

Niektóre problemy dotyczące stosowania powłok poliestrowych i szklanych w bezwykopowej rehabilitacji przewodów kanalizacyjnych

Some problems related to the use of polyester and glass liners in trenchless rehabilitation of sewer pipelines

ANDRZEJ KULICZKOWSKI, EMILIA KULICZKOWSKA

DOI 10.36119/15.2023.7-8.6

Dokonano prezentacji rodzajów mat poliestrowych i tkanin szklanych stosowanych w bezwykopowej rehabilitacji przewodów kanalizacyjnych. Wskazano na czym polegają błędy w interpretacji modułu oraz sztywności obwodowej utwardzonych powłok żywicznych. Podano także na wybranym przykładzie jakie efekty hydrauliczne uzyskuje się po zastosowaniu do renowacji przewodów kanalizacyjnych powłok poliestrowych i szklanych na tle jeszcze innych pięciu technik rehabilitacyjnych.

Słowa kluczowe: technologie CIPP, powłoki poliestrowe i szklane, analiza porównawcza

The types of polyester mats and glass fabrics used in the trenchless rehabilitation of sewers were presented. The errors in the interpretation of the E_R module and S_O ring stiffness of cured resin liners were indicated. Also, on a selected example, the hydraulic effects obtained after the use of polyester and glass coatings for the renovation of sewers against the background of five other rehabilitation techniques were also given.

Keywords: CIPP technologies, polyester and glass liners, comparative analysis

Uwagi wstępne

Maty i tkaniny kompozytowe mają szerokie zastosowanie, m.in. służą do wzmacniania różnych elementów konstrukcji budynków, a w przypadku rurociągów i kanałów, do wzmacniania ich konstrukcji, zarówno od zewnątrz, jak również i to znacznie częściej od wewnątrz, poprzez ich bezwykopową rehabilitację.

Jako materiały tekstylne stosowane są [17] maty poliestrowe zwykłe, wzmacniane maty filcowe za pomocą włókien szklanych, aramidowych, węglowych lub jednocześnie węglowych i szklanych, maty kompozytowe z włókien szklanych, tkaniny rovingowe szklane czy kompleksowo wzmacnione kompozyty szklane.

Najczęściej w rehabilitacji przewodów kanalizacyjnych metodą CIPP (ang. cured in place pipe) stosowane są maty poliestrowe i tkaniny szklane. W niektórych publikacjach czy prospektach firmowych nie zawsze pojawiają się prawidłowe interpretacje dotyczące różnych aspektów związa-

nych ze stosowaniem obu wyżej wymienionych mat czy tkanin w bezwykopowej rehabilitacji przewodów kanalizacyjnych. Głównie dotyczy to nie zawsze prawidłowego interpretowania wpływu wielkości modułu E_R na bezpieczeństwo konstrukcyjne powłok po ich utwardzeniu [12], roli sztywności obwodowej S_O w projektowaniu powłok [15] czy wpływu tych technologii na zmiany parametrów hydraulicznych przewodów kanalizacyjnych po dokonaniu w nich bezwykopowej rehabilitacji [6]. Celem tego opracowania jest m.in. analiza powyższych trzech zagadnień.

Problematyka dotycząca analiz porównawczych powłok żywicznych poliestrowych i szklanych obejmuje szereg innych zagadnień nie stanowiących przedmiotu rozważań w tym opracowaniu, takich jak porównanie ich cech znacznie różniących się co stanowiło przedmiot innych publikacji i co wskazuje na sytuacje, w których preferowane mogą być konkretne z tych rozwiązań. Czynnikiem tymi są m.in. elastyczność, możliwość przenosze-

nia różnych obciążeń rozciągających, różnice w ciężarze czy ryzyko powstawania fałd na łukach.

Rodzaje materiałów tekstylnych nasączanych żywicą

Uwagi wstępne

Materiały tekstylne z przeznaczeniem do nasączania żywicą są wykonywane w postaci tkanin, plecionek lub mat z włókien w zależności od rodzaju zastosowanej technologii rehabilitacyjnej. Najczęściej, głównie ze względów ekonomicznych, stosowane są maty z włókien poliestrowych, które nasącza się żywicą poliestrową. Droższym, ale i lepszym pod względem własności fizykochemicznych materiałem jest włókno szklane. Wymienione materiały mogą być także nasączone żywicą epoksydową, winyloestrową, alkidową czy bisfenolową.

Materiały tekstylne przekazują gotowej po utwardzeniu powłoce rehabilitacyjnej w mniejszym lub większym stopniu

swoje własności. Czasami, np. w przypadku zastosowania tkanin poliestrowych, służą one wyłącznie jako podkład dla żywicy i praktycznie tylko w niewielkim stopniu, poza wytrzymałością na rozciąganie, odpowiadają za parametry mechaniczne lub chemiczne powłoki. Mogą też przekazywać utwardzonej powłoce swoje cechy w postaci wypadkowej: właściwości ich oraz żywicy, co ma miejsce np. w przypadku zastosowania tkanin szklanych.

Włókniny filcowe

Do wyrobu włóknin filcowych stosuje się głównie włókna poliestrowe (np. dacron, terylen) oraz poliuretanowe i poliamidowe, należące do tworzyw termoplastycznych (tzn. posiadających budowę liniową). Przedstawicielem włókien poliamidowych wytwarzanych z poliamidów alifatycznych jest np. nylon. Bardzo dobrze wiąże się on z żywicami poliestrowymi po ich utwardzeniu. Nadają one jednak powłokom znacznie niższe niż włókno szklane własności wytrzymałościowe, ale charakteryzują się znacznie większym wydłużeniem niż tkaniny szklane.

