

BŁĘDY OKREŚLANIA MASY KOŃCOWEJ W ZAKŁADACH SUSZARNICZYCH – WYKORZYSTUJĄC METODY LABORATORYJNE

Zbigniew Zdrojewski, Stanisław Peroń, Mariusz Surma

Institut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. W oparciu o wyprowadzone zależności określania błędów obliczania masy końcowej w zakładach suszarniczych, przy określaniu wilgotności laboratoryjnie bez podsuszania wstępnego i z podsuszaniem wstępnym, przeprowadzono symulacje wpływu poszczególnych parametrów na wartości tych błędów. Stwierdzono, że stosowanie podsuszania wstępnego, zmniejsza błędy obliczania masy końcowej. Dla zakresu wilgotności początkowej 20-80%, przy najdokładniejszych wagach wjazdowej i laboratoryjnej, błędy obliczania masy końcowej są najmniejsze, do +/-0,04%, a przy najmniej dokładnych +/-9%. Dla wag średniej klasy będzie to +/- 0,5%.

Słowa kluczowe: błędy maksymalne, dokładność wag, waga przemysłowa, waga laboratoryjna

Wykaz oznaczeń

- M_{pocz} , M_{kon} – masa materiału początkowa przed i końcowa po wysuszeniu przemysłowym [kg],
 w_p , w_k – wilgotności materiału przed i po suszeniu [%],
 Mo_{2p} , Mk_{2p} – masa próbki analitycznej przed i po podsuszeniu wstępnym [g],
 Mo_p , Ms_p – masa próbki analitycznej przed i po suszeniu laboratoryjnym do suchej masy, przed wysuszeniem przemysłowym [g],
 Mo_k , Ms_k – masa próbki analitycznej przed i po suszeniu laboratoryjnym do suchej masy, po wysuszeniu przemysłowym [g],
 $BBM-M_{kon}$, $BWM-M_{kon}$ – błąd maksymalny bezwzględny [kg] i względny [%] obliczania masy końcowej,
 ddM_{pocz} – dokładność wagi wjazdowej [kg],
 ddM – dokładność wagi laboratoryjnej [g].

Wstęp i cel pracy

Błędy dotyczące suszarnictwa rzadko są w literaturze przedmiotem analiz. Analizowano głównie błędy w pomiarach zawartości wody [Jaros 1994] oraz błędy w pomiarach kinetyki suszenia [Pabis 1994]. Przedstawiono w nich między innymi zależność na dobór wielkości eksperymentalnie suszonej próbki, aby uzyskać żądany błąd względny.

W literaturze brak jest danych dotyczących analizy błędów złożonych w przypadku suszarnictwa rolniczego. Takim przykładem może być obliczanie masy końcowej, którą należy załadować na przyczepę po wykonaniu przez zakład usługi suszenia na podstawie pomiarów wilgotności początkowej ziarna i końcowej po wysuszeniu oraz pomiarów przywiezionej masy ziarna. Nie znaleziono w literaturze prac zajmujących się błędami takich obliczeń. Opracowanie poniższe stanowi kontynuację analiz przeprowadzonych przez Zdrojewskiego [2006] w części dotyczącej wykorzystywania do takich celów wilgotnościomierzy ziarna. Stąd celem pracy było:

- opracowanie zależności na określenie błędów bezwzględnego i względnego obliczania masy końcowej na podstawie ilości i wilgotności ziarna przed i po wysuszeniu oraz podobnie dla umożliwienia porównywania,
- wykonanie symulacji określających wpływ poszczególnych składowych na wartość tych błędów.

Analiza metod pomiarowych i błędów pomiaru

W celu określenia końcowej masy materiału M_{kon} po wysuszeniu w suszarni, należy określić jego masę początkową M_{pocz} , wilgotność początkową w_p oraz wilgotność końcową w_k po wysuszeniu materiału. Przedstawia to równanie (1) i wyznacza się to metodą laboratoryjną przy pomocy wagi analitycznej oraz komory cieplnej. Istotne znaczenie będą mieć zatem dokładności wag - wjazdowej ddM_{pocz} i laboratoryjnej ddM . Ze względu jednak na potrzebę rozdrabniania materiału, w zależności od wilgotności początkowej materiału, stosowane jest określanie wilgotności jednoetapowo bez wstępnego podsuszania i dwuetapowo ze wstępnym podsuszaniem materiału {oznaczane we wzorach odpowiednio indeksem 1st lub 2st}, jak opisuje to np. PN-6590:1994 dotycząca metod badania nasion. Wilgotność określaną metodą dwuetapową przedstawia wyprowadzone równanie (2):

