

Jarosław Bednarz, Jan Targosz, Jacek Wiederek

## Analiza możliwości ograniczenia osiadania studzienek kanalizacyjnych montowanych w jezdniach

JEL: O18 DOI: 10.24136/atest.2019.027

Data zgłoszenia: 15.12.2018 Data akceptacji: 08.02.2019

W artykule omówiony został problem ograniczenia osiadania studzienek kanalizacyjnych montowanych w drogach, w szczególności dotyczący dróg osiedlowych.

**Słowa kluczowe:** studzienki kanalizacyjne, sztywność gruntu, wibroizolacja.

### Wstęp

Na stan dróg z punktu bezpieczeństwa ruchu pojazdów ogromny wpływ ma między innymi ciąg studzienek kanalizacyjnych, burzowych i odpływowych, które stanowią element konstrukcyjny większości dróg. Jest to problem szczególnie istotny na drogach gminnych klasy GP, G, Z, L lub D. W obszarze większości dróg miejskich zlokalizowane są włazy kanałowe, stanowiące wejście rewizyjne, takich jak, kanalizacja ściekowa, odwodnieniowa, itp. Użytkownicy pojazdów samochodowych mogą zaobserwować i odczuć, że zdecydowana większość tych włazów nie jest właściwie usytuowana wysoko ściowo w stosunku do poziomu nawierzchni jezdni. Ogólnie można stwierdzić że są one zapadnięte. Zapadanie się włazów jest problemem, ogólnie znanym, stanowiącym zły sen nie tylko służb miejskich odpowiedzialnych za ich stan, ale i nas wszystkich, użytkowników dróg, kierowców, pasażerów, właścicieli pojazdów, mieszkańców i jak dotychczas brak jest rozwiązań, które rozwiązywałoby to zagadnienie w sposób ostateczny. Istotnym jest również, że będzie się on ciągle nasilał o ile nie będzie radykalnie zwiększony budżet na ich naprawę, wymianę i konserwację. Praktycznie dla każdej klasy drogi – co związane jest z dopuszczalną prędkością wszelkiego typu transportu samochodowego, może grozić poważnymi skutkami, dla użytkowników pojazdów samochodowych bądź dla ludzi i budynków znajdujących się w pobliżu uszkodzonych studzienek kanalizacyjnych i w obu tych przypadkach sytuacja wymaga podjęcia działań naprawczych. Na rysunku 1 przedstawiono zdjęcia uszkodzonych studzienek.



Rys. 1. Zdjęcia różnego typu uszkodzonych studzienek

Powszechnie stosowane sposoby wykonania korekty wysokości włazów kanałowych, polegają głównie na rozkuciu konstrukcji nawierzchni drogi w obszarze studni, demontażu włazu i ponownym jego ustawieniu na podmurówce lub podlaniu asfaltobetonem tak aby zapewnić właściwy poziom włazu w stosunku do jezdni a następnie położeniu nowej nawierzchni w miejsce starej, najczęściej już bardzo zniszczonej w otoczeniu włazu.

Przyczyny zapadania się włazów kanałowych są bardzo złożone i w dużym stopniu nieuniknione, ale ich skutkom w części można zaradzić, stosując we właściwy sposób sprawdzone już, ale co raz kosztowniejsze nowe rozwiązania konstrukcyjno-materiałowo-technologiczne ale również należy przeprowadzić analizę osiadania gruntu lub warstw gruntu w którym posadowiona jest studnia.

### 1. Osiadanie studzienek kanalizacyjnych.

#### 1.1. Przyczyny osiadania

Bezpośrednią przyczyną osiadania gruntu pod studzienkami kanalizacyjnymi jest naruszenie struktury rodzimego gruntu w trakcie budowy drogi, zamontowanie w tej strukturze studzienki, obciążanej następnie w sposób dynamiczny przez pojazdy transportu samochodowego (rys. 2).



Rys. 2. Zdjęcie szeregu uszkodzonych studzienek

Stosowane urządzenia, nawet wysokospecjalizowane, oparte na idei urządzeń i technologii górniczej, w których elementem wykonawczym jest głowica frezująca (rys. 3 i 4) rozpulchniają destabilizują grunt na całej głębokości wiercenia otworu pod konstrukcję włazu kanałowego.



