



## **Středoškolská technika 2022**

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

### **PROPUSTNOST UV ZÁŘENÍ**

**Wen Jie Gong**

Gymnázium Botičská, Botičská 1, Praha 2, 12801

# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto odbornou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jakuba Šafaříka. Dále prohlašuji, že jsem práci vypracoval pomocí legálního programového vybavení a že jsem uvedl veškeré použité zdroje informací.

Praha 21. 5. 2023

.....

Wen Jie Gong



# Poděkování

Rád bych poděkoval mému školiteli Ing. Jakubu Šafaříkovi za cenné rady a připomínky k mé práci.



# Anotace

Cílem mé práce bylo sestavit sondu pro měření propustnosti UV záření různými materiály. Tato sonda se skládá ze senzoru UV záření, mikrospínače a OLED displeje, který umožňuje zobrazit hodnoty i mimo počítač. Prostřednictvím platformy Arduino jsem naprogramoval funkce jednotlivých součástí a naměřil intenzitu UV záření. Dále jsem se zabýval závislostí intenzity záření na vzdálenosti od zdroje. Z výsledků mé práce vyplývá, že pokles intenzity záření s rostoucí tloušťkou materiálu je exponenciální.

# Abstract

The goal of my thesis was to build a probe for measuring the permeability of UV radiation through various materials. This probe consists of a UV radiation sensor, a microswitch and an OLED display that allows displaying values even out of a computer. Using the Arduino platform. I programmed the functions of the individual components and measured the UV radiation. I also investigated the dependence of radiation intensity on the distance from the source. The results of my work show that the decrease in radiation intensity with increasing material thickness is exponential.

# Obsah

Úvod .....	10
Přehled literatury .....	11
Ultrafialové záření .....	11
Objev .....	11
Typy UV záření.....	12
UVA .....	12
UVB .....	12
UVC.....	12
VUV .....	13
EUV.....	13
Biologické účinky.....	13
Ochrana před UV záření .....	13
Ozonová vrstva.....	13
Opalovací krém .....	14
Intenzita záření.....	15
Zákon převrácených čtverců.....	15
Lambertův-Beerův zákon .....	15
Arduino .....	16
Software .....	16
Metodika .....	18
Pomůcky .....	18
Postup.....	18
Zapojení součástek .....	18
Programování součástek .....	19
Fungování vytvořeného zdrojového kódu .....	19
Měření .....	20
Výsledky a diskuse.....	21
Závěr.....	24
Seznam literatury .....	25
Přílohy .....	27

# Úvod

V dnešní době se neustále rozvíjí technologie a objevují se nové možnosti využití elektroniky a programování. Jako nadšenec pro technologii a zájemce o práci s Arduinem jsem se rozhodl věnovat svou pozornost oblasti měření intenzity UV záření. Měření intenzity UV záření je v dnešní době stále důležitější, neboť se jedná o klíčový faktor v oblasti ochrany před negativními účinky slunečního záření a vývoje nových technologií. UV záření může mít jak pozitivní, tak negativní dopady na lidské zdraví, a proto je důležité být schopen ho spolehlivě měřit a monitorovat.

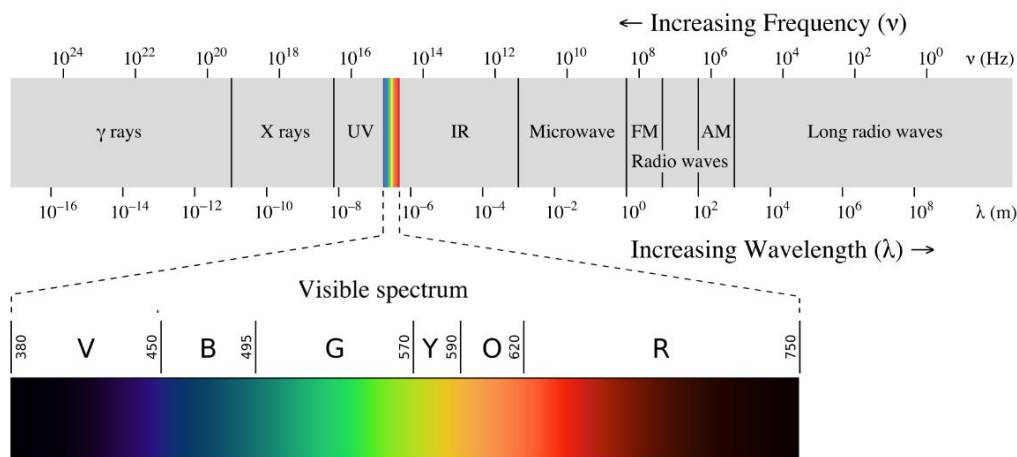
V rámci této práce se zaměřím na sestavení a programování sondy, která bude schopna měřit intenzitu UV záření. Platforma Arduino mi poskytla flexibilitu a možnost přizpůsobit sondu konkrétním požadavkům a potřebám. Cílem mé práce bylo nejen získat konkrétní výsledky měření, ale také rozšířit své technické dovednosti a porozumění v oblasti programování.



