rozważania posłużyły do sformułowania problemu naukowego jak i celu pracy dotyczącego wpływu rodzaju podłoża i wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych. Ustalono zakres pracy, który posłużył do logicznego ukierunkowania i ukształtowania niniejszej rozprawy.

Praca składa się z 10 rozdziałów. Rozdział 1 stanowi krótkie wprowadzenie w tematykę związaną z przerwami dylatacyjnymi oraz problemami związanymi z wyciekami wody. W rozdziale 2 podano cele pracy oraz zakres jaki obejmuje niniejsza rozprawa. Rozdział 3 obejmuje krytyczny przegląd literatury przedmiotu rozprawy. Zawarto w nim między innymi informacje o rodzajach przerw dylatacyjnych, wymagań normowych w zakresie formowania dylatacji w konstrukcjach budowlanych, rodzajach uszczelnień na etapie budowy, wpływie różnic temperatur na pracę konstrukcji i ruchy przerwy dylatacyjnej. Omówiono też rodzaje

podłoża betonowego ze wskazaniem stanów zawilgocenia lub zanieczyszczenia betonu w szczelinach przerw dylatacyjnych oraz sposobów przygotowania betonu zapewniającą lepszą przyczepność dla materiałów naprawczych. W rozdziale tym zawarto również wprowadzenie w zagadnienie analiz rozciągania materiału wypełniającego przerwę dylatacyjną oraz analiz numerycznych przy pomocy metody elementów skończonych (MES), pokazujące identyfikację właściwości fizycznych materiału wypełniającego model przerwy dylatacyjnej. W rozdziale 4, pokazano wybrane grupy materiałów do uszczelnień i wypełnień przerw dylatacyjnych, przyjęte przypadki i metody badawcze, zakres badań własnych oraz podział na stany zawilgocenia lub zanieczyszczenia betonu oraz sposoby przygotowania podłoża betonowego opracowanego modelu badawczego przerwy dylatacyjnej. W rozdziale 5 zamieszczono wyniki zrealizowanych badań własnych oraz analizę uzyskanych rezultatów dla wybranych przypadków badawczych. Z kolei w rozdziale 6 przedstawiono wyniki analiz numerycznych przy pomocy MES dla przyjętego modelu wypełnienia przerwy dylatacyjnej. Natomiast w rozdziale 7 przedstawiono oryginalne, własne narzędzia do czyszczenia oraz nacinania powierzchni betonu i tym samym przygotowania przerwy dylatacyjnej w celu zapewnienia jej należytej niezawodności. W rozdziale 8 wskazano opracowaną oryginalną metodykę wykonania uszczelnienia przerwy dylatacyjnej. Z kolei rozdział 9 zawiera przykład praktycznego zastosowania opracowanej metodyki wykonania uszczelnienia przerwy dylatacyjnej. Rozdział 10 stanowi podsumowanie oraz wnioski i uwagi końcowe z przeprowadzonych badań, poszerzone o kierunki dalszych możliwych badań związanych z analizą pracy przerw dylatacyjnych i sposobów ich czyszczenia oraz przygotowywania podłoża przerwy dylatacyjnej. Rozprawę kończy wykaz literatury oraz streszczenie w języku polskim i angielskim.

## 2. PROBLEM NAUKOWY, CEL I ZAKRES PRACY

### 2.1. Problem naukowy i cel pracy

Problemem naukowym, będącym celem pracy jest identyfikacja wpływu podłoża oraz wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych. Jako podłoże rozpatrywano różne rodzaje powierzchni betonu, a jako wypełnienie różne rodzaje żywic.

Do rozwiązania problemu naukowego przeprowadzono badania rozciągania osiowego opracowanych modeli przerwy dylatacyjnej połączonych wybranymi, powszechnie stosowanymi sześcioma żywicami. Modele te przebadano dla różnych rodzajów podłoża betonowego. Rodzaj podłoża należy rozumieć tu jako sposób przygotowania jego powierzchni oraz stan zawilgocenia lub zanieczyszczenia. Jeżeli chodzi o sposób przygotowania to podłoże przyjęto jako: nieczyszczone, czyszczone ręcznie i czyszczone mechanicznie za pomocą opracowanych własnych narzędzi. Natomiast jeżeli chodzi o stan zawilgocenia lub zanieczyszczenia to rozpatrzono na zasadzie „każdy z każdym” cztery przypadki badawcze najczęściej spotykane w praktyce inżynierskiej, a mianowicie stan: suchy, wilgotny, mokry i zanieczyszczony bentonitem.

W wyniku prowadzonych prac opracowano oryginalną metodykę wykonania uszczelnienia przerwy dylatacyjnej, pozwalającą na poprawę trwałości wypełnienia szczeliny przerwy dylatacyjnej, w zależności od sposobu przygotowania powierzchni betonu oraz stanu jego zawilgocenia lub zanieczyszczenia, w którym wykonywana jest praca naprawcza.

### 2.2. Zakres pracy

Zakres, jaki obejmuje rozprawa związany jest z celem pracy i można go przedstawić w następujących punktach:

1. Dokonanie krytycznego przeglądu literaturowego w zakresie napraw uszczelniających przerwy dylatacyjne, metodologii oraz dobór materiałów do napraw, dostępnych rozwiązań technologicznych, dostępnych rezultatów badań naukowych pracy przerwy dylatacyjnej, ocena destrukcji wypełnień w czasie pracy przerwy dylatacyjnej, trwałość wypełnienia uszczelniającego, naprawy konstrukcji w środowisku bentonitowym, zmiany temperatur konstrukcji i wpływ na pracę konstrukcji, skurcz i rozszerzanie konstrukcji w wyniku zmian temperatur, typy rozwiązań przerw dylatacyjnych, rozwiązania projektowe dotyczące przerwy dylatacyjnej i zabezpieczenia przed wodą.

Weryfikacja dostępnych metod czyszczenia podłoża betonowego w przerwach dylatacyjnych. Ocena jakości podłoża betonowego z wykorzystaniem urządzenia pomiarowego do kontroli przygotowanego podłoża w przerwach dylatacyjnych. Ocena stanu zawilgocenia wnętrza przerw dylatacyjnych i jej wpływ na istniejące oraz nowe wypełnienie uszczelniające.

2. Przeprowadzenie badań własnych przy użyciu wybranych, dostępnych na rynku materiałów żywicznych służących i wykorzystywanych do wypełnień przerw dylatacyjnych. Przeprowadzenie badań opracowanego modelu przerwy dylatacyjnej polegających na rozciąganiu osiowym żywicznego materiału wypełniającego szczelinę między dwoma próbkami betonowymi i podanie jego parametrów.
3. Przeprowadzenie badań własnych wybranych materiałów wypełniających w zależności od sposobu przygotowania podłoża betonowego w opracowanym modelu przerwy dylatacyjnej i identyfikacja parametrów modelu.
4. Przeprowadzenie badań własnych wybranych materiałów wypełniających w zależności od stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia w opracowanym modelu przerwy dylatacyjnej i identyfikacja parametrów modelu.
5. Przeprowadzenie analiz numerycznych materiału wypełniającego model przerwy dylatacyjnej, z wykorzystaniem zbudowanej bazy wiedzy. Opracowanie modelu przerwy dylatacyjnej i identyfikacja parametrów modelu.
6. Zbudowanie na podstawie badań własnych bazy wiedzy prowadzącej do nowatorskich sposobów przygotowania powierzchni betonu w przerwach dylatacyjnych. Ocena ich skuteczności i wdrożenie na rynku budowlanym.
7. Przeprowadzenie badań własnych powierzchni betonu przygotowanych za pomocą opracowanych, nowatorskich narzędzi do czyszczenia i nacinania betonu w szczelinie przerwy dylatacyjnej. Podanie parametrów powierzchni betonu przy różnych sposobach jego przygotowania.
8. Opracowanie oryginalnej metodyki i jej weryfikacja praktyczna wykonania uszczelnienia przerwy dylatacyjnej z zastosowaniem nowatorskich narzędzi do czyszczenia i nacinania powierzchni betonu.
9. Podsumowanie, wyciągnięcie wniosków naukowych i praktycznych oraz podanie kierunków dalszych badań.

### 2.3. Oryginalne elementy pracy

Do najważniejszych oryginalnych osiągnięć naukowych autora, wypełniających lukę w literaturze przedmiotu należy zaliczyć:

- zidentyfikowanie procesu odspajania się żywicznego materiału wypełniającego od powierzchni betonu, utraty przyczepności w szczelinie przerwy dylatacyjnej, pod wpływem ruchów przerwy dylatacyjnej w konstrukcji,
- zbudowanie bazy wiedzy dla żywicznych materiałów służących do wypełniania uszczelniającego przerwy dylatacyjne w konstrukcjach budowlanych na podstawie opracowanego oryginalnego modelu przerwy dylatacyjnej służącego do wykonywania badań materiałów wypełniających,
- oryginalny sposób przygotowania podłoża w szczelinie przerwy dylatacyjnej z zastosowaniem nowatorskich narzędzi do czyszczenia i nacinania betonu,
- doświadczalne określenie i rozróżnienie właściwości przygotowania podłoża betonowego dla zapewnienia niezawodności uszczelnienia w przerwie dylatacyjnej,
- charakterystykę wypełnienia żywicznego modelu przerwy dylatacyjnej z wykorzystaniem analiz numerycznych modelu przerwy dylatacyjnej w odniesieniu do warunków rzeczywistych,
- opracowanie nowoczesnej metodyki pozwalającej na odpowiednie wykonanie uszczelnienia przerwy dylatacyjnej zapewniające niezawodność uszczelniania wraz z praktyczną weryfikacją tej metodyki,
- możliwość wykorzystania otrzymanych rezultatów badań i analiz do właściwego przygotowywania podłoża w przerwach dylatacyjnych oraz szkoleń dotyczących odpowiedniego doboru żywicznego materiału wypełniającego przy wykonywaniu uszczelnień przerw dylatacyjnych, a w konsekwencji zmniejszenie liczby awarii dla tego typu konstrukcji,
- charakterystykę stanu zawilgocenia i zanieczyszczenia szczeliny przerwy dylatacyjnej, w tym oryginalne określenie stanu zanieczyszczonego bentonitem jako realnego środowiska do prowadzenia badań,
- możliwość wykorzystania otrzymanych rezultatów badań i analiz jako podstawę do formułowania i modyfikowania przepisów odnośnie do warunków technicznych wykonania i odbioru robót budowlanych przy wykonywaniu napraw uszczelniających przecieki wody w przerwach dylatacyjnych.

### 3. ANALIZA LITERATURY PRZEDMIOTU

Przerwa dylatacyjna, zwana powszechnie dylatacją, to szczelina celowo utworzona w konstrukcji budynku lub budowli, mająca za zadanie wydzielenie elementów lub ich fragmentów, w celu samodzielnego przenoszenia przewidywanych obciążeń, odkształceń i przemieszczeń.

Słowo "dylatacja" pochodzi od łac. *dilatare*, co oznacza przedłużać, rozciągać [*linguae*]. W języku angielskim używa się fraz *expansion gap* (przerwa dylatacyjna), *moving joint* (przerwa ruchoma) oraz *expansion joint* (połączenie dylatacyjne), czy też *dilatation* (dylatacja, poszerzenie).

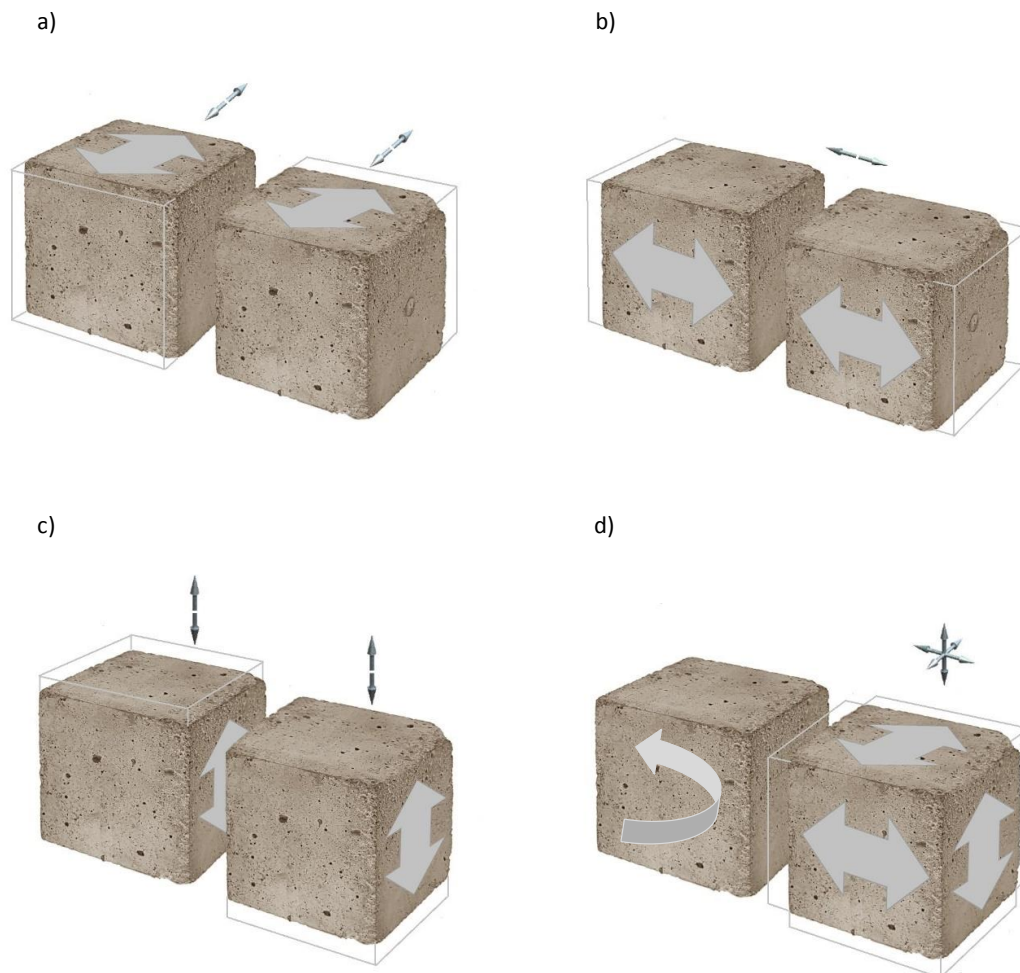
Przerwa dylatacyjna pełni niezwykle istotne funkcje. Do podstawowych jej zadań należy:

- zapewnienie prawidłowego i niezależnego osiadania elementów konstrukcji [15], [75], [161], [162], [175], np. ze względu na warunki gruntowe;
- umożliwienie odkształcania konstrukcji w wyniku różnic temperatur [57], [75], [161], [162], [175];
- umożliwienie pracy elementów budynku ze względu na niejednorodne obciążenia [57], [75], [161], [162], różnice wysokości budynków [15], itp.;
- utworzenie podziałów dużych powierzchni elementów konstrukcji ze względów skurczowych [15], [57], [75], [161], [162], [175];
- oddzielenia starych i nowych budynków [74];
- przeciwdziałanie szkodom górniczym [74], [75], [98], [161],[162];
- ograniczenie wpływu drgań np. trzęsienia ziemi, ruch uliczny, działające maszyny, czy urządzenia [75], [161], [162], [175].

Z założenia przerwy dylatacyjne przebiegają przez całą wysokość budowli od fundamentów do dachu [15].

Ze względu na charakter pracy konstrukcji budowlanych przerwy dylatacyjne mogą być poddane przemieszczeniom w różnych kierunkach, tak jak pokazano to na rysunku 3.1. Zastosowane systemy zamykające i wypełniające dylatacje są również poddawane cyklicznym przemieszczeniom i odkształceniom. W przypadku błędnego doboru systemu zamykającego lub niewłaściwego wykonania wypełnienia przerwy dylatacyjnej dochodzi, pod wpływem przemieszczeń konstrukcji, do uszkodzeń, które prowadzą do wycieków wody – stanu awaryjnego uszczelnienia przerwy dylatacyjnej. Niezawodność systemów uszczelnień, zależy

nie tylko od materiału wypełniającego, ale również od rodzaju, sposobu przygotowania powierzchni betonu i stanu jego zawilgocenia lub zanieczyszczenia. Niezawodność rozumiana jest tu jako własność świadcząca o tym, że uszczelnienie spełnia wszystkie powierzone mu funkcje i czynności przez wymagany czas i w określonych warunkach eksploatacji, w danym zespole czynników wymuszających.



**Rys. 3.1.** Ilustracja możliwości przemieszczeń elementów konstrukcji przy przerwie dylatacyjnej: a), b) przemieszczenia w poziomie, c) przemieszczenia w pionie, d) przemieszczenia złożone, w różnych kierunkach.

### 3.1. Podstawowe informacje o przerwach dylatacyjnych

Ze względu na pełnione funkcje i usytuowanie w konstrukcji można wyróżnić następujące rodzaje przerw dylatacyjnych:

- a) dylatacja konstrukcyjna - wykorzystywana jest do oddzielenia części i elementów konstrukcyjnych budynku, pozwalająca na prawidłową ich pracę i odkształcenia [15], [75], [161], [162], [175];



- b) dylatacja termiczna zapobiega odkształceniom termicznym na skutek naprężeń związanych z występowaniem różnic temperatur [57], [75], [161], [162], [175];
- c) dylatacja technologiczna stosowana jest tam, gdzie może nastąpić pęcznienie lub skurcz materiałów, które wykorzystano do budowy elementów lub części konstrukcji [15], [75];
- d) dylatacja przeciw drganiowa stosowana jest w budownictwie tam, gdzie występują trzęsienia ziemi [146], [191] lub przy fundamentach dużych urządzeń, wywołujących znaczne i uciążliwe drgania [75], [161], [162], [175];
- e) dylatacja pozorna, określana jako samoistna, ujawniająca się niekontrolowalnie w konstrukcji w miejscach występowania naprężeń wywołanych pracą lub osiadaniem konstrukcji [57], [175].

Niezależnie od pełnionej funkcji przerwy dylatacyjnej w konstrukcji, głównym założeniem jej uformowania jest możliwość przemieszczania się, ruchów sąsiadujących elementów konstrukcji w kierunku:

- poziomym – przemieszczenia związane np. ze skurczem podczas wiązania betonu, wpływami termicznymi, rysunek 3.1a i b;
- pionowym – przemieszczenia związane np. wypieraniem gruntu, nierównomiernym osiadaniem, wpływami termicznymi, rysunek 3.1c;
- obrotowym – ruchy związane ze zróżnicowaniem obciążeń np. w przęsłach konstrukcji rysunek 3.1d;
- złożonym – ruchy łączące kilka oddziaływań jednocześnie np. w przęsłach mostowych, rysunek 3.1d.

Praca dwóch sąsiadujących elementów konstrukcji przedzielonych przerwą dylatacyjną nie powinna być zbyt ograniczona. Wszystkie stosowane wypełnienia, zamknięcia, profile, czy systemy dylatacyjne nie powinny ograniczać zakresu ruchów konstrukcji [147].

Formowanie układu i kształtu przerwy dylatacyjnej może przebiegać w sposób:

- klasyczny – szczelina pozostawiana jest na etapie budowy pomiędzy elementami konstrukcji. W większości przypadków wypełniana jest płytami styropianowymi lub z wełny mineralnej [57], [161];
- mostowy – konstrukcyjnie w miejscu formowania przerwy dylatacyjnej pozostawiane jest miejsce do montażu urządzenia dylatacyjnego odpowiednio dobranego do zakresu przemieszczeń elementów konstrukcji, intensywności

ruchu pojazdów oraz do zakładanych wartości obciążeń dynamicznych [44], [45], [75], [94], [211].

Kolejnym podziałem przerw dylatacyjnych może być również podział związany z odpornością na działanie zewnętrznych czynników, w tym warunków atmosferycznych, przede wszystkim wody [175]. Można wyróżnić przerwy dylatacyjne:

- bez zabezpieczeń, bez jakichkolwiek wypełnień, dla wody układ ten jest całkowicie nieszczelny;
- zamknięte, wypełnione np. elastyczną masą zamykającą zabezpieczającą wewnątrz dylatacji przed czasowym działaniem wody, wody bez ciśnienia;
- szczelnie zabezpieczone, zamknięte systemowymi taśmami lub wkładkami z reguły montowanymi na etapie budowy [161], [162]. Dla wody układ ten ma być z założenia całkowicie niezawodny, czyli szczelny, również dla wody działającej pod ciśnieniem.

W literaturze można odnaleźć jedynie ogólne informacje na temat modeli przerw dylatacyjnych, zasad ich kształtowania, czy analizy pracy. Przykładowo w opracowaniu:

- [75] przedstawione zostały rodzaje dylatacji i sposób ich zamknięcia, przeprowadzona też została analiza pracy przerwy dylatacyjnej,
- [15] przedstawione zostały modele pracy dylatacji i modele obliczeniowe dotyczące przerw dylatacji,
- [57] przedstawione zostały podstawowe zasady planowania przerw dylatacyjnych przy konstruowaniu płyt posadzkowych oraz systemowe rozwiązania kształtowania i dyblowania przerw dylatacyjnych posadzek przemysłowych,
- [44] przedstawione zostały mostowe urządzenia dylatacyjne najczęściej stosowane w kraju,
- [175] przedstawiono podział i klasyfikacje przerw dylatacji, ocenę elementów uszczelnień dylatacji, opisano przykład błędnie wykonanych przerw dylatacji konstrukcyjnych, podano również sposób naprawy przy użyciu elastycznej masy wypełniającej.

W powyższych opracowaniach [15], [44], [57], [75], [175] nie ma jednak informacji odnośnie możliwych rodzajów materiałów wypełniających przy naprawach uszczelniających oraz sposobów przygotowania podłoża w przerwach dylatacyjnych, przy prowadzonych pracach naprawczych.

### 3.2. Wymagania normowe w zakresie formowania przerw dylatacyjnych w konstrukcjach budowlanych

Wymagania normowe odnośnie do projektowania i wykonania przerw dylatacyjnych oraz przede wszystkim ich przestrzeganie są warunkiem prawidłowego konstruowania elementów budowli, zapewniając ich trwałość i bezpieczeństwo użytkowania.

Przerwy dylatacyjne pełnią ważną funkcję w konstrukcjach budowlanych. W normie PN-EN 1992-1-1 [128] przedstawiono maksymalne odległości pomiędzy przerwami dylatacyjnymi (Tabela 3.1).

**Tabela 3.1.** Maksymalne odległości pomiędzy przerwami dylatacyjnymi według normy PN-EN 1992-1-1 [128]

Rodzaj konstrukcji	Odległość między dylatacjami $d_{joint}$ w metrach
Konstrukcje poddane wahaniom temperatury zewnętrznej	
a) ściany niezbrojone	5
b) ściany zbrojone	20
c) żelbetowe konstrukcje szkieletowe	30
d) dachy nieocieplane, gzymsy	20
Ogrzewane budynki wielokondygnacyjne	
a) wewnętrzne ściany i stropy monolityczne betonowane w jednym ciągu	30
b) jak wyżej - betonowane odcinkami nie większymi niż 15 m, z pozostawieniem przerw do późniejszego betonowania	jak w przypadku wewnętrznych ścian prefabrykowanych
c) wewnętrzne ściany prefabrykowane z zewnętrznymi ścianami prefabrykowanymi	50
d) jak wyżej - z zewnętrznymi ścianami z betonu komórkowego	40
e) jak wyżej - z zewnętrznymi ścianami lekkimi, podłużna ściana usztywniająca w środkowej części budynku	70
f) jak wyżej - we ścianami usztywniającymi w skrajnych częściach budynku	50
g) prefabrykowane konstrukcje szkieletowe i konstrukcje monolityczne z usztywnieniem w środkowej części budynku	jak w przypadku wewnętrznych ścian prefabrykowanych
h) monolityczne konstrukcje szkieletowe ze ścianami usztywniającymi w skrajnych częściach budynku – odpowiednio	jak dla a) lub b)
Ogrzewane jednokondygnacyjne hale żelbetowe bez ścian usztywniających lub tylko w środkowej części z zewnętrznymi ścianami o małej sztywności nie ulegającymi zarysowaniu przy odkształceniu w ich płaszczyźnie - w zależności od wysokości konstrukcji h	
a) $h < 5$ m	60
b) $5 < h < 8$ m	$10 + 10h$
c) $h > 8$ m	90
Masywne ściany, jeżeli nie stosuje się specjalnych zabiegów technologicznych obniżających ciepło twardnienia i skurcz, w zależności od grubości b	
a) $b = 0,3$ m * $0,6$ m	do 8 m
b) $0,6$ m $< i < 1,0$ m	do 6 m
c) $1,0$ m $< K < 1,5$ m	do 5 m
d) $1,5$ m $< b < 2,0$ m	do 4 m

\*Odległości między przerwami dylatacyjnymi podanymi w tabeli nie dotyczą obiektów na terenach działalności górniczej, a także przypadków, kiedy przerwy dylatacyjne są niezbędne z innych względów niż oddziaływanie skurczu betonu i różnic temperatur.

Podobne dane dotyczące odległości między przerwami dylatacyjnymi można było odnaleźć w normie PN-B-03264:2002 [121] w tabeli 1. W normie tej przedstawiono odległości wynikające z różnic temperatur i skurczu betonu. Szczeliny projektowane były na 10 do 20mm, przy czym do wykonania przyjmowano większą z szerokości dylatacji. Podano także, że dylatacja powinna przebiegać od fundamentów po dach.

W normie PN-EN 1996-2:2010 [129], dotyczącej konstrukcji murowych podano także informacje o przerwach dylatacyjnych ( Tabela 3.2 i 3.3 poniżej).

**Tabela 3.2.** Zalecane maksymalne odległości w kierunku poziomym między dylatacjami pionowymi według normy PN-EN 1996-2:2010 [129]

Rodzaj muru	Odległości $l_m$ [m]			
	ściany szczelinowe		ściany jednowarstwowe	
	warstwa zewnętrzna	warstwa wewnętrzna	warstwa zewnętrzna	warstwa wewnętrzna
z ceramicznych elementów murowych	12	40	30	25
z innych elementów murowych	8	30	25	20

**Tabela 3.3.** Zalecane maksymalne odległości pomiędzy dylatacjami pionowymi dla niezbrojonych ścian nienośnych według normy PN-EN 1996-2:2010 [129]

Rodzaj muru	$l_m$ [m]
Mury z elementów ceramicznych	12
Mury z elementów silikatowych	8
Mury z elementów betonu kruszywowego i kamienia sztucznego	6
Mury z elementów autoklawizowanego betonu komórkowego	6
Mury z elementów kamienia naturalnego	12

Poprzednia norma dotycząca konstrukcji murowych PN-B-03002:1999 [120] wskazywała w tabeli 23 odległości dylatacji (Tabela 3.4 poniżej).

**Tabela 3.4.** Odległości między przerwami dylatacyjnymi tabela 23 normy PN-B-03002:1999 [120]

Rodzaj muru ściany zewnętrznej	Odległość $l_i$ [m]	
	Zaprawa cementowa	Zaprawa cementowo-wapienna
Z elementów ceramicznych	50	60
Z innych elementów murowych	25	40

„Przerwy dylatacyjne powinny mieć szerokość nie mniejszą niż 20 mm i być wypełnione kitem trwale plastycznym” [120].

Wymagania normowe [120], [121], [128], [129], opracowanie [161] oraz procedury badawcze przedstawione w [30], [155], [156], [157], [158] dotyczące przerw dylatacyjnych nie

zawierają informacji odnośnie możliwych rodzajów materiałów wypełniających oraz sposobów przygotowania podłoża w przerwach dylatacyjnych przy prowadzonych pracach naprawczych. Nie wskazują także warunków zachowania niezawodności uszczelnień, a także właściwego użytkowania wypełnień uszczelniających przerw dylatacyjnych w okresie trwałości danego elementu konstrukcji.

### 3.3. Rodzaje uszczelnień przerw dylatacyjnych

Zastosowanie przerw dylatacyjnych w budynku powinno być przewidziane już na etapie projektu budowlanego danego budynku. Budynki o zróżnicowanej konstrukcji, o różnych wysokościach i gabarytach z założenia wymagają zaprojektowania i zastosowania przerw dylatacyjnych, dzielących konstrukcję na części. W przypadku rozległych budynków o nierównomiernym kształcie, nawet przy zapewnieniu jednolitego podłoża, mogą wystąpić nierównomierne osiadania spowodowane np. koncentracją naprężeń w gruncie [15], [75], [161], [162], [175].

Przerwy dylatacyjne dzielące budynek na części mogą mieć różny przebieg. Rozróżnia się przerwy dylatacyjne:

- na całej wysokości budynku, co pozwala na swobodną pracę poszczególnych części budynku [15], [161];
- częściowe, gdzie zazwyczaj podziemna część budynku, płyta denna wykonana jest bez przerwy dylatacyjnej, a część nadziemna jest podzielona [74]. Takie rozwiązanie wykorzystywane jest często ze względu na zapewnienie szczelności płyty fundamentowej przed wodami gruntowymi.

Wszystkie niewielkie elementy konstrukcyjne przylegające do głównej konstrukcji obiektu powinny być od niej oddzielone przerwą dylatacyjną. Są to np. rampy wjazdowe, zewnętrzne klatki chodowe, szyby windowe itp. do tych elementów zaliczyć należy również fundamenty pod maszyny i urządzenia można zaliczyć do niewielkich części budynku, które oddziela się, aby nie przenosić drgań na pozostałą część konstrukcji [75], [161], [162], [175].

Przerwy dylatacyjne, głównie w podziemnych częściach budynków wymagają zastosowania zabezpieczeń, chroniących konstrukcję przed działaniem wody.

Montaż zabezpieczeń przerw dylatacyjnych można wykonać:

- na etapie betonowania, formowania elementów konstrukcji;
- w istniejącej konstrukcji, po jej wybudowaniu.

### 3.3.1. Rodzaje uszczelnień przerw dylatacyjnych na etapie betonowania

Wkładki i systemy uszczelniające do przerw dylatacyjnych mają różne formy i kształty. Głównym zadaniem jakie stawia się przed profilami dylatacyjnymi jest zapewnienie niezawodności uszczelnienia, czyli zabezpieczenie szczeliny przerwy dylatacyjnej przed wodą pochodzącą z opadów atmosferycznych oraz z gruntu. Dodatkowo profile zamykające mają chronić przerwę dylatacyjną przed zasypaniem [15], [161].

Większość rozwiązań zabezpieczających przerwy dylatacyjne ma stanowić trwałą barierę dla wody znajdującej się pod ciśnieniem. Jednocześnie wkładka musi pozostać szczelna przy działaniu przewidywanych przemieszczeń łączonych elementów konstrukcji [75].

W niektórych elementach konstrukcji nadziemnych, profile dylatacyjne znajdują zastosowanie przy uszczelnianiu np. zbiorników na wodę pitną oraz różnego rodzaju ciecze magazynowane w zakładach przemysłowych (paliwa, oleje, alkohole, roztwory wodne różnych związków) [15], [35], [61], [75], [161], [162], [175].

Wkładki i taśmy dylatacyjne wykonywane są z takich tworzyw sztucznych jak: PVC-P (plastykowany polichlorek winylu), PE (polietylen), TPE (elastomer termoplastyczny), kauczuk syntetyczny [162]. Natomiast systemy dylatacji blokowych, tzw. mostowych składają się z odpowiednich profili stalowych zamontowanych w betonie elementu konstrukcji oraz z gumowej lub stalowej grzebieniowej wkładki umożliwiającej przesuwę przęseł mostowych [44], [45], [75], [94].

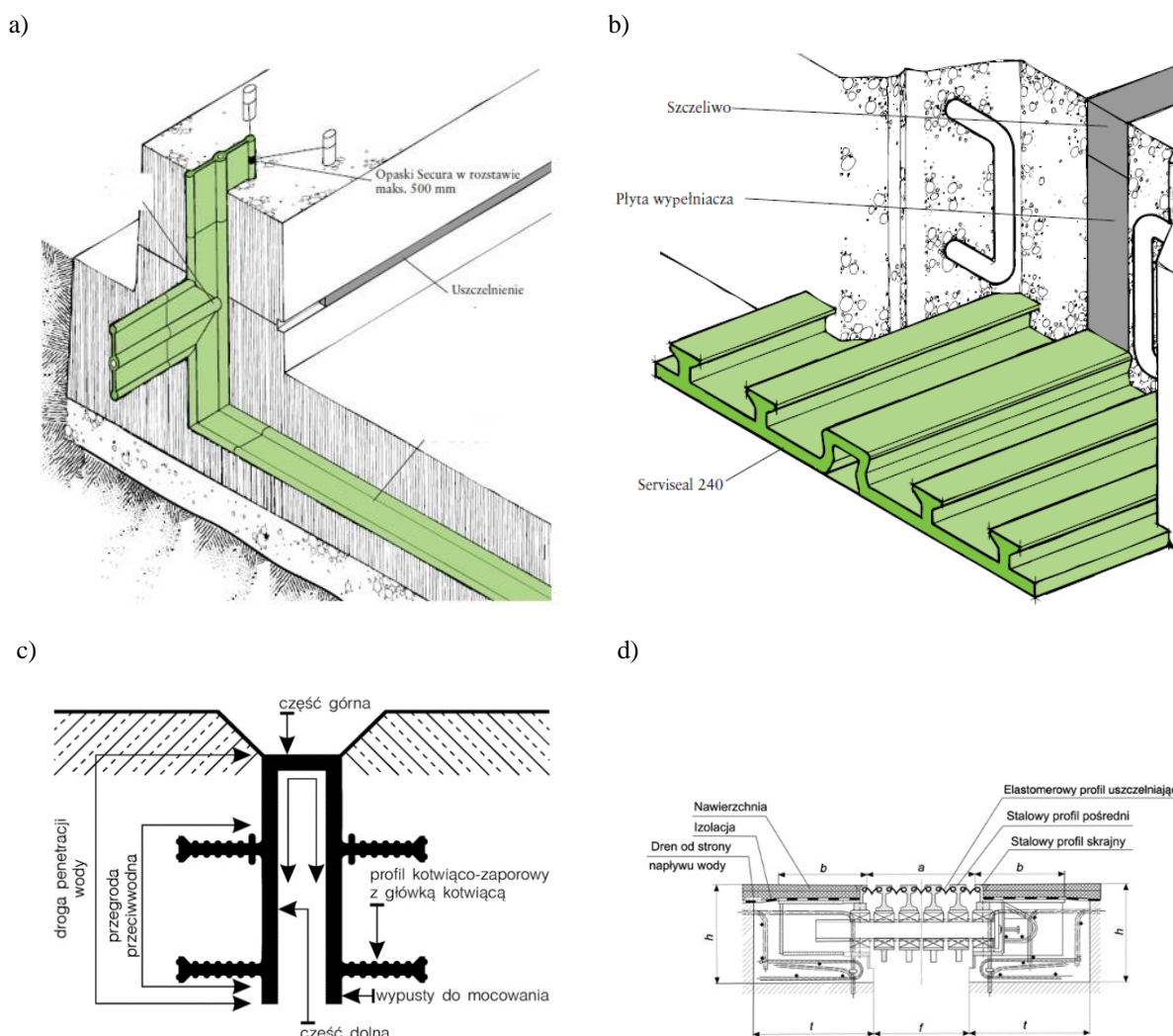
Systemy uszczelnień przerw dylatacyjnych montowanych na etapie budowy [111] różnią się właściwościami takimi jak: wytrzymałość na rozciąganie [51], wydłużenie przy zerwaniu, twardość, wytrzymałość na rozdarcie, praca w niskich temperaturach, czy odporność na kontakt z materiałami bitumicznymi i ropopochodnymi [160].

Na polskim rynku dostępnych jest kilka systemów zapewniających niezawodność uszczelnienia przerw dylatacyjnych wykonywanych na etapie betonowania elementu konstrukcji. Przykładowo na rysunku 3.2 przedstawiono systemy zapewniające niezawodność uszczelnienia przerw dylatacyjnych wykonywanych na etapie betonowania elementu konstrukcji w postaci wkładki dylatacyjnej wewnętrznej [178], wkładki dylatacyjnej zewnętrznej [177], wkładki dylatacyjnej wewnętrznej zamykającej [162], czy modułowego urządzenia dylatacyjnego [44].

W literaturze dostępne są jedynie bardzo ogólne informacje na temat systemów dylatacyjnych montowanych na etapie betonowania [81]. I tak w opracowaniu [75]

przedstawiono rodzaje dylatacji i sposób ich zamknięcia, przeprowadzono analizę pracy przerwy dylatacyjnej i opisano zamknięcia przerwy dylatacyjnej w postaci:

- systemów drogowych dylatacji bitumicznych [75];
- urządzeń dylatacyjnych, profili aluminiowych [35], [57], [74], [75], [161], [162];
- urządzeń mostowych w obiektach o dużych rozpiętościach przęsł, narażonych na znaczne obciążenia mechaniczne oraz termiczne [44], [45], [75], [94].



**Rys. 3.2.** Systemy zapewniające niezawodność uszczelnienia przerw dylatacyjnych wykonywanych na etapie betonowania elementu konstrukcji: a) widok wkładki dylatacyjnej wewnętrznej [178], b) widok wkładki dylatacyjnej zewnętrznej [177], c) [178]widok wkładki dylatacyjnej wewnętrznej zamykającej [162], d) widok modułowego urządzenia dylatacyjnego [44].

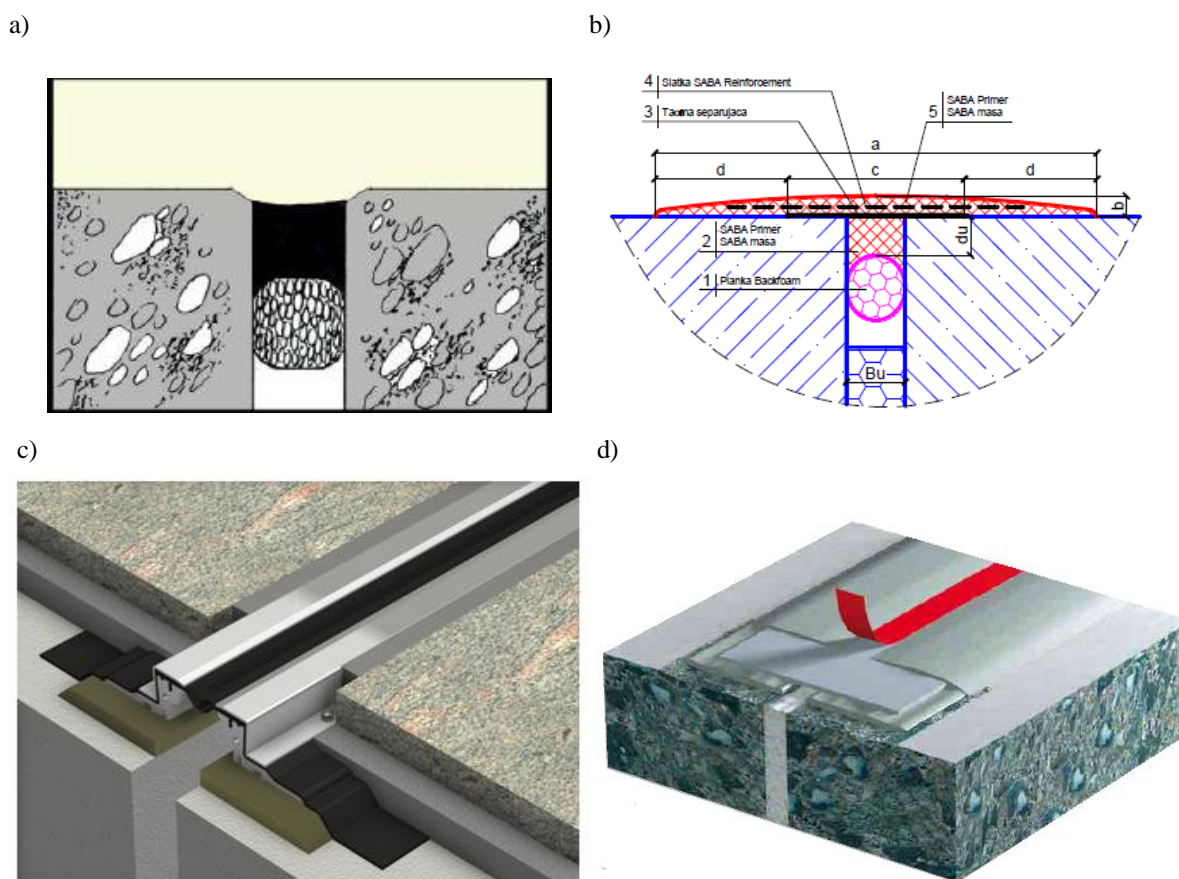
W opracowaniu [162] przedstawiono sposoby uszczelnień przerwy dylatacyjnej na etapie betonowania, określono warunki i kryteria doboru taśm uszczelniających, wskazano detale „szczelnej dylatacji” w różnych wariantach. Z kolei w opracowaniu [57] przedstawiono rodzaje przerw dylatacyjnych i sposób ich uszczelnienia na etapie konstruowania elementu

konstrukcji. Natomiast w [75] omówiono przegląd systemów uszczelnień połączeń oraz informacje dotyczące wyboru, planowania i budowy różnych systemów uszczelnień połączeń.

W wymienionych powyżej opracowaniach [57], [75], [162], [175] nie ma jednak zawartych informacji odnośnie rodzajów materiałów wypełniających przy naprawach uszczelniających oraz sposobów przygotowania podłoża w przerwach dylatacyjnych przy prowadzonych pracach naprawczych.

### 3.3.2. Rodzaje uszczelnień przerw dylatacyjnych na istniejącej konstrukcji

Po wykonaniu elementów konstrukcji należy, w większości przypadków, przeprowadzić prace budowlane polegające na zamknięciu przerwy dylatacyjnej [75], [82], [144], [161], [162]. Systemy zabezpieczeń przerw dylatacyjnych, tak jak pokazano to na rysunku 3.3, zapewniają w istniejącej konstrukcji niezawodność uszczelnienia. Głównym celem uszczelnienia jest zabezpieczenie przed czasowym działaniem napierającej wodą [20].



**Rys. 3.3.** Systemy zapewniające niezawodność uszczelnienia przerw dylatacyjnych wykonywane w istniejącej konstrukcji: a) wypełnienie przerwy dylatacyjnej masą elastyczną umożliwiającą przemieszczanie się niezależnie łączonych elementów konstrukcji [82], b) zamknięcie przerwy dylatacyjnej masą trwale elastyczną przekrywającą przerwę dylatacyjną umożliwiającą wypełnienie szerokich szczelin nawet do 100 mm [168], c) zamknięcie przerwy dylatacyjnej profilami aluminiowymi z możliwością obciążenia krawędzi dylatacji ruchem kołowym np. na płytach stropowych parkingów wielopoziomowych [185], d) zamknięcie przerwy dylatacyjnej w postaci taśmy hypalonowej wklejanej za pomocą kleju epoksydowego po obu stronach dylatacji [73].



W literaturze dostępne są informacje na temat systemów zamknięć przerw dylatacyjnych montowanych po wykonaniu elementów konstrukcji. W opracowaniu [93] wymienione są rodzaje wypełnień przerw dylatacyjnych w odniesieniu do obowiązujących norm ISO. Wskazane są masy zamykające dylatacje takie jak kity do przeszkleń, czy kity ogólnobudowlane. Omówiono bazy materiałowe jaki są stosowane do wyrobu kitów uszczelniających takie jak: polistyren, tiokol, kauczuk, czy asfalt. Nie ma jednak informacji o materiałach wypełniających przerwy dylatacje stosowanych do napraw uszczelniających.

W opracowaniu [75] przedstawiono rodzaje dylatacji i sposób ich zamknięcia, przeprowadzono też analizę pracy przerwy dylatacyjnej. Opisano zamknięcia przerwy dylatacyjnej w postaci elastycznych mas wypełniających. Systemy zamknięć przerw dylatacyjnych opisano także w opracowaniu [161] i [162]. Większość rozwiązań zamykających tam opisana może być stosowana zarówno od strony parcia wody jak i od wewnętrznej strony konstrukcji. Z kolei w opracowaniu [82] wskazano elastyczne kity dylatacyjne jako systemy zamknięć przerw dylatacyjnych, a w artykule [35] poruszono tematykę związaną z wykonywaniem szczelnych zamknięć przerw dylatacyjnych przy użyciu profili dylatacyjnych. Natomiast w opracowaniu [175] wskazano sposób uszczelnienia przerwy dylatacyjnej za pomocą aluminiowego profilu zamykającego. W opracowaniu [174] wskazano przerwy dylatacyjne jako potencjalne miejsce możliwych wycieków wody.

Co istotne w wymienionych wyżej opracowaniach [35], [75], [82], [161], [162], [174] i [175] nie podano informacji odnośnie możliwych rodzajów materiałów wypełniających przy naprawach uszczelniających oraz sposobów przygotowania podłoża w przerwach dylatacyjnych przy prowadzonych pracach naprawczych.

### **3.3.3. Rodzaje uszczelnień przerw dylatacyjnych – wycieki wody**

Zarówno systemy wkładek dylatacyjnych montowanych na etapie budowy jak i systemy zamknięć dylatacji w istniejącej konstrukcji są często zawodne i wykazują nieszczelności. Podstawową przyczyną przecieków wody przez zamontowane systemy uszczelnień przerw dylatacyjnych [175] są:

- niewłaściwy montaż;
- uszkodzenia na etapie budowy lub podczas eksploatacji systemów dylatacyjnych;
- nieumiejętne łączenie elementów systemów dylatacyjnych, złe zgrzewanie taśm;
- niewłaściwe dobranie systemu dylatacyjnego.

W literaturze dostępne są jedynie ogólne informacje dotyczące sposobów łączenia taśm i elementów systemów, podawane najczęściej przez producentów systemów uszczelnień przerw dylatacyjnych [73], [177], [178].

Stan awaryjny uszczelnienia przerwy dylatacyjnej, utrata niezawodności uszczelnienia objawia się przeciekami wody, które powodują wiele zniszczeń zarówno przyległych elementów konstrukcji jak i urządzeń i mienia znajdującego się w lokalach użytkowych, co pokazano przykładowo na rysunku 3.4.



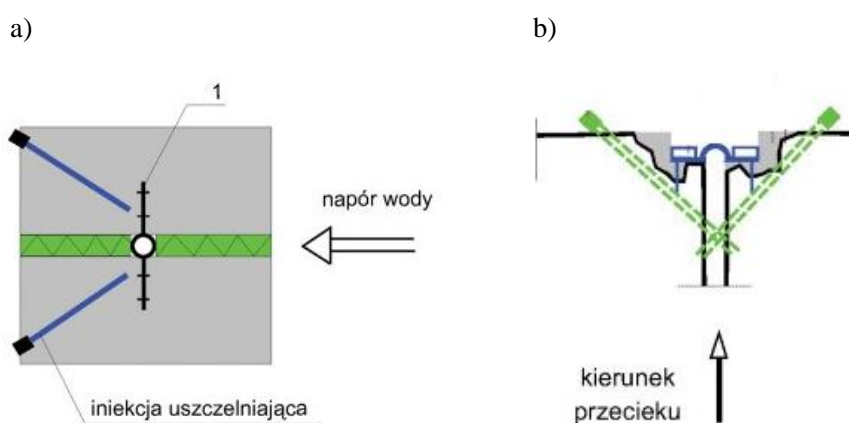
**Rys. 3.4.** Widok zniszczeń elementów konstrukcji stropu przy przerwie dylatacyjnej, prowizorycznych odwodnień, odpływu przeciekającej wody z przerwy dylatacyjnej nad zaparkowanym samochodem.

Przeprowadzenie naprawy uszczelniającej przerwy dylatacyjnej wymaga szczegółowego rozpoznania problemu. Należy między innymi:

- zapoznać się z dokumentacją powykonawczą konstrukcji,
- sprawdzić grubości poszczególnych elementów konstrukcji przy przerwie dylatacyjnej,
- zapoznać się z przekrojem, kształtem przerwy dylatacyjnej i zastosowanymi w niej rozwiązaniami taśm uszczelniających,
- ocenić możliwości pracy przerwy dylatacyjnej, zmiany rozwartości szczeliny,
- ocenić wpływ warunków zewnętrznych, w tym temperatur, na zastosowane systemy uszczelnień,
- sprawdzić możliwości wykonania napraw w sposób tradycyjny poprzez odkopanie elementu konstrukcji lub usunięcie warstw przekrywających przerwę dylatacyjną na konstrukcji.

Na niektórych elementach konstrukcji można wskazać takie miejsca usytuowania przerwy dylatacyjnej, gdzie nie ma możliwości wykonania napraw w tradycyjny sposób. Do

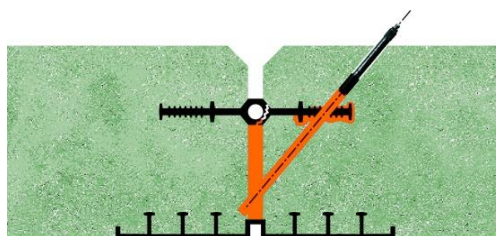
takich miejsc zalicza się na przykład przerwa dylatacyjna w płycie dennej w budynku. Jedynym sposobem naprawy takiego miejsca jest praktycznie zazwyczaj wykonanie napraw od wewnątrz budynku. W opracowaniu [64], [162], [174] podano wskazówki dotyczące sposobów uszczelnienia wycieków wody z przerwy dylatacyjnej od wewnętrznej strony konstrukcji przy zastosowaniu technik iniekcyjnych. Na rysunku 3.5, za [162], pokazano sposób wykonania niezawodnego uszczelnienia przerwy dylatacyjnej przy zastosowaniu technik iniekcyjnych w przypadku nieszczelnej taśmy dylatacyjnej i w przypadku wycieków wody wraz montażem taśmy uszczelniającej.



**Rys. 3.5.** Sposób wykonania niezawodnego uszczelnienia przerwy dylatacyjnej przy zastosowaniu technik iniekcyjnych: a) w przypadku nieszczelnej taśmy dylatacyjnej [162], b) w przypadku wycieków wody wraz montażem taśmy uszczelniającej [162].

W opracowaniach [75], [162] i [174] nie ma jednak zawartych informacji odnośnie możliwych rodzajów materiałów wypełniających przy naprawach uszczelniających oraz sposobów przygotowania podłoża w przerwach dylatacyjnych przy prowadzonych pracach naprawczych.

Na rysunku 3.6, za [64], przedstawiono sposób wykonania naprawy uszczelniającej wycieki wody z przerwy dylatacyjnej w płycie dennej.



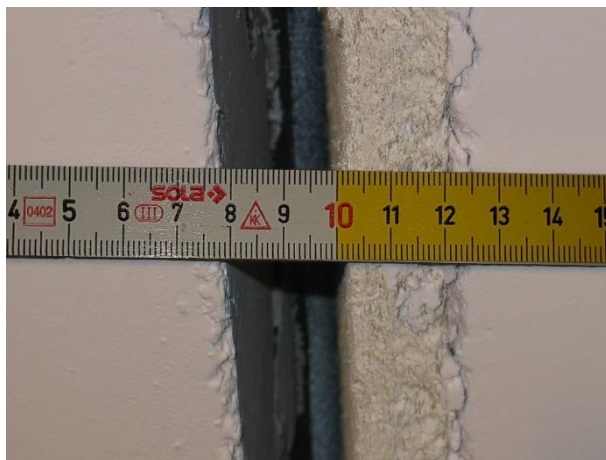
**Rys. 3.6.** Sposób wykonania naprawy uszczelniającej wycieki wody z przerwy dylatacyjnej w płycie dennej [64].

W opracowaniu [64] podano przykładowy rodzaj materiału do wypełnienia uszczelniającego przerwy dylatacyjnej: „*iniekcja szczeliny dylatacyjnej żelem akrylowym z dodatkiem polimerów*”, ale nie podano informacji odnośnie sposobów przygotowania podłoża w przerwach dylatacyjnych przy prowadzonych pracach naprawczych. Z kolei w opracowaniu [175] wskazano „*wypełnienie dylatacji konstrukcyjnej elastyczną masą do wysokości powyżej styku betonu i jastrychu żywicznego*”, lecz nie ma tam zawartych informacji odnośnie sposobów przygotowania podłoża w przerwach dylatacyjnych przy prowadzonych pracach naprawczych.

### 3.4. Praca konstrukcji i ruchy przerwy dylatacyjnej

Głównym czynnikiem mającym wpływ na przemieszczanie się elementów konstrukcji względem siebie przy przerwach dylatacyjnych są zmiany różnic temperatur [57], [75], [161], [162], [175]. Przemieszczenia konstrukcji wywołane zmianami temperatur mają bezpośredni wpływ na zastosowany system uszczelnienia przerwy dylatacyjnej. Ściskanie i rozciąganie wypełnienia przerwy dylatacyjnej weryfikuje niezawodność uszczelnienia.

Zjawisku rozszerzania lub kurczenia się materiałów pod wpływem warunków zewnętrznych trudno przeciwdziałać. Projektując obiekty budowlane należy je natomiast uwzględniać. Właściwie zaprojektowany obiekt budowlany umożliwia swobodne przemieszczanie się jego części [15], [75], [161], [162], a materiały wypełniające zmieniają swoje wymiary bez blokowania ruchów i powstania dodatkowych naprężeń. Na rysunku 3.7 pokazano rozszerzoną przerwę dylatacyjną w wyniku skurczenia się elementów konstrukcji pod wpływem niskich temperatur, gdzie rozwartość szczeliny wzrosła o ponad 100% od wartości pierwotnego rozmiaru 20mm.



Rys. 3.7. Widok rozszerzonej przerwy dylatacyjnej w wyniku skurczenia się elementów konstrukcji pod wpływem niskich temperatur.

W kompozycie jakim jest żelbet mamy do czynienia z betonem i stalą. Materiały te posiadają zbliżone wartości współczynników rozszerzalności liniowej i objętościowej, w związku z czym ich współpracy nie towarzyszą znaczne naprężenia. Współczynnik liniowej rozszerzalności termicznej dla betonu wynosi  $0,000010/^\circ\text{C}$ , a dla stali  $0,000012/^\circ\text{C}$  [7]. Pomimo niedużych wartości współczynnika rozszerzalności liniowej betonu i stali zbrojącej w budynkach o dużych gabarytach należy przewidywać przerwy w elementach konstrukcji, czyli przerwy dylatacyjne. Należy zwrócić uwagę, że zjawisko rozszerzalności termicznej jest odwracalne. Zmiany objętości betonu, konstrukcji żelbetowej wskutek zmiany temperatury mają znaczenie przy funkcjonowaniu wielu urządzeń, w tym urządzeń dylatacyjnych. Powinno się zatem uwzględniać zmiany rozwartości rozmiarów szczeliny w przerwie dylatacyjnej ze względu na jej ruchy w całym okresie użytkowania obiektu budowlanego.

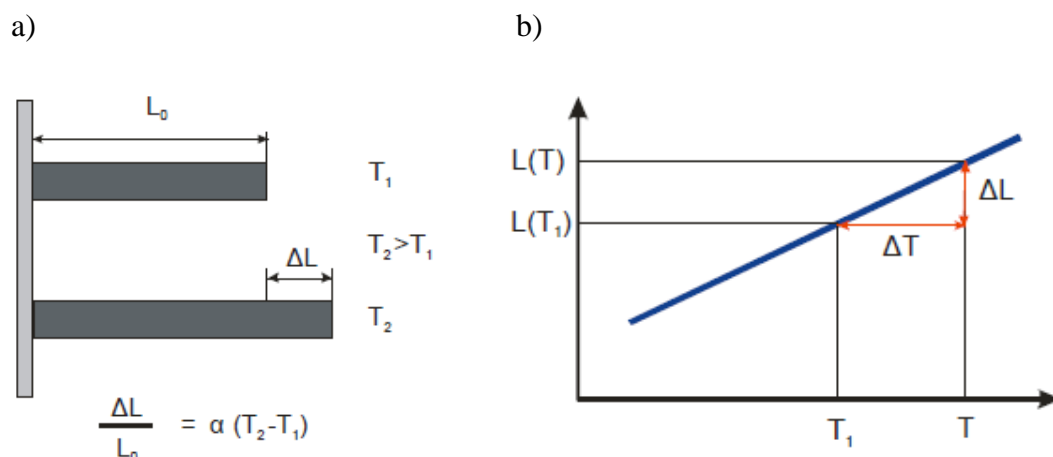
Materiały w otaczającym nas świecie podlegają zmianom wymiarów na skutek czynników zewnętrznych. Rozszerzalność cieplna (termiczna) jest jedną z właściwości fizycznych ciał stałych mającą znaczące znaczenie w budownictwie, zarówno pozytywne jak i negatywne. Właściwość ta polega na zwiększeniu się (lub zmniejszeniu) objętości materiału w miarę wzrostu (obniżenia) ich temperatury. Rozszerzalność objętościowa ciał stałych (betonu) upraszcza się do kontroli zmian ich długości i z tego powodu takim materiałom przypisuje rozszerzalność liniową jako wskaźnik rozszerzalności cieplnej [153].

W opracowaniu [152] analizowano zmianę długości  $\Delta L$  próbki ciała stałego pojawiającą się pod wpływem zmiany jej temperatury o  $\Delta T$  przy zachowaniu stałego ciśnienia. Na rysunku 3.8 przedstawiono, za [152], zmianę długości pręta pod wpływem zmiany temperatury i liniową zależność pręta od jego temperatury. Względna zmiana długości jest proporcjonalna do zmiany temperatury. Współczynnikiem proporcjonalności  $\alpha$  w tym wzorze jest nazywany liniowym współczynnikiem rozszerzalności termicznej (cieplnej). Wymiarem tego współczynnika jest  $[1/^\circ\text{C}]$  lub  $[1/\text{K}]$ .

Dodatkowo w opracowaniu [152] omówiono współczynnik rozszerzalności termicznej, który podaje o ile wzrośnie długość jednostki długości rozpatrywanego materiału po ogrzaniu o jednostkę temperatury, co wyrażają zależności:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L(T_1) \cdot \Delta T} \quad (3.1)$$

$$L(T) = L(T_1) \cdot [1 + \alpha(T - T_1)] \quad (3.2)$$



**Rys. 3.8.** Ilustracja rozważań przedstawionych w pracy [152]: a) zmiana długości pręta pod wpływem zmiany temperatury, b) liniowa zależność pręta od jego temperatury.

W tabeli 3.5 przedstawiono zmiany objętości elementów konstrukcji wywołanych zmianami temperatur i ich wpływ na rozwartość szczeliny w przerwie dylatacyjnej. Zmiany temperatur elementów konstrukcji wywołują głównie poziome, prostopadłe do krawędzi przerwy dylatacyjnej, przemieszczenia. Następuje zmniejszanie lub zwiększenie odległości między krawędziami szczeliny w przerwie dylatacyjnej, co w konsekwencji stanowi odpowiednio ściskanie lub rozciąganie elementów uszczelniających, czy wypełniających przerwy dylatacyjne.

**Tabela 3.5.** Zmiany rozwartości szczeliny w przerwie dylatacyjnej w zależności od zmian temperatury elementów konstrukcji.

Temperatura elementów konstrukcji	Rozwartość szczeliny w przerwie dylatacyjnej
Najwyższa / maksymalna temperatura	Minimalna rozwartość szczeliny, najmniejsza odległość pomiędzy krawędziami przerwy dylatacyjnej
Wzrost temperatury	Zwężanie szczeliny, zmniejszanie odległości między krawędziami przerwy dylatacyjnej
Najniższa / minimalna temperatura	Maksymalna rozwartość szczeliny, największa odległość pomiędzy krawędziami przerwy dylatacyjnej
Obniżanie temperatury	Zwężanie szczeliny, zmniejszanie odległości między krawędziami przerwy dylatacyjnej

W przypadku wzrostów temperatur elementów konstrukcji, szczelina w przerwie dylatacyjnej zmniejsza się, więc materiał wypełniający jest ściswany. Uzyskanie szczelności, czyli niezawodności uszczelnienia, przy wypełnianiu zmniejszającej się szczeliny przerwy dylatacyjnej jest więc z założenia łatwiejsze. Z kolei przy obniżaniu się temperatury elementów konstrukcji, szczelina w przerwie dylatacyjnej zwiększa swoją rozwartość, więc materiał wypełniający jest rozciągany. Uzyskanie niezawodności uszczelnienia przy wypełnianiu przerwy dylatacyjnej w tym przypadku jest dużo trudniejsze. Materiał wypełniający

poddawany jest siłom rozciągającym. Dodatkowo, istotnym elementem z punktu widzenia trwałości uszczelnienia całości przerwy dylatacyjnej jest przyczepność materiału wypełniającego do podłoża. Przy działaniu sił rozciągających (rozszerzanie się szczeliny przerwy dylatacyjnej – rysunek 3.7) może dochodzić do odspojenia się materiału wypełniającego od wewnętrznych ścianek w przerwie dylatacyjnej (rysunek 1.2d). W tym przypadku pomimo szczelności samego materiału wypełniającego dochodzi do wycieków wody na styku podłoża betonowego i żywicy uszczelniającej.

W opracowaniu [152] przedstawiono sposób wyznaczania liniowego współczynnika rozszerzalności termicznej ciał stałych, lecz nie zawarto w nim informacji odnośnie zmian rozwartości szczelin w przerwach dylatacyjnych w wyniku zmian temperatur.

Z kolei w opracowaniu [41] wskazano tabelę z „normy murowej” [120], w której podano współczynniki skurczu oraz ekspansji termicznej przyjmowane do obliczeń (Tabela 3.6).

**Tabela 3.6.** Współczynniki skurczu i ekspansji termicznej przyjmowane do obliczeń [41]

Materiał elementu murowego	$\epsilon_{ms, \infty}$ [mm/m]	$\alpha_t$ [10 <sup>-6</sup> /K]
Ceramika	-0,2	6
Silikat	-0,4	9
Beton zwykły i kamień sztuczny	-0,6	10
Kruszynowy beton lekki	-1,0	10
Autoklawizowany beton komórkowy	-0,4	8
Kamień naturalny	-0,4	7

Dodatkowo w opracowaniu [41] omówiono wpływ temperatur na zmiany objętości elementów konstrukcji w budynkach. Wskazuje zagrożenia wynikające z braku przerw dylatacyjnych lub zaprojektowanych dużych gabarytowo elementów konstrukcji, które mogą ulegać zarysowaniu. Autor nie wskazał materiałów oraz systemów do zamykania i uszczelniania przerw dylatacyjnych.

W opracowaniu [13] autorzy omówili właściwości betonu o różnych zakresach temperatur i obciążeniach ściskających w warunkach laboratoryjnych. Dokonali analiz przejściowego odkształcenia termicznego i określili warunki dla konstruktorów, lecz nie zawarli informacji odnośnie zmian rozwartości szczelin w przerwach dylatacyjnych w wyniku zmian temperatur. Natomiast w opracowaniu [147] omówiono zamknięcia przerwy dylatacyjnej na powierzchniach poziomych oraz pionowych w szczególnym obciążeniu konstrukcji jakim jest trzęsienie ziemi. W testach laboratoryjnych na stole badawczym „*shake table testing*” analizowano przemieszczanie się krawędzi przerwy dylatacyjnej oraz

obserwowano typowe mechaniczne zamknięcia przerwy dylatacyjnej. W opracowaniu tym nie omawiano materiałów wypełniających przerwy dylatacyjne.

### 3.5. Przygotowanie podłoża betonowego w przerwie dylatacyjnej

Warunkiem właściwej przyczepności [148] różnych materiałów do powierzchni betonu jest odpowiednie przygotowanie jego podłoża. Producenci systemów chemii budowlanej wskazują konieczność oczyszczenia betonu, a następnie wykonania podstawowych badań przyczepności [63], [68], [80] i [182]. Właściwe przygotowanie podłoża gwarantuje zapewnienie niezawodności uszczelnienia wypełnienia przerwy dylatacyjnej. Brak przygotowania podłoża lub niewłaściwe przygotowanie jest przyczyną odpajania się materiału wypełniającego od betonu i w konsekwencji stanu awaryjnego, czyli wycieków wody.

#### 3.5.1. Urządzenia do przygotowania podłoża betonowego

Zalecane jest, aby przed nałożeniem materiału uszczelniającego podłoże betonowe było oczyszczone mechanicznie metodą strumieniowo-ścierną [25], [54], [60], [77] i [159]. Mleczko cementowe, luźne i niezwiązane elementy betonu, stare pokrycia, powłoki i farby powinny być usunięte. Sam beton powinien mieć odpowiednią strukturę, wilgotność masową, powinien być pozbawiony zanieczyszczeń, w tym olejów i tłuszczu.

Do przygotowania podłoża betonowego można zastosować następujące techniki [25], [54], [60], [77] i [159]:

- frezowanie - polega na usuwaniu powierzchni betonu za pomocą narzędzia tnącego, które obraca się z bardzo dużą prędkością. Beton po frezowaniu w górnej części może wykazywać wykruszenia, dlatego powierzchnie te, po frezowaniu, zaleca się wypiąskować;
- szlifowanie - polega na usuwaniu z powierzchni betonu mleczka cementowego, starych powłok i warstw izolacyjnych, poprzez obrót z dużą prędkością narzędzi czołowych wyposażonych w końcówki diamentowe. Podczas szlifowania usuwane są również nieduże nierówności w betonie;
- śrutowanie – polega na wystrzeliwaniu na powierzchnię betonu, za pomocą sprężonego powietrza, materiału ściernego z dużą prędkością, uzyskując dzięki temu odpowiednią szorstkość podłoża. Materiał ścierny po użyciu jest wciągany z powrotem do urządzenia do ponownego użycia. Pył jest zbierany przez odpyłacz;



- hydropiaskowanie - polega na podaniu piasku kwarcowego lub innego materiału ściernego wraz wodą pod ciśnieniem na powierzchnię betonu;
- hydromonitoring - polega na podawaniu wody pod ciśnieniem powyżej 300 bar na powierzchnię betonu przy użyciu urządzeń ciśnieniowych.

Techniki przygotowania podłoża betonowego przedstawiono na rysunku 3.9.



**Rys. 3.9.** Techniki przygotowania podłoża betonowego [60]: a) widok przygotowania powierzchni betonu przy pomocy frezarki, b) widok urządzenia szlifierki do betonu, c) widok śrutownic przy czyszczeniu betonu, d) widok czyszczenia betonu metodą hydromonitoringu.

W miejscach trudnodostępnych, narożnikach, wnękach powierzchnie betonową można przygotować przy użyciu ręcznych metod czyszczenia, na przykład poprzez:

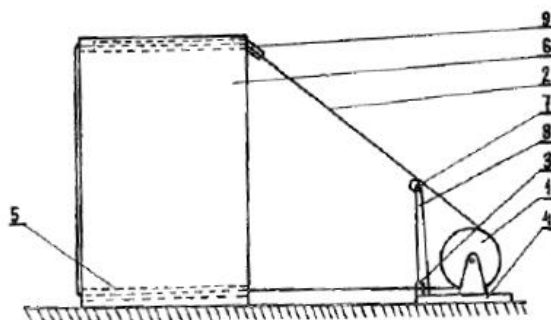
- szlifowanie przy użyciu ręcznych szlifierek kątowych zakończonych czołowym narzędziem z końcówkami diamentowymi.
- szlifowanie przy użyciu szczotek drucianych.

W literaturze nie natrafiono na wskazanie metod związanych z czyszczeniem podłoża i przygotowaniem betonu wewnątrz przerwy dylatacyjnej. Standardowa rozwartość dylatacji to około 20 mm i determinuje ona zastosowanie urządzeń o określonych rozmiarach. Opisanie

w literaturze urządzenia do przygotowania powierzchni betonu przeważnie nie mogą być zastosowane w przerwach dylatacyjnych, ze względu na ich znaczne gabaryty.

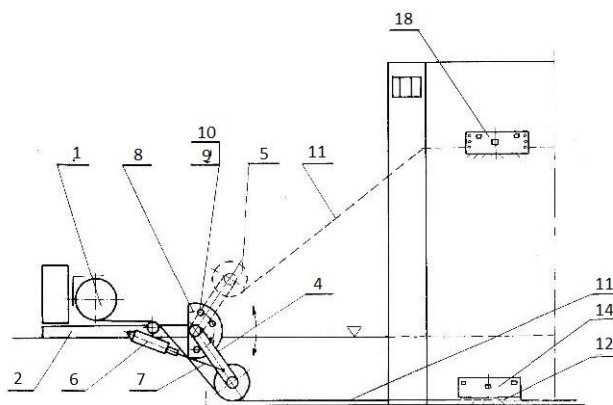
### 3.5.2. Urządzenia do czyszczenia przerw dylatacyjnych

Przełóżając zgłoszenia patentowe [95], [150] natrafiono na informacje związane z czyszczeniem przerwy dylatacyjnej w branży górniczej. Patent Pat. 159727 [76] z 1990 Kopalni Węgla Kamiennego „Katowice” opisuje „Urządzenie do oczyszczania szczelin dylatacyjnych”, które przedstawiono na rysunku 3.10.



**Rys. 3.10.** Schemat urządzenia do czyszczenia przerw dylatacyjnych wg patentu Pat. 159727 [76]. Urządzenie to zawiera jeden kołowrót, cięgno i segmenty skrawające, znamienne tym, że na bęben kołowrotu (1), zainstalowany obok korpusu budynku (6) w osi szczeliny dylatacyjnej, nawinięty jest koniec cięgna linowego (2), przechodzącego dalej przez okular prowadzący (3), zamontowany na podstawie kołowrotu (4), a następnie przez otwór przelotowy (5) wykonany w płaszczyźnie szczeliny dylatacyjnej w dolnej części korpusu budynku (6) i dalej od góry przez szczelinę dylatacyjną, po krążku prowadzącym (7) zainstalowanym na odpowiedniej wysokości na wysięgniku krążka (8) na powrót na bęben kołowrotu (1), tworząc zamkniętą pętlę, przy czym na górnym odcinku cięgna (2) zamontowane są segmenty.

Inne urządzenie do czyszczenia przerw dylatacyjnych opatentowane przez Techniczno-Górnictw Spółkę Akcyjną Tegona SA patentem Pat.306215 [193] w 1994r.”, które przedstawiono na rysunku 3.11.



**Rys. 3.11.** Schemat urządzenia do czyszczenia przerw dylatacyjnych wg patentu Pat. 306215 [193]. Urządzenie to ma dwa wysięgnikowe mechanizmy dociskająco-kierujące, ustalające kierunek przesuwającego się cięgna (11), stanowiące wychylne ramię (4) z linowym krążkiem (5). Czyszcząco-tnący zespół (12) cięgna (11) jest obciążony płytami (14). Kołowroty (1) napędzające linowe cięgno (11) są mocowane do trójczłonowej ramy (2) unieruchamianej względem podłoża obciążnikami. Konstrukcja urządzenia pozwala na równe i równomierne wycinanie i czyszczenie przerw dylatacyjnych zarówno w twardych elementach betonowych jak i poniżej poziomu gruntu.

W literaturze nie wskazano, czy urządzenia do czyszczenia przerw dylatacyjnych przedstawione powyżej [76], [193] były lub są wykorzystywane w budownictwie ogólnym.

### 3.5.3. Urządzenie do pomiaru jakości przygotowanego podłoża betonowego

Powszechnie stosowanym badaniem jakości podłoża betonowego jest metoda „pull-off”. Polega na sprawdzeniu przyczepności do przygotowanego podłoża i określeniu wytrzymałości na rozciąganie położonych warstw na betonie. Badanie to opisuje norma PN-EN 1542 [127]. Na badaną powierzchnię za pomocą kleju na bazie epoksydu nakleja się metalowy krążek pomiarowy. Krążek zaopatrzony jest w uchwyt, dzięki któremu możliwe jest podłączenie urządzenia pomiarowego, tak jak pokazano to na rysunku 3.12.



Rys. 3.12. Widok urządzenia pomiarowego do badania wytrzymałości na odrywanie „pull-off” [97].

Wynik badania „pull-off” to wartość wytrzymałości na odrywanie wyrażona w MPa, obliczona z siły, przy której następuje oderwanie warstwy uprzednio naciętego materiału, do którego przyklejony jest krążek pomiarowy zrywający próbkę, w relacji do powierzchni naciętej warstwy [72], [97], [107] i [127].

Prawidłowo przygotowana powierzchnia betonu w znaczący sposób wpływa na jakość przyczepności złączonych ze sobą elementów [8], [9], [36], [37], [63], [68], [80], [169], [171] i [182]. W literaturze nie odnaleziono informacji na temat badania „pull-off wewnątrz szczelin w przerwach dylatacyjnych. Mała rozwartość szczelin uniemożliwia montaż krążków pomiarowych, a tym bardziej wpięcie krążków do urządzeń pomiarowych.

### 3.6. Profil powierzchni betonu w przerwie dylatacyjnej

Powierzchnia betonu, do której ma być doklejeny nowy materiał powinna być nie tylko właściwie przygotowana, ale też posiadać odpowiedni profil, tzn. odpowiednią powierzchnię rozwinięcia poprawiającą przyczepność [8], [40], [63], [68], [80], [169], [170], [173] i [182]. Odpowiedni profil betonu, właściwa chropowatość powierzchni podłoża gwarantuje

zapewnienie niezawodności uszczelnienia wypełnienia przerwy dylatacyjnej. Niewystarczająca jakość podłoża jest przyczyną odspajania się materiału wypełniającego od betonu i w konsekwencji stanu awaryjnego, czyli zawodności w uszczelnieniu. Parametrem charakteryzującym powierzchnie betonu jest szorstkość (ang. *roughness*) [66], [118] i [200]. Odpowiednie uszorstwienie powierzchni wpływa na przyczepność do podłoża, której zadaniem jest mechaniczne połączenie się z istniejącym betonem, przy jednoczesnym wykorzystaniu porów i nierówności powierzchni betonu do klinowania. Zastosowanie obróbki mechanicznej polegającej na zwiększeniu powierzchni styku oraz na powiększeniu pola powierzchni kontaktu z nowym materiałem znacząco wpływa na jakość nowego połączenia [37].

Do oceny chropowatości powierzchni betonu stosowane są metody:

#### 1. Obliczeniowe

W prenormie [154] wymienione zostały dwa parametry służące do ilościowego określenia charakterystyki szorstkości powierzchni styku. Pierwszym z nich jest szorstkość średnia opisująca średnie odchylenie profilu powierzchni od linii średniej na danym odcinku oraz parametr tzw. „średnia wysokość od szczytu do doliny” opisujący średnie maksymalne odchylenia szczytu do doliny w pewnej liczbie przedziałów oceny. Metoda ta jest traktowana jako klasyfikacja uproszczona znajdująca zastosowanie w inżynierskiej praktyce projektowej. W tabeli 3.7 przedstawiono klasyfikację szorstkości powierzchni wg [154].

**Tabela 3.7.** Tabela klasyfikacji szorstkości powierzchni wg [154]

Kategoria powierzchni	Metoda obróbki powierzchni	Rt [mm]
Bardzo szorstka	np. obrabiana strumieniem wody pod wysokim ciśnieniem, nacinana	$\geq 3,0\text{mm}$
Szorstka	np. nieobrabiana, lekko chropowata	$\geq 1,5\text{mm}$
Gładka	np. piaskowana, czyszczona wodą pod strumieniem itp.	$< 1,5\text{mm}$
Bardzo gładka	np. betonowa w stalowej formie	Niemierzalne

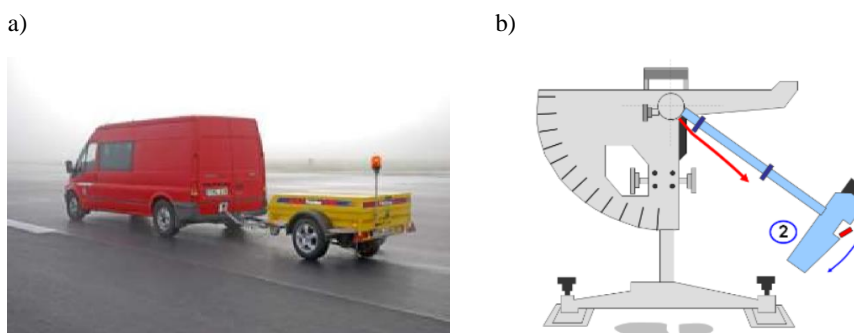
#### 2. Badawcze - „in situ”

Szorstkość betonu badana jest głównie na powierzchniach nawierzchni lotnisk i miejsc postojowych dla samolotów. Przeprowadza się ją za pomocą pojazdów testujących, tak jak pokazano to na rysunku 3.13.

Urządzenia testujące umożliwiają ciągły liniowy pomiar współczynnika tarcia pomiędzy nawierzchnią lotniskową (rys 3.13a), a wzorcowym kołem samolotu z prędkością 65 lub 95 km/h [66], [118] i [200].

Inną metodą pomiarów szorstkości jest metoda wahadła angielskiego [65], [78] i [184] (rys 3.13b). Pomiar wahadłem angielskim BSRT (*British Skid Resistance Tester*) pozwala

zasymulować warunki poślizgu opony samochodu o nawierzchnię drogową, przy prędkości 50km/h. Gumowe zakończenie wahadła, tzw. ślizgacz wyznacza wartość siły tarcia na badanej powierzchni.

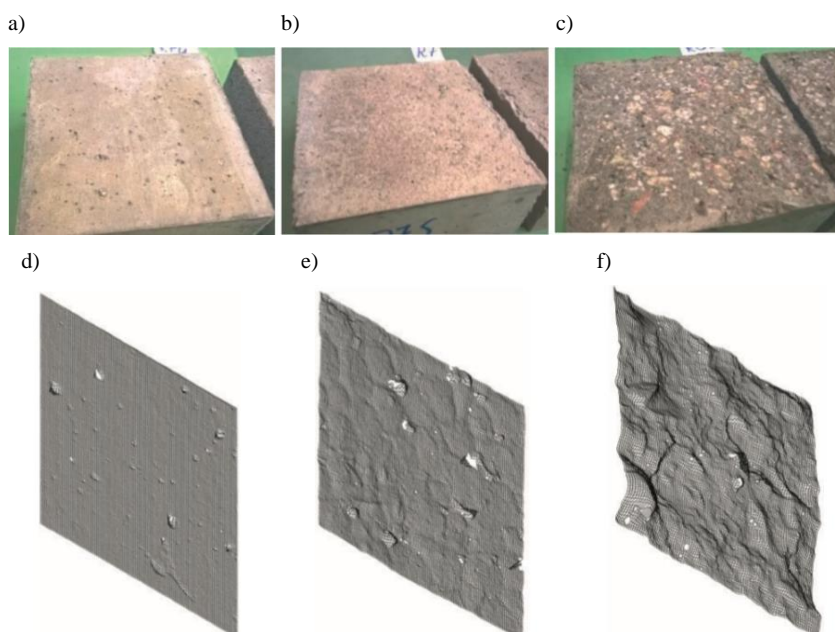


**Rys. 3.13.** Widok urządzeń pomiarowych do pomiarów szorstkości podłoża betonowego: a) przyczepa ASFT T-10 ciągnięta za pojazdem [66], b) urządzenie wahadła angielskiego [184].

Obowiązujące przepisy wymagają dokonywania pomiarów właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni autostrad. Badania polegają na pomiarze głębokości makrotekstry na następnie pomiary współczynnika tarcia [100], [133] i [200].

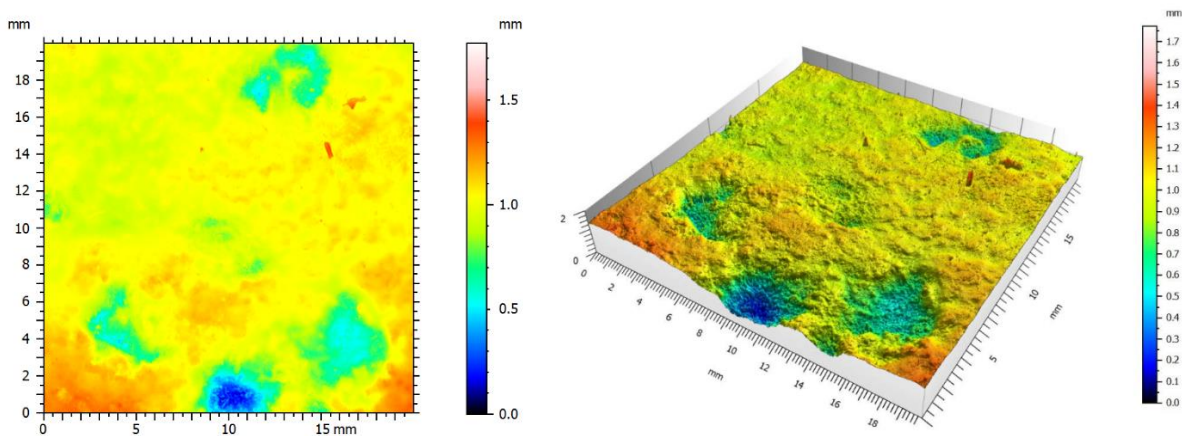
### 3. Pomiary powierzchni

Coraz częściej do badań szorstkości betonu [24] wykorzystuje się aparaturę elektroniczną umożliwiającą dokonywanie pomiarów powierzchni betonu na budowie. Do tego służą min skanery laserowe 3D [62], [170], [180] i [181]. Dzięki czemu przy odpowiedniej obróbce komputerowej i analizie morfologii powierzchni [26] uzyskać można postać wirtualnego modelu powierzchni 3D, tak jak pokazano to na rysunku 3.14.



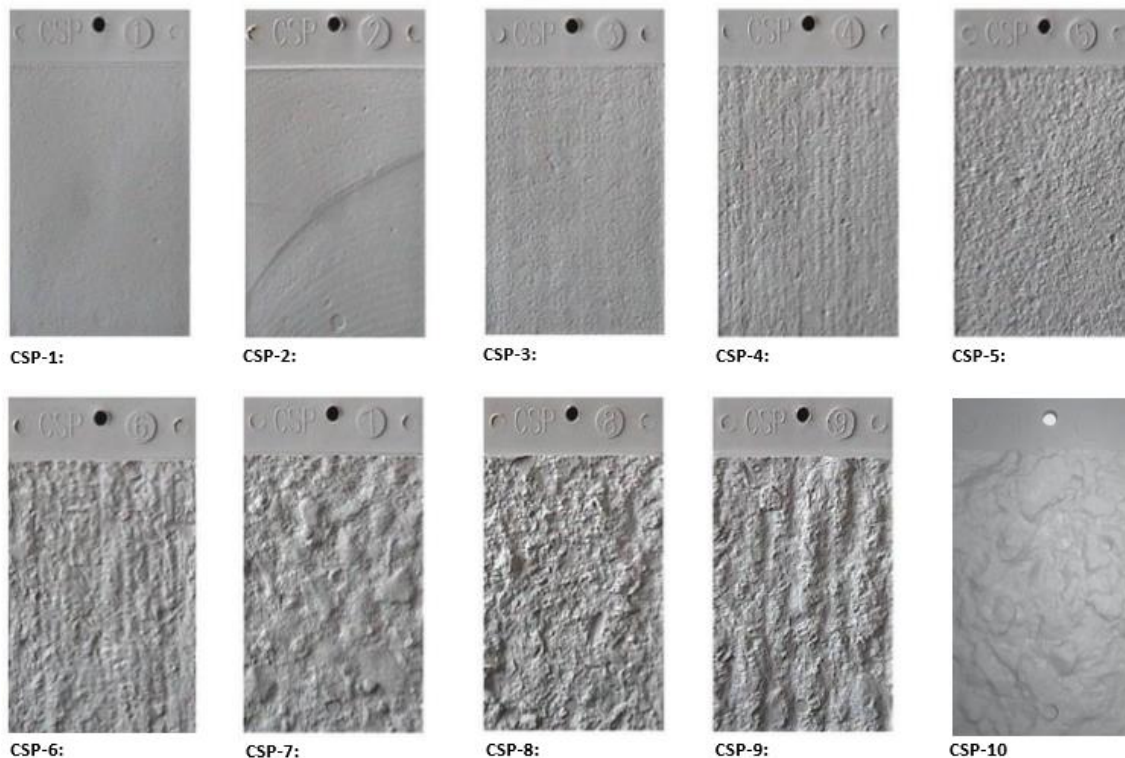
**Rys. 3.14.** Widok powierzchni betonu i odpowiadające im wyniki skanowania laserem 3D [36].

Po odpowiedniej obróbce komputerowej można uzyskać obrazy powierzchni 3D oraz cechy charakterystyczne wybranych przekrojów, tak jak pokazano to na rysunku 3.15.



**Rys. 3.15.** Widok: a) mapy konturowej powierzchni próbki betonu, b) obrazu izometrycznego dla powierzchni próbki betonu [87].

Wytyczne instytutu ICRI (International Concrete Repair Institute) [192] definiują 10 wzorców profili betonu. Każdy profil oznaczony jest numerem CSP od 1 (prawie gładki) do 10 (bardzo szorstki), tak jak pokazano to na rysunku 3.16.



**Rys. 3.16.** Wzorce profilu betonu wg ICRI [192]: CSP-1 - wytrawianie kwasem, CSP-2 - szlifowanie, CSP-3 - delikatne śrutowanie/ młotkowanie, CSP-4 - delikatne/średnie śrutowanie/delikatne frezowanie/ młotkowanie, CSP-5 - średnie śrutowanie / młotkowanie, CSP-6 - średnie frezowanie, CSP-7 - intensywne śrutowanie, CSP-8 - ociosywanie, CSP-9 - głębokie frezowanie, CSP-10 - ręczne śrutowanie a następnie obróbka strumieniowo-ścierna.

W tabeli 3.8 zaprezentowano wybór metody przygotowania podłoża betonowego w celu uzyskania określonego profilu powierzchni według [60].

**Tabela 3.8.** Wybór metody przygotowania podłoża betonowego w celu uzyskania określonego profilu powierzchni wg [60]

Metoda przygotowania podłoża betonowego	Profile powierzchni betonowej									
	CSP-1	CSP-2	CSP-3	CSP-4	CSP-5	CSP-6	CSP-7	CSP-8	CSP-9	CSP-10
Woda pod niskim ciśnieniem										
Szlifowanie										
Piaskowanie										
Śrutowanie										
Młotkowanie / Ociosywanie										
Frezowanie										
Ręczne śrutowanie i obróbka strumieniowo-ścierna										

W literaturze nie ma zamieszczonych informacji na temat badania chropowatości oraz badań profilu betonu w przerwach dylatacyjnych. Mała rozwartość szczelin uniemożliwia montaż i dostęp urządzeń pomiarowych.

