

Materiały do budowy przepustów – cz. I

Przepusty

w infrastrukturze komunikacyjnej – cz. 6

Adam Wysokowski¹, Jerzy Howis²

1. Wprowadzenie

Tematyka niniejszego artykułu została zasygnalizowana w artykule wprowadzającym niniejszej serii [1]. Dla przypomnienia oraz dla nowych czytelników poniżej przytoczono spis wszystkich artykułów na temat przepustów, które sukcesywnie od roku ukazują się w kolejnych edycjach „Nowoczesnego Budownictwa Inżynierskiego”:

1. ARTYKUŁ WPROWADZAJĄCY
2. ASPEKTY PRAWNE PROJEKTOWANIA, BUDOWY I UTRZYMANIA PRZEPUSTÓW
3. PRZEPUSTY TRADYCYJNE
4. PRZEPUSTY NOWOCZESNE
5. PRZEPUSTY JAKO PRZEJŚCIA DLA ZWIERZĄT
6. MATERIAŁY DO BUDOWY PRZEPUSTÓW – CZ. I
7. MATERIAŁY DO BUDOWY PRZEPUSTÓW – CZ. II
8. OBCIĄŻENIA I OBLICZANIE KONSTRUKCJI PRZEPUSTÓW
9. BADANIA PRZEPUSTÓW (LABORATORYJNE I TERENOWE)
10. WYPOSAŻENIE PRZEPUSTÓW
11. STAN TECHNICZNY I UTRZYMANIE PRZEPUSTÓW
12. WZMACNIANIE PRZEPUSTÓW

W dziedzinie przepustów w infrastrukturze komunikacyjnej istnieje duża różnorodność wymagań wobec stosowanych materiałów.

W przypadku **przepustów drogowych** rozporządzenie [9] nie zawiera wymagań w zakresie rodzajów materiałów stosowanych do budowy przepustów. Jednakże w dziale 5 zatytułowanym *Trwałość obiektów inżynierskich* (§ 152) czytamy: „Obiekty inżynierskie powinny być tak zaprojektowane i wykonane, aby w przyjętym okresie użytkowania i poziomie utrzymania była zapewniona ich trwałość rozumiana jako zdolność użytkowania obiektu przy zachowaniu cech wytrzymałościowych i eksploatacyjnych, których miernikiem są stany graniczne nośności i stany graniczne użytkowania”.

Natomiast najnowsze przepisy Id-2 (D2) [7], dotyczące warunków technicznych dla kolejowych obiektów inżynierskich, dopuszczają „wykonywanie nowych **przepustów kolejowych** ze stali, betonu zbrojonego, sprężonego (kablo- lub strunobetonu) lub ze stalowych belek obetonowanych. (...) W odniesieniu do przepustów niespełniających wyżej wymienionych wymagań warunki dalszej eksploatacji należy określać indywidualnie”.

W przypadku wykorzystywania przepustów jako przejść dla zwierząt warunki materiałowe podane są w *Katalogu drogowych urządzeń ochrony środowiska* [10]. Katalog ten zawiera następujące zalecenia: „materiały użyte do budowy konstrukcji przejść powinny spełniać wymagania określone w Polskich Normach oraz

w rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych dotyczących drogowych obiektów inżynierskich.

Zaleca się stosowanie w szerokim zakresie kamienia naturalnego na okładziny zewnętrzne konstrukcji przejść, szczególnie w otoczeniu górskim i wyżynnym.

Zaleca się stosowanie prefabrykowanych elementów budowlanych i kanalizacyjnych do budowy przejść podziemnych małych i średnich, co obniża znacznie koszty wykonania, nie zmniejszając ich rozmiarów. W szczególności można stosować prefabrykowane rury betonowe różnych średnic, rury stalowe lub z tworzyw sztucznych oraz kanalizacyjne rury kamionkowe lub żeliwne. Drewno użyte do budowy przejścia powinno być trwale impregnowane”.

Gama materiałów wykorzystywana do budowy przepustów jest bardzo szeroka. Oprócz materiałów tradycyjnych (kamień, cegła, beton) używane są nowoczesne materiały wprowadzone w ostatnich latach, takie jak: blachy faliste ze stali bądź aluminium, tworzywa sztuczne, w tym m.in. polimery zbrojone włóknom szklanym GRP, PE, PEHD, PCV, kamionka bądź też beton modyfikowany dodatkami.

W niniejszym artykule opisane zostaną materiały obecnie stosowane do budowy przepustów. Temat materiałów tradycyjnych został już poruszony w części 3 niniejszej serii, w artykule dotyczącym przepustów tradycyjnych, a uzupełniające zagadnienia będą dodatkowo przedmiotem artykułu na temat przepustów zabytkowych.

W tabeli 1 pokazano obecnie stosowane materiały do budowy przepustów i przejść dla zwierząt.

Tab. 1.