# Přehled literatury

## Ultrafialové záření

Ultrafialové záření (UV) je elektromagnetické záření o vlnové délce kratší než viditelné světlo a delší než rentgenové záření. Ultrafialové záření má vlnovou délku v rozsahu 10–400 nm. Pro člověka je neviditelné, ale živočišné druhy, jako jsou ptáci, plazi nebo některé hmyzy, dokážou toto záření vnímat. (1)



Obrázek 1 Elektromagnetické spektrum (2)

Přirozeným zdrojem UV záření je Slunce. Tvoří asi 10 % celkového elektromagnetického záření ze Slunce. Část UV záření ze Slunce je pohlcována při průchodu plynnými obaly Země. Nejvíce se zachytí ve stratosféře, kde je vysoká koncentrace ozonu, tedy v ozonové vrstvě. Umělými zdroji UV záření jsou elektrické oblouky nebo speciální výbojky naplněné párami rtuti. Výbojky se zhotovují z křemenného skla, protože obyčejné draselné sklo UV záření pohlcuje. (3) (4) (5)

## Objev

Ultrafialové záření bylo objeveno v roce 1801 německým fyzikem a chemikem Johannem Wilhelmem Ritterem. Ten uskutečnil rozklad světla pomocí optického hranolu. Při tomto pokusu pokládal na různá místa dopadajícího spektra proužky papíru, které byly namočené do roztoku chloridu stříbrného, což je světlocitlivá chemická sloučenina. Při působení světla dochází k chemickému rozkladu, při němž se uvolňuje chlór a kovové stříbro. Proužky namočené do tohoto roztoku během pokusu nejvíce zčernaly až za fialovým koncem spektra. Z toho Johann Wilhelm Ritter usoudil, že do tohoto místa dopadá neviditelné záření, které nazval jako dezoxidační světlo. Teprve později, až ke konci 19. století se ujal název ultrafialové záření. (6)

# Typy UV záření

Tabulka 1 Typy UV záření

Název	Zkratka	Vlnová délka (nm)
Blízké	NUV	200–400
Dlouhovlnné	UVA	315–400
Středněvlnné	UVB	280–315
Krátkovlnné	UVC	100–280
Daleké	FUV	10–200
Vzduchoprázdňé	VUV	100–200
Extrémní	EUV	10–121

UV záření, jakožto oblast elektromagnetického spektra, se dělí na blízké UV záření o vlnové délce 400–200 nm a daleké UV záření o vlnové délce 200–10 nm.

Rozdělení na spektrální oblasti (též „typy“) UVA, UVB a UVC je především z hlediska biologických účinků UV záření.

## UVA

UVA má rozsah vlnové délky od 315 do 400 nm. Asi 99 % UV záření, které dopadne na zemský povrch, je ze spektrální oblasti UVA a obecně se považuje za bezpečné, neboť nezpůsobuje porušení DNA přímo na rozdíl od UVB a UVC. Přímý pohled do zdroje světla nebo dlouhodobé vystavení jsou přesto nebezpečné. Používá se pro buzení fluorescence, při testování pravosti bankovek nebo v dekoračním a trikovém osvětlování, kde se označuje jako černé světlo.

## UVB

UVB má vlnovou délku v rozsahu 280–315 nm. Je z převážné většiny pohlcováno ozonem ve stratosféře (ozonovou vrstvou). Zhoubné účinky působení UV záření jsou způsobeny hlavně složkou UVB. Jeho energie je schopná rozkládat a narušovat bílkoviny nebo jiné životně důležité organické sloučeniny s vážnými následky pro metabolismus postiženého jedince. Může způsobit rakovinu kůže a ohrozit zrak.

## UVC

UVC zahrnuje vlnovou délku kratší než 280 nm. Má nejvyšší energii a je tedy nejnebezpečnější. Uplatňuje se při vzniku ozonu, který vzniká z dvouatomové molekuly kyslíku. Záření UVC tudíž neprochází atmosférou, protože ozonová vrstva toto záření absorbuje a na zemský povrch téměř nedopadá.

UVC je prokazatelně karcinogenní pro živé organismy. Na rozdíl od UVB, které dokáže proniknout jen několika vrstvami buněk, je penetrace UVC pletivy a tkáněmi živých organismů poměrně větší. Toto UV záření již začíná být ionizující.

