

Innowacyjny projekt dwufunkcyjnego kolektora deszczowego o średnicy \varnothing 12,8 m
Cz. I. Aspekty hydrologiczne i hydrauliczne

Projekt SMART

prof. dr hab. inż. Andrzej Kuliczkowski, mgr inż. Piotr Dańczuk, Agnieszka Służalec *



Rys. 1. Kolektor deszczowy SMART o średnicy zewnętrznej 12,8 m i długości 9,7 km w miejscu budowy komory wentylacyjnej [8]

Projekt SMART, realizowany obecnie w stolicy Malezji Kuala Lumpur, jest nowatorskim rozwiązaniem łączącym funkcje kolektora deszczowego i autostrady w jednym dwufunkcyjnym tunelu. Długość tego kolektora wynosi 9,7 km, a wewnętrzna średnica 11,83 m. Jego nadrzędnym celem ma być ochrona miasta Kuala Lumpur przed podtopieniami, których przyczyną są intensywne opady deszczowe. Na odcinku o długości 3 km w środkowej części kolektora zaprojektowano w wydzielonych jego częściach dwa autostradowe pasma komunikacyjne (rys. 1), użytkowane praktycznie przez cały rok, a wyłączane z eksploatacji średnio raz w roku, w porze monsunowej.

Miasto Kuala Lumpur zostało założone w 1857 r. jako osada górnicza (wydobycie rud cyny), w dorzeczu dwóch rzek. Obecnie obszar ten jest silnie zurbanizowany. Centrum Kuala Lumpur jest nowoczesne, gęsto zaludnione, z wysokimi biurowcami, hotelami i centrami handlowymi, połączonymi z innymi dzielnicami siecią wielopasmowych ulic i licznych napowietrznych kolei miejskich, pełniących funkcję metra [2, 3].

Ukształtowanie terenu miało istotny wpływ na występowanie podtopień w centrum miasta. Większa część miasta położona jest na wzniesieniach, podczas gdy centrum Kuala Lumpur leży najniższej, przez co jest podatne na częste podtopienia podczas intensywnych opadów deszczowych [1].

Sposób użytkowania terenu na obszarze miasta, związany głównie z jego utwardza-

niem, doprowadził do sytuacji, w której istniejące pojemności koryt rzecznych stały się niewystarczające, aby przejmować znacznie zwiększone ilości wód opadowych, zwłaszcza w czasie pory monsunowej. Dlatego też podtopienia dzielnic centralnych stały się problemem szczególnie uciążliwym z uwagi na wzrastającą częstotliwość ich występowania w okresie ostatnich lat. Przyczyniają się one do ponoszenia ogromnych strat ekonomicznych zarówno w zakresie publicznego, jak i prywatnego mienia.

Aby zapobiec w przyszłości zatapaniu obszarów śródmieścia, powstał projekt budowy kolektora deszczowego SMART. Nazwa ta jest akronimem od angielskiej nazwy Stormwater Management and Road Tunnel [3].

W listopadzie 2001 r., w trakcie prac nad projektem SMART, zaproponowano, aby w centralnej jego części o długości 3,0 km zaprojektować dwupokładową autostradę, podobną do realizowanej wcześniej w Paryżu dwupoziomowej drogi w tunelu na trasie A86 [2].

Prace projektowe rozpoczęto 1 stycznia 2003 r., natomiast prace budowlane na odcinku północnym o długości 4,3 km, wykonywane przez malezyjską firmę MMC – Gamuda Joint Venture, ruszyły w czerwcu 2004 r., a na odcinku południowym o długości 5,4 km, wykonywane przez holenderską firmę Wayss & Freitag AG – w sierpniu tego samego roku. Zakończenie prac planowane jest na 31 grudnia 2006 r. [7, 8].

Założenia projektowe

W 1971 r. rząd Malezji zlecił przeprowadzenie badań, których rezultatem było opracowanie projektu umożliwiającego wyeliminowanie podtopień w centrum Kuala Lumpur. Po uciążliwych podtopieniach centrum miasta, które miały miejsce w 2001 r., powstała koncepcja pierwszego na świecie dwufunkcyjnego kolektora SMART, łączącego pozornie kolidujące ze sobą funkcje [3, 8], tj. funkcję kolektora deszczowego i funkcję tunelu komunikacyjnego z dwupoziomą, dwupasmową, płatną autostradą.

