

# Obliczenia sieci kanalizacji deszczowej i koryt otwartych

Szczegółowe analizy i oceny przepustowości istniejących systemów odprowadzania wód opadowych na terenie aglomeracji miejskich możliwe są w oparciu o przeprowadzane modele hydrauliczne, wykonane przy użyciu szeroko dostępnych narzędzi informatycznych.

Klasyczne metody obliczeniowe nie dają pełnej możliwości zobrazowania i przedstawienia przepływów w projektowanych i istniejących sieciach kanalizacyjnych, korytach otwartych czy urządzeniach wodnych. Pozwalają na wyliczenie podstawowych parametrów, jednak nie stwarzają możliwości sprawdzenia prawidłowego funkcjonowania w czasie eksploatacji, przy ciągłym postępującym zurbanizowaniu terenów miejskich. Klemens J. Janiak<sup>1</sup> w swoim artykule stwierdza, że modelowanie należy traktować jako wyznacznik zaawansowania technologicznego, które jest konieczne podczas nadążania za aktualnymi potrzebami i wyzwaniem.

Teoretyczne rozważania na temat wykorzystania nowych urządzeń komputerowych są potrzebne, jednak nie w pełni obrazują rzeczywistą pracę i efekty budowy modelu. Poniżej przedstawiono przykład, pokazując cały etap działań koniecznych przy tworzeniu i kalibracji modelu. Projektem, przy którym w pełni wykorzystano dostępne narzędzia komputerowe była „Koncepcja odwodnienia i poprawy bezpieczeństwa powodziowego miasta Krakowa”. Ze względu na obszar zlewni, ilość danych obliczeniowych oraz formę plików źródłowych przekazanych przez zamawiającego i pozyskanych w trakcie realizacji zadania z innych źródeł, do budowy modelu zostały wykorzystane profesjonalne oprogramowania komputerowe firmy Bentley – SewerGEMS – dla systemu kanalizacyjnego, Mike11 – dla systemu koryt otwartych.

## Powstanie modelu hydraulicznego dla Krakowa

W ostatnich latach Kraków borykał się z problemem tzw. powodzi miejskich. Najbardziej dotkliwa w skutkach fala powodziowa przeszła przez miasto na przełomie maja i czerwca 2010 r. Kraków zagrożony był zalaniem od strony Wisły, jej dopływów, jak i systemu kanalizacyjnego. Przez stolicę woj. małopolskiego przepływa łącznie ponad 140 km rzek i potoków, 120 km rowów melioracyjnych oraz blisko 2000 km kanalizacji, których niedrożność i mała przepustowość powodo-

wała liczne podtopienia. Powódź ta pokazała niedoskonałości obecnego systemu odwodnienia miasta, narażając miejski budżet na ogromne koszty związane z usuwaniem szkód powodziowych, oszacowane na sumę blisko 170 mln złotych. Istniejące obwałowania Wisły przeciekały, powodując miejscowe zalewanie terenów przyległych, wiele ulic było nieprzejezdnych, a osiedla podtopione. Mieszkańcy z niepokojem obserwowali stan wody na Wiśle pod mostem Dębnickim, który przyjęli za wyznacznik wielkości fali powodziowej. W świadomości lokalnej społeczności jego zerwanie oznaczałoby całkowitą klęskę w walce z tym żywiołem. Miasto przez ponad 20 dni zmagало się z przechodzącą falą wzbromioną, natomiast wszystkie służby postawione zostały w stan szczególnej gotowości.

W celu uniknięcia zagrożenia w postaci cofania wód cieków do kanalizacji przy poziomie wody 4,5 m na wodowskaziu w Bielanych zamknięto wszystkie przelewy burzowe połączone z Wisłą, Białuchą, Wilgą i Rudawą. Przez 8 dni kanalizacja pełniła funkcję retencyjną. Niestety nie była w stanie odprowadzić tak dużej ilości wody opadowej, skutkiem czego było wybijanie ścieków ze studzienek, jak również zalewanie piwnic. Ze względu na połączenie kanalizacji sanitarnej z deszczową w system ogólnospławny w czasie powodzi na ulicach widoczne były pływające ścieki sanitarne, czego przykładem może być osiedle Podwawelskie.

