



## **Středoškolská technika 2024**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

### **ANEMOS**

**David Pavel, Dominik Hubáček, Tomáš Wnuk**

**Radek Jančíčka, Alexandr Čmiel**

Střední průmyslová škola Karviná, příspěvková organizace

Žižkova 1818/1a, 733 01 Karviná-Hranice

Konzultanti: Ing. Martin Kijonka Ph.D., Richard Jelen

#### **Anotace**

Tato práce se zabývá návrhem a výrobou výukového modelu větrné elektrárny pro použití při výuce strojnictví. Práce má přiblížit fungování jednoho z nejefektivnějších obnovitelných zdrojů elektrické energie, větrné elektrárny. Studenti se ale také mohou naučit týmové práci a tím i obohatit svoje zkušenosti.

#### **Annotation**

This thesis deals with the design and production of an educational model of a wind turbine for use in mechanical engineering education. This work aims to explain the functioning of one of the most effective renewable sources of electrical energy, the wind turbines. That alone is but the beginning as it also exposes the students to both technical issues and teamwork and gives them an opportunity to hone their skills.

## Poděkování

Rádi bychom poděkovali všem, co pomáhali s nápady, řešeními a korekturou odborné práce. Radimovi Wnukovi za pomoc při programování v C++ a Jakubovi Chorvatovi za pomoc při vývoji a inspiraci.

Dále bychom také rádi poděkovali našim konzultantům Richardu Jelenovi a Martinu Kijonkovi za odbornou pomoc při řešení problémů a pomoc při návrhu modelů a zapojení. Nakonec bychom rádi poděkovali Renatě Kondělkové za pomoc při psaní této práce.

## OBSAH

|       |                                                 |                                     |
|-------|-------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 1     | Úvod.....                                       | 4                                   |
| 2     | Výběr součástí.....                             | 5                                   |
| 2.1   | Programy .....                                  | 5                                   |
| 2.2   | Součásti .....                                  | 6                                   |
| 2.2.1 | Programovací jazyk .....                        | 9                                   |
| 2.2.2 | Vývojové prostředí .....                        | 9                                   |
| 3     | Výuková pomůcka .....                           | 12                                  |
| 3.1   | Rozdíly mezi elektrárnami .....                 | 13                                  |
| 4     | Modelování a tisk.....                          | 16                                  |
| 4.1   | Problematika 3D tisku.....                      | 16                                  |
| 4.2   | Proces tisku .....                              | 17                                  |
| 4.3   | Proces skládání.....                            | 18                                  |
| 5     | Elektronika a programování.....                 | 19                                  |
| 5.1   | Elektro .....                                   | 19                                  |
| 5.1.1 | Nástroje a zařízení .....                       | 19                                  |
| 5.1.2 | Výběr komponentů a bezpečnost .....             | 21                                  |
| 5.1.3 | Návrh obvodu .....                              | 22                                  |
| 5.1.4 | Testování obvodu v simulaci .....               | 23                                  |
| 5.1.5 | Propojení konektory.....                        | 23                                  |
| 5.2   | Programování .....                              | 24                                  |
| 5.2.1 | Instalace IDE.....                              | 24                                  |
| 5.2.2 | Knihovny .....                                  | 28                                  |
| 6     | Kalkulace .....                                 | 29                                  |
| 7     | Závěr .....                                     | 30                                  |
|       | Použitá literatura .....                        | 31                                  |
|       | Seznam obrázků a tabulek .....                  | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
|       | Příloha 1: Odkazy na zakoupené komponenty ..... | 33                                  |

# 1 ÚVOD

Cílem této odborné práce je vytvoření výukového modelu, který si školy mohou samy snadno vyrobit, vyladit a přizpůsobit. Rozhodli jsme se tedy pro co největší modularitu a jednoduchost.

Po tom, co nás učitelé oboru strojírenství oslovili s tím, že by ocenili nějaký výukový model, jsme se rozhodli pro větrnou elektrárnu. Tyto majestátní stroje nás velmi zaujaly a proto jsme si jeden chtěli sami vyrobit.

Tato odborná práce je kvůli náročnosti stavby určena převážně pro střední školy, poradí si s ní však i šikovní nadšenci mladšího věku. Sestavený model je poté již možno využít téměř kdekoli. Do budoucna plánujeme přidat nejen další moduly elektráren, ale také například modul pro výuku programování.

Toho všeho se snažíme dosáhnout přístupností našeho projektu. Všechny naše materiály jsou pod MIT licencí dočasně publikovány na našem [GitHubu](#), jehož obsah se později přesune na naše webové stránky, o jejichž detailech se píše v textu práce.

## 2 VÝBĚR SOUČÁSTÍ

Soustředili jsme se na jednoduchost a možnosti průměrné školy. Nebyl zvolen žádný složitý výrobní proces, jako například soustružení.

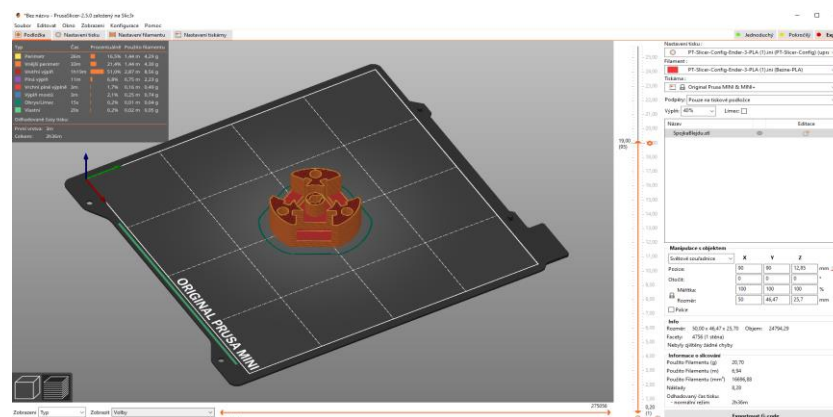
### Programy

Programy použité ke tvorbě této odborné práce následují tuto filozofii, tj. jednoduchost a dostupnost.

Výběr programu Autodesk Inventor pro tvorbu modelů tohoto projektu byl motivován několika faktory a srovnáním s dalšími možnostmi, jako jsou SolidEdge a Fusion 360. Inventor nabízí kombinaci funkcí a uživatelského prostředí, která vyhovuje požadavkům. Výhody Inventoru zahrnují jeho robustní sady nástrojů pro 3D modelování, které umožňují detailní a přesné vytváření komplexních modelů. Další výhodou Inventoru je jeho široká podpora v rámci průmyslu a vzdělávacích institucí, což znamená snazší přístup k materiálům, tutoriálům a podpůrné komunitě. Nicméně, mezi nevýhody Inventoru může patřit například jeho poměrně vysoká cena a náročnost na systémové požadavky, což může omezit jeho dostupnost pro některé uživatele.

SolidEdge je známý svým uživatelsky přívětivým rozhraním a svými integrovanými funkcemi pro 3D modelování a simulaci. Fusion 360, na druhou stranu, nabízí výhody cloudového prostředí a možnosti spolupráce v reálném čase. V rámci tohoto projektu byly využity základní funkce Inventoru pro tvorbu 3D modelů, jako je vytváření a editace tvarů pomocí extruze, rotace, příčného řezu a dalších operací.

Pro slicování 3D modelů byl zvolen software PrusaSlicer. Byl vybrán zejména pro jeho dobrou integraci s tiskárnami od firmy Prusa Research, což zjednodušuje proces nastavení a tisku. Stačí vložit soubory s 3D modelem a PrusaSlicer si automaticky načte nejspolehlivější konfigurace pro nastavenou tiskárnu a s těmihle nastaveními posléze nařeže model, což eliminuje potřebu složitějšího ručního nastavování.



Obrázek 1 PrusaSlicer

V elektronice bylo využito programů SimulIDE a KiCad. SimulIDE je simulační software vytvořen pro sestavu a testování elektronických obvodů předtím, než jsou postaveny napřímo. SimulIDE vzniklo jako komunitní projekt a je plně dostupné pro komunitu. Na SimulIDE se aktivně pracuje a je vylepšován přibližně každým půlrokem. SimulIDE je dostupné ke stažení na jejich oficiálních webových stránkách.

KiCad je stejně jako SimulIDE otevřeným komunitním softwarem, dotovaným velkými společnostmi, mezi něž patří DigiKey, PCBWay. Program lze stáhnout ze serverů CERNu nebo celosvětově z GitHubu. Program je určen pro návrh, výrobu a simulaci elektronických obvodů. Koncová výroba vyžaduje soubory typu Gerber, které se posílají společností orientujícím se ve výrobě desek plošných spojů.

Pro psaní kódu byl zvolen program Visual Studio Code, také psán jako VS Code. Důvody jsou podrobně rozebrány níže v sekci Programování.

## **Součásti**

Při tisku různých součástí projektu bylo důležité vybrat vhodný filament pro každou část, a to podle požadavků a účelu každé z nich.

Pro součásti, které nepotřebovaly speciální parametry a mohly být tisknuty s běžnými nastaveními, byl zvolen filament typu PLA. Tento materiál je populární volbou pro běžné tisky díky jeho nízké obtížnosti tisku, jeho nízkému zkreslení, a tudíž příjemnému vzhledu výsledných modelů, a biologické odbouratelnosti.

