

ROCHATKA Tomasz<sup>1</sup>

## BADANIE TERMOWIZYJNE MOSTKÓW CIEPŁA W NADWOZIACH CHŁODNICZYCH

*W artykule przedstawiono przykładowe wyniki badań nadwozi chłodniczych kamerą termowizyjną. Wykonano badania termowizyjne kilkuset zabudów chłodniczych, rejestrując występujące w nich mostki cieplne [1,2]. Utworzono z uzyskanych zdjęć, katalog pozwalający proponować ulepszenia w zakresie konstrukcji, technologii wykonania (montażu), oraz ocenę stopnia uszkodzeń eksploatacyjnych i zakresy napraw uszkodzeń u wielu wytwórców zabudów chłodniczych.*

## THERMOVISION INVESTIGATION OF THERMAL BRIDGES IN REFRIGERATIONS BODIES

*In the article the exemplary results of insulated and refrigerated bodies tests by use of thermovision camera. Several hundred of thermovision tests of insulated and refrigerated bodies were carried out by recording of existing thermal bridges. The catalog of obtained photos was created. It enables proposing the improvements in the field of construction, assembling technology and maintenance reapers many body builders.*

### 1. WSTĘP

Podstawą klasyfikacji nadwozi izotermicznych i chłodniczych jest wartość globalnego współczynnika przenikania ciepła  $k$  [ $\frac{W}{m^2K}$ ] [3]. Na jego podstawie, własności izolacyjne nadwozia zostają zakwalifikowane do grupy nadwozi o izolacji normalnej - IN ( $k \leq 0,70$  [ $\frac{W}{m^2K}$ ]) lub izolacji wzmocnionej – IR ( $k \leq 0,40$  [ $\frac{W}{m^2K}$ ]).

O własnościach izolacyjnych nadwozia nowego decydują:

- ilość i jakość materiału izolacyjnego, stanowiącego rdzeń płyt warstwowych, z których jest zbudowane nadwozie,
- rozwiązania konstrukcyjne przyjęte na etapie projektu,
- jakość prac montażowych.

<sup>1</sup>Politechnika Poznańska, Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, tel. +48 61 66-52-655, fax +48 61 66-52-855, E-mail: tomasz.rochatka@put.poznan.pl

Własności izolacyjne nadwozi izotermicznych i chłodniczych w trakcie eksploatacji ulegają pogorszeniu. Szereg czynników powoduje pogorszenie tych własności. Do najważniejszych można zaliczyć:

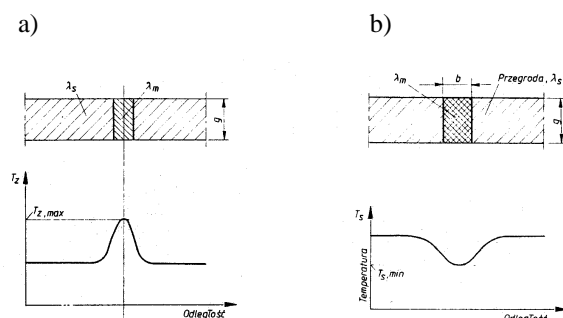
- uszkodzenia mechaniczne poszycia i materiału izolacyjnego oraz związane z nim,
- wnikanie wody do materiału izolacyjnego,
- starzenie się materiałów, z których jest wykonane nadwozie: poszycie (korozja blach aluminiowych i stalowych, pękanie laminatów) i materiałów izolacyjnych.

Kamera termowizyjna jest to urządzenie, które rejestruje natężenie promieniowania elektromagnetycznego, emitowanego przez każde ciało, którego temperatura jest wyższa niż 0K. Na podstawie tego promieniowania oraz licznych zależności mikroprocesor wylicza temperaturę powierzchni. Ponieważ współczesne kamery termowizyjne posiadają detektory matrycowe zbudowane z pojedynczych detektorów (najczęściej 320x240 pikseli), wykonując pojedyncze zdjęcie, użytkownik uzyskuje mapę temperatury powierzchni na obszarze, na który jest skierowany obiektyw kamery termowizyjnej. Na potrzeby termowizji wykorzystuje się 2 pasma promieniowania podczerwonego: krótkofalowe (SW) 2-5 $\mu$ m oraz długofalowe (LW) 8-14 $\mu$ m.