Powódź z 2010 r. zmusiła władze miasta do podjęcia działań planistycznych, które w przyszłości pozwoliłyby zminimalizować skutki fali powodziowej przechodzącej przez miasto, a także wprowadzić rozwiązania chroniące mieszkańców przed następstwami powodzi. Mając na uwadze wzajemne powiązanie systemu kanalizacyjnego i koryt otwartych postanowiono stworzyć kompleksowy plan odwodnienia miasta.

## Budowa i kalibracja modelu

Model kanalizacji deszczowej wykonany został dla pojedynczych zdarzeń,

Tomasz Matera  
MGGP Kraków

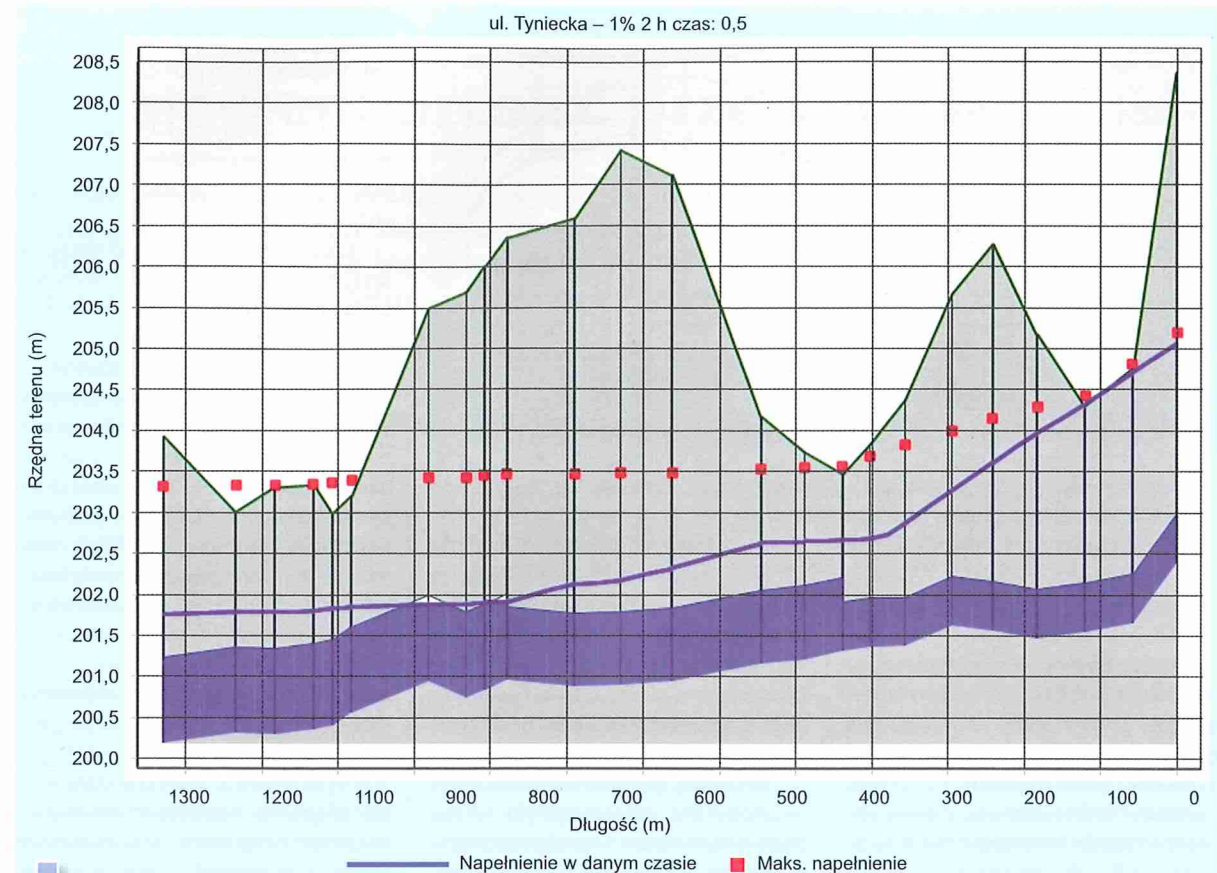
jak również zagrożeń występujących w dłuższej perspektywie. Założono prawdopodobieństwa pojawienia się opadu deszczu na poziomach 0,5; 1; 2; 20 i 50% oraz następujące czasy ich trwania: 2, 24 i 10 min.