Pro součásti vyžadující odolnost vůči namáhání byl zvolen filament typu ASA, který je odolnější vůči UV záření a vyšším teplotám než PLA, což je ideální pro součásti, které budou vystaveny venkovnímu prostředí nebo teplotním vlivům. Jedním z konkrétních použití, kde byl použit ASA, byla osička spojující motor s rotorem, která přenáší rotační pohyb. Díky kombinaci těchto filamentů bylo dosaženo optimálního výsledku, kde každá součást byla vytištěna s ohledem na své specifické požadavky a prostředí.

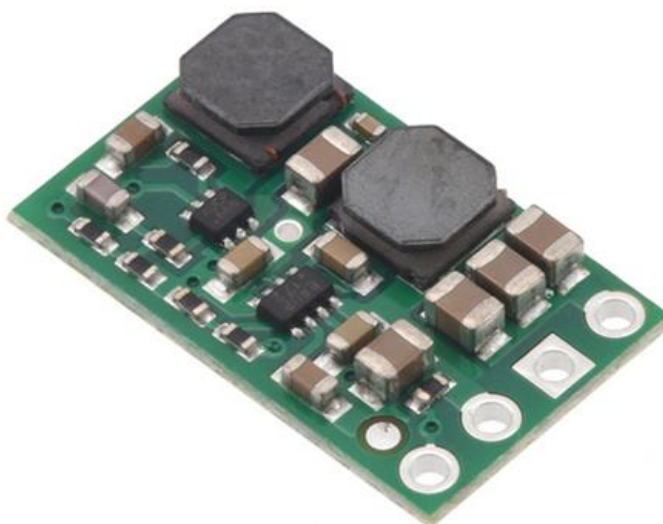
Pro tisk našeho projektu větrné elektrárny bylo vybráno několik 3D tiskáren, z nichž každá má své specifické výhody a využití. Hlavní tiskárnou, která poskytla potřebné rozměry pro vytisknutí podstavce, stožáru a lopatek rotorů, byla Creality CR-10 Smart. Tato tiskárna je vybavena pracovním prostorem o rozměrech 300x300x400mm, což umožnilo tisk větších částí.

Druhou zvolenou tiskárnou byla Průša I3 MK3S, která se vyznačuje vysokou spolehlivostí a kvalitou tisku. Díky své spolehlivosti a kvalitě tisku je Průša I3 MK3S ideální volbou pro tisk důležitých a detailních součástí našeho projektu. Navíc jsou připraveny modely pro menší tiskárny, jako je například Creality Ender 3, aby bylo možné výukové pomůcky vytisknout i na těchto zařízeních.

Tím je zajištěno, že projektové materiály jsou přístupné co nejširšímu spektru uživatelů, bez ohledu na používanou tiskárnu. Tento přístup umožňuje efektivně využít dostupné zdroje a zajišťuje, že všichni uživatelé mají možnost si práci vytisknout pro vlastní potřeby. Díky tomuhle lze dosáhnout optimální efektivnosti šíření znalostí a podpoře vzdělávání v oblasti 3D tisku a obnovitelných zdrojů energie.

Práce je složena z několika elektronických modulů a součástek, které jsou pro oživení tohoto projektu klíčové. Mezi hlavní komponenty patří mikroprocesorový modul ESP postavený na 3.3V architektuře s dotykovým displejem TFT LCD o šířce 4.0'' poskytujícím možnost instalace SD karty. Dotykový displej ke svojí činnosti potřebuje 5V. Pro jednoduché ovládání a pohyby modelu byly použity stejnosměrné a krokové motory na 5V nebo 12V.

K napájení modelu je využito bateriového modulu. Tento zdroj je možno znovu dobíjet skrze síťový adaptér na napětí 240V či 120V. Bateriové napájení je rozčleněno skrze regulátory na napájecí větve 12V, 5V a 3.3V, které jsou následně rozvedeny do celého systému modelu.



Obrázek 2 Regulátor

Nedílnou součástí práce jsou i propojovací vodiče, konektory a desky plošných spojů (DPS, též často známy jako PCB – Printed Circuit Board), které lze osazovat potřebnými elektronickými součástkami, popřípadě moduly.

Elektrické moduly a součásti byly vybrány tak, aby vyhovovala jejich cena i jednoduchost.

Na výběr byly tři platformy, a to Arduino, ESP32 a Raspberry. Z každé této platformy byl vybrán jeden zástupce nejvhodnější pro tuto aplikaci. Následně byly možnosti porovnány a byla vybrána platforma splňující všechny požadavky. Hlavními parametry byli výkon, jednoduchost použití a cena. Na počátku byl velmi omezený rozpočet a nebylo možné si dovolit dražší platformy, které by pro tuto práci mohly být vhodnější.

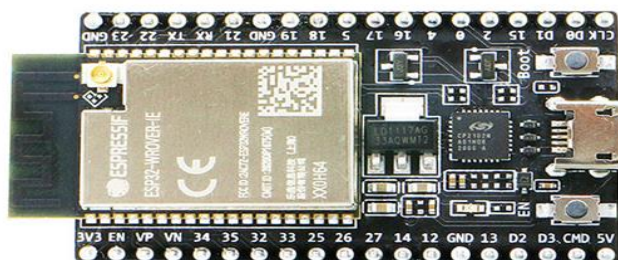
| název                 | počet jader | rychlost jádra | RAM   | Flash | Framework        | cena  |
|-----------------------|-------------|----------------|-------|-------|------------------|-------|
| Arduino uno           | 1           | 16MHz          | 2KB   | 32KB  | Arduino          | 198Kč |
| ESP 32 DOIT devkit v1 | 2           | 240MHz         | 520KB | 4MB   | Arduino, ESP-IDF | 207Kč |
| Raspberry pi zero w   | 1           | 1000MHz        | 512MB | 512MB | WiringPi         | 498Kč |

Tabulka 1 Parametry vývojových desek

Raspberry pi zero w, dále pouze Raspberry, je z těchto platforem ta nejvýkonnější, zároveň ale taky nejdražší. Obsahuje mikroprocesor o výkonu 4 x 1GHz. Programuje se pomocí jazyku microPython, což je jazyk se syntaxí Pythonu určený pro mikropočítače. A má také možnost nahrání Linuxu jako operační systém. Tato varianta může být velice lákavá pro pokročilejší programátory, její cena však nedovolila rychlé prototypování, jež bylo požadováno.

Arduino má pouze jedno jádro o frekvenci 16MHz, a proto také nebylo použito. Výkon tohoto mikropočítače jednoduše nesplňoval požadavky. K tomu nedisponuje ani WI-FI, ani Bluetooth.

ESP je zlatou střední cestou. Obsahuje mikročip o výkonu 2 x 240MHz, WI-FI, Bluetooth, nativní podporu přes SPI protokol a také disponuje dostatečným počtem pinů pro připojení všech zařízení. Zároveň se jeho programování dá provozovat skrz Arduino framework, se kterým je většina studentů dávno seznámena.



## Programovací jazyk

Při programování ESP jsou na výběr pouze nízké jazyky, a to z toho důvodu, že není použit klasický operační systém a že jsou vysoké jazyky příliš pomalé a nedovolují přímou práci s Hardwarem, a to z důvodu jejich abstraktnosti. Těmito jazyky jsou například C++ s frameworkem Arduino, C s frameworkem ESPIDF a RUST s frameworkem AWESOME ESP, kteří jsou také nejznámější zástupci jazyků používaných pro programování embedded systémů.

Rust je memory safe jazyk, to znamená, že v paměti nemůže být omylem přepsána nějaká hodnota a tím například rozbita část kódu. Má však jednu velikou nevýhodu, je obtížný a nový programátoři se ho často dlouho učí. Pro většinu lidí je jednodušší naučit se nějaký jiný jazyk, například C. Jelikož je Rust memory safe, při kompilaci se může objevit neznámá chyba, jejíž příčině vzniku programátor bez zkušeností v Assembleru nemusí rozumět. Zároveň je RUST jazykem poměrně novým, což je také možným důvodem nedostatku zdokumentovaných knihoven.

Již zmíněný jazyk C je nejstarší programovací jazyk. Existuje pro něj tedy spousta nástrojů a knihoven. Má však pár neduhů, které již modernější jazyky vyřešily. Například neobsahuje garbage collector, programátor si tedy musí předem rozvrhnout, kdy potřebuje obsadit další paměť anebo kdy ji má uvolnit. Na jednu stranu máte větší volnost a kontrolu, na druhou stranu, když se vyskytne chyba, je to problém. Jazyku C nedělá problém, aby se samo nedopatřením přepsalo. Dále jazyk C nepodporuje objektově orientované programování, které díky abstrakci dokáže velmi zjednodušit vývoj. Hlavní důvod, proč byl jazyk C zvažován je jeho rychlost a knihovna ESP-IDF, která je psaná pro mikrokontroler ESP32. Tato knihovna obsahuje vše, co může být pro vývoj na této platformě potřeba. Tuto knihovnu však dokážeme využívat i v jazyce C++, proto nebyl zvolen tento jazyk.

C++ s frameworkem ARDUINO bylo zvoleno z toho důvodu, že pouze rozšiřuje knihovnu ESP-IDF. Toho bylo možné docílit převážně díky zpětné kompatibilitě s jazykem C, je tudíž variantou s ideální mírou abstrakce, nabízí také možnost OOP, a hlavně je velké množství studentů s touto knihovnou již seznámeno díky škole. To vše shrnuto překonalo jedinou relativně zvažitelnou nevýhodu, a tou je stejně jako u C možný memory leak.

