

Ćwiczenie nr 6. **POMIARY NATĘŻENIA PRZEPŁYWU POMPY INFUZYJNEJ**

Cel ćwiczenia

1. Opanowanie obsługi pompy infuzyjnej.
2. Pomiar natężenia przepływu i badanie wpływu natężenia przepływu na linię podaży.
3. Weryfikacja dokładności wykonania bolusa.

Przebieg pomiarów

1. Opanowanie obsługi pompy infuzyjnej

- Napełnij strzykawkę wodą do pojemności około 40–45 ml (usuń pęcherzyki powietrza ze strzykawki).
Uwaga: Jeśli strzykawka jest umocowana do pompy w uchwycie, to w celu jej wyjęcia pociągnij uchwyt strzykawki do siebie i następnie skręć w lewo.
- Zamocuj na końcu strzykawki rurkę (usuń pęcherzyki powietrza z rurki)
- Umieść strzykawkę w uchwycie tak, aby uchwyt strzykawki i końcówka tłoka pasowały do prowadnika. Zamknij uchwyt mocujący strzykawkę. Jeśli strzykawka została umieszczona prawidłowo, zacisk zwalniający wejdzie na swoje miejsce.
- Włącz pompę za pomocą przycisku. Potwierdzić typ strzykawki – naciśnij przycisk wyboru funkcji **F**.
- Wyzeruj wartości objętości podanej – wciśnij przycisk **F** wybierz funkcję **Σml** i przyciśnij **C**.
- Włącz mikrowagę i zważ zlewkę, a następnie wyzeruj pomiar.
- Ustaw ciśnienie okluzji na wysokie - naciśnij przycisk **F**, a następnie **P** i wciśnij **3**.
- Włącz mikrowagę i zważ zlewkę, a następnie wyzeruj pomiar.

2. Zapoznanie się z obsługą programu *Waga.vi*

- Uruchom program *Waga.vi* z folderu Pulpit/*Waga* (Rys. 2)
- Ustaw odpowiedni COM (najprawdopodobniej COM 2) (Rys.2, pkt1)
- Uruchom program w trybie pracy ciągłej – ikona (Rys.2, pkt2) strzałki powinny zmienić kolor na czarny 
- Wciśnij **START** (Rys.2, pkt4), przesun suwak w górę (Rys.2, pkt7)
- Po wyświetleniu się kilku próbek naciśnij **STOP**, poczekaj na komunikat czy zamknąć aplikację – wybierz **NIE**.
- Wciśnij **RAPORT** (Rys.2, pkt6), podaj nazwę pliku i folder docelowy, naciśnij **UTWÓRZ RAPORT**.
- Sprawdź w wybranym folderze czy plik został utworzony i czy zawiera poprawne dane.

3. Pomiar natężenia przepływu

- Zapisz objętość wody w strzykawce
- Zaprogramuj objętość do podania na 20 ml - wciśnij przycisk **F**, a następnie wybierz funkcję $\rightarrow \mathbf{ml}$ i wpisz wartość 20 ml. (Aby zmienić wartość objętości przyciśnij **C** i wprowadź nową, żadaną wartość).
- Ustaw czas próbkowania np. 3s (Rys.2, pkt3) – wartość ustaloną z prowadzącym.
- Ustaw wartość szybkości przepływu na 50 ml/h. W celu ustawienia nowej wartości przepływu przyciśnij przycisk **C** i wprowadź wartość z panelu pompy. *Uwaga: Zakres przepływu obejmuje wartości między od 0.1 do 99.9) ml/h.*
- Wytaruj wagę
- Wyczyść tabelę w programie WAGA.vi (Rys.2, pkt8)
- Naciśnij przycisk START w programie a następnie na pompie
- Po zakończeniu podaży zapisz wyniki pomiaru i wyczyść tabelę
- Zapisz objętość wody w strzykawce oraz temperaturę wody.
- Pomiar dla natężenia przepływu równego 50 ml/h wykonaj jeden raz, a następnie wykonaj dwa pomiary dla 80 ml/h (dla czasów próbkowania 5 i 3 s)