W teoretycznych rozważaniach chropowatość rozpatrywana jest zazwyczaj w układach dwuwymiarowych i traktowana jako realizacja stacjonarnego procesu ergodycznego, a zakresy parametrów takich jak średnia arytmetyczna rzędnych profilu chropowatości  $R_a$ , średnia szerokość rowków elementów profilu chropowatości  $R_{sm}$ , czy całkowita wysokość profilu (między szczytem najwyższego wierzchołka, a najniższym zagłębieniem)  $R_t$ , definiuje norma do pomiaru chropowatości w układzie dwuwymiarowym PN-EN ISO 4287 [139]. Dla profili chropowatości istotne jest wprowadzenie średniej arytmetycznej rzędnych, gdyż określa ona wielkość nierówności z jakimi mamy do czynienia przy badaniu powierzchni. Natomiast średnia szerokość rowków istotna jest ze względu na określenie objętości pustek powietrznych w strukturze warstwy. Wysokość profilu pozwala określić granice rzeczywistej szczeliny między stykającymi się powierzchniami, wzajemną penetrację materiałów oraz ewentualną stabilność połączenia. Niektóre urządzenia do pomiaru chropowatości dają jednak możliwość wyznaczenia profilu 2D lub obszaru 3D oraz umożliwiają jednoczesną ocenę zarówno parametrów profilu, jak i stereometrycznych cech powierzchni. Innowacyjne przyrządy pomiarowe pozwalają na cyfrową rejestrację i prezentację danych przestrzennych, tj. rozkłady objętości wierzchołków, wgłębień, pola powierzchni elementarnych wierzchołków itd., umożliwiając pełniejszy opis powierzchni oraz dostosowanie ich do oczekiwań nauki i przemysłu. Wieczorkowski M. podkreśla jednak w swoich pracach, w tym w [202], iż

przenoszenie wyników pomiarów z metod liniowych na powierzchniowe obarczone jest pewnym błędem.

Trójwymiarowy pomiar struktury geometrycznej powierzchni pozwala opisać nierówności powierzchni – czyli całość odstępstw powierzchni rzeczywistej od powierzchni nominalnej [203], [204]. Parametry profilu określa się względem umownie przyjętej powierzchni odniesienia, która ma kształt profilu nominalnego i charakter linii średniej profilu pierwotnego powierzchni. W charakterze linii odniesienia przyjmowana jest linia średnia, dla profilu pierwotnego wyznaczona przez dopasowanie metodą najmniejszych kwadratów nominalnego kształtu do profilu pierwotnego. Parametry opisujące topografię powierzchni dzielone są na dwie grupy: związane z cechami i związane z obszarem. Parametry związane z cechami powierzchni definiuje się przy użyciu narzędzi rozpoznających poszczególne cechy, a proces ten przebiega na drodze wyboru cechy, segmentacji, określenia elementów znaczących i przypisania wartości liczbowej o charakterze statystycznym. Natomiast parametry określające topografię związane z obszarem dzieli się na: wysokościowe, częstotliwościowe, hybrydowe, oraz funkcje i parametry z nimi związane [202]. Podstawowa różnica między parametrami jest taka, że te związane z obszarem wykorzystują aparat statystyczny do powierzchni będącej chmurą punktów, natomiast związane z cechami wykorzystują ten aparat do pewnego podzbioru rozpatrywanej powierzchni.

W literaturze podjęto liczne próby wyjaśnienie wpływu modyfikacji struktury materiałów budowlanych na właściwości fizyczne i mechaniczne materiałów – w tym na chropowatość powierzchni [5], [12], [27]. Nie podjęto jednak dotychczas próby opracowania i opisanie metody obróbki powierzchni betonu w przerwach dylatacyjnych prowadzącej do zwiększenia przyczepności mechanicznej materiałów wypełniających do betonu. Narzędzia do przygotowania powierzchni betonu należy dobrać w taki sposób, aby przyczepność do podłoża żywic wypełniających w szczelinie przerwy dylatacyjnej była możliwie najwyższa. Stopień uszorstnienia wpływa istotnie na przyczepność do podłoża, której istotą jest mechaniczne klinowanie elementów składowych przy wykorzystaniu nierówności i mikro porów na powierzchni łączonych materiałów [36]. Wybrany sposób obróbki mechanicznej powierzchni, może prowadzić do zwiększenia pola powierzchni kontaktu i wpływać znacząco na zwiększenie naprężeń przyczepności betonów i materiałów wypełniających szczeliny przerwy dylatacyjnej, charakteryzujących się wysoką elastycznością. Należy wrócić jednak uwagę, iż agresywność zastosowanej metody obróbki i może wiązać się z powstawaniem mikropęknięć i uszkodzenia przypowierzchniowej warstwy betonu [207]. W badaniach prowadzonych w skali



makro metodami pull-off [127], wykazano korzystny wpływ wzrostu stopnia uszorstnienia na przyczepność w przypadku podkładów wykonanych z betonów wyższych klas natomiast odwrotny trend z uwagi na powstanie większych mikropęknięć na skutek zastosowania agresywnych metod obróbki podłoża obserwuje się w przypadku niższych klas betonu pierwotnego [10], [19].

W opracowaniu [173] przedstawiono rezultaty nieniszczących badań chropowatości betonu w modelu przerwy dylatacyjnej. Badaniom poddano próbki betonowe z trzema wariantami przygotowania podłoża betonowego, a mianowicie powierzchnia nieoczyszczona, powierzchnia ręcznie oczyszczona i powierzchnia czyszczona mechanicznie. Następnie przeprowadzono badanie przestrzennej struktury geometrycznej powierzchni próbek z wykorzystaniem pomiaru metodą nieniszczącą profilometrem skaningowym optycznym. Pozwoliło to na wykonanie pomiarów geometrii, profilu i chropowatości. Następnie wykonano analizę cech powierzchni i przedstawiono je w formie histogramów, krzywych udziału materiału Abotta-Firestona oraz profili mikronierówności powierzchni na podstawie dwóch wybranych płaszczyzn tnących. Wyznaczono również parametry określające topografię powierzchni [56] związane z obszarem: wysokościowe, częstotliwościowe, hybrydowe, oraz funkcje i parametry z nimi związane. Na podstawie otrzymanych profili powierzchni określone zostały parametry charakteryzujące kształt i wymiary mikronierówności. Następnie przeprowadzono szczegółowe pomiary morfometrycznych, profili geometrycznych, chropowatości i analizy poziomu falistości powierzchniowych oraz przestrzennych lokalizacji tych parametrów. Badania jednoznacznie wykazały, iż rezultaty badania powierzchni betonu przygotowanej mechanicznie są znacznie wyższe od wyników badań powierzchni betonu nieczyszczonego i betonu czyszczonego ręcznie. Uzyskano ciekawe rezultaty, które są istotne z punktu widzenia praktyki budowlanej.

### **3.7. Stan zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża betonowego w przerwach dylatacyjnych**

Przerwy dylatacyjne, głównie w podziemnych częściach budynków, ze względu na uszkodzenia izolacji, czy innych zabezpieczeń przeciwwodnych, narażone są na czasowe lub permanentne działanie wody. Woda do konstrukcji może przedostawać się z gruntu lub pochodzić z opadów atmosferycznych, które mogą prowadzić do zalewania elementów konstrukcji w sposób bezpośredni, jak np. pokrycie dachu lub w sposób pośredni takich jak niewłaściwie wykonane izolacje, odwodnienia, czy uszkodzenia w pokryciach dachowych.

Woda, która dociera do wnętrza przerw dylatacyjnych może również pochodzić np. z sieci instalacyjnych, awarii instalacji, zalewania pomieszczeń. Woda i przenoszone przez nią różne związki, bezpośrednio oddziałują na urządzenia i wypełnienia znajdujące się w przerwach dylatacyjnych. Wytwarzane przez wodę środowisko ma wpływ na niezawodność uszczelnień wykonanych na etapie budowy jak i na przeprowadzane naprawy uszczelniające przecieki wody przez przerwy dylatacyjne. Woda działa negatywnie nie tylko na materiały budowlane i elementy konstrukcji [119]. Długotrwałe zawilgocenie pomieszczeń prowadzi do rozwoju korozji biologicznej [3], [21], [47], [52], [55], [67], [176], [189], [198]. Pojawiają się wówczas różnego rodzaju grzyby i pleśnie, glony i porosty. Korozja biologiczna ma destrukcyjny wpływ nie tylko na elementy konstrukcji, ale także nie pozostaje bez wpływu na użytkowników przebywających w porażonych lokalach [29], [165]. Z kolei zawilgocony beton ulega przyspieszonemu niszczeniu na skutek cyklicznego zamrażania i odmrażania wody zawartej w porach i kapilarach. Zjawisko to jest szczególnie widoczne na zewnątrz obiektu, w przyziemiu i w miejscach, gdzie dochodzi do kontaktu wody z materiałem betonowym. Zawilgocenie materiałów [109] powoduje również przyspieszenie korozji chemicznej elementów stali zbrojeniowej [205]. Dodatkowo woda może nieść ze sobą niszczące sole, które są przyczyną korozji chemicznej betonu [41], [47], [52], [55], [67], [196], [201]. Skutki trwałego lub czasowego zawilgocenia powoduje starzenie elementów konstrukcji, obniża ich trwałość i podwyższa koszty remontów.

Beton należy do materiałów o małej nasiąkliwości [125] (klasa betonu np. C 30/37, wodoszczelność W8, mrozoodporność F 150 i nasiąkliwość do  $\leq 5,0\%$  lub nawet  $\leq 4,0\%$  najczęściej dla obiektów kolejowych [130]). Pomimo tego woda może wnikać w strukturę elementów konstrukcji betonowych [132], [134]. Beton nasiąknięty wodą jest bardziej podatny na uszkodzenia chemiczne (łatwiejsze wnikanie dwutlenku węgla, przenikanie chlorków) [199], jak i na uszkodzenia mechaniczne spowodowane przez działanie temperatur i częstego przechodzenia przez wartość „0 stopni Celsjusza”, czyli schładzania i rozgrzewania powierzchni [196]. Zgromadzona w strukturze betonu woda, w momencie zamrażania może doprowadzić do osłabienia, a następnie do rozwarstwienia i łuszczenia się betonu.

Przerwa dylatacyjna poddana działaniu wody ulega degradacji. Beton ścianek bocznych w przerwach dylatacyjnych ulega wtedy ciągłemu niszczeniu. Problematyczny jest fakt, że w większości przypadków przerwy dylatacyjne są pozamykane i nie ma możliwości obserwacji stanu betonu oraz oceny jego stopnia zniszczenia.

Zgodnie z normą [130] warunki środowiska określa się za pomocą tzw. klas ekspozycji, w których wskazane są środowiska zawilgocenia betonu, tak jak pokazano to w tabeli 3.9. Na podstawie tej tabeli można przyjąć następujące, podstawowe stany betonu [46] jakie mogą uzyskać ścianki boczne w przerwie dylatacyjnej w wyniku działania wody:

- stan suchy;
- stan wilgotny;
- stan mokry.

**Tabela 3.9.** Opis klas ekspozycji wg normy [130]

Oznaczenie klasy ekspozycji	Opis środowiska Przykłady występowania klas ekspozycji
Korozja wywołana karbonatyzacją XC	
XC1	<b>Suche</b> Beton wewnątrz budynków o niskiej wilgotności powietrza lub stale zanurzony w wodzie
XC2	<b>Stale mokre</b> Powierzchnie betonu narażone na długotrwały kontakt z wodą (np. fundamenty)
XC3	<b>Umiarkowanie wilgotne</b> Beton wewnątrz budynków o umiarkowanej wilgotności powietrza lub na zewnątrz osłonięty przed deszczem
XC4	Cyklicznie mokre i suche Powierzchnie betonu narażone na kontakt z wodą, ale nie jak w klasie XC2

Woda również może przenosić ze sobą różnego rodzaju związki, drobne frakcje gruntu, sole i inne chemiczne i biologiczne czynniki. W wyniku braku lub nieszczelnej izolacji działająca, agresywna woda może bezpośrednio uszkadzać i zanieczyszczać beton w szczelinach przerw dylatacyjnych. Najczęściej spotykanym w budynkach zjawiskiem są wycieki wody z bentonitem [16], [17], [96]. Wynika to z faktu, że coraz częściej stosowane są maty bentonitowe jako hydroizolacje płyt dennych i ścian fundamentowych [18], [48], [163], [206]. Przepływająca woda przez przerwy dylatacyjne niesie ze sobą drobiny łąw bentonitowych, przez co specyficznie zanieczyszcza powierzchnie boczne betonu w przerwach dylatacyjnych.

Przerwy dylatacyjne wykazują zawodność uszczelnień wynikające z braku lub źle funkcjonujących izolacji zewnętrznych. Woda gruntowa lub opadowa przedostaje się przez nieszczelne taśmy uszczelniające lub izolacje powierzchniowe do wnętrza obiektów budowlanych. Zdarza się też, że woda pojawia się okresowo np. w wyniku po intensywne opadach lub w wyniku zmian poziomu wód gruntowych. W takich przypadkach wycieki wody do budynków pojawiają się okresowo.

### 3.7.1. Stan suchy

W przypadku poprawnego wykonania izolacji budynku oraz zabezpieczeń przeciwwodnych problem z przeciekami wody w przerwach dylatacyjnych nie występuje. Przyjmuje się zatem, że zastosowane zabezpieczenia spełniają warunek niezawodności uszczelnienia. Powierzchnia betonu w szczelinie przerwy dylatacyjnej pozostaje w stanie powietrzno-suchym.

### 3.7.2. Stan wilgotny

Przerwy dylatacyjne w związku z zawodnością uszczelnienia są zasilane wodą opadową lub gruntową, która przecieka przez nieszczelne taśmy zewnętrzne, uszkodzone lub niewłaściwie wykonane izolacje przeciwwilgociowe. Woda wprowadzona do szczeliny przerwy dylatacyjnej zawilgaca powierzchnie boczne betonu. Stopień zawilgocenia może się zmieniać na długości planowanego uszczelnienia przerwy dylatacyjnej. Wilgotne powierzchnie narażone są stale lub okresowo na działanie wody. W przypadku, gdy przerwa dylatacyjna jest zamknięta np. elastyczną masą zamykającą każdorazowe przedostanie się wody do szczeliny powoduje zamoczenie i zawilgocenie betonu na bocznych powierzchniach w przerwie dylatacyjnej [82]. Do kryterium wilgotności podłoża bardzo rygorystycznie podchodzą normy i wytyczne niemieckie. W wypadku jastrychów cementowych pływających i na warstwie rozdzielającej wymagana jest wilgotność masowa nieprzekraczająca 2% [209]. Wytyczne GDDKiA wskazują możliwość zastosowania materiałów żywicznych na powierzchniach o wilgotności do 4% [42], [43].

### 3.7.3. Stan mokry

Przerwy dylatacyjne, głównie te, które zlokalizowane są pod poziomem terenu, są narażone stale na działanie wody gruntowej. W przypadku utraty niezawodności uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w postaci nieszczelności taśm zewnętrznych dylatacyjnych lub niewłaściwie wykonanych izolacji zewnętrznych przeciwwodnych woda może wnikać do dylatacji i stale powodować wycieki. Permanentne zaleganie wody w przerwach dylatacyjnych lub stałe wycieki wody prowadzą do uzyskania stale mokrej powierzchni ścian bocznych w szczelinach przerwy dylatacyjnej.

### 3.7.4. Stan zanieczyszczony bentonitem

Stały rozwój technologii izolacji przeciwwodnych doprowadził do wprowadzenia na rynek produktów izolacyjnych na bazie bentonitu. Bentonit jest to osadowa skała ilasta składająca się głównie z montmorylonitu, przybiera barwę białą, żółtą lub inną. Powstaje w wyniku przeobrażenia szkliwa wulkanicznego z popiołów i tufów wulkanicznych zachodzącego w wodzie morskiej [187]. Ma silne właściwości absorpcyjne. Na rynku budowlanym można spotkać bentonit wapniowy, sodowy i potasowy. Bentonit jako samodzielny składnik może pełnić różne funkcje i jest stosowany np. do płuczki wiertniczych, jako plastyfikator, wypełniacz polimerów, uszczelniacz, stabilizator zawiesin, dodatek do profilaktycznych profili uszczelniających lub jako wypełniacz izolacyjnych mat bentonitowych. Niezwykle istotną właściwością bentonitów jest zdolność do pęcznienia w warunkach dostępu wilgoci – w środowisku wodnym bentonity mogą zwiększyć swoją objętość nawet kilkunastokrotnie. Szczególną zdolnością adsorpcji wody odznacza się Namontmorillonit, a więc bentonit sodowy, znacznie mniejszą z kolei Ca-montmorillonit – bentonit wapniowy [11], [53], [194]. Zdolność pęcznienia wykorzystywana jest w izolacyjnych matach bentonitowych oraz w taśmach pęczniących stosowanych w budownictwie w podziemnych jego częściach jako izolacja przeciwwodna [126], [131]. Woda gruntowa lub opadowa stykająca się lub przepływająca w sąsiedztwie izolacji betonitowych może wypłukiwać ilaste, drobne frakcje bentonitu. Woda z bentonitem daje charakterystyczne lepkie, lekko oleiste w dotyku odczucie. Zanieczyszczona bentonitem woda może wnikać w szczeliny przerw dylatacyjnych i wyciekać w podziemnych częściach budynków. Woda z bentonitem tworzy na powierzchni betonu charakterystyczny film wodny całkowicie odmienny dla typowego zawilgocenia wodą gruntową, czy opadową.

W literaturze nie napotkano na informacje na temat badań stopnia zawilgocenia betonu w szczelinach przerw dylatacyjnych ani analiz wpływu środowiska bentonitowego na żywiczne materiały uszczelniające.

### 3.8. Analiza wytrzymałościowa – rozciąganie osiowe

Przerwy dylatacji konstrukcji budowlanych przemieszczają się w różnych kierunkach. Najczęściej spotykany kierunek przemieszczeń, to kierunek prostopadły do krawędzi dylatacji. W zależności od zmian temperatur otrzymujemy otwieranie, rozszerzanie się szczeliny

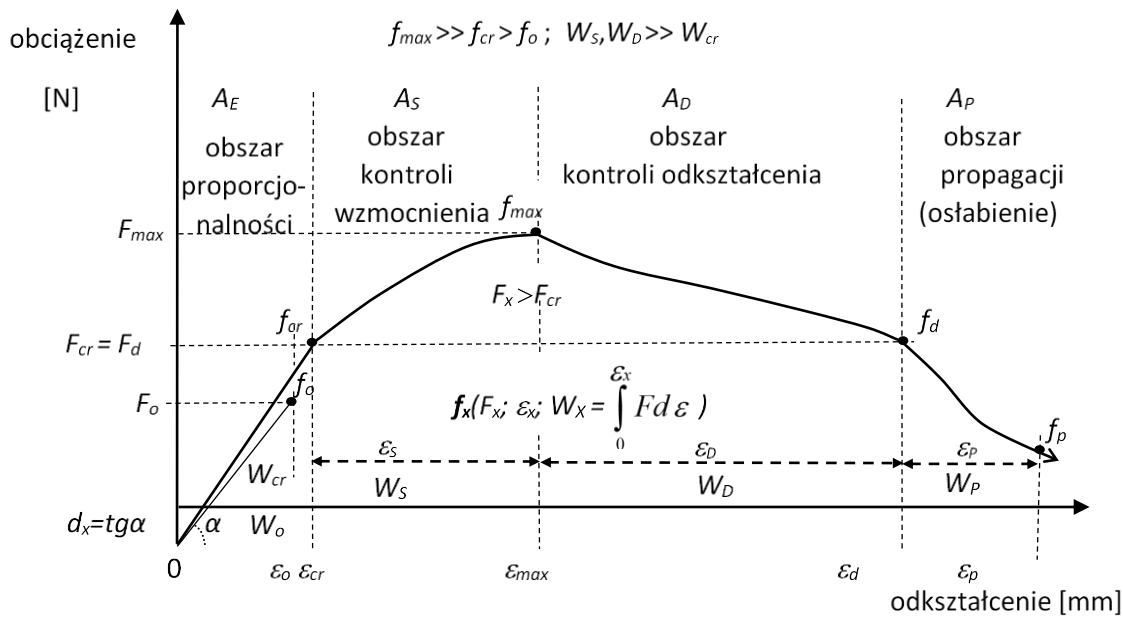
dylatacyjnej lub zwięźanie, zamykanie [2], [58], [91], [92]. Zwiększenie rozwartości szczeliny w przerwie dylatacyjnej ma bezpośredni wpływ na rozciąganie materiału wypełniającego przerwę dylatacyjną, a przekroczenie wartości wytrzymałości materiału wypełniającego prowadzi do jego nieodwracalnych uszkodzeń skutkujących utratą niezawodności w uszczelnieniu. Rozszerzanie się szczeliny dylatacyjnej może również powodować odrywanie się materiału wypełniającego od powierzchni betonu (rysunek 1.2d oraz rysunek 3.7), co w konsekwencji prowadzi do wycieków wody, czyli utraty szczelności.

W licznych opracowaniach zwrócono uwagę na zależność właściwości fizyko-mechaniczne badanych żywic od temperatury otoczenia [32], [34], [151]. Rozbieżność uzyskiwanych wyników wiązało się również z wpływem adhezji - przyczepności żywic do materiałów [172]. Stwierdzono znaczący wpływ wilgotności podłoża na wyniki badań, co wymusza ścisłą kontrolę warunków wykonywania testów [84], [85], [149]. Z przeglądu literatury wynika, że badania żywic [79] wykonywane są na różnych stanowiskach badawczych [28], [59], [86], co wskazuje na potrzebę modyfikacji norm, do zakresu przeprowadzanych badań. Brak znormalizowanych procedur, uwzględniających możliwość oceny właściwości, uniemożliwia porównywania wyników uzyskiwanych w różnych ośrodkach badawczych [6], [39], [145]. Materiały wykazujące elastyczność [135], [142] poddawane są badaniom [140], [141], dzięki którym można uzyskać wyniki maksymalnego wydłużenia danego materiału lub maksymalnej siły zrywającej. Istnieje wiele norm umożliwiających przeprowadzenie podstawowego badania dla materiałów elastycznych jakim jest rozciąganie osiowe [102], [103], [105], [106], [108], [110], [112], [114], [116], [117] i [143].

W opracowaniach [188], [210] analizowano krzywe uzyskane w statycznej próbie rozciągania z uwzględnianiem wieloosiowego stanu naprężeń i odkształceń materiałów elastycznych. W opracowaniach nie omawiano wypełnień przerw dylatacyjnych w tym i ich przyczepności do podłoża betonowego. Z kolei w opracowaniu [83] przedstawiono metodykę badań podkładek elastomerowych [122], [123], [124] w złożonych stanach odkształcenia według wymagań normowych. Autorzy zaprezentowali projekt budowy nowoczesnego stanowiska do badań elastomerów na rozciąganie w stanie dwuosiowym, wykraczający poza zakres stosowania istniejących norm. Przeprowadzane badania nie można zaadaptować do oceny właściwości mechanicznych pseudo plastycznych żywic do wypełnień dylatacji w tym i ich przyczepności do podłoża betonowego. Proponowany w licznych normach i opracowaniach [69], [88], [89], [90], [104], [113] sposób przeprowadzenia badań i oceny zdolności do odkształceń dedykowany quasi kruchym kompozytom cementowym [190], nie

jest wystarczający do oceny właściwości mechanicznych pseudo plastycznych żywic - pracujących jako wypełnienia dylatacji. W opracowaniach [88], [90], [104] wprowadzono sposób oceny quasi kruchych kompozytów cementowych typu ESD (ang. *E-elastic deformation, S-strengthening, D-deflection control*). Na rysunku 3.17 przedstawiono wykres naprężenie-odkształcenie materiałów kompozytowych i elementów konstrukcyjnych w dowolnym przypadku obciążeń przy rozciąganiu wg [88]. W opracowaniu [88] omówiono poszczególne charakterystyczne obszary oraz potwierdzono, iż w obszarze obowiązywania prawa Hooke'a [4], zależność obciążenie-odkształcenie jest proporcjonalne. Po przekroczeniu punktu krytycznego  $f_{cr}$  występuje nieproporcjonalny obszar wzmocnienia, w którym absorbowana jest znaczna ilość energii, dzięki zdolności do przenoszenia większych naprężeń, niż w obszarze proporcjonalności - aż do wystąpienia maksymalnego obciążenia. W obszarze kontroli odkształcenia, postępuje dalsze odkształcenie struktury, przy zdolności do przenoszenia naprężeń większych niż te, które występują w obszarze proporcjonalności - umożliwiając absorbowanie kolejnej porcji energii, dodatkowo ograniczając katastroficzny proces niszczenia. Obszar propagacji (osłabienia) nie jest tak istotny, jak wzmocnienia i kontroli odkształcenia, ale również umożliwia absorbowanie kolejnej porcji energii oraz kontrolę procesu odrywania się próbki od powierzchni betonu, co jest wykorzystywane w wyznaczaniu znormalizowanej wytrzymałości resztkowej [99]. W opracowaniu tym przedstawiono możliwość oceny właściwości mechanicznych materiałów na podstawie zależności naprężenie – odkształcenie w dowolnym przypadku obciążeń zapisują wartości (siły, odkształcenia oraz absorbowanej energii), lecz nie zawarto informacji odnośnie zmian rozwartości szczelin w przerwach dylatacyjnych przy osiowym rozciąganiu.

W opracowaniu [91] autorzy zaprezentowali metodykę badań właściwości mechanicznych pseudo plastycznych żywic ESD, zalecanych do wypełnień połączeń w konstrukcjach betonowych. Zasugerowano ocenę uzyskiwanych wyników, w odniesieniu do próbki porównawczej. Zaprezentowano stanowisko badawcze oraz sposób oceny rezultatów właściwości mechanicznych (w tym i przyczepności do podłoża betonowego) pseudo plastycznych żywic, w badaniu osiowego rozciągania.



**Rys. 3.17.** Wykres zależności naprężenie-odkształcenie materiałów kompozytowych i elementów konstrukcyjnych w dowolnym przypadku obciążeń przy rozciąganiu wg [88].

W opracowaniu [91] wskazane są żywice wypełniające przerwy dylatacyjne, lecz nie ma nie ma zawartych informacji odnośnie sposobów przygotowania podłoża w przerwach dylatacyjnych przy prowadzonych pracach naprawczych.

### 3.9. Identyfikacja materiału wypełniającego szczelinę w przerwie dylatacyjnej

Materiał służący do wypełnienia szczeliny przerwy dylatacyjnej musi charakteryzować się zdolnością do przenoszenia znacznych naprężeń wynikających z pracy dylatacji. Cykliczne ruchy zwięzania i rozszerzania się szczeliny przerwy dylatacyjnej wymuszają odpowiednio ściskanie lub rozciąganie materiału wypełniającego. W opracowaniu [197] autorzy przedstawili próbę identyfikacji modelu materiału żywicznego uszczelniającego przerwy dylatacyjne w konstrukcjach żelbetowych. Analizom poddano żywicę jedno komponentową na bazie poliuretanu, która wykorzystywana jest między innymi do uszczelnień pęknięć i pracujących połączeń konstrukcji żelbetowych. Wykazano, że względu na fizyczną nieliniowość badanej żywicy, że w analizie MES należy przyjmować modele materiałów hipersprężystego. Dokonano identyfikacji modelu materiału wypełniającego szczelinę przerwy dylatacyjnej na podstawie wyników osiowego rozciągania. Zasymulowano numerycznie zachowanie takiego materiału. Przeprowadzone analizy pozwoliły na oszacowanie stałych modelu hipersprężystego.



W opracowaniu [197] omówiono materiał wypełniający oraz opisano model przerwy dylatacyjnej poddanej rozciąganiu.

W opracowaniu [179] autorzy scharakteryzowali materiał hiperelastyczny i określili odpowiednią funkcję energii odkształcenia (SEF) dla gumy. W celu oceny odpowiednich SEF przeprowadzono testy jednoosiowe i wolumetryczne wraz z testami rozciągania dwuosiowego i płaskiego. Wybrano model Yeoha, ze względu na jego zdolność do dopasowywania eksperymentalnych danych naprężenie-odkształcenie w programie ABAQUS [1] przy małych i dużych wartościach odkształcenia.

W opracowaniu [183] autorzy przedstawili klejone połączenia między panelami szklanymi, a metalowymi strukturami je podpierającymi w konstrukcjach fasad, stanowiącą atrakcyjną alternatywę dla innych sposobów zamocowań. Do analiz przyjęto masy silikonowe, które są zwykle stosowane w tego rodzaju układach ze względu na ich doskonałą przyczepność do szkła i wyjątkową odporność na wpływy środowiska i starzenie. Do weryfikacji wypełnionego połączenia zastosowano nieliniową symulację numeryczną MES [49], [50]. W opracowaniu przedstawiono przegląd dostępnych kryteriów zniszczenia materiałów gumopodobnych. Zastosowanie tych kryteriów do masy silikonowej zostało zweryfikowane w odniesieniu do trzech charakterystycznych stanów naprężenia: jednoosiowego rozciągania, ścinania i ściskania.

Z kolei w opracowaniu [33] autorzy przedstawili połączenie konstrukcji z elementem szklanym. Połączenie wypełnione elastyczną masą znacznie lepiej redystrybuuje naprężenia powstające w płycie szklanej niż zwykle połączenie mechaniczne z konstrukcją. W opracowaniu przeanalizowano różne kleje strukturalne powszechnie stosowane i dobrano do nich odpowiednie modele hiperelastyczne na podstawie obliczeń programem ABAQUS [1]. Przedstawiono porównanie mas żywicznych na bazie silikonu, poliuretanu, akrylu i epoksydu.

W pracy [71] analizowane są izotropowe materiały sprężyste w klasie modeli hipersprężystych, dla których zakłada się istnienie dodatniej funkcji jednostkowej energii sprężystości (JES) i stanu naturalnego ciała. Rozpatruje się dowolne deformacje ciała dla dużych odkształceń i skończonych obrotów cząstek ciała oraz procesy, w których nie uwzględnia się efektów termicznych. Głównym celem było wskazanie i zaproponowanie najprostszych możliwych modeli hipersprężystości dla wybranych grup materiałów o wspólnych cechach, które zgodne są z wynikami badań doświadczalnych. Zapostulowane modele materiałów opisuje się, wykorzystując procedury użytkownika UHYPER w systemie metody elementów skończonych ABAQUS [1].

W opracowaniu [38] omówiono zastosowanie modeli hipersprężysto-plastycznych w statycznej próbie rozciągania pręta o przekroju kołowym. Zamieszczono wyniki badań doświadczalnych oraz rozwiązania analityczne zagadnienia brzegowego, gdzie efektywnie stosuje się metodę elementów skończonych (MES) i program ABAQUS [1]. Celem tej pracy było porównanie rozwiązań MES zagadnienia rozciągania pręta przy zastosowaniu dwóch różnych modeli hipersprężysto-plastycznych opisujących duże deformacje oraz modeli dostępnych w systemie ABAQUS [1].

W pracy [70] autorzy szeroko omawiają zastosowanie i implementację numeryczną MES w programie ABAQUS [1] wybranych modeli konstytutywnych materiałów sprężysto-plastycznych przy dużych deformacjach, głównie dla metali. Szczegółowo przeanalizowane zostały podstawowe założenia teorii plastyczności z uwzględnieniem dużych deformacji w zakresie kinematyki ciała oraz relacji konstytutywnych w stanach sprężystym i plastycznym. Zaprezentowano również podstawowe testy numeryczne, które potwierdzają poprawność implementacji numerycznej modelu Simo w programie ABAQUS [1].

W rozprawie doktorskiej [31] przeprowadzono eksperymentalne i numeryczne analizy efektywności zastosowania nowego materiału polimerowego jako materiału do łożysk wibroizolacji sejsmicznej. Analizowany w pracy materiał jest polimerem poliuretanowym, który dzięki specjalnie dobranym dodatkom cechuje się zwiększonym tłumieniem. Przeprowadzono dokładną nieliniową analizę numeryczną MES zachowania się modelu rzeczywistej konstrukcji stalowej, z wibroizolacją oraz bez niej, poddanej różnym wymuszeniom sejsmicznym i parasejsmicznym. Na podstawie wcześniejszych badań eksperymentalnych (próba statycznego ściskania oraz rozciągania), wyznaczono stałe materiałowe pięcioparametrowego modelu Mooney'a-Rivlin'a dla analizowanego polimeru.

Z kolei w opracowaniu [22] przeprowadzono badania eksperymentalne materiałów elastomerowych charakteryzujących się nieściśliwością i bardzo dużą odkształcalnością. Określono parametry materiałów hiperelastycznych stosowanych do produkcji ścieżek elastomerowych dla pojazdów przemysłowych. Parametry te zostały wykorzystane do zdefiniowania modeli materiałów hiperelastycznych (Mooney-Rivlin) zastosowanych do obliczeń. Wyniki uzyskane na drodze obliczeń numerycznych MES dla różnych modeli porównano z próbką materiału pracującą w identycznych warunkach obciążenia.

W opracowaniach [22], [31], [33], [38], [70], [71], [179], [183] nie napotkano na informacje odnośnie do analizy, określenia modeli i ich parametrów dla materiałów wypełniających przerwy dylatacyjne.

### 3.10. Podsumowanie przeglądu literatury

Przedstawiony przegląd i analiza literatury, zdaniem autora, pokazuje znaczny potencjał badawczy jaki mają przerwy dylatacyjne. Występują one niemal na każdym większym obiekcie i wymagają staranności w wykonaniu oraz właściwych kształtów. Jako element konstrukcji przerwy dylatacyjne pełnią istotną funkcję w kształtowaniu budowli i połączeń między nimi. Głównym problemem kształtowania konstrukcji budowlanych jest właściwe zaprojektowanie układu i rozmieszczenia przerw dylatacyjnych. Istniejące normy w sposób ogólny narzucają rozstawy przerw dylatacyjnych i wskazują ich rozwartość.

Dokonany przegląd literatury wskazał szeroki zakres problematyki związanej z tematem uszczelnienia przerw dylatacyjnych, lecz w zakresie napraw wycieków wody przez przerwy dylatacyjne praktycznie dostępnych jest tylko kilka pozycji [64], [75], [162], [174], [175]. Zauważalny jest brak podstawowych wytycznych i norm dotyczących wykonywania napraw w przerwach dylatacyjnych, a dotyczących:

- przygotowania powierzchni betonu, bowiem ogólnodostępne techniki przygotowania powierzchni betonu [25], [54], [60], [77], [159] nie mogą być zastosowane w szczelinach przerw dylatacyjnych;
- wyznaczania stanu zawilgocenia betonu, bowiem brak jest regulacji w zakresie zawilgocenia powierzchni betonu w szczelinach przerw dylatacyjnych;
- wybór materiału wypełniającego, bowiem brak jest regulacji w tym zakresie.

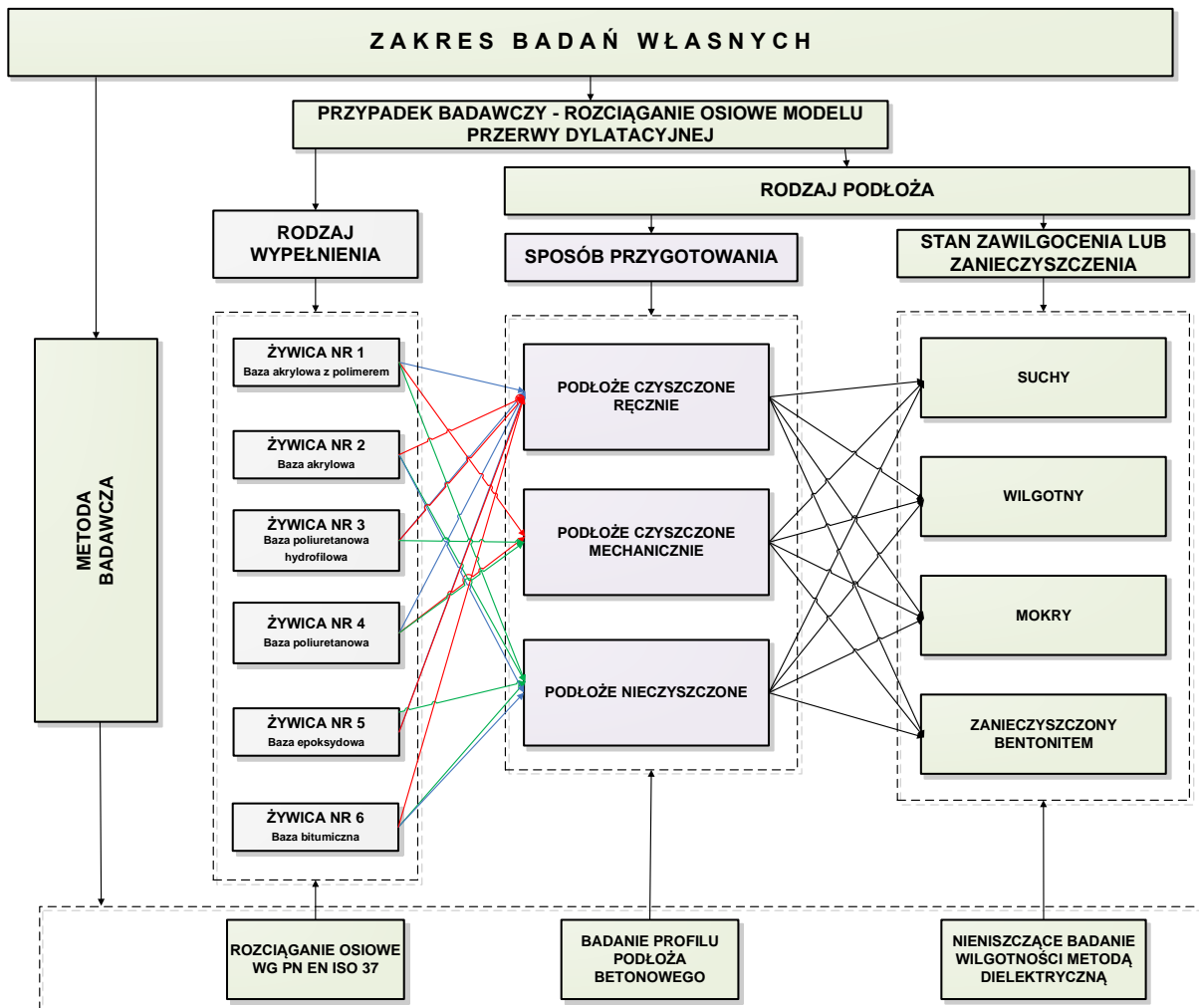
Osoby potrzebujące wykonać naprawę wycieków wody z przerwy dylatacyjnej nie mają możliwości uzyskania niezbędnej wiedzy z literatury. Bazują, w większości przypadkach, na własnych doświadczeniach, próbach i testach, a także na uwagach i wskazówkach otrzymywanych od doradców technicznych producentów chemii budowlanej.

Biorąc pod uwagę przedstawione powyżej informacje, stwierdzono, że ocena wpływu rodzaju podłoża i wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerw dylatacyjnych w konstrukcjach żelbetowych wymaga szczegółowej analizy i przeprowadzenia stosownych badań.

#### 4. ZAKRES BADAŃ WŁASNYCH I STOSOWANA W PRACY METODYKA

Zakres przeprowadzonych badań własnych obejmuje sześć żywic uszczelniających, które są stosowane do napraw przerw dylatacyjnych. Żywice różnią się bazą materiałową, składem chemicznym, parametrami technicznymi i stanowią reprezentatywną próbę dostępnych na rynku budowlanym tego typu wyrobów budowlanych. Każda z żywic reagując, utwardza się i wiąże do postaci trwale elastycznej masy, która pod wpływem cyklicznej pracy elementów konstrukcji powinna rozciągać się lub ścisnąć w zależności od zmian rozwartości przerwy dylatacyjnej. Metodą badawczą jaką wykorzystano do badania żywic uszczelniających w dylatacji była próba rozciągania osiowego modelu przerwy dylatacyjnej wypełnionej każdą z żywic z osobna.

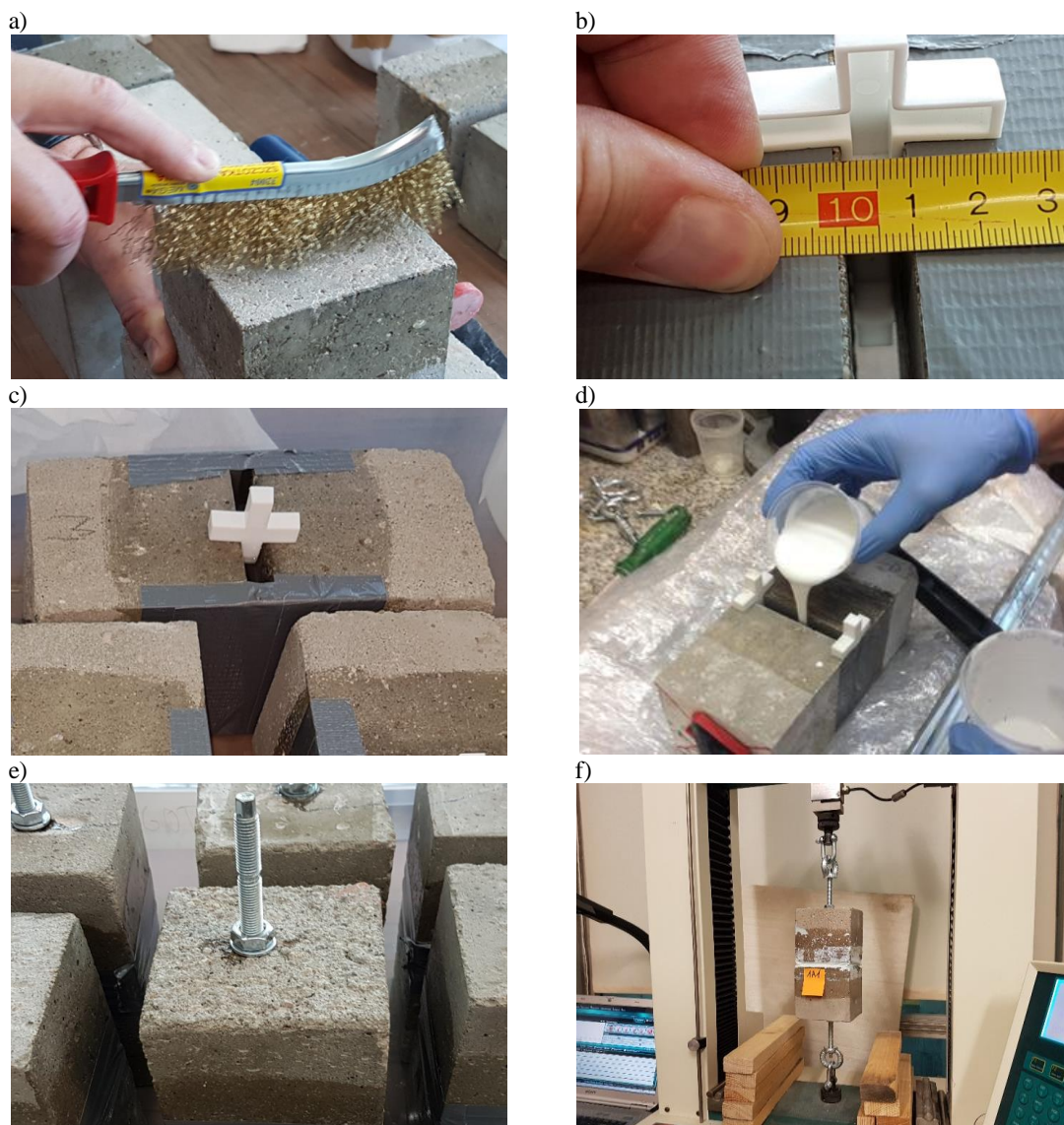
Na rysunku 4.1 przedstawiono schematycznie zestawienie przypadków badawczych, metod badawczych, wypełnienia przerwy dylatacyjnej i rodzaju podłoża betonowego.



Rys. 4.1. Zestawienie przypadków badawczych, metod badawczych, wypełnienia przerwy dylatacyjnej i rodzaju podłoża.

#### 4.1. Przygotowanie modelu przerwy dylatacyjnej

Do badań przygotowano model przerwy dylatacyjnej, w którym wykorzystano próbki betonowe klasy C37 o wymiarach 100×100×100 mm. Przygotowanie modelu przerwy dylatacyjnej polegało na ułożeniu równoległe do siebie w odległości 10 mm dwóch próbek betonowych. Odległość 10 mm determinuje przerwę dylatacyjną przygotowaną do wypełnienia badanymi żywicami. Etapy przygotowania modelu przerwy dylatacyjnej do badań przedstawiono na rysunku 4.2.



**Rys. 4.2.** Etapy przygotowania modelu dylatacji do badań: a) określenie rodzaju podłoża poprzez przygotowanie powierzchni betonu, b) wytworzenie przerwy między próbkami betonowymi, c) oklejenie styku próbek betonowych za pomocą taśmy oraz określenie rodzaju podłoża poprzez wymuszenie stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia w szczelinie modelu przerwy dylatacyjnej, d) wypełnienie przerwy dylatacyjnej materiałem żywicznym, e) przygotowanie uchwytów do mocowania w maszynie wytrzymałościowej, f) umieszczenie modelu przerwy dylatacyjnej w maszynie wytrzymałościowej.

#### 4.1.1. Określenie sposobu przygotowania podłoża powierzchni betonu w modelu przerwy dylatacyjnej

W celu określenia wpływu sposobu przygotowania powierzchni podłoża betonowego na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych opracowano program badań. Obejmował on przeprowadzenie badań rozciągania osiowego próbek modelu przerwy dylatacyjnej wypełnionych żywicami dla odpowiednio przygotowanego podłoża, które było nieczyszczone, czyszczone ręcznie i czyszczone mechanicznie. Oznakowanie sposobu przygotowania podłoża powierzchni betonu w badanych modelach przerwy dylatacyjnej przedstawiono w tabeli 4.1. Z kolei na rysunku 4.3 przedstawiono sposoby przygotowania podłoża betonowego próbek modelu przerwy dylatacyjnej.

**Tabela 4.1.** Oznakowanie sposobu przygotowania podłoża powierzchni betonu w badanych modelach przerwy dylatacyjnej

Powierzchnia	Oznakowanie próbek
Nieczyszczona	B
Czyszczona ręcznie	R
Czyszczona mechanicznie	M

Etap określenia rodzaju podłoża przewidywał, zgodnie z przyjętą metodologią, trzy sposoby przygotowania podłoża betonowego w szczelinie modelu przerwy dylatacyjnej.

##### *Podłoże nieczyszczone*

Próbki betonowe służące do konstruowania modelu przerwy dylatacyjnej nie były poddawane zabiegom czyszczącym.

##### *Podłoże czyszczone ręcznie*

Czyszczenie ręczne powierzchni próbki betonowej odbywało się przy użyciu szczotki drucianej. Polega ono na szlifowaniu powierzchni betonu szczotką drucianą do momentu usunięcia warstwy mleczka cementowego i odsłonięcia kruszywa betonowego. Ten sposób przygotowania powierzchni betonu najdokładniej odzwierciedla realne prace budowlane prowadzone przy naprawach uszczelniających przerwy dylatacyjne w celu oczyszczenia powierzchni bocznych w szczelinie przerwy dylatacyjnej.



**Rys. 4.3.** Sposoby przygotowania podłoża betonowego próbek modelu przerwy dylatacyjnej: a) próbka betonowa, b) powierzchnia betonu nieczyszczona (B), c) etap czyszczenia ręcznego powierzchni betonu, d) powierzchnia betonu oczyszczona ręcznie (R), e) etap czyszczenia mechanicznego powierzchni betonu, f) powierzchnia betonu oczyszczona mechanicznie (M).

#### *Podłoże czyszczone mechanicznie*

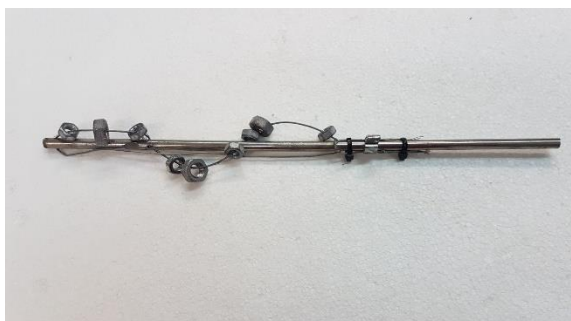
Czyszczenie mechaniczne powierzchni próbki betonowej stanowi nowatorski pomysł prowadzenia robót budowlanych przy naprawach uszczelniających przerwy dylatacyjne w celu mechanicznego oczyszczenia powierzchni bocznych w dylatacji.

Jestem pomysłodawcą opracowania narzędzi do czyszczenia i nacinania betonu w szczelinie przerwy dylatacyjnej. Narzędzia te zostały zgłoszone w postaci rozwiązań patentowych. Zgłoszenia oznaczono numerem: W.129221 i tytule „Narzędzie do czyszczenia dylatacji” oraz numerem W.129222 i tytule „Narzędzie do nacinania dylatacji”.

Narzędzia zastosowane do mechanicznego przygotowania powierzchni betonu zostały tak dobrane, aby ich wymiary umożliwiały wykonanie prac w szczelinie przerwy dylatacyjnej o rozwarości około 20 mm. Wykorzystano dwa nowe narzędzia do obróbki powierzchni betonowej (rysunek 4.4):

- 1) narzędzie czyszczące;
- 2) narzędzie nacinające.

a)



b)



**Rys. 4.4.** Nowe narzędzia służące do mechanicznego sposobu przygotowania powierzchni betonu w szczelinie przerwy dylatacyjnej: a) narzędzie czyszczące, b) narzędzie nacinające.

Narzędzie czyszczące służy do wstępnego oczyszczenia powierzchni betonu i usunięcia istniejących resztek istniejącego wypełnienia w szczelinie i pozbycia się luźnych elementów betonu.

Narzędzie nacinające służy do wykonania nacięć w rozstawie co około 20-25 mm, po 4 nacięcia na jednej powierzchni próbki betonowej. Nacięcia o szerokości 2-3 mm i głębokości około 2 mm.

Właściwe przygotowanie powierzchni ma zapewnić właściwą przyczepność żywicy wypełniającej do betonu w szczelinie modelu przerwy dylatacyjnej.

#### **4.1.2. Określenie stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia w modelu przerwy dylatacyjnej**

W celu określenia wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych opracowano program badań. Obejmował on przeprowadzenie badań rozciągania osiowego próbek modelu dylatacji wypełnionych żywicami dla odpowiednio przygotowanego podłoża, które było w stanie



suchym, wilgotnym, mokrym i zanieczyszczonym bentonitem (tzw. bentonitowe). Oznakowanie stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia w badanych modelach przerwy dylatacyjnej wraz z informacją o sposobie przygotowania próbki do badania przedstawiono w tabeli 4.2. Próbkki były przygotowywane w ustabilizowanych warunkach laboratoryjnych.

**Tabela 4.2.** Oznakowanie stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia próbek modelu przerwy dylatacyjnej wraz z informacją o sposobie przygotowania próbki do badania

Stan zawilgocenia lub zanieczyszczenia	Oznakowanie próbki	Przygotowanie próbki modelu przerwy dylatacyjnej przed wypełnieniem badaną żywicą
Suchy	A	Próbka modelu przerwy dylatacyjnej była: - pozostawiona w stanie powietrzno- suchym na czas czterech godzin, - wypełniona żywicą.
Wilgotny	B	Próbka modelu przerwy dylatacyjnej była: - wypełniona wodą na czas dwóch godzin; - po usunięciu wody pozostawiona do wyschnięcia na czas dwóch godzin; - wypełniona żywicą.
Mokry	C	Próbka modelu przerwy dylatacyjnej była: - wypełniona wodą na czas ośmiu godzin; - po usunięciu wody pozostawiona do wyschnięcia na czas dziesięciu minut; - wypełniona żywicą.
Zanieczyszczony bentonitem	D	Próbka modelu przerwy dylatacyjnej była: - wypełniona bentonitowym roztworem wodnym powstałym w wyniku rozwodnienia bentonitowego profilu uszczelniającego wodą na czas ośmiu godzin; - po usunięciu wody pozostawiona do wyschnięcia na czas dziesięciu minut; - wypełniona żywicą.

Określenie stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża jest istotne, ponieważ najczęściej prace naprawcze dylatacji prowadzone są w miejscach, gdzie występują wycieki wody. W zależności od usytuowania przerwy dylatacyjnej w budynku może występować różna intensywność wycieków wody. Zatem najczęstszym środowiskiem przy naprawach uszczelniających przerwy dylatacyjne jest podłoże wilgotne lub mokre. Dodatkowo woda może zawierać różne związki organiczne pochodzące z gruntu lub z bezpośredniego otoczenia elementów konstrukcji budynku, takich jak zanieczyszczenia bentonitowe. Z tego powodu badania wykonano dla odpowiednio przygotowanego podłoża, które było w stanie wilgotnym (B), mokrym (C) i zanieczyszczonym bentonitem (D). Podłoże w stanie suchym (A) posłużyło, jako referencyjne, do określenia wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

## 4.2. Opis stanowiska badawczego i przebieg badania

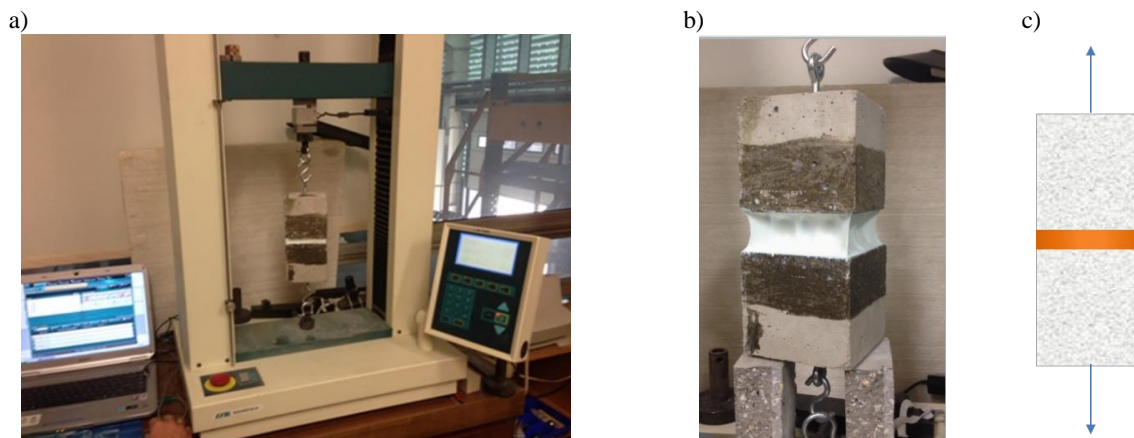
### 4.2.1. Opis stanowiska badawczego

Elementy konstrukcji budowlanych przy przerwach dylatacyjnych przemieszczają się w różnych kierunkach. Najczęściej spotykany kierunek przemieszczeń, to kierunek prostopadły

do krawędzi przerwy dylatacyjnej. Głównie, w zależności od zmian temperatur, otrzymujemy otwieranie, rozszerzanie się przerwy dylatacyjnej lub zwięzanie, zamykanie. Zwiększanie rozwartości szczeliny w przerwie dylatacyjnej ma bezpośredni wpływ na rozciąganie materiału wypełniającego szczelinę przerwy dylatacyjnej, a przekroczenie wytrzymałości materiału wypełniającego prowadzi do nieodwracalnych uszkodzeń skutkujących utratą niezawodności w uszczelnieniu. Rozszerzanie się przerwy dylatacyjnej może również powodować odrywanie się materiału wypełniającego od powierzchni betonu, co również skutkuje utratą szczelności.

Badania próbek modeli przerwy dylatacyjnej przeprowadzono w maszynie wytrzymałościowej Hounsfield 10K-S z wykorzystaniem programu do obróbki numerycznej Horizon. Przyjęta prędkość przesuwu trawersy wynosiła 5mm/min. Widok stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 4.5.

Dzięki zastosowanym uchwytem na szelkach (układ przegubowy) - zasymulowano układ przemieszczania się modelu przerwy dylatacyjnej w jednym kierunku, prostopadłym do powierzchni bocznych szczeliny przerwy dylatacyjnej. Rozciąganie modelu przerwy dylatacyjnej odzwierciedla realne zachowanie się materiałów wypełniających w naprawianych konstrukcjach żelbetowych. Przemieszczenia w kierunku innym niż prostopadłym są mniejsze i nie są główną przyczyną uszkodzeń wypełnień szczeliny przerwy dylatacyjnej.



**Rys. 4.5.** Widok stanowiska badawczego: a) maszyna wytrzymałościowa, b) zbliżenie próbki modelu przerwy dylatacyjnej w trakcie rozciągania, c) przyjęty schemat rozciągania.

Maszyna wytrzymałościowa Hounsfield 10K-S (rysunek 4.5a) jest szeroko stosowana w badaniach drutów, kabli, metalu, gumy, obuwia, skóry, odzieży, tkanin, papierów taśmowych itp. Umożliwia wykonywanie badań wytrzymałości na rozciąganie i ściskanie, odporności na rozdarcie, wytrzymałości na odrywanie, wytrzymałości na zginanie z różnymi mocowaniami. Z maszyną wytrzymałościową zintegrowany jest system pomiarowo-kontrolny z oprogramowaniem do obróbki numerycznej Horizon, który umożliwia jej elektroniczne sterowanie. Parametry techniczne maszyny wytrzymałościowej zestawiono w tabeli 4.3.

**Tabela 4.3.** Parametry techniczne maszyny wytrzymałościowej

Parametr	Specyfikacja
Obciążenie	1T
Jednostki	g, kg, N, LB
Rozdzielczość	1 / 100,000
Dokładność obciążenia	≤0,5%
Maksymalny skok	1000 mm
Test prędkości	0,1 ~ 300 mm / min
System zasilania	silnik AC + Napęd
Typ napędu	Śruba kulowa o wysokiej precyzji
Urządzenie wyświetlające	Pełna kontrola komputera
Wymiar zewnętrzny (L × W × H)	980 × 510 × 15200 mm
Waga	230 kg
Moc	220V, 10A

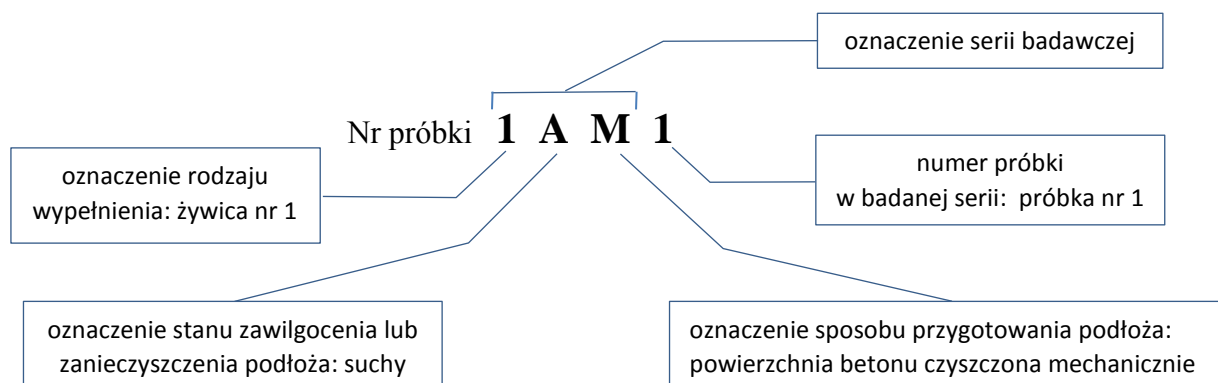
Badanie modeli przerwy dylatacyjnej wypełnionych żywicami do uszczelnień miało na celu wyznaczenie:

- maksymalnej siły rozciągającej,
- wydłużenia żywicy przy maksymalnej sile rozciągającej,
- siły, przy której następuje oderwanie się żywicy od powierzchni betonu,
- wydłużenia żywicy przy sile, przy której następuje oderwanie się żywicy od powierzchni betonu.

#### 4.2.2. Przebieg badań własnych

Przeprowadzone badania własne podzielono na serie. Każda seria badań dotyczyła innej żywicy, przy różnym sposobie przygotowania podłoża i stanie zawilgocenia lub zanieczyszczenia. Łącznie przeprowadzono 72 serie badań dla sześciu różnych żywic wypełniających. Każda seria składała się od 3 do 8 próbek opracowanego modelu przerwy dylatacyjnej.

Próbki modeli przerwy dylatacyjnej poddane badaniom zostały oznakowane według schematu pokazanego na rysunku 4.6.



**Rys. 4.6.** Przyjęty schemat znakowania próbek modelu przerwy dylatacyjnej w badaniach.

Przygotowane, oznakowane i wypełnione odpowiednią żywicą próbki modeli przerwy dylatacyjnych umieszczano kolejno w maszynie wytrzymałościowej. Badania przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych, w temperaturze 20°C i stałej wilgotności powietrza. W tabeli 4.4 zestawiono serie modeli przerwy dylatacyjnej i przypadków badawczych wraz z przyjętym oznakowaniem próbek.

**Tabela 4.4.** Zestawienie serii modeli przerwy dylatacyjnej i przypadków badawczych wraz z przyjętym oznakowaniem próbek

Badana żywica		Żywica nr 1	Żywica nr 2	Żywica nr 3	Żywica nr 4	Żywica nr 5	Żywica nr 6
Rodzaj podłoża							
Sposób przygotowania podłoża	Stan zawilgocenia lub zanieczyszczenia						
Nieczyszczone (B)	Suchy (A)	1AB	2AB	3AB	4AB	5AB	6AB
	Wilgotny (B)	1BB	2BB	3BB	4BB	5BB	6BB
	Mokry (C)	1CB	2CB	3CB	4CB	5CB	6CB
	Bentonitowy (D)	1DB	2DB	3DB	4DB	5DB	6DB
Czyszczone ręcznie (R)	Suchy (A)	1AR	2AR	3AR	4AR	5AR	6AR
	Wilgotny (B)	1BR	2BR	3BR	4BR	5BR	6BR
	Mokry (C)	1CR	2CR	3CR	4CR	5CR	6CR
	Bentonitowy (D)	1DR	2DR	3DR	4DR	5DR	6DR
Czyszczone mechaniczne (M)	Suchy (A)	1AM	2AM	3AM	4AM	5AM	6AM
	Wilgotny (B)	1BM	2BM	3BM	4BM	5BM	6BM
	Mokry (C)	1CM	2CM	3CM	4CM	5CM	6CM
	Bentonitowy (D)	1DM	2DM	3DM	4DM	5DM	6DM

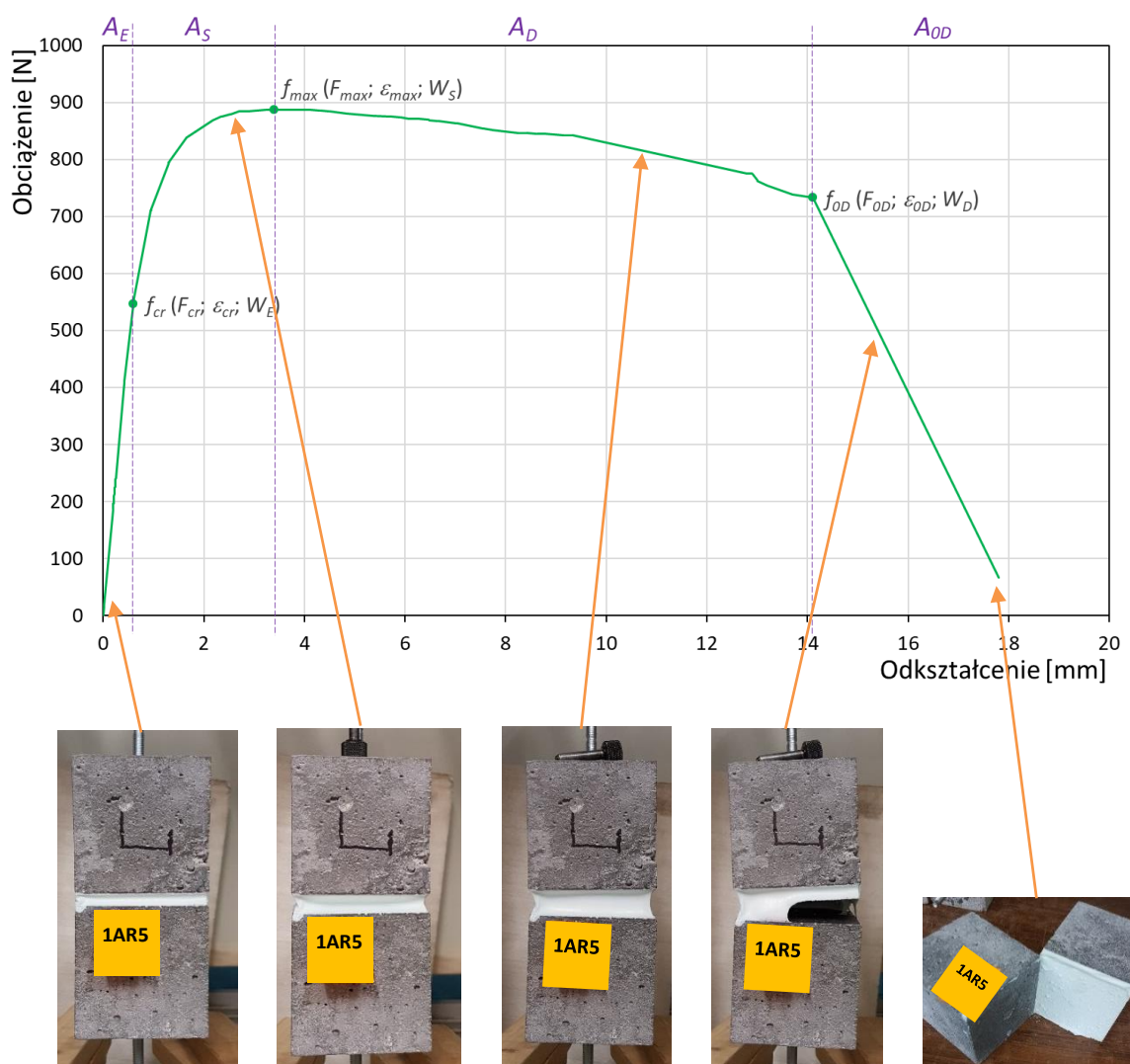
\*Każda seria składała się od 3 od 8 próbek opracowanego modelu przerwy dylatacyjnej

Badania próbek modelu przerwy dylatacyjnej wypełnionych żywicą polegało na rozciąganiu osiowym w maszynie wytrzymałościowej. Zamocowane uchwyty w próbkach betonowych modelu przerwy dylatacyjnej umożliwiło swobodne zwiększanie rozwartości szczeliny, wymuszając jednocześnie wzrost siły obciążenia działającej bezpośrednio na żywicę wypełniającą oraz przyrost odkształcenia między próbkami.

Zainstalowane oprogramowanie Horizon w urządzeniu akwizycyjnym maszyny wytrzymałościowej umożliwiło uzyskanie diagramów zależności obciążenia w funkcji odkształcenia, dzięki którym można odczytać charakterystyczne wartości maksymalnej siły rozciągającej oraz maksymalnego odkształcenia badanej żywicy.

Badanie prowadzono do momentu zatrzymania się maszyny wytrzymałościowej, tj. do momentu uzyskania wartości 10% maksymalnej siły rozciągającej. W trakcie wykonywanego badania można było obserwować odkształcanie się żywicy w wyniku zwiększania, rozszerzania się przerwy modelu dylatacji. Obserwacje te były różne dla poszczególnych żywic wypełniających.

Na rysunku 4.7 przedstawiono przykładowy wykres zależności obciążenia w funkcji odkształcenia dla próbki modelu przerwy dylatacyjnej 1AR5 (żywica nr 1, stan zawilgoczenia lub zanieczyszczenia podłoża: suchy, podłoże czyszczone ręcznie, próbka nr 5) wraz z fotografiami ilustrującymi proces badania.



**Rys. 4.7.** Przykładowy wykres zależności obciążenia i odkształcenia dla próbki modelu przerwy dylatacyjnej 1AR5 wraz z fotografiami ilustrującymi proces badania.

### 4.3. Charakterystyka badanych materiałów żywicznych

Do badań wybrano sześć rodzajów żywic powszechnie stosowanych i dostępnych na rynku budowlanym, a co istotne, wykorzystywanych jako wypełnienie przerw dylatacyjnych. Każda żywica charakteryzuje się innymi właściwościami i parametrami technicznymi. Żywice wprowadzono w przerwy dylatacyjne poprzez tzw. zalewanie grawitacyjne tak, jak pokazano to na rysunku 4.8. Następnie modele przerwy dylatacyjnych odstawiano do czasu utwardzenia się żywic, tj. na okres 24 godzin.



**Rys. 4.8.** Widok wypełniania żywicami uszczelniającym szczeliny w modelu przerwy dylatacyjnej.

#### 4.3.1. Żywica nr 1 na bazie akrylu z polimerem

Pierwszą serię badań przeprowadzono przy zastosowaniu żywicy 2-komponentowej na bazie tiksotropowego akrylu z polimerem do iniekcji uszczelniających szczelin, pęknięć, porów, kapilar, przerw i pustek w betonie [101].

Żywica składa się z 4 składników, które po zmieszaniu tworzą dwa komponenty. Komponenty te mieszane są w stosunku objętościowym 1:1 i podawane zazwyczaj z użyciem dwukomponentowej pompy iniekcyjnej. Parametry techniczne żywicy nr 1 podano w tabeli 4.5, natomiast jej właściwości w tabeli 4.6.

**Tabela 4.5.** Parametry żywicy nr 1

Parametr	Komponent A		Komponent B	
	Składnik 1	Składnik 2	Składnik 3	Składnik 4
Opis	Baza akrylowa	Katalizator	Mieszanka polimerów	Inicjator w postaci soli.
<b>Wygląd</b>				
Postać	Ciecz	Ciecz	Ciecz	Proszek
Kolor	Niebieski	Bezbarwny	Zgodny z nazwą produktu	Biały
Zapach	Słodkawy	Charakterystyczny	Charakterystyczny	Brak
Próg zapachu	Nieokreślone	Nieokreślone	Nieokreślone	Nieokreślone
Wartość pH	7	11	Nieokreślone	5
<b>Zmiana stanu</b>				
Punkt topnienia/ Zakres topnienia	Nie jest określony.	Nie jest określony.	Nie jest określony.	Nie jest określony.
Punkt wrzenia/ Zakres wrzenia	> 100 °C	> 100 °C	> 100 °C	Nie jest określony.
Punkt zapłonu	> 100 °C	> 100 °C	> 100 °C	Nie nadający się do zastosowania.
Łatwopalność (stała gazowa)	Nie nadający się do zastosowania.	Nie nadający się do zastosowania.	Nie nadający się do zastosowania.	Kontakt z materiałami zapalnymi może spowodować pożar.
Temperatura rozkładu	Nieokreślone.	Nieokreślone.	Nieokreślone.	Nieokreślone.
Samozapłon	Produkt nie jest samozapalny.	Produkt nie jest samozapalny.	Produkt nie jest samozapalny.	Produkt nie jest samozapalny.
Niebezpieczeństwo wybuchu	Produkt nie grozi wybuchem.	Produkt nie grozi wybuchem.	Produkt nie grozi wybuchem.	Nieokreślone.
<b>Cechy</b>				
Gęstość	od 1,11 do 1,23 kg/dm <sup>3</sup>	od 0,99 do 1,21 kg/dm <sup>3</sup>	od 0,95 do 1,05 kg/dm <sup>3</sup>	od 1,71 do 2,09 kg/dm <sup>3</sup>
Lepkość	< 50 mPas		< 50 mPas	
Substancje stałe	ok. 45 %	ok. 85%	Nie określone	
Rozpuszczalność w/ mieszalność z wodą	W pełni mieszalny.	W pełni mieszalny.	Nie lub mało mieszalny	W pełni mieszalny.
Substancje niebezpieczne	Brak	Trietanolamina i 2,2'-iminodietanol	Brak	Disodium peroxodisulphate

**Tabela 4.6.** Właściwości żywicy nr 1

Właściwość	Wartość
Odporność na ciśnienie hydrostatyczne	7 barów
Lepkość mieszanki	< 60 mPas
Zwiększenie objętości w kontakcie z wodą	ok. 150 %
Wodoszczelność	7 x 10 <sup>5</sup> Pa
Stosunek i rozwój rozciągliwości podczas przechowywania w wodzie	69%
Zerwanie przy rozciąganiu	300%

#### 4.3.2. Żywica nr 2 na bazie akrylu

Drugą serię badań przeprowadzono przy zastosowaniu dwukomponentowej żywicy na bazie akrylu mieszanego z wodą o niskiej lepkości. Jest to żywica niepalna, o wysokiej odporności chemicznej na działanie ropy naftowej, olejów mineralnych i roślinnych oraz

smarów. Po utwardzeniu ma postać elastycznego, sprężystego żelu do iniekcji uszczelniających oraz kontroli infiltracji wody. Żywica służy między innymi do uszczelniania przecieków wody, iniekcji kurtynowych, napraw iniekcyjnych betonowych i murowych konstrukcji podziemnych, uszczelnień pęknięć w betonie i strukturach skalnych itp.

Żywica składa się z 4 składników, które po zmieszaniu tworzą 2 komponenty. Komponenty te mieszane są w stosunku objętościowym 1:1 i podawane przeważnie z użyciem dwukomponentowej pompy iniekcyjnej. Parametry techniczne żywicy nr 2 podano w tabeli 4.7, natomiast jej właściwości w tabeli 4.8.

**Tabela 4.7.** Parametry żywicy nr 2

Parametr	Komponent A		Komponent B	
	Składnik 1	Składnik 2	Składnik 3	Składnik 4
Opis	Baza akrylowa	Katalizator	Woda	Inicjator w postaci soli.
<b>Wygląd</b>				
Postać	Ciecz	Ciecz	Ciecz	Proszek
Kolor	Zielony	Bezbarwny	Bezbarwny	Biały
Zapach	Słodkawy	Charakterystyczny	Brak	Brak
Próg zapachu	Nieokreślone	Nieokreślone	Nieokreślone	Nieokreślone
Wartość pH	7	11	7	5
<b>Zmiana stanu</b>				
Punkt topnienia/ Zakres topnienia	Nie jest określony.	Nie jest określony.	0 °C	Nie jest określony.
Punkt wrzenia/ Zakres wrzenia	> 100 °C	> 100 °C	100 °C	Nie jest określony.
Punkt zapłonu	> 100 °C	> 100 °C	Brak	Nie nadający się do zastosowania.
Łatwopalność (stała gazowa)	Nie nadający się do zastosowania.	Nie nadający się do zastosowania.	Nie nadający się do zastosowania.	Kontakt z materiałami zapalnymi może spowodować pożar.
Temperatura rozkładu	Nieokreślone.	Nieokreślone.	Nieokreślone.	Nieokreślone.
Samozapłon	Produkt nie jest samozapalny.	Produkt nie jest samozapalny.	Produkt nie jest samozapalny.	Produkt nie jest samozapalny.
Niebezpieczeństwo wybuchu	Produkt nie grozi wybuchem.	Produkt nie grozi wybuchem.	Produkt nie grozi wybuchem.	Nieokreślone.
<b>Cechy</b>				
Gęstość	od 1,11 do 1,23 kg/dm <sup>3</sup>	od 0,99 do 1,21 kg/dm <sup>3</sup>	0,998 kg/dm <sup>3</sup>	od 1,71 do 2,09 kg/dm <sup>3</sup>
Lepkość	< 50 mPa s		0,978 mPa s	
Substancje stałe	40-50 %	ok. 85%	Nie określone	
Rozpuszczalność w/ mieszalność z wodą	W pełni mieszalny.	W pełni mieszalny.	W pełni mieszany	W pełni mieszalny.
Substancje niebezpieczne	poly(ethylene glycol) dimethacrylate	Trietanolaminy i 2,2'-iminodietanol	Brak	Disodium peroxodisulphate

**Tabela 4.8.** Właściwości żywicy nr 2

Właściwość	Wartość
Lepkość mieszanki	< 20 mPas
Zwiększenie objętości w kontakcie z wodą	< 30 %
Zerwanie przy rozciąganiu	50%



### 4.3.3. Żywica nr 3 hydrofilowa na bazie poliuretanu

Trzecią serię badań przeprowadzono przy zastosowaniu jednokomponentowej, hydrofilowej żywicy na bazie poliuretanu mieszanego z wodą o niskiej lepkości. Żywica ta nie zawiera ftalanów, a po utwardzeniu tworzy elastyczną piankę o zamkniętych porach do iniekcji uszczelniających ruchomych, niestrukturalnych rys i pęknięć. Żywica służy do wykonywania prac iniekcyjnych prowadzonych w celu trwałego powstrzymania wypływu wody, bez konieczności wykonywania dodatkowych iniekcji uszczelniających za pomocą innych wyrobów, w tym w szczególności do uszczelniania przeciekających połączeń między segmentami obudowy tuneli, iniekcji kurtynowej za obudową tuneli, uszczelniania pracujących, przeciekających rys, pęknięć i styków roboczych, uszczelniania przerw dylatacyjnych oraz ruchomych połączeń elementów prefabrykowanych.

Do badania przyjęto system dwukomponentowy, tj. żywica mieszana w stosunku objętościowym 1:1 z wodą i podawane przeważnie z użyciem dwukomponentowej pompy iniekcyjnej. Parametry techniczne żywicy nr 3 podano w tabeli 4.9, natomiast jej właściwości w tabeli 4.10.

**Tabela 4.9.** Parametry żywicy nr 3

Parametr	Komponent A	Komponent B
Opis	Żywica poliuretanowa	Woda
Wygląd		
Postać	Ciecz	Ciecz
Kolor	Żółty	Bezbarwny
Zapach	Słodki	Brak
Próg zapachu	Nieokreślone	Nieokreślone
Wartość pH	Nieokreślone	7
Zmiana stanu		
Punkt topnienia/ Zakres topnienia	Nie jest określony.	0 °C
Punkt wrzenia/ Zakres wrzenia	Nie jest określony.	100 °C
Punkt zapłonu	> 130 °C	Brak
Łatwopalność (stała gazowa)	Nie nadający się do zastosowania.	Nie nadający się do zastosowania.
Temperatura rozkładu	Nieokreślone.	Nieokreślone.
Samozapłon	Produkt nie jest samozapalny.	Produkt nie jest samozapalny.
Niebezpieczeństwo wybuchu	Produkt nie grozi wybuchem.	Produkt nie grozi wybuchem.
Cechy		
Gęstość	od 1,04 do 1,16 kg/dm <sup>3</sup>	0,998 kg/dm <sup>3</sup>
Lepkość	< 350 mPa s	0,978 mPa s
Rozpuszczalność w/ mieszalność z wodą	Nie lub mało mieszalny	W pełni mieszany
Substancje niebezpieczne	Diizocyjanian metylenodifenylu difenylometano-4,4'-diizocyjanian, DE Acetate	Brak

**Tabela 4.10.** Właściwości żywicy nr 3

Właściwość	Wartość
Lepkość mieszanki	< 200 mPa s
Współczynnik rozszerzania (spęcznienia)	≥ 3
Wytrzymałość na rozciąganie	≥ 3 MPa
Wydłużenie przy zerwaniu	≥ 80 %
Iniektowalność w niesuchy materiał, w czasie 480 s	≥ 270 mm

#### 4.3.4. Żywica nr 4 na bazie poliuretanu

Czwartą serię badań przeprowadzono przy zastosowaniu dwuskładnikowej żywicy na bazie poliuretanu o niskiej lepkości, stosowaną do uszczelnień w środowisku mokrym i suchym. W kontakcie z wodą (5% w stosunku do swojej masy) wytwarza równomierną, zamkniętą i dzięki temu wodoszczelną, porowatą strukturę, zwiększając tym samym elastyczność materiału. Żywice stosuje się do zamykania, uszczelniania oraz wypełniania rys i pustek o ograniczonej rozszerzalności, w środowisku suchym, wilgotnym, uszczelnień rys wypełnionych wodą bezciśnieniowo, itp.

Do badania przyjęto system dwukomponentowy, mieszanie składników żywicy odbywało się w stosunku 1:1. Parametry techniczne żywicy nr 4 podano w tabeli 4.11, natomiast jej właściwości w tabeli 4.12.

**Tabela 4.11.** Parametry żywicy nr 4

Parametr	Komponent A	Komponent B
Opis	Żywica poliuretanowa	Utwardzacz
Wygląd		
Postać	Ciecz	Ciecz
Kolor	Bezbarwny	Brązowy
Zapach	Charakterystyczny	Charakterystyczny
Zmiana stanu		
Punkt topnienia/ Zakres topnienia	Nie jest określony.	Nie jest określony.
Punkt wrzenia/ Zakres wrzenia	Nie jest określony.	Nie jest określony.
Punkt zapłonu	> 101 °C	> 101 °C
Łatwopalność (stała gazowa)	Nie nadający się do zastosowania.	Nie nadający się do zastosowania.
Samozapłon	Produkt nie jest samozapalny.	Produkt nie jest samozapalny.
Niebezpieczeństwo wybuchu	Produkt nie grozi wybuchem.	Produkt nie grozi wybuchem.
Cechy		
Gęstość	0,99 kg/dm <sup>3</sup>	1,10 kg/dm <sup>3</sup>
Lepkość	80 mPa s	155 mPa s
Rozpuszczalność w/ mieszalność z wodą	Częściowo rozpuszczalny	Nierozpuszczalny
Substancje niebezpieczne	polyether polyol	diphenylmethanediisocyanate, isomeres and homologues

**Tabela 4.12.** Właściwości żywicy nr 4

Właściwość	Wartość
Szczelność	< 2 bar
Twardość A wg Shore'a	48/43
Wytrzymałość na rozciąganie	0,7 MPa
Wydłużenie przy zerwaniu	50%

#### 4.3.5. Żywica nr 5 na bazie epoksydu

Piątą serię badań przeprowadzono przy zastosowaniu dwuskładnikowej żywicy na bazie elastycznego epoksydu do iniekcji betonu w warunkach suchych lub mokrych. A także do iniekcji niskociśnieniowej elastycznego wypełniania sklejającego rys i mikropęknięć w suchym lub mokrym betonie, sklejana, wypełniania porowatego betonu o słabym zagęszczeniu, pracujących rys w posadzkach.

Mieszanie żywicy odbywało się przy pomocy mieszarki niskoobrotowej (300 obr./min), aż do uzyskania jednolitej płynnej mieszanki. Proporcja mieszania A/B = 1/1,1 (wagowo). Parametry techniczne żywicy nr 5 podano w tabeli 4.13, natomiast jej właściwości w tabeli 4.14.

**Tabela 4.13.** Parametry żywicy nr 5

Parametr	Komponent A	Komponent B
Opis	Żywica epoksydowa	Utwardzacz
Wygląd		
Postać	Ciecz	Ciecz
Kolor	Bezbarwny	Żółty
Zapach	Charakterystyczny	Amin
Zmiana stanu		
Punkt wrzenia/ Zakres wrzenia	> 200 °C	> 200 °C
Punkt zapłonu	> 150 °C	> 100 °C
Cechy		
Gęstość	1,11 kg/dm <sup>3</sup>	0,97 kg/dm <sup>3</sup>
Lepkość	850-990 mPa s	500-1700 mPa s
Rozpuszczalność w/ mieszalność z wodą	Nierozpuszczalny	Nierozpuszczalny
Substancje niebezpieczne	Eter -glicydowy	Nonylfenol, trimetyloheksano-1,6-diamina

**Tabela 4.14.** Właściwości żywicy nr 5

Właściwość	Wartość
Twardość A wg Shore'a	ok. 95
Twardość D wg Shore'a	40-45
Wytrzymałość na rozciąganie	> 4 MPa
Wydłużenie przy zerwaniu	ok. 70%
Przyczepność do suchego betonu	Wyższa niż wytrzymałość betonu na odrywanie
Przyczepność do mokrego betonu	> 3MPa

#### 4.3.6. Żywica nr 6 na bazie bitumu

Szóstą serię badań przeprowadzono przy zastosowaniu dwuskładnikowej żywicy na bazie bitumu. Żywica ta po związaniu tworzy jednolitą, bezszwową, elastomerową wodoodporną membranę na betonowych i stalowych konstrukcjach mostowych oraz innych powierzchniach obciążonych ruchem kołowym.

Mieszanie składników żywicy odbywało się ręcznie drewnianą łopatką do uzyskania mieszaniny o jednolitym kolorze. Proporcje mieszania 20,45/4,5 wagowo. Parametry techniczne żywicy nr 6 podano w tabeli 4.15, natomiast jej właściwości w tabeli 4.16.