## Vývojové prostředí

Další důležitou částí vývoje softwaru je Vývojové prostředí, zkráceně IDE – Integrated Development Enviroment. Dalo by se přirovnat k vylepšenému textovému editoru jako je třeba poznámkový blok, oproti tomu ale nabízí určité výhody. Mezi hlavní výhody patří oprava syntaktických chyb nebo integrace s dalšími nástroji, jako je třeba kompilér potřebný pro práci s nižšími jazyky.

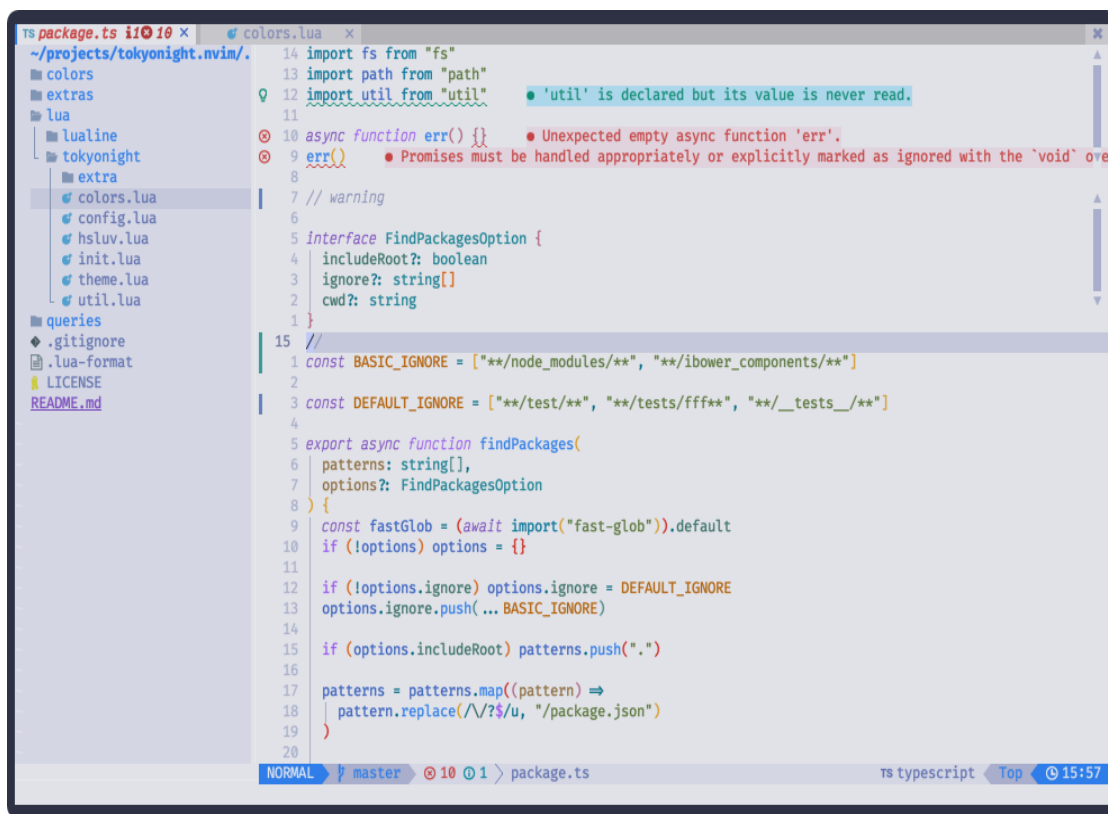
Nejčastější volbou pro vývoj softwaru pro embedded systémy je Arduino IDE. Tohle vývojové prostředí však nepodporuje PlatformIO, který pro vývoj softwaru na systémy založených na

ESP32 funguje lépe. PlatformIO také nabízí větší kontrolu nad programem a není tak komplexní.

Mezi vývojové prostředí podporující tento nástroj patří IDE od JetBrains, NeoVim a VS Code – visual studio code.

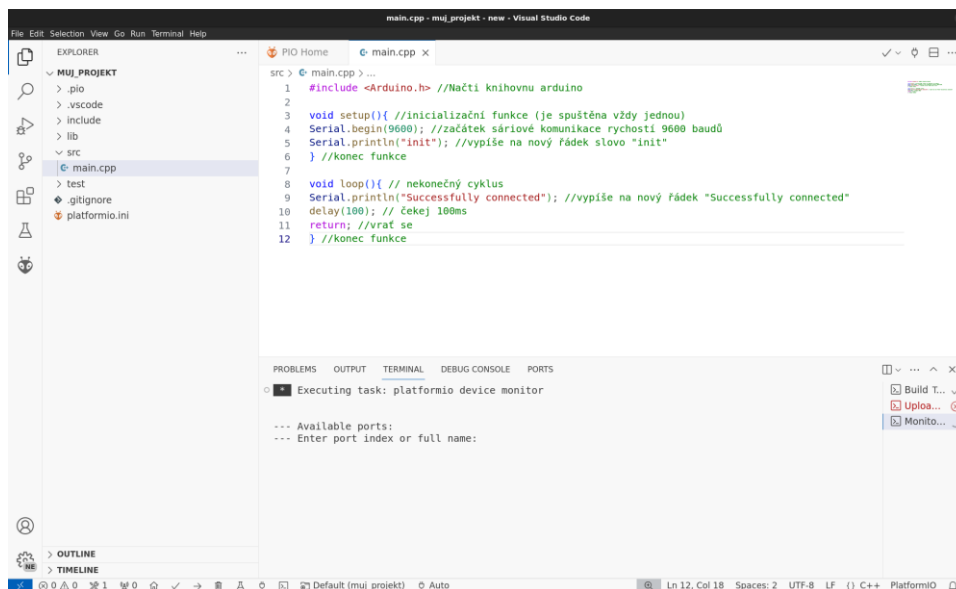
Nástroje od JetBrains, v našem případě CLion, nabízí špičkové vývojové prostředí s veškerými nástroji, co si člověk může přát. To, že obsahuje vše, zároveň znamená, že je velice komplexní a vhodný spíše pro zkušenější uživatele.

Na opačné straně je NeoVim. NeoVim je vývojové prostředí určené pro použití z konzole. Oproti CLion není nic v základu přednastaveno, uživatel si tím pádem může vše přizpůsobit a může si vybrat, které nástroje chce používat. Tento program následuje filozofii free software, také však není vhodný pro začínající uživatele. Ne kvůli komplexnosti samotného programu, nýbrž komplexnosti jeho nastavení.



Obrázek 4 Okno aplikace NeoVim

Zlatým středem je Visual Studio Code od firmy Microsoft. Tento software je moderní, rychlý a modifikovatelný. Dokonce už obsahuje základní nástroje potřebné k vývoji při stažení. Uživatel si již musí doinstalovat pouze specializované nástroje. Uživatele tedy nezahltí nával informací, ani nemusí být počítačový génius na to, aby tento program nastavil.



Obrázek 5 Okno aplikace VSC

Pro tento projekt byl tedy z výše uvedených důvodů zvolen právě program VS Code pro jeho poměr funkcionality a jednoduchosti používání.

### 3 VÝUKOVÁ POMŮCKA

Práce je nejvíce užitečná v oborech strojírenství a elektrotechniky, protože se touto problematikou v určitých částech učiva zabývají. Místo toho, aby studentům byla ukazována funkčnost na starých, často nepřesných a špatně popsanych ukázkách, jim učitelé mohou ukázat vše, co potřebují zblízka a dostatečně viditelně.

Je zde také možnost diskuze o problematice obnovitelných zdrojů energie, jelikož tento model nabízí možnost předělat ho na jiné druhy “zelených” elektráren.

Největší využití ale model nalezne v praktickém odvětví, kde žáky naučí, jak si sestavit svoji vlastní aplikaci, a seznámí je s tvorbou vlastního modelu, popřípadě s úpravou modelů původních.

Studenti strojírenství se budou moci seznámit s fungováním 3D tiskáren a budou mít možnost osvojit si modelování v jiných programech, než jim nabízí jejich škola. Také se budou moci naučit trpělivosti při tisku a samotném skládání.

Skládání samozřejmě není jenom práce strojaře, ale i jiných oborů, avšak sestavení a návrh funkčního elektronického obvodu už bohužel nespadá do jejich kompetencí, s tím by si poradili zejména elektrikáři, protože tato část spadá přímo do jejich praktických i teoretických hodin na školách. Elektrikáři si často nemají možnost si navrhnout tištěný spoj sami, proto tato práce obsahuje schéma a návod, jak si vyrobit svůj vlastní tištěný spoj, takže studenti nebudou vázání pouze na jednu aplikaci.

Nezapomeňme také na obor informační technologie. Aby model mohl vykonávat své předurčené funkce, musí být naprogramován. Ačkoliv tato konkrétní aplikace používá pro svou funkčnost vývojovou desku ESP32, studenti mohou použít např. Raspberry Pi či Arduino, záleží na jejich potřebách a finančních prostředcích. S vývojovou deskou Arduino by studenti mohli užívat frameworku Arduina, jelikož se s ním musela setkat většina studentů nejen tohoto oboru, tenhle modul však využívá desku ESP32, se kterou se pracovalo v již zmíněném frameworku ESP-IDF.

## Rozdíly mezi elektrárnami

Na světě je sice mnoho typů elektráren, ale tato práce se zabývá větrnými elektrárnami a tomu odpovídají elektrárny, které byly vzaty v potaz.