4. Weryfikacja dokładności wykonania bolusa

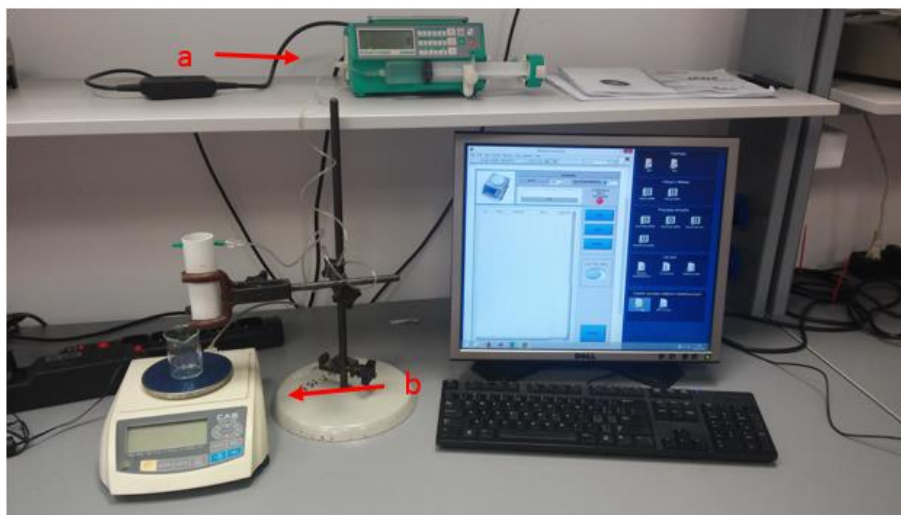
- Zapisz wartość pojemności napełnionej strzykawki oraz wyzeruj objętość podaną (wejdź w funkcje specjalne naciskając przycisk **F**, użyj $\Sigma \mathbf{ml}$ i wciśnij **C**)
- Zaprogramuj objętość do podania na 20 ml - wciśnij przycisk **F**, a następnie wybierz funkcję $\rightarrow \mathbf{ml}$ i wpisz wartość 20 ml.
- Wytaruj wagę
- Wyczyść tabelę w programie WAGA.vi (Rys.2, pkt8)
- Naciśnij przycisk START w programie
- W celu wykonania pomiaru bolusa uruchom funkcje specjalne (naciśnij przycisk **F**), a następnie wybierz **BOL** i przytrzymaj wciśnięte oba przyciski do końca pomiaru. To spowoduje uruchomienie bolusa i przetłaczanie płynu. *Uwaga: O końcu wykonywania bolusa poinformuje alarm dźwiękowy.*
- zapisz wyniki, wartość końcową wskazywaną przez wagę, końcową wartość pojemności strzykawki oraz wartość objętości podanej, która w trakcie pomiaru ukaże się po przyciśnięciu przycisk **F**, a następnie wybraniu funkcji $\Sigma \mathbf{ml}$.
- Po zakończeniu pomiaru zmierz temperaturę wody.
- W celu weryfikacji powtarzalności bolusa wykonaj pomiar trzykrotnie.

5. Opracowanie wyników

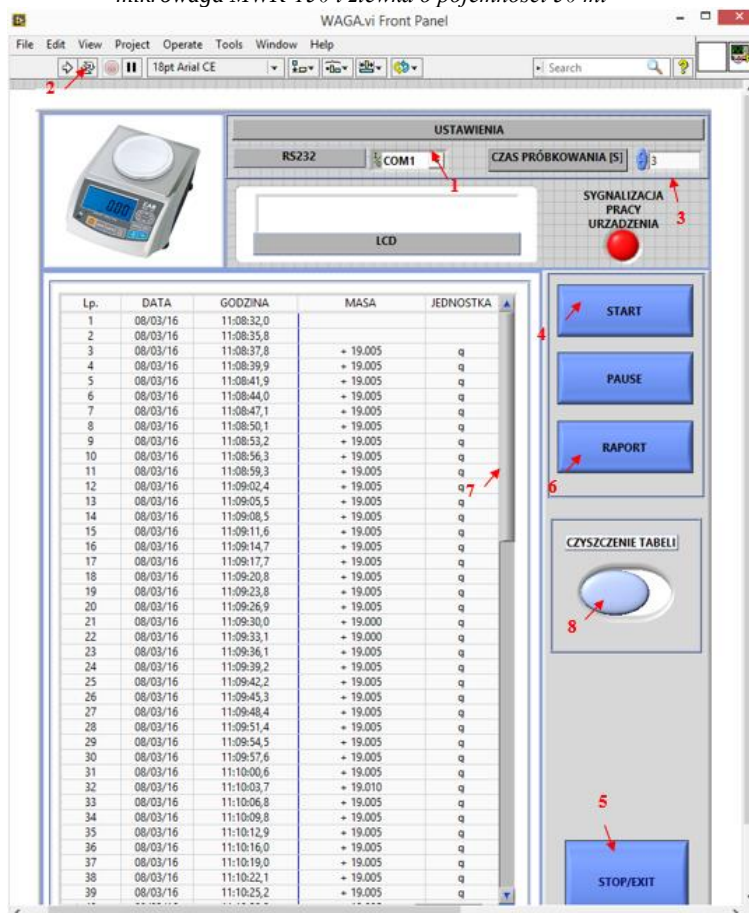
- Porównaj objętość podaną (wartość $\Sigma \mathbf{ml}$, V obliczone z masy końcowej, różnica końcowej i początkowej objętości strzykawki) z objętością zadaną (ustawioną na pompie)
- Dla wszystkich pomiarów wykonaj wykresy $V(mml) = f(t(h))$ oraz $q_{v,chw} = f(t)$
- Wyznacz wartość prędkości przepływu jako:
 - 1 – stosunek objętości końcowej podanego płynu do czasu podaży
 - 2 – średnia z chwilowej wartości prędkości przepływu
 - 3 – współczynnik kierunkowy prostej dopasowanej do zależności $V = f(t)$.
- Wyznaczone wartości porównać między sobą oraz z wartością zadaną w granicy błędu.
- Ocenić wpływ czasu próbkowania na uzyskane wyniki