W wielu obiektach występują różnice temperatur np. komory grzewcze, chłodnicze, instalacje przemysłowe i inne. Temperatura powierzchni jest pochodną stanu technicznego obiektu: stanu izolacji cieplnej lub zimnochronnej, sprawności urządzenia, szczelności, jakości połączeń itp. Jest kamera termowizyjna jest idealnym narzędziem do badań inspekcyjnych oraz naukowych, jej finalnym wynikiem pracy jest mapa rozkładu temperatury na powierzchni. Na zdjęciu termowizyjnym można szukać różnic temperatury na odcinku (tzw. gradientów), które wskazują na źródło ciepła (uszkodzenia izolacji, zwarcia uzwojeń, złego kontaktu elektrycznego, nieszczelności instalacji). Kamera termowizyjna dostarcza informacji na podstawie, której człowiek, może ocenić stan urządzenia, zakwalifikować do dalszej eksploatacji, naprawy lub wycofania z eksploatacji.

## 2. MOSTKI CIEPLNE

Definiuje się, jako fragmenty przegród wykonane z materiałów o większym współczynniku przewodzenia ciepła niż współczynnik przewodzenia materiału, z którego jest zasadnicza część przegrody. Przykładami mostków cieplnych w przegrodach są elementy konstrukcji stalowej wewnątrz izolacji cieplnej, żebra w przegrodach warstwowych, złącza elementów prefabrykowanych tworzących przegrodę. Zwykle przy analizie wpływu mostków cieplnych analiza dotyczy ich wpływu na powierzchniowy rozkład temperatury oraz straty ciepła, opisane współczynnikiem przenikania ciepła lub strumieniem ciepła przenikającym przez mostek. Na rysunku 1 pokazano schemat mostka cieplnego oraz przebieg temperatury na powierzchni przegrody od strony chłodnej (a) i ciepłej (b).



Rys. 1 Schematy przegród budowlanych z mostkami cieplnymi i rozkład temperatur na powierzchni: a – po stronie chłodnej, b – po stronie ciepłej

Występujący w miejscu mostka cieplnego wzrost temperatury powierzchni po stronie chłodniejszej jest przyczyną zwiększonych strat ciepła (rys. 1a). Natomiast spadek temperatury powierzchni po stronie cieplejszej jest groźniejszy (rys. 1b). Obniżenie się temperatury punktu rosy, skutkuje wykraplaniem się wilgoci. Gdy występuje na powierzchni zewnętrznej, wykopłona wilgoć spływa na podłogę, powodując powstanie środowiska sprzyjającego rozwojowi drobnoustrojów. Gdy wilgoć wykrapla się w miejscu uszkodzenia poszycia izolacji, wnika w głąb materiału izolacyjnego powodując jego dalszą destrukcję. Jednak najbardziej niebezpieczne jest zjawisko wykrapłania się wilgoci w strefie łączników (śrub). Te elementy najczęściej poddane są działaniu sił, często znacznych nie zawsze wykonane są z materiału odpornego na korozję. Powstaje ognisko korozji, które potęguje dalsze uszkodzenie poszycia, wykraplanie się wilgoci i dalszą destrukcję materiału izolacyjnego.

Dlatego tak ważna jest bieżąca ocena stanu izolacji, szczególnie eksploatacyjnych mostków ciepła, aby jak najwcześniej wykryć miejsce, które powinno być jak najszybciej naprawione.

Ponieważ kamera termowizyjna rejestruje temperaturę na pewnym obszarze, to przez porównanie w prosty sposób można zlokalizować miejsca o innej temperaturze niż temperatura otoczenia. Kamera termowizyjna wydaje się być idealnym narzędziem do poszukiwania mostków ciepła. Dzięki zdjęciom termowizyjnym można określić położenie, rozmiar, a na podstawie gradientu temperatury ocenić stopień uszkodzenia izolacji cieplnej lub chłodniczej.

