

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA
WYDZIAŁ ELEKTRONIKI

KIERUNEK: AUTOMATYKA I ROBOTYKA
SPECJALNOŚĆ: ROBOTYKA

PRACA DYPLOMOWA
INŻYNIERSKA

Projekt robota usługowego do zastosowań
domowych

Project of a service robot for home purposes

AUTOR:

Albert Lis

PROWADZĄCY PRACĘ:

dr inż. Mateusz Cholewiński,

Wydział Elektroniki, Katedra Cybernetyki i Robotyki

OCENA PRACY:

Spis treści

1.	Wstęp	4
1.1.	Wprowadzenie	4
1.2.	Cel i zakres pracy	4
2.	Wstęp teoretyczny	5
3.	Konstrukcja	7
3.1.	Wybór mikrokontrolera	7
3.2.	Pomiar odległości	8
3.3.	Pomiar odległości od podłogi	9
3.4.	Napęd	9
3.5.	Rozpoznawanie pozycji	10
3.6.	Zasilanie	11
	Literatura	13
A.	Tytuł dodatku	14
B.	Opis załączonej płyty CD/DVD	15

Skróty

IoT (ang. Internet of Things)

DMA (ang. Direct Memory Acces)

ADC (ang. Analog-to-digital converter)

PLL (ang. Phase-locked loop)

API (ang. Application programming interface)

HAL (ang. Hardware Abstraction Layer)

SPL (ang. Standard Peripheral Libraries)

USB (ang. Universal Serial Bus)

IR (ang. infrared)

RPM (ang. revolutions per minute)

DC (ang. Direct current)

PWM (ang. Pulse-Width Modulation)

CMOS (ang. Complementary Metal-Oxide Semiconductor)

TTL (ang. Transistor-transistor logic)

(ang.)

Rozdział 1

Wstęp

1.1. Wprowadzenie

Robotyka jest obecnie prężnie rozwijającą się dziedziną nauki. Niskie ceny mikrokontrolerów oraz duża konkurencyjność firm na rynku powodują przenikanie urządzeń robotycznych z zastosowań specjalnych do życia codziennego. Urządzenia te, mogą oszczędzać zasoby ludzkie w codziennych prostych czynnościach. Dodatkowo projekty takie jak Arduino [2] pozwalają na tworzenie tych urządzeń bez specjalistycznej wiedzy. Kolejnym czynnikiem dynamizującym popularyzację automatyzacji i robotyki jest stopniowe wprowadzanie sieci 5G [6]. Pozwoli ona na wykorzystanie potencjału IoT oraz znaczną automatyzację działania urządzeń robotycznych. W tej pracy skupiono się na budowie urządzenia wspomagającego prace sprzątające.

Na rynku istnieje wiele konstrukcji robotów sprzątających. Skupiają się one głównie na pracy jako odkurzacze. Natomiast liczba autonomicznych robotów myjących podłogi jest zdecydowanie mniejsza. Głównie są to proste roboty mopujące. Robot przedstawiony w pracy ma za zadanie wypełnić lukę między małymi i prostymi urządzeniami, a dużymi do zastosowań profesjonalnych.

1.2. Cel i zakres pracy

Celem jest zaprojektowanie, zbudowanie i zaprogramowanie autonomicznego robota myjącego podłogi do zastosowań niekomercyjnych. Robot powinien:

1. Posiadać wirujące szczotki myjące podłogi
2. Posiadać system dozujący wodę z detergentem
3. Posiadać system zbierający zużytą wodę z podłogi
4. Potrafić rozpoznawać i omijać przeszkody
5. Potrafić rozpoznawać niebezpieczne różnice wysokości podłogi
6. Posiadać system jezdny pozwalający łatwo osiągać zadane położenia
7. Posiadać możliwość określania swojej bieżącej pozycji
8. Sygnalizować zdarzenia nadzwyczajne
9. Posiadać system ładowania baterii

Rozdział 2

Wstęp teoretyczny

Robot mobilny - robot, który potrafi zmieniać swoje położenie w przestrzeni. Może być robotem autonomicznym, czyli takim który realizując swoje zadanie porusza się bezkolizyjnie w wyznaczonym środowisku oraz robi to bez ingerencji operatora.

