

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Výdejní automat
Radek Šimák

Bakalářská práce

2025

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Radek Šimák**
Osobní číslo: **I22031**
Studijní program: **B0714A150008 Automatizace**
Téma práce: **Výdejní automat**
Zadávající katedra: **Katedra automatizace a matematiky**

Zásady pro vypracování

Cílem práce je návrh a konstrukce ukázkového výdejního automatu. Teoretická část provede rozbor jednotlivých funkcí automatu a detekci chybových stavů, řeší komponent, pohony, drivery, detekci zboží, detekci mincí, zadávání. Praktická část práce pak provede návrh a konstrukci modelu výdejního automatu nabízejícího alespoň 4 druhy zboží. Zboží bude ze zásobníku dopravovat pohyblivý výtah, nebude padat volným pádem přímo. Praktická část bude obsahovat podrobnou dokumentaci zdrojového kódu.

Rozsah pracovní zprávy: **30-50**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] VÁŇA, V. Mikrokontroléry ATMEL AVR: popis procesoru a instrukční soubor. Praha: BEN technická literatura, 2003. 336 s. ISBN 978-80-7300-083-0.
[2] VÁŇA, V. Mikrokontroléry ATMEL AVR: programování v jazyce C. Praha: BEN technická literatura, 2003. 216 s. ISBN 978-80-7300-102-0.
[3] VLACH, J. Řízení a vizualizace technologických procesů. Praha: BEN technická literatura, 2002. 160 s. ISBN 978-80-86056-66-X.
[4] BRTNÍK, B. Základní elektronické obvody. Praha: BEN technická literatura, 2011. 156s. ISBN 978-80-7300-408-8
[5] RIPKA, P.; TIPEK, A. Master Book of Sensors. Praha : BEN, 2003. ISBN 0-12-752184

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Pavel Rozsival**
Katedra elektroniky a rádiových systémů

Datum zadání bakalářské práce: **15. prosince 2024**
Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2025**

prof. Ing. Petr Doležel, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

Ing. Libor Kupka, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

Prohlášení autora

Prohlašuji:

Práci s názvem **Výdejní automat** jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše. Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 05.05.2025

Radek Šimák v.r.

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu mé práce Ing. Pavlovi Rozsivalovi, za všechny jeho rady, trpělivost a ochotu za jakékoliv situace při vedení mé práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině, za motivaci a podporu při celém studiu.

Anotace

Práce se věnuje návrhu a konstrukci Výdejního automatu, dále se zabývá historií a různými funkcemi automatu, detekci chybových stavů, rešerši komponent, pohony, drivery, detekci zboží, detekci mincí a zadávání. Naprogramování funkčního kódu pro výdej 4 druhů zboží, pomocí pohyblivého výtahu.

Klíčová slova

Výdejní automat, Krokový motor, Servomotor, Senzor

Title

Vending machine

Annotation

The thesis deals with the design and construction of the Vending Machine, it also deals with the history and various functions of the machine, error condition detection, component search, drives, drivers, item detection, coin detection and entry. Programming of functional code for dispensing 4 types of goods, using moving elevator.

Keywords

Vending machine, Stepper motor, Servomotor, Sensor

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	9
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	10
ÚVOD.....	11
1 VÝDEJNÍ AUTOMATY	12
1.1 HISTORIE VÝDEJNÍCH AUTOMATŮ A JEJICH VÝZNAM	12
1.2 PRINCIP FUNGOVÁNÍ VÝDEJNÍHO AUTOMATU	13
1.3 ŘÍZENÍ A OVLÁDÁNÍ AUTOMATŮ	13
1.4 MOŽNOSTI ZADÁVÁNÍ POŽADAVKŮ	16
1.5 DETEKCE CHYBOVÝCH STAVŮ.....	18
2 TECHNOLOGICKÉ PRVKY	21
2.1 KOMPONENTY	21
2.2 POHONY	22
2.3 DRIVERY	22
2.4 DETEKCE ZBOŽÍ.....	24
2.5 DETEKCE MINCÍ.....	24
2.6 ZADÁVÁNÍ.....	25
3 PRAKTICKÁ ČÁST	26
3.1 NÁVRH:	26
3.1.1 3D návrh automatu	26
3.2 ELEKTRONICKÁ ČÁST	27
3.2.1 Schéma zapojení automatu.....	27
3.2.2 Vývojová deska:	28
3.2.3 Pojezd:	29
3.2.4 Zobrazovač:	31
3.2.5 Zdroj napětí:	32
3.2.6 Detektor platby:	32
3.2.7 Výdej zboží:	34
3.3 KONSTRUKCE:	35
3.3.1 Skříň automatu	35
3.3.2 Výdejní box	36
3.3.3 Výdejní pružina	37
3.3.4 Výtahový systém	38
3.3.5 Pojezdová část	39
3.3.6 Montáž trubic do podstavců:	40

3.4	KÓD PROGRAMU:.....	40
3.4.1	Inicializace komponent	41
3.4.2	Detekce stisku tlačítka.....	42
3.4.3	Spuštění výdejní funkce	43
3.4.4	Kompletní sekvence pohybu funkce	44
3.4.5	Funkce pro pohyb motoru	45
3.5	FINÁLNÍ PODOBA AUTOMATU	46
3.5.1	Kompletně osazená skříň	46
3.5.2	Montáž komponent na zadní straně čelního panelu	47
3.5.3	Zapojené servomotory.....	48
	ZÁVĚR	49
	SEZNAM ZDROJŮ	51
	PŘÍLOHA A – PROGRAM PRO ŘÍZENÍ AUTOMATU	56
	PŘÍLOHA B – 3D NÁVRH AUTOMATU.....	57

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1: 3D návrh automatu.....	27
Obrázek 2: Schéma zapojení	28
Obrázek 3: Mikroprocesor Arduino MEGA 2560	29
Obrázek 4: Piny driveru A4988	30
Obrázek 5: Motor NEMA17 s řemenicí.....	30
Obrázek 6: LCD 16x2 s modulem I2C.....	31
Obrázek 7: Síťový adaptér a měnič napětí LM2596	32
Obrázek 8: RFID čtečka s vestavěnou antenou.....	33
Obrázek 9: Servomotor MG995	34
Obrázek 10: Rozvržení dílů na desce	35
Obrázek 11: Sestavená skříň	36
Obrázek 12: Sestavený výdejní box	37
Obrázek 13: Výdejní box s přidělanou pružinou	38
Obrázek 14: Sestavený výtah	39
Obrázek 15: Montáž pojezdu	40
Obrázek 16: Inicializace komponent.....	41
Obrázek 17: Detekce stisku tlačítka	42
Obrázek 18: Spuštění výdejní funkce.....	43
Obrázek 19: Sekvence pohybu	44
Obrázek 20: Pohyb motoru	45
Obrázek 21: Sestavený funkční automat.....	46
Obrázek 22: Zadní strana čelního panelu	47
Obrázek 23: Zapojení servomotorů.....	48

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

PWM (pulsion modulate signal) = Pulzně šířková modulace

PLC (programmable logic controller) = Programovatelný logický automat

IoT (Internet of Things) = Internet věcí

LCD (Liquid crystal display) = Displej z tekutých krystalů

VCC (Virtual Channel Connection) = Spoj virtuálního kanálu

GND (Ground) = Uzemnění

RFID (Radio Frequency Identification) = Radiofrekvenční identifikace

NFC (Near-field communication) = Komunikace v blízkém poli

QR kód (Quick Response) = Kód rychlé odezvy

USB (Universal Serial Bus) = Univerzální sériová sběrnice

ÚVOD

Cílem mé práce bude vytvořit funkční model výdejního automatu. Jedná se o zařízení určené pro automatizovaný prodej zboží nebo poskytování specifických služeb bez potřeby obsluhy. Automat bude navržen tak, aby byl schopen vydávat čtyři různé druhy zboží. Výdej jednotlivých položek nebude realizován samospádem, ale prostřednictvím řízeného výtahového systému, který umožní přesné a bezpečné doručení zboží k výdejnímu okénku. Tento způsob výdeje přináší vyšší spolehlivost a umožňuje použití i u křehkých produktů.

Teoretická část této práce se zaměřuje na komplexní analýzu výdejních automatů z technického i historického hlediska. Nejprve bude představena stručná historie vývoje těchto zařízení, a to od jejich prvních mechanických verzí až po moderní elektronické systémy. Následně se práce bude podrobněji věnovat jednotlivým funkcím, které výdejní automaty typicky zajišťují – od mechanismů výdeje zboží, přes způsoby řízení uživatelského rozhraní, až po zabezpečení proti chybám a neoprávněnému použití.

Další část teorie se bude soustředit na detekci chybových stavů, která je zásadní pro bezproblémový provoz a bezpečnost zařízení. Následuje řešerše technických komponent, včetně senzorů, motorů, pohonů a řídicích jednotek (driverů), které hrají klíčovou roli v samotné funkci výdejního systému. Důležitou oblastí jsou také metody detekce zboží. Závěrem bude popsán proces zadávání požadavků uživatelem a jeho zpracování automatem

V praktické části se budu věnovat kompletnímu návrhu, konstrukci a zprovoznění funkčního výdejního automatu. Cílem bude vytvořit zařízení, které bude schopno samostatně vydávat produkty na základě uživatelského vstupu a bezkontaktní platby prostřednictvím RFID technologie. Postupně zde popíši jednotlivé fáze vývoje, od úvodního návrhu, přes konstrukci mechanických částí a návrh elektroniky, až po programování a otestování kompletního systému.

Součástí této kapitoly bude také podrobná dokumentace zdrojového kódu, která bude vysvětlovat funkci jednotlivých částí programu, jejich propojení s hardwarem a celkovou logiku řízení automatu.

1 VÝDEJNÍ AUTOMATY

V první kapitole práce bude stručně představena historie výdejních automatů a jejich význam. Následně bude představen princip fungování a možnosti řízení a ovládání výdejního automatu. Závěrem bude ještě pozornost věnována detekci chybových stavů.

1.1 Historie výdejních automatů a jejich význam

Současný zákazník je v dnešní moderní, konzumní, globalizované společnosti stále náročnější, a vyžaduje stále lepší a komfortnější služby. A právě výdejní automaty jsou jednou z možností, jak mohou být potřeby zákazníku uspokojeny (Vysekalová, 2011).

Výdejní automat lze definovat jako samoobslužné zařízení, ze kterého si lidé mohou vyzvedávat vybrané produkty, jako stroj vydávající malé předměty, jako je jídlo, nápoje, nebo cigarety. Ve výdejním automatu lze nakupovat vybrané produkty vložím mincí či žetonů, případně pomocí platební karty (Dictionary Cambridge, 2024).

Slovo automat pochází z řeckého slova *automatos*, ve smyslu samohybný nebo samočinný. Automat lze také chápat jako technické zařízení upravené tak, aby na zadaný spouštěcí impuls vykonával bez lidského zákroku předem určenou činnost, a to spolehlivě a samostatně (Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, 2024).

Jak uvádí zahraniční zdroje, výdejní automat by se neměl zaměřovat s výherním neboli hracím automatem, ani s hudebními automaty. První známé komerční užití prodejních automatů se přitom objevilo již v 18. století ve Velké Británii, a bylo určeno pro prodej tabáku. V USA pak byly v druhé polovině 19. století využívány výdejní automaty k prodeji žvýkaček na nástupišti nadzemní dráhy v New Yorku. Do třetiny 20. století byly automaty určeny pro prodej cigaret, bonbonů a žvýkaček. První automat na nealkoholické nápoje byl zaveden v roce 1937. V průběhu druhé světové války byly v USA automaty zaváděny jako automaty pro občerstvení zaměstnanců různých továren, kdy obsahovaly balené i čerstvé potraviny. V kontinentální Evropě se automaty začaly využívat zejména pro prodej cukrovinek a tabáku od konce 19. století (Tikkanen, 2024).

Význam prodejních automatů spočívá v jejich funkci poskytovat rychlý samoobslužný prodej bez časového omezení, tedy kdykoliv. Umožňuje zákazníkům snadný přístup k produktům,

snižuje čekací doby oproti například kamenným prodejnám, umožňuje prodej i na místech, na kterých by jinak zákazníci dané produkty získat nemohli. Automaty zvyšují efektivitu prodeje, snižují náklady a jsou pro zákazníky komfortní (Woodbine, 2007).

1.2 Princip fungování výdejního automatu

Výdejní automat je moderním strojem obsahujícím nejen produkty, ale také efektivní konstrukci a pokročilé platební systému. Pomocí dotykového displeje či zadáním kódu zboží zákazník vybere produkt, následně provede platbu. Zákazníci mohou například platit mincemi, bankovkami, platební kartou, ale také již pomocí mobilní aplikace nebo jinými bezkontaktními metodami. Zajištění těchto nových technologií umocní příjemný zážitek zákazníka z nákupu, zlepší zákaznickou zkušenost. Automat ověřuje vkládané typy mincí, identifikuje mince a bankovky pomocí senzoru či elektromagnetů (Barnes, 2024).