Mimo dużej różnorodności możliwych do zastosowania włókien syntetycznych, najczęściej stosuje się włókniny poliestrowe. Powłoki z nich wykonane, głównie w formie nie tkanej, w postaci mat filcowych, stanowią podstawę wielu technologii. Stosowane są m.in. w technologiach: Aarsleff, Insituform, Kawo, KM-Inliner, National Liner, Poltec, Prisform, Uniliner, w których łączone są one przeważnie z nienasyconymi żywicami poliestrowymi, a także np. w technologiach Konudur Home Liner i RS Cityliner, gdzie występują w połączeniu z żywicami epoksydowymi.

Wzmacniane kompozyty filcowe

Wzmacniane materiały kompozytowe, należą do materiałów tzw. zaawansowanych (ang. advanced materials), aktualnie bardzo dynamicznie rozwijających się. Pod pojęciem kompozytów rozumie się połączenie, czy też kompozycję przynajmniej dwóch różnych materiałów w celu uzyskania ściśle określonych właściwości eksploatacyjnych nowego materiału.

Tkaniny techniczne wykonane np. z włókien poliestrowych są wzmacniane innymi materiałami, np. włóknami szklanymi, w celu poprawienia ich parametrów wytrzymałościowych. Takie rozwiązanie jest stosowane np. w metodach KM-Inliner i Berolina Liner-System. Specjalne wzmacnienia z włókna szklanego posiadają także tkaniny do rehabilitacji przewodów ciśnieniowych m.in. Pressure Pipe Liner firmy In-

situform. Mają one na celu dodatkowo przeniesienie ciśnienia wewnętrznego.

Oprócz kompozytów poliestrowo – szklanych, stosowane są również wzmacnienia tkanin technicznych włóknami aramidowymi lub węglowymi.

W technologiach utwardzanych powłok żywicznych stosuje się następujące rodzaje włókien szklanych [17]:

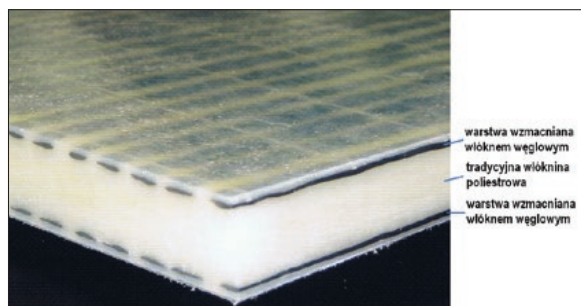
- E-glass (E = electric) – włókno standardowe, ze szkła krzemianowo-borowego, zawierające poniżej 0,8% tlenków alkalicznych,
- S-glass (S = strenght) – włókno o podwyższonej odporności chemicznej,
- R-glass (R = resistant) – włókno o podwyższonej odporności chemicznej i wytrzymałości mechanicznej, zwłaszcza wytrzymałości na rozciąganie, dzięki dużej zawartości Al_2O_3 ,
- C-glass (C = corrosion) – włókno ze zwiększoną ilością boru, o szczególnej odporności na korozję chemiczną,
- E-CR-glass – wzmacnione włókno o szczególnie dużej odporności na korozję.

Tkaniny poliestrowe mogą być także wzmacniane włóknami aramidowymi. Rozpowszechnione są one pod nazwą rynkową Kevlar. Charakteryzują się dużą odpornością chemiczną, z wyjątkiem mocnych kwasów nieorganicznych i zasad, mają bardzo dobre własności elektryczne, nie palą się i nie topią. Ponadto w tempe-

bonizowane są to włókna, w których materiał stanowi co najmniej 80% węgla. Rozróżnia się dwa podstawowe rodzaje włókien: węglowe i grafitowe. Włókna węglowe zawierają 80÷98% węgla. Charakteryzują się słabo rozwiniętą oraz mało zorientowaną strukturą grafitową. Natomiast włókna grafitowe są to włókna posiadające strukturę wyraźnie krystaliczną i silnie zorientowaną, z zawartością węgla wynoszącą ok. 99%. Włókna grafitowe powstają z włókien węglowych w procesie dodatkowego ich ogrzewania do temperatury powyżej 2500°C. Parametry wytrzymałościowe włókien grafitowych są zdecydowanie korzystniejsze od parametrów włókien węglowych.

Do wzmacnień laminatów filcowych wykorzystywane są włókna węglowe. Oprócz kompozytów włókninowo – węglowych, stosowane są także wzmacnienia laminatów jednocześnie włóknami węglowymi i szklanymi. Rozwiązanie to znane jest pod nazwą iPlus Composite. W technologii iPlus Composite włókna wzmacniające są zintegrowane w ścianie powłoki, w postaci dwóch warstw po wewnętrznej i zewnętrznej stronie (rys. 1). Stanowią one trzon powłoki i nadają jej większą wytrzymałość i sztywność (ze względu na pierścieniową orientację włókien). Przestrzeń pomiędzy nimi wypełnia tradycyjna włóknina poliestrowa o niższych parametrach wytrzymałościowych.

Rys. 1.
Warstwowa powłoka iPlus Composite po utwardzeniu [17]
Fig. 1. Layered the iPlus Composite liner after curing [17]



warstwa wzmacniana włóknem węglowym
tradycyjna włóknina poliestrowa
warstwa wzmacniana włóknem węglowym

raturze znacznie poniżej zera, nie obserwuje się w nich zjawiska kruchości. Są one czułe na promieniowanie UV, jednakże dodatek stabilizatorów wpływ ten znacznie redukuje.