$$w_p = \frac{(Mo_{2p} \cdot Mo_p - Mk_{2p} \cdot Ms_p)}{Mo_{2p} \cdot Mo_p} \cdot 100 \quad (1)$$

$$M_{kon} = M_{pocz} - M_{pocz} \cdot \frac{w_p - w_k}{(100 - w_k)} \quad (2)$$

Zakłada się tutaj początkową masę próbki Mo_{2p} przed podsuszaniem do wilgotności ok. 20% oraz masę początkową Mo_p przed suszeniem na suchą masę - odpowiednio na 50 g i 5 g. W równaniu tym są też masy zmierzone po wstępnym podsuszeniu Mk_{2p} i po suszeniu na suchą masę Ms_p .

Ostatecznie więc masę końcową materiału po wysuszeniu w suszarni określają - równanie (3) przy suszeniu jednoetapowym i równanie (4) przy suszeniu dwuetapowym.

$$M_{kon_1st} = M_{pocz} - M_{pocz} \cdot \frac{\left[\frac{(Mo_p - Ms_p) \cdot 100}{Mo_p} - \frac{(Mo_k - Ms_k) \cdot 100}{Mo_k} \right]}{\left[100 - \frac{(Mo_k - Ms_k) \cdot 100}{Mo_k} \right]} \quad (3)$$

$$M_{kon_2st} = M_{pocz} - M_{pocz} \cdot \frac{\left[\frac{(Mo_{2p} \cdot Mo_p - Mk_{2p} \cdot Ms_p)}{Mo_{2p} \cdot Mo_p} \cdot 100 - \frac{(Mo_k - Ms_k) \cdot 100}{Mo_k} \right]}{\left[100 - \frac{(Mo_k - Ms_k) \cdot 100}{Mo_k} \right]} \quad (4)$$

Do analizy błędów pomiarowych, spośród maksymalnych i kwadratowych, podobnie jak w części poprzedniej, wybrano błąd maksymalny zawierający wartości bezwzględne. Błędy te określa się metodą różniczki zupełnej, wychodząc z ogólnej zależności (5):

$$BBM = \pm \left\{ \left| \frac{\partial y}{\partial x_1} \cdot dx_1 \right| + \left| \frac{\partial y}{\partial x_2} \cdot dx_2 \right| + \dots + \left| \frac{\partial y}{\partial x_n} \cdot dx_n \right| \right\} \quad (5)$$

W wyniku obliczeń, uzyskano zależność (6) służącą do określenia błędu bezwzględnego maksymalnego obliczania masy końcowej $BBM_{M_{kon}}$ dla jednoetapowego określania wilgotności początkowej materiału oraz zależność (7) dla dwuetapowego określania tej wilgotności.

$$BBM_{M_{kon_1st}} = \left[\left[Mo_k \cdot \frac{Ms_p}{(Mo_p \cdot Ms_k)} \cdot ddM_{pocz} \right] + \left[M_{pocz} \cdot \frac{Ms_p}{(Mo_p \cdot Ms_k)} \cdot ddM \right] + \left[M_{pocz} \cdot \frac{Mo_k}{(Mo_p \cdot Ms_k)} \cdot ddM \right] \dots \right. \\ \left. + \left[M_{pocz} \cdot Mo_k \cdot \frac{Ms_p}{[(Mo_p)^2 \cdot Ms_k]} \cdot ddM \right] + \left[M_{pocz} \cdot Mo_k \cdot \frac{Ms_p}{[Mo_p \cdot (Ms_k)^2]} \cdot ddM \right] \right] \quad (6)$$