**Tabela 4.15.** Parametry żywicy nr 6

Parametr	Komponent A	Komponent B
Opis	Baza bitumiczna	Utwardzacz
Wygląd		
Postać	Gęsta ciecz	Ciecz
Kolor	Czarny	Biały
Zmiana stanu		
Punkt topnienia/ Zakres topnienia	Nie jest określony.	Nie jest określony.
Punkt wrzenia/ Zakres wrzenia	Nie jest określony.	Nie jest określony.
Punkt zapłonu	Nie ma zastosowania.	Nie ma zastosowania.
Łatwopalność (stała gazowa)	Nie ma zastosowania.	Nie ma zastosowania.
Niebezpieczeństwo wybuchu	Produkt nie grozi wybuchem.	Produkt nie grozi wybuchem.
Cechy		
Gęstość przy 21°C	1,2 kg/dm <sup>3</sup>	Nie określona.
Lepkość kinetyczna w 40°C	1,765 mm <sup>2</sup> /s	Nie określona.
Rozpuszczalność w/ mieszalność z wodą	Nie lub mało mieszalny.	W pełni mieszalny.
Substancje niebezpieczne	Brak.	Methylisothiazolinone, 2-oktyloizotiazol-3(2H)-on

**Tabela 4.16.** Właściwości żywicy nr 6

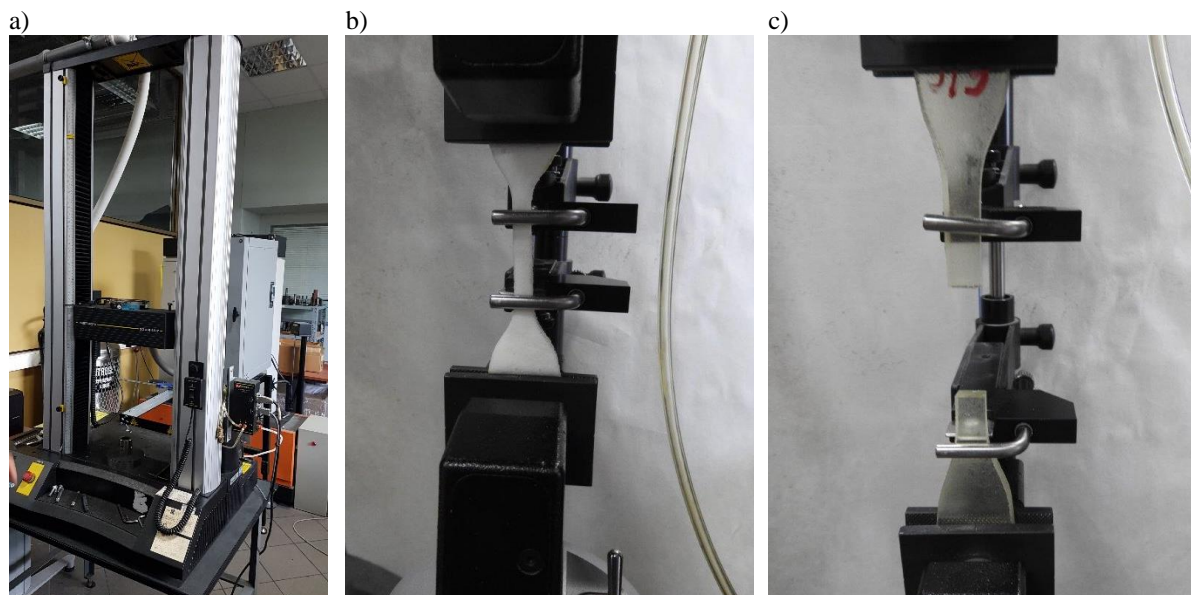
Właściwość	Wartość
Wydłużenie	500 %
Przenikalność pary wodnej	0,8 g/m <sup>2</sup> /dzień
Wskaźnik ograniczenia chłonności wody	>90%
Siła ścinająca masę	>100N
Przyczepność do betonu i stali	0,2 N/mm <sup>2</sup>

#### 4.4. Metoda badawcza – rozciąganie osiowe badanych żywic

Badanie rozciągania osiowego żywic przeprowadzono wg standardu PN-EN ISO 37 [116] na maszynie wytrzymałościowej Instron 33R.

Procedura badawcza obejmowała odpowiednie przygotowanie próbek. Żywice nr 1, 2, 3, 4, 5 i 6 rozłożono na płaskiej powierzchni 400×300 mm o grubości ok. 5 mm. Następnie

zgodnie ze wzorcem wycięto kształtki, tzw. „wiosełka”, które umieszczano kolejno w maszynie wytrzymałościowej, tak jak pokazano to na rysunku 4.9.



**Rys. 4.9.** Badanie żywic wg [116] - rozciąganie osiowe: a) widok maszyny wytrzymałościowej – stanowisko badawcze, b) widok umieszczonych w uchwytach wyciętych kształtek żywicznych tzw. „wiosełek”, c) widok zakończenia badania w momencie zerwania się próbki żywicznej.

Badanie przeprowadzono do momentu zerwania się próbek żywicznych dla których uzyskiwano wyniki maksymalnego wydłużenia przy zerwaniu oraz maksymalnej siły zrywającej.

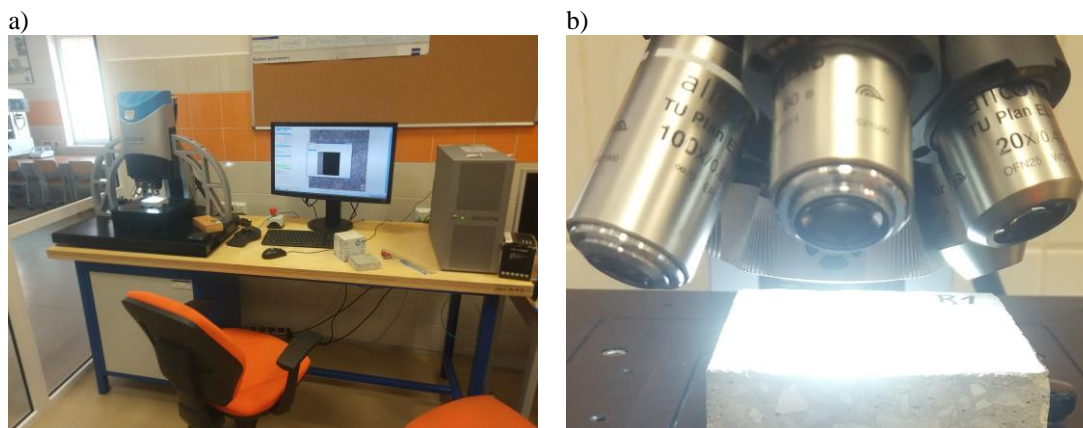
#### 4.5. Metoda badawcza – badanie profilu podłoża betonowego

Nieniszczące badanie profilu podłoża betonowego przeprowadzono na podstawie analizy przestrzennej struktury geometrycznej powierzchni próbek betonowych z wykorzystaniem pomiaru profilometrem skaningowym optycznym InfiniteFocusG5 firmy Bruker Alicone.

Procedura badawcza obejmowała odpowiednie przygotowanie próbek betonowych wykorzystanych do konstruowania modeli przerw dylatacyjnych. Badaniom poddano próbki betonowe z trzema wariantami przygotowania podłoża betonowego (pkt 4.1.1): nieczyszczone (B), czyszczone ręcznie (R) i czyszczone mechanicznie (M). Stan zawilgocenia lub zanieczyszczenia powierzchni badanych próbek betonowych był suchy.

Następnie przeprowadzono badanie przestrzennej struktury geometrycznej powierzchni próbek z wykorzystaniem pomiaru metodą nieniszczącą profilometrem skaningowym optycznym. Pozwoliło to na wykonanie pomiarów geometrii, profilu i chropowatości

optycznym 5-osiowym systemem pomiarowym i zebranie danych z prędkością do 1,7 mln punktów na sekundę.



**Rys. 4.10.** Badanie chropowatości podłoża betonowego: a) widok profilometru skaningowego optycznego–stanowisko badawcze, b) widok powierzchni próbki betonowej podczas badania.

W prenormie fib Model Code 2010 [154] wymienione zostały dwa parametry służące do ilościowego określenia charakterystyki szorstkości powierzchni styku: pierwszym z nich jest szorstkość średnia  $R_a$ , drugim średnia wysokość od szczytu do doliny  $R_z$ . Parametry wysokościowe powierzchni określane w mm:  $S_{sk}$ ,  $S_{ku}$ ,  $S_p$ ,  $S_v$ ,  $S_q$ ,  $S_a$  definiowane są analogicznie do parametrów wysokościowych profilu. Stąd średnia arytmetyczna wysokość powierzchni  $S_a$ , czyli średnie arytmetyczne odchylenie powierzchni od powierzchni średniej, będące średnią arytmetyczną wartości bezwzględnych odchyłek wysokości powierzchni od powierzchni średniej definiuje wzór:

$$S_a = \frac{1}{A} \iint_A |z(x,y)| dx dy \quad (4.1)$$

Drugim wspomnianym parametrem jest maksymalna wysokość powierzchni  $S_z$ , będąca sumą wysokości najwyższego wzniesienia powierzchni  $S_p = \sup\{z(i,j)\}$  i głębokości najniższego wgłębienia powierzchni  $S_v = |\inf\{z(i,j)\}|$  w obszarze definiowania:

$$S_z = S_p + S_v \quad (4.2)$$

W metrologii warstwy wierzchniej prowadzonej z wykorzystaniem narzędzi pozwalających na trójwymiarowe odwzorowanie, większą wagę przykładają się jednak do wartości wysokości średnio kwadratowej, czyli średniego kwadratowego odchylenia powierzchni  $S_q$ . Definiowane ono jest analogicznie do  $P_q$ ,  $W_q$  i  $R_q$  i określane od powierzchni odniesienia jako wysokość średnio kwadratową, tj. średnie kwadratowe odchylenie

powierzchni  $S_q$ , będące odchyleniem standardowym wysokości nierówności od powierzchni odniesienia wewnątrz obszaru zdefiniowanego:

$$S_q = \sqrt{\frac{1}{A} \iint_A z^2(x, y) dx dy} \quad (4.3)$$

gdzie:

$A$  – pole obszaru zdefiniowanego,

$z$  – wysokość profilu,

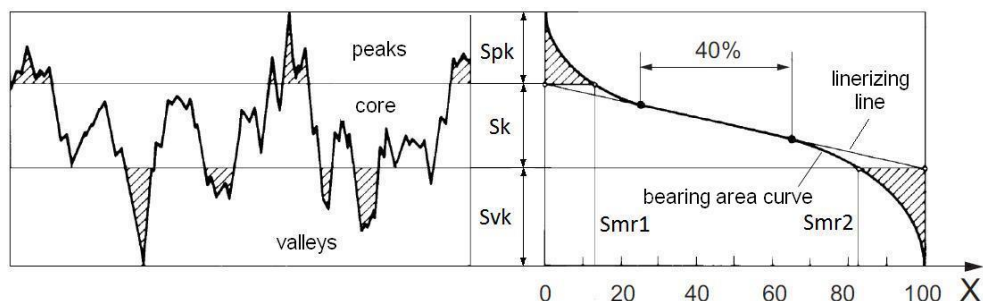
$p$  – gęstość prawdopodobieństwa wysokości nierówności powierzchni,

$h$  – wysokość od linii referencyjnej.

Inną również dwuelementową grupą wyróżników związanych z obszarem są parametry hybrydowe, w tym:  $S_{dr}$  - współczynnik rozwinięcia obszaru powierzchni oraz  $S_{dq}$  - średni kwadratowy gradient powierzchni, opisujący średnie kwadratowe pochylenie nierówności powierzchni:

$$S_{dq} = \sqrt{\frac{1}{A} \iint_A \left( \frac{\partial z(x, y)}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial z(x, y)}{\partial y} \right)^2 dx dy} \quad (4.4)$$

W czwartej, najliczniejszej grupie wyróżników opisujących fakturę powierzchni znajdują się funkcje materiału i parametry z nimi związane. Jedną z nich jest funkcja powierzchniowego udziału materiałowego, reprezentująca zależność powierzchniowego udziału materiałowego od wysokości. Jest ona przeniesieniem analizy 2D na grunt 3D i podobnie jak dla profilu można ją interpretować jako skumulowaną funkcję prawdopodobieństwa współrzędnych  $Z(x, y)$ . Z krzywej tej – również podobnie jak w analizie 2D – obliczane są parametry liczbowe i wyprowadzane kolejne funkcje. Analiza parametryczna krzywej udziału materiałowego jest analogiczna do oceny powierzchni na podstawie profilu, włącznie z definicjami konkretnych wyróżników.



Rys. 4.11. Parametry z krzywej udziału materiału [136].

Krzywa udziału materiału (krzywa Abbotta-Firestona - AFC, inaczej określana jako bearing area curve – BAC) jest sposobem opisu zróżnicowania właściwości profilu lub powierzchni, zmieniających się wraz z jego głębokością. Wyznacza się ją przez podział profilu

liniami poziomymi w równych odległościach na części związane ze wzniesieniami (peaks), rdzeniem (core) i wgłębieniami (valleys) (rysunek 4.11), co dalej pozwala na obliczanie zredukowanej wysokości wierzchołków  $S_{pk}$ , wysokości rdzenia  $S_k$ , zredukowanej głębokości dolin  $S_{vk}$ , oraz dwóch wartości udziału materiałowego  $S_{mr1}$  (udział w miejscu, gdzie strefa wzniesień przechodzi w strefę rdzenia) i  $S_{mr2}$  (udział w miejscu, gdzie strefa rdzenia przechodzi w strefę wgłębień). Następnie dla każdej liczy się stosunek procentowy długości linii przechodzącej przez materiał do całkowitej długości linii. Wraz ze wzrostem chropowatości rośnie nachylenie środkowej części krzywej Abbotte'a [208]. Krzywa ta jest skumulowaną gęstością prawdopodobieństwa wysokości rzędnych profilu, prezentuje udział materiałowy jako funkcję wysokości cięcia i opisywana jest wzorem:

$$B(z) = P(z \geq h) = \int_h^{\infty} p(t)dt \quad (4.5)$$

gdzie:

$z$  – wysokość profilu

$p$  - gęstość prawdopodobieństwa wysokości nierówności powierzchni

$h$  – wysokość od linii referencyjnej

Kolejne parametry z tej grupy, które brane były pod uwagę przy analizie ukształtowania faktury próbek betonowych B, R i M dotyczą wartości związanych z objętością a ich reprezentacja graficznie została przedstawiona na rysunku 4.12. Objętość pustek  $Vv(p)$  jest to objętość obszaru pozbawionego materiału na jednostkę powierzchni dla danego udziału materiałowego. Oblicza się ją z zależności:

$$Vv(p) = \frac{K}{100\%} \int_p^{100\%} [Smc(p) - Smc(q)]dq \quad (4.6)$$

gdzie:

$K$  - stała przeliczeniowa dla jednostek,

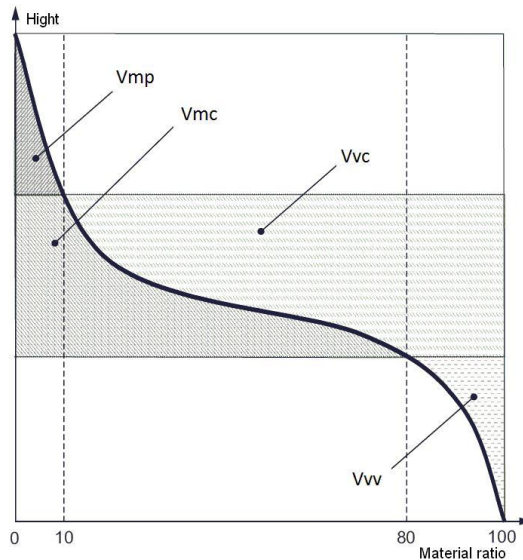
$Smc(p)$  - odwrotny współczynnik powierzchniowego udziału materiałowego dla poziomu  $p$ ,

$Smc(q)$  - odwrotny współczynnik powierzchniowego udziału materiałowego dla poziomu  $q$ .

Szczególnie istotnym parametrem służącym do opisu struktury geometrycznej powierzchni w kontekście szczepności podłoża jest objętość pustek dolin  $Vvv$ , będąca objętością obszaru pozbawionego materiału na danym poziomie  $p$ :

$$Vvv = Vv(p) \quad (4.7)$$





Rys. 4.12. Parametry objętościowe obliczone na podstawie krzywej udziału materiału [136].

Objętość pustek rdzenia  $Vvc$  jest różnicą objętości obszarów pozbawionych materiału na poziomach  $p$  i  $q$ :

$$Vvc = Vv(p) - Vv(q) \quad (4.8)$$

Domyślną wartością poziomu  $p$  jest 10%, a poziomu  $q$  80%. Objętość materiału  $Vm(p)$  jest to objętość obszaru wypełnionego materiałem na jednostkę powierzchni dla danego udziału materiałowego. Oblicza się ją z zależności:

$$Vm(p) = \frac{K}{100\%} \int_0^p [S_{mc}(p) - S_{mc}(q)] dq \quad (4.9)$$

Objętość materiału rdzenia  $V_{mc}$  jest różnicą objętości obszarów wypełnionych materiałem na poziomach  $p$  i  $q$

$$V_{mc} = Vm(q) - Vm(p) \quad (4.10)$$

#### 4.6. Metoda badawcza – nieniszczące badanie wilgotności metodą dielektryczną

Badania wilgotności podłoża betonowego próbek modelu przerwy dylatacyjnej przeprowadzono stosując dwie metody: tradycyjną metodę suszarkowo-wagową oraz metodę nieniszczącą opartą na pomiarach własności dielektrycznych materiału.

Metoda suszarkowo-wagowa posłużyła do skalowania miernika dielektrycznego Gann Hydromette Uni2. W tym celu do badań wykorzystano próbkę betonową, taką jak była stosowana do konstruowania modelu przerwy dylatacyjnej. Próbkę betonową umieszczono w wodzie w celu maksymalnego nasączenia. Następnie próbkę zważono i zmierzono

wilgotność za pomocą urządzenia Gann Hydromette Uni2. Następnie próbkę betonową umieszczono w suszarce. Pomiary wilgotności i każdorazowe ważenie próbki przeprowadzono do momentu wysuszenia próbki betonowej (ustabilizowania się masy próbki). Wyniki przeprowadzonego skalowania przedstawiono w tabeli 4.17.

**Tabela 4.17.** Wyniki skalowania miernika dielektrycznego Gann Hydromette Uni2

Lp.	Masa próbki suchej $m_s$ [g]	Masa próbki wilgotnej $m_w$ [g]	Wilgotność masowa $w_m$ [%]	Odczyt pomiaru miernika Gann Hydromette Uni2 [-]
1	2	3	4	5
1.	675,02	721,06	<b>7,50</b>	130
2.	675,02	721,06	<b>7,10</b>	120
3.	675,02	721,06	<b>6,82</b>	125
4.	675,02	716,13	<b>6,50</b>	102
5.	675,02	716,13	<b>6,09</b>	102
6.	675,02	716,13	<b>6,09</b>	105
7.	675,02	708,46	<b>5,20</b>	81
8.	675,02	708,46	<b>5,00</b>	90
9.	675,02	708,46	<b>4,95</b>	81
10.	675,02	701,87	<b>3,98</b>	64
11.	675,02	701,87	<b>3,98</b>	70
12.	675,02	701,87	<b>3,98</b>	70
13.	675,02	695,42	<b>3,02</b>	50
14.	675,02	693,92	<b>2,80</b>	49
15.	675,02	692,58	<b>2,60</b>	47
16.	675,02	690,52	<b>2,30</b>	44
17.	675,02	689,90	<b>2,20</b>	42
18.	675,02	689,20	<b>2,10</b>	40
19.	675,02	688,47	<b>1,99</b>	34
20.	675,02	685,91	<b>1,61</b>	28
21.	675,02	685,91	<b>1,61</b>	32
22.	675,02	684,72	<b>1,44</b>	25
23.	675,02	684,72	<b>1,44</b>	28
24.	675,02	684,28	<b>1,37</b>	24
25.	675,02	684,28	<b>1,37</b>	28
26.	675,02	684,18	<b>1,36</b>	24
27.	675,02	684,18	<b>1,36</b>	34
28.	675,02	683,92	<b>1,32</b>	23
29.	675,02	683,92	<b>1,32</b>	30
30.	675,02	683,59	<b>1,27</b>	22
31.	675,02	683,29	<b>1,23</b>	21
32.	675,02	682,27	<b>1,07</b>	19
<b>Średnia</b>	<b>675,02</b>	<b>696,18</b>	$w_m = 3,133$	<i>niepewność pomiarów</i> $U(w_m) = 0,002$ $k = 2$ $w_m = 3,133 \pm 0,002\%$

Wilgotność masową obliczono ze wzoru:

$$w_m = \frac{m_w - m_s}{m_s} \times 100\%, \quad (4.11)$$

gdzie:

$w_m$  – wilgotność masowa [%],

$m_w$  – masa próbki wilgotnej [g],

$m_s$  – masa próbki suchej [g].

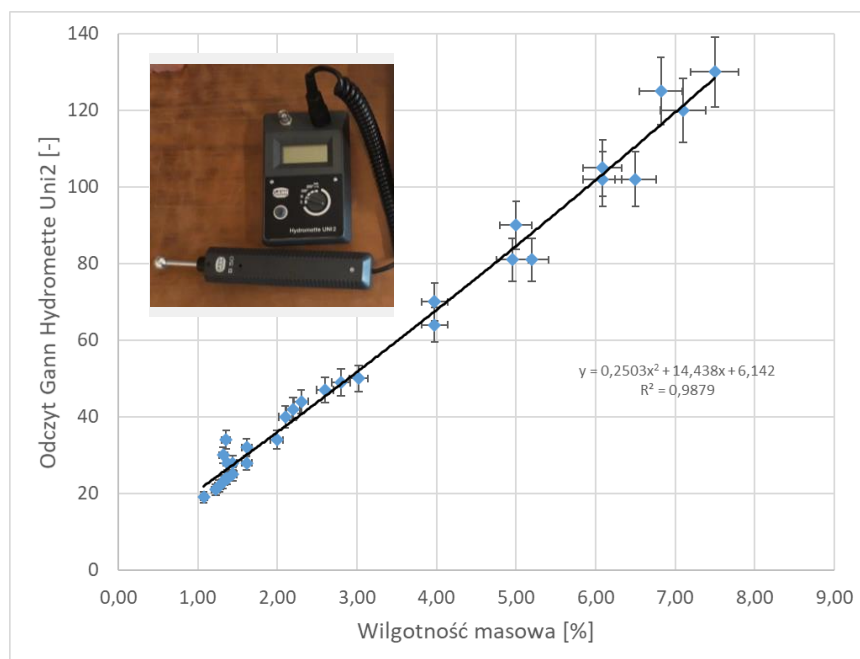
Na rysunku 4.13 przedstawiono wykres skalowania miernika wilgotności Gann Hydromette Uni2 wraz z podaniem równania skalowania i współczynnika zmienności  $R^2$ .

Na podstawie pobranych z próbek badań wyznaczono metodą najmniejszych kwadratów zależności korelacyjne pomiędzy wskazaniem miernika wilgotności Gann Hydromette Uni2, a wilgotnością masową. W tabeli 4.18 przedstawiono wilgotności masowe uzyskane z pomiarów miernikiem Gann Hydromette Uni2 z uwzględnieniem badań metodą suszarkowo-wagową i krzywej skalowania.

Na podstawie wykonanych pomiarów oraz własnych obserwacji przyjęto następujące zakresy zawilgocenia podłoża betonowego w próbkach modelu przerwy dylatacyjnej:

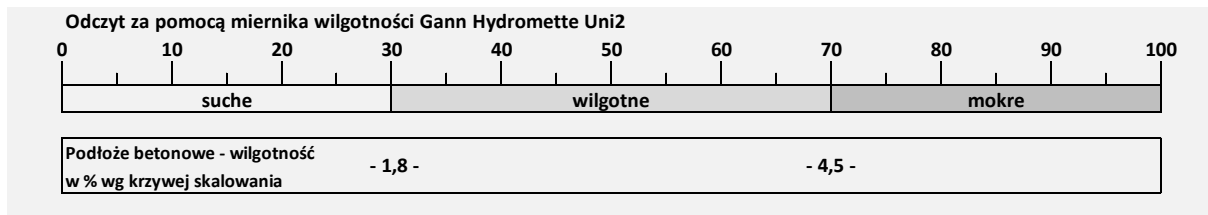
- **stan suchy:** wilgotność masowa  $w_m \leq 1,8\%$ ,
- **stan wilgotny:** wilgotność masowa  $w_m 1,8 \div 4,5\%$ ,
- **stan mokry:** wilgotność masowa  $w_m \geq 4,5\%$  .
- **stan zanieczyszczony bentonitem:** wilgotność masowa  $w_m \geq 4,5\%$ , ze względu na

podobny sposób przygotowania próbek jak w stanie mokrym (tabela 4.2).



**Rys. 4.13.** Wykres skalowania miernika dielektrycznego Gann Hydromette Uni2 wraz z podaniem równania skalowania i współczynnika korelacyjnego  $R^2$ .

**Tabela 4.18.** Tabela porównawcza wilgotności masowej uzyskanej z pomiarów miernikiem Gann Hydromette Uni2 z uwzględnieniem badań metodą suszarkowo-wagową i krzywej skalowania



#### 4.7. Określenie niezbędnej liczby badanych próbek

Określenie niezbędnej liczby badanych próbek betonowych w celu pomiaru wilgotności metodą nieniszczącą opartą na pomiarach własności dielektrycznych materiału oraz rozciągania osiowego żywicy dokonano na podstawie statystycznej analizy wyników wstępnych badań za pomocą rozkładu t-Studenta, zgodnie ze wzorem.

$$\frac{t_{\alpha}}{\sqrt{n}} \leq \frac{\vartheta}{v} \quad (4.12)$$

gdzie:

$t_{\alpha}$  - kwantyl rozkładu rzędu  $\alpha$  o  $k$  stopniach swobody,

$n$  - liczba próbek,

$\vartheta$  - założona tolerancja wartości średniej,

$v$  - współczynnik zmienności.

Przykładowe rezultaty przeprowadzonego sprawdzenia dla pomiaru wilgotności próbek betonowych w metodzie nieniszczącej opartej na pomiarach własności dielektrycznych materiału oraz rozciągania osiowego żywicy nr 1 przedstawiono w tabeli 4.19.

**Tabela 4.19.** Przykładowe rezultaty sprawdzenia niezbędnej liczby badanych próbek według rozkładu t-Studenta

Metoda badawcza	Zmienna losowa	Wartość średnia $\bar{x}$	Odchylenie standardowe $\bar{s}$	Współczynnik zmienności $v$	$\frac{t_{\alpha}}{\sqrt{n}} \leq \frac{\vartheta}{v}$
Pomiar wilgotności masowej powierzchni bocznej betonu próbek modelu przerwy dylatacyjnej ICR3	Odczyt z miernika [-] 85; 90; 88; 84; 91; 93; 85; 84; 88; 92	[-] 88,0	[-] 3,2	[%] 3,6	$\frac{2,26}{\sqrt{10}} \leq \frac{0,05}{0,036}$ $0,71 \leq 1,38$
Obciążenie przy Maksimum w badaniu rozciągania osiowego żywicy nr 1 wg [116]	$F_{max}$ [N] 10,56; 10,9; 10,86; 10,41; 11,08	[MPa] 10,76	[MPa] 0,24	[%] 2,25	$\frac{2,77}{\sqrt{5}} \leq \frac{0,05}{0,0225}$ $1,24 \leq 2,27$

Z tabeli 4.19 wynika, że dla przyjętej tolerancji wartości średniej  $\vartheta=0,05$  i założonym poziomie istotności  $\alpha=0,05$  przyjęte do badań, dla metody pomiaru wilgotności betonu po 10 próbek i dla metody rozciągania osiowego po 5 próbek są wystarczające.

#### 4.8. Wybrane przypadki badawcze – rozciąganie osiowe modelu przerwy dylatacyjnej

Przerwy dylatacyjne ulegają ciągłym ruchom w okresie istnienia konstrukcji budowlanej. Kierunki przemieszczeń elementów konstrukcji przy przerwie dylatacyjnej wskazano na rysunku 3.1. Najczęstszym kierunkiem przemieszczania się względem siebie krawędzi przerwy dylatacyjnej, wynikającym głównie ze zmian różnic temperatur elementów konstrukcji, jest kierunek prostopadły do krawędzi przerwy dylatacyjnej. Obniżanie się temperatury elementów konstrukcji wymusza zwiększenie odległości między krawędziami przerwy dylatacyjnej, inaczej zwiększenie rozwartości szczeliny przerwy dylatacyjnej (tabela 3.5). Materiał wypełniający szczelinę przerwy dylatacyjnej jest w tym procesie rozciągany.

W celu ustalenia wpływu rodzaju podłoża oraz wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych wykonano model przerwy dylatacyjnej (rysunek 4.2). Model przerwy dylatacyjnej wypełniony badaną żywicą poddano próbie rozciągania osiowego w maszynie wytrzymałościowej. Ten sposób w największym stopniu odzwierciedla realne zachowanie się przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach budowlanych i oddaje rzeczywiste odkształcenia żywic wypełniających przerwę dylatacyjną. Umożliwia to obserwację badanej żywicy, ocenę jej odkształceń i odczyt uzyskiwanych wartości maksymalnych obciążeń oraz wartości sił, przy których następuje oderwanie się żywicy od podłoża betonowego, czyli moment utraty przyczepności do podłoża w modelu przerwy dylatacyjnej.

W badaniach własnych wykorzystano proponowany w opracowaniach [88], [90], [104] sposób oceny quasi kruchych kompozytów cementowych typu ESD (*E-elastic deformation, S-strengthening control, D-deflection control*). W opracowaniach tych przedstawiono możliwość oceny właściwości mechanicznych materiałów na podstawie zależności naprężenia w funkcji odkształcenia, w których charakterystyczne punkty opisywane przez: siły, odkształcenia oraz absorbowanej energii. W tej pracy zmodyfikowano tą metodę do oceny wpływu rodzaju podłoża oraz wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej. Badaniom poddano żywice wypełniające model przerwy dylatacyjnej i analizowano ich właściwości mechaniczne jako quasi plastyczne żywice ESD w badaniach wytrzymałości na rozciąganie - z uwzględnieniem oceny ich przyczepności do podłoża betonowego.

Na podstawie [91] założono charakterystyczne obszary dla badanych wypełnień żywicznych w modelu przerwy dylatacyjnej, a mianowicie:

- obszar proporcjonalności;
- obszar kontroli wzmocnienia;
- obszar kontroli odkształcenia;
- obszar utraty przyczepności;
- obszar propagacji (osłabienia).

Obszary te opisano poniżej. I tak:

a) Obszar proporcjonalności

W rozciąganiu modelu przerwy dylatacyjnej wypełnionej badaną żywicą można zaobserwować zdolność do przenoszenia naprężeń w obszarze obowiązywania prawa Hooke'a w przedziale od 0 do  $f_{cr}$ . Zdeterminowany  $tg\alpha$  liniowej zależności obciążenia w funkcji odkształcenia (zwiększenie/zmniejszenie zdolności do odkształceń  $d_x$ ) może być zmienny w zależności od np. stanu zawilgocenia podłoża betonowego, czy sposobu przygotowania podłoża - wpływając na zdolność do odkształceń badanej żywicy wypełniającej model przerwy dylatacyjnej pod obciążeniem w obszarze sprężystym  $A_E$ . W obszarze tym, nie występują defekty struktury w badanej żywicy.

b) Obszar kontroli wzmocnienia

W obszarze kontroli wzmocnienia  $A_S$  (obszar pomiędzy  $f_{cr}$ , a wystąpieniem maksymalnych naprężeń  $f_{max}$ ), żywica wypełniająca model przerwy dylatacyjnej podlega odkształceniom nieproporcjonalnym, przy zwiększonej zdolności do przenoszenia naprężeń - absorbując dodatkowe porcje energii. Dodatkowa energia absorbowana jest na różne efekty np. przegrupowanie atomów w strukturach materiałów. Obszar kontroli wzmocnienia  $A_S$ , pozwala na kontrolę odkształcenia przy zachowaniu braku uszkodzeń w strukturze badanej żywicy.

c) Obszar kontroli odkształcenia

Kontrola obszaru odkształcenia  $A_D$  (obszar pomiędzy  $f_{max}$ , a punktem  $f_d$  lub punktem  $f_{ox}$ , przy którym żywica ulega odrywaniu od podłoża), przy obciążeniach większych od występujących w obszarze proporcjonalności, a porównywalnych z występującymi w obszarze wzmocnienia, pozwala zwiększyć zakres stosowalności materiału żywicznego w wypełnieniu modelu przerwy dylatacyjnej. Efekt ten kontrolowany jest pojawianiem się pierwszych form destrukcji struktury materiału żywicznego na powierzchni bocznej rozciąganego materiału. Nie jest on jednak widoczny gołym okiem.

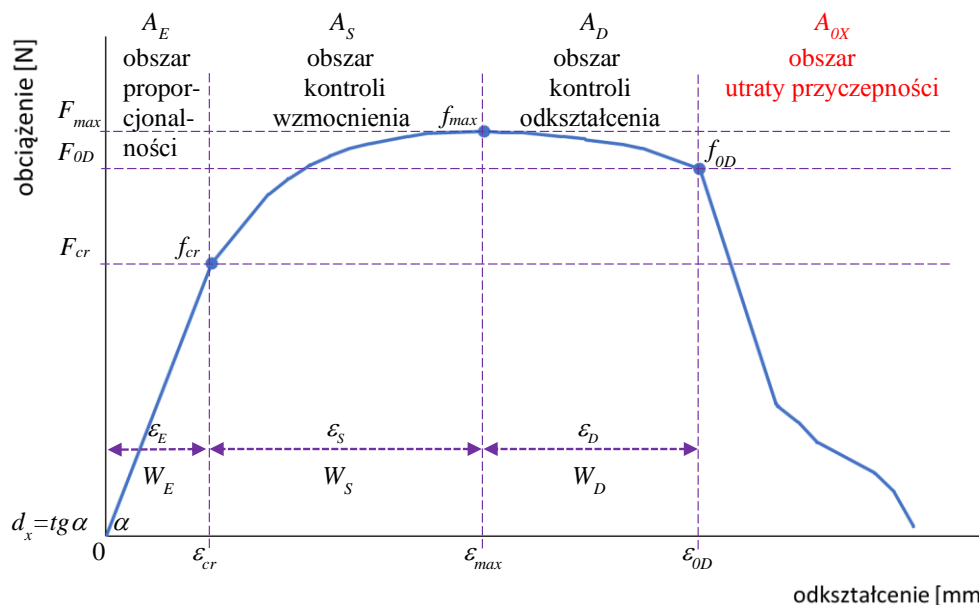
d) Obszar utraty przyczepności

Obszar utraty przyczepności  $A_{ox}$  (obszar występujący po przekroczeniu punktu  $f_{ox}$ , przy którym żywica ulega odrywaniu od podłoża) przy malejących naprężeniach i wzroście odkształceń charakteryzuje moment odrywania się próbki żywicznej od powierzchni betonu wraz destrukcją struktury żywicy. Występują odkształcenia zrywające i niszczące strukturę materiału na styku z betonem.

e) Obszar propagacji (osłabienia)

Obszar propagacji, osłabienia  $A_P$  (obszar występujący po przekroczeniu punktu  $f_d$ , dla którego  $F_{cr}=F_d$ ), przy malejących naprężeniach i wzroście odkształceń charakteryzuje się w pierwszej kolejności pochłanianiem kolejnej porcji energii w procesie destrukcji struktury żywicy wypełniającej model przerwy dylatacyjnej. Obszar propagacji  $A_P$  może, lecz nie musi, zawierać obszar utraty przyczepności  $A_{op}$ . Występują odkształcenia niszczące strukturę materiału i/lub odkształcenia zrywające połączenie żywicy z podłożem.

W przypadku rozciągania modelu przerwy dylatacyjnej wypełnionego badaną żywicą wykres obciążenia w funkcji odkształcenia przedstawia rysunek 4.14.



**Rys. 4.14.** Wykres zależności obciążenia w funkcji odkształcenia materiału żywicznego przy rozciąganiu badanych próbek modelu szczeliny dylatacyjnej.

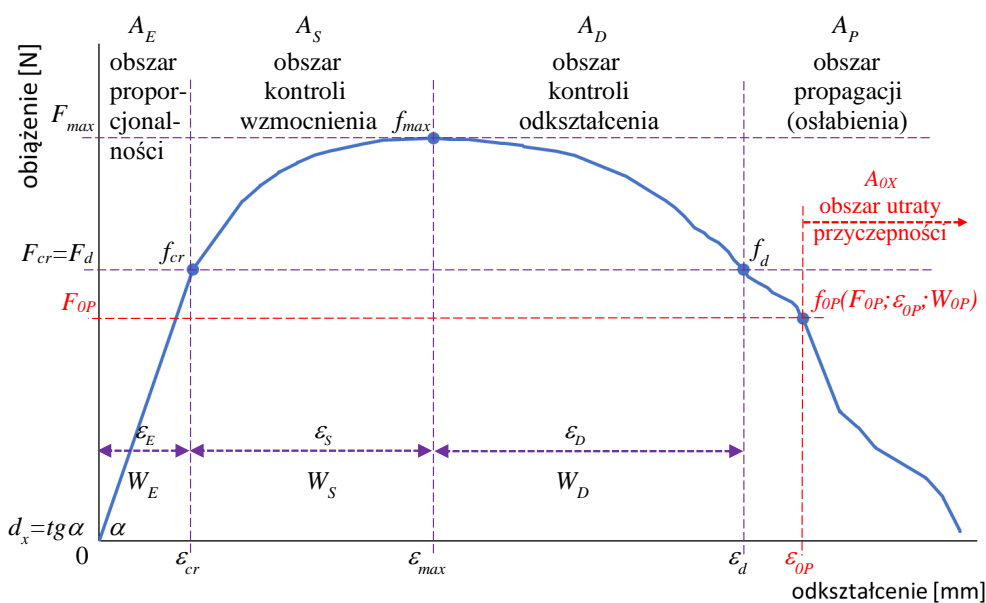
Ocenę badań rozciągania modelu przerwy dylatacyjnej wypełnionej badaną żywicą umożliwia rejestrowanie danych: obciążenie, odpowiadające odkształcenie oraz praca, jako ilość absorbowanej energii (pole powierzchni pod krzywą obciążenia w funkcji odkształcenia). Charakterystykę każdego punktu  $f_x$  na krzywej obciążenia w funkcji odkształcenia, przedstawiono w postaci  $f_x$  (obciążenie; odkształcenie; energia).

$$f_x(F_x; \varepsilon_x; W_x = \int_0^{\varepsilon_x} F d\varepsilon) \quad (4.13)$$

Z założenia, kryteria, którym odpowiadają żywice uszczelniające przerwy dylatacyjne powinny być rozpatrywane jako szczelne i zdolne do przenoszenia naprężeń w obszarze proporcjonalności  $F_{cr} > 0$ , kontroli wzmocnienia  $F_{max} > F_{cr}$  oraz w obszarze kontroli odkształceń  $F_{max} < F_{0D}$ . Charakterystyka elastycznych żywic uszczelniających przerwy dylatacyjne wykazuje zwiększanie zdolności do odkształcenia w obszarach  $A_S$  i  $A_D$  skutkując większą ilością absorbowanej energii w obszarach kontroli wzmocnienia i kontroli odkształceń w porównaniu z obszarem proporcjonalności  $A_E$ .

Zakłada się również, że decydujący wpływ na zachowanie niezawodności całego układu, przerwy dylatacyjnej wypełnioną żywicą uszczelniającą jest obszar kontroli przyczepności  $A_{0X}$ . W obszarze utraty przyczepności zachodzą zjawiska prowadzące do odpajania się żywic od betonowych powierzchni ścianek modelu przerwy dylatacyjnej. Odspojenie się żywicy od powierzchni betonu uważa się za stan awaryjny. Utrata przyczepności żywicy uszczelniającej w przerwie dylatacyjnej z punktu widzenia zachowania niezawodności uszczelnienia jest momentem utraty szczelności. W tym momencie, woda działająca na układ może wyciekać. Wypełnienie przerwy dylatacyjnej staje się zatem nieszczelne.

Z punktu widzenia niezawodności uszczelnienia, obszar utraty przyczepności powinien występować jak najpóźniej, gdzie  $f_{0X} \in A_P$ . Na rysunku 4.15 przedstawiono optymalne wystąpienie utraty przyczepności, z punktu widzenia niezawodności uszczelnień, układ zależności obciążenia w funkcji odkształcenia dla żywicy do wypełniania modelu przerwy dylatacyjnej, gdzie  $F_{cr} = F_d$ .



Rys. 4.15. Optymalny wykres zależności obciążenia w funkcji odkształcenia żywicy do wypełniania modelu przerwy dylatacyjnej przy rozciąganiu.





Za punkt końcowy oceny odkształcalności uznawano  $f_{0x}$ , w którym rejestrowano odrywanie/destrukcję materiału. W przypadku braku odrywania się żywicy, punkt  $f_d$ , kończący zakres kontroli odkształcenia, był wyznacznikiem końca analiz.

Ocenę podatności do odkształceń stosowanych materiałów w zakresie prawa Hook'a wyznaczono jako  $d_x = tg \alpha$ .

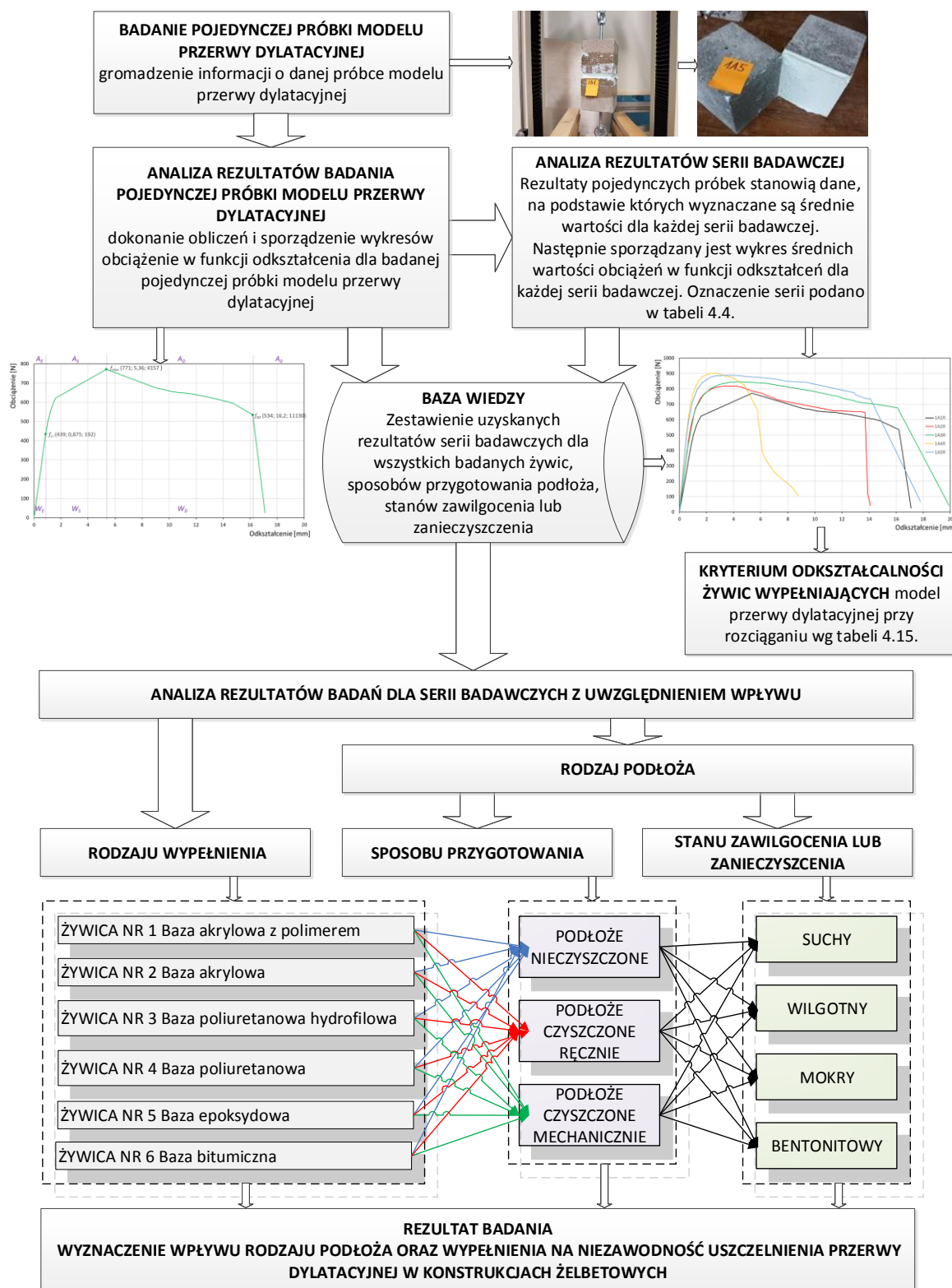
Dodatkowo jako kryterium zdolności przenoszenia odkształceń przy rozszerzanej szczelinie modelu przerwy dylatacyjnej przy rozciąganiu założono zakresy „**kryterium odkształcalności żywic wypełniających**”. W tabeli 4.20 pokazano założone zakresy możliwych odkształceń żywicy wypełniającej model przerwy dylatacyjnej o pierwotnej szerokości 10 mm oraz propozycje oznaczenia żywic spełniających przedstawione zakresy.

**Tabela 4.20.** Zestawienie zakresów możliwych odkształceń żywicy wypełniającej model przerwy dylatacyjnej o pierwotnej rozwarości 10 mm oraz propozycje oznaczenia żywic spełniających założone zakresy.

Lp.	Zakres możliwego odkształcenia przerwy dylatacyjnej przy rozciąganiu (zwiększanie rozwarości szczeliny przerwy dylatacyjnej)	Oznaczenie żywicy wypełniającej
1	do 5%	A00
2	powyżej 5%	A05
3	powyżej 10%	A10
4	powyżej 25%	A25
5	powyżej 50%	A50
6	powyżej 100%	A100

## 5. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Analizę rezultatów z przeprowadzonych badań wykonano według metody podanej na rysunku 5.1.



**Rys. 5.1.** Metoda analizy rezultatów z przeprowadzonych badań wpływu rodzaju podłoża oraz wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

Badanie rozciągania modeli przerwy dylatacyjnych wykonano dla sześciu żywic przy różnych sposobach przygotowania podłoża betonowego oraz różnych stanach zawilgocenia lub zanieczyszczenia. Oznaczenia serii i przypadków badawczych przyjęto według tabeli 4.4.

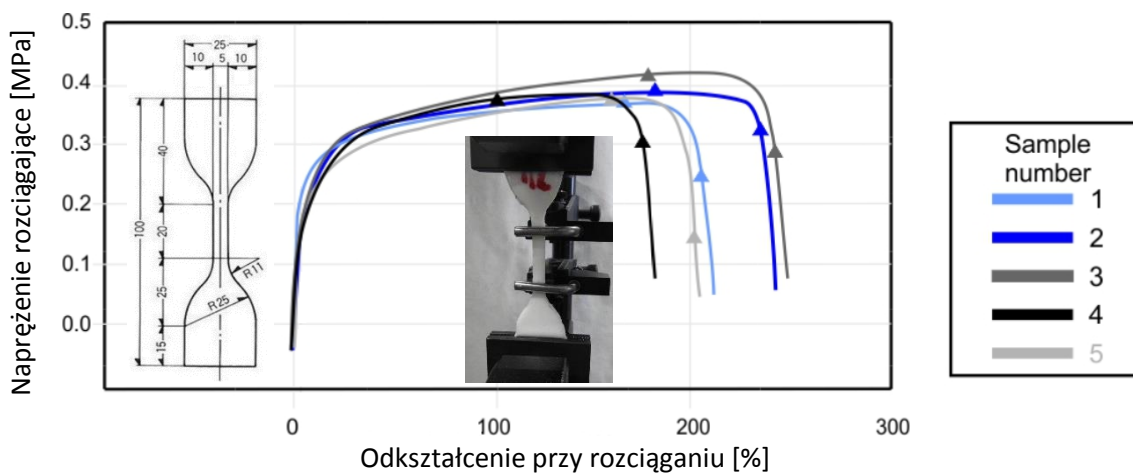
Badania przeprowadzono w celu ustalenia wpływu rodzaju podłoża oraz wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

Dla serii 3DB, 4CB, 4DB 4DR i 5DB nie uzyskano rezultatów ponieważ pojedyncze próbki modeli przerwy dylatacyjnych uległy destrukcji się pod wpływem własnego ciężaru. Odspojenie żywicy nastąpiło na styku z powierzchnią betonu. Ciężar dolnej próbki betonowej z uchwytami wynosił około 23 N. Obciążenie to okazało się większe od wytrzymałości na odrywanie żywicy od powierzchni betonu w modelach przerwy dylatacyjnej. Z tego powodu dla ujednolicenia prezentacji otrzymanych rezultatów do analiz serii badawczych przyjęto rezultaty badań z pominięciem obciążenia ciężarem dolnej kostki betonowej. Spowodowało to odrzucenie serii 3DB, 4CB, 4DB 4DR oraz 5DB i porównanie tych serii, dla których uzyskano poprawne rezultaty.

### 5.1. Metoda badawcza – rozciąganie osiowe badanych żywic

Badanie rozciągania osiowego żywicy przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN ISO 37 [116] na maszynie wytrzymałościowej Instron 33R.

Wykres naprężeń w funkcji odkształceń przy badaniu osiowego rozciągania dla żywicy nr 1 dla 5 próbek tego materiału przedstawiono na rysunku 5.2.



**Rys. 5.2.** Wykres naprężeń w funkcji odkształceń przy badaniu osiowego rozciągania dla żywicy nr 1 wg PN-EN ISO 37 [116].

Uzyskane wyniki z badania rozciągania osiowego rozpatrywanych żywic wg PN-EN ISO 37 [116] przedstawiono w tabeli poniżej.

**Tabela 5.1.** Zestawienie wyników z badania osiowego rozciągania rozpatrywanych żywic, wg PN-EN ISO 37 [116]

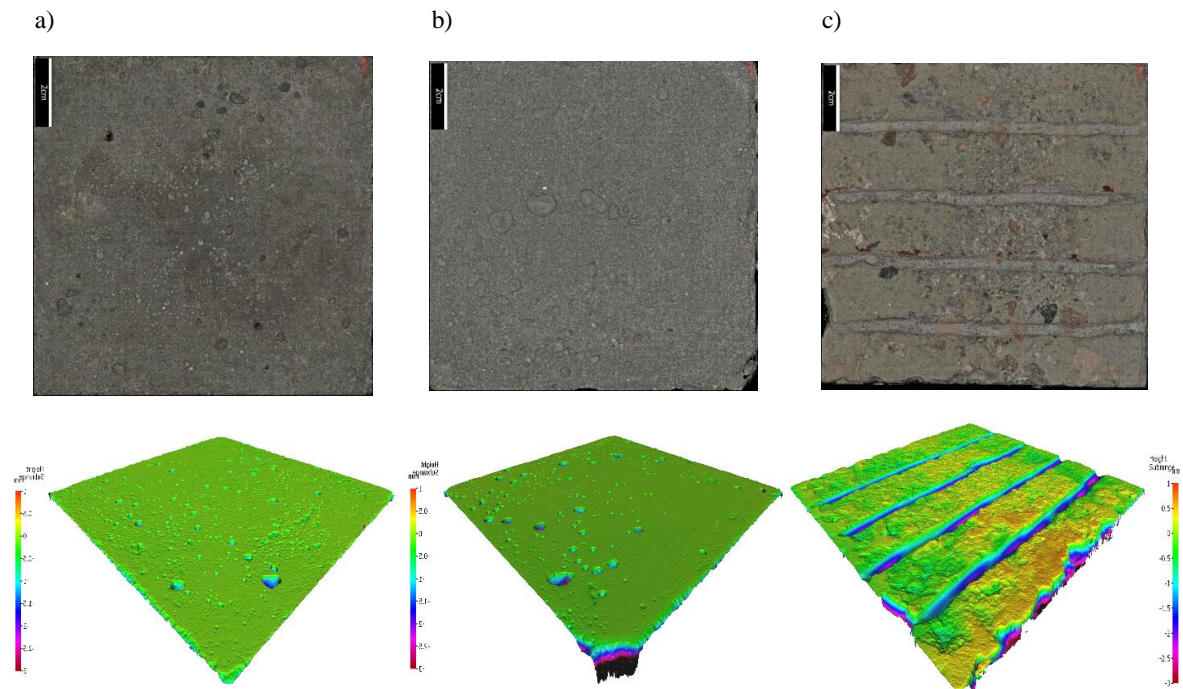
Badana żywica	Nr próbki	Obciążenie przy Maksimum $F_{max}$ [N]	Naprężenie rozciągające przy Maksimum [MPa]	Obciążenie przy zerwaniu [N]	Naprężenie rozciągające przy zerwaniu [MPa]	Odkształcenie przy rozciąganiu dla $F_{max}$ [%]	Odkształcenie przy rozciąganiu przy zerwaniu [%]
Żywica nr 1	1	10,56	0,406	8,066	0,310	199,7	241,8
	2	10,90	0,425	9,626	0,376	201,2	257,7
	3	10,86	0,430	7,969	0,316	179,5	246,0
	4	10,41	0,421	8,237	0,33	157,4	236,3
	5	11,08	0,420	5,437	0,206	193,7	236,5
Wartości średnie		10,76	0,421	7,867	0,308	186,3	243,7
Żywica nr 2	1	6,77	0,529	2,106	0,165	6,5	37,8
	2	7,88	0,737	2,409	0,225	1,1	17,3
	3	7,13	0,690	2,382	0,217	2,7	21,3
	4	6,98	0,665	2,201	0,208	4,4	31,2
	5	6,13	0,605	2,289	0,203	3,4	23,8
Wartości średnie		6,98	0,645	2,277	0,203	3,62	26,3
Żywica nr 3	1	28,88	0,716	23,457	0,582	174,0	175,3
	2	28,62	0,664	8,435	0,196	162,3	160,3
	3	28,22	0,681	23,259	0,561	167,7	186,2
	4	27,22	0,623	24,968	0,571	186,3	197,3
	5	28,28	0,743	25,995	0,683	170,4	178,1
Wartości średnie		28,24	0,685	21,223	0,519	172,1	179,4
Żywica nr 4 – brak możliwości wykonania testu							
Żywica nr 5	1	481,29	6,398	481,286	6,398	115,2	115,2
	2	466,59	5,938	466,588	5,938	102,2	102,2
	3	446,46	5,539	215,259	2,670	89,7	89,1
	4	468,19	5,792	467,858	5,788	96,7	96,9
	5	450,42	5,980	450,136	5,976	103,6	103,8
Wartości średnie		462,59	5,929	416,226	5,354	101,5	101,4
Żywica nr 6 – brak możliwości wykonania testu							

Badanie wykazało brak możliwości wykonania testów dla żywicy nr 4 oraz żywicy nr 6. Próbkę żywicy nr 4 zrywały się w szczękach urządzenia. Natomiast próbki żywicy nr 6 ze względu na bardzo dobrą przyczepność do podłoża oraz wysoką rozciągliwość uniemożliwiły wykonanie normowych kształtów tzw. wiosełek do wykonania badania.

## 5.2. Metoda badawcza – badanie profilu podłoża betonowego - wyniki

Badanie przestrzennej struktury geometrycznej powierzchni próbek betonowych wykorzystanych do konstruowania modelu przerw dylatacyjnych przeprowadzono z wykorzystaniem pomiaru metodą nieniszczącą profilometrem skaningowym optycznym. Pozwoliło to na wykonanie pomiarów geometrii, profilu i chropowatości optycznym 5-osiowym systemem pomiarowym i zebranie danych z prędkością do 1,7 mln punktów na sekundę.

Na rysunku 5.3 zaprezentowano zdjęcia cyfrowe oraz reprezentację graficzną chmury punktów otrzymanych z profilometru skaningowego dla próbki betonowej: a) podłoże nieczyszczone, b) podłoże czyszczone ręcznie, c) podłoże czyszczone mechanicznie.



**Rys. 5.3.** Zdjęcia cyfrowe i reprezentacja graficzna chmury punktów otrzymanych z profilometru skaningowego dla próbki betonowej: a) podłoże nieczyszczone, b) podłoże czyszczone ręcznie, c) podłoże czyszczone mechanicznie.

Pomiary profilu powierzchni próbek betonowych przeprowadzono na 9 próbkach, po 3 na każdy sposób przygotowania podłoża. Próbki oznakowano B1, B2 i B3 jako nieczyszczone, R1, R2 i R3 jako czyszczone ręcznie i M1, M2 i M3 jako czyszczone mechanicznie.

W tabeli 5.2 przedstawiono rezultaty badania w postaci parametrów wysokościowych, hybrydowych, objętościowych i funkcjonalnych powierzchni badanych próbek.

**Tabela 5.2.** Rezultaty badania w postaci parametrów wysokościowych, hybrydowych, objętościowych i funkcjonalnych powierzchni badanych próbek

Opis	Para metr	Jednos tka	Wartość								
			nieczyszczone			czyszczone ręcznie			czyszczone mechanicznie		
			B1	B2	B3	R1	R2	R3	M1	M2	M3
<b>Parametry amplitudowe</b>											
Średnia kwadratowa wysokość powierzchni	Sq	µm	176,400	244,100	270,100	205,200	277,000	264,700	453,900	648,100	572,600
Współczynnik asymetrii powierzchni w ograniczonej skali	Ssk		-7,639	-7,306	-4,919	-7,170	-8,559	-5,188	-1,668	-1,612	-1,275
Współczynnik nachylenia powierzchni	Sku		77,670	68,490	40,940	68,370	115,500	44,900	5,649	5,168	4,747
Wysokość najwyższego wierzchołka powierzchni	Sp	µm	325,700	445,500	894,500	399,400	456,700	2242,000	1054,000	1192,000	1846,000
Głębokość najniższego wgłębienia powierzchni	Sv	mm	3,599	3,772	3,331	3,786	6,317	3,523	2,906	3,954	2,896
Największa wysokość powierzchni	Sz	mm	3,925	4,218	4,225	4,186	6,774	5,765	3,960	5,146	4,742
Średnia arytmetyczna wysokość powierzchni	Sa	µm	61,750	78,230	134,600	73,700	93,860	131,300	311,000	448,800	405,200
<b>Parametry hybrydowe</b>											
Średniokwadratowe nachylenie powierzchni	Sdq		0,679	0,968	0,876	0,675	0,887	0,768	0,681	1,090	0,881
Współczynnik rozwinięcia obszaru powierzchni	Sdr	%	7,811	18,136	8,934	9,063	19,416	14,842	16,008	22,506	23,634
<b>Parametry objętości</b>											
Objętość materiału wierzchołków powierzchni	Vmp	ml/m <sup>2</sup>	3,439	5,078	11,010	3,939	6,674	9,752	10,910	13,460	18,230
Objętość materiału rdzenia powierzchni	Vmc	ml/m <sup>2</sup>	27,510	32,210	54,370	29,750	37,380	55,740	241,200	346,900	329,100
Objętość pustek rdzenia powierzchni	Vvc	ml/m <sup>2</sup>	42,720	71,150	80,430	48,920	78,450	80,600	301,900	433,300	414,100
Objętość pustek wgłębieni powierzchni	Vvv	ml/m <sup>2</sup>	31,490	40,280	60,920	38,130	47,150	59,140	123,600	181,900	149,800
<b>Parametry funkcjonalne</b>											
Wysokość rdzenia	Sk	µm	75,500	67,370	123,100	79,900	81,780	127,100	604,100	863,700	797,300
Zredukowana wysokość wierzchołków	Spk	µm	64,910	107,400	189,900	75,390	124,200	165,200	221,400	276,600	369,400
Zredukowana głębokość wgłębieni	Svk	µm	470,400	745,300	676,200	595,100	975,400	655,100	1291,000	1873,000	1509,000
Udziału materiałowy przestrzenny powierzchni	Smr1	%	13,690	24,450	14,530	14,910	23,810	15,000	10,460	10,570	11,400
Udziału materiałowy przestrzenny powierzchni	Smr2	%	87,540	89,730	82,610	87,960	90,790	82,640	82,790	82,470	82,170

Porównując wyniki przedstawione w tabeli 5.2 można stwierdzić, że większą nośność na styku betonu z materiałem wypełniającym model przerwy dylatacyjnej będą miały podłoża oczyszczone mechanicznie. Wpływa na to większa chropowatość powierzchni styku. Zanotowano przyrost współczynnika średniej chropowatości powierzchni  $Sa$ , między próbkami oznaczonymi B1/M1, B2/M2, B3/M3 kolejno o 403,64%, 473,69%, 302,04%. W seriach między próbkami B1/R1, B2/R2 różnice te były znacznie mniejsze i wskazywały na zwiększenie chropowatości poddanej obróbce ręcznej powierzchni o około 19%. Natomiast dla serii B3/R3 wartość  $Sa$  została pomniejszona o 2,46%, co świadczy o wygładzeniu wzniesień i dolin wskutek obróbki ręcznej analizowanych powierzchni w stosunku do powierzchni pierwotnej. Na powierzchni próbek B1, B2, B3 można było zaobserwować mleczko betonowe, które wypełniło nierówności struktury zewnętrznej. Powierzchnię betonu próbek M1, M2 i M3, podłoża czyszczonego mechanicznie, przygotowano przy użyciu nowatorskich narzędzi do czyszczenia i nacinania betonu. Tak ukształtowana faktura betonu wpływa na bardziej efektywne wnikanie materiału wypełniającego w pory i nierówności prowadząc do zwiększenia wytrzymałości na naprężenia rozciągające.

### 5.3. Metoda badawcza – nieniszczące badanie wilgotności metodą dielektryczną - wyniki

Przykładowe rezultaty wartości średniej z 10 pomiarów wilgotności masowej powierzchni bocznej betonu próbek modelu przerwy dylatacyjnej zestawiono w tabeli 5.3. Pomiary wykonano przy użyciu urządzenia miernika dielektrycznego Gan Hydromette Uni2.

**Tabela 5.3.** Zestawienie przykładowych rezultatów wartości średniej z 10 pomiarów wilgotności masowej powierzchni bocznej betonu próbek modelu przerwy dylatacyjnej

Próbka modelu przerwy dylatacyjnej	Odczyt z miernika Gan Hydromette Uni2 (wartości średnie z 10 pomiarów)	Wartość wilgotności masowej (wartości średnie z 10 pomiarów)
<b>Stan suchy</b>		
1AR1	23,4	1,2%
1AR4	25,2	1,4%
2AB3	24,5	1,3%
4AM1	25,7	1,4%
4AB2	24,9	1,3%
5AM1	24,1	1,3%
<b>Stan wilgotny</b>		
1BB1	63,5	3,6%
2BM2	62,3	3,4%
2BR2	61,8	3,3%
3BR7	63,3	3,6%
6BM1	64,0	3,7%
6BR5	62,7	3,5%
<b>Stan mokry</b>		
1CR3	88,0	5,0%
1CM4	93,6	5,5%
3CR8	91,8	5,3%
3CB3	92,5	5,4%
5CR1	90,3	5,2%
5CB2	94,4	5,5%

Na podstawie uzyskanych wyników oznaczono stany zawilgocenia lub zanieczyszczenia próbek modelu przerwy dylatacyjnej. I tak:

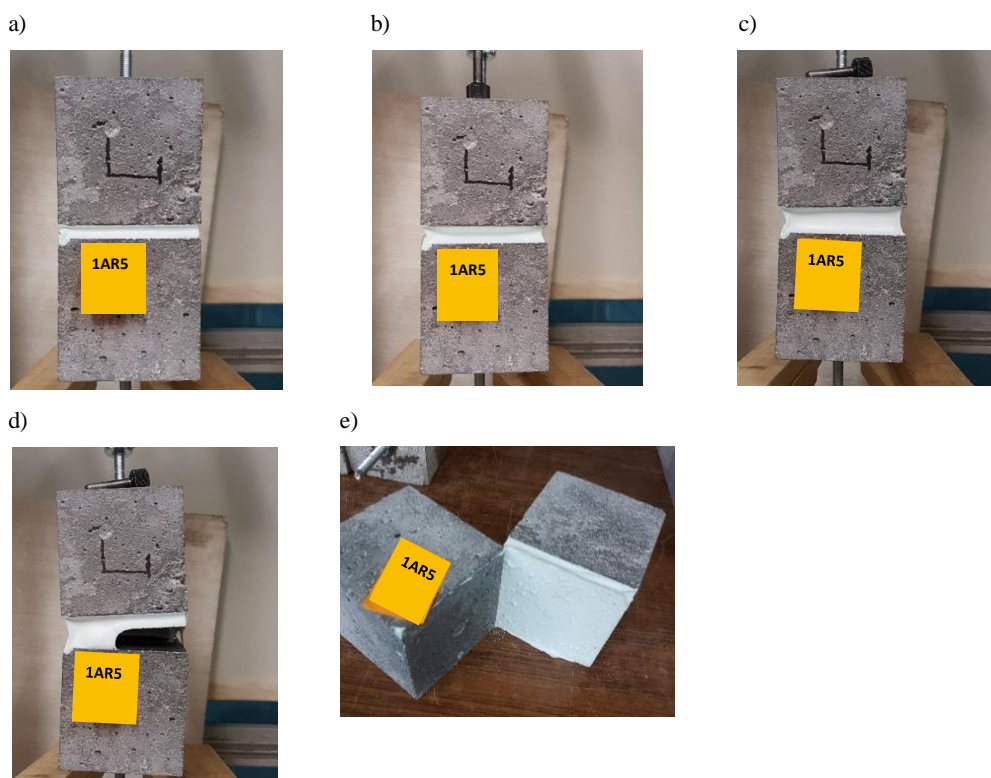
- **Stan suchy** – wilgotność masowa podłoża betonowego próbek  $w_m \leq 1,8\%$ ,
- **Stan wilgotny** - wilgotność masowa podłoża betonowego próbek  $w_m$  od 1,8% do 4,5%,
- **Stan mokry** – wilgotność masowa podłoża betonowego próbek  $w_m \geq 4,5\%$ ,
- **Stan bentonitowy** - wilgotność masowa podłoża betonowego próbek  $w_m \geq 4,5\%$  oraz zanieczyszczenie powierzchni bentonitem.



W ten sposób określono rodzaj podłoża w postaci stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia powierzchni betonu we wszystkich badanych próbkach modelu przerwy dylatacyjnej.

#### 5.4. Badanie pojedynczej próbki modelu przerwy dylatacyjnej – próbka 1AR5

Badanie pojedynczej próbki modelu przerwy dylatacyjnej przedstawiono na przykładzie próbki nr 1AR5 (żywica nr 1, stan zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża: suchy (A), podłoże czyszczone ręcznie (R), próbka nr 5). Na rysunku 5.4 pokazano próbkę modelu przerwy dylatacyjnej 1AR5 podczas badania.



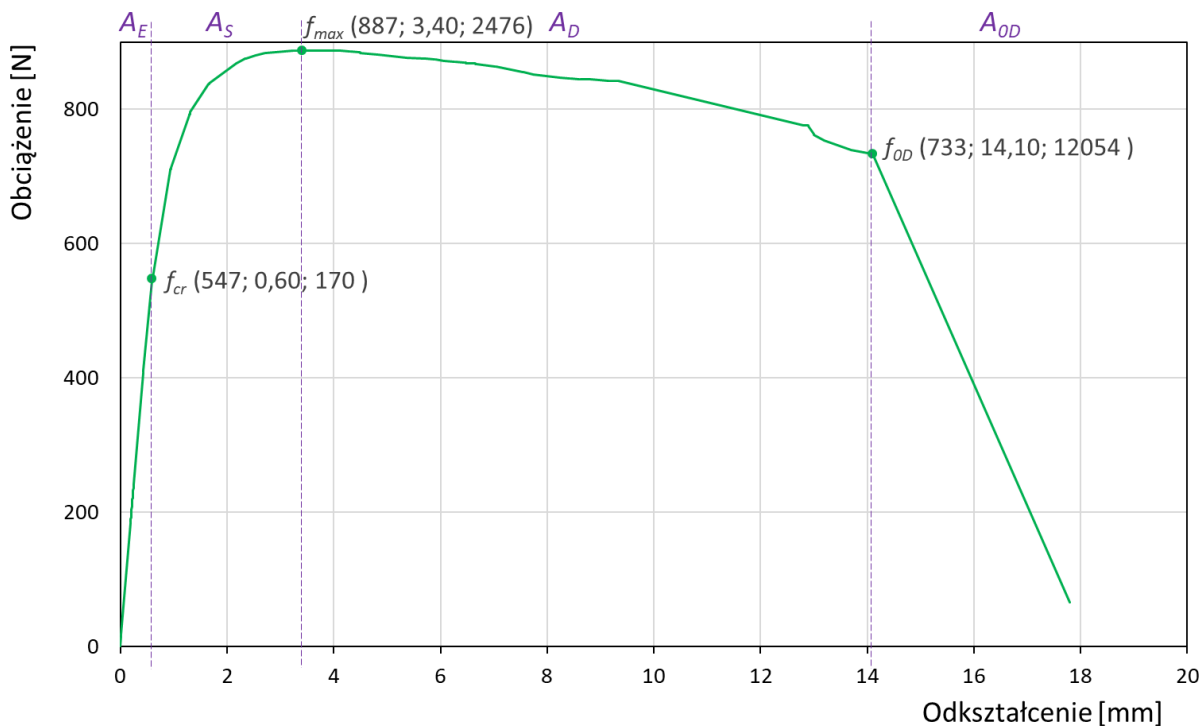
**Rys. 5.4.** Próbkę modelu przerwy dylatacyjnej 1AR5 podczas badania: a) przygotowanie do badania w maszynie wytrzymałościowej, b) uzyskanie maksymalnej wartości obciążenia w punkcie  $f_{max}$ . Widoczne odkształcenie masy żywicznej w szczelinie modelu przerwy dylatacyjnej, c) uzyskanie wartości  $f_{OD}$ , tuż przed utratą przyczepności do podłoża. Widoczne znaczne odkształcenie się masy żywicznej w szczelinie modelu przerwy dylatacyjnej z przewężeniem w środku grubości masy żywicznej, d) odspojenie się żywicy od betonu w obszarze  $A_{OD}$ . Żywica odrywa się od jednej powierzchni betonu, ale nadal przylega do drugiej powierzchni betonu. Masa żywiczna nadal ulega odkształceniom i wydłuża się, e) widok próbki 1AR5 po zakończeniu badania. Widoczne odspojenie się żywicy od betonu, brak uszkodzeń struktury żywicy. Żywica oderwała się od jednej powierzchni betonu i nadal przylega do drugiej powierzchni betonu.

Przeprowadzone badanie ma na celu pozyskanie wiedzy na temat przykładowej, pojedynczej próbki modelu przerwy dylatacyjnej oznakowanej jako 1AR5 i określenie wpływu rodzaju podłoża oraz wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

### 5.5. Analiza rezultatów badania pojedynczej próbki modelu przerwy dylatacyjnej – próbka 1AR5

Uzyskane rezultaty badania pojedynczej próbki modelu przerwy dylatacyjnej umożliwiają dokonanie obliczeń i sporządzenie wykresów obciążenia w funkcji odkształcenia dla każdej próbki modelu przerwy dylatacyjnej. Na rysunku 5.5 przedstawiono wykres zależności obciążenia w funkcji odkształcenia dla próbki modelu przerwy dylatacyjnej 1AR5. Natomiast w tabeli 5.4 umieszczono zestawienie rezultatów obciążeń i odkształceń uzyskanych w trakcie badania próbki modelu przerwy dylatacyjnej oznakowanej 1AR5 oraz rezultaty obliczeń wartości energii w poszczególnych obszarach badawczych. Z kolei w tabeli 5.5 zestawiono charakterystyczne parametry próbki modelu przerwy dylatacyjnej oznakowanej 1AR5 w poszczególnych obszarach badawczych.

Charakterystyczne punkty na wykresach oraz w tabelach oznaczają:  $f_{cr}$  - punkt krytyczny obszaru proporcjonalności,  $f_{max}$  - punkt maksymalnych naprężeń obszaru kontroli wzmocnienia,  $f_d$  - punkt kończący zakres analiz,  $f_{0E}$ ,  $f_{0S}$  oraz  $f_{0D}$  - punkty oderwania się żywicy od powierzchni betonu w obszarach, kolejno, proporcjonalności  $A_E$ , kontroli wzmocnienia  $A_S$  oraz kontroli odkształcenia  $A_D$ . Dowolny punkt na krzywej obciążenia w funkcji odkształcenia charakteryzuje  $f_x$  ( $F_x$  - obciążenie;  $\varepsilon_x$  - odkształcenie;  $W_x$  - absorbowana energia), a w obszarze proporcjonalności  $A_E$  dodatkowo  $d_x$  jako zdolność do odkształceń.



Rys. 5.5. Wykres zależności obciążenia w funkcji odkształcenia dla próbki modelu przerwy dylatacyjnej oznakowanej 1AR5.

**Tabela 5.4.** Zestawienie rezultatów obciążeń i odkształceń uzyskanych w trakcie badania próbki modelu przerwy dylatacyjnej oznakowanej 1AR5 oraz rezultaty obliczeń wartości energii w poszczególnych obszarach badawczych

Próbka	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]
1AR5	$f_{cr}$	547	0,60	170	923
	$f_{max}$	887	3,40	2476	-
	$f_{0D}$	733	14,10	12054	-

**Tabela 5.5.** Zestawienie charakterystycznych parametrów próbki modelu przerwy dylatacyjnej oznakowanej 1AR5 w poszczególnych obszarach badawczych

Obszar badawczy	Charakterystyczne parametry próbki modelu przerwy dylatacyjnej 1AR5 w poszczególnych obszarach badawczych
<b>Obszar proporcjonalności</b> $A_E$	Badana próbka osiągnęła odkształcenie 0,60 mm od pierwotnej 10 mm rozwarości szczeliny modelu przerwy dylatacyjnej. Wartość uzyskanego obciążenia w tym miejscu to 547 N. Obliczeniowa wartość energii $W_E$ (pole pod krzywą w zakresie $0 - \varepsilon_{cr}$ ) w tym obszarze wynosi 170 J.
<b>Obszar kontroli wzmocnienia</b> $A_S$	Badana próbka osiągnęła maksymalną wartość obciążenia wynoszącą 887 N przy odkształceniu 3,40 mm. Oznacza to wartość przekraczającą ponad 30% pierwotnej rozwarości szczeliny próbki modelu przerwy dylatacyjnej. Obliczeniowa wartość energii $W_S$ w tym obszarze wynosi 2476 J.
<b>Obszar kontroli odkształcenia</b> $A_D$	Badana próbka ulega dalszym odkształceniom, znacznie się wydłuża osiągając wartość odkształcenia 14,10 mm i wartość obciążenia 733 N. w tym obszarze wartość obciążenia nieznacznie maleje, lecz uzyskiwane są znaczne odkształcenia masy żywicznej stanowiące ponad 140 % pierwotnej 10 mm rozwarości szczeliny próbki modelu przerwy dylatacyjnej. Obliczeniowa wartość energii $W_D$ wynosi 12054 J.
<b>Obszar utraty przyczepności</b> $A_{0D}$	Badana próbka osiągając pkt $f_{0D}$ przechodzi w obszar utraty przyczepności $A_{0D}$ . Żywica wypełniająca model przerwy dylatacyjnej odspaja się od powierzchni betonu. Widoczny nagły spadek obciążenia przy niewielkim odkształceniu. Masa żywiczna pomimo stopniowego odspajania się od betonu nadal ulega odkształceniom.
<b>Obszar propagacji (osłabienia)</b> $A_P$	Obszar propagacji $A_P$ w badanej próbce nie wstępuje.

Badana żywica nr 1 (pkt. 4.3.1) wypełniająca model przerwy dylatacyjnej 1AR5 charakteryzuje się zdolnością do znacznych odkształceń. Wcześniej można już zaobserwować oderwanie się materiału żywicznego od powierzchni betonu niż jego strukturalne uszkodzenie. Jest to dosyć istotna cecha charakteryzująca materiał wypełniający przerwy dylatacyjne, który ma być trwale szczelny dla działania wody, w tym wody pod ciśnieniem. W przypadku oderwania się żywicy od powierzchni betonu żywica wypełniająca model przerwy dylatacyjnej wykazuje nadal

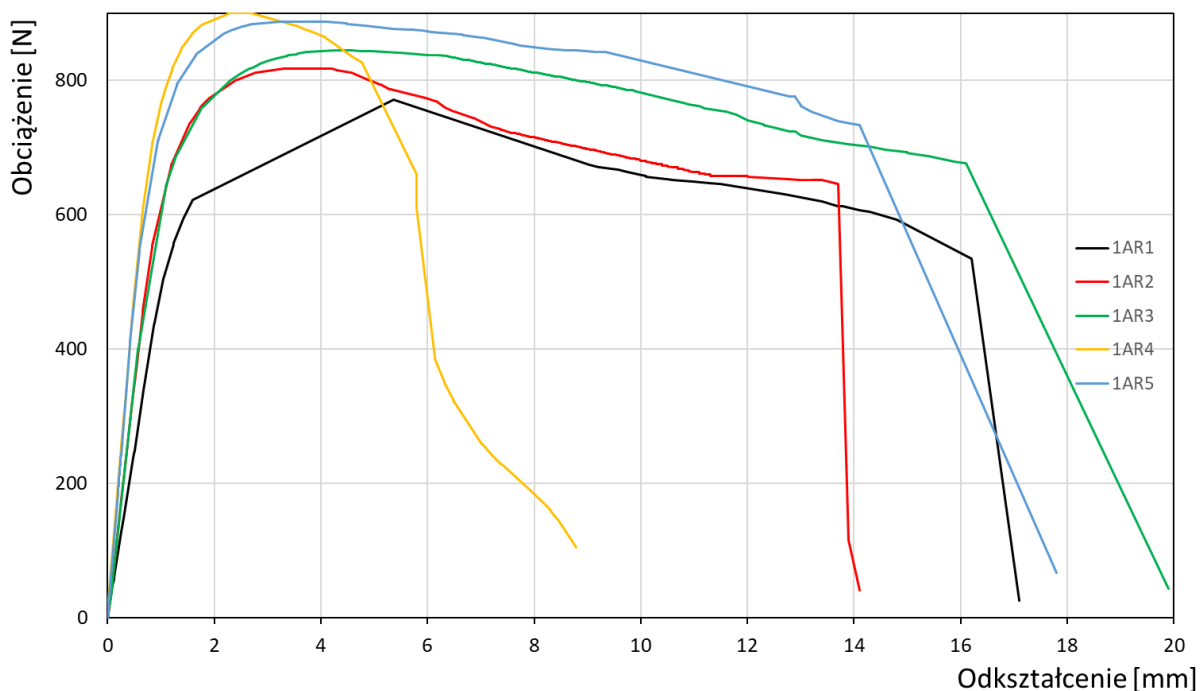
możliwość odkształceń. Jednak, z punktu widzenia niezawodności uszczelnienia przerwy dylatacyjnej taka sytuacja nie umożliwi zachowania jej szczelności w przypadku pojawienia się wody.

### 5.6. Analiza rezultatów serii badawczej 1AR

Seria badawcza 1AR składała się z 5 próbek modelu przerwy dylatacyjnej, tj.: 1AR1, 1AR2, 1AR3, 1AR4 i 1AR5. Rezultaty badań przykładowej pojedynczej próbki modelu przerwy dylatacyjnej 1AR5 przedstawiono w punktach 5.4 i 5.5. Natomiast rezultaty dla próbek 1AR2, 1AR3 oraz 1AR5 stanowiły dane, na podstawie których wyznaczono średnie wartości dla całej serii badawczej 1AR.

Zgodnie z przyjętą metodą badań, rezultaty badań przedstawiono w formie wykresu średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczej 1AR. Posłużyły one do analizy wpływu rodzaju podłoża oraz wypełniania na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

Na rysunku 5.6 przedstawiono zbiorcze zestawienie wykresów zależności obciążenia w funkcji odkształcenia dla wszystkich pojedynczych próbek serii 1AR.



**Rys. 5.6.** Zbiorcze zestawienie wykresów zależności obciążenia w funkcji odkształcenia dla wszystkich pojedynczych próbek serii 1AR.

Natomiast w tabeli 5.6 umieszczono zbiorcze zestawienie rezultatów obciążeń i odkształceń uzyskanych w trakcie badań pojedynczych próbek modelu przerwy dylatacyjnej

serii badawczej 1AR oraz rezultaty obliczeń wartości energii w poszczególnych obszarach badawczych.

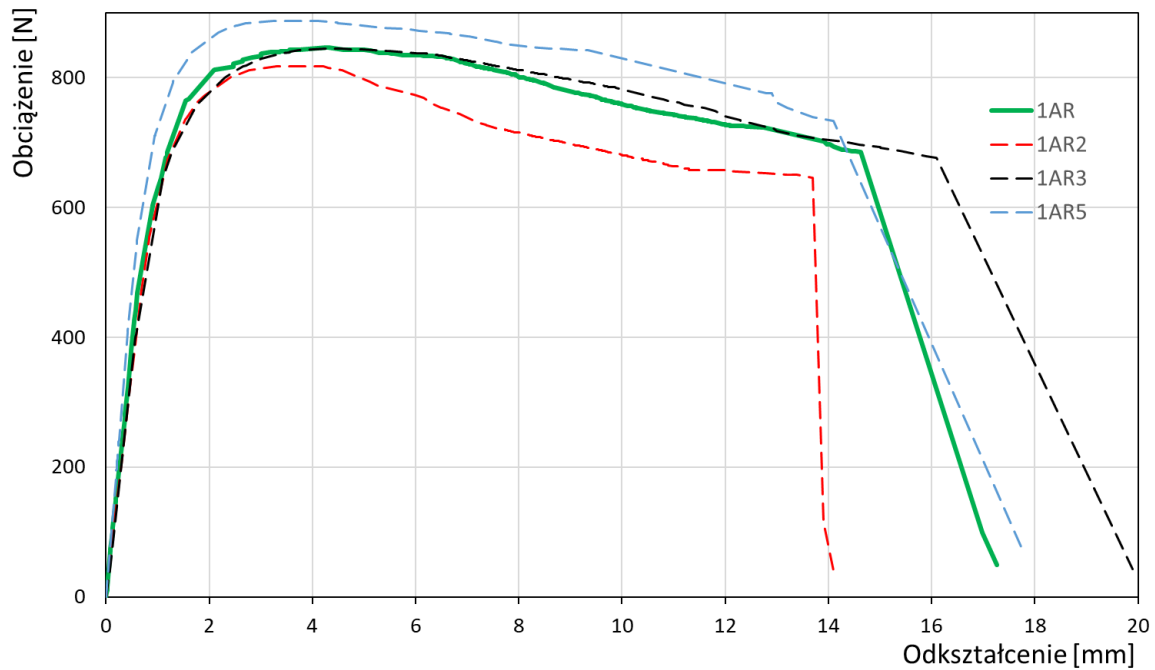
**Tabela 5.6.** Zestawienie rezultatów obciążeń i odkształceń uzyskanych w trakcie badań pojedynczych próbek modelu przerwy dylatacyjnej serii badawczej 1AR oraz rezultaty obliczeń wartości energii w poszczególnych obszarach badawczych

Oznaczenie	1AR1	1AR2	1AR3	1AR4	1AR5
$F_{cr}$ [N]	439	457	401	467	547
$\varepsilon_{cr}$ [mm]	0,87	0,65	0,57	0,47	0,60
$W_E$ [J]	192	150	111	113	170
$tg\alpha$ [N/mm]	502	694	714	913	923
$F_{max}$ [N]	771	818	845	901	887
$\varepsilon_{max}$ [mm]	5,36	3,37	4,25	2,68	3,40
$W_S$ [J]	4157	2160	2907	1910	2476
$F_d/F_{0D}$ [N]	534	646	676	660	733
$\varepsilon_d/\varepsilon_{0D}$ [mm]	16,20	13,70	16,10	5,79	14,10
$W_D$ [J]	11130	9451	12001	4509	12054

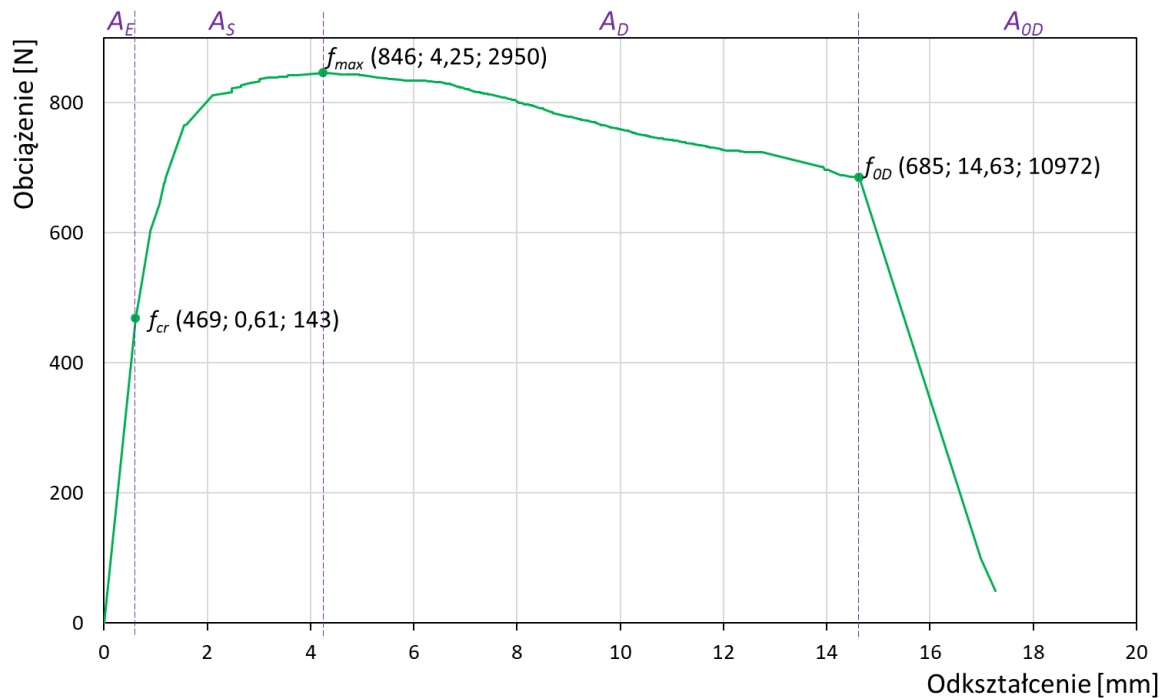
Podsumowując, uzyskane rezultaty badań próbek serii badawczej 1AR (zgodnie z tabelą 4.4: żywica wypełniająca nr 1, stan zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża: suchy (A), podłoże czyszczone ręcznie (R)) wskazują na znaczny zakres możliwych odkształceń przerwy dylatacyjnej. Badana żywica nr 1 wykazuje cechy materiału elastycznego o odkształceniach dochodzących do 16,20 mm. Próbki wykazują właściwości odkształcenia głównie w obszarach kontroli wzmocnienia  $A_S$  oraz kontroli odkształcenia  $A_D$ . Próbki serii badawczej 1AR osiągając punkt  $f_{0D}$  przechodzą w obszar utraty przyczepności  $A_{0D}$ , w którym żywica odrywa się od powierzchni betonu i ulega dalszym odkształceniom. Po zakończeniu badań żywica wypełniająca szczelinę modelu przerwy dylatacyjnej oderwana jest od jednej i nadal przylega do drugiej powierzchni betonu modelu przerwy dylatacyjnej.