MATERIAŁY STOSOWANE OBECNIE DO BUDOWY PRZEPUSTÓW	
1	Beton, beton sprężony lub żelbet
2	Polimerobeton
3	Kamionka
4	Blachy faliste (stal, aluminium)
5	Polimery zbrojone włóknom szklanym (GRP)
6	Tworzywa sztuczne (PEHD, PP, PCV, itp.)
7	Stalowe dźwigary obetonowane, itp.

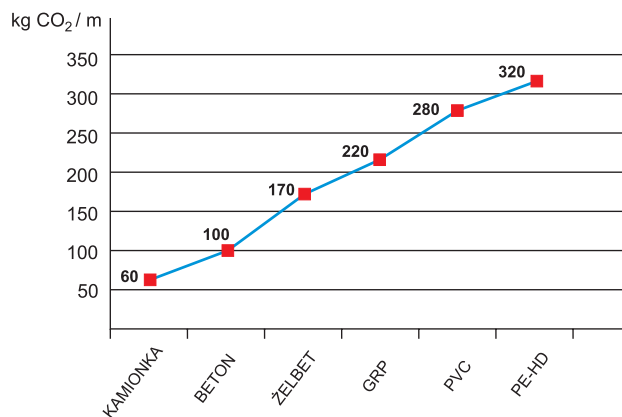
Z uwagi na rosnące wymagania ochrony środowiska w infrastrukturze komunikacyjnej zaczyna się coraz szerzej stosować metody oceny związane z cyklem życia konstrukcji – LCA. Metoda ta, opracowana i wdrożona najpierw w Ameryce Północnej, a następnie w Europie, w tym również w Polsce, bierze pod uwagę emisję zanieczyszczeń. Przykładową wielkość emisji CO₂ podczas produkcji rur z różnych materiałów pokazano na rycinie 1.

W tabeli 2 zestawiono liczbę aprobat technicznych wydanych dla przepustów w infrastrukturze komunikacyjnej dla poszczególnych grup materiałowych.

¹ Prof. UZ, dr hab. inż.; kierownik Zakładu Dróg i Mostów, Uniwersytet Zielonogórski.

² Mgr inż. konstruktor, Infrastruktura Komunikacyjna Sp. z o.o., Żmigród.

EMISJA CO₂ NA PRZYKŁADZIE DN 500



Ryc. 1. Orientacyjna wielkość emisji CO₂ przy produkcji osłonowych rur z różnych materiałów (dla przykładowej średnicy DN 500) [6]

Tab. 2.

STAN LICZBOWY APROBAT TECHNICZNYCH DLA PRZEPUSTÓW W INFRASTRUKTURZE KOMUNIKACYJNEJ*		
Lp.	MATERIAŁ PRZEPUSTU	LICZBA APROBAT
1	KAMIONKA	2
2	BETON, ŻELBET	7
3	POLIMEROBETON	2
4	GRP-GLASS REINFORCED POLYMER	2
5	PP-POLIPROPYLEN	3
6	PE-POLIETYLEN	3
7	PE-HD-POLIETYLEN WYSOKIEJ GĘSTOŚCI	4
8	PCV-U-POLICHLOREK WINYLU	11
9	BLACHY FALISTE	9
ŁĄCZNA LICZBA WYDANYCH APROBAT TECHNICZNYCH		43
* STAN NA ROK 2007 r.		

Z powodu obszerności tej problematyki autorzy zdecydowali się podzielić omawianie przedmiotowej tematyki na dwa odrębne artykuły. Niniejsza, pierwsza część, dotyczyć będzie materiałów, z których są budowane przepusty komunikacyjne z wykorzystaniem elementów masywnych, pracujących w gruncie w sposób zbliżony do sztywnego, czyli rur betonowych, polimerobetonowych oraz kamionkowych.

2. Elementy betonowe do budowy przepustów

Beton i żelbet, jako materiały ekonomiczne i wytrzymałe, bardzo wcześnie zaczęły odgrywać decydującą rolę w budowie przepustów pod ciągami komunikacyjnymi. Początkowo beton do budowy konstrukcji inżynierskich był wytwarzany na placu budowy (już u starożytnych Rzymian), a rurę prefabrykowaną wprowadzono dopiero z początkiem uprzemysłowienia się technologii w XIX w. [4].

Obecnie beton należy do powszechnie stosowanych materiałów, zwłaszcza do budowy przepustów mało- i średniogabarytowych. Przykład przebudowy przepustu kolejowego z użyciem prefabrykowanych elementów betonowych przedstawiono na rycinie 2.

Elementy betonowe są używane do budowy przepustów pod warunkiem, że grunt i woda gruntowa nie mają właściwości korozyjnych. Rury betonowe charakteryzują się znacznymi oporami przepływu. Są także stosunkowo mało wytrzymałe na ścieranie i na zgniatanie, chociaż odporne na zmiany temperatury i środki



Ryc. 2. Przykład betonowego przepustu kolejowego o przekroju kołowym w trakcie realizacji; obok widoczny stary betonowy przepust skrzynkowy, fot. Consolis Polska Sp. z o.o.