## VUV

Vzduchoprázdné UV (vacuum ultraviolet) má vlnovou délku v rozsahu 100–200 nm. Tento typ záření je před dopadem na zemský povrch pohlcován vzduchem.

## EUV

Extrémní UV (extreme ultraviolet) s vlnovými délkami nižšími než 31 nm se podílí na některých chemických procesech ionosféry, zejména její nejsvrchnější vrstvy. (1) (3)

## Biologické účinky

Kůže reaguje na ozáření UV paprsky zarudnutím (erytémem) a následným vytvořením pigmentu melaninu v pigmentových buňkách (melanocytech). Melanin poté brání pronikání UV záření do hlubších vrstev kůže. V lidské kůži je tvorba melaninu stimulována hlavně v okamžiku, když dojde k poškození DNA. Pokožka tak při opalování hnědne. (7) (8)

Nejzávažnějším následkem nadměrné expozice UV záření je možnost vzniku rakoviny kůže. Může vést až ke vzniku zhoubného nádoru melanomu, který je značně závislý na expozici UVB. (1) (3)

UV záření působí škodlivě na zrakový orgán, ve kterém může zapříčinit zánět spojivek nebo rohovky. Intenzivní vystavování UV záření spojená s nadměrnými odrazy od světlých ploch (např. u lyžařů bez ochranných brýlí) může způsobit sněžnou slepotu, která se projevuje až přechodnou ztrátou vidění, poškozením rohovky a ve velmi těžkých případech i poškozením sítnice. Podobný stav může nastat také při svářečských pracích opět při nedostatečném chránění zraku. (3) (7) (9)

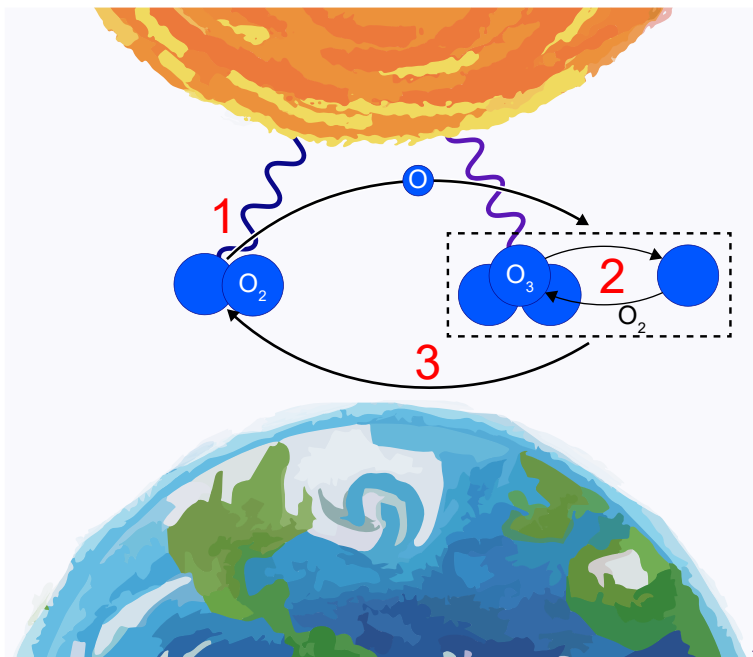
## Ochrana před UV záření

### Ozonová vrstva

Ozonová vrstva je část stratosféry ve výšce 25 až 35 km nad zemským povrchem, v níž se nachází značně zvýšený poměr ozonu vůči dvouatomovému kyslíku. Molekuly ozonu pohlcují krátkovlnné, především ultrafialové záření, které má zhoubný vliv na tkáně živých organismů. Kvůli ozonové vrstvě se na povrch Země dostává jen asi 1 % ultrafialového záření přicházejícího ze Slunce. (10) (11)

Ozon vzniká působením elektrických výbojů nebo krátkovlnného ultrafialového záření (především UVC) na dvouatomové molekuly kyslíku. Tato dodaná energie

rozštěpí molekulu kyslíku na dva vysoce reaktivní jednoatomové radikály, které poté reagují s jinými dvouatomovými molekulami kyslíku za vzniku tříatomových molekul ozonu. (10) (12)



Obrázek 2 Vznik ozonu (13)

Freony, které se dostávají do ovzduší při některých výrobních procesech nebo při používání sprejů, se s ozonem v atmosféře slučují. Tím se atmosféra ve velkých výškách trvale zbavuje ozonu a její schopnost pohlcovat UV záření se snižuje. Důsledkem toho vznikají v atmosféře ozonové díry, kde proniká více UV záření a ohrožuje zdraví lidí. (14)

## Opalovací krém

Opalovací krém je ochranný kosmetický přípravek, který chrání pokožku vystavenou slunci před ultrafialovým zářením. Celkovou míru ochrany před ultrafialovým zářením vyjadřuje číslo SPF (Sun Protection Factor), které musí být na krému vždy uvedeno. Uvedena může být také míra ochrany před UVA zářením, která se obvykle vyjadřuje číslem UVA-PF.