Dodatkowo przy takich deszczach założono dwa różne scenariusze: możliwość zrzutu wód opadowych i roztopowych z kanalizacji do rzek oraz wysoki stan wody w ciekach (czyli zatopione wyloty z kanalizacji) i zamknięte przelewy burzowe.

Proces budowy modelu opierał się na:

- ustaleniu schematu i dokładności jego wykonania,
- wykorzystaniu podkładów mapowych, planów sytuacyjno-wysokościowych terenu (ortofotomapy, rastry),
- pozyskaniu i implementacji danych o sieci (kanały, studzienki, wyloty, separatory, przelewy burzowe, wpusty, przepompownie i inne urządzenia na sieci),
- pomiarach przepływów w niewrażliwych punktach sieci (monitoring napętnienia wybranych kanałów),
- zestawieniu pomiarów poziomu ścieków w kanałach z okresu od stycznia 2010 do kwietnia 2011 r. (dane MPWiK Kraków),
- zestawieniu pomiarów wypełnień maksymalnych w kanałach z okresu od stycznia 2010 do kwietnia 2011 r. (dane MPWiK Kraków),
- zestawieniu pomiarów przepływu ścieków w kanałach z okresu od stycznia 2010 do kwietnia 2011 r. (dane MPWiK Kraków),
- wyznaczeniu zlewni cząstkowych dla poszczególnych odbiorników (studzienek, wpustów),
- wprowadzeniu danych o zlewniach (nachylenie i pokrycie terenu, stopień uszczelnienia powierzchni, rodzaj gruntu, współczynnik spływu powierzchniowego),
- określeniu scenariuszy,
- weryfikacji i symulacji modelu dla pory suchej i deszczowej,
- porównaniu wyników symulacji z rzeczywistymi zdarzeniami,
- określeniu zagrożeń związanych z deszczami nawalnymi i wysokimi stanami wód w rzekach oraz wskazaniem punktów krytycznych na sieci,
- określeniu i analizie działań zmierzających w kierunku zmniejszenia istniejących zagrożeń powodziowych.

Kalibrację modelu wykonano w oparciu o pozyskane materiały archiwalne,



Rys. 1. Profil napętnienia kolektora w ul. Tynieckiej dla deszczu 1% przy całkowitym czasie jego trwania 2 godziny – zamknięte przelewy burzowe

monitoring przepływów, napętnienia na wybranych kanałach oraz dane o opadach w poszczególnych częściach zlewni. Kalibrację przeprowadzono również na bazie modelu wykonanego przez pracowników MPWiK, polegającego na pomiarach w jednym czasie przepływu i opadu deszczu. Dane te pozwoliły na dobieranie odpowiedniego współczynnika zamulenia podczas kalibracji w celu otrzymania rzeczywistych napętnień. Przy ustaleniu obciążeń sanitarnych bazowano na średniobowych rozbiórach wody. Do kalibracji wybrano charakterystyczne punkty zlokalizowane na głównych kolektorach.

Przeprowadzone symulacje pokazały pełen obraz zjawisk ekstremalnych, jakie mogą wydarzyć się w sieci po wystąpieniu bardzo intensywnych opadów deszczu oraz przy wysokim stanie wody w Wiśle i jej dopływach.

Ogółem do modelu wprowadzono: 22 929 studzienek rewizyjnych, 23 460 odcinków rur kanalizacyjnych, 18 580 zlewni połączeniowych z wyznaczonym opadem efektywnym, 384 wyloty wód deszczowych, barierę wodną, infiltrację oraz dopływy ścieków sanitarnych. Rysunek 1 zaczerpnięto z omawianego opracowania – pkt 1.1, str. 37 – ul. Tyniecka, kanał przebiegający wzdłuż Wisły (tzw. PWS).