Ryc. 3. Plac składowy betonowych elementów rurowych w firmie Haba-Beton Sp z o.o. (Niemcy), fot. A. Wysokowski

chemiczne. Posiadają dużą masę i z tego względu są stosunkowo krótkie. Najczęściej stosowane w przepustach rury mają przekrój okrągły (ryc. 3).

Niemniej jednak stosunkowo wcześniej do powszechnego stosowania wprowadzono również przekroje ramowe, których konstrukcje znalazły się w wielu szeroko stosowanych rozwiązaniach typowych, szczególnie chętnie stosowane były na liniach kolejowych (ryc. 4).

Produkcja rur betonowych do budowy przepustów odbywa się zwykle w formach pionowych, chociaż produkowane są również w formach poziomych.

Procesy produkcji rur są obecnie w dużym stopniu zautomatyzowane. W niektórych nowoczesnych zakładach udział pracy ludzkiej sprowadzony jest do niezbędnego minimum.

W procesie produkcyjnym mieszanka betonowa podawana jest do pionowej formy od góry (w niektórych przypadkach z poziomu podłogi hali fabrycznej). Wewnętrzny rdzeń formy spełnia równocześnie rolę urządzenia rozdzielająco-zagęszczającego, co zapewnia optymalne wypełnienie formy. Beton zagęszczany jest przy pomocy centralnego wibratora. Wyprodukowana w ten sposób rura poddawana jest procesowi dojrzewania, gdzie po uzyskaniu przez beton wytrzymałości minimalnej jest następnie rozformowywana. W okresie wstępnego dojrzewania beton wymaga pielęgnacji: utrzymywany jest w stałej wysokiej wilgotności i temperaturze ok. 20 °C.

Każdy etap produkcji, a przede wszystkim parametry betonu, jest kontrolowany komputerowo. Do produkcji rur stosuje się

mieszanke betonową o konsystencji wilgotnej. Szczególnie dokładnie należy przestrzegać wartości wskaźnika w/c określonego w recepturze.

Technologie produkcji betonu zostały tak udoskonalone, że poziom techniczny określony w odpowiednich normach jest obecnie z powodzeniem spełniany (często nawet z dużym zapasem).

Jeżeli chodzi o stosowane klasy betonu, to według przepisów Id2 (D2) do budowy przepustów betonowych dopuszcza się stosowanie:

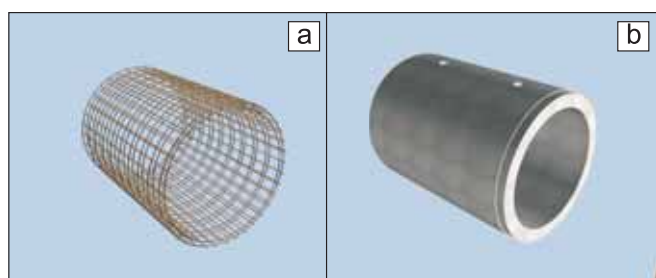
- betonu klasy nie niższej niż B30 – do budowy przęseł z betonu zbrojonego lub ze stalowych belek obetonowanych,
- betonu klasy nie niższej niż B35 – do budowy przęseł z betonu sprężonego.

Beton stosowany do budowy przepustów musi odpowiadać wymaganiom podanym w załączniku nr 1 do niniejszych przepisów:

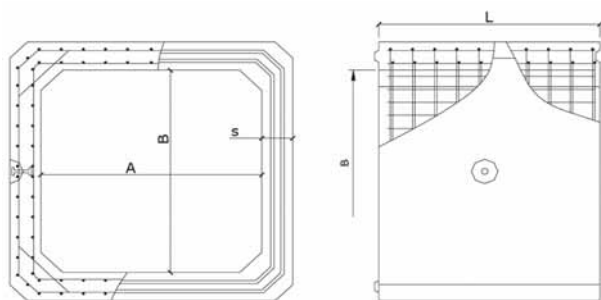
- dopuszcza się stosowanie wyłącznie cementu portlandzkiego (bez dodatków). Beton klasy B25 należy wykonywać z cementu marki nie niższej niż 35, a beton klasy B30 i wyższej z cementu marki nie niższej niż 45.
- do betonów klas B30 i wyższych należy stosować grysy granitowe lub bazaltowe o maksymalnym wymiarze ziarna do 16 mm. Stosowanie gryków z innych skał dopuszcza się pod warunkiem, że zostały one zbadane w placówce badawczej wskazanej przez PKP Polskie Linie Kolejowe SA [7].

Wysoka nośność nowoczesnych rur betonowych wynika z równomiernej i szczelnej struktury uziarnienia kruszywa, co daje optymalną wytrzymałość rur. Wymagana obecnie według wielu przepisów nasiąkliwość betonu nie może być wyższa od 4%, a wodoszczelność należy dostosować do przewidywanego zagrożenia korozyjnego.