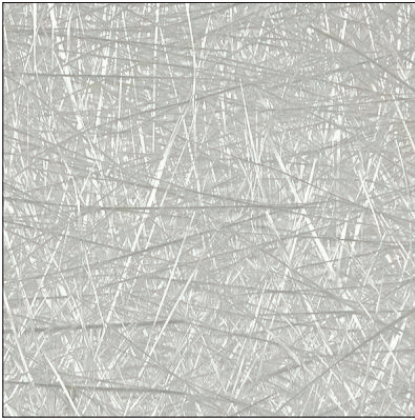
Włókna te, jako wzmacnienie dla tworzyw sztucznych, produkowane są w postaci przędzy, rovingu w pasmach, włókien ciętych, tkanin oraz materiałów preimpregnowanych. Pomimo wielu walorów użytkowych, głównie związanych z parametrami wytrzymałościowymi, ich wysoki koszt ma wpływ na ograniczone ich stosowanie.

W technologiach utwardzanych powłok żywicznych stosowane są także kompozyty na bazie włókien węglowych, zwanych też karbonizowanymi. Włókna kar-

Maty i tkaniny szklane

Powłoki na bazie włókien szklanych mogą być wykonane z mat lub mogą być tkane. Maty szklane tworzą warstwy nieplecionych włókien szklanych łączonych chemicznie (klejenie) lub mechanicznie (stębnowanie) o zawartości szkła 30÷55%. Sposób ich łączenia umożliwia uzyskanie w laminatach odmiennych własności mechanicznych. Najczęściej stosowane są lepione maty rovingowe. Do ich wykonania stosuje się włókna w postaci ciętego rovingu 60-pasmowego o średnicach $11 \div 14 \mu m$, który łączony jest spoiwem. Przykładowa mata szklana pokazana jest na rys. 2.

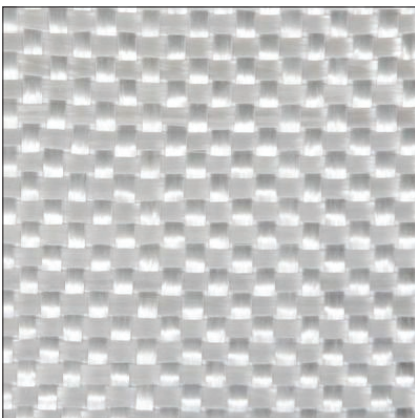
Zaletą mat z włókien szklanych jest ich stosunkowo niski koszt, są one tańsze od



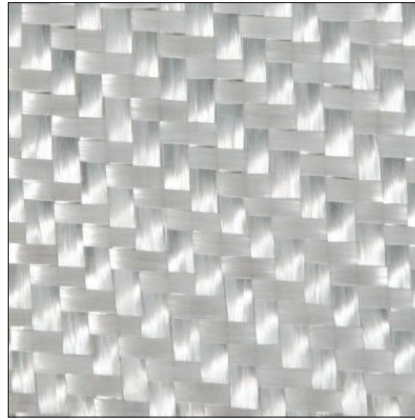
Rys.2. Mata szklana o gramaturze 300 g/m² wykonana z pociętych włókien szklanych typu E [17]
Fig.2. Glass mat with a weight of 300 g/m² made of chopped E-glass fibers [17]

tkanin szklanych. M.in. z tych właśnie powodów znalazły one zastosowanie w technologiach utwardzanych powłok żywicznych. Stosowane są m.in. w takich systemach, jak: Berolina Liner-System, iMPREG-liner czy KM-Inliner. Opcjonalnie do mat szklanych stosowane są kompozyty tkane. Są one jednak od nich droższe. Najczęściej stosuje się tkaniny szklane, produkowane z rovingu, rzadziej, ze względu na konieczność obróbki wstępnej, tkaniny z przędzy. Ponadto tkaniny rovingowe łatwiej jest przesycać żywicą. Tkaniny rovingowe są tańsze od tkanin z przędzy skręconej.

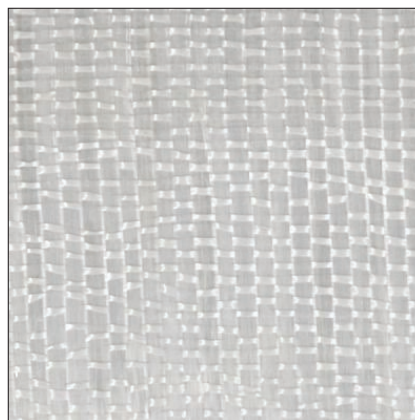
Istotny wpływ na parametry wytrzymałościowe wzmocnianego tworzywa ma rodzaj splotu tkaniny. Rozróżnia się trzy zasadnicze sploty tekstylne tkanin: płócienny, satynowy i rządkowy. W splotach płóciennym (rys.3) każda nić osnowy przeplata się i krzyżuje z każdą nicią wątku. Dzięki temu tkanina jest mocno związana i sztywna. W splotach satynowym (rys.4) każda nić wątku i osnowy przechodzi pod jedną



Rys. 3. Tkanina rovingowa o splotach płóciennym z bezalkalicznego szkła typu E [17]
Fig. 3. Roving fabric with a plain weave made of alkali-free E-glass [17]



Rys. 4. Tkanina rovingowa o splotach rządkowym z bezalkalicznego szkła typu E [17]
Fig. 4. Row-weave roving fabric made of alkali-free E-glass [17]



Rys.5. Tkanina rovingowa typu sandwich z bezalkalicznego szkła typu E [17]
Fig.5. Sandwich roving fabric made of alkali-free E-glass [17]

nicia, a następnie przepuszcza pewną większą ich ilość. W zależności od liczby nici przepuszczonych wyróżnia się satyny 4 – i 8-krotne. Tkaniny satynowe są luźno związane, łatwo się odkształcają i układają na płaszczyznach krzywych. Splot rządkowy (rys.5) charakteryzuje się tym, że np. nici wątku przechodzą nad jedną nicią osnowy, a następnie pod większą ich liczbą ze skokiem w prawo lub lewo. Stanowi to w pewnym sensie splot pośredni pomiędzy płóciennym i satynowym.

