



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

### ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

## ŘÍDICÍ OBVODY KOLEJOVÉHO VÝTAHU

CONTROL CIRCUITS OF RAILWAY LIFT

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Kopecký

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Huták, Ph.D.

BRNO 2020

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika**

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

**Student:** Bc. Jan Kopecký

**ID:** 183979

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2019/20

**NÁZEV TÉMATU:**

## Řídicí obvody kolejového výtahu

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Navrhněte koncepci řízení šikmého kolejového výtahu s navijákem. Řídicí systém musí umožňovat: -  
dálkové rádiové ovládání  
-cílové zastavení
2. Seznamte se s průmyslovými rádiovými moduly (případně GPRS, WiFi) a navrhněte obvody kódování a zabezpečení přenosu.
3. Navrhněte zabezpečovací obvody výtahu.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

- [1] Skalický, J.: Teorie řízení, skripta FEKT, 2002
- [2] Patočka M.: Vybrané statě z výkonové elektroniky, sv.1. Skriptum, FEKT, VUT Brno.
- [3] Patočka M.: Vybrané statě z výkonové elektroniky, sv.2. Skriptum, FEKT, VUT Brno.

**Termín zadání:** 3.2.2020

**Termín odevzdání:** 1.6.2020

**Vedoucí práce:** Ing. Petr Huták, Ph.D.

**doc. Ing. Ondřej Vítek,**  
**Ph.D.**

předseda oborové rady

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně / Technická 3058/10 / 616 00 / Brno

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá mechanickým a elektrickým návrhem pohonu šikmého kolejového stavebního výtahu. Je provedena teoretická rešerše ohledně bezdrátových modulů a řídicích jednotek. V návrhu jsou vybrány jednotlivé komponenty a je navrženo celkové zapojení systému vysílače, přijímače a výtahu. Dále je naprogramována logika výtahu v programu Arduino IDE, která umožňuje dálkové ovládání motoru pomocí frekvenčního měniče.

## **Klíčová slova**

výtah, řídicí obvody, PLC, návrh pohonu, IoT, bezdrátová komunikace, Arduino, Řízení relé, frekvenční měnič

## **Abstract**

This master thesis deals with the mechanical and electrical design of the drive of the inclined construction lift. Individual components are selected in the design. Furthermore, a theoretical research is carried out regarding wireless modules and logic controllers. The selection of sensors is made and the method of retrieving signals from sensors and converting them into inputs the control circuits is also outlined. A program is written in Arduino IDE that wirelessly controls the motion of a motor via variable frequency drive.

## **Keywords**

Elevator, control circuits, elevator drive design, IoT, wireless communication, Arduino, Relay control, Variable Frequency Drive

## **Bibliografická citace:**

KOPECKÝ, Jan. *Řídicí obvody kolejového výtahu* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/125816>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky. Vedoucí práce Petr Huták.

## **Prohlášení**

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Řídicí obvody kolejového výtahu jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 1. června 2020

.....

podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Hutákovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne: 1. června 2020

.....

podpis autora

# Obsah

1. Úvod .....	14
2. Teoretická rešerše .....	15
2.1 Bezdrátová komunikace .....	15
2.2 Kabelová komunikace sériovou linkou .....	19
2.3 Mikrokontrolery a PLC .....	20
2.4 Senzory .....	23
3. Návrh Pohonu .....	24
3.1 Mechanická část .....	25
3.1.1 Volba převodovky .....	28
3.2 Elektrická část .....	30
3.2.1 Motor .....	31
3.2.2 Frekvenční měnič .....	33
3.3 Řízení .....	35
3.3.1 Hallovy senzory NJK-5002C .....	36
3.3.2 Logika řízení .....	37
3.3.3 Mikrokontroler přijímače .....	41
3.3.4 Mikrokontroler vysílače .....	48
3.3.5 Síťový modul .....	50
3.4 Zabezpečení .....	51
3.4.1 Fyzické zabezpečení výtahu .....	52
3.4.2 Zabezpečení bezdrátového přenosu .....	53
4. Závěr .....	54
5. Bibliografie .....	56

## Seznam zkratek

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	Vysoké učení technické v Brně
AM	Asynchronní motor
PLC	Programmable logic controller
GPRS	Asynchronní motor
Wi-Fi	Wireless fidelity
IoT	Internet of things
SCADA	Supervisory control and data acquisition
LPWAN	Low power wide area network
kbps	Kilobits per second
LoRaWAN	Long range wide area network
WPAN	Wireless personal area network
EMC	Electro magnetic compatibility

# Seznam symbolů

$I$	proud	[A]
$v$	Jmenovitá rychlost výtahu	$[m \cdot s^{-1}]$
$\alpha$	Sklon výtahové dráhy	[°]
$m$	Nosnost výtahu	[kg]
$x$	Délka lana	[mm]
$d$	Průměr lanového bubnu	[mm]
$N$	Počet stanic	[-]
$U_h$	Hallovo napětí	[V]
$R_h$	Hallova materiálová konstanta	[-]
$B$	Magnetická indukce	[T]
$P_{ideální}$	Požadovaný ideální výkon motoru	[W]
$F_s$	Statická tažná síla	[N]
$g$	Gravitační zrychlení	$[m \cdot s^{-2}]$
$a$	Zrychlení	$[m \cdot s^{-2}]$
$F_s$	Dynamická tažná síla	[N]
$z$	Zatěžovatel	[-]
$t_z$	Doba zapnutí	[s]
$t_o$	Doba vypnutého stavu	[s]
$t_o$	Celková doba jednoho cyklu	[s]
$P_{min}$	Minimální požadovaný výkon motoru	[W]
$\eta_p$	Účinnost převodu	[-]
$M_{buben}$	Potřebný točivý moment lanového bubnu	[Nm]
$M_{motor}$	Potřebný točivý moment na výstupu motoru	[Nm]
$p$	Převodový poměr	[-]
$t_{rot}$	Doba jedné otáčky lanového bubnu	[s]

$O_{buben}$	Obvod lanového bubnu	[m]
$n_{buben}$	Minimální potřebné otáčky lanového bubnu	$[min^{-1}]$
$n_{motor}$	Minimální potřebné otáčky motoru	$[min^{-1}]$
$P_{motor}$	Minimální potřebný výkon motoru	[W]
$P_n$	Skutečný výkon zvoleného motoru	[W]
$m$	Hmotnost břemene	[Kg]
$\eta_m$	Účinnost motoru	[%]
$P_{aktuální}$	Okamžitý výkon motoru	[W]
$f$	Frekvence	[Hz]
$U_n$	Jmenovité napětí motoru	[V]
$I_n$	Jmenovitý proud motoru	[A]
$n_{AM}$	Jmenovité otáčky motoru	$[min^{-1}]$
$M_n$	Jmenovitý moment motoru	[Nm]
$\cos \varphi$	Účinník motoru	[-]
$l$	Šířka návinu lana	[m]
$N_z$	Počet závitů lana	[-]
$d_l$	Průměr ocelového lana	[m]
$v_a$	Okamžitá rychlost vozíku	$[m \cdot s^{-1}]$
$x_a$	Okamžitá poloha vozíku	[m]
$U_2$	Výstupní napětí z napěťového děliče	[V]
$U$	Vstupní napětí napěťového děliče	[V]
$R1$	Horní odpor napěťového děliče	$[\Omega]$
$R2$	Výstupní odpor napěťového děliče	$[\Omega]$

## Seznam obrázků

Obrázek 2-1: Porovnání dosahu bezdrátových sítí [3].....	16
Obrázek 2-2: Schéma zapojení RS-485 v poloduplexním režimu [11].....	19
Obrázek 2-3: Schéma zapojení RS-485 v duplexním režimu [11].....	20
Obrázek 2-4: NodeMCU [14] a Arduino Portenta H7 [13] .....	21
Obrázek 2-5: Příklad zapojení Modbus/Wi-Fi konvertoru [15] .....	22
Obrázek 2-6: Hallův jev a příklad senzoru [18] [19].....	23
Obrázek 3-1: Rozměry výtahu.....	24
Obrázek 3-2: Charakteristika přerušovaného chodu [21] .....	26
Obrázek 3-3: Šneková elektropřevodovka WGM075 [23] .....	29
Obrázek 3-4: Blokové schéma zapojení.....	30
Obrázek 3-5: Elektromotor VYBO 2,2 kW 2AL100-L4 [24].....	32
Obrázek 3-6: Frekvenční měnič HITACHI X200 [26] .....	33
Obrázek 3-7: Výběr průběhu řízení frekvence [26].....	35
Obrázek 3-8: Schéma napěťového děliče [32] .....	37
Obrázek 3-9: Rozmístění Hallových senzorů plynulého dojezdu.....	38
Obrázek 3-10: Proces inicializace polohy .....	39
Obrázek 3-11: Výstup ze sériového monitoru .....	40
Obrázek 3-12: Arduino Mega [29].....	41
Obrázek 3-13: Proces volby patra .....	42
Obrázek 3-14: Definice senzorů a ukázka kódu zjišťování polohy.....	43
Obrázek 3-15: Příklad povelů pro frekvenční měnič .....	44
Obrázek 3-16: Příklad volby polohy a komunikace s vysílačem.....	45
Obrázek 3-17: Celkové zapojení strany přijímače.....	47
Obrázek 3-18: Arduino Nano [29] .....	48
Obrázek 3-19: Celkové zapojení strany vysílače.....	49
Obrázek 3-20: Ukázka inicializace komunikace vysílače.....	49
Obrázek 3-21: ukázka celé smyčky kódu vysílače.....	50

Obrázek 3-22: NRF24L01+ [31] .....	51
------------------------------------	----

## Seznam tabulek

Tabulka 3-1: Základní parametry výtahu .....	24
Tabulka 3-2: Základní parametry motoru 2AL100-L4 .....	31
Tabulka 3-3: Účinnost motoru 2AL100L1-4 při 50 Hz [24] .....	32
Tabulka 3-4: Parametry Hallova senzoru NJK-5002C [28] .....	36
Tabulka 3-5: Seznam a rozřazení Hallových senzorů .....	38

# 1. ÚVOD

Výtah je zařízení, určené k přepravě osob nebo nákladu mezi několika místy. Výtahová dráha může být buďto šikmá, nebo svislá. Pohyb výtahů umožňují nejčastěji elektrické pohony, u nichž se jedná o nepřímý pohon, kombinující elektrický motor, převodovku a břemeno. [1]

Asynchronní motor byl díky velké spolehlivosti, nízkým nárokům na údržbu a poměrně jednoduché konstrukci v minulosti nejčastěji používaným motorem. Kvůli dnes velmi rozšířeným polovodičovým měničům se však ke slovu dostávají synchronní motory s permanentními magnety, které disponují vyšší účinností, ale jejich pořizovací cena je kvůli náročnější konstrukci stále vyšší. Asynchronní motor s klecí na krátko tedy zůstává nejpoužívanějším pohonem výtahu.

Ve výtahové technice se klade velký důraz na bezpečnost provozu, obzvláště pokud se jedná o výtah určený k přepravě osob. Na výtahy nákladní se vztahují mírnější regulace, ale i přes to zůstává pravidlem, že výtahový systém musí být ve všech směrech naddimenzovaný, aby nehrozilo nebezpečí pádu.

V dnešní době se ve všech odvětvích v čím dál větší míře využívá bezdrátových technologií, s čímž se pojí potenciální rizika kybernetické bezpečnosti a zabezpečení zařízení. Současně však dnes existují vyspělé možnosti, jak proti neoprávněnému zásahu do soukromé bezdrátové sítě bojovat. Tato řešení bývají však často nákladná a je tedy nutné zvážit jejich nasazení pro konkrétní aplikaci.

V této diplomové práci je předmětem návrhu šikmý stavební výtah a návrh jeho řídicích obvodů. V následujících kapitolách bude navržena koncepce výtahu, budou vybrány jednotlivé komponenty řídicích a silnoproudých obvodů a také bude navržen řídicí algoritmus, ovládající pohon. Tento výtah by měl také umožňovat zabezpečené bezdrátové řízení.

## 2. TEORETICKÁ REŠERŠE

Cílem této kapitoly je rozčlenit a popsat v současné době používané bezdrátové technologie, moduly, ovládací prvky a senzory tak, aby následující kapitoly, zabývající se samotným návrhem kolejového výtahu vedly ke vhodnému dimenzování a výběru jednotlivých komponent.

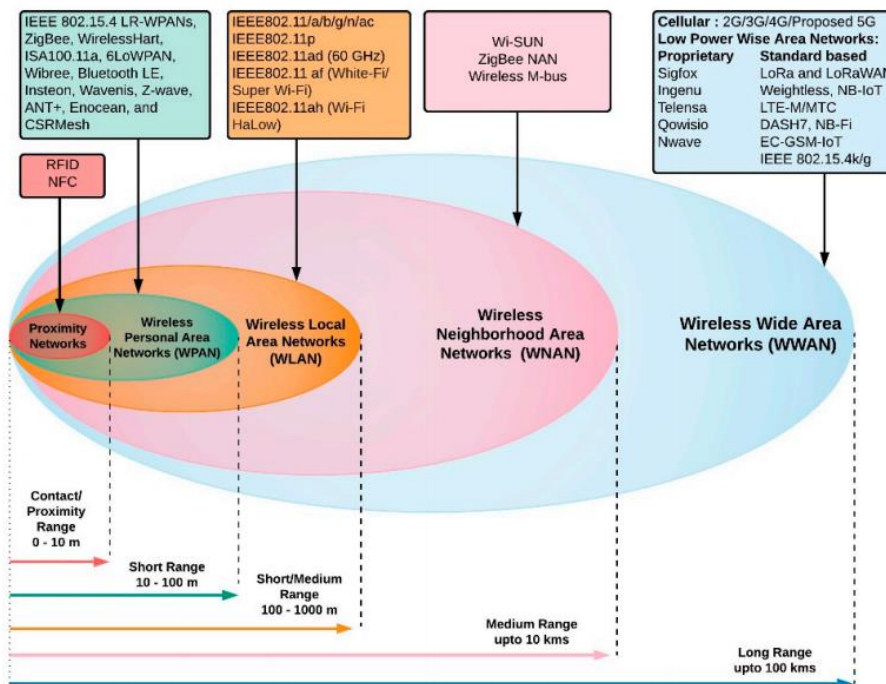
### 2.1 Bezdrátová komunikace

Bezdrátovou komunikaci lze rozdělit podle dosahu, pracovní frekvence, nebo zda se jedná o volně přístupné pásmo, či licenční.