Po úspěšné platbě se aktivuje mechanismus výdeje, a ty mohou být různého typu. Klasickým typem jsou spirálové automaty, kdy se produkt uvolní otáčením spirály. Místo spirály lze ale také využít posouvání produktů pomocí pásu. Pásový výdejní systém zaručuje, že se zboží „nezasekne“ na spirále, a vždy je tak správně doručeno. Produkt je tedy vybraným mechanismem posunut do výdejní přihrádky, odkud si jej zákazník vezme. V případě přeplatku automat vrátí zpět mince. Moderní automaty také kontrolují stav zásob (Janeček, 2024).

1.3 Řízení a ovládání automatů

Řízení výdejních automatů prošlo v průběhu let výrazným vývojem. Od prvních mechanických systémů, které pracovaly na principu pružin a ozubených kol, se technologie posunula k elektromagnetickým a elektronickým řešením, která dnes umožňují komplexní automatizaci a integraci s moderními digitálními systémy. Správně navržený řídicí systém je hlavním prvkem výdejního automatu, neboť ovlivňuje jeho spolehlivost, rychlost a schopnost reagovat na uživatelské požadavky (Wongsuwan, Kallaka, Chaiwiwatworakul, 2021).

Nejstarším a zároveň nejjednodušším způsobem řízení výdejního automatu je mechanické řízení. Tento způsob se uplatňoval především u starších modelů automatů, které pracovaly na

principu uvolňování zboží pomocí pružin, ozubených koleček a vaček. Mechanické systémy jsou sice spolehlivé a nenáročné na údržbu, avšak mají zásadní nevýhodu v tom, že nejsou schopny flexibilně reagovat na změny a neumožňují vzdálené řízení ani diagnostiku chybových stavů (Meisel, Williams, 2015).

Další fází vývoje bylo elektromagnetické řízení, které již zahrnovalo použití elektromagnetických cívek a solenoidů k uvolňování zboží nebo aktivaci výdejního mechanismu. Tento princip se uplatňuje například v mincovnících, kde elektromagnet po přijetí správné mince spustí výdejní proces. I když tento systém zajišťuje spolehlivější provoz než čistě mechanické řešení, stále trpí určitými omezeními, především v oblasti flexibility a možnosti pokročilého řízení (Christopoulos, 2022).

Současné moderní výdejní automaty jsou zpravidla vybaveny elektronickým řízením, které využívá mikrokontroléry nebo programovatelné logické řadiče (PLC). Tyto řídicí jednotky umožňují precizní ovládání jednotlivých prvků automatu, jako jsou motory, senzory nebo displeje, a zároveň poskytují možnost softwarové aktualizace a vzdálené správy. Elektronické řízení umožňuje výdejním automatům nejen přijímat různé způsoby platby (hotovostní i bezhotovostní), ale také sledovat stav zásob v reálném čase, komunikovat s uživatelem prostřednictvím dotykového displeje nebo provádět samodiagnostiku chybových stavů (Solano et al., 2017).

Jednou z nejrozšířenějších metod řízení výdejních automatů v průmyslovém sektoru je PLC řízení (Programmable Logic Controller). PLC jednotky jsou navrženy tak, aby umožňovaly spolehlivé řízení sekvenčních operací v reálném čase. Výhodou PLC systémů je jejich vysoká odolnost vůči vnějším vlivům, dlouhá životnost a možnost napojení na průmyslové monitorovací systémy. Programování těchto řídicích jednotek se obvykle provádí v jazyce Ladder Logic, který vychází z logiky elektrických obvodů a je optimalizován pro ovládání složitých technologických procesů (Serhane et al., 2019).

Další alternativou elektronického řízení jsou mikrokontroléry, jako jsou ATmega (Arduino) nebo ESP32. Tyto platformy jsou populární zejména pro vývoj cenově dostupných a flexibilních řídicích systémů. Výhodou mikrokontrolérů je jejich nízká spotřeba energie, možnost snadné integrace se senzory a rozhraními, ale především široká komunita vývojářů, kteří vytvářejí a sdílí softwarové knihovny pro různé aplikace. Zatímco ATmega se využívá především pro jednodušší automatizační projekty, ESP32 poskytuje rozšířené možnosti, jako je

vestavěná podpora Wi-Fi a Bluetooth, což umožňuje vzdálené řízení a monitoring automatu například prostřednictvím webového rozhraní nebo mobilní aplikace (Kareem, Dunaev, 2021).

Programování řídicích systémů výdejních automatů se může realizovat v různých programovacích jazycích v závislosti na použité platformě. Mikrokontroléry, jako je Arduino nebo ESP32, se nejčastěji programují v jazyce C nebo C++, což umožňuje přímou práci s hardwarem a optimalizaci výkonu. V průmyslovém sektoru se často využívá Ladder Logic, který je přizpůsoben pro řízení PLC systémů a umožňuje intuitivní práci s logickými podmínkami a sekvenčním řízením. Pro sofistikovanější aplikace, například výdejní automaty s dotykovým displejem nebo umělou inteligencí, se používají vyšší programovací jazyky, jako je Python, který umožňuje zpracování dat, síťovou komunikaci nebo integraci s IoT technologiemi (Govil, Agrawal, Tippenhauer, 2018).

V moderní době se stále více uplatňuje řízení výdejních automatů pomocí webového rozhraní či mobilních aplikací. Tento přístup umožňuje uživatelům vzdáleně spravovat výdejní automat, sledovat zásoby, provádět aktualizace softwaru nebo získávat statistiky o prodejkách. K tomu se využívají technologie jako REST API pro komunikaci mezi serverem a výdejním automatem, MQTT pro přenos dat v reálném čase nebo webové frameworky, jako je Flask či Django, které umožňují vývoj uživatelských rozhraní pro správu automatu (Romanovskyi et al., 2022).

S rozvojem digitálních technologií roste také potřeba zajištění bezpečnosti výdejních automatů. Moderní automaty obsahují citlivé informace o transakcích a mohou být cílem kybernetických útoků. Proto se implementují různé bezpečnostní mechanismy, jako jsou přístupová práva, která omezují administrativní přístup k systému pouze oprávněným osobám, nebo šifrování dat pomocí TLS/SSL, které zajišťuje bezpečnou komunikaci mezi automatem a centrálním serverem. Dalšími bezpečnostními opatřeními jsou antivandal ochrana, využití vibračních senzorů k detekci pokusů o neoprávněné vniknutí nebo pravidelné aktualizace firmwaru pro eliminaci softwarových zranitelností (Murena et al., 2020).

K řízení výdejních automatů se používá široká škála softwarových nástrojů, přičemž jedním z nejčastěji využívaných je Arduino IDE, které slouží pro programování mikrokontrolérů a poskytuje uživatelsky přívětivé prostředí pro vývoj aplikací. Pro složitější simulační a analytické úlohy se využívá MATLAB Simulink, který umožňuje návrh a testování řídicích algoritmů. Průmyslové podniky často pracují se SCADA systémy, které umožňují monitorování a vzdálené řízení technologických procesů a jejich propojení s výdejními

automaty. Další platformou, která nachází uplatnění ve výdejních automatech s dotykovými displeji a kamerovými systémy, je Raspberry Pi, které lze programovat v Pythonu a využívat pro pokročilé aplikace s umělou inteligencí (Wong et al., 2019).

Vývoj řízení a ovládání výdejních automatů směřuje k vyšší automatizaci, propojení s IoT systémy a zlepšení uživatelského komfortu. Díky moderním technologiím se výdejní automaty stávají chytřejšími, efektivnějšími a bezpečnějšími, což přispívá k jejich širšímu využití v různých oblastech, od maloobchodu až po průmyslovou logistiku (Grzybowska et al., 2020).

1.4 Možnosti zadávání požadavků

Moderní výdejní automaty disponují širokou škálou možností zadávání požadavků, které se neustále vyvíjejí v souladu s technologickým pokrokem a požadavky uživatelů. Zatímco starší modely se spoléhaly především na mechanická tlačítka a jednoduché klávesnice, dnešní automaty umožňují interakci prostřednictvím dotykových displejů, mobilních aplikací nebo dokonce hlasového ovládání. Díky integraci s internetem věcí (IoT) je možné provádět objednávky na dálku a synchronizovat provoz automatů s externími systémy, což výrazně zvyšuje jejich efektivitu a uživatelský komfort.

Tradiční formou interakce s výdejními automaty je manuální zadávání požadavků prostřednictvím tlačítkové klávesnice. Tento způsob je stále rozšířený u jednodušších automatů, jako jsou nápojové nebo snackové automaty, kde si uživatel zvolí produkt zadáním příslušného číselného kódu. Výhodou tlačítkových klávesnic je jejich mechanická odolnost, snadná údržba a nenáročná obsluha. Nevýhodou je však omezená flexibilita a absence interaktivního uživatelského rozhraní (Iqbal, Campbell, 2021).

V moderních výdejních automatech je dotykový displej stále častěji nahrazován tradičními tlačítky, neboť umožňuje intuitivnější a přehlednější ovládání. Díky grafickému rozhraní může automat zobrazovat nejen samotný výběr produktů, ale i jejich detailní popis, cenu či dostupnost. Dotykové obrazovky navíc podporují různé jazykové mutace, což usnadňuje použití pro širokou škálu zákazníků. Některé automaty využívají kapacitní displeje, které reagují na dotyk prstu, zatímco jiné pracují s rezistivními dotykovými panely, jež lze ovládat i v rukavicích, což je výhodné například ve zdravotnických nebo průmyslových aplikacích (MacLaren, Harrigan, Dixon, 2015).

Dalším krokem v evoluci zadávání požadavků je ovládání pomocí mobilní aplikace. Moderní výdejní automaty jsou často vybaveny připojením k internetu, což umožňuje jejich integraci se specializovanými mobilními aplikacemi. Uživatelé mohou prostřednictvím aplikace vybírat zboží, provádět platby, a dokonce získávat informace o slevách nebo dostupnosti produktů v konkrétním automatu. Výhodou tohoto řešení je, že eliminuje nutnost fyzického kontaktu s automatem, což je hygieničtější a pohodlnější. Mobilní aplikace mohou být navíc propojeny s věrnostními programy, čímž se podporuje zákaznická loajalita a zvyšuje frekvence nákupů (Grech, Allman-Farinelli, 2015).

V posledních letech se bezkontaktní technologie staly standardem pro zadávání požadavků ve výdejních automatech. Umožňují rychlou a bezpečnou interakci mezi uživatelem a zařízením bez nutnosti přímého fyzického kontaktu. Mezi nejběžnější bezkontaktní technologie patří RFID (Radio Frequency Identification) a NFC (Near Field Communication) (Hamzah et al., 2019).

RFID technologie se často používá pro identifikaci uživatele nebo autorizaci přístupu k automatu. Uživatelé mohou využívat RFID karty nebo čipy, které automat rozpozná a přiřadí k určitému účtu nebo platební metodě. Tento systém je běžně využíván například ve firemních kantýnách, kde zaměstnanci mohou platit za občerstvení pomocí firemní karty propojené s jejich mzdovým účtem (Duroc, Tedjini, 2018).

Podobným způsobem funguje NFC, technologie, která umožňuje komunikaci na krátkou vzdálenost a je běžně integrována do moderních chytrých telefonů. NFC se používá například pro bezkontaktní platby prostřednictvím služeb jako Google Pay nebo Apple Pay. Výhodou NFC oproti RFID je, že uživatelé nemusí nosit speciální kartu – stačí přiložit svůj mobilní telefon nebo chytré hodinky k čtečce a platba proběhne okamžitě (Kulkarni, 2021).

Další moderní možností bezkontaktního zadávání požadavků je využití QR kódů. Uživatel naskenuje QR kód umístěný na výdejním automatu prostřednictvím mobilní aplikace, která mu následně umožní provést objednávku a platbu online. Tento způsob interakce eliminuje potřebu dotýkat se automatu a umožňuje rychlé a pohodlné odbavení zákazníků, například v rušných městských lokalitách nebo na dopravních uzlech (Iqbal, Campbell, 2021).

Jedním z nejmodernějších trendů v oblasti výdejních automatů je hlasové ovládání, které umožňuje uživatelům zadávat požadavky bez nutnosti použití tlačítek nebo displeje. Díky

pokročilým technologiím rozpoznávání hlasu je možné ovládat automat prostřednictvím hlasových asistentů, jako jsou Google Assistant nebo Amazon Alexa (Kheddar et al., 2023).

Hlasové ovládání je zvláště užitečné pro osoby se zrakovým postižením, neboť jim umožňuje přístup k výdejnímu automatu bez nutnosti vizuální interakce. Tento systém lze rovněž využít v situacích, kdy má uživatel plné ruce nebo je v pohybu a nemůže se dotýkat obrazovky. Výzvou v této oblasti zůstává přesnost rozpoznávání hlasu v hlučném prostředí, což je důvod, proč se zatím hlasové ovládání používá spíše experimentálně (Kheddar et al., 2023).