Rezultaty badań pojedynczych próbek modeli przerwy dylatacyjnej 1AR2, 1AR3 i 1AR5 stanowią dane, na podstawie których wyznaczane są średnie wartości dla serii badawczej 1AR. Rezultaty z badań próbek 1AR1 i 1AR4 okazały się niewiarygodne, odbiegały istotnie od pozostałych rezultatów i z tego powodu zostały odrzucone.

Na rysunku 5.7 przedstawiono wykresy średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń dla wiarygodnych wyników serii badawczej 1AR, wykonane na podstawie rezultatów badań pojedynczych próbek modeli przerwy dylatacyjnej 1AR2, 1AR3 i 1AR5. Z kolei na rysunku 5.8 przedstawiono wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczej 1AR.



**Rys. 5.7.** Wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczej 1AR na podstawie rezultatów badań pojedynczych próbek modeli przerwy dylatacyjnej 1AR2, 1AR3 i 1AR5.



**Rys. 5.8.** Wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczej 1AR.

W tabeli 5.7 zestawiono rezultaty obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczej 1AR oraz rezultaty obliczeń wartości energii w poszczególnych obszarach badawczych. Natomiast w tabeli 5.8 zestawiono charakterystyczne parametry serii 1AR w poszczególnych obszarach badawczych.

**Tabela 5.7.** Zestawienie rezultatów obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczej 1AR oraz rezultaty obliczeń wartości energii w poszczególnych obszarach badawczych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]
1AR	$f_{cr}$	469	0,61	143	761
	$f_{max}$	846	4,25	2950	-
	$f_{0D}$	685	14,63	10972	-

**Tabela 5.8.** Zestawienie charakterystycznych parametrów dla serii 1AR w poszczególnych obszarach badawczych

Obszar badawczy	Charakterystyczne parametry serii 1AR w poszczególnych obszarach badawczych
<b>Obszar proporcjonalności</b> $A_E$	Rezultaty średnich wartości serii badawczej osiągnęły odkształcenie 0,61 mm od pierwotnej 10 mm rozwarości szczeliny modelu przerwy dylatacyjnej. Wartość uzyskanego obciążenia w tym miejscu to 469 N. Obliczeniowa wartość energii $W_E$ (pole pod krzywą w zakresie $0 - \varepsilon_{cr}$ ) w tym obszarze wynosi 143 J.
<b>Obszar kontroli wzmocnienia</b> $A_S$	Rezultaty średnich wartości serii badawczej osiągnęły maksymalną wartość obciążenia wynoszącą 846 N przy odkształceniu 4,25 mm. Oznacza to wartość przekraczającą ponad 40% pierwotnej rozwarości szczeliny próbki modelu przerwy dylatacyjnej. Obliczeniowa wartość energii $W_S$ w tym obszarze wynosi 2950 J.
<b>Obszar kontroli odkształcenia</b> $A_D$	Rezultaty średnich wartości serii badawczej wykazały dalsze odkształcenia osiągając wartość 14,63 mm i wartość obciążenia 685 N. W tym obszarze wartość obciążenia nieznacznie maleje, lecz uzyskiwane są znaczne odkształcenia masy żywicznej stanowiące ponad 140% pierwotnej 10 mm rozwarości szczeliny próbki modelu przerwy dylatacyjnej. Obliczeniowa wartość energii $W_D$ wynosi 10972 J.
<b>Obszar utraty przyczepności</b> $A_{0D}$	Rezultaty średnich wartości serii badawczej osiągając pkt $f_{0D}$ przechodzą w obszar utraty przyczepności $A_{0D}$ . Żywica wypełniająca serii 1AR odspaja się od powierzchni betonu. Widoczny nagły spadek obciążenia przy niedużym odkształceniu. Badana żywica pomimo stopniowego odspajania się od betonu nadal ulega odkształceniom.
<b>Obszar propagacji (osłabienia)</b> $A_P$	Obszar propagacji $A_P$ w badanej serii 1AR nie wstępuje.

Badana żywica nr 1 (pkt. 4.3.1) wypełniająca modele przerwy dylatacyjnej serii 1AR charakteryzuje się zdolnością do znacznych odkształceń. W tabeli 5.9 wskazano oznaczenie dla żywicy wypełniającej szczelinę modeli przerwy dylatacyjnej serii 1AR wg kryterium odkształcalności żywic wypełniających.

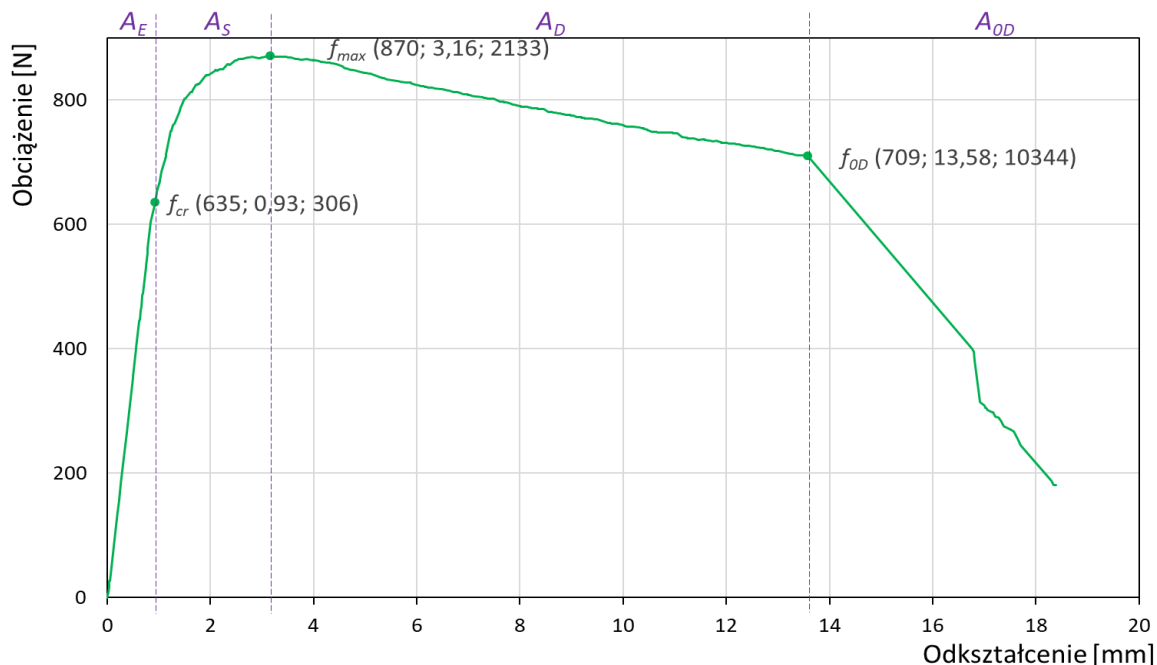
**Tabela 5.9.** Oznaczenie dla żywicy wypełniającej szczelinę modeli przerwy dylatacyjnej serii 1AR wg kryterium odkształcalności żywic wypełniających

Seria badawcza	Odształcenia przed oderwaniem się żywicy od podłoża betonowego, pkt $f_{OD}$	Oznaczenie wg kryterium odkształcalności żywic wypełniających
1AR	14,63 mm	A100

### 5.7. Analiza rezultatów serii badawczej 1BR

Zgodnie z przyjętą metodą badań, rezultaty badań serii badawczej 1BR (zgodnie z tabelą 4.4: żywica wypełniająca nr 1, stan zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża: wilgotny (B), podłoże czyszczone ręcznie (R)) posłużyły do analizy wpływu rodzaju podłoża oraz wypełniania na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

Na rysunku 5.9 przedstawiono wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczej 1BR, wykonany na podstawie rezultatów badań pojedynczych próbek modeli przerwy dylatacyjnej serii badawczej 1BR. Natomiast w tabeli 5.10 zestawiono rezultaty obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczej 1BR oraz rezultaty obliczeń wartości energii w poszczególnych obszarach badawczych. Z kolei w tabeli 5.11 zestawiono charakterystyczne parametry serii 1BR w poszczególnych obszarach badawczych.



**Rys. 5.9.** Wykres średnich wartości zależności obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczej 1BR.



**Tabela 5.10.** Zestawienie rezultatów obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczej 1BR oraz rezultaty obliczeń wartości energii w poszczególnych obszarach badawczych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]
1BR	$f_{cr}$	635	0,93	306	720
	$f_{max}$	870	3,16	2133	-
	$f_{0D}$	709	13,58	10344	-

**Tabela 5.11.** Zestawienie charakterystycznych parametrów dla serii 1BR w poszczególnych obszarach badawczych

Obszar badawczy	Charakterystyczne parametry serii 1BR w poszczególnych obszarach badawczych
<b>Obszar proporcjonalności</b> $A_E$	Rezultaty średnich wartości serii badawczej osiągnęły odkształcenie 0,93 mm od pierwotnej 10 mm rozwarości szczeliny modelu przerwy dylatacyjnej. Wartość uzyskanego obciążenia w tym miejscu to 635 N. Obliczeniowa wartość energii $W_E$ (pole pod krzywą w zakresie $0 - \varepsilon_{cr}$ ) w tym obszarze wynosi 306 J.
<b>Obszar kontroli wzmocnienia</b> $A_S$	Rezultaty średnich wartości serii badawczej osiągnęły maksymalną wartość obciążenia wynoszącą 870 N przy odkształceniu 3,16 mm. Oznacza to wartość przekraczającą ponad 30% pierwotnej rozwarości szczeliny próbki modelu przerwy dylatacyjnej. Obliczeniowa wartość energii $W_S$ w tym obszarze wynosi 2133 J.
<b>Obszar kontroli odkształcenia</b> $A_D$	Rezultaty średnich wartości serii badawczej wykazały dalsze odkształcenia osiągając wartość 13,58 mm i wartość obciążenia 709 N. W tym obszarze wartość obciążenia nieznacznie maleje, lecz uzyskiwane są znaczne odkształcenia masy żywicznej stanowiące ponad 130 % pierwotnej 10 mm rozwarości szczeliny próbki modelu przerwy dylatacyjnej. Obliczeniowa wartość energii $W_D$ wynosi 10344 J.
<b>Obszar utraty przyczepności</b> $A_{0D}$	Rezultaty średnich wartości serii badawczej osiągając pkt $f_{0D}$ przechodzą w obszar utraty przyczepności $A_{0D}$ . Żywica wypełniająca serii 1BR odpaja się od powierzchni betonu. Widoczny nagły spadek obciążenia przy niewielkim odkształceniu. Badana żywica pomimo stopniowego odpajania się od betonu nadal ulega odkształceniom.
<b>Obszar propagacji (osłabienia)</b> $A_P$	Obszar propagacji $A_P$ w badanej serii 1BR nie wstępuje.

Badana żywica nr 1 (pkt. 4.3.1) wypełniająca modele przerwy dylatacyjnej serii 1BR charakteryzuje się zdolnością do znacznych odkształceń. W tabeli 5.12 wskazano oznaczenie dla żywicy wypełniającej szczelinę modeli przerwy dylatacyjnej serii 1BR wg kryterium odkształcalności żywic wypełniających.

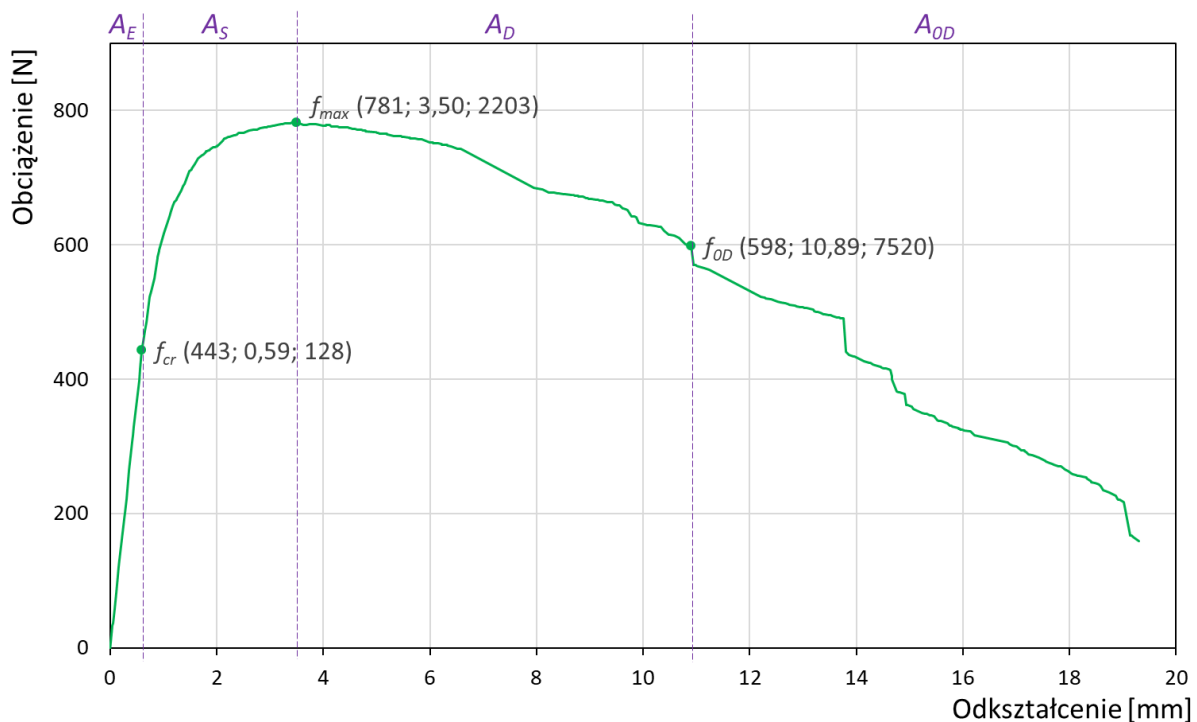
**Tabela 5.12.** Oznaczenie dla żywicy wypełniającej szczelinę modeli przerwy dylatacyjnej serii 1BR wg kryterium odkształcalności żywic wypełniających

Seria badawcza	Odształcenia przed oderwaniem się żywicy od podłoża betonowego, pkt $f_{OD}$	Oznaczenie wg kryterium odkształcalności żywic wypełniających
1BR	13,58 mm	A100

### 5.8. Analiza rezultatów serii badawczej 1CR

Zgodnie z przyjętą metodą badań, rezultaty badań serii badawczej 1CR (zgodnie z tabelą 4.4: żywica wypełniająca nr 1, stan zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża: mokry (C), podłoże czyszczone ręcznie (R)) posłużyły do analizy wpływu rodzaju podłoża oraz wypełniania na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

Na rysunku 5.10 przedstawiono wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczej 1CR, wykonany na podstawie rezultatów badań pojedynczych próbek modeli przerwy dylatacyjnej serii badawczej 1CR. Natomiast w tabeli 5.13 zestawiono rezultaty obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczej 1CR oraz rezultaty obliczeń wartości energii w poszczególnych obszarach badawczych. Z kolei w tabeli 5.14 zestawiono charakterystyczne parametry serii 1CR w poszczególnych obszarach badawczych.



**Rys. 5.10.** Wykres średnich wartości zależności obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczej 1CR.

**Tabela 5.13.** Zestawienie rezultatów obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczej 1CR oraz rezultaty obliczeń wartości energii w poszczególnych obszarach badawczych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]
1CR	$f_{cr}$	443	0,59	128	739
	$f_{max}$	781	3,50	2203	-
	$f_{0D}$	598	10,89	7520	-

**Tabela 5.14.** Zestawienie charakterystycznych parametrów dla serii 1CR w poszczególnych obszarach badawczych

Obszar badawczy	Charakterystyczne parametry serii 1CR w poszczególnych obszarach badawczych
<b>Obszar proporcjonalności</b> $A_E$	Rezultaty średnich wartości serii badawczej osiągnęły odkształcenie 0,59 mm od pierwotnej 10 mm rozwarości szczeliny modelu przerwy dylatacyjnej. Wartość uzyskanego obciążenia w tym miejscu to 443 N. Obliczeniowa wartość energii $W_E$ (pole pod krzywą w zakresie $0 - \varepsilon_{cr}$ ) w tym obszarze wynosi 128 J.
<b>Obszar kontroli wzmocnienia</b> $A_S$	Rezultaty średnich wartości serii badawczej osiągnęły maksymalną wartość obciążenia wynoszącą 781 N przy odkształceniu 3,50 mm. Oznacza to wartość przekraczającą ponad 30% pierwotnej rozwarości szczeliny próbki modelu przerwy dylatacyjnej. Obliczeniowa wartość energii $W_S$ w tym obszarze wynosi 2203 J.
<b>Obszar kontroli odkształcenia</b> $A_D$	Rezultaty średnich wartości serii badawczej wykazały dalsze odkształcenia osiągając wartość 10,89 mm i wartość obciążenia 598 N. W tym obszarze wartość obciążenia nieznacznie maleje, lecz uzyskiwane są znaczne odkształcenia masy żywicznej stanowiące ponad 100 % pierwotnej 10 mm rozwarości szczeliny próbki modelu przerwy dylatacyjnej. Obliczeniowa wartość energii $W_D$ wynosi 7520 J.
<b>Obszar utraty przyczepności</b> $A_{0D}$	Rezultaty średnich wartości serii badawczej osiągając pkt $f_{0D}$ przechodzą w obszar utraty przyczepności $A_{0D}$ . Żywica wypełniająca serii 1CR odspaja się od powierzchni betonu. Widoczny spadek obciążenia przy niewielkim odkształceniu. Badana żywica pomimo stopniowego odspajania się od betonu nadal ulega odkształceniom.
<b>Obszar propagacji (osłabienia)</b> $A_P$	Obszar propagacji $A_P$ w badanej serii 1CR nie wstępuje.

Badana żywica nr 1 (pkt. 4.3.1) wypełniająca modele przerwy dylatacyjnej serii 1CR charakteryzuje się zdolnością do znacznych odkształceń. W tabeli 5.15 wskazano oznaczenie dla żywicy wypełniającej szczelinę modeli przerwy dylatacyjnej serii 1CR wg kryterium odkształcalności żywic wypełniających.

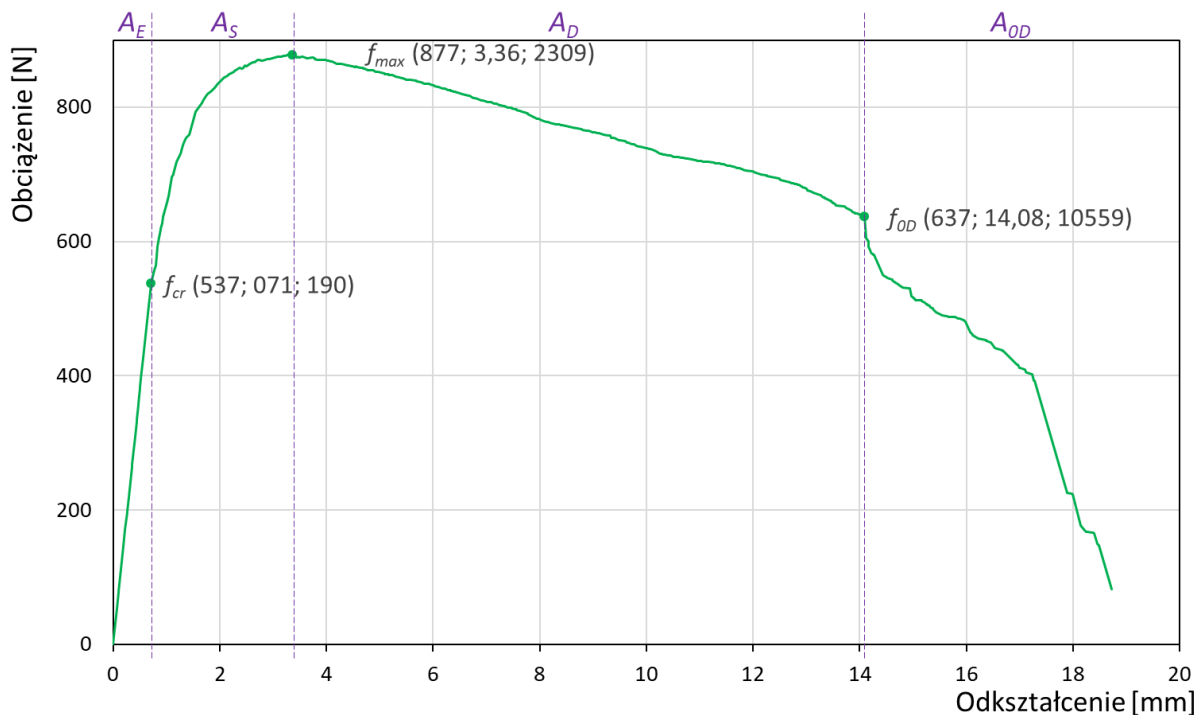
**Tabela 5.15.** Oznaczenie dla żywicy wypełniającej szczelinę modeli przerwy dylatacyjnej serii 1CR wg kryterium odkształcalności żywic wypełniających

Seria badawcza	Odształcenia przed oderwaniem się żywicy od podłoża betonowego, pkt $f_{OD}$	Oznaczenie wg kryterium odkształcalności żywic wypełniających
1CR	10,89 mm	A100

### 5.9. Analiza rezultatów serii badawczej 1DR

Zgodnie z przyjętą metodą badań, rezultaty badań serii badawczej 1DR (zgodnie z tabelą 4.4: żywica wypełniająca nr 1, stan zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża: zanieczyszczony bentonitem (D), podłoże czyszczone ręcznie (R)) posłużyły do analizy wpływu rodzaju podłoża oraz wypełniania na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

Na rysunku 5.11 przedstawiono wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczej 1DR, wykonany na podstawie rezultatów badań pojedynczych próbek modeli przerwy dylatacyjnej serii badawczej 1DR. Natomiast w tabeli 5.16 zestawiono rezultaty obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczej 1DR oraz rezultaty obliczeń wartości energii w poszczególnych obszarach badawczych. Z kolei w tabeli 5.17 zestawiono charakterystyczne parametry serii 1DR w poszczególnych obszarach badawczych.



**Rys. 5.11.** Wykres średnich wartości zależności obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczej 1DR.

**Tabela 5.16.** Zestawienie rezultatów obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczej 1DR oraz rezultaty obliczeń wartości energii w poszczególnych obszarach badawczych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]
1DR	$f_{cr}$	537	0,71	190	753
	$f_{max}$	877	3,36	2309	-
	$f_{0D}$	637	14,08	10559	-

Badana żywica nr 1 (pkt. 4.3.1) wypełniająca modele przerwy dylatacyjnej serii 1DR charakteryzuje się zdolnością do znacznych odkształceń. W tabeli 5.18. wskazano oznaczenie dla żywicy wypełniającej szczelinę modeli przerwy dylatacyjnej serii 1DR wg kryterium odkształcalności żywicy wypełniających.

**Tabela 5.17.** Zestawienie charakterystycznych parametrów dla serii 1DR w poszczególnych obszarach badawczych

Obszar badawczy	Charakterystyczne parametry serii 1DR w poszczególnych obszarach badawczych
<b>Obszar proporcjonalności</b> $A_E$	Rezultaty średnich wartości serii badawczej osiągnęły odkształcenie 0,71 mm od pierwotnej 10 mm rozwarości szczeliny modelu przerwy dylatacyjnej. Wartość uzyskanego obciążenia w tym miejscu to 537 N. Obliczeniowa wartość energii $W_E$ (pole pod krzywą w zakresie $0 - \varepsilon_{cr}$ ) w tym obszarze wynosi 190 J.
<b>Obszar kontroli wzmocnienia</b> $A_S$	Rezultaty średnich wartości serii badawczej osiągnęły maksymalną wartość obciążenia wynoszącą 877 N przy odkształceniu 3,36 mm. Oznacza to wartość przekraczającą ponad 30% pierwotnej rozwarości szczeliny próbki modelu przerwy dylatacyjnej. Obliczeniowa wartość energii $W_S$ w tym obszarze wynosi 2309 J.
<b>Obszar kontroli odkształcenia</b> $A_D$	Rezultaty średnich wartości serii badawczej wykazały dalsze odkształcenia osiągając wartość 14,08 mm i wartość obciążenia 637 N. W tym obszarze wartość obciążenia nieznacznie maleje, lecz uzyskiwane są znaczne odkształcenia masy żywicznej stanowiące ponad 140 % pierwotnej 10 mm rozwarości szczeliny próbki modelu przerwy dylatacyjnej. Obliczeniowa wartość energii $W_D$ wynosi 10559 J.
<b>Obszar utraty przyczepności</b> $A_{0D}$	Rezultaty średnich wartości serii badawczej osiągając pkt $f_{0D}$ przechodzą w obszar utraty przyczepności $A_{0D}$ . Żywica wypełniająca serii 1DR odpaja się od powierzchni betonu. Widoczny spadek obciążenia przy niedużym odkształceniu. Badana żywica pomimo stopniowego odpajania się od betonu nadal ulega odkształceniom.
<b>Obszar propagacji (osłabienia)</b> $A_P$	Obszar propagacji $A_P$ w badanej serii 1DR nie wstępuje.

**Tabela 5.18.** Oznaczenie dla żywicy wypełniającej szczelinę modeli przerwy dylatacyjnej serii 1DR wg kryterium odkształcalności żywic wypełniających

Seria badawcza	Odształcenia przed oderwaniem się żywicy od podłoża betonowego, pkt $f_{0D}$	Oznaczenie wg kryterium odkształcalności żywic wypełniających
1DR	14,08 mm	A100

## 5.10. Zestawienie rezultatów serii badawczych

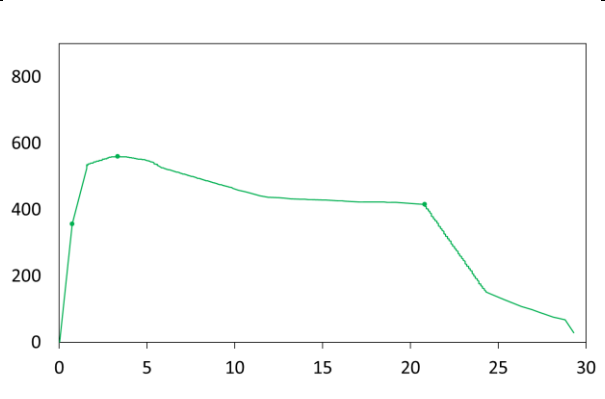
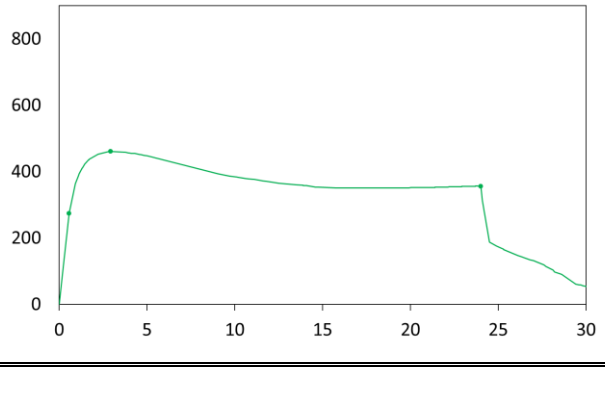
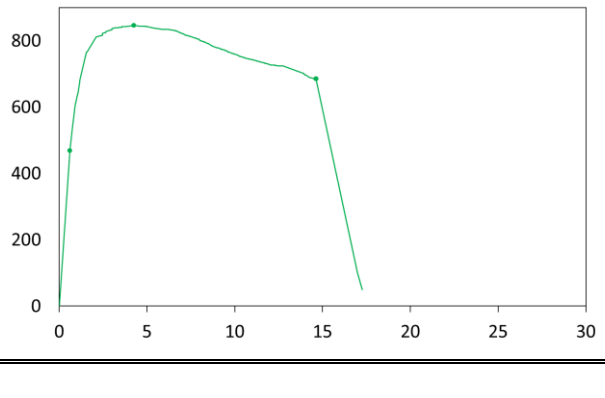
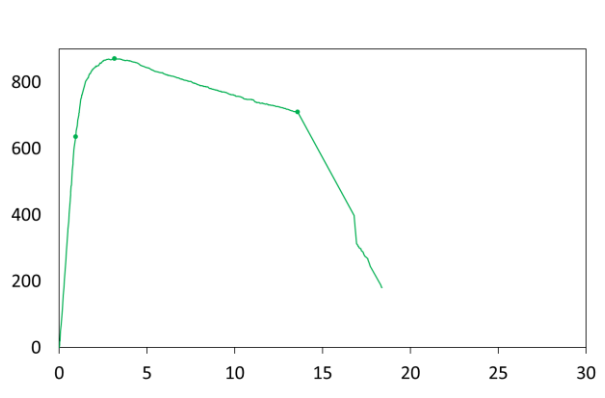
### 5.10.1. Zestawienie rezultatów dla badanej żywicy nr 1

Zgodnie z przyjętą metodą badań, żywica nr 1 (pkt. 4.3.1) wypełniająca modele przerwy dylatacyjnej obejmuje rezultaty badań serii badawczych 1AB, 1BB, 1CB, 1DB, 1AR, 1BR, 1CR, 1DR, 1AM, 1BM, 1CM i 1DM.

W tabeli 5.19 przedstawiono zestawiono rezultaty obciążeń w funkcji odkształceń, wartości energii w poszczególnych obszarach badawczych oraz wykresy średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczych żywicy nr 1.

**Tabela 5.19.** Zestawienie rezultatów obciążeń w funkcji odkształceń, wartości energii w poszczególnych obszarach badawczych oraz wykresy średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczych żywicy nr 1

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczej
1AB	$f_{cr}$	391	0,95	186	410	
	$f_{max}$	552	5,51	2612	-	
	$f_{0D}$	524	13,7	6987	-	
1BB	$f_{cr}$	574	0,72	226	841	
	$f_{max}$	817	2,82	1838	-	
	$f_{0D}$	706	20,70	14771	-	

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczej
1CB	$f_{cr}$	356	0,75	131	481	
	$f_{max}$	560	3,34	1483	-	
	$f_{oD}$	415	20,80	9629	-	
1DB	$f_{cr}$	273	0,56	76	490	
	$f_{max}$	460	2,92	1062	-	
	$f_{oD}$	355	24,00	10374	-	
1AR	$f_{cr}$	469	0,61	143	761	
	$f_{max}$	846	4,25	2950	-	
	$f_{oD}$	685	14,63	10972	-	
1BR	$f_{cr}$	635	0,93	306	720	
	$f_{max}$	870	3,16	2133	-	
	$f_{oD}$	709	13,58	10344	-	

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\epsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczej
1CR	$f_{cr}$	443	0,59	128	739	
	$f_{max}$	781	3,50	2203	-	
	$f_{0D}$	598	10,89	7520	-	
1DR	$f_{cr}$	537	0,71	190	753	
	$f_{max}$	877	3,36	2309	-	
	$f_{0D}$	637	14,08	10559	-	
1AM	$f_{cr}$	567	0,75	213	770	
	$f_{max}$	861	2,04	1225	-	
	$f_{0D}$	637	22,10	14837	-	
1BM	$f_{cr}$	618	0,79	245	779	
	$f_{max}$	937	2,75	1939	-	
	$f_{0D}$	725	20,00	21403	-	



Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczej
1CM	$f_{cr}$	506	0,49	132	1008	
	$f_{max}$	795	3,48	2347	-	
	$f_{oD}$	616	20,60	14136	-	
1DM	$f_{cr}$	494	0,761	199	678	
	$f_{max}$	687	2,42	1261	-	
	$f_{oD}$	515	21,40	12426	-	

W tabeli 5.20 wskazano oznaczenie dla żywicy nr 1 wypełniającej szczelinę modeli przerwy dylatacyjnej serii 1AB, 1BB, 1CB, 1DB, 1AR, 1BR, 1CR, 1DR, 1AM, 1BM, 1CM oraz 1DM wg kryterium odkształcalności żywic wypełniających.

**Tabela 5.20.** Oznaczenie dla żywicy wypełniającej szczelinę modeli przerwy dylatacyjnej serii 1AB, 1BB, 1CB, 1DB, 1AR, 1BR, 1CR, 1DR, 1AM, 1BM, 1CM oraz 1DM wg kryterium odkształcalności żywic wypełniających

Seria badawcza	Odształcenia przed oderwaniem się żywicy od podłoża betonowego, pkt $f_{oD}$	Oznaczenie wg kryterium odkształcalności żywic wypełniających
1AB	13,70 mm	A100
1BB	20,70 mm	A100
1CB	20,80 mm	A100
1DB	24,00 mm	A100
1AR	14,63 mm	A100
1BR	13,58 mm	A100
1CR	10,89 mm	A100
1DR	14,08 mm	A100
1AM	22,10 mm	A100
1BM	20,00 mm	A100
1CM	20,60 mm	A100
1DM	21,40 mm	A100

### 5.10.2. Zestawienie rezultatów dla badanej żywicy nr 2

Zgodnie z przyjętą metodą badań, żywica nr 2 (pkt. 4.3.2) wypełniająca modele przerwy dylatacyjnej obejmuje rezultaty badań serii badawczych 2AB, 2BB, 2CB, 2DB, 2AR, 2BR, 2CR, 2DR, 2AM, 2BM, 2CM i 2DM.

W tabeli 5.21 przedstawiono zestawiono rezultaty obciążeń w funkcji odkształceń, wartości energii w poszczególnych obszarach badawczych oraz wykresy średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczych żywicy nr 2.

Natomiast w tabeli 5.22 wskazano oznaczenie dla żywicy nr 2 wypełniającej szczelinę modeli przerwy dylatacyjnej serii 2AB, 2BB, 2CB, 2DB, 2AR, 2BR, 2CR, 2DR, 2AM, 2BM, 2CM oraz 2DM wg kryterium odkształcalności żywic wypełniających.

**Tabela 5.21.** Zestawienie rezultatów obciążeń w funkcji odkształceń, wartości energii w poszczególnych obszarach badawczych oraz wykresy średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczych żywicy nr 2

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczej
2AB	$f_{cr}$	204	0,68	69	300	
	$f_{max}$	259	1,21	197	-	
	$f_{0D}$	234	3,28	713	-	
2BB	$f_{cr}$	134	0,59	39	227	
	$f_{0S}$	315	2,55	535	-	

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczej
2CB	$f_{cr}$	109	0,37	20	296	
	$f_{max}$	307	3,72	869	-	
	$f_{0D}$	305	4,59	1136	-	
2DB	$f_{cr}$	288	0,72	103	401	
	$f_{max}$	467	1,44	388	-	
	$f_{0D}$	435	1,81	557	-	
2AR	$f_{cr}$	197	1,05	115	209	
	$f_{max}$	342	3,15	737	-	
	$f_{0D}$	298	5,02	1349	-	
2BR	$f_{cr}$	197	1,07	105	184	
	$f_{max}$	319	2,96	627	-	
	$f_{0D}$	254	4,06	940	-	

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczej
2CR	$f_{cr}$	166	1,18	98	141	
	$f_{max}$	296	3,44	665	-	
	$f_{0D}$	289	4,77	1055	-	
2DR	$f_{cr}$	187	0,89	83	210	
	$f_{max}$	298	2,34	450	-	
	$f_{0D}$	258	4,75	1135	-	
2AM	$f_{cr}$	239	0,58	69	413	
	$f_{max}$	544	3,86	1597	-	
	$f_{0D}$	525	5,09	2323	-	
2BM	$f_{cr}$	183	0,41	37	446	
	$f_{max}$	532	2,28	814	-	
	$f_{0D}$	527	3,32	1366	-	

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczej
2CM	$f_{cr}$	196	0,43	42	450	
	$f_{max}$	517	3,24	1285	-	
	$f_{oD}$	480	4,46	1907	-	
2DM	$f_{cr}$	121	0,19	11	620	
	$f_{max}$	382	2,43	750	-	
	$f_{oD}$	362	5,26	1803	-	

**Tabela 5.22.** Oznaczenie dla żywicy wypełniającej szczelinę modeli przerwy dylatacyjnej serii 2AB, 2BB, 2CB, 2DB, 2AR, 2BR, 2CR, 2DR, 2AM, 2BM, 2CM oraz 2DM wg kryterium odkształcalności żywic wypełniających

Seria badawcza	Odształcenia przed oderwaniem się żywicy od podłoża betonowego, pkt $f_{oD}$	Oznaczenie wg kryterium odkształcalności żywic wypełniających
2AB	3,28 mm	A25
2BB	2,55 mm	A25
2CB	4,59 mm	A25
2DB	1,81 mm	A10
2AR	5,02 mm	A50
2BR	4,06 mm	A25
2CR	4,77 mm	A25
2DR	4,75 mm	A25
2AM	5,09 mm	A50
2BM	3,32 mm	A25
2CM	4,46 mm	A25
2DM	5,26 mm	A50

### 5.10.3. Zestawienie rezultatów dla badanej żywicy nr 3

Zgodnie z przyjętą metodą badań, żywica nr 3 (pkt. 4.3.3) wypełniająca modele przerwy dylatacyjnej obejmuje rezultaty badań serii badawczych 3AB, 3BB, 3CB, 3DB, 3AR, 3BR, 3CR, 3DR, 3AM, 3BM, 3CM i 3DM.

W tabeli 5.23 przedstawiono zestawiono rezultaty obciążeń w funkcji odkształceń, wartości energii w poszczególnych obszarach badawczych oraz wykresy średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczych żywicy nr 3.

Natomiast w tabeli 5.24 wskazano oznaczenie dla żywicy nr 3 wypełniającej szczelinę modeli przerwy dylatacyjnej serii 3AB, 3BB, 3CB, 3DB, 3AR, 3BR, 3CR, 3DR, 3AM, 3BM, 3CM oraz 3DM wg kryterium odkształcalności żywic wypełniających.

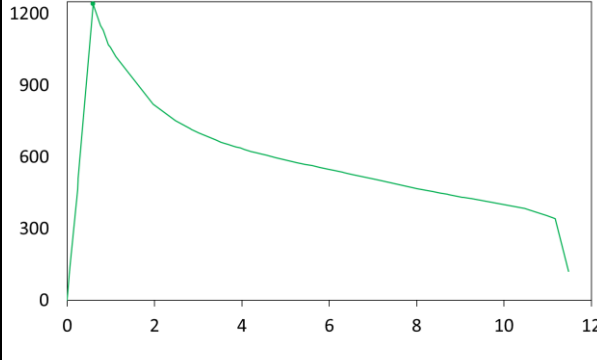
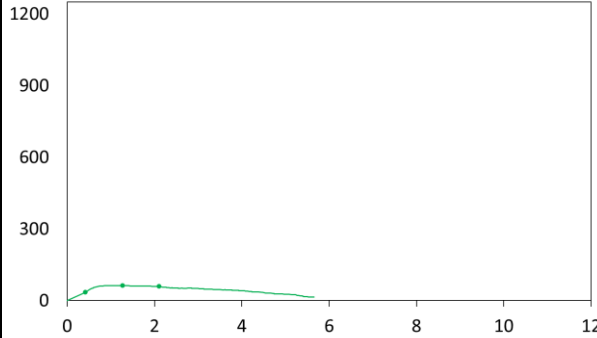
**Tabela 5.23.** Zestawienie rezultatów obciążeń w funkcji odkształceń, wartości energii w poszczególnych obszarach badawczych oraz wykresy średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczych żywicy nr 3

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczej
3AB	$f_{cr}$	143	1,07	76	133	
	$f_{os}$	219	1,86	225	-	
3BB	$f_{cr}$	833	4,64	1932	179	
	$f_{os}$	941	5,68	2863	-	

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczej
3CB	$f_{cr}$	62	0,68	21	92	
	$f_{max}$	90	1,89	119	-	
	$f_{oD}$	82	3,00	217	-	
3DB		Brak danych – pojedyncze próbki modeli przerwy dylatacyjnych 3DB1, 3DB2, 3DB3, 3DB4 i 3DB5 rozpadły się pod własnym ciężarem. Odspojenie żywicy nastąpiło na styku z powierzchnią betonu.				
3AR	$f_{cr}$	63	0,38	11	167	
	$f_{os}$	115	3,87	363	-	
3BR	$f_{cr}$	725	3,01	1091	240	
	$f_{max}$	1020	5,09	2955	-	
	$f_{oD}$	998	5,77	3641	-	

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczej
3CR	$f_{cr}$	66	0,78	25	85	
	$f_{max}$	105	2,09	144	-	
	$f_{oD}$	91	4,10	344	-	
3DR	$f_{cr}$	12	0,20	1	59	
	$f_{os}$	14	0,38	3	-	
3AM	$f_{cr}$	127	1,00	63	126	
	$f_{max}$	194	2,21	273	-	
	$f_{oD}$	175	3,12	445	-	
3BM	$f_{cr}$	572	1,83	523	312	
	$f_{os}$	747	2,87	1240	-	



Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczej
3CM	$f_{0E}$	1240	0,59	359	2039	
3DM	$f_{cr}$	34	0,42	7	84	
	$f_{max}$	62	1,27	56	-	
	$f_{0D}$	59	2,11	107	-	

**Tabela 5.24.** Oznaczenie dla żywicy wypełniającej szczelinę modeli przerwy dylatacyjnej serii 3AB, 3BB, 3CB, 3DB, 3AR, 3BR, 3CR, 3DR, 3AM, 3BM, 3CM oraz 3DM wg kryterium odkształcalności żywic wypełniających

Seria badawcza	Odształcenia przed oderwaniem się żywicy od podłoża betonowego, pkt $f_{0D}$	Oznaczenie wg kryterium odkształcalności żywic wypełniających
3AB	1,86 mm	A10
3BB	5,68 mm	A50
3CB	3,00 mm	A25
3DB	-	A00
3AR	3,87 mm	A25
3BR	5,77 mm	A50
3CR	4,10 mm	A25
3DR	0,38 mm	A00
3AM	3,12 mm	A25
3BM	2,87 mm	A25
3CM	0,59 mm	A05
3DM	2,11 mm	A10

#### 5.10.4. Zestawienie rezultatów dla badanej żywicy nr 4

Zgodnie z przyjętą metodą badań, żywica nr 4 (pkt. 4.3.4) wypełniająca modele przerwy dylatacyjnej obejmuje rezultaty badań serii badawczych 4AB, 4BB, 4CB, 4DB, 4AR, 4BR, 4CR, 4DR, 4AM, 4BM, 4CM i 4DM.

W tabeli 5.25 przedstawiono zestawiono rezultaty obciążeń w funkcji odkształceń, wartości energii w poszczególnych obszarach badawczych oraz wykresy średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczych żywicy nr 4.

Natomiast w tabeli 5.26 wskazano oznaczenie dla żywicy nr 4 wypełniającej szczelinę modeli przerwy dylatacyjnej serii 4AB, 4BB, 4CB, 4DB, 4AR, 4BR, 4CR, 4DR, 4AM, 4BM, 4CM oraz 4DM wg kryterium odkształcalności żywic wypełniających.

**Tabela 5.25.** Zestawienie rezultatów obciążeń w funkcji odkształceń, wartości energii w poszczególnych obszarach badawczych oraz wykresy średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczych żywicy nr 4

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczej
4AB	$f_{cr}$	105	0,29	15	359	
	$f_{os}$	211	1,40	232	-	
4BB	$f_{cr}$	52	0,48	12	110	
	$f_{os}$	85	0,87	41	-	
4CB		Brak danych – pojedyncze próbki modeli przerwy dylatacyjnych 4CB1, 4CB2, 4CB3 i 4CB4 rozpadły się pod własnym ciężarem. Odspojenie żywicy nastąpiło na styku z powierzchnią betonu.				
4DB		Brak danych – pojedyncze próbki modeli przerwy dylatacyjnych 4DB1, 4DB2, 4DB3, 4DB4 i 4DB5 rozpadły się pod własnym ciężarem. Odspojenie żywicy nastąpiło na styku z powierzchnią betonu.				

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczej
4AR	$f_{cr}$	472	1,03	243	458	
	$f_{os}$	612	2,05	797	-	
4BR	$f_{cr}$	378	0,93	177	402	
	$f_{os}$	515	1,64	505	-	
4CR	$f_{cr}$	161	0,86	69	185	
	$f_{os}$	203	1,41	173	-	
4DR		Brak danych – pojedyncze próbki modeli przerwy dylatacyjnych 4DR1, 4DR2, 4DR3, 4DR4, 4DR5 i 4DR6 rozpadły się pod własnym ciężarem. Odspojenie żywicy nastąpiło na styku z powierzchnią betonu.				
4AM	$f_{cr}$	640	1,10	352	582	
	$f_{max}$	858	1,63	754	-	
	$f_{oD}$	831	2,14	1185	-	

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczej
4BM	$f_{cr}$	514	1,26	320	411	
	$f_{max}$	639	1,62	527	-	
	$f_{oD}$	582	2,13	838	-	
4CM	$f_{cr}$	164	0,92	75	178	
	$f_{os}$	233	1,76	250	-	
4DM	$f_{cr}$	110	0,51	28	216	
	$f_{max}$	207	1,01	102	-	
	$f_{oD}$	204	1,41	185	-	

**Tabela 5.26.** Oznaczenie dla żywicy wypełniającej szczelinę modeli przerwy dylatacyjnej serii 4AB, 4BB, 4CB, 4DB, 4AR, 4BR, 4CR, 4DR, 4AM, 4BM, 4CM oraz 4DM wg kryterium odkształcalności żywicy wypełniających

Seria badawcza	Odształcenia przed oderwaniem się żywicy od podłoża betonowego, pkt $f_{oD}$	Oznaczenie wg kryterium odkształcalności żywicy wypełniających
4AB	1,40 mm	A10
4BB	0,87 mm	A05
4CB	-	A00
4DB	-	A00
4AR	2,05 mm	A10
4BR	1,64 mm	A10
4CR	1,41 mm	A10
4DR	-	A00
4AM	2,14 mm	A10
4BM	2,13 mm	A10
4CM	1,76 mm	A10
4DM	1,41 mm	A10

### 5.10.5. Zestawienie rezultatów dla badanej żywicy nr 5

Zgodnie z przyjętą metodą badań, żywica nr 5 (pkt. 4.3.5) wypełniająca modele przerwy dylatacyjnej obejmuje rezultaty badań serii badawczych 5AB, 5BB, 5CB, 5DB, 5AR, 5BR, 5CR, 5DR, 5AM, 5BM, 5CM i 5DM.

W tabeli 5.27 przedstawiono zestawiono rezultaty obciążeń w funkcji odkształceń, wartości energii w poszczególnych obszarach badawczych oraz wykresy średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczych żywicy nr 5.

Natomiast w tabeli 5.28 wskazano oznaczenie dla żywicy nr 5 wypełniającej szczelinę modeli przerwy dylatacyjnej serii 5AB, 5BB, 5CB, 5DB, 5AR, 5BR, 5CR, 5DR, 5AM, 5BM, 5CM oraz 5DM wg kryterium odkształcalności żywic wypełniających.

**Tabela 5.27.** Zestawienie rezultatów obciążeń w funkcji odkształceń, wartości energii w poszczególnych obszarach badawczych oraz wykresy średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczych żywicy nr 5

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczej
5AB	$f_{oE}$	8195	1,78	7332	4592	
5BB	$f_{oE}$	6830	1,86	6379	3656	

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczej
5CB	$f_{0E}$	6910	1,25	4318	5528	
5DB		Brak danych – pojedyncze próbki modeli przerwy dylatacyjnych 5DB1, 5DB2 i 5DB3 rozpadły się pod własnym ciężarem. Odspojenie żywicy nastąpiło na styku z powierzchnią betonu.				
5AR	$f_{cr}$	7190	1,24	4453	5798	
	$f_{os}$	9560	1,70	8332	-	
5BR	$f_{cr}$	3260	0,64	1061	5036	
	$f_{os}$	4340	0,90	2047	-	
5CR	$f_{cr}$	3670	0,67	1222	5445	
	$f_{os}$	3860	0,93	2211	-	

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczej
5DR	$f_{oE}$	270	0,24	33	1084	
5AM	$f_{cr}$	10600	1,61	8453	6555	
5BM	$f_{cr}$	2950	0,68	1016	4281	
	$f_{os}$	6020	1,22	3410	-	
5CM	$f_{cr}$	2660	0,734	976	3624	
	$f_{max}$	3460	1,10	2122	-	
	$f_{oD}$	3410	1,30	2814	-	

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczej
5DM	$f_{cr}$	6690	1,22	4080	5483	
	$f_{os}$	7280	1,41	5414	-	

**Tabela 5.28.** Oznaczenie dla żywicy wypełniającej szczelinę modeli przerwy dylatacyjnej serii 5AB, 5BB, 5CB, 5DB, 5AR, 5BR, 5CR, 5DR, 5AM, 5BM, 5CM oraz 5DM wg kryterium odkształcalności żywic wypełniających

Seria badawcza	Odształcenia przed oderwaniem się żywicy od podłoża betonowego, pkt $f_{0D}$	Oznaczenie wg kryterium odkształcalności żywic wypełniających
5AB	1,78 mm	A10
5BB	1,86 mm	A10
5CB	1,25 mm	A10
5DB	-	A00
5AR	1,70 mm	A10
5BR	0,90 mm	A05
5CR	0,93 mm	A05
5DR	0,24 mm	A00
5AM	1,61 mm	A10
5BM	1,22 mm	A10
5CM	1,30 mm	A10
5DM	1,41 mm	A10

#### 5.10.6. Zestawienie rezultatów dla badanej żywicy nr 6

Zgodnie z przyjętą metodą badań, żywica nr 6 (pkt. 4.3.6) wypełniająca modele przerwy dylatacyjnej obejmuje rezultaty badań serii badawczych 6AB, 6BB, 6CB, 6DB, 6AR, 6BR, 6CR, 6DR, 6AM, 6BM, 6CM oraz 6DM.

W tabeli 5.29 przedstawiono zestawiono rezultaty obciążeń w funkcji odkształceń, wartości energii w poszczególnych obszarach badawczych oraz wykresy średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczych żywicy nr 6.



Natomiast w tabeli 5.30 wskazano oznaczenie dla żywicy nr 6 wypełniającej szczelinę modeli przerwy dylatacyjnej serii 6AB, 6BB, 6CB, 6DB, 6AR, 6BR, 6CR, 6DR, 6AM, 6BM, 6CM oraz 6DM wg kryterium odkształcalności żywic wypełniających.

**Tabela 5.29.** Zestawienie rezultatów obciążeń w funkcji odkształceń, wartości energii w poszczególnych obszarach badawczych oraz wykresy średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń dla serii badawczych żywicy nr 6

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczej
6AB	$f_{cr}$	426	0,58	125	725	
	$f_{os}$	599	1,44	562	-	
6BB	$f_{cr}$	628	1,13	354	555	
	$f_{os}$	656	1,30	463	-	
6CB	$f_{cr}$	643	0,43	137	1491	
	$f_{os}$	746	0,60	255	-	

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczej
6DB	$f_{cr}$	500	0,56	126	896	
	$f_{os}$	567	0,95	340	-	
6AR	$f_{cr}$	177	0,57	50	309	
	$f_{max}$	196	1,10	151	-	
	$f_d$	177	2,38	391	-	
6BR	$f_{cr}$	110	0,21	12	485	
	$f_{max}$	193	3,45	573	-	
	$f_d$	110	7,37	1167	-	
6CR	$f_{cr}$	104	0,49	29	245	
	$f_{os}$	197	2,44	385	-	

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczej
6DR	$f_{cr}$	24	0,21	2	118	
	$f_{os}$	36	0,55	13		
6AM	$f_{oE}$	1240	0,59	357	2011	
6BM	$f_{cr}$	1040	0,31	161	3327	
	$f_{os}$	1530	0,66	647	-	
6CM	$f_{cr}$	677	0,30	102	2227	
	$f_{os}$	917	0,82	540	-	

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Wykres średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczej
6DM	$f_{0E}$	772	0,55	215	1413	

**Tabela 5.30.** Oznaczenie dla żywicy wypełniającej szczelinę modeli przerwy dylatacyjnej serii 6AB, 6BB, 6CB, 6DB, 6AR, 6BR, 6CR, 6DR, 6AM, 6BM, 6CM oraz 6DM wg kryterium odkształcalności żywic wypełniających

Seria badawcza	Odształcenia przed oderwaniem się żywicy od podłoża betonowego, pkt $f_{0D}$	Oznaczenie wg kryterium odkształcalności żywic wypełniających
6AB	1,44 mm	A10
6BB	1,30 mm	A10
6CB	0,60 mm	A05
6DB	0,95 mm	A05
6AR	2,58 mm	A25
6BR	7,37 mm	A50
6CR	2,44 mm	A10
6DR	0,55 mm	A05
6AM	0,59 mm	A05
6BM	0,66 mm	A05
6CM	0,82 mm	A05
6DM	0,55 mm	A05

### 5.11. Analiza rezultatów badań dla serii badawczych z uwzględnieniem wpływu rodzaju wypełnienia

Rezultaty badań dla serii badawczych modeli przerwy dylatacyjnej wypełnionych żywicami nr 1, nr 2, nr 3, nr 4, nr 5 i nr 6 przeanalizowano pod kątem wpływu rodzaju wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych. W tym celu, rezultaty badań serii badawczych zestawiono kolejno dla wszystkich sposobów przygotowania oraz stanów zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża.

W tabeli 5.31 zestawiono rezultaty badań serii badawczych wszystkich żywic dla sposobu przygotowania podłoża nieczyszczonego (B) i stanie suchym (A) w celu oceny wpływu rodzaju wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.31.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych wszystkich żywic dla sposobu przygotowania podłoża nieczyszczonego (B) i stanie suchym (A) w celu oceny wpływu rodzaju wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczych żywic dla sposobu przygotowania podłoża nieczyszczonego (B) i stanie suchym (A)
1AB	$f_{cr}$	391	0,95	186	410	
	$f_{max}$	552	5,51	2612	-	
	$f_{0D}$	524	13,70	6987	-	
2AB	$f_{cr}$	204	0,68	69	300	
	$f_{max}$	259	1,21	197	-	
	$f_{0D}$	234	3,28	713	-	
3AB	$f_{cr}$	143	1,07	76	133	
	$f_{0S}$	219	1,86	225	-	
4AB	$f_{cr}$	105	0,29	15	359	
	$f_{0S}$	211	1,40	232	-	
5AB	$f_{0E}$	8195	1,78	7332	4592	
6AB	$f_{cr}$	426	0,58	125	725	
	$f_{0S}$	599	1,44	562	-	

W obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia wykazuje żywica nr 5. Żywice nr 1 i nr 6 uzyskują mniejsze, lecz przybliżone do siebie wartości naprężeń w tym obszarze, lecz seria żywicy nr 1 wykazuje większe odkształcenie ( $\varepsilon_{cr} = 0,95\text{mm}$ ) oraz podatność na odkształcenie ( $d_x=410$ ) w porównaniu do serii żywicy nr 6 ( $\varepsilon_{cr}=0,58\text{mm}$  i  $d_x=725$ ) w tym obszarze. Najslabiej wypadają żywice nr 2, nr 3 i nr 4, bowiem wartości uzyskanych obciążeń w tym obszarze są znacznie niższe od pozostałych żywic.

Biorąc pod uwagę analizowane obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największą ilość, w porównaniu do pozostałych żywic, absorbowanej energii uzyskują żywice nr 1 w punkcie  $f_{0D}$  (524 N; 13,7 mm; 6987 J) oraz nr 5 w punkcie  $f_{0E}$  (8195 N; 1,78 mm; 7332 J). Pomimo jednak, że żywica nr 5 uzyskuje największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia oraz największą ilość absorbowanej energii to żywica wypełniająca model przerwy dylatacyjnej nr 1 na bazie tiksotropowego akrylu wykazuje największe wartości odkształcenia w punkcie  $f_{0D}$ , który wynosi 13,7 mm przy dość wysokiej zdolności do przenoszenia naprężeń. I dlatego żywica nr 1, w porównaniu z pozostałymi żywicami, najlepiej nadaje się do wypełnienia przerwy dylatacyjnej w zakresie odkształceń dla przygotowania podłoża nieczyszczonego w stanie suchym.

W tabeli 5.32 zestawiono rezultaty badań serii badawczych wszystkich żywic dla sposobu przygotowania podłoża nieczyszczonego (B) i stanie wilgotnym (B) w celu oceny wpływu rodzaju wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.32.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych wszystkich żywic dla sposobu przygotowania podłoża nieczyszczonego (B) i stanie wilgotnym (B) w celu oceny wpływu rodzaju wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczych żywic dla sposobu przygotowania podłoża nieczyszczonego (B) i stanie wilgotnym (B)
1BB	$f_{cr}$	574	0,72	226	841	
	$f_{max}$	817	2,82	1838	-	
	$f_{0D}$	706	20,70	14771	-	
2BB	$f_{cr}$	134	0,59	39	227	
	$f_{0S}$	315	2,55	535	-	
3BB	$f_{cr}$	833	4,64	1932	179	
	$f_{0S}$	941	5,68	2863	-	
4BB	$f_{cr}$	52	0,48	12	110	
	$f_{0S}$	85	0,87	41	-	
5BB	$f_{0E}$	6830	1,86	6379	3656	
6BB	$f_{cr}$	628	1,13	354	555	
	$f_{0S}$	656	1,30	463	-	

W obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia wykazuje żywica nr 5. Żywice nr 1, nr 3 i nr 6 uzyskują mniejsze, lecz przybliżone do siebie wartości naprężeń w tym obszarze, lecz seria żywicy nr 3 wykazuje większe odkształcenie ( $\varepsilon_{cr} = 4,64\text{mm}$ ) oraz większą podatność na odkształcenie ( $d_x=179$ ) w porównaniu do serii żywic nr 1 ( $\varepsilon_{cr}=0,72\text{mm}$  i  $d_x=841$ ) i nr 6 ( $\varepsilon_{cr}=1,13\text{mm}$  i  $d_x=555$ ) w tym obszarze. Najslabiej wypadają żywice nr 2 i nr 4, bowiem wartości uzyskanych obciążeń w tym obszarze są znacznie niższe od pozostałych żywic.

Dla obszarów  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największą ilość, w porównaniu do pozostałych żywic, absorbowanej energii uzyskują żywice nr 1 w punkcie  $f_{0D}$  (706N; 20,70mm; 14771J) oraz nr 5 w punkcie  $f_{0E}$  (6830N; 1,86mm; 6379J). Pomimo jednak, że żywica nr 5 uzyskuje największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia to żywica wypełniająca model przerwy dylatacyjnej nr 1 na bazie tiksotropowego akrylu wykazuje największe wartości odkształcenia w punkcie  $f_{0D}$ , który wynosi 20,7 mm przy dość wysokiej zdolności do przenoszenia naprężeń. I dlatego żywica nr 1, w porównaniu

z pozostałymi żywicami, najlepiej nadaje się do wypełnienia przerwy dylatacyjnej w zakresie odkształceń dla przygotowania podłoża nieczyszczonego w stanie wilgotnym.

W tabeli 5.33 zestawiono rezultaty badań serii badawczych wszystkich żywic dla sposobu przygotowania podłoża nieczyszczonego (B) i stanie mokrym (C) w celu oceny wpływu rodzaju wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.33.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych wszystkich żywic dla sposobu przygotowania podłoża nieczyszczonego (B) i stanie mokrym (C) w celu oceny wpływu rodzaju wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczych żywic dla sposobu przygotowania podłoża nieczyszczonego (B) i stanie mokrym (C)
1CB	$f_{cr}$	356	0,75	131	481	
	$f_{max}$	560	3,34	1483	-	
	$f_{0D}$	415	20,80	9629	-	
2CB	$f_{cr}$	109	0,37	20	296	
	$f_{max}$	307	3,72	869	-	
	$f_{0D}$	305	4,59	1136	-	
3CB	$f_{cr}$	62	0,68	21	92	
	$f_{max}$	90	1,89	119	-	
	$f_{0D}$	82	3,00	217	-	
4CB		Brak danych				
5CB	$f_{0E}$	6910	1,25	4318	5528	
6CB	$f_{cr}$	643	0,43	137	1491	
	$f_{0S}$	746	0,60	255	-	

W pierwszym obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia wykazuje żywica nr 5. Żywice nr 1 i nr 6 uzyskują mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze, lecz seria żywicy nr 1 wykazuje większe odkształcenie ( $\varepsilon_{cr} = 0,75\text{mm}$ ) oraz większą podatność na odkształcenie ( $d_x=481$ ) w porównaniu do serii żywic nr 6 ( $\varepsilon_{cr}=0,43\text{mm}$  i  $d_x=1491$ ) w tym obszarze. Najslabiej wypadają żywice nr 2 i nr 3, bowiem wartości uzyskanych obciążeń w tym obszarze są znacznie niższe od pozostałych żywic. Seria 4CB dla żywicy nr 4 została odrzucona ze względu na brak danych.

Poddając ocenie obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największą ilość, w porównaniu do pozostałych żywic, absorbowanej energii uzyskują żywice nr 1 w punkcie  $f_{0D}$  (415N; 20,80mm; 9629J) oraz nr 5 w punkcie  $f_{0E}$  (6910N; 1,25mm; 4318J). Pomimo jednak, że żywica nr 5 uzyskuje największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości

obciążenia to żywica wypełniająca model przerwy dylatacyjnej nr 1 na bazie tiksotropowego akrylu wykazuje największe wartości odkształcenia w punkcie  $f_{0D}$ , który wynosi 20,8mm przy dość wysokiej zdolności do przenoszenia naprężeń. I dlatego żywica nr 1, w porównaniu z pozostałymi żywicami, najlepiej nadaje się do wypełnienia przerwy dylatacyjnej w zakresie odkształceń dla przygotowania podłoża nieczyszczonego w stanie mokrym.

W tabeli 5.34 zestawiono rezultaty badań serii badawczych wszystkich żywic dla sposobu przygotowania podłoża nieczyszczonego (B) i stanie zanieczyszczonym bentonitem (D) w celu oceny wpływu rodzaju wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.34.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych wszystkich żywic dla sposobu przygotowania podłoża nieczyszczonego (B) i stanie zanieczyszczonym bentonitem (D) w celu oceny wpływu rodzaju wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczych żywic dla sposobu przygotowania podłoża nieczyszczonego (B) i stanie zanieczyszczonym bentonitem (D)
1DB	$f_{cr}$	273	0,56	76	490	
	$f_{max}$	460	2,92	1062	-	
	$f_{0D}$	355	24,00	10374	-	
2DB	$f_{cr}$	288	0,72	103	401	
	$f_{max}$	467	1,44	388	-	
	$f_{0D}$	435	1,81	557	-	
3DB		Brak danych				
4DB		Brak danych				
5DB		Brak danych				
6DB	$f_{cr}$	500	0,56	126	896	
	$f_{0S}$	567	0,95	340	-	

Największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia w obszarze proporcjonalności  $A_E$  wykazuje żywica nr 6. Żywice nr 1 i nr 2 uzyskują mniejsze, lecz przybliżone do siebie wartości naprężeń w tym obszarze, lecz seria żywicy nr 2 wykazuje większe odkształcenie ( $\varepsilon_{cr} = 0,72\text{mm}$ ) oraz większą podatność na odkształcenie ( $d_x=401$ ) w porównaniu do serii żywic nr 1 ( $\varepsilon_{cr}=0,56\text{mm}$  i  $d_x=490$ ) w tym obszarze. Seria 3DB, 4DB i 5DB odpowiednio dla żywic nr 3, nr 4 i nr 5 zostały odrzucone ze względu na brak danych.



Biorąc pod uwagę analizowane obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największą ilość, w porównaniu do pozostałych żywic, absorbowanej energii uzyskują żywice nr 1 w punkcie  $f_{0D}$  (355N; 24,00mm; 10374J), nr 2 w punkcie  $f_{0D}$  (435N; 1,81mm; 557J) oraz nr 6 w punkcie  $f_{0S}$  (567N; 0,95mm; 340J). Pomimo jednak, że żywica nr 6 uzyskuje największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia to żywica wypełniająca model przerwy dylatacyjnej nr 1 na bazie tiksotropowego akrylu wykazuje największe wartości odkształcenia w punkcie  $f_{0D}$ , który wynosi 24,0mm przy dość wysokiej zdolności do przenoszenia naprężeń. I dlatego żywica nr 1, w porównaniu z pozostałymi żywicami, najlepiej nadaje się do wypełnienia przerwy dylatacyjnej w zakresie odkształceń dla przygotowania podłoża nieczyszczonego w stanie zanieczyszczonym bentonitem.

W tabeli 5.35 zestawiono rezultaty badań serii badawczych wszystkich żywic dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie (R) i stanie suchym (A) w celu oceny wpływu rodzaju wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

W obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia wykazuje żywica nr 5. Żywice nr 1 i nr 4 uzyskują mniejsze, lecz przybliżone do siebie wartości naprężeń w tym obszarze, lecz seria żywicy nr 4 wykazuje większe odkształcenie ( $\varepsilon_{cr} = 1,03\text{mm}$ ) oraz większą podatność na odkształcenie ( $d_x=458$ ) w porównaniu do serii żywicy nr 1 ( $\varepsilon_{cr}=0,61\text{mm}$  i  $d_x=761$ ) w tym obszarze. Najslabiej wypadają żywice nr 2, nr 3 i nr 6, bowiem wartości uzyskanych obciążeń w tym obszarze są znacznie niższe od pozostałych żywic.

Analizując obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największą ilość, w porównaniu do pozostałych żywic, absorbowanej energii uzyskują żywice nr 1 w punkcie  $f_{0D}$  (685N; 14,63mm; 10972J) oraz nr 5 w punkcie  $f_{0S}$  (9560N; 1,70mm; 8332J). Pomimo jednak, że żywica nr 5 uzyskuje największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia to żywica wypełniająca model przerwy dylatacyjnej nr 1 na bazie tiksotropowego akrylu wykazuje największe wartości odkształcenia w punkcie  $f_{0D}$ , który wynosi 14,63mm przy dość wysokiej zdolności do przenoszenia naprężeń oraz największą ilość absorbowanej energii. I dlatego żywica nr 1, w porównaniu z pozostałymi żywicami, najlepiej nadaje się do wypełnienia przerwy dylatacyjnej w zakresie odkształceń dla przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie w stanie suchym.

**Tabela 5.35.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych wszystkich żywic dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie (R) i stanie suchym (A) w celu oceny wpływu rodzaju wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczych żywic dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie (R) i stanie suchym (A)
1AR	$f_{cr}$	469	0,61	143	761	
	$f_{max}$	846	4,25	2950	-	
	$f_{0D}$	685	14,63	10972	-	
2AR	$f_{cr}$	197	1,05	115	209	
	$f_{max}$	342	3,15	737	-	
	$f_{0D}$	298	5,02	1349	-	
3AR	$f_{cr}$	63	0,38	11	167	
	$f_{0S}$	115	3,87	363	-	
4AR	$f_{cr}$	472	1,03	243	458	
	$f_{0S}$	612	2,05	797	-	
5AR	$f_{cr}$	7190	1,24	4453	5798	
	$f_{0S}$	9560	1,70	8332	-	
6AR	$f_{cr}$	177	0,57	50	309	
	$f_{max}$	196	1,10	151	-	
	$f_d$	177	2,38	391	-	

W tabeli 5.36 zestawiono rezultaty badań serii badawczych wszystkich żywic dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie (R) i stanie wilgotnym (B) w celu oceny wpływu rodzaju wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

W pierwszym obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia wykazuje żywica nr 5. Żywice nr 1 i nr 3 uzyskują mniejsze, lecz przybliżone do siebie wartości naprężeń w tym obszarze, lecz seria żywicy nr 3 wykazuje dużo większe odkształcenie ( $\varepsilon_{cr} = 3,01\text{mm}$ ) oraz większą podatność na odkształcenie ( $d_x=240$ ) w porównaniu do serii żywic nr 1 ( $\varepsilon_{cr}=0,93\text{mm}$  i  $d_x=720$ ) w tym obszarze. Najślabiej wypadają żywice nr 2, nr 4 i nr 6, bowiem wartości uzyskanych obciążeń w tym obszarze są znacznie niższe od pozostałych żywic.

**Tabela 5.36.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych wszystkich żywic dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie (R) i stanie wilgotnym (B) w celu oceny wpływu rodzaju wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczych żywic dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie (R) i stanie wilgotnym (B)
1BR	$f_{cr}$	635	0,93	306	720	
	$f_{max}$	870	3,16	2133	-	
	$f_{0D}$	709	13,58	10344	-	
2BR	$f_{cr}$	197	1,07	105	184	
	$f_{max}$	319	2,96	627	-	
	$f_{0D}$	254	4,06	940	-	
3BR	$f_{cr}$	725	3,01	1091	240	
	$f_{max}$	1020	5,09	2955	-	
	$f_{0D}$	998	5,77	3641	-	
4BR	$f_{cr}$	378	0,93	177	402	
	$f_{0S}$	515	1,64	505	-	
5BR	$f_{cr}$	3260	0,64	1061	5036	
	$f_{0S}$	4340	0,90	2047	-	
6BR	$f_{cr}$	110	0,21	12	485	
	$f_{max}$	193	3,45	573	-	
	$f_d$	110	7,37	1167	-	

W obszarach  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największą ilość, w porównaniu do pozostałych żywic, absorbowanej energii uzyskują żywice nr 1 w punkcie  $f_{0D}$  (709N; 13,58mm; 10344J) oraz nr 3 w punkcie  $f_{0D}$  (998N; 5,77mm; 3641J). Pomimo jednak, że żywica nr 5 uzyskuje największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia to żywica wypełniająca model przerwy dylatacyjnej nr 1 na bazie tiksotropowego akrylu wykazuje największe wartości odkształcenia w punkcie  $f_{0D}$ , który wynosi 13,58mm przy dość wysokiej zdolności do przenoszenia naprężeń. I dlatego żywica nr 1, w porównaniu z pozostałymi żywicami, najlepiej nadaje się do wypełnienia przerwy dylatacyjnej w zakresie odkształceń dla przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie w stanie wilgotnym.

W tabeli 5.37 zestawiono rezultaty badań serii badawczych wszystkich żywic dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie (R) i stanie mokrym (C) w celu oceny wpływu rodzaju wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.37.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych wszystkich żywic dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie (R) i stanie mokrym (C) w celu oceny wpływu rodzaju wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczych żywic dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie (R) i stanie mokrym (C)
1CR	$f_{cr}$	443	0,59	128	739	
	$f_{max}$	781	3,50	2203	-	
	$f_{0D}$	598	10,89	7520	-	
2CR	$f_{cr}$	166	1,18	98	141	
	$f_{max}$	296	3,44	665	-	
	$f_{0D}$	289	4,77	1055	-	
3CR	$f_{cr}$	66	0,78	25	85	
	$f_{max}$	105	2,09	144	-	
	$f_{0D}$	91	4,10	344	-	
4CR	$f_{cr}$	161	0,86	69	185	
	$f_{0S}$	203	1,41	173	-	
5CR	$f_{cr}$	3670	0,67	1222	5445	
	$f_{0S}$	3860	0,93	2211	-	
6CR	$f_{cr}$	104	0,49	29	245	
	$f_{0S}$	197	2,44	385	-	

W obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia wykazuje żywica nr 5. Żywica nr 1 uzyskuje mniejszą wartość naprężeń i mniejsze odkształcenie ( $\varepsilon_{cr} = 0,59\text{mm}$ ) w tym obszarze, lecz wykazuje większą podatność na odkształcenie ( $d_x=739$ ) w porównaniu do serii żywic nr 5 ( $\varepsilon_{cr}=0,67\text{mm}$  i  $d_x=5445$ ) w tym obszarze. Pozostałe żywice nr 2, nr 3, nr 4 i nr 6 wypadają o wiele słabiej, bowiem wartości uzyskanych obciążeń w tym obszarze są znacznie niższe od serii żywic nr 1 i nr 5.

W analizowanych obszarach  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największą ilość, w porównaniu do pozostałych żywic, absorbowanej energii uzyskują żywice nr 1 w punkcie  $f_{0D}$  (598N; 10,89mm; 7520J) oraz nr 5 w punkcie  $f_{0S}$  (3860N; 0,93mm; 2211J). Pomimo jednak, że żywica nr 5 uzyskuje największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia to żywica wypełniająca model przerwy dylatacyjnej nr 1 na bazie tiksotropowego akrylu wykazuje największe wartości odkształcenia w punkcie  $f_{0D}$ , który wynosi 10,89mm przy dość wysokiej zdolności do przenoszenia naprężeń. I dlatego żywica nr 1, w porównaniu z pozostałymi żywicami, najlepiej nadaje się do wypełnienia przerwy dylatacyjnej w zakresie odkształceń dla przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie w stanie mokrym.

W tabeli 5.38 zestawiono rezultaty badań serii badawczych wszystkich żywic dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie (R) i stanie zanieczyszczonym bentonitem (D) w celu oceny wpływu rodzaju wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.38.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych wszystkich żywic dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie (R) i stanie zanieczyszczonym bentonitem (D) w celu oceny wpływu rodzaju wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczych żywic dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie (R) i stanie zanieczyszczonym bentonitem (D)
1DR	$f_{cr}$	537	0,71	190	753	
	$f_{max}$	877	3,36	2309	-	
	$f_{0D}$	637	14,08	10559	-	
2DR	$f_{cr}$	187	0,89	83	210	
	$f_{max}$	298	2,34	450	-	
	$f_{0D}$	258	4,75	1135	-	
3DR	$f_{cr}$	12	0,20	1	59	
	$f_{0S}$	14	0,38	3	-	
4DR		Brak danych				
5DR	$f_{0E}$	270	0,24	33	1084	
6DR	$f_{cr}$	24	0,21	2	118	
	$f_{0S}$	36	0,55	13	-	

Największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia w obszarze proporcjonalności  $A_E$  wykazała żywica nr 1. Żywice nr 2 i nr 5 uzyskują mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze, lecz seria żywicy nr 2 wykazuje większe odkształcenie ( $\varepsilon_{cr} = 0,89\text{mm}$ ) oraz większą podatność na odkształcenie ( $d_x=210$ ) w porównaniu do serii żywic nr 5 ( $\varepsilon_{cr}=0,24\text{mm}$  i  $d_x=1084$ ) w tym obszarze. Najslabiej wypada żywica nr 3 i nr 6, bowiem wartości uzyskanych obciążeń w tym obszarze są znacznie niższe od pozostałych żywic. Seria 4DR dla żywicy nr 4 została odrzucona ze względu na brak danych.

Biorąc pod uwagę analizowane obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największą ilość, w porównaniu do pozostałych żywic, absorbowanej energii uzyskują żywice nr 1 w punkcie  $f_{0D}$  (637N; 14,08mm; 10559J) oraz nr 2 w punkcie  $f_{0D}$  (258N; 4,75mm; 1135J). Największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia wykazuje żywica wypełniająca model przerwy dylatacyjnej nr 1 na bazie tiksotropowego akrylu, która osiąga największe wartości odkształcenia w punkcie  $f_{0D}$ , który wynosi 14,08mm. I dlatego żywica nr 1, w porównaniu z pozostałymi żywicami, najlepiej nadaje się do wypełnienia przerwy

dylatacyjnej w zakresie odkształceń dla przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie w stanie zanieczyszczonym bentonitem.

W tabeli 5.39 zestawiono rezultaty badań serii badawczych wszystkich żywic dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie (M) i stanie suchym (A) w celu oceny wpływu rodzaju wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.39.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych wszystkich żywic dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie (M) i stanie suchym (A) w celu oceny wpływu rodzaju wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczych żywic dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie (M) i stanie suchym (A)
1AM	$f_{cr}$	567	0,75	213	770	
	$f_{max}$	861	2,04	1225	-	
	$f_{0D}$	637	22,10	14837	-	
2AM	$f_{cr}$	239	0,58	69	413	
	$f_{max}$	544	3,86	1597	-	
	$f_{0D}$	525	5,09	2323	-	
3AM	$f_{cr}$	127	1,00	63	126	
	$f_{max}$	194	2,21	273	-	
	$f_{0D}$	175	3,12	445	-	
4AM	$f_{cr}$	640	1,10	352	582	
	$f_{max}$	858	1,63	754	-	
	$f_{0D}$	831	2,14	1185	-	
5AM	$f_{0E}$	10600	1,61	8453	6555	
6AM	$f_{0E}$	1240	0,59	357	2011	

Żywica nr 5, w obszarze proporcjonalności  $A_E$ , wykazuje największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia. Żywice nr 1, nr 4 i nr 6 uzyskują mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze, lecz seria żywicy nr 4 wykazuje większe odkształcenie ( $\varepsilon_{cr} = 1,10\text{mm}$ ) oraz większą podatność na odkształcenie ( $d_x=582$ ) w porównaniu do serii żywicy nr 1 ( $\varepsilon_{cr}=0,75\text{mm}$  i  $d_x=770$ ) oraz żywicy nr 6 ( $\varepsilon_{cr}=0,59\text{mm}$  i  $d_x=2011$ ) w tym obszarze. Najslabiej wypadają żywice nr 2 i nr 3, bowiem wartości uzyskanych obciążeń w tym obszarze są znacznie niższe od pozostałych żywic.

Analizując obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największą ilość, w porównaniu do pozostałych żywic, absorbowanej energii uzyskują żywice nr 1 w punkcie  $f_{0D}$  (637N; 22,10mm; 14837J) oraz nr 5 w punkcie  $f_{0E}$  (10600N; 1,61mm; 8453J). Pomimo jednak, że żywica nr 5 uzyskuje największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia to żywica wypełniająca model przerwy dylatacyjnej nr 1 na bazie tiksotropowego akrylu wykazuje

największe wartości odkształcenia w punkcie  $f_{0D}$ , który wynosi 22,10 mm przy dość wysokiej zdolności do przenoszenia naprężeń oraz największą ilość absorbowanej energii. I dlatego żywica nr 1, w porównaniu z pozostałymi żywicami, najlepiej nadaje się do wypełnienia przerwy dylatacyjnej w zakresie odkształceń dla przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie w stanie suchym.

W tabeli 5.40 zestawiono rezultaty badań serii badawczych wszystkich żywic dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie (M) i stanie wilgotnym (B) w celu oceny wpływu rodzaju wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.40.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych wszystkich żywic dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie (M) i stanie wilgotnym (B) w celu oceny wpływu rodzaju wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczych żywic dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie (M) i stanie wilgotnym (B)
1BM	$f_{cr}$	618	0,79	245	779	
	$f_{max}$	937	2,75	1939	-	
	$f_{0D}$	725	20,00	21403	-	
2BM	$f_{cr}$	183	0,41	37	446	
	$f_{max}$	532	2,28	814	-	
	$f_{0D}$	527	3,32	1366	-	
3BM	$f_{cr}$	572	1,83	523	312	
	$f_{0S}$	747	2,87	1240	-	
4BM	$f_{cr}$	514	1,26	320	411	
	$f_{max}$	639	1,62	527	-	
	$f_{0D}$	582	2,13	838	-	
5BM	$f_{cr}$	2950	0,68	1016	4281	
	$f_{0S}$	6020	1,22	3410	-	
6BM	$f_{cr}$	1040	0,31	161	3327	
	$f_{0S}$	1530	0,66	647	-	

W obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia wykazuje żywica nr 5. Żywice nr 1, nr 3, nr 4 i nr 6 uzyskują mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze, lecz seria żywicy nr 3 wykazuje największe odkształcenie ( $\varepsilon_{cr} = 1,83\text{mm}$ ) oraz większą podatność na odkształcenie ( $d_x=312$ ) w porównaniu do serii żywicy nr 1 ( $\varepsilon_{cr}=0,79\text{mm}$  i  $d_x=779$ ), żywicy nr 4 ( $\varepsilon_{cr}=1,26\text{mm}$  i  $d_x=411$ )

i żywicy nr 6 ( $\varepsilon_{cr}=0,31\text{mm}$  i  $d_x=3327$ ) w tym obszarze. Najslabiej wypada żywica nr 2, bowiem wartości uzyskanych obciążeń w tym obszarze są znacznie niższe od pozostałych żywic.

Biorąc pod uwagę analizowane obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największą ilość, w porównaniu do pozostałych żywic, absorbowanej energii uzyskują żywice nr 1 w punkcie  $f_{0D}$  (725N; 20,00mm; 21403J) oraz nr 5 w punkcie  $f_{0S}$  (6020N; 1,22mm; 3410J). Pomimo jednak, że żywica nr 5 uzyskuje największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia to żywica wypełniająca model przerwy dylatacyjnej nr 1 na bazie tiksotropowego akrylu wykazuje największe wartości odkształcenia w punkcie  $f_{0D}$ , który wynosi 20,00mm przy dość wysokiej zdolności do przenoszenia naprężeń. I dlatego żywica nr 1, w porównaniu z pozostałymi żywicami, najlepiej nadaje się do wypełnienia przerwy dylatacyjnej w zakresie odkształceń dla przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie w stanie wilgotnym.

W tabeli 5.41 zestawiono rezultaty badań serii badawczych wszystkich żywic dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie (M) i stanie mokrym (C) w celu oceny wpływu rodzaju wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

W pierwszym obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia wykazuje żywica nr 5. Żywica nr 3 uzyskuje mniejszą wartość naprężeń i mniejsze odkształcenie ( $\varepsilon_{cr} = 0,59\text{mm}$ ) w tym obszarze, lecz wykazuje większą podatność na odkształcenie ( $d_x=2039$ ) w porównaniu do serii żywic nr 5 ( $\varepsilon_{cr}=0,73\text{mm}$  i  $d_x=3624$ ) w tym obszarze. Pozostałe żywice nr 1, nr 2, nr 4 i nr 6 wypadają o wiele słabiej, bowiem wartości uzyskanych obciążeń w tym obszarze są znacznie niższe od serii żywicy nr 5.

W obszarach  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największą ilość, w porównaniu do pozostałych żywic, absorbowanej energii uzyskują żywice nr 1 w punkcie  $f_{0D}$  (616N; 20,60mm; 14136J) oraz nr 5 w punkcie  $f_{0D}$  (3410N; 1,30mm; 2814J). Pomimo jednak, że żywica nr 5 uzyskuje największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia to żywica wypełniająca model przerwy dylatacyjnej nr 1 na bazie tiksotropowego akrylu wykazuje największe wartości odkształcenia w punkcie  $f_{0D}$ , który wynosi 20,60mm przy dość wysokiej zdolności do przenoszenia naprężeń. I dlatego żywica nr 1, w porównaniu z pozostałymi żywicami, najlepiej nadaje się do wypełnienia przerwy dylatacyjnej w zakresie odkształceń dla przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie w stanie mokrym.



**Tabela 5.41.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych wszystkich żywic dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie (M) i stanie mokrym (C) w celu oceny wpływu rodzaju wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczych żywic dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie (M) i stanie mokrym (C)
1CM	$f_{cr}$	506	0,49	132	1008	
	$f_{max}$	795	3,48	2347	-	
	$f_{0D}$	616	20,60	14136	-	
2CM	$f_{cr}$	196	0,43	42	450	
	$f_{max}$	517	3,24	1285	-	
	$f_{0D}$	480	4,46	1907	-	
3CM	$f_{0E}$	1240	0,59	359	2039	
4CM	$f_{cr}$	164	0,92	75	178	
	$f_{0S}$	233	1,76	250	-	
5CM	$f_{cr}$	2660	0,73	976	3624	
	$f_{max}$	3460	1,10	2122	-	
	$f_{0D}$	3410	1,30	2814	-	
6CM	$f_{cr}$	677	0,30	102	2227	
	$f_{0S}$	917	0,82	540	-	

W tabeli 5.42 zestawiono rezultaty badań serii badawczych wszystkich żywic dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie (M) i stanie zanieczyszczonym bentonitem (D) w celu oceny wpływu rodzaju wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

W obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia wykazała żywica nr 5. Żywice nr 1 i nr 6 uzyskują mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze, lecz seria żywicy nr 1 wykazuje większe odkształcenie ( $\varepsilon_{cr} = 0,76\text{mm}$ ) oraz większą podatność na odkształcenie ( $d_x=678$ ) w porównaniu do serii żywicy nr 6 ( $\varepsilon_{cr}=0,55\text{mm}$  i  $d_x=1413$ ) w tym obszarze. Najslabiej wypadają serie żywic nr 2, nr 3 i nr 4, bowiem wartości uzyskanych obciążeń w tym obszarze są znacznie niższe.

Biorąc pod uwagę analizowane obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największą ilość, w porównaniu do pozostałych żywic, absorbowanej energii uzyskują żywice nr 1 w punkcie  $f_{0D}$  (515N; 21,40mm; 12426J) oraz nr 5 w punkcie  $f_{0S}$  (7280N; 1,41mm; 5414J). Pomimo jednak, że żywica nr 5 uzyskuje największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia to żywica wypełniająca model przerwy dylatacyjnej nr 1 na bazie tiksotropowego akrylu wykazuje największe wartości odkształcenia w punkcie  $f_{0D}$ , który wynosi 21,4mm przy dość wysokiej zdolności do przenoszenia naprężeń. I dlatego żywica nr 1, w porównaniu

z pozostałymi żywicami, najlepiej nadaje się do wypełnienia przerwy dylatacyjnej w zakresie odkształceń dla przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie w stanie zanieczyszczonym bentonitem.

**Tabela 5.42.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych wszystkich żywic dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie (M) i stanie zanieczyszczonym bentonitem (D) w celu oceny wpływu rodzaju wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości obciążeń w funkcji odkształceń serii badawczych żywic dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie (M) i stanie zanieczyszczonym bentonitem (D)
1DM	$f_{cr}$	494	0,76	199	678	
	$f_{max}$	687	2,42	1261	-	
	$f_{0D}$	515	21,40	12426	-	
2DM	$f_{cr}$	121	0,19	11	620	
	$f_{max}$	382	2,43	750	-	
	$f_{0D}$	362	5,26	1803	-	
3DM	$f_{cr}$	34	0,42	7	84	
	$f_{max}$	62	1,27	56	-	
	$f_{0D}$	59	2,11	107	-	
4DM	$f_{cr}$	110	0,51	28	216	
	$f_{max}$	207	1,01	102	-	
	$f_{0D}$	204	1,41	185	-	
5DM	$f_{cr}$	6690	1,22	4080	5483	
	$f_{0S}$	7280	1,41	5414	-	
6DM	$f_{0E}$	772	0,55	215	1413	

### Wnioski podsumowujące:

Rodzaj wypełnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych jest istotny dla zapewnienia niezawodności uszczelnienia i zależy do rodzaju żywicy, a w szczególności od uzyskiwanych przez nią wartości odkształceń przy wysokich zdolnościach do przenoszenia naprężeń i wysoką ilość absorbowanej energii. We wszystkich sposobach przygotowania podłoża oraz stanach zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża żywica nr 1 na bazie tiksotropowego akrylu do iniekcji wypełniająca model przerwy dylatacyjnej wykazuje najlepsze wyniki w porównaniu z innymi badanymi żywicami, ponieważ ma zdecydowanie największe wartości odkształcenia w punkcie  $f_{0D}$ , przy wysokich zdolnościach do przenoszenia naprężeń.