Do skupiny sítí s krátkým dosahem se řadí například běžně používané standardy WiFi 802.11, či Bluetooth 802.15.1 o frekvenci 2,4 a 5 GHz. Tyto sítě využívají nelicencovaných frekvenčních pásem a jsou vhodné především pro aplikace s velkou náročností na datový tok. Současně se jedná o sítě spíše určené pro domácí použití, kvůli jejich krátkému dosahu a většímu datovému toku spojenému s větší spotřebou. Tyto aspekty vedou k nevhodnosti použití v průmyslovém odvětví, jelikož by bylo jejich využití ekonomicky nevýhodné. [2]

Dalším typem sítí jsou telefonní sítě jako známé 2G/3G/4G, které nabízí vysoké pokrytí signálu a rychlý přenos dat, nicméně se nachází v licenčním frekvenčním pásmu a jsou tedy zpoplatněny, čímž by delší provoz znamenal případná nízká investice do řídicích prvků byla brzy převyšena poplatky za poskytování datových služeb.

Střední cestou je Low Power WAN (LPWAN). Jedná se o licenčně nevázaný typ sítě, který se vyznačuje dalekým dosahem, nízkými provozními náklady a nízkou spotřebou energie. Využívá se převážně v oblasti IoT, nebo v komunikaci mezi dvěma zařízeními, vyžadujícími tyto přednosti. Vzdálenosti přenosu se pohybují mezi 2 km a 1000 km při rychlostech přenosu až 200 kbps. Výhodou je také velká kapacita zařízení v jedné síti, kterých může být přes 100 tisíc. [3] [4]



**Obrázek 2-1: Porovnání dosahu bezdrátových sítí [3]**

Na Obrázek 2-1 jsou porovnány dosahy jednotlivých sítí, z nichž budou některé dále rozebrány. V následujícím návrhu bude vybrán typ bezdrátového přenosu zejména na základě dosahu a ceny.

## WiFi

Topologie sítě WiFi umožňuje připojení přes takzvaný přístupový bod, k němuž musejí být všechna zařízení připojena. Příkladem může být klasický domácí router a k němu připojená klientská zařízení. Maximální dosah sítě WiFi se pohybuje v závislosti na anténě, rušení a členitosti okolí kolem jednoho kilometru. V praxi bývá dosah však výrazně horší. [2]

Často používaným modulem, který lze připojit k různým druhům mikrokontrolerů, jako je Raspberry Pi, nebo Arduino, je ESP8266. Modul podporuje protokol IEEE 802.11 b/g/n, vyznačuje se nízkou spotřebou a poměrně krátkým dosahem, vyváženým nízkou cenou. Tento modul umožňuje buďto připojení k přístupovému bodu, anebo přímou komunikaci mezi dvěma stejnými zařízeními peer-to-peer. ESP8266 lze pořídit již kolem 100 Kč. [5]

## **Bluetooth**

Standardizovaný protokol 802.15.1 slouží technologii Bluetooth, která je hojně rozšířena. Tato síť je však spíše zaměřena na komunikaci na krátkou vzdálenost mezi přenosnými zařízeními o malých rozměrech. Technologie Bluetooth pomocí tříd značí s jak velkým výkonem vysílač pracuje, což souvisí s maximálním dosahem. Nejvyšší třída Bluetooth Class 1 dosahuje při vysílacím výkonu 100 mW až 100 metrů na volném prostranství. [6]

Při využití technologie Bluetooth je vhodný například modul RN-41, který nabízí třídu 1 s velkým dosahem. Cena tohoto modulu se však pohybuje kolem 1000 Kč. Toto řešení by bylo vhodné zejména v případě potřeby ovládat zařízení pomocí mobilního telefonu, se kterým lze navázat bezpečné spojení a zároveň využívá technologie Bluetooth Low Energy (BLE), která, jak název napovídá, není náročná na spotřebu. V případě takového použití by však nastal problém s dosahem, protože běžné telefony využívají pouze Bluetooth třídy 2, a tak by se přenos degradoval na úroveň účastníka s nejnižší třídou Bluetooth. Důsledkem by byl citelně snížený dosah.

## **ZigBee**

Jedná se o síť typu WPAN protokolu 802.15.4, tedy o síť s krátkým dosahem. Síť se vyznačuje dosahem až 700 m, přenosovou rychlostí dosahující až 250 kbps při frekvenci 2,4 GHz, velkou spolehlivostí a nízkými pořizovacími náklady. ZigBee se zaměřuje zejména na průmyslové strukturované sítě a nabízí alternativu k technologii Bluetooth. Síť pracuje s bezlicenčními frekvencemi 868 MHz a 2,4 GHz. Nedostatkem této sítě je její krátký dosah, který je způsoben malým vysílacím výkonem (asi 1 mW). To je ale ve větších sítích řešeno tak, že velký počet síťových účastníků tvoří tzv. mesh, kde každý z nich slouží jako opakovací, a tak dosah sítě dále rozšiřuje. Její použití je tedy vhodné pro energeticky nenáročnou komunikaci na krátkou vzdálenost, anebo v komplexních sítích s mnoha účastníky. [7]

## **LoRa**

Jedná se o patentovaný protokol společností Semtech, který využívá volných bezlicenčních pásem v Evropě o frekvenci 868 MHz. Firma Semtech vyrábí LoRa čipy, zatímco nezisková společnost LoRa Alliance se stará o rozvoj a standardizaci protokolu. LoRaWAN je stejně jako ostatní LPWAN sítě převážně využíván v IoT odvětví, kvůli svým přednostem společným LPWAN sítím. Přenosová vzdálenost se pohybuje v závislosti na členitosti terénu a připojené anténě a konkrétním modulu už od 100 m do 40 km. Nejlevnější LoRa moduly stojí 200 Kč a pro obyčejnou komunikaci mezi dvěma zařízeními bohatě dostačují. [8] [4]

## **SigFox**

Jedná se o nejstarší technologii z rodiny LPWAN sítí založenou v roce 2010, která má největší celosvětový podíl na IoT trhu. SigFox pracuje na velmi úzkém frekvenčním pásmu. Stejně jako LoRa nabízí výhody jako nízké energetické nároky a velký dosah, přičemž navíc přidává velmi nízké pořizovací náklady. Základní moduly pro bezdrátovou komunikaci lze pořídit již od 500 Kč. [9]

Výhodou této sítě je díky spolupráci s mobilním operátorem T-Mobile, který poskytuje svoji infrastrukturu, pokrytí asi 96 % území České republiky.

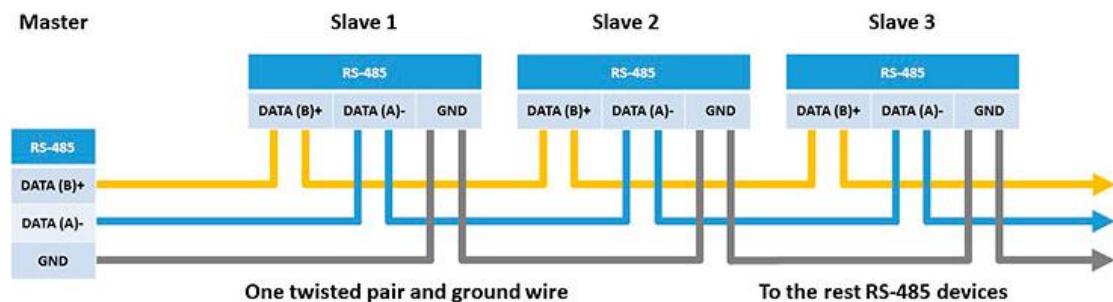
Síť SigFox je schopna za jeden den odesílat pouze 144 zpráv a rozděluje zprávy na takzvané downlink a uplink, kde uplink (senzor) dokáže odeslat až 140 zpráv a downlink pouze zbývající 4, přičemž jedna zpráva může být o maximální velikosti 12 bajtů. Kvůli těmto faktům není použití sítě SigFox vhodné v aplikacích náročných na častou výměnu informací a tam kde je nutné, aby přijímací zařízení komunikovalo zpětně se senzorem. Ideální druh využití je pro tuto síť pro méně časté vzdálené měření veličin a obecně pro senzorické IoT aplikace. [4]

## NB-IoT

Tato technologie, využívající zavedené mobilní sítě LTE, narozdíl od ostatních vyžaduje vestavěnou SIM kartu v komunikačním modulu. Název napovídá, že se jedná od úzkopásmovou technologii (narrow band). NB-IoT nabízí nejvyšší rychlost přenosu a velké pokrytí signálem, což je vykoupeno poměrně velkou spotřebou, vycházející z principu fungování sítí LTE. Zařízení, kromě nezbytné výměny dat, udržují kontakt s bránou, která data odesílá dále na síťový server. Tento druh sítě je nejvíce vhodný pro aplikace, kde je zapotřebí častější oboustranná komunikace a zároveň kde není brán přísný ohled na spotřebu. [4]

## 2.2 Kabelová komunikace sériovou linkou

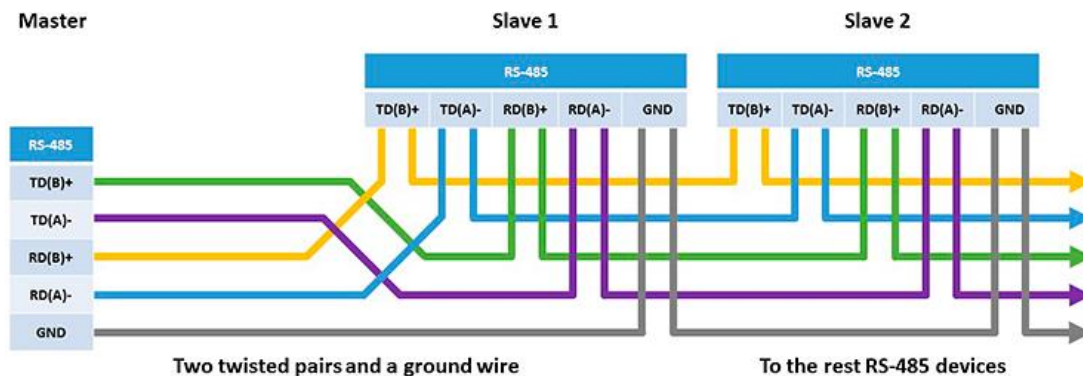
Modbus je komunikační protokol založený na sériovém přenosu dat. Jedná se o otevřený protokol, který umožňuje volné využití v průmyslu. Princip výměny dat je založen na rozlišování účastníků na Master a Slave adresy. Master adresa je ta strana, která vyžaduje čtení nebo zápis dat na adresu jednoho ze Slave účastníků. Protokol umožňuje až 247 různých Slave adres zároveň při jedné Master adrese. Výhoda spočívá ve velkém rozšíření v nejrůznějších průmyslových komunikačních zařízeních. [10]



Obrázek 2-2: Schéma zapojení RS-485 v poloduplexním režimu [11]

Na

Obrázek 2-2 je znázorněno schéma zapojení vodičů RS-485 ve dvou vodičovém režimu, kdy v jeden okamžik může PLC komunikovat se Slave účastníky pouze jednosměrně. [11]



**Obrázek 2-3: Schéma zapojení RS-485 v duplexním režimu [11]**

Toto řešení má výhodu zejména v aplikacích, kde se nachází velké množství senzorů, případně při komunikaci více zařízení na velkou vzdálenost, které vyžadují obousměrnou komunikaci. Výhodou je, že se tímto zapojením sníží počet použitých vodičů, protože od každého Slave účastníka nemusí vést vodič až do řídicí jednotky, jako je tomu u paralelní komunikace.

V případě navrhovaného výtahu sériová komunikace má opodstatnění ve smyslu zjednodušení kabeláže od Slave účastníků k řídicí jednotce, pomocí jednoho sériového kabelu. Pokud by bylo použito paralelní komunikace, musel by mít každý účastník vlastní komunikační vodič zavedený až do řídicí jednotky.

### 2.3 Mikrokontrolery a PLC

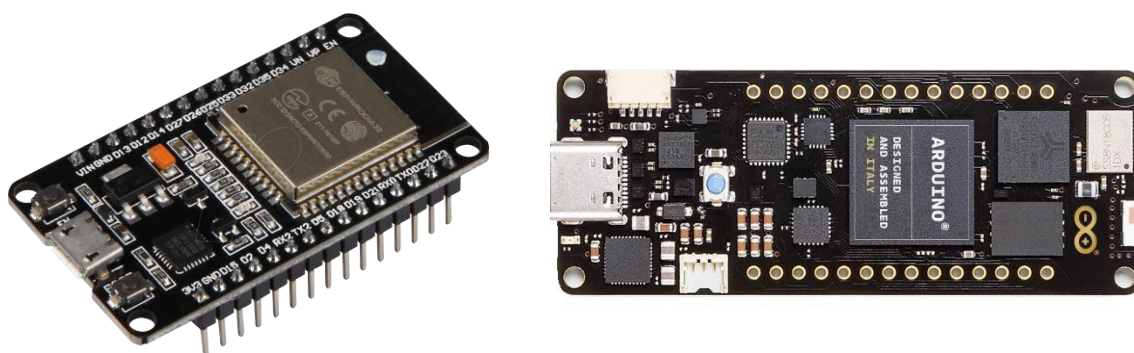
Existuje mnoho typů programovatelných obvodů, které jsou na řízení frekvenčních měničů vhodné. Výběr řídicí jednotky musí v tomto případě splňovat také požadavek na radiovou komunikaci s dalším zařízením, které mu posílá povely.

Na jedné straně je mikrokontroler s příznivější cenou a na straně druhé PLC s robustnějším a spolehlivějším provedením, které je vhodné pro průmyslové využití. Dalším rozdílem je velikost. Mikrokontrolery bývají velmi malé integrované obvody, kdežto PLC obecně představuje modulární architekturu. [12]

Mikrokontrolery obvykle pracují na vysokém taktu a jsou tak schopny pracovat s většími objemy dat.

V případě použití mikrokontroleru by bylo řešení bezdrátové komunikace jednodušší a podstatně levnější, protože desky jako jsou Raspberry Pi, nebo Arduino jsou dnes běžně vyráběny s integrovanou podporou sítě Wi-Fi, případně bezdrátové moduly, které jsou většinou univerzální pro různé mikrokontrolery, jsou velmi levné.

