



ANDRZEJ STAŃCZYK

Warbud S.A.

Mosty łączące obie Ameryki

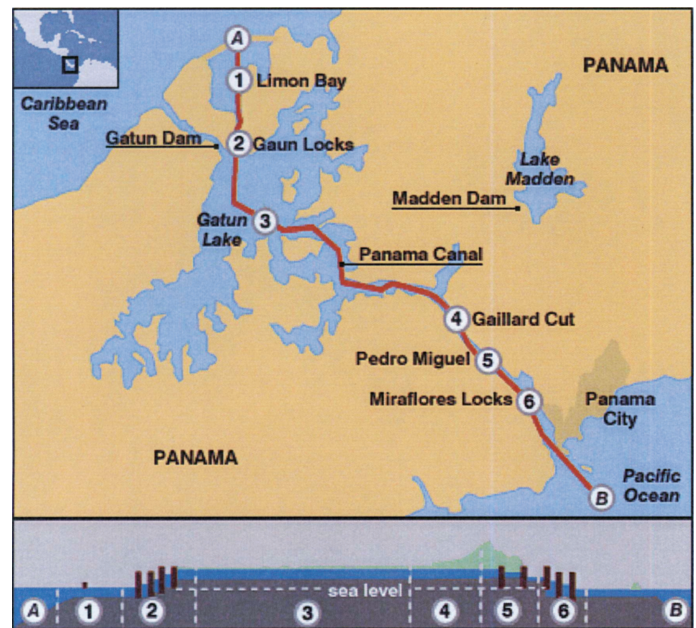
Najznamienitszymi osiągnięciami inżynierskimi przed wiekiem było zbudowanie wielkich kanałów łączących oceany: Pacyfik, Atlantyk i Ocean Indyjski. I pewnie za parę lat osiągnięcia te będą przypomniane, gdy w 2014 r. przypadnie 100-lecie ukończenia Kanału Panamskiego, a także spodziewane otwarcie na nim nowych śluz o większych wymiarach i przepustowości.

Oba te dzieła zawdzięczamy w dużej mierze jednemu człowiekowi – Francuzowi Ferdynandowi Marii de Lesseps (1805–1894). Arcyciekawa była to postać. Urodzony w Wersalu, wiehrabia, dyplomata i przedsiębiorca. W 1833 r. był konsulem w Aleksandrii, a później w Madrycie (1848–1849). Podczas pobytu w Egipcie, obserwował na Synaju wstępne poczynania mierniczych ustalających różnice poziomu wód w morzach na obu końcach projektowanego kanału, a po latach utworzył Spółkę Akcyjną Kanału Sueskiego i po zgromadzeniu wkładów wielu francuskich drobnych akcjonariuszy, uzyskał w 1854 r. koncesję na budowę Kanału Sueskiego. W latach 1859–1869 kierował jego budową, a choć prace przerwano z powodu epidemii cholery i febrę w 1865 r., to po wygaśnięciu zarazy podjęto je i ukończono ze wspianiałym skutkiem. W dowód uznania przyjęto go w poczet członków Akademii Francuskiej i odznaczono Legią Honorową. Podobno w wieku 65 lat ożenił się z 20-letnią córką urzędnika na wyspie Mauritius i miał z tego małżeństwa dwanaścioro dzieci.

Po niebywałym sukcesie budowy Kanału Sueskiego, 161-kilometrowego szlaku między Morzem Śródziemnym i Morzem Czerwonym przez jeziora: Krokodylowe, Gorzkie Wielkie i Gorzkie Małe, co skróciło szlak wodny z Europy na Ocean Indyjski o prawie 7,5 tysiąca km (dzięki uniknięciu opływania Afryki) – podjął nowe wyzwanie – połączenie Atlantyku z Pacyfikiem. W 1880 r. zawiązał spółkę akcyjną mającą sfinansować to zamierzenie i rozpoczął prace. Niestety, trudności techniczne przewyższające poprzednie dokonania, tropikalny klimat oraz nadużycia kierownictwa Towarzystwa Budowy Kanału doprowadziły przedsięwzięcie do bankructwa w 1889 r. Lesseps, początkowo skazany na 5 lat więzienia, a następnie uniewinniony, nie kontynuował już tego zamierzenia.