S rostoucím trendem internetu věcí (IoT) se výdejní automaty stále více propojují s chytrými technologiemi, což umožňuje dálkové řízení, monitoring a prediktivní analýzu provozu. IoT integrace přináší řadu výhod, mezi které patří (Yalli, Hasan, Badawi, 2024):

- Možnost předobjednávky zboží – zákazníci si mohou objednat produkt prostřednictvím mobilní aplikace a automat jim jej připraví k vyzvednutí. Tento systém se již využívá například u některých kaváren, kde si zákazníci mohou předem objednat kávu a následně ji vyzvednout bez čekání ve frontě.
- Sledování zásob v reálném čase – automat je schopen odesílat data o aktuální dostupnosti produktů provozovateli, což umožňuje optimalizaci dodávek a doplňování zboží.
- Dálkové ovládání a diagnostika – provozovatelé mohou na dálku monitorovat stav automatu, provádět softwarové aktualizace a v případě potřeby automat restartovat nebo upravit jeho nastavení.

Díky těmto inovacím se výdejní automaty stávají nejen rychlejšími a efektivnějšími, ale také inteligentnějšími a uživatelsky přívětivějšími. Zadávání požadavků je tak stále více přizpůsobováno moderním trendům a potřebám zákazníků, což přispívá k jejich širšímu využití v různých oblastech, od gastronomie přes farmaceutický průmysl až po retail.

1.5 Detekce chybových stavů

Detekce chybových stavů je důležitým prvkem každého výdejního automatu, neboť zajišťuje jeho spolehlivý provoz a minimalizuje výpadky, které by mohly vést k nespokojenosti zákazníků. Moderní automaty jsou vybaveny řadou senzorů a diagnostických mechanismů,

kteře umožňují identifikovat a řešit potenciální problémy ještě před tím, než dojde k jejich závažnému dopadu na funkčnost zařízení (Brtník, 2011).

Mezi nejčastější mechanické chyby patří zaseknutí zboží ve výdejním mechanismu nebo nesprávná funkce pohyblivých částí, například výtahového systému. K detekci těchto problémů se využívají optické senzory, váhové senzory nebo časové limity, které monitorují průběh výdeje. Pokud automat detekuje, že produkt nebyl správně vydán, může například opakovat pohyb výdejního mechanismu, vrátit peníze nebo upozornit obsluhu (Speck, 2018).

Další významnou kategorií jsou elektronické chyby, které zahrnují poruchy senzorů, komunikačních rozhraní nebo napájecího systému. Tyto chyby mohou být způsobeny například výpadkem napětí, poruchou mikrokontroléru nebo přerušením signálu mezi jednotlivými komponenty. Řešením je implementace systému samodiagnostiky, který periodicky testuje funkčnost hardwaru a v případě problému zobrazí chybové hlášení nebo odešle upozornění obsluze automatu (Peyghami, Palensky, Blaabjerg, 2020).

Softwarové chyby mohou nastat například v případě nesprávného zpracování plateb, chybné interpretace uživatelských vstupů nebo nekompatibility nových aktualizací. Moderní automaty často obsahují logovací systémy, které umožňují detailní analýzu chyb a usnadňují jejich diagnostiku. Kromě toho lze software nastavit tak, aby se automat dokázal v případě detekce neobvyklého chování sám restartovat nebo obnovit do předchozího stabilního stavu.

Velmi důležitou oblastí je také zabezpečení proti neoprávněné manipulaci, například snaha o vylomení platebního mechanismu nebo podvodné vkládání falešných mincí. K tomuto účelu se používají vibrační senzory, magnetické detektory pravosti mincí nebo kamery sledující podezřelé chování uživatelů. V případě detekce neoprávněné manipulace může automat například dočasně zablokovat platební systém nebo odeslat varování provozovateli (Gomzin, 2014).

Moderní výdejní automaty často disponují vzdáleným monitoringem, který umožňuje sledovat chybové stavy v reálném čase prostřednictvím internetového připojení. Provozovatel tak může na základě zaslaných diagnostických dat včas reagovat na možné poruchy, provádět preventivní údržbu nebo dokonce aplikovat softwarové opravy na dálku. Díky těmto technologiím se zvyšuje efektivita provozu automatů a minimalizují se neplánované odstávky (Christopoulos, 2022).

Efektivní detekce a prevence chybových stavů jsou tedy nezbytné pro zajištění dlouhodobého spolehlivého provozu výdejních automatů. Implementace pokročilých senzorů, automatické diagnostiky a vzdálené správy přispívá nejen ke zvýšení bezpečnosti, ale i ke zlepšení uživatelské zkušenosti a optimalizaci nákladů na údržbu zařízení (Christopoulos, 2022).

2 TECHNOLOGICKÉ PRVKY

Technologické prvky výdejního automatu hrají důležitou roli v jeho správném fungování a ovlivňují nejen jeho spolehlivost, ale i efektivitu a uživatelský komfort. Mezi nejdůležitější součásti patří komponenty zajišťující základní funkčnost, pohony a drivery umožňující pohyb výdejního mechanismu, systémy pro detekci zboží a mincí a technologie pro zadávání uživatelských požadavků. Každá z těchto kategorií zahrnuje široké spektrum řešení, která se liší v závislosti na typu a účelu konkrétního výdejního automatu.

2.1 Komponenty

Výdejní automat se skládá z řady elektronických, mechanických a softwarových komponent, které společně zajišťují jeho bezproblémový chod. Základní strukturu tvoří řídicí jednotka, která komunikuje s jednotlivými senzory a akčními členy a vykonává logiku celého systému. K nejběžněji používaným řídicím jednotkám patří mikrokontroléry, jako je ATmega328 (Arduino) nebo ESP32, případně PLC systémy, které se využívají především v průmyslových aplikacích (Idris, Irdyanti, Ramlee, 2024).

Další důležitou součástí jsou senzory, které slouží k monitorování různých aspektů provozu automatu. Optické senzory se používají pro detekci správného výdeje zboží, váhové senzory kontrolují přítomnost produktů ve výdejním prostoru a kapacitní senzory mohou sloužit k ovládní dotykového rozhraní. Teplotní senzory jsou důležité u automatů nabízejících chlazené nebo ohříváné produkty, kde je nutné udržovat požadovanou teplotu pro skladování zboží (Ripka, Típek, 2003).

Neméně důležité jsou komunikační moduly, které umožňují propojení výdejního automatu s externími systémy. Moderní automaty jsou často vybaveny Wi-Fi a Bluetooth moduly pro komunikaci s mobilními aplikacemi nebo GSM moduly umožňujícími vzdálené sledování a správu přes mobilní síť.

Napájení automatu zajišťuje zdroj napětí, obvykle transformátor nebo spínaný zdroj, který konvertuje elektrickou energii na požadované napětí a proud pro jednotlivé součásti systému. Záložní baterie může být přítomna v případě výpadku napájení, aby zajistila bezpečné ukončení operací nebo zaslání chybového hlášení provozovateli (Váňa, 2003).

2.2 Pohony

Pohony jsou základním prvkem mechanické části výdejního automatu, neboť umožňují přesný pohyb součástí automatu, například výtahového systému, otočných spirál nebo dopravníkových pásů (Wang, Valla, Solsona, 2019).

Mezi nejčastěji používané druhy pohonů patří (Hughes, Drury, 2019):

- Stejnosměrné motory (DC motory) – vhodné pro základní aplikace s nízkými požadavky na přesnost pohybu. Používají se například u dopravníkových systémů v automatech na nápoje nebo potraviny.
- Krokové motory – umožňují přesné polohování, a proto se často používají v systémech, kde je nutné zajistit precizní pohyb, například u výtahových mechanismů výdejních automatů.
- Servomotory – poskytují vysoký výkon a přesnou kontrolu polohy, což je ideální pro sofistikovanější systémy s adaptivním řízením.
- Lineární pohony – využívají se pro posunovací mechanismy, například u výdeje jízdenek nebo bankovních automatů.

Řízení pohonů probíhá prostřednictvím driverů, které poskytují potřebný výkon a přesné ovládání motorů. Správná volba pohonu je důležitá pro životnost a spolehlivost výdejního mechanismu (Merat et al., 2014).

2.3 Drivery

Drivery jsou elektronické moduly, které slouží k řízení motorů a dalších akčních prvků výdejního automatu. Jejich hlavním úkolem je zajištění stabilního a přesného ovládání motorů, což zahrnuje regulaci rychlosti, směru otáčení a případně i jemné polohování. Bez použití vhodného driveru by nebylo možné efektivně ovládat výdejní mechanismus, který v případě automatů často zahrnuje krokové motory, servomotory nebo stejnosměrné motory. Drivery umožňují přizpůsobení výkonu motoru aktuálním potřebám automatu a přispívají ke zvýšení jeho celkové energetické účinnosti (MacLaren, Harrigan, Dixon, 2015).

Každý motor vyžaduje přesné řízení v závislosti na typu použitého pohonu. Stejnosměrné motory (DC motory) potřebují jednoduchou regulaci napětí, která ovlivňuje jejich otáčky.

Krokové motory naopak vyžadují složitější řízení jednotlivých pulzů, aby bylo možné zajistit jejich přesné polohování. Servomotory se často ovládají pomocí PWM (Pulse Width Modulation) signálu, který nastavuje jejich natočení na požadovanou úroveň (Xu et al., 2018).

Mezi nejčastěji používané typy driverů v automatizaci výdejních systémů patří (Adimulam, Kokkiligadda, Polagani, 2024):

- L298N – Jedná se o běžný dvoukanálový driver, který je vhodný pro řízení stejnosměrných motorů a krokových motorů s nižším proudovým zatížením. Tento driver obsahuje integrované H-můstky, což umožňuje snadnou změnu směru otáčení motoru. L298N je často využíván v jednodušších výdejních automatech, kde není vyžadováno extrémně precizní řízení.
- A4988 – Specializovaný driver určený pro krokové motory s možností mikrokrokování. To znamená, že místo klasického kroku motoru umožňuje jeho jemnější rozdělení na menší úseky, čímž zajišťuje přesnější pohyb výdejního mechanismu. Tento driver se často využívá v 3D tiskárnách nebo CNC strojích, ale také ve výdejních automatech, kde je nutné přesné polohování výtahových systémů.
- TB6600 – Výkonný driver pro krokové motory, který je často využíván v průmyslových aplikacích s vyššími požadavky na výkon a přesnost řízení. Oproti A4988 poskytuje vyšší proudovou kapacitu, což umožňuje použití robustnějších motorů s větší silou. TB6600 se používá tam, kde je nutné zajistit spolehlivý chod výdejního systému i při vyšším zatížení, například u automatů s těžším zbožím nebo složitějším výdejním mechanismem.

Kromě základního řízení pohybu mají moderní drivery často ochranné mechanismy, které zvyšují bezpečnost a životnost celého systému. Mezi tyto ochrany patří například (Brtník, 2011):

- Ochrana proti přehřátí, která zajišťuje, že při dosažení určité teploty dojde k automatickému omezení výkonu nebo vypnutí motoru, čímž se předchází poškození součástek.
- Proudová ochrana, která brání přetížení motoru a zabraňuje zkratům.
- Automatická kompenzace napětí, která pomáhá udržet stabilní výkon motoru i při kolísání napětí.

Díky těmto funkcím jsou drivery nezbytnou součástí výdejních automatů, kde se starají o spolehlivý provoz motorických systémů, zajišťují precizní pohyb součástí a chrání celý systém před poškozením. Výběr správného driveru závisí na typu motoru, požadavcích na výkon, přesnost a podmínkách provozu daného automatu.

2.4 Detekce zboží

Aby výdejní automat správně fungoval, musí být vybaven mechanismy pro detekci zboží. Tyto systémy ověřují, zda byl produkt skutečně vydán, zda nejsou zásobníky prázdné nebo zda nedošlo k zaseknutí zboží.

Používají se především optické senzory, které sledují pohyb zboží během výdeje. Další možností jsou váhové senzory, které měří hmotnost zásobníků nebo výdejní plochy. Kapacitní senzory se využívají pro detekci přítomnosti zboží bez nutnosti přímého kontaktu (Zhang et al., 2019).

Díky těmto technologiím může automat automaticky informovat provozovatele o potřebě doplnění zásob nebo o chybě při výdeji.

2.5 Detekce mincí

Výdejní automaty často obsahují mincovníky, které umožňují platbu v hotovosti. Aby bylo možné zajistit spolehlivou detekci a ověření pravosti mincí, využívají se následující technologie (Ratnasri, Sharmilan, 2021):

- Mechanické mincovníky – jednoduché, ale méně bezpečné.
- Elektronické mincovníky – využívají magnetické senzory a snímání rozměrů mince.
- Multifrekvenční detekce – pokročilé systémy porovnávající elektrické a optické vlastnosti mincí.

Kromě mincovníků se stále více rozšiřují bezhotovostní platby, jako jsou platební karty, NFC technologie a mobilní aplikace.