$$BBM_{M_{kon_2st}} = \left[\left[\left[Mo_k \cdot Mk_{2p} \cdot \frac{Ms_p}{(Mo_{2p} \cdot Mo_p \cdot Ms_k)} \cdot ddM_{pocz} \right] + \left[M_{pocz} \cdot Mk_{2p} \cdot \frac{Ms_p}{(Mo_{2p} \cdot Mo_p \cdot Ms_k)} \cdot ddM \right] \dots \right. \right. \\ \left. + \left[M_{pocz} \cdot Mo_k \cdot \frac{Mk_{2p}}{(Mo_{2p} \cdot Mo_p \cdot Ms_k)} \cdot ddM \right] + \left[M_{pocz} \cdot Mo_k \cdot Mk_{2p} \cdot \frac{Ms_p}{[Mo_{2p} \cdot (Mo_p)^2 \cdot Ms_k]} \cdot ddM \right] \dots \right. \\ \left. + \left[M_{pocz} \cdot Mo_k \cdot Mk_{2p} \cdot \frac{Ms_p}{[(Mo_{2p})^2 \cdot Mo_p \cdot Ms_k]} \cdot ddM \right] + \left[M_{pocz} \cdot Mo_k \cdot Mk_{2p} \cdot \frac{Ms_p}{[Mo_{2p} \cdot Mo_p \cdot (Ms_k)^2]} \cdot ddM \right] \dots \right. \\ \left. + \left[M_{pocz} \cdot Mo_k \cdot \frac{Ms_p}{(Mo_{2p} \cdot Mo_p \cdot Ms_k)} \cdot ddM \right] \right] \quad (7)$$

Następnie wykorzystując zależności (3) i (6) lub (4) i (7) można obliczyć błąd względny określania masy końcowej z zależności (8).

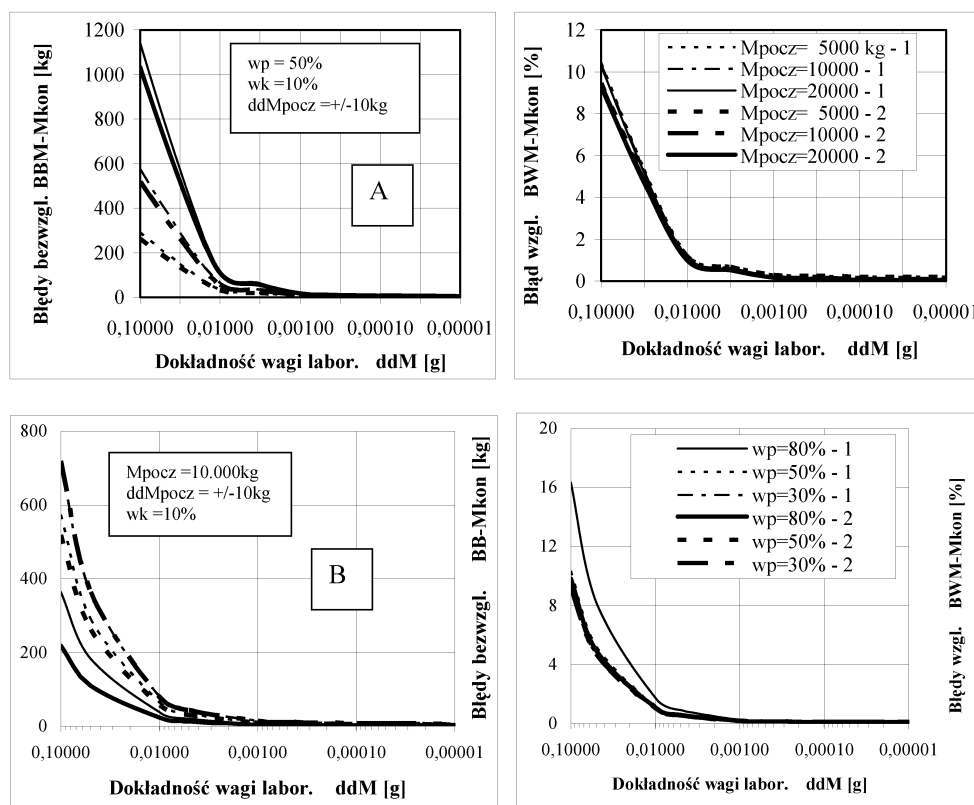
$$BWM - M_{kon} = \frac{BBM - M_{kon}}{M_{kon}} \cdot 100\% \quad (8)$$