Do budowy powrócono w 1904 r. dzięki Amerykanom. Rok wcześniej wydzierzawili oni wąski pas łądu od Panamy – nowego państwa powstałego przez secesję północnej części Kolumbii i w ciągu kolejnych 10 lat dokończyli dzieło. Długość kanału wynosi 82 km, przy czym 1/5 przypada na płytkie wody Zatoki Panamskiej od strony Pacyfiku oraz Zatoki Colon uchodzącej do Morza Karaibskiego po stronie Atlantyku, a kolejne 2/5 (połowa pozostałej części trasy – ponad 30 km) wiedzie po wodach sztucznego, słodkowodnego jeziora Gatun, które spiętrzone zaporą do 26 m nad poziom oceanów. Różnicę tę pokonuje się trzema systemami śluz: od strony Atlantyku są to trzy śluzy Gatuńskie, a po przeciwnej – śluza w Pedro Miguel i podwójna – w Miraflores. Wykopy toru wodnego wykonano od strony Pacyfiku na trzech odcinkach: 11-kilometrowym od jeziora Gatun do śluzy w Pedro Miguel, następnym – 13-kilometrowym do śluz w Miraflores i jeszcze niespełna 10-kilometrowym do zatoki uchodzącej do oceanu w pobliżu portów Panama i Balboa. Przepłynięcie Kanału Panamskiego statkiem trwa 24–30 godzin, a ponieważ śluzy są dwukierunkowe – ruch odbywa się jednocześnie w obie strony.

nym – 13-kilometrowym do śluz w Miraflores i jeszcze niespełna 10-kilometrowym do zatoki uchodzącej do oceanu w pobliżu portów Panama i Balboa. Przepłynięcie Kanału Panamskiego statkiem trwa 24–30 godzin, a ponieważ śluzy są dwukierunkowe – ruch odbywa się jednocześnie w obie strony.



Rys. 1. Plan i przekrój pionowy Kanału Panamskiego, położenie śluz na kanale

Kanał Panamski, choć krótszy i węższy niż pierwsze dzieło Lessepsa, kosztował czterokrotnie więcej. Trudności budowy i ciężki klimat pochłonęły wiele ofiar – spośród 75 tysięcy budowniczych co trzeci zmarł lub zginął, głównie z powodu malarii i żółtej febrę. Po wybudowaniu kanału Amerykanie administrowali nim przez 75 lat, aż w końcu minionego wieku przekazali go władzom Panamy. W ciągu prawie stu lat jego użytkowania świat zmienił się niepomniernie. Kiedyś 33,5-metrowa szerokość śluz długich na 305 m z zapasem wystarczała do pomieszczenia statków oceanicznych, lecz współczesne wielkie zbiornikowce i kontenerowce są bardziej opasłe i szacuje się, że już co trzeci z takich statków pływających po morzach i oceanach nie mieści się w kanale. Osiągnięto też kres przepustowości kanału – rocznie przepływa nim około 14 tysięcy statków transportujących głównie ropę naftową, węgiel kamienny i zboże. Na początku obecnego wieku, z opłat za korzystanie z kanału corocznie wpływało do kasy Panamy 500 milionów dolarów. Łatwo obliczyć, że przepływało kanałem średnio 40 statków na dobę, płacąc wtedy średnio ponad 30 tysięcy USD za rejs. Od tej pory liczba statków przepływających kanałem prawie się nie zmieniła, bo maksymalną przepustowość ogranicza czas śluzowania, natomiast opłaty rosną nieustannie. Panama wykorzystuje pozycję monopolisty, a jedyną jej konkurencją są amerykańskie koleje.