W zakresie ochrony przeciwpowodziowej zadaniem kolektora będzie udoskonalenie sprawności systemu kanalizacji deszczowej w mieście, odciążenie rzeki Klang z wód burzowych poprzez skierowanie ich do rzeki Kerayong, regulacja i utrzymywanie stałego poziomu w rzece przepływającej przez centrum miasta. W odniesieniu do zagadnień komunikacyjnych, tunel ma zapewnić odciążenie ruchu ulicznego na głównym wjeździe do centrum miasta z kierunku południowo-wschodniego, będąc alternatywą dla systemu rozproszenia natężenia ruchu drogowego w obszarze centrum i redukując czas przejazdu, szczególnie w okresie szczytów komunikacyjnych.

Średnica wewnętrzna budowanego kolektora wynosi 11,83 m, zewnętrzna 12,8 m, natomiast średnica dwu tarcz zastosowanych do bezwykopowej metody budowy tego kolektora wynosi 13,25 m. Zagłębienie kolektora wynosi średnio 1,0-1,5 jego średnicy. Oprócz kolektora o długości 9,7 km, zawierającego w centralnej jego części trzykilometrową sekcję z autostradą, budowane są również dwa zbiorniki retencyjne (górny i dolny), przepust odwadniający o długości 0,5 km, a także wjazd i wyjazd z autostrady, drogi awaryjne, system wentylacyjny, system kontroli i nadzoru ruchu drogowego, system wykrywania powodzi oraz pomieszczenia kontrolne umożliwiające obserwację i nadzór eksploatacyjny kolektora [1, 2, 3, 4].

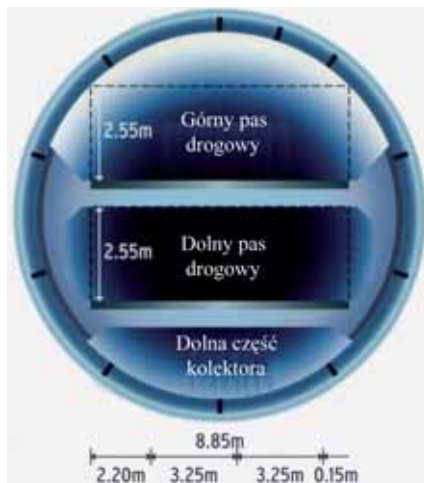


Rys. 2. Plan sytuacyjny centrum Kuala Lumpur z trasą kolektora deszczowego SMART oraz lokalizacją dwóch zbiorników retencyjnych [2]

Pierwszy z dwóch zbiorników retencyjnych (górnym), którego zadaniem jest przejmowanie nadmiernych ilości wód opadowych, posiada pojemność 0,6 mln m³, zajmuje powierzchnię 10 ha i jest zlokalizowany w pobliżu połączenia rzek Klang i Ampang. Drugi zbiornik retencyjny (dolny), stanowiący pozostałość po działalności górniczej na tym terenie, ma pojemność 1,4 mln m³ i 22 ha powierzchni.

Unikalnym elementem kolektora SMART jest trzykilometrowy odcinek autostrady zaprojektowanej w środkowej jego sekcji. Wydzielone przestrzenie komunikacyjne kolektora posiadają wysokość 2,55 m. Zaprojektowano w każdym z nich dwa pasy ruchu o szerokości 3,25 m każdy oraz dodatkowy pas bezpieczeństwa o szerokości 2,20 m (rys. 3). Konstrukcje żelbetowe „pólek” drogowych, niższej i wyższej, posiadają grubości odpowiednio 600 mm i 550 mm i są zdolne do przeniesienia obciążeń rzędu 10 kN/m². Wydzielone przestrzenie komunikacyjne zaprojektowano dla pojazdów dwuosobowych, których wysokość nie przekracza 2,40 m [1, 2, 8].

W związku z połączeniem w jednej przestrzeni kolektora dwóch funkcji tego obiektu, tj. kolektora deszczowego i autostrady, zaprojektowano specyficzny rodzaj nawierzchni zabezpieczającej jej konstrukcję przed ścieraniem się w trakcie przepływu ścieków deszczowych przez komunikacyjny obszar tunelu. Nawierzchnia o grubości 40 mm wykonana została z betonu epoksydowego z dodatkiem mikrosilikatu.