Roboty mobilne można podzielić ze względu na ich mobliność:

- kołowe
- kroczące
- latające
- pływające

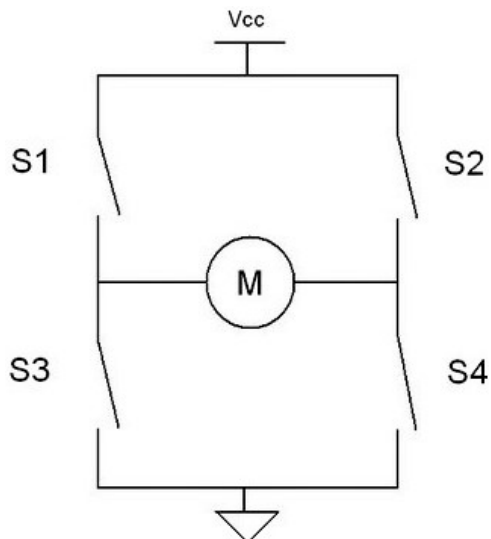
Z kolei w robotach kołowych możemy rozróżnić następujące klasy:

- (3,0) - robot posiadający 3 koła szwedzkie. Najczęściej spotykany w formie trójkątnej platformy z przymocowanymi kołami do wierzchołków trójkąta. Jego zaletą jest możliwość poruszania się w dowolnym kierunku. Natomiast wadą trudne sterowanie.
- (2,1) - robot posiada 2 koła kastora z tyłu oraz jedno obrotowe, napędowe z przodu. Zaletą jest prostota konstrukcji natomiast wadą trudne sterowanie oraz wrażliwość na nierówności terenu.
- (2,0) - robot tzw. unicycle. Posiada 2 niezależnie napędzane koła, ustawione naprzeciwko siebie. Są one przymocowane na sztywno do ramy. Robot ten musi posiadać także punkt podparcia, którym najczęściej jest koło kastora. Plusami takiego rozwiązania jest prostota sterowania oraz konstrukcji. Dodatkowo robot posiada możliwość obrotu w miejscu. Minusem natomiast jest jego wrażliwość na nierówności.
- (1,2) - robot posiada 2 koła napędowe, skrętne oraz jedno koło kastora służące za podporę. Konstrukcja wymaga zastosowania 3 silników, 2 do zmiany kąta każdego z kół oraz jeden napędowy. Tak więc minusem takiego rozwiązania jest jego skomplikowane sterowanie
- (1,1) - robot nazywany także samochodem kinematycznym ponieważ zachowuje się podczas sterowania jak zwykły samochód. Jego plusem jest niska wrażliwość na nierówności powierzchni, a jego minusem duży promień skrętu.

Jedynym holonomicznym z wyżej wymienionych klas robotów mobilnych kołowym, jest klasa (3,0).

Holonomiczność - to w uproszczeniu brak ograniczeń na przeprowadzenie ruchu.

Do sterowania kierunkiem obrotów silnika szczotkowego DC wykorzystuje się układ zwany mostkiem H. Jest on przedstawiony schematycznie na rysunku 2.1.



Rys. 2.1: Schemat mostka H

Styki oznaczone literą S i silnik oznaczony literą M przypominają kształt dużej litery H. Jego działanie polega na zwieraniu odpowiednio styków S1 oraz S4 aby uzyskać kierunek obrotów w jedną stronę. Chcąc uzyskać obroty w drugą stronę należy zewrzeć styki S2 i S3. Należy mieć na uwadze odpowiednie sterowanie ponieważ załączenie w jednym czasie styków S1 i S3 lub S2 i S4 spowoduje zwarcie.