První a nejvíce používanou elektrárnou, kterou prakticky každý zná je Větrná elektrárna s horizontální osou – HWAT. Její lopatky se otáčí kolem horizontální osy a kvůli její velikosti je používána v prostorných oblastech. Největší výhodou je její efektivnost, která překonává ostatní větrné elektrárny, a její jednoduchý princip. Těmto výhodám však odpovídají náklady na údržbu a její instalaci.



Obrázek 6 Farma větrných elektráren

Její nejnovější iterací je HWAT elektrárna s dvěma rotory. Díky dvěma rotorům je elektrárna schopna dodávat energii stabilněji a spolehlivěji, tomu však také odpovídá nárůst nákladů a komplexnosti údržby.

HWAT elektrárny se také používají na tzv. Offshore farmách. Tyto farmy se vyskytují na vhodném místě daleko od břehů, kde využívají většího a stálějšího větru pro stabilní generování většího množství energie.



Obrázek 7 Offshore farma

Druhou nejvíce používanou variantou větrných elektráren je VAWT elektrárna. Její rotory se nepohybují po horizontální ose, ale po ose vertikální, to zvyšuje efektivnost využití větru, a hlavně snižuje potřebu velkého prostoru okolo samotné elektrárny, má ale o asi 10 % až 30 % nižší účinnost v porovnání s elektrárnou HWAT, a to kvůli své aerodynamice.

VAWT elektrárny se také vyrábí v menších měřítcích. Těm se přezdívá “mikrovětrné elektrárny,” které se využívají pro zásobování domácností nebo menších zařízení, díky jejich malým rozměrům. Jsou ale velice citlivé na povětrnostní podmínky a jejich výkon může být proměnlivý.



Obrázek 8 VAWT elektrárna

Nejnovější inovací ve světě větrných elektráren je elektrárna bez lopatek. Elektrárna je navrhována tak, aby využívala aerodynamických principů k zachycení větru. Její největší výhodou a přínosem pro přírodu je minimalizace kolizí s ptactvem, čehož dosahuje již zmíněným bezlopatkovým designem. Elektrárna je také méně hlučná a její konstrukce je často mnohokrát jednodušší. Je to ale koncept, který se teprve testuje, takže nevýhody nejsou přímo dané, přesto by se však mohla zmínit jejich alespoň dočasná menší efektivita.



Obrázek 9 Větrná elektrárna bez lopatek

## 4 MODELOVÁNÍ A TISK

Tato kapitola se zabývá problematikou 3D tisku a designem součástí určených pro tuto metodu výroby.

### Problematika 3D tisku

Při modelování pro 3D tisk je důležité mít na paměti několik klíčových faktorů, které ovlivňují kvalitu a úspěšnost tisku. Jedním z hlavních je správná manipulace s převisy a tolerancemi. Na rozdíl od CNC obrábění není možné dosáhnout takové přesnosti, a proto je nutné zachovat určité tolerance částí, obvykle kolem  $\pm 0,3$  mm, ty se ale mohou lišit v závislosti na typu tiskárny, použitém materiálu a nastavení tisku.

Při modelování je důležité minimalizovat převisy a podpěry, protože tyto prvky představují ztrátu materiálu a času. Je výhodné zaměřit se na optimalizaci designu, aby se minimalizovala jejich potřeba.

Rozdělení výtisku na více částí se často hodí, není to však vždy ideální. Spoj může narušit strukturální integritu tisku a estetiku výsledného modelu. Je třeba zvážit možné riziko deformace nebo nespojitostí mezi jednotlivými částmi.

Při modelování by se měly preferovat ostré hrany před zaoblenými, a to zejména, pokud se nacházejí v převisu. Mezi nevýhody zaoblených hran patří obtížnější tisk kvůli možnému snížení přesnosti.

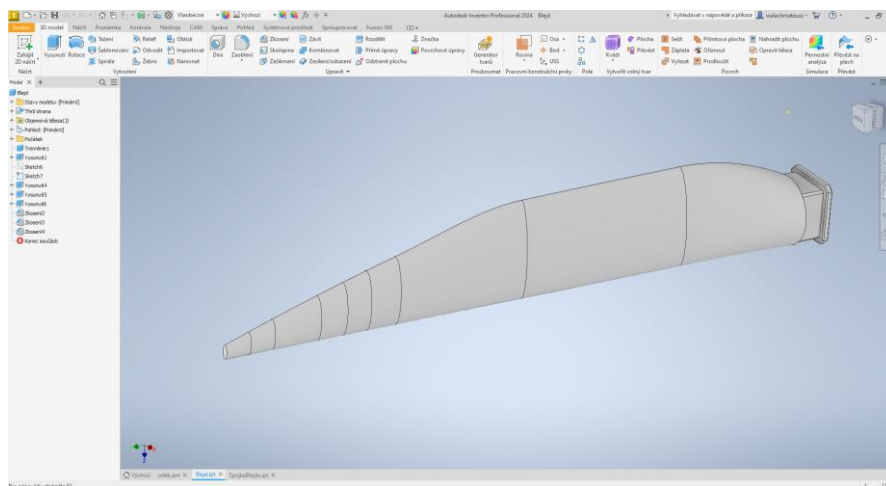
Modelovat je vhodné brát ohled na styčnou plochu. To zajišťuje lepší přilnavost k podložce a stabilitu během tisku. Větší styčná plocha také snižuje riziko deformací nebo odchlípení během tisku.

Celkově je při modelování pro 3D tisk klíčové brát v úvahu specifika tiskové technologie a optimalizovat design tak, aby bylo dosaženo co nejlepších výsledků s minimálními problémy a ztrátou materiálu.

## Proces tisku

Již bylo zmíněno vše důležité, na co je třeba brát ohled při tisku. Zde je příkladný postup pro tisk hlavních částí projektu:

**Příprava souborů:** Nejprve je třeba připravit digitální modely jednotlivých částí projektu větrné elektrárny. Modely musí být připraveny tak, aby byly tisknutelné a odpovídaly požadovaným rozměrům a specifikacím.



Obrázek 10 Model lopatky

1. **Slicing:** Následně je nutné použít software pro slicování, který převede digitální modely na soubory s konkrétními instrukcemi pro 3D tiskárnu. Zde je možné nastavit parametry tisku, jako jsou vrstvy, plnění a teploty tisku, podle zvoleného materiálu a požadavků na sílu a kvalitu výtisku.
2. **Tisk hlavních částí:**

Gondola je rozdělena na dvě poloviny pro snazší tisk a následnou montáž. Tisk obou polovin může být proveden s podporami, aby se zajistila správná geometrie vnitřních detailů.

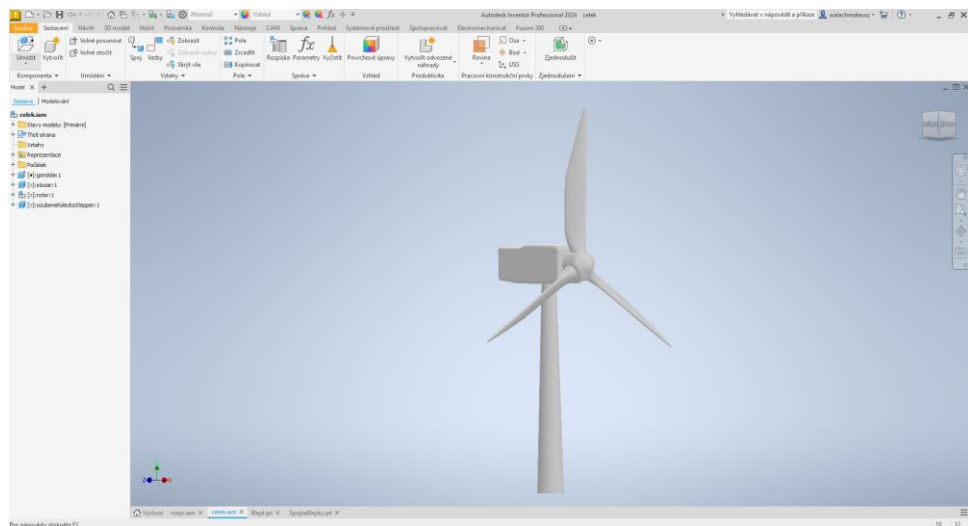
Tisk stožáru probíhá ve svislé poloze s minimem podpor pro dosažení co nejlepší pevnosti.

Lopatky jsou tisknuty jako jednotlivé části, přičemž je důležité zajistit dostatečnou adhezi k podložce a minimální zkreslení během tisku.

Spojka lopatek, osička k motoru a ozubené převody jsou tištěny s ohledem na jejich složitost a požadované mechanické vlastnosti.
3. **Podstavec:** Protože má rozměry 30x30cm, může být tisknut jako jedna celistvá součást.
4. **Sestavení:** Po dokončení tisku je třeba výtisky odstranit z tiskové plochy tiskárny a zbavit je přidaných podpor. Následně je části možno sestavit dohromady podle fotografií a sestav v Inventoru.

## Proces skládání

1. Nejprve je nutné připravit všechny vytištěné součásti projektu větrné elektrárny, zahrnující gondolu, stožár, lopatky rotoru, spojku lopatek, osičku k motoru, ozubený převod a další komponenty.
2. Před samotným sestavováním je důležité provést kontrolu kvality jednotlivých součástí a zda nedošlo k deformacím nebo jiným chybám během tisku.
3. Prvním krokem sestavení je zkompletování gondoly, která je srdcem celého zařízení. S tím souvisí montáž neodymových magnetů, které drží gondolu dohromady, instalace motoru a případných dalších komponent.
4. Poté je třeba stožár zasunout do gondoly otvorem z dolní strany a zajistit zevnitř ozubeným převodem pro natáčení gondoly. Dále je potřeba spojit lopatky v jeden kus. Do mezikusu se také musí zasunout osička spojující rotor s motorem a jeho převodovkou.
5. Po dokončení montáže se musí provést finální kontrola všech součástí a testování funkčnosti celého zařízení. To zahrnuje kontrolu pohybu rotoru, prověření elektrického připojení a další důležité aspekty.