2.6 Zadávání

Poslední důležitou součástí technologických prvků výdejních automatů je zadávání uživatelských požadavků. Nejčastější metody zahrnují (Gargioni, Fogli, Baroni, 2024):

- Tlačítkové klávesnice – jednoduché, ale méně intuitivní.
- Dotykové displeje – umožňují interaktivní výběr produktů.
- Mobilní aplikace – propojení s chytrými telefony pro vzdálené objednávky.
- Hlasové ovládání – využití umělé inteligence pro zadávání požadavků pomocí hlasových asistentů.

S rozvojem IoT a cloudových technologií se očekává, že výdejní automaty budou stále více propojené se vzdálenými správními systémy a umožní automatizované objednávky.

3 PRAKTICKÁ ČÁST

V této kapitole se zaměříme na návrh a samotnou konstrukci výdejního automatu. Ještě před tím, než jsem se pustil do jeho stavby, bylo potřeba promyslet, jak by měl celý automat vlastně vypadat a jaké funkce by měl splňovat.

Inspiraci jsem čerpal z různých zdrojů – ať už šlo o existující produkty na trhu, nebo o předchozí projekty a návrhy podobných zařízení. Díky tomu, jsem získal lepší představu o tom, co funguje dobře, a na co si dát naopak pozor. Na základě těchto poznatků jsem si pak mohl vytvořit vlastní návrh, který odpovídá tomu, co od automatu očekáváme – jak po technické stránce, tak z hlediska vzhledu a použitelnosti.

3.1 Návrh:

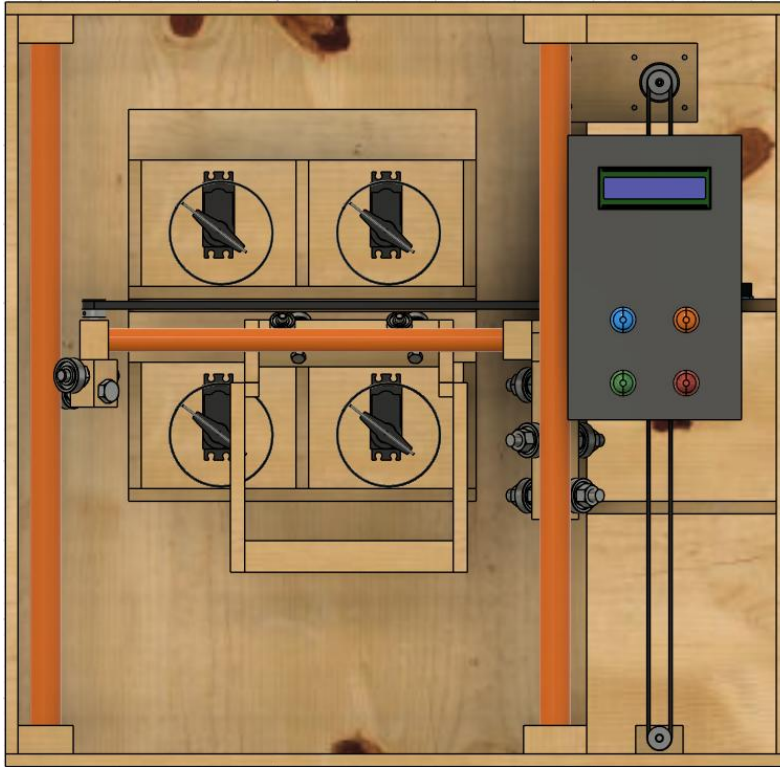
Po prostudování různých možností konstrukce výdejního mechanismu, byl zvolen výtah založený na principu posunu horizontální a vertikální osy. Díky výtahu je zboží bezpečně doručeno až k výdejnímu okénku a předejde se tím možnosti rozbití produktu po pádu z výšky. Vnější konstrukce automatu je složena z desek. Rozměry automatu jsou následující: 500x500 mm.

3.1.1 3D návrh automatu

Při návrhu výdejního automatu bylo důležité zaměřit se především na základní konstrukční prvky a logické rozmístění všech komponent v prostoru. Cílem bylo navrhnout zařízení tak, aby bylo nejen funkční a stabilní, ale zároveň přehledné a snadno sestavitelné. Pro tvorbu 3D modelu byl zvolen program **Autodesk Fusion 360**, který nabízí pokročilé nástroje pro parametrické modelování a přesnou práci s jednotlivými díly.

Díky 3D zobrazení bylo možné rychle a efektivně měnit návrh podle aktuálních potřeb – například upravovat rozměry jednotlivých částí, měnit jejich pozici nebo ověřit, zda se všechny komponenty vejdou na plánovaná místa bez kolizí. Velkou výhodou tohoto přístupu bylo i to, že ještě před samotnou výrobou bylo možné vizuálně zkontrolovat celý celek a případně předejít chybám, které by se v reálné konstrukci obtížně opravovaly.

Návrh ve 3D také pomohl lépe představit finální podobu zařízení nejen z hlediska funkčnosti, ale i z pohledu estetiky a ergonomie. Tento digitální model se navíc stal výchozím bodem pro další kroky – od výroby dílů až po montáž samotného automatu.



Obrázek 1: 3D návrh automatu

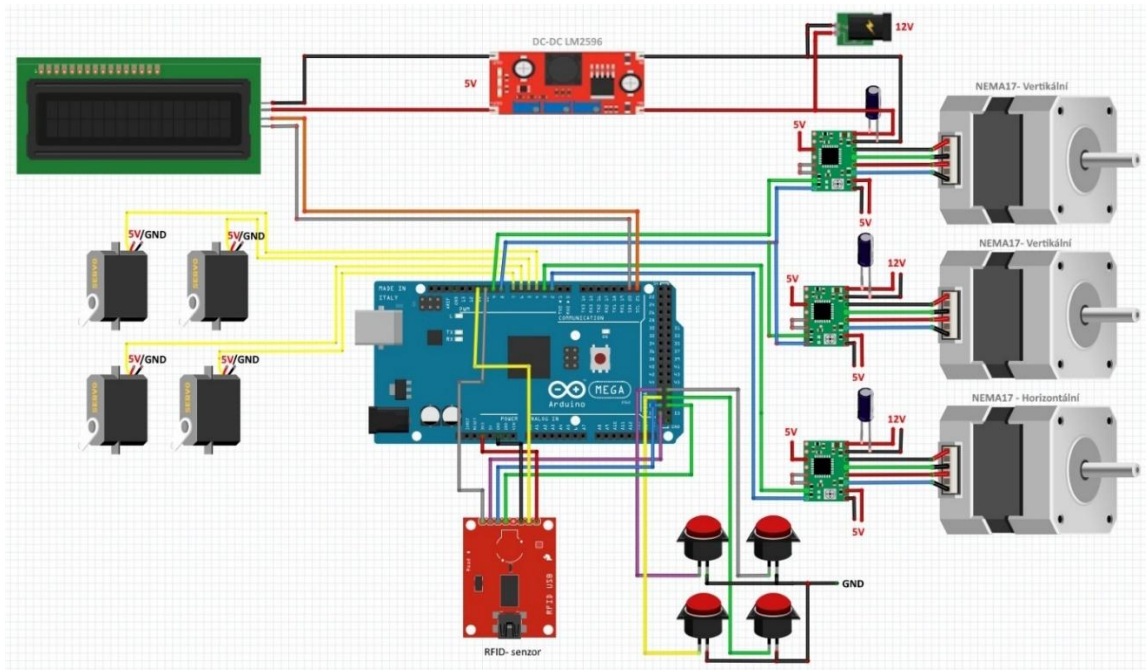
3.2 Elektronická část

3.2.1 Schéma zapojení automatu

Aby mohl výdejní automat správně fungovat, bylo nutné navrhnout přehledné a funkční elektrické zapojení, které propojí všechny potřebné komponenty – od řídicí jednotky přes napájení až po jednotlivé senzory, motory a ovládací prvky.

Celé schéma bylo vytvořeno s důrazem na přehlednost, jednoduchou údržbu a možnost rozšíření do budoucna. Kromě samotného propojení bylo nutné řešit i vhodné rozmístění vodičů a bezpečné oddělení jednotlivých napěťových úrovní, aby se předešlo rušení nebo poškození komponent.

Výsledné schéma zapojení slouží nejen jako návod pro sestavení zařízení, ale také jako důležitý dokument pro případné opravy, úpravy nebo další vývoj automatu.



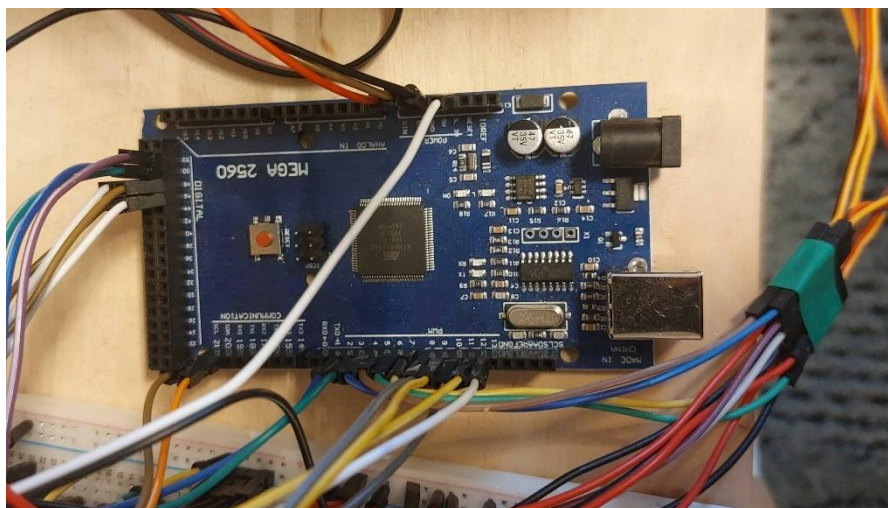
Obrázek 2: Schéma zapojení

3.2.2 Vývojová deska:

Pro řízení celého systému byla zvolena vývojová deska Arduino Mega 2560, a to především kvůli vysokému počtu vstupně-výstupních pinů. Tato deska disponuje 54 digitálními I/O piny, z nichž 15 může být použito jako PWM výstup, a dále 16 analogovými vstupy, což umožňuje snadné připojení velkého množství senzorů, tlačítek, motorů a dalších periférií.

Arduino Mega 2560 je vybaveno mikrokontrolérem ATmega2560, který běží na frekvenci 16 MHz. Pro komunikaci s počítačem a nahrávání kódu je použit USB–serial převodník CH340G, který zajišťuje spolehlivý přenos dat. Přestože nejde o originální převodník FTDI, CH340G je široce podporován a spolehlivě funguje se všemi hlavními operačními systémy po nainstalování odpovídajících ovladačů.

Deska byla zvolena nejen kvůli počtu pinů, ale také kvůli stabilitě a možnosti snadné rozšiřitelnosti. Díky množství dostupných knihoven a rozsáhlé komunitě okolo Arduina je programování jednotlivých komponent (např. servomotorů, senzorů, LCD displeje) velmi flexibilní a intuitivní. Arduino Mega 2560 je napájeno 5 V pomocí měniče napětí LM2596.



Obrázek 3: Mikroprocesor Arduino MEGA 2560

3.2.3 Pojezd:

Pro zajištění přesného a opakovatelného pohybu výtahu po vodících osách byly zvoleny tři krokové motory typu NEMA17, které jsou velmi běžné a spolehlivé pro projekty s vyššími nároky na přesnost pohybu. Jedná se o bipolární dvoufázové motory, které nabízejí vysoký točivý moment při nízkých otáčkách – ideální volba pro lineární pohyb výtahového systému.

Z toho jsou dva motory použity pro vertikální osu, čímž je zajištěna rovnoměrná distribuce síly a eliminace naklánění nebo nerovnoměrného zvedání výtahové platformy. Třetí motor ovládá horizontální pohyb, čímž se výtah posouvá mezi jednotlivými sloupci boxů.

Mechanický přenos síly je zajištěn pomocí řemenic GT2 s 30 zuby a ozubeného řemenu typu GT2, který je vyztužen skelným vláknem pro zvýšení pevnosti a snížení natahování při zatížení. Řemen má šířku 6 mm, což poskytuje dostatečnou styčnou plochu pro stabilní přenos síly bez prokluzu.