Układ pomiarowy

Układ pomiarowy składa się z pompy infuzyjnej Perfusor®Compact firmy Braun (Rys. 1) z przymocowaną w uchwycie strzykawką o pojemności 50 ml (typ OPS, kod 50, minimalna objętość 5,54 ml). Na koniec strzykawki należy przymocować rurkę, której drugi koniec powinien być umieszczony w zlewce.



Rys. 1 Stanowisko pomiarowe: a) pompa infuzyjna Perfusor®Compact firmy BBraun wraz ze strzykawką typu OPS 50 ml, b) mikrowaga MWK-150 i zlewka o pojemności 50 ml



Rys. 2. Panel sterowania programu WAGA.vi

Przykładowa analiza pomiarowa Średnie masowe natężenie przepływu $q_{m,śr}$ oblicza się ze wzoru:

$$q_{m,śr} = \frac{m}{t} \quad (1)$$

gdzie:

m – podana masa płynu przez pompę, t – czas, w którym wartość tej masy została podana. Natomiast chwilowe masowe natężenie przepływu $q_{m,chw}$ wyraża się wzorem:

$$q_{m,chw} = \frac{dm}{dt} \quad (2)$$

Powyższe wzory są analogiczne dla objętościowego natężenia przepływu. Natomiast przejście między masowym a objętościowym natężeniem przepływu jest możliwe po uwzględnieniu gęstości płynu i przekształceniu poniższego wzoru:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

przy uwzględnieniu gęstości płynu (wody) z poprawką na temperaturę płynu (Załącznik 1).

Tabela 1. Pomiar natężenia przepływu

Lp.	q_v	m_{zl}	m_{zl+w}	t_{inf}	$q_{m,obl}$	$q_{v,obl}$
	ml/h	g	g	s	g/h	ml/h

q_v – objętościowe natężenie przepływu (ustawiona wartość na pompie)

m_{zl} – masa zlewki

m_{zl+w} – masa zlewki wraz z wodą

t_{inf} – czas infuzji

$q_{m,obl}$ – obliczone masowe natężenie przepływu

$q_{v,obl}$ – obliczone objętościowe natężenie przepływu

Uwaga: precyzja podania to 0,1 ml. Dla objętości poniżej 1 ml precyzja podania może być niższa.

Tabela 2. Pomiar natężenia przepływu bolusa

Lp.	$q_{v,b}$	m_{zl}	m_{zl+w}	$t_{inf,b}$	$q_{m,obl}$	$q_{v,obl}$
	ml/h	g	g	s	g/h	ml/h

$q_{v,b}$ – szybkość bolusa

$t_{inf,b}$ – czas infuzji bolusa

Uwaga: szybkość bolusa można sprawdzić wybierając z funkcji specjalnych przycisk **F**, a następnie **BOL**. Rozdzielczość wagi to 0,01 g. W sprawozdaniu uwzględnij błędy pomiarowe (m.in. błąd pomiaru masy płynu) oraz rozpatrz linie trendu w pomiarze natężenia przepływu.