## Složení

UV filtry jsou účinnou složkou, která chrání kůži před negativními vlivy slunečního záření. Chemické UV filtry jsou molekuly, které škodlivé UV paprsky absorbují a přeměňují je na energii v podobě infračerveného záření. Příkladem jsou aromatické uhlovodíky (aminobenzoáty, benzofenony, cinamáty, salicyláty, deriváty sulfonové kyseliny).

Přírodní minerální UV filtry jsou obecně oxidy kovů, které paprsky od pokožky odráží a rozptylují. V opalovacích krémech se používají dva nejúčinnější z nich, a to oxid titaničitý a oxid zinečnatý. (15) (16) (17)

## Intenzita záření

Intenzita záření neboli (plošná) hustota zářivého toku je veličina definovaná jako měrná veličina zářivého toku na jednotku plochy. Její jednotkou je watt na metr čtvereční. Intenzita záření je definována vztahem. (18)

$$I_e = \frac{\Delta\Phi_e}{\Delta S}$$

## Zákon převrácených čtverců

Zákon převrácených čtverců je fyzikální zákon, který říká, že intenzita klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje záření. To znamená, že ve dvojnásobné vzdálenosti klesne intenzita čtyřikrát. To platí pro intenzitu fyzikálního pole (elektrického, magnetického či gravitačního) i pro intenzitu záření.

Závislost intenzity záření na vzdálenosti od zdroje lze vyjádřit tímto vzorcem. (19)

$$I = \frac{1}{r^2}$$

## Lambertův-Beerův zákon

Lambertův-Beerův zákon je matematické vyjádření závislosti absorpce elektromagnetického záření na vlastnostech materiálu, skrze který záření prochází. Tento zákon tedy vysvětluje, jak se intenzita elektromagnetického záření exponenciálně snižuje při průchodu materiálem. Lambertův-Beerův zákon platí pouze pro absorpci monochromatického záření.

Rovnice, která popisuje exponenciální pokles intenzity záření (zářivého toku) při průchodu materiálem, je vyjádřen tímto vzorcem.

$$\Phi = \Phi_0 \times 10^{-\varepsilon_{\lambda} c l}$$

- $\Phi_0$  – vstupní zářivý tok
- $\Phi$  – výstupní zářivý tok
- $c$  – koncentrace absorpční složky
- $\varepsilon_{\lambda}$  – molární absorpční koeficient při vlnové délce  $\lambda$
- $l$  – délka (tloušťka) absorpční vrstvy

Absorpční koeficient vyjadřuje schopnost látky absorbovat světlo, respektive elektromagnetické záření.

Exponenciální funkce způsobuje, že intenzita záření klesá rychleji na začátku a postupně se stabilizuje, když tloušťka materiálu roste. (20) (21)

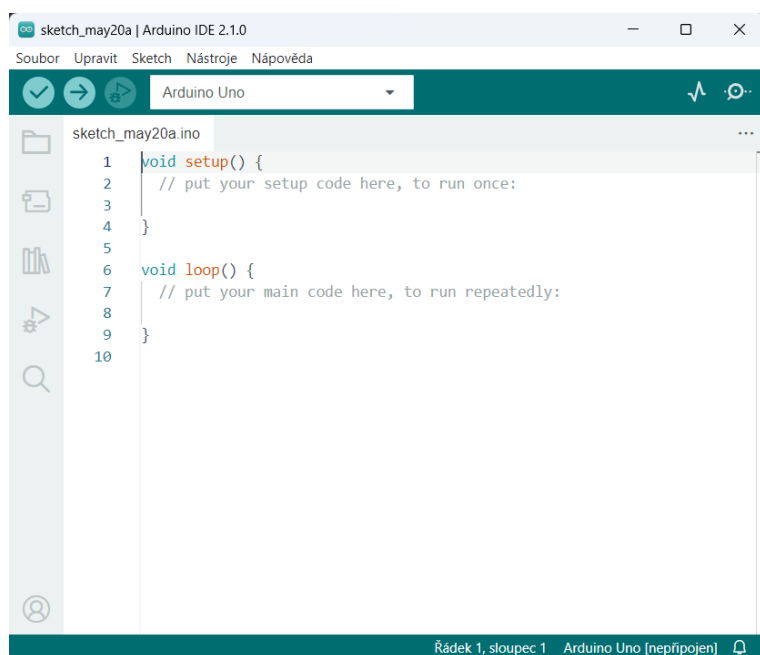
## Arduino

Arduino je otevřená platforma s grafickým vývojovým prostředím, které vychází z prostředí Wiring a Processing. Arduino bylo poprvé představeno v roce 2005. Může být použito k vytváření samostatných interaktivních zapojení nebo může být připojeno k software na počítači. Platforma Arduino je založená na jednoduché počítačové desce (hardware) a vývojovém prostředí, které slouží k tvorbě software.