By złamać ten monopol, powstały koncepcje budowy międzyoceanicznych kanałów w Nikaragui (z propozycją współfinansowania złożoną przez prezydenta Rosji) i w Meksyku. Zaniepokojone władze Panamy zdecydowały ubiec ich realizację i czynią to skutecznie, gdyż łatwiej jest poszerzyć istniejący kanał i zbudować na nim nowe śluzy, dłuższe i szersze, niż wykonać drugi kanał w mniej korzystnym miejscu. Powstały projekty nowych śluz na Kanale Panamskim, szerokich na 55 m i długich na 427 m. Śluzy te będą musiały przepompowywać wodę z powrotem do jeziora, gdyż już obecnie przepłynięcie jednego statku zmniejsza jego zasoby o 200 tysięcy m³, a ubytek ten narusza miejscowe ekosystemy. Prace podjęto przed trzema laty, a ukończenie ich przewidziano na rok 2014 – w stulecie powstania kanału. Znacznie zaawansowano już roboty ziemne, ale nie dokonano jeszcze wyboru systemów śluzowania statków. Koszt rozbudowy oszacowano wstępnie na prawie 6 miliardów USD, z tej sumy ponad połowę pochłonie budowa śluz. Do sfinansowania przedsięwzięcia rząd Panamy zaciągnął pożyczki i... podniósł opłaty za przepływ. Nietrudno wyliczyć jak bardzo, jeśli wiadomo, że w 2005 r. pobrano z tego tytułu 1,2 miliarda USD, a liczba przepływających statków mogła się zwiększyć tylko nieznacznie.

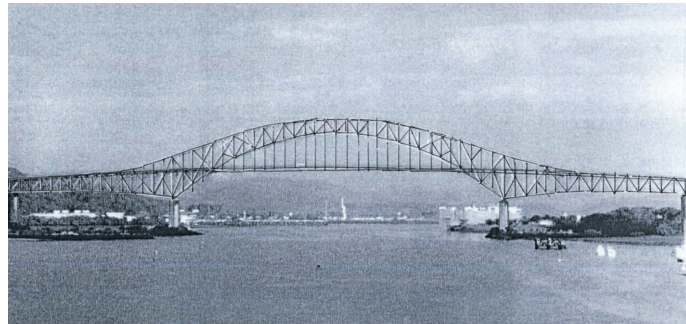
Zagrożeniem przyszłości kanału może stać się dalsze ocieplenie klimatu, powodujące topnienie lodów u północnych wybrzeży Kanady. Rejsy Morzem Arktycznym byłyby dla Amerykanów nie tylko tańsze niż kanałem, ale też – krótsze.

* * *

Przecięcie lądowego przesmyku między Ameryką Północną i Ameryką Południową połączyło oceaniczne akweny i utrudniło ruch w poprzek kanału. Ruch ten przed wykopaniem kanału był niewielki, lecz w miarę postępu prac szybko wzrastał. Budowniczym kanału wystarczały niewielkie, własne promy, zaś do ruchu tranzytowego zbudowano dwa nowe, duże promy. Uruchomiono je w 1931 r., a w następnych latach powstały przejazdy w poprzek śluz: jeden niewielki most drogowy na śluzach w Gatun i drugi – drogowo-kolejowy, także ruchomy, otwarty w czerwcu 1942 r. na śluzie Miraflores. Oba są drożne tylko wtedy, gdy wrota śluz są zamknięte i nie przepływają statki, co ogranicza możliwości przejazdu. Narastający ruch samochodowy i budowa Autostrady Panamerykańskiej wymusiły wzniesienie nowych przepraw o zupełnie innych parametrach.

Pierwszy most stały łączący obie Ameryki powstał przy ujściu kanału do Oceanu Spokojnego, między miejscowością Balboa a stolicą kraju – Panama City. Prace przy nim prowadzono w latach 1959–1962, za sumę 20 mln USD. Nazwany Tchather Ferry Bridge – od imienia prezydenta Panamy, który dokonał otwarcia, dziś znany jest jako *Puente de los Americas* – Most (obu) Ameryk. Most ma 14 przęseł kratowych, z których główne, o konstrukcji odmiennej od pozostałych, przekracza całą szerokość kanału (rys. 2). Długość mostu między przyczółkami – 1654 m. Przęsło nad wodami kanału jest łukiem kratowym utwierdzonym w przęślach sąsiednich, którego wysokość i sztywność zmniejsza się od węzłowi ku zwornikowi. Do łuku podwieszono pomost na wiotkich wieszakach. Rozpiętość tego przęsła wynosi 344 m, zwornik łuku znajduje się 117 m nad powierzchnią wody, a prześwit pod mostem,

