

Piotr Sadłoń

Laboratorium Akustyki Technicznej

Jednostka Katedry Mechaniki i Wibroakustyki AGH w Krakowie

Konsole, systemy nagłośnieniowe, procesory, mikrofony itp. to efekt końcowy wielu, wielu godzin prac nad ich zaprojektowaniem oraz przebadaniem w różnych warunkach i sytuacjach.

Podobnie sale koncertowe (te zaprojektowane i wykonane „z głową”, a więc w konsultacji i pod nadzorem wykwalifikowanego akustyka) – ich powstanie jest również okupione godzinami badań i pomiarów, np. okładzin ściennych, foteli, a nawet elementów systemu oświetleniowego. Ludzie, którzy tym się zajmują nie pracują w warunkach, do jakich przyzwyczajeni są realizatorzy

dźwięku – szczególnie ci live’owi. Ich miejscem pracy jest zacisze laboratorium, w którym dokonują oni różnorodnych pomiarów, badań, symulacji itp. Takich miejsc w Polsce jest kilka, a jednym z nich jest

LAT

czyli Laboratorium Akustyki Technicznej Katedry Mechaniki i Wibroakustyki

Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.

Laboratorium działa nieprzerwanie od 1974 roku i służy – jako że jest jednostką uczelni wyższej – przede wszystkim kształceniu studentów oraz podnoszeniu wiedzy kadry dydaktycznej. Ale nie tylko – wszak można połączyć „przyjemne z pożytecznym”, tj. prace dydaktyczną z możliwością zdobycia dodatkowych środków finansowych na rozwój laboratorium, jak i ogólnie uczelni. Toteż Laboratorium Akustyki Technicznej świadczy również usługi dla tzw. „przemysłu”, wykonując różnorakie działania w zakresie miernictwa akustycznego, na zlecenie klientów zewnętrznych.



Źródło: LAT AGH



fol. P. Sadłoi

LAT dysponuje całą gamą specjalistycznego sprzętu, np. rurą impedancyjną, przy pomocy której można mierzyć parametry akustyczne próbek wybranego materiału, przy padaniu fali dźwiękowej prostopadle do jej powierzchni.

Wykonywane są również projekty i nadzory nad wykonawstwem akustycznym różnorodnych obiektów o akustyce kwalifikowanej, i w tej dziedzinie LAT może pochwalić się wieloma dokonaniem. Jednym z przykładów jest przebudowa Opery Lwowskiej, w której pracownicy laboratorium mieli swój czynny udział. Spośród innych inwestycji należy wymienić przebudowę i modernizację Filharmonii Podkarpackiej w Rzeszowie, sali teatralnej Teatru Bagatela w Krakowie, prace nad opracowaniem i przeprowadzeniem procedury testowej przed zainstalowaniem Systemu Wsparcia Akustyki w Teatrze Wielkim Operze Narodowej w Warszawie (o czym pisaliśmy w numerze 3/2015 LSI) czy rozbudowę i modernizację PWST w Krakowie.

Równoległe prowadzone są prace naukowe, które umożliwią poszerzenie zakresu wykonywanych badań, jak również udoskonalą przeprowadzane dotychczas pomiary.

Każde przedsięwzięcie nie może obejść się bez dwóch „składników” – infrastruktury i kadry, albo inaczej „zasobów ludzkich”. W przypadku Laboratorium Akustyki Technicznej ową infrastrukturę można podzielić na dwie składowe – obiekty i sprzęt. Na nic jednak – jak zresztą w każdej dziedzinie – zda się nawet najlepszy sprzęt i najbardziej komfortowe warunki pracy, jeśli nie będzie odpowiedniej kadry tenże sprzęt obsługującej. Na początek powiedzmy więc co nieco o

LUDEZIACH LAT

Laboratorium kieruje dr hab. inż. Tadeusz Kamisiński, profesor Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Zespół Akustyki Architektonicznej uzupełnia 8 doktorów inżynierów (obojga płci) – w tym jeszcze jedna osoba z tytułem profesora AGH, dr inż. Anna

Snakowska – oraz 5 doktorantów, aktualnie magistrów inżynierów. Wśród tych ostatnich jest „sprawca” tego artykułu, człowiek który zaprosił mnie do odwiedzenia laboratorium, oprowadził i wszystko szczegółowo objaśnił – mgr inż. Marcin Zastawnik. Dzięki ludziom laboratorium aparatura i obiekty (dwie komory pomiarowe) – o których więcej informacji za moment – służą studentom, wykładowcom oraz wszystkim innym „potrzebującym”, utrzymywane w stanie gotowości i obsługiwane fachową ręką i okiem.