Rys. 3. Głowice do wycinania otworów w gruncie (jezdni)



Rys. 4. Głowica do wycinania otworów w gruncie (jezdni) zamontowane na samochodzie.

Jak widać na rysunku 3, jest to zestaw głowic, które muszą być wymieniane w zależności od średnicy włazu lub studzienki kanalizacyjnej i nie mają zastosowania do włazów o innych przekrojach niż okrągłe.

1.2. Analiza teoretyczna przyczyn osiadania.

Tradycyjne obliczanie osiadania gruntu, w tym dróg samochodowych, zakłada jednoosiowy stan naprężeń, czyli uwzględnienie w obliczeniach jedynie składowej pionowej naprężeń w gruncie  $\sigma_z$ . Całkowite osiadanie  $s$ , czyli przemieszczenie powierzchni obciążonej warstwy gruntu składa się z:

1. osiadania pierwotnego  $s_i$ ,
2. osiadania konsolidacyjnego  $s_c$ ,
3. osiadania wtórnego  $s_s$ .

Natomiast norma dotycząca fundamentów [8] zaleca podział naprężeń w gruncie jedynie na pierwotne i wtórne tak, aby dla części obciążenia wtórnego przyjąć większy moduł ścisłości  $i$  w konsekwencji otrzymać mniejsze osiadanie. We wstępnych obliczeniach, a często nawet w projektowaniu wystarczające jest uwzględnienie naprężeń w gruncie bez wydzielenia części wtórne [4]. Wówczas osiadanie  $s$  wyraża się następującą zależnością:

$$s = \int_0^{z_0} \frac{\sigma_z(z)}{E_0} dz \tag{1}$$

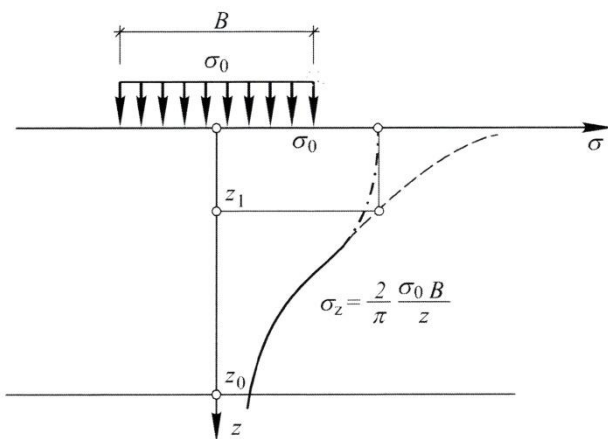
gdzie:

$E_0$  – moduł ścisłości przy jednoosiowym stanie naprężenia, (moduł Younga) [Pa]

$z_0$  – głębokości rozpatrywanej warstwy gruntu [m],

$\sigma_z(z)$  - naprężenia w funkcji grubości warstwy gruntu

Rozkład naprężeń w konstrukcji drogi w których zainstalowane są studzienki kanalizacyjne zilustrowano na rysunku 5.



Rys.5. Rozkład naprężeń od obciążenia statycznego w funkcji głębokości podbudowy jezdni.

W oparciu o przedstawiony rozkład naprężeń wyznaczono całki równania 1 dla dwóch możliwych przypadków osiadania. Założono, że rozkład naprężeń jest w osi jezdni a krzywa zanikania naprężeń, na głębokości podbudowy jezdni, opisana dla przypadków:

1. odcinek dla którego  $s_z \approx s_0 = \text{const}$  dla  $0 < z \leq z_1$ ,

2. hiperbola, dla której hiperbola  $\sigma_z = \frac{2}{\pi} \frac{\sigma_0 * B}{z}$ , dla  $z_1 < z \leq z_0$ .