Symulacja wpływu różnych parametrów na wartości błędów obliczania masy końcowej

Symulacje te przeprowadzono posługując się równaniami (6), (7) i (8). Zakładano początkową wilgotność materiału $w_p = 20-80\%$ (z wartością średnią 50%), początkową masę materiału w zakresie $M_{pocz} = 5-20$ ton (z wartością średnią 10 ton) oraz dokładność wag wjazdowych $ddM_{pocz} =$ od +/- 2 do +/- 20 kg (z wartością średnią 10 kg). Należy zaznaczyć, że w obrocie handlowym przyjmuje się również, że dokładność wagi przemysłowej

wynosi 1/3000 mierzonej wartości – łącznie z masą samochodu. Końcową wilgotność po wysuszeniu w suszarni przyjęto stałą, równą 10%, ponieważ jak wykazano w poprzedniej części dotyczącej używania wilgotnościomierzy do pomiarów wilgotności [Zdrojewski 2006], wpływ różnej wilgotności końcowej na wartość błędu maksymalnego obliczania masy końcowej $BWM-Mkon$ może być pomijany. Rozwój technologiczny powoduje, że na rynku spotkać można wagi laboratoryjne o coraz większych dokładnościach (ale znacznie droższych), wynoszących nawet $\pm 0,00001g$. Z drugiej strony w zakładach przemysłowych panuje przekonanie, że klasa dokładności przyrządów pomiarowych (w tym wag) nie musi być najwyższa, pod warunkiem dokonywania wszystkich pomiarów na jednym przyrządzie (np. na wadze laboratoryjnej), stąd do symulacji przyjęto zakres $ddM = \pm 0,1$ do $\pm 0,00001g$ oraz najczęściej spotykaną dokładność, równą $0,001g$.

Na rysunku 1(A) przedstawiono wpływ dokładności wag laboratoryjnych, na określenie błędu masy końcowej.



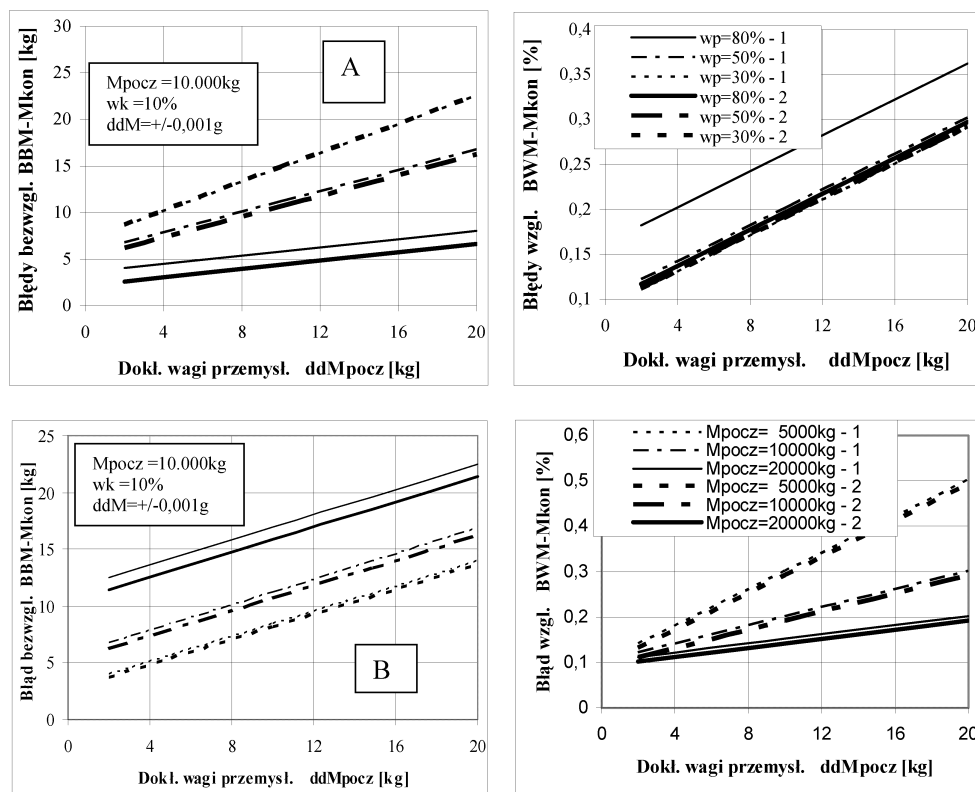
Rys. 1. Zależność błędów określania masy końcowej od dokładności wagi laboratoryjnej ddM - dla różnych ilości materiału M_{pocz} (A) i różnych wilgotności początkowych w_p (B)

Fig. 1. Relationship between final mass determination errors and laboratory balance accuracy ddM - for various amounts of material M_{pocz} (A) and different values of initial moisture content w_p (B)

Błędy określania masy...