APARATURA

Aparatura pomiarowa używana w laboratorium to sprzęt najwyższej klasy, w dużej mierze produkcji światowego lidera w tej dziedzinie, firmy Brüel&Kjær (w skrócie B&K). Trudno tu wymienić cały sprzęt, jakim dysponuje LAT, ale trzeba wspomnieć o kilku najistotniejszych.

Jednym z nich jest czteromikrofonowa rura impedancyjna B&K 4206T z modulem generatora B&K 3160 (cztery wejścia/dwa wyjścia, każde pracujące w paśmie od 0 do 51 kHz). Za jej pomocą można mierzyć parametry akustyczne próbek wybranego materiału przy padaniu fali dźwiękowej prostopadle do jej powierzchni. Rura impedancyjna tego typu pozwala zmierzyć impedancję i admitancję akustyczną badanego materiału, współczynnik odbicia i pochłaniania oraz współczynnik strat sygnału podczas jego przejścia przez materiał. Dzięki temu można porównywać kilka różnych próbek materiału, wstępnie wyselekcjonować materiał, który następnie zostanie poddany badaniom w polu rozproszonym (w komorze pogłosowej), gdzie – w przeciwieństwie do rury impedancyjnej – fala dźwiękowa pada na materiał z każdej strony i pod różnymi kątami, lub stworzyć model analityczny,



fol. LAT AGH

Użytkowany w LAT jest również niskoszumny system pomiarowy duńskiej firmy G.R.A.S., pracujący w paśmie od 12,5 Hz do 12,5 kHz, z zakresem dynamiki od -2 dB(A) do 110 dB(A).

stosowany przy projektowaniu materiałów lub komponentów.

Laboratorium dysponuje też małą – można nawet rzec przenośną – komorą pogłosową, szczelną hermetycznie. Wykorzystuje się ją do badania modeli w skali, gdzie przeskalować trzeba nie tylko wymiary badanego obiektu czy struktury, ale również warunki, w jakich będzie pracować, np. częstotliwość fal akustycznych czy też prędkość rozchodzenia się tych fal. W tym właśnie celu komora musi być hermetyczna, aby wypompować z niej powietrze, a następnie napełnić ją odpowiednim gazem, zapewniającym uzyskanie wymaganej prędkości dźwięku.

Użytkowany w LAT jest również niskoszumny system pomiarowy duńskiej firmy G.R.A.S., składający się z 1-calowego



fol. P. Sadłoi

Tego „sztywniaka” też można spotkać w LAT – sztuczna głowa i sztuczne usta, oczywiście produkcji B&K.

pojemnościowego mikrofonu pomiarowego o dużej czułości (1,18 V/Pa) 40HF oraz również 1-calowego przedwzmacniacza o bardzo małych szumach 26HF. Razem ten układ mikrofon-przedwzmacniacz pracuje w paśmie od 12,5 Hz do 12,5 kHz (-3 dB), z zakresem dynamiki od -2 dB(A) do 110 dB(A). Widać więc, iż szумы termiczne przetwornika są kosmicznie niskie (-2 dB(A)), co przy dużej jego czułości pozwala zmierzyć nawet bardzo ciche dźwięki, w zasadzie niesłyszalne dla człowieka.

Takich „niezwykłych” mikrofonów jest tutaj więcej – niejako „po drugiej stronie kija” (który, jak wiadomo, ma zawsze dwa końce) jest przetwornik B&K 4138 o średnicy 1/8”, który nie dość że pracuje w paśmie od 6,5 Hz do 140 kHz(!), to jeszcze jest w stanie przetworzyć z 10-procentowymi zniekształceniami dźwięk o poziomie ciśnienia akustycznego 178 dB! Oprócz niego laboratorium wyposażone jest w przetworniki B&K 1/4”, 1/2” i 1-calowe (wraz z przedwzmacniaczami) oraz półcalowe firmy G.R.A.S (7 46AQ i 10 46AE).