### 3. ZASTOSOWANIE TERMOWIZJI DO BADANIA MOSTKÓW CIEPŁA W NADWOZIACH IZOTERMICZNYCH I CHŁODNICZYCH

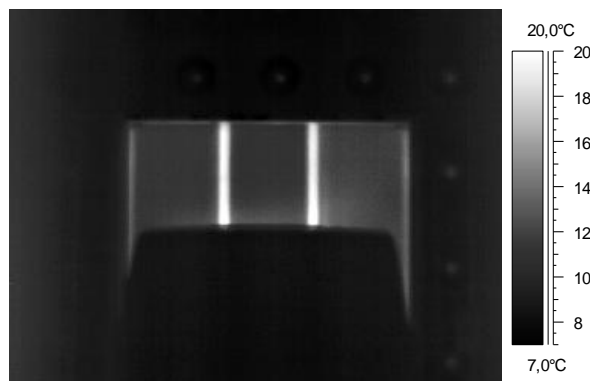
Jeżeli wzrost strat ciepła na mostku ciepła objawia się lokalnym wzrostem (spadkiem) temperatury powierzchni to technika termowizyjna wydaje się być idealnym narzędziem do detekcji mostków ciepła, ich badania i rejestracji w celach dokumentacyjnych [1,2]. W laboratorium badania nadwozi chłodniczych ATP na Politechnice Poznańskiej do wyznaczania globalnego współczynnika przenikania ciepła  $k$  jest wykorzystywana metoda

wewnętrznego źródła ciepła [3], w której mierzy się ilość doprowadzonego ciepła do nadwozia dla utrzymania różnicy temperatur między wnętrzem ( $t_w=32,5^{\circ}\text{C}$ ) a otoczeniem nadwozia ( $t_z=7,5^{\circ}\text{C}$ ). Po przeprowadzeniu testu ATP, nadwozia poddawane są dodatkowo badaniu za pomocą kamery termowizyjnej. W trakcie tego badania obserwacje kamerą termowizyjną są prowadzone na zewnątrz rozgrzanego nadwozia, czyli po stronie chłodnej. Większe straty ciepła spowodowane mostkami ciepła są widoczne, jako miejsca o wyższej temperaturze (w przyjętej skali odcieni szarości jest to kolor jaśniejszy) niż zasadnicza część przegrody.

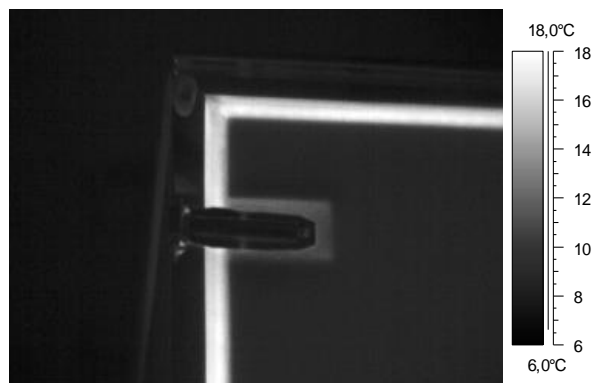
W nadwoziach chłodniczych spotykamy mostki ciepła:

- konstrukcyjne,
- technologiczne,
- eksploatacyjne.

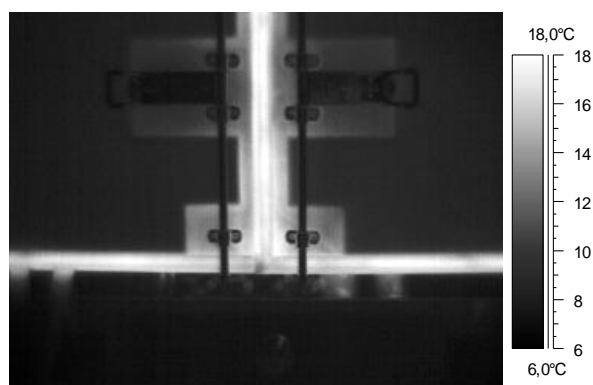
**Mostki ciepła konstrukcyjne.** Są związane cechą charakterystyczną materiałów izolacyjnych, niską wytrzymałością mechaniczną. Aby umożliwić przenoszenie znacznych obciążeń skupionych (od ciężaru agregatu, drzwi, zamknięć drzwi, łączeń ścian, ciężaru ładunku leżącego na podłodze lub wiszącego na suficie), należy w strukturę elementu nadwozia, na etapie produkcji, wprowadzić wzmocnienia. Wzmocnienia, najczęściej ze stali są dobrymi przewodnikami ciepła w stosunku do materiału izolacyjnego. Wprowadzone wzmocnienia przyczyniają się do lokalnego wzrostu strat ciepła, zarejestrowanego kamerą termowizyjną, jako wzrost temperatury. Ponieważ konstrukcyjne mostki ciepła są związane ze wzmocnieniami umieszczonymi w strukturze elementu nadwozia, charakteryzują się regularnym kształtem i przez to są łatwo rozpoznawalne. Na rysunkach 2-5 przedstawiono mostki ciepła związane z konstrukcją nadwozia.