Wyróżnia się także tkaniny o budowie typu sandwich, a także tkaniny stanowiące dwie lub trzy warstwy równoległych pasm rovingu ułożonych jedna na drugiej pod kątem prostym i związanych dodatkową nicią.

Tkaniny szklane są mniej rozpowszechnionym rozwiązaniem w technologiach utwardzanych powłok żywicznych ze względu na ich wysoki koszt. Atutem ich są znacznie lepsze parametry wytrzymałościowe. Oprócz wyżej opisanych mat i tkanin z włókien szklanych stosowane są

także kompleksowo wzmocnione kompozyty szklane. Wzmocnienia kompleksowe składają się głównie z dwóch sklejonych ze sobą warstw, różniących się formą i gramaturą. Klejone są tkaniny o różnym splotach i różnej gramaturze z matami z rovingu lepionego. Stosowanie kompleksów mata rovingowa – tkanina pozwala na uzyskanie laminatu o cechach mechanicznych pośrednich między cechami z maty i z tkaniny. Rozwiązanie takie skraca także czas laminowania.

Kompleksowo wzmocnione kompozyty szklane znalazły zastosowanie w technologii Inpipe. Stanowią je zazwyczaj dwie warstwy. Pierwszą od zewnątrz warstwę (przed instalacją) stanowi tkanina o budowie sandwich, będąca kompleksem połączonych ze sobą (w tym przypadku przestębnowanych nićmi) warstw z tkanin rovingowych o splotach płóciennych i maty z włókien ciętych. Druga natomiast to plecionka z wielopasmowego rovingu o splotach rządkowym.

Moduł E_R w projektowaniu żywicznych powłok rehabilitacyjnych

W toku obliczeń statyczno-wytrzymałościowych [7,10,13] żywicznych powłok rehabilitacyjnych występuje moduł E_R . Ma on istotny wpływ na grubość stosowanych powłok.

Z faktu, iż moduły E_R utwardzonych powłok żywicznych bazujących na tkaninach szklanych są znacznie, nieraz kilkukrotnie, wyższe od modułów E_R utwardzonych powłok żywicznych z mat poliestrowych, niekiedy wyciągane są wnioski, iż te pierwsze są lepsze od powłok utwardzanych z zastosowaniem tkanin poliestrowych.

Moduł E_R ulega, w przypadku powłok z tworzyw sztucznych, zmianom w funkcji czasu, przy czym nie ma on żadnego związku z tym czy dany materiał jest lepszy czy gorszy. W tabeli 1 podano moduły E_R dla kilku różnych materiałów, z których wykonywane są rury lub powłoki rehabilitacyjne. W przypadku niektórych

Tab. 1. Wartość modułów E_R dla niektórych materiałów
Table.1 The value of flexural modulus for some materials

Materiał rury lub powłoki rehabilitacyjnej	Moduł E_R
Stal	$E_R = 210\ 000\ \text{MPa}$
Kamionka	$E_R = 50\ 000\ \text{MPa}$
PVC	$E_R = 3\ 000^1 / 1\ 500^2\ \text{MPa}$
PE 100	$E_R = 1\ 200^1 / 200^2\ \text{MPa}$
Przykładowa powłoka żywiczna poliestrowa	$E_R = 3\ 000^1 / 1\ 500^2\ \text{MPa}$
Przykładowa powłoka żywiczna szklana	$E_R = 20\ 500^1 / 16\ 016^2\ \text{MPa}$

1 – moduł krótkotrwały E_{Rk}
2 – moduł długotrwały E_{RL}

materiałów, takich jak np. stal, beton czy kamionka moduł E_R ma wartość stałą w całym okresie eksploatacji rur. Natomiast w przypadku rur lub powłok rehabilitacyjnych z tworzyw sztucznych termoplastycznych czy termoutwardzalnych, takich jak np. PVC, PE-HD czy GRP, moduł E_R zmniejsza się wraz z upływem czasu od wartości początkowej E_{RK} (moduł krótkookresowy) do wartości E_{RL} (moduł długookresowy), ustalonej dla czasookresu 50 lat i temperatury eksploatacji wynoszącej 20°C.

Analizując tabelę 1 nie można wyciągać wniosków, iż np. stal ($E_R=210\ 000$ MPa) jest lepsza od kamionki ($E_R=50\ 000$ MPa) ponad 4-krotnie czy ponad 1050 razy lepsza od polietylenu PE100 ($E_{RL}=200$ MPa) po 50. letnim okresie eksploatacji tych rur czy powłok rehabilitacyjnych z nich wykonanych. Analogicznie wnioski stwierdzające, iż powłoki żywiczne na bazie tkanin szklanych, z uwagi na wyższy moduł E_R , są lepsze od bazujących na tkaninach poliestrowych są całkowicie błędne.

Narzucanie np. w niektórych przetargach zawyżonych wartości modułu E_R nie ma zatem jakiegokolwiek uzasadnienia technicznego, a powoduje wyeliminowanie z udziału w przetargach dużej grupy firm oferujących w większości przypadków powłoki żywiczne na bazie mat poliestrowych.