Zakładając, zgodnie z [4] że spełnione są następujące warunki dla  $z_0 > z_1$ :

$$z_1 = \frac{2}{\pi} B$$

przyjmując że:  $0,3\gamma z_0 = \frac{2}{\pi} \frac{\sigma_0 * B}{z_0}$

$\gamma$  – ciężar objętościowy gruntu [kN/m<sup>3</sup>]

wyznaczamy z równania (1) wzór na wartość „s”:

$$s = \frac{\sigma_0 z_1}{E_0} + \frac{2}{\pi} \frac{\sigma_0 * B}{E_0} \int_{z_1}^{z_0} \frac{dz}{z} \tag{2}$$

Po obliczeniu całki otrzymujemy:

$$s = \frac{\sigma_0 z_1}{E_0} \left[ 1 + \ln \frac{z_0}{z_1} \right] \tag{3}$$

W przypadku, gdy  $z_0 < z_1$  wartość  $z_0$  ma postać:

$$z_0 = \frac{\sigma_0}{0,3\gamma} \tag{4}$$

Wzór na osiadanie przyjmuje wtedy postać:

$$s = 3,3 \frac{\sigma_0^2}{\gamma E_0} \tag{5}$$

Otrzymane zależności (3) i (5) są wartościami, które nie uwzględnia obciążeń dynamicznych. Stąd też wartość osiadania, mając na uwadze częstość przejazdów pojazdów samochodowych po włazach kanalizacyjnych zamontowanych w jezdniach jak też samych jezdniach według równana (3), winna wyrażać się w przybliżeniu zależnością:

$$s^* = s + s_{dyn} = \frac{\sigma_0 z_1}{E_0} \left[ 1 + \ln \frac{z_0}{z_1} \right] + \frac{\sigma_{dyn} z_1}{E_0} \tag{6}$$

gdzie:

$s^*$  - całkowite osiadanie,

$s_{dyn}$  - osiadanie od obciążeń dynamicznych,

$\sigma_{dyn}$  - naprężenie przy oddziaływaniu impulsowym,

$$\sigma_{dyn} = \frac{P_{imp}}{F(z)} = \sigma_{dynz_0} \text{ lub } \sigma_{dynz_1}$$

$P_{imp}$  - siła od obciążenia impulsowego,  
 $F(z)$  – powierzchnia aktywna oddziaływania obciążeniaw funkcji głębokości.

Wprowadzając pojęcie współczynnika dynamicznego obciążenia gruntu w postaci:

$$K = \frac{s_{dyn}}{s} = \frac{\sigma_{dyn} [1 + \ln \frac{z_0}{z_1}]}{\sigma_0} \quad (7)$$

Zależność powyższa jest prawidłowa dla przypadków:

3. odcinek dla którego  $s_z \approx s_0 = \text{const}$  dla  $0 < z \leq z_1$ ,
4. hiperbola, dla której hiperbola  $\sigma_z = \frac{2}{\pi} \frac{\sigma_0 * B}{z}$ , dla  $z_1 < z \leq z_0$ .

Dla przypadku, gdy  $z_0 < z_1$ , wzór na osiadanie przyjmuje postać:

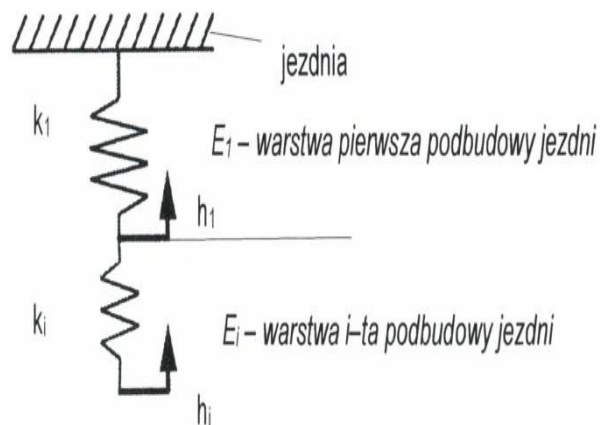
$$s^* = 3,3 \frac{\sigma_0^2}{\gamma E_0} + \frac{\sigma_{dyn} z_0}{E_0} \quad (8)$$

W tym przypadku współczynnik dynamiczny wyraża się zależnością:

$$K = \frac{s_{dyn}}{s} = \frac{\sigma_{dyn} z_0 \gamma}{3,3 \sigma_0^2} \quad (9)$$

Analizując zależności (7) i (9) można stwierdzić że osiadanie będzie znacznie przyspieszone, w przypadku gdy jezdnie lub grunt będą poddane obciążeniu dynamicznemu. Takim przypadkiem są studzienki kanalizacyjne montowane w jezdni.