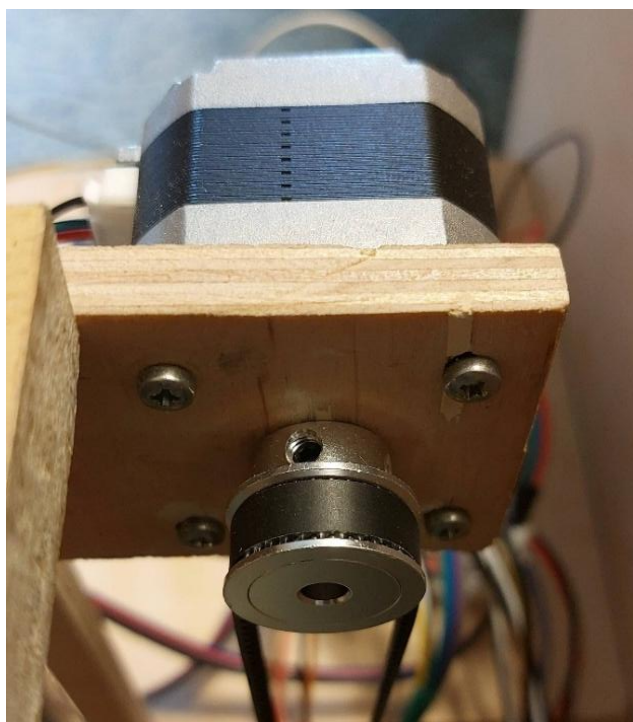
Motory typu NEMA17 poskytují rozlišení 200 kroků na jednu otáčku ($1,8^\circ$ na krok), což je pro tento typ zařízení naprosto dostačující. Napájení motorů je zajištěno pomocí externího napájecího zdroje 12 V a každý motor je ovládán pomocí příslušného krokového driveru, který je připojen k Arduino Mega 2560. Díky tomu je možné pomocí jednoduchého kódu přesně řídit směr, rychlost i počet kroků, které motor vykoná.

Pro řízení každého motoru NEMA17 je použit ovladač A4988. Jedná se o krokový driver, který umožňuje přesné řízení krokových motorů. Drivery jsou napájené pomocí 12 V z adaptéru.



Obrázek 4: Piny driveru A4988

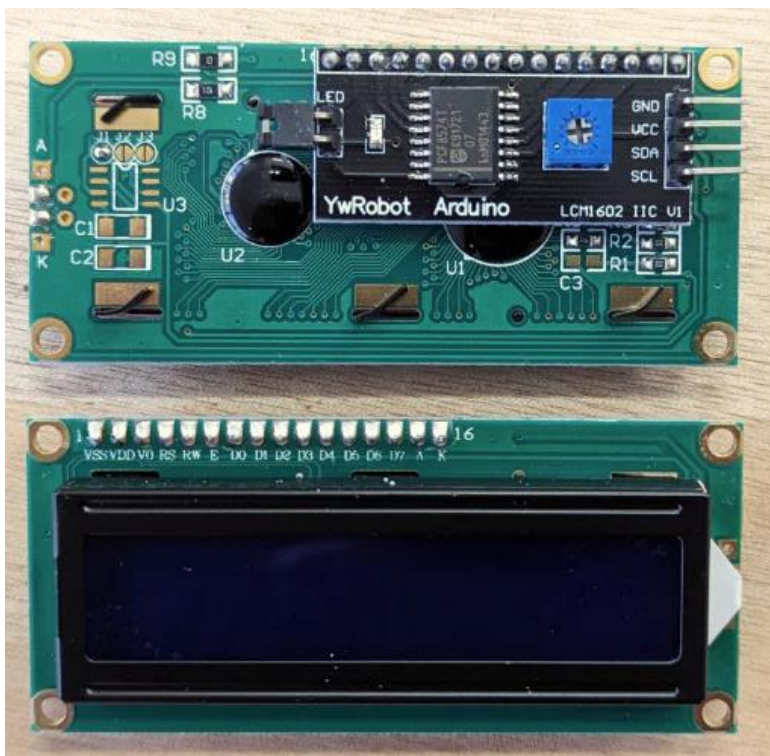
Piny 1 A, 1 B, 2 A a 2 B jsou piny pro připojení cívek motoru. Piny VMOT a GND je externí napájení motoru. Pin STEP určuje počet a rychlost kroků pomocí impulsů z mikrokontroleru. Je připojen na pin D3. Pin DIR určuje směr otáčení, pokud je DIR logická HIGH, motor se točí jedním směrem, pokud je DIR logická LOW, motor se otáčí opačným směrem. Pin je připojen na D2



Obrázek 5: Motor NEMA17 s řemenicí

3.2.4 Zobrazovač:

Pro zobrazení pokynů Výdejního automat, je využit znakový LCD displej s rozlišením 16×2, tedy s možností zobrazit 16 znaků ve dvou řádcích. Tento displej je pro tento projekt ideální, díky své nízké spotřebě a dobré čitelnosti. Aby byla komunikace mezi Arduinem a displejem efektivnější, je k modulu připojen I2C převodník. Tento modul umožňuje přenos dat po sběrnici I2C, která výrazně snižuje počet potřebných vodičů – namísto dvanácti propojení, která by byla nutná při přímém zapojení, jsou použity pouze čtyři: napájení (VCC a GND) a datové linky (SDA a SCL). I2C zjednodušuje komunikaci, protože je zapotřebí jen 4 vodičů místo původních 12 vodičů. Na displeji se zobrazují informace typu: výzvy k výběru zboží a potvrzení o úspěšném výdeji, což zvyšuje uživatelský komfort a přehlednost celého systému. LCD displej je připojen k Arduinu na piny SDA a SCL, displej je napájen pomocí měniče napětí LM2596. Pro komunikaci s displejem je použita knihovna LiquidCrystal_I2C.h

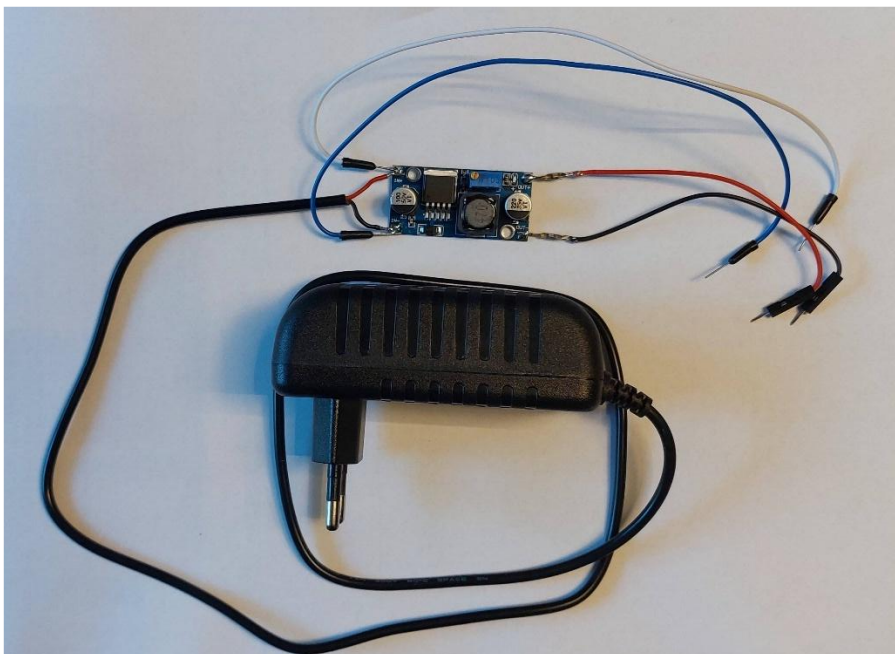


Obrázek 6: LCD 16x2 s modulem I2C

3.2.5 Zdroj napětí:

Pro napájení výdejního automatu je použit síťový adaptér, který převádí standardní síťové napětí 230 V AC (střídavé) na 12 V DC (stejnoseměrné) s maximálním výstupním proudem 3 A. Toto napětí je následně využito pro napájení krokových motorů NEMA17, které jsou součástí pohonného systému výdeje zboží. Krokové motory NEMA17 jsou známé pro svou vysokou přesnost a moment, což je ideální pro aplikace, kde je vyžadována kontrola pohybu na základě jednotlivých kroků.

K napájení součástek, které pracují s nižším napětím, byl použit DC-DC měnič typu LM2596. Tento modul slouží ke snížení vstupního napětí z 12 V na stabilizovaných 5 V. Napětí 5 V je následně využíváno pro napájení jednotlivých částí systému, jako je mikrokontroler Arduino, LCD displej nebo různé senzory. Výhodou tohoto spínaného měniče je jeho vysoká účinnost. (TEXAS INSTRUMENTS)



Obrázek 7: Síťový adaptér a měnič napětí LM2596

3.2.6 Detektor platby:

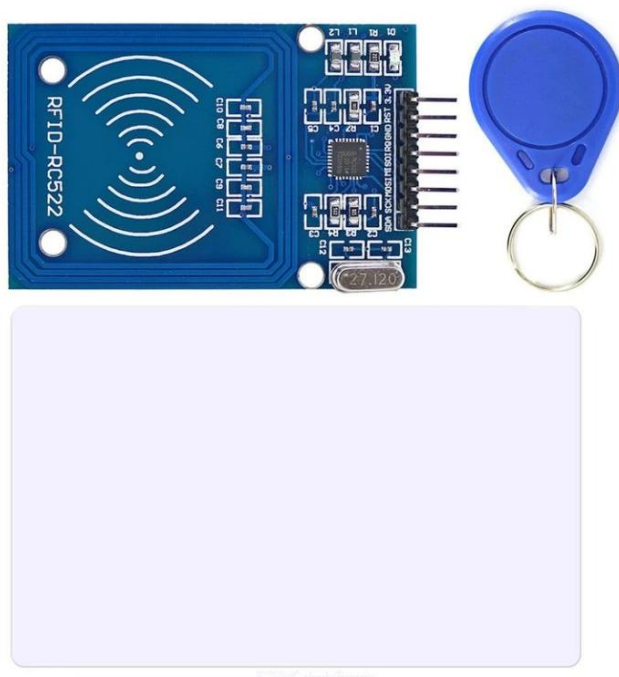
Pro detekci a ověření platby byl v tomto projektu použit RFID senzor s vestavěnou anténou, který umožňuje bezkontaktní identifikaci pomocí RFID karty. Byla zvolena bezmincová varianta platby, která zjednodušuje konstrukci automatu a zároveň zvyšuje uživatelský komfort.

Díky tomu odpadá potřeba mechanického zpracování mincí či bankovek, které bývá technicky náročnější a náchylnější k poruchám.

Jako platební médium slouží RFID karta, která svým chováním simuluje funkci běžné platební karty – po přiložení ke čtecímu zařízení je její jedinečný identifikátor přečten a následně porovnán s uloženými daty v systému. Pokud je karta rozpoznána jako platná (patří mezi předem registrované), je platba vyhodnocena jako úspěšná a automat provede požadovaný výdej zboží.

Použitý RFID systém je nejen cenově dostupný, ale také dostatečně spolehlivý pro potřeby tohoto typu zařízení. Komunikace mezi RFID čtečkou a mikrokontrolérem probíhá pomocí standardního sériového rozhraní SPI (sériového periferního rozhraní), což umožňuje snadnou integraci do řídicího systému automatu. Tento způsob ověření platby je navíc výhodný i z hlediska bezpečnosti a možné rozšiřitelnosti – například o možnost záznamu transakcí, víceuživatelské režimy nebo napojení na databázi uživatelů.

RFID modul MFRC522 komunikuje s Arduinem pomocí SPI rozhraní. Kromě napájení a země se připojují piny SDA (SS), SCK, MOSI, MISO a RST. Modul vyžaduje napětí 3.3 V. K jeho ovládání se používá knihovna MFRC522, která umožňuje načítání UID RFID čipů a práci s pamětí tagů.



Obrázek 8: RFID čtečka s vestavěnou antenou

3.2.7 Výdej zboží:

Pro výdej zboží z každého boxu jsem použil servo motor MG995, který umožňuje otáčení o 360 stupňů. Jedná se o servo s možností kontinuální rotace, což z něj činí ideální komponent výdejní systémy, kde je potřeba potřeba otáčet opakovaně. Toto servo se řídí za pomoci PWM signálu, který určuje rychlost a směr otáčení motoru.

Na rozdíl od standardních servomotorů, které se běžně používají pro přesné polohování v úhlu 0–180 stupňů, MG995 v této úpravě neobsahuje zpětnou vazbu v podobě snímače polohy. Právě absence této zpětné vazby umožňuje motoru plynulé a nepřetržité otáčení, čímž se liší od klasických modelů používaných např. v robotice nebo modelářství. (Dratek.cz)

Tyto motory se vyznačují vysokým kroučícím momentem, který dosahuje hodnoty až 13 kilogramů na centimetr. Tato vlastnost je klíčová, zejména při manipulaci s těžkými druhy zboží, kde je nutné překonat hmotnost předmětu.

Jak už bylo řečeno, mechanismus výdeje je založen na principu otáčení hřídele serva, na kterém je pevně uchycena pružina z tvarovaného hliníkového drátu. Aktivací serva dojde k pootočení této pružiny, která mechanicky zasáhne do prostoru výdejního boxu a tím dojde k uvolnění nebo vysunutí jednoho kusu zboží.

V tomto projektu jsou použity čtyři servomotory. Každý servomotor je připojen k Arduino MEGA pomocí 3 vodičů: Napájení, Zem a Signál. Piny Signal pro servomotory jsou připojeny k digitálním pinům Arduina (7, 6, 5, 4), protože pro ovládání serv je potřeba PWM signál (modulace šířky pulzu). Tento signál zajišťuje knihovna Servo.h.