wysoki na 61 m, dodatkowo ogranicza przepływanie dużych statków oceanicznych. Pomost mieści: pasy ruchu samochodowego, chodniki dla pieszych i ścieżki rowerzystów. Jak potrzebna była ta przeprawa, świadczy fakt, że wkrótce po otwarciu mostu przejeżdżało nim 9,5 tys. samochodów dziennie, a zanim otwarto nowy – w 2004 roku, liczba ta wzrosła ponad trzykrotnie.



Rys. 2. Most (obu) Ameryk

Nowa przeprawa przekracza kanał w pobliżu miejscowości Pedro Miguel, kilkanaście kilometrów na północ od Americas Bridge. Nad kanałem zawieszono most trójprzęsłowy o długości 1052 m, podwieszony do dwóch pylonów; wznoszono go metodą wspornikową, od każdego pylonu w obie strony równomiernie. Przęsło środkowe, wyniesione 80 m nad powierzchnię wód kanału ma rozpiętość 420 m, gdyż w rozstawie pylonów uwzględniono możliwość poszerzenia kanału. Na pomost, o sześciu pasmach ruchu samochodowego, przeniesiono Autostradę Panamerykańską. Budowla ta, podobnie jak i inne mosty podwieszane i wiszące, dobrze znosi częste w tym rejonie trzęsienia ziemi. Most nazwano Centennial Bridge (*Puente Centenario*) – „Most Stulecia” Panamy, które przypadło 3 listopada 2003 r. Otwarto go 15 sierpnia 2004 r., ale drogi do niego doprowadzono dopiero 2 września 2005 r.

* * *

Niewysokie góry, błękit jeziora Gatun, wybrzeża oceanów, tropikalna przyroda, olbrzymie śluzy, mosty... przepłynąć kanałem Panamskim, przelecieć nad nim, to marzenie każdego podróżnika. Czy osiągalne? Okazuje się nie tylko możliwe do spełnienia, ale też bez zbędnych utrudnień: bez wiz i bez dewiz, a nawet bez ruszania się z fotela! W internecie są dostępne

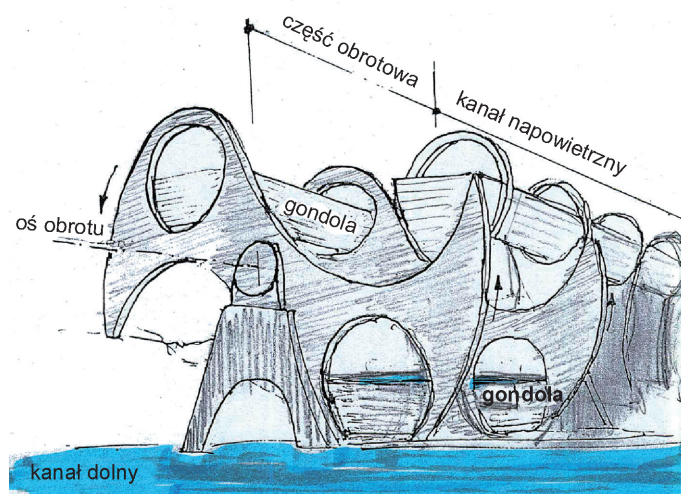
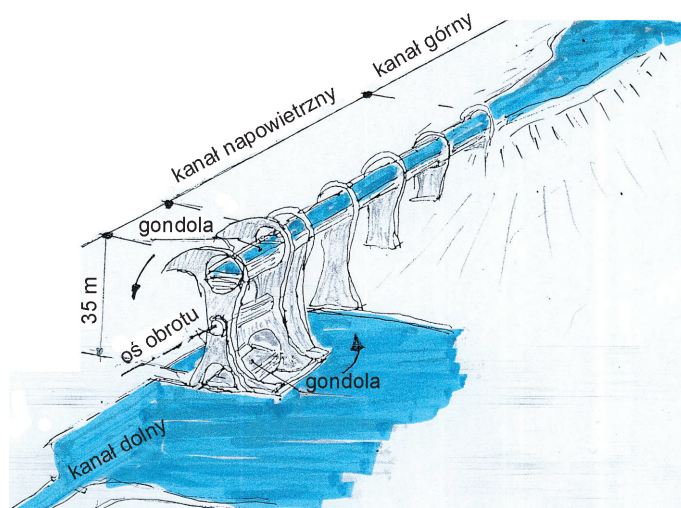