Coraz większe obciążenia komunikacyjne oraz działające na korpus przepustu wskutek parcia gruntu są przejmowane przez odpowiednio dobrane i zaprojektowane zbrojenie. Stal użyta do zbrojenia musi spełniać wymagania wytrzymałościowe przewidziane odpowiednimi przepisami. Przykładowy, stosowany układ zbrojenia rur dla przekroju kołowego i ramowego pokazano na rycinach 4 i 5.



Ryc. 4. Przekrój betonowego przepustu o przekroju kołowym: a) zbrojenie konstrukcyjne rury, b) gotowy segment przepustu (Prefabet Kluczbork SA)



Ryc. 5. Przekrój betonowego przepustu skrzynkowego. Widoczne rozmieszczenie zbrojenia konstrukcyjnego (Consolis Sp. z o.o.)

Przy kształtowaniu przekroju poprzecznego przepustów uwzględnia się cechy wytrzymałościowe betonu oraz wymogi związane z własnościami hydraulicznymi. W związku z tym poszukuje się coraz doskonalszych kształtów przekroju poprzecznego, aby uwzględnić w jak najpełniejszy sposób obie wymienione cechy.

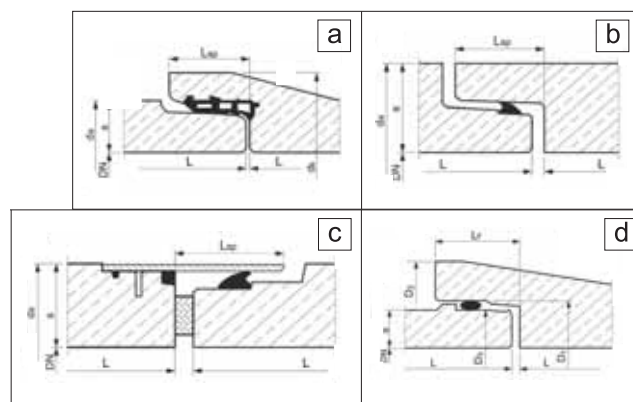
Tak powstał we wcześniejszych latach przekrój „jajowy”, zapewniający odpowiednią prędkość wody dla samooczyszczania się budowanych z nich przepustów. W ostatnim czasie opracowano przekrój gardzielowy, który w doskonały sposób umożliwia wykorzystanie tak zbudowanych przepustów do wykorzystania ich równocześnie jako przejścia dla zwierząt (po zastosowaniu odpowiednich półek zlokalizowanych po bokach). Światło poziome w tego typu elementach betonowych osiąga wartość nawet 3,60 m. Kształt gardzielowy elementów żelbetowych produkowanych przez Haba-Beton pokazano na rycinie 6a.



Ryc. 6. Betonowe rury przepustowe: a) nowoczesny przekrój gardzielowy zwiększający światło poziome przepustu, b) przykład rury z profilowaną częścią odpływową oraz dodatkową warstwą wewnętrzną z tworzywa sztucznego poprawiającą własności hydrauliczne, fot. Haba-Beton Sp. z o.o.

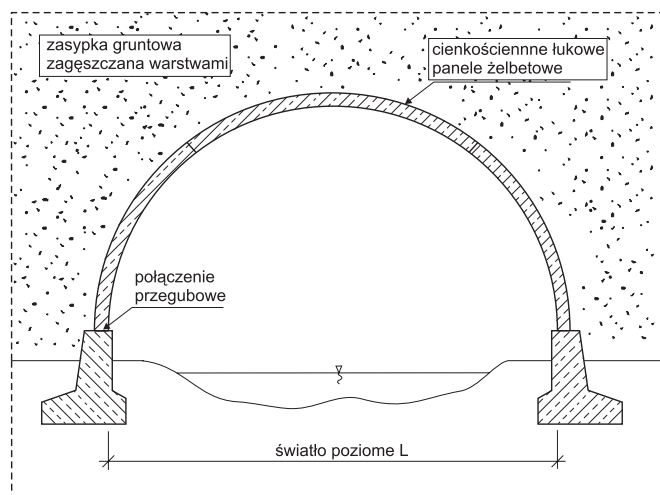
Ponadto czyni się usilne próby zlikwidowania jednej z podstawowych wad przepustów z rur betonowych, którą są duże opory przepływu. W ostatnich latach gładkość rur poprawiła się znacznie poprzez zautomatyzowanie i podniesienie jakości produkcji. Ostatnio jednak zaczęto również stosować wyprawy polimerowe w wewnętrznej powierzchni rur, które w jeszcze większym stopniu poprawiły współczynnik przepływu. Przykład takiej rury pokazano na rycinie 6b.

Dla uszczelnienia połączeń rur betonowych do budowy przepustów stosuje się zintegrowane uszczelki które, są w coraz większym stopniu udoskonalane. Inny rodzaj uszczelki stosuje się do rur kielichowych wykonywanych metodą wykopu otwartego, a inne dla elementów przepustowych do budowy metodą przecisku. Przykładowe typy uszczelki stosowane do prefabrykowanych elementów betonowych przez firmę Consolis Sp. z o.o. pokazano na rycinie 7.