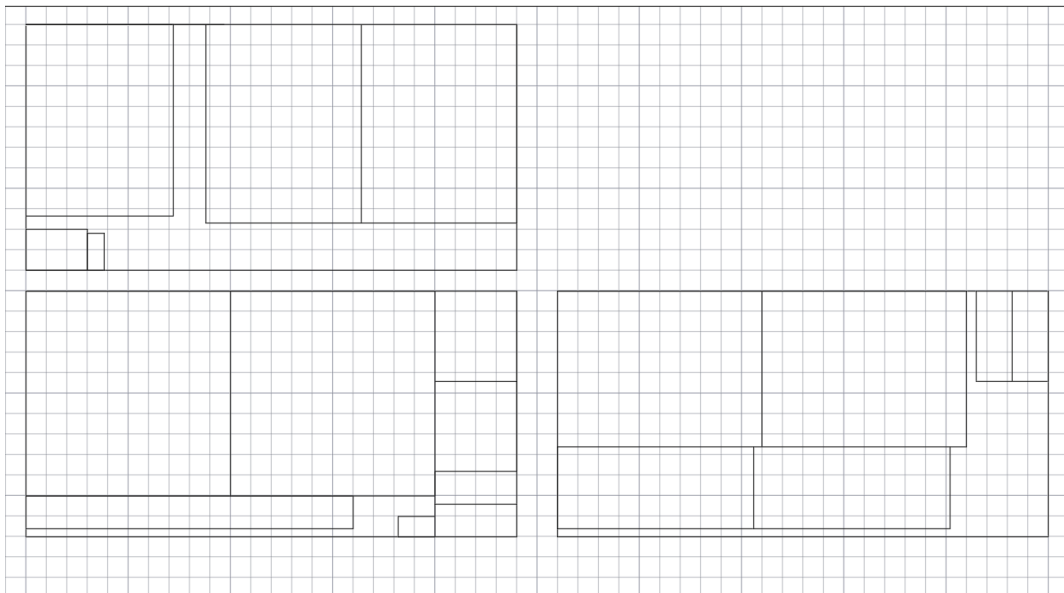
Obrázek 9: Servomotor MG995

3.3 Konstrukce:

Při konstrukci bylo důležité přesné vyměření a rozvržení jednotlivých dílů na desce, aby nedocházelo ke zbytečnému odpadu materiálu. Pro zajištění přesnosti byly rozměry přenášeny na překližku pomocí měřidel a úhelníků, přičemž se dbalo na pravoúhlost a symetrii konstrukčních prvků.

Řezání bylo provedeno pomocí přímočaré pily, která umožnila flexibilní řezání i složitějších tvarů. Hrany byly po vyřezání zabroušeny smirkovým papírem pro odstranění třísek a zajištění hladkého spoje při následné montáži.

Jako materiál pro vytvoření celé bedny, byla použita dubová překližka, s šířkou 6 mm. Jedinou možnou variantou, bylo pořízení překližkových desek v rozměru 1200 x 600 mm. Po nařezání všech potřebných částí, přišlo na řadu sestavování.



Obrázek 10: Rozvržení dílů na desce

3.3.1 Skříň automatu

Samotná konstrukce krabice se skládá ze šesti překližkových desek – základny, dvou bočních stěn, přední a zadní stěny a víka. Montáž začíná sestavením spodní základny a připevněním

bočních stěn. Aby bylo dosaženo přesného pravého úhlu, je nezbytné při lepení a šroubování využít úhlových svorek, které zajistí stabilní fixaci během vytvrzení lepidla. Po zafixování bočních stěn následuje vložení vnitřních komponent a až poté dojde na připevnění přední, zadní části a víka, čímž vznikne pevný rám celého těla krabice. Všechny spoje jsou zajištěny kombinací dřevěného lepidla a vrutů do dřeva. Přesné sesazení jednotlivých částí a jejich zajištění ve správných úhlech je klíčové pro celkovou stabilitu konstrukce.



Obrázek 11: Sestavená skříň

3.3.2 Výdejní box

Boxy, ve kterých se nachází spirálový mechanismus a umístěný produkt, jsou navrženy jako samostatné modulární jednotky. Každý box je složen z podlahové desky o rozměrech 220 × 200 mm, tří bočních stěn o rozměrech 200 × 80 mm a zadní stěny o rozměru 220 × 88 mm. Tato konstrukce zajišťuje dostatečný prostor pro uložení produktu i pohyb spirály.

Zadní stěna boxu je upravena pro uchycení servomotoru – jsou do ní vyvrtány přesné otvory pro montážní šrouby a výstupní hřídel motoru. Umístění motoru je navrženo tak, aby osa otáčení byla souosá se středem spirály a zajišťovala tak rovnoměrný výdej produktu.



Obrázek 12: Sestavený výdejní box

3.3.3 Výdejní pružina

Pro konstrukci výdejní pružiny byl použit hliníkový drát o průměru 4 mm, který poskytuje dostatečnou pevnost při zachování požadované pružnosti. Drát byl omotán kolem plechovky s průměrem 50 mm, čímž vznikl potřebný tvar spirály, která je schopná efektivně stlačit a uvolnit produkt.

Na konec pružiny byl připevněn nástavec, který slouží k uchycení pružiny k servomotoru. Tento nástavec byl navržen tak, aby umožňoval snadné a bezpečné přicvaknutí pružiny k výstupní hřídeli servomotoru, což zajišťuje plynulý a synchronizovaný pohyb pružiny při aktivaci motoru.

Díky použití hliníkového drátu je pružina lehká ale dostatečně silná, aby vydržela opakované mechanické namáhání. Celý systém výdeje je navržen tak, aby byla pružina schopná vracet produkt zpět do výdejní pozice po každém cyklu, což zajišťuje hladký a spolehlivý chod mechanismu.

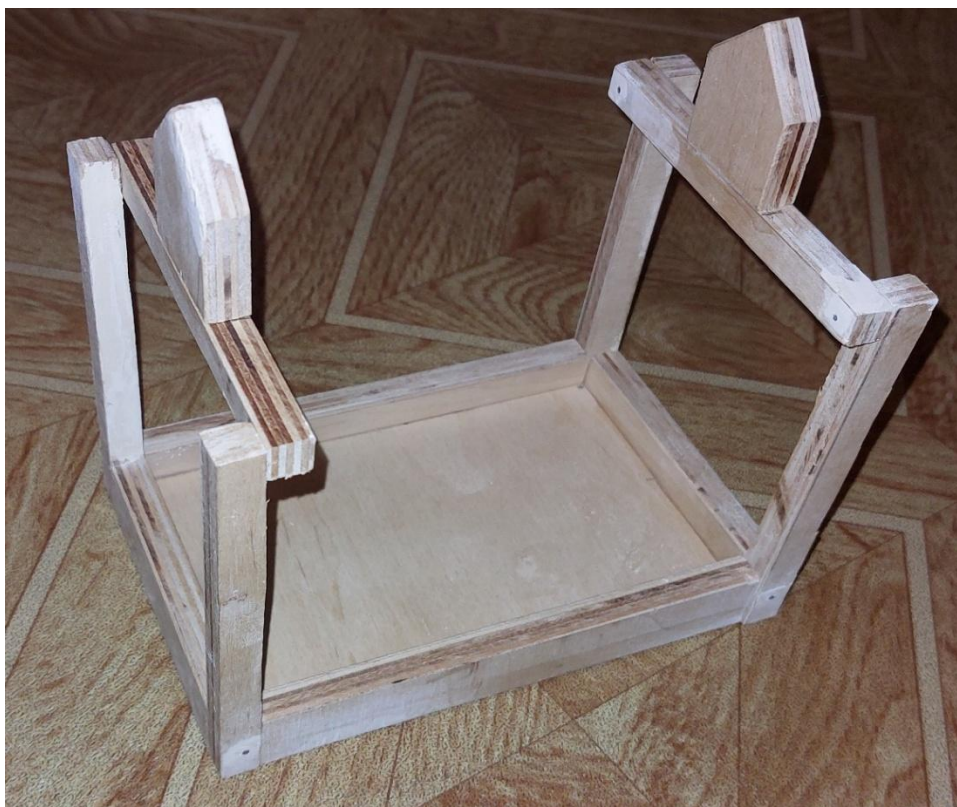


Obrázek 13: Výdejní box s přidělanou pružinou

3.3.4 Výtahový systém

Výtahový systém je klíčovým mechanismem pro pohyb produktu mezi jednotlivými úrovněmi automatu. Sestává z podlahy, vnějších stran a čtyř sloupků, které tvoří rám celé konstrukce. Tento rám zajišťuje stabilitu a přesnost pohybu výtahu během jeho činnosti.

Pro sestavení výtahového systému byla použita základní konstrukční metoda, která spočívá v lepení jednotlivých dílů pomocí lepidla Herkules, které je dostatečně silné pro udržení stabilních spojů. Pro zvýšení pevnosti a celkové stability je konstrukce vyztužena malými hřebíčky, které zajišťují, že jednotlivé části výtahu budou držet pohromadě i při opakovaném mechanickém namáhání.



Obrázek 14: Sestavený výtah

3.3.5 Pojezdová část

Pro zajištění přesného a stabilního pohybu výtahu mezi jednotlivými patry je nezbytné vytvořit jak horizontální, tak vertikální osu. Obě osy jsou navrženy z hliníkových trubiček, které byly vybrány pro svou nízkou hmotnost a dostatečnou pevnost. Trubice jsou vsazeny do pevných podstavců vyrobených ze dřeva, což zajišťuje stabilitu a přesnost osového vedení.

Vertikální osa:

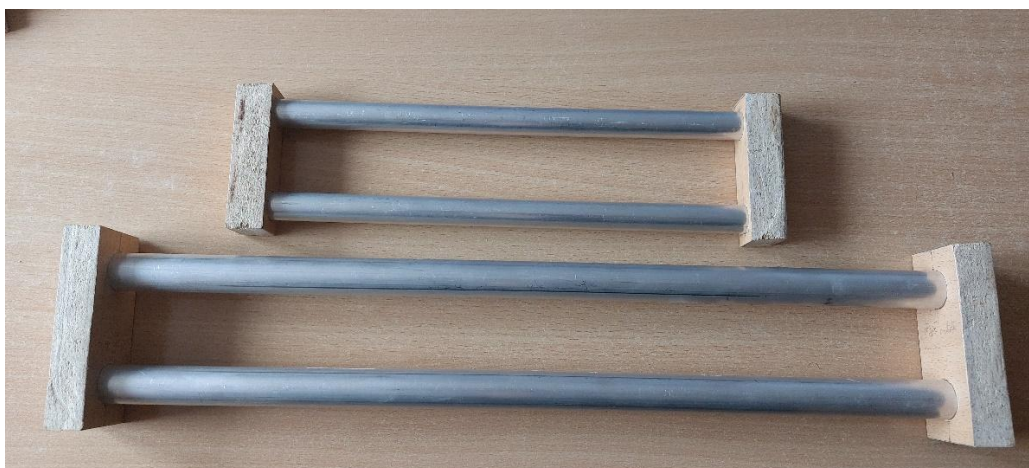
Vertikální osa se skládá ze tří hliníkových trubic o délce 40 cm a průměru 20 mm. Dvě trubice jsou umístěny rovnoběžně v podstavci na stejné straně, čímž zajišťují pevné vedení. Třetí trubice, která se nachází na protější straně, funguje jako stabilizátor a umožňuje vyvážení celého systému. Tento způsob uspořádání poskytuje rovnoměrné rozložení zatížení a minimalizuje riziko vychýlení výtahu během pohybu.

Horizontální osa:

Horizontální osa je tvořena dvěma hliníkovými trubicemi o délce 27 cm a průměru 16 mm. Tyto trubice jsou rovněž umístěny rovnoběžně v podstavci, čímž vytvářejí stabilní základ pro vertikální pohyb výtahu. Uspořádání dvou trubic je efektivní pro udržení rovnováhy a plynulosti pohybu výtahu při jeho pohybu mezi patry.

3.3.6 Montáž trubic do podstavců:

Aby bylo možné trubice bezpečně a přesně vsadit do dřevěných podstavců, byly do nich vyvrtány díry o průměru 8 mm a hloubce 8 mm pomocí Forstnerových vrtáků. Tento způsob vrtání zajistil čisté a hladké otvory, které přesně odpovídají průměru trubek. Díky tomu jsou trubice do podstavců pevně usazeny a minimalizuje se riziko jejich pohybu či uvolnění během provozu.



Obrázek 15: Montáž pojezdu

3.4 Kód programu:

Celý kód byl přiložen ve formátu textového dokumentu do přílohy.

Zde jsou ukázány jen hlavní části.