Autorzy niektórych publikacji podają także błędną interpretację, dotyczącą wpływu wzajemnych relacji modułów krótkookresowego E_{RK} i długookresowego E_{RL} na parametry wytrzymałościowe utwardzonych powłok. Z faktu, iż moduł długookresowy E_{RL} w przypadku powłok z mat poliestrowych jest o ok. 50% niższy od modułu krótkookresowego E_{RK} (np. w przypadku powłoki poliestrowej z tab.1), a w przypadku powłok z tkanin szklanych (np. w przypadku powłoki szklanej z tab.1) tylko o 28%, wyciągany jest kolejny błędny wniosek, iż powłoki na bazie tkanin szklanych są lepsze (trwalsze lub bardziej wytrzymałe) od powłok na bazie tkanin z włókien poliestrowych. Obie wyżej wymienione powłoki projektowane są tak, aby dla każdej z nich po 50 latach ich eksploatacji w temperaturze 20°C współczynnik ich bezpieczeństwa konstrukcyjnego był taki sam. Zatem obie analizowane powłoki, biorąc pod uwagę czasookres 50 lat, oraz biorąc pod uwagę wyłącznie ich parametry wytrzymałościowe a nie inne czynniki, które nie stanowiły przedmiotu analizy w tym opracowaniu, takie jak np. ich elastyczność, ciężar itp. należy uznać za równoważne.

Kontynuując przytoczone wyżej błędne rozumowanie można byłoby sformułować kolejny błędny wniosek, że np. rury

polietylenowe z polietylenu PE 100 [8,9] są 7,5 razy ($1500/200 = 7,5$) gorsze od rur wykonanych z PVC. Różnice w wielkości modułów E_{RK} i E_{RL} wynikają z różnych wzajemnych relacji między naprężeniami a odkształceniami w okresie dla 50 letniego okresu ich eksploatacji.

Szywność obwodowa

Problematyka błędów związanych z niezrozumieniem istoty szywności obwodowej S_o powłok rehabilitacyjnych została zaprezentowana m.in. w [15]. Opisano tam m.in. konsekwencje błędów, polegających na narzucaniu z góry wymaganych szywności obwodowych powłok rehabilitacyjnych, bez względu na to jakim poddane są one obciążeniom. Jako przykład podano tam zalecenie stosowane w niektórych miastach, według którego wymaga się stosowania rehabilitacyjnych powłok żywicznych pod ulicami o szywności obwodowej nie mniejszej niż 7 kN/m², a pod terenami zielonymi nie mniejszej niż 4 kN/m².

Podstawowy błąd takiego założenia polega na tym, że nie można dla całego miasta narzucić z góry określonych wartości szywności obwodowej powłok rehabilitacyjnych. Są kanały ułożone płycej, o mniejszych obciążeniach, dla których szywności obwodowe (jak to udowodniono w [15]) mogą być nawet niższe od 1 kN/m², a są również kanały w tym samym mieście głębiej ułożone, dla których wymagane szywności obwodowe są kilkukrotnie wyższe.

Należy także rozróżnić czy rehabilitacja jest renowacją (ang. non structural rehabilitation) czy częściową rekonstrukcją (ang. partially structural rehabilitation) lub pełną rekonstrukcją (ang. full structural rehabilitation). W przypadku renowacji grubości powłok (i wynikające z nich szywności obwodowe) są z reguły mniejsze od grubości powłok częściowo i w pełni rekonstrukcyjnych.

Poprawny tok wymiarowania konstrukcyjnego rehabilitacyjnych powłok żywicznych polega na obliczeniu oddzielnie dla każdego z przewodów kanalizacyjnych wymaganej ich grubości s po przyjęciu oddziaływających na nie obciążeń. Szywność obwodową S_o (która przydatna jest na etapie przetargu) w przypadku kanałów o przekroju kołowym powinna być ustalona w oparciu o wzór (1) po wcześniejszym obliczeniu grubości s [11] powłoki rehabilitacyjnej.

$$S_o = \frac{E_R \cdot J}{d_m^3} = \frac{E_R}{12} \left(\frac{s}{d_m} \right)^3 \quad (1)$$

gdzie:

- E_R – moduł materiału konstrukcyjnego powłoki [N/mm²],
- J – jednostkowy moment bezwładności ścianki powłoki [N/mm²],
- s – grubość powłoki ustalona w toku obliczeń [mm],
- d_m – średnia średnica powłoki [mm].

W przypadku stosowania zawyżonych wartości szywności obwodowej projektowane powłoki żywiczne posiadają zawyżone grubości w stosunku do wymaganych, niepotrzebnie zwiększając koszty materiałowe w trakcie robót rehabilitacyjnych.

Szywność obwodowa jest parametrem dotyczącym wyłącznie przekrojów kołowych. W przetargach nie należy zatem – co niekiedy ma miejsce – wymagać od oferentów technologii określonych wartości szywności obwodowej powłok rehabilitacyjnych w przypadku kanałów o przekroju poprzecznym np. jajowym czy prostokątnym.

Z cytowanego wcześniej zalecenia dotyczącego wymaganej szywności obwodowej (7 kN/m² dla kanałów pod ulicami oraz 4 kN/m² pod terenami zielonymi) wynikałoby, iż obciążenia pod terenami zielonymi są mniejsze niż pod ulicami. W [15] wykazano, iż bardzo często jest odwrotnie.