LAT dysponuje również sztuczną głową i sztucznymi ustami produkcji B&K, sondą natężeniową p-p wraz z analizatorem – obydwie urządzenia również produkcji B&K – a także stanowiskiem do pomiaru sztywności dynamicznej (jak pewnie nietrudno się domyślić, wyposażone w sprzęt firmy Brüel&Kjær).

Dzięki laserowemu wibrometrowi firmy Polytec LAT może również wykonywać bezdotykowe pomiary drgań.



fol. LAT AGH

Do pomiaru sztywności dynamicznej służy specjalne stanowisko wyposażone w sprzęt (a jakże!) firmy Brüel&Kjær.

Lista sprzętu, jakim dysponuje Laboratorium Akustyki Technicznej, na tym się nie kończy. Obejmuje jeszcze sporo pozycji, w tym m.in. przenośne analizatory dźwięku i drgań polskiej firmy Svantek – SVAN 958 oraz SVAN 912 E wraz z przystawkami SVO6 i SVO8, a także mierniki, rejestratory poziomów, generatory sygnałów, wzmacniacze, kalibratory i wzorcowe źródło mocy akustycznej – wszystko firmy Brüel&Kjær. Co ciekawe, wśród tego wysoce specjalistycznego (i drogiego!) sprzętu można też znaleźć urządzenia dobrze nam znane, np. estradowe wzmacniacze (Crest Audio) czy interfejsy audio (RME Fireface), które również wykorzystuje się w pracy laboratorium.

Jednak cały ten sprzęt byłby w dużej mierze niewykorzystywany, gdyby LAT



fol. P. Sadłoni

W laboratorium znajdziemy też inny niezwykle mikrofon – o średnicy 1/8”, który pracuje w paśmie 6,5 Hz-140 kHz(!) i jest w stanie przetworzyć dźwięk o poziomie ciśnienia akustycznego 178 dB!

nie dysponowało odpowiednimi, w tym dwoma specjalistycznymi

POMIESZCZENIAMI

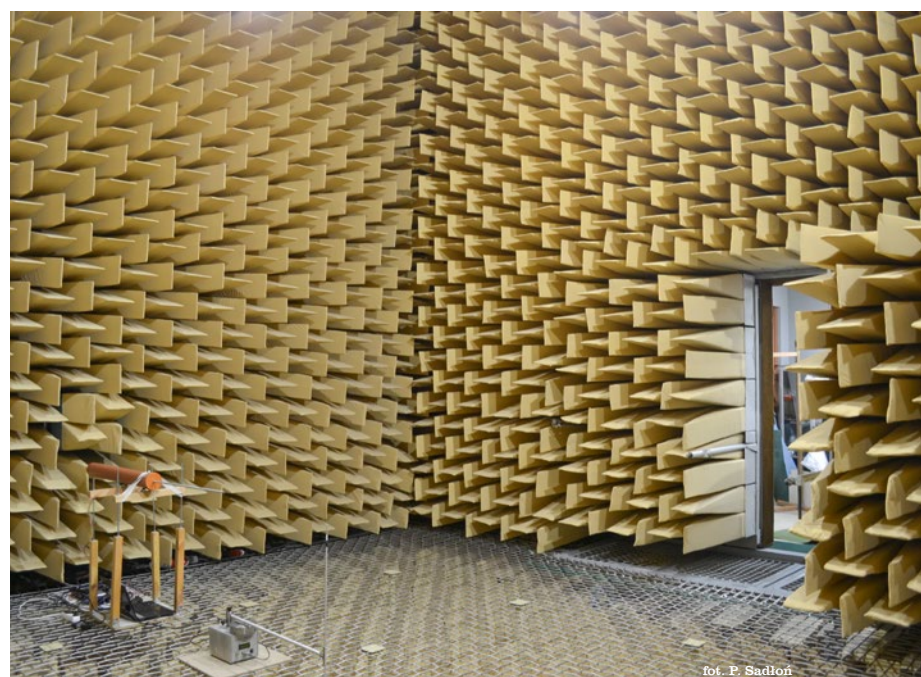
Od roku 2004 podjęto sukcesywną modernizację pomieszczeń Laboratorium Akustyki Technicznej, która objęła pomieszczenia aparaturowe, pomieszczenia pomocnicze w piwnicach, komorę pogłosową oraz komorę bezechową. Realizację modernizacji prowadzono z udziałem sponsorów z przemysłu, środków własnych oraz prac studenckich.