Rozdział 3

Konstrukcja

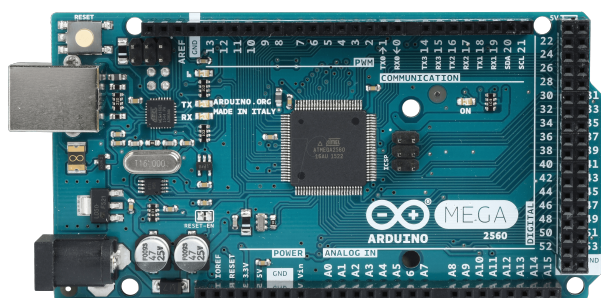
3.1. Wybór mikrokontrolera

W przypadku robota autonomicznego istotną jego częścią jest jednostka logiczna, która nim steruje. Powinna być wystarczająco wydajna aby umożliwić szybkie podejmowanie decyzji na podstawie odczytów z czujników oraz stanu wewnętrznego robota. W przypadku braku zewnętrznego sterowania przez operatora, robot sam powinien unikać kolizji oraz decydować o kierunku poruszania się.

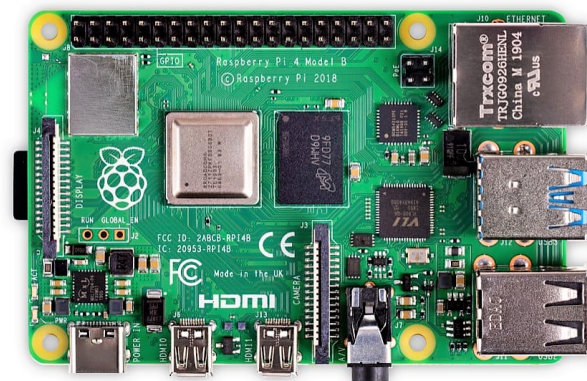
Obecnie dostępnych jest wiele rodzajów mikrokontrolerów, a konkurencyjność zapewnia niskie ceny zakupu. To sprawia, że są one w zasięgu finansowym przeciętnego człowieka. Najbardziej rozpowszechnioną platformą jest seria Arduino [2]. Posiada ona dużą ilość użytkowników i dzięki temu można łatwo uzyskać wsparcie w przypadku problemu z platformą. Przykładową gotową płytką z 8-bitowym procesorem ATmega2560 jest Arduino Mega 3.1. Posiada zegar o maksymalnej częstotliwości 16Mhz, 54 piny cyfrowe (w tym 15 PWM i 6 wspierających przełączanie), 16 pinów analogowych i 6 timerów. Cena w przypadku nieoryginalnej wersji płytki wynosi około 7\$ (28zł)

Kolejnym przykładem rodziny mikrokontrolerów z dużym wsparciem użytkowników jest Raspberry Pi. Przykładową płytką jest Raspberry Pi 4 model B 3.1. Posiada 4-rdzeniowy, 64-bitowy procesor o taktowaniu GHz, od 1 do 4GB pamięci RAM oraz 40 pinów cyfrowych. Zaletą tej płytki jest jej wysoka wydajność i możliwość wgrania pełnoprawnego systemu operacyjnego. Przykładem może być system operacyjny Rasbian [7]. Jest to wersja Linuxa podobna do systemu Debian. Minusem jest cena która dla najnowszego modelu wynosi około 50\$ (200zł) natomiast dla starszej wersji około 40\$ (160zł).

a)

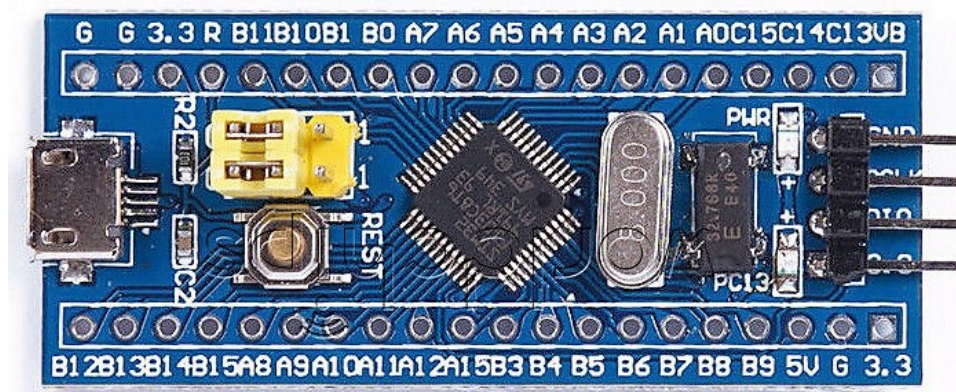


b)