Rys. 3. Most Stulecia (Panamy)

krótkie filmiki pozwalające na kapitańskim mostku przebyć trasę w ciągu kilku minut. Można też, korzystając z programu *google earth*, przelecieć nad kanałem na dowolnej wysokości, wybierając nawet porę dnia – oświetlenie wschodzącym słońcem, w pełni dnia lub o zachodzie. Wprawdzie widoki są nie całkiem aktualne, ale „wędrowcom z muszką w rękę” i tak uczynią radość – to współczesne spełnienie marzeń ludzkości uosobionych postaciami Icara i Dedala.

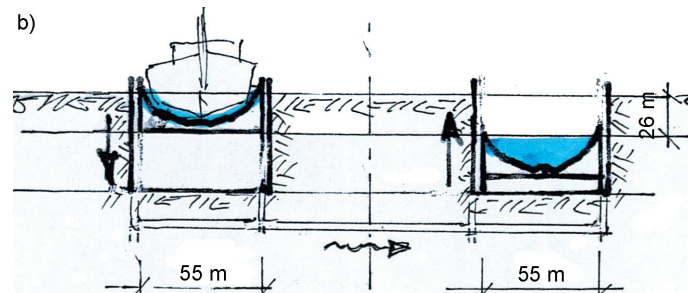
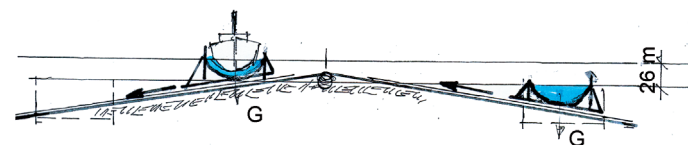
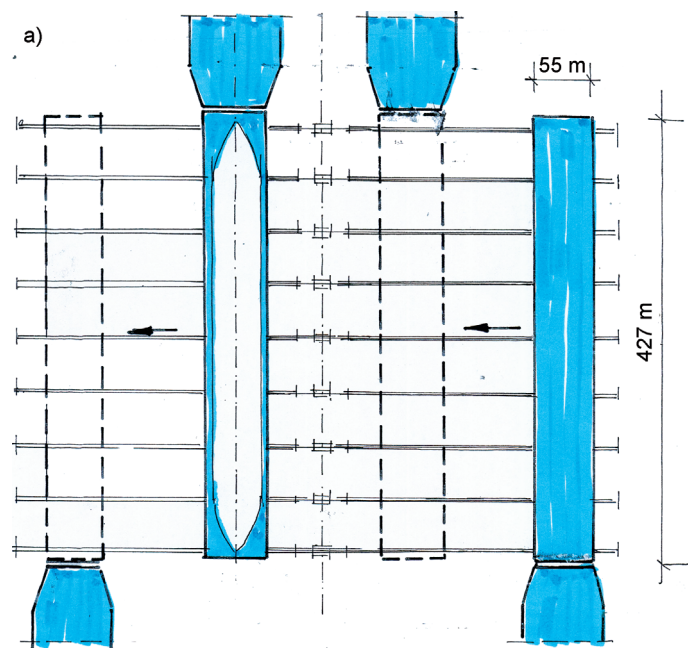
A jakież przy tym wyzwania dla inżynierów! Bo: jak rozwiązać transport pionowy statków na kanale? jak uniknąć przepompowywania setek tysięcy m³ wody podczas śluzowania? jak zmniejszyć wynikające stąd straty czasu i energii, a przede wszystkim – jak zapobiec utracie wody z jeziora? Dziś do przeciągnięcia jednego statku zużywa się ok. 200 tysięcy m³ „stodkiej” wody uchodzącej do oceanów. A przecież nowe śluzy – szersze do 55 m i dłuższe do ponad 400 m zużyłyby tej wody ponad dwukrotnie więcej niż istniejące ($55 \times 427 / 33,5 \times 305 = 2,3$). Jak przeprowadzić statki bez tych niedogodności?