Obrázek 11 Finální model elektrárny

## 5 ELEKTRONIKA A PROGRAMOVÁNÍ

### Elektro

Dříve bylo probráno, jaký software a jaké komponenty jsou potřeba na sestavu práce, teď přichází část praktická.

### Nástroje a zařízení

Pro zapojení je potřeba páječka. Tím může být například mikropájka nebo méně doporučená páječka – trafopájka, nebo také méně vyskující se pájecí stanice, která je schopna zjednodušit proces pjení nejvíce.



Obrázek 14 mikropájka



Obrázek 13 trafopájka



Obrázek 12 pájecí stanice

Technologie výroby plošných spojů jsou sice složitější, jsou však stále dostupné. Na výrobu plošného spoje je potřeba měděná sklolaminátová deska, laserová tiskárna s průhlednými foliemi, vrtačka s mikrovrtáky o průměru 0.8mm a žehlička na přilnutí potisku na sklolaminátovou desku. Pro výrobu vodivých cest je potřeba chemikálie zvané chlorid železitý, označen  $\text{FeCl}_3$ . Tato chemikálie je lehce dostupná v obchodech zaměřených na elektronické součástky. Pro postup s opracováním desky plošného spoje je doporučeno podívat se na videa o jejich výrobě.

Následně je potřeba si opracovat sklolaminátovou desku na vhodné rozměry a obrousit si povrch desky tak, aby na ní nebyla vrstva oxidu neboli koroze. Desku je nutné očistit po broušení. Následně musíme nalepit fólii tak, aby všechny cesty obvodu byly na povrchu. Inkoust z fólie na desku můžeme dostat ohřátím např. žehličkou. Na obě strany desky s fólií se položí papír a deska se zahřeje. Doporučuje se minuta předehtání desky ze strany bez fólie a poté alespoň minuta zahřívání desky na straně, kde je fólie nalepena, a to co nejrovnoměrněji. Fólii lze po vychladnutí odlepit a případné chyby vzniklé špatným tlakem na žehličku je možno dokreslit černým fixem. Pro vytvoření plošného spoje je potřeba ponořit desku tištěným povrchem do chloridu železitého. Tam musí zůstat minimálně 15 minut. Desku je po dokončení leptání zapotřebí znovu obrousit, tentokrát od inkoustu, který chránil měděný povrch před

vyleptáním. Nakonec je třeba vyvrtat díry pro součástky a natřít desku polorozpuštěnou kalafunou.

Pro nastavení regulátorů a jejich případné doladění je potřeba multimetru nebo voltmetru, jelikož je důležité znát, jaké napětí je na regulátorech nastaveno.



Obrázek 15 Multimetr

## Výběr komponentů a bezpečnost

Výběr elektronických komponent byl navržen tak, aby bylo možné model sestavit co nejjednodušeji. Většina elektroniky vložené do této práce jsou moduly, se kterými se lehce manipuluje a existují k nim návody s bohatým obsahem. V případě vadného modulu modularita modelu dovoluje tento model rychle vyměnit za nový.

Příkladem může být porouchaný regulátor, který převádí 12V na 5V. Obvod stačí odpojit od zdroje a vytáhnout vadný modul z obvodu. Následně stačí objednat modul stejný, popřípadě jiný se stejnými parametry, a vyměnit ho za porouchaný. Po správném nastavení napětí na 5V a zkoušce, je možné ho zapojit k obvodu, který ho využívá.

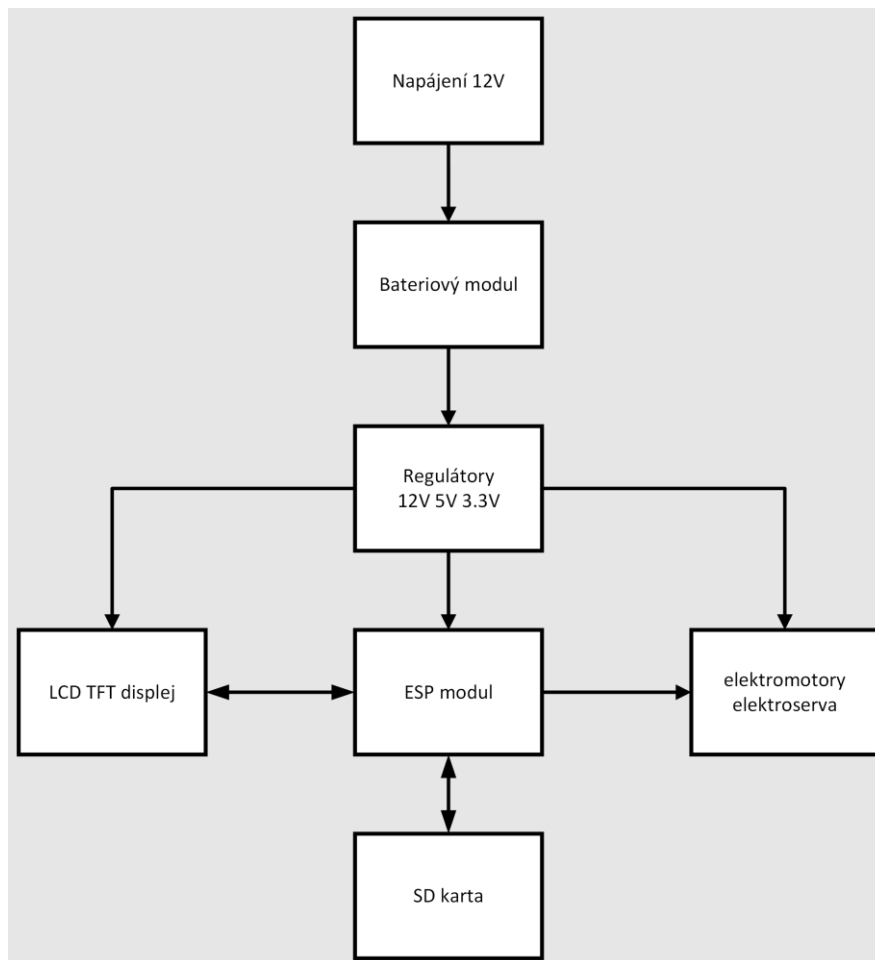
Moduly na výměnu by neměly být nákladné, záleží ale na jejich kvalitě a na samotném dodavateli, od kterého je objednáváte. Většinou se cena modulu pohybuje od pár desítek korun až do pár stovek.

V obvodu je využita 12V napájecí větev. Napětí bylo vybráno, protože je bezpečné pro používání a pro manipulaci s obvodem, narozdíl od napětí síťového, které by kohokoli manipulujícího s obvodem mohlo ohrozit na zdraví. Napětí je stejnosměrné a je dostatečně nízké, takže nemůže dojít k proražení odporu těla člověka. Průraz odporu je postaven na mnoha vlivech, jako je typ napětí, hodnota napětí, okolní vlhkost a vlhkost těla.

Návrh obvodu byl proveden tak, aby byl jednoduchý, bezpečný a spolehlivý. Před zapojením si jednotlivé části obvodu lze zkontrolovat za pomoci simulačního prostředí SimulIDE.

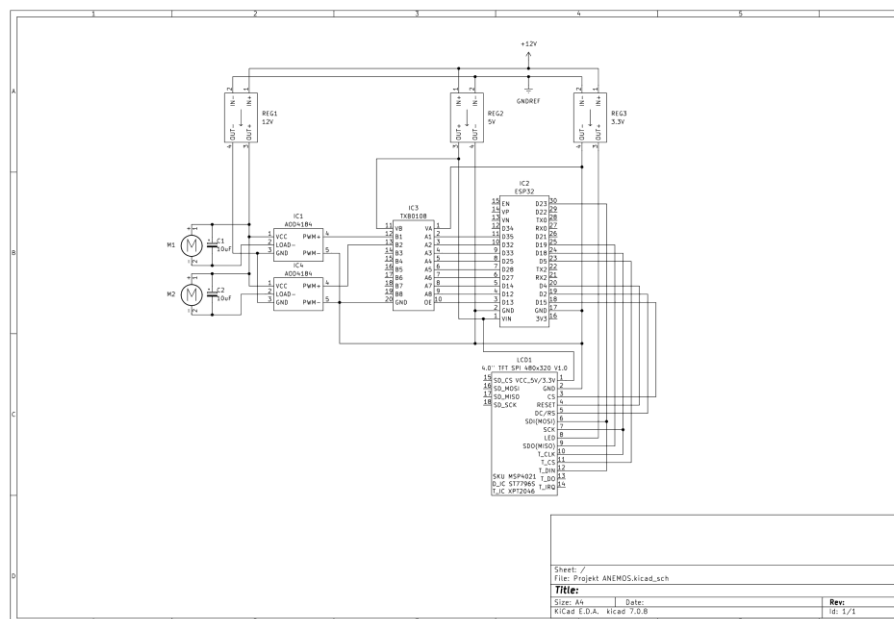
## Návrh obvodu

Nejprve byl obvod navrhnut tak, aby vykonával požadovanou činnost. K tomu je doporučeno používat tzv. vývojové diagramy. Jedná se o blokové diagramy, které slouží pro zjednodušenou ukázkou funkce složitých obvodů, programů anebo jiných projektů.