Rys. 3.1: Mikrokontrolery: a) Arduino Mega, b) Raspberry Pi

Trzecią alternatywą łączącą pozytyw obu wymienionych wcześniej platform są mikrokontrolery STM32. Przykładową płytką jest STM32F103 Blue Pill 3.2. Posiada 32 konfigurowalne piny, 16 może obsługiwać zewnętrzne przerwania, 10 pinów połączonych z przetwornikiem ADC. Dodatkowo 18 może pracować z napięciem 5V (sam procesor pracuje na napięciu 3.3V) co może być przydatne zważywszy na fakt, że większa część gotowych modułów pracuje w logice 5V. Procesor wyposażony jest również w kontroler DMA, który pozwala na pomiary ADC oraz komunikację bez użycia procesora. Maksymalna nominalna częstotliwość taktowania wynosi 72MHz i dzięki pętli PLL może być łatwo konfigurowana. W przypadku niewielkiego braku mocy obliczeniowej istnieje możliwość łatwego overclockingu do 128MHz kosztem braku komunikacji przez USB. Procesor wyposażony jest także w 4 timery 16-bitowe, 4-kanalowe. Posiada także kilka możliwości wyboru API. Od wysokopoziomowego STM32duino, opartego na wspomnianym wcześniej Arduino, przez HAL oraz starsze SPL kończąc na systemie czasu rzeczywistego FreeRTOS [3]. Ogromnym plusem jest niska cena. Płytkę kosztuje około 1.5\$ (6zł).



Rys. 3.2: Mikrokontroler STM32F103 Blue Pill

Uwzględniając wskazane powyżej informacje wybrano płytkę STM32F103 Blue Pill. Zapewnia dobry bilans między ilością peryferiów i wydajnością w porównaniu do pozostałych możliwości. Dodatkowo cechuje się najniższą ceną zakupu.

3.2. Pomiar odległości

Do orientacyjnego pomiaru odległości od przeszkód został wykorzystany moduł z czujnikiem ultradźwiękowym HC-SR04 3.3. Czujnik pozwala na pomiar odległości w zakresie 2 – 400 cm z rozdzielczością 0.3 cm. W trakcie projektowania brano pod uwagę, że na pomiar wpływa również propagacja fal dźwiękowych. Dlatego uwzględniono dodatkowe czujniki wykrywające przeszkody.



Rys. 3.3: Ultradźwiękowy moduł pomiaru odległości

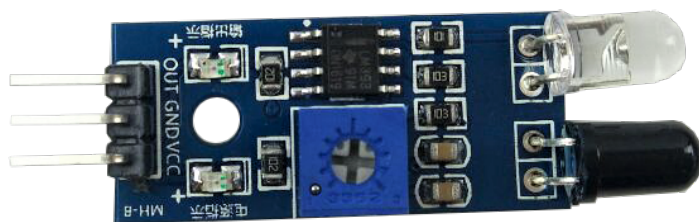
Aby dokonać pomiaru czujnikiem należy na wejście Trig podać stan wysoki na co najmniej $10\mu\text{s}$. Moduł wysyła wtedy 8 ultradźwiękowych fal o częstotliwości 40 kHz . Po odebraniu pomiaru na pinie Echo pojawia się stan wysoki. W zależności od odległości od wykrytej przeszkody czas trwania wynosi od $150\mu\text{s}$ do 22 ms . Jeśli nie wykryto przeszkody, czas stanu wysokiego wynosi 38 ms . Odległość w centymetrach można obliczyć korzystając z uproszczonej zależności 3.1.