Profil podłużny kanału pokazuje, iż zamknięte przelewy burzowe, czyli

brak odbiornika, powodują, że kanalizacja pełni w tym wypadku funkcję retencji. Po 30 minutach trwania deszczu linia ciśnienia w kanale układa się powyżej stropu kanału. Maksymalne napętnienie, oznaczone czerwonymi punktami, powoduje wybijanie ze studzienek ścieków i zalewanie terenów przyległych.

Porównywano również zależności napętnienia kanałów przy różnych wielkościach deszczu, co obrazuje rysunek 2.

Rysunek przedstawia napętnienie kanału podczas wystąpienia deszczu 1% i 2% przy wylotach zatopionych i niezatopionych. Największe napętnienie występuje podczas deszczu 100-letniego w 16 godzinie jego trwania, jednak przepustowość kanału na tym odcinku pozwala na odprowadzenie nawet maksymalnych przepływów.

Przeprowadzone analizy w projekcie pozwoliły wyciągnąć następujące wnioski nt. pracy systemu:

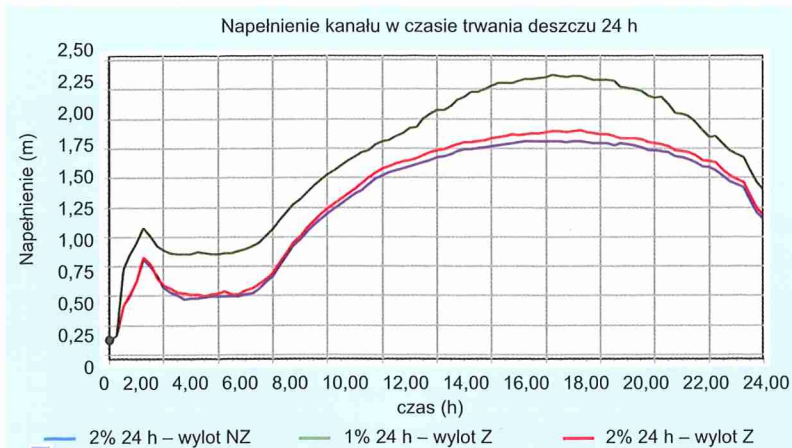
- najbardziej niekorzystnie na pracę systemu kanalizacyjnego wpływa opad krótkotrwały o dużej intensywności,
- obciążenie systemu kanalizacyjnego opadem 24-godzinnym powoduje wystąpienie dużo mniejszej liczby podtopień, natomiast skutki są odczuwalne ponad dobę,
- wiele kanałów posiada przeciwnapętniki oraz nieprawidłowy profil dna,

co ogranicza przepustowość całego systemu,

- stwierdzono zbyt małą retencję kanałową i zjawisko cofki przy wysokich stanach wody w odbiorniku,
- kolektor lewobrzeżny (główny dopływ do oczyszczalni) posiada rezerwę przepustowości, jednak spiętrzenie ścieków wpływa niekorzystnie na jego kanały boczne,
- niektóre kanały nie wykazują następstwa średnic,
- system nie jest przygotowany do pracy w warunkach wysokich stanów wody w Wiśle – brakuje odbiorników przy zamkniętych przelewach burzowych.

W związku z tym w koncepcji przewidziano następujące działania: budowę przepompowni przevalowych wraz z kłapami zwrotnymi oraz systemem monitoringu sieci kanalizacyjnej (w przypadku zamkniętych przelewów burzowych); budowę przepompowni NWS na połączeniach kanałów bocznych z głównym kolektorem Płazowskim, budowę nowych odcinków kanalizacji o zwiększonych średnicach, budowę kanałowych zbiorników retencyjnych oraz budowę wylotów wód deszczowych.

Podsumowując, w koncepcji wskazano 27 miejsc krytycznych i zaproponowano ponad 20 wariantowych działań usprawniających pracę systemu kanalizacyjnego.



