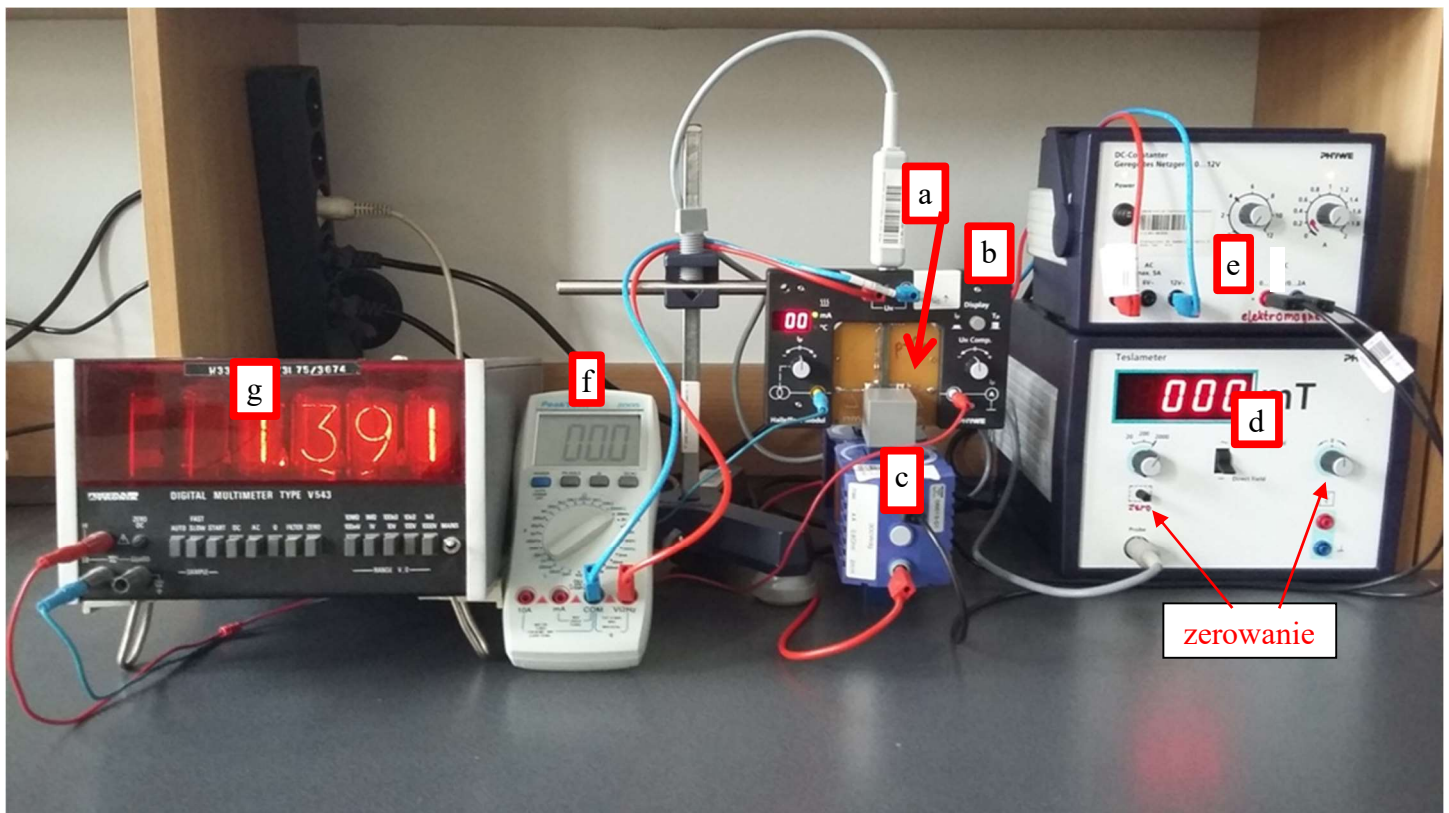


Badanie zjawiska Halla



Rys 1. Stanowisko laboratoryjne do badania zjawiska Halla.

1. Opis teoretyczny do ćwiczenia

zamieszczony jest na stronie www.wtc.wat.edu.pl w dziale
DYDAKTYKA – FIZYKA – ĆWICZENIA LABORATORYJNE.