### 5.12. Analiza rezultatów badań dla serii badawczych z uwzględnieniem wpływu rodzaju podłoża (sposobu przygotowania oraz stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia) na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Rezultaty badań dla serii badawczych modeli przerwy dylatacyjnej wypełnionych żywicami nr 1, nr 2, nr 3, nr 4, nr 5 i nr 6 przeanalizowano pod kątem wpływu rodzaju podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych. W tym celu, rezultaty badań serii badawczych zestawiono kolejno dla wszystkich sposobów przygotowania oraz stanów zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża.

#### 5.12.1. Żywica nr 1 baza akrylowa z polimerem

W tabeli 5.43 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 1AB, 1AR i 1AM żywicy nr 1 w stanie suchym (A) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.43.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 1AB, 1AR i 1AM żywicy nr 1 w stanie suchym (A) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 1 w stanie suchym
1AB	$f_{cr}$	391	0,95	186	410	
	$f_{max}$	552	5,51	2612	-	
	$f_{0D}$	524	13,70	6987	-	
1AR	$f_{cr}$	469	0,61	143	761	
	$f_{max}$	846	4,25	2950	-	
	$f_{0D}$	685	14,63	10972	-	
1AM	$f_{cr}$	567	0,75	213	770	
	$f_{max}$	861	2,04	1225	-	
	$f_{0D}$	637	22,10	14837	-	

Największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia w obszarze proporcjonalności  $A_E$  wykazała seria 1AM ( $F_{cr}=567N$ ). Serie badawcze 1AB i 1AR uzyskują mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze, lecz seria żywicy 1AB wykazuje największe odkształcenie ( $\varepsilon_{cr}=0,95mm$ ) oraz największą podatność na odkształcenie ( $d_x=410$ ) w porównaniu do pozostałych serii badawczych w tym obszarze.

W następnych obszarach  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największe wartości, w porównaniu do pozostałych serii badawczych, obciążenia, odkształcenia oraz ilość absorbowanej energii uzyskała seria

1AM w punkcie  $f_{0D}$  (637N; 22,10mm; 14837J). I dlatego sposób przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej w stanie suchym.

W tabeli 5.44 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 1BB, 1BR i 1BM żywicy nr 1 w stanie wilgotnym (B) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.44.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 1BB, 1BR i 1BM żywicy nr 1 w stanie wilgotnym (B) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 1 w stanie wilgotnym
1BB	$f_{cr}$	574	0,72	226	841	
	$f_{max}$	817	2,82	1838	-	
	$f_{0D}$	706	20,70	14771	-	
1BR	$f_{cr}$	635	0,93	306	720	
	$f_{max}$	870	3,16	2133	-	
	$f_{0D}$	709	13,58	10344	-	
1BM	$f_{cr}$	618	0,79	245	779	
	$f_{max}$	937	2,75	1939	-	
	$f_{0D}$	725	20,00	21403	-	

Seria 1BR w obszarze proporcjonalności  $A_E$  wykazuje największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia ( $F_{cr}=635N$ ), odkształcenia ( $\varepsilon_{cr}=0,95mm$ ) oraz ilość absorbowanej energii ( $W_E=306J$ ). Serie badawcze 1BB i 1BM uzyskują niedużo mniejsze wartości obciążeń, odkształceń oraz ilość absorbowanej energii w tym obszarze.

Seria 1BM w obszarach  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  uzyskała w punkcie  $f_{0D}$  (725N; 20,00mm; 21403J) największe wartości obciążenia, odkształcenia oraz ilość absorbowanej energii w porównaniu do pozostałych serii badawczych. I dlatego sposób przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej w stanie wilgotnym.

W tabeli 5.45 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 1CB, 1CR i 1CM żywicy nr 1 w stanie mokrym (C) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.45.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 1CB, 1CR i 1CM żywicy nr 1 w stanie mokrym (C) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 1 w stanie mokrym
1CB	$f_{cr}$	356	0,75	131	481	
	$f_{max}$	560	3,34	1483	-	
	$f_{0D}$	415	20,80	9629	-	
1CR	$f_{cr}$	443	0,59	128	739	
	$f_{max}$	781	3,50	2203	-	
	$f_{0D}$	598	10,89	7520	-	
1CM	$f_{cr}$	506	0,49	132	1008	
	$f_{max}$	795	3,48	2347	-	
	$f_{0D}$	616	20,60	14136	-	

W obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia wykazała seria 1CM ( $F_{cr}=506\text{N}$ ). Serie badawcze 1CB i 1CR uzyskują mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze, lecz seria żywicy 1CB wykazuje największe odkształcenie ( $\varepsilon_{cr}=0,75\text{mm}$ ) oraz największą podatność na odkształcenie ( $d_x=481$ ) w porównaniu do pozostałych serii badawczych w tym obszarze.

Biorąc pod uwagę analizowane obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największe wartości, w porównaniu do pozostałych serii badawczych, obciążenia, odkształcenia oraz ilość absorbowanej energii uzyskała seria 1CM w punkcie  $f_{0D}$  (616N; 20,60mm; 14136J). I dlatego sposób przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej w stanie mokrym.

W tabeli 5.46 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 1DB, 1DR i 1DM żywicy nr 1 w stanie zanieczyszczonym bentonitem (D) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

Seria 1DR w obszarze proporcjonalności  $A_E$  wykazała największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia ( $F_{cr}=537\text{N}$ ). Serie badawcze 1DB i 1DM uzyskują mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze. Seria żywicy 1DM wykazuje największe odkształcenie ( $\varepsilon_{cr}=0,76\text{mm}$ ) oraz największą ilość absorbowanej energii ( $W_E=199\text{J}$ ) natomiast seria 1DB wykazuje największą podatność na odkształcenie ( $d_x=490$ ) w porównaniu do pozostałych serii badawczych w tym obszarze.

Analizując obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największe wartości odkształcenia uzyskują seria 1DB w punkcie  $f_{0D}$  (355N; 24,00mm; 10374J) oraz seria 1DM w punkcie  $f_{0D}$  (515N; 21,40mm; 12426J). Pomimo jednak, że seria 1DB uzyskuje nieco największe odkształcenie to seria 1DM

wykazuje największą zdolność do przenoszenia naprężeń i uzyskuje największą ilość absorbowanej energii. I dlatego sposób przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej w stanie zanieczyszczonym bentonitem.

**Tabela 5.46.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 1DB, 1DR i 1DM żywicy nr 1 w stanie zanieczyszczonym bentonitem (D) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 1 w stanie zanieczyszczonym bentonitem
1DB	$f_{cr}$	273	0,56	76	490	
	$f_{max}$	460	2,92	1062	-	
	$f_{0D}$	355	24,00	10374	-	
1DR	$f_{cr}$	537	0,71	190	753	
	$f_{max}$	877	3,36	2309	-	
	$f_{0D}$	637	14,08	10559	-	
1DM	$f_{cr}$	494	0,76	199	678	
	$f_{max}$	687	2,42	1261	-	
	$f_{0D}$	515	21,40	12426	-	

W tabeli 5.47 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 1AB, 1BB, 1CB i 1DB żywicy nr 1 dla sposobu przygotowania podłoża nieczyszczonego (B) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.47.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 1AB, 1BB, 1CB i 1DB żywicy nr 1 dla sposobu przygotowania podłoża nieczyszczonego (B) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 1 dla podłoża nieczyszczonego
1AB	$f_{cr}$	391	0,95	186	410	
	$f_{max}$	552	5,51	2612	-	
	$f_{0D}$	524	13,70	6987	-	
1BB	$f_{cr}$	574	0,72	226	841	
	$f_{max}$	817	2,82	1838	-	
	$f_{0D}$	706	20,70	14771	-	
1CB	$f_{cr}$	356	0,75	131	481	
	$f_{max}$	560	3,34	1483	-	
	$f_{0D}$	415	20,80	9629	-	
1DB	$f_{cr}$	273	0,56	76	490	
	$f_{max}$	460	2,92	1062	-	
	$f_{0D}$	355	24,00	10374	-	

Analizując obszar proporcjonalności  $A_E$  to największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia wykazała seria 1BB ( $F_{cr}=574\text{N}$ ). Serie badawcze 1AB i 1CB uzyskują mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze, lecz seria 1AB wykazuje największe odkształcenie ( $\varepsilon_{cr}=0,95\text{mm}$ ) oraz największą podatność na odkształcenie ( $d_x=410$ ) w porównaniu do pozostałych serii badawczych w tym obszarze. Seria 1DB wypada najslabiej, bowiem wartości uzyskanych obciążeń w tym obszarze są znacznie niższe od pozostałych serii.

W obszarach  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największe wartości ilości zaaosorbowanej energii uzyskuje seria 1BB w punkcie  $f_{0D}$  (706N; 20,70mm; 14771J) oraz seria 1DB w punkcie  $f_{0D}$  (355N; 24,00mm; 10374J). Pomimo jednak, że seria 1DB uzyskuje nieco większe odkształcenie to seria 1BB wykazuje największą zdolność do przenoszenia naprężeń i uzyskuje największą ilość absorbowanej energii. I dlatego stan podłoża wilgotny daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej przy sposobie przygotowania podłoża bez czyszczenia.

W tabeli 5.48 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 1AR, 1BR, 1CR i 1DR żywicy nr 1 dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie (R) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.48.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 1AR, 1BR, 1CR i 1DR żywicy nr 1 dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie (R) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 1 dla podłoża czyszczonego ręcznie
1AR	$f_{cr}$	469	0,61	143	761	
	$f_{max}$	846	4,25	2950	-	
	$f_{0D}$	685	14,63	10972	-	
1BR	$f_{cr}$	635	0,93	306	720	
	$f_{max}$	870	3,16	2133	-	
	$f_{0D}$	709	13,58	10344	-	
1CR	$f_{cr}$	443	0,59	128	739	
	$f_{max}$	781	3,50	2203	-	
	$f_{0D}$	598	10,89	7520	-	
1DR	$f_{cr}$	537	0,71	190	753	
	$f_{max}$	877	3,36	2309	-	
	$f_{0D}$	637	14,08	10559	-	

W pierwszym obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia ( $F_{cr}=635\text{N}$ ) i odkształcenia ( $\varepsilon_{cr}=0,93\text{mm}$ ) wykazała seria 1BR. Serie badawcze 1AR i 1DR uzyskują nieco mniejsze wartości naprężeń i odkształceń w tym obszarze. Seria 1CR wypada najslabiej, bowiem wartości uzyskanych obciążeń w tym obszarze są niższe od pozostałych serii.

W następnych obszarach  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największe wartości ilości zaaosorbowanej energii uzyskuje seria 1AR w punkcie  $f_{0D}$  (685N; 14,63mm; 10972J) seria 1BR w punkcie  $f_{0D}$  (709N; 13,58mm; 10344J) oraz seria 1DR w punkcie  $f_{0D}$  (637N; 14,08mm; 10559J). Pomimo jednak, że seria 1BR wykazuje największą zdolność do przenoszenia naprężeń to seria 1AR uzyskuje największe odkształcenie oraz największą ilość absorbowanej energii. I dlatego stan podłoża suchy daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej przy sposobie przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie.

W tabeli 5.49 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 1AM, 1BM, 1CM i 1DM żywicy nr 1 dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie (M) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.49.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 1AM, 1BM, 1CM i 1DM żywicy nr 1 dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie (M) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 1 dla podłoża czyszczonego mechanicznie
1AM	$f_{cr}$	567	0,75	213	770	
	$f_{max}$	861	2,04	1225	-	
	$f_{0D}$	637	22,10	14837	-	
1BM	$f_{cr}$	618	0,79	245	779	
	$f_{max}$	937	2,75	1939	-	
	$f_{0D}$	725	20,00	21403	-	
1CM	$f_{cr}$	506	0,49	132	1008	
	$f_{max}$	795	3,48	2347	-	
	$f_{0D}$	616	20,60	14136	-	
1DM	$f_{cr}$	494	0,76	199	678	
	$f_{max}$	687	2,42	1261	-	
	$f_{0D}$	515	21,40	12426	-	

Seria 1BM wykazała największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia ( $F_{cr}=618\text{N}$ ) i odkształcenia ( $\varepsilon_{cr}=0,79\text{mm}$ ) w obszarze



proporcjonalności  $A_E$ . Pozostałe serie uzyskują niedużo mniejsze wartości naprężeń i odkształceń w tym obszarze.

Poddając ocenie obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największe wartości ilości zaabsorbowanej energii uzyskuje seria 1AM w punkcie  $f_{0D}$  (637N; 22,10mm; 14837J) seria 1BM w punkcie  $f_{0D}$  (725N; 20,00mm; 21403J) oraz seria 1CM w punkcie  $f_{0D}$  (616N; 20,60mm; 14136J). Pomimo jednak, że seria 1AM wykazuje największe odkształcenie to seria 1BM uzyskuje największą zdolność do przenoszenia naprężeń oraz największą ilość absorbowanej energii. I dlatego stan podłoża wilgotny daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej przy sposobie przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie.

#### **Wnioski podsumowujące:**

Rodzaj podłoża jest istotny na zapewnienie niezawodności uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych i zależy do sposobu przygotowania podłoża oraz od stanu jego zawilgocenia lub zanieczyszczenia.

We wszystkich stanach zawilgocenia lub zanieczyszczenia sposób przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie wykazywał najlepsze rezultaty w porównaniu ze sposobem przygotowania podłoża bez czyszczenia i podłożem czyszczonym ręcznie.

Uzyskane rezultaty dla wszystkich sposobów przygotowania podłoża niezależnie od stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia wykazały dużą stabilność i równomierność. Zarówno w stanie suchym, wilgotnym, mokrym i zanieczyszczonym bentonitem wypełnienie żywicą nr 1 uzyskuje wysokie zdolności do przenoszenia naprężeń, znaczne odkształcenia oraz wysoką ilość absorbowanej energii. W stanie suchym i wilgotnym te rezultaty uzyskują najwyższe wartości.

#### **5.12.2. Żywica nr 2 baza akrylowa**

W tabeli 5.50 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 2AB, 2AR i 2AM żywicy nr 2 w stanie suchym (A) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.50.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 2AB, 2AR i 2AM żywicy nr 2 w stanie suchym (A) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 2 w stanie suchym
2AB	$f_{cr}$	204	0,68	69	300	
	$f_{max}$	259	1,21	197	-	
	$f_{0D}$	234	3,28	713	-	
2AR	$f_{cr}$	197	1,05	115	209	
	$f_{max}$	342	3,15	737	-	
	$f_{0D}$	298	5,02	1349	-	
2AM	$f_{cr}$	239	0,58	69	413	
	$f_{max}$	544	3,86	1597	-	
	$f_{0D}$	525	5,09	2323	-	

W obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia wykazała seria 2AM ( $F_{cr}=239N$ ). Serie badawcze 2AB i 2AR uzyskują mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze, lecz seria żywicy 2AR wykazuje największe odkształcenie ( $\varepsilon_{cr}=1,05mm$ ) oraz największą podatność na odkształcenie ( $d_x=209$ ) w porównaniu do pozostałych serii badawczych w tym obszarze.

Mając na uwadze obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największe wartości, w porównaniu do pozostałych serii badawczych, obciążenia, odkształcenia oraz ilość absorbowanej energii uzyskała seria 2AM w punkcie  $f_{0D}$  (525N; 5,09mm; 2323J). I dlatego sposób przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej w stanie suchym.

W tabeli 5.51 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 2BB, 2BR i 2BM żywicy nr 2 w stanie wilgotnym (B) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

Analizując obszar proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia ( $F_{cr}=197N$ ), odkształcenia ( $\varepsilon_{cr}=1,07mm$ ) i absorbowanej energii ( $W_E=105J$ ) wykazała seria 2BR. Serie badawcze 2BB i 2BM uzyskują mniejsze wartości naprężeń, odkształceń oraz ilość absorbowanej energii w tym obszarze.

Biorąc pod uwagę analizowane obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największe wartości odkształcenia uzyskała seria 2BM w punkcie  $f_{0D}$  (527N; 3,32mm; 1366J) oraz 2BR w punkcie  $f_{0D}$  (254N; 4,06mm; 940J). Pomimo jednak że seria 2BR uzyskała większe wartości odkształcenia to seria 2BM wykazuje większą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu wyższej wartości obciążenia oraz większą ilość absorbowanej energii. I dlatego sposób przygotowania podłoża

czyszczonego mechanicznie daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej w stanie wilgotnym.

**Tabela 5.51.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 2BB, 2BR i 2BM żywicy nr 2 w stanie wilgotnym (B) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 2 w stanie wilgotnym
2BB	$f_{cr}$	134	0,59	39	227	
	$f_{0D}$	315	2,55	535	-	
2BR	$f_{cr}$	197	1,07	105	184	
	$f_{max}$	319	2,96	627	-	
	$f_{0D}$	254	4,06	940	-	
2BM	$f_{cr}$	183	0,41	37	446	
	$f_{max}$	532	2,28	814	-	
	$f_{0D}$	527	3,32	1366	-	

W tabeli 5.52 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 2CB, 2CR i 2CM żywicy nr 2 w stanie mokrym (C) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.52.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 2CB, 2CR i 2CM żywicy nr 2 w stanie mokrym (C) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 2 w stanie mokrym
2CB	$f_{cr}$	109	0,37	20	296	
	$f_{max}$	307	3,72	869	-	
	$f_{0D}$	305	4,59	1136	-	
2CR	$f_{cr}$	166	1,18	98	141	
	$f_{max}$	296	3,44	665	-	
	$f_{0D}$	289	4,77	1055	-	
2CM	$f_{cr}$	196	0,43	42	450	
	$f_{max}$	517	3,24	1285	-	
	$f_{0D}$	480	4,46	1907	-	

Seria 2CM w obszarze proporcjonalności  $A_E$  wykazała największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia ( $F_{cr}=196N$ ). Serie badawcze 2CB i 2CR uzyskują mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze, lecz seria żywicy 2CR wykazuje największe odkształcenie ( $\varepsilon_{cr}=1,18mm$ ) oraz największą podatność na odkształcenie ( $d_x=141$ ) w porównaniu do pozostałych serii badawczych w tym obszarze.

Poddając ocenie analizowane obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  to wszystkie serie uzyskują odkształcenia na podobnym poziomie. Pomimo jednak, że seria 2CB w punkcie  $f_{0D}$  (305N; 4,59mm; 1136J) uzyskała większe wartości odkształcenia to seria 2CM w punkcie  $f_{0D}$  (480N; 4,46mm; 1907J) wykazuje większą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu wyższej wartości obciążenia oraz większą ilość absorbowanej energii. I dlatego sposób przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej w stanie mokrym.

W tabeli 5.53 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 2DB, 2DR i 2DM żywicy nr 2 w stanie zanieczyszczonym bentonitem (D) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.53.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 2DB, 2DR i 2DM żywicy nr 2 w stanie zanieczyszczonym bentonitem (D) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 2 w stanie zanieczyszczonym bentonitem
2DB	$f_{cr}$	288	0,72	103	401	
	$f_{max}$	467	1,44	388	-	
	$f_{0D}$	435	1,81	557	-	
2DR	$f_{cr}$	187	0,89	83	210	
	$f_{max}$	298	2,34	450	-	
	$f_{0D}$	258	4,75	1135	-	
2DM	$f_{cr}$	121	0,19	11	620	
	$f_{max}$	382	2,43	750	-	
	$f_{0D}$	362	5,26	1803	-	

W obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia wykazała seria 2DB ( $F_{cr}=288N$ ). Serie badawcze 2DR i 2DM uzyskują mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze. Seria żywicy 2DR wykazuje największe odkształcenie ( $\varepsilon_{cr}=0,89mm$ ) i największą podatność na odkształcenie ( $d_x=210$ ) w porównaniu do pozostałych serii badawczych w tym obszarze.

Biorąc pod uwagę analizowane obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największe wartości odkształcenia uzyskują seria 2DR w punkcie  $f_{0D}$  (258N; 4,75mm; 1135J) oraz seria 2DM w punkcie  $f_{0D}$  (362N; 5,26mm; 1803J). Seria 2DM wykazuje największą zdolność do przenoszenia naprężeń i uzyskuje największą ilość absorbowanej energii. I dlatego sposób przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej w stanie zanieczyszczonym bentonitem.

W tabeli 5.54 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 2AB, 2BB, 2CB i 2DB żywicy nr 2 dla sposobu przygotowania podłoża nieczyszczonego (B) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.54.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 2AB, 2BB, 2CB i 2DB żywicy nr 2 dla sposobu przygotowania podłoża nieczyszczonego (B) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 2 dla podłoża nieczyszczonego
2AB	$f_{cr}$	204	0,68	69	300	
	$f_{max}$	259	1,21	197	-	
	$f_{0D}$	234	3,28	713	-	
2BB	$f_{cr}$	134	0,59	39	227	
	$f_{0S}$	315	2,55	535	-	
2CB	$f_{cr}$	109	0,37	20	296	
	$f_{max}$	307	3,72	869	-	
	$f_{0D}$	305	4,59	1136	-	
2DB	$f_{cr}$	288	0,72	103	401	
	$f_{max}$	467	1,44	388	-	
	$f_{0D}$	435	1,81	557	-	

Seria 2DB wykazała największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia wykazała ( $F_{cr}=288N$ ) w obszarze proporcjonalności  $A_E$ . Pozostałe serie badawcze uzyskują mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze. Seria 2BB wykazuje największą podatność na odkształcenie ( $d_x=227$ ) w porównaniu do pozostałych serii badawczych w tym obszarze.

Mając na uwadze analizowane obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  to największe wartości ilości zaaosorbowanej energii uzyskuje seria 2CB w punkcie  $f_{0D}$  (305N; 4,59mm; 1136J) oraz seria 2AB w punkcie  $f_{0D}$  (234N; 3,28mm; 713J). Seria 2CB uzyskuje największe odkształcenie i największą zdolność do przenoszenia naprężeń. I dlatego stan podłoża mokry daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej przy sposobie przygotowania podłoża bez czyszczenia.

W tabeli 5.55 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 2AR, 2BR, 2CR i 2DR żywicy nr 2 dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie (R) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.55.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 2AR, 2BR, 2CR i 2DR żywicy nr 2 dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie (R) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 2 dla podłoża czyszczonego ręcznie
2AR	$f_{cr}$	197	1,05	115	209	
	$f_{max}$	342	3,15	737	-	
	$f_{0D}$	298	5,02	1349	-	
2BR	$f_{cr}$	197	1,07	105	184	
	$f_{max}$	319	2,96	627	-	
	$f_{0D}$	254	4,06	940	-	
2CR	$f_{cr}$	166	1,18	98	141	
	$f_{max}$	296	3,44	665	-	
	$f_{0D}$	289	4,77	1055	-	
2DR	$f_{cr}$	187	0,89	83	210	
	$f_{max}$	298	2,34	450	-	
	$f_{0D}$	258	4,75	1135	-	

W obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia ( $F_{cr}=197N$ ) wykazała seria 2AR oraz 2BR. Serie badawcze 2CR i 2DR uzyskują nieco mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze.

Analizując obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największe wartości ilości zaaosorbowanej energii uzyskuje seria 2AR w punkcie  $f_{0D}$  (298N; 5,02mm; 1349J) oraz seria 2DR w punkcie  $f_{0D}$  (258N; 4,75mm; 1135J). Seria 2AR wykazuje największą zdolność do przenoszenia naprężeń i uzyskuje największe odkształcenie w tych obszarach w porównaniu z innymi badanymi seriami. I dlatego stan podłoża suchy daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej przy sposobie przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie.

W tabeli 5.56 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 2AM, 2BM, 2CM i 2DM żywicy nr 2 dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie (M) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.56.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 2AM, 2BM, 2CM i 2DM żywicy nr 2 dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie (M) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 2 dla podłoża czyszczonego mechanicznie
2AM	$f_{cr}$	239	0,58	69	413	
	$f_{max}$	544	3,86	1597	-	
	$f_{0D}$	525	5,09	2323	-	
2BM	$f_{cr}$	183	0,41	37	446	
	$f_{max}$	532	2,28	814	-	
	$f_{0D}$	527	3,32	1366	-	
2CM	$f_{cr}$	196	0,43	42	450	
	$f_{max}$	517	3,24	1285	-	
	$f_{0D}$	480	4,46	1907	-	
2DM	$f_{cr}$	121	0,19	11	620	
	$f_{max}$	382	2,43	750	-	
	$f_{0D}$	362	5,26	1803	-	

Seria 2AM w obszarze proporcjonalności  $A_E$  wykazała największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia ( $F_{cr}=239\text{N}$ ) i odkształcenia ( $\varepsilon_{cr}=0,58\text{mm}$ ). Serie 2BM i 2CM uzyskują nieco mniejsze wartości naprężeń i odkształceń, natomiast seria 2DM uzyskuje najslabsze wyniki w tym obszarze.

Poddając ocenie analizowane obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  to największe wartości ilości zaaosorbowanej energii uzyskuje seria 2AM w punkcie  $f_{0D}$  (525N; 5,09mm; 2323J) oraz seria 2DM w punkcie  $f_{0D}$  (362N; 5,26mm; 1803J). Pomimo jednak, że seria 2DM wykazuje nieco większe odkształcenie to seria 2AM uzyskuje największą zdolność do przenoszenia naprężeń i największą ilość absorbowanej energii. I dlatego stan podłoża suchy daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej przy sposobie przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie.

### Wnioski podsumowujące:

Rodzaj podłoża jest istotny na zapewnienie niezawodności uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych i zależy do sposobu przygotowania podłoża oraz od stanu jego zawilgocenia lub zanieczyszczenia.

We wszystkich stanach zawilgocenia lub zanieczyszczenia sposób przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie wykazywał najlepsze rezultaty w porównaniu ze sposobem przygotowania podłoża bez czyszczenia i podłożem czyszczonym ręcznie.

Uzyskane rezultaty wskazują, że najlepsze rezultaty zostały uzyskane w stanie mokrym dla podłoża nieczyszczonego. Natomiast najlepsze rezultaty zostały uzyskanie w stanie suchym dla podłoża czyszczonego ręcznie i czyszczonego mechanicznie.

### 5.12.3. Żywica nr 3 baza poliuretanowa hydrofilowa

W tabeli 5.57 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 3AB, 3AR i 3AM żywicy nr 3 w stanie suchym (A) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.57.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 3AB, 3AR i 3AM żywicy nr 3 w stanie suchym (A) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 3 w stanie suchym
3AB	$f_{cr}$	143	1,07	76	133	
	$f_{os}$	219	1,86	225	-	
3AR	$f_{cr}$	63	0,38	11	167	
	$f_{os}$	115	3,87	363	-	
3AM	$f_{cr}$	127	1,00	63	126	
	$f_{max}$	194	2,21	273	-	
	$f_{0D}$	175	3,12	445	-	

W obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia wykazała seria 3AB ( $F_{cr}=143N$ ). Serie badawcze 3AB i 3AM uzyskują mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze, lecz seria żywicy 3AB wykazuje największe odkształcenie ( $\varepsilon_{cr}=1,07mm$ ) a seria 3AM największą podatność na odkształcenie ( $d_x=126$ ) w porównaniu do pozostałych serii badawczych w tym obszarze.

Natomiast w obszarach  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największe wartości ilości zaaosorbowanej energii uzyskuje seria 3AM w punkcie  $f_{0D}$  (175N; 3,12mm; 445J) oraz seria 3AR w punkcie  $f_{os}$  (115N; 3,87mm; 363J). Pomimo jednak, że seria 3AR wykazuje nieco większe odkształcenie to seria



3AM uzyskuje największą zdolność do przenoszenia naprężeń i największą ilość absorbowanej energii. I dlatego sposób przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej w stanie suchym.

W tabeli 5.58 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 3BB, 3BR i 3BM żywicy nr 3 w stanie wilgotnym (B) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.58.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 3BB, 3BR i 3BM żywicy nr 3 w stanie wilgotnym (B) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 3 w stanie wilgotnym
3BB	$f_{cr}$	833	4,64	1932	179	
	$f_{os}$	941	5,68	2863	-	
3BR	$f_{cr}$	725	3,01	1091	240	
	$f_{max}$	1020	5,09	2955	-	
	$f_{oD}$	998	5,77	3641	-	
3BM	$f_{cr}$	572	1,83	523	312	
	$f_{os}$	747	2,87	1240	-	

W obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia ( $F_{cr}=833N$ ), odkształcenia ( $\varepsilon_{cr}=4,64mm$ ) i absorbowanej energii ( $W_E=1932J$ ) wykazała seria 3BB. Serie badawcze 3BR i 3BM uzyskują mniejsze wartości naprężeń, odkształceń oraz ilość absorbowanej energii w tym obszarze.

Biorąc pod uwagę analizowane obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największe wartości odkształcenia uzyskała seria 3BR w punkcie  $f_{oD}$  (998N; 5,77mm; 3641J) oraz 3BB w punkcie  $f_{os}$  (941N; 2,87mm; 2863J). Seria 3BR uzyskała większe wartości odkształcenia i wykazuje największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu wyższej wartości obciążenia oraz większą ilość absorbowanej energii w tym obszarze. I dlatego sposób przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej w stanie wilgotnym.

W tabeli 5.59 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 3CB, 3CR i 3CM żywicy nr 3 w stanie mokrym (C) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.59.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 3CB, 3CR i 3CM żywicy nr 3 w stanie mokrym (C) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 3 w stanie mokrym
3CB	$f_{cr}$	62	0,68	21	92	
	$f_{max}$	90	1,89	119	-	
	$f_{0D}$	82	3,00	217	-	
3CR	$f_{cr}$	66	0,78	25	85	
	$f_{max}$	105	2,09	144	-	
	$f_{0D}$	91	4,10	344	-	
3CM	$f_{0E}$	1240	0,59	359	2039	

Seria 3CM wykazała największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia wykazała ( $F_{cr}=1240N$ ) w obszarze proporcjonalności  $A_E$ . Serie badawcze 3CB i 3CR uzyskują dużo mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze, lecz seria żywicy 3CR wykazuje największe odkształcenie ( $\varepsilon_{cr} = 0,78mm$ ) oraz największą podatność na odkształcenie ( $d_x=85$ ) w porównaniu do pozostałych serii badawczych w tym obszarze.

Mając na uwadze analizowane obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  to największe wartości odkształcenia uzyskała seria 3CB w punkcie  $f_{0D}$  (82N; 3,00mm; 217J) oraz 3CR w punkcie  $f_{0D}$  (91N; 4,10mm; 344J). Seria 3CR uzyskała większe wartości odkształcenia i wykazuje największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu wyższej wartości obciążenia oraz większą ilość absorbowanej energii w tym obszarze. I dlatego sposób przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej w stanie mokrym.

W tabeli 5.60 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 3DB, 3DR i 3DM żywicy nr 3 w stanie zanieczyszczonym bentonitem (D) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

W obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia wykazała seria 3DM ( $F_{cr}=34N$ ). Seria badawcze 3DR uzyskuje mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze. Brak danych serii 3DB w wyniku odspojenia się żywicy od betonu pod ciężarem próbki betonowej.

Analizując obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  to największe wartości odkształcenia, obciążenia oraz ilość absorbowanej energii uzyskuje seria 3DM w punkcie  $f_{0D}$  (59N; 2,11mm; 107J). I dlatego sposób przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie daje najlepsze rezultaty

i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej w stanie zanieczyszczonym bentonitem.

**Tabela 5.60.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 3DB, 3DR i 3DM żywicy nr 3 w stanie zanieczyszczonym bentonitem (D) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\epsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 3 w stanie zanieczyszczonym bentonitem
3DB	-					
3DR	$f_{cr}$	12	0,20	1	59	
	$f_{0S}$	14	0,38	3	-	
3DM	$f_{cr}$	34	0,42	7	84	
	$f_{max}$	62	1,27	56	-	
	$f_{0D}$	59	2,11	107	-	

W tabeli 5.61 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 3AB, 3BB, 3CB i 3DB żywicy nr 3 dla sposobu przygotowania podłoża nieczyszczonego (B) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

W obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia wykazała seria 3BB ( $F_{cr}=833N$ ). Pozostałe serie badawcze uzyskują mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze. Brak danych serii 3DB w wyniku odspojenia się żywicy od betonu pod ciężarem próbki betonowej.

Biorąc pod uwagę analizowane obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największe wartości ilości zaabsorbowanej energii uzyskuje seria 3BB w punkcie  $f_{0D}$  (941N; 5,68mm; 2863J). Uzyskuje też największą zdolność do przenoszenia naprężeń i największą ilość absorbowanej energii. I dlatego stan podłoża wilgotny daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej przy sposobie przygotowania podłoża nieczyszczonego.

**Tabela 5.61.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 3AB, 3BB, 3CB i 3DB żywicy nr 3 dla sposobu przygotowania podłoża nieczyszczonego (B) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 3 dla podłoża nieczyszczonego
3AB	$f_{cr}$	143	1,07	76	133	
	$f_{os}$	219	1,86	225	-	
3BB	$f_{cr}$	833	4,64	1932	179	
	$f_{os}$	941	5,68	2863	-	
3CB	$f_{cr}$	62	0,68	21	92	
	$f_{max}$	90	1,89	119	-	
	$f_{oD}$	82	3,00	217	-	
3DB	-					

W tabeli 5.62 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 3AR, 3BR, 3CR i 3DR żywicy nr 3 dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie (R) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.62.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 3AR, 3BR, 3CR i 3DR żywicy nr 3 dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie (R) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 3 dla podłoża czyszczonego ręcznie
3AR	$f_{cr}$	63	0,38	11	167	
	$f_{os}$	115	3,87	363	-	
3BR	$f_{cr}$	725	3,01	1091	240	
	$f_{max}$	1020	5,09	2955	-	
	$f_{oD}$	998	5,77	3641	-	
3CR	$f_{cr}$	66	0,78	25	85	
	$f_{max}$	105	2,09	144	-	
	$f_{oD}$	91	4,10	344	-	
3DR	$f_{cr}$	12	0,20	1	59	
	$f_{oD}$	14	0,38	3	-	

Seria 3BR w obszarze proporcjonalności  $A_E$  wykazała największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia ( $F_{cr}=725\text{N}$ ). Serie badawcze 3AR i 3CR uzyskują dużo mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze. Najsłabiej wypada seria 3DR w tym obszarze.

Mając na uwadze analizowane obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  to największe wartości odkształcenia, obciążenia oraz ilość absorbowanej energii uzyskuje seria 3BR w punkcie  $f_{0D}$  (998N; 5,77mm; 3641J) w porównaniu z innymi badanymi seriami. I dlatego stan podłoża wilgotny daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej przy sposobie przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie.

W tabeli 5.63 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 3AM, 3BM, 3CM i 3DM żywicy nr 3 dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie (M) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.63.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 3AM, 3BM, 3CM i 3DM żywicy nr 3 dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie (M) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 3 dla podłoża czyszczonego mechanicznie
3AM	$f_{cr}$	127	1,00	63	126	
	$f_{max}$	194	2,21	273	-	
	$f_{0D}$	175	3,12	445	-	
3BM	$f_{cr}$	572	1,83	523	312	
	$f_{0S}$	747	2,87	1240	-	
3CM	$f_{0E}$	1240	0,59	359	2039	
3DM	$f_{cr}$	34	0,42	7	84	
	$f_{max}$	62	1,27	56	-	
	$f_{0D}$	59	2,11	107	-	

W obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia ( $F_{cr}=1240N$ ) wykazała seria 3CM. Serie 3BM uzyskała dużo mniejsze wartości naprężeń, lecz wykazała największą wartość odkształceń ( $\varepsilon_{cr}=1,83mm$ ) w tym obszarze. Serie 3AM i 3DM uzyskują najslabsze wyniki w tym obszarze.

Biorąc pod uwagę analizowane obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największą ilość absorbowanej energii uzyskuje seria 3BM w punkcie  $f_{0D}$  (747N; 2,87mm; 1240J). Pomimo jednak, że seria 3AM wykazuje nieco większe odkształcenie to seria 3BM uzyskuje największą zdolność do przenoszenia naprężeń oraz największą ilość absorbowanej energii. I dlatego stan podłoża wilgotny daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej przy sposobie przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie.

### Wnioski podsumowujące:

Rodzaj podłoża jest istotny na zapewnienie niezawodności uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych i zależy do sposobu przygotowania podłoża oraz od stanu jego zawilgocenia lub zanieczyszczenia.

W różnych stanach zawilgocenia lub zanieczyszczenia sposób przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie oraz czyszczonego mechanicznie wykazywał najlepsze rezultaty w porównaniu ze sposobem przygotowania podłoża bez czyszczenia.

Uzyskane rezultaty dla wszystkich sposobów przygotowania podłoża niezależnie od stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia wykazały, że w stanie wilgotnym wypełnienie żywicą nr 3 uzyskuje rezultaty, które uzyskują najwyższe wartości.

#### 5.12.4. Żywica nr 4 baza poliuretanowa

W tabeli 5.64 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 4AB, 4AR i 4AM żywicy nr 4 w stanie suchym (A) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.64.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 4AB, 4AR i 4AM żywicy nr 4 w stanie suchym (A) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 4 w stanie suchym
4AB	$f_{cr}$	105	0,29	15	359	
	$f_{os}$	211	1,40	232	-	
4AR	$f_{cr}$	472	1,03	243	458	
	$f_{os}$	612	2,05	797	-	
4AM	$f_{cr}$	640	1,10	352	582	
	$f_{max}$	858	1,63	754	-	
	$f_{oD}$	831	2,14	1185	-	

W obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia wykazała seria 4AM ( $F_{cr}=640N$ ). Serie badawcze 4AB i 4AR uzyskują mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze. Seria żywicy 4AM wykazuje największe odkształcenie ( $\varepsilon_{cr} = 1,10mm$ ) a seria 4AB największą podatność na odkształcenie ( $d_x=359$ ) w porównaniu do pozostałych serii badawczych w tym obszarze.

Poddając ocenie obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  to największe wartości obciążenie, odkształcenia oraz ilość absorbowanej energii uzyskuje seria 4AM w punkcie  $f_{0D}$  (831N; 2,14mm; 1185J) w porównaniu z innymi seriami w tych obszarach. I dlatego sposób przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej w stanie suchym.

W tabeli 5.65 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 4BB, 4BR i 4BM żywicy nr 4 w stanie wilgotnym (B) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.65.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 4BB, 4BR i 4BM żywicy nr 4 w stanie wilgotnym (B) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 4 w stanie wilgotnym
4BB	$f_{cr}$	52	0,48	12	110	
	$f_{0S}$	85	0,87	41	-	
4BR	$f_{cr}$	378	0,93	177	402	
	$f_{0S}$	515	1,64	505	-	
4BM	$f_{cr}$	514	1,26	320	411	
	$f_{max}$	639	1,62	527	-	
	$f_{0D}$	582	2,13	838	-	

Seria 4BM w obszarze proporcjonalności  $A_E$  wykazała największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia ( $F_{cr}=514N$ ), odkształcenia ( $\varepsilon_{cr}=1,26mm$ ) i absorbowanej energii ( $W_E=320J$ ). Serie badawcze 4BB i 4BR uzyskują mniejsze wartości naprężeń, odkształceń i ilości absorbowanej energii w tym obszarze.

Biorąc pod uwagę analizowane obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największe wartości obciążenia, odkształcenia i ilości absorbowanej energii uzyskała seria 4BM w punkcie  $f_{0D}$  (582N; 2,13mm; 838J) w porównaniu z innymi seriami w tych obszarach. I dlatego sposób przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej w stanie wilgotnym.

W tabeli 5.66 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 4CB, 4CR i 4CM żywicy nr 4 w stanie mokrym (C) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.66.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 4CB, 4CR i 4CM żywicy nr 4 w stanie mokrym (C) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 4 w stanie mokrym
4CB	-					
4CR	$f_{cr}$	161	0,86	69	185	
	$f_{os}$	203	1,41	173	-	
4CM	$f_{cr}$	164	0,92	75	178	
	$f_{os}$	233	1,76	250	-	

Analizując obszar proporcjonalności  $A_E$  to największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia wykazała seria 4CM ( $F_{cr}=164N$ ). Seria badawcza 4CR uzyskuje niedużo mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze, lecz seria żywicy 4CM wykazuje największe odkształcenie ( $\varepsilon_{cr} = 0,92mm$ ) oraz większą podatność na odkształcenie ( $d_x=178$ ) w porównaniu do pozostałych serii badawczych w tym obszarze. Brak danych serii 4CB w wyniku odspojenia się żywicy od betonu pod ciężarem próbki betonowej.

Mając na uwadze obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  to największe wartości obciążenia, odkształcenia oraz ilość absorbowanej energii uzyskała seria 4CM w punkcie  $f_{os}$  (233N; 1,76mm; 250) w porównaniu do serii 4CR w tych obszarach. I dlatego sposób przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej w stanie mokrym.

W tabeli 5.67 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 4DB, 4DR i 4DM żywicy nr 4 w stanie zanieczyszczonym bentonitem (D) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

Ze względu na brak danych serii 4DB i 4DR w wyniku odspojenia się żywicy od betonu pod ciężarem próbki betonowej, w obszarze proporcjonalności  $A_E$ , największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia wykazała seria 4DM ( $F_{cr}=110N$ ).



W obszarach  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  seria 4DM w punkcie  $f_{0D}$  (204N; 1,41mm; 185J) uzyskuje największe wartości odkształcenia, obciążenia oraz ilość absorbowanej energii. I dlatego sposób przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej w stanie zanieczyszczonym bentonitem.

**Tabela 5.67.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 4DB, 4DR i 4DM żywicy nr 4 w stanie zanieczyszczonym bentonitem (D) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 4 w stanie zanieczyszczonym bentonitem
4DB	-					
4DR	-					
4DM	$f_{cr}$	110	0,51	28	216	
	$f_{max}$	207	1,01	102	-	
	$f_{0D}$	204	1,41	185	-	

W tabeli 5.68 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 4AB, 4BB, 4CB i 4DB żywicy nr 4 dla sposobu przygotowania podłoża nieczyszczonego (B) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.68.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 4AB, 4BB, 4CB i 4DB żywicy nr 4 dla sposobu przygotowania podłoża nieczyszczonego (B) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 4 dla podłoża nieczyszczonego
4AB	$f_{cr}$	105	0,29	15	359	
	$f_{0S}$	211	1,40	232	-	
4BB	$f_{cr}$	52	0,48	12	110	
	$f_{0S}$	85	0,87	41	-	
4CB	-					
4DB	-					

W obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia wykazała seria 4AB ( $F_{cr}=105N$ ). Seria 4BB uzyskuje mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze. Brak danych serii 4CB i 4DB w wyniku odspojenia się żywicy od betonu pod ciężarem próbki betonowej.

Biorąc pod uwagę analizowane obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największe wartości obciążenia, odkształcenia i ilości absorbowanej energii uzyskuje seria 4AB w punkcie  $f_{0S}$  (211N; 1,40mm; 232J) w porównaniu z innymi seriami w tych obszarach. I dlatego stan podłoża suchy daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej przy sposobie przygotowania podłoża bez czyszczenia.

W tabeli 5.69 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 4AR, 4BR, 4CR i 4DR żywicy nr 4 dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie (R) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.69.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 4AR, 4BR, 4CR i 4DR żywicy nr 4 dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie (R) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 4 dla podłoża czyszczonego ręcznie	
4AR	$f_{cr}$	472	1,03	243	458		
	$f_{0S}$	612	2,05	797	-		
4BR	$f_{cr}$	378	0,93	177	402		
	$f_{0S}$	515	1,64	505	-		
4CR	$f_{cr}$	161	0,86	69	185		
	$f_{0D}$	203	1,41	173	-		
4DR	-						

Seria 4AR w obszarze proporcjonalności  $A_E$  wykazuje największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia ( $F_{cr}=472N$ ). Serie badawcze 4BR i 4CR uzyskują mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze. Brak danych serii 4DR w wyniku odspojenia się żywicy od betonu pod ciężarem próbki betonowej.

Mając na uwadze obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  to największe wartości obciążenia, odkształcenia oraz ilość absorbowanej energii uzyskuje seria 4AR w punkcie  $f_{0S}$  (612N; 2,05mm; 797J) w porównaniu z innymi seriami w tych obszarach. I dlatego stan podłoża suchy daje najlepsze

rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej przy sposobie przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie.

W tabeli 5.70 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 4AM, 4BM, 4CM i 4DM żywicy nr 4 dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie (M) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.70.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 4AM, 4BM, 4CM i 4DM żywicy nr 4 dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie (M) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 4 dla podłoża czyszczonego mechanicznie
4AM	$f_{cr}$	640	1,10	352	582	
	$f_{max}$	858	1,63	754	-	
	$f_{0D}$	831	2,14	1185	-	
4BM	$f_{cr}$	514	1,26	320	411	
	$f_{max}$	639	1,62	527	-	
	$f_{0D}$	582	2,13	838	-	
4CM	$f_{cr}$	164	0,92	75	178	
	$f_{0S}$	233	1,76	250	-	
4DM	$f_{cr}$	110	0,51	28	216	
	$f_{max}$	207	1,01	102	-	
	$f_{0D}$	204	1,41	185	-	

W pierwszym obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia ( $F_{cr}=640N$ ) wykazała seria 4AM. Serie 4BM uzyskała mniejsze wartości naprężeń, lecz wykazała największą wartość odkształceń ( $\varepsilon_{cr}=1,26mm$ ) w tym obszarze. Serie 4CM i 4DM uzyskują najsłabsze wyniki w tym obszarze.

W obszarach  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największe wartości obciążenia, odkształcenia oraz ilość absorbowanej energii uzyskuje seria 4AM w punkcie  $f_{0D}$  (831N; 2,14mm; 1185J) w porównaniu z innymi seriami w tych obszarach. I dlatego stan podłoża suchy daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej przy sposobie przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie.

#### Wnioski podsumowujące:

Rodzaj podłoża jest istotny na zapewnienie niezawodności uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych i zależy do sposobu przygotowania podłoża oraz od stanu jego zawilgocenia lub zanieczyszczenia.

We wszystkich stanach zawilgocenia lub zanieczyszczenia sposób przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie wykazywał najlepsze rezultaty w porównaniu ze sposobem przygotowania podłoża nieczyszczonego i podłożem czyszczonym ręcznie.

Uzyskane rezultaty dla wszystkich sposobów przygotowania podłoża niezależnie od stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia wykazały, że w stanie suchym wypełnienie żywicą nr 4 uzyskuje rezultaty, które uzyskują najwyższe wartości.

### 5.12.5. Żywica nr 5 baza epoksydowa

W tabeli 5.71 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 5AB, 5AR i 5AM żywicy nr 5 w stanie suchym (A) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.71.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 5AB, 5AR i 5AM żywicy nr 5 w stanie suchym (A) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 5 w stanie suchym
5AB	$f_{0E}$	8195	1,78	7332	4592	
5AR	$f_{cr}$	7190	1,24	4453	5798	
	$f_{0S}$	9560	1,70	8332	-	
5AM	$f_{0E}$	10600	1,61	8453	6555	

W obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia wykazała seria 5AM ( $F_{cr}=10600\text{N}$ ). Serie badawcze 5AB i 5AR uzyskują mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze. Seria żywicy 5AB wykazuje największe odkształcenie ( $\varepsilon_{cr}=1,78\text{mm}$ ) oraz największą podatność na odkształcenie ( $d_x=4592$ ) w porównaniu do pozostałych serii badawczych w tym obszarze.

Biorąc pod uwagę analizowane obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największą ilość absorbowanej energii uzyskuje seria 5AM w punkcie  $f_{0E}$  (10600N; 1,61mm; 8453J) oraz seria 5AR w punkcie  $f_{0S}$  (9560N; 1,70mm; 8332J). Pomimo, że seria 5AR wykazuje nieco wyższą wartość odkształcenia to seria 5AM uzyskuje większą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia. I dlatego sposób przygotowania podłoża czyszczonego

mechanicznie daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej w stanie suchym.

W tabeli 5.72 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 5BB, 5BR i 5BM żywicy nr 5 w stanie wilgotnym (B) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.72.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 5BB, 5BR i 5BM żywicy nr 5 w stanie wilgotnym (B) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 5 w stanie wilgotnym
5BB	$f_{0E}$	6830	1,86	6379	3656	
5BR	$f_{cr}$	3260	0,64	1061	5036	
	$f_{0S}$	4340	0,90	2047	-	
5BM	$f_{cr}$	2950	0,68	1016	4281	
	$f_{0S}$	6020	1,22	3410	-	

Seria 5BB wykazała największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia ( $F_{cr}=6830\text{N}$ ), odkształcenia ( $\varepsilon_{cr}=1,86\text{mm}$ ) i absorbowanej energii ( $W_E=6379\text{J}$ ) w obszarze proporcjonalności  $A_E$ . Serie badawcze 5BR i 5BM uzyskują mniejsze wartości naprężeń, odkształceń oraz ilość absorbowanej energii w tym obszarze.

Mając na uwadze analizowane obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  to największe wartości obciążenia, odkształcenia oraz ilość absorbowanej energii uzyskała seria 5BB w punkcie  $f_{0E}$  (6830N; 1,86mm; 6379J) w porównaniu z innymi seriami w tych obszarach. I dlatego sposób przygotowania podłoża nieczyszczonego daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej w stanie wilgotnym.

W tabeli 5.73 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 5CB, 5CR i 5CM żywicy nr 5 w stanie mokrym (C) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

W obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia ( $F_{cr}=6910\text{N}$ ) i odkształcenia ( $\varepsilon_{cr}=1,25\text{mm}$ )

wykazała seria 5CB. Serie badawcze 5CR i 5CM uzyskują mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze.

Poddając ocenie obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  to największe wartości obciążenia, odkształcenia oraz ilość absorbowanej energii uzyskała seria 5CB w punkcie  $f_{0E}$  (6910N; 1,25mm; 4318J) w porównaniu do innych serii w tych obszarach. I dlatego sposób przygotowania podłoża nieczyszczonego daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej w stanie mokrym.

**Tabela 5.73.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 5CB, 5CR i 5CM żywicy nr 5 w stanie mokrym (C) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 5 w stanie mokrym
5CB	$f_{0E}$	6910	1,25	4318	5528	
5CR	$f_{cr}$	3670	0,67	1222	5445	
	$f_{0S}$	3860	0,93	2211	-	
5CM	$f_{cr}$	2660	0,73	976	3624	
	$f_{max}$	3460	1,10	2122	-	
	$f_{0D}$	3410	1,30	2814	-	

W tabeli 5.74 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 5DB, 5DR i 5DM żywicy nr 5 w stanie zanieczyszczonym bentonitem (D) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.74.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 5DB, 5DR i 5DM żywicy nr 5 w stanie zanieczyszczonym bentonitem (D) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 5 w stanie zanieczyszczonym bentonitem
5DB	-					
5DR	$f_{0E}$	270	0,24	33	1084	
5DM	$f_{cr}$	6690	1,22	4080	5483	
	$f_{0S}$	7280	1,41	5414	-	

Seria 5DM w obszarze proporcjonalności  $A_E$  wykazała największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia ( $F_{cr}=6690\text{N}$ ). Seria 5DR uzyskuje mniejsze wartości w tym obszarze. Brak danych serii 5DB w wyniku odspojenia się żywicy od betonu pod ciężarem próbki betonowej.

Biorąc pod uwagę analizowane obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największe wartości odkształcenia, obciążenia oraz ilość absorbowanej energii uzyskuje seria 5DM w punkcie  $f_{0S}$  (7280N; 1,41mm; 5414J). I dlatego sposób przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej w stanie zanieczyszczonym bentonitem.

W tabeli 5.75 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 5AB, 5BB, 5CB i 5DB żywicy nr 5 dla sposobu przygotowania podłoża nieczyszczonego (B) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.75.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 5AB, 5BB, 5CB i 5DB żywicy nr 5 dla sposobu przygotowania podłoża nieczyszczonego (B) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 5 dla podłoża nieczyszczonego
5AB	$f_{0E}$	8195	1,78	7332	4592	
5BB	$f_{0E}$	6830	1,86	6379	3656	
5CB	$f_{0E}$	6910	1,25	4318	5528	
5DB	-					

W pierwszym obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia wykazała seria 5AB ( $F_{cr}=8195\text{N}$ ). Seria 5BB i 5CB uzyskuje mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze. Brak danych serii 5DB w wyniku odspojenia się żywicy od betonu pod ciężarem próbki betonowej.

W obszarach  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największą ilość absorbowanej energii uzyskuje seria 5AB w punkcie  $f_{0E}$  (8195N; 1,78mm; 7332J) i seria 5BB w punkcie  $f_{0E}$  (6830N; 1,86mm; 6379J). Pomimo, że seria 5BB wykazuje nieco wyższą wartość odkształcenia to seria 5AB uzyskuje większą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia oraz większą ilość absorbowanej energii w tych obszarach. I dlatego stan podłoża suchy daje

najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej przy sposobie przygotowania podłoża bez czyszczenia.

W tabeli 5.76 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 5AR, 5BR, 5CR i 5DR żywicy nr 5 dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie (R) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.76.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 5AR, 5BR, 5CR i 5DR żywicy nr 5 dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie (R) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 5 dla podłoża czyszczonego ręcznie
5AR	$f_{cr}$	7190	1,24	4453	5798	
	$f_{os}$	9560	1,70	8332	-	
5BR	$f_{cr}$	3260	0,64	1061	5036	
	$f_{os}$	4340	0,90	2047	-	
5CR	$f_{cr}$	3670	0,67	1222	5445	
	$f_{oD}$	3860	0,93	2211	-	
5DR	$f_{oE}$	270	0,24	33	1084	

Seria 5AR wykazała w obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia ( $F_{cr}=7190N$ ). Serie badawcze 5BR i 5CR uzyskują mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze. Najślabsze rezultaty uzyskuje seria 5DR w tym obszarze.

Analizując obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  to największe wartości obciążenia, odkształcenia oraz ilość absorbowanej energii uzyskuje seria 5AR w punkcie  $f_{os}$  (9560N; 1,70mm; 8332J) w porównaniu z innymi seriami w tych obszarach. I dlatego stan podłoża suchy daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej przy sposobie przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie.

W tabeli 5.77 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 5AM, 5BM, 5CM i 5DM żywicy nr 5 dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie (M) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

W obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia ( $F_{cr}=10600N$ ) wykazała seria 5AM. Serie 5BM, 5CM i 5DM uzyskały mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze.



Biorąc pod uwagę analizowane obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największe wartości obciążenia, odkształcenia oraz ilość absorbowanej energii uzyskuje seria 5AM w punkcie  $f_{0E}$  (10600N; 1,61mm; 8453J) w porównaniu z innymi seriami w tych obszarach. I dlatego stan podłoża suchy daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej przy sposobie przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie.

**Tabela 5.77.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 5AM, 5BM, 5CM i 5DM żywicy nr 5 dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie (M) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 5 dla podłoża czyszczonego mechanicznie
5AM	$f_{0E}$	10600	1,61	8453	6555	
5BM	$f_{cr}$	2950	0,68	1016	4281	
	$f_{0S}$	6020	1,22	3410	-	
5CM	$f_{cr}$	2660	0,73	976	3624	
	$f_{max}$	3460	1,10	2122	-	
	$f_{0D}$	3410	1,30	2814	-	
5DM	$f_{cr}$	6690	1,22	4080	5483	
	$f_{0S}$	7280	1,41	5414	-	

### Wnioski podsumowujące:

Rodzaj podłoża jest istotny na zapewnienie niezawodności uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych i zależy do sposobu przygotowania podłoża oraz od stanu jego zawilgocenia lub zanieczyszczenia.

We różnych stanach zawilgocenia lub zanieczyszczenia sposób przygotowania podłoża nieczyszczonego i czyszczonego mechanicznie wykazywał najlepsze rezultaty w porównaniu ze sposobem przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie.

Uzyskane rezultaty dla wszystkich sposobów przygotowania podłoża niezależnie od stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia wykazały, że w stanie suchym wypełnienie żywicą nr 5 uzyskuje rezultaty, które uzyskują najwyższe wartości.

### 5.12.6. Żywica nr 6 baza bitumiczna

W tabeli 5.78 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 6AB, 6AR i 6AM żywicy nr 6 w stanie suchym (A) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

Seria 6AM w obszarze proporcjonalności  $A_E$  wykazała największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia ( $F_{cr}=1240N$ ). Serie badawcze 6AB i 6AR uzyskują mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze. Serie wykazują przybliżone wartości odkształceń, lecz seria 6AR wykazuje największą podatność na odkształcenie ( $d_x=309$ ) w porównaniu do pozostałych serii badawczych w tym obszarze.

**Tabela 5.78.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 6AB, 6AR i 6AM żywicy nr 6 w stanie suchym (A) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 6 w stanie suchym
6AB	$f_{cr}$	426	0,58	125	725	
	$f_{os}$	599	1,44	562	-	
6AR	$f_{cr}$	177	0,57	50	309	
	$f_{max}$	196	1,10	151	-	
	$f_d$	177	2,38	391	-	
6AM	$f_{oE}$	1240	0,59	357	2011	

W obszarach  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największą ilość absorbowanej energii uzyskuje seria 6AB w punkcie  $f_{os}$  (599N; 1,44mm; 562J) oraz seria 6AR w punkcie  $f_d$  (177N; 2,38mm; 391J). Pomimo, że seria 6AB wykazuje nieco wyższą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia to seria 6AR uzyskuje największe odkształcenie w punkcie  $f_d$  wynoszące 2,38mm. I dlatego sposób przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej w stanie suchym.

W tabeli 5.79 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 6BB, 6BR i 6BM żywicy nr 6 w stanie wilgotnym (B) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

W pierwszym obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia ( $F_{cr}=1040N$ ) wykazała seria 6BM. Serie badawcze 6BB i 6BR uzyskują mniejsze wartości naprężeń, lecz seria 6BB uzyskuje największe odkształcenie ( $\varepsilon_{cr}=1,13mm$ ) a seria 6BR największą zdolność do odkształceń ( $d_x=485$ ) w tym obszarze.

Mając na uwadze analizowane obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  to największą ilość absorbowanej energii uzyskała seria 6BR w punkcie  $f_d$  (110N; 7,37mm; 1167J) i seria 6BM w punkcie  $f_{os}$

(1530N; 0,66mm; 647J). Pomimo, że seria 6BM wykazuje większą zdolność do przenoszenia naprężeń to seria 6BR uzyskuje zdecydowanie największe odkształcenie w punkcie  $f_d$  wynoszącym 7,37mm. I dlatego sposób przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej w stanie wilgotnym.

**Tabela 5.79.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 6BB, 6BR i 6BM żywicy nr 6 w stanie wilgotnym (B) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 6 w stanie wilgotnym
6BB	$f_{cr}$	628	1,13	354	555	
	$f_{os}$	656	1,30	463	-	
6BR	$f_{cr}$	110	0,21	12	485	
	$f_{max}$	193	3,45	573	-	
	$f_d$	110	7,37	1167	-	
6BM	$f_{cr}$	1040	0,31	161	3327	
	$f_{os}$	1530	0,66	647	-	

W tabeli 5.80 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 6CB, 6CR i 6CM żywicy nr 6 w stanie mokrym (C) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.80.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 6CB, 6CR i 6CM żywicy nr 6 w stanie mokrym (C) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 6 w stanie mokrym
6CB	$f_{cr}$	643	0,43	137	1491	
	$f_{os}$	746	0,60	255	-	
6CR	$f_{cr}$	104	0,49	29	245	
	$f_{os}$	197	2,44	385	-	
6CM	$f_{cr}$	677	0,30	102	2227	
	$f_{os}$	917	0,82	540	-	

Obszar proporcjonalności  $A_E$  pokazuje, że największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia ( $F_{cr}=677N$ ) wykazała seria 6CM. Serie badawcze 6CB i 6CR uzyskują mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze lecz seria 6CR

uzyskuje największe odkształcenia ( $\varepsilon_{cr}=0,49\text{mm}$ ) i największą zdolność do odkształceń ( $d_x=245$ ) w tym obszarze.

W analizowanych obszarach  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największą ilość absorbowanej energii uzyskała seria 6CM w punkcie  $f_{oS}$  (917N; 0,82mm; 540J) oraz seria 6CR w punkcie  $f_{oS}$  (197N; 2,44mm; 385J). Pomimo, że seria 6CM wykazuje większą zdolność do przenoszenia naprężeń to seria 6CR uzyskuje największe odkształcenie w punkcie  $f_{oS}$  wynoszące 2,44mm. I dlatego sposób przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej w stanie mokrym.

W tabeli 5.81 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 6DB, 6DR i 6DM żywicy nr 6 w stanie zanieczyszczonym bentonitem (D) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.81.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 6DB, 6DR i 6DM żywicy nr 6 w stanie zanieczyszczonym bentonitem (D) w celu oceny wpływu sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 6 w stanie zanieczyszczonym bentonitem
6DB	$f_{cr}$	500	0,56	126	896	
	$f_{oS}$	567	0,95	340	-	
6DR	$f_{cr}$	24	0,21	2	118	
	$f_{oS}$	36	0,55	13	-	
6DM	$f_{oE}$	772	0,55	215	1413	

W obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia wykazała seria 6DM ( $F_{cr}=772\text{N}$ ). Seria 6DB uzyskuje mniejsze wartości w tym obszarze. Najlepsze rezultaty uzyskuje seria 6DR w tym obszarze.

Biorąc pod uwagę analizowane obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największą ilość absorbowanej energii uzyskała seria 6DB w punkcie  $f_{oS}$  (567N; 0,95mm; 340J) oraz seria 6DM w punkcie  $f_{oE}$  (772N; 0,55mm; 215J). Pomimo, że seria 6DM wykazuje większą zdolność do przenoszenia naprężeń to seria 6DB uzyskuje największe odkształcenie w punkcie  $f_{oS}$  wynoszące 0,95mm. I dlatego sposób przygotowania podłoża nieczyszczonego daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą

niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej w stanie zanieczyszczonym bentonitem.

W tabeli 5.82 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 6AB, 6BB, 6CB i 6DB żywicy nr 6 dla sposobu przygotowania podłoża nieczyszczonego (B) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

**Tabela 5.82.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 6AB, 6BB, 6CB i 6DB żywicy nr 6 dla sposobu przygotowania podłoża nieczyszczonego (B) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 6 dla podłoża nieczyszczonego
6AB	$f_{cr}$	426	0,58	125	725	
	$f_{os}$	599	1,44	562	-	
6BB	$f_{cr}$	628	1,13	354	555	
	$f_{os}$	656	1,30	463	-	
6CB	$f_{cr}$	643	0,43	137	1491	
	$f_{os}$	746	0,60	255	-	
6DB	$f_{cr}$	500	0,56	126	896	
	$f_{os}$	567	0,95	340	-	

Seria 6CB w obszarze proporcjonalności  $A_E$  wykazała największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia ( $F_{cr}=643\text{N}$ ). Pozostałe serie uzyskują niedużo mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze. Największe odkształcenie ( $\varepsilon_{cr}=1,13\text{mm}$ ) i największą zdolność do odkształceń ( $d_x=555$ ) w tym obszarze uzyskuje seria 6BB.

W obszarach  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największą ilość absorbowanej energii uzyskuje seria 6AB w punkcie  $f_{os}$  (599N; 1,44mm; 562J) i seria 6BB w punkcie  $f_{os}$  (656N; 1,30mm; 463J). Pomimo, że seria 6BB wykazuje większą zdolność do przenoszenia naprężeń to seria 6AB uzyskuje największe odkształcenie w punkcie  $f_{os}$  wynoszące 1,44mm. I dlatego stan podłoża suchy daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej przy sposobie przygotowania podłoża nieczyszczonego.

W tabeli 5.83 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 6AR, 6BR, 6CR i 6DR żywicy nr 6 dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie (R) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

Największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia ( $F_{cr}=177\text{N}$ ) w obszarze proporcjonalności  $A_E$  wykazała seria 6AR. Serie badawcze 6BR i 6CR uzyskują mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze. Najłabsze rezultaty uzyskuje seria 6DR w tym obszarze.

**Tabela 5.83.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 6AR, 6BR, 6CR i 6DR żywicy nr 6 dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie (R) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 6 dla podłoża czyszczonego ręcznie
6AR	$f_{cr}$	177	0,57	50	309	
	$f_{max}$	196	1,10	151	-	
	$f_d$	177	2,38	391	-	
6BR	$f_{cr}$	110	0,21	12	485	
	$f_{max}$	193	3,45	573	-	
	$f_d$	110	7,37	1167	-	
6CR	$f_{cr}$	104	0,49	29	245	
	$f_{os}$	197	2,44	385	-	
6DR	$f_{cr}$	24	0,21	2	118	
	$f_{os}$	36	0,55	13	-	

Mając na uwadze analizowane obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  to największą ilość absorbowanej energii uzyskuje seria 6BR w punkcie  $f_d$  (110N; 7,37mm; 1167J) w porównaniu z innymi seriami w tych obszarach. Seria 6BR uzyskuje największe odkształcenie w punkcie  $f_d$  wynoszące 7,37mm. I dlatego stan podłoża wilgotny daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej przy sposobie przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie.

W tabeli 5.84 zestawiono rezultaty badań serii badawczych 6AM, 6BM, 6CM i 6DM żywicy nr 6 dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie (M) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych.

W obszarze proporcjonalności  $A_E$  największą zdolność do przenoszenia naprężeń dzięki uzyskaniu najwyższej wartości obciążenia ( $F_{cr}=1240\text{N}$ ) wykazała seria 6AM. Pozostałe serie uzyskały mniejsze wartości naprężeń w tym obszarze.

Biorąc pod uwagę analizowane obszary  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  największą ilość absorbowanej energii uzyskuje seria 6BM w punkcie  $f_{os}$  (1530N; 0,66mm; 647J) oraz seria 6CM w punkcie  $f_{os}$  (917N; 0,82mm; 540J). Pomimo, że seria 6BM wykazuje większą zdolność do przenoszenia naprężeń to seria 6CM uzyskuje największe odkształcenie w punkcie  $f_{os}$  wynoszące 0,82mm. I dlatego

stan podłoża mokry daje najlepsze rezultaty i zapewnia najwyższą niezawodność przy uszczelnianiu przerwy dylatacyjnej przy sposobie przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie.

**Tabela 5.84.** Zestawienie rezultatów badań serii badawczych 6AM, 6BM, 6CM i 6DM żywicy nr 6 dla sposobu przygotowania podłoża czyszczonego mechanicznie (M) w celu oceny wpływu stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

Seria badawcza	Punkt	$F$ [N]	$\varepsilon$ [mm]	$W$ [J]	$d_x$ [N/mm]	Zestawienie wykresów średnich wartości serii badawczych żywicy nr 6 dla podłoża czyszczonego mechanicznie
6AM	$f_{0E}$	1240	0,59	357	2011	
6BM	$f_{cr}$	1040	0,31	161	3327	
	$f_{0S}$	1530	0,66	647	-	
6CM	$f_{cr}$	677	0,30	102	2227	
	$f_{0S}$	917	0,82	540	-	
6DM	$f_{0E}$	772	0,55	215	1413	

### Wnioski podsumowujące:

Rodzaj podłoża jest istotny na zapewnienie niezawodności uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych i zależy do sposobu przygotowania podłoża oraz od stanu jego zawilgocenia lub zanieczyszczenia.

We różnych stanach zawilgocenia lub zanieczyszczenia w większości sposób przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie wykazywał najlepsze rezultaty w porównaniu ze sposobem przygotowania podłoża nieczyszczonego i czyszczonego mechanicznie.

Uzyskane rezultaty dla wszystkich sposobów przygotowania podłoża wykazały duże zróżnicowanie uzyskanych rezultatów w zależności od stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia. Wypełnienie żywicą nr 6 umożliwia zastosowanie zarówno w środowisku suchym, wilgotnym i mokrym.

### 5.13. Podsumowanie rezultatów badań

Żywice, wypełniające szczelinę w modelu przerwy dylatacji, stosowane ogólnie do uszczelnień, charakteryzują się zdolnością do znacznych odkształceń bez zauważalnych uszkodzeń badanego materiału w jego strukturze. Znacznie wcześniej można zaobserwować oderwanie się materiału od powierzchni betonu niż jego strukturalne uszkodzenie. Jest to dosyć istotna cecha charakteryzująca materiał, który ma być trwale szczelny dla działania wody w tym wody pod ciśnieniem.

W wyniku rozciągania modelu przerwy dylatacyjnej odkształceniom ulega żywiczny materiał wypełniający szczelinę.

W przypadku oderwania się żywicy od powierzchni betonu w przerwie dylatacyjnej żywica wykazuje nadal możliwość odkształceń, lecz z punktu widzenia szczelności całego układu to zachowanie szczelności dla wody w tym przypadku nie będzie możliwe. Wartością graniczną dla szczelności układu staje się punkt  $f_{0E}$ ,  $f_{0S}$ ,  $f_{0D}$  lub  $f_d$ , gdzie próbka pod wpływem odkształcenia zaczyna odrywać się od powierzchni betonu.

W tabeli 5.85 zestawiono rezultaty wpływu rodzaju wypełnienia w odniesieniu do przyjętego kryterium odkształcalności dla wszystkich sposobów przygotowania oraz stanów zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża.

**Tabela 5.85.** Zestawienie rezultatów wpływu rodzaju wypełnienia w odniesieniu do przyjętego kryterium odkształcalności dla wszystkich sposobów przygotowania oraz stanów zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża

RODZAJ WYPEŁNIENIA	RODZAJ PODŁOŻA					
	Żywica nr 1	Żywica nr 2	Żywica nr 3	Żywica nr 4	Żywica nr 5	Żywica nr 6
nieczyszczone (B), stan suchy (A)	A100	A25	A10	A10	A10	A10
nieczyszczone (B), stan wilgotny (B)	A100	A25	A50	A05	A10	A10
nieczyszczone (B), stan mokry (C)	A100	A25	A25	A00	A10	A05
nieczyszczone (B), stan zanieczyszczony bentonitem (D)	A100	A10	A00	A00	A00	A05
czyszczone ręcznie (R), stan suchy (A)	A100	A50	A25	A10	A10	A10
czyszczone ręcznie (R), stan wilgotny (B)	A100	A25	A50	A10	A05	A50
czyszczone ręcznie (R), stan mokry (C)	A100	A25	A25	A10	A05	A10
czyszczone ręcznie (R), stan zanieczyszczony bentonitem (D)	A100	A25	A00	A00	A00	A05
czyszczone mechanicznie (M), stan suchy (A)	A100	A50	A25	A10	A10	A05
czyszczone mechanicznie (M), stan wilgotny (B)	A100	A25	A25	A10	A10	A05
czyszczone mechanicznie (M), stan mokry (C)	A100	A25	A05	A10	A10	A05
czyszczone mechanicznie (M), stan zanieczyszczony bentonitem (D)	A100	A50	A10	A10	A10	A05

Rodzaj wypełnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych jest istotny dla zapewnienia niezawodności uszczelnienia i zależy do rodzaju żywicy, a w szczególności od uzyskiwanych przez nią wartości odkształceń przy wysokich zdolnościach do przenoszenia naprężeń i wysoka ilość absorbowanej energii.

We wszystkich sposobach przygotowania podłoża oraz stanach zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża żywica wypełniająca model przerwy dylatacyjnej nr 1 na bazie tiksotropowego akrylu do iniekcji wykazuje najlepsze wyniki w porównaniu z innymi badanymi żywicami, ponieważ ma zdecydowanie największe wartości odkształcenia w punkcie  $f_{0D}$ , przy



wysokich zdolnościach do przenoszenia naprężeń. Żywica nr 1 najlepiej nadaje się do wypełniania przerw dylatacyjnych w konstrukcjach żelbetowych.

Pozostałe żywice ze względu na zróżnicowanie materiałowe charakteryzują się różnymi właściwościami umożliwiającymi zastosowanie ich również do przerw dylatacyjnych. Ze względu jednak na uzyskiwane odkształcenia w poszczególnych rodzajach podłoża zakres ich stosowania jest ograniczony do wartości wskazanych w oznakowaniu według kryterium odkształcalności.

Rodzaj podłoża jest istotny na zapewnienie niezawodności uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych i zależy do sposobu przygotowania podłoża oraz od stanu jego zawilgocenia lub zanieczyszczenia.

Przeprowadzone analizy wpływu rodzaju podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych umożliwiły dokonanie oceny, który ze stanów zawilgocenia lub zanieczyszczenia zapewnia najlepszą niezawodność w uszczelnieniu. Podłoże betonowe w modelach przerwy dylatacyjnej zostało przygotowane jako: suche, wilgotne, mokre i zanieczyszczone bentonitem. Każda z badanych żywic charakteryzuje się innymi właściwościami, co ma bezpośredni wpływ na uzyskiwane rezultaty w różnych stanach zawilgocenia lub zanieczyszczenia. W tabeli 5.86 pokazano rezultaty przeprowadzonych analiz wpływu rodzaju podłoża w postaci stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych w różnych sposobach przygotowania podłoża wraz ze wskazaniem optymalnego stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia dla badanej żywicy.

**Tabela 5.86.** Rezultaty przeprowadzonych analiz wpływu rodzaju podłoża w postaci stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych w różnych sposobach przygotowania podłoża wraz ze wskazaniem optymalnego stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia dla badanej żywicy

Rodzaj wypełnienia	Sposób przygotowania podłoża			Stan zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża optymalny dla badanej żywicy
	Nieczyszczone	Czyszczony ręcznie	Czyszczony mechanicznie	
Żywica nr 1	wilgotny	Suchy	wilgotny	<b>wilgotny</b>
Żywica nr 2	mokry	Suchy	suchy	<b>suchy</b>
Żywica nr 3	wilgotny	Wilgotny	wilgotny	<b>wilgotny</b>
Żywica nr 4	muchy	Suchy	suchy	<b>suchy</b>
Żywica nr 5	muchy	Suchy	suchy	<b>suchy</b>
Żywica nr 6	muchy	wilgotny	mokry	<b>wilgotny</b>

Podsumowując rezultaty analiz dla żywic wypełniających model przerwy dylatacyjnej wpływu rodzaju podłoża w postaci stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych wykazano, że badane żywice najlepsze rezultaty uzyskują w stanach: suchym oraz wilgotnym. Optymalne zatem podłoże betonowe dla wypełnień szczelin przerw dylatacyjnych dla żywicy nr 2, nr 4 oraz nr 5 to stan suchy. Natomiast dla żywic nr 1, nr 3 oraz nr 6 to podłoże w stanie wilgotnym. Oznacza to, że w przypadku stanu mokrego i zanieczyszczonego bentonitem należałoby przeprowadzić zabiegi techniczne mające na celu zmianę stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia na suchy lub wilgotny. Najsłabsze rezultaty uzyskane zostały w stanie zanieczyszczonym bentonitem.

Szczelina przerwy dylatacyjnej poddana naprawie uszczelniającej, w której zalega woda (stan mokry) powinna być poddana zabiegom polegającym na odpompowaniu lub odsaanii zalegającej w szczelinie przerwy dylatacyjnej wody. Można tego dokonać wykorzystując otwory do iniekcji lub otwory kontrolne wykonane podczas prac naprawczych związanych z wykonaniem uszczelnienia przerwy dylatacyjnej.

Z kolei szczelina przerwy dylatacyjnej, w której zalega woda z bentonitem (stan zanieczyszczony bentonitem) powinna być zabiegom polegającym na przepłukaniu wnętrza szczeliny przerwy dylatacyjnej czystą wodą, a następnie sukcesywnym odpompowywaniu lub odsysaniu napływającej do szczeliny przerwy dylatacyjnej wody z bentonitem. Ze względu na uzyskane najslabsze rezultaty wpływu rodzaju podłoża w postaci stanu zanieczyszczonego bentonitem na niezawodność w uszczelnieniu przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych wymóg mycia wnętrza szczeliny przerwy dylatacyjnej w tym przypadku jest konieczny.

Przeprowadzone analizy wpływu rodzaju podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych umożliwiły dokonanie oceny, który ze sposobów przygotowania podłoża zapewnia najlepszą niezawodność w uszczelnieniu. Podłoże betonowe w modelach przerwy dylatacyjnej zostało przygotowane jako: nieczyszczone, czyszczone ręcznie i czyszczone mechanicznie. W tabeli 5.87 pokazano rezultaty przeprowadzonych analiz wpływu rodzaju podłoża w postaci sposobu przygotowania na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych w różnych stanach zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża wraz ze wskazaniem optymalnego sposobu przygotowania podłoża dla badanej żywicy.

**Tabela 5.87.** Rezultaty przeprowadzonych analiz wpływu rodzaju podłoża w postaci sposobu przygotowania na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych w różnych stanach zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża wraz ze wskazaniem optymalnego sposobu przygotowania podłoża dla badanej żywicy

Rodzaj wypełnienia	Stan zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża				Sposób przygotowania podłoża optymalny dla badanej żywicy
	Suchy	Wilgotny	Mokry	Zanieczyszczony bentonitem	
Żywica nr 1	czyszczone mechanicznie	czyszczone mechanicznie	czyszczone mechanicznie	czyszczone mechanicznie	<b>czyszczone mechanicznie</b>
Żywica nr 2	czyszczone mechanicznie	czyszczone mechanicznie	czyszczone mechanicznie	czyszczone mechanicznie	<b>czyszczone mechanicznie</b>
Żywica nr 3	czyszczone mechanicznie	czyszczone ręcznie	czyszczone mechanicznie	czyszczone mechanicznie	<b>czyszczone mechanicznie</b>
Żywica nr 4	czyszczone mechanicznie	czyszczone mechanicznie	czyszczone mechanicznie	czyszczone mechanicznie	<b>czyszczone mechanicznie</b>
Żywica nr 5	czyszczone mechanicznie	nieczyszczone	nieczyszczone	czyszczone mechanicznie	<b>czyszczone mechanicznie</b>
Żywica nr 6	czyszczone ręcznie	czyszczone ręcznie	czyszczone ręcznie	nieczyszczone	<b>czyszczone ręcznie</b>

Podsumowując rezultaty analiz dla żywic wypełniających model przerwy dylatacyjnej wpływu rodzaju podłoża w postaci sposobu przygotowania podłoża na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych wykazano, że badane żywice nr 1, nr 2, nr 3, nr 4 i nr 5 najlepsze rezultaty uzyskują dla podłoża czyszczonego mechanicznie. Oznacza to, że w przypadku podłoża nieczyszczonego lub czyszczonego ręcznie należałoby przeprowadzić zabiegi techniczne mające na celu zmianę struktury podłoża betonowego poprzez zastosowanie obróbki mechanicznej. Podłoże czyszczone ręcznie lub podłoże nieczyszczone nie będzie wystarczające w celu trwałego zapewnienia niezawodności w uszczelnieniu przerw dylatacyjnych w konstrukcjach żelbetowych dla żywic nr 1, nr 2, nr 3 nr 4 i nr 5.

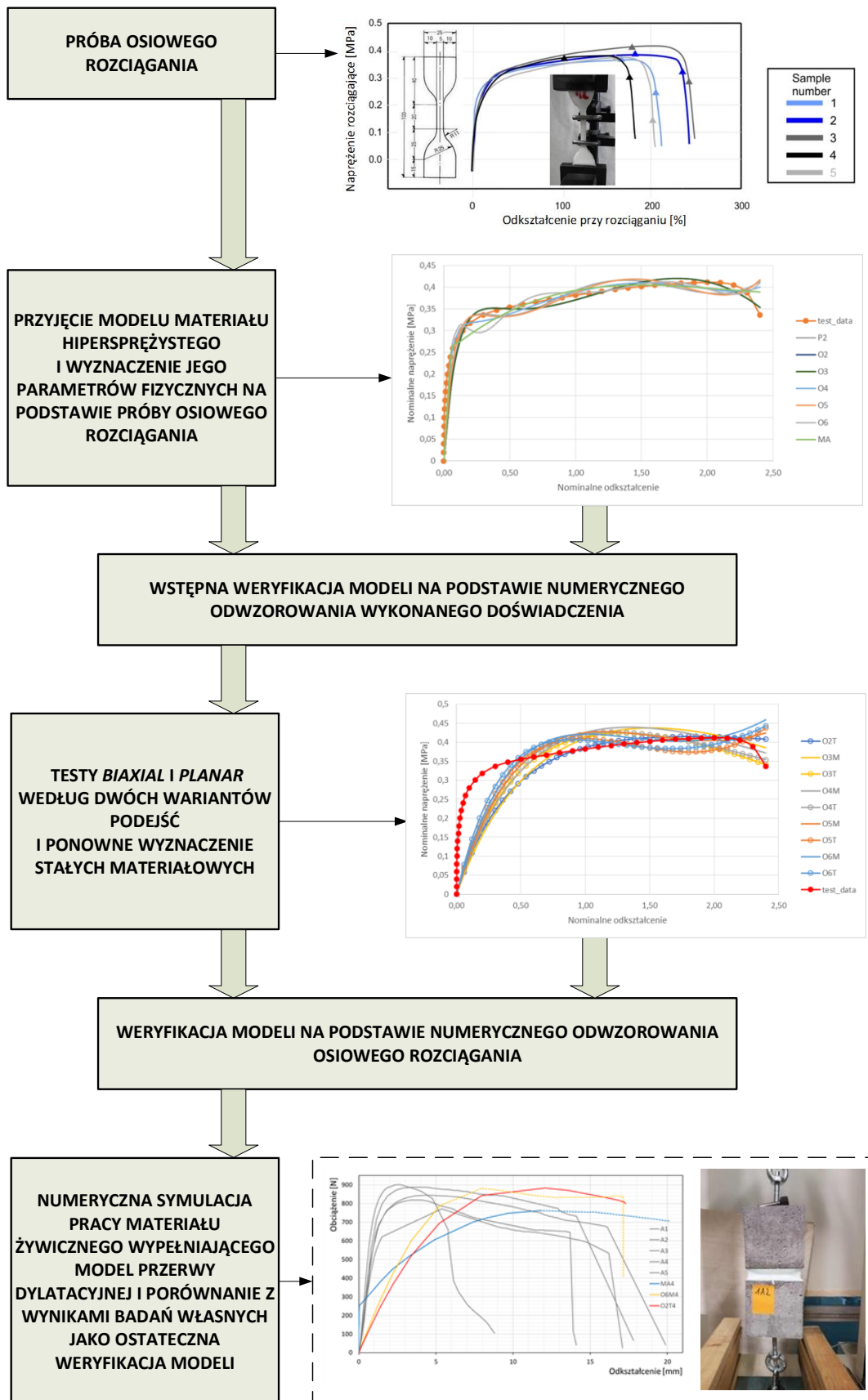
Dla żywicy nr 6 rodzaj podłoża w postaci sposobu przygotowania podłoża czyszczonego ręcznie najlepiej wpływa na zapewnienie niezawodności w uszczelnieniach przerw dylatacyjnych. Oznacza to, że w przypadku zastosowania żywicy nr 6, podłoże nieczyszczonego należałoby oczyścić przy użyciu stosowanych do tej pory narzędzi, np. przy użyciu szczotki drucianej.

## 6. ANALIZA NUMERYCZNA PRZY POMOCY MES

W niniejszym rozdziale przedstawiono metodę identyfikacji parametrów fizycznych materiału wypełniającego szczelinę modelu przerwy dylatacyjnej przy wykorzystaniu analizy numerycznej MES. Jako materiał przyjęto przykładowo żywicę nr 1 – żywica dwu komponentowa na bazie tiksotropowego akrylu do iniekcji uszczelniających szczeliny, pęknięcia, pory, kapilary, przerwy i pustki w betonie. Wybrano taki rodzaj żywicy, ponieważ wykorzystywana jest ona między innymi do uszczelnień pęknięć i połączeń konstrukcji żelbetowych zgodnie z normą PN-EN 1504-5 [101], naprawy przecieków wody ze szczelin dylatacyjnych [64], profilaktycznych uszczelnień struktur, kontroli infiltracji wody podczas wiercenia tuneli, iniekcji kurtynowych, napraw iniekcyjnych betonowych i murowanych struktur podziemnych (w piwnicach, parkingach podziemnych, itp.), uszczelnień pęknięć w betonie i strukturach skalnych. Żywica nr 1, na podstawie rezultatów badań własnych (rozdział 5) najlepiej nadaje się do wypełniania przerw dylatacyjnych w konstrukcjach żelbetowych. We wszystkich sposobach przygotowania podłoża oraz stanach zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża żywica wypełniająca model przerwy dylatacyjnej nr 1 na bazie tiksotropowego akrylu do iniekcji wykazuje najlepsze wyniki w porównaniu z innymi badanymi żywicami, ponieważ ma zdecydowanie największe wartości odkształcenia w punkcie  $f_{0D}$ , przy wysokich zdolnościach do przenoszenia naprężeń.

Analizując wpływ rodzaju podłoża i wypełnienia na niezawodność uszczelnień przerw dylatacyjnych, warto zwrócić uwagę na wartości jakie może przyjmować przerwa dylatacyjna w trakcie jej pracy. W szczególności w trakcie zwiększania rozwartości, przy których następuje rozciąganie istniejącego wypełnienia. Przekroczenie wytrzymałości materiału wypełniającego prowadzi do nieodwracalnych uszkodzeń skutkujących utratą niezawodności w uszczelnieniu. Rozszerzanie się przerwy dylatacyjnej może również powodować odrywanie się materiału wypełniającego od powierzchni betonu, co również skutkuje utratą szczelności.