Rys. 2. Zdjęcie termowizyjne przedniej ściany, w której zastosowano wzmocnienia do mocowania agregatu chłodniczego [1]



Rys. 3. Zdjęcie termowizyjne skrzydła drzwi ze wzmocnieniami do mocowania zawiasów[1]

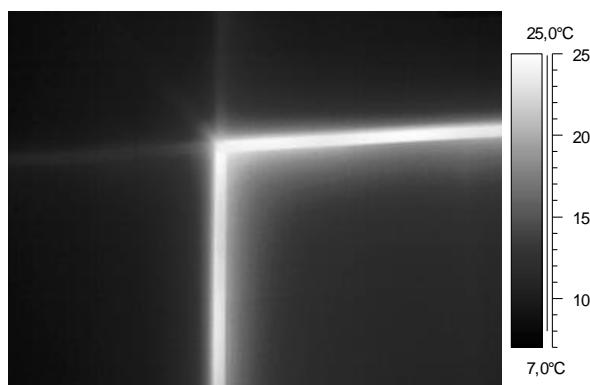


Rys. 4. Zdjęcie termowizyjne skrzydła drzwi ze wzmocnieniami do mocowania zamknięcia drzwi [1]



Rys. 5. Zdjęcie termowizyjne podłogi – widoczne wzmocnienia [1]

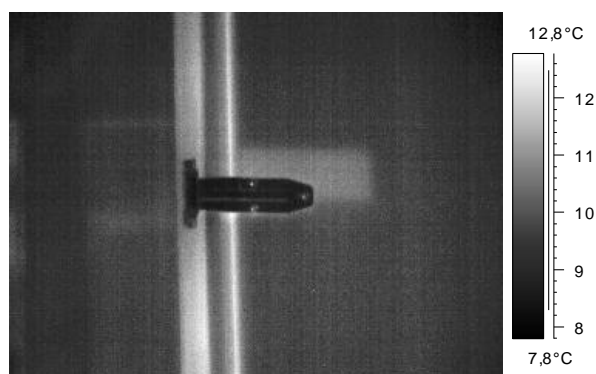
**Mostki ciepła technologiczne.** Są związane z błędami popełnianymi przez człowieka w trakcie montażu. Do podstawowych przyczyn należą niestaranność w wykonywaniu pomiarów miejsc montażu, niestaranność prac montażowych, które po zasłonięciu listwami maskującymi będą niewidoczne, lub wykorzystania nowoczesnych narzędzi przez niewykwalifikowany personel. Przykłady mostków ciepła związanymi z etapem montażu przedstawiają rysunki 6-9. Na rys. 6 przedstawiono błędne osadzenia ściany działowej w zabudowie – pozostawiono blachę poszycia w strefie złącza (rys. 6). Na kolejnych rysunkach przedstawiono: błąd pomiaru punktu mocowania agregatu (rys. 7) lub zawiasów (rys. 8). Rys. 9 przedstawia skutek błędu programowania maszyny do wtryskiwania mieszanki pianki poliuretanowej – niedolewku pianki w narożniku sufitu.



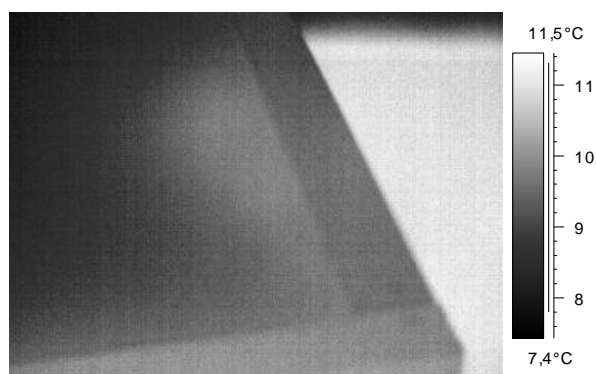
Rys. 6. Zdjęcie termowizyjne miejsca osadzenia ściany działowej. Duże straty ciepła świadczą o pozostawieniu blachy poszycia [1].