Obrázek 16 Vývojový diagram

Poté musí být zváženy všechny podmínky, které obvod vyžaduje pro správné fungování od potřebných napětí až po bezpečnostní prvky.



Obrázek 17 Schéma obvodu

## Testování obvodu v simulaci

V prostředí SimulIDE byly vybrány potřebné komponenty, které byly následně zapojeny dle návrhu. Díky simulaci je možno vidět, zda-li obvod funguje dle představ či nikoli.

SimulIDE nesmí být bráno vážně, jelikož jde pouze o simulaci, a proto je doporučeno si zkontrolovat logiku a výpočty návrhu před jeho zapojením. Jakmile je ověřena správnost návrhu a zkontrolovány vypočtené hodnoty, je možné přivést ze zdroje napájení a sledovat chování obvodu. Pokud nastane jakákoliv chyba nebo se bude zdát cokoliv špatně, je více než vhodné obvod ihned odpojit od zdroje a pokusit se nalézt chybu.

## Propojení konektory

Pro propojení obvodů byly vybrány konektory tak, aby nemohlo dojít k jejich přehození, ani špatnému připojení. Pro zajištění těchto podmínek je použito orientačního znaku tzv. notche, který zajišťuje správné otočení. Díky tomuto notchi je zajištěna správná polarita všech pinů a tím je zajištěna správnost natočení, dokud nedojde k jeho odpojení.

K zapojení věže větrné elektrárny ke zbytku modulu jsou použity tzv. Pogo piny. Jedná se o piny, které jsou schopny se roztahovat a zatahovat dle přitisku konektoru.

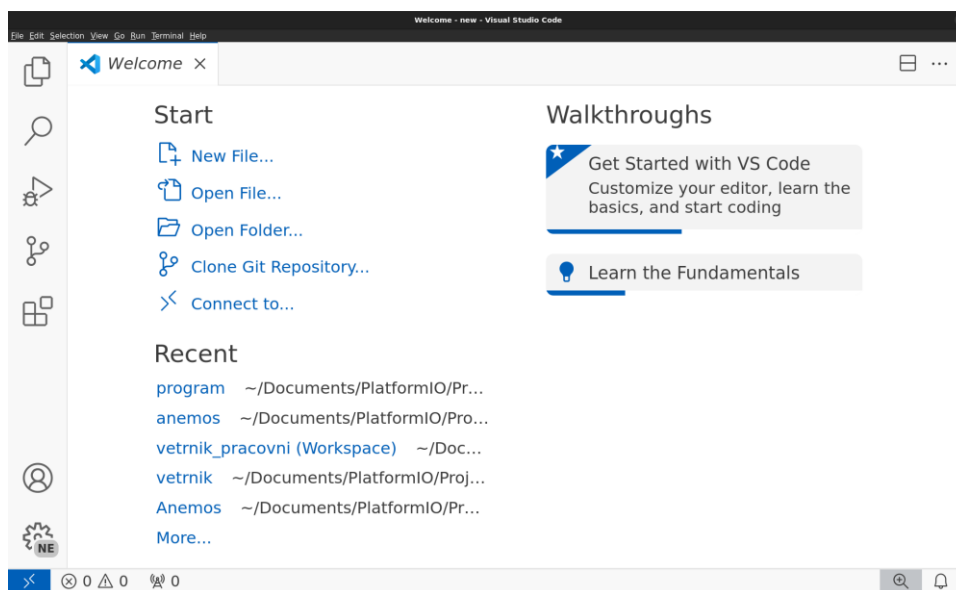
Zjednodušují tak celkové zapojení jednotlivých modulů projektu. Tyto piny lze často vidět u sluchátek na bezdrátové nabíjení.

## Programování

Jelikož již máme výběr IDE, platformy i jazyka za sebou, můžeme se vrhnout na nastavení vývojového prostředí

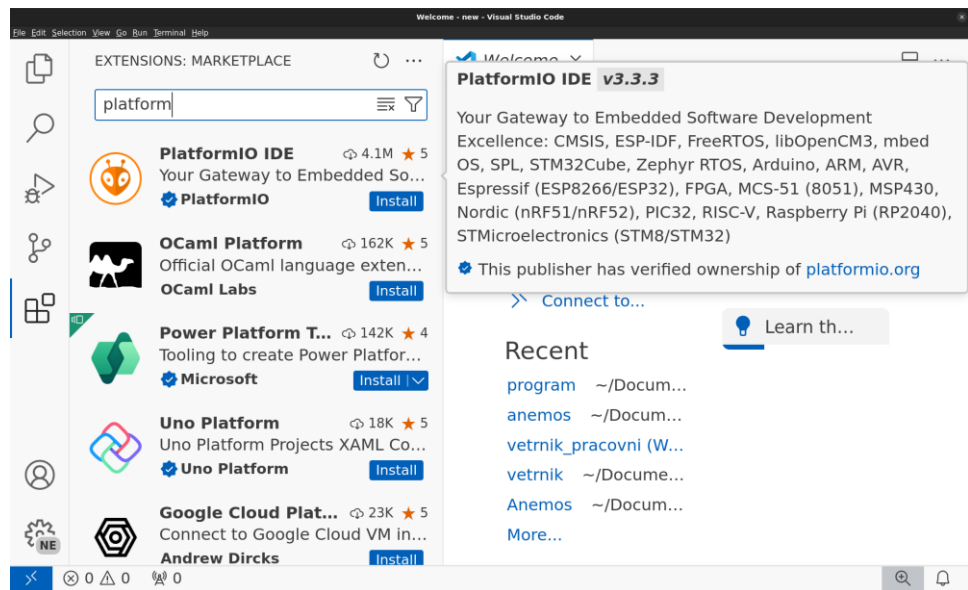
### Instalace IDE

Nejprve se musí stáhnout VS Code. Po instalaci by měla být viditelná obrazovka podobná obrázku níže.

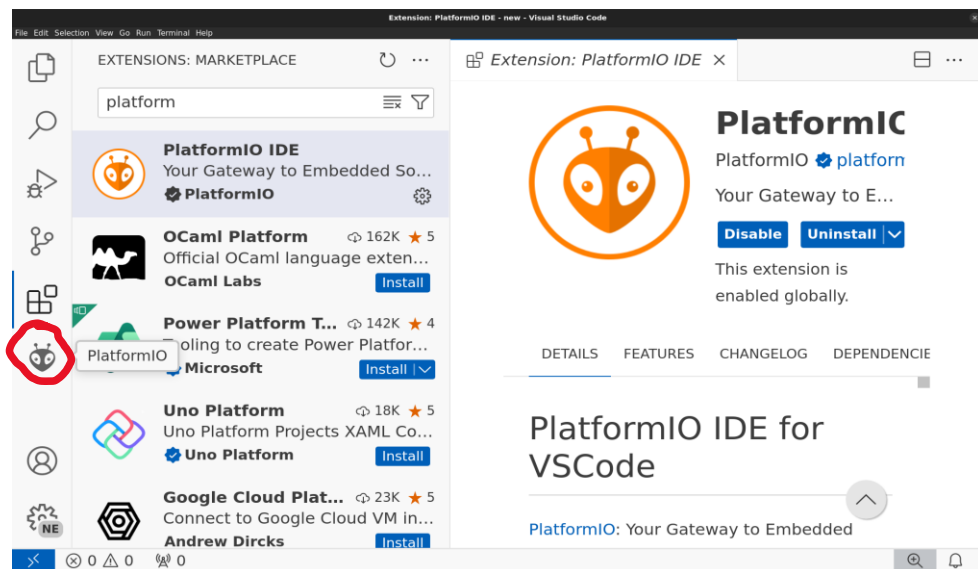


Obrázek 18 Základní obrazovka VSC

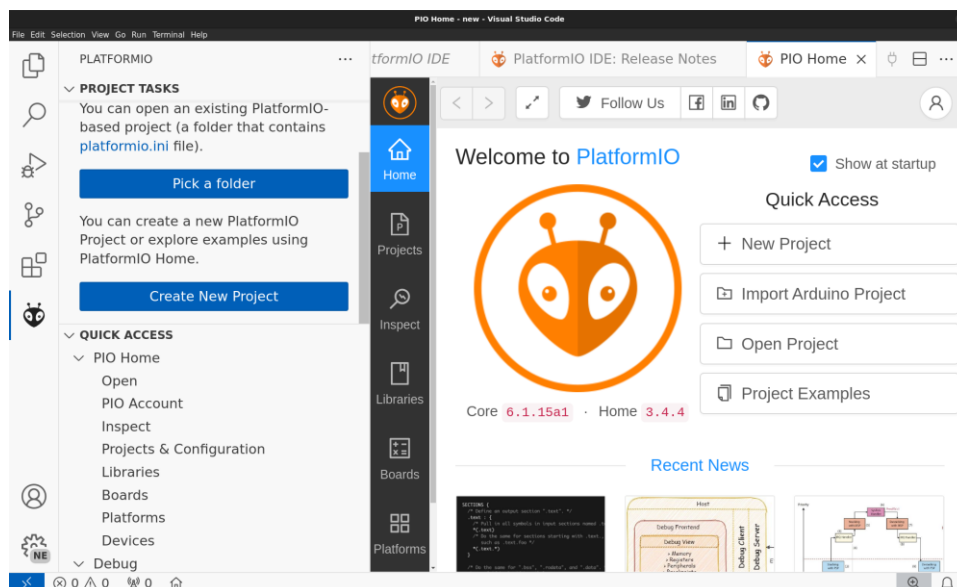
Mezi pluginy se nachází PlatformIO, který je potřeba si nainstalovat.