Rys. 3. Przekrój poprzeczny kolektora SMART [1]

Prędkość wód deszczowych podczas zalewania tunelu może dochodzić do 4,7 m/s, dlatego też wszystkie urządzenia, sprzęt i znaki drogowe znajdujące się w części drogowej będą mieć solidną konstrukcję i opływowe kształty. Telefony alarmowe, w przeciwieństwie do oświetlenia oraz kamer telewizyjnych, nie są odporne na zatopienie, stąd wykonuje się je w taki sposób, aby łatwo można było je wymienić na nowe po przepływie ścieków deszczowych przez kolektor [2].

Kolektor SMART jest zaprojektowany na retencjonowanie 1 mln m³ wód deszczowych, natomiast w połączeniu ze zbiornikami retencyjnymi maksymalna pojemność retencjonowania może wynieść 3 mln m³ [1, 2, 8].

Bezpieczeństwo użytkowników autostrady i personelu nadzorującego pracę kolektora zapewniają podwójne, automatyczne i wodoszczelne wrota, znajdujące

się na obu końcach sekcji komunikacyjnej, szyby wentylacyjne oraz wyjścia awaryjne z pokładów drogowych. Cztery szyby wentylacyjne dzielą autostradę na trzy jednokilometrowej długości odcinki. Mają one w rzucie wymiary 20 x 30 m, a ich wysokość wynosi 42 m, z czego 12 m znajduje się powyżej poziomu terenu, natomiast 30 m pod ziemią. W razie zaistnienia wypadku drogowego spełniają one dodatkowo funkcję wyjść awaryjnych poprzez klatki schodowe lub ognioodporne windy, w które są zaopatrzone. Każdy szyb wentylacyjny dostarcza świeże powietrze do pokładów drogowych poprzez wentylatory umieszczone na powierzchni terenu. System wentylacji oparty na ciągu wymuszonym jest jednym z kluczowych elementów kolektora SMART, umożliwiającym wykorzystanie go do dwóch różnych celów. Przewody mogą dostarczać 105 m³/s powietrza z prędkością 20 m/s.

Dodatkowo w sekcji komunikacyjnej co 250 m są zlokalizowane wyjścia awaryjne. Ułatwiają one dostęp do pokładów drogowych i są przeznaczone również do szybkiej ewakuacji osób z przestrzeni komunikacyjnych kolektora. Zaprojektowano je tak, aby w przypadku pożaru umożliwiały odciąg dymu i tym samym zapobiegały jego rozprzestrzenianiu się w przestrzeniach drogowych.

Aspekty hydrologiczne

Z danych zamieszczonych w tabeli 1 wynika, iż w ostatnich latach znacząco wzrosła częstotliwość podtopień w centrum miasta. Główną przyczyną takiego stanu rzeczy są dynamiczne zmiany w sposobie użytkowania terenu związane z zanikaniem obszarów zieleni miejskiej, a także zieleni otaczającej centrum miasta.

Okresy	Ilość	Rok zdarzenia
Przed 1950 r.	1	1926
1950 r.-1975 r.	1	1971
1976 r.-1985 r.	1	1982
1986 r.-1995 r.	4	1986, 1988, 1993, 1995
1996 r.-2004 r.	7	1996, 1997, 2000, 2001, 2001, 2002, 2003

Tab. 1. Podtopienia w Kuala Lumpur [1, 3]

Zagrożona podtopieniami powierzchnia miasta wynosi ok. 5700 ha. Obejmuje ona zarówno dzielnice handlowe, jak i mieszkalne, zamieszkałe przez ok. 115 tys. rodzin [1].

Wyróżniono dwa podstawowe mechanizmy podtopień obszaru miasta Kuala Lumpur, znajdującego się w dolinie rzeki Klang. Pierwszy wiąże się z występowaniem deszczy monsunowych o umiarkowanej intensywności (> 20 mm) i długim okresie trwania (3–10 dni), powodujących zalewanie znacznych obszarów. Drugi odnosi się natomiast do gwałtownych podtopień wywołanych przez krótko trwające opady (2–5 godz.), ale o dużej intensywności (> 80 mm), które bardzo szybko przeciążają system kanalizacji deszczowej w mieście. Na podstawie badań hydrologicznych stwierdzono, że ulewa trwająca 3 godz. i dająca 86 mm/m² opadów występuje średnio co dwa lata, natomiast opady równe co

najmniej 130 mm lub 142 mm/m² zdarzają się odpowiednio co 50 lub 100 lat.