## Software

Arduino společně se svými deskami a periferiemi vyvíjí i svoje vlastní vývojové prostředí pro jejich programování. Tento software kombinuje hned několik funkcí, kvůli kterým je ovládání Arduina tak jednoduché. Využívaným jazykem je zde Wiring, který je postaven okolo C a C++. Samotný software se tedy jmenuje Arduino IDE.

Arduino IDE (anglicky integrated development enviroment, integrované vývojové prostředí) je napsané v jazyce Java. Jedná se o software vzniklý z výukového prostředí Processing.



Obrázek 3 Arduino IDE (není-li uvedeno jinak, obrázek autor)

Na obrázku výše si můžeme všimnout kódu, který se při spuštění aplikace Arduino vždy předvyplní. První částí kódu je funkce setup. Mezi složené závorky se v tomto bloku píše kód, který se provede pouze jednou na začátku programu. To znamená buď po připojení napájení, zmáčknutí tlačítka RESET nebo nahrání kódu do Arduina. Druhou částí kódu je funkce loop, do jehož složených závorek se zapisuje kód, který se bude opakovat neustále dokola až do odpojení napájení, restartu nebo nahrání

nového programu. Tyto dvě části musí být v programu vždy, tedy i když neobsahují žádné příkazy. Při jejich absenci by program skončil chybou. Dvojitá lomítka značí komentáře v programu. Část kódu nebo textu zapsanou za dvojitým lomítkem program ignoruje. Tyto poznámky slouží k lepší přehlednosti v jednotlivých funkcích.  
(22) (23)

# Metodika

Cílem mé práce bylo sestavit sondu pro měření propustnosti UV záření různými materiály. Zabýval jsem se také závislostí intenzity záření na vzdálenosti od zdroje ultrafialového záření. Tato sonda se skládá ze senzoru UV záření, mikrospínače a OLED displeje. Prostřednictvím platformy Arduina jsem naprogramoval funkce jednotlivých součástí a naměřil intenzitu UV záření. V této kapitole popíšu potřebné pomůcky, postup a zpracování naměřených dat,

## Pomůcky

Pro úspěšné propojení všech součástí jsem potřeboval libovolnou vývojovou desku, která bude schopná pracovat s Arduinem. Z důvodu cenového rozdílu mezi klonem a originálem jsem zvolil klon vývojové desky Arduino UNO R3, který je výkonnostně srovnatelný s originálem. Dále jsem použil senzor UVB/UVA záření ML8511. Tento senzor je nejvíce citlivý v rozmezí vlnové délky 280–390 nm. Pro zobrazení naměřených hodnot jsem zvolil IIC I2C OLED displej. Do celkového obvodu jsem zapojil také mikrospínač, který umožňuje spínat celý obvod. K zapojení všech součástí do desky jsem využil nepájivé pole a M-M vodiče typu Dupont. USB kabel jsem použil pro propojení s počítačem.

Pro měření intenzity UV záření jsem využil UV LED baterku s výkonem čtyři wattů. V poslední řadě jsem potřeboval materiály, na kterém jsem prováděl měření. Vybral jsem euroobal z polypropylenu. Tento materiál je ideální pro měření z důvodu toho, že je to tenký plast, který nepohlcuje veškeré UV záření z baterky při prosvícení jednou vrstvou plastu.

## Postup

### Zapojení součástí

Všechny součástky (senzor, OLED displej, mikrospínač) jsem nejprve připojil do nepájivého pole. Pomocí vodičů jsem zapojil jednotlivé součástky do desky. Připojení mikrospínače a OLED displeje do nepájivého pole a následně do desky proběhlo bez komplikací. Jediný problém nastal u senzoru, jelikož koupený produkt od výrobců neměl připájené nožičky k senzoru. Bylo tedy potřeba tyto nožičky připájet k senzoru pomocí pájky. Pokud bychom nožičky k senzoru nepřipájely, dostali bychom nepřesné hodnoty ze senzoru. Připájením zajistíme elektrickou vodivost. Tyto nožičky vytvářejí spoje mezi senzorem a nepájivým polem a umožňuje přenos napětí pro následné zpracování.

Schéma zapojení jsou dostupné na internetových stránkách výrobců. Následně jsem propojil desku s počítačem pomocí USB kabelu.