Przy najniższej dokładności tych wag $\pm 0,1$ g przy masie początkowej 20 ton i końcowej 1111 kg, błąd bezwzględny wynosi aż 1141 kg, a błąd względny 10,3%. Jednak już dokładność wagi laboratoryjnej równa $\pm 0,01$ g zasadniczo zmniejsza błąd względny do ok. 1%. Z kolei z rysunku 1(B) wynika, że podobne spostrzeżenie, co do dokładności wag można poczynić określając dodatkowo wpływ wilgotności początkowej materiału M_{pocz} . Widać też, że zasadniczo od pozostałych odbiega krzywa dla wilgotności początkowej 80% określanej jednoetapowo bez poduszania wstępnego (błąd względny wynosi tutaj 16%). Na rysunkach widać również, że błędy bezwzględne obliczania masy końcowej są dla wariantu z poduszaniem wstępnym zawsze mniejsze od wariantu bez poduszania.

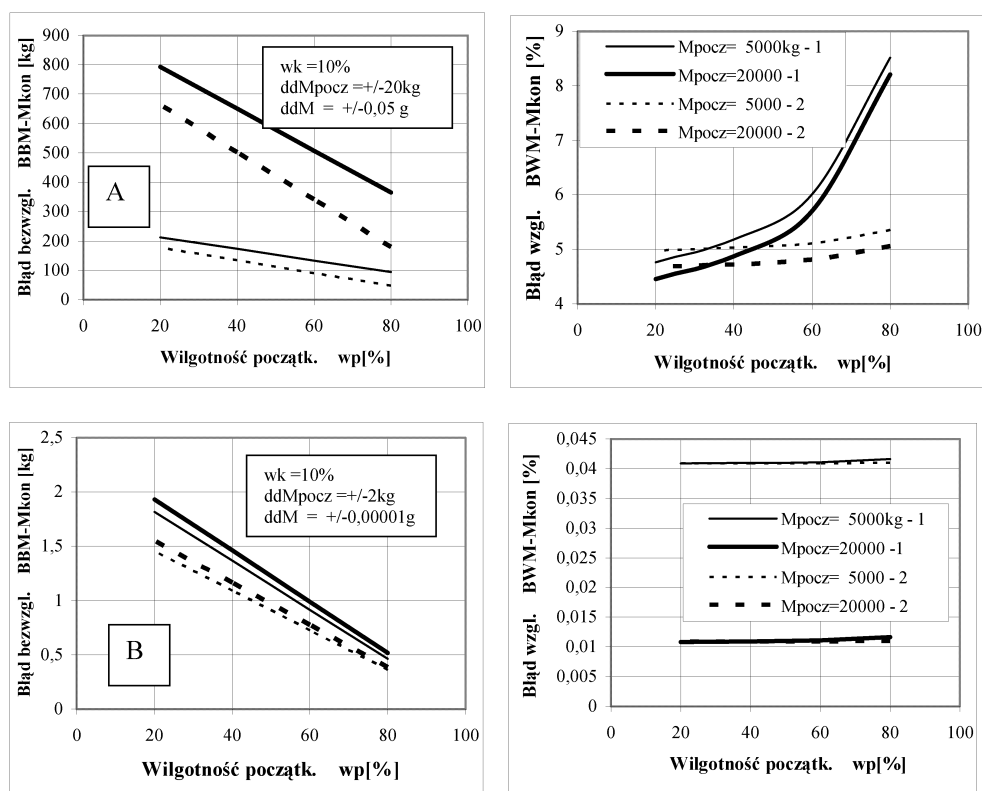
Z rysunku 2, dla średnich wartości warunków symulacji - tj. 10 ton i dokładności wagi laboratoryjnej 0,001 g widać, że wpływ dokładności wagi wjazdowej jest prostoliniowy i błędy $BW-M_{kon}$ zawierają się w zakresie ok. 0,1 do 0,5% w zależności od masy początkowej materiału. I ponownie prosta dla wilgotności początkowej 80% odbiega od pozostałych, które mają bardzo podobny przebieg.