Dynamiczna urbanizacja terenów śródmiejskich i zaniedbywanie retencji powierzchniowej spowodowały wzrost ilości spływających wód deszczowych, podczas gdy pojemność koryt rzecznych pozostała stała z uwagi na trwałe wyprofilowanie ich przekroju poprzez obetonowanie. Badania wykonane w Kuala Lumpur pokazały, że tereny zielone pochłaniają 100 mm opadu w pierwszej godzinie jego trwania, natomiast obszary z gęstą zabudową maksymalnie 20 mm.

Postępująca urbanizacja miasta, w tym lokalizacja wielu budowli i dróg bezpośrednio przy korycie rzeki, spowodowała także konieczność całkowitego utwardzenia jej brzegów, co z kolei uniemożliwia obecnie wykonanie jakichkolwiek prac związanych z poszerzeniem jej koryta.

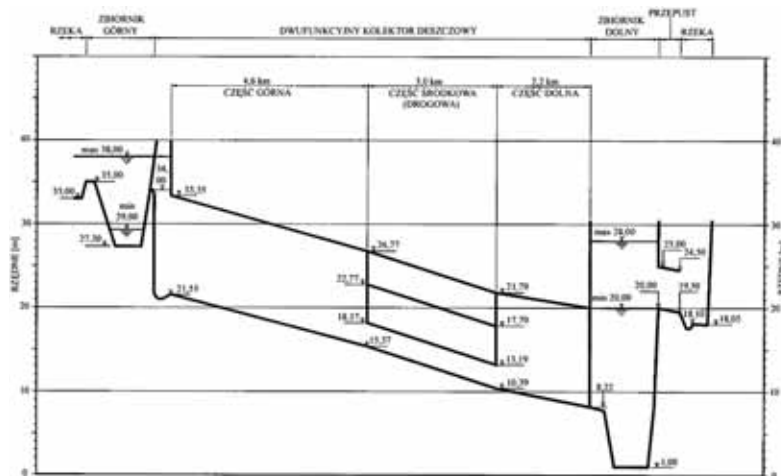


Rys. 4. Gęsta zabudowa śródmieścia uniemożliwiająca ewentualne poszerzenie koryta [6]

Aspekty hydrauliczne

Podstawowym zadaniem kolektora SMART w okresie występowania intensywnych opadów deszczowych jest odciążenie koryta rzeki Klang przepływającej przez centrum miasta poprzez przejście płynącej nią wody w miejscu usytuowanym poniżej jej połączenia z rzeką Ampang (rys. 2). W tym celu skonstruowano cztery zespoły radialnych bram umożliwiających przekierowywanie wód rzecznych do górnego zbiornika retencyjnego, a następnie wprowadzanie ich do kolektora SMART.

Kolektor SMART jest podzielony na trzy sektory dwiema śluzami, mianowicie na górny, środkowy i dolny (rys. 5). Wyższy biegnie od Kg.Kerembang do ronda Kg.Pandan. Niższy biegnie od Jalan Chan Sow Lin, zlokalizowanego blisko Sg.Besi Airfield, do byłego kopalnianego zbiornika umiejscowionego w Taman Desa (dolny zbiornik retencyjny). Na obu końcach odcinka autostrady znajdują się podwójne zespoły wodoszczelnych, stalowych i opuszczanych bram. Pierwsza brama awaryjna waży 40 t, ma 7,0 m wysokości i 9,5 m szerokości. Za każdą z bram awaryjnych znajdują się dwa wrota zamykające oddzielnie górną i środkową część kolektora, ważące każde 26 t i mające wysokość 4,0 m oraz szerokość 9,5 m. Wjazd i wyjazd z autostrady są dodatkowo zabezpieczone przez hydraulicznie napędzane obrotowe wrota, ważące 37 t i posiadające wysokość równą 3,3 m oraz szerokość 13,1 m [2]. Wody deszczowe z kolektora są odprowadzane do dolnego zbiornika retencyjnego. Woda jest zatrzymywana w zbiorniku, a następnie odprowadzana korytem o długości 0,5 km do rzeki Kerayong. Następnie korytem biegnącym wzdłuż południowej granicy centrum miasta na odcinku ok. 1,8 km rzeka Kerayong łączy się z powrotem z rzeką Klang (rys. 2) [3].