## Programování součástek

Verze Arduina, ve které jsem pracoval, byla 2.1.0. Zdrojový kód pro senzor UV záření, který jsem použil, byl dostupný na stránkách od výrobců. Zdrojové kódy dalších součástek jsem musel sepsat sám. Celkový zdrojový kód je v příloze této práce.

## Fungování vytvořeného zdrojového kódu

Kód začíná importováním tří knihoven: `Wire.h`, `Adafruit_GFX.h` a `Adafruit_SSD1306.h`. Tyto knihovny umožňují komunikaci přes I2C sběrnici a ovládání OLED displeje. Následně kód definuje několik pinů, které jsou použity k připojení senzoru a mikrospínače. Definice pinů `pinOut` a `pinRef3V3` slouží pro čtení napětí z UV senzoru a napětí pinu 3V3.

Poté se v kódu deklarují proměnné.

- `hodnotaUV` je proměnná pro uchování hodnoty na začátku programu
- `mereniZapnuto` je proměnná pro určení, zda je měření spuštěno (`false` znamená, že na začátku programu je měření vypnuto)
- `pocetHodnotProZprumerovani` je počet hodnot, které se zprůměrují pro získání přesnějšího výsledku
- `zprumerovanaHodnota` je proměnná pro uložení zprůměrované hodnoty

V rámci funkce `setup()` se inicializuje sériová komunikace (pro komunikaci s počítačem pomocí USB kabelu) a konfiguruje se OLED displej a piny jako vstupní.

Funkce `loop()` je neustále prováděna v nekonečné smyčce. Zde se provádí hlavní činnost programu. Nejprve se kontroluje stav mikrospínače pomocí funkce `digitalRead(pinSwitch)`. Pokud je mikrospínač stisknut (`LOW`), proměnná `mereniZapnuto` se přepne (změní hodnotu na opačnou) a nastavuje se malé zpoždění (200 ms) pro zamezení tzv. bouncingu mikrospínače (než se ustálí na stisknuté nebo nestisknuté hodnotě).

Pokud je proměnná `mereniZapnuto` nastavena na `true`, provádí se měření. V prvním podprogramu se zprůměrují naměřené hodnoty a vypočítá se zprůměrovaná hodnota napětí vše na základě několika čtení z pinů `pinOut` a `pinRef3V3` pomocí funkce `prumerAnalogRead()`. V druhém podprogramu se vypočítá napětí `napetiOutUV` na výstupu senzoru pomocí převodníku analogového napětí na skutečnou intenzitu záření.

Zprůměrovaná hodnota naměřené intenzity se vypíše na sériovém monitoru pomocí funkce `Serial.print()`. Tyto hodnoty se zobrazí i na OLED displeji.

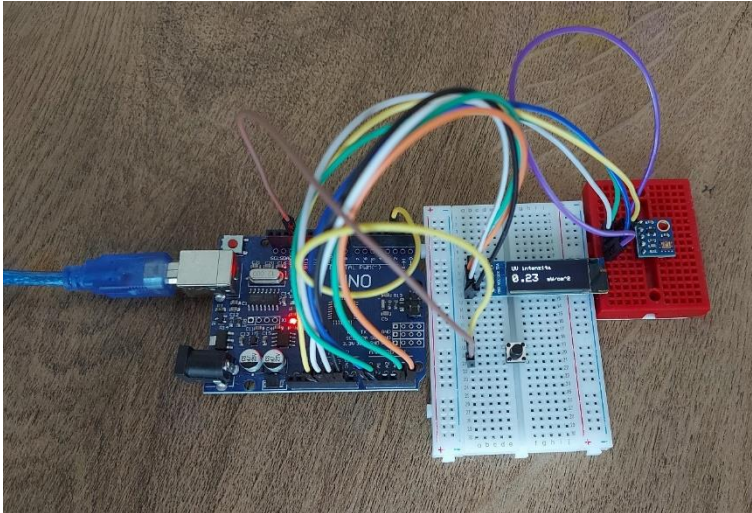
# Měření

Pro měření závislosti intenzity záření na vzdálenosti od zdroje jsem postupoval následovně. Sestavenou sondu jsem postavil tak, že senzor stál kolmo ke stolu. UV baterku jsem postavil na stůl vodorovně tak, aby směřovala na senzor. Poté jsem pomocí mikropsínače spustil obvod a měřil. Začínal jsem ve vzdálenosti 3 cm od senzoru. Postupně jsem baterku posouval pokaždé o 3 cm dál až do vzdálenosti 30 cm.

Pro měření propustnosti UV záření vybraným materiálem jsem postupoval následovně. Mezi senzorem a UV baterkou jsem vložil vrstvu tenkého plastu. Hodnotu jsem poté zaznamenal a přiložil další vrstvu tenkého plastu. Počet vrstev, které jsem vložil mezi senzorem a UV baterkou, byl deset.