Rys. 2. Graficzne przedstawienie napętnienia kanału DN 2500 dla deszczu 1% i 2% przy wylotach zatopionych i niezatopionych

### Koryta otwarte

W celu sprawdzenia, w jakim zakresie na terenie miasta system koryt otwartych jest przygotowany na wystąpienie zjawisk ekstremalnych, przeprowadzono modele hydrodynamiczne dla 20 rzek i potoków, które stanowią główne elementy struktury hydrograficznej miasta. W przypadku cieków podobnie jak dla sieci kanalizacyjnej obliczenia przeprowadzono dla deszczu o prawdopodobieństwie wystąpienia 0,5; 1 i 2%. Założono również wariant wpływu cofki od strony odbiornika, jak i jej brak.

Przeprowadzone obliczenia hydrologiczne uwzględniły wszystkie znaczące czynniki mające wpływ na wielkość i kształt fali wezbraniowej. Znaczący w tym wypadku był podział na ceki kontrolowane oraz niekontrolowane. W przypadku kontrolowanych posłużono się głównie otrzymanymi danymi na temat wielkości maksymalnych przepływów, kształtu fali itd. Przy analizie zlewni nie-

kontrolowanych w celu obliczenia przepływów maksymalnych przy określonych deszczach posłużono się matematycznym modelem odpływu typu opad – odpływ (tzw. model Nasha). Opad efektywny, czyli rzeczywista ilość wody wpadająca do cieku, została obliczona przy uwzględnieniu charakterystyki terenu (zagospodarowanie, rodzaj gleby, pokrywy roślinnej itd.). Przeliczone modele hydrologiczne, dostępny numeryczny model terenu NMT, informacje na temat przekrojów poprzecznych pozwoliły na określenie zwierciadeł wody w ciekach oraz wskazanie obszarów zalewowych.

W ramach budowy modelu hydraulicznego następuje wprowadzenie schematu istniejącej sieci rzecznej oraz dokładne odwzorowanie ich kształtu i przebiegu na podstawie numerycznego modelu terenu NMT. Potem w oparciu o ortofotomapy przeprowadzana jest weryfikacja ostatecznej osi cieków oraz koryt głównych. Na podstawie otrzymanych materiałów wprowadza się charakterysty-

ki przekrojów poprzecznych i określa współczynniki szorstkości. Później następuje rozpoznanie i wprowadzenie wszystkich budowli inżynierskich znajdujących się na analizowanych ciekach, ustalenie parametrów początkowych, tj. stanu wód i przepływów, a także wykonanie obliczeń modelowych.

Gotowy model wskazał 45 obszarów krytycznych, z czego 39 położonych jest na dopływach Wisły, a sześć w zasięgu bezpośredniego wpływu Wisły.

Dla wszystkich zidentyfikowanych na obszarze miasta Krakowa obszarów krytycznych autorzy koncepcji zaproponowali wariantowe zestawy możliwych działań technicznych, typu: udroźnienie koryta cieku z profilowaniem przekroju i ubezpieczeniem dna oraz skarp, budowa wałów przeciwpowodziowych, budowa murów bulwarowych; przebudowa mostów i przepustów; budowa pompowni stałych i przenośnych, budowa zbiorników wodnych małej retencji (zbiorniki suche), wysiedlenie lub likwidacja (przeniesienie) zabudowy.

Wykorzystanie w trakcie opracowania projektów odwodnień aglomeracji miejskich programów komputerowych pozwala szczegółowo i sprawnie wykonać obliczenia, a co za tym idzie, ograniczać zjawiska powodziowe przez rozwijanie systemów w aspekcie zapobiegania zjawiskom powodzi miejskich. Perspektywa obliczania określonych scenariuszy stwarza możliwość wybrania najkorzystniejszych rozwiązań w zakresie planowanych inwestycji. Na podstawie wykonanych obliczeń inwestor ma możliwość wykonania pełnego rachunku ekonomicznego, czego rezultatem jest właściwy nakład środków na skuteczną realizację zamierzeń. W przypadku Krakowa szacowany zestaw działań zaproponowanych przez autorów koncepcji został wyceniony na ok. 162 mln złotych, natomiast koszty, jakie poniósł Kraków po powodzi z 2010 r. oszacowano na 170 mln złotych.