Zadania dodatkowe

1. Wykonaj pomiary natężenia przepływu dla różnych szybkości podaży.
2. Wykonaj pomiary natężenia przepływu dla różnej temperatury płynu przy tej samej zadanej szybkości podaży.

Wprowadzenie

1. Natężenie przepływu masowe q_m i objętościowe q_v natężenie przepływu płynu są to odpowiednio ilości masy i objętości płynu (cieczy lub gazu) przepływającego w jednostce czasu przez dany przekrój powierzchni (PN-93/M-53950/01). Stosowanymi jednostkami dla q_m i q_v są odpowiednio kg/s i m³/s (lub ich pochodne). W ćwiczeniu używane są odpowiednio g/h i ml/h. Zazwyczaj pomiar natężenia

przepływu sprowadza się do pomiaru objętościowego natężenia przepływu. Aby wyznaczyć wartość masowego natężenia przepływu potrzebna jest znajomość, bądź też pomiar, gęstości płynu. Metoda ta należy do pośrednich metod pomiaru natężenia przepływu.

2. Pompa infuzyjna Perfusor®Compact Pompa strzykawkowa Perfusor®Compact jest stosowana do prowadzenia dożylnych terapii płynowej (Rys. 2). Dzięki małemu rozmiarowi i niedużemu ciężarowi może być wykorzystana w każdych warunkach, np. w karetce. Dodatkowo posiada ona uchwyt ułatwiający jej przenoszenie. Możliwe jest też połączenie ze sobą kilku pomp.



Rys. 3. Pompa infuzyjna Perfusor®Compact firmy B. Braun

Do zalet pompy należy łatwa wymiana strzykawki, płynne rozpoczęcie wlewu, wysoki stopień precyzji (nawet przy niskiej szybkości podaży) i czytelny, podświetlany wyświetlacz z wyraźnie oznaczoną klawiaturą. Posiada ona również możliwość zasilania bateryjnego. Do połączenia z zasilaniem w karetce służy gniazdo wielofunkcyjne połączenia (MFC) znajdujące się z tyłu pompy. Dodatkowo posiada ona alarm w celu przywołania personelu oraz łącze standardowe RS-485, które pozwala na komunikację pompy z komputerem za pomocą konwertera RS-485/RS-232.

Pompa posiada również system zabezpieczeń, m.in.:

- zmniejszenie bolusa
- uruchamianie alarmu, a bolus jest podawany z jednoczesną kontrolą dawki,

Uwaga: Metoda podaży bolusa polega na natychmiastowym podaniu płynu. Zazwyczaj szybkość bolusa zaprogramowana dla danej pompy może być zmieniona przez serwis. Pompa zastosowana do niniejszego ćwiczenia posiada szybkość Bolusa równą 800 ml/h, gdzie objętość 0,1 ml będzie podawana w ciągu 0,45 s.

- podaż zostanie zatrzymana automatycznie po osiągnięciu wcześniej ustalonej wartości,
- bolus zostaje automatycznie redukowany w momencie utrudnienia jego przepływu (dzięki czujnikowi ciśnienia z programowym poziomem ciśnienia).

Na wyświetlaczu pompy pojawia się informacja (w trybie ciągłego wyświetlania) o rodzaju zasilania, typie strzykawki, szybkości podaży oraz symbol trwania wlewu.

Alarm pompy zostaje uaktywniony w przypadku złego umieszczenia strzykawki lub pustej strzykawki, zaciśnięcia drenu, zakończenia wlewu albo rozładowania baterii. Pompa posiada również alarm uprzedzenia, który ujawnia się na 3 minuty przed opróżnieniem strzykawki oraz na 30 minut przed wyładowaniem baterii. Dodatkowo pompa zostaje zatrzymana i włącza się alarm przy błędzie w dawce 0,1 ml.

W celu weryfikacji ilości płynu podawanego przez pompę (tj. ilości zaprogramowanej przez użytkownika) należy mierzyć faktyczną ilość substancji na wyjściu. Sam odczyt ze strzykawki jest niewystarczający i mało dokładny. Dodatkowo bezpośredni pomiar objętości podanej jest mniej dokładny niż pomiar masy tej substancji, pod warunkiem, iż odpowiednie czynniki zostaną również uwzględnione (m.in. wpływ temperatury na gęstość substancji, jednorodność roztworu itp.). W Tabeli 3 podano parametry pompy Perfusor®Compact.