2. Opis układu pomiarowego

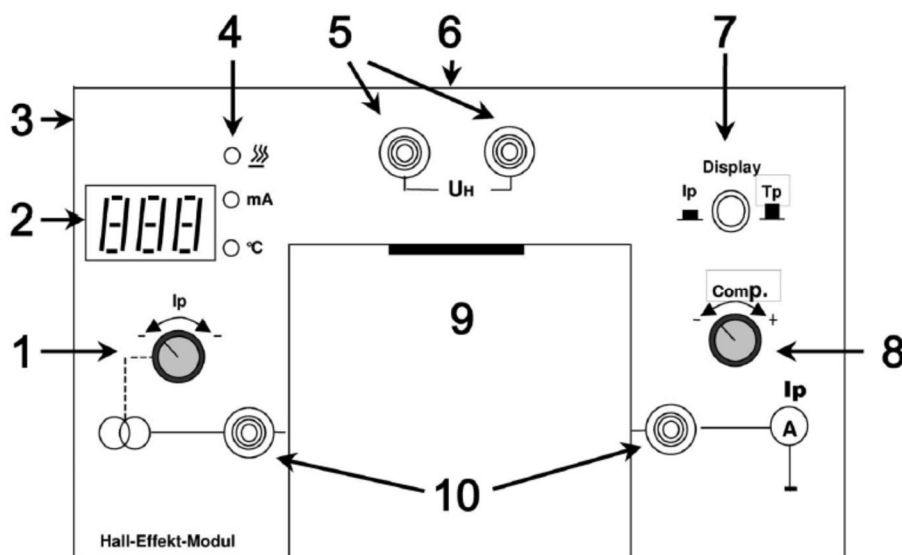
Układ pomiarowy do wyznaczenie napięcia Halla składa się z:

- płytki pomiarowej z próbką germanu,
- ramki pomiarowej w której zamontowana jest próbka i sonda czujnika pola magnetycznego,
- elektromagnesu z nabiegunnikami,
- militeslomierza do którego podłączona jest sonda czujnika pola magnetycznego,
- zasilacza zasilającego elektromagnes oraz ramkę pomiarową,
- multimetru cyfrowego jako woltomierz,
- drugiego multimetru cyfrowego jako woltomierz.

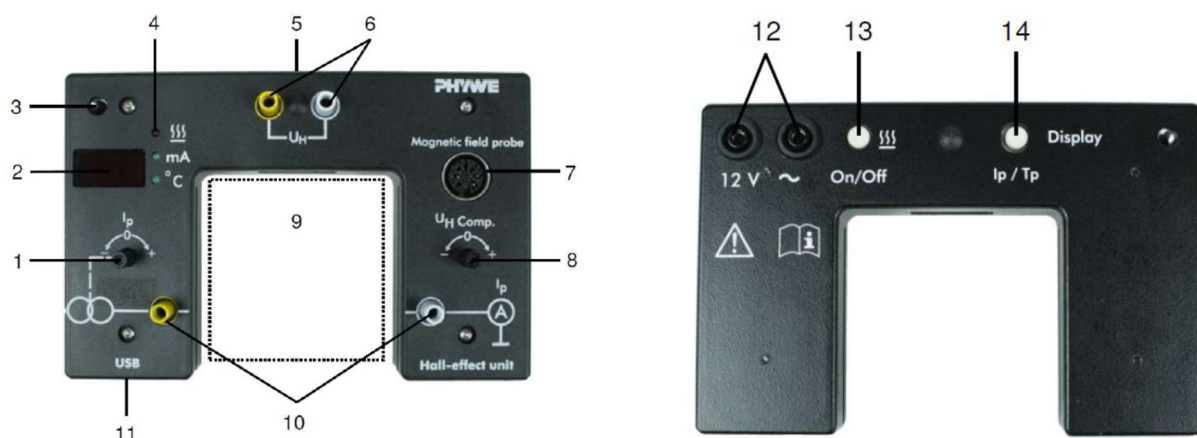
W ćwiczeniu badana jest próbka germanu (a) domieszkowanego (typu p albo typu n) zamontowana na stałe w ramce pomiarowej (b). Zasilacz (e) zasila ramkę pomiarową (b) i elektromagnes (c). W części przeznaczony dla elektromagnesu, z prawej strony, ma możliwość regulacji napięcia w zakresie do 12 V, a natężenia do 2 A. Próbka jest zanurzona w stałym polu magnetycznym wytwarzanym przez elektromagnes (c) a mierzonym przez militeslomierz (d). Uśredniona wartość napięcia Halla odczytywana jest na multimetrze cyfrowym pracującym

jako woltomierz (f). Drugi woltomierz (g) pozwala nam mierzyć spadek potencjału wzdłuż próbki (wzdłuż kierunku przepływu prądu).