Rys. 5. Profil podłużny kolektora SMART [3]

Mogą zaistnieć trzy warianty pracy kolektora SMART (rys. 6). Warunki, w jakich będzie pracował kolektor, monitorowane są przez zaprojektowany przeciwpowodziowy system ostrzegawczy.

Przez większość dni w roku rzeka Klang nie zagraża podtopieniem centrum miasta. W wariantcie I (rys. 6) kolektorem SMART nie przepływają wody deszczowe, a jego środkowa część pełni funkcję śródmiejskiej autostrady. Wariant I ma miejsce w okresie występowania opadów zaliczanych do kategorii I, gdy przepływ w rzece Klang nie przekracza $70 \text{ m}^3/\text{s}$.

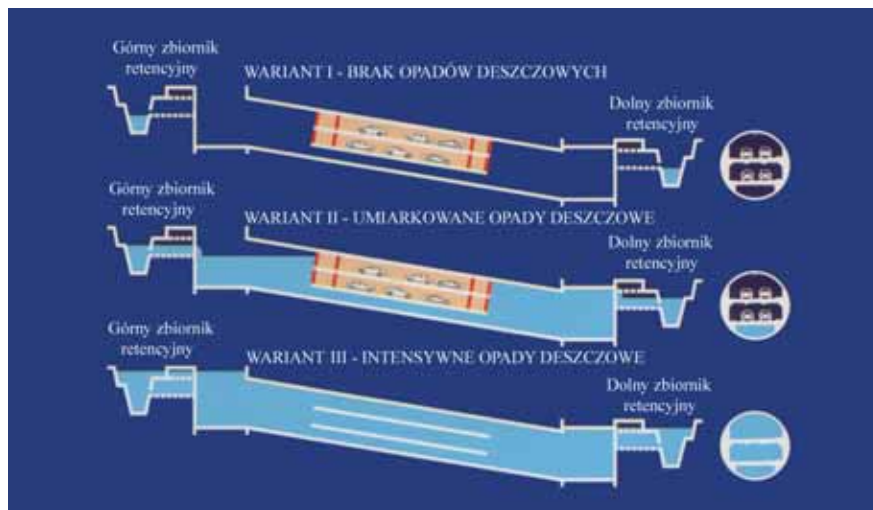
Natomiast w przypadku umiarkowanych opadów kategorii II, podczas których fala szczytowa przewyższa $70 \text{ m}^3/\text{s}$, ale nie przekracza $150 \text{ m}^3/\text{s}$, część wód opadowych jest prowadzona przez miasto, a część przejmują kolektor (wariant II, rys. 6), odprowadzając je do dolnego zbiornika retencyjnego. Do kolektora doprowadzane są wody deszczowe w stosunkowo małych ilościach. W środkowej jego części woda jest prowadzona dolnym przepustem umieszczonym pod poziomami ruchu drogowego. Ruch na autostradzie utrzymywany jest nieprzerwanie. Przewiduje się, że taka sytuacja będzie występować 7–10 razy w roku.

Wariant III dotyczy najintensywniejszych opadów, gdy szczytowy przepływ przewyższa $150 \text{ m}^3/\text{s}$. Ten wariant pracy kolektora (rys. 6) będzie występować 1–2 razy w roku. Wówczas olbrzymie ilości wód deszczowych będą kierowane do kolektora SMART, aby nie dopuścić do zalania centrum Kuala

Lumpur. W tym przypadku ruch na autostradzie będzie wstrzymany i cały kolektor łącznie z częścią komunikacyjną będzie wykorzystywany do przejmowania fali powodziowej. O zamknięciu przejazdu i przewidzianych objazdach kierowców będą informować komunikaty umieszczone przed wjazdem [1, 2, 3, 4, 8].