Puśćmy wodze inżynierskiej fantazji, naśladowujmy odwagę Lessepsa (choć to nie on a Amerykanie spiętrzyli jezioro Gatun i zbudowali śluzy na Kanale Panamskim). Wszak po przepłynięciu śluzami kanału Augustowskiego i pochylniami Kanału Elbląskiego mamy do tego solidne przygotowanie.



Rys. 4. Śluza-kołowrót w Szkocji

Najpierw jednak, by nie „odkrywać Ameryki” ponownie, poznajmy śluzę-kołowrót na Kanale Forth and Clyde przecinającym Szkocję równoleżnikowo od morza do morza – od Glasgow do Edynburga. Na kanale tym, a właściwie dwóch kanałach, powstałych w 1777 r. i 1822 r., istniało 11 śluz o łącznej różnicy poziomów sięgającej 35 m. W ich miejsce zbudowano w 2002 r. jedno „koło wodne” w Falkirk, które przenosi dwie 300-tonowe gondole ze stateczkami o długości do 25 m w ciągu zaledwie 15 minut, nie tracąc przy tym wody wcale. Kołowrót ten napędzają dwa silniki elektryczne o mocy 22,5 kW, zużywając na jeden cykl zaledwie 1,5 kWh energii (!). Wysokość pokonywana przez śluzę-kołowrót jest porównywalna z 26-metrową różnicą poziomów między oceanami i jeziorem Gatun, lecz różne są, i to bardzo, wymiary śluzowanych statków i ciężar gondoli z wodą (ponad 1000-krotnie). Dowcip szkockiego rozwiązania polega na tym, że gondole ze statkiem nie zanurzają się w wodach kanału ani u góry, ani też na



Rys. 5. Propozycje transportu pionowego statków na rozbudowywanym Kanale Panamskim: a) gondole na pochylniach, b) gondole-windy

dole i dlatego ramiona kołowrotu są doskonale zrównoważone – statek bowiem wypiera z gondoli akurat tyle wody, ile sam waży (co pamiętamy ze szkolnych lekcji fizyki), a poziomy wypełnienia wodą gondoli ze statkiem, a także bez niego – są jednakowe, bo wrota odcinające wodę są zamykane po wypłynięciu statku do gondoli i wypchnięciu przezeń nadmiaru wody. Po otwarciu wrót gondoli i kanału jest podobnie – na miejsce wypływającego statku natychmiast napływa woda i całość nadal pozostaje zrównoważona.

Jednak zastosowanie takiego mechanizmu do transportu dużych statków oceanicznych na Kanale Panamskim, ze względu na wielkie rozmiary statków, jest niemożliwe. Mieszczące je gondole powinny być podparte na swej długości, a otwory w wahadłach musiałyby pomieścić skrajnię statków. I w tym miejscu przypomnijmy jak działają pochylnie na Kanale Elbląsko-Ostródzkim. Statki wpływają tam na zatopiony wagon, który na szynach wyjeżdża z wody po jednej stronie pochylni i po drugiej zjeżdża do wody na innym poziomie. Istotnym mankamentem tego rozwiązania jest podparcie statku na wagonie w inny sposób niż czyni to wypór wody, co wymaga znacznego wzmocnienia konstrukcji statku. Wniosek jaki stąd wynika, to konieczność transportowania statku w gondoli z wodą, jak to czynią Szkoci, lecz

ponieważ gondola o długości ponad 400 m musi być podpierana na swej długości, to zamiast kołowrotu lepiej użyć pochylni. Można połączyć oba te rozwiązania: pochylnie z naszego kanału i szkocki pomysł transportu gondolą dojeżdżającą w miejsce suche, z którego wypłynięcie następuje po połączeniu gondoli z kanałem przez otwarcie wrót gondoli i wrót kanału.