$$d = \frac{t}{58} \text{ cm} \quad (3.1)$$

gdzie t - czas stanu wysokiego na pinie Echo w μs . **dodać przebiegi z oscyloskopu**

3.3. Pomiar odległości od podłogi

Aby uniemożliwić robotowi wjazd w niebezpieczny obszar i tym samym zapobiec m.in. spadnięciu ze schodów. Zastosowano czujniki odbiciowe IR mierzące aktualną odległość od podłogi Rys 3.4. Czujnik ten ma wbudowany komparator LM393 regulowany potencjometrem. W przypadku detekcji zbyt dużej odległości na pin sygnałowy wystawiany jest odpowiedni stan logiczny. Dzięki temu nie ma potrzeby robienia pomiarów ADC oraz obsługi sprzętowej. Pozwala to dzięki mechanizmowi przerwań mikrokontrolera na praktycznie natychmiastową reakcję w przypadku wykrycia niebezpieczeństwa.



Rys. 3.4: Odbiciowy czujnik IR

3.4. Napęd

Jako napęd robota wykorzystano silniki szczotkowe DC z wbudowaną przekładnią. Parametry znamionowe silnika przedstawione są w tabeli 3.1.

Parametr	Wartość
Napięcie zasilania	3 – 6 V
Prędkość obrotowa po redukcji (6 V)	100 RPM
Pobór prądu pod obciążeniem (6 V)	350 mA
Pobór prądu bez obciążenia (6 V)	170 mA
Siła ciągu na przekładni (6 V)	5.5 kg/cm

Tab. 3.1: Parametry znamionowe silników napędowych

Do sterowania silnikami wykorzystano mostek H zbudowany w oparciu o układ L9110S. Pozwala on na sterowanie zarówno prędkością jak i kierunkiem obrotów silników niezależnie od siebie. Parametry znamionowe mostka przedstawione są w tabeli 3.2.

Parametr	Wartość
Napięcie zasilania	5 – 12 V
Maksymalne napięcie zasilania silników	12 V
Maksymalny prąd na kanał	800 mA
Ilość kanałów	2
Poziom sygnałów sterujących mostkiem	CMOS/TTL

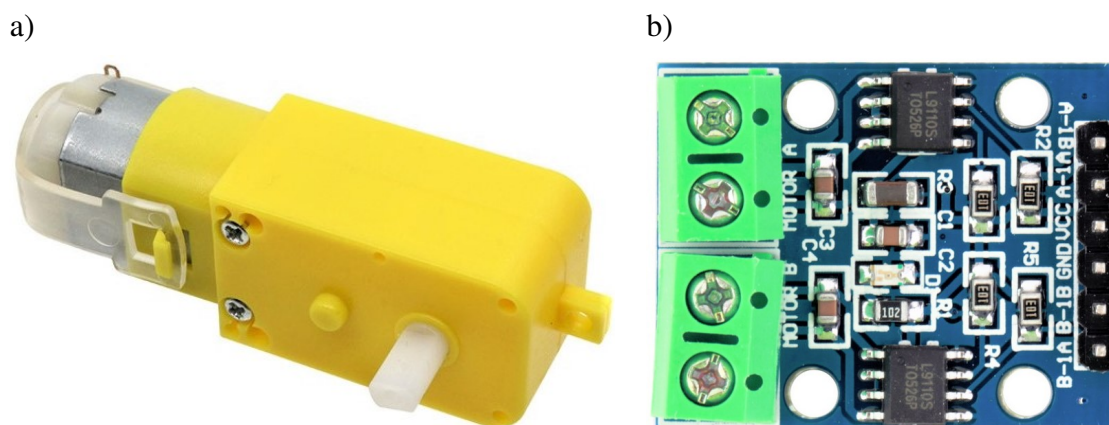
Tab. 3.2: Parametry znamionowe mostka H

Sygnały jakie trzeba podać na wejście sterownika aby uzyskać pożądane sterowanie zostały przedstawione w tabeli 3.3.