# Výsledky a diskuse

Prvním cílem této práce bylo sestavit funkční sondu pro měření intenzity UV záření. Sestavená sonda dokázala naměřit napětí a následně převést tyto hodnoty na intenzitu UV záření. Tyto hodnoty se také zobrazily na OLED displeji. Pomocí mikropínače jsem dokázal zapnout a zastavit měření sondy.

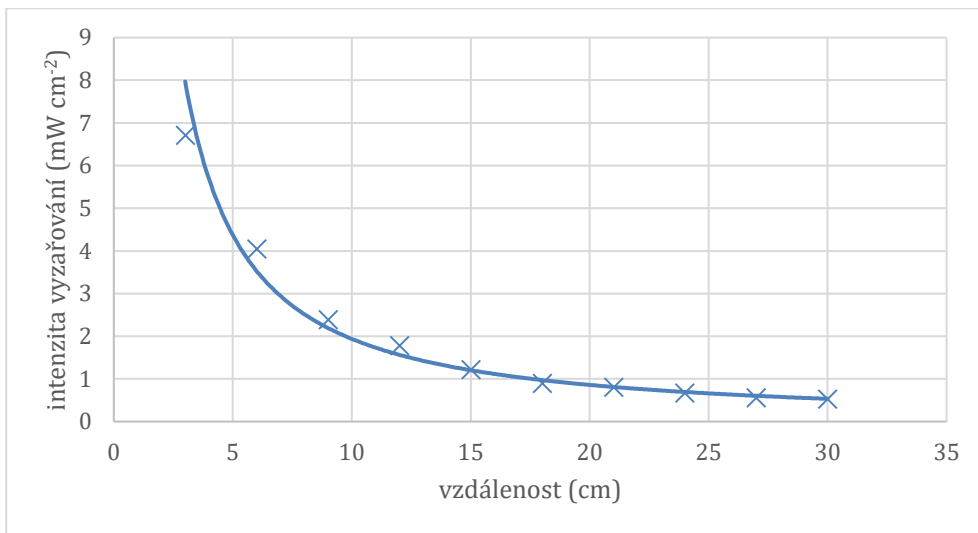


Obrázek 4 Sestavená sonda

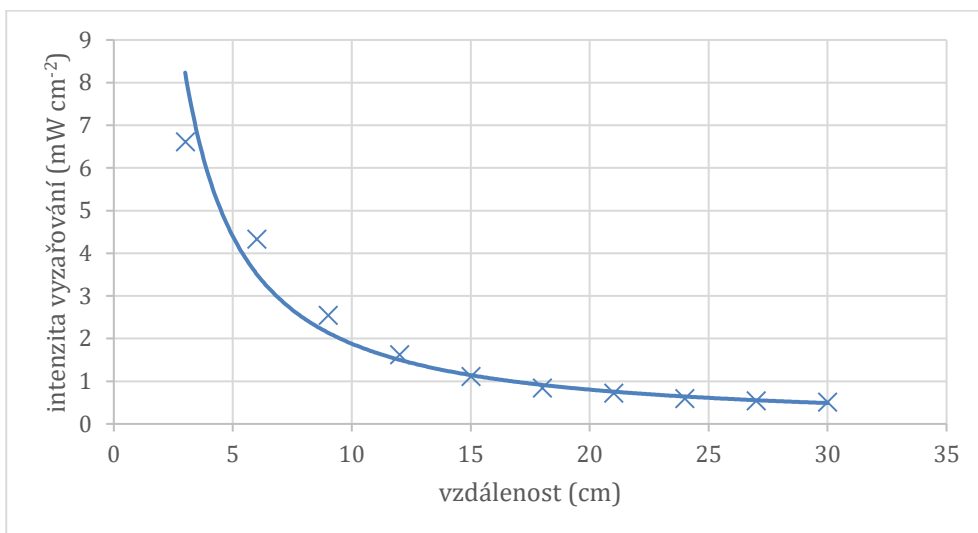
Druhým cílem této práce bylo měření pomocí sestavené sondy. Nejprve se budu zabývat měřením závislosti intenzity záření na vzdálenosti od zdroje. Naměřené hodnoty jsem vynesl do grafu a proložil křivkou. V grafu 1 a 2 je křivka proložena mocninnou funkcí. Křivka může být proložena i exponenciální funkcí. Výběr funkce záleží na faktorech měření. V následujících grafech si můžeme všimnout, že intenzita klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje záření. Nicméně, v průběhu analýzy těchto měření se často setkáváme s výraznými odchylkami, které mohou ovlivnit přesnost a spolehlivost získaných dat. Tyto odchylky mohou být způsobeny několika faktory.