3.4.1 Inicializace komponent

```
void setup() {
  delay(1000); // Nech čas pro ustálení napětí
  pinMode(dirPinVertical, OUTPUT);
  pinMode(stepPinVertical, OUTPUT);
  pinMode(dirPinHorizontal, OUTPUT);
  pinMode(stepPinHorizontal, OUTPUT);
  pinMode(buttonPin, INPUT_PULLUP);
  pinMode(buttonPin2, INPUT_PULLUP);
  pinMode(buttonPin3, INPUT_PULLUP);
  pinMode(buttonPin4, INPUT_PULLUP);

  digitalWrite(dirPinHorizontal, LOW);
  digitalWrite(stepPinHorizontal, LOW);
  digitalWrite(dirPinVertical, LOW);
  digitalWrite(stepPinVertical, LOW);

  myServo1.attach(servoPin1);
  myServo2.attach(servoPin2);
  myServo3.attach(servoPin3);
  myServo4.attach(servoPin4);

  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.clear();
  lcd.print("Vyberte produkt");

  while (digitalRead(buttonPin) == HIGH &&
         digitalRead(buttonPin2) == HIGH &&
         digitalRead(buttonPin3) == HIGH &&
         digitalRead(buttonPin4) == HIGH) {
    delay(50);
  }

  lcd.clear();

  SPI.begin();
  mfrc522.PCD_Init();
  Serial.begin(9600);
}
```

Obrázek 16: Inicializace komponent

Zde vidíme inicializaci všech důležitých komponent systému. Po zapnutí zařízení se nejprve provede krátké zpoždění v délce jedné sekundy, aby se stabilizovalo napájecí napětí a předešlo se případným chybám při startu. Následně se pomocí funkce `pinMode()` nastaví režim všech potřebných pinů – konkrétně výstupy pro ovládání krokových motorů a vstupy pro čtyři tlačítka, která využívají interní pull-up rezistory. Po této hardwarové přípravě se k definovaným pinům připojí čtyři servomotory, které budou sloužit pro výdej jednotlivých produktů. Poté dojde k inicializaci LCD displeje, zapne se podsvícení a na obrazovce se zobrazí výzva pro uživatele: „Vyberte produkt“. V této fázi zařízení pasivně čeká na uživatelský vstup – tedy stisk libovolného z tlačítek – čímž se spustí výdejní proces. Jakmile dojde ke stisku některého tlačítka, displej se vyčistí a přejde se k další fázi, kterou je spuštění RFID čtečky, využívající SPI sběrnici. Ta je připravena přijmout RFID kartu od uživatele a ověřit platnost transakce před samotným výdejem zboží.

3.4.2 Detekce stisku tlačítka

```
buttonState = digitalRead(buttonPin);
buttonState2 = digitalRead(buttonPin2);
buttonState3 = digitalRead(buttonPin3);
buttonState4 = digitalRead(buttonPin4);

if (lastButtonState == HIGH && buttonState == LOW) {
if (lastButtonState2 == HIGH && buttonState2 == LOW) {
if (lastButtonState3 == HIGH && buttonState3 == LOW) {
if (lastButtonState4 == HIGH && buttonState4 == LOW) {

lastButtonState = buttonState;
lastButtonState2 = buttonState2;
lastButtonState3 = buttonState3;
lastButtonState4 = buttonState4;
```

Obrázek 17: Detekce stisku tlačítka

Pro tento účel jsou zde použity interní pull up rezistory, které udržují digitální vstupy v logické úrovni HIGH, dokud není tlačítkem spojeno s GND. Tyto rezistory jsou aktivované pomocí režimu `INPUT_PULLUP`. Když uživatel stiskne příslušné tlačítko, dochází ke změně stavu na LOW, což umožňuje detekci stisknutí pomocí tzv. hrany (přechod z HIGH na LOW). Tento způsob detekce je velmi běžný, protože zabraňuje opakovanému spuštění akce při podržení tlačítka. LCD displej v zápětí zobrazí frázi "Probiha doruceni"

3.4.3 Spuštění výdejní funkce

```
if (lastButtonState == HIGH && buttonState == LOW) {  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(0, 0);  
    lcd.print("Cena: 10 Kc");  
    lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print("Prilozte kartu");  
  
    if (cekejNaKartu()) {  
        lcd.clear();  
        lcd.print("Probiha doruceni");  
        moveUpLeftRightAndServo(1550, 1420);  
    }  
}
```

Obrázek 18: Spuštění výdejní funkce

Po stisknutí tlačítka, kdy dojde ke změně logického stavu z HIGH na LOW, se LCD displej vymaže a na první řádce se zobrazí cena produktu („Cena: 10 Kc“) a na druhé řádce je uživatel vyzván k přiložení RFID karty („Prilozte kartu“). Program následně čeká na přiložení karty pomocí funkce `cekejNaKartu()`, která zajistí, že se nic dalšího neprovede, dokud karta není správně načtena. Jakmile je karta přiložena, displej se znovu vyčistí a zobrazí zprávu „Probiha doruceni“, což znamená, že výdejní proces začal. Poté se spustí funkce `moveUpLeftRightAndServo(1550, 1420)`, která provede sérii pohybů krokových motorů a aktivaci serva, čímž dojde k výdeji produktu, přičemž parametry 1550 a 1420 určují počet kroků pro vertikální a horizontální pohyb.

3.4.4 Kompletní sekvence pohybu funkce

```
void moveUpLeftRightAndServo(int verticalSteps, int horizontalSteps) {  
    moveUp(verticalSteps);  
    moveLeft(horizontalSteps);  
    myServo1.write(180);  
    delay(2000);  
    myServo1.write(90);  
    moveRight(horizontalSteps);  
    moveDown(verticalSteps);  
    delay(500);  
    lcd.clear();  
    lcd.print("Odeberte produkt");  
    delay(4000);  
    lcd.clear();  
    lcd.print("Vyberte produkt");  
}
```

Obrázek 19: Sekvence pohybu

V této funkci probíhá kompletní sekvence výdeje produktu, kdy se nejprve výdejní mechanismus pomocí krokového motoru přesune vertikálně vzhůru o počet kroků zadaný v parametru `verticalSteps`, následně se horizontálně posune doleva o hodnotu `horizontalSteps`, aby se umístil nad správnou pozici s vybraným produktem; poté se aktivuje servomotor nastavením jeho úhlu na 180 stupňů, čímž dojde k uvolnění produktu do výdejního prostoru, a po dvousekundové prodlevě – která zajišťuje dostatečný čas pro fyzický výdej – se mechanismus vrátí zpět doprava na původní pozici a spustí se pohyb dolů zpět do výchozí polohy; následně se na LCD displeji zobrazí hláška „Odeberte produkt“, která zůstane zobrazená po dobu čtyř sekund, aby měl uživatel dostatek času na odebrání zboží, a poté se text automaticky změní na „Vyberte produkt“, čímž je zařízení připraveno na další cyklus.

3.4.5 Funkce pro pohyb motoru

```
void moveUp(int steps) {  
    digitalWrite(dirPinVertical, HIGH);  
    for (int x = 0; x < steps; x++) {  
        digitalWrite(stepPinVertical, HIGH);  
        delayMicroseconds(2500);  
        digitalWrite(stepPinVertical, LOW);  
        delayMicroseconds(2500);  
    }  
}
```

Obrázek 20: Pohyb motoru

V tomto úseku programu dochází k řízení krokového motoru, který ovládá pohyb ve vertikálním směru – tedy nahoru nebo dolů. Nejprve se pomocí funkce `digitalWrite (dirPinVertical, HIGH)`; nastaví směr otáčení motoru. Hodnota `HIGH` na pinu `dirPinVertical` říká driveru motoru, že se má motor otáčet například směrem nahoru. Poté se spustí cyklus `for`, který bude opakován tolikrát, kolik kroků bylo zadáno v proměnné `steps`. Uvnitř této smyčky se vytváří tzv. pulz, který krokový motor potřebuje pro provedení jednoho jednotlivého kroku. Nejprve se nastaví pin `stepPinVertical` na hodnotu `HIGH`, což znamená, že se vyšle signál k provedení kroku. Tento signál trvá velmi krátkou dobu – konkrétně 2500 mikrosekund – poté se pin opět přepne na hodnotu `LOW`, čímž se signál ukončí. Druhá prodleva, rovněž 2500 mikrosekund, zajistí, že mezi jednotlivými pulzy je dostatečný čas, aby motor mohl krok skutečně vykonat a správně se natočil. Tento proces se opakuje požadovaný počet kroků, čímž se krokový motor otáčí plynule směrem vzhůru, a s ním se přesouvá například výdejní mechanismus nebo jiný pohyblivý prvek zařízení. Celý mechanismus je velmi přesný, protože počet kroků určuje přesnou vzdálenost, o kterou se má motor – a tedy i celý systém – posunout.

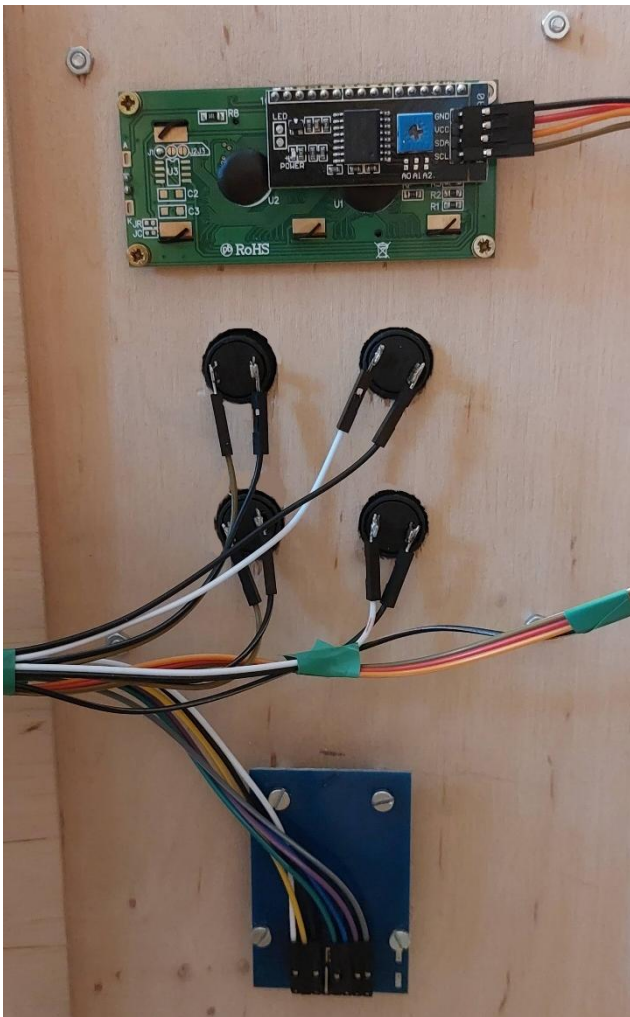
3.5 Finální podoba automatu

3.5.1 Kompletně osazená skříň



Obrázek 21: Sestavený funkční automat

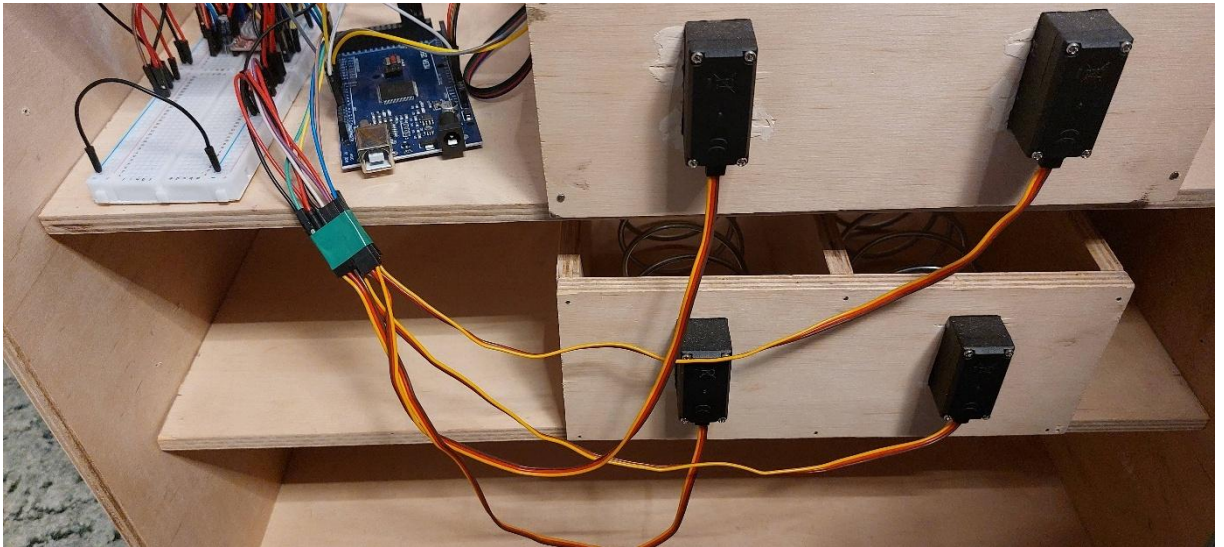
3.5.2 Montáž komponent na zadní straně čelního panelu



Obrázek 22: Zadní strana čelního panelu

Pohled na zadní část čelního panelu výdejního automatu. V horní části je připevněn LCD displej s I2C převodníkem pro zjednodušené zapojení. Uprostřed jsou rozmístěna čtyři ovládací tlačítka a ve spodní části je upevněn RFID modul (MFRC522), sloužící pro platbu kartou.