Teorie naukowe i programy komercyjne, umożliwiają wykonywanie obliczeń wytrzymałościowych struktur materiałowych, z uwzględnieniem nieliniowości geometrycznych i fizycznych. Zasadniczym problemem, jaki napotyka się podczas rozwiązywania tego typu zadań, jest wybór odpowiedniego modelu charakteryzującego parametry badanego materiału. Następnie, określenie sposobu estymacji jego stałych materiałowych. Wyznaczenie parametrów stałych materiałowych nie zawsze jest wystarczające do oceny ich poprawności i użyteczności przy analizie rzeczywistego zachowania badanej żywicy.



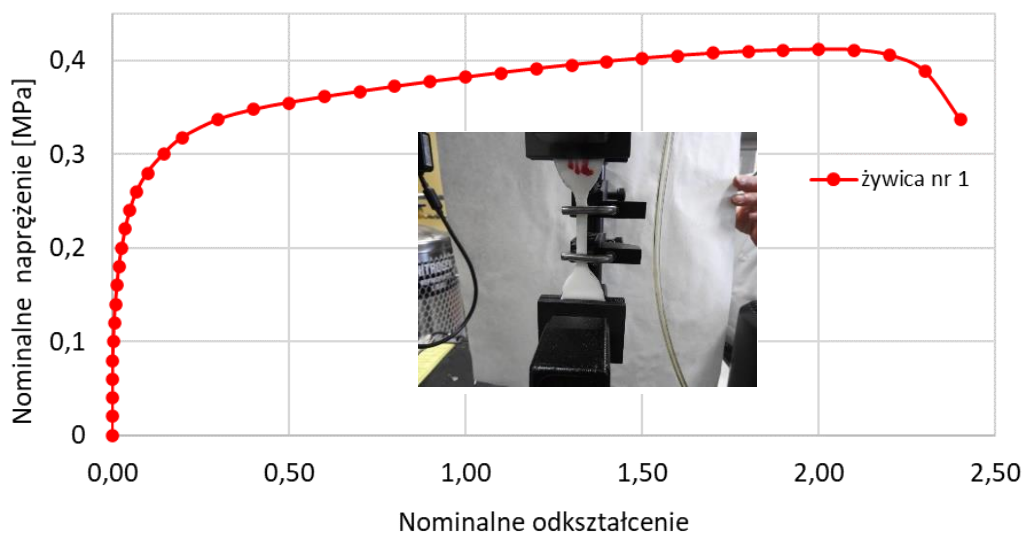
Rys. 6.1. Metoda wyznaczenia parametrów stałych materiałowych w celu dobrania właściwego modelu charakteryzującego żywicę nr 1 wypełniającą model przerwy dylatacyjnej.

Dlatego też, biorąc pod uwagę złożoność zagadnienia, niniejsza analiza jest próbą scharakteryzowania materiału wypełniającego przerwę dylatacyjną na podstawie dostępnych aproksymacji funkcji gęstości energii sprężystej. Wykorzystano rezultaty badań własnych pochodzące z wykonanych badań rozciągania osiowego żywicy, według [116] i następnie porównano te wyniki z rezultatami badań eksperymentalnych. Daje to możliwość w przyszłości prowadzenie analiz dla innych żywic wypełniających przerwy dylatacyjne mając dane tylko z jednego testu badawczego jakim jest najczęściej stosowana metoda rozciągania osiowego.

Na rysunku 6.1 schematycznie przedstawiono metodę wyznaczenia parametrów stałych materiałowych w celu dobrania właściwego modelu charakteryzującego żywicę nr 1 wypełniającą model przerwy dylatacyjnej.

### 6.1. Próba osiowego rozciągania

Wyznaczenie parametrów stałych materiałowych w celu dobrania właściwego modelu numerycznego charakteryzującego żywicę nr 1 wypełniającą model przerwy dylatacyjnej przeprowadzono na podstawie uzyskanych rezultatów próby rozciągania osiowego, według [116]. Rezultaty tych badań pokazano na rysunku 5.2. Natomiast na rysunku 6.2 przedstawiono uśredniony i wygładzony na podstawie rezultatów serii prób rozciągania osiowego żywicy nr 1 według PN-EN ISO 37 [116] wykres zależności nominalnych naprężeń w funkcji odkształceń.



**Rys. 6.2.** Uśredniony i wygładzony na podstawie rezultatów serii prób rozciągania osiowego żywicy nr 1 według PN-EN ISO 37 [116] wykres zależności nominalnych naprężeń w funkcji odkształceń.

Wykres przedstawiony na rysunku 6.2 stanowi bazę numerycznego odwzorowania do weryfikacji przyjętych w poszczególnych krokach iteracyjnych modeli według przyjętej metody pokazanej na rysunku 6.1.

## 6.2. Przyjęcie modelu materiału hipersprężystego i wyznaczenie jego parametrów fizycznych na podstawie próby osiowego rozciągania

Założono, że badana żywica wypełniająca przerwę dylatacyjną, ze względu na uzyskiwane odkształcenia, jest izotropowym materiałem hipersprężystym, dla którego gęstość energii wewnętrznej  $U$  jest potencjałem dla naprężenia [166]:

$$\sigma_{ij} = \partial U / \partial \varepsilon_{ij} \quad (6.1)$$

gdzie:

$U$  – gęstość energii wewnętrznej

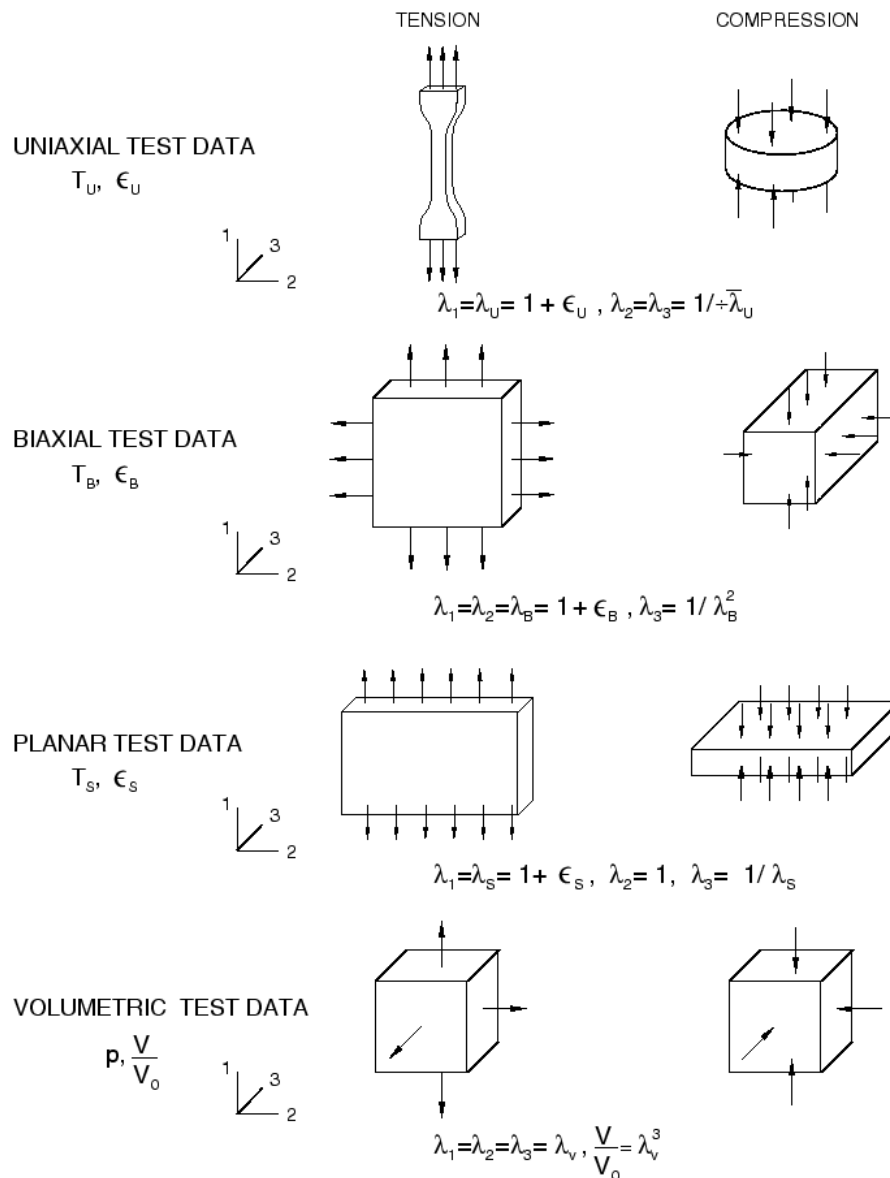
$\sigma_{ij}$  – naprężenia układu

$\varepsilon_{ij}$  – odkształcenia układu

W analizie korzystano z programu ABAQUS [1], który umożliwia przyjęcie różnych postaci funkcji  $U$ . Wyznaczenie jej współczynników (dobór parametrów fizycznych materiału) odbywa się na podstawie wyników ze standardowych doświadczeń. Na rysunku 6.3 przedstawiono współczynniki doboru parametrów fizycznych materiału w zależności od zakładanych standardowych doświadczeń.

W programie ABAQUS [1] zaimplementowano możliwość opisu materiału różnymi aproksymacjami funkcji gęstości energii sprężystej:

- a) wielomianowa – rzędu 1-go lub 2-go (P1, P2),
- b) wielomianowa zredukowana – rzędu 1-go, 2-go, 3-go, 4-go, 5-go lub 6-go (R1, R2, R3, R4, R5, R6),
- c) modele Ogdena – rzędu 1-go, 2-go, 3-go, 4-go, 5-go lub 6-go (O1, O2, O3, O4, O5, O6),
- d) modele Arrudy – Boyce'a (AB),
- e) modele Van Der Waalsa (VW)
- f) modele Marlowa (MA).



**Rys. 6.3.** Współczynniki doboru parametrów fizycznych materiału w zależności od zakładanych standardowych doświadczeń [1].

Zgodnie z przyjętą metodą wyznaczenia stałych materiałowych w celu dobrania właściwego modelu charakteryzującego żywicę nr 1 wypełniającą model przerwy dylatacyjnej (rysunek 6.1) do analiz przyjęto rezultaty osiowego rozciągania żywicy według [116]. Warunek ten dość mocno komplikuje odpowiedni dobór modelu materiału hipersperężystego.

Wyjątkiem jest tu model Marlowa (MA), który dla danych testowych tylko jednej ze standardowych prób (w tym przypadku osiowego rozciągania żywicy według [116]) może być zastosowany w analizie numerycznej [1]. Wynika to z faktu, że w odróżnieniu od pozostałych, jedynie dla tego modelu nie wyznacza się stałych materiałowych, lecz bazuje się bezpośrednio na wartościach funkcji  $U$  wyznaczonej w badaniu rozciągania osiowego według PN-EN ISO



37 [116]. Analiza nie ogranicza się do rozpatrzenia jednego modelu, lecz w dalszej części, uwzględniając brak wyników pozostałych testów standardowych, obliczenia przeprowadzono również dla pozostałych sposobów aproksymacji funkcji gęstości energii sprężystej.

Wstępną selekcję modeli materiału przeprowadzono na podstawie ich zgodności z wynikami badań rozciągania osiowego żywicy według PN-EN ISO 37 [116]. W wypadku wyznaczania stałych materiałowych na podstawie testów standardowych instrukcja [1] zaleca zastosowanie procedury wygładzania danych wejściowych, ponieważ „szumy” spowodowane błędami pomiarowymi mogą mieć duży wpływ na wartości charakterystyk materiału. Szczególnie wrażliwy jest model Marlowa (MA). We wszystkich obliczeniach zastosowano procedurę wygładzania z parametrem  $s = 1000$ .

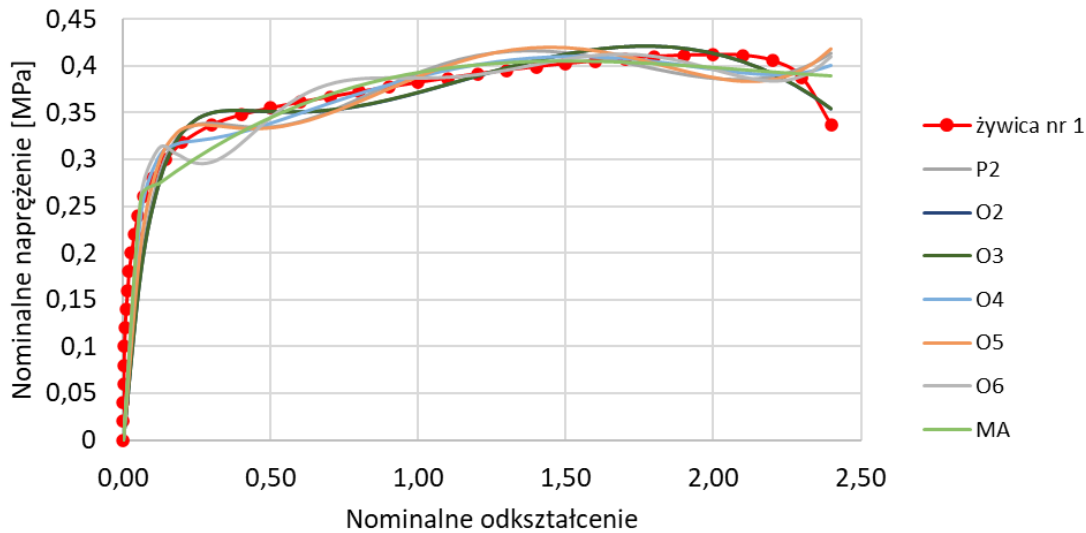
### **6.3. Wstępna weryfikacja modeli na podstawie numerycznego odwzorowania próby osiowego rozciągania**

Do analiz przyjęto modele, które najlepiej przybliżają krzywą eksperymentalną „żywica nr 1” rysunek 6.2. Wybrano modele:

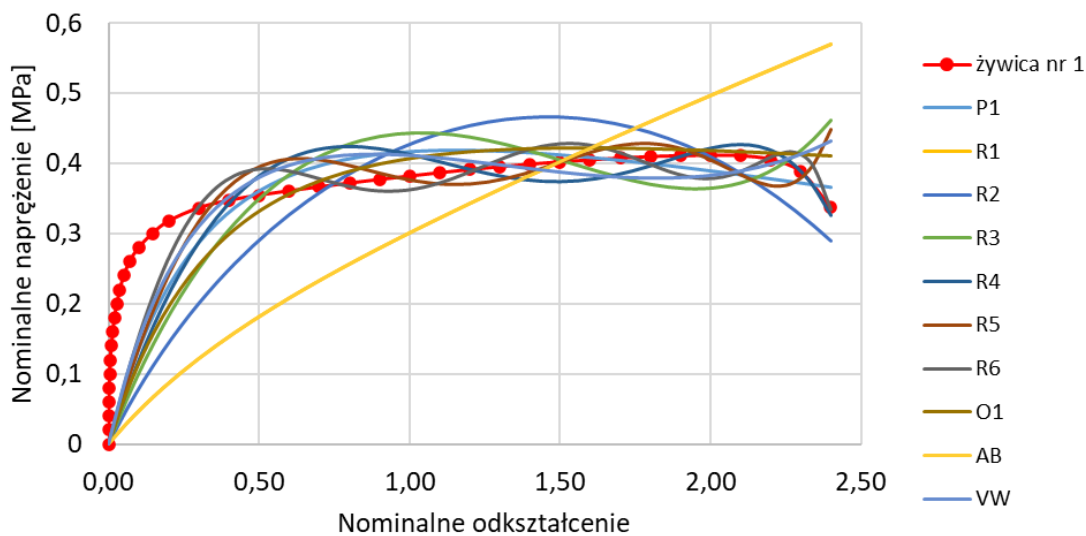
- a) P2 – funkcja wielomianowa 2-go rzędu,
- b) O2 – model Ogdena – 2-go rzędu,
- c) O3 – model Ogdena – 3-go rzędu,
- d) O4 – model Ogdena – 4-go rzędu,
- e) O5 – model Ogdena – 5-go rzędu,
- f) O6 – model Ogdena – 6-go rzędu,
- g) MA – model Marlowa.

Na rysunku 6.4 pokazano odwzorowanie stałych materiałowych wyznaczonych dla modeli P2, O2, O3, O4, O5 i MA dla badania rozciągania osiowego żywicy oznaczonego „żywica nr 1” według PN-EN ISO 37 [116].

Z kolei na rysunku 6.5 przedstawiono odwzorowanie stałych materiałowych modeli odrzuconych z dalszych analiz dla badania rozciągania osiowego żywicy według PN-EN ISO 37 [116].



**Rys. 6.4.** Odzworowanie stałych materiałowych wyznaczonych dla modeli P2, O2, O3, O4, O5 i MA dla badania rozciągania osiowego żywicy według PN-EN ISO 37 [116].



**Rys. 6.5.** Odzworowanie stałych materiałowych wyznaczonych dla modeli P1, R1, R2, R3, R4, R5, R6, O1, AB i VM dla badania rozciągania osiowego żywicy według PN-EN ISO 37 [116].

Wykresy na rysunkach 6.4 i 6.5 sporządzono we współrzędnych: nominalne odkształcenie – zmiana długości odcinka o jednostkowej długości początkowej, nominalne naprężenie – odniesione do konfiguracji początkowej (siła na jednostkę przekroju początkowego). Ponadto krzywe materiałowe są wyznaczone przy założeniu nieściśliwości materiału ( $\nu = 0,5$ ). W związku z faktem, iż materiały hipersprężyste są prawie nieściśliwe – duże wartości współczynnika Poissona, dla algorytmów przy wartości  $\nu < 0,4$  ABAQUS [1] dawał ostrzeżenie o konieczności stosowania materiału innego niż hipersprężystego. Dlatego też w obliczeniach, przyjęto dla materiałów hipersprężystych współczynnik Poissona  $\nu \geq 0,4$ .

Algorytm wyznaczania funkcji gęstości energii sprężystej określa również zakres odkształceń, w którym materiał jest stateczny – spełnia kryterium Druckera [1]:  $d\sigma_{ij}d\varepsilon_{ij} > 0$ . W tabeli 6.1 przedstawiono graniczne wartości odkształceń podłużnych w stanie jednoosiowego rozciągania dla pozytywnie zweryfikowanych modeli.

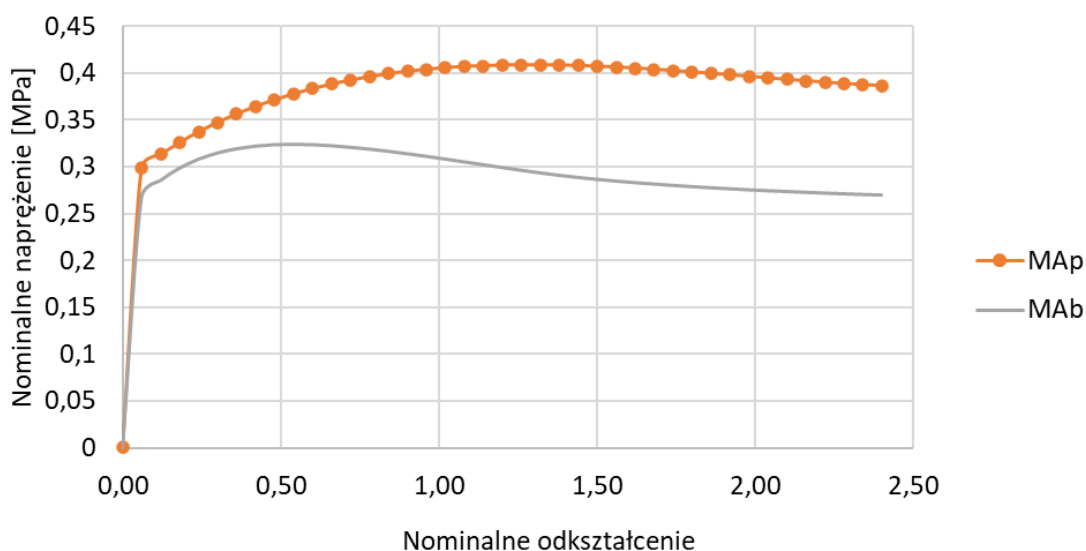
**Tabela 6.1.** Graniczne wartości odkształceń podłużnych w stanie jednoosiowego rozciągania dla pozytywnie zweryfikowanych modeli

P2	O2	O3	O4	O5	O6	MA
$\infty$	2,16	2,16	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$

#### 6.4. Testy biaxial i planar wraz z wyznaczeniem stałych materiałowych

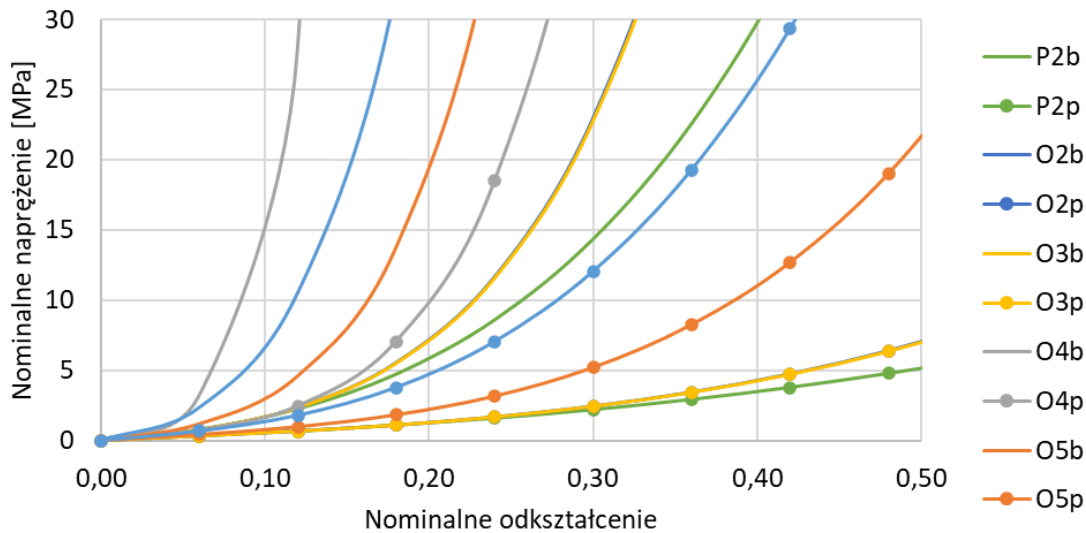
Na podstawie odwzorowania testów standardowych: biaxial (b) i planar (p) jedynie model MA może być zastosowany w analizie numerycznej. Związane jest to z założonym ograniczeniem dostępności testów i wykorzystaniem w analizie, wykonanego w ramach prowadzonych badań własnych, badania rozciągania osiowego żywicy według [116].

Wykresy zachowania się modelu MA w symulacji testów: biaxial (b) i planar (p) przedstawiono na rysunku 6.6. W tym przypadku naprężenia zmieniają się w akceptowalnym zakresie.



**Rys. 6.6.** Wykres modelu MA w symulacji testów standardowych: p - planar, b - biaxial.

Z kolei na rysunku 6.7 przedstawiono symulacje testów: biaxial (b) i planar (p) dla pozostałych przyjętych po wstępnej selekcji modeli. W tym przypadku naprężenia przyjmują nierealne wartości nawet w zakresie niewielkich odkształceń.



**Rys. 6.7.** Wykres modeli P2, O2, O3, O4, O5 i O6 w symulacji testów standardowych : p - planar, b - biaxial.

Uzyskanie nierealnych wartości naprężeń w zakresie niewielkich odkształceń (rysunek 6.7) wymusza wykonanie dodatkowych testów w celu wyznaczenia stałych materiałowych dla modeli P2, O2, O3, O4, O5 i O6. Wiarygodne bowiem wartości stałych materiałowych dla modeli P2, O2, O3, O4, O5 i O6 muszą być wyznaczone na podstawie większej liczby standardowych testów.

Najprostszym rozwiązaniem byłoby przeprowadzenie testów badawczych uniaxial, biaxial i planar dla badanej żywicy nr 1 (rysunek 6.3) przeprowadzonych dla próbek wykonanych z jednego „kęsa” materiału.

Ze względu jednak na założone ograniczenie dostępności testów i wykorzystanie w analizie jedynie badania rozciągania osiowego żywicy według [116] w celu wyznaczenia stałych materiałowych dla modeli P2, O2, O3, O4, O5 i O6, zdecydowano się sprawdzić dwa warianty podejścia:

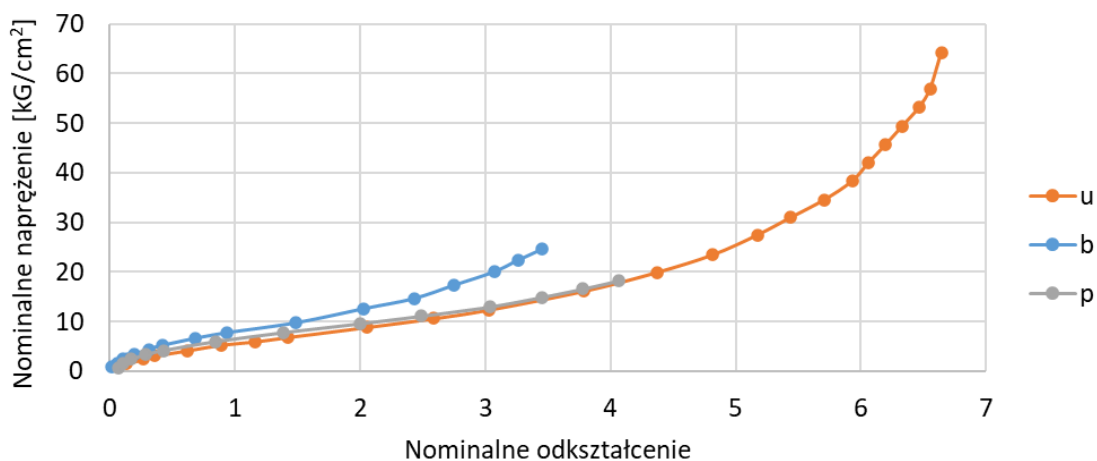
#### Wariant 1

Założono, że koniecznymi testami biaxial i planar będą odwzorowania tych prób wyznaczone w modelu MA na podstawie próby jednoosiowego rozciągania (rysunek 6.6). Modele, dla których przyjęto to założenie oznaczono: P2M, O2M, O3M, O4M, O5M i O6M,

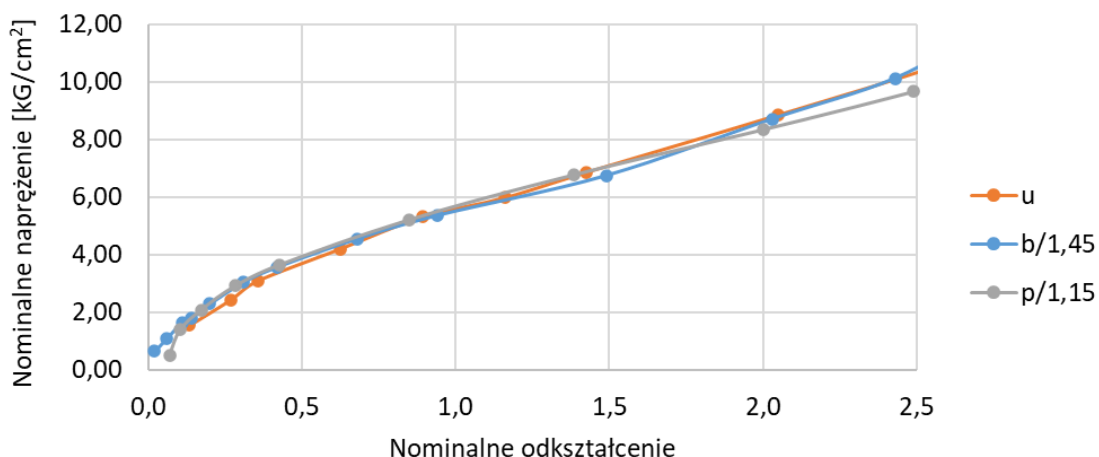
## Wariant 2

Założono, że badany materiał zachowuje się podobnie do innego, dla którego znane są wyniki testów standardowych. Wykorzystano wyniki doświadczeń Treloara [195]. Modele, dla których wyniki testów biaxial i planar przyjęto na podstawie tego założenia oznaczono: P2T, O2T, O3T, O4T, O5T i O6T.

W wariacie 2 na rysunku 6.8 przedstawiono wyniki oryginalnych badań Treloara [195]. Zauważono, że krzywe opisujące standardowe testy mają podobne kształty. Następnie, w celu odzwierciedlenia wyników biaxial i planar do rezultatów testu rozciągania osiowego [116] żywicy nr 1 należy dokonać przeskalowania wyznaczonymi współczynnikami. Przyjęto współczynniki powinowactwa w rozpatrywanym zakresie odkształceń:  $b = 1,45$  i  $p = 1,15$  (rysunek 6.9).



Rys. 6.8. Wyniki oryginalnych badań Treloara [195].



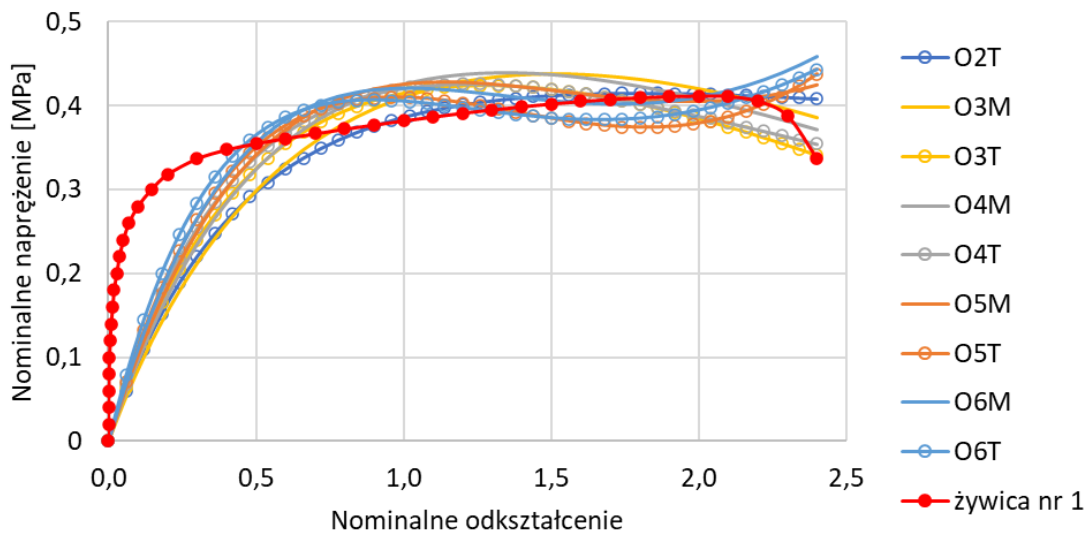
Rys. 6.9. Wyniki przekształceń badań Treloara [195] przez współczynniki powinowactwa odpowiadające wynikom testu rozciągania osiowego żywicy według PN-EN ISO 37 [116].

### 6.5. Weryfikacja modeli na podstawie numerycznego odwzorowania próby osiowego rozciągania

Materiał żywicy nr 1 opisywany jest na podstawie 3 różnych prób:

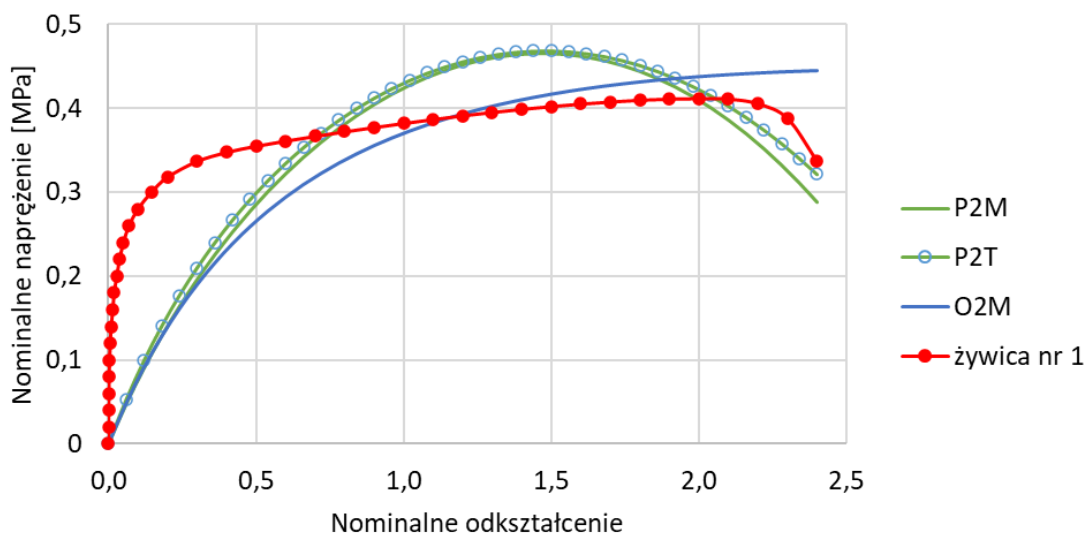
- 1) rzeczywiście przeprowadzona próba osiowego rozciągania,
- 2) biaxial
- 3) planar.

W celu odwzorowania rozciągania osiowego żywicy według PN EN ISO 37 [116] na tym etapie zakwalifikowano modele: P2M, O2M, O3M, O4M, O5M i O6M oraz P2T, O2T, O3T, O4T, O5T i O6T. Pozytywnie zweryfikowano modele: O3M, O4M, O5M, O6M, O2T, O3T, O4T, O5T i O6T, jako najbliższej przybliżające krzywą doświadczalną uzyskaną z badań przy rozciąganiu osiowym żywicy według PN-EN ISO 37 [116] – rysunek 6.10. Aproksymację modelami odrzuconymi przedstawia rysunek 6.11.



**Rys. 6.10.** Odwzorowanie stałych materiałowych wyznaczonych dla modeli O2T, O3M, O3T, O4M, O4T, O5M, O5T, O6M i O6T dla badania rozciągania osiowego żywicy według PN-EN ISO 37 [116].

Rozszerzenie bazy danych eksperymentalnych umożliwiło uniknięcie występowania nierealnych wartości naprężeń przy niewielkich odkształceniach przedstawionych na rysunku 6.7. Konsekwencją tego (porównując wyniki na rysunkach 6.4 i 6.10) jest fakt, że krzywe modeli oddalają się od krzywej testowej oraz, że moduły sztywności materiału przyjmują mniejsze wartości w zakresie niskich odkształceń. Wady te nie występują w modelu MA.



**Rys. 6.11.** Odzworowanie stałych materiałowych wyznaczonych dla modeli P2M, P2T, i O2M dla badania rozciągania osiowego żywicy według PN-EN ISO 37 [116].

W tabeli 6.2 zestawiono wartości odkształceń podłużnych, przy których modele materiału tracą stateczność w próbie jednoosiowego rozciągania.

**Tabela 6.2.** Wartości odkształceń podłużnych, przy których modele materiału tracą stateczność w próbie jednoosiowego rozciągania

O3M	O4M	O5M	O6M	O2T	O3T	O4T	O5T	O6T
2,48	2,29	2,03	1,71	$\infty$	2,23	2,69	$\infty$	$\infty$

### 6.6. Kryterium selekcji modeli – zbieżność analizy

Ostatnim kryterium selekcji modeli w celu dobrania właściwego modelu charakteryzującego żywicę nr 1 wypełniającą model przerwy dylatacyjnej przyjęto zbieżność analizy. Przyrostowy algorytm rozwiązania nieliniowego zagadnienia modelowanego MES traci zbieżność, gdy nie ma możliwości spełnienia równań równowagi w kolejnym kroku iteracyjnym. Ograniczenie to spowodowane jest utratą przyczepności materiału żywicznego do betonu przy rozciąganiu próbki modelu przerwy dylatacyjnej (rysunek 6.12.). Z tego powodu powinno się wymagać od modelu wypełnienia przerwy dylatacyjnej wydłużenia w zakresie odkształceń do około 16 mm ( $\varepsilon = 1,6$ ).



**Rys. 6.12.** Oderwanie się żywicy od powierzchni betonu przy próbie rozciągania modelu przerwy dylatacyjnej – utrata zbieżności zagadnienia modelowego MES – utrata niezawodności w uszczelnieniu przerwy dylatacyjnej.

Wartość współczynnika Poissona dla analizowanego materiału żywicy nr 1, żywica na bazie tiksotropowego akrylu do iniekcji, nie została wyznaczona. Ten parametr materiałowy ma wpływ na wartości naprężeń przy rozciąganiu próbki modelu przerwy dylatacyjnej i co za tym idzie na zakres zbieżności opisującego go modelu numerycznego. Materiały hipersprężyste charakteryzują się dużymi wartościami współczynnika Poissona  $\nu = 0,4 \div 0,5$ . Graniczne wartości wydłużeń, dla wybranych  $\nu$  z tego przedziału, przy których algorytm traci zbieżność zestawiono w tabeli 6.3 (należy przy tym pamiętać, że wcześniej może dojść również do utraty stateczności materiału poprzez oderwanie się od powierzchni betonu i utraty niezawodności w uszczelnieniu).

**Tabela 6.3.** Graniczne wartości wydłużeń, dla wybranych  $\nu$  dla wyznaczonych dla modeli MA, O2T, O3M, O3T, O4M, O4T, O5M, O5T, O6M i O6T.

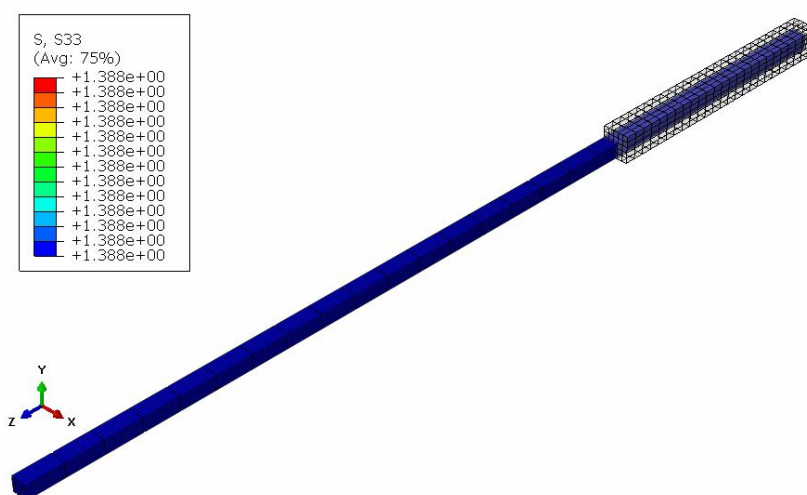
	MA	O3M	O4M	O5M	O6M	O2T	O3T	O4T	O5T	O6T
	Wydłużenie graniczne [mm]									
$\nu = 0,50$	3,8	2,5	2,5	4,6	4,1	4,1	2,6	6,9	4,6	7,3
$\nu = 0,45$	12,8	8,0	7,0	9,8	13,8	15,2	7,2	7,8	9,7	9,6
$\nu = 0,40$	20,1	11,9	10,5	12,8	17,1	17,3	10,6	11,2	12,1	10,8

Ze względu na największe wartości wydłużenia granicznego do dalszych rozważań zakwalifikowano modele: MA, O6M i O2T ze współczynnikiem Poissona  $\nu = 0,40$ .

Dotychczasowe dopasowania modeli materiału zostały przeprowadzone przy założeniu nieściśliwości materiału ( $\nu = 0,50$ ). Tylko taką możliwość daje ABAQUS [1]. Postanowiono sprawdzić jak inna odkształcalność poprzeczna ( $\nu = 0,40$ ) wpływa na wyniki symulacji testu



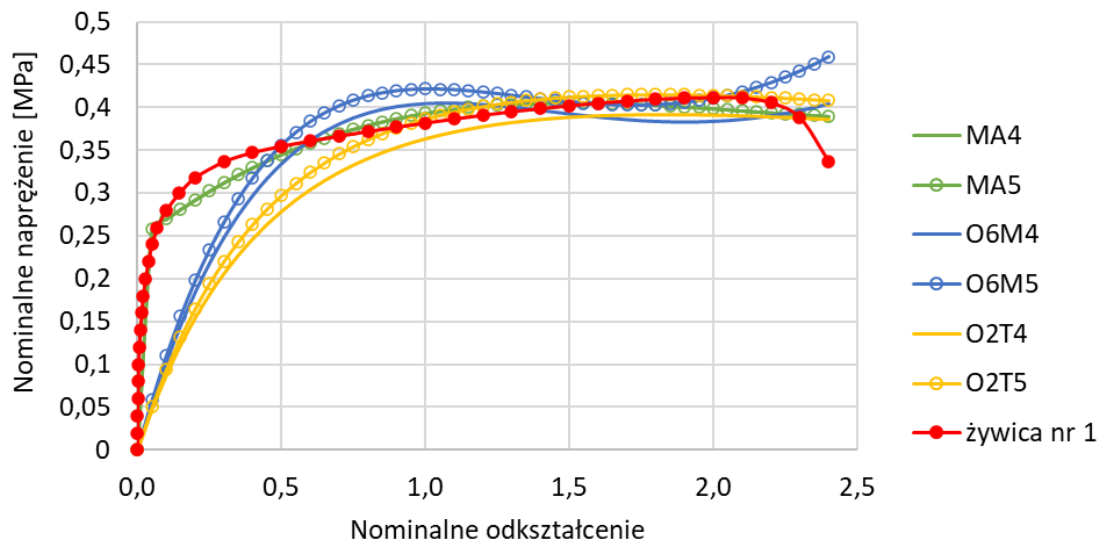
osiowego rozciągania żywicy według PN-EN ISO 37 [116] dla najlepiej rokujących modeli. Wyniki uzyskane przy zmniejszonym współczynniku Poissona (modele: MA4, O6M4 i O2T4) porównano z wynikami dla materiału nieściśliwego (MA5, O6M5, O2T5) w symulacji badań osiowego rozciągania żywicy według PN EN ISO 37 [116]. W tym celu zbudowano model dyskretny odwzorowujący próbę osiowego rozciągania żywicy według PN EN ISO 37 [116] zapewniający jednorodne stany naprężenia i odkształcenia (rysunek 6.13). Na rysunku 6.13 przedstawiono konfigurację początkową i końcową ( $\varepsilon_z = 2,4$ ) dla modelu O2T5.



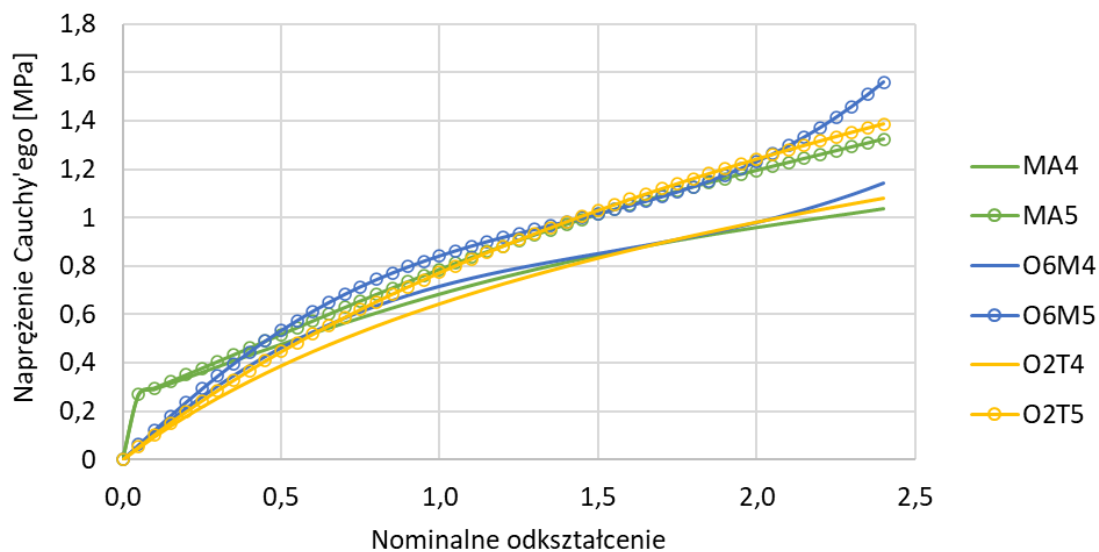
**Rys. 6.13.** Model dyskretny z badania osiowego rozciągania według PN EN ISO 37 [116] dla żywicy nr 1. Konfiguracja początkowa i końcowa ( $\varepsilon_z=2,4$ ) dla modelu O2T5.

W celu możliwości porównania wyników symulacji z rezultatami otrzymanymi z badania osiowego rozciągania żywicy według PN EN ISO 37 [116], naprężenia Cauchy'ego prezentowane w ABAQUS [1] przetransformowano na naprężenia nominale (rysunek 6.14).

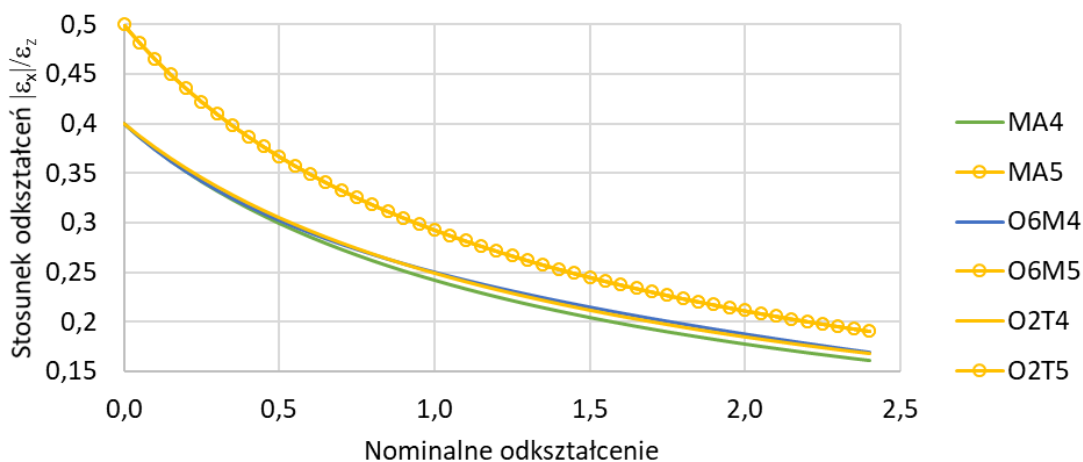
W programie ABAQUS [1] prezentowane są naprężenia Cauchy'ego (naprężenia rzeczywiste – odniesione do powierzchni aktualnej) (rysunek 6.13). Wartości naprężeń Cauchy'ego w symulacji osiowego rozciągania żywicy według PN EN ISO 37 [116] przedstawiono na rysunku 6.15. Na tej podstawie można wnioskować o poziomie naprężeń niszczących. Niższe wartości naprężeń dla  $\nu = 0,40$  są oczywiste i wiążą się z mniejszą odkształcalnością poprzeczną (rysunek 6.16). Dodatkowo na rysunku 6.17 przedstawiono zmiany odkształcenia objętościowego.



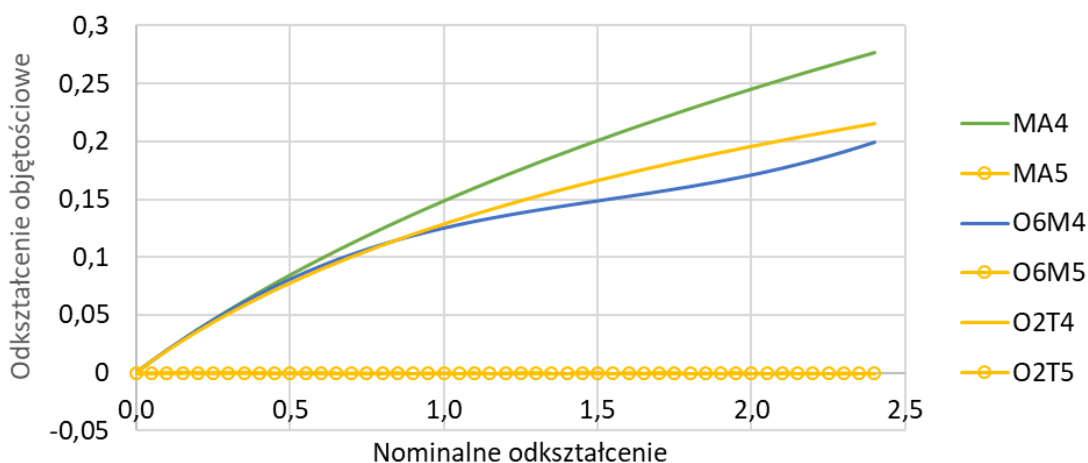
**Rys. 6.14.** Modele MA4, MA5, O6M4, O6M5, O2T4 i O2T5 przetransformowane na naprężenia nominalne w porównaniu z krzywą otrzymaną z badań osiowego rozciągania żywicy według PN-EN ISO 37 [116].



**Rys. 6.15.** Wartości naprężeń Cauchy'ego w symulacji osiowego rozciągania żywicy według PN EN ISO 37 [116] dla modeli MA4, MA5, O6M4, O6M5, O2T4 i O2T5.



**Rys. 6.16.** Wartości odkształceń poprzecznych w symulacji osiowego rozciągania żywicy według PN EN ISO 37 [116] dla modeli MA4, MA5, O6M4, O6M5, O2T4 i O2T5.



**Rys. 6.17.** Zmiany odkształcenia objętościowego w symulacji osiowego rozciągania żywicy według PN EN ISO 37 [116] dla modeli MA4, MA5, O6M4, O6M5, O2T4 i O2T5.

Podsumowując, krzywe MA5 i MA4 są identyczne, co wynika ze specyfiki modelu Marlowa. Ponadto krzywe MA5, O6M5 i O2T5 (rysunek 6.14) są odpowiednio identyczne z krzywymi MA (rysunek 6.4) oraz O6M i O2T (rysunek 6.10), **co potwierdza poprawność modelowania**. Oznacza to że założone ograniczenie dostępności testów i wykorzystanie w analizie, wykonanego w ramach prowadzonych badań własnych, badania rozciągania osiowego według [116] umożliwia przeprowadzenie selekcji oraz dokonanie wyboru modeli numerycznych charakteryzujących żywicę nr 1 wypełniającą model przerwy dylatacyjnej.

Dodatkowo na rysunku 6.14 można zauważyć, że obniżone wartości współczynnika Poissona nieznacznie wpływają na wartości naprężeń. Należy zauważyć, że algorytm numeryczny jest zbieżny mimo utraty stateczności przez materiał. Jak wyznaczono to wcześniej

model O6M (tożsamy z O6M5) w próbie osiowego rozciągania traci stateczność przy odkształceniu nominalnym 1,71.

W związku z tym do symulacji modelu przerwy dylatacyjnej wypełnionej żywicą nr 1 zaimplementowano modele: MA4, O6M4 i O2T4 ze współczynnikiem Poissona  $\nu = 0,40$ .

### **6.7. Numeryczna symulacja pracy materiału żywicznego wypełniającego model przerwy dylatacyjnej i porównanie z wynikami badań własnych jako ostateczna weryfikacja modeli**

Na podstawie uzyskanych wyników selekcji modeli numerycznych przy użyciu dostępnych aproksymacji funkcji gęstości energii sprężystej w celu scharakteryzowania materiału żywicy nr 1 przeprowadzono analizę numeryczną symulacji pracy materiału żywicznego w modelu przerwy dylatacyjnej.

Wykonane badania własne przy użyciu modelu przerwy dylatacyjnej wypełnioną badaną żywicą umożliwiły uzyskanie rezultatów (rysunek 5.6), dzięki którym wyniki przeprowadzonej analizy numerycznej mogą być porównane i zweryfikowane.

Badanie żywicy wypełniającej model przerwy dylatacyjnej przeprowadzono przy próbie rozciągania. Granica dolna (ściskanie) została odrzucona. Występują zatem jedynie dodatnie naprężenia normalne (w analizie numerycznej kontrolowano znak minimalnych naprężeń głównych). W badaniach własnych (rysunek 5.6) materiał żywiczny nie uległ zniszczeniu do odkształceń około 19 mm czyli jego model powinien dawać możliwości opisu w tym zakresie. Wynika z tego, że wszystkie zweryfikowane modele MA4, O6M4 i O2T4 są stateczne w zakresie przewidywanej analizy.

Mechaniczne własności materiału hipersprężystego określone są na podstawie funkcji gęstości energii sprężystej  $U$ . Wyróżnia się składniki związane z dewiatorową częścią odkształcenia i odkształceniem objętościowym:

$$U = U_{dev}(\bar{I}_1, \bar{I}_2) + U_{vol}(J_{el}) \quad (6.2)$$

gdzie:

$I_1, I_2$  – niezmienniki tensora odkształcenia;

Przy braku odkształceń termicznych zachodzi  $J_{el} = J$ , gdzie  $J$  oznacza jakobian przekształcenia pomiędzy konfiguracjami początkową  $\mathbf{X}$  i aktualną  $\mathbf{x}$  oraz jednocześnie wyraża względną zmianę objętości:

$$\mathbf{F} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\partial \mathbf{x}}{\partial \mathbf{X}}, \quad (6.3)$$

$$J \stackrel{\text{def}}{=} \det(\mathbf{F}), \quad (6.4)$$

$$J = dV/dV^0 \quad (6.5)$$

Niezmienniki w składniku  $U_{dev}$  wyrażone są przez główne rozciągnięcia  $\lambda_i$ :

$$\bar{I}_1 = \bar{\lambda}_1^2 + \bar{\lambda}_2^2 + \bar{\lambda}_3^2 \quad \text{and} \quad \bar{I}_2 = \bar{\lambda}_1^{(-2)} + \bar{\lambda}_2^{(-2)} + \bar{\lambda}_3^{(-2)}, \quad (6.6)$$

$$\bar{\lambda}_i = J^{-\frac{1}{3}} \lambda_i \quad (6.7)$$

Główne odkształcenia nominalne i główne rozciągnięcia są związane prostą zależnością:

$$\lambda_i = 1 + \epsilon_i. \quad (6.8)$$

gdzie:

$\lambda_i$  – odkształcenie główne rozciągnięcia.

W modelu Marlowa (MA) w składniku dewiatorowym pomija się drugi niezmiennik:

$$U = U_{dev}(\bar{I}_1) + U_{vol}(J_{e\ell}) \quad (6.9)$$

W przyjętym modelu MA4 część dewiatorowa gęstości energii jest określana na podstawie danych uzyskanych z osiowego rozciągania żywicy według PN EN ISO 37 [116], część objętościowa na podstawie zadeklarowanego współczynnika Poissona  $\nu = 0,40$ . W modelu Marlowa dane testowe bezpośrednio charakteryzują funkcję gęstości energii i odmiennie od pozostałych modeli, nie jest on opisywany przez współczynniki materiałowe.

W modelu Ogdena przyjmuje się następującą postać funkcji gęstości energii, w której pierwszy składnik odpowiada za część dewiatorową, drugi objętościową:

$$U = \sum_{i=1}^N \frac{2\mu_i}{\alpha_i^2} (\bar{\lambda}_1^{\alpha_i} + \bar{\lambda}_2^{\alpha_i} + \bar{\lambda}_3^{\alpha_i} - 3) + \sum_{i=1}^N \frac{1}{D_i} (J^{e\ell} - 1)^{2i} \quad (6.10)$$

Stałe materiałowe:  $\mu_i$  oraz  $\alpha_i$  są wyznaczone na podstawie zestawów danych testowych (przy  $\nu = 0,50$ ), stała  $D_i$  wyrażająca ściśliwość materiału jest zależna od zadeklarowanej

wartości współczynnika Poissona i jest związana z początkowymi ( $\lambda_i \rightarrow 1$ ) wartościami modułów sprężystości poprzecznej ( $\mu_0$ ) i objętościowej ( $K_0$ ):

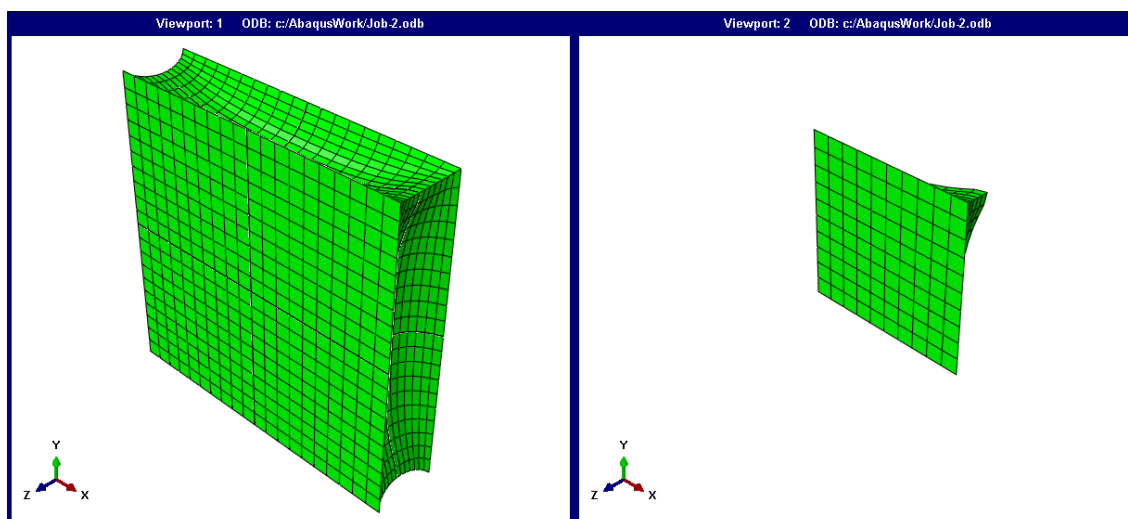
$$D_1 = \frac{2}{K_0} = \frac{3(1 - 2\nu)}{\mu_0(1 + \nu)}, \quad \mu_0 = \sum_{i=1}^N \mu_i \quad (6.11)$$

Wartości parametrów materiałowych dla rozważanych modeli zestawiono w tabeli 6.4.

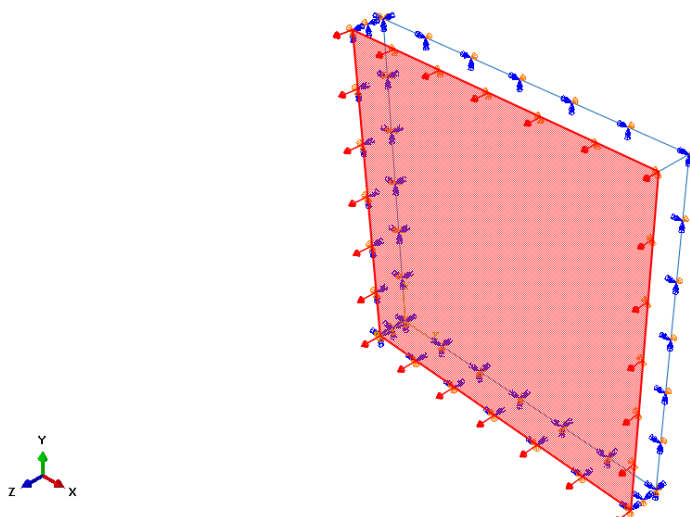
**Tabela 6.4.** Wartości parametrów materiałowych dla modeli O6M4 i O2T4.

	$i$	$\mu_i$ [MPa]	$\alpha_i$	$D_i$ [MPa <sup>-1</sup> ]	
O6M4 $N = 6$ $\nu = 0,40$	1	447,136941	0,777960287	1,04499764	$\mu_0 = 0,410116$ MPa $K_0 = 0,956940$ MPa
	2	-335,523178	1,188237050	0,00000000	
	3	122,581695	1,432114470	0,00000000	
	4	-414,898027	0,329453865	0,00000000	
	5	276,107468	-0,034187846	0,00000000	
	6	-94,9947828	-0,232549927	0,00000000	
O2T4 $N = 2$ $\nu = 0,40$	1	2,10920989	-0,186759901	1,19967972	$\mu_0 = 0,357238$ MPa $K_0 = 0,833556$ MPa
	2	-1,75197169	-0,285525400	0,00000000	

Do identyfikacji wypełnienia w modelu przerwy dylatacyjnej przygotowano model dyskretny. Założono, że ze względu na duże różnice w sztywnościach, próbki betonowe można potraktować jako idealnie sztywne. Przyjęto też idealne zespolenie materiałów. Ze względu na trzy płaszczyzny symetrii dyskretyzowano jedynie stosowny fragment układu (rysunek 6.18). Zdefiniowano warunki brzegowe na płaszczyznach symetrii. Na powierzchni zespolenia zablokowano przemieszczenia styczne i zastosowano wymuszenie jej translacją (rysunek 6.19).



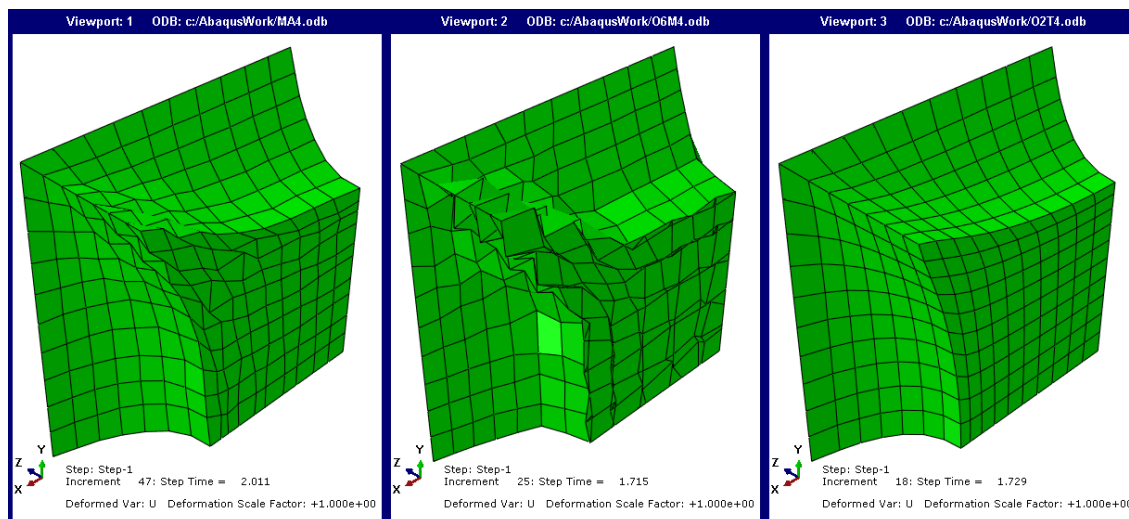
**Rys. 6.18.** Model dyskretny wypełnienia w modelu przerwy dylatacyjnej.



**Rys. 6.19.** Przyjęte warunki brzegowe na płaszczyznach symetrii w dyskretnym modelu wypełnienia w modelu przerwy dylatacyjnej.

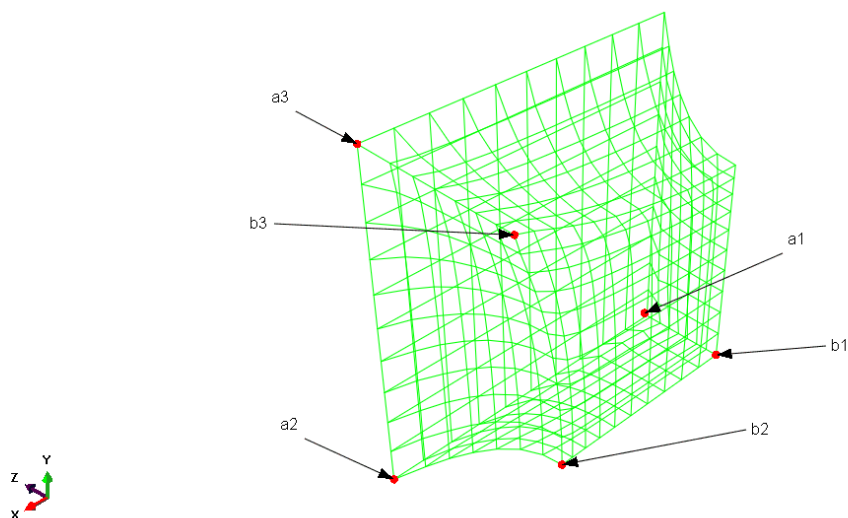
Obliczenia wykonano dla modelu dyskretnego przedstawionego na rysunku 6.18, przy automatycznym doborze kroku iteracyjnego – w ramach testów stwierdzono, że w tym przypadku algorytm najpóźniej traci zbieżność.

Obrazy deformacji na końcach zbieżności procesów iteracyjnych (rysunek 6.20.) sugerują, że wcześniej doszło do utraty stateczności materiału (utrata przyczepności do podłoża). Dla modelu MA4 nienaturalna deformacja pojawia się po kroku w zakresie odkształceń nominalnych  $1,18 \div 1,49$ ; dla O6M4  $0,52 \div 0,80$ . Dla modelu O2T4 nie zauważono takiego efektu.



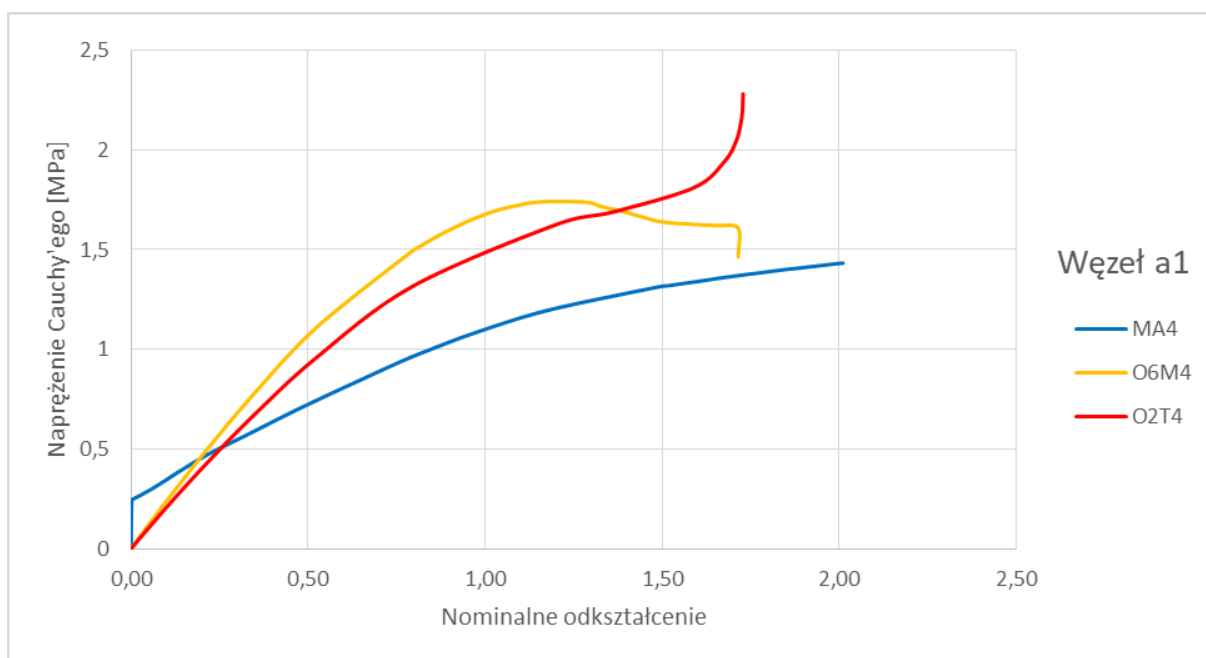
**Rys. 6.20.** Obrazy deformacji na końcach zbieżności procesów iteracyjnych w dyskretnym modelu wypełnienia w modelu przerwy dylatacyjnej.

Postanowiono skontrolować przebiegi naprężeń normalnych w kierunku wymuszenia w charakterystycznych węzłach modelu (rysunek 6.21).



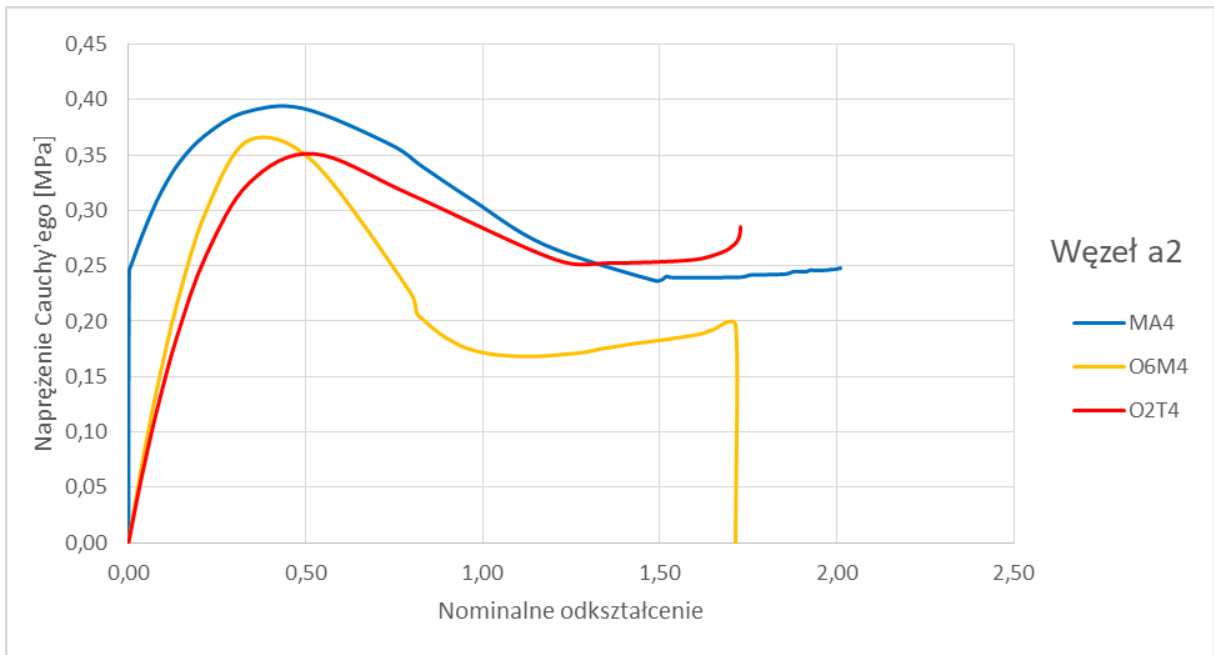
**Rys. 6.21.** Przebieg naprężeń normalnych w kierunku wymuszenia w charakterystycznych węzłach wypełnienia modelu przerwy dylatacyjnej.

Naprężenia Cauchy'ego dla różnych modeli porównano na rysunkach 6.22 ÷ 6.27.

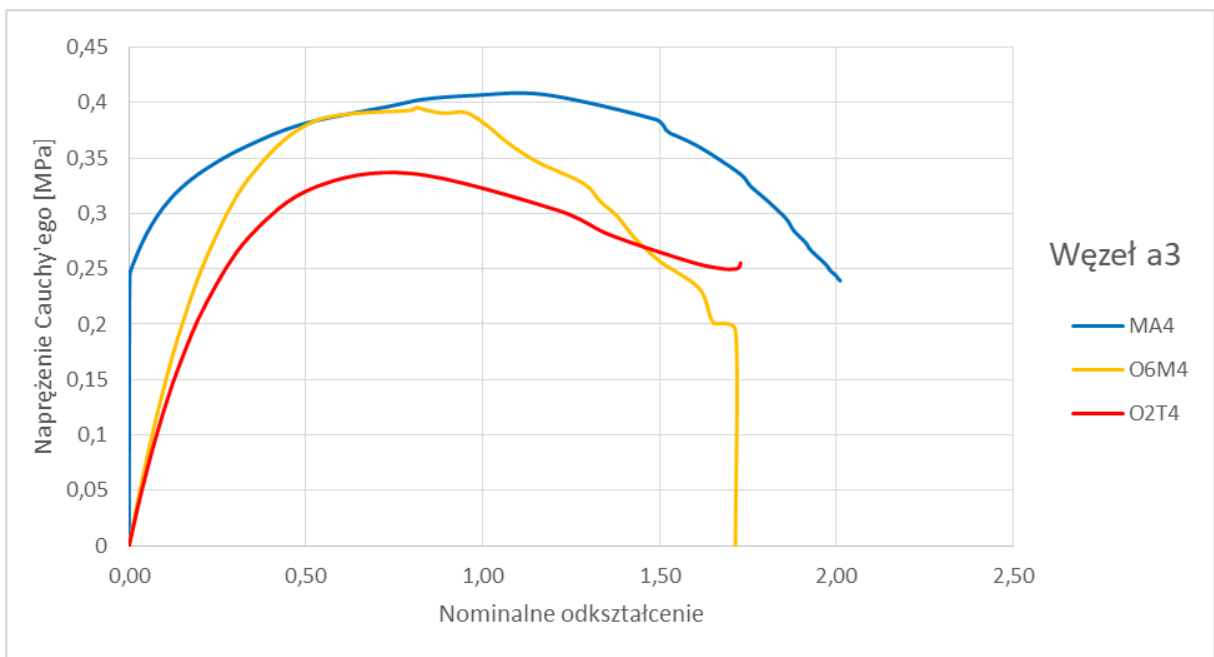


**Rys. 6.22.** Wykresy naprężeń Cauchy'ego dla modeli MA4, O6M4 i O2T4 w węźle a1.

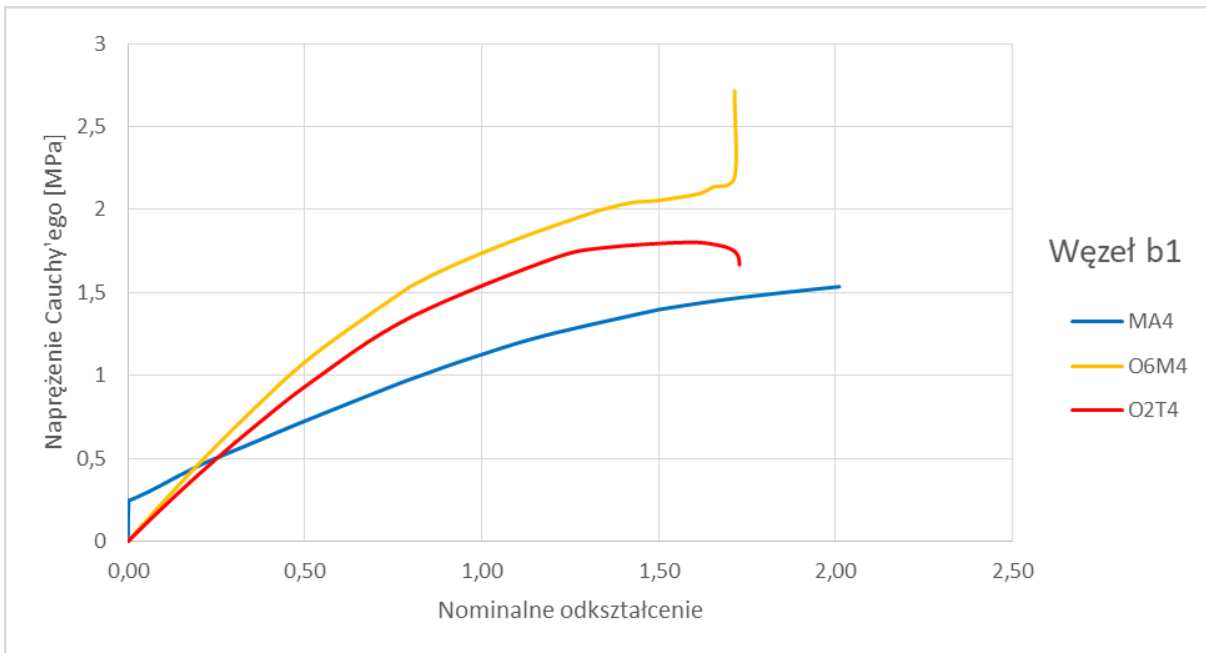




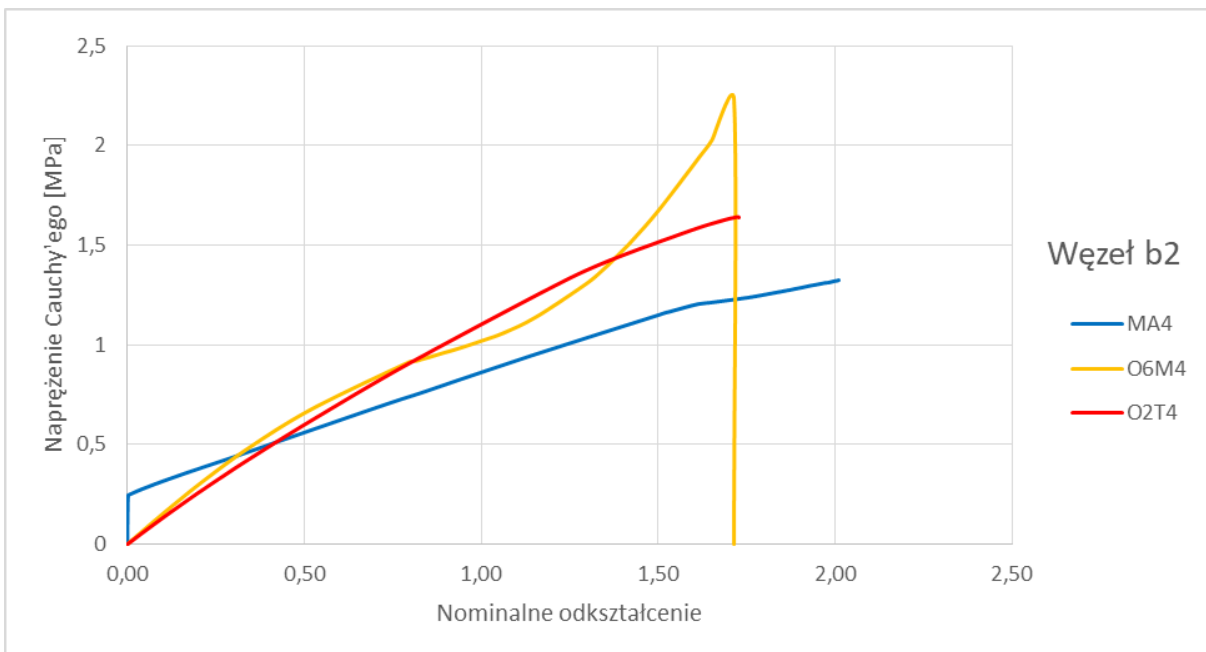
Rys. 6.23. Wykresy naprężeń Cauchy'ego dla modeli MA4, O6M4 i O2T4 w węźle a2.



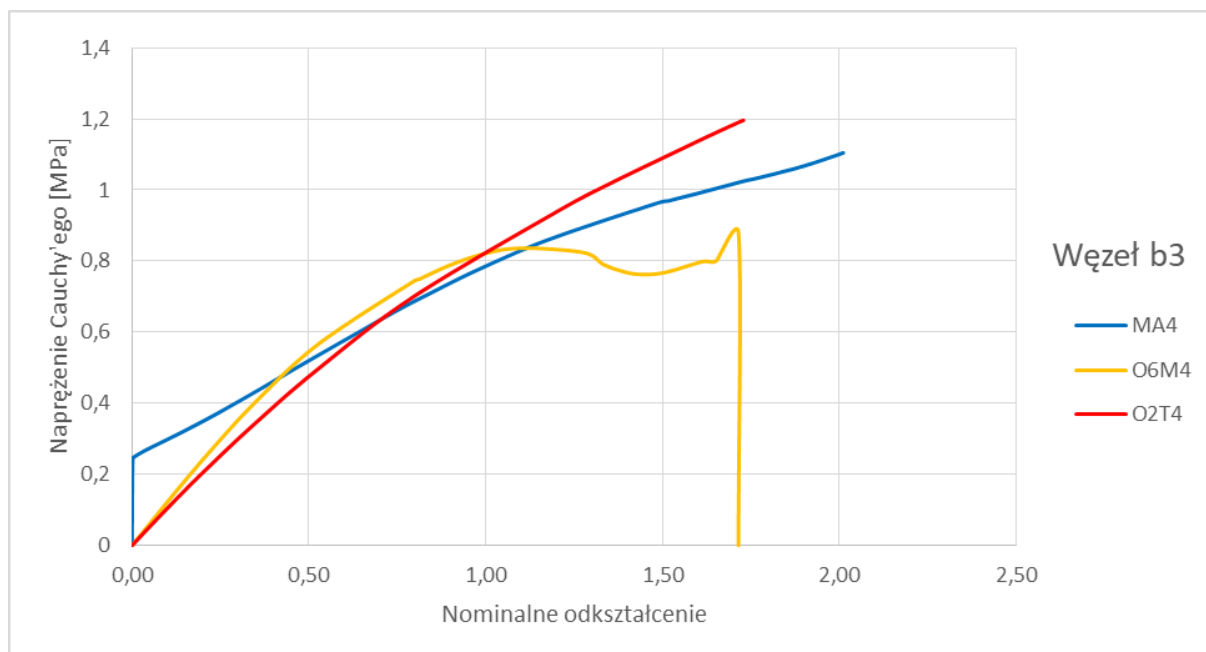
Rys. 6.24. Wykresy naprężeń Cauchy'ego dla modeli MA4, O6M4 i O2T4 w węźle a3.



**Rys. 6.25.** Wykresy naprężeń Cauchy'ego dla modeli MA4, O6M4 i O2T4 w węźle b1.



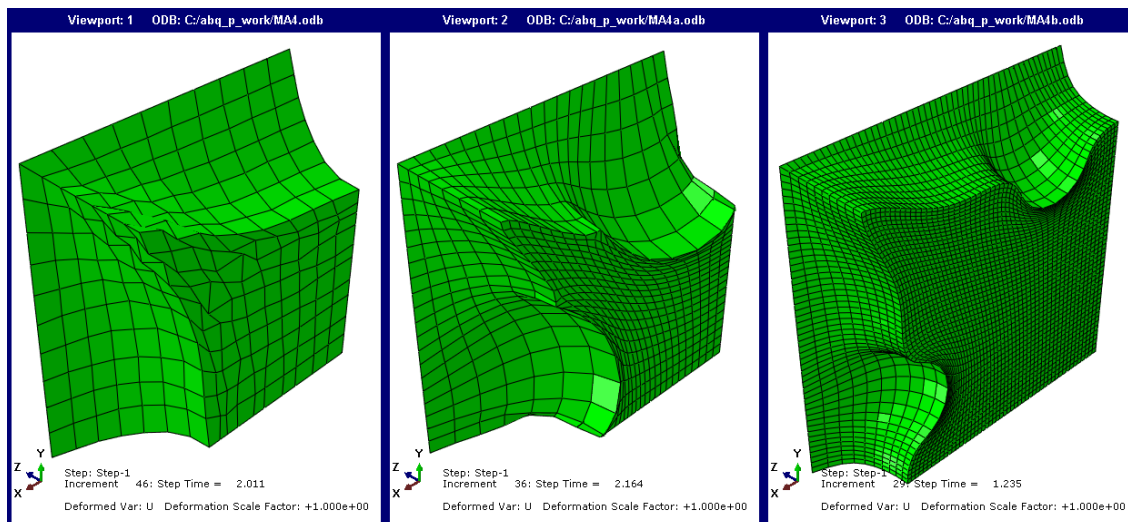
**Rys. 6.26.** Wykresy naprężeń Cauchy'ego dla modeli MA4, O6M4 i O2T4 w węźle b2.



**Rys. 6.27.** Wykresy naprężeń Cauchy'ego dla modeli MA4, O6M4 i O2T4 w węźle b3.

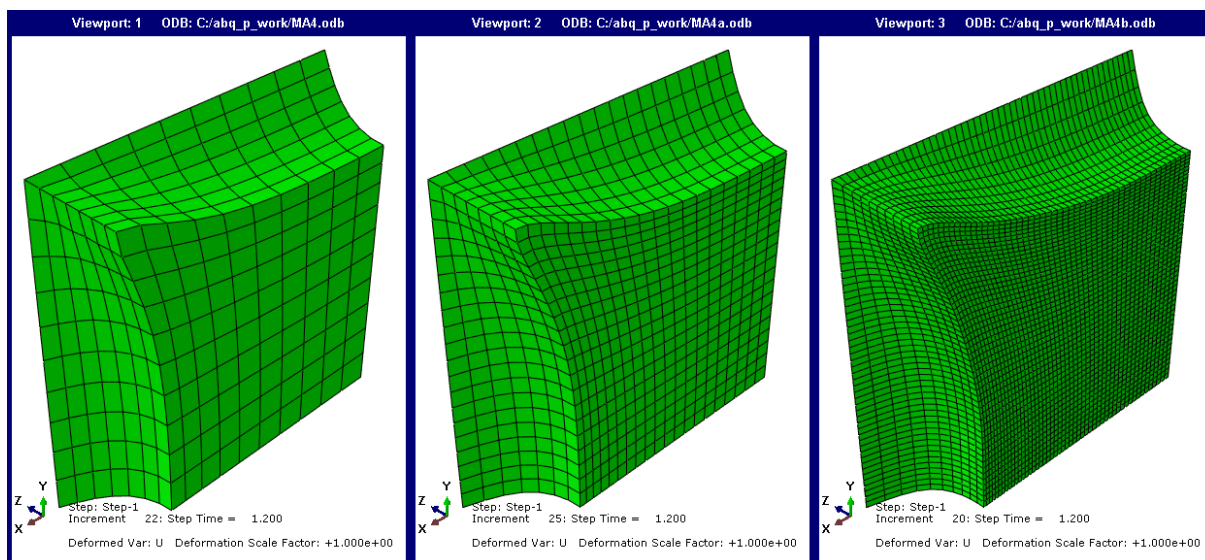
W węzłach a2 i a3 na rysunkach 6.23 i 6.24 można zauważyć nieciągłości naprężeń po przekroczeniu odkształceń powodujących anormalną deformację w modelach: MA4 i O6M4. Dla tych modeli również, przy takich wartościach odkształceń, algorytm iteracyjny z automatyczną inkrementacją wydatnie skraca długość kroku, co może pozwolić na pokonanie punktu granicznego i wejście na niestateczną ścieżkę równowagi lub jej gałąź bifurkacyjną.