Další výhodou je modulární forma, přičemž lze rozšiřovat již navržený kontroler o dodatečné libovolné funkcionality. Samozřejmostí jsou i jiné doplňkové obvody například pro komunikaci přes GPRS, nebo Bluetooth. [13]

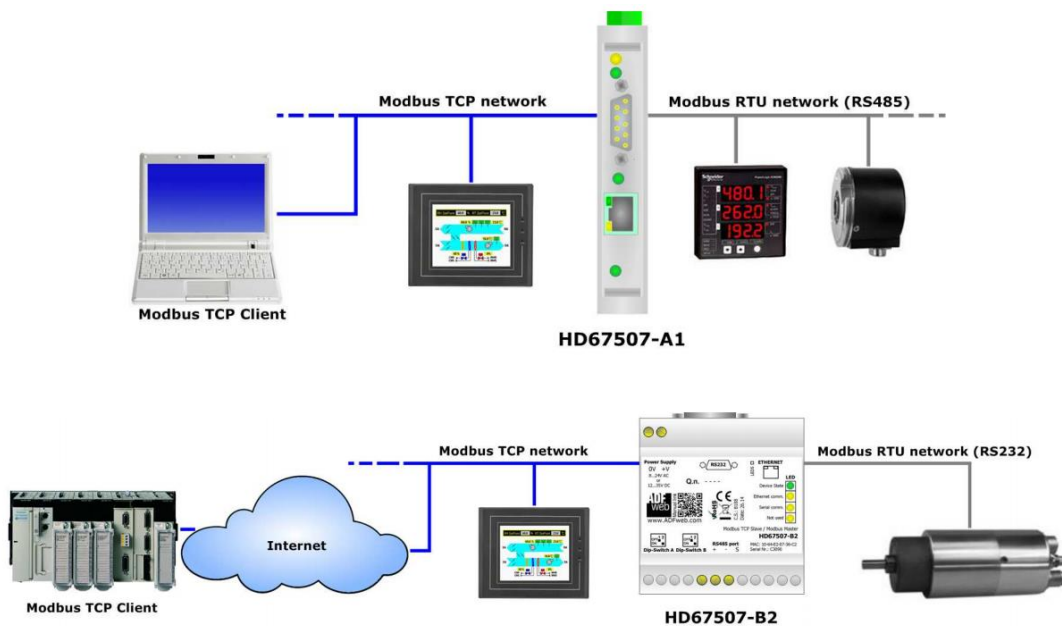


**Obrázek 2-4: NodeMCU [14] a Arduino Portenta H7 [13]**

Zajímavým řešením je rovněž vývojová deska NodeMCU, která v miniaturních rozměrech spojuje Wi-Fi modul ESP-8266 běžně používaný ve Wi-Fi shieldech pro Arduino. Vývojová deska umožňuje stejné funkce jako Arduina, včetně programování v C/C++. Nevýhodou je však menší počet vstupně výstupních pinů. [14]

Novinkou na trhu je Arduino Portenta H7, které dle výrobce bude oproti běžným deskám arduina zaměřené hlavně na průmyslové využití. Nové Arduino bude zvládat programování v jazycích C/C++, JavaScript a Python. Dále bude mít zvýšenou teplotní odolnost a bude klást důraz na IoT průmyslové aplikace. [13]

V případě PLC jsou možnosti bezdrátového ovládání řešeny v závislosti na výrobci buďto tak, že má PLC přímo v sobě například Wi-Fi modul, anebo tak, že se signál ze sériové linky Modbus/Wi-Fi převaděčem posílá do druhého bezdrátového zařízení, kde bývá nejčastěji ovládání. Převaděč na straně protokolu Modbus je nastaven jako Master a přijímač Wi-Fi na straně druhé je nastaven jako Slave. [15]



**Obrázek 2-5: Příklad zapojení Modbus/Wi-Fi konvertoru [15]**

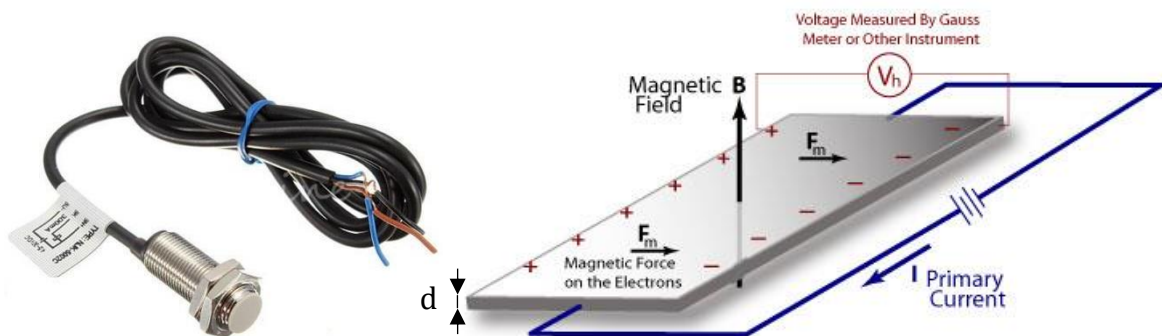
Na Obrázek 2-5 je příklad zapojení Wi-Fi převaděče od společnosti ADF Web. Další možností je integrovaný PLC obvod se zabudovaným bezdrátovým modulem. Například kontrolér Unipi řady Axon nabízí komunikaci RS-485, ethernet, Wi-fi, Bluetooth a dokonce LTE. Data umí odesílat pomocí vlastního softwarového balíku Mervis do vzdáleného SCADA monitoringu, což je počítačový systém, určený ke vzdálenému ovládání a sledování v reálném čase. [16]

Obecně lze tedy říci, že PLC se jeví jako vhodnější volba pro průmyslovou automatizaci a místa, kde mezi sebou komunikuje větší množství účastníků, tedy místa, kde se pořízení těchto nákladnějších technologií vyplatí. Na druhé straně mikrokontroler je vhodné použít pro menší sítě s menšími průmyslovými nároky.

## 2.4 Senzory

Běžně používané výtahové senzory fungují na mechanickém principu, nebo optickém principu jako koncové spínače, nebo optické závory. Stavební výtah však bude pracovat ve venkovním prostředí, kde lze předpokládat silné znečištění a vlhkost. Tyto vlivy by mohly zapříčinit nefunkčnost optických senzorů a následnou nefunkčnost pohonu. Dalšími typy senzorů jsou kapacitní senzory, které však nejsou příliš spolehlivé ve venkovním prostředí. Tyto senzory se využívají na detekci nevodivých materiálů. Ultrazvukové senzory detekují předměty pomocí vysokofrekvenčního zvuku a taktéž jsou velmi náchylné na znečištění. [17]

Nabízí se proto použití Hallovy sond, které pracují na principu vzájemného působení elektrického a magnetického pole.



Obrázek 2-6: Hallův jev a příklad senzoru [18] [19]

Pokud je tenká polovodičová destička o tloušťce  $d$  protékána proudem  $I$  a zároveň je vložena do magnetického pole tak, aby siločáry magnetické indukce procházely kolmo destičkou, potom je možné měřit mezi konci destičky Hallovo napětí, jak je vidět na Obrázek 2-6.

Tento jev je způsoben vytlačováním pohybujících se elektrických nábojů na jednu stranu tenké destičky Lorentzovou silou. Mezi těmito dvěma stranami destičky tedy vzniká rozdíl potenciálů, který je měřitelný a závislý na přiloženém magnetickém poli. [20]

$$U_h = \frac{R_h}{d} \cdot I \cdot B \quad (2.1)$$

Kde  $U_h$  je Hallovo napětí [V],  $R_h$  je Hallova materiálová konstanta [-],  $d$  je výška destičky [m],  $I$  protékající proud [A] a  $B$  je magnetická indukce [T].

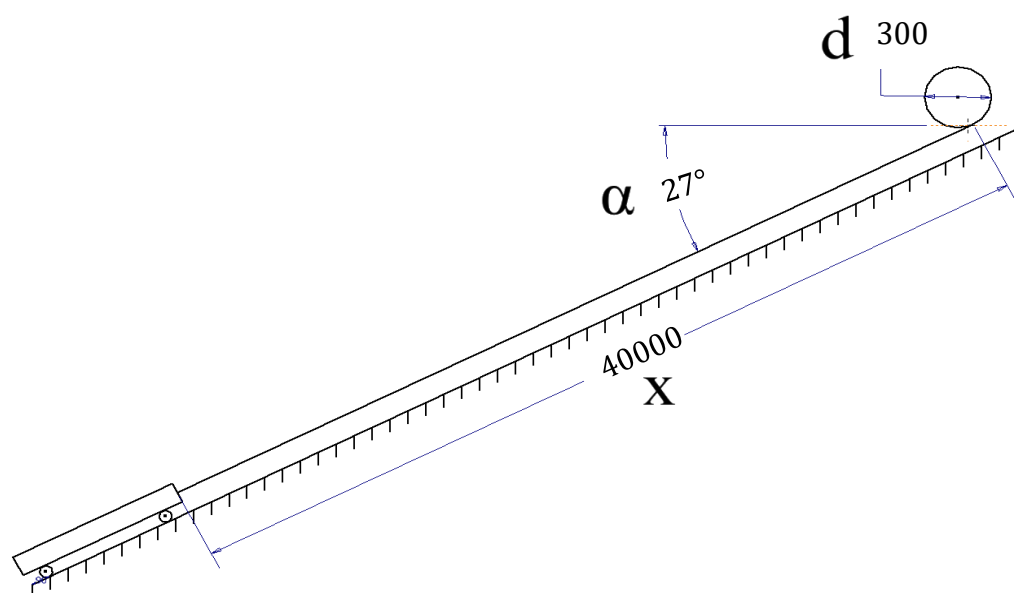
### 3. NÁVRH POHONU

Návrh pohonu je rozdělen na část mechanickou a elektrickou. Obě části jsou však v průběhu návrhu spolu úzce spjaty. Pro správnou volbu motoru, pohánějícího výtah v nejdříve nutné na základě daných počátečních podmínek určit jeho požadovaný výkon. V Tabulka 3-1 níže jsou uvedeny požadované parametry výtahu. Fyzické rozměry sestavy vlečky, lana a lanového bubnu jsou znázorněny na Obrázek 3-1.

Motor s převodovkou budou vybrány tak, aby byly navzájem kompatibilní jak z hlediska příruby, tak průměru hřídele a maximálního možného přenášeného momentu převodovky. Jedná se o výtahovou soustavu, jejíž dráha je odkloněna od horizontální roviny o  $27^\circ$ . Výtah bude dimenzován na maximální nosnosti 500 Kg a mezi čtyřmi zastávkami se bude pohybovat maximální rychlostí  $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**Tabulka 3-1: Základní parametry výtahu**

Jmenovitá rychlost	Sklon dráhy	Nosnost	Délka lana	Průměr lanového bubnu	Počet stanic
$v [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	$\alpha [^\circ]$	$m_n [\text{kg}]$	$x [\text{mm}]$	$d [\text{mm}]$	$N$
0,5	27	500	40000	300	4



**Obrázek 3-1: Rozměry výtahu**

### 3.1 Mechanická část

Pro určení skutečného potřebného výkonu motoru je nutné vypočítat tažnou sílu za pomoci známé rychlosti výtahu, které chceme docílit. Výpočtem lze získat ideální výkon, který neuvažuje ztráty v pohonu, výkonovou využitelnost a sílu, způsobenou zrychlením při rozjezdu.

$$P_{ideální} = F_s \cdot v \quad (3.1)$$

Kde  $P_{ideální}$  je požadovaný ideální výkon motoru [W],  $F_s$  je statická tažná síla [N] a  $v$  je jmenovitá rychlost výtahu [ $m \cdot s^{-1}$ ].

Tažnou statickou sílu, tedy sílu, kterou musí motorový pohon vyvinout, aby překonal sílu gravitační a udržel vozík ve statické poloze, vypočítáme pomocí známého sinu úhlu sklonu výtahové dráhy, gravitačního zrychlení a hmotnosti břemene. Hmotnost břemene je celkovým součtem maximální nosnosti nákladu a hmotnosti kolejového vozíku, u kterého se předpokládá hmotnost 30 Kg.

$$F_s = m \cdot g \cdot \sin(\alpha) \quad (3.2)$$

Kde  $m$  je hmotnost břemene [kg],  $g = 9,81 m \cdot s^{-2}$  je gravitační zrychlení a  $\alpha$  je úhel sklonu výtahové dráhy [°].

$$F_s = 500 \cdot 9,81 \cdot \sin(27) = 2226,82 \doteq 2230 N \quad (3.3)$$

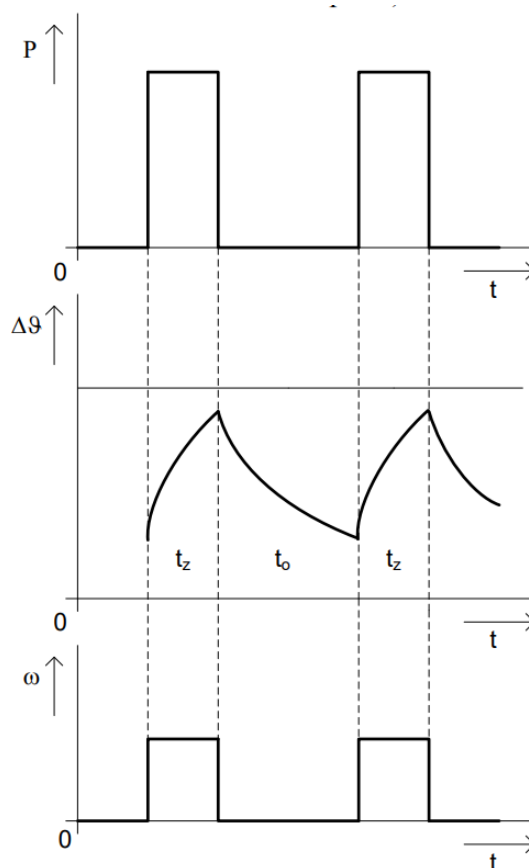
Výsledná tažná síla, kterou bude lano navijeno musí být tedy alespoň 2230 N. Dle [21] je nutné pro správný návrh uvažovat u pohonů s proměnným zatížením zatěžovatele  $z$ , který představuje poměr doby chodu k době jednoho cyklu, který zahrnuje jedno zapnutí a jedno vypnutí motoru.

$$z = \frac{t_z}{t_z + t_o} = \frac{t_z}{t_c} \quad (3.4)$$

Kde  $z$  je zatěžovatel [-],  $t_z$  je doba zapnutí [s] a  $t_o$  je doba vypnutého stavu [s] a  $t_c$  je celková doba jednoho cyklu [s].

Při uvažování nejméně příznivého stavu, kdy je výtah spínán s co nejkratší možnou přestávkou se uvažuje zatěžovatel až  $z = 0,6$ . Jedná se dle ČSN 350000 o typ zatížení S3, kdy je motor v periodických cyklech opětovně zapínán a vypínán. Tím je zajištěno dostatečné naddimenzování zatížení motoru. [21]

Charakteristika na Obrázek 3-2: Charakteristika přerušovaného chodu znázorňuje i předpokládanou křivku oteplení motoru. V případě stavebního výtahu bude však toto oteplení zanedbatelné, jelikož je velice nepravděpodobné, že by se motor chodem stihl zahřát na ustálenou hodnotu oteplení. Předpokládá se totiž, že vykládka nákladu bude natolik dlouhá, aby se motor stihl vychladit a chod natolik krátký, aby se nestihl zahřát a ustálenou teplotu.