Ramka pomiarowa występuje w dwu wersjach przedstawionych na Rys. 2



a) wersja A



b) wersja B

Rys. 2. Dwie wersje ramki pomiarowej.

Na ramce pomiarowej, z jej lewej strony, znajduje się cyfrowy wyświetlacz (2) natężenia prądu płynącego przez próbkę (mA) lub temperatury próbki ($^{\circ}\text{C}$). Przełącznik trybu pracy wyświetlacza znajduje się po stronie prawej ramki pomiarowej (7) w wersji A lub z tyłu ramki (14) w wersji B.

Pod wyświetlaczem znajduje się potencjometr (1) regulujący prąd płynący przez próbkę (I_p). W ćwiczeniu zalecany do stosowania jest zakres ± 30 mA, którego nie należy przekraczać.

Z prawej strony ramki znajduje się kompensator napięcia Halla (8). Przy braku pola magnetycznego wytwarzanego przez cewkę napięcie U_H odczytywane na woltomierzu musi być równe zero.

Drugi woltomierz, mierzący napięcie U_p , podłączony jest do zacisków (10).

3. Przeprowadzenie pomiarów

1. Zapoznać się z budową układu pomiarowego. Włączyć urządzenia na wyraźne polecenie osoby prowadzącej.
 2. Wyzerować napięcie Halla U_H . W tym celu ustawić na zasilaczu potencjometry napięcia i natężenia na wartości zerowe. Tak ustawić potencjometr (8) by na woltomierzu mierzącym napięcie Halla uzyskać wartość zero.
 3. Wyzerować wskazania teslomierza. W tym celu jak poprzednio, ustawić na zasilaczu potencjometry napięcia i natężenia na wartości zerowe i wyregulować pokrętlami na teslomierzu jego wskazanie na zero (służą do tego dwa pokręta teslomierza zaznaczone na Rys. 1).
 4. Ustawić wyświetlacz (2) w trybie pomiaru temperatury próbki używając przełącznika (7 lub 14 w zależności od wersji płytki). Zapisać wartość T_p .
 5. Ustawić wyświetlacz (2) w trybie pomiaru prądu I_p używając przełącznika (7 lub 14 w zależności od wersji ramki pomiarowej). Potencjometrem (1) ustawić prąd I_p płynący przez próbkę na np. $+30\text{ mA}$.
 6. Ustawić zerową wartość indukcji pola magnetycznego B . W tym celu na zasilaczu (e) potencjometr napięcia ustawić na stałe na około 6 V, a potencjometrem natężenia wybrać taki prąd zerowy by wskazanie militeslomierza było równe zero.
 7. Zapisać wartości napięcia Halla U_H z woltomierza (f) oraz napięcia U_p z woltomierza (g) w funkcji zmiany indukcji pola magnetycznego w dostępnym zakresie (od 0 mT do 200 mT) poprzez zmianę prądu z zasilacza (e) w zakresie do 2 A.
 8. Powtórzyć punkt 7 dla zmiany indukcji pola magnetycznego w zakresie (od 0 mT do -200 mT). Ujemną wartość pola (zmianę kierunku indukcji pola magnetycznego) uzyskać poprzez zmianę polaryzacji cewki zamieniając na zasilaczu miejscami przewody dostarczające napięcie do cewek elektromagnesu. Operację zmiany polaryzacji wykonać przy potencjometrach napięcia i natężenia zasilacza ustawianych na wartości zerowe.
- Uwaga:** po zmianie kierunku pola magnetycznego może wystąpić konieczność wyzerowania wskazań teslomierza oraz napięcia Halla (punkt 2 i punkt 3).
9. Ustawić wyświetlacz (2) w trybie pomiaru temperatury próbki używając przełącznika (7 lub 14 w zależności od wersji płytki). Zapisać wartość T_k .
 10. Wykonać pomiary jak w punktach 4 – 9 dla natężenie I_p o wartości przeciwnej, np. -30 mA .
 11. Pomiary z punktów 4 – 10 można powtórzyć dla innej wartości prądu I_p z zakresu $\pm 30\text{ mA}$.
 12. Wszystkie wyniki pomiarów zapisać na karcie pomiarów. Oszacować i zapisać niepewności maksymalne mierzonych wartości: natężenia prądu płynącego przez próbkę ΔI_p , napięcia Halla ΔU_H , spadku napięcia wzdłuż próbki ΔU_p , temperatury ΔT , indukcji pola magnetycznego ΔB .