### Źródła

1. Janiak K.: *Modelowanie kanalizacji współczesnym narzędziem analiz i planowania*. „Wodociągi Kanalizacja” 3/2012.

### OD REDAKCJI

Artykuł w postaci referatu zostanie wygłoszony podczas V Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej z cyklu „Funkcjonowanie, eksploatacja i bezpieczeństwo systemów gazowych, wodociągowych, kanalizacyjnych i grzewczych”, która odbędzie się w Krynicy Zdroju w dniach 24-26.10.2012 r.

## Przyłącza wod-kan z niemieckim systemem przejść przewodów



**Poprawnie wykonane przejście przewodu instalacyjnego przez ścianę lub strop to warunek prawidłowego funkcjonowania instalacji oraz zabezpieczenia budynków przed zalaniem wodą.**

Firma S.W. Biuro Handlowe jest przedstawicielem i wyłącznym dystrybutorem na rynku polskim niemieckiej firmy Swoboda Engineering z Datteln, producenta przepustów ochronno-uszczelniających SE-MD 20/50 oraz przejść szczelnych SE-RDS 25-140 – rozwiązań technicznych, które dzięki solidności, prostocie i skuteczności od lat cieszą się uznaniem na rynku niemieckim.

### Szkodliwa wilgoć

Woda jest przyczyną wielu problemów w budownictwie, bowiem jej wnikiwanie do obiektów budowlanych ma bardzo duży wpływ na ich trwałość. Utrzymywanie się wilgoci w budynkach prowadzi do obniżenia nośności konstrukcji, zacieków, rozwoju grzybów i pleśni, co obniża jakość i wartość obiektów. Nawet niewielkie uszkodzenia hydroizolacji budynku umożliwiają penetrację wody w strukturę ścian i stropów, szczególnie w przypadku wysokiego poziomu wód gruntowych. Miejsca przejść przewodów instalacyjnych przez ściany i stropy są nierzadko punktami każdego systemu instalacji budowlanych, w których najczęściej dochodzi do awarii i przecieków.



SE-MD 20/50 z manszetami montażowymi

Dotychczas stosowane zabezpieczenia przejść rzadko skutecznie likwidują te problemy. Bardzo często uszczelnienia przejść wykonywane są za pomocą pianki montażowej, kitu miniowego lub tego, co akurat wykonawcy mają pod ręką, np. gazet lub szmat. Takie rozwiązania są nieskuteczne, gdyż nie chronią instalacji przed uszkodzeniami i nie zabezpieczają obiektów przed przesiąkaniem wody.

**Jeszcze nigdy przejście przewodów instalacyjnych przez przegrody budowlane nie było tak proste w montażu, szczelne i tanie!**

W myśl Prawa budowlanego oraz zgodnie z zaleceniami Ministerstwa Infrastruktury z 2003 r., wszystkie przejścia przewodów instalacyjnych przez przegrody budowlane wewnętrzne i zewnętrzne powinny być prowadzone w tulejach ochronnych. Zalecenia te opublikowane są także w wydawnictwach Instytutu Techniki Budowlanej: „Projektowanie instalacji wodociągowej wody zimnej i ciepłej” oraz „Warunki Techniczne wykonania i odbioru robót budowlanych” część E, zeszyt 4. Instalacje wodociągowe”.

### Niemieckie systemy przejść

Wprowadzane na polski rynek przez firmę S.W. Biuro Handlowe niemieckie systemy przejść SE-MD 20/50 i SE-RDS 25-140 jako jedyne w kompleksowy sposób rozwiązują wszystkie problemy. Chronią instalacje przed uszkodzeniami mechanicznymi, wywołanymi m.in. skokami ciśnienia w instalacji czy osiadaniami budynku, a zarazem uszczelniają przejście, zapobiegając przenikaniu wody do konstrukcji budowlanych.

Oferowane przez firmę S.W. Biuro Handlowe wyroby są dopuszczone do obrotu w Polsce i spełniają wszystkie wymagania Ustawy Prawo budowlane z 16 kwietnia 2004 r. (DzU nr 92, poz. 881, z późn. zm.), tj.:

- posiadają Krajową Deklarację Zgodności z aprobatą techniczną ITB nr AT-15-8812/2011,
- oznakowane są znakiem budowlanym B.