Kierowanie wód deszczowych do górnego zbiornika retencyjnego rozpocznie się po 1,6 godz. od momentu wystąpienia opadów. Zbiornik retencyjny będzie przetrzymywał skierowane do niego wody deszczowe przez ok. 1 godz., a następnie wody te zaczną odpływać do kolektora. Ten czas przetrzymania jest niezbędny do bezpiecznej ewakuacji samochodów z autostrady zanim woda przepłynie przez poziomy drogowy. Jedną godziną jest więc maksymalnym okresem czasowym na to, aby ostatni pojazd opuścił autostradę. Po tym czasie podwójne wodoszczelne grodzie umieszczone na obu końcach pokładów drogowych zostaną otwarte i cały kolektor wypełni się wodą, która następnie po ok. 3,9 godz. będzie odprowadzana do dolnego zbiornika retencyjnego. Poziom wody w tym zbiorniku będzie wzrastał i po osiągnięciu wysokości ok. 28,0 m wody opadowe zostaną odprowadzone przepustem do rzeki Kerayong.

Całkowita ilość wody, która wpłynie do kolektora SMART stanowić będzie ok. 4,55 mln m^3 , w przybliżeniu 1,5 razy więcej niż pojemność magazynowania obu zbiorników i kolektora (3 mln m^3) oraz 4,5 razy więcej niż pojemność retencyjna kolektora (1 mln m^3).



Rys. 6. Trzy możliwe warianty pracy kolektora SMART [2, 3]

Maksymalna przepustowość kolektora w wariantcie III wynosi $290 \text{ m}^3/\text{h}$ [3].

Autostrada zostanie ponownie otwarta dla ruchu kołowego po upływie 52 godzin od momentu, gdy minie zagrożenie powodzią [2].

Uwagi końcowe

Dwufunkcyjny kolektor deszczowy SMART, łączący w jednej budowlę funkcję kolektora kanalizacyjnego oraz funkcję innowacyjnego tunelu drogowego z dwoma pokładami transportowymi na fragmencie miejskiej autostrady, jest najciekawszą podziemną budowlą inżynierską realizowaną obecnie na świecie.

Z uwagi na dwufunkcyjność tego obiektu wymagał on rozwiązania wielu interdyscyplinarnych problemów, skupiając w gronie twórców tego projektu inżynierów wszystkich branż.

W powyższym opracowaniu zwrócono szczególną uwagę na aspekty hydrologiczne i hydrauliczne tego projektu. Druga część tego opracowania będzie koncentrować się na prezentacji najciekawszych problemów konstrukcyjnych i geotechnicznych, które towarzyszyły jego dotychczasowej realizacji.

Bibliografia

1. Ir. Hj. Datuk, A. Keizrul, Stormwater Management and Road Tunnel (SMART). A 21st Century Flood Management Solution for Kuala Lumpur; [w:] *Materiały konferencyjne International Conference and Exhibition on Tunnelling and Trenchless Technology 7-9.03.2006*, Subang, Selangor 2006, s. 1–15.
2. A. Darby, R. Wilson, *Design of the SMART Project, Kuala Lumpur*; [w:] *Materiały konferencyjne International Conference and Exhibition on Tunnelling and Trenchless Technology 7-9.03.2006*, Subang, Selangor 2006, s. 435–446.
3. N.K.Hing, D.N. Welch, T.S. Giap, *Stormwater Management and Road Tunnel (SMART). A bypass solution to mitigate flooding in Kuala Lumpur city center*; [w:] *Materiały konferencyjne International Conference and Exhibition on Tunnelling and Trenchless Technology 7-9.03.2006*, Subang, Selangor, s. 525–539.
4. Y.H. Kok, G. Klados, *Uniqueness of SMART Project in the logistic and construction challenges encountered during TBM North and South Drive*; [w:] *Materiały konferencyjne International Conference and Exhibition on Tunnelling & Trenchless Technology 7-9.03.2006*, Subang, Selangor, s. 465–478.
5. A. Kulickowski, P. Dańczuk, K. Siedlak, A. Służalec, *Innowacyjny projekt dwufunkcyjnego kolektora deszczowego $\varnothing 12,8 \text{ m}$, referat wygłoszony na II Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Szkoleniowej z Wystawą Techniki Bezwykopowej w Sieciach Infrastruktury Podziemnej 19–21.04.2006*, Kielce 2006.
6. A. Kulickowski, *Katalog zdjęć wykonanych w Kuala Lumpur*, 2006.
7. *SMART termination move in Malaysia*, Tunnels & Tunnelling International, luty 2006.
8. *The SMART Project*, folder informacyjny.

* Politechnika Świętokrzyska, Katedra Wodociągów i Kanalizacji