1A	1B	Stan silnika
0	0	Hamowanie silnikiem?
1	0	Do przodu
0	1	Do tyłu
1	1	Hamowanie silnikiem?

Tab. 3.3: Tabela prawdy mostka H

Silnik oraz mostek H przedstawione są na rysunku 3.5



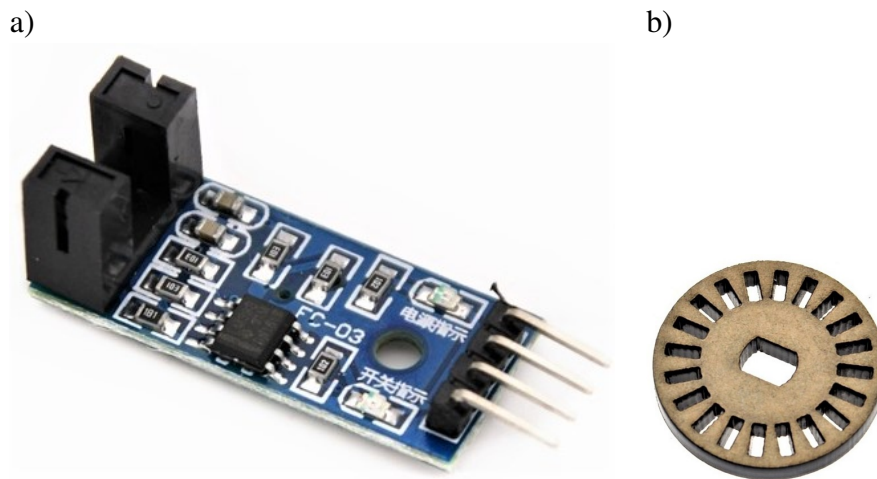
Rys. 3.5: Zdjęcia: a) Silnika DC, b) Mostka H

Do przeniesienia napędu wykorzystane zostały koła o średnicy 68 mm. Przy maksymalnej prędkości obrotowej silnika robot osiąga prędkość wynoszącą w przybliżeniu 3.56 cm/s.

3.5. Rozpoznawanie pozycji

Do obliczania aktualnej pozycji i orientacji robota wykorzystanie zostały czujniki szczelinowe w połączeniu z płytkami szczelinowymi. Czujnik optyczny posiada wbudowany komparator LM393 dzięki czemu istnieje prosta możliwość detekcji czy sygnał optyczny jest odbierany czy nie. W połączeniu z płytką szczelinową mocowaną na wale silnika daje to prosty enkoder impulsowy. Płytkę szczelinową posiada rozdzielczość 20 linii na obrót. Obsługując impulsy w przerwanach mikrokontrolera oraz wyzwalając przerwanie zarówno na zboczu narastającym jak i opadającym można osiągnąć rozdzielczość 40 impulsów na obrót. Uwzględniając średnicę koła niepewność pozycjonowania wynosi w przybliżeniu 5.34 mm. Jest ona zbyt duża aby zapewnić

precyzyjne sterowanie robotem. Dlatego zdecydowano się na zbudowanie przekładni zwiększającej ilość obrotów płytki enkodera. Przekładnia jest dwustopniowa z 5-krotnym wzmocnieniem w każdym ze stopni. Ostatecznie osiągamy 25-krotne zwiększenie prędkości obrotowej enkodera. Daje to nam 1000 impulsów na obrót i niepewność pozycjonowania wynoszącą w przybliżeniu 0.21 mm. Czujnik szczelinowy wraz z płytką enkodera zostały przedstawione na rysunku 3.6.