Rys. 2. Wpływ dokładności wagi wjazdowej ddM_{pocz} na błędy określania masy końcowej - dla różnych wilgotności początkowych w_p (A) i mas początkowych M_{pocz} (B)

Fig. 2. The impact of vehicle scales accuracy ddM_{pocz} on errors in final mass determination - for varying values of initial moisture content w_p (A) and initial mass M_{pocz} (B)

Na ostatnim rysunku 3 przedstawiono zależności błędów maksymalnych bezwzględnych $BBM-M_{kon}$ i względnych $BWM-M_{kon}$ obliczania masy końcowej, dla bardzo małych (A) i bardzo dużych (B) dokładności zastosowanych wag. Wyraźnie z rysunków tych wynika, że przy wagach mało dokładnych błędy względne są w zakresie $\pm 4,5 - 8,5\%$, podczas gdy dla wag bardzo dokładnych zakres błędów względnych wynosi $\pm 0,01-0,04\%$. Odpowiednie błędy bezwzględne, istotniejsze dla masy materiału wysuszonego, którą trzeba załadować, wynoszą dla wag (A) $\pm 100 - 800$ kg oraz dla wag (B) jedynie $\pm 0,5 - 2$ kg.



Rys. 3. Zależność błędów obliczania masy końcowej od wilgotności początkowej w_p - dla wag wjazdowej i laboratoryjnej - najniższej (A) i najwyższej klasy (B)

Fig. 3. Relationship between errors in final mass computations and initial moisture content w_p - for vehicle scales and laboratory balance - lowest class (A) and highest class (B)

Wnioski

1. Zależności (3) i (4) oraz (6)-(8) pozwalają zakładom suszarniczym podawać obok masy końcowej po suszeniu, również wartości błędów obliczania tej masy.
2. Stosując wagi o małych dokładnościach, można obliczenia masy końcowej dokonywać nawet z 9% błędem, podczas gdy stosując wagi bardzo dokładne, można czynić to jedynie z błędem 0,04%. Dla wag o średnich dokładnościach $ddM_{pocz}=10$ kg i $ddM=0,001$ g, błędy $BWM-M_{kon}$ będą wynosić ok. 0,5%.
3. Zwiększanie wilgotności z 20 do 50%, nieznacznie zwiększa wartość błędu względnego, w przeciwieństwie do zwiększenia wilgotności z 50 do 80%.
4. Stosując podsuszanie wstępne uzyskuje się mniejsze błędy obliczania masy końcowej.

Bibliografia

- Jaros M.** 1994. Rachunek błędów w badaniach procesów suszenia. Część II: Analiza błędów w pomiarach kinetyki suszenia. Zeszyty Problemowe PNR, z.415. s. 303-312.
- Pabis S.** 1994. Rachunek błędów w badaniach procesów suszenia Część I: Wybrane zagadnienia rachunku błędów. Zeszyty Problemowe PNR, z.415. s. 291-302.
- Zdrojewski Z.** 2006. Błędy określania masy końcowej ziarna w zakładach suszarniczych – wykorzystując wilgotnościomierze ziarna. Inżynieria Rolnicza, nr 4. s. 347-356.

ERRORS IN FINAL MASS DETERMINATION IN DRYING PLANTS – USING LABORATORY METHODS

Abstract. The derived relations used to determine errors in final mass computations in drying plants, during laboratory determination of moisture content without partial drying and with partial drying, provided grounds to simulate the effect of individual parameters on values of these errors. It has been found that the use of partial drying reduces errors in final mass computations. For initial moisture content ranging from 20 to 80%, using the most precise vehicle scales and laboratory balance, errors in final mass computations are lowest, up to +/-0.04%, while for the least precise scales they reach +/-9%. For medium class scales this value will be +/- 0.5%.

Key words: maximum errors, scales accuracy, industrial scales, laboratory balance

Adres do korespondencji:

Zbigniew Zdrojewski; e-mail: zdrojewski@imr.ar.wroc.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Chełmońskiego 37/41
51-630 Wrocław