Obrázek 19 Jak najít PIO



Obrázek 20 Místo pro PIO

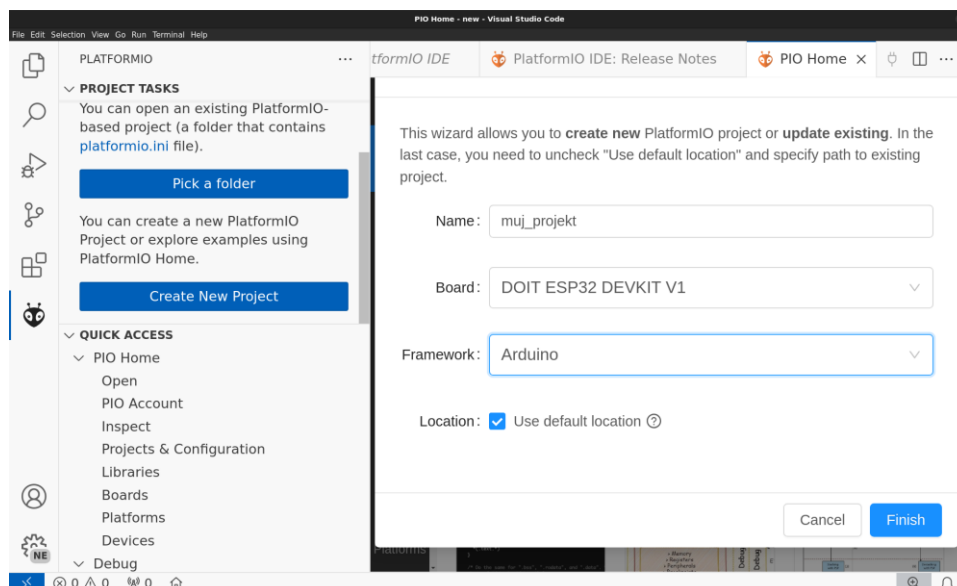


Obrázek 21 Základní obrazovka PIO

Po kliknutí na ikonku mravence by se mělo vše samo inicializovat, pokud se tak nestane, je zde dostupný originální návod [Quick setup](#).

Následně je dobré nainstalovat drivery pro sériovou komunikaci CH34x.

Tím máme nastaveno. Nový projekt založíte po kliknutí na create new project, vyberete si název, vývojovou platformu a framework. Framework je “šablona”, která vám pomůže s vývojem software.



Obrázek 22 Založení nového projektu

V prohlížeči souborů můžete najít složku src, ve které se nachází main.cpp, zde budete psát veškerý váš kód.

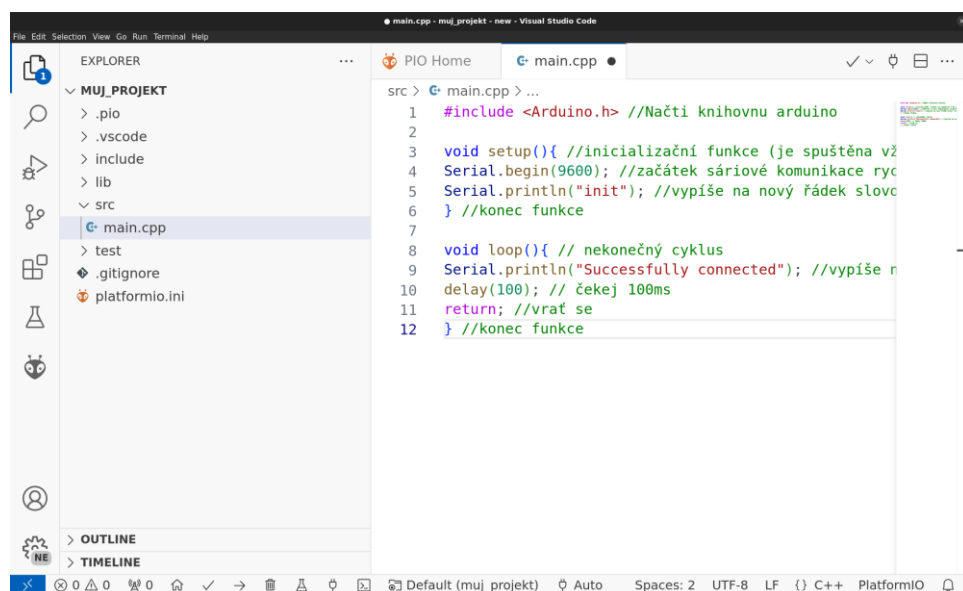
Po kliknutí na verify můžete celý kód zkompileovat a pomocí druhé šipky nahrát do mikrokontroléru.

Doporučuji nejprve nahrát tento kód:

```
#include <Arduino.h> //Načti knihovnu arduino

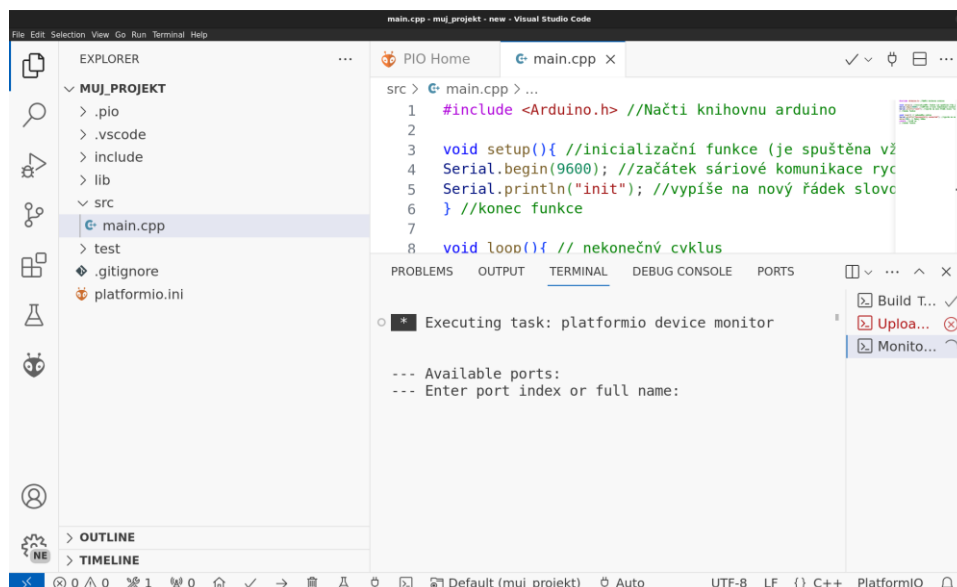
void setup(){ //inicializační funkce (je spuštěna vždy jednou)
  Serial.begin(9600); //začátek sáriové komunikace rychostí 9600 baudů
  Serial.println("init"); //vypíše na nový řádek slovo "init"
} //konec funkce

void loop(){ // nekonečný cyklus
  Serial.println("Successfully connected"); //vypíše na nový řádek "Successfully connected"
  delay(100); // čekej 100ms
  return; //vrať se
} //konec funkce
```



Obrázek 23 Program

Poté již stačí otevřít sériový port a podívat se, jestli se vypisuje slovo Hello world, pokud ano, je vše v pořádku, pokud ne, musíte nejspíše začít od začátku. Případně se podívejte na [kompletní návod](#), který Vás provede celým procesem instalace.



Obrázek 24 výstup v terminálu

## Knihovny

Knihovna je kousek softwaru, který usnadňuje práci s různými částmi našeho mikrokontroléru ESP32. Konkrétně byl použit mikrokontrolér [DOIT ESP32 DEVKIT V1](#). Proč byl zvolen zrovna tento mikrokontroler je uvedeno v teoretické části.

V tomto projektu byla využita celá řada knihoven. Mezi hlavní z nich mohou být zařazeny: Arduino framework, který je v tomto případě nastaven pro ESPIDF framework, jehož funkce, jako třeba RTOS budeme využívat.

Dále bylo potřeba zajistit bezchybnou komunikaci s displejem, k čemuž jsou použity dvě knihovny. TFT\_eSPI od Adafruit a SPI knihovna.

Knihovna SPI se stará o komunikaci s displejem pomocí sběrnice SPI. Tato sběrnice byla v roce 1980 vyvinuta společností Motorola. Sběrnice SPI má několik výhod, 1. Relativně vysoká rychlost 2. Vysoká stabilita a nízký crosstalk 3. Možnost využití na větší vzdálenosti

Hlavní výhodou je to, že používá pouze 4 piny, jimiž jsou:

SCLK – Hodinový signál. Synchronizuje přenos dat, CL – Chip select, který určuje, jaký čip zrovna aktivně komunikuje.

MISO – Master in, Slave out. Slouží ke komunikaci podřadného systému s nadřazeným. MOSI – Master out, Slave in. Slouží ke komunikaci nadřazeného systému s podřadnými.

Další knihovna, jenž byla použita je TFT\_eSPI. Tato knihovna slouží k samotnému zobrazování na displej. Nemuselo se tedy ručně vypisovat, který pixel se má rozsvítit a který ne. Mohlo se rovnou specifikovat, jak celý tento tvar má vypadat. Pomocí jednoduchých příkazů můžete nakreslit kostku nebo smazat displej. Nemusíte ručně přenastavovat pixel po pixelu. Mezi poslední knihovny můžeme zařadit FS. Tato knihovna dovoluje vytvořit si na paměti EEPROM nebo jakékoli jiné připojené paměti, vytvořit vlastní souborový systém. Toho je využito při ukládání obrázků.