**Obrázek 3-2: Charakteristika přerušovaného chodu [21]**

Nyní je nutné minimální vypočtený požadovaný výkon zvětšit o ztráty způsobené převodovým třením a ztrátami v ložiscích. Minimální výkon bude rovněž zvětšen o nekonstantní výkonové zatížení, vyjádřené zatěžovatelem  $z$ . [21]

$$P_{min} = \frac{F_s \cdot v}{\eta_p \cdot z} \quad (3.5)$$

Kde  $P_{min}$  je reálný minimální požadovaný výkon motoru [W] a  $\eta_p$  je účinnost převodu [-].

Jelikož statická tažná síla  $F_s$  neuvažuje zrychlení při rozjezdu, je nutné vypočítat dynamickou tažnou sílu  $F_d$ , která bude větší. Aby byl rozjezd výtahu dostatečně plynulý, je zvolena doba rozjezdu jedné vteřiny na nominální rychlost. To je doba nejrychlejšího možného rozjezdu. Dynamická tažná síla vyjde největší možná a na ni můžeme pohon dimenzovat. Z toho plyne, že zrychlení se bude rovnat  $a = 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ . Pro výpočet je použita upravená odvozená rovnice (3.2) rozložených sil na nakloněné rovině.

$$F_d = m \cdot (g + a) \cdot \sin(27) \quad (3.6)$$

Kde  $F_d$  je tažná síla v rozjezdu [N] a  $a$  je zrychlení při rozjezdu [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ].

$$F_d = 500 \cdot (9,81 + a) \cdot \sin(27) = 2340,3 \doteq 2341 \text{ N} \quad (3.7)$$

Z průměru lanového bubnu, který je zvolený na začátku návrhu a tažné dynamické síly, kterou působí lano na buben, lze určit moment bubnu.

$$M_{buben} = F_d \cdot \frac{d}{2} = 2341 \cdot \frac{0,3}{2} = 351,15 \doteq 352 \text{ Nm} \quad (3.8)$$

Kde  $M_{buben}$  je točivý moment na lanovém bubnu [Nm].

Na základě vypočtené tažné síly v rozjezdu bylo zvoleno ocelové lano 6x19 o průměru 8 mm. Výrobce uvádí, že jeho maximální nosnost je 1000 Kg, což je hodnota dostatečně naddimenzovaná i pro dynamické namáhání v případě tohoto výtahu. Výhoda tohoto lana spočívá v tom, že se skládá z velkého počtu drátů, a tak je velmi ohebné a vhodné pro navíjení.

$$N_z = \frac{x}{\pi \cdot d} = \frac{40}{\pi \cdot 0,3} = 42,44 \doteq 43 \quad (3.9)$$

Kde  $N_z$  je počet závitů lana v bubnu [-] a  $x$  je celková délka lana [m].

$$l = N_z \cdot d_l = 43 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 0,344 \doteq 0,35 \text{ m} \quad (3.10)$$

Kde  $l$  je šířka návinu bubnu [m] a  $d_l$  je průměr ocelového lana [m].

Vybraný lanový buben bude mít tedy minimální šířku návinu 0,35 m.

### 3.1.1 Volba převodovky

Protože běžné motory pracují v podstatně vyšších otáčkách a při nižším momentu, je nutné zvolit vhodnou převodovou skříň. Pro tento případ lanového výtahu je nejvýhodnější použít šnekovou elektropřevodovku, která nabízí velké množství výhod. V prvé řadě je to kompaktní provedení, které nabízí velký převodový poměr na malém prostoru. Velkou výhodou je její přirozená samosvornost, díky které ji není možné pohánět z opačné strany, tedy ze strany výtahového vozíku. Tím je zabráněno samovolnému rozjetí při výpadku napájení.

Nevýhodou je však její nižší účinnost způsobená vyšším třením z principu fungování šnekové převodovky, která se v závislosti na převodovém poměru pohybuje od 65 do 85 %. [22]

Doba jedné otáčky při plné rychlosti výtahu je definována vztahem (3.11).

$$t_{rot} = \frac{o_{buben}}{v} = \frac{\pi \cdot d}{v} \quad (3.11)$$

Kde  $t_{rot}$  je doba jedné otáčky bubnu [s] a  $o_{buben}$  je obvod bubnu [m].

Pomocí známé doby jedné otáčky lze dopočítat požadované otáčky bubnu za jednu minutu.

$$n_{buben} = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot d} = \frac{60 \cdot 0,5}{\pi \cdot 0,3} = 31,8 \text{ min}^{-1} \quad (3.12)$$

Kde  $n_{buben}$  jsou požadované otáčky lanového bubnu [ $\text{min}^{-1}$ ]

Převodový poměr  $p = 40$  byl vybrán na základě nabízené řady poměrů výrobce tak, aby bylo dosaženo přijatelných otáček pro vybraný elektromotor v kapitole **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** Dle [22] se účinnost převodovky na základě vybraného převodového poměru může pohybovat okolo 75 %.

$$M_{motor} = \frac{M_{buben}}{\eta_p \cdot 40} = \frac{352}{0,75 \cdot 40} = 11,73 \text{ Nm} \quad (3.13)$$

Kde  $M_{motor}$  je potřebný točivý moment motoru [Nm].

Pro docílení správného převodu a přenášeného momentu byla vybrána šneková elektropřevodovka WGM 110 od firmy VYBO Electric a.s.. Dle výrobce [23] je tato převodovka vhodná pro použití u lanových navijáků. Jedná se o elektropřevodovku, takže ji lze pomocí příruby napřímo spojit s elektromotorem. [22]



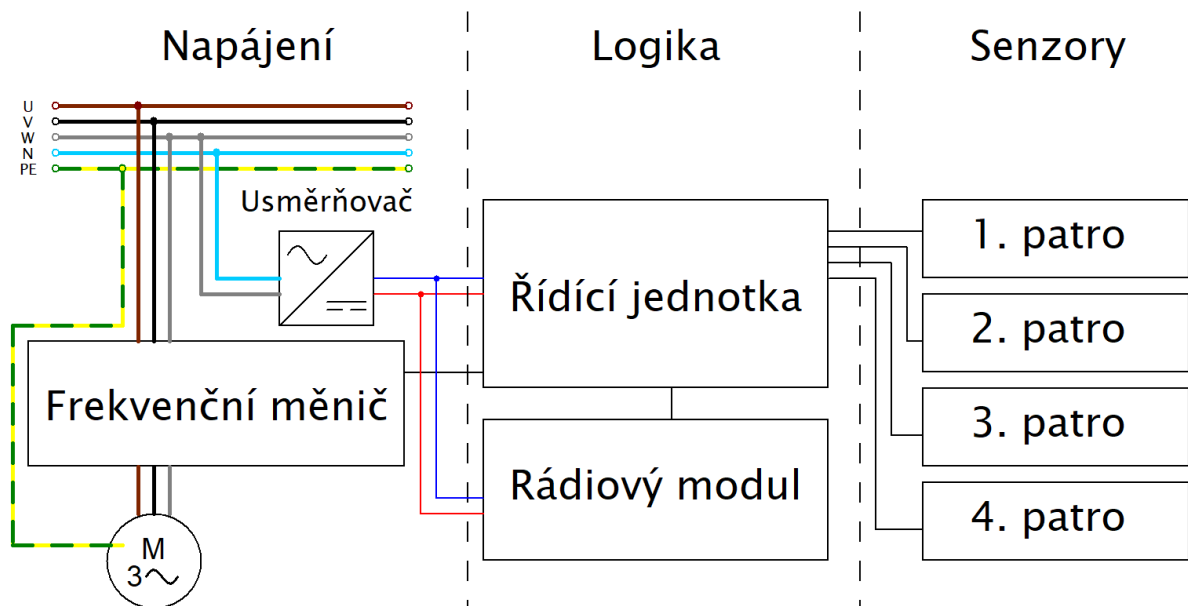
**Obrázek 3-3: Šneková elektropřevodovka WGM075 [23]**

## 3.2 Elektrická část

Elektrická část návrhu je v následujícím textu rozdělena do následujících částí:

- Výběr elektromotoru
- Výběr frekvenčního měniče
- Popis napájení všech elektrických komponent v obvodu
- Výběru vhodných řídicích členů
- Výběr senzorů
- Výběr bezdrátového komunikačního modulu
- Zabezpečení přenosu

V Obrázek 3-4: Blokové schéma zapojení níže je blokově zakresleno zapojení celého pohonu. Tlustou čarou jsou zakresleny silnoproudé obvody tak, aby se odlišily od tenkých slaboproudých rozvodů. Sensorická část je zakreslena pouze schematicky. Jednotlivé části budou podrobněji popsány v následujících kapitolách.



**Obrázek 3-4: Blokové schéma zapojení**

Rádiový modul bude vybrán na základě řídicí jednotky, takže v případě integrovaného bezdrátového modulu s řídicí jednotkou blok této jednotky ze schématu odpadne.

### 3.2.1 Motor

Výkon motoru bude zvolen na základě předchozích výpočtů tak, aby vyhovoval maximální hmotnosti nákladu, rychlosti výtahu a z toho plynoucího jmenovitého momentu.

Nejdříve je nutné vypočítat minimální požadované otáčky na hřídeli motoru.

$$n_{motor} = n_{buben} \cdot p = 31,8 \cdot 40 = 1272 \text{ min}^{-1} \quad (3.14)$$

Kde  $n_{motor}$  jsou požadované otáčky motoru [ $\text{min}^{-1}$ ] a  $p$  je zvolený převodový poměr [-].

Výkon motoru se vypočítá pomocí vypočítaného požadovaného momentu motoru a požadované úhlové rychlosti rotoru.

$$P_{motor} = M_{motor} \cdot 2 \cdot \pi \frac{n_{motor}}{60} \quad (3.15)$$

$$P_{motor} = 11,73 \cdot 2 \cdot \pi \frac{1272}{60} = 1562,47 \doteq 1563 \text{ W} \quad (3.16)$$

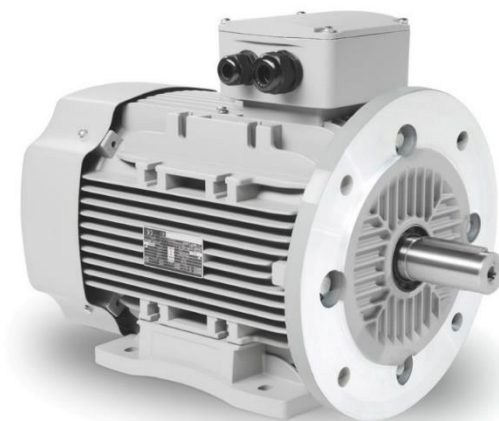
Dle rovnice (3.16) je nutné použít motor s výkonem alespoň 1563 W. Z hlediska vhodného naddimenzování, které je ve výtahové technice nutné byl zvolen nejbližší vyšší motor z běžné výkonové řady, a to asynchronní motor 2AL100L1-4 od výrobce VYBO Electric a.s. Jedná se o třífázový čtyřpólový stroj s nominální otáčkami  $n_{AM} = 1440 \text{ min}^{-1}$ .

**Tabulka 3-2: Základní parametry motoru 2AL100-L4**

Jmenovitý výkon	frekvence	Napětí Y/ $\Delta$	Jmenovitý proud Y/ $\Delta$	Jmenovité otáčky	Jmenovitý moment	Účinnost
$P_n$ [kW]	f [Hz]	$U_n$ [V]	$I_n$ [A]	$n_{AM}$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	$M_n$ [Nm]	$\cos \varphi$ [-]
2,2	50	230/400	8,09/4,65	1440	14,59	0,81

V Tabulka 3-2 jsou uvedeny základní parametry zvoleného motoru. Parametry jako je jmenovité napětí a proud jsou uvedeny jak pro zapojení do hvězdy, tak do trojúhelníku. Motor bude zapojen do trojúhelníku a jeho až sedminásobný záběrný proud při rozběhu bude omezovat frekvenční měnič.

Zvolený motor je patkovo-přírubový, bude tedy pevně spojen jak s pevnou konstrukcí pod motorem, tak pomocí příruby B5 k převodovce. Mechanický výkon z motoru bude přenášen pomocí pevné hřídele o průměru 28 mm.



**Obrázek 3-5: Elektromotor VYBO 2,2 kW 2AL100-L4 [24]**

S uvažováním zvoleného převodového poměru  $p = 40$  bude frekvenční měnič řídit motor tak, aby jeho otáčky při dosažení maximální rychlosti výtahu dosahovaly 1272 otáček za minutu tak, aby se výtahový vozík výtahu pohyboval rychlostí  $v = 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Z rovnice (3.17) plyne, že to je asi 88 % otáčkového rozsahu motoru.

$$\frac{n_{buben} \cdot p}{n_{AM}} = \frac{31,8 \cdot 40}{1440} = 0,883 \doteq 88 \% \quad (3.17)$$

Kde  $n_{AM}$  jsou jmenovité otáčky vybraného motoru [ $\text{min}^{-1}$ ].

Motor bude tedy zatížen pouze z 88 % a nabízí tak malou rezervu pro případné navýšení rychlosti výtahu. Dle katalogového listu výrobce je účinnost tohoto motoru definována ve třech bodech zatížení.

**Tabulka 3-3: Účinnost motoru 2AL100L1-4 při 50 Hz [24]**

Zatížení motoru	$\frac{P_{aktuální}}{P_n}$ [-]	0,5	0,75	1
Účinnost motoru	$\eta_m$ [%]	82,6	84,6	84,3

Z Tabulka 3-3: Účinnost motoru 2AL100L1-4 při 50 Hz plyne, že se motor bude pohybovat, při 1272 otáčkách za minutu, v pásmu své nejvyšší účinnosti a zároveň nabídne malou otáčkovou rezervu pro případ potřeby zrychlení výtahu.