Rys. 7. Zdjęcie termowizyjne żle zamocowanego agregatu – obok wzmocnienia [1]



Rys. 8. Zdjęcie termowizyjne żle zamontowanego zawiasu – poniżej miejsca wzmocnienia pod zawias [1]



Rys. 9. Zdjęcie termowizyjne niedolanej pianki PU [1]

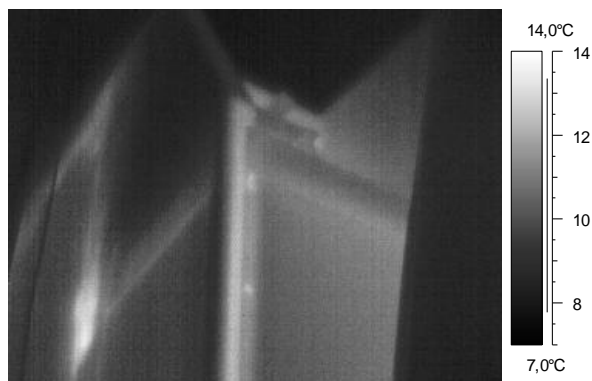
**Mostki ciepła eksploatacyjne.** To miejsca zwiększonego przepływu ciepła, spowodowanego uszkodzeniem elementów nadwozia. Główną przyczyną jest wnikanie wody przez uszkodzenia mechaniczne poszycia z perforacją, przez które wnika woda w głąb materiału izolacyjnego. Podobny efekt występuje przy uszkodzeniu listew cokołowych w trakcie manewrowania paletą z towarem w czasie załadunku lub wyładunku. Gdy występuje uszkodzenie bez przerwania poszycia (wgniecenie) uszkodzony fragment materiału izolacyjnego jest nadal chroniony przez poszycie przed wnikaniem wody i w czasie dalszej eksploatacji nie zmienia swoich rozmiarów.

Cechą charakterystyczną mostków ciepła eksploatacyjnych jest nieregularność kształtu, spowodowana powstawaniem zacieków wewnętrznych w strukturze materiału izolacyjnego. Jak destrukcyjnie wpływa woda na właściwości izolacyjne, widać po porównaniu rozmiarów uszkodzeń mechanicznych i rozmiarów destrukcji materiału izolacyjnego obserwowanego wzrostem temperatury za pomocą kamery termowizyjnej. Na rysunkach 10-13 przedstawiono zdjęcia termowizyjne uszkodzeń eksploatacyjnych – głównie wnikanie wody w głąb materiału izolacyjnego przez uszkodzenia poszycia.

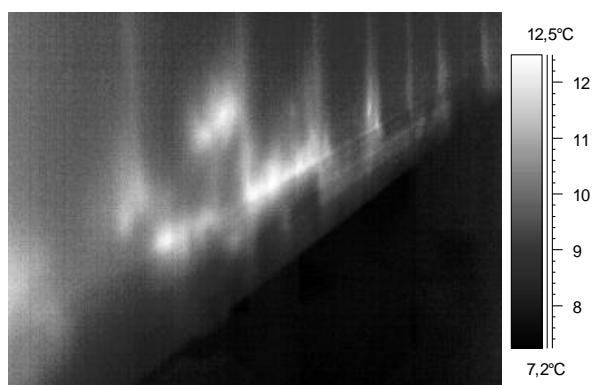


Rys. 10. Zdjęcie termowizyjne niezabezpieczonego uszkodzenia poszycia [1].

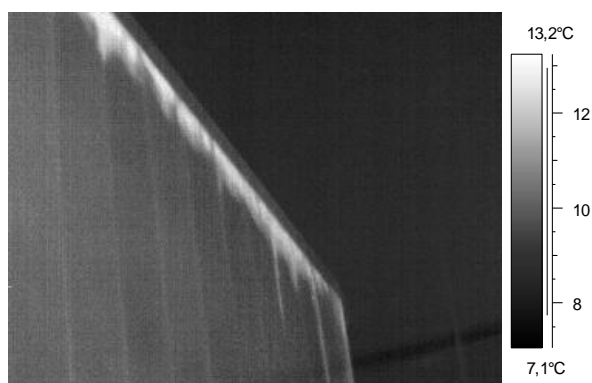




Rys. 11. Typowe uszkodzenie ściany w nadwoziu chłodniczym z półką pod agregat (wnikanie wody do materiału izolacyjnego) [1].