Ryc. 7. Typy uszczelki stosowanych do wykonywania połączeń elementów betonowych: a) uszczelka zintegrowana dla rur kielichowych, b) uszczelka klinowa dla rur bezkielichowych, c) uszczelka stosowana w rurach przeciskowych, d) uszczelka stosowana przy łączeniu rur ciśnieniowych (Consolis Sp. z o.o.)

Tendencje rozwojowe prefabrykacji elementów betonowych wykorzystywanych do budowy przepustów zmierzają obecnie do wyeliminowania kolejnej wady, którą posiadały tradycyjne elementy, czyli ich bardzo dużej masy. Opracowane technologie cienkich, o wysokiej wytrzymałości powłok betonowych, wykorzystują współpracę z gruntem w tak zaprojektowanej i wykonanej konstrukcji. Jest to rozwiązanie znane i wykorzystywane od wielu lat dla przepustów cienkościennych z innych materiałów, takich jak stal, GRP itp. Współpraca z gruntem wynika w tym przypadku z podatności powłok. Ideę takiego rozwiązania autorzy pokazali na rycinie 8.



Ryc. 8. Idea wykorzystania łukowych żelbetowych paneli cienkościennych do budowy obiektów inżynierskich

Technologię tego typu wykorzystują w Polsce m.in. Freyssinet, ABM Mosty. Należy dodać, że elementy powłoki mogą być jedno- i wieloelementowe. Rozwiązania takie ułatwiają znacznie transport elementów. Przykład wykorzystania takich prefabrykatów w technologii Freyssinet pokazano na rycinie 9.



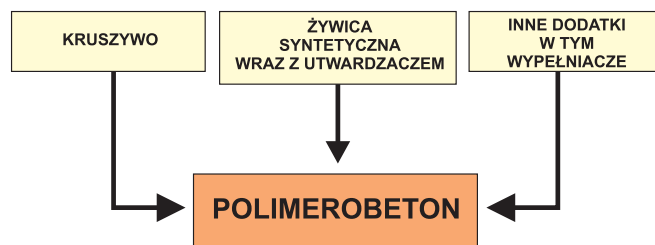
Ryc. 9. Montaż betonowych prefabrykatów do budowy obiektów inżynierskich o przekroju łukowym, fot. Freyssinet Polska

3. Elementy polimerobetonowe do budowy przepustów

Elementy rurowe z polimerobetonu produkowane są na świecie od ok. 25 lat. W Polsce do produkcji i stosowania wprowadzono je kilkanaście lat temu. Wykorzystuje się w tym przypadku ich istotną zaletę, w porównaniu do tradycyjnych rur betonowych, jaką jest mniejsza masa elementów.

Polimerobeton, zwany betonem żywicznym, jest kompozytową odmianą betonu, w którym tradycyjne spoiwo mineralne – cement

– zostało zastąpione utwardzaczem w postaci żywicy. Dodatkowo, oprócz mieszanki piaskowo-żwirowej, stosowane są wypełniacze w postaci mączki kwarcowej. Główne surowce stosowane do produkcji elementów polimerobetonowych schematycznie przedstawiono na rycinie 10.



Ryc. 10. Główne surowce stosowane do produkcji rur polimerobetonowych

Podstawowe właściwości polimerobetonu do produkcji rur zestawiono za firmą Betonstal Sp. z o.o. w tabeli 3.

Tab. 3.

Ciężar właściwy [ρ_p]	2 300 kg/m ³
Moduł sprężystości przy ścisaniu [Ec]	28 000 MPa
Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu [f_{ct}]	min. 15 MPa
Wytrzymałość na ścisanie [f_c]	min. 80 MPa
Ścieralność [α_m]	Max. = 0,5 mm
Chropowatość ścian [k]	Max. = 0,1 mm
Współczynnik Poissona [ν]	0,23

Tym samym poprawiono dwie kolejne cechy w stosunku do betonu tradycyjnego, tj. uzyskano wyższą chemoodporność, a także wyższy współczynnik przepływu. Wynika to z faktu, że w procesie produkcji stosuje się dodatkową warstwę żywicy, tzw. żelkot, tworzący powierzchnią warstwę zamykającą. Warstwa ta zapewnia dodatkową gładkość, chemoodporność i wodoszczelność.

W betonie żywicznym wzrasta również wytrzymałość uzyskiwanego materiału żywicznego na rozciąganie, która to cecha jest również bardzo istotna przy wykorzystywaniu tych elementów do konstruowania przepustów. W przypadku tego typu rur o zmniejszonej grubości ścianki ważnym elementem konstrukcyjnym jest współpraca z gruntem. Obecnie na polskim rynku dostępne są elementy rurowe z polimerobetonu do budowy przepustów metodami tradycyjnymi w wykopie otwartym oraz dla technologii bezwykopowych. Przykład tego typu rur pokazano na rycinie 11.