## 6 KALKULACE

Tabulka obsahuje seznam všech součástek potřebných ke složení základních dvou modulů větrné elektrárny.

| Pořadí | Název                                                         | Cena [kč] | Počet [ks] | Celkem [kč] |
|--------|---------------------------------------------------------------|-----------|------------|-------------|
| 1      | Doit EDP32 Dev Kit v3                                         | 207       | 1          | 207         |
| 2      | TFT Display 4.0"                                              | 351,78    | 1          | 351,78      |
| 3      | 10Pcs Slide type switch module 4 way                          | 11,65     | 1          | 11,65       |
| 4      | Boost buck DC-DC converter XL6009                             | 32,57     | 3          | 97,71       |
| 5      | Isolated MOSFET module AOD4184 40V 50A                        | 25,44     | 2          | 25,44       |
| 6      | 1Pcs pogo 8-pin female & male                                 | 45,16     | 4          | 180,64      |
| 7      | 2 meter 16P rainbow cable 1.27mm                              | 73,68     | 1          | 73,68       |
| 8      | 6ks 18650 3.7V baterie (ideálně panasonic)                    | 384       | 1          | 384         |
| 9      | 8-channel logic level bi-directional converter module TXB0108 | 15,75     | 1          | 15,75       |
| 10     | 12V Power wall 18650 3s2p 80A jednostran                      | 486,00    | 1          | 486,00      |
| -      | Doprava                                                       | -         | -          | 288,19      |
| -      | Celkem                                                        | -         | -          | 2.110,19    |

Tabulka 2 komponenty a jejich ceny

Pokud by si škola vystačila bez baterií, vyjde je model o 870 Kč levněji. V obou případech je ještě potřeba dokoupit 12V napájecí zdroj za přibližně 150 Kč.

## 7 ZÁVĚR

Cílem této odborné práce bylo vytvořit výukový model větrné elektrárny, který si školy budou moci samy snadno vyrobit, vyladit a přizpůsobit.

Podařilo se nám navrhnout model větrné elektrárny, vymodelovat jednotlivé části v programu Inventor, vytisknout je na 3D tiskárně a na konec i sestavit celý modul.

Dále se nám podařilo zabezpečit model proti úrazu elektrickým proudem použitím malého napětí. Díky modularitě a cen jednotlivých součástek se studenti při experimentech nemusí bát nákladné opravy.

Po dokončení projektu jsme se rozhodli, že bychom mohli vytvořit webovou aplikaci, která dále zjednoduší přístup k návodu a materiálům nejen k tomuto modulu, ale i všech ostatních, které by mohly dále zjednodušit proces výuky. Tvorba webových stránek již probíhá, kvůli komplikacím jsme však nebyli schopni je dokončit v termínu. Všechny naše materiály jsou pod MIT licencí dočasně publikovány na našem [GitHubu](#). Oceníme, pokud budoucí uživatelé zveřejní svoje rozšíření a další nápady k rozvoji projektu, záleží však na Vás.

## POUŽITÁ LITERATURA

Wikipedie. Online. 2024. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Serial\\_Peripheral\\_Interface](https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface). [cit. 2024-03-23].

Tech Target. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/serial-peripheral-interface-SPI>. [cit. 2024-03-24].

Větrné elektrárny. Online. Dostupné z: <https://cerpadla-sunex.cz/v%C4%9Btrn%C3%A9-elektr%C3%A1rny/>. [cit. 2024-05-1].

Větrné elektrárny: Tanec s větrem pro zelenou budoucnost. Online. Dostupné z: <https://medium.seznam.cz/clanek/mefhtamine-vetrne-elektrarny-tanec-s-vetrem-pro-zelenou-budoucnost-22527>. [cit. 2024-05-1].

Offshore větrné elektrárny. Online. Dostupné z: <https://oze-info.cz/en/offshore-vetrne-elektrarny/>. [cit. 2024-05-1].

Španělská firma chce vyrábět větrné elektrárny bez lopatek, jsou tiché a chrání ptáky. Online. Dostupné z: <https://energozrouti.cz/clanek/spanelska-firma-chce-vyrabet-vetrne-elektrarny-bez-lopatek-jsou-tiche-ochrani-tak-ptaky>. [cit. 2024-05-1].

ChatGPT – pomáhal při shromažďování informací: ChatGPT (openai.com)

## SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| Obrázek 1 PrusaSlicer.....                   | 5  |
| Obrázek 2 Regulátor .....                    | 7  |
| Obrázek 3 ESP32 .....                        | 8  |
| Obrázek 4 Okno aplikace NeoVim.....          | 10 |
| Obrázek 5 Okno aplikace VSC .....            | 11 |
| Obrázek 6 Farma větrných elektráren.....     | 13 |
| Obrázek 7 Offshore farma .....               | 14 |
| Obrázek 8 VAWT elektrárna .....              | 14 |
| Obrázek 9 Větrná elektrárna bez lopatek..... | 15 |
| Obrázek 10 Model lopatky .....               | 17 |
| Obrázek 11 Finální model elektrárny .....    | 18 |
| Obrázek 12 pájecí stanice .....              | 19 |
| Obrázek 13 trafopájka.....                   | 19 |
| Obrázek 14 mikropájka.....                   | 19 |
| Obrázek 15 Multimetr.....                    | 20 |
| Obrázek 16 Vývojový diagram.....             | 22 |
| Obrázek 17 Schéma obvodu .....               | 23 |
| Obrázek 18 Základní obrazovka VSC .....      | 24 |
| Obrázek 19 Jak najít PIO .....               | 25 |
| Obrázek 20 Místo pro PIO .....               | 25 |
| Obrázek 21 Základní obrazovka PIO.....       | 26 |
| Obrázek 22 Založení nového projektu.....     | 26 |
| Obrázek 23 Program .....                     | 27 |
| Obrázek 24 výstup v terminálu .....          | 28 |
| <br>                                         |    |
| Tabulka 1 Parametry vývojových desek.....    | 8  |
| Tabulka 2 komponenty a jejich ceny .....     | 29 |

## PŘÍLOHA 1: ODKAZY NA ZAKOUPENÉ KOMPONENTY

| Pořadí | Odkaz na stránku                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | <a href="https://dratek.cz/arduino/1581-esp-32s-esp32-esp8266-development-board-2.4ghz-dual-mode-wifi-bluetooth-antenna-module.html?_gl=1*1ruunv7*_up*MQ..&amp;gclid=Cj0KCQjwwYSwBhDcARIsAOyL0fiUtvC6SKMVn_HpeJ-vTo74CtPwPunLoIvKWCNH8UaxVeTnlB-c45IaAgt1EALw_wcB">https://dratek.cz/arduino/1581-esp-32s-esp32-esp8266-development-board-2.4ghz-dual-mode-wifi-bluetooth-antenna-module.html?_gl=1*1ruunv7*_up*MQ..&amp;gclid=Cj0KCQjwwYSwBhDcARIsAOyL0fiUtvC6SKMVn_HpeJ-vTo74CtPwPunLoIvKWCNH8UaxVeTnlB-c45IaAgt1EALw_wcB</a> |
| 2      | <a href="https://www.aliexpress.com/item/33015586094.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.46.49341802sCdfBD">https://www.aliexpress.com/item/33015586094.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.46.49341802sCdfBD</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 3      | <a href="https://www.aliexpress.com/item/1005006109265018.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.35.49341802sCdfBD">https://www.aliexpress.com/item/1005006109265018.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.35.49341802sCdfBD</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 4      | <a href="https://www.aliexpress.com/item/1005004671940075.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.40.49341802sCdfBD">https://www.aliexpress.com/item/1005004671940075.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.40.49341802sCdfBD</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 5      | <a href="https://www.aliexpress.com/item/1005005469224117.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.51.49341802sCdfBD">https://www.aliexpress.com/item/1005005469224117.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.51.49341802sCdfBD</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 6      | <a href="https://www.aliexpress.com/item/1005005302144900.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.57.49341802sCdfBD">https://www.aliexpress.com/item/1005005302144900.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.57.49341802sCdfBD</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 7      | <a href="https://www.aliexpress.com/item/1005001732975755.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.69.49341802sCdfBD">https://www.aliexpress.com/item/1005001732975755.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.69.49341802sCdfBD</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 8      | <a href="https://www.aliexpress.com/item/1005005470468209.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.29.49341802sCdfBD">https://www.aliexpress.com/item/1005005470468209.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.29.49341802sCdfBD</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 9      | <a href="https://www.aliexpress.com/item/1005005348311902.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.63.49341802sCdfBD">https://www.aliexpress.com/item/1005005348311902.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.63.49341802sCdfBD</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 10     | <a href="https://allegro.cz/nabidka/12v-3s-power-wall-18650-3s2p-80a-jednostran-13437301464?fbclid=IwAR1YAl1I9OmtSgM8WHwxA0EMxBLzqGE4l1-MdMA_2HR1OYES1cigMlkZmpA">https://allegro.cz/nabidka/12v-3s-power-wall-18650-3s2p-80a-jednostran-13437301464?fbclid=IwAR1YAl1I9OmtSgM8WHwxA0EMxBLzqGE4l1-MdMA_2HR1OYES1cigMlkZmpA</a>                                                                                                                                                                                                   |