3.5.3 Zapojené servomotory



Obrázek 23: Zapojení servomotorů

Detailní pohled na servomotory instalované na výdejních boxech automatu. Servomotory jsou připojeny k řídicímu modulu Arduino, který pomocí PWM signálů zajišťuje přesné otočení jednotlivých výdejních pružin. Napájení je řešeno společnou sběrnicí 5 V přes rozvod na nepáživém kontaktním poli.

ZÁVĚR

Tato práce se zabývala návrhem a konstrukcí výdejního automatu, přičemž v teoretické části byl proveden podrobný rozbor jednotlivých funkcí automatu, včetně řízení a ovládání, možností zadávání požadavků, detekce chybových stavů, technologických prvků a použitých komponent. Na základě rešerše bylo možné identifikovat aspekty fungování moderních výdejních automatů a popsat technologická řešení, která umožňují jejich efektivní provoz.

V rámci teoretické části byla objasněna historie výdejních automatů, jejich význam a principy fungování. Byly představeny různé způsoby řízení a ovládání, včetně mechanických, elektromagnetických a elektronických systémů, s důrazem na moderní metody využívající mikrokontrolery a PLC systémy. Pozornost byla věnována možnostem zadávání požadavků, kde byl popsán vývoj od tlačítkových klávesnic přes dotykové displeje až po bezkontaktní technologie a mobilní aplikace. Rovněž byly rozebrány mechanismy detekce chybových stavů, které hrají zásadní roli při zajištění spolehlivého provozu výdejního automatu.

Technologická část práce se zaměřila na prvky výdejního automatu, včetně komponent, pohonů, driverů a systémů pro detekci zboží a mincí. Byly popsány jednotlivé druhy pohonů, které se využívají v automatizovaných výdejních systémech, a jejich řízení pomocí driverů, jako jsou L298N, A4988 a TB6600. Dále byla detailně rozebrána detekce zboží a mincí pomocí optických senzorů, váhových senzorů a elektromagnetických detektorů, což přispívá k eliminaci chybových stavů a zajištění bezproblémového chodu automatu.

Praktická část této práce se zabývala konkrétní realizací výdejního automatu, přičemž byl navržen systém využívající Arduino Mega 2560 jako řídicí jednotku, krokové motory NEMA17 pro pohybový systém a servo motory MG995 pro výdej zboží. Byla provedena podrobná analýza napájení, zpracování uživatelských vstupů a implementace detekčních mechanismů. Dále byl vytvořen 3D model automatu a jeho schéma zapojení, což umožnilo detailní pohled na konstrukci a funkčnost zařízení.

Zařízení bylo naplněno a následně otestováno v reálném provozu. Výdej zboží probíhá na základě autorizace pomocí RFID čipu a následného stisku tlačítka pro výběr produktu. Automat spolehlivě rozpoznává jednotlivé uživatele a správně aktivuje výdejní mechanismus. Při testování zásobníků s více kusy zboží na jedné pružině bylo zjištěno, že výdej probíhá většinou bez problémů, avšak v některých případech došlo k zablokování druhého kusu nebo k nevydání zboží z důvodu nesprávného usazení. Celkově lze říci, že zařízení funguje dle očekávání, avšak

pro bezchybné použití je vhodné dbát na správné uspořádání zboží a možná by stálo za zvážení drobné úpravy konstrukce pružinového mechanismu pro zajištění vyšší spolehlivosti.

Závěrem lze konstatovat, že výdejní automaty jsou klíčovým prvkem moderního retailového sektoru, přičemž jejich vývoj směřuje k vyšší automatizaci, propojení s IoT technologiemi a zlepšení uživatelského komfortu. Díky pokročilým řídicím systémům, inteligentní detekci a možnosti vzdálené správy se stávají efektivním nástrojem nejen pro běžné spotřebitele, ale i pro průmyslové a logistické aplikace.

SEZNAM ZDROJŮ

Odborné publikace

ADIMULAM, Raghuvira Pratap; KOKKILIGADDA, Vasanth; POLAGANI, Aaryasri.

Automatic Feed Dispenser for Aquaculture using Arduino Technology. In: *2024 3rd International Conference for Advancement in Technology (ICONAT)*. IEEE, 2024. p. 1-5.

BRTNÍK, B. Základní elektronické obvody. Praha: BEN technická literatura, 2011. 156s. ISBN 978-80-7300-408-8

GARGIONI, Luigi; FOGLI, Daniela; BARONI, Pietro. A systematic review on pill and medication dispensers from a human-centered perspective. *Journal of healthcare informatics research*, 2024, 8.2: 244-285.

GOMZIN, Slava. *Hacking Point of Sale: Payment Application Secrets, Threats, and Solutions*. John Wiley & Sons, 2014.

CHRISTOPOULOS, Christos. *Principles and techniques of electromagnetic compatibility*. CRC press, 2022.

IDRIS, M. R.; IRDAYANTI, M. N.; RAMLEE, M. A review of microcontroller design in future industrial revolution. In: *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing, 2024.

MACLAREN, Vance V.; HARRIGAN, Kevin A.; DIXON, Michael J. An introduction to video instant ticket vending machines. 2015.

PEYGHAMI, Saeed; PALENSKY, Peter; BLAABJERG, Frede. An overview on the reliability of modern power electronic based power systems. *IEEE Open Journal of Power Electronics*, 2020, 1: 34-50.

RATNASRI, Nilani; SHARMILAN, Tharaga. Vending Machine Technologies: A Review Article. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)*, 2021, 58.2: 160-166.

RIPKA, P.; TIPEK, A. Master Book of Sensors. Praha: BEN, 2003. ISBN 0-12-752184

SPECK, James A. *Mechanical fastening, joining, and assembly*. CRC Press, 2018.

VÁŇA, V. Mikrokontroléry ATMEL AVR: popis procesoru a instrukční soubor. Praha: BEN technická literatura, 2003. 336 s. ISBN 978-80-7300-083-0.

VÁŇA, V. Mikrokontroléry ATMEL AVR: programování v jazyce C. Praha: BEN technická literatura, 2003. 216 s. ISBN 978-80-7300-102-0.

VEBER, Jaromír a ŠVECOVÁ, Lenka. *Produkční a provozní management*. Grada, 2021. ISBN 978-80-271-4620-8.

VYSEKALOVÁ, Jitka. *Chování zákazníka: jak odkrýt tajemství "černé skříňky"*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3528-3.

WANG, Gaolin; VALLA, Maria; SOLSONA, Jorge. Position sensorless permanent magnet synchronous machine drives—A review. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2019, 67.7: 5830-5842.

WOODBINE, Steven. *Vending Machine Fundamentals: How to Build Your Own Route*. Lulu.com, 2007. ISBN 9781430313373.

XU, Dianguo, et al. A review of sensorless control methods for AC motor drives. *CES Transactions on electrical machines and systems*, 2018, 2.1: 104-115.

Internetové zdroje a odborné články

BARNES, Savannah. *Vending Machines Unveiled – Types and Selection Guide to Meet User Needs* [online]. 2024 [cit. 5.2.2025]. Dostupné z: https://insights.made-in-china.com/Vending-Machines-Unveiled-Types-and-Selection-Guide-to-Meet-User-Needs_OTRtjnEyamDs.html

Dictionary Cambridge. *Vending Machine* [online]. 2024 [cit. 1.2.2025]. Dostupné z: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/vending-machine>

DUROC, Yvan; TEDJINI, Smail. RFID: A key technology for Humanity. *Comptes Rendus. Physique*, 2018, 19.1-2: 64-71.

- GOVIL, Naman; AGRAWAL, Anand; TIPPENHAUER, Nils Ole. On ladder logic bombs in industrial control systems. In: *Computer Security: ESORICS 2017 International Workshops, CyberICPS 2017 and SECPRE 2017, Oslo, Norway, September 14-15, 2017, Revised Selected Papers 3*. Springer International Publishing, 2018. p. 110-126.
- GRECH, Amanda; ALLMAN-FARINELLI, Margaret. A systematic literature review of nutrition interventions in vending machines that encourage consumers to make healthier choices. *Obesity reviews*, 2015, 16.12: 1030-1041.
- GRZYBOWSKA, Hanna, et al. A simulation-optimisation genetic algorithm approach to product allocation in vending machine systems. *Expert Systems with Applications*, 2020, 145: 113110.
- HAMZAH, Muhammad L., et al. A review of Near Field Communication technology in several areas. *Revista Espacios*, 2019, 40.32.
- HUGHES, Austin; DRURY, Bill. *Electric motors and drives: fundamentals, types and applications*. Newnes, 2019.
- IQBAL, Muhammad Zahid; CAMPBELL, Abraham G. From luxury to necessity: Progress of touchless interaction technology. *Technology in Society*, 2021, 67: 101796.
- JANEČEK. *Jak fungují jednotlivé výdejní systémy?* [online]. 2024 [cit. 10.2.2025]. Dostupné z: <https://mujprodejniautomat.cz/blog/vydejni-systemy-automatu/>
- KAREEM, Husam; DUNAEV, Dmitriy. The working principles of esp32 and analytical comparison of using low-cost microcontroller modules in embedded systems design. In: *2021 4th International Conference on Circuits, Systems and Simulation (ICCSS)*. IEEE, 2021. p. 130-135.
- KHEDDAR, Hamza, et al. Deep transfer learning for automatic speech recognition: Towards better generalization. *Knowledge-Based Systems*, 2023, 277: 110851.
- KULKARNI, R. D. Near field communication (NFC) technology and its application. In: *Techno-Societal 2020: Proceedings of the 3rd International Conference on Advanced Technologies for Societal Applications—Volume 1*. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 745-751.

- MEISEL, Nicholas A.; WILLIAMS, Christopher B. Design and assessment of a 3D printing vending machine. *Rapid Prototyping Journal*, 2015, 21.5: 471-481.
- MERAT, Natasha, et al. Transition to manual: Driver behaviour when resuming control from a highly automated vehicle. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 2014, 27: 274-282.
- Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR. *Provozovna versus automat v režimu živnostenského zákona* [online]. 2024 [cit. 10.2.2025]. Dostupné z: <https://mpo.gov.cz/cz/podnikani/zivnostenske-podnikani/aktualni-informace/dulezite--provozovna-versus-automat-v-rezimu-zivnostenskeho-zakona--279282/>
- MURENA, Eriyeti, et al. Design of a control system for a vending machine. *Procedia CIRP*, 2020, 91: 758-763.
- ROMANOVSKYI, Oleh, et al. Prototyping Methodology of End-to-End Speech Analytics Software. In: *Modern Machine Learning Technologies and Data Science Workshop*. CEUR Workshop Proceedings, Germany, 2022. p. 76-86.
- SERHANE, Abraham, et al. Programmable logic controllers based systems (PLC-BS): Vulnerabilities and threats. *SN Applied Sciences*, 2019, 1: 1-12.
- SOLANO, Antonio, et al. Smart vending machines in the era of internet of things. *Future Generation Computer Systems*, 2017, 76: 215-220.
- TIKKANEN, Amy. *Vending Machine* [online]. 2024 [cit. 1.2.2025]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/money/vending-machine>
- Drátek.cz *Servo MG995 kontinuální 360° s kovovými převody 12kg*. [online]. 2024 [cit. 10.2.2025]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/122949-servo-mg995-kontinualni-360-s-kovovymi-prevody-12kg.html>
- WONG, Kai Kit, et al. Development of Reverse Vending Machine using Recycled Materials and Arduino Microcontroller. *International Journal of Engineering Creativity and Innovation*, 2019, 1.1: 7-16.
- WONGSUWAN, Wipawadee; KALLAKA, Ruechuda; CHAIWIWATWORAKUL, Pipat. Energy efficiency of the beverage vending machine refrigeration system. In: *2021 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI)*. IEEE, 2021. p. 93-98.

YALLI, Jameel S.; HASAN, Mohd H.; BADAWI, Aisha. Internet of things (iot): Origin, embedded technologies, smart applications and its growth in the last decade. *IEEE access*, 2024.

TEXAS INSTRUMENTS. LM2596 SIMPLE SWITCHER Power Converter 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator [online]. Dallas: Texas Instruments, 2016 [cit. 2025-04-14]. Dostupné z: <https://www.ti.com/product/LM2596>

ELEKTROMYŠ. AVR1 – ADC2: Analogově-digitální převodník v praxi [online]. [cit.2025-04-14]. Dostupné z: http://www.elektromys.eu/clanky/avr1_adc2/clanek.html

PŘÍLOHA A – PROGRAM PRO ŘÍZENÍ AUTOMATU

V příloze je poskytnuta celá verze programu pro mikrokontroler.

PŘÍLOHA B – 3D NÁVRH AUTOMATU

V příloze je poskytnut 3D návrh automatu.