Ryc. 11 Rury do budowy przepustów z polimerobetonu a) sposób wykonania łącznika rur polimerobetonowych z tworzywa sztucznego, b) gotowy produkt do wbudowania jako przepust komunikacyjny, fot. Betonstal Sp. z o.o.

Dostępne obecnie na polskim rynku wewnętrzne średnice rur wynoszą do 3,0 m.

4. Elementy kamionkowe do budowy przepustów

Kamionka jest najstarszym materiałem, z którego wykonywano rury. Były stosowane już ok. 3500 r. p.n.e. na terenie dzisiejszej Syrii. Dzisiejsze rury kamionkowe są wciąż ulepszone, a sam materiał konstrukcyjny ulegał kolejnym modyfikacjom w zakresie surowców wyjściowych, ich przygotowania oraz technologii formowania i wypalania. Dla specjalnych zastosowań (w przypadku znacznych obciążeń działających na przepust) opracowano także rury kamionkowo-betonowe, w których kamionka stanowi wykładzinę wewnętrzną [4].

Rura kamionkowa jest produktem naturalnym: surowce bazowe dla produkcji rur kamionkowych są wyłącznie naturalnymi materiałami (gлина, woda, szamot). Proces produkcyjny rur wymaga niewiele energii, w porównaniu z innymi materiałami. Surowiec do produkcji jest dostępny niemal w nieograniczonej ilości i pozyskiwany jest w sposób ekologiczny. Zaletą tego materiału jest również fakt, że rury kamionkowe nadają się do recyklingu.

Kamionka jest materiałem ceramicznym, wytwarzanym z glin kamionkowych, szamotu i wody. Surowce stałe o naturalnej wilgotności są mielone do odpowiedniej granulacji, po czym dodaje się do nich wodę i miesza do uzyskania plastycznej masy. Z masy tej formowane są wyroby – rury i kształtki. Wyroby są suszone i glazurowane.

Tak wykonane półprodukty poddawane są procesowi wypalania według zadanej technologicznej krzywej wypalania. Maksymalna temperatura, w której wypalane są wyroby, wynosi 1200 °C. W procesie tym w masie kamionkowej zachodzą nieodwracalne przemiany polimorficzne, w wyniku których powstają w strukturze kamionki: mullit, szkło i kwarc.

Po wielu latach produkcja została dopracowana i w dużej mierze zautomatyzowana. Ponadto materiały stosowane do produkcji rur kamionkowych – pomimo, że są to materiały tradycyjne – podlegają rygorystycznym badaniom. Sprawdza się ich proporcje, jakość i technologię. Tym samym uzyskuje się obecnie produkty wysokiej jakości, które spełniają wysokie wymagania aktualnych norm w zakresie tolerancji wymiarowych, wytrzymałościowych i użytkowych.

Autor miał okazję kilkakrotnie zapoznawać się z procesem produkcyjnym zakładów firmy Keramo Steinzeug N.V w Niemczech przy okazji prac związanych z procesem aprobacyjnym dla tych wyrobów, potwierdzając podany wyżej reżim technologiczny.

Poniżej przedstawiono pokrótce podstawowe materiały oraz technologie stosowane przy produkcji rur kamionkowych.

4.1. Gлина

Gлина jest surowcem naturalnym powstałym w wyniku wietrzenia i wymywania skał. Pokłady gliny uformowały się wskutek sedymentacji tlenków glinu z zawiesiny wodnej zawierającej wymyte ze skał związki. Najważniejszymi minerałami wchodzącymi w skład gliny są illit, kaolinit i kwarc. Od proporcji tych minerałów zawartych w glinie zależą jej właściwości plastyczne w stanie surowym, mówi się, że są gliny tłuste i chude. Do produkcji rur używa się glin o różnym stopniu plastyczności.

4.2. Szamot

Szamot to nic innego jak zmielona, wypalona gлина wytworzona z odpadów produkcyjnych pochodzących z własnej produkcji oraz innych producentów wyrobów ceramicznych. Szamot jest mielony do uzyskania właściwej granulacji, po czym dodawany do glin w odpowiednich ilościach dla danego asortymentu. Szamot zapewnia wyrobom będącym w stanie surowym – plastycznym – właściwą sztywność i stabilność konstrukcji, wpływa również na efektywność suszenia i wypalania wyrobów.

4.3. Glazura

Glazura to naturalna powłoka powstająca w wyniku procesu wypalania, nadająca wyrobom szklatego połysku i odpowiedni koloryt. Podstawowymi składnikami glazury są tlenki glinu, tlenki metali (bez ołowiu), dolomit i kwarc. Glazura jest w postaci zawiesiny wodnej. W procesie wypalania topi się, pokrywając na stałe powierzchnie rur. Kamionka sama w sobie jest materiałem posiadającym wysokie parametry fizykochemiczne i wytrzymałościowe, ale szkliwo dodaje jej jeszcze jedną zaletę – wysoką gładkość hydrauliczną oraz minimalizuje eksfiltrację i infiltrację, dodatkowo stanowi ochronę przy płukaniu kanału przy użyciu dużego ciśnienia.