Ponadto zastosowanie rozwiązań SE-MD i SE-RDS zabezpiecza przewody instalacyjne i zapewnia:

- ochronę przewodów instalacyjnych przed uszkodzeniami mechanicznymi,
- trwałość i szczelność przejścia instalacji przez przegrody budowlane w budynkach, studzienkach, zbiornikach,
- prosty i szybki montaż za pomocą manszet montażowych wielokrotnego użytku,
- możliwość łatwej wymiany przewodów instalacyjnych podczas remontów,
- likwidację mostków termicznych i wyciszenie odgłosów przepływu cieczy.

Badania w Instytucie Techniki Budowlanej w Warszawie potwierdziły wysokie parametry techniczne i użytkowe proponowanych przejść, np. odporność na działanie wody dla przepustu SE-MD 20/50 wynosi 0,6 MPa (60 m słupa wody) – AT ITB nr AT-15-8812/2011. Wykonanie przejścia instalacji, np. wodociągowej, przez ścianę jest proste i szybkie.

Tuleje ochronne jako element przepustu SE-MD można w dowolny sposób skracać i przedłużać, dostosowując ich długość do grubości przegrody. Przepusty SE-MD 20/50 pokrywają w 95% zapotrzebowanie na podłączenia przewodów doprowadzających wodę, które najczęściej mają przekroje 32, 40 lub 50 mm. W przypadku większych średnic przewodów stosujemy przejścia szczelne SE-RDS, które są gumowo-metalowymi uszczelnieniami przejść przewodów przez przegrodę o dowolnej grubości. Instaluje się je z wykorzystaniem dowolnych rur np. PVC. Oba systemy (SE-MD i SE-RDS) uszczelniają przejścia przewodów przez przegrody budowlane są kompatybilne z wyrobami hydroizolacyjnymi, zarówno rolowymi, jak i powłokowymi, stosowanymi w budownictwie.

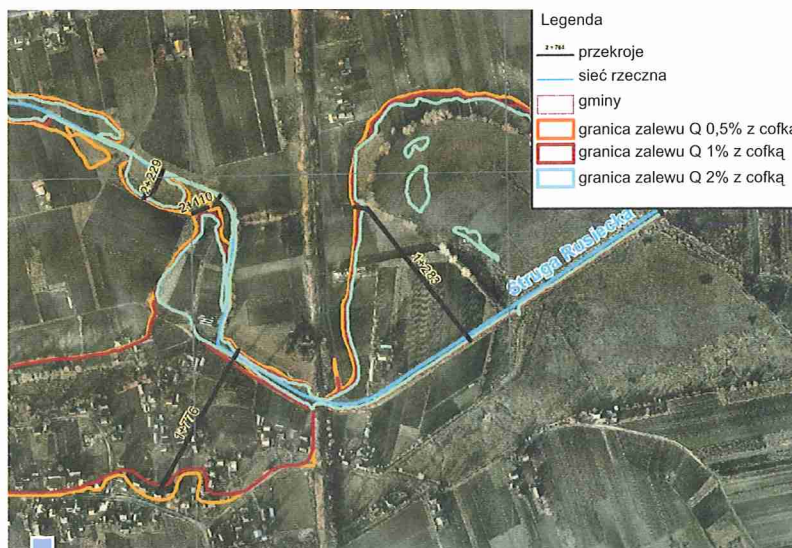
Koszt jednostkowy przepustu ochronno-uszczelniającego SE-MD 20/50 lub przejść szczelnych SE-RDS 25-140 stanowi jedynie niewielką część kosztów przyłącza wodnego, a gwarantuje ochronę, szczelność oraz daje możliwość prostej wymiany przewodów instalacyjnych w razie awarii.



Przejście przewodu wodociągowego z SE-MD 20/50

**S.W. Biuro Handlowe**  
Niemieckie Akcesoria Budowlane

www.swbh.pl  
e-mail: biuro@swbh.pl  
S.W. Biuro Handlowe  
+48 796 099 091  
+48 881 250 980



Rys. 3. Fragment mapy obszarów narażonych na zalania i podtopienia od strony cieków z uwzględnieniem wpływu fali wezbraniowej Wisły