4. Opracowanie wyników pomiarów

1. Poniższe opracowanie prowadzone jest dla wybranych wartości np. $I_p = 30$ mA oraz $B = 200$ mT. Analogicznie można opracować inne mierzone wartości. Wyznaczyć niepewności standardowe $u(\bar{x})$ mierzonych wielkości z ich niepewności maksymalnych $\Delta\bar{x}$ oszacowanych podczas pomiarów z relacji

$$u(\bar{x}) = \frac{\Delta\bar{x}}{\sqrt{3}}.$$

Wykonanie Wykresu 1 - napięcia Halla w funkcji zmiany pola magnetycznego

2. Stosując metodę aproksymacji Gaussa wyznaczyć parametry prostej $y = \bar{a}x + \bar{b}$ (gdzie $x = B$, $y = U_H$)

$$\bar{a} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i\right) - n \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i\right)}{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2 - n \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right)}, \quad \bar{b} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right) - \bar{a} \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)}{n},$$

$$u(\bar{a}) = \sigma_{\bar{a}} = \sqrt{\frac{n}{n-2} \cdot \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i^2\right) - \bar{a} \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i\right) - \bar{b} \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i\right)}{n \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}}, \quad u(\bar{b}) = \sigma_{\bar{b}} = \sigma_{\bar{a}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}}.$$

Przy wyznaczaniu parametrów prostych zaleca się wykonanie tabeli zawierającym kolumny z poszczególnymi wartościami: x_i , y_i , x_i^2 , y_i^2 , $x_i \cdot y_i$ oraz ich sumy w celu uniknięcia błędów przy przetwarzaniu wartości zmierzonych.

Prostą wraz z wyznaczonymi parametrami nanieś na wykres (1).

3. Na wykres nanieś: punkty pomiarowe wraz z niepewnościami, prostą wraz z wyznaczonymi parametrami.

Wyznaczanie napięcia Halla i jego niepewności

4. Dokonać aproksymacji napięcia Halla $U_H = B \cdot \bar{a} + \bar{b}$ dla przyjętej w punkcie 1 wartości indukcji pola magnetycznego.
5. Wyznaczyć niepewność standardową złożoną $u_c(U_H) = \sqrt{B^2 \cdot u(\bar{a})^2 + u(\bar{b})^2}$.
6. Wyznaczyć niepewność standardową złożoną względną $u_{c,r}(U_H) = \frac{u_c(U_H)}{U_H}$.
7. Wyznaczyć niepewność rozszerzoną $U(U_H) = 2 \cdot u_c(U_H)$.

Wyznaczanie koncentracji nośników i ich niepewności

8. Wyznaczyć koncentrację nośników ładunku (dla wybranych wartości np. : $I_p = 30$ mA oraz $B = 200$ mT)

$$n = \frac{B \cdot I_p}{e \cdot d \cdot U_H}$$

gdzie: B – indukcja pola magnetycznego, I_p – prąd płynący przez próbkę, e – ładunek elektronu, d – grubość próbki.

9. Wyznaczyć niepewność standardową złożoną względną

$$u_{c,r}(n) = \sqrt{\left(\frac{u(U_H)}{U_H}\right)^2 + \left(\frac{u(B)}{B}\right)^2 + \left(\frac{u(I_p)}{I_p}\right)^2}.$$

10. Wyznaczyć niepewność standardową złożoną $u_c(n) = n \cdot u_{c,r}(n)$.

11. Wyznaczyć niepewność rozszerzoną $U(n) = 2 \cdot u_c(n)$.

Wyznaczanie ruchliwości nośników i ich niepewności

12. Wyznaczyć napięcie $\overline{U_p}$ jako średnią arytmetyczną z pomiarów.

13. Obliczyć ruchliwość nośników (dla wybranych wartości np. dla $I_p = 30$ mA oraz $B = 200$ mT)

$$\mu_n = \frac{I}{U_p} \frac{l}{b d e n} = \frac{U_H \cdot l}{U_p \cdot b \cdot B}$$

gdzie: b – szerokość próbki, l – długość próbki.