Zdarza się, że w przypadku kanału o tej samej średnicy, ułożonego w tym samym gruncie i na tej samej głębokości obciążenia użytkowe od taboru samochodowego mogą być większe pod terenami zielonymi niż pod np. betonową nawierzchnią uliczną. W przypadku kanałów ułożonych pod terenami zielonymi przyjmuje się współczynnik dynamiczny równy 1,0 a cały ciężar pojazdu przekazywany jest na kanał. Z kolei w przypadku kanałów ułożonych pod nawierzchniami ulicznymi przyjmuje się najczęściej współczynnik dynamiczny równy 1,2 ale cały ciężar (wprawdzie cięższego pojazdu niż przyjmowany dla terenów zielonych) nie jest przekazywany na kanał. W przypadku np. nawierzchni betonowych należy uwzględnić współczynnik odciążający uwzględniający odciążające działanie nawierzchni ulicznej, który w przypadku takiej nawierzchni może wynosić np. około 0,1. Mimo, iż ciężar pojazdu przyjmowanego w przypadku nawierzchni ulicznych jest większy niż ciężar pojazdu przyjmowanego dla terenów zielonych obciążenia oddziałujące na kanał mogą być zatem znacznie większe jak to wykazano w [15] w przypadku kanałów ułożonych pod terenami zielonymi aniżeli ich ułożenia pod nawierzchniami ulicznymi.

Podsumowując należy stwierdzić, iż tylko taki projekt rehabilitacji przewodów kanalizacyjnych jest poprawny, w którym

w toku obliczeń statyczno-wytrzymałościowych ustala się grubość powłoki żywicznej. Narzucanie z góry określonych sztywności obwodowych powłok żywicznych należy uznać za błędne, a jednocześnie szkodliwe z uwagi na niepotrzebne zwiększanie kosztów rehabilitacji przewodów kanalizacyjnych, a w niektórych przypadkach na możliwość nie zagwarantowania projektowanym powłokom rehabilitacyjnym wymaganego współczynnika bezpieczeństwa konstrukcyjnego.

Efekty hydrauliczne uzyskiwane w wyniku zastosowania powłok rehabilitacyjnych poliestrowych i szklanych do bezwykopowej renowacji przewodów kanalizacyjnych

W [6] dokonano analizy uzyskiwanych efektów hydraulicznych po zastosowaniu siedmiu różnych technologii bezwykopowej renowacji przewodów kanalizacyjnych wymienionych w opisie rys. 6.

Przykład obliczeniowy wykonano dla kanału betonowego \varnothing 400 mm o długości 50 m wykonanego z rur łączonych na styk o długości 1 m. Założono na tym odcinku 7 przykanalików o średnicy 150 mm. Przyjęto typowe studzienki kanalizacyjne, chropowatość ścian kanału przed renowacją równą 2,5 mm, przepływ ścieków 250 dm³/s oraz efektywną wielkość przekroju kanału w świetle równą 95 %.

Przepustowość kanału przed (I) i po jego renowacji (II-VIII) pokazano na rys. 6.

W niektórych opracowaniach podkreśla się jako jedną z istotnych zalet renowacji przewodów kanalizacyjnych fakt, że

powłoki żywiczne z tkanin szklanych umożliwiają uzyskanie znacznie lepszych efektów hydraulicznych w stosunku do uzyskiwanych przy zastosowaniu tkanin poliestrowych. Różnice rzeczywiście są ale niewielkie. W analizowanym przykładzie zastosowanie powłok szklanych powoduje wzrost przepustowości kanału o 165%, a powłok poliestrowych o 161%. Obie te technologie dla analizowanego kryterium wypadają najkorzystniej na tle pozostałych pięciu technologii. Należy tu dodać, że nie zawsze po wykonaniu bezwykopowej renowacji kanału wymagany jest wzrost jego przepustowości. Zdarza się niekiedy, że niektóre przewody kanalizacyjne po opomiarowaniu zużycia wody przez mieszkańców bywają przewymiarowane i w tym przypadku wzrost ich przepustowości może być niewskazany.

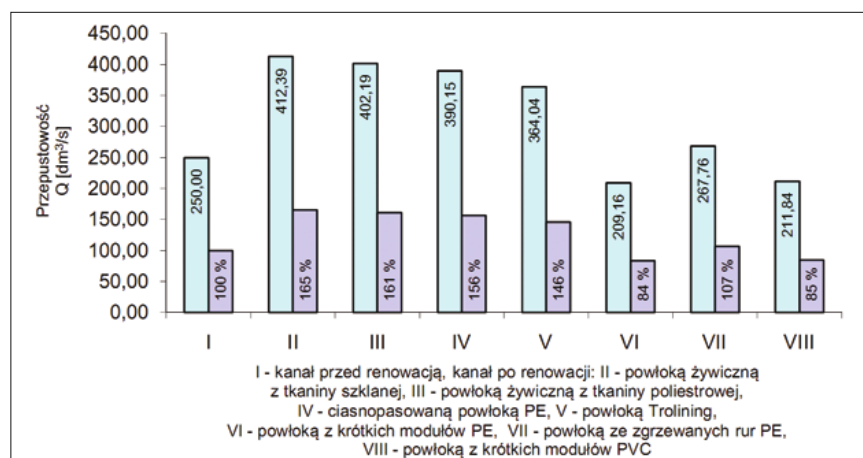
Trwałość powłok żywicznych z tkanin poliestrowych i szklanych