4.4. Przygotowanie masy kamionkowej

Podstawowymi składnikami masy kamionkowej są: gлина, szamot i woda. Dozowanie składników masy odbywa się za pomocą odpowiednich urządzeń dozujących, sterowanych komputerowo. Składniki te poddawane są mieleniu i bardzo dokładnemu mieszaniu. Tak wykonana masa jest sezonowana przez dwa tygodnie w celu polepszenia właściwości plastycznych masy.

4.5. Formowanie wyrobów

Rury wytłaczane są z masy plastycznej za pomocą zautomatyzowanych pras próżniowych, na których formowany jest kielich, trzon rury i bosa koniec.

4.6. Suszenie

Suszenie wyrobów odbywa się w suszarniach tunelowych ogrzewanych ciepłem odzyskiwanym z procesu wypalania pobieranym ze strefy studzenia wyrobów. W fazie końcowej procesu suszenia uzyskiwana jest temperatura rzędu 110°C.

4.7. Glazurowanie

Wyroby glazurowane są dwoma podstawowymi metodami – poprzez zanurzenie, lub też poprzez natryskiwanie.

4.8. Wypalanie

Wypalanie wyrobów następuje w piecu tunelowym. Cały proces wypalania sterowany jest komputerowo. W wyniku wypalania, z plastycznej masy powstaje zwarta, monolityczna struktura, dzięki której rura posiada specyficzne właściwości tj. odporność chemiczną, biologiczną, szczelność, odporność na ścieranie, gładkość, wytrzymałość mechaniczną i jest odporna na korozję czasową – nie zmienia swoich właściwości w czasie.

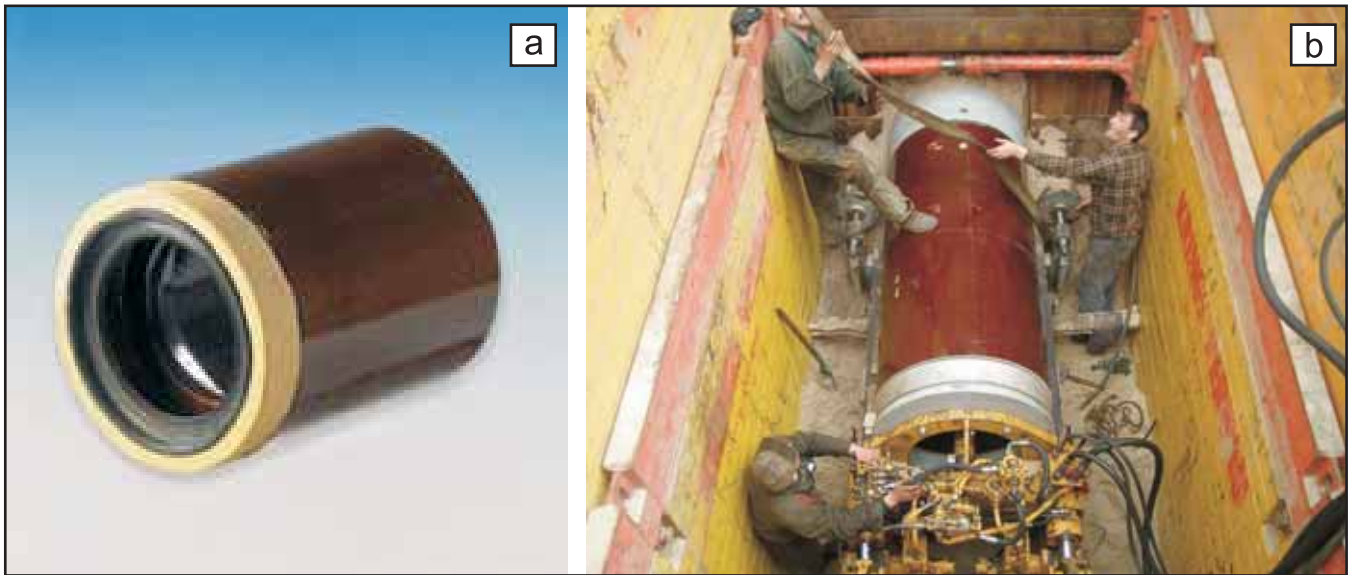
4.9. Uszczelki

Po wypaleniu i skontrolowaniu parametrów rur i kształtek, montowane są uszczelki. Obecnie do uszczelniania rur wykorzystuje się technologię tworzyw sztucznych. Wyparła ona przestarzałe już uszczelnienie za pomocą sznura smołowanego. Montaż uszczelki jest również zautomatyzowany. Po zamontowaniu rura i uszczelka stanowią integralną całość.

Typowe własności fizyczne kamionki w produkowanych rurach podano w tabeli 4.