Współpraca z przemysłem stworzyła możliwości realizacji pewnych



fol. LAT AGH

Cały sprzęt pomiarowy byłby w dużej mierze niewykorzystywany, gdyby LAT nie dysponowało dwoma specjalistycznymi pomieszczeniami. Jednym z nich jest komora pogłosowa...



fol. P. Sadłoni

...zaś drugim komora bezechowa, jedna z największych tego typu w kraju.



fot. LAT AGH



fot. P. Sudłon

Oprócz całej masy specjalistycznego sprzętu pomiarowego wysokiej klasy możemy tu również natknąć się na sprzęt „bliższy sercu” realizatorom dźwięku, np. interfejs audio RME.

przedsięwzięć modernizacyjnych, bez angażowania środków budżetowych. W czasie ostatnich pięciu lat wartość prac i materiałów (po cenach rynkowych) pochodzących od współpracujących firm oszacowano na kwotę powyżej 250.000 zł, czego efektem jest widoczna poprawa estetyki i funkcjonalności wnętrza Laboratorium Akustyki Technicznej.

W roku 2006 wykonano w komorze pogłosowej, w ramach prac studenckich sponsorowanych, stanowisko do badania izolacyjności akustycznej małych próbek. W 2008 roku zainstalowano w komorze bezchowej prototyp manipulatora pomiarowego dla automatyzacji procesów badawczych źródeł dźwięku i przetworników elektroakustycznych. Podjęto również badania nad stworzeniem stanowisk i procedur do pomiaru rozproszenia dźwięku przez ustroje akustyczne.

Sercem Laboratorium Akustyki Technicznej są pomieszczenia laboratoryjne, z których można zarówno sterować pomiarami w obu wspomnianych komorach pomiarowych, jak i dokonywać pomiarów mniejszych próbek, np. z wykorzystaniem opisywanej już rury impedancyjnej czy małej komory pogłosowej do pomiaru modeli w skali. Zajmują one powierzchnię około 120 m². W tych pomieszczeniach odbywają się także wszelkiego rodzaju zajęcia dydaktyczne (dla studentów AGH oraz członków Uniwersytetu Dzieci czy Uniwersytetu Trzeciego Wieku).

KOMORA POGŁOSOWA

Komora pogłosowa ma kształt nieregularnego graniastosłupa o objętości 181 m³. Ściany są nierównoległe ze względu na konieczność zapewnienia właściwego rozproszenia, wspomaganego przez pięć rozpraszaczy z plexi PMMA.

Pomieszczenie jest odseparowane od pozostałej części budynku za pomocą wełny mineralnej, a posadzone na warstwie gumy i korka. Ściany wewnątrz pokryte są „cementem palonym” oraz specjalną farbą dla zapewnienia możliwie najmniejszego pochłaniania. W komorze na stałe zamontowano 6 mikrofonów G.R.A.S oraz 2 źródła wszechkierunkowe, skonstruowane i wykonane w LAT. Odległości pomiędzy ich pozycjami, a także odległości od ścian spełniają wymagania normy PN-EN ISO 354 „Akustyka – Pomiar pochłaniania dźwięku w komorze pogłosowej”.

W komorze wykonuje się pomiary:

- pogłosowego współczynnika pochłaniania dźwięku,
- poziomu mocy akustycznej,
- współczynnika rozproszenia,
- izolacyjności akustycznej małych próbek.

W celu umożliwienia pomiarów współczynnika rozproszenia w podłodze komory zamontowano stół obrotowy z demontowanym talerzem o średnicy 3 m. Jest to jedyne takie stanowisko w Polsce