Powyższe rozpatrywania mają sens przy założeniu, że warstwa podbudowy jest jednorodna. W przypadku gdy warstwa zmienia się na głębokości, a tak jest w przypadku podbudowy jezdni gdzie moduł edometryczny (moduł Younga w warunkach jednoosiowego ściskania i swobodnej bocznej rozszerzalności gruntu) się zmienia w zależności od składu gruntu kolejnej warstwy. W takim przypadku proponuje się zamodelować grunt jako połączenie sprężyste szeregowe jak na rysunku 6.



Rys. 5. Schemat modelu gruntu dla modelu sprężystego połączenia szeregowego

Zastępczy współczynnik sztywności (sprężystości) przyjmuje następującą postać:

$$\frac{1}{k_z} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{k_i} \quad (10)$$

Naprężenie dynamiczne dla pręta ściskanego, który może być przybliżeniem warstwy gruntu o głębokości  $s$  wyraża się zależnością:

$$\sigma_{i \text{ dyn}} = \frac{k_i}{F_i} s_{i \text{ dyn}} \quad (11)$$

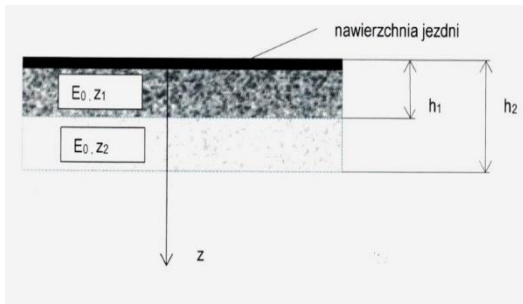
Wiedząc, że sztywność wzdłużna pręta, tym samym podłoża jezdni, wyraża się zależnością (11),

$$k_i = \frac{E_i F_i}{s_i} \quad (12)$$

możemy wyznaczyć  $k_z$  z zależności (11) a następnie z wzoru (10) całkowitą wartość całkowitego naprężenia dynamicznego  $\sigma_d$ . Przykładowo dla modelu dwuwarstwowego jak na rysunku (6), zakładając, że obie warstwy mają ten sam moduł Younga  $E_0$  oraz to samo pole przekroju  $F_0$  możemy po wykorzystaniu równań (9) i (11) zapisać zależność na sztywność podbudowy jezdni:

$$k_z = \frac{E_0 F_0}{z} \quad (13)$$





Rys.6. Model dwuwarstwowy gruntu

Podstawiając zależność (13) do wzoru (11) otrzymujemy :

$$\sigma_d = \frac{E_0(z_1 + z_2)}{\square_2} \quad (14)$$

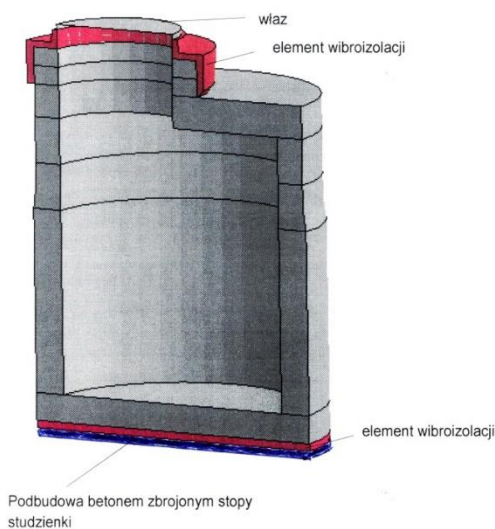
gdzie:

$h_2$  – grubość całkowita podbudowy jezdni,  
 $z_1 + z_2$  – amplituda przemieszczeń z pomiarów.

Podstawiając zależność (13) do (5) otrzymujemy zależność na całkowite osiadanie w postaci:

$$s^* = s + s_{dyn} = \frac{\sigma_0 z_1}{E_0} \left[ 1 + \ln \frac{z_0}{z_1} \right] + \frac{(z_1 + z_2) z_1}{h_2} \quad (14)$$