14. Wyznaczyć niepewność standardową złożoną względną

$$u_{c,r}(\mu_n) = \frac{u_c(\mu_n)}{\mu_n} = \sqrt{\left(\frac{u_c(U_H)}{U_H}\right)^2 + \left(\frac{u(U_p)}{U_p}\right)^2 + \left(\frac{u(B)}{B}\right)^2}$$

15. Wyznaczyć niepewność standardową złożoną $u_c(\mu_n) = \mu_n \cdot u_{c,r}(\mu_n)$.

16. Wyznaczyć niepewność rozszerzoną $U(\mu_n) = 2 \cdot u_c(\mu_n)$.

5. Podsumowanie

1. Zgodnie z regułami prezentacji wyników zestawień wyznaczone wielkości:

$(U_H, u(U_H), u_{c,r}(U_H), U(U_H))$ oraz wartość odniesienia,

$(n, u(n), u_{c,r}(n), U(n))$ oraz wartość odniesienia,

$(\mu_n, u(\mu_n), u_{c,r}(\mu_n), U(\mu_n))$ oraz wartość odniesienia.

2. Przeanalizować uzyskane rezultaty:

a) która z niepewności pomiarowych wnosi największy wkład do niepewność $u_{c,r}(U_H)$,

b) czy spełniona jest relacja $u_{c,r}(U_H) < 0,1$,

c) czy spełniona jest relacja $|U_{H-teoria} - U_H| < U(U_H)$,

d) która z niepewności pomiarowych wnosi największy wkład do niepewność $u_{c,r}(n)$,

e) czy spełniona jest relacja $u_{c,r}(n) < 0,1$,

f) czy spełniona jest relacja $|n_{teoria} - n| < U(n)$,

g) która z niepewności pomiarowych wnosi największy wkład do niepewność $u_{c,r}(\mu_n)$,

h) czy spełniona jest relacja $u_{c,r}(\mu_n) < 0,1$,

i) czy spełniona jest relacja $|\mu_{n-teoria} - \mu_n| < U(\mu_n)$,

j) czy pomiary były prowadzone w stałej temperaturze,

pod kątem występowania i przyczyn błędów grubych, systematycznych i przypadkowych.

3. Synteza.

a) Wyciągnąć wnioski pod kątem występowania błędów grubych, systematycznych i przypadkowych oraz ich przyczyn.

b) Zaproponować działania zmierzające do podniesienia dokładności wykonywanych pomiarów.

c) Wyjaśnić czy cele ćwiczenia zostały osiągnięte.

6. Przykładowe pytania

Zamieszczone są na stronie www.wtc.wat.edu.pl w dziale

DYDAKTYKA – FIZYKA – ĆWICZENIA LABORATORYJNE.

1. Omówić zjawisko Halla w metalach i półprzewodnikach.
2. Omówić zjawiska towarzyszące zjawisku Halla.
3. Omówić zasadę pomiaru zjawiska Halla.
4. Omówić ruch elektronów w polu elektromagnetycznym.
5. Wyjaśnić pojęcia koncentracji i ruchliwości.
6. Siła Lorentza - omówić oraz wyjaśnić metodę wyznaczania jej kierunku i zwrotu.
7. Półprzewodnik samoistny a domieszkowany.
8. Jak zachowuje się elektron a jak dziura w próbce do badania efektu Halla (jak określić typ przewodności próbki).