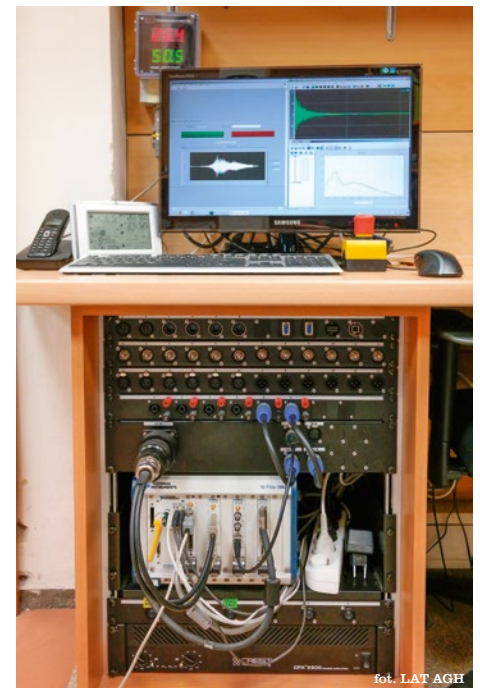
Komora pogłosowa dysponuje niezbędnym zestawem sprzętu do jej obsługi (w tym modułami przetworników DAQ i kontrolerem stołu obrotowego firmy National Instruments oraz termohigrometrem), a także specjalnym oprogramowaniem pozwalającym na automatyzację wykonywanych pomiarów i ułatwiającym analizę zebranych danych.

KOMORA BEZECHOWA

Bodajże największym powodem dumy Laboratorium Akustyki Technicznej Katedry Mechaniki i Wibroakustyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie jest duża komora bezchowa, będą-

ca jednym z największych obiektów tego typu w Polsce. Jest to specjalne pomieszczenie, w którym, dzięki zastosowaniu na ścianach specjalnych elementów rozpraszająco-pochłaniających, panują warunki pola swobodnego.

Komora jest żelbetonowym sześciangonem o krawędzi zewnętrznej około 10 m (objętość około 1.000 m³). Objętość użyteczna (pomiędzy klinami) to około 342 m³ (6,7 m x 7,1 m oraz 7,2 m wysokość). Masa komory jest szacowana na około 500 ton, a sama „kostka” posadowiona na wibroizolacji ograniczającej



fot. LAT AGH

Obie komory dysponują niezbędnym zestawem sprzętu do ich obsługi, a także oprogramowaniem pozwalającym na automatyzację wykonywanych pomiarów i analizę zebranych danych – na zdjęciu stanowisko pomiarowe komory pogłosowej.



foto. P. Sadłoni



foto. P. Sadłoni

Komora bezehowa to około 500-tonowy sześcian żelbetonowy, osadzony na 25 wibroizolatorach czołowego niemieckiego producenta.

przenoszenie drgań i dźwięków drogą materiałową. Izolacja ta składa się z 25 kaset wibroizolujących, w każdej z nich znajdują się 2 sprężyny w płaszczu z tworzywa. Komora od początku była zainstalowana na wibroizolatorach, jednak po latach eksploatacji część z nich przestała pełnić swoją funkcję, gdyż sprężyny w nich zostały już tak ściśnięte, iż obudowy kaset stykały się ze sobą. Kilka lat temu zapadła więc decyzja o ich wymianie na profesjonalne kasety czołowego producenta wibroizolatorów z Niemiec. Co ciekawe, całą operację wymiany kaset, na których osadzona jest 500-tonowa „kostka” żelbetonowa, przeprowadził jeden człowiek!

Dzięki zastosowanym zabezpieczeniom (obiekt typu pudełko w pudełku,

osadzony na wibroizolatorach) poziom ciśnienia akustycznego tła, zmierzonego w komorze w ciągu dnia wynosi około 0 dB(A), zaś w porze nocnej spada nawet poniżej -1,5 dB(A).

W komorze możliwe są pomiary laboratoryjne rozproszenia, poziomu mocy akustycznej i kierunkowości dźwięku urządzeń, a także innych pomiarów prototypowych i modelowych.

Wewnątrz komory zamontowany jest prototypowy manipulator do pomiaru poziomu mocy akustycznej, którego możliwości zostały rozszerzone o pomiar kierunkowości oraz rozproszenia – do tego celu używa się stolika obrotowego wspomnianego manipulatora, który umożliwia obrót z dokładnością do 0,01°.