Rys. 12. Zdjęcie termowizyjne naczepy z popękany laminatem, po 5 latach eksploatacji [1]



Rys. 13. Zdjęcie termowizyjne górnej części ściany - widoczny wyraźny efekt obsypania się pianki – długie mostki cieplne bez zacieków [1]

#### 4. WNIOSKI

Termowizja pozwala dokładnie zlokalizować miejsca o gorszych właściwościach izolacyjnych. Na podstawie dokonanych oględzin termowizyjnych producenci zabudów izotermicznych i chłodniczych uzyskują dokładne informacje o lokalizacji miejsc, wymagających doskonalenia konstrukcji i technologii wytwarzania nadwozi w celu redukcji strat ciepła. W nadwoziach chłodniczych występują miejsca, które muszą przenieść większe obciążenia skupione. Aby zrealizować to zadanie konstruktorzy wprowadzają wzmocnienia, które skutkują wzrostem strat ciepła. Producenci zabudów chłodniczych coraz częściej rezygnują ze wzmocnień stalowych na rzecz tworzyw sztucznych lub drewna. Wadą ich stosowania jest większy udział połączeń klejonych w budowie nadwozi, które są zdecydowanie bardziej wrażliwe na „czynnik ludzki” – staranność: przygotowania kleju, przygotowania powierzchni, naniesienia kleju na elementy, reżim czasowy (czas mieszania, czas nanoszenia, czas wiązania) i temperaturowy (temperatury składników, temperatury powierzchni).

„Czynnik ludzki” – jest najczęściej odpowiedzialny za mostki ciepła technologiczne. Omówione wyżej zastępowanie technologii spawania wzmocnień technologią klejenia wpływa na wytrzymałość mechaniczną, ale również może być przyczyną wnikania wody i wzrostem strat ciepła.

Badania termowizyjne pozwalają ocenić stan techniczny nadwozi chłodniczych eksploatowanych. Badania wielokrotnie pozwoliły wskazać miejsca dużych strat ciepła, których oględziny gołym okiem nie wskazywały żadnych zmian. Dzięki termowizji można ocenić rozmiary uszkodzenia i zawilgocenia rdzenia izolacyjnego, co jest szczególnie przydatne przy planowaniu napraw nadwozi chłodniczych. Eksploatacyjne mostki ciepła – związane z uszkodzeniem głównie poszycia są też częściowo są związane z błędami człowieka. Przetarcie poszycia przy przejeździe pod drzewami, zahaczenie o bramę dokową rampy załadowniczej, uszkodzenie transportowaną paletą to tylko kilka sytuacji, gdzie uszkodzenia eksploatacyjne mogą generować mostki ciepła eksploatacyjne. Należy bardzo wyraźnie podkreślić, że każde najmniejsze uszkodzenie powinno być jak najszybciej naprawione, aby nie powodować powiększania się z czasem uszkodzenia pod wpływem wody.

Technika termowizyjna była również wykorzystywana w celu oceny prac naprawczych nadwozi po wypadkach.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Rochatka T., i inni, *Identyfikacja ukrytych wad (uszkodzeń) metodą termowizyjną* [w:] *Fizyczne podstawy diagnostyki układów termoizolacyjnych do transportu żywności*” Wyd. ITeE, Radom-Poznań, 2005, s. 64-92, ISBN 83-7204-440-6
- [2] Rochatka T., *Badania termowizyjne nadwozi izotermicznych i chłodniczych*, Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna, 10/2010, s.449-452, ISSN 1231-188X
- [3] *Umowa o międzynarodowych przewozach szybko psujących się artykułów żywnościowych i o specjalnych środkach transportu przeznaczonych do tych przewozów (ATP)*. Dziennik Ustaw PRL, Załącznik do nru 49, poz. 254 z dnia 26 października 1984r. (tekst angielski z uzupełnieniami z roku 2011) Genewa 2011 <http://live.unece.org/trans/main/wp11/atp.html>