Dodatkowe zadania do wyznaczenia i analizy

1. W opracowaniu punkty 1-16 wykonać dla ujemnej wartości prądu $I_p = -30$ mA. Obliczenia wykonać dla $I_p = -30$ mA oraz $B = 200$ mT.
2. Wykonać Wykres 2 - charakterystyki ruchliwości ładunków dla wybranej wartości prądu $I_p > 0$ lub $I_p < 0$ oraz indukcji magnetycznej w zakresie od 0 mT do 200 mT. Na wykres nanieść punkty pomiarowe wraz z niepewnościami. Przebieg funkcji aproksymować metodą najmniejszych kwadratów Gaussa. Wyniki poddać analizie i wyciągnąć wnioski.
3. Wykonać Wykres 3 - charakterystyki koncentracji ładunków dla wybranej wartości prądu $I_p > 0$ lub $I_p < 0$ oraz indukcji magnetycznej w zakresie od 0 mT do 200 mT. Na wykres nanieść punkty pomiarowe wraz z niepewnościami. Przebieg funkcji aproksymować metodą najmniejszych kwadratów Gaussa. Wyniki poddać analizie i wyciągnąć wnioski.
4. Przeprowadzić pomiary według schematu podstawowego dla innej wartości prądu I_p . Wyniki poddać analizie i wyciągnąć wnioski.
5. Wykonać odpowiednie pomiary oraz Wykres 4 – charakterystykę napięcia Halla w funkcji prądu płynącego przez próbkę dla ustalonego pola magnetycznego. Na wykres nanieść punkty pomiarowe wraz z niepewnościami. Przebieg funkcji aproksymować metodą najmniejszych kwadratów Gaussa. Wyniki poddać analizie i wyciągnąć wnioski.
6. Określić rodzaj przewodnictwa (dziurowe albo elektronowe) w badanej próbce.
7. Wyznaczyć współczynnik korelacji liniowej dla wyznaczonej prostej. Wynik poddać analizie i wyciągnąć wnioski.

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y}) \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] \cdot \left[\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]}$$

sprawdził dr inż. Zbigniew Krajewski, wersja z dnia 21.09.2022

Zespół w składzie

cele ćwiczenia:

- a) wyznaczenie napięcia Halla;
- b) wyznaczenie koncentracji nośników;
- c) wyznaczenie ruchliwości nośników;

dla różnych prądów płynących przez próbkę.

1. Wartości teoretyczne wielkości wyznaczanych lub określanych wraz z niepewnościami:

rezystywność próbki w temperaturze 20 °C:

Ge-p około 2,5 – 3,0 Ω cm, Ge-n około 2,0 – 2,5 Ω cm, Ge około 0,5 Ω cm

.....

.....

2. Potwierdzić na stanowisku wartości parametrów i ich niepewności!

wymiary próbki Ge: grubość $d = 1$ mm, szerokość $b = 10$ mm, długość $l = 20$ mm,

.....

.....

3. Pomiary i uwagi do ich wykonania.

Niepewność pomiaru prądu ΔI_p +/- 1 mA

Niepewność pomiaru napięcia ΔU_H ΔU_p

Zakres	Rozdzielczość	Dokładność
200 mV	100 μ V	+/-0,5 % rdg. + 2 dgt.
2 V	1 mV	
20 V	10 mV	
200 V	100 mV	
1000 V	1 V	+/-0,8 % rdg. + 2 dgt.

Niepewność pomiaru indukcji pola magnetycznego ΔB +/- 2 %

Niepewność pomiaru temperatury ΔT

$I_p = + \dots\dots\dots$						$I_p = - \dots\dots\dots$					
$T_p = \dots\dots\dots T_k = \dots\dots\dots$						$T_p = \dots\dots\dots T_k = \dots\dots\dots$					
B [mT]	$U_H \dots\dots$	$U_p \dots\dots$	B [mT]	$U_H \dots\dots$	$U_p \dots\dots$	B [mT]	$U_H \dots\dots$	$U_p \dots\dots$	B [mT]	$U_H \dots\dots$	$U_p \dots\dots$
0			0			0			0		
10			-10			10			-10		
20			-20			20			-20		
30			-30			30			-30		
40			-40			40			-40		
50			-50			50			-50		
60			-60			60			-60		
70			-70			70			-70		
80			-80			80			-80		
90			-90			90			-90		
100			-100			100			-100		
110			-110			110			-110		
120			-120			120			-120		
130			-130			130			-130		
140			-140			140			-140		
150			-150			150			-150		
160			-160			160			-160		
170			-170			170			-170		
180			-180			180			-180		
190			-190			190			-190		
200			-200			200			-200		

Data i podpis osoby prowadzącej