Postanowiono sprawdzić, jak gęstość dyskretyzacji wpływa na wartości uzyskiwanych wyników (czy zastosowana gęstość siatki jest wystarczająca). Weryfikacji dokonano dla modelu materiału MA4. Na rysunku 6.28 przedstawiono obrazy deformacji na końcach zbieżności procesów iteracyjnych. Przy różnych stopniach dyskretyzacji algorytm traci zbieżność przy innych wartościach odkształceń nominalnych: wariant odniesienia MA4 – 2,01 (dla porównania tabela 6.3); wariant MA4a – 2,16; wariant MA4b – 1,24. Natomiast nienaturalna deformacja pojawia się po krokach w zakresach odkształceń nominalnych: MA4 – 1,18 ÷ 1,49; MA4a – 0,94 ÷ 1,40; MA4b – powyżej 1,21. Na tej podstawie przyjęto, że materiał traci stateczność przy odkształceniu 1,21.



**Rys. 6.28.** Obrazy deformacji na końcach zbieżności procesów iteracyjnych dla modelu MA4 – różne gęstości dyskretyzacji.

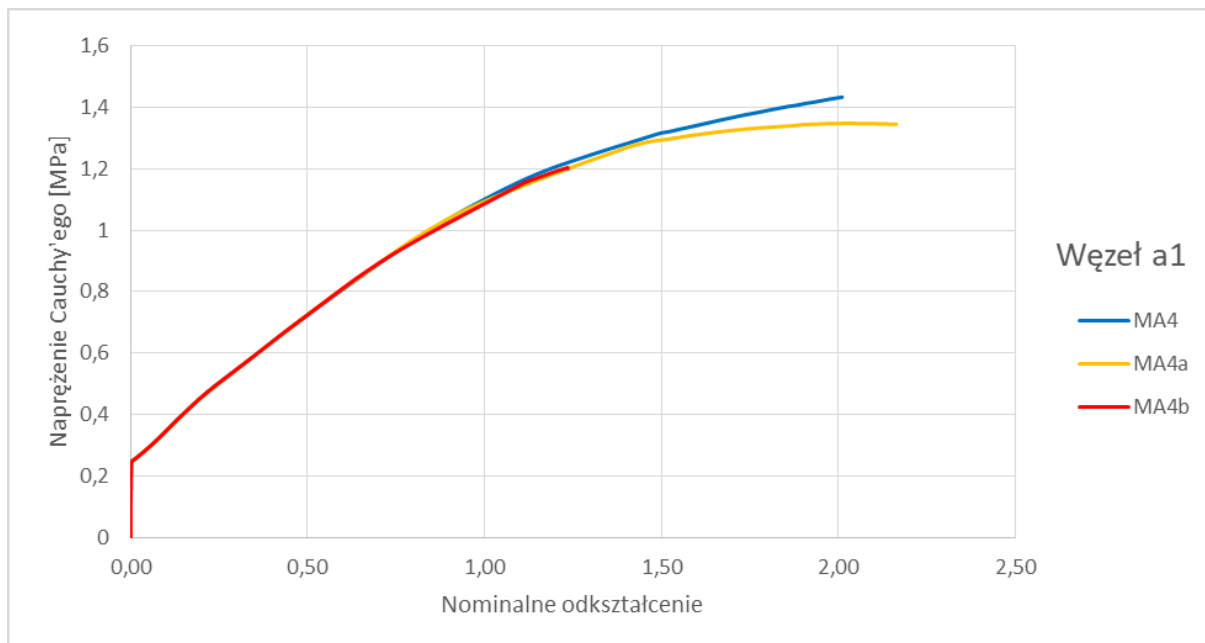
Porównanie obrazów deformacji tuż przed utratą stateczności (odkształcenie 1,20), przedstawione na rysunku 6.29, pokazuje brak zauważalnych różnic dla analizowanych wariantów dyskretyzacji.



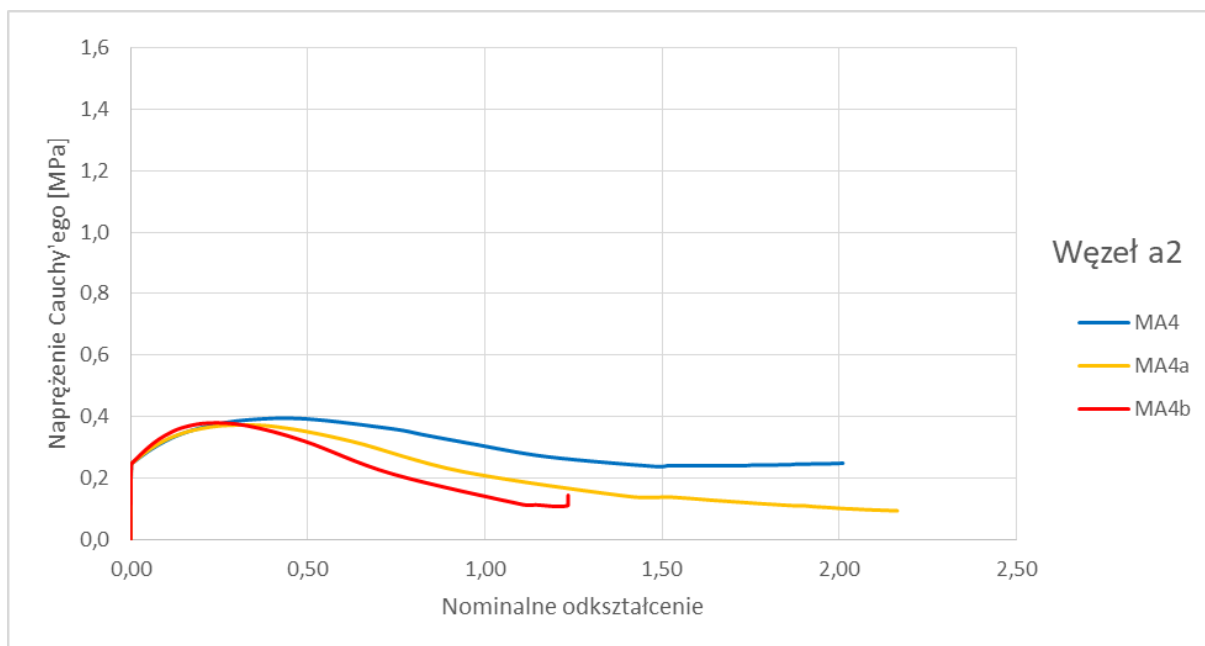
**Rys. 6.29.** Obrazy deformacji tuż przed utratą stateczności (odkształcenie 1,20) dla modelu MA4 – różne gęstości dyskretyzacji.

Na kolejnych rysunkach 6.30÷6.35 zestawiono przebiegi naprężeń normalnych Cauchy'ego w kierunku wymuszenia w charakterystycznych węzłach modelu (rysunek 6.21). Aby porównanie było obiektywne pod względem znaczenia ich wartości w różnych węzłach, przyjęto te same skale na osiach pionowych. Na podstawie poniższych rysunków można stwierdzić, że zastosowanie różnych gęstości siatek (w zakresie przedstawionych trzech

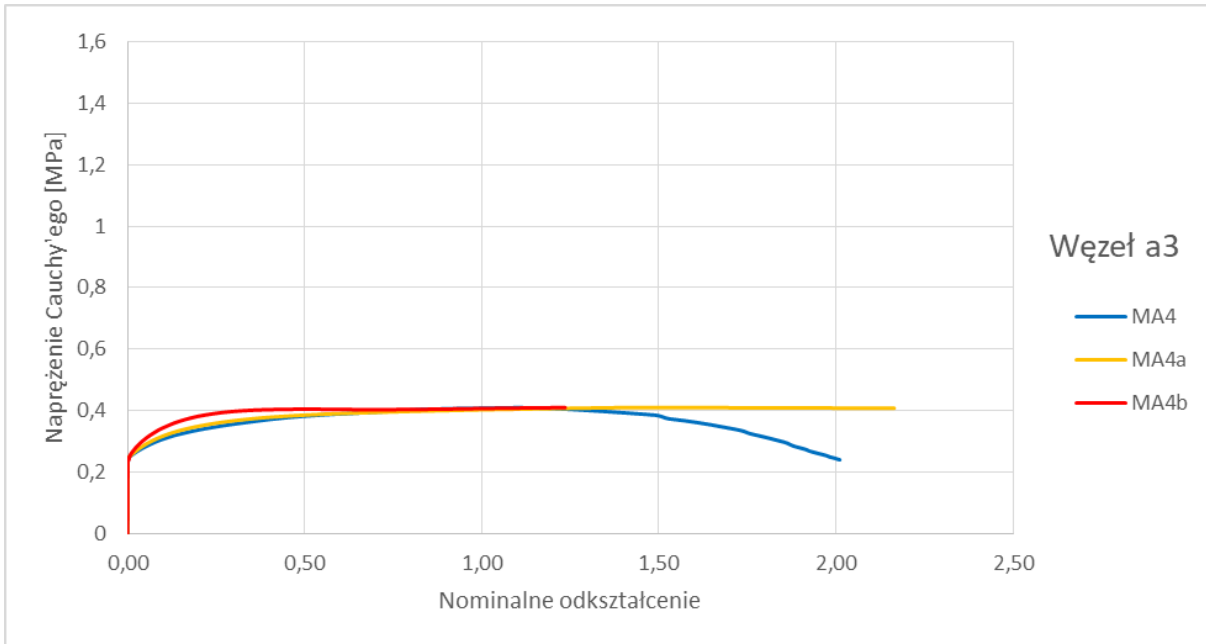
wariantów dyskretyzacji) nie będzie znacząco wpływać na wyniki uzyskane w badaniu rozciągania próbek modelu dylatacji wypełnionej żywicą.



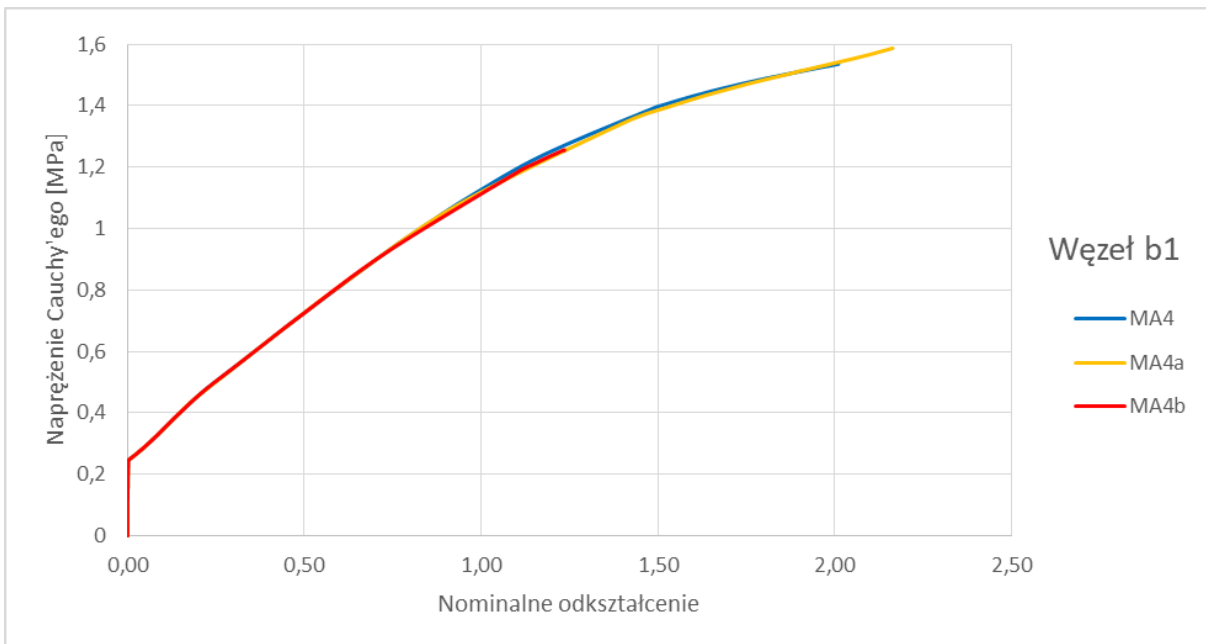
**Rys. 6.30.** Przebieg naprężeń normalnych Cauchy'ego w kierunku wymuszenia w węźle a1 modelu MA4, MA4a i MA4b (rysunek 6.21).



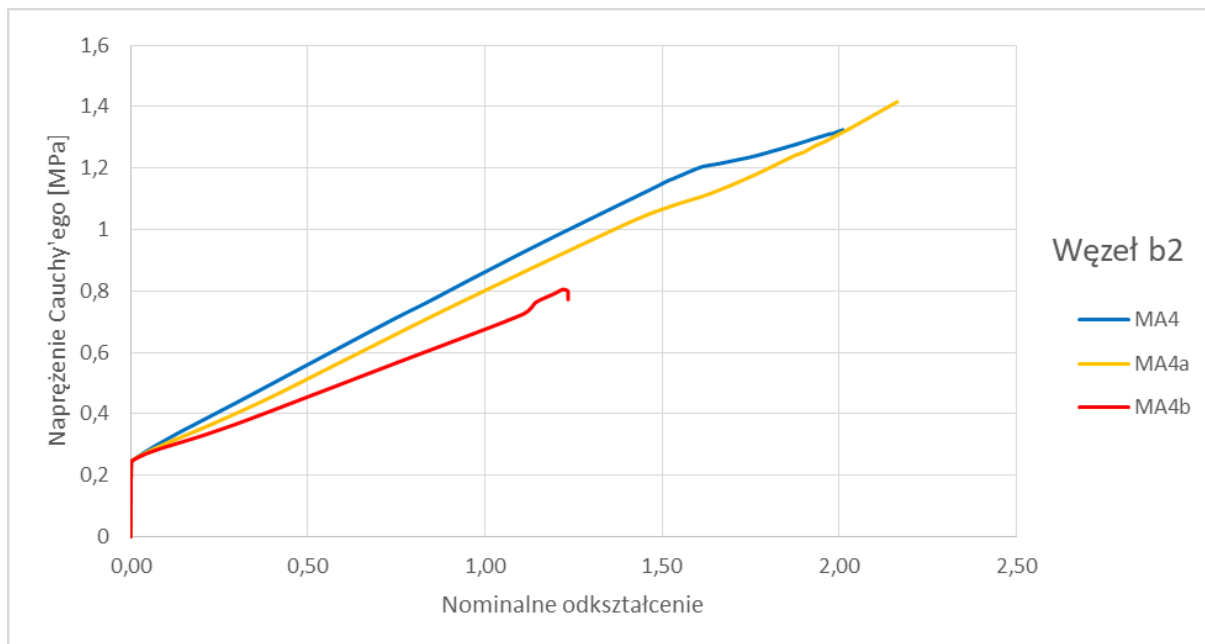
**Rys. 6.31.** Przebieg naprężeń normalnych Cauchy'ego w kierunku wymuszenia w węźle a2 modelu MA4, MA4a i MA4b (rysunek 6.21).



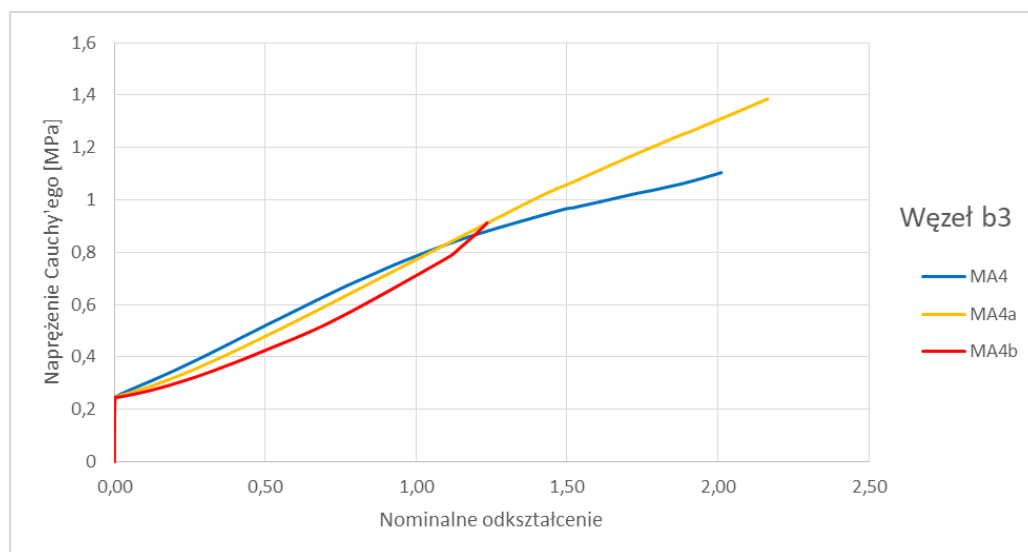
**Rys. 6.32.** Przebieg naprężeń normalnych Cauchy'ego w kierunku wymuszenia w węźle a3 modelu MA4, MA4a i MA4b (rysunek 6.21).



**Rys. 6.33.** Przebieg naprężeń normalnych Cauchy'ego w kierunku wymuszenia w węźle b1 modelu MA4, MA4a i MA4b (rysunek 6.21).



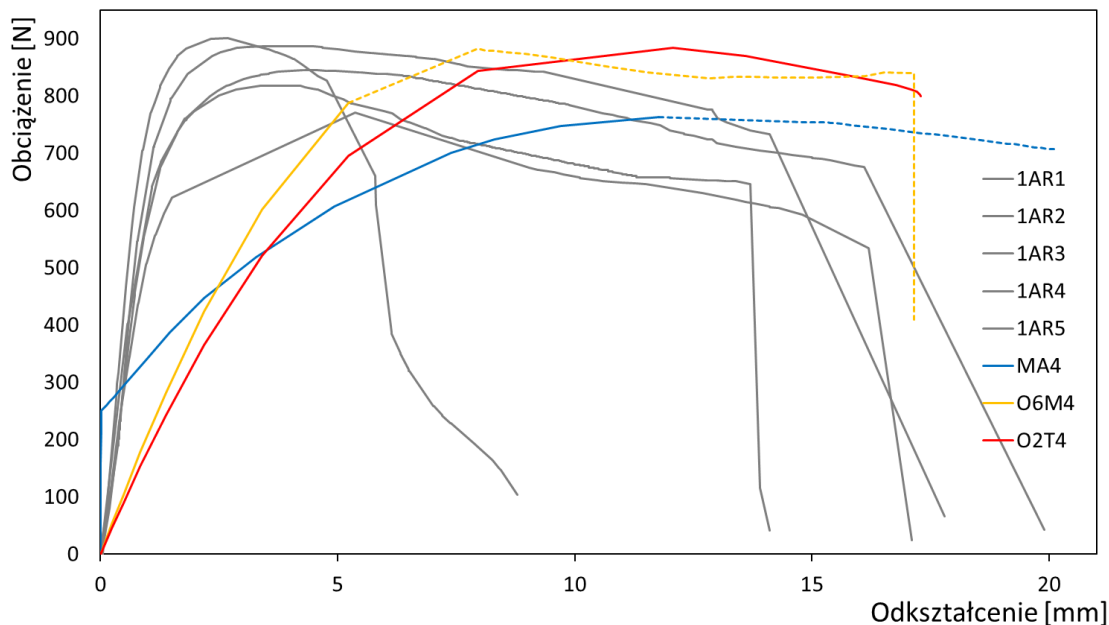
**Rys. 6.34.** Przebieg naprężeń normalnych Cauchy'ego w kierunku wymuszenia w węźle b2 modelu MA4, MA4a i MA4b (rysunek 6.21).



**Rys. 6.35.** Przebieg naprężeń normalnych Cauchy'ego w kierunku wymuszenia w węźle b3 modelu MA4, MA4a i MA4b (rysunek 6.21).

Ze względu na wnioski wynikające z rysunków 6.30÷6.35 do odwzorowania procesu rozciągania modelu przerwy dylatacyjnej wypełnionej żywicą nr 1 przyjęto model dyskretny przedstawiony na rysunku 6.18. W symulacji rozciągania modelu dylatacji wyznaczono wartości sił wymuszających w zależności od uzyskiwanych wydłużeń i porównano je z rezultatami doświadczalnymi wraz z przyjętym współczynnikiem korygującym 9,81 (rysunek

6.36). W przypadku modeli MA4 i O6M4, na rysunku zaznaczono fragmenty ścieżek równowagi, dla których istnieje podejrzenie utraty stateczności materiału.



**Rys. 6.36.** Symulacja rozciągania modelu przerwy dylatacyjnej wykresy 1AR1, 1AR2, 1AR3, 1AR4 i 1AR5 oraz uzyskanych rezultatów obliczeniowych wraz z przyjętym współczynnikiem korygującym 9,81 dla modeli MA4, O6M4 i O2T4.

Rozbieżności wyników w zakresie początkowych wydłużeń dla modeli O6M4 i O2T4 wynikają z faktu iż przyjęte modele oddalają się od krzywej testowej oraz, że moduły sztywności materiału przyjmują mniejsze wartości w zakresie niskich odkształceń. Wadą modelu MA4 jest zawężenie jego opisu, przez przyjęcie zachowania się materiału tylko w oparciu o jeden test standardowy, w tym przypadku rozciąganie osiowe żywicy.

Podsumowując, niniejsza analiza wykazała możliwość scharakteryzowania materiału wypełniającego przerwę dylatacyjną na podstawie dostępnych aproksymacji funkcji gęstości energii sprężystej. Wykorzystując dostępne rezultaty badań własnych pochodzące z wykonanych badań rozciągania osiowego żywicy, według [116] porównano te wyniki z rezultatami badań eksperymentalnych. Daje to możliwość w przyszłości prowadzenie analiz dla innych żywic wypełniających przerwy dylatacyjne mając dane tylko z jednego testu badawczego jakim jest najczęściej stosowana metoda rozciągania osiowego.

Przeprowadzona analiza wykazała możliwość analizy numerycznej symulacji pracy materiału żywicznego w modelu przerwy dylatacyjnej na podstawie uzyskanych wyników selekcji modeli numerycznych przy użyciu dostępnych aproksymacji funkcji gęstości energii sprężystej w celu scharakteryzowania materiału żywicznego. Wskazała również,



---

w szczególności na końcach zbieżności procesów iteracyjnych, w postaci obrazów deformacji, miejsca, które sugerują, że wcześniej doszło do utraty stateczności materiału (utrata przyczepności do podłoża). Można zatem za pomocą obliczeń oraz wykorzystania ułożonych algorytmów przewidywać możliwy zakres stosowania materiału wypełniającego przerwę dylatacyjną.

## 7. ANALIZA PROFILU BETONU I NOWATORSKIE NARZĘDZIA DO PRZYGOTOWANIA PODŁOŻA BETONOWEGO

Uzyskane rezultaty przeprowadzonych badań rozciągania próbek modelu przerwy dylatacyjnej jednoznacznie wskazały, że sposób przygotowania powierzchni ma znaczący wpływ na przyczepność materiałów żywicznych do podłoża betonowego. Właściwe przygotowanie powierzchni poprawia przyczepność do podłoża, której istotą jest mechaniczne klinowanie elementów składowych przy wykorzystaniu nierówności i mikro porów na powierzchni łączonych materiałów [36]. Wybrany sposób obróbki mechanicznej powierzchni, może prowadzić do zwiększenia pola powierzchni kontaktu i wpływać znacząco na zwiększenie naprężeń przyczepności materiałów wypełniających przerwy dylatacyjne do powierzchni betonu. Właściwe przygotowanie podłoża gwarantuje zapewnienie niezawodności uszczelnienia wypełnienia szczeliny przerwy dylatacyjnej. Brak przygotowania podłoża lub niewłaściwe przygotowanie jest przyczyną odpajania się materiału wypełniającego od betonu i w konsekwencji stanu awaryjnego, czyli wycieków wody.

Nie podjęto jednak dotychczas próby opracowania i opisanie metody obróbki powierzchni betonu w szczelinach dylatacyjnych prowadzącej do poprawy przyczepności materiałów wypełniających do podłoża betonowego. Narzędzia do przygotowania powierzchni betonu należy dobrać w taki sposób, aby przyczepność do podłoża żywic wypełniających w szczelinie przerwy dylatacyjnej była możliwie najwyższa. W tym celu do przygotowania powierzchni betonu w szczelinie przerwy dylatacyjnej należy wykorzystać specjalistyczne narzędzia, które powinny być tak dobrane, aby umożliwiły ich wprowadzenie do przerwy dylatacyjnej o rozwarości około 20 mm, na głębokość do około 400-500 mm.

W pracach eksperymentalnych związanych z przygotowywaniem próbek betonowych do konstruowania modeli przerwy dylatacyjnej do badań rozciągania osiowego (pkt 4.1.1) zaproponowano nowatorskie narzędzia służące do obróbki betonu w szczelinie przerwy dylatacyjnej.

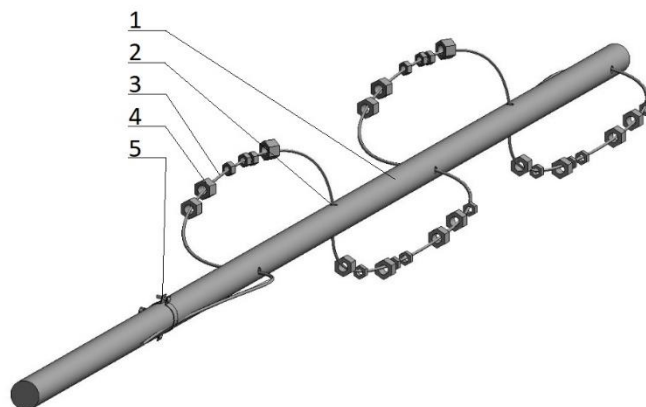
W związku z brakiem możliwości praktycznej weryfikacji kształtowania powierzchni betonu w tak niewielkiej szczelinie oraz brakiem wytycznych i norm dotyczących przygotowania podłoża [60], [127], czyli boków ścian w szczelinie przerwy dylatacyjnej przeprowadzono nieniszczące badania chropowatości i analizy profilu betonu próbek modelu przerwy dylatacyjnej.

## 7.1. Narzędzia do przygotowania podłoża betonowego w przerwie dylatacyjnej

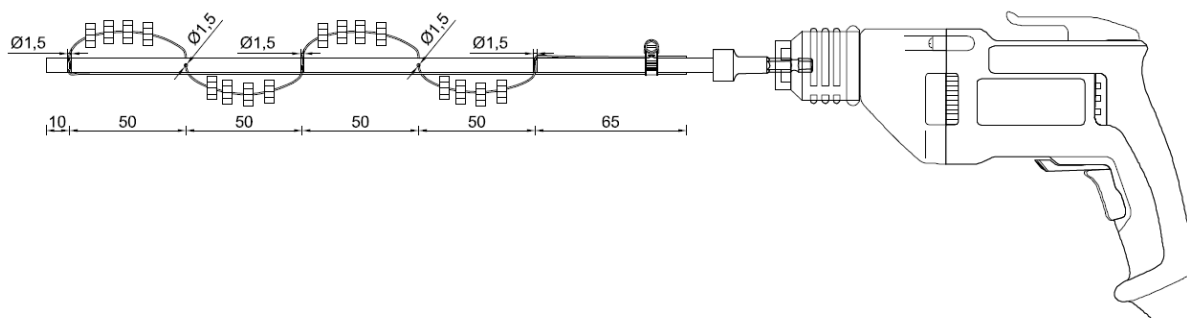
### 7.1.1. Narzędzie do czyszczenia powierzchni betonu w przerwie dylatacyjnej

Nowatorskie narzędzie do czyszczenia powierzchni betonu w przerwie dylatacyjnej umożliwia wykonanie prac w szczelinach o rozwarości od około 20 mm. Jestem pomysłodawcą tego rozwiązania. Narzędzie to zostało zgłoszone w postaci rozwiązania patentowego. Zgłoszenie oznaczono numerem: W.129221 i tytule „Narzędzie do czyszczenia dylatacji”. Składa się ono z trzpienia stalowego, w którym wykonane są równomiernie otwory. Przez otwory w trzpieniu stalowym przepleciony jest drut strunowy, na którym umieszczone są obciążniki. Obciążniki są luźno zamontowane do drutu strunowego. Zakończenie drutu jest splecione i zamontowane na stałe obejmą stalową do trzpienia stalowego. Narzędzie wyposażone jest w uchwyt umożliwiający umieszczanie narzędzia na dowolnej głębokości w przerwie dylatacyjnej.

Na rysunku 7.1 w rzucie aksonometrycznym, przedstawiono narzędzie do czyszczenia betonu w przerwie dylatacyjnej. Z kolei na rysunku 7.2 przedstawiono rysunek techniczny narzędzia do czyszczenia betonu w przerwie dylatacyjnej.



**Rys. 7.1** Narzędzie do czyszczenia betonu w przerwie dylatacyjnej: 1 - trzpień stalowy, 2 - otwory, 3 - drut strunowy, 4 - obciążniki, 5 - obejmą stalową.



**Rys. 7.2** Rysunek techniczny narzędzia do czyszczenia betonu w przerwie dylatacyjnej.

Zaletą narzędzia do czyszczenia powierzchni betonu w przerwie dylatacyjnej jest:

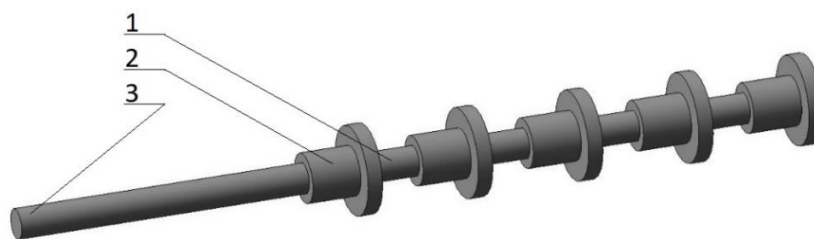
- możliwość umieszczenia narzędzia w dylatacjach o rozwarości 20 mm i szerszych;
- możliwość umieszczenia narzędzia na różnej głębokości w dylatacji poprzez zastosowanie odpowiednich przedłużeń trzpienia stalowego;
- możliwość wymiany zużytej lub uszkodzonej końcówki czyszczącej.

Metoda działania narzędzia do czyszczenia powierzchni betonu w przerwie dylatacyjnej polega na zamocowaniu narzędzia w uchwycie wiertarki obrotowej o momencie obrotowym min. 800-1200 obr/min. Po uruchomieniu wiertarki narzędzie wprowadzane jest w ruch obrotowy. W wyniku uzyskanych na wiertarce obrotów, obciążniki zastosowanej na narzędziu czyszczącym wprowadzane są w ruch obrotowy wokół trzpienia stalowego. W momencie zbliżenia narzędzia do powierzchni betonu obracające się na drucie strunowym obciążniki uderzają w powierzchnię betonu i w ten sposób usuwają z jego powierzchni luźne elementy betonu, klejów lub innych elementów uniemożliwiających właściwe przyleganie materiału żywicznego do wypełnienia szczeliny przerwy dylatacyjnej. Moment obrotowy oraz masa obciążników rozmieszczonych na drucie stalowym wpływają na jakość czyszczenia betonu.

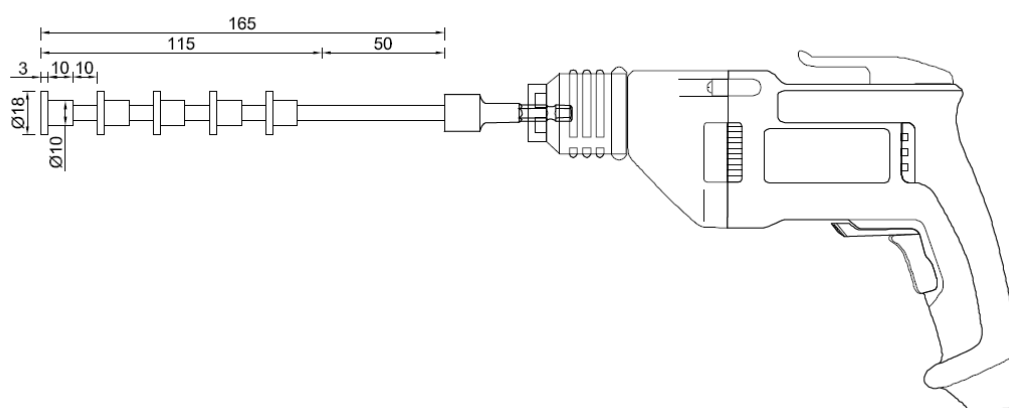
#### **7.1.2. Narzędzie do nacinania powierzchni betonu w przerwie dylatacyjnej**

Nowatorskie narzędzie do nacinania powierzchni betonu w przerwie dylatacyjnej umożliwia wykonanie prac w szczelinach o rozwarości od około 20 mm. Jestem pomysłodawcą opracowania tego rozwiązania. Narzędzie to zostało zgłoszone w postaci rozwiązania patentowego. Zgłoszenie oznaczono numerem: W.129222 i tytule „Narzędzie do nacinania dylatacji”. Składa się ono z trzpienia stalowego zakończonego gwintem, przy czym na trzpieniu stalowym o średnicy 6 mm zamontowane są równomiernie, co 20 mm frezy diamentowe. Narzędzie wyposażone jest w uchwyt umożliwiający umieszczanie narzędzia na dowolnej głębokości w przerwie dylatacyjnej.

Na rysunku 7.3 w rzucie aksonometrycznym, przedstawiono narzędzie do nacinania betonu w przerwie dylatacyjnej. Z kolei na rysunku 7.4 przedstawiono rysunek techniczny narzędzia do nacinania betonu w przerwie dylatacyjnej.



**Rys. 7.3** Narzędzie do nacinania betonu w przerwie dylatacyjnej: 1 - trzpień stalowy, 2 – frez diamentowy, 3 – zakończenie gwintowane.



**Rys. 7.4** Rysunek techniczny narzędzia do nacinania betonu w przerwie dylatacyjnej.

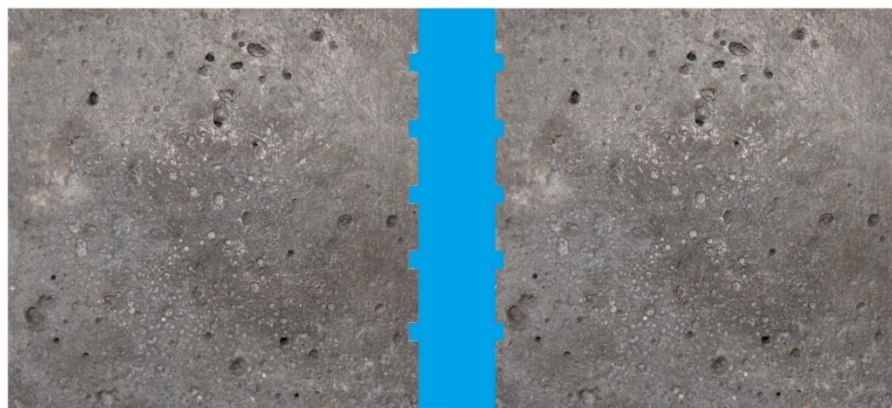
Zaletą narzędzia do nacinania powierzchni betonu w przerwie dylatacyjnej jest:

- możliwość umieszczenia narzędzia w dylatacjach o rozwarości od 20 mm i szerszych;
- możliwość umieszczenia narzędzia na różnej głębokości w dylatacji poprzez zastosowanie odpowiednich przedłużeń trzpienia stalowego;
- możliwość wymiany zużytej lub uszkodzonej końcówki nacinającej.

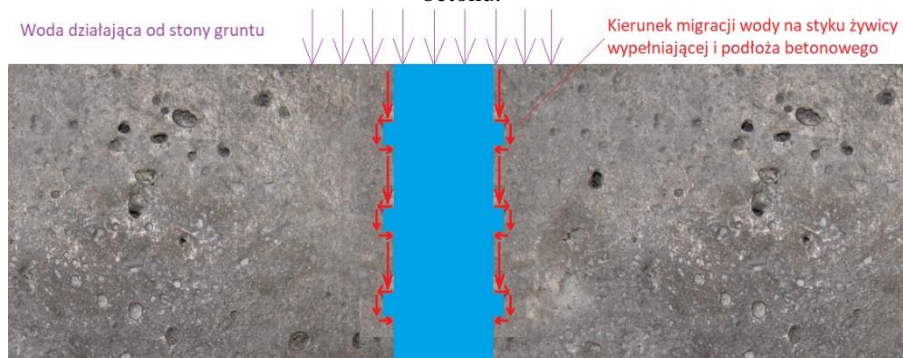
Metoda działania narzędzia do nacinania powierzchni betonu w przerwie dylatacyjnej polega na umieszczeniu narzędzia w uchwycie wiertarki obrotowej o momencie obrotowym min. 1500-2000 obr/min. Po uruchomieniu wiertarki narzędzie do nacinania betonu wprowadzane jest w ruch obrotowy. Po dociśnięciu narzędzia do powierzchni betonu następuje nacinanie na zadaną głębokość. Przesuwanie narzędzia w kierunku równoległym do krawędzi szczeliny umożliwia wykonanie linii nacięć na zadanej głębokości w przerwie dylatacyjnej. Następnie narzędzie odsuwane jest od betonu i przykładane do drugiej powierzchni bocznej w szczelinie przerwy dylatacyjnej.

Nacinanie powierzchni betonu w szczelinie przerwy dylatacyjnej ma na celu zwiększenie powierzchni szepnej z żywicznym materiałem wypełniającym. Nacięcia powodują również

wydłużenie drogi dla wody, która może przeciekać na styku materiału wypełniającego i powierzchni betonu. Na rysunku 7.5 przedstawiono przekrój szczeliny przerwy dylatacyjnej wypełnioną żywicą z widocznymi nacięciami powierzchni betonu. Z kolei na rysunku 7.6 pokazano możliwe kierunki migracji wody w szczelinie przerwy dylatacyjnej wypełnionej żywicą, na styku materiału wypełniającego i powierzchni betonu.



**Rys. 7.5** Przekrój szczeliny przerwy dylatacyjnej wypełnionej żywicą z widocznymi nacięciami powierzchni betonu.



**Rys. 7.6** Kierunki migracji wody w szczelinie przerwy dylatacyjnej wypełnionej żywicą na styku materiału wypełniającego i powierzchnią betonu.

## 7.2 Analiza profilu betonu

Uzyskanie właściwej powierzchni betonu w szczelinie przerwy dylatacyjnej jest bardzo trudne. Wymaga to nie tylko cierpliwości od wykonawcy, ale również zastosowania specjalnie dobranych narzędzi ułatwiających dotarcie do wnętrza szczeliny w przerwie dylatacyjnej (pkt 7.1.1 i 7.1.2).

Badania jakości przygotowanego podłoża, na przykład przy zastosowaniu znanych i obecnie stosowanych metod w szczelinach przerw dylatacyjnych nie jest praktycznie możliwe. Standardowa rozwartość dylatacji wynosząca najczęściej 20 mm uniemożliwia umieszczenia urządzeń pomiarowych w celu dokonania pomiaru.

Przeprowadzone badania własne (rozdział 5) wykazały wpływ rodzaju podłoża w postaci sposobu przygotowania na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych. Materiały wypełniające przerwy dylatacyjne charakteryzują się wysoką elastycznością, lecz ich głównym problemem jest przyczepność do powierzchni betonu. Rozmiary szczelin dylatacyjnych uniemożliwiają wykonanie typowych zabiegów czyszczenia i przygotowania betonu [54], [60] takich jak: frezowanie, szlifowanie, śrutowanie, hydropiaskowanie, hydromonitoring. Jedynymi technikami obecnie stosowanymi na budowach, umożliwiającymi czyszczenie betonu w szczelinach przerw dylatacyjnych pozostaje praktycznie ręczne czyszczenie przy użyciu szczotek drucianych. Zastosowanie nowatorskich narzędzi (pkt 7.1.1 i 7.1.2) umożliwi wykonanie przygotowania podłoża betonowego w szczelinie przerwy dylatacyjnej.

W celu porównania jakości uzyskiwanego podłoża na powierzchni próbek betonowych używanych do konstruowania modeli przerw dylatacyjnych w badaniach własnych przeprowadzono nieniszczące badania chropowatości powierzchni betonu. Badaniom poddano próbki betonowe z trzema wariantami przygotowania podłoża betonowego, a mianowicie powierzchnia nieczyszczona, powierzchnia ręcznie czyszczona i powierzchnia czyszczona mechanicznie. Następnie przeprowadzono badanie przestrzennej struktury geometrycznej powierzchni próbek z wykorzystaniem pomiaru metodą nieniszczącą - profilometrem skaningowym optycznym, co pozwoliło na wykonanie pomiarów geometrii, profilu i chropowatości powierzchni betonu. Dodatkowo wykonano analizę cech powierzchni i przedstawiono je w formie histogramów, krzywych udziału materiału Abotta-Firestona oraz profili mikronierówności powierzchni na podstawie dwóch wybranych płaszczyzn tnących. Wyznaczono również parametry określające topografię powierzchni związane z obszarem: wysokościowe, częstotliwościowe, hybrydowe oraz funkcje i parametry z nimi związane. Na podstawie otrzymanych profili powierzchni określone zostały parametry charakteryzujące kształt i wymiary mikronierówności. Przeprowadzono szczegółowe pomiary morfometryczne, profili geometrycznych, chropowatości i analizy poziomu faliści powierzchniowych oraz przestrzennych lokalizacji tych parametrów.

### **7.2.1. Wstęp do analizy profilu powierzchni betonu w przerwie dylatacyjnej**

Badanie przestrzennej struktury geometrycznej powierzchni próbek przeprowadzono z wykorzystaniem pomiaru metodą nieniszczącą profilometrem skaningowym optycznym InfiniteFocusG5 firmy Bruker Alicone. Pozwoliło to na wykonanie pomiarów geometrii,

profilu i chropowatości optycznym 5-osiowym systemem pomiarowym i zebranie danych z prędkością do 1,7 mln punktów na sekundę. W przeprowadzonych badaniach profilu betonu zastosowano obiektyw  $\times 5$  z rozdzielczością poprzeczną  $3,52 \mu$  oraz rozdzielczością pionową  $410 \text{ nm}$  dla pola pomiaru  $x \times y$ :  $2,82 \times 2,82 \text{ mm}$ . Ponieważ cały obszar pola próbki nie mógł być przeskanowany ze względu na błędy kształtu powierzchni, którym mogłyby być obciążone wyniki przy skanowaniu krawędzi, zawężono go do rozmiaru  $99 \times 99 \text{ mm}$ . Reprezentacja graficzna chmury punktów, przedstawiona w tabeli 5.3, kolumna R1 pokazuje błąd nieregularności powierzchni – ubytek materiału w narożniku, który nastąpił podczas rozformowywania próbek. Wprowadzona korekta obszaru pozwoliła na wyeliminowanie wartości obciążonych błędem, wskutek czego analizie poddano powierzchnie  $9801 \text{ mm}^2$  i rozdzielczości na poziomie  $3162 \times 3162$ , co daje łącznie  $9\,998\,244$  przeskanowanych punktów pomiarowych. Analizę cech powierzchni przeprowadzono zgodnie z wytycznymi norm ISO 4287 [139] oraz ISO 25178 [115], [136], [137], [138], wprowadzenie których umożliwia oprogramowanie urządzenia. W wygenerowanych raportach otrzymano histogramy, krzywe udziału materiału Abotta-Firestona oraz profile mikronierówności powierzchni na podstawie dwóch wybranych płaszczyzn tnących, oznaczonych D-D oraz E-E. Wyznaczono również parametry określające topografię powierzchni związane z obszarem: wysokościowe, częstotliwościowe, hybrydowe, oraz funkcje i parametry z nimi związane.

Na podstawie otrzymanych profili powierzchni określone zostały parametry charakteryzujące kształt i wymiary mikronierówności. Dalszą interpretację wyników przeprowadzono w oprogramowaniu do analizy powierzchni obrazów pozyskiwanych metodami optycznymi MountainsMap® Premium firmy Digital Surf. Pozwoliło to na przeprowadzenie szczegółowych pomiarów morfometrycznych, profili geometrycznych, chropowatości i analizy poziomu falistości powierzchniowych oraz przestrzennych lokalizacji tych parametrów. Dzięki zaawansowanym opcjom programu zwizualizowano powierzchnie 3D w rozdzielczości 24-bitowej z jednoczesną manipulacją nimi w czasie rzeczywistym. Zastosowano rendering z paletą barw, wyczyszczono dane pomiarowe za pomocą zaawansowanego filtra do usuwania nieprawidłowości, co przyspieszyło wykrywanie cech powierzchniowych i ewentualnych nieprawidłowości oraz umożliwiło stworzenie warstw na dowolnym obrazie SPM (np. faza) dla topografii 3D w celu analizy korelacji.



### 7.2.2. Wyniki badań profilu betonu

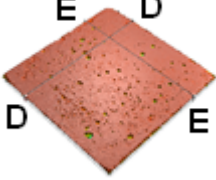
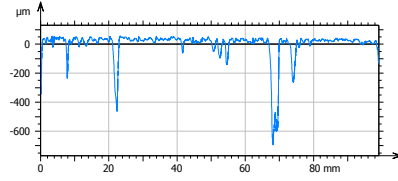
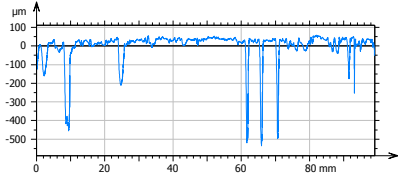
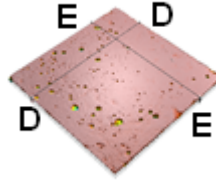
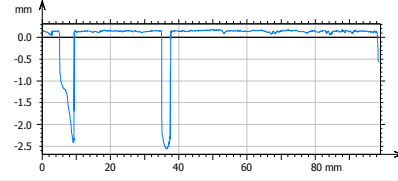
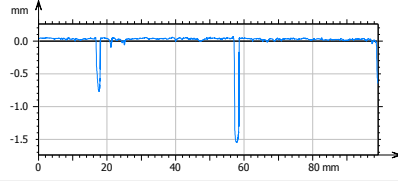
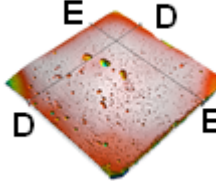
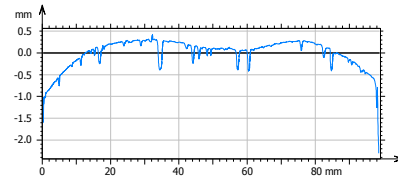
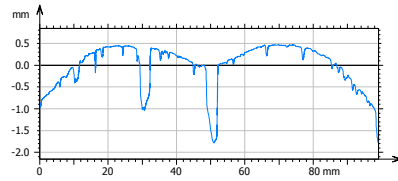
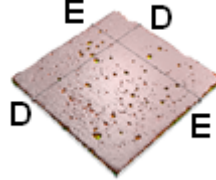
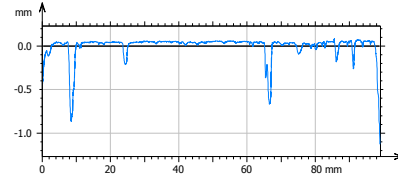
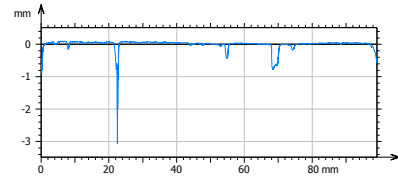
Na podstawie szczegółowej analizy topografii powierzchni próbek B, R i M (po 3 próbki na każdy sposób przygotowania podłoża) wygenerowano wyniki w postaci parametrów wysokościowych, hybrydowych, objętości oraz cech funkcjonalnych, a następnie przedstawiono je w tabeli 5.2.

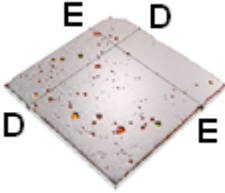
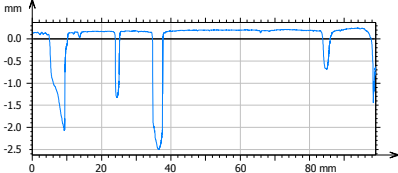
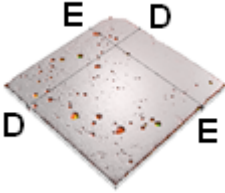
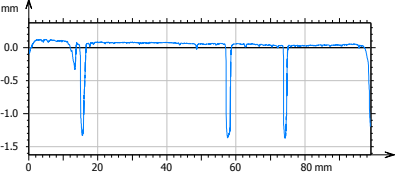
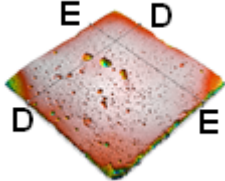
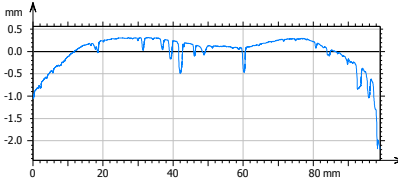
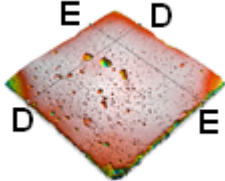
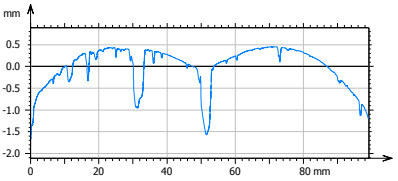
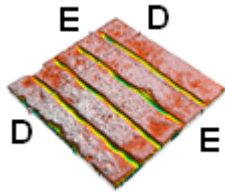
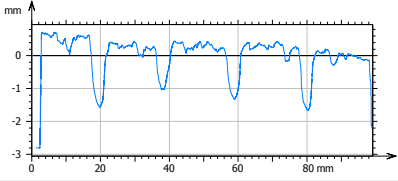
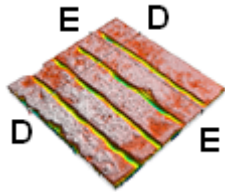
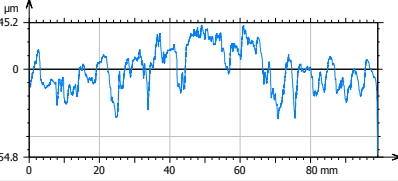
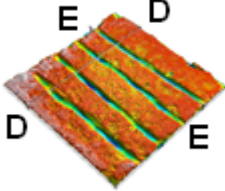
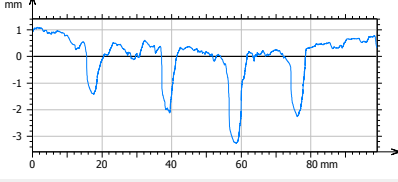
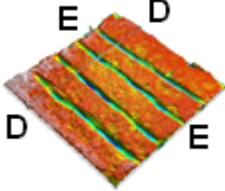
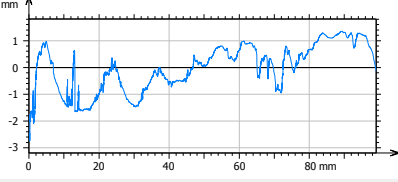
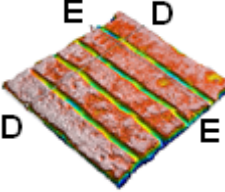
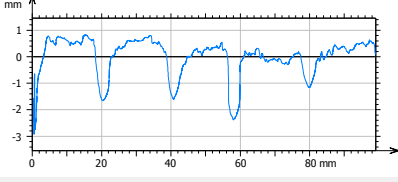
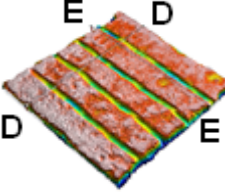
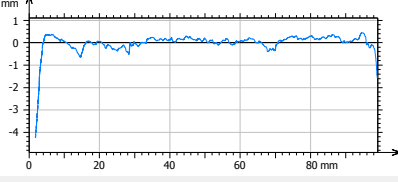
Porównując wyniki przedstawione w tabeli 5.2 można stwierdzić, że większą nośność na styku betonu z materiałem wypełniającym modelu przerwy dylatacyjnej będą miały podłoża oczyszczone mechanicznie. Wpływa na to większa chropowatość powierzchni styku. Zanotowano przyrost współczynnika średniej chropowatości powierzchni  $S_a$ , między próbkami oznaczonymi B1/M1, B2/M2, B3/M3 kolejno o 403,64%, 473,69%, 302,04%. W seriach między próbkami B1/R1, B2/R2 różnice te były znacznie mniejsze i wskazywały na zwiększenie chropowatości poddanej obróbce ręcznej powierzchni o około 19%. Natomiast dla serii B3/R3 wartość  $S_a$  została pomniejszona o 2,46%, co świadczy o wygładzeniu wzniesień i dolin wskutek obróbki ręcznej analizowanych powierzchni w stosunku do powierzchni pierwotnej. Na powierzchni próbek B1, B2, B3 można było zaobserwować mleczko betonowe, które wypełniło nierówności struktury zewnętrznej. Powierzchnię betonu próbek M1, M2 i M3, podłoża czyszczonego mechanicznie, przygotowano przy użyciu nowatorskich narzędzi do czyszczenia i nacinania betonu. Tak ukształtowana faktura betonu wpływa na bardziej efektywne wnikanie materiału wypełniającego w pory i nierówności, prowadząc do zwiększenia jego wytrzymałości na rozciąganie.

Parametrem, który charakteryzuje ukształtowanie powierzchni jest objętość wgłębień pustek powietrznych  $V_{vv}$ , podawana w  $\text{ml/m}^2$  i opisująca pojemność płynu, w tym przypadku materiału uszczelniającego mogącego wypełnić pory betonu. Średnia różnica objętości pustek między próbkami w serii B1, B2 i B3 i R1, R2 i R3 wyniosła  $3,91\text{ml/m}^2$ , natomiast między próbkami serii B1, B2 i B3, a powierzchniami poddanymi obróbce mechanicznej M1, M2 i M3 wyniosła  $107,54\text{ml/m}^2$ . W znaczący sposób wpłynie to na poprawę adhezji mechanicznej połączenia dla powierzchni betonu czyszczonego mechanicznie.

W przeprowadzonej analizie uwzględniono również pomiar struktury geometrycznej powierzchni z wykorzystaniem profili 2D, wygenerowanych na podstawie dwóch identycznie położonych przekrojów poprzecznych D-D oraz E-E wszystkich próbek betonowych, co przedstawiono w tabeli 7.1.

Tabela 7.1. Profile 2D - przekroje poprzeczne D-D, E-E powierzchni próbek betonowych

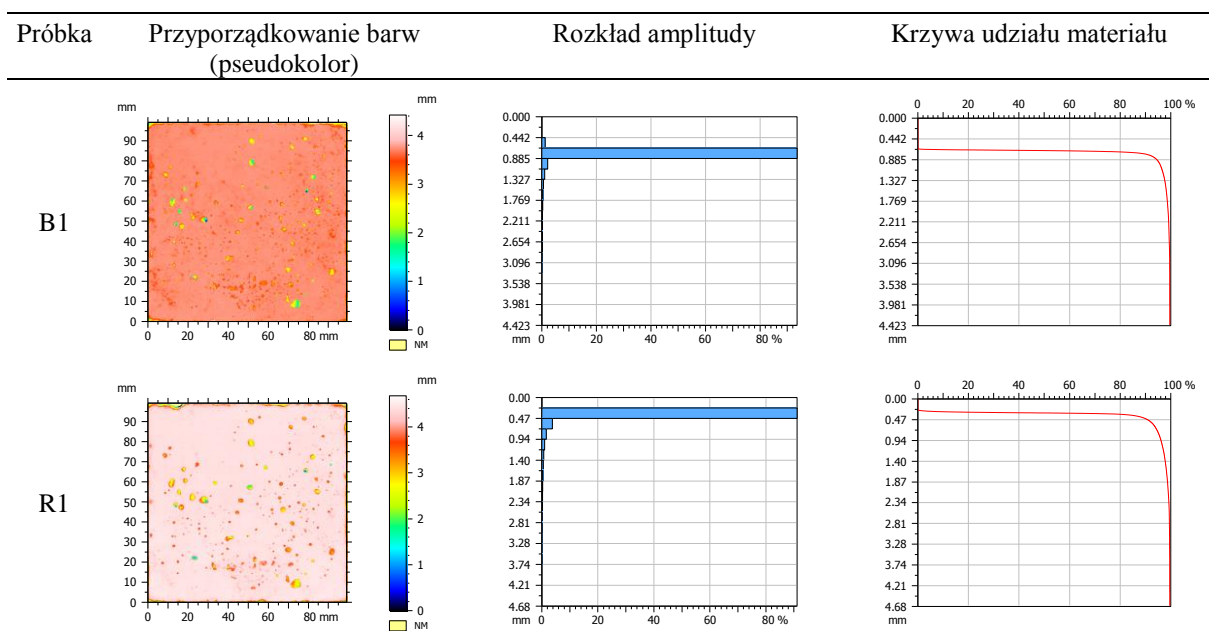
Oznaczenie	Przekrój w jednym kierunku	Przekrój w drugim kierunku
<p>B1</p> 	<p>Przekrój D – D</p>  <p>długość 99,13 mm</p>	<p>Przekrój E – E</p>  <p>długość 99,10 mm</p>
<p>B2</p> 	<p>Przekrój D – D</p>  <p>długość 99,10 mm</p>	<p>Przekrój E – E</p>  <p>długość 99,10 mm</p>
<p>B3</p> 	<p>Przekrój D – D</p>  <p>długość 99,07 mm</p>	<p>Przekrój E – E</p>  <p>długość 99,10 mm</p>
<p>R1</p> 	<p>Przekrój D – D</p>  <p>długość 99,10 mm</p>	<p>Przekrój E – E</p>  <p>długość 99,13 mm</p>

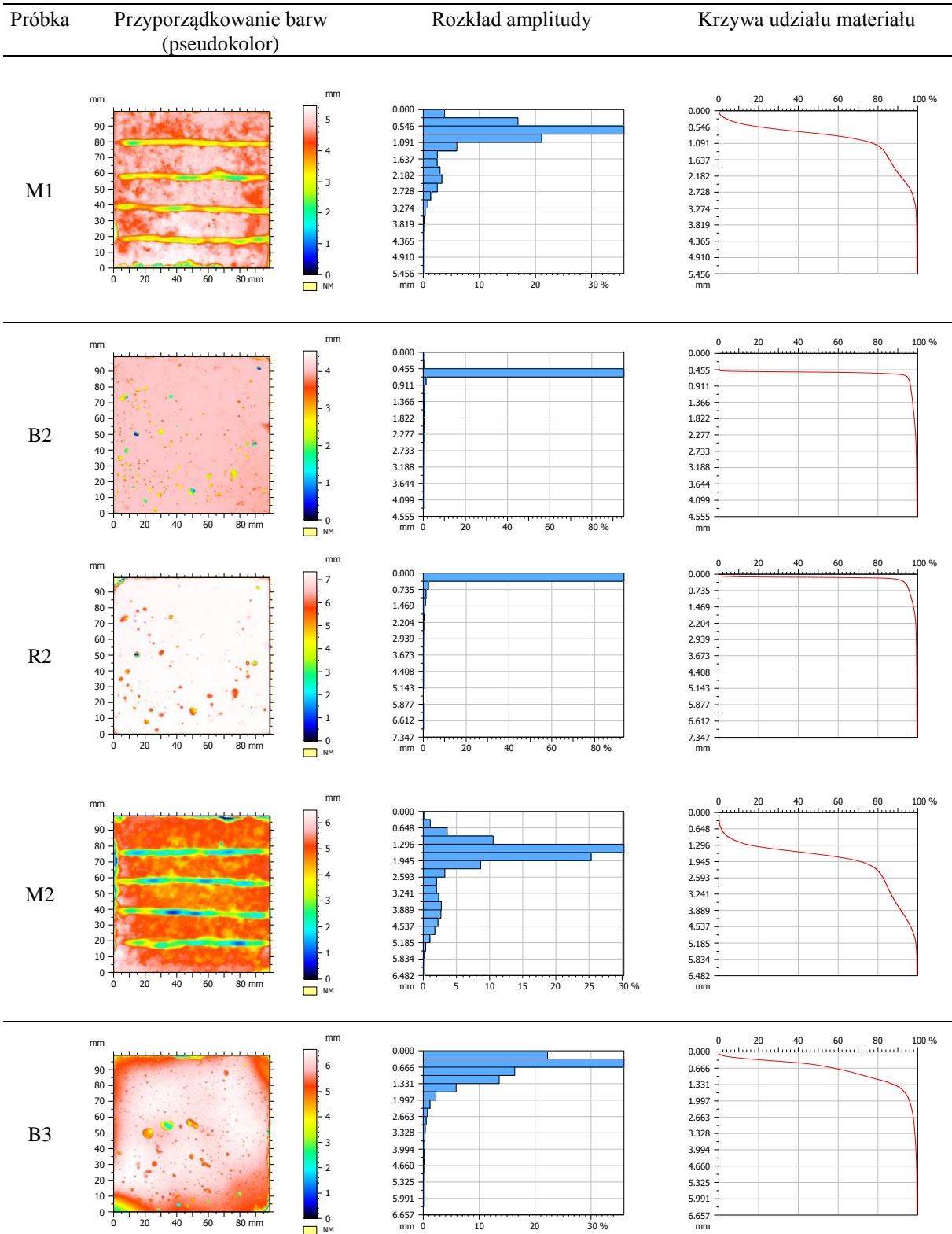
Oznaczenie	Przekrój w jednym kierunku	Przekrój w drugim kierunku
R2	Przekrój D – D   długość 99,07 mm	Przekrój E – E   długość 99,10 mm
R3	Przekrój D – D   długość 99,10 mm	Przekrój E – E   długość 99,16 mm
M1	Przekrój D – D   długość 99,10 mm	Przekrój E – E   długość 99,13 mm
M2	Przekrój D – D   długość 99,07 mm	Przekrój E – E   długość 99,07 mm
M3	Przekrój D – D   długość 99,10 mm	Przekrój E – E   długość 99,07 mm

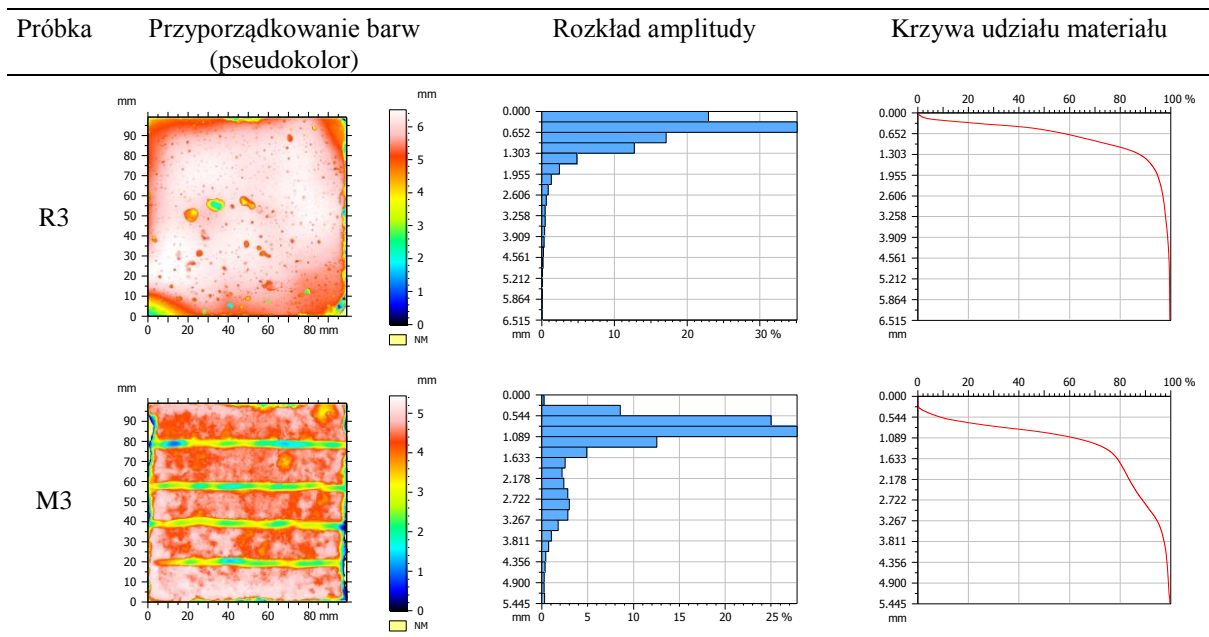
Większość interakcji powierzchni, włączając wszelkie zagadnienia kontaktu dwóch powierzchni, to zjawiska trójwymiarowe i taką właśnie mają naturę, a ich opis nie może ograniczać się jedynie do analizy profilu. Problem pojawia się szczególnie w zjawiskach kontaktu powierzchni, kiedy to pomiar profilu może zaniżyć wysokości nierówności, albo w ogóle nie objąć tych najistotniejszych. Pozostaje zatem konieczność wykonania analizy 3D. W tabeli 7.1 zdecydowano się jednak zaprezentować profile pierwotne mikro nierówności powierzchni, z których odczytać można wartości rzędnej  $z(x)$ , będącej wysokością mierzonego profilu dla dowolnej współrzędnej  $x$ , wysokość wzniesienia  $Zp$ , czy głębokość wgłębienia  $Zv$ . Dla próbek betonu, których powierzchnie modyfikowane były mechanicznie minimalna wartość  $Zv = -3,0\text{mm}$ , maksymalna natomiast  $Zp=1,4\text{mm}$  podczas, gdy największa wysokość elementu profilu dla pozostałych próbek wyniosła  $Zt=2,2\text{mm}$ . Dwukrotnie większa wartość  $Zt$  próbek badanych w serii M1, M2 i M3 w stosunku do próbek z serii B1, B2 i B3 oraz R1, R2 i R3 dla wybranych dwóch profili 2D jest spójna i potwierdza prawidłowości wynikające z analizy parametrów wysokościowych, hybrydowych, objętościowych i funkcjonalnych wygenerowanych na podstawie modeli trójwymiarowych, zestawionych w tabeli 7.1.

W tabeli 7.2 przedstawiona została krzywa udziału materiałowego dla powierzchni próbek nieczyszczonych (B), czyszczonych ręcznie (R) i czyszczonych mechanicznie (M).

**Tabela 7.2.** Krzywa udziału materiału dla powierzchni próbek nieczyszczonych (B), czyszczonych ręcznie (R) i czyszczonych mechanicznie (M).







Oś pionowa jest głębokością wyznaczoną w jednostkach pomiarowych [mm], oś pozioma tzw. współczynnikiem nośnym [%]. Krzywa udziału materiałowego pozwoliła na wyznaczenie dla danej głębokości procent materiału przecinanego w odniesieniu do pokrywanego obszaru. Przyporządkowanie barw zaprezentowane w kolumnie obrazów powierzchni stanowi odzwierciedlenie amplitudy nierówności powierzchni betonu.

Na kolejnych rozkładach amplitudy dla wszystkich dziewięciu analizowanych powierzchni próbek nieczyszczonych (B), oczyszczonych ręcznie (R) i czyszczonych mechanicznie (M) zaobserwować można analogię rozkładu współczynnika nośnego w stosunku do metody przygotowania powierzchni. Na próbkach oznaczonych M1, M2 i M3 dywersyfikacja procentowa wysokości udziału materiałowego dla nierówności powierzchni próbek jest największa, co wiąże się z agresywną obróbką mechaniczną. Natomiast między powierzchniami nieczyszczonymi (B1, B2, B3), a powierzchniami czyszczonymi ręcznie (R1, R2, R3) różnice rozkładów amplitudy są nieznaczne z tendencją do większego udziału procentowego wzniesień o wyższych wartościach dla faktur powierzchni nieczyszczonych. Wiąże się to z usunięciem warstwy mleczka cementowego pokrywającego powierzchnię próbek R1, R2 i R3 przy użyciu szczotki drucianej, co w konsekwencji doprowadziło do wyrównania powierzchni. Dla próbek powierzchni nieczyszczonych (B) największy udział materiałowy mają wzniesienia o wysokości 0,885 mm stanowiąc jednocześnie 87% wszystkich zarejestrowanych wartości, kiedy dla powierzchni czyszczonych ręcznie (R) są to wzniesienia o wartości 0,47 mm (84%), natomiast dla próbek czyszczonych ręcznie (R) i czyszczonych mechanicznie (M) różnice w tych wartościach wyniosły kolejno 0,23 mm oraz 0,15 mm.

### 7.2.3. Wnioski z badań profilu betonu

Z punktu widzenia zapewnienia niezawodności uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych istotnym parametrem jest przyczepność materiału wypełniającego do podłoża betonowego. Siły rozciągające, występujące podczas pracy konstrukcji przy szczelinach przerw dylatacyjnych są na tyle duże, iż elastyczne materiały wypełniające wykazują znacznie wcześniej oderwanie się materiału żywicznego od powierzchni betonu, niż zniszczenie jego struktury. Dlatego parametr przyczepności do podłoża decyduje w dużej mierze, który ze sposobów przygotowania powierzchni jest tym najbardziej właściwym, w celu zagwarantowania najlepszej adhezji do powierzchni betonu.

Badania wykazały, iż przy ręcznym czyszczeniu (taka metoda jest obecnie najczęściej stosowana w przygotowywaniu szczelin dylatacyjnych) powierzchnia betonu ulega wygładzeniu, natomiast w przypadku mechanicznej ingerencji w fakturę materiału zmianie ulega ukształtowanie powierzchni i następuje znaczne zwiększenie powierzchni chropowatości styku.

Przeprowadzona analiza struktury geometrycznej powierzchni jest powiązana z rozpatrywanym zagadnieniem zwiększenia szczepności w przerwach dylatacyjnych. Jeśli odległość między pikami profilu, opisywana przez wielkość  $S_z$  jest zbyt mała, to możliwym będzie blokowanie materiału uszczelniającego na nierównościach powierzchni i w konsekwencji nie wypełnienie tych miejsc. W tej sytuacji koniecznym może być zastosowanie technik ciśnieniowych, aby uniknąć tego efektu.

Z punktu widzenia nośności połączenia materiału wypełniającego z powierzchnią betonu w szczelinie przerwy dylatacyjnej istotnym parametrem jest rozwinięcie powierzchni  $S_{dr}$  (wyrażone w %). W rozpatrywanym przypadku rzeczywista powierzchnia styku ma większe znaczenie, niż wartość parametru  $S_a$  ( $S_z$ ). Dla idealnie gładkiej powierzchni  $S_{dr} = 0$  [196]. Przeprowadzone badania wskazują, iż powierzchnie próbek, które poddane zostały czyszczeniu ręcznemu i czyszczeniu mechanicznemu, charakteryzują się większymi wartościami  $S_{dr}$  i wynoszą kolejno dla próbek nieczyszczonych (B) 9,053% i 16,008%, przy początkowej 7,811%, dla próbek czyszczonych ręcznie (R) 19,416% i 22,506% przy początkowej 18,136%, dla próbek czyszczonych mechanicznie (M) 14,842% i 23,634% przy początkowej 8,934%.

Badania chropowatości powierzchni badanych próbek betonowych, wykazały najlepsze rezultaty dla powierzchni betonu czyszczonego mechanicznie w porównaniu z wynikami powierzchni betonu nieczyszczonego i czyszczonego ręcznie. Oznacza to, że zastosowane narzędzia do czyszczenia i nacinania betonu w znaczący sposób poprawiają jakość przygotowanej powierzchni betonu czyszczonej mechanicznie. Jest to istotne z punktu widzenia praktyki budowlanej.



## **8. ORYGINALNA METODYKA WYKONANIA USZCZELNIENIA PRZERWY DYLATACYJNEJ**

Biorąc pod uwagę wieloletnie doświadczenia, rezultaty oraz wynikające z badań własnych wnioski wskazujące na przydatność zaproponowanych rozwiązań poprawiających przyczepność żywic wypełniających przerwy dylatacyjne zaproponowano w pracy metodykę wykonania naprawy uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcji żelbetowej.

Propozycja metodyki ogranicza się do wykonania uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcji żelbetowej od strony wewnętrznej obiektu budowlanego. Umożliwia to naprawę trudnodostępnych miejsc wszędzie tam, gdzie nie ma możliwości na przykład odkopania danego fragmentu konstrukcji i wykonania naprawy od zewnątrz.

Do wykonania naprawy uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcji żelbetowej proponuje się zastosowanie technik opierających się na iniekcji ciśnieniowej. Technikę iniekcji ciśnieniowej wybrano w związku z tym, że jest ona często stosowana do napraw uszczelniających wycieki wody w konstrukcjach budowlanych. Umożliwia podanie materiału żywicznego i wypełnienie, wcześniej przygotowanych i oczyszczonych, szczelin w przerwach dylatacyjnych.

Zaproponowaną metodykę pokazano schematycznie na rysunku 8.1. W schemacie tym można wyróżnić dwa etapy: projektowy i wykonawczy.

Etap projektowy dzieli się na następujące kroki:

Krok 1 - Analiza konstrukcji.

Krok 2 - Projekt naprawy uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcji żelbetowej.

Z kolei etap wykonawczy dzieli się na następujące kroki:

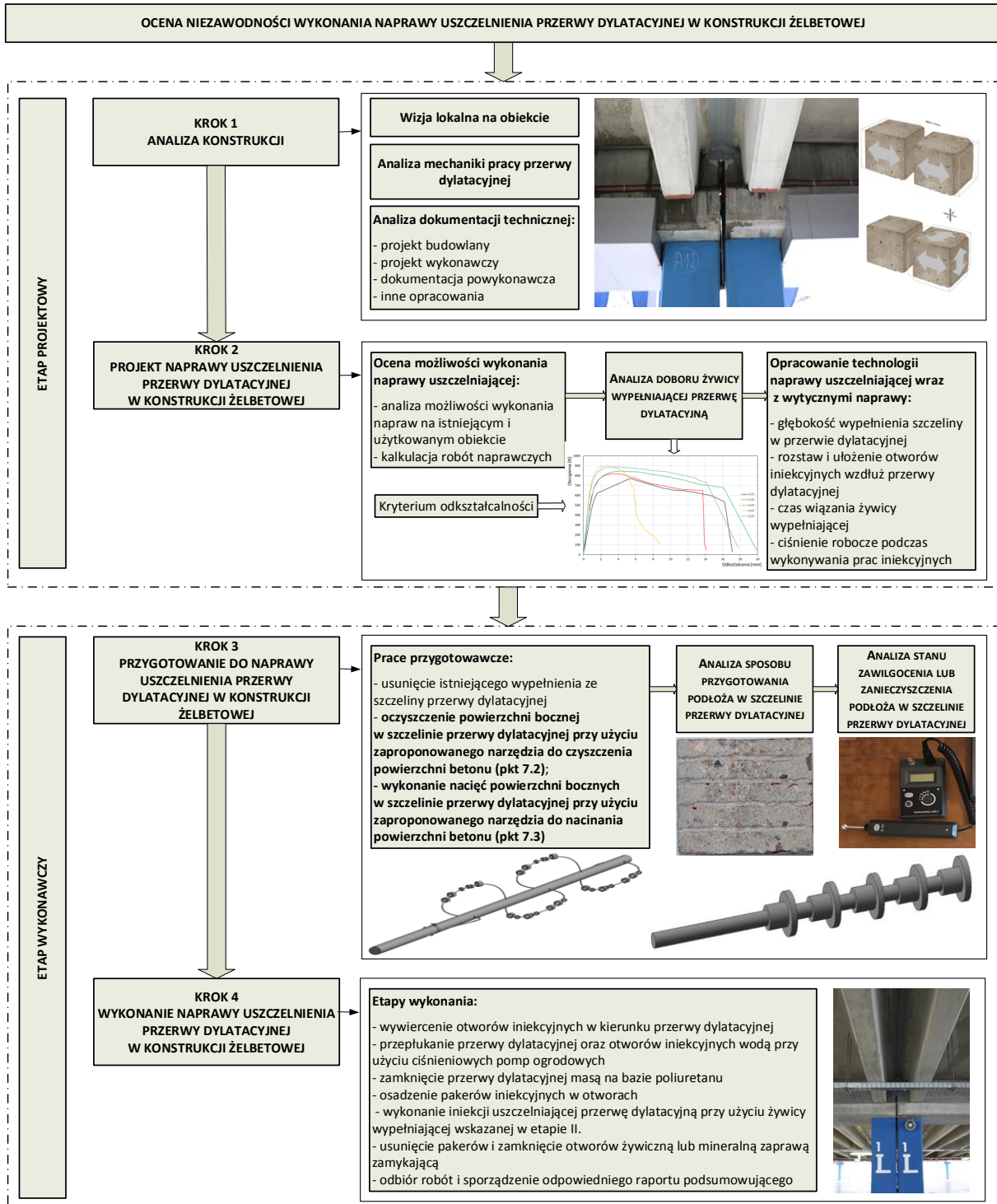
Krok 3 - Przygotowanie do naprawy uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcji żelbetowej.

Krok 4 - Wykonanie naprawy uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcji żelbetowej.

Zaproponowane w przedstawionej metodyce etapy mają wpływ na ocenę niezawodności wykonania naprawy uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcji żelbetowej.

Pierwszym krokiem w etapie projektowym jest analiza konstrukcji. W tym celu należy przeprowadzić wizję lokalną na obiekcie, w trakcie której powinny zostać zebrane podstawowe informacje o uszkodzeniach uszczelnienia przerwy dylatacyjnej, intensywności wycieków wody oraz dane o przeprowadzonych dotychczas pracach uszczelniających. W tym kroku

zostaje przeprowadzona także analiza mechaniki pracy przerwy dylatacyjnej wraz z analizą dokumentacji technicznej, w tym projektu budowlanego, projektu wykonawczego, dokumentacji powykonawczej i innych opracowań.



Rys. 8.1. Schemat obrazujący metodykę oceny niezawodności wykonania naprawy uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcji żelbetowej.

Drugi krok etapu projektowego zakłada wykonanie projektu naprawy uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcji żelbetowej. W tym miejscu należy dokonać oceny możliwości wykonania naprawy uszczelniającej na istniejącym i użytkowanym obiekcie oraz dokonać oceny ekonomicznej wybranego wariantu naprawy, na podstawie kalkulacji robót naprawczych. Najistotniejszym elementem w tym kroku etapu projektowego jest dobranie systemu naprawy uszczelnienia przerwy dylatacyjnej z uwzględnieniem istniejących warunków w konstrukcji. Przeprowadza się tu analizę doboru żywicy wypełniającej przerwę dylatacyjną w odniesieniu do przewidywanych ruchów elementów konstrukcji przy przerwie dylatacyjnej według zaproponowanego w pracy w tabeli 4.20 kryterium odkształcalności. W projekcie zawarte jest także opracowanie technologii naprawy uszczelniającej wraz z wytycznymi naprawy, do których w szczególności, zalicza się:

- dobranie głębokości wypełnienia szczeliny w przerwie dylatacyjnej;
- ustalenie rozstawu i ułożenia otworów iniekcyjnych wzdłuż przerwy dylatacyjnej;
- określenie czasu wiązania żywicy wypełniającej;
- dobranie ciśnienia roboczego podczas wykonywania prac iniekcyjnych.

Na tej podstawie można przystąpić do etapu wykonawczego wykonania naprawy uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcji żelbetowej. W pierwszym kroku tego etapu, Krok 3 w metodyce, wykonuje się prace przygotowawcze, które decydują o właściwej przyczepności żywicy wypełniającej do ścianek bocznych w szczelinie przerwy dylatacyjnej. Do prac tych należy w szczególności:

- usunięcie istniejącego wypełnienia ze szczeliny przerwy dylatacyjnej wraz z oceną stanu podłoża betonowego na bokach przerwy dylatacyjnej;
- oczyszczenie powierzchni bocznej w szczelinie przerwy dylatacyjnej przy użyciu zaproponowanego narzędzia do czyszczenia powierzchni betonu (pkt 7.1.1) wraz z oceną wizualną stanu podłoża betonowego na bokach przerwy dylatacyjnej;
- wykonanie nacięć powierzchni bocznych w szczelinie przerwy dylatacyjnej przy użyciu zaproponowanego narzędzia do nacinania powierzchni betonu (pkt 7.1.2) wraz z oceną wizualną stanu podłoża betonowego i pomiarami jego zawilgocenia nieniszczącą metodą dielektryczną bokach przerwy dylatacyjnej.

Następnie przeprowadza się analizę sposobu przygotowania i stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża w szczelinie przerwy dylatacyjnej oraz jego przydatności do dalszych prac.

W drugim kroku etapu wykonawczego, Krok 4 w metodyce, następuje wykonanie naprawy uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcji żelbetowej zgodnie z wytycznymi podanymi w projekcie naprawy. Naprawa ta polega w szczególności na:

- wykonaniu otworów iniekcyjnych w kierunku przerwy dylatacyjnej;
- przepłukaniu przerwy dylatacyjnej oraz otworów iniekcyjnych wodą przy użyciu ciśnieniowych pomp ogrodowych;
- zamknięciu przerwy dylatacyjnej masą na bazie poliuretanu;
- osadzeniu pakarów iniekcyjnych w otworach. Wszystkie pakery podczas iniekcji powinny być otwarte – bez zaworów zwrotnych;
- wykonaniu wypełnienia (po związaniu masy zamykającej) szczeliny przerwy dylatacyjnej przy użyciu żywicy wypełniającej wskazanej w etapie projektowym. Żywicę podaje się za pomocą pomp ciśnieniowych. Iniekcję ciśnieniową wypełniającą szczelinę przerwy dylatacyjnej prowadzi się do momentu, aż żywica pokaże się następnym pakarem. Iniekcję prowadzi się do momentu całkowitego wypełnienia szczeliny przerwy dylatacyjnej przechodząc kolejno przez wszystkie otwory iniekcyjne;
- usunięciu pakarów i zamknięciu otworów żywiczną lub mineralną zaprawą zamykającą.

Jak wynika z przeprowadzonego powyżej opisu metodyki na ocenę niezawodności wykonania naprawy uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcji żelbetowej ma wpływ przede wszystkim właściwe:

- a) przeprowadzenie analizy doboru żywicy wypełniającej szczelinę przerwy dylatacyjnej, w tym przeprowadzenie analizy mechaniki jej pracy i dokumentacji technicznej oraz ocenę możliwości wykonania naprawy uszczelniającej;
- b) przeprowadzenie analizy rodzaju podłoża: sposobu przygotowania i stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia w szczelinie przerwy dylatacyjnej. W pracy zaproponowano przygotowanie podłoża betonowego w szczelinie przerwy dylatacyjnej poprzez odpowiednie:
  - oczyszczenie jego powierzchni przy użyciu zaproponowanego narzędzia wg opisu w pkt 7.1.1,
  - wykonanie nacięć powierzchni bocznych przy użyciu zaproponowanego narzędzia wg opisu w pkt 7.1.2.

## 9. PRAKTYCZNE ZASTOSOWANIE METODYKI WYKONANIA USZCZELNIENIA PRZERWY DYLATACYJNEJ

Praktyczne zastosowanie metodyki wykonania uszczelnienia przerwy dylatacyjnej można wykorzystać wszędzie tam, gdzie w wyniku awarii izolacji lub uszkodzeń taśm zabezpieczających występują wycieki wody z przerwy dylatacyjnej.

Na rysunku 9.1 przedstawiono budynek biurowy zlokalizowany w Krakowie, w którym praktycznie zastosowano metodykę wykonania uszczelnienia przerwy dylatacyjnej.



**Rys. 9.1.** Budynek biurowy, w którym praktycznie zastosowano metodykę wykonania uszczelnienia przerwy dylatacyjnej.

Prace związane z wykonaniem uszczelnienia przerwy dylatacyjnej zrealizowano zgodnie z przedstawioną w opisie rozdziału 8 metodyką. Głównym celem naprawy było uszczelnienie wycieków wody z przerwy dylatacyjnej, w którym zapewnienie niezawodności uszczelnienia polegało przede wszystkim na:

- a) przeprowadzeniu doboru żywicy wypełniającej szczelinę przerwy dylatacyjnej, w tym przeprowadzeniu analizy mechaniki jej pracy i dokumentacji technicznej oraz oceny możliwości wykonania naprawy uszczelniającej;
- b) przeprowadzeniu właściwego wykonania przygotowania podłoża betonowego poprzez odpowiednie:
  - oczyszczenie jego powierzchni przy użyciu zaproponowanego narzędzia wg opisu w pkt 7.1.1,
  - wykonanie nacięć powierzchni bocznych betonu w szczelinie przerwy dylatacyjnej przy użyciu zaproponowanego narzędzia wg opisu w pkt 7.1.2.

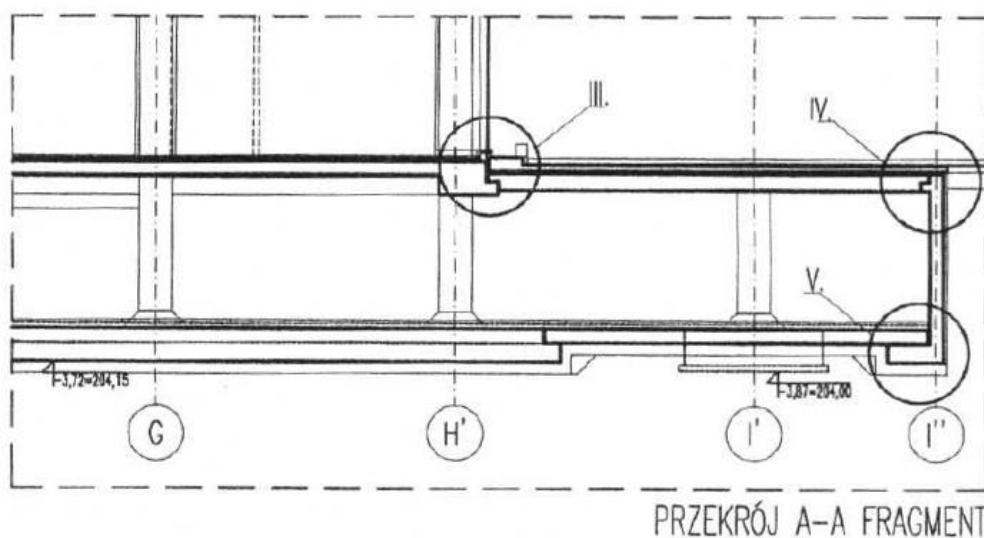
Pierwszym etapem naprawy był etap projektowy. Wymagało to współpracy projektanta obiektu oraz inwestora bezpośrednio zainteresowanego wykonaniem uszczelnienia.