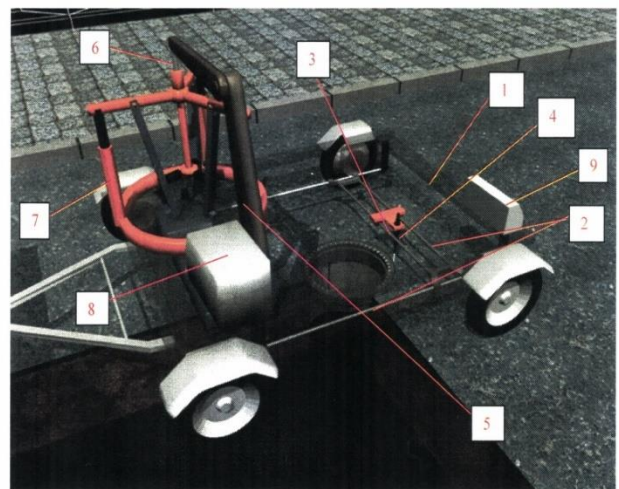
Analizując powyższe zależności można stwierdzić iż wyższy moduł gruntu tym mniejsze osiadanie. Ponieważ montaż studzienek kanalizacyjnych w jezdni polega na wierceniu głębokich otworów to należy zapewnić posadowienie studzienek na możliwie jak najbardziej utwardzonym spodzie, najlepiej na podłożu betonowym wzmocnionym zbrojeniem. Taki model studzienki, wraz elementami wibroizolacji przedstawiono na rysunku. 7.



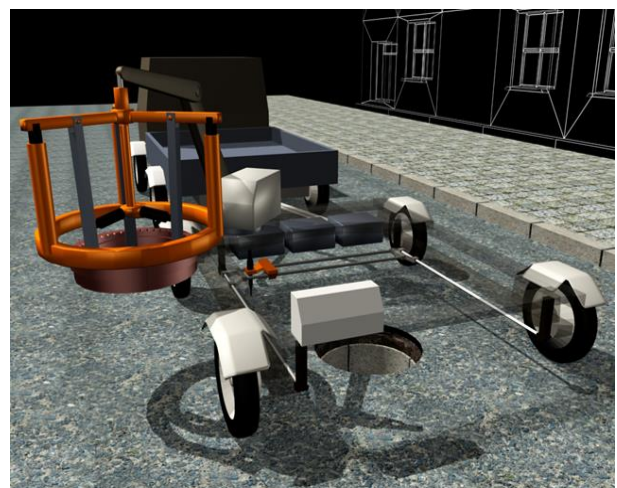
Rys. 7. Model studzienki kanalizacyjnej wraz z elementami wibroizolacji, posadowionej zbrojonym betonie.

Symulacja tego modelu, będąca częścią pracy doktorskiej, została już częściowo przeprowadzona i dała obiecujące wyniki. Niemniej jednak technologia wykonywania otworów jest szalenie inżyneryjna dla samego podłoża, stąd też powstała koncepcja prototypu urządzenia do zabudowywania oraz remontów włazów i studzienek kanalizacyjnych, również wersji tradycyjnych, którego podstawowym zadaniem będzie ograniczenie wpływu na uszkodzenie gruntu, poprawienie jakości jak również ograniczenie czasu montażu tych elementów.

Koncepcja urządzenia do zabudowywania oraz remontów włazów i studzienek kanalizacyjnych przedstawiona została na rysunku 8 i 9. Na przyczepie 1 zamocowano prowadnice 2 po których przemieszcza się głowica 3 z zamocowaną przecinarką strumieniową (laser wodny) 4. Ponadto zainstalowano dźwieg 5 z siłownikiem hydraulicznym, który obsługiwać może wymiennie wyciągarkę kanałów 7 (rys. 5) lub inne urządzenia związane z technologią wymiany kanałów.



Rys.8. Koncepcja modelu urządzenia do zabudowy i remontu studzienek kanalizacyjnych.



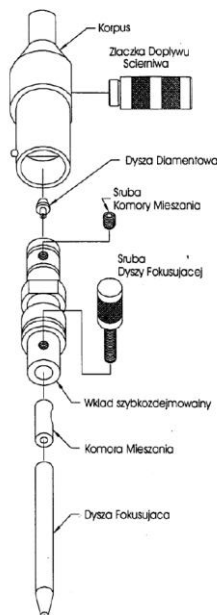
Rys.9. Koncepcja modelu urządzenia do zabudowy i remontu studzienek kanalizacyjnych w innym ujęciu.