Tabela 3.. Podstawowe parametry pompy Perfusor®Compact

Wielkość	(190 x 100 x 120) mm
Waga	1,5 kg
Typ	8714827
Zasilanie (akumulator, bateria)	230 V, 50 Hz
Typ baterii	3 x 1,5 V (alkaliczno-magnezowe)
Czas używania baterii	>80 h przy podaży <10 ml/h
Zestaw akumulatorowy	NiCd (samoladujący)
Czas działania akumulatora	20 h przy podaży <10 ml/h
Zewnętrzny najniższy poziom zasilania	12 V
Typ strzykawki	20 lub 50 ml (oryginalna strzykawka OPS)
Szybkość podaży	0,1 – 99,9 ml/h
Szybkość podaży bolusa	800 ml/h
Precyzja podaży	±2 % (czas pomiaru > 1 h, min 2 ml)
Programowanie objętości	do 999,9 ml ± 1 ml
Łącze komputerowe	RS-232

Pytania kontrolne

1. Wymienić rodzaje natężenia przepływu.
2. Zdefiniować masowe natężenie przepływu.
3. Zdefiniować objętościowe natężenie przepływu.
4. Podać metodę wyznaczania objętościowego natężenia przepływu.
5. Podać metodę wyznaczania masowego natężenia przepływu.
6. Dlaczego do wyznaczenia przepływu wykonywany jest pomiar masy cieczy podanej przez pompę, a nie tylko odczyt ze strzykawki?
7. Jakie czynniki mogą wpływać na gęstość substancji?
8. Co to jest bolus?

Literatura

- [1] Instrukcja obsługi pompy Perfusor®Compact.
- [2] BBraun, DIANET Perfusor®Compact (Description of Dianet – Substation), 1996.
- [3] Mazur J, Komunikacja pompy infuzyjnej z komputerem, praca dyplomowa, Politechnika Wrocławska, WPPT, 2000.

Zestaw przyrządów

1. Pompa infuzyjna BBraun Perfusor®Compact wraz ze strzykawką OPS (50 ml), kablem zasilającym (opcjonalnie: kablem do komputera)
2. Waga laboratoryjna MWK-150 firmy CAS
3. Menzurka, stoper, termometr Opracowały: mgr inż. Sylwia Korczyńska, mgr inż. Nina Tewel