Rys. 3.6: Zdjęcia: a) Czujnik szczelinowy, b) Płytki szczelinowa

3.6. Zasilanie

Jako zasilanie wykorzystano 2 akumulatory Li-Ion 18650 połączone szeregowo. Napięcie nominalne takiego pakietu wynosi 7.4 V. Przewagą takiego rozwiązania względem połączenia równoległego jest zmniejszenie prądów płynących w przewodach zasilających. Przyczyni się to do mniejszych strat na rezystancjach połączeń oraz zwiększy żywotność przełącznika bistabilnego On/Off. Aby dopasować napięcie do zasilania mikrokontrolera oraz peryferiów wykorzystano 2 przetwornice obniżające napięcie zbudowane w oparciu o układ MP2307. Jedna została wyregulowana na napięcie 3.3 V, natomiast druga na 5 V. Parametry techniczne przetwornic zostały przedstawione w tabeli 3.4.

Parametr	Wartość
Napięcie wejściowe	4.75 – 23 V
Napięcie wyjściowe	1 – 17 V
Maksymalny prąd wyjściowy	Szczytowy 3 A, ciągły 1.8 A
Maksymalna sprawność konwersji	98 %
Częstotliwość przełączania	340 kHz

Tab. 3.4: Parametry znamionowe przetwornicy obniżającej napięcie

Baterie Li-Ion są bardzo wrażliwe zarówno na przeładowywanie [1] jak i nadmierne rozładowanie [4, 5]. Najniższe napięcie rozładowania jakiego nie zaleca się przekraczać wynosi 2.4 V, natomiast typową wartością eksploatacji jest 3 V [5]. Z drugiej strony nadmierne przeładowywanie również drastycznie wpływa na żywotność akumulatorów. Nominalnym napięciem ładowania jest 4.2 V. Jednak można ładować ogniwa do niższego napięcia zmniejsza się wtedy ich pojemność ale wzrasta żywotność. Wpływ końcowego napięcia ładowania na ogniwa przedstawiono w tabeli w oparciu o informacje ze źródła [1]

Napięcie końcowe V	Ilość cykli rozładowywania	Pojemność ogniwa
4.30 V	150 – 200	110 – 115 %
4.25 V	200 – 350	105 – 110 %
4.20 V	300 – 500	100 %
4.15 V	400 – 700	90 – 95 %
4.10 V	600 – 1000	85 – 90 %
4.05 V	850 – 1500	80 – 85 %
4.00 V	1200 – 2000	70 – 75 %

Tab. 3.5: Wpływ napięcia końcowego na żywotność akumulatorów Li-Ion

Literatura

- [1] Ładowanie li-ion. https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/how_to_prolong_lithium_based_batteries.
- [2] Arduino framework. <https://www.arduino.cc/>.
- [3] Freertos. <https://www.freertos.org>.
- [4] Rozładowywanie li-ion 1. https://batteryuniversity.com/learn/article/discharge_methods.
- [5] Rozładowywanie li-ion 2. https://batteryuniversity.com/learn/article/discharge_characteristics_li.
- [6] Strona polskiego ministerstwa cyfryzacji. <https://www.gov.pl/web/5g>.
- [7] System operacyjny raspian. <https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/>.

Dodatek A

Tytuł dodatku

Zasady przyznawania stopnia naukowego doktora i doktora habilitowanego w Polsce określa ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65 z 2003 r., poz. 595 (Dz. U. z 2003 r. Nr 65, poz. 595)). Poprzednie polskie uregulowania nie wymagały bezwzględnie posiadania przez kandydata tytułu zawodowego magistra lub równorzędnego (choć zasada ta zazwyczaj była przestrzegana) i zdarzały się nadzwyczajne przypadki nadawania stopnia naukowego doktora osobom bez studiów wyższych, np. słynnemu matematykowi lwowskiemu – późniejszemu profesorowi Stefanowi Banachowi.

W innych krajach również zazwyczaj do przyznania stopnia naukowego doktora potrzebny jest dyplom ukończenia uczelni wyższej, ale nie wszędzie.

Dodatek B

Opis załączonej płyty CD/DVD

Tutaj jest miejsce na zamieszczenie opisu zawartości załączonej płyty. Należy wymienić, co zawiera.