Tab. 4. Podstawowe właściwości fizyczne kamionki [4]

Właściwość	Jednostka	Wartość
Ciężar objętościowy	kN/m ³	22
Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu	MPa	15-40
Wytrzymałość na ściskanie	MPa	100-200
Wytrzymałość na rozciąganie	MPa	10-20
Twardość	w skali Mohsa	≅ 7
Moduł sprężystości	MPa	≅ 50 000
Współczynnik rozszerzalności termicznej	1/K	5·10 ⁻⁶
Współczynnik przewodności termicznej	W/(m·K)	≅ 1,2



Ryc. 12. Przepusty z kamionki a) widok rury z łącznikiem z tworzywa sztucznego, b) wykonywanie przepustu z rur kamionkowych metodą przecisku, fot. Keramo Steinzeug N.V.

Widok elementu wykonanego z kamionki do budowy przepustu komunikacyjnego oraz wykonywanie robót metodą przecisku z użyciem elementów kamionkowych pokazano na rycinie 12.

5. Podsumowanie

Pełne podsumowanie na temat materiałów do budowy przepustów autorzy planują zamieścić po przedstawieniu całości zagadnienia dotyczącego materiałów do budowy przepustów, czyli na zakończenie drugiej części. Niemniej jednak już obecnie, bazując na przedstawionym artykule, można zauważyć dużą różnorodność stosowanych materiałów.

Z tego względu nie jest możliwe omówienie całości tematyki w tak krótkim materiale. Dlatego też zagadnienia te wymagają kolejnych publikacji, które autorzy planują przygotować w przyszłości. Jest to tym ważniejsze, że aktualne tendencje rozwojowe dotyczą również opisanych w niniejszym artykule wyrobów, pomimo że użyte do ich wykonania materiały przez lata uważane były za tradycyjne.

TRADYCYJNIE ZAPRASZAMY DO ZAPOZNANIA SIĘ Z NASTĘPNYM ARTYKUŁEM, KTÓRY ZOSTANIE ZAMIESZCZONY W KOLEJNYM NUMERZE „NOWOCZESNEGO BUDOWNICTWA INŻYNIERYJNEGO”, A BĘDZIE STANOWIŁ KONTINUACJĘ TEMATYKI PODJĘTEJ W TYM ARTYKULE, CZYLI MATERIAŁÓW DO BUDOWY PRZEPUSTÓW.

Literatura

1. Wysokowski A., Howis J.: *Przepusty w infrastrukturze komunikacyjnej – cz. 1. Artykuł wprowadzający*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2008, nr 3; Wysokowski A., Howis J.: *Przepusty w infrastrukturze komunikacyjnej – cz. 2. Aspekty prawne projektowania, budowy i utrzymania przepustów*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2008, nr 5; Wysokowski A., Kubiak Z., Howis J.: *Przepusty w infrastrukturze komunikacyjnej – cz. 3. Przepusty tradycyjne*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2008, nr 7; Wysokowski A., Howis J.: *Przepusty w infrastrukturze komunikacyjnej – cz. 4. Przepusty nowoczesne*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2008,

- nr 9; Wysokowski A., Howis J.: *Przepusty w infrastrukturze komunikacyjnej – cz. 5. Przepusty jako przejścia dla zwierząt*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2009, nr 1.
2. Jasiński W., Madryas C., Rowińska W., Wysokowski A.: *Metodyka badań przewodów kanalizacyjnych w świetle obowiązującej legislacji*. XLVI Konferencja naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB. T. 4. *Infrastruktura inżynieryjna miast*. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne. Wrocław–Krynica 2000.
3. Jasiński W., Madryas C., Rowińska W., Wysokowski A.: *Metodyka badań betonowych żelbetonowych rur kanalizacyjnych oraz elementów prefabrykowanych studni kanalizacyjnych*. Materiały konferencyjne Konferencji Dni Betonu 2004: Tradycja i Nowoczesność. Wyd. Polski Cement Sp. z o.o. Kraków 2004.
4. Kolonko A., Madryas C., Wysocki L.: *Konstrukcje przewodów kanalizacyjnych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 2002.
5. *Badania materiałów budowlanych i konstrukcji inżynierskich*. Praca zbiorowa. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne. Wrocław 2004.
6. Wysokowski A., Madryas C., Howis J.: *Stosowanie rurowych elementów betonowych jako przejść dla zwierząt w infrastrukturze komunikacyjnej*. Konferencja Dni Betonu 2008: Tradycja i Nowoczesność. Wisła, październik 2008. Wyd. Polskie Stowarzyszenie Producentów Cementu. Kraków 2008.
7. *Id-2 (D2) Warunki techniczne dla kolejowych obiektów inżynierskich*. PKP Polskie Linie Kolejowe. Warszawa 2005.
8. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r.w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie. (DzU z 3 sierpnia 2000).
9. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie. (DzU nr 151, poz. 987).
10. *Katalog Drogowych Urządzeń Ochrony Środowiska*. Praca zbiorowa. GDDKiA, oprac. IBDiM. Warszawa 2002.
11. Katalogi i materiały informacyjne firm produkujących materiały do budowy przepustów.