### 3.2.2 Frekvenční měnič

Použití frekvenčního měniče je výhodné z mnoha hledisek. V první řadě je možné použít klasický asynchronní motor pro pohon výtahu, který má velice jednoduchou konstrukci, je tak spolehlivý a zároveň cenově dostupný. Takový motor však neumožňuje plynulý rozběh na jmenovité otáčky bez přídatného zařízení. Plynulý rozjezd a dojezd je však u jakéhokoliv výtahu vyžadován, a proto lze na tento účel využít frekvenčního měniče. Princip frekvenčního měniče spočívá v udržování poměru napětí a frekvence  $\frac{U}{f}$  tak, aby byl konstantní.

$$U_i = 4,44 \cdot N_1 \cdot \Phi \cdot f = konst. \quad (3.18)$$

$$\frac{U_i}{f} = konst \cdot \Phi = konst. \quad (3.19)$$

Kde  $U_i$  je indukované napětí statoru [V],  $\Phi$  je magnetický tok [Wb],  $N_1$  je počet závitů motoru [-] a  $f$  je frekvence [Hz].

Z předchozích dvou rovnic je zřejmé, že je nutné řídit indukované napětí  $U_i$  a frekvenci  $f$  současně. Pokud by se měnila jen jedna z těchto dvou veličin, tak by docházelo k nedostatečnému, nebo naopak přílišnému nasycení stroje. [25]



a ovládat jej tak vzdáleně. Měnič umožňuje současně analogové řízení pro jednoduché externí ovládání simulující ovládání potenciometrem na ovládacím panelu. [27]

Dle dokumentace k frekvenčnímu měniči [26] lze externí řízení provést dvěma způsoby. Buď to pomocí inteligentních vstupních svorek, ovládanými pomocí externích relátek, nebo pomocí připojení síťovým kabelem RJ-45 do síťové komunikace.

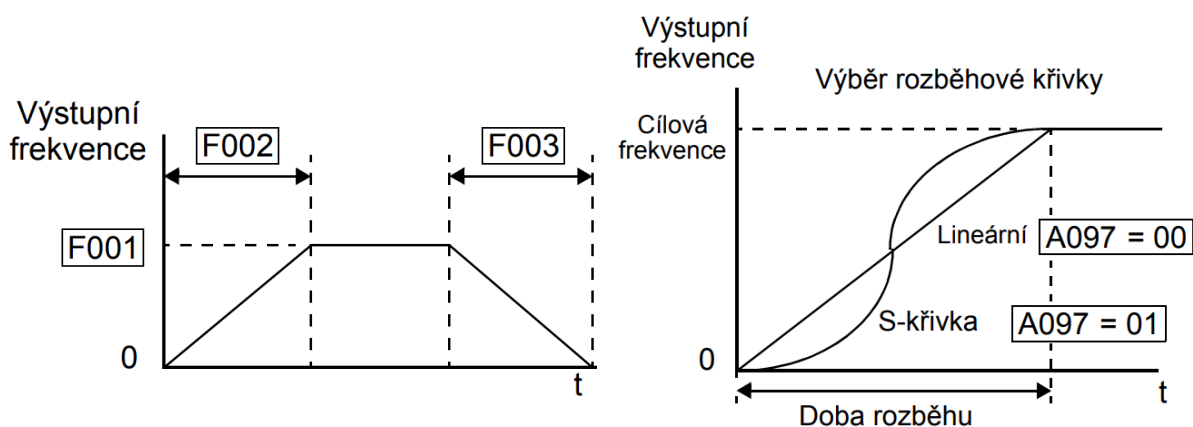
První způsob funguje tak, že se pomocí integrovaného zdroje napětí 24 V uzavře spínačem pomocí okruh do jedné z pěti svorek, kde každá má předem nastavenou programovatelnou funkci. Svorky je vhodné spínat pomocí několika relé, připojených k mikrokontroleru, anebo přímo pomocí PLC. Přímou na ovládacím panelu lze nastavovat všechny parametry měniče. Při řízení tímto způsobem je tedy nejprve nutné nastavit parametry rozběhu jako je délka náběžné hrany, maximální rychlost, počet pólů motoru, výkon a podobně. Tyto parametry se uloží do paměti zařízení a poté lze svorkám přiřadit prostou funkci běhu vpřed a vzad, případně vypnutí pohonu.

Řízení pomocí síťového kabelu je složitější, nicméně vyniká tam, kde je požadováno dálkové monitorování, nastavování parametrů a vzájemná komunikace mezi zařízeními.

Napájení obvodu je blokově popsáno na Obrázek 3-4 a dále rozvedeno v kompletním zapojení obvodu na Obrázek 3-17. Z třífázové sítě je napájen frekvenční měnič HITACHI X200, který dále napájí a řídí asynchronní motor VYBO 2AL100-L4. Tento frekvenční měnič umožňuje celou řadu nastavení jako je průběh rozjezdu a doběhu, nebo brzdění pomocí odporových zátěží. Před prvním spuštěním celého pohonu je nutné nakonfigurovat do paměti měniče parametry, které se týkají motoru, který bude řízen. [26]

Mezi tyto parametry se řadí:

- počet pólů
- základní frekvence
- Jmenovitý proud
- Průběhy rozběhu a doběhu



**Obrázek 3-7: Výběr průběhu řízení frekvence [26]**

Jmenovitá frekvence řízeného stroje je důležitá proto, aby měnič byl shora frekvenčně omezen a nemohl pracovat nad jmenovitou hodnotu frekvence stroje. Na Obrázek 3-7 je vidět možnost nastavení doby rozběhu a doběhu pomocí funkcí F002 a F003, který bude u tohoto pohonu nastaven shodně na hodnotu 4 vteřiny, tak aby byly dojezd do patra a brždění dostatečně plynulé. Ve vedlejším grafu je znázorněna možnost upravit křivku změny frekvence s časem do tvaru S. Tato volba je vhodná pro ještě plynulejší zastavení v patře.

Nastavením jmenovitého proudu stroje lze zabránit jeho případnému přehřátí, způsobeného nadproudem, pomocí integrované termoelektrické ochrany. Měnič pomocí zvoleného jmenovitého proudu počítá oteplení v čase a na základě toho vyhodnotí případné přetížení. [26]

### 3.3 Řízení

Řídicí systém je složený z vysílacího a přijímacího mikrokontroleru, přičemž na obě části jsou kladeny různé požadavky, které jsou určující pro volbu konkrétního mikrokontroleru, jeho napájení, případně volbu připojených senzorů.

Z pohledu komunikace se v obou případech jedná o totožná zařízení, tedy o takzvaný transciever. Jedná se o zařízení schopné komunikovat oběma směry. Z makroskopického pohledu bude dále řídicí jednotka, která je umístěna u výtahu, označována za přijímač a dálkový ovladač za vysílač.

### 3.3.1 Hallovy senzory NJK-5002C

Na základě kritérií výběru z kapitoly 2.4 byly pro snímání polohy vozíku vybrány Hallovy senzory, které vyhovují použití ve venkovních podmínkách, tedy splňují krytí IP67. Důležitým faktorem výběru byla také cena, protože vzhledem k počtu senzorů a k celkové ceně pohonu, by nebylo ekonomické použít senzory dražší než tisíc korun. V případě poruchy senzoru je bezpečnost zajištěna koncovými spínači na krajích výtahové dráhy.

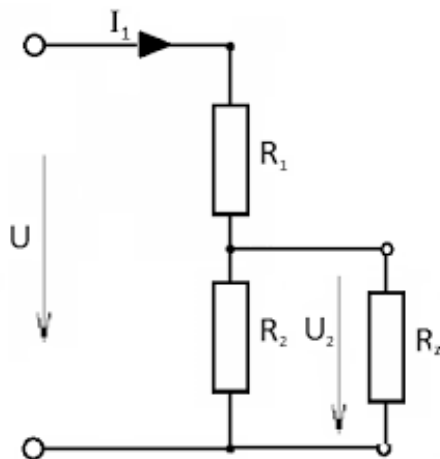
Tabulka 3-4: Parametry Hallova senzoru NJK-5002C [28]

Proximity Hall effect sensor NJK-5002C	
External dimensions	M12
Detection distance	10 mm
Supply voltage-hall effect	DC 5-30 V
Continuous load current	150 mA
Sensing object	Permanent magnet
Response frequency	100KHz
Protection	Reverse polarity protection/Surge suppressor
Dielectric strength	1500Vac, 1 min (between charging part and housing)
Material	Case: Brass-nickel plated
IP	67

Dle údajů od výrobce [28] v Tabulka 3-4 lze senzory napájet pomocí stejnosměrného napětí 5-30 V, maximální vzdálenost snímání je 10 mm a zdrojem magnetického pole je ideálně permanentní magnet.

Kvůli externímu napájení vyššímu než 5 V bude však nutné signál z každého senzoru děličem napětí snížit na příslušné napětí, které vyhovuje logickým svorkám Arduina, které mohou pracovat maximálně s 5 V. Zároveň aby Arduino vyhodnotilo výstup z Hallovy sondy jako logickou jedničku, je nutné, aby signál byl vyšší než 3 V.

Pro napěťový dělič byly zvoleny rezistory  $R_1 = 3,3 \text{ k}\Omega$  a  $R_2 = 2,2 \text{ k}\Omega$  tak, aby se při vstupním napětí  $U_2 = 12 \text{ V}$  na výstupu děliče objevilo napětí  $U = 4,8 \text{ V}$ .



**Obrázek 3-8: Schéma napěťového děliče [32]**

$$U = U_2 \cdot \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad (3.20)$$

$$U = 12 \cdot \left( \frac{2200}{2200 + 3300} \right) = 4,8 \text{ V} \quad (3.21)$$

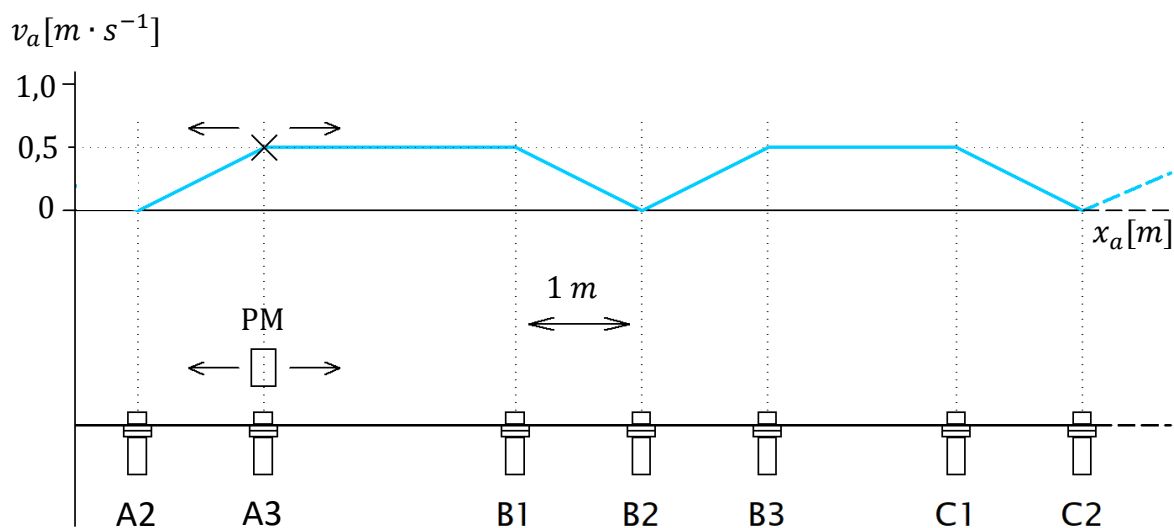
Kde  $R_1$  je horní odpor napěťového děliče [ $\Omega$ ],  $R_2$  je výstupní odpor děliče [ $\Omega$ ],  $U_2$  je vstupní napětí děliče [ $\text{V}$ ] a  $U$  je výstupní napětí děliče [ $\text{V}$ ].

### 3.3.2 Logika řízení

Protože výtah bude vozit těžký nebo rozměrný náklad, požaduje se, aby rozjezd a dojezd do cílového patra byl co nejvíce plynulý. V tom zásadně pomůže frekvenční měnič, který bude plynule měnit otáčky motoru při konstantním momentu až k nule.

Na Obrázek 3-9 je zakresleno rozmístění Hallových senzorů ve výtahové dráze. Na vozíku výtahu bude umístěn PM (permanentní magnet), který bude zdrojem magnetického pole pro senzory s Hallovými sondami.

V každém patře je umístěna trojice senzorů, kromě patra prvního a posledního, kde jsou umístěny koncové spínače. Prostřední snímače jsou patrové, které se starají o snímání, zda výtah stojí v patře a krajní jsou senzory rozjezdu.



**Obrázek 3-9: Rozmístění Hallových senzorů plynulého dojezdu**

V Obrázek 3-9  $v_a$  představuje aktuální rychlost pohybujícího se výtahového vozíku a  $x_a$  aktuální vzdálenost od prvního patra, ve které se právě nachází. Graf s průběhem rychlosti je zakreslen jen pro celé první a druhé patro. Další patra jsou jejich obdobou.

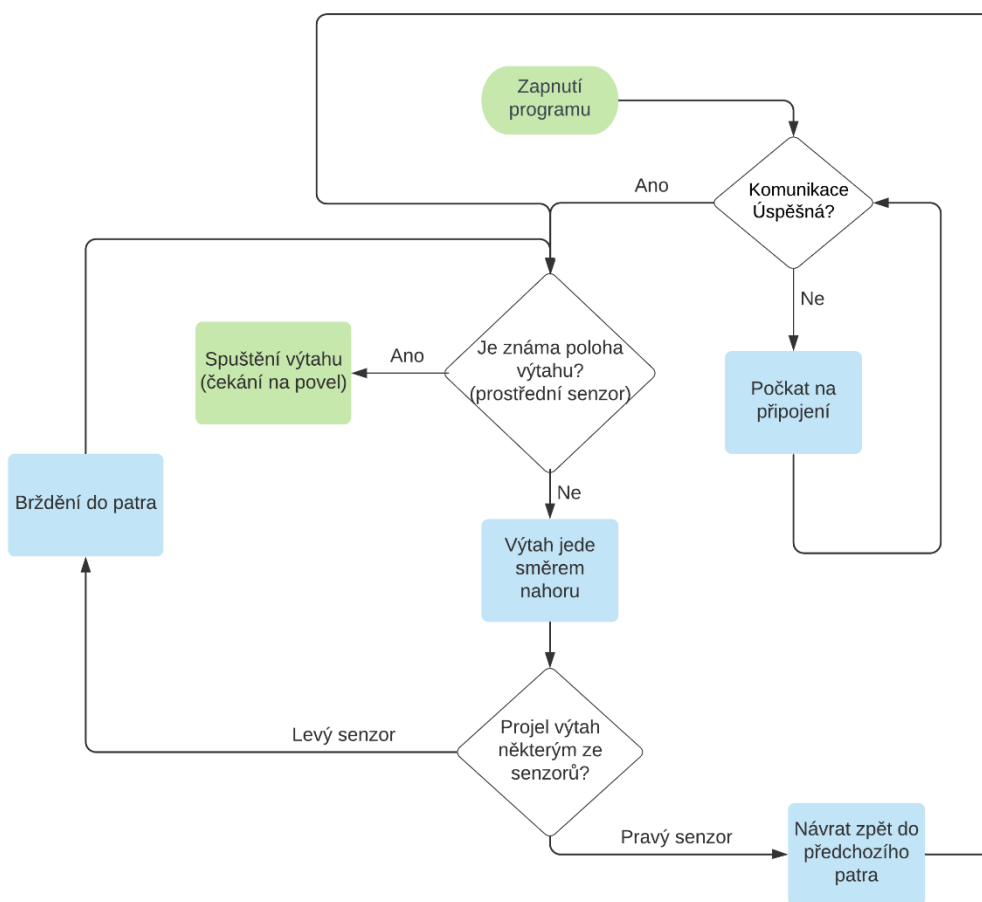
V obvodu bude tedy celkem 10 Hallových senzorů. Při délce výtahové dráhy 40 metrů byly senzory rozmístěny tak, že mezi patry bude asi 13 m oblast bez senzorů a mezi senzory v jednom patře budou rozestupy 1 m tak, aby výtah mohl dostatečně zpomalit do patra. Permanentní magnet bude umístěn uprostřed vozíku. Tím je dosaženo toho, že vozík po projetí krajním patrovým senzorem začne zpomalovat až do zastavení v patře and prostředním senzorem.