Urządzenie wyposażone jest w układy hydrauliczne 8 stanowiące napędy elementów robota oraz panel sterowania 9 mogący być obsługiwany z dowolnego miejsca urządzenia. Urządzenie będące przedmiotem projektu celowego oparte jest na zupełnie innej idei w szeregu elementach. Jest to:

1. zastosowanie jako organu urabiającego - lasera wodnego( cięcie wodą) do realizacji procesu wymiany studzienki kanalizacyjnej, co umożliwi wycinanie otworów w jezdni o dowolnych kształtach. Technologia ta jest ponadto korzystna z punktu widzenia ochrony środowiska ( mniejszy hałas, mniejsza emisja pyłów),
2. automatyczne poziomowanie remontowanego wjazdu,
3. automatyzacja procesu utylizacji odpadów asfaltobetonowych, recykling,
4. centralny sterownik urządzenia, który powoduje jego uniwersalność, (urządzenie będzie charakteryzowało się cechami robota).  
Idea pomysłu, polega na zbudowaniu robota, którego końcówka ramienia będzie uzbrojona w tzw. „laser wodny”, którego schemat przedstawiono na rysunku 10 . Będzie miał on ponadto możliwość drażenia kanałów o dowolnej głębokości bez ingerencji w strukturę podbudowy jezdni, oczyszczania z urobionego materiału, oczyszczania z urobionego materiału, gromadzenia go do recyklingu oraz uzupełniania ubytków wokół kanałów – „czysta kliniczna praca”. Istotnym jest również czas wykonywania tych prac co związane jest bezpośrednio z czasem ograniczenia ruchu pojazdów mechanicznych.

## Podsumowanie

W pracy omówiono przyczyny osiadania studzienek kanalizacyjnych w jezdni, przedstawiono wpływ obciążeń dynamicznych na osiadanie , podając pewne zależności teoretyczne. Przedstawiono model studzienki z elementami wibroizolacji posadowionej na zbrojonej podbudowie, której wstępne symulacje przeprowadzono a wyniki ich są wielce obiecujące. Przedstawiono też koncepcję urządzenia do drażenia otworów pod studzienki kanalizacyjne jak również remont już istniejących.



Rys.10. Laser wodny

## Bibliografia:

1. Lipiński J., Fundamenty pod maszyny, Arkady, Warszawa 1985.
2. Gorbunow – PossadowM.I., Desing og structures on elastic Foundation, Strojizdat, Moscow 1984.
3. Targosz J.,Bednarz J.,Lisowski., Analysis of the possibility of limiting the impact of ground vibrations caused during demolition of a towers on environment., Archives of Acoustics ; 2016 vol. 41 no. 4, s. 649–657.
4. Meyer Z., Propozycja określania współczynnika podatności podłoża przy projektowaniu płyt fundamentowych., XXVIII Warsztaty Pracy Projektowania Konstrukcji., Tom I, str. 342-392, 5-8 marzec 2013 Wisła.
5. Bednarz J., Metodologia badania drgań gruntu powodowanych ruchem pojazdów szynowych. TTS - Technika Transportu Szynowego ; ISSN 1232-3829, R. 22 nr 12 dod.: CD, s. 105–110, 2015.
6. Targosz J., Układy wibroizolacji w transporcie szynowym i samochodowym. Rozprawy Monografie Uczelniane wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2007.
7. Norma: „Fundamenty i konstrukcje wsporcze pod maszyn, obliczanie i projektowanie,PN-80/B-03040, 1980.
8. Norma: „Fundamenty bezpośrednie, PN-B-03020, 1981.

## Analysis of the possibility of limiting the settling of sewage sumps installed in roadways

The article discusses the problem of limiting the settlement of sewage sumps installed in roadways, in particular for municipal roads.

**Keywords:** sewage sumps, soil stiffness, vibroisolation

## Autorzy:

dr. inż. **Jarosław Bednarz** - AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Katedra Robotyki i Mechatroniki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail:bednarz@agh.edu.pl

dr hab. inż. **Jan Targosz** prof. ndzw. AGH – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Katedra Robotyki i Mechatroniki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: jantargosz@interia.pl

mgr inż. **Jacek Wiederek** – doktorant Wydziału Transportu i Elektrotechniki Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu

u