Dwie gondole wypełnione wodą do tego samego poziomu ze statkiem lub bez – miałyby jednakową masę, a spięte linami równoważyłyby się wzajemnie, zaś ilość pracy potrzebnej do pokonania oporów toczenia lub tarcia gondoli po równiach pochyłych byłaby znacznie mniejsza, niż potrzebna do uniesienia samego statku. Można też, w celu zmniejszenia miejsca zajętego przez pochylnie, użyć dwóch wind transportujących gondole w pionie. Winda te byłyby podpierane lewarami połączonymi układem hydraulicznym, stanowiącym zespół naczyń połączonych, równoważących naciski obu gondoli, a statki byłyby unoszone lub opuszczane przez przepompowywanie wody spod jednej gondoli pod drugą. Unikniemy wtedy konieczności pokonania niemałych oporów tarcia. Koncepcje te wyjaśniono na rysunku 5 i niech zachęci to Czytelników do wymyślenia nowych, nieznanych jeszcze rozwiązań. ■

Warszawa, dnia 20 listopada 2009 r.

55. Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej Wodnej Polskiej Akademii Nauk (KILiW PAN) i Komitetu Nauki Polskiego Związku Inżynierów i Techników Budownictwa (KN PZITB)

wnioski z części problemowej

„Kształcenie kadr technicznych dla budownictwa”

1. Informacje wstępne

W dniach 20–25 września 2009 r. odbyła się w Krynicy 55. Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB. Część problemowa tej Konferencji, przebiegająca w dniach 20–22 września 2009 r., poświęcona była kształceniu kadr technicznych dla budownictwa. Genezą tej tematyki były narastające od dłuższego czasu niedostatki i niewystarczalność obecnego systemu kształcenia, stwierdzone przez pracodawców, stowarzyszenia naukowo-techniczne, samorząd zawodowy oraz środowiska akademickie związane z budownictwem. Podstawowym celem części problemowej było stworzenie merytorycznej podstawy do opracowania pożądanego, racjonalnego i nowoczesnego systemu przygotowania kadr dla budownictwa, obejmującego wszystkie etapy kształcenia oraz pozwalającego nie tylko na zaspokojenie bieżących i przyszłych potrzeb rynku krajowego, ale także na sprostanie silnej konkurencji w warunkach europeizacji, a nawet globalizacji rynku budowlanego.

Patronat i Komitet Honorowy nad częścią problemową Konferencji sprawowali:

- **Barbara Kudrycka** – Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego;
 - **Katarzyna Hall** – Minister Edukacji Narodowej;
 - **Cezary Grabarczyk** – Minister Infrastruktury;
 - **Wojciech Radomski** – Przewodniczący KILiW PAN;
 - **Andrzej Ajdukiewicz** – Przewodniczący KN PZITB;
 - **Stanisław Adamczak** – Rektor Politechniki Świętokrzyskiej;
 - **Zbigniew Grabowski** – Prezes Polskiej Izby Inżynierów Budownictwa (PIIB);
 - **Wiktor Piwkowski** – Przewodniczący PZITB.
- Komitet Naukowy części problemowej Konferencji tworzyli:**
- Prof. dr hab. inż. **Wojciech Radomski** – Przewodniczący, Przewodniczący KILiW PAN, Politechnika Warszawska;
 - Prof. dr inż. **Andrzej Ajdukiewicz** – Przewodniczący KN PZITB, członek KILiW PAN, Politechnika Śląska;
 - Prot. dr hab. inż. **Lech Czarnecki** – członek KILiW PAN, Politechnika Warszawska;
 - Dr hab. inż. **Zbigniew Kledyński**, Prof. PW – Wiceprzewodniczący KILiW PAN, Politechnika Warszawska;
 - Prof. dr hab. inż. **Zbigniew Grabowski** – Prezes PIIB;