**Tabulka 3-5: Seznam a rozřazení Hallových senzorů**

Funkce	Označení senzoru
Senzory rozjezdu/dojezdu	A1, B1, B3, C1, C3, D1
Senzory patrové	A2, B2, C2, D2

Zda se má výtah po průjezdu prvním senzorem v patře rozjíždět nebo zpomalovat pozná řídicí jednotka podle toho, kterým ze dvou krajních senzorů projel naposledy.

Zavede-li se předpoklad, že nastavením rozběhu a doběhu frekvenčního měniče lze docílit po detekci průjezdu krajním senzorem relativně přesného dojetí permanentního magnetu k senzoru, potom stačí dát měniči vypínací povel při průchodu krajním senzorem a vůz dojde plynule do patra.



**Obrázek 3-10: Proces inicializace polohy**

Na Obrázek 3-10 je představen proces inicializace polohy výtahu tak, jak je naprogramován. Při zapnutí mikrokontroleru a dálkového ovládání se vždy nejprve ověří, zda tyto dvě zařízení spolu navzájem komunikují. Pokud ano, tak se testuje, zda je známa aktuální poloha výtahu. Tuto informaci mohou poskytnout pouze prostřední senzory každého z pater. Kdyby aktuální poloha byla neznámá, znamenalo by to, že se výtah nachází v mezipatře, nebo mezi senzory z toho důvodu, že s ním bylo manuálně pohybováno při vypnutém mikrokontroleru a poté nebyl uveden zpět do jednoho z pater. Výtah se při tomto procesu vždy nejdříve rozjede

směrem nahoru a pomocí senzorů se testuje, zda vozík projel některým z krajních senzorů. Pokud výtah projede pravým krajním senzorem, znamená to, že se musí zastavit a vrátit se zpět do nejbližšího patra. Pokud naopak projede levým krajním senzorem, tak výtah začne snižovat frekvenci podle přednastaveného průběhu doběhu a zastaví v patře. Proces inicializace je dokončen logickou jedničkou, příchozí od některého z prostředních senzorů. Nyní řízení ví, v jakém patře se vozík nachází a může spustit obvyklý algoritmus volby patra, který bude dále rozveden.

```
20:21:09.259 -> Poloha vytahu je neznama
20:21:09.293 -> Inicializace polohy
20:21:28.205 -> detekovan vyjezd z patra 2
20:21:28.205 -> brzdeni
20:21:33.679 -> rozjizdeni smerem k patru 2
20:21:36.635 -> brzdeni
20:21:42.142 -> Inicializace dokoncena
20:21:42.142 -> Cekani na zvoleni patra
20:21:42.176 -> Vytah se nachazi v patre 2
```

### **Obrázek 3-11: Výstup ze sériového monitoru**

Funkčnost programu je testována na přípravku, obsahujícím mikrokontroler, 2 relé pro ovládání měniče a všech 10 snímačů. Výstup je odeslán do počítače skrz USB, na který je přes sériovou komunikaci odeslán výstup z mikrokontroleru.

Na Obrázek 3-11 je ukázka chování procesu inicializace polohy. Po neúspěšném zjištění aktuální polohy vozík jel směrem nahoru, poté projel krajním snímačem druhého patra, a protože se jednalo o pravý snímač, vozík byl zastaven a odeslán zpět k patru, ze kterého vyjel, protože se nachází blíže než další patro. Nakonec přišel signál od patrového senzoru, že výtah již dorazil do patra a stojí v něm. Nyní je vše připraveno ke spuštění algoritmu pro volbu patra.

### 3.3.3 Mikrokontroler přijímače

Srdcem ovládání výtahu bude přijímací jednotka, která se bude starat o ovládání výtahu a bude obsahovat veškerou logiku tak, aby v případě že dojde k přerušení signálu od vysílače mohl výtah dokončit úkon a bezpečně ukončit činnost. Do této řídicí jednotky budou zapojeny veškeré senzory a ovládání pohonů, takže je vhodné zvolit mikrokontroler, který disponuje dostatečně velkým množstvím vstupně výstupních digitálních pinů a analogových vstupních pinů.

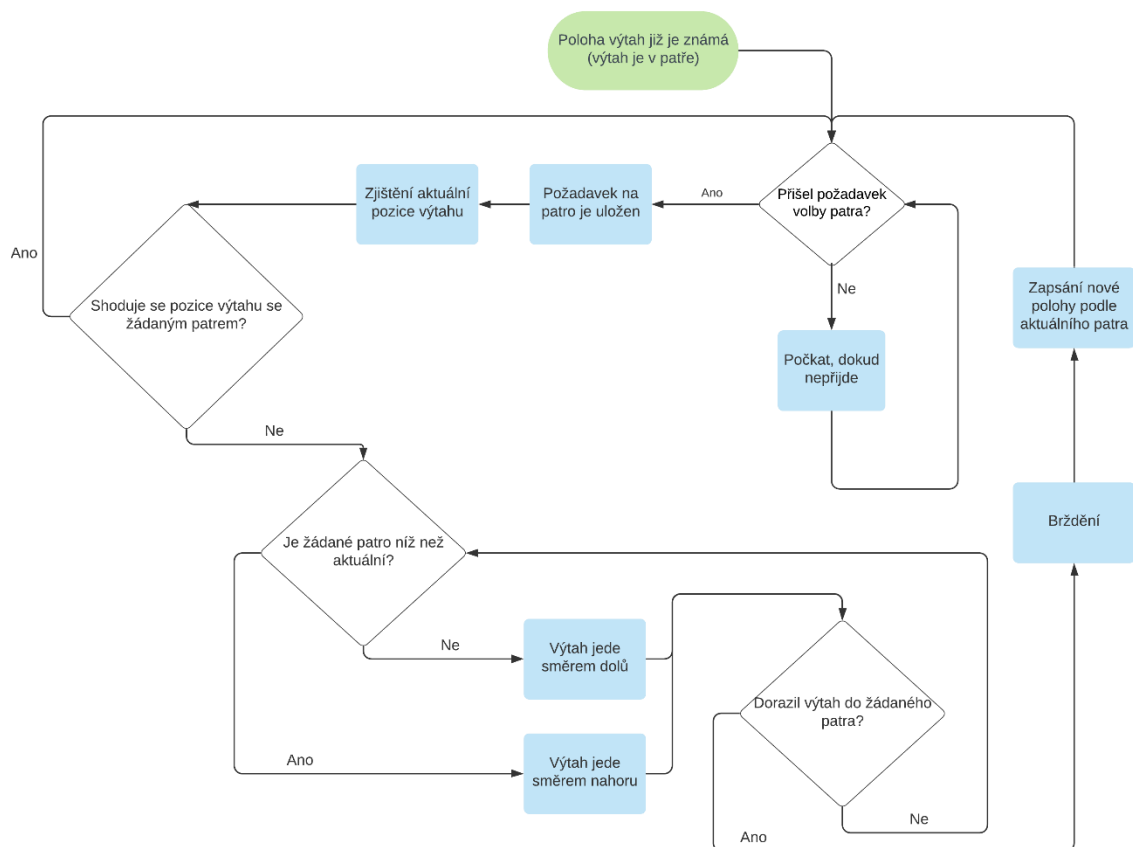
Z výše uvedených požadavků se nabízí pro tuto funkci Arduino Mega. Jedná se o rozšířenou verzi známého Arduino Uno, která nabízí použití až 54 digitálních a 16 analogových pinů současně. Tato deska byla zvolena zejména z toho důvodu, že se na ní nachází dostatečný počet analogových i digitálních pinů pro případné rozšíření o další senzory v budoucnu. Zároveň je tento mikrokontroler, v ohledu na ostatní dražší komponenty jako je frekvenční měnič, cenově srovnatelná s deskami o menším počtu pinů. [29]



**Obrázek 3-12: Arduino Mega [29]**

Napájení mikrokontroleru bude řešeno skrz externí spínaný zdroj připojený do 9 V vstupní napájecí zdířky.

Vzhledem k faktům, že Arduino Mega může napájet maximálně pět voltů a senzory pracují dle Tabulka 3-4: Parametry Hallova senzoru NJK-5002C Tabulka 3-4 s nejmenším možným napájecím napětím 5V, není možné, při předpokladu, že na dlouhém napájecím vedení vznikne úbytek napětí, udržet těchto 5 V a senzory tak z Arduina napájet. Pro napájení byl tedy zvolen spínaný 12 V zdroj. Do řídicí jednotky bude tedy zapojeno pouze 10 signálových vodičů od sensorů.



**Obrázek 3-13: Proces volby patra**

Volba patra funguje tak, jak je zjednodušeně popsána na Obrázek 3-13 za předpokladu, že již proběhla inicializace polohy, jak bylo popsáno v kapitole 3.3.2. a aktuální poloha je tedy známá. Pokud vysílač úspěšně předá přijímači informaci o tom, do kterého patra má výtah jet. Nejdříve se otestuje, zda není žádané patro shodné s aktuálním. Pokud ne, tak algoritmus pokračuje na zjištění, zda je žádané patro níž, nebo výš než aktuální. Pokud je žádané patro nižší než aktuální, tak výtah jede dolů a poté kontroler čeká na odpověď některého z pravých krajních senzorů, zda výtah přijel. Pokud ano, tak se spustí proces brzdění.

```

// Senzory patra
const int a2 = 8;
const int b2 = 9;
const int c2 = 10;
const int d2 = 11;

// Senzory prujezdu
const int a3 = 2;
const int b1 = 5;
const int b3 = 3;
const int c1 = 6;
const int c3 = 4;
const int d1 = 7;

int poloha_realna = 0;
for (int i=0; i<=3; i++) {

    senzor = digitalRead(a2+i);

    if (senzor == LOW) {

        poloha_realna = a2+i-7;
        Serial.print("Vytah se nachazi v patre ");
        Serial.print(poloha_realna);
        delay(20);
        Serial.print("\n");
    }
}

```

**Obrázek 3-14: Definice senzorů a ukázka kódu zjišťování polohy**

Na Obrázek 3-14 je ukázka kódu pro zjištění polohy z některého z prostředních patrových snímačů. Piny senzorů jsou definovány v takovém pořadí, aby byla co nejvíce ulehčena pozdější práce s cyklem *for*, který umožní zjednodušení kódu od zbytečného opakování podmínek *if* pro různé proměnné. Funkce tohoto kódu je taková, že funkce *if* otestuje na proměnné *senzor*, zda je některý senzor sepnutý. Cyklus *for*, nadřazený podmínce *if*, provede opakování pro každý z pinů 8 až 11, což jsou senzory patrové. Pokud některý pin dá hodnotu LOW, znamená to, že vozík se nachází nad tímto senzorem a zapíše do proměnné *poloha\_realna* číslo pinu sečtené s číslem cyklu a odečte číslo 7. Pokud by se vozík nacházel nad snímačem na pinu *b2*, pak by se do proměnné *poloha\_realna* uložila hodnota 2, což označuje druhé patro.

Také je nutno poznamenat, že všechny snímače dávají v sepnuté poloze logickou nulu, tedy LOW. To je způsobeno tím, že v prvotní fázi byl program testován místo senzorů tlačítka, která byla připojena dvouvodičově. Tlačítka byla zapojená přes interní pull-up rezistor, kde ve vypnutém stavu dávala signál logické jedničky. Hallovy senzory byly později zapojeny stejným způsobem, aby nebylo potřeba přepisovat kód.

```

for (int i=0; i<=2; i++) {

    senzor = digitalRead(a3+i);

    if (senzor == LOW) {          // protoze pullup

        poloha = a3+i-1;
        Serial.print("detekovan vyjezd z patra ");
        Serial.print(poloha);
        Serial.print("\n");
        Serial.print("brzdeni\n");
        digitalWrite(rele1, HIGH); //brzdeni
        delay(500);
        digitalWrite(rele1, LOW);
        delay(5000);              //cas na zabrzdzeni
        Serial.print("rozjizdeni smerem k patru ");
        Serial.print(poloha);
        Serial.print("\n");
        digitalWrite(rele2, HIGH); //rozjizdeni opacnym smerem
        delay(500);
        digitalWrite(rele2, LOW);

        while (digitalRead(a3+i) == HIGH) {
            delay(10);
        }

        Serial.print("brzdeni\n");
        digitalWrite(rele2, HIGH); //brzdeni
        delay(500);
        digitalWrite(rele2, LOW);

    }
}

```

### Obrázek 3-15: Příklad povelů pro frekvenční měnič

Na obrázku výše se nachází příklad části inicializace polohy, kde se, pokud je sepnut některý z pravých krajních spínačů, detekuje přejetí patra a měnič dostává povel k brždění a následné změně směru a návratu.

Ovládání frekvenčního měniče je vyřešeno pomocí spínání dvou relé, napájených 5 V z Arduina. Relé jsou spojena s integrovaným zdrojem napětí 24 V, umístěným v měniči. Pokud je přivedeno toto napětí pomocí relé na příslušnou svorku měniče, spustí se jedna z předprogramovaných funkcí. Jedno relé vyvolává funkci chodu vpřed, nebo zastavení a druhé dělá to stejné, jen v opačném směru.