Wielu ekspertów ocenia, że średnia trwałość powłok żywicznych może wynosić, podobnie jak prognozowana trwałość rur PVC czy PE-HD, około 50 lat. Z danych Niemieckiego Stowarzyszenia Technik Bezwykopowych wynika, że średnia trwałość utwardzanych in situ powłok żywicznych wynosi 46 lat [14]. W rzeczywistości powłoki żywiczne poprawnie zaprojektowane i wbudowane, w oparciu o zweryfikowane w warunkach laboratoryjnych i poligonowych technologie cechuje wyższa trwałość. Powłoki żywiczne projektuje się biorąc pod uwagę prognozowane długookresowe (dla okresu 50 lat) ich parametry, takie jak wytrzymałość na rozciąganie oraz moduł E_R . Poprawnie zaprojektowane i wbudowane powłoki żywiczne po okresie 50 lat powinny mieć zatem takie współczynniki bezpieczeństwa, jak nowo wbudowane rury stalowe, betonowe, kamionkowe, których moduł E_R nie ulega zmianie w funkcji czasu. Badania laboratoryjne rehabilitacyjnych powłok żywicznych odkopywanych przez różne instytucje i firmy po określonym okresie wykazują, iż ich parametry materiałowe są wyższe od prognozowanych co sugeruje, że ich trwałość eksploatacyjna będzie znacznie wyższa niż 50 lat.

Interesujące w tym zakresie są badania wykonane przez Centrum Technologii Bezwykopowych na Uniwersytecie w Louisianie. Opublikowane w [1] wyniki badań dotyczą powłok wykonanych z mat poliestrowych \varnothing 200 mm nasączonych żywicą poliestrową odkopanych i usuniętych z kanału kamionkowego po 26 latach ich eksploatacji. Badania te wykazały, że moduły powłok wynosiły od 310 000 psi (2 136 MPa) do 363 000 psi (2 501 MPa) podczas gdy zgodnie z [2] zaprojektowano je na 250 000 psi (1 723 MPa). Minimalne obwodowe naprężenia rozciągające byłyby równe 6 170 psi (42,5 MPa) i były także znacznie wyższe od podanej w normie [2] wartości równej 4 500 psi (31,0 MPa). Badania spektroskopowe wykazały wysoką chemiczną stabilność żywicy. Test na utratę stateczności przez badaną powłokę żywiczną wykazał, że może ona przenieść naprężenie równe 40 psi (275,6 hPa) czyli ponad 90 stóp (27,43 m) słupa wody.

Zaprezentowane w [1] wyniki badań powłok żywicznych z tkanin poliestrowych nasączonych żywicą poliestrową wypadają zatem bardzo pozytywnie. Interesujące byłoby potwierdzenie uzyskanych wyników także przez inne ośrodki naukowe wykonujące podobne badania długo eksploatowanych powłok CIPP.

Ponieważ tkaniny szklane stosowane są znacznie krócej od poliestrowych, brak jest podobnych badań dotyczących ich trwałości. Niepokojące są natomiast informacje niektórych firm dotyczące rodzaju włókien szklanych, mogących znaleźć zastosowanie w tkaninach tworzących powłoki rehabilitacyjne. Np. w [3] a także w [4] podano, że rehabilitacyjne tkaniny szklane mogą być wykonywane zarówno ze szkła typu E jak i szkła typu ECR z tym, że standardowym rozwiązaniem są włókna szklane E. Jak to wcześniej podano, istnieje kilka rodzajów włókien szklanych, w tym włókna E standardowe i ERC odporne na korozję chemiczną i właśnie te ostatnie włókna powinny być stosowane



Rys.6.

Przepustowość kanału przed (I) i po jego renowacji (II-VIII) wyrażona w dm³/s oraz w % w odniesieniu do przepustowości sprzed renowacji [6]

Fig.6. Sewer capacity before (I) and after the non structural rehabilitation (II-VIII) expressed in dm³/s and % in relation to the capacity before rehabilitation [6]: I – Sewer before rehabilitation, II – Sewer after glass fibre reinforced fabric liner rehabilitation, III – Sewer after polyester felt liner rehabilitation, IV – Sewer after close fit liner (PE) rehabilitation, V – Sewer after Trolining liner rehabilitation, VI – Sewer after short-pipe relining (PE) rehabilitation, VII – Sewer after sliplining (PE) rehabilitation, VIII – Sewer after short-pipe relining (PVC) rehabilitation

w przypadku rehabilitacji przewodów kanalizacyjnych. Włókna typu E mogą być stosowane w wielowarstwowych rurach żywiczych GRP [5,16] z uwagi na ochronne zewnętrzne i wewnętrzne warstwy tych rur wykonane z żywicy bez włókien (analogia do prętów zbrojeniowych osłanianych otuliną w rurach żelbetowych), natomiast nie powinny być stosowane w powłokach rehabilitacyjnych, w których występuje tylko cienkościenna folia pełniąca funkcję technologiczną w trakcie wbudowywania i utwardzania tychże powłok.

Uwagi końcowe

Obecnie istnieje duża różnorodność materiałów i tkanin kompozytowych stosowanych m.in. w bezwykopowej rehabilitacji przewodów kanalizacyjnych. Analiza porównawcza powłok rehabilitacyjnych wykonanych przy zastosowaniu włókien poliestrowych i szklanych wykazuje, że brak jest podstaw do często pojawiających się stwierdzeń, że powłoki szklane są lepszym rozwiązaniem od powłok poliestrowych.

Każda z tych powłok posiada określone zalety jak również określone ograniczenia dotyczące ich stosowania. Projektując powłoki żywiczne CIPP i organizując przetargi dotyczące ich zastosowania, należy uwzględnić zamieszczone wyżej informacje dotyczące poprawnego doboru modułu tych powłok, ich sztywności obwodowej oraz informacje dotyczące uzyskiwanych efektów hydraulicznych po ich zastosowaniu.