Załącznik 1. Tabela gęstości wody dla temperatur 0...40 °C w kg/m³

°C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	999,8396	999,8463	999,8528	999,8591	999,8653	999,8713	999,8771	999,8827	999,8882	999,8934
1	999,8985	999,9034	999,9082	999,9127	999,9171	999,9214	999,9254	999,9293	999,9330	999,9365
2	999,9399	999,9430	999,9461	999,9489	999,9516	999,9541	999,9564	999,9586	999,9606	999,9625
3	999,9642	999,9657	999,9670	999,9682	999,9692	999,9701	999,9708	999,9713	999,9717	999,9719
4	999,9719	999,9718	999,9716	999,9711	999,9706	999,9698	999,9689	999,9679	999,9666	999,9653
5	999,9637	999,9621	999,9602	999,9582	999,9561	999,9538	999,9513	999,9487	999,9460	999,9431
6	999,9400	999,9368	999,9335	999,9300	999,9263	999,9225	999,9186	999,9145	999,9102	999,9058
7	999,9013	999,8966	999,8918	999,8868	999,8817	999,8764	999,8710	999,8654	999,8597	999,8539
8	999,8479	999,8418	999,8355	999,8291	999,8226	999,8159	999,8091	999,8021	999,7950	999,7878
9	999,7804	999,7729	999,7652	999,7574	999,7495	999,7414	999,7332	999,7249	999,7164	999,7078
10	999,6991	999,6902	999,6812	999,6721	999,6628	999,6534	999,6438	999,6342	999,6244	999,6144
11	999,6044	999,5942	999,5839	999,5734	999,5628	999,5521	999,5413	999,5303	999,5192	999,5080
12	999,4966	999,4852	999,4736	999,4618	999,4500	999,4380	999,4259	999,4136	999,4013	999,3888
13	999,3762	999,3635	999,3506	999,3377	999,3246	999,3113	999,2980	999,2845	999,2709	999,2572
14	999,2434	999,2295	999,2154	999,2012	999,1869	999,1725	999,1579	999,1433	999,1285	999,1136
15	999,0986	999,0834	999,0682	999,0528	999,0373	999,0217	999,0060	998,9902	998,9742	998,9581
16	998,9420	998,9257	998,9093	998,8927	998,8761	998,8593	998,8425	998,8255	998,8084	998,7912
17	998,7739	998,7565	998,7389	998,7213	998,7035	998,6856	998,6676	998,6495	998,6313	998,6130
18	998,5946	998,5760	998,5574	998,5386	998,5198	998,5008	998,4827	998,4645	998,4462	998,4278
19	998,4043	998,3847	998,3650	998,3451	998,3252	998,3051	998,2850	998,2647	998,2444	998,2239
20	998,2033	998,1826	998,1619	998,1410	998,1200	998,0989	998,0777	998,0564	998,0350	998,0134
21	997,9918	997,9701	997,9483	997,9264	997,9043	997,8822	997,8600	997,8376	997,8152	997,7927
22	997,7700	997,7473	997,7245	997,7015	997,6785	997,6554	997,6321	997,6088	997,5854	997,5618
23	997,5382	997,5144	997,4906	997,4667	997,4427	997,4185	997,3943	997,3700	997,3456	997,3210
24	997,2964	997,2717	997,2469	997,2220	997,1970	997,1719	997,1467	997,1214	997,0960	997,0706
25	997,0450	997,0193	996,9935	996,9677	996,9417	996,9157	996,8895	996,8633	996,8369	996,8105
26	996,7840	996,7574	996,7307	996,7039	996,6770	996,6500	996,6229	996,5957	996,5685	996,5411
27	996,5137	996,4861	996,4585	996,4308	996,4029	996,3750	996,3470	996,3190	996,2908	996,2625
28	996,2341	996,2057	996,1771	996,1485	996,1198	996,0910	996,0621	996,0331	996,0040	995,9748
29	995,9456	995,9162	995,8868	995,8573	995,8277	995,7980	995,7682	995,7383	995,7083	995,6783
30	995,6482	995,6179	995,5876	995,5572	995,5267	995,4962	995,4655	995,4348	995,4039	995,3730
31	995,3420	995,3109	995,2797	995,2485	995,2171	995,1857	995,1542	995,1226	995,0909	995,0591
32	995,0273	994,9953	994,9633	994,9312	994,8990	994,8667	994,8343	994,8019	994,7694	994,7368
33	994,7041	994,6713	994,6384	994,6055	994,5725	994,5394	994,5062	994,4729	994,4395	994,4061
34	994,3726	994,3390	994,3053	994,2716	994,2377	994,2038	994,1698	994,1357	994,1015	994,0673
35	994,0330	993,9986	993,9641	993,9295	993,8949	993,8601	993,8253	993,7904	993,7555	993,7204
36	993,6853	993,6501	993,6148	993,5795	993,5440	993,5085	993,4729	993,4373	993,4015	993,3657
37	993,3298	993,2938	993,2578	993,2216	993,1854	993,1491	993,1128	993,0763	993,0398	993,0032
38	992,9666	992,9298	992,8930	992,8561	992,8191	992,7821	992,7450	992,7078	992,6705	992,6331
39	992,5957	992,5582	992,5207	992,4830	992,4453	992,4075	992,3697	992,3317	992,2937	992,2556
40	992,2175									

P. H. Bigg, Brit J Appl Phys, 18, 521 (1967).

PROGRAM WAGA

Program WAGA służy do obsługi, kontroli, archiwizacji wyników pracy mikrowagi laboratoryjnej MWP-150 firmy CAS. Stworzony został w środowisku programistycznym LabVIEW. Komunikacja urządzenia z komputerem osobistym zapewniona jest za pomocą łącza szeregowego RS-232. W celu zapewnienia jak najlepszej transmisji danych podstawowe parametry: szybkość transmisji danych, liczba bitów, parzystość, bit stopu zostały zaprogramowane trwale wg zaleceń producenta (Tabela 1). Za parametry odpowiedzialny jest program `waga_rs232.vi`.

Tabela 4. Parametry interfejsu RS-232 mikrowagi MWP-150 firmy CAS

Parametr	Wartość
Baud rate	9 600 BPS
Data bits	7 BITS
Parity bit	1 EVEN
Stop bit	1 BIT

Tabela 5. Podstawowe parametry mikrowagi MWP-150 firmy CAS.

[illegible]