W pierwszym kroku dokonano wizji lokalnej na obiekcie. Omawiany budynek biurowy zlokalizowany jest w Krakowie i składa się z 10 kondygnacji nadziemnych oraz jednej kondygnacji podziemnej. Parking podziemny, w podziemnej kondygnacji budynku, zajmuje znacznie większą powierzchnię niż wysoka część biurowa. Toteż wymagało to od projektanta dokonania stosownych podziałów konstrukcyjnych części budynku w postaci przerw dylatacyjnych. Przerwy dylatacyjne oddzielały przede wszystkim część wysoką budynku od konstrukcji podziemnej części parkingu. Dodatkowo podziały konstrukcji budynku dotyczyły powierzchni konstrukcji stropu nad garażem z zewnętrznymi ścianami konstrukcyjnymi. W trakcie eksploatacji obiektu doszło do uszkodzenia zamknięcia uszczelniającego wypełnienia przerwy dylatacyjnej i pojawiły się w tym miejscu przecieki. Na rysunku 9.2 przedstawiono stan konstrukcji przed naprawą z widocznymi uszkodzeniami w postaci wycieków wody z przerwy dylatacyjnej.

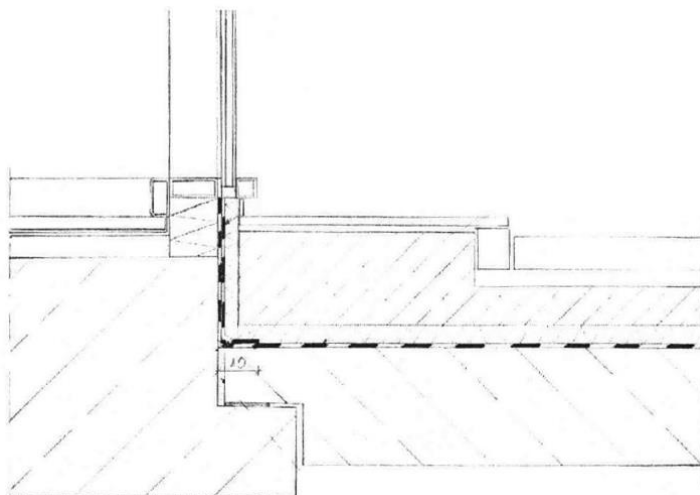


**Rys. 9.2.** Stan konstrukcji przed naprawą z widocznymi uszkodzeniami w postaci wycieków wody z przerwy dylatacyjnej.

Kolejno, we współpracy z projektantem zostały przygotowane informacje na temat aktualnego stanu konstrukcji na podstawie istniejącej dokumentacji technicznej obiektu, w postaci projektów budowlanego i wykonawczego. Dodatkowo przeprowadzono analizę konstrukcji pod kątem mechaniki pracy przerwy dylatacyjnej i ustalono, że przemieszczenia elementów konstrukcji względem siebie nie powinny być większe niż 50% aktualnej rozwartości szczeliny przerwy dylatacyjnej. Rozwartość szczelin przerw dylatacyjnych według dokumentacji projektowej powinna wynosić 20 mm. Na rysunku 9.3 przedstawiono fragment dokumentacji projektowej budynku biurowego pokazujący układ konstrukcyjny części nadziemnej budynku biurowego oraz konstrukcji stropu nad kondygnacją podziemną. Z kolei na rysunku 9.4 przedstawiono detal połączenia konstrukcji stropu w miejscu występowania przerwy dylatacyjnej.



**Rys. 9.3.** Fragment dokumentacji projektowej budynku biurowego pokazujący układ konstrukcyjny części nadziemnej budynku biurowego oraz konstrukcji stropu nad kondygnacją podziemną.



**Rys. 9.4.** Detal połączenia konstrukcji stropu w miejscu występowania przerwy dylatacyjnej.

W drugim kroku etapu projektowego dokonano analizy możliwości wykonania naprawy uszczelniającej na istniejącym i użytkowanym obiekcie. Rozpatrywano 2 warianty napraw:

- wariant 1 – wykonanie napraw polegających na odkopaniu, usunięciu istniejących warstw nawierzchni wzdłuż przerw dylatacyjnych od strony zewnętrznej budynku i wykonaniu zabezpieczenia przerwy dylatacyjnej w postaci taśm uszczelniających i szczelnie zamykających przerwy dylatacyjne. Wiązało się to jednak z koniecznością organizacji ruchu na przyległym placu, drogach dojazdowych, powierzchni parkingu zewnętrznego oraz wzdłuż opaski dookoła budynku.

- wariant 2 – wykonanie napraw polegających na wypełnieniu przerwy dylatacyjnej żywicą podawaną w technice iniekcji ciśnieniowej. Umożliwiało to wykonanie napraw uszczelniających od wnętrza budynku od strony parkingu podziemnego.

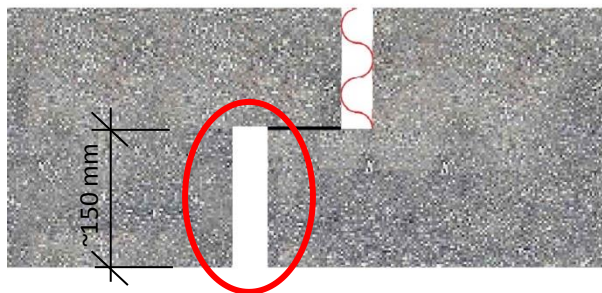
Przeprowadzona analiza wykonania napraw na istniejącym i użytkowanym obiekcie oraz analiza kosztów zaproponowanych wariantów napraw w ostateczności przyczyniła się do wyboru wariantu 2, tj. wykonania naprawy uszczelnienia przerwy dylatacyjnej poprzez wypełnienie przerwy dylatacyjnej żywicą podawaną w technice iniekcji ciśnieniowej.

Następnie przeprowadzono istotny z punktu widzenia zapewnienia niezawodności uszczelnienia przerwy dylatacyjnej krok, polegający na dokonaniu analizy doboru żywicy wypełniającej przerwę dylatacyjną. Wykorzystując zaproponowane w rozprawie kryterium odkształcalności oraz biorąc pod uwagę wyznaczone zakresy możliwego przemieszczania się elementów konstrukcji przy przerwach dylatacyjnych w omawianym obiekcie, zdecydowano się na zastosowanie żywicy wypełniającej na bazie tiksotropowego akrylu z polimerem. W pracy żywicę tą oznaczono numerem 1.

Ostatecznie opracowano projekt technologii naprawy uszczelniającej wraz z wytycznymi naprawy obejmujący następujące etapy robót:

- usunięcie z wnętrza szczeliny przerwy dylatacyjnej wszystkich wypełnień oraz uszczelnień do głębokości odsadzki, czyli na około 150 mm. Na rysunku 9.5 przedstawiono przekrój przerwy dylatacyjnej po dokonaniu usunięcia wypełnienia z dolnej części szczeliny, przeznaczonej do wypełnienia żywicą uszczelniającą;



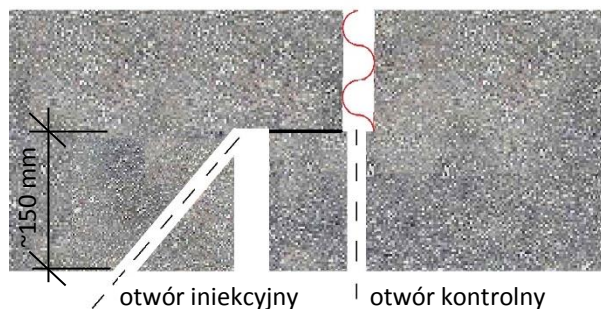


**Rys. 9.5.** Przekrój przerwy dylatacyjnej po dokonaniu usunięcia wypełnienia z dolnej części szczeliny przeznaczony do wypełnienia żywicą uszczelniającą.

- oczyszczenie powierzchni bocznej betonu w szczelinie przerwy dylatacyjnej z wykorzystaniem narzędzia do czyszczenia powierzchni betonu opisanego w pkt. 7.1.1 rozprawy oraz narzędzia do wykonywania nacięć powierzchni bocznych betonu w szczelinie przerwy dylatacyjnej opisanego w pkt. 7.1.2 rozprawy;

- wykonanie otworów iniekcyjnych w kierunku przerwy dylatacyjnej w rozstawie co 400 mm. Otwory mają przecinać szczelinę przerwy dylatacyjnej na wysokości około 50-80 mm od powierzchni sufitowej;

- wykonanie otworów iniekcyjnych / kontrolnych w kierunku przerwy dylatacyjnej w rozstawie co 1000 mm. Otwory mają przecinać szczelinę przerwy dylatacyjnej w górnej części szczeliny przerwy dylatacyjnej. Na rysunku 9.6 przedstawiono układ otworów iniekcyjnych służących do wypełnienia uszczelniającego szczelinę przerwy dylatacyjnej;



**Rys. 9.6.** Układ otworów iniekcyjnych służących do wypełnienia uszczelniającego szczelinę przerwy dylatacyjnej.

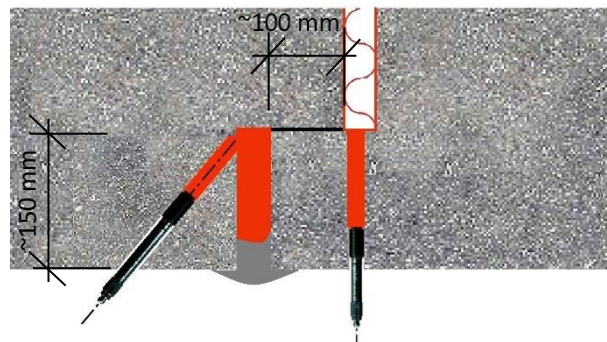
- przepłukanie otworów wodą;

- zamknięcie dylatacji mineralnym materiałem uszczelniającym;

- osadzenie pakerów iniekcyjnych w otworach;

- wykonanie iniekcji wypełniającej szczelinę przerwy dylatacyjnej przy użyciu żywicy na bazie tiksotropowego akrylu z polimerem. Żywicę podaje się pompą ciśnieniową dwukomponentową. Czas reakcji żywicy ustala się na około 5–10 min. Iniekcję prowadzi się

do momentu, aż wzrośnie ciśnienie na pompie iniekcyjnej, żywica pokaże się następnym pakerem lub zostanie zużyta zakładana na dany paker ilość materiału. Rysunek 9.7 przedstawia detal szczeliny przerwy dylatacyjnej wypełnionej żywicą na bazie tiksotropowego akrylu z polimerem.



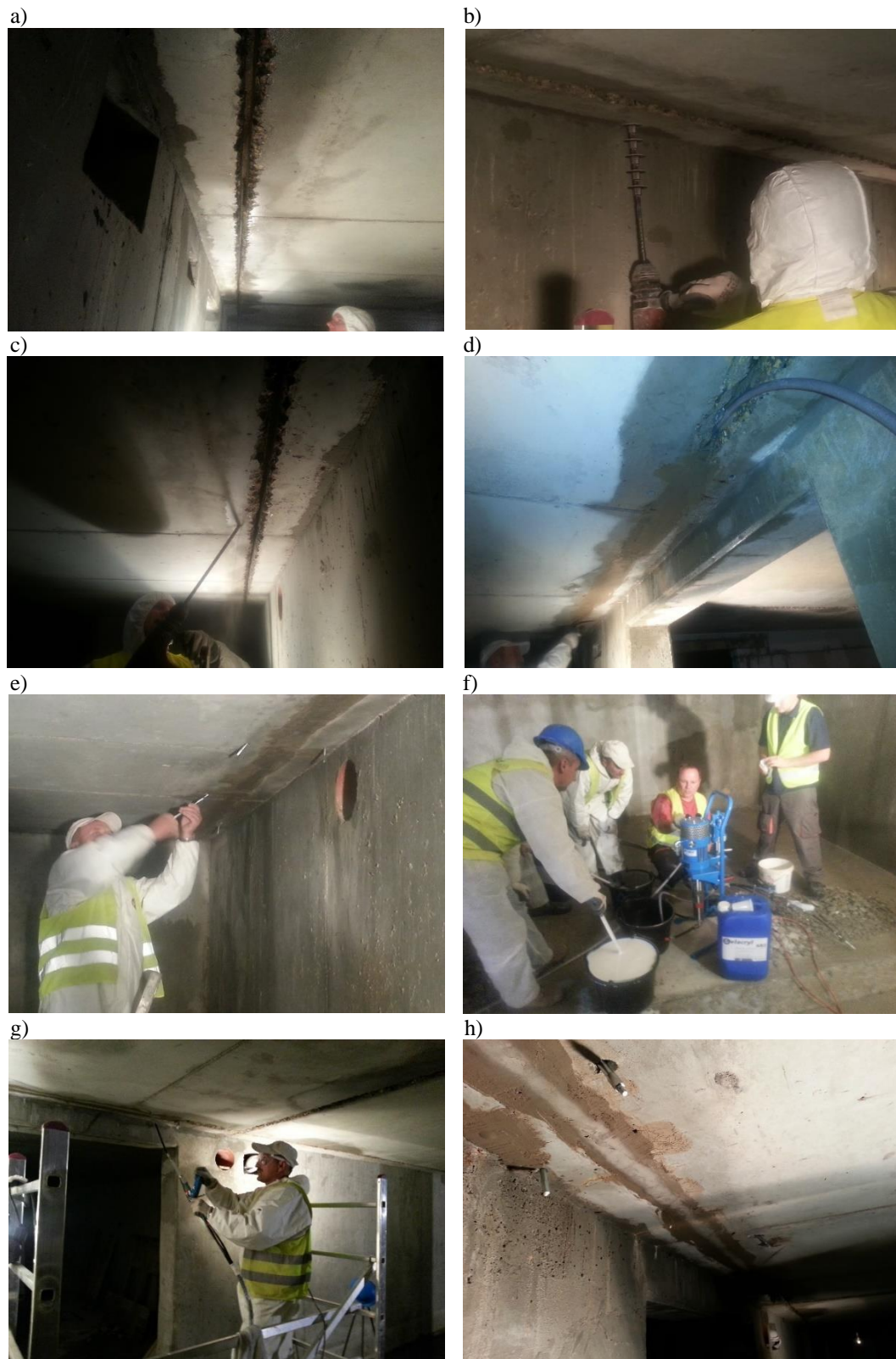
**Rys. 9.7.** Detal szczeliny przerwy dylatacyjnej wypełnionej żywicą na bazie tiksotropowego akrylu z polimerem.

- usunięcie mineralnego zamknięcia przerwy dylatacyjnej;
- umieszczenie profilu dylatacyjnego polipropylenowego o średnicy o 30% większej od rozwartości szczeliny przerwy dylatacyjnej na głębokości około 30mm;
- zamknięcie przerwy dylatacyjnej poliuretanową masą elastyczną.

Zaproponowana technologia naprawy uszczelnienia przerwy dylatacyjnej została zaakceptowana przez Inwestora. Można było zatem przystąpić do etapu wykonawczego według technologii naprawy przedstawionej powyżej. Na rysunku 9.8 przedstawiono dokumentację fotograficzną prac uszczelnienia przerwy dylatacyjnej.

W etapie wykonawczym naprawy uszczelnienia przerwy dylatacyjnej przeprowadzono prace przygotowawcze polegające w pierwszej kolejności na usunięciu istniejącego wypełnienia ze szczeliny przerwy dylatacyjnej od spodu stropu (rysunek 9.5 i 9.8a).

Następnie przeprowadzono istotny z punktu widzenia zapewnienia niezawodności uszczelnienia przerwy dylatacyjnej krok, polegający na dokonaniu oczyszczenia powierzchni bocznej betonu w szczelinie dylatacyjnej przy użyciu zaproponowanego narzędzia do czyszczenia betonu opisanego w punkcie 7.1.1 rozprawy oraz wykonaniu nacięć powierzchni bocznych betonu w szczelinie przerwy dylatacyjnej przy użyciu zaproponowanego narzędzia do nacinania powierzchni betonu według opisu w pkt 7.1.2 rozprawy (rysunek 9.8b).



**Rys. 9.8.** Dokumentacja fotograficzna prac związanych z wykonaniem uszczelnienia przerwy dylatacyjnej: a) usunięcie istniejącego wypełnienia ze szczeliny przerwy dylatacyjnej i mycie szczeliny przerwy dylatacyjnej, b) oczyszczenie i wykonanie nacięć powierzchni bocznej w szczeliny przerwy dylatacyjnej, c) nawiercenie otworów iniekcyjnych, d) zamknięcie przerwy dylatacyjnej, e) osadzenie pakierów iniekcyjnych, f) przygotowanie materiału żywicznego, g) iniekcja ciśnieniowa wypełniająca szczelinę przerwy dylatacyjnej, h) kontrola iniekcji przez otwory kontrolne i odbiór robót.

Po wykonaniu prac przygotowawczych powierzchnia betonu poddana została wizualnej ocenie stanu podłoża betonowego wraz z pomiarami jego zawilgocenia nieniszczącą metodą dielektryczną.

W kolejnym kroku etapu wykonawczego, po dokonaniu oceny przygotowanej powierzchni betonu boków w szczelinie przerwy dylatacyjnej wykonano:

- otwory iniekcyjne i otwory kontrolne w kierunku przerwy dylatacyjnej (rysunek 9.6 i 9.8c);

- mycie powierzchni betonu oraz otworów iniekcyjnych wodą przy użyciu ciśnieniowych pomp ogrodowych;

- zamknięcie przerwy dylatacyjnej zaprawą mineralną na czas wykonania wypełnienia (rysunek 9.8d);

- osadzenia pakerów iniekcyjnych w otworach (rysunek 9.8e);

- przygotowanie materiału żywicznego do iniekcji poprzez odpowiednie wymieszanie składników żywicy w celu doboru odpowiedniego czasu wiązania (rysunek 9.8f);

- iniekcje uszczelniającą wypełniającą szczelinę przerwy dylatacyjnej przy użyciu żywicy wypełniającej wskazanej w etapie projektowym wraz z kontrolą iniekcji przez otwory kontrolne (rysunek 9.8g i 9.8h);

- usunięcie pakerów iniekcyjnej z otworów i zamknięcie otworów mineralną zaprawą wypełniającą;

- usunięcie mineralnego, tymczasowego zamknięcia przerwy dylatacyjnej i nałożenie elastycznej masy na bazie poliuretanu.

Po wykonaniu robót przeprowadzono wizję lokalną, podczas której dokonano odbioru wykonania naprawy uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcji żelbetowej.

## 10. WNIOSKI I UWAGI KOŃCOWE

### 10.1. Podsumowanie

Problemem naukowym, a zarazem celem niniejszej rozprawy była identyfikacja wpływu podłoża oraz wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych. Celem pracy było także opracowanie oryginalnej metodyki wykonania uszczelnienia przerwy dylatacyjnej pozwalającej na poprawę trwałości wypełnienia szczeliny przerwy dylatacyjnej, w zależności od sposobu przygotowania powierzchni betonu oraz stanu jego zawilgocenia lub zanieczyszczenia, w którym wykonywana jest praca naprawcza. Postawione w pracy cele osiągnięto przy wykorzystaniu badań własnych i dostępnych narzędzi naukowych.

Wykorzystanie metod badawczych oraz zastosowanie nowatorskich narzędzi do czyszczenia i nacinania betonu w przerwach dylatacyjnych posłużyło do dokonania analizy wpływu rodzaju wypełnienia oraz rodzaju podłoża w postaci sposobu przygotowania oraz stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia betonu na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych. Na podstawie rezultatów z przeprowadzonych badań określono, że:

- rodzaj wypełnienia ma istotny wpływ na zapewnienie niezawodności w uszczelnieniu przerw dylatacyjnych. Żywice służące do wypełnień uszczelniających różnią się nie tylko bazą materiałową, ale przede wszystkim zdolnościami do odkształceń, które mają niezwykle istotne znaczenie w wypełnieniach, podlegającej cyklicznej pracy szczeliny przerwy dylatacyjnej. Uzyskane rezultaty pozwoliły na sformułowanie oryginalnego kryterium odkształcalności dla żywic wypełniających przerwy dylatacyjne;

- rodzaj podłoża w postaci stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia ma wpływ na zapewnienie niezawodności w uszczelnieniu przerw dylatacyjnych. Żywice służące do wypełnień uszczelniających wykazały możliwości zastosowania w różnych stanach zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża. Najlepsze rezultaty uzyskano dla podłoża w stanie suchym i wilgotnym a najslabsze dla podłoża w stanie zanieczyszczonym bentonitem,

- rodzaj podłoża w postaci sposobu przygotowania podłoża ma wpływ na zapewnienie niezawodności w uszczelnieniu przerw dylatacyjnych. Przeprowadzone badania własne wykazały, że najlepsze parametry dla żywic do wypełnień uszczelniających osiągnane są dla podłoża czyszczonego mechanicznie. Uzyskane rezultaty przyczyniły się do skonstruowania

i wdrożenia nowatorskich narzędzi do czyszczenia i nacinania betonu w szczelinie przerwy dylatacyjnej.

## 10.2. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych rozważań, przeglądu literatury, przeanalizowanych i zinterpretowanych rezultatów badań własnych, sformułowano wnioski końcowe potwierdzające rozwiązanie problemu naukowego i osiągnięcie postawionych w pracy celów. Najważniejsze osiągnięcia naukowe i badawcze rozprawy doktorskiej przedstawiono poniżej.

1. Rozpoznana tematyka przerw dylatacyjnych w konstrukcjach żelbetowych, na podstawie dokonanego przeglądu literatury, wskazała brak podstawowych wytycznych i norm dotyczących wykonywania napraw w przerwach dylatacyjnych. W zakresie napraw wycieków wody przez przerwy dylatacyjne praktycznie dostępnych jest niewiele informacji, opisanych głównie w kilku pozycjach literaturowych [64], [74], [75], [161], [162], [174] i [175].

Przeprowadzone szczegółowe analizy oraz badania własne dotyczące oceny wpływu rodzaju podłoża i wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych stanowią znaczący dorobek wiedzy technicznej i wzbogacają naukową bazę danych oraz wytyczają kierunki możliwych dalszych badań.

2. Opracowano model przerwy dylatacyjnej i podano jego parametry. Model stanowiły próbki betonowe o rozmiarach 100×100×100 mm połączone ze sobą wybranymi sześcioma, powszechnie stosowanymi żywicami, służącymi i wykorzystywanymi do wypełnień przerw dylatacyjnych. Szczelina między próbkami betonowymi wynosiła 10 mm. Łącznie przeprowadzono 72 serie badań. Każda seria składała się od 3 do 8 próbek opracowanego modelu przerwy dylatacyjnej.

Podano parametry modelu przerwy dylatacyjnej poprzez określenie różnych rodzajów podłoża betonowego. Rodzaj podłoża oznaczono jako sposób przygotowania powierzchni oraz stan zawilgocenia lub zanieczyszczenia. Sposób przygotowania podłoża określono jako: nieczyszczone, czyszczone ręcznie i czyszczone mechanicznie za pomocą opracowanych własnych narzędzi. Natomiast w przypadku stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia rozpatrzono, na zasadzie „każdy z każdym”, cztery przypadki badawcze najczęściej spotykane

w praktyce inżynierskiej, a mianowicie stan: suchy, wilgotny, mokry i zanieczyszczony bentonitem.

Stan zanieczyszczony bentonitem został jako jeden z pierwszych zaimplementowany do badań związanych z wykonywaniem uszczelnień wycieków wody w konstrukcjach budowlanych.

Opracowany model przerwy dylatacyjnej stanowił podstawę do przeprowadzenia badań własnych polegających na rozciąganiu osiowym żywicznego materiału wypełniającego szczelinę między próbkami betonowymi modelu przerwy dylatacyjnej. Może on także stanowić wzór badawczy do wykonywania innych badań naukowych z wykorzystaniem materiałów żywicznych wypełniających szczelinę modelu przerwy dylatacyjnej.

3. Rodzaj wypełnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych jest istotny dla zapewnienia niezawodności uszczelnienia i zależy przede wszystkim od rodzaju żywicy, a w szczególności od uzyskiwanej przez nią wartości odkształceń, obciążeń oraz ilość absorbowanej energii.

We wszystkich sposobach przygotowania podłoża oraz stanach zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża, dla żywicy nr 1 na bazie tiksotropowego akrylu wypełniającej model przerwy dylatacyjnej, otrzymano najlepsze rezultaty w porównaniu z innymi badanymi żywicami. Żywica ta wykazała zdecydowanie największe wartości odkształcenia w punkcie  $f_{0D}$ , w którym żywica ulega odrywaniu się od podłoża. Pozostałe badane żywice charakteryzują się również właściwościami umożliwiającymi zastosowanie ich do wypełnień przerw dylatacyjnych. Ze względu jednak na uzyskiwane odkształcenia w poszczególnych rodzajach podłoża zakres ich stosowania jest ograniczony do wartości wskazanych w oznakowaniu według kryterium odkształcalności, szczegółowo opisanym w rozdziale 5.

4. Przeprowadzone badania własne umożliwiły identyfikację procesu odspajania się materiału żywicznego od powierzchni betonu. Wprowadzono do analiz obszar utraty przyczepności  $A_{0X}$ , który ma decydujący wpływ na zachowanie niezawodności całego układu, przerwy dylatacyjnej wypełnionej żywicą uszczelniającą. W obszarze tym zachodzą zjawiska prowadzące do odspajania się żywicy od betonowych powierzchni modelu przerwy dylatacyjnej. Odspojenie to uważa się za stan awaryjny. Utrata przyczepności żywicy uszczelniającej w przerwie dylatacyjnej z punktu widzenia zachowania niezawodności

uszczelnienia jest momentem utraty szczelności. W tym momencie, woda działająca na przerwę dylatacyjną może wyciekać, czyli wypełnienie przerwy dylatacyjnej staje się nieszczelne.

Z punktu widzenia niezawodności uszczelnienia, obszar utraty przyczepności  $A_{0X}$  powinien występować jak najpóźniej, najlepiej w miejscu, w którym punkt  $f_{0X}$  występuje w obszarze propagacji  $A_P$  ( $f_{0X} \in A_P$ ). W rzeczywistości, odrywanie się żywicy wypełniających model przerwy dylatacyjnej od podłoża betonowego występuje w różnych punktach na wykresie obciążenia w funkcji odkształcenia. Takie punkty zostały oznaczone jako  $f_{0X}(F_{0X}, \varepsilon_{0X}, W_{0X})$  wraz z korelującym a nimi obszarem utraty przyczepności  $A_{0X}$ . W punkcie  $f_{0E}$  występującym w obszarze proporcjonalności  $A_E$ , w którym żywica traci przyczepność do podłoża betonowego, badany układ przechodzi w obszar utraty przyczepności  $A_{0E}$ . Oznacza to, z punktu widzenia zapewnienia niezawodności w uszczelnieniu, zakończenie prowadzonych analiz. Podobnie jest w punkcie  $f_{0S}$  w obszarze kontroli wzmocnienia  $A_S$  i korelujący z nim obszar utraty przyczepności  $A_{0S}$  oraz w punkcie  $f_{0D}$  w obszarze kontroli odkształcenia  $A_D$  i korelujący z nim obszar utraty przyczepności  $A_{0D}$ . Punkty  $f_{0E}$ ,  $f_{0S}$ ,  $f_{0D}$  oraz  $f_d$  (punkt  $f_d$  kończył zakres analiz w przypadku, gdy  $f_{0X} \in A_P$ ) stanowiły podstawę do wyznaczenia i opracowania oryginalnego, zaproponowanego w rozprawie, kryterium odkształcalności, charakteryzującego żywice wypełniające przerwy dylatacyjne oraz umożliwiające optymalne zastosowanie żywicy uszczelniającej do przewidywanych przemieszczeń konstrukcji w szczelinie przerwy dylatacyjnej.

Żywica nr 1, która wykazała najlepsze wyniki w porównaniu z innymi badanymi żywicami, we wszystkich sposobach przygotowania i stanach zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża, została oznakowana zgodnie z przyjętym kryterium odkształcalności symbolem A100. Oznacza to, że odkształcenie tej żywicy przekracza 100% pierwotnej rozwartości (początkowa rozwartość szczeliny modelu dylatacji wynosiła 10 mm) szczeliny modelu przerwy dylatacyjnej przy próbie rozciągania, bez oderwania się żywicy od podłoża betonowego. Żywica nr 2 została oznaczona symbolem A50 (odkształcenie tej żywicy przekracza 50% pierwotnej 10mm rozwartości szczeliny) dla stanu wilgotnego i podłoża nieczyszczonego oraz dla stanu suchego i podłoża czyszczonego ręcznie. Z kolei żywica nr 3 oraz żywica nr 6 zostały oznaczona symbolem A50 w stanie wilgotnym dla podłoża



czyszczonego ręcznie. Odkształcenia żywic nr 2, nr 3, nr 4, nr 5 i nr 6 w pozostałych stanach zawilgocenia lub zanieczyszczenia dla różnych sposobów przygotowania podłoża są znacznie niższe.

5. Rodzaj podłoża w szczelinie przerwy dylatacyjnej w postaci stanu zawilgocenia lub zanieczyszczenia jest istotny dla zapewnienia niezawodności uszczelnienia przerw dylatacyjnych.

Podłoże betonowe modelu przerwy dylatacyjnej w stanie zawilgocenia lub zanieczyszczenia zostało, na podstawie wykonanych badań własnych pomiarów wilgotności metodą dielektryczną, określone za pomocą wartości wilgotności masowej. Wartość wilgotności masowej do 1,8% oznacza stan suchy, od 1,8% do 4,5% stan wilgotny, powyżej 4,5% stan mokry. Stan zanieczyszczony bentonitem podobnie jak stan mokry uzyskuje wartości wilgotności masowej powyżej 4,5%.

Przeprowadzone badania własne wykazały najlepsze rezultaty wartości obciążeń, odkształceń oraz ilość absorbowanej energii w badanych obszarach  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  dla serii badawczych, których podłoże betonowe w modelu przerwy dylatacyjnej było w stanie suchym i wilgotnym. Optymalne podłoże betonowe dla wypełnień szczelin przerw dylatacyjnych dla żywicy nr 2, nr 4 oraz nr 5 to stan suchy. Natomiast dla żywicy nr 1, nr 3 oraz nr 6 to podłoże w stanie wilgotnym. Oznacza to że, istniejące podłoże betonowe w stanie mokrym oraz zanieczyszczonym bentonitem w szczelinie przerwy dylatacyjnej, która wymaga napraw, należałoby zmienić na stan conajmniej wilgotny.

Szczelina przerwy dylatacyjnej, w której zalega woda (stan mokry) powinna być poddana zabiegom polegającym na odpompowaniu lub odsaaniu zalegającej w szczelinie przerwy dylatacyjnej wody. Można tego dokonać wykorzystując otwory do iniekcji lub otwory kontrolne wykonane podczas prac naprawczych związanych z wykonaniem uszczelnienia przerwy dylatacyjnej.

Z kolei szczelina przerwy dylatacyjnej, w której zalega woda z bentonitem (stan zanieczyszczony bentonitem) powinna być poddana zabiegom polegającym na przepłukaniu wnętrza szczeliny przerwy dylatacyjnej czystą wodą, a następnie sukcesywnym odpompowywaniu lub odsysaniu napływającej do szczeliny przerwy dylatacyjnej wody z bentonitem. Ze względu na uzyskane najslabsze rezultaty wpływu rodzaju podłoża w postaci stanu zanieczyszczonego bentonitem na niezawodność w uszczelnieniu przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych

wymóg mycia wnętrza szczeliny przerwy dylatacyjnej, w tym przypadku, jest konieczny.

6. Rodzaj podłoża w szczelinie przerwy dylatacyjnej w postaci sposobu przygotowania podłoża jest istotny dla zapewnienia niezawodności uszczelnienia przerw dylatacyjnych.

Przeprowadzone badania własne wykazały najlepsze rezultaty wartości obciążeń, odkształceń oraz ilość absorbowanej energii w badanych obszarach  $A_E$ ,  $A_S$  i  $A_D$  dla serii badawczych wypełnionych żywicami nr 1, nr 2, nr 3, nr 4 i nr 5, których podłoża betonowe w modelu przerwy dylatacyjnej było oczyszczone mechanicznie. Oznacza to, że w przypadku zastosowania tych żywic dla podłoża nieczyszczonego lub czyszczonego ręcznie należałoby przeprowadzić zabiegi techniczne mające na celu zmianę struktury podłoża betonowego poprzez zastosowanie obróbki mechanicznej, najlepiej przy użyciu zaproponowanych, nowatorskich narzędzi do czyszczenia (pkt 7.1.1) i nacinania (pkt 7.1.2) powierzchni betonu w szczelinach przerwy dylatacyjnej.

Przeprowadzone badania własne serii badawczych wypełnionych żywicą nr 6 wykazały najlepsze rezultaty w modelu przerwy dylatacyjnej, którego podłoża betonowe było czyszczone ręcznie. Oznacza to, że w przypadku zastosowania tej żywicy dla podłoża nieczyszczonego, należałoby je oczyścić przy użyciu stosowanych do tej pory narzędzi, np. przy użyciu szczotki drucianej.

Parametry modelu przerwy dylatacyjnej przy różnych sposobach przygotowania podłoża betonowego zostały określone w przeprowadzonym badaniu własnym dotyczącym badania profilu powierzchni betonu.

7. Opracowane nowatorskie narzędzie do czyszczenia (pkt 7.1.1) mechanicznego powierzchni betonu w szczelinie przerwy dylatacyjnej zostało zastosowane praktycznie w trakcie wykonania uszczelnienia przerwy dylatacyjnej opisanej w rozprawie w rozdziale 9, co potwierdziło jego przydatność.

Zaletą narzędzia do czyszczenia powierzchni betonu jest możliwość umieszczenia narzędzia w przerwie dylatacyjnej o rozwarości co najmniej 20 mm oraz możliwość wykonania czyszczenia na różnej głębokości w szczelinie dylatacji poprzez zastosowanie odpowiednich przedłużeń trzpienia stalowego. Konstrukcja narzędzia daje też możliwość wymiany zużytej lub uszkodzonej końcówki czyszczącej na nową.

Parametry powierzchni betonu przygotowanego przy użyciu narzędzia do czyszczenia mechanicznego powierzchni betonu zostały określone w przeprowadzonym badaniu własnym dotyczącym badania profilu powierzchni betonu.

8. Opracowano nowatorskie narzędzie do nacinania (pkt 7.1.2) powierzchni betonu w szczelinie przerwy dylatacyjnej zostało zastosowane praktycznie w trakcie wykonania uszczelnienia przerwy dylatacyjnej opisanej w rozprawie w rozdziale 9, co potwierdziło jego przydatność.

Zaletą narzędzia do nacinania powierzchni betonu jest możliwość umieszczenia narzędzia w przerwie dylatacyjnej o rozwarości co najmniej 20 mm oraz możliwość wykonania nacięć w betonie na różnej głębokości w szczelinie dylatacji poprzez zastosowanie odpowiednich przedłużeń trzpienia stalowego. Konstrukcja narzędzia daje też możliwość wymiany zużytej lub uszkodzonej końcówki nacinającej na nową.

Parametry powierzchni betonu przygotowanego przy użyciu narzędzia do nacinania powierzchni betonu zostały określone w przeprowadzonym badaniu własnym dotyczącym badania profilu powierzchni betonu.

9. Badania własne dotyczące badania profilu betonu w modelu przerwy dylatacyjnej, wykazały, że powierzchnia betonu czyszczona mechanicznie dla większości żywic uzyskała najlepsze rezultaty w porównaniu z powierzchnią nieczyszczoną i czyszczoną ręcznie.

Badania wykazały, iż przy podłożu nieczyszczonym powierzchni próbek B1, B2 i B3 można było zaobserwować mleczko betonowe, które wypełniło nierówności struktury zewnętrznej.

Z kolei na powierzchni betonu czyszczonego ręcznie (taka metoda jest obecnie najczęściej stosowana w przygotowywaniu przerw dylatacyjnych) powierzchnia betonu próbek R1, R2 i R3 ulegała wygładzeniu.

Powierzchnia betonu oczyszczona mechanicznie próbek M1, M2 i M2 została przygotowana przy użyciu nowatorskich narzędzi do czyszczenia i nacinania betonu.

Zanotowano przyrost współczynnika średniej chropowatości powierzchni  $S_a$ , między próbkami oznaczonymi B1/M1, B2/M2, B3/M3 kolejno o 403,64%, 473,69%, 302,04% na korzyść podłoża czyszczonego mechanicznie. Z kolei

w seriach między próbkami B1/R1, B2/R2 różnice te były znacznie mniejsze i wskazywały na zwiększenie chropowatości poddanej obróbce ręcznej powierzchni o około 19% w stosunku do podłoża nieczyszczonego. Natomiast dla serii B3/R3 wartość  $Sa$  została pomniejszona o 2,46%, co świadczy o wygładzeniu tzw. wzniesień i dolin wskutek obróbki ręcznej analizowanych powierzchni w stosunku do powierzchni pierwotnej.

Obliczono średnią różnicę objętości pustek powietrznych  $V_{vv}$  między próbkami w serii B1, B2 i B3 i R1, R2 i R3 która wyniosła  $3,91\text{ml/m}^2$ , natomiast między próbkami nieczyszczonymi B1, B2 i B3 a powierzchnią czyszczoną mechanicznie próbek M1, M2 i M3 wyniosła  $107,54\text{ ml/m}^2$ . Oznacza to, że powierzchnię czyszczoną mechanicznie w porównaniu do powierzchni nieczyszczonej i czyszczonej ręcznie, wypełni znaczenie więcej materiału żywicznego w szczelinie przerwy dylatacyjnej, co w konsekwencji bezpośrednio wpływa na poprawę przyczepności do podłoża.

Przeprowadzone badanie profilu powierzchni betonu określiło parametry powierzchni betonu w modelu przerwy dylatacyjnej. Dzięki temu dokonano analiz uzyskanych rezultatów, zastosowanych w badaniach własnych, trzech sposobów przygotowania podłoża betonowego. W rezultacie uzyskane wyniki pozwoliły na przeprowadzenie oceny skuteczności przygotowania podłoża betonowego z zastosowaniem nowatorskich narzędzi do czyszczenia i nacinania powierzchni betonu w szczelinie przerwy dylatacyjnej.

10. Scharakteryzowano parametry fizyczne materiału wypełniającego szczelinę modelu przerwy dylatacyjnej przy wykorzystaniu analizy numerycznej MES na podstawie dostępnych rezultatów badań własnych pochodzących z wykonanych badań rozciągania osiowego żywicy nr 1, wg PN-EN ISO 37 [116]. Przyjęto model materiału hipersprężystego. Następnie wyznaczono parametry stałych materiałowych dla różnych aproksymacji funkcji gęstości energii sprężystej  $U$  w celu dobrania właściwego modelu charakteryzującego żywicę wypełniającą. W rezultacie uzyskane wyniki selekcji modeli numerycznych posłużyły do identyfikacji wypełnienia w modelu przerwy dylatacyjnej a następnie na podstawie uzyskanego modelu dyskretnego w symulacji rozciągania modelu dylatacji wyznaczono wartości sił wymuszających w zależności od uzyskiwanych wydłużeń

i porównano je z rezultatami uzyskanymi w badaniach własnych rozciągania osiowego modelu przerwy dylatacyjnej wypełnionej żywicą nr 1.

Obliczenia przeprowadzono dla różnych sposobów aproksymacji funkcji gęstości energii sprężystej  $U$ , pomimo, że selekcja modeli mogła ograniczyć się do rozpatrzenia tylko jednego modelu, modelu Marlowa (MA). Model Marlowa bazuje na wartościach funkcji  $U$  wyznaczonej dla danych testowych tylko jednej ze standardowych prób (w tym przypadku rozciąganie osiowe żywicy wg PN-EN ISO 37 [116]). W rezultacie symulacje modelu przerwy dylatacyjnej wypełnionej żywicą nr 1 zaimplementowano modelami: MA4, O6M4 i O2T4 ze współczynnikiem Poissona  $\nu = 0,40$ .

11. Zaproponowano i praktycznie zweryfikowano oryginalną metodę wykonania uszczelnienia przerwy dylatacyjnej z zastosowaniem nowatorskich narzędzi do czyszczenia i nacinania powierzchni betonu. Stanowi to podstawę do sformułowania przepisów i wytycznych odnośnie warunków technicznych wykonania i odbioru robót budowlanych przy wykonywaniu napraw uszczelniających przecieki wody w przerwach dylatacyjnych.

### 10.3. Proponowane kierunki badań

Badania w niniejszej rozprawie wykazały przydatność opracowanej metody wykonania uszczelnienia przerwy dylatacyjnej przy zastosowaniu nowatorskich narzędzi do czyszczenia i nacinania betonu. W związku z licznymi problemami związanymi z wyciekami wody do wnętrza konstrukcji budowlanych przez szczeliny przerw dylatacyjne, zdaniem autora, brak jest wystarczających badań i wpływu wielu czynników w celu dokonania pełniejszej analizy pracy wypełnienia szczeliny przerwy dylatacyjnej. Dalsza kontynuacja tematu pracy powinna dotyczyć, zdaniem autora, między innymi badań:

- a) z wykorzystaniem modelu przerwy dylatacyjnej dla żywic uszczelniających w różnych temperaturach. Żywice w niższych temperaturach utwardzają się, co może mieć wpływ na uzyskiwane rezultaty odkształceń. Badania przeprowadzone w temperaturach np. 15°C, 5°C i 0°C mogą stanowić bazę do sformułowania kryterium odkształcalności dla żywic wypełniających przerwy dylatacyjne w zależności od temperatury;

- b) rozciągania i ściskania modelu przerwy dylatacyjnej. Cykliczność pracy przerwy dylatacyjnej jest charakterystyczną cechą konstrukcji i może mieć wpływ na uzyskiwane rezultaty odkształceń;
- c) modelu przerwy dylatacyjnej wypełnionego badaną żywicą uszczelniającą pod kątem szczelności przy działaniu wody pod ciśnieniem. W momencie maksymalnego odkształcenia działająca siła parcia wody może powodować uszkodzenia żywicy wypełniającej, co w konsekwencji może mieć wpływ na zapewnienie niezawodności w uszczelnieniu;
- d) numerycznych dla różnych rozmiarów szczeliny w modelu przerwy dylatacyjnej wraz z porównaniem z wynikami uzyskanymi z wykonanych eksperymentalnych testów rozciągania.

**LITERATURA**

- [1] ABAQUS Analysis User's Guide, Dassault Systèmes, Providence 2014.
- [2] ACI 360R-10 Guide to Design of Slabson Ground.
- [3] Adan O.C.G., On the Fungal Defacement of Interior Finishes. [Rozprawa doktorska] Technical University, Eindhoven, 1994
- [4] Antończyk P., Wytrzymałość materiałów, Wstęp teoretyczny. Forbot, mechanika, 2015
- [5] Barnat-Hunek D., Widomski M., Szafraniec M., Łagód G. Impact of different binders on the roughness, adhesion strength, and other properties of mortars with expanded cork. *Materials*. 2018, vol. 11, nr 3, s. 1-17.
- [6] Bellini C., Polini W., Sorrentino L., Turchetta S., Mechanical performances increasing of natural stones by GFRP sandwich structures. *Procedia Structural Integrity* 9, pp. 179-185, 2018.
- [7] Beton architektoniczny, Współpraca betonu i stali, informacja ze strony <http://beton-architektoniczny.eu/materialy/wspolpraca-betonu-i-stali>, z dn. 20.04.2020, 10/2016.
- [8] Beushausen H., Alexander M.G., Bond strength development between concretes of different ages. *Magazine of Concrete Research* 60(1), 65-74, 2008.
- [9] Beushausen H., Hohlig B., Talotti M., The influence of substrate moisture preparation on bond strength of concrete overlays and the microstructure of the OTZ. *Cement and Concrete Research* 92, s. 84-91, 2017.
- [10] Beushausen H., Hohlig B., Talotti M., The influence of substrate moisture preparation on bond strength of concrete overlays and the microstructure of the OTZ. *Cement and Concrete Research*.
- [11] Bobrowski A., „Charakterystyka pyłów suchego odpylania stacji przerobu mas z bentonitem w aspekcie ich użytkowego wykorzystania”, [Rozprawa doktorska], Kraków 2009.
- [12] Brzyski P., Suchorab Z., Capillary uptake monitoring in lime-hemp-perlite composite using the time domain reflectometry sensing technique for moisture detection in building composites. *Materials*. 2020, vol. 13, nr 7, s. 1-18.
- [13] Cagnona H., Vidala T., Selliera A., Bourbonb X., Campsb G. „Transient Thermal Deformation of high performance concrete in the range 20°C - 40°C”, *Cement and Concrete Research* 119, 2019.

- [14] Cement Concrete And Aggregates Australia, Joints in Concrete Buildings, Technical Note 63, 09/2004.
- [15] Chodor L., Dylatacje płyt stropowych w budynkach żelbetowych, informacja ze strony <http://chodor-projekt.net/encyclopedia/dylatacje-plyt-stropowych-zelbetowych/> z dn. 20.04.2020, 2016.
- [16] Cholewa M., Baran P., Szymański M., Kamińska K., Wielkość przecieków przez uszkodzenia maty bentonitowej (GBR-C) przy zmiennych wysokościach słupa wody, *Izolacje* 9/2015.
- [17] Cholewa M., Job R., "Wytrzymałość na przebicie geosyntetycznych przesłon uszczelniających", *"Górnictwo i Geoinżynieria"*, z. 2/2011.
- [18] Cichy W., Bryk J., "Doszczelnianie gruntów naturalnych za pomocą bentonitu", Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2006.
- [19] Courard L., Garbacz A., Niewęgłowska-Mazurkiewicz A., Piotrowski T., Inżynieria powierzchni betonu. Część 2. Wpływ obróbki na powstawanie rys. *Materiały Budowlane* 12 (2006) 8-11.
- [20] Cupryjak L., Kossakowski M., Winek J., Wypełnienie szczelin w nawierzchniach z betonu cementowego, Branżowy Zakład Doświadczalny Budownictwa Drogowego I Mostowego Sp. z o.o., *Drogownictwo* 7/2006.
- [21] Cwalina B., Dzierżewicz Z. Czynniki sprzyjające biologicznej korozji konstrukcji żelbetonowych. *Przegląd Budowlany* s. 52-59, 2007.
- [22] Czabanowski R., Experimental identification of hyperelastic material parameters for calculations by the finite element method. *Journal of KONES Powertrain and Transport*. Vol. 17, No. 1, pp. 87-92, 2010.
- [23] Czechowski A., Wybrane terminy i definicje związane z analizą i projektowaniem konstrukcji budowlanych, zwłaszcza metalowych, *Inżynieria i budownictwo*, s. 563 – 568, nr 10/2016.
- [24] Deltombe R., Bigerelle M.: How to select the most relevant 3D roughness parameters of a surface, *Proceedings of the 3rd International Conference on Surface Metrology*, Annecy, Francja 2012.
- [25] Dembiński J., *Mechanizacja robót wykończeniowych w budownictwie*, Arkady, Warszawa, 1980.



- [26] Dong W.P., Mainsah E., Stout K.J.: Reference planes for the assessment of surface roughness in three dimensions. „International Journal of Machine Tools and Manufacture”, p. 263-271, 2/1995.
- [27] Drewnowski J., Szelaǳ B., Xie L., Xi L., Ganesapillai M., Kanti Deb C., Szulżyk-Cieplak J., Łagód G. The Influence of COD fraction forms and molecules size on hydrolysis process developed by comparative OUR studies in activated sludge modelling, *Molecules*, vol. 25, nr 4, s. 1-16, 2020.
- [28] Du J., Bu Y., Shen Z., Interfacial properties and nanostructural characteristics of epoxy resin in cement matrix. *Construction and Building Materials* 164, pp. 103–112, 2018.
- [29] Dyrektywa 2000/54/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 września 2000 r. w sprawie ochrony pracowników przed ryzykiem związanym z narażeniem na działanie czynników biologicznych w miejscu pracy. *Dz. Urz. WE L. 262/21*.
- [30] ETAG N 032 - Guideline for European Technical Approval of Expansion Joints for Road Bridges Part 1: General Part 2: Buried Expansion Joints Part 3: Flexible Plug Expansion Joints Part 4: Nosing Expansion Joints Part 5: Mat Expansion Joints Part 6: Cantilever Expansion Joints Part 7: Supported Expansion Joints Part 8: Modular Expansion Joints maj 2013.
- [31] Falborski T., Study on properties of polymer as a material for seismic isolation bearings, [Rozprawa doktorska], Politechnika Gdańska, Gdańsk 2014.
- [32] Ferrier E., Rabinovitch O., Michel L., Mechanical behavior of concrete resin/adhesive–FRP structural assemblies under low and high temperatures. *Construction and Building Materials* 127, pp. 1017–1028, 2016.
- [33] Firmo F., Bedon Ch. Numerical modelling of a structural adhesive used for bonding hybrid steel-glass beams, Final report, 2015.
- [34] Firmo J.P., Correia J.R., Pitta D., Tiago C., Arruda M.R.T. Experimental characterization of the bond between externally bonded reinforcement (EBR) CFRP strips and concrete at elevated temperatures. *Cement & Concrete Composites* 60, pp. 44–54, 2015.
- [35] Forbuild – artykuł sponsorowany, „Szczelność dylatacji - przykłady rozwiązań firmy Forbuild na bazie profili dylatacyjnych DEFLEX, *Inżynier Budownictwa*, 2015.
- [36] Franczak-Balmas D., Analiza wpływu szorstkości powierzchni styku jako parametru kształtującego nośność styku zespolonych elementów betonowych, *Katedra Konstrukcji Budowlanych, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, Budownictwo i Architektura* 16(3), s. 125-134, 2017.

- [37] Franczak-Balmas D., Analiza wpływu wytrzymałości betonów składowych jako czynnika kształtującego nośność niezbrojonego styku zespolonych elementów betonowych. *Budownictwo i Architektura* 15(4), s. 53-61, 2016.
- [38] Gajewski M.: Application of the theory of hyperelastic-plastic materials in the test of static stretching of the rod with circular crosssection, *Logistyka*, 6, s.1041-1048, CD, 2011.
- [39] Gao Y., Romero P., Zhang H., Huang M., Lai F., Unsaturated polyester resin concrete: A review. *Construction and Building Materials* 228, 2019.
- [40] Garbacz A., Piotrowski T., Courard L., Inżynieria powierzchni betonu. Część 1. Struktura geometryczna powierzchni. *Materiały Budowlane* 9 (2006) 3-7.
- [41] Gąsiorowski S. „Wpływ zmian wilgocci i/lub temperatury na materiały budowlane” *BzG* 4/2009.
- [42] GDDKiA, Specyfikacja techniczna wykonania i odbioru robót budowlanych STWiORB, M-20.01.08, Zabezpieczenie antykorozyjne powierzchni betonowych.
- [43] GDDKiA, Specyfikacje techniczne wykonania i odbioru robót budowlanych, M – 15.03.01, Izolacja-nawierzchnia na płycie pomostu obiektu mostowego.
- [44] Germaniuk K., Dobór mostowych urządzeń dylatacyjnych, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 2016.
- [45] Germaniuk K., Zalecenia dotyczące doboru mostowych urządzeń dylatacyjnych oraz ich wbudowania i odbioru, GDDKiA, IBDiM, Warszawa 2007 r.
- [46] Giergiczny Z., *Vademecum Technologia Betonu, C1 - Klasy ekspozycji betonu zgodnie z normą PN-EN 206:2014 "Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność"*, Góraźdże.
- [47] Giergiczny Z., *Vademecum Technologia Betonu, C2- Korozja chemiczna betonu*, Góraźdże.
- [48] Gmitrzuk N., Sawicka-Siarkiewicz H., "Zastosowanie geomembrany i mat bentonitowych do uszczelniania systemów odwadniania dróg", "Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych", z. 4/2010.
- [49] Godzimirski J. Tkaczuk S., Możliwości wykorzystania MES do obliczeń wytrzymałości klejowych. *Technologia i Automatykacja Montażu* 2, s. 43-46, 2001.
- [50] Godzimirski J., Piertas A., Modelowanie spoin połączeń klejowych w obliczeniach MES. *Technologia i Automatykacja Montażu* 4, s. 40-44, 2013.
- [51] Goland M., Reissner E., Stresses in cemented joints. *Jurnal of Applied Mechanics* 11, s. 17-27, 1944.

- [52] Górny R., Zniszczenia wodne budynków i ich korozja mikrobiologiczna przyczyny, zagrożenia, prewencja i remediacja, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy Warszawa 2010.
- [53] Grabowska B., Spektrofotometryczne oznaczanie zawartości montmorillonitu w bentonitach odlewniczych metodą kompleksu Cu(II)-trietylenotetraminy (Cu-TET).
- [54] Graco, Obróbka strumieniowo-cierna, Powierzchniowe przygotowanie betonu - Część 3: Stopnie chropowatości, informacja ze strony <https://www.graco.com/pl/pl/products/surface-preparation/blasting-basics/concrete-surface-preparation-3.html> z dnia 25.04.2020.
- [55] Gruener M., Korozja i ochrona betonu. Arkady, Warszawa 1983.
- [56] Grzesik W., Wpływ topografii powierzchni na właściwości eksploatacyjne części maszyn. Mechanik, nr 8-9/2015.
- [57] Hajduk P., Dylatacje podłóg przemysłowych, Biuro Konstrukcyjno-Budowlane HAJDUK, Przegląd budowlany 2014.
- [58] Hajduk P., Projektowanie dylatacji podłóg przemysłowych oraz najczęstsze przyczyny ich uszkodzeń - cz. I, 04.01.2016.
- [59] Hassan S.A, Gholami M., Ismail Y.S., Sam A.R.M., Characteristics of concrete/CFRP bonding system under natural tropical Climate. Construction and Building Materials 77, pp. 297–306, 2015.
- [60] Heinrich H., Zalecenia stosowania ocena stanu technicznego i przygotowanie podłoża pod systemy posadzkowe, Sika Services AG, Wersja 1.2, Maj 2019.
- [61] Hohmann R., Planung und Ausführung von Fugen und Fugenabdichtungssystemen für WU- Konstruktionen, 02/2018.
- [62] Hoła J., Sadowski Ł., Nieniszcząca diagnostyka zespolenia warstw betonowych na przykładzie posadzek, Izolacje 6/2014.
- [63] Horszczaruk E., Brzozowski P., Wpływ przygotowania podłoża betonowego na przyczepność betonów naprawczych układanych pod wodą, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Materiały Budowlane s. 14-16, 9/2013.
- [64] Impervius Sp. z o.o., „Uszczelnienie dylatacji w płycie dennej parkingu podziemnego” Inżynier Budownictwa 2017.
- [65] Instructions for using the portable skid resistance tester. Her Majesty's Stationery Office, London 1969.

- [66] Iwanowski P., Wesołowski M., Charakterystyka tarcia nawierzchni lotniskowych w aspekcie bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych, *Autobusy*, 12/2016.
- [67] Jaroszyński Ł., Jaroszyński T., Korozja betonu w obiektach gospodarki ściekowej - przyczyny i metody zapobiegania, 24 sierpnia 2019.
- [68] Jasiczak J., Siewczyńska M., „Przyczepność powłok ochronnych do ścian zbiorników betonowych o zróżnicowanym stopniu oczyszczenia powierzchni”, Praca zbiorowa pod redakcją Kamińskiego M., Jasiczaka J., Buczkowskiego W., Błaszczyńskiego T. „Trwałość i skuteczność napraw obiektów budowlanych”, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, s. 42-56, Wrocław 2007.
- [69] JCI, Japan Concrete Institute Standard. Method of test for bending moment–curvature curve of fiber-reinforced cementitious composites, S-003-2007. (2003) Method of test for load-displacement curve of fiber reinforced concrete by use of notched beam. Method of test for fracture energy of concrete by use of notched beam, 2003.
- [70] Jemiolo S., Gajewski M., *Hipersprężystość*, Seria wydawnicza Monografie Zakładu Wytrzymałości Materiałów, Teorii Sprężystości i Plastyczności Tom 4, Wydział Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2014.
- [71] Jemiolo S., *Studium hipersprężystych własności materiałów izotropowych. Modelowanie i implementacja numeryczna*, Prace Naukowe, Budownictwo z. 140, str. 1-308, Warszawa 2002.
- [72] Karaś S., O badaniach betonu mostów metodami "pull-off" i "pull-out", *Inżynieria i Budownictwo* s. 359-362, 7/2004.
- [73] Karta techniczna, Sikadur-Combiflex, Uniwersalny system do uszczelniania powierzchniowego, Nr 02-07-03-02, 05/2008.
- [74] Karyś R., *Analiza sposobów wykonywania przerw dylatacyjnych w konstrukcjach żelbetowych [praca magisterska]*, Politechnika Wroclawska, Wrocław 2019.
- [75] Kiernożycki W., „Przerwy dylatacyjne w konstrukcjach żelbetowych”, *Przegląd Budowlany* 12/2006.
- [76] Kopalnia Węgla Kamiennego „Katowice”, patent Pat. 159727, 1990.09.03, „Urządzenie do oczyszczania szczelin dylatacyjnych”.
- [77] Kosiń M., Grunsiok K. *Budownictwo, Obróbka mechaniczna powierzchni betonowych*, Politechnika Częstochowska, s. 77-82, 2016.

- [78] Kosiń M., Pietrzak A., Analiza oceny wskaźnika szorstkości nawierzchni drogowej wahadłem angielskim na drodze krajowej dk-43 w okresie ujemnej i dodatniej temperatury.
- [79] Kozioł M., Śleżiona J., Właściwości mechaniczne zszywanych laminatów żywica poliestrowa-włókno szklane, Politechnika Śląska, Katedra Technologii Stopów Metali i Kompozytów, Kompozyty 6(2006).
- [80] Ksit B., Siewczyńska M., „Błędy wykonawcze wpływające na trwałość napraw powierzchni betonowych”, Praca zbiorowa pod redakcją Kamińskiego M., Jasiczaka J., Buczkowskiego W., Błaszczynskiego T., „Trwałość i skuteczność napraw obiektów budowlanych”, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, s. 57-65, Wrocław 2007.
- [81] Kukulska W., normowe metody badań elastycznych tworzyw porowatych w zastosowaniu do rozprężnych taśm uszczelniających, ITB - kwartalnik nr 4 (132) 2004.
- [82] Kuźmiński M., „Kity dylatacyjne w posadzkach”, „Materiały Budowlane”, nr 9/98, s. 61 i 155.
- [83] Lechman M., Mazurczuk R., Fedorczyk Z., Badania elastomerów w złożonych stanach odkształcenia, ITB kwartalnik nr 1 (153) 2010.
- [84] Lee A.T, Michel M., Ferrier E., Benmokrane B., Influence of curing conditions on mechanical behaviour of glued joints of carbon fibre-reinforced polymer composite/concrete. *Construction and Building Materials* 227, 2019.
- [85] Leszkowski K., Synteza i właściwości jonowoprzewodzących materiałów poliuretanowych, [rozprawa doktorska], Politechnika Gdańska Wydział Chemiczny Katedra Technologii Polimerów, 2010.
- [86] Li Y., Peng S., Miao J-T., Zheng L., Zhong J., Wua L., Weng Z., Isotropic stereolithography resin toughened by core-shell particles., *Chemical Engineering Journal* 394, 2020.
- [87] Liu F., Nanovea, Portability and Flexibility of the Nanovea JR25 3D Non-Contact Profilometer, 2018.
- [88] Logoń D., FSD cement composites as a substitute for continuous reinforcement. Eleventh International Symposium on Brittle Matrix Composites BMC-11, Warsaw, Poland, pp. 28-30 September 2015 / ed. by Andrzej M. Brandt. Warsaw: Institute of Fundamental Technological Research, pp. 251-260, 2015.

- [89] Logoń D., Hybrid reinforcement in SRCC concrete. Third International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies SCMT3, Kyoto, , August 18-21, paper ID: e154, Japan, 2013.
- [90] Logoń D., Identification of the Destruction Process in Quasi Brittle Concrete with Dispersed Fibers Based on Acoustic Emission and Sound Spectrum, *Materials* 12, 2019.
- [91] Logoń D., Schabowicz K., Wróblewski K., Assessment of the Mechanical Properties of ESD Pseudoplastic Resins for Joints in Working Elements of Concrete Structures, 13(11), 2426, *Materials* 2020.
- [92] Lohmeyer G., Eberling K., *Betonböden für Produktions- und Lagerhallen: Planung, Bemessung, Ausführung*, Verlag: Bud + Technik., Dusseldorf 2012.
- [93] Lubczyńska E., Kity i masy uszczelniające w świetle normy ISO, ITB, kwartalnik nr 2-3 s. 110-111, 1999.
- [94] Łucyk-Ossowska J., Radomski W., *Urządzenia dylatacyjne w mostowych obiektach drogowych. projektowanie, montaż i utrzymanie*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2011.
- [95] Marciszyn T., Projekt komercjalizacji rezultatu badawczego pn. „Urządzenie do pomiaru szczelin dylatacyjnych”, Wrocławskie Centrum Transferu Technologii, Politechnika Wrocławska, 2018.
- [96] Matkowski Z., Przyczyny przeciekania wody w podziemnych częściach budynków, problem remontowe w budownictwie ogólnym i obiektach zabytkowych, *Ochrona przeciwwilgociowa budynków*, *Materiały budowlane*, 9/2015.
- [97] Moczko A., Diagnostyka konstrukcji betonowych-"pull-off", *Budownictwo, Technologie, Architektura* s. 44-46, 3/2002.
- [98] Mrozek D., Mrozek M., Fedorowicz J., Analysis of an effectiveness of expansion joints in the multi-family building loaded by mining activities, *Czasopismo inżynierii lądowej, środowiska i architektury* XXXIV, z. 64 (2/II/17), s. 197-208, kwiecień-czerwiec 2017.
- [99] Neville, A.M., *Właściwości betonu*, Polski Cement, Kraków 2000.
- [100] Norma 13036-1:2010, Cechy powierzchniowe nawierzchni drogowych i lotniskowych. Metody badań. Część 1: Pomiar głębokości makrotekstury metodą objętościową.
- [101] Norma 1504-5:2006 “Iniekcja betonu”.
- [102] Norma AS 1145.1-2001, Determination of tensile properties of plastics materials General principles, Australia.

- [103] Norma AS/NZS 1660.2.3:1998, Test methods for electric cables, cords and conductors Insulation, extruded semi-conductive screens and non-metallic sheaths - Methods specific to PVC and halogen free thermoplastic materials, Australia.
- [104] Norma ASTM 1018. Standard Test Method for Flexural Toughness and First Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete. Philadelphia, USA vol.04.02, 1992.
- [105] Norma ASTM D412-16, Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension, USA, 2016.
- [106] Norma ASTM D412-16, Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers-Tension, USA, 2016.
- [107] Norma ASTM D4541-02, Standard test method for pull-off strength of coatings using portable adhesion teste.
- [108] Norma ASTM D882-18, Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting, USA, 2018.
- [109] Norma ASTM F2170-19a Standard Test Method for Determining Relative Humidity in Concrete Floor Slabs Using in situ Probes (Includes all amendments and changes 1/9/2020), 12.2019.
- [110] Norma BS 2782-3:Methods 320A to 320F:1976, Methods of testing plastics. Mechanical properties. Tensile strength, elongation and elastic modulus, Wielka Brytania, 1976.
- [111] Norma DIN 18195 – Bauwerksabdichtung, VIII 2000.
- [112] Norma DIN 53504, Testing of rubber - Determination of tensile strength at break, tensile stress at yield, elongation at break and stress values in a tensile test, Niemcy, 2017.
- [113] Norma EN 14651. Test method for metallic fibre concrete. Measuring the flexural tensile strength (limit of proportionality (LOP), residual), 11 July 2005.
- [114] Norma ISO 1798:2008, Flexible cellular polymeric materials — Determination of tensile strength and elongation at break, Szwajcaria, 2008.
- [115] Norma ISO 25178-1:2016(en), Geometrical product specifications (GPS). Surface texture: Areal — Part 1. Indication of surface texture.
- [116] Norma ISO 37:2017, Rubber, vulcanized or thermoplastic — Determination of tensile stress-strain properties, Szwajcaria.
- [117] Norma ISO 6259-3:2015, Thermoplastics pipes — Determination of tensile properties — Part 3: Polyolefin pipes, Szwajcaria, 2015.
- [118] Norma NO-17-A501:2015 Nawierzchnie lotniskowe. Badanie szorstkości.

- [119] Norma PN-80/B-01800 – Antykorozyjne zabezpieczenia w budownictwie. Konstrukcje betonowe i żelbetowe. Klasyfikacja i określenie środowisk.
- [120] Norma PN-B-03002:1999, Konstrukcje murowe -- Projektowanie i obliczanie.
- [121] Norma PN-B-03264:2002, Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone -- Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [122] Norma PN-C-05012/10:1997 Metody badań elastycznych tworzyw porowatych. Oznaczanie odkształcenia trwałego.
- [123] Norma PN-C-05012/5:1997 Metody badań elastycznych tworzyw porowatych. Oznaczanie wytrzymałości na rozciąganie i wydłużenia w chwili zerwania.
- [124] Norma PN-C-89275:1997 Tworzywa sztuczne porowate. Elastyczne kształtki poliuretanowe.
- [125] Norma PN-EN 12390-7:2019-08, Badania betonu -- Część 7: Gęstość betonu.
- [126] Norma PN-EN 13251+A1:2015-04, "Geotekstylia i wyroby pokrewne. Właściwości wymagane w odniesieniu do wyrobów stosowanych w robotach ziemnych, fundamentowaniu i konstrukcjach oporowych".
- [127] Norma PN-EN 1542 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych - Metody badań - Pomiar przyczepności przez odrywanie.
- [128] Norma PN-EN 1992-1-1 , Eurokod 2, Projektowanie konstrukcji z betonu, Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [129] Norma PN-EN 1996-2:2010, Eurokod 6, projektowanie konstrukcji murowych, Część 2: Wymagania projektowe, dobór materiałów i wykonanie murów.
- [130] Norma PN-EN 206:2014 „„Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność” .
- [131] Norma PN-EN ISO 10318:2007, "Geosyntetyki. Terminy i definicje".
- [132] Norma PN-EN ISO 12570. Ciepłno-wilgotnościowe właściwości materiałów i wyrobów budowlanych. Określanie wilgotności przez suszenie w podwyższonej temperaturze.
- [133] Norma PN-EN ISO 13473-1:2005, Charakterystyka struktury nawierzchni przy użyciu profili powierzchniowych.
- [134] Norma PN-EN ISO 13788:2003 „Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa. Metody obliczania”.
- [135] Norma PN-EN ISO 1798:2001 Elastyczne tworzywa sztuczne porowate. Oznaczanie wytrzymałości na rozciąganie i wydłużenia przy zerwaniu.



- [136] Norma PN-EN ISO 25178-2:2012, Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS). Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzenna – Część 2. Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni.
- [137] Norma PN-EN ISO 25178-602:2010, Specyfikacje geometrii wyrobów. Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzenna – Część 602. Charakterystyki nominalne przyrządów bezstykowych (z czujnikiem chromatycznym konfokalnym).
- [138] Norma PN-EN ISO 25178-603:2013-12, Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS). Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzenna – Część 603. Charakterystyki nominalne przyrządów bezstykowych (mikroskopów interferometrycznych z korekcją fazy).
- [139] Norma PN-EN ISO 4287:1999 Specyfikacje geometrii wyrobów. Struktura geometryczna powierzchni: metoda profilowa. Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni.
- [140] Norma PN- EN ISO 527- 1, Oznaczanie wytrzymałości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu. Zasady ogólne.
- [141] Norma PN- EN ISO 527- 2, Oznaczanie wytrzymałości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu. Warunki badań tworzyw sztucznych.
- [142] Norma PN-EN ISO 845:2000 Gumy i tworzywa sztuczne porowate. Oznaczanie gęstości pozornej (objętościowej).
- [143] Norma, JIS K 6251, Rubber, vulcanized or thermoplastic-Determination of tensile stress-strain properties, Japonia, 2017.
- [144] Ogólna specyfikacja techniczna D-05.03.04a “ Wypełnienie szczelin w nawierzchni z betonu cementowego. Branżowy Zakład Doświadczalny Budownictwa Drogowego I Mostowego Sp. z o.o., Warszawa 2002.
- [145] Opelt C.V, Coelho L.A.F. On the pseudo-ductility of nanostructured epoxy resins. *Polymer Testing* 78, 2019.
- [146] Otsuki Y., Kurata M., Skalomenos K., Ikeda Y., Akazawa M., Fragility function development and seismic loss assessment of expansion joints, *Engineering, Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 04/2019.
- [147] Otsuki Y., Kurata M., Skalomenos K., Ikeda Y., Damage sequence and safety margin assessment of expansion joints by shake table testing, *Engineering, Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 2019.

- [148] Ourahmoune R.: Contribution à la compréhension de la fonctionnalisation mécanique de surface des composites à matrice thermoplastique destinés à l'assemblage par collage. [Rozprawa doktorska], École Centrale de Lyon (Francja), 2012.
- [149] Ozturk H., Fracture mechanics interpretation of thin spray-on liner adhesion tests. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 34, pp. 17–23, 2012.
- [150] Paprzycka K., Raport z badania stanu techniki w zakresie literatury patentowej dla rozwiązania "Urządzenie do badania szczelin dylatacyjnych", Rzecznik patentowy, Politechnika Wroclawska, 2018.
- [151] Patterson B.A, Busch C.E, Bratcher M, Cline J, Harris D.E., Masser K.A., Fleetwood A.L., Knorr Jr., D.B. Influence of temperature dependent matrix properties on the high-rate impact performance of thin glass fiber reinforced composites. *Composites Part B* 192, 2020.
- [152] Pieczonka T., „Dylatometryczna metoda wyznaczania liniowego współczynnika rozszerzalności termicznej ciał stałych” AGH Kraków 2010.
- [153] Pieczonka T., Dylatometryczna metoda wyznaczania liniowego współczynnika rozszerzalności termicznej ciał stałych, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Kraków 2010.
- [154] Pre-Norma Model Code 2010, Volume 1, fib Special Activity Group 5, March 2010.
- [155] Procedura badawcza IBDiM Nr PB/TM-1/11: Badanie odporności mostowych dylatacji asfaltowych na koleinowanie.
- [156] Procedura badawcza IBDiM Nr PB/TM-1/14: Badanie odporności zamocowania nakładek wyciszających w jednomodułowym urządzeniu dylatacyjnym na powtarzalne obciążenia dynamiczne.
- [157] Procedura badawcza IBDiM Nr PB/TM-1/15 (projekt): Badanie odporności palczastych urządzeń dylatacyjnych na powtarzalne obciążenia dynamiczne.
- [158] Procedura badawcza IBDiM Nr PB-TM-07: Badanie odporności konstrukcji modułowego urządzenia dylatacyjnego na powtarzalne obciążenia dynamiczne.
- [159] Rajczyk J., Podstawy naukowe doboru struktury geometrycznej i kinematyki tarczowych narzędzi roboczych maszyn do obróbki powierzchni betonu, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2004.
- [160] Richtlinie für die Planung und Ausführung von Abdichtung erdberührter Bauteile mit flexiblen Dichtungsschlämmen. Deutsche Bauchemie e.V. 2006.

- [161] Rokiel M. Dylatacje. Rodzaje dylatacji. Jak wykonywać dylatacje? Czym wypełniać? , Informator budowlany – Murator, 2019.
- [162] Rokiel M. Uszczelnienie dylatacji, Inżynier Budownictwa, 2013.
- [163] Rokiel M., Materiały do hydroizolacji - systematyzacja - część 2, 07/2013.
- [164] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 16 lutego 2005 r., Dz.U. 2005 nr 67 poz. 583, W sprawie trybu sporządzania informacji oraz gromadzenia i udostępniania danych o sieci dróg publicznych, obiektach mostowych, tunelach oraz promach.
- [165] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 22 kwietnia 2005 r. w sprawie szkodliwych czynników biologicznych dla zdrowia w środowisku pracy oraz ochrony zdrowia pracowników zawodowo narażonych na te czynniki (DzU nr 81, poz. 716, ze zm.: DzU 2008, nr 48, poz. 288).
- [166] Rymarz Cz., Mechanika ośrodków ciągłych, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1993.
- [167] Rymsza B., Beczek P., Maciejczyk J.: Pomiar poziomu hałasu generowanego przez urządzenia dylatacyjne. „Materiały Budowlane”, 8/2013.
- [168] SABA adhesives & sealants, Systemy uszczelniający SABA, wersja 3, luty 2018.
- [169] Sadowski Ł., „Analiza wpływu chropowatości podkładu betonowego na przyczepność na odrywanie warstwy wierzchniej”, Informatyka, Automatyka Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska s. 39-42, 1/2013.
- [170] Sadowski Ł., „Nieniszcząca ocena zespolenia warstw betonowych w podłogach z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych”, [Rozprawa doktorska], Politechnika Wrocławska, Wrocław 2012.
- [171] Santos P., Julio E., „Correlation between concrete-to-concrete bond strength and the roughness of the substrate surface”, Construction and Building Materials 21, s. 675-681, 8/2007.
- [172] Savaş Erdem S., Dawson A.R., Thom N.H., Impact load-induced micro-structural damage and micro-structure associated mechanical response of concrete made with different surface roughness and porosity aggregates. Cement and Concrete Research 42, pp. 291–305, 2012.
- [173] Schabowicz K., Wójcicka - Migasiuk D., Urzędowski A., Wróblewski K., *Nieniszcząca badanie chropowatości betonu w szczelinie dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych – do uzupełnienia, Measurements, 2020 [w druku].*

- [174] Schabowicz K., Wróblewski K., Słabe miejsca izolacji przeciwwodnej płyty dennej, *Materiały Budowlane* nr 517, 10/2015.
- [175] Schabowicz K., Wróblewski K., Sterniuk A., Remont dylatacji konstrukcyjnych w wielopoziomowym garażu naziemnym, *Problemy remontowe w budownictwie ogólnym i obiektach zabytkowych*, *Materiały Budowlane* nr. 543, 11/2017.
- [176] Sedlbauer K., Prediction of Mould Fungus Formation on the Surface of and Inside Building Components. [Rozprawa doktorska] Fraunhofer Institute for Building Physics, Stuttgart, 2001.
- [177] Serviseal, Zabezpieczenie przerw roboczych i dylatacji w betonie, Zewnętrzny system taśm uszczelniających PCV dla pasywnego zabezpieczenia złączy kompensacyjnych, konstrukcyjnych i skurczowych w konstrukcjach z betonu zbrojonego, GCP Applied Technologies, W001C 05/06, 2006.
- [178] Servitite, Zabezpieczenie przerw roboczych i dylatacji w betonie, Asortyment wewnętrznych hydroizolacyjnych taśm z PCV, o doskonałych właściwościach, służących do pasywnego zabezpieczenia krytycznych złączy w konstrukcjach z betonu zbrojonego, GCP Applied Technologies, W004C 05/06, 2006.
- [179] Shahzad M., Kamran A., Zeeshan M. Siddiqui, Farhan M., Mechanical Characterization and FE Modelling of a Hyperelastic Material, *Materials Research* 18 (5), s. 918-924, 2015.
- [180] Siewczyńska M., Method for determining the parameters of surface roughness by usage of a 3D scanner, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, Volume 12, Issue 1, s. 83-89, marzec 2012.
- [181] Siewczyńska M., „Method for determining the parameters of surface roughness by usage of a 3D scanner”, *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 12, s. 83-89, (1)/2012.
- [182] Siewczyńska M., Wpływ wybranych parametrów betonu na przyczepność powłok ochronnych, [Rozprawa doktorska], Politechnika Poznańska, 2008.
- [183] Staudt Y., Odenbreit C., Schneider J., Failure behaviour of silicone adhesive in bonded connections with simple geometry, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Volume 82, s. 126-138, kwiecień 2018.
- [184] Strona internetowa <http://www.floorslip.co.uk/floor-pendulum-test-to-bs-7976-2-and-bs-13036-4.html>, z dn. 02.03.2020.

- [185] Strona internetowa <http://www.forbuild.eu/pl/home/produkty-3-2/systemy-dylatacyjne/profile-dylatacyjne-wodoszczelne-deflex>, z dn. 29.02.2020.
- [186] Strona internetowa <http://www.pfozw.org.pl/zrodlo-wiedzy/w-budowie-3/> z dn. 29.02.2020.
- [187] Strona internetowa <https://pl.wikipedia.org/wiki/Bentonit> z dn. 05.03.2020.
- [188] Sułowski M., Ciesielka M., Jurczak - Kaczor P., Analiza krzywych rozciągania w kształceniu technicznym, III Konferencja e-Technologie w Kształceniu Inżynierów eTEE'2016, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, 11 kwiecień 2016.
- [189] Surowska B., Wybrane zagadnienia z korozji i ochrony przed korozją, Politechnika Lubelska, Lublin 2002.
- [190] Szymczak T., Kowalewski Z., Właściwości mechaniczne wybranych kompozytów oraz metody oceny ich zniszczenia, Instytut Transportu Samochodowego, Transport Samochodowy 4-2014.
- [191] Takabatake H., Yasui M., Nakagawa Y., Kishida A., Relaxation method for pounding action between adjacent buildings at expansion joint, 01/2014.
- [192] Technical guideline no. 310.2r-2013, Selecting and specifying concrete surface preparation for sealers, coatings, polymer overlays, and concrete repair. ICRI, czerwiec 2014.
- [193] Techniczno-Górnicza Spółka Akcyjna Tegona SA, patent Pat.306215, w 1994-12-07, „Urządzenie do wycinania i czyszczenia szczelin dylatacyjnych w budowlach”.
- [194] Tilch W., Grefhorst C. Kleimann W., „Bentonite als Formstoffbinder- eine praxisnahe Bewertung der Eigenschaften” Teil I Giesserei- Praxis 2/2002.
- [195] Treloar, L. R. G., „Stress-Strain Data for Vulcanised Rubber under Various Types of Deformation,” Transactions of the Faraday Society, vol. 40, pp. 59–70, 1940
- [196] Trochonowicz M., Wilgoć w obiektach budowlanych. Problematyka badań wilgotnościowych , Politechnika Lubelska, Budownictwo i Architektura 7 (2010) s.131-144.
- [197] *Waśniewski G., Schabowicz K., Wróblewski K., Kasprzak T., Identification of physical model of resinous material filling expansion gaps in reinforced concrete structures, Archives of Civil and Mechanical Engineering, 2020 [w druku].*
- [198] Ważny J., Mikroorganizmy rozwijające się w budynkach. Ochrona budynków przed korozją biologiczną. Red. J. Ważny, J. Karyś. Arkady, Warszawa, s. 52-90, 2001

- [199] Wesołowska M., Szczepaniak P., Nowe wymagania w ocenie wilgotnościowej przegród, *Izolacje* 3/2009
- [200] Wesołowski M., Blacha K., Ocena Przydatności Testerów Szorstkości w Procesie Eksploatacji Nawierzchni Lotniskowych, *Research Works of Air Force Institute of Technology* 39, grudzień 2016.
- [201] Węglewski W., Modelowanie zniszczenia betonu wywołanego korozją siarczanową, [Rozprawa doktorska], Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk, Warszawa 2008.
- [202] Wieczorkowski M., Teoretyczne podstawy przestrzennej analizy nierówności powierzchni, *Inżynieria Maszyn*, R. 18, z. 3, 2013.
- [203] Wieczorowski M. Trójwymiarowa analiza nierówności powierzchni Trójwymiarowa analiza nierówności powierzchni. *Metale & Nowe Technologie* nr 7-8, s. 22-25, 2014.
- [204] Wieczorowski M.: Wykorzystanie analizy topograficznej w pomiarach nierówności powierzchni. [Rozprawa habilitacyjna], 429, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2009.
- [205] Wójcik R., Pomiary wilgotności przegród budowlanych, *Materiały Budowlane* nr 8, 2002.
- [206] Wyszomirski P., Lewicka E., "Bentonity jako uniwersalny surowiec wielu dziedzin przemysłu", "Gospodarka Surowcami Mineralnymi", t. 21, z. 3/2005.
- [207] Zaleski K., Matuszak J., Zaleski J., *Metrologia warstwy wierzchniej*, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2018.
- [208] Zawada – Tomkiewicz A., Stroch B. Analiza struktury geometrycznej powierzchni z wykorzystaniem krzywej udziału materiału, *Mechanik* nr 11/2016.
- [209] ZDB, „Beläge auf Zementestrich. Fliesen und Platten aus Keramik, Naturwerkstein und Betonwerkstein auf beheizten und unbeheizten Zementgebundenen Fussbodenkonstruktionen”, VI 2007.
- [210] Ziobro J., Wieloosiowa analiza naprężeń i odkształceń gumy na bazie kauczuku naturalnego NR, *Zeszyty naukowe Politechniki Rzeszowskiej* 288, *Mechanika* 85, *RUTMech*, t. XXX, z. 85 (2/13), pp. 197-206, kwiecień-czerwiec 2013.
- [211] Żuchowski R., Salamak M., Hałas generowany przez urządzenia dylatacyjne w drogowych obiektach mostowych, 2017.

**STRESZCZENIE****ROZPRAWY DOKTORSKIEJ: KRZYSZTOF WRÓBLEWSKI****„Wpływ podłoża oraz wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych”**

Praca przedstawia rezultaty badań dotyczących identyfikacji wpływu podłoża oraz wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych. Dokonano krytycznego przeglądu literatury w zakresie uszczelniających żywic wypełniających i przygotowania podłoża przerwy dylatacyjnej. Przeanalizowano czynniki wpływające na niezawodność uszczelnienia takiej przerwy. Na podstawie badań własnych zbudowano bazę wiedzy, składającej się z parametrów uzyskanych przy rozciąganiu osiowym żywicznego materiału wypełniającego szczelinę między dwoma próbkami betonowymi opracowanego modelu przerwy dylatacyjnej. Rodzaj podłoża powierzchni betonu został określony jako sposób przygotowania jego powierzchni: nieczyszczone, czyszczone ręcznie i czyszczone mechanicznie za pomocą opracowanych własnych urządzeń. Stan zawilgocenia lub zanieczyszczenia podłoża rozpatrzono jako: suchy, wilgotny, mokry i zanieczyszczony bentonitem. W pracy przedstawiono także metodykę badań właściwości mechanicznych pseudo plastycznych 6 żywic stosowanych na rynku do uszczelnień przerwy dylatacyjnej. Scharakteryzowano obszar utraty przyczepności żywicy, na podstawie którego opracowano oryginalne, zaproponowane w rozprawie, kryterium odkształcalności. Utrata przyczepności żywicy uszczelniającej w przerwie dylatacyjnej z punktu widzenia zachowania niezawodności uszczelnienia jest momentem utraty jej szczelności. Ocenę skuteczności oraz uzyskane parametry powierzchni betonu przygotowanego przy użyciu własnych urządzeń zostały określone w przeprowadzonym badaniu profilu powierzchni betonu, które potwierdziły, że rezultaty badania powierzchni betonu przygotowanej mechanicznie są znacznie lepsze od wyników badań powierzchni betonu nieczyszczonego i betonu czyszczonego ręcznie. Uzyskano ciekawe rezultaty, które są istotne z punktu widzenia praktyki budowlanej. Opracowano także model numeryczny materiału wypełniającego przerwę dylatacyjną i podano jego parametry. Przeprowadzone szczegółowe analizy oraz badania własne dotyczące oceny wpływu rodzaju podłoża i wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych stanowią znaczący dorobek wiedzy technicznej i wzbogacają naukową bazę danych. Na podstawie przeprowadzonych badań zidentyfikowano wpływ podłoża oraz wypełnienia na niezawodność uszczelnienia przerwy dylatacyjnej w konstrukcjach żelbetowych i opracowano oryginalną metodykę wykonania uszczelnienia przerwy dylatacyjnej z zastosowaniem nowatorskich narzędzi do czyszczenia i nacinania powierzchni betonu. Na podstawie praktycznego zastosowania opracowanej metodyki potwierdzono jej przydatność, a jej oryginalność stanowi także wkład w rozwój nauki. Rozprawę doktorską zakończono wnioskami, które potwierdzają osiągnięcie postawionych celów naukowych i wytyczają kierunki dalszych badań. Praca składa się z 10 rozdziałów. Pracę ujęto łącznie na 272 stronach. Praca zawiera 97 rysunków, 122 tabele, 27 wzorów i 211 pozycji wykazu literatury.

Słowa kluczowe: przerwy dylatacyjne, konstrukcje żelbetowe, uszczelnienie, niezawodność.

**ABSTRACT****THE DISSERTATION OF: KRZYSZTOF WRÓBLEWSKI****"The influence of the substrate and filling on the reliability of sealing of the expansion gap in reinforced concrete structures"**

The dissertation presents the results of research on the identification of the impact of the substrate and filling on the reliability of the expansion gap sealing in reinforced concrete structures. A critical review of the literature on sealing filler resins and the preparation of expansion gap substrates was conducted. Several factors affecting the sealing reliability of such a gap were analyzed.

A knowledge base was built on the grounds of our own research. It consisted of parameters obtained during axial stretching of the resinous material filling the gap between two concrete samples of the developed expansion gap model. The type of concrete surface foundation was determined as a way to prepare its surface: uncleaned, cleaned by hand and mechanically cleaned with our own devices developed for this purpose. The state of moisture or soil contamination was considered as: dry, wet, wet and contaminated with bentonite. The thesis also presents a methodology for testing the mechanical properties of pseudo-plastic 6 resins used on the market for sealing expansion joints. The resin adhesion loss area was characterized, on the basis of which the original deformability criterion proposed in the dissertation was established. The loss of adhesion of the sealing resin in the expansion gap from the point of view of maintaining the reliability of the seal is deemed to be the moment of the loss of its tightness. The assessment of effectiveness and the obtained parameters of the concrete surface prepared with our own devices were determined in the conducted concrete surface profile test. The test confirmed that the results of testing the surface of concrete prepared mechanically are much better than the results of testing the surface of unrefined concrete and manually cleaned concrete. Interesting results, which are relevant to construction practice, were obtained. A numerical model of the material filling the expansion gap was also developed and its parameters were given. Detailed analyses and our own research concerning the assessment of the impact of the type of substrate and filling on the reliability of the expansion joint sealing in reinforced concrete constructions constitute significant achievements of technical knowledge and enrich the scientific database. On the basis of the conducted research, the impact of the substrate and filling on the reliability of the expansion joint sealing was identified in reinforced concrete structures and an original methodology was developed for sealing the expansion joint using innovative tools for cleaning and cutting the concrete surface. On the basis of practical application of the developed methodology, its usefulness was confirmed and its originality also contributes to the development of science. The doctoral dissertation was completed with conclusions which confirmed the achievement of the assumed scientific goals and set directions for further research. The thesis consists of 10 chapters. It is covered on a total of 272 pages. It contains 97 drawings, 122 tables, 27 designs and 211 references in the literature list.

Keywords: expansion joints, reinforced concrete structures, sealing, reliability.