Rehabilitacyjne powłoki na bazie włókien poliestrowych są stosowane od roku 1971, a badania tych powłok dawno wbudowanych prowadzone przez różne instytucje naukowo-badawcze są nadzwyczaj pozytywne i wskazują, że w przypadku prawidłowego ich zaprojektowania i wbudowania okres ich eksploatacji będzie prawdopodobnie dłuższy niż sz-

cowany kilkadziesiąt lat temu na około 50 lat, ale pod warunkiem, że zostaną one w pełni poprawnie wbudowane przy zastosowaniu nie uszkodzonych i poprawnie wykonanych mat i tkanin oraz zastosowaniu nie przeterminowanych żywic.

LITERATURA

- [1] Allouche E., i inni: Forensic investigation of CIPP liners, In Proceedings: No-Dig Show, North American Society for Trenchless Technology, Washington, D.C., Paper D-5-04-1, p.11,2011.
- [2] ASTM F216-07b: Standard Practice for Rehabilitation of Existing Pipelines and Conduits by the Inversion and Curing of a Resin-Impregnated Tube.
- [3] Berolina Polyester GmbH&Co. KG: Produktbeschreibung für Berolina-Liner/T-Liner/Inpipe-Liner, Berlin.
- [4] Goll J., Schwab B. (Brandenburger liner GmbH&Co): UV-Lichthärtung in der Kanalsanierung, wasserwirtschaft-wassertechnik, 7,39-42,2001.
- [5] Misiczak J., Ślosarczyk A.: Modyfikacje włókien szklanych stosowanych przy produkcji rur typu GRP, INSTAL, 3,33-35,2011. <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BSW3-0087-0007>
- [6] Kuliczkowski A., Dańczuk P.: Hydrauliczne aspekty bezwykopowej renowacji przewodów kanalizacyjnych, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1,16-19 i 30,2009. <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BPP2-0003-0050>
- [7] Kuliczkowski A., Kubicka U., Parka A.: The comparative analysis of standards used in Poland for trenchless rehabilitation of sewage pipes and the problems in design of resin lines, Tunneling and Underground Space Technology, 25,795-801,2010. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2010.02.012>
- [8] Kuliczkowski A.: Wybrane problemy dotyczące projektowania rurociągów polietylenowych – cz. I, INSTAL, 3,28-32,2011. http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BSW3-0087-0006?q=bwmeta1.element.baztech-volume-1640-8160-instal-2011-nr_3;5&q=CHILDREN-STATELESS
- [9] Kuliczkowski A.: Wybrane problemy dotyczące projektowania rurociągów polietylenowych – cz. II, INSTAL, 5,29-33,2011. [https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BSW3-0087-0024?q=d860d98b-6b6b-4062-82ba-caf62df9ed9f\\$18&q=IN_PAGE](https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BSW3-0087-0024?q=d860d98b-6b6b-4062-82ba-caf62df9ed9f$18&q=IN_PAGE)

- [10] Kuliczkowski A., Magielski K.: Results of tests of concrete, vitrified clay and PVC sewer pipes with CIPP liners, In Proceedings of 23th International Conference No-Dig 2013, North American Society for Trenchless Technology, Sacramento, CA, Paper TM2-T1-03, pp.10, 2013.
- [11] Kuliczkowski A.: Optymalna grubość powłok CIPP stosowanych w bezwykopowej rehabilitacji przewodów kanalizacyjnych, INSTAL, 5,41-46,2020. DOI 10.36119/15.2020.5.7
- [12] Kuliczkowski A.: Moduł E w doborze powłok stosowanych w bezwykopowej rehabilitacji przewodów wodociągowych i kanalizacyjnych, Forum Eksploatora, 6,42-46,2019. [https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-77a93b85-9465-4c88-8649-d7fd7a9e5480?q=73d1f461-0a66-4522-8733-4e1ec598abc5\\$17&q=IN_PAGE](https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-77a93b85-9465-4c88-8649-d7fd7a9e5480?q=73d1f461-0a66-4522-8733-4e1ec598abc5$17&q=IN_PAGE)
- [13] Kuliczkowski A., Parka A.: Kryterium statycznego-wyrzymałościowe w doborze rehabilitacyjnych powłok stosowanych w przewodach wodociągowych, INSTAL, 5,56-63,2014. <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-5fe6875b-6c1c-4b3a-8070-7da3b64b526e?q=bwmeta1.element.baztech-639cb4be-e3b7-47a9-b3fa-3294e3942d8b;9&q=CHILDREN-STATELESS>
- [14] Kuliczkowski A.: Trwałość rozwiązań stosowanych w budowie i odnowie przewodów kanalizacyjnych, INSTAL, 3,54-56,2014. <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-fbb39c22-3199-4554-92c0-8729e8eb2916?q=bwmeta1.element.baztech-da29ff2-9ab7-4552-971b-ff2b6d1b2194;9&q=CHILDREN-STATELESS>
- [15] Kuliczkowski A.: Błędy w ustalaniu wymagań dotyczących wartości sztywności obwodowej utwardzanych in situ powłok żywicznych, INSTAL, 4,63-67,2010. http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BSW3-0066-0020?q=bwmeta1.element.baztech-volume-1640-8160-instal-2010-nr_4;9&q=CHILDREN-STATELESS
- [16] Kuliczkowski A.: Uszkodzenia i awarie rur GRP, INSTAL, 11,64-67,2022. DOI 10.36119/15.2022.11.5
- [17] Praca zbiorowa pod redakcją Andrzeja Kuliczkowskiego: Technologie bezwykopowe w inżynierii środowiska, Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa, 2010.