Pro rozjetí a zastavení směrem vpřed je tedy nutné sepnout a vypnout relé, které řídí směr vpřed, dvakrát po sobě. V kódu je mezi bržděním a následnou změnou směru jízdy využita funkce prodlevy 5 vteřin, aby vozík stihl bezpečně zabrzdit a aby se nestalo, že by se sepnuly obě relé zároveň.

```
const byte tunel[6] = "6c87x0";
void setup() {
  radio.begin();
  radio.openReadingPipe(0, tunel);
  radio.setPALevel(RF24_PA_MAX);
  radio.startListening();
}
void loop() {

}
if (radio.available()) {
  char volba_ch[6] = "";
  radio.read(&volba_ch, sizeof(volba_ch));
}

switch (volba){
case 1: ////////////pokud je zvoleno patro 1

if (volba == poloha_realna){          // pokud se shoduje volba patra s aktualni polohou
  Serial.print("Vytah jiz stojí v patre");
  Serial.print(poloha_realna);
  Serial.print("\n");
}

else if (poloha_realna < 4 && poloha_realna != 1){

  digitalWrite(rele2, HIGH); //rozjizdeni opacnym smerem
  delay(500);
  digitalWrite(rele2, LOW);

  while (digitalRead(a3) == HIGH) { // ceka se na projeti pravym krajnim senzorem
    delay (10);
  }
  Serial.print("brzdeni\n");
  digitalWrite(rele2, HIGH); //brzdeni
  delay(500);
  digitalWrite(rele2, LOW);
}
break;
}
}
```

### Obrázek 3-16: Příklad volby polohy a komunikace s vysílačem

Na předchozím obrázku je uveden příklad, jak funguje volba patra, které byla přes bezdrátový vysílač předána proměnná obsahující volbu patra. Nejdříve je potřeba definovat proměnné jako identifikační klíč komunikačního kanálu mezi vysílačem a přijímačem. Dále se spustí tunel mezi zařízeními a nastaví se maximální výkon vysílače, aby byl dosah co nejvyšší. Nakonec je spuštěna funkce *radio.startListening*, což znamená, že bylo zařízení určeno jako přijímač a bude data moci pouze přijímat.

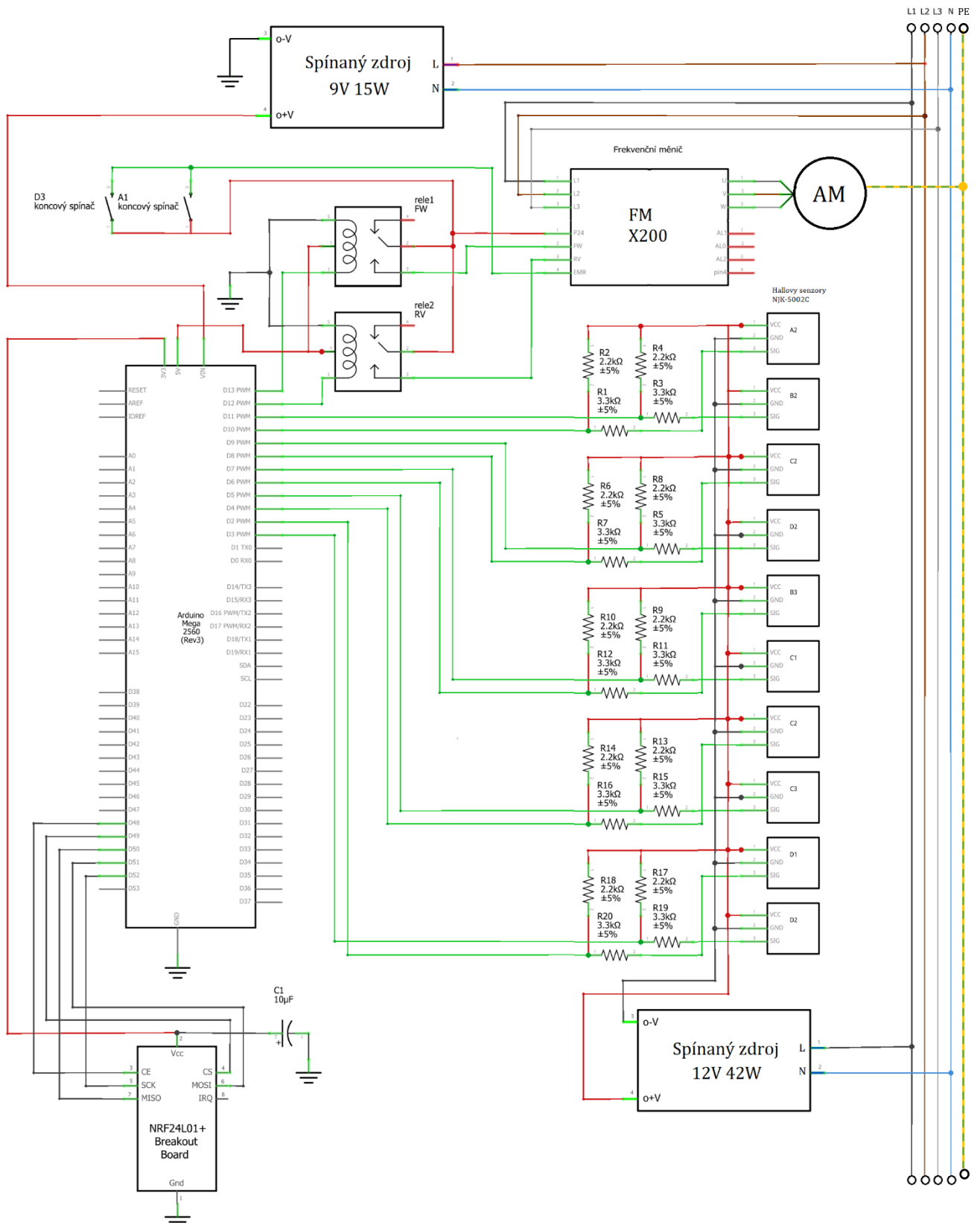
Přijímač naslouchá vysílači a pokud jsou data vysílána, tak je ukládá. Na základě přijatého požadavku na jedno ze čtyř pater je proveden vjezd do příslušného patra, jako bylo popsáno již dříve.

Na následujícím Obrázek 3-17: Celkové zapojení strany přijímače je zakresleno celkové schéma zapojení elektrických obvodů na straně přijímače. Ze třífázové sítě je napájen frekvenční měnič, který dále napájí asynchronní motor, jehož kostra je uzemněna.

Arduino Mega 2560 je napájeno pomocí spínaného zdroje 9 V 15 W, který je připojen jednofázově do sítě. Samotné Arduino napájí dvě relé, které jsou určeny pro řízení frekvenčního měniče.

V obvodu se nacházejí 2 koncové spínače, které brání přejetí krajních poloh výtahové dráhy. Celkový počet deseti Hallových senzorů je přes děliče napětí, které zajišťují vhodné napětí na logických vstupech arduina, zapojen signálovými vodiči do jednotlivých digitálních pinů Arduina. Tyto senzory jsou napájeny samostatným spínaným zdrojem 12 42 W.

K Arduinu je taktéž připojen komunikační modul NRF24L01+, pomocí 5 V napájecího pinu a pěti komunikačních pinů.

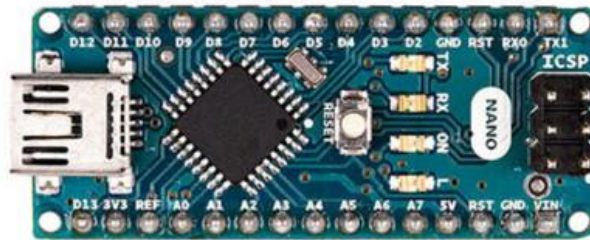


Obrázek 3-17: Celkové zapojení strany přijímače

### 3.3.4 Mikrokontroler vysílače

Pro zařízení, vysílající ovládací povely do přijímače, je naopak nutné zvolit energeticky méně náročnou desku, protože jedním z požadavků na vysílač je jeho mobilita. Napájení bude tedy řešeno pomocí baterií, a tak je vhodné zvolit desku s co možná nejnižším proudovým odběrem v klidovém stavu. Současně se nabízí pro bezdrátový přenos použití energeticky nenáročného bezdrátového přenosu, který se využívá například v IoT (Internet of things) aplikacích.

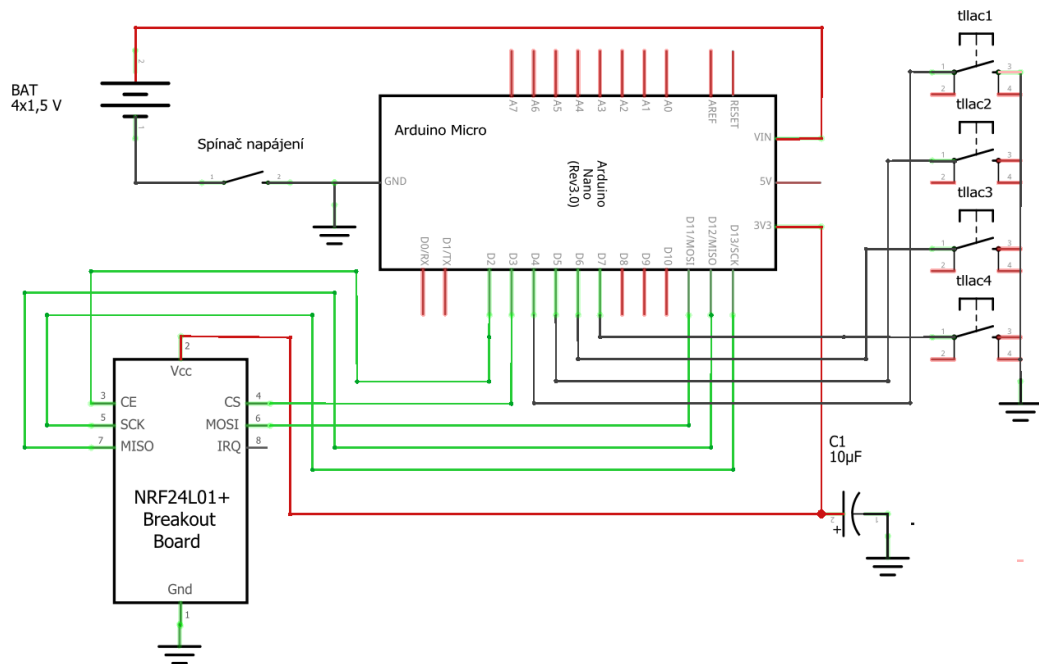
Protože bude ovládací zařízení přenosné, je nutné, aby mikrokontroler zabíral co nejméně prostoru. Současně zde nejsou zdaleka tak velké nároky na počet I/O pinů, a proto je vhodné zvolit například desku Arduino Nano.



Obrázek 3-18: Arduino Nano [29]

Arduino Nano se vyznačuje nižší spotřebou než větší desky, což je vhodné pro lepší výdrž ovladače. Deska umožňuje vstupní napájení 7-12 V a pracuje s napětím 5 V. Pro lepší účinnost napájení je však nutné desku napájet pěti volty ze stabilizovaného spínaného zdroje. Integrovaný regulátor totiž obsahuje pouze lineární regulátor napětí, který by byl při napájení z baterií nedostatečně účinný.

Protože je ale žádané, aby byl vysílací ovladač bezdrátový, je nutné přistoupit k bateriovému napájení pomocí čtyř tužkových baterií o napětí 1,5 V. Tento počet byl zvolen tak, aby při paralelním spojení baterií bylo výsledné napětí, co nejbližše operačnímu provoznímu napětí Arduina Nano 5 V a lineární stabilizátor napětí tak mohl pracovat co nejefektivněji. Tím je docíleno lepší výdrže na baterii, než při použití jedné 9 V baterie, která by s velkou pravděpodobností ani nezvládla dodávat vysílači dostatečný proud.



**Obrázek 3-19: Celkové zapojení strany vysílače**

Na předešlém obrázku je vidět celkové schéma zapojení vysílače včetně napájení z baterií, zapínaného spínačem a čtyřmi tlačítky, které slouží k volbě jednotlivých pater. Arduino je spojeno komunikačními piny s vysílačem, který je napájen pomocí interního napěťového regulátoru 3,3 V na desce Arduina.

```

Serial.begin(9600);
radio.begin();
radio.openWritingPipe(tunel);
radio.setPALevel(RF24_PA_MAX); // nastavení maximálního vysílacího výkonu
radio.stopListening();

```

**Obrázek 3-20: Ukázka inicializace komunikace vysílače**

Stejně jako u přijímače je před spuštěním komunikace mezi zařízeními nutná jejich inicializace. Jediný rozdíl u vysílače je, že jej musíme nastavit na režim vysílání pomocí funkce `radio.stopListening()`. Dále se nastaví vysílač na maximální výkon a zařízení se propojí pomocí tunelu se specifickým klíčem, který mají v sobě uložená.

```

void loop() {

    if (tlac1 == LOW) {

        radio.write(&p1, sizeof(p1));

    }
    else if (tlac2 == LOW) {

        radio.write(&p2, sizeof(p2));

    }
    else if (tlac3 == LOW) {

        radio.write(&p3, sizeof(p3));

    }
    else if (tlac4 == LOW) {

        radio.write(&p4, sizeof(p4));

    }

    delay (20);
}

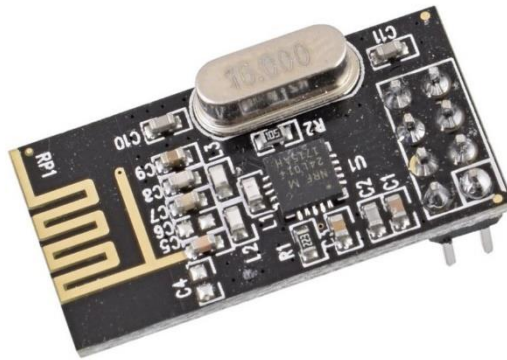
```

### Obrázek 3-21: ukázka celé smyčky kódu vysílače

Na předchozím obrázku je celý kód, který se nachází ve smyčce vysílače. Kód je velmi prostý a funguje tak, že po stisku tlačítka přímo odesílá příslušná data o velikosti 6 bytů do přijímače, ve kterých je uložen název požadovaného patra. Přijímač těchto pár znaků přeloží na celé číslo, kterému odpovídá číslo patra a spustí algoritmus zajetí do požadovaného patra.