Jedním z hlavních faktorů přispívajících k těmto nepřesnostem byl samotný zdroj záření, který jsem použil. UV baterka pravděpodobně vykazovala nestabilitu ve výkonu, což znamená, že intenzita záření kolísala. To vedlo k nepřesným hodnotám intenzity záření naměřeným senzorem.

Dalším faktorem, který mohl ovlivnit naměřené hodnoty intenzity, byly interakce UV záření s okolním prostředím. UV záření mohlo být pohlcováno nebo rozptýleno v atmosféře, čímž se měnila jeho intenzita v závislosti na vzdálenosti od zdroje. Tyto interakce s prostředím mohly vést k odchylkám od očekávaného poklesu intenzity.

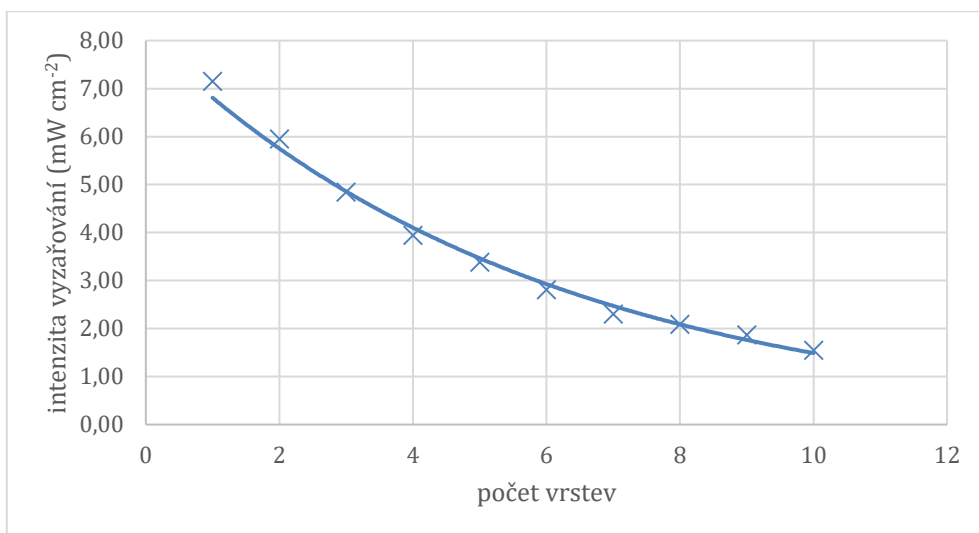


Graf 1 Závislost intenzity záření na vzdálenosti od zdroje, první měření

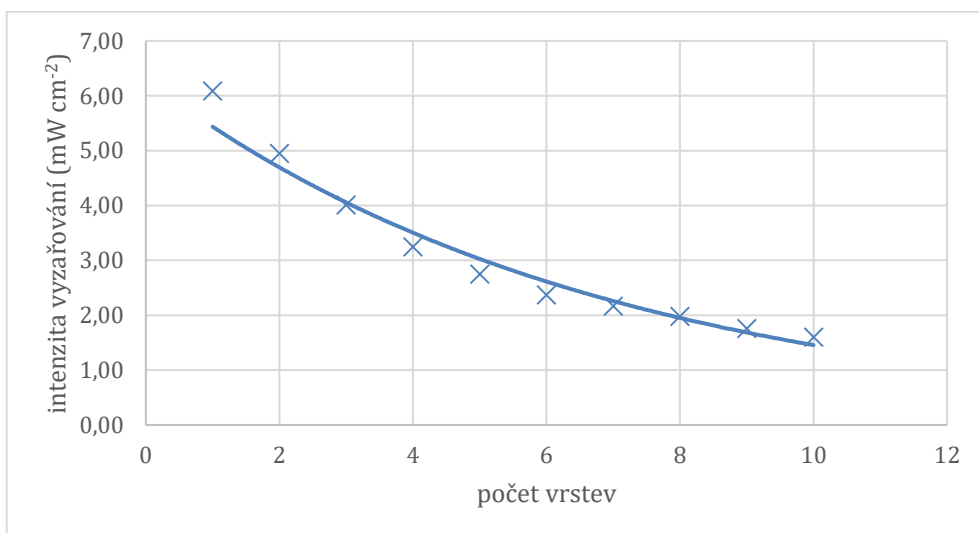


Graf 2 Závislost intenzity záření na vzdálenosti od zdroje, druhé měření

Následně jsem změřil propustnost záření polypropylenového plastu. Naměřené hodnoty jsem vynesl do grafu a proložil exponenciální křivkou. V grafech 3 a 4 si můžeme všimnout, že se intenzita UV záření exponenciálně snižuje při průchodu tlustším materiálem. Podle Lambertova-Beerova zákona tedy můžeme potvrdit, že zákon platí. Nicméně je důležité si uvědomit, že