Skład osobowy Zespołu Akustyki Architektonicznej:

- dr hab. inż. Tadeusz Kamiński, prof. AGH – kierownik laboratorium
- dr hab. Anna Snakowska, prof. AGH
- dr inż. Artur Flach
- dr inż. Krzysztof Kosala
- dr inż. Radosław Marczuk
- dr inż. Adam Pilch
- dr inż. Jarosław Rubacha
- dr inż. Agata Szeląg
- dr inż. Jacek Wierzbicki
- mgr inż. Katarzyna Baruch
- mgr inż. Krzysztof Brawata
- mgr inż. Łukasz Gorazd
- mgr inż. Karolina Kolber
- mgr inż. Marcin Zastawnik

Ze względu na umieszczenie klinów także na podłodze w komorze chodzi się po siatce rozciągniętej pół metra nad klinami.

Ta komora także dysponuje specjalistycznym oprogramowaniem, jak również oprzyrządowaniem firmy National Instruments.

Laboratorium Akustyki Technicznej Katedry Mechaniki i Wibroakustyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie jest doskonale wyposażonym i kierowanym oraz obsługiwanym przez wysokiej klasy specjalistów ośrodkiem badawczym, dzięki czemu może zaoferować szeroki wachlarz usług związanych z techniką dźwiękową oraz ochroną wibroizolacyjną. Lista usług w zakresie miernictwa akustycznego jest naprawdę długa (o niektórych z nich wspominałem w trakcie opisywania pomieszczeń i sprzętu, jakim dysponuje LAT). Szczegóły na ten oraz na inne tematy dotyczące laboratorium można znaleźć na stronie internetowej – www.lat.agh.edu.pl. Wszyscy zainteresowani współpracą znajdują tam niezbędne informacje oraz kontakt do osób, które mogą udzielić wszelkich innych informacji dotyczących Laboratorium Akustyki Technicznej. 🎧

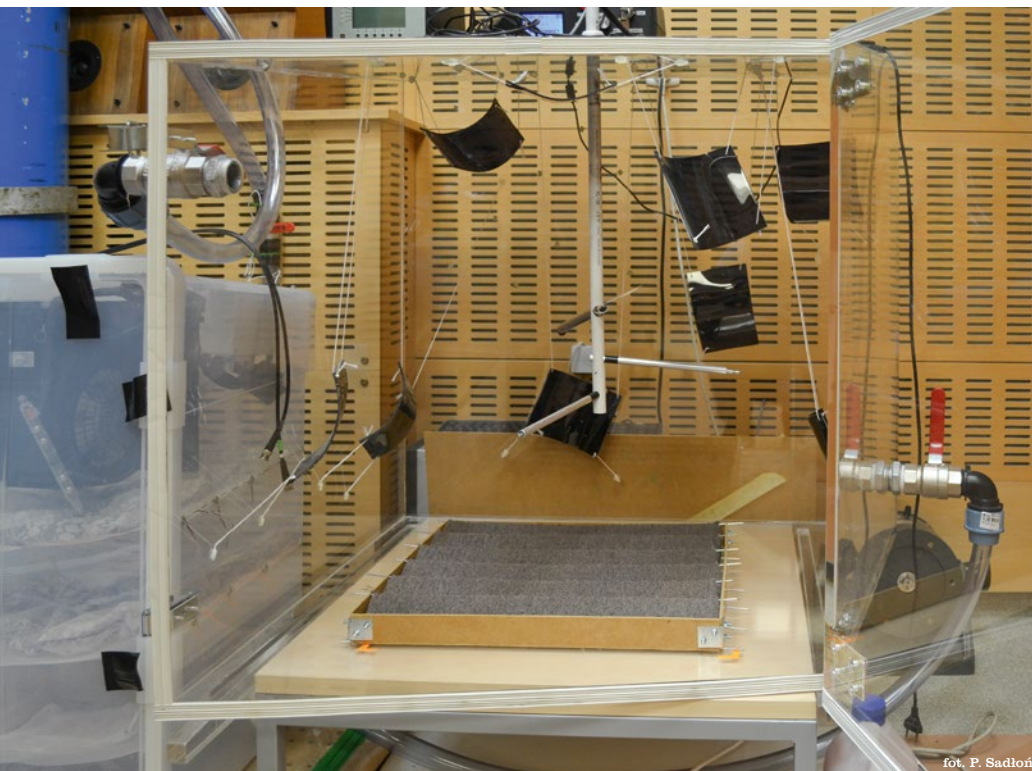


foto. P. Sadłoni

LAT dysponuje również małą komorą pogłosową, szczelną hermetycznie, wykorzystywaną do badania modeli w skali.