### 3.3.5 Síťový modul

Pro tuto aplikaci byl vybrán bezdrátový modul nRF24L01, který se řadí mezi moduly pracující v bezlicenčním pásmu 2,4 GHz. Přestože pracuje na stejné frekvenci jako WiFi moduly, tak tento způsob komunikace neumožňuje. Tento model vyniká, s přihlédnutím k velmi nízké ceně, prakticky ve všech ohledech. Má malou spotřebu, velký dosah a oproti jiným IoT vysílačům není jeho využívání vázáno na služby operátorů a k tomu všemu dokáže data přenášet podstatně rychleji. [30]



**Obrázek 3-22: NRF24L01+ [31]**

Dle datasheetu výrobce [30] je vhodné mezi napájecí pin a zemi připojit co nejblíže desce síťového modulu kondenzátor o velikosti  $4,7 \mu\text{F}$ . Protože je nutné zajistit co největší vzdálenost přenosu, vysílač bude pracovat s maximálním vysílacím výkonem. Očekává se tedy, že odebíraný proud se bude měnit nárazově podle potřeby vysílače a aby nedocházelo k výpadkům signálu, tak tento připojený kondenzátor bude sloužit jako zásoba energie pro pokrytí proudových špiček.

### **3.4 Zabezpečení**

Mezi pasivní prvky zabezpečení se řadí také princip řízení pohonu, kde řídicí jednotka se nachází přímo u výtahu a komunikuje s jednotlivými senzory pomocí vodičů, tudíž se nemůže stát, že by při ztrátě signálu přestalo fungovat řízení výtahu. Mimo to je program, který informace od senzorů zpracovává umístěn také u pohonu, takže v případě poruchy dojde k bezpečnému zastavení motoru i přes to, že by dálkový ovladač nebyl v dosahu.

### 3.4.1 Fyzické zabezpečení výtahu

Výtah je proti pádu zabezpečen z principu konstrukce převodovky, která je samosvorná a nedovolí vlivem tíhy nákladu při přerušení napájení, jakkoliv pohnout lanovým bubnem.

Pokud by však došlo k situaci, že by některá z krajních Halloových sond přestala fungovat, logika výtahu by tento případ vyhodnotila tak, že vozík zatím nedojel do cílového patra a mohla by i nadále navíjet lano, dokud by nedošlo k poškození celého pohonu.

Koncové spínače jsou umístěny na obou koncích lanové dráhy tak, aby se nemohlo stát, že vozík přejede krajové patro a způsobí škodu. Spínače jsou připojeny přímo do frekvenčního měniče, který při přivedení napětí na svorku EMR (Obrázek 3-17), provede bezpečné zastavení přeměnou nadbytečné energie od motoru na teplo vyzářené brzdným odporem frekvenčního měniče.

Přesto, že nejsou prostřední patrové senzory pro správné řízení nutné, zvyšují bezpečnost provozu tím, že řízení jasně rozezná stojící pozici vozíku, zatímco bez prostředních sensorů by vozík pouze začal brzdit a předpokládalo by se, že dojel v pořádku do patra.

Protože se díky přednastaveným frekvenčním průběhům v čase při rozběhu a doběhu dá dobře předpovědět čas, za který vozík dojede z aktuální polohy do polohy požadované, je zabudována v algoritmu funkce, která pohon vypne, pokud zjistí, že přejezd mezi patry byl delší než se očekávalo.

Kombinací těchto dvou ochran lze předejít situaci, kdy vozík přejede poslední spínač a bude pokračovat dále. V případě náhlého výpadku proudu v celém obvodu se pohon zastaví, díky samosvorné převodovce vozík zůstane stát na místě a při příštím spuštění řídicí jednotky se na začátku procesu spustí inicializační algoritmus, který zjistí kde se vozík zrovna nachází, a tím bude provoz volání výtahu znovu obnoven.

### 3.4.2 Zabezpečení bezdrátového přenosu

V případě bezpečnosti bezdrátového spojení je hlavním cílem, aby nemohlo dojít k neoprávněnému vzdálenému přístupu do této uzavřené sítě mezi vysílačem a přijímačem, ať už se jedná o náhodnou interferenci mezi sousedními zařízeními, pracujícími na stejném typu sítě a frekvenci, nebo o úmyslný pokus o převzetí kontroly nad ovládáním výtahu zvenčí.

Možnosti těchto mikroprocesorů v ohledu šifrování jsou bohužel velmi omezené, kvůli jejich velmi nízkému výpočetnímu výkonu. Nabízí se tedy možnost zabezpečit síť skrze prostřední modul, který by byl k tomu určen. Pokud by byla například vysílací i přijímací deska opatřena modulem, schopným komunikovat a připojit se přes síť WiFi, pak by bezpečnost spojení záležela čistě na zvoleném zabezpečení domácí sítě. Jedná se sice o nejbezpečnější variantu při současně zvolených komponentech, avšak problém spočívá v omezení dosahu. V případě stavebního výtahu umístěném v blízkosti domu by musel být signál WiFi dostatečný na celém pozemku tak, aby bylo možné výtah bezpečně provozovat z jakéhokoliv místa.

Pro zajištění bezpečné komunikace je použito identifikačního klíče, který zná pouze vysílač a přijímač a bez kterého nelze spustit komunikaci. Toto zabezpečení však není složité prolomit, ale vzhledem k tomu, že je velmi nepravděpodobný útok na soukromý stavební výtah, tak se toto řešení jeví jako bezpečné. Dalším faktem je, že dosah lze ovlivnit vysílacím výkonem a použitou anténou. V případě potřeby lze tedy omezit komunikační oblast pouze na prostranství pozemku, kde se výtah nachází.

## 4. ZÁVĚR

V této diplomové práci byl proveden návrh celého pohonu šikmého stavebního výtahu z mechanického i elektrického pohledu. Podkladem pro výběr a dimenzování elektrických komponent byly fyzické dispozice předpokládané výtahové dráhy a následně vybrané mechanické komponenty. V každé části návrhu byla vybrána příslušná komponenta na základě technických popisů a dokumentací od výrobců tak, aby spolu byly kompatibilní a vyhovovaly požadovaným vlastnostem výtahu. V elektrické části byl proveden výběr motoru, frekvenčního měniče a také návrh řídicích obvodů s následným sestavením řídicího algoritmu pro zabezpečené dálkové ovládání výtahu.

Navržený pohon sestává z asynchronního motoru s klecí nakrátko o výkonu 2200 W, který je přímo napojený na šnekovou převodovku, pohánějící lanový buben, který navíjí ocelové lano s nákladním vozíkem. Frekvenční měnič je řízený signály, přiváděnými spínáním dvou relé, které řídí Arduino Mega.

V této práci bylo také navrženo rozmístění senzorů, které dávají řídicímu obvodu podněty o stavu a pohybu nákladního vozíku. V teoretické části, zabývající se problematikou senzorů používaných ve výtahové technice, byly vybrány senzory, využívající Hallova jevu, pro jejich výbornou spolehlivost v náročných stavebních podmínkách. Těchto senzorů je umístěno celkem 10 podél kolejové dráhy.

Výstupy z Halloových senzorů byly použity při návrhu řídicího algoritmu tak, aby mikrokontroler Arduino Mega měl kontrolu nad současnou polohou výtahového vozíku a dokázal tak na základě zvoleného patra do něj bezpečně dopravit výtahový vozík. Součástí navrženého programu je inicializační algoritmus, který v případě neznámé polohy vozíku dokáže polohu zjistit. Toho docílí pomocí přednastavených manipulací a zpětnou vazbou ze senzorů.

V Obrázek 3-17 a Obrázek 3-19 jsou zakresleny kompletní schémata zapojení pro řídicí a silnoproudou soustavu pohonu včetně napájení Halloových sond a mikrokontroleru vlastními spínanými zdroji.

V závěrečné kapitole byl navrhnout způsob zabezpečení výtahu, založený na dvojitě ochraně pomocí dvou mechanických koncových spínačů a algoritmu, který nedovolí výtahu pokračovat v jízdě, pokud řídicí jednotka zjistí delší přejezd mezi patry, než jaký je očekávaný. Díky výběru samosvorné převodovky bylo také docíleno toho, že výtah při přerušení napájení nepotřebuje z principu fungování žádnou brzdu. S ohledem na bezpečnost bezdrátového přenosu bylo použito komunikace, při které každý z účastníků musí znát konkrétní identifikační klíč, aby se mohl komunikace účastnit.

Navržené řešení je zejména vhodné pro soukromé použití například při stavbě rodinného domu, protože je cenově nenáročné a variabilní, vzhledem k nízkým nákladům na řídicí obvody. Současně je tento návrh méně vhodný pro použití v průmyslových aplikacích kvůli nedostatečnému zabezpečení přenosu, protože lze očekávat mnohem větší riziko snahy třetí strany o převzetí kontroly nad výtahu.

## 5. BIBLIOGRAFIE

- [1] Výtahy. *ELUC* [online]. [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://eluc.krolomoucky.cz/verejne/lekce/1922>
- [2] Discover Wi-Fi. *Wi-Fi* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi>
- [3] CHAUDHARI, Bharat, Marco ZENNARO a Suresh BORKAR. LPWAN Technologies: Emerging Application Characteristics, Requirements, and Design Considerations. *Future Internet* [online]. 2020, **12**(3) [cit. 2020-05-25]. DOI: 10.3390/fi12030046. ISSN 1999-5903. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1999-5903/12/3/46>
- [4] LOM, Michal a Ondřej PŘIBYL. *Sítě pro internet věcí v České republice* [online]. 2017 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/informacni-a-telekomunikacni-technologie/16519-site-pro-internet-veci-v-ceske-republice>
- [5] ESP8266: A cost-effective and highly integrated Wi-Fi MCU for IoT applications. *ESPRESSIF* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp8266/overview>
- [6] Bluetooth: Learn about Bluetooth. *Bluetooth* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.bluetooth.com/>
- [7] KACHÁNEK, Michal. Komunikační sítě: Průmyslové bezdrátové sítě ZigBee. *Automa* [online]. 2009, , 1 [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: [http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf\\_articles/39560.pdf](http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/39560.pdf)
- [8] Semtech: What is LoRa?. *SEMTECH* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>
- [9] SigFox. *SigFox* [online]. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://www.sigfox.com/en>
- [10] Modbus. *B+B SmartWorx: Learning center* [online]. [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <http://www.bb-elec.com/Learning-Center/All-White-Papers/Modbus/The-Answer-to-the-14-Most-Frequently-Asked-Modbus.aspx>

- [11] Základní rozdíly mezi RS-232, RS-422 a RS-485. *IPC2U: Knowledge base* [online]. [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://ipc2u.cz/articles/simple-decisions/zakladni-rozdily-mezi-rs-232-rs-422-a-rs-485/>
- [12] RENEKER, Doug. PLC vs. Arduino for industrial control. *Control Design* [online]. 2017 [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://www.controldesign.com/articles/2017/arduino-vs-plc-for-industrial-control/>
- [13] *Arduino* [online]. [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://blog.arduino.cc/2020/01/07/arduino-goes-pro-at-ces-2020/>
- [14] *NodeMCU* [online]. [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: [https://www.nodemcu.com/index\\_en.html](https://www.nodemcu.com/index_en.html)
- [15] Modbus / WiFi - Converter: HD67507. *ADFWeb: Products* [online]. [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: [http://www.adfweb.com/Home/products/Modbus\\_WiFi.asp?frompg=nav29\\_2](http://www.adfweb.com/Home/products/Modbus_WiFi.asp?frompg=nav29_2)
- [16] Unipi: Axon. *UnipiTechnology: Products* [online]. [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://www.unipi.technology/cs/produkty/unipi-axon-135?categoryId=13&categorySlug=unipi-axon>
- [17] MARTINEK, Radislav. *Senzory v průmyslové praxi*. 1. Praha: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-730-0114-4.
- [18] Hall Effect NPN Magnetic Proximity Sensor. In: *Irish electronics* [online]. [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://irishelectronics.ie/Hall-Effect-NPN-Magnetic-Proximity-Switch-Sensor>
- [19] The Hall Effect. In: *Google Sites* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.ned-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/MagParticle/Graphics/HallEffect.jpg>
- [20] DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice elektroniky*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-730-0161-6.
- [21] KOLÁČNÝ, Josef. *Elektrické pohony*. 1. Brno: VUT Brno.

- [22] Worm Gearbox Efficiency. *Varitron drive technology* [online]. [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: [https://www.c-var.com/faq\\_show.asp?seq=65&title=Worm-Gearbox-Efficiency](https://www.c-var.com/faq_show.asp?seq=65&title=Worm-Gearbox-Efficiency)
- [23] Šneková elektropřevodovka WGM110. *VYBO Electric a.s.: e-shop* [online]. [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: <https://www.elektro-motor.cz/obchod/snekova-elektroprevodovka-wgm110/>
- [24] Elektromotor 2.2 kW 2AL100L-4. *VYBO electric a.s.: e-shop* [online]. [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: <https://www.elektro-motor.cz/obchod/elektromotor-2-2-kw-1410-ot-min-1-ie2/>
- [25] NEBORÁK, Ivo a Václav SLÁDEČEK. *Elektrické pohony* [online]. 1. Ostrava: Ediční středisko VŠB – TUO, 2008 [cit. 2020-06-02]. ISBN 978-80-248-1493-3. Dostupné z: [http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FEI/EPK/Neborak\\_ELEKTRICK%C9%20POHONY\\_ESF\\_obsah\\_in.pdf](http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FEI/EPK/Neborak_ELEKTRICK%C9%20POHONY_ESF_obsah_in.pdf)
- [26] *X200 Frekvenční měniče: Příručka pro uživatele* [online]. Hitachi Industrial Equipment Systems Co., Ltd., 2008 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <http://www.aef-hitachi.cz/files/download/frekvencni-menice/x200/x200-maual-1.pdf/>
- [27] Frekvenční měnič HITACHI X200. *AEF: Produkty* [online]. [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: <http://www.aef-hitachi.cz/rada-x200/>
- [28] Finglai - Eshop: NJK-5002C magnetic proximity sensor. *Finglai* [online]. [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <https://www.finglai.com/products/sensors/magnetic-proximity-sensors/NJK-5002/NJK-5002C.html>
- [29] *Arduino - oficiální web* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/>
- [30] NRF24L01+ datasheet. *Sparkfun: Single chip 2.4 GHz transciever* [online]. 2008 [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: [https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Pluss\\_Preliminary\\_Product\\_Specification\\_v1\\_0.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Pluss_Preliminary_Product_Specification_v1_0.pdf)
- [31] NRF24L01+. In: *GME* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: [https://www.gme.cz/data/product/1024\\_1024/pctdetail.775-091.1.jpg](https://www.gme.cz/data/product/1024_1024/pctdetail.775-091.1.jpg)

[32] BEŠTA, M. *Základy elektrotechniky: Odporový dělič* [online]. In: . [cit. 2020-06-01].  
Dostupné z: <http://www.mbest.cz/wp-content/uploads/2013/10/T2.9-D%C4%9Bli%C4%8D-nap%C4%9Bt%C3%AD.pdf>