

SUWERENNOŚĆ NA SPRĘŻONYM BETONIE

Z Tadeuszem Marchajem rozmawia Witold St. Michałowski

Tadeusz Marchaj: *W czasie okupacji ukończyłem Wojennego Wawelberga – wydział obrabiarkowy. Już w pierwszych godzinach Powstania Warszawskiego zostałem zabity. W rejonie ulic Podskarbińskiej i Zagórskiej było odkryte pole kartofli. Musieliśmy je przebyć. Skokiem. Dowódca mojego plutonu był Apanasewicz-Kottłubej polski Tatar. Nie bał się niczego.*

Dostaliśmy się pod krzyżowy ogień niemieckich karabinów maszynowych Spandlu. Strzelali od strony ul. Waszyngtona Leżałem w wyoranej skibie i na moją głowę sypały się łodygi kartofli ścięte pociskami... Bałem się. Odrętwiałem na wiele godzin. Potwornie chciało się pić. Wieczorem do moich rodziców mieszkających na Saskiej Kępie przyszli koledzy. Z grobowymi minami. Jeden z nich widział rzekomo nawet jak Niemiec dobijał mnie parabelką. Taką jak dał mi ojciec przed wyjściem.

Gdy po dwóch dniach zjawiłem się w domu czekała już gotowa trumna. Solidna dębowa. Ojciec był znanym przed wojną przedsiębiorcą budowlanym i lubił rzeczy solidne.

Witold St. Michałowski: *Otrzymał Pan bojowe odznaczenia:*

T.M.: Tak, czterokrotnie. Medal A.K. za kolportaż Biuletynu Informacyjnego

W.St.M.: Co było dalej?

T.M.: Tuż po „wyzwoleniu” w naszym domu zakwaterowano dowódcę szwadronu czołgów oficera Armii Czerwonej, kawalera orderu Lenina potomka zesłańców syberyjskich Potapowicza Jego dziad za udział w Powstaniu Styczniowym „poszedł w soroki” na 40 lat wzięto go do carskiej armii.

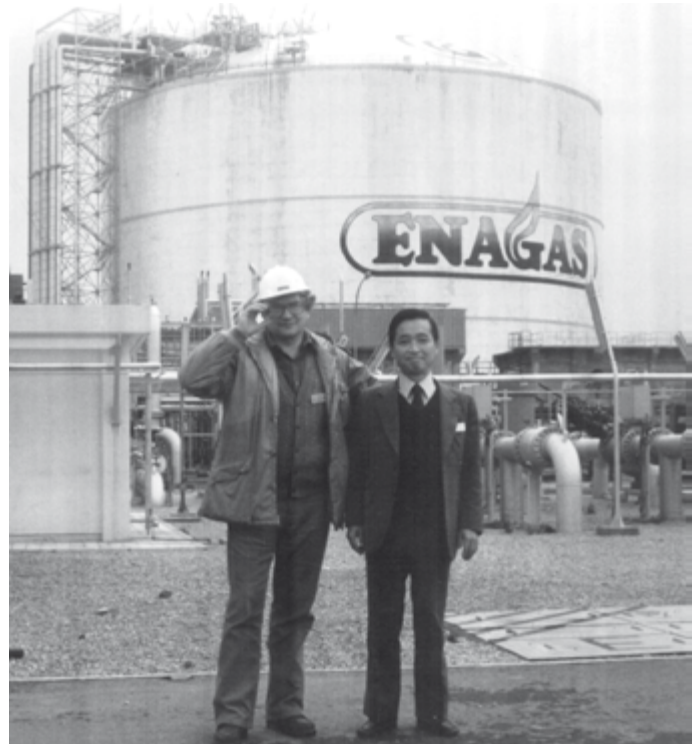
Oficer ożenił się z żołnierką. Rosjanką. Był w moim wieku Zaprzyjaźniliśmy się. Urodziło im się dziecko. Trzymałem je do chrztu w kościele Karola Boromeusza. Potapowicz został później komendantem KBW na Warszawę. W 1945 wznosiłem studia na wydziale lotniczym w Szkole Inżynierskiej im. Wawelberga i Rotwanda. Ukończyłem je 4 lata później Jako asystent pozostałem na uczelni zajmując się projektowaniem silników lotniczych. Niestety trwało to krótko. 20 września 1950 aresztowano mnie pod zarzutem szpiegostwa i chęci nielegalnego przekroczenia granicy.

Trwała kampania wyrywania chwastów reakcji.

Z pierwszego zarzutu szczęśliwie wybroniłem się ale wyrok dostałem.

W.St.M.: Co Pan pamięta z tego okresu?

Ciekawych ludzi. Razem ze mną w więzieniu na Mokotowie siedział syn poległego w Bitwie nad Bzurą gene-



T. Marchaj i inż. Kozumi Sumitomo w Barcelonie

rała Skotnickiego. Strasznie go torturowano każąc stać w stalowej ciasnej klatce z kątowników przez wiele miesięcy. Nogi po tym miał jak słoń. Uratowała go Trylogia. Mógł z pamięci cytować ją całą, rozdział po rozdziale. Ubowcom podobała się bardzo. Słuchali z zainteresowaniem. Ale ze stalowej klatki wypuścić więźnia nie było im wolno. W tej samej celi był również przedwojenny wojewoda Kostek Biernacki twórca sławnej Berezy Kartuskiej oraz były więzień tejże Berezy, komunista Aaron Wahl. Zaprzyjaźnili się z sobą. Wahl twierdził, że to co ex wojewoda urządził dla więźniów politycznych w „sanacyjnej Polsce” to było sanatorium w porównaniu z kazamatami w PRL. Otarłem się też o generała Fieldorfa-Nila.

W.St.M.: Kto Pana zadenuncjował, że chcecie uciekać łodzią żaglową?

T.M.: Po latach doszedłem do wniosku, że jeden z uczestników naszej eskapady krótko wcześniej spotykał się w Zakopanym z byłymi pilotami RAF Schielem i Hugo O'Brian de Lassie którzy poszukiwali możliwości przerzutu na Zachód.

O tym mogło dowiedzieć się UB Niewykluczone, że doniosła zdradzana przez męża żona O'Briana.



80,000-m³ LNG Tank
Double Wall
Prestressed Concrete
1980

80,000-m³ LNG Tank
Double Wall
Metal Tank
1975

(2) 40,000-m³ LNG Tanks
With Prestressed Concrete
Inner Wall
1969

W.St.M.: Ta Pani pełniła później niezbyt ładną rolę u boku swojego drugiego męża Pawła Jasienicy.

T.M.: Być może. Po wyjściu z więzienia nikt nie chciał mnie zatrudnić. Dopiero po Październiku w 1957 roku znalazłem pracę w Instytucie Fizyki PAN na stanowisku inżyniera konstruktora. Nareszcie przestałem być pariasem we własnym kraju. Projektowałem urządzenia termiczne do kształtowania monokryształów materiałów półprzewodnikowych, napyłarki próżniowe niezbędne w użytkowaniu mikroskopów elektronowych, piece do strefowego czyszczenia materiałów półprzewodnikowych, mikroogniskowe lampy rentgenowskie, spektrometr siatkowy do badań optycznych, urządzenia do pomiarów przepuszczalności gazów przez powłoki oraz wiele innych konstrukcji zleczanych mnie przez pracowników naukowych.

W maju 1962 roku zostałem nominowany na kierownika technicznego Pracowni Niskich Temperatur Zakładu Fizyki Półprzewodników Instytutu Fizyki PAN w Warszawie. Od tego czasu specjalizowałem się w technice skraplania gazów, specjalnie: - helu oraz w technologii urządzeń kriogenicznych. W pracowniach Instytutu konstruowałem oraz nadzorowałem wykonywanie szeregu kriostatów helowych, układów próżniowych oraz pierwszy w kraju zbiornik na ciecze kriogeniczne o pojemności 3000 litrów. Zbiornik ten posiadający izolację termiczną: próżniowo-perlitową wyróżniał się bardzo małymi stratami cieplnymi i służył do przechowywania ciekłego azotu na potrzeby pracowni Instytutu. Wykonany został w Państwowych Zakładach w Nysie i zgłoszony w Polskim Urzędzie Patentowym.

W.St.M.: Jak Pan trafił do Stanów Zjednoczonych?

T.M.: Uciekłem, z moją obecną żoną Ireną jako kierowcą nielegalnie przekraczając 5 granic schowany za tylne siedzenie fiata 600. Oczywiście po wyrzuceniu metalowego stelażu tak, że została tylko tapicerskie pokrycie

W.St.M.: Ile ma Pan wzrostu?

T.M.: 189 cm ale nogi trzymałem skośnie. Długo trenowałem i doszedłem do tego, że wytrzymywałem w takiej skulonej pozycji do 40 minut

W.St.M.: W USA znalazł Pan od razu pracę?

T.M.: Tak, Kriogenika którą się zajmowałem przez 11 lat w Instytucie Fizyki PAN była bardzo poszukiwaną specjalnością. W dniu 20 lutego 1969 roku rozpocząłem pracę w PRELOAD TECHNOLOGY INC. w Garden City, New York, a 14 lat później otrzymałem Certificate of the Professional Engineer (P.E.).

Bez przerwy przepracowałem w tej firmie 32 lata.

W.St.M.: Czym się zajmowała firma PRELOAD TECHNOLOGY INC.?

T.M.: Budowała zbiorniki na przechowywanie wody, cieczy oraz „criogenic consulting”.

Bardzo się mnie przydało, że jeszcze w Polsce przetłumaczyłem dla PWN podręcznik FIZYKA NISKICH TEMPERATUR Mendelсона oraz przestudiowałem bardzo dobrą książkę Timoszenki TEORIA PŁYT.

W 1948 roku PRELOAD Co. zbudowała pierwszą maszynę sprężającą obwodowo cylindryczne betonowe zbiorniki przez nawijanie na ich ścianach ciągłej struny stalowej w stanie wysokiego naprężenia (10,500 kg/cm²).

Przy jej użyciu około 3500 zbiorników, rezerwuarów oraz silosów z betonu sprężonego zostało zbudowanych w świecie. Początkowe lata stosowania obwodowego sprężania zbiorników ww metodą: projektowanie oraz normy zostały napisane i wydane do zastosowania w budowie zbiorników betonowych pracujących w normalnych temperaturach otoczenia.

Potrzeba użycia betonu sprężonego jako odpowiedniego materiału do budowy zbiorników dla przechowywania cieczy kriogenicznych pojawiła się jako rezultat śledztwa prowadzonego w USA w sprawie tzw. w katastrofy w Cleveland 1944 roku, kiedy to metalowy zbiornik zbudowany ze stali 3.5% Ni rozerwał się, bez definitywnie ustalonych powodów. Poważne ofiary w ludziach i olbrzymie straty materialne zatrzymały rozwój zbiorników metalowych na minimum 15 lat, ale doprowadził do zebrania danych potrzebnych do selekcji odpowiednich materiałów – pracujących w niskich temperaturach.

W wyniku tych poszukiwań beton sprężony uznany został jako jeden z materiałów nadających się doskonale do użycia w budowie zbiorników na przechowywanie cieczy kriogenicznych. Stało się to jednak dopiero w roku 1963 po ogłoszeniu publikacji American Gas Association „Belowground Storage of Liquefied Natural Gas in Prestressed Concrete Tanks.”

W.St.M.: Ile zbiorników Pan zbudował z betonu sprężonego?

Co najmniej kilkanaście. Były to między innymi:

– **Powłoka ochronna wokół zbiornika na LNG.** Conshohocken, PA. 63 000 m³. Średnicy 60 m i wysokości 40 m zaprojektowana, aby przejąć całkowitą ochronę otoczenia przed skutkami wiania się płynnego gazu z uszkodzonego metalowego zbiornika do wnętrza ochronnej ściany i następującego po tym pożaru.

– **(Dwa) satelitarne zbiorniki z betonu sprężonego + membrana SS:** Cumberland, R.I. 4000 m³. W użyciu od 1976 roku do dziś.

– **(Dwa) zbiorniki z betonu sprężonego Philadelphia Gas Work.** Pojemność jednego zbiornika 92500 m³. W użyciu od 1976 roku do dziś. Kopuła wewnętrzna betonowa, zewnętrzna membrana stalowa.

– **(Dwa) zbiorniki z betonu sprężonego dla Distribgas Co.** Staten Island, N.Y. Pojemność jednego zbiornika 143000 m³. Zbiorniki przeszły wszystkie wymagane testy. Władze New Jersey nie wyraziły zgody (w ostatniej chwili) na wprowadzenie tankowców na terytorium New Jersey.

– **Zbiornik z betonu sprężonego PC/PC na LNG dla Enagas SA Barcelona.** Hiszpania. 80000 m³. Zbiornik zaopatrzony jest w wewnętrzny system wentylacji.

– **Powłoka ochronna z betonu sprężonego dla metalowego zbiornika LNG dla B.C. Hydropower Authority,** Tilbury Island, Vancouver, Kanada. Pojemność 30000 m³. Ściana zaprojektowana została na dynamiczne obciążenie cieczą z pękającego zbiornika metalowego.

W.St.M.: Ma Pan na koncie kilkanaście publikacji z których większość jest nadal cytowana. Jakie były najważniejsze?

T.M.: „Zbiorniki z betonu sprężonego. Systemy dla LNG” – Praca napisana jako pomoc dla studentów w czasie wykładów na Uniwersytecie w Bumerdes, Algeria w kwietniu 1978 roku. Obejmowała ona podstawy projektu zbiornika na LNG oraz metody schładzania przed wprowadzeniem zbiornika do służby. Treść wykładów w miarę upływu czasu nie zdezaktualizowała się, gdyż jest ona oparta nadal na użyciu nie zastąpionego jak do tej pory materiału, jakim jest beton sprężony.

„Znaczenie przyspieszeń pionowych w projektowaniu zbiorników zawierających cieczę.” Opublikowane w Proceedings of the 2-nd US National Conference on

Earthquake Engineering wygłoszony w Stanford University 22-24 sierpnia 1979.

W pracy wykazałem, że brak uwzględnienia przyspieszeń pionowych przy projektowaniu zbiorników w rejonach sejsmicznych nie może być tolerowany, szczególnie w zbiornikach zawierających ciecze. Połączenie dwóch składników przyspieszeń: horyzontalnego i pionowego stwarza niebezpieczeństwo deformacji ścian metalowych zbiorników u ich podstawy w formie „elephant foot deformation” (deformacja jak noga słonia). Konkluzją mojej pracy było to, że w następnym wydaniu (American Water Works Association) AWWA Standard DI 10-86 w punkcie A.5.1 zostało umieszczone wymaganie: „**the tanks shall be designed for vertical acceleration**”.

– „**Przyspieszenia pionowe w zbiornikach z betonu sprężonego.**” Praca została opublikowana w Journal of Structural Engineering American Society of the Civil Engineering March 3, 1987.

Dokładne obliczenie promieniowej pulsacji cylindrycznego zbiornika będącego przedmiotem pionowych wstrząsów gruntu jest bardzo ważne do określenia dynamicznego współczynnika wzmocnienia przyspieszenia (dynamic amplification factor) pochodzącego z trzęsienia ziemi. Używając metody Rayleigha obliczany zbiornik może posiadać każdy rodzaj zamocowania podstawy ściany.

– „**System wyrównywania ciśnienia wewnętrzne w zbiornikach wypełnionych skroplonymi węglowodorami.**” Praca ta została zaprezentowana na Transmission Conference w Chicago w maju 17 - 19, 1982 roku. Obecnie każda specyfikacja projektu zbiornika na przechowywanie ciekłych gazów w świecie, wymaga użycia tego systemu wewnętrznej wentylacji.

W.St.M.: Było też 11 patentów?

T.M.: Tak., ale najważniejsze to dwa :

U.S. Patent # 3,712,500 - „Liner for Cryogenic Container” z 23 stycznia 1973 r. – Patent dotyczy SS membrany, która z jednej strony opiera się o izolację wspartą przez betonową ścianę, z drugiej strony jest obciążona cieczą kriogeniczną. Membrana, po temperaturowym skurczeniu się, a następnie obciążona płynem jest w stanie dopasować się do wspierającej izolacji na skutek zmiany kształtu, a nie jej rozciągnięcia się. Została użyta w satelitarnych zbiornikach w Buzzards Bay, Mass. oraz Cumberland, R.I.

U.S. Patent # 4,659,033 – Apparatus for Prestressing Concrete Structures or the like wraz z B.R. Bush, A. Tripp, z dnia 21 kwietnia 1987 roku – Jest to nawijarka karuzelowa typu 400, która jest w użyciu od roku 1987, bijąc wszystkie rekordy w ilości zainstalowanej stali sprężającej w jednostce czasu (t/day).

Prowadziłem też cykle wykładów m.in. w:

University of California Berkeley. 1975 rok. Concrete Ships and Vessels Extension – temat : Prestressed Concrete for Primary Storage of LNG&LPG on ships & barges.

Institute of Gas Technology (IGT), Chicago, Illinois. Wykłady w IGT – temat: LNG Base Load Operation, Design and Construction of Prestressed Concrete tanks. Coroczne wykłady dla studentów z całego świata w latach 1977-82.

Dwutygodniowe wykłady w Japonii zorganizowane w kwietniu 1982 w Tokio, Osaka, Hiroshima i Fukuoka przez firmę SUMITOMO dla reprezentantów japońskiego przemysłu gazowego oraz projektantów specjalizujących się w instalacjach związanych z przechowywaniem LNG & LPG.

Wykłady w kwietniu 1990 na University of New Hampshire, College of Engineering and Physical Sciences dotyczące projektowania i konstrukcji zbiorników kriogenicznych z podkreśleniem zagadnień z czystej fizyki.

W.St.M.: Co to są nawijarki karuzelowe?

T.M.: Wyjaśnię to na dwóch przykładach:

Nawijarka typu 300 Preload'a. Jej praca polega na tym, że strunę stalową wprowadza się w stan wysokiego naprężenia w czasie operacji „przeciągania” jej przez kalibrowane „oczko” ze spieków ceramicznych. Średnica „oczka” musi być o tyle mniejsza, aby siła potrzebna do operacji przeciągania, była wymaganą siłą napięcia struny.

Nawijarki typu 400 zwane „nawijarkami różnicowymi” pracują na zasadzie, że długość wypuszczanej struny z pary kół napinających i kontrolowanej przez sprzęgło hydrauliczne (Posidyne) jest nieco mniejsza (wielkość zaprojektowana) od drogi przebytej przez maszynę. Ta różnica musi być skompensowana wydłużeniem struny, a co za tym idzie, napięciem i siłą w strunie.

Moment obrotowy ($M = pxR$) jaki powstaje na kołach napinających przechodzi przez przekładnię napędową do sprzęgła, a następnie przez drugą przekładnię napędową i koło zębate do łańcucha poruszającego maszynę. Zwrot momentu obrotowego oczywiście ZMIENIA wymagania zainstalowanej mocy (około 45%).

Jedyne sprzęgło w nawijarce zapewnia utrzymanie wymaganych sił w strunie stosując kontrolę ręczną lub automatyczną. Nawijarka posiada ciągły zapis aktualnej siły w strunie pochodzącej z komórki ciśnieniowej (Strainert).

Wszystkie operacje pomocnicze jak: podnoszenie pionowe maszyny, zakładanie nowego zwoju struny (800 kg), napinanie łańcucha napędowego opasującego zbiornik wykonywane hydraulicznie.

Nawijarka może opasywać zbiorniki strunami pokrytymi plastykiem. Jest to możliwe, ponieważ nie używa się operacji przeciągania, która zniszczyłaby plastik pokrywający struny. Pokrycie plastikowe zabezpiecza struny przed korozją.

Moc silnika (Diesel): 86HP. Waga maszyny: około 8200 kg (struny & paliwo). Długość x szerokość \ wysokość

kość maszyny = 4.20 m \ 1.60 m
x 2.40 m Szybkość nawijania
strun - 120 m/min

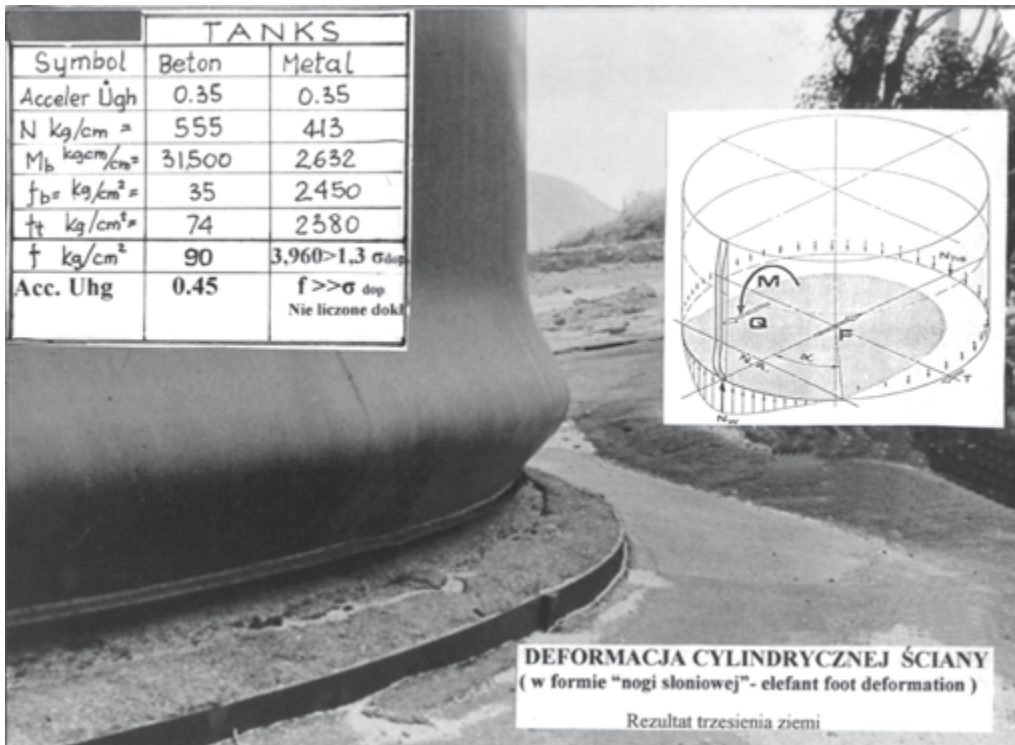
W.St.M.: Czy są możliwe zmiany wymiarowe ścian kriogenicznego zbiornika z betonu sprężonego? Jakie są tego przyczyny?

T.M.: Przyczyny składające się na bardzo poważne zmiany wymiarów konstrukcji z betonu sprężonego to przede wszystkim, bardzo duże zmiany temperatury konstrukcji, która w wypadku zbiornika dla skroplonego metanu może wynieść około 200°C. Tak wielka zmiana temperatury zbiorników dla kriogenicznych cieczy jest sprawą całkiem normalną, jak na przykład schładzanie zbiorników. Musimy tylko uniknąć zbyt dużego gradientu temperaturowego w czasie tej operacji, co może być zagwarantowane przez procedurę schładzania. Duże zmiany wymiarów zbiorników z betonu sprężonego zachodzą również w czasie sprężania samej konstrukcji przez fakt deformacji elastycznej. Ponadto zjawiska zachodzące w betonie jak: kurczenie się (związane ze schnięciem), pełzanie (związane z wielkością sprężenia) zależą wyłącznie od zachowania betonu w funkcji czasu. Na wielkość zmian wymiarowych mają także wpływ: uzbrojenie prętami stalowymi oraz relaksacja strun sprężających. Analiza tych zjawisk jest częścią projektu zbiornika i powinna brać pod uwagę międzynarodowe rekomendacje dla projektów i konstrukcji budowli z betonu sprężonego wydane przez FIP (Federation Internationale de la Precontrainte) w Pradze w lipcu 1970.

Każda zmiana temperatury zewnętrznej powierzchni ściany prowadzi do różnicy temperatur w poprzek ściany. Zmiana temperatury w ścianie jest funkcją CZASU, która zależy oczywiście od grubości samej ściany oraz właściwości fizycznych materiału, z którego ściana jest zrobiona, tj. ciężaru właściwego, ciepła właściwego oraz współczynnika przewodności cieplnej. Zewnętrzne źródła zmiany temperatury takie jak schładzanie ściany przez ciekły gaz czy jej ogrzewanie przez z radiację z pożaru, będą stwarzały inne warunki, które spowodują zmiany temperatury w ścianie w odmiennym od siebie czasie. Obciążenie ściany oraz warunki brzegowe samej konstrukcji tworzą też dodatkowe warunki dla zbiornika.

Projekt zbiornika na cieczy kriogeniczne wypracowany przez PRELOAD w okresie około 30 lat to dwupłaszczyznowy zbiornik (symbol PC/PC) z betonu sprężonego

| TANKS | | |
|-----------------------------------|-------|---|
| Symbol | Beton | Metal |
| Acceler Ugh | 0.35 | 0.35 |
| N kg/cm ² | 555 | 413 |
| M _b kg/cm ² | 31500 | 2632 |
| f _b kg/cm ² | 35 | 2450 |
| f _t kg/cm ² | 74 | 2580 |
| f kg/cm ² | 90 | 3,960 > 1.3 σ _{dep} |
| Acc. Ugh | 0.45 | f >> σ _{dep} Nie liczone dokł |



oparty na współzależnie pracujących elementach obu ścian wewnętrznej i zewnętrznej.

Obydwa płaszczyzny ściany zaprojektowane są według tych samych zasad, które odpowiadają na wymagania stawiane przed konstruktorem przez „poruszające się” elementy zbiornika.

W.St.M.: W 82 roku życia jakie jest Pan marzenie?

T.M.: Zbudować choć parę zbiorników ze sprężonego betonu w kraju rodzinnym

W.St.M.: Tak ale chyba najpierw należało by podjąć decyzję o budowie morskiego terminalu LNG?

T.M.: To że Polską do dnia dzisiejszego nie ma morskiego terminalu LNG świadczy jedynie o skuteczności działania rosyjskiej agentury która nie chce dopuścić do sytuacji w której syberyjski gaz będzie miał konkurencję. Ale ja bym rekomendował również budowanie tego typu zbiorników na paliwa płynne i wodę. Ich średni koszt to 200 USD za 1 m³ pojemności. Bezpieczeństwo energetyczne w zakresie zaopatrzenia w gaz takiej np. Filadelfii zapewniają dwa zbiorniki z betonu sprężonego i zaledwie 8” rurociąg którym tłoczony jest gaz z dalekiej Luizjany, a następnie skraplany i wykorzystywany w miarę potrzeby.

Filadelfia ma mniej więcej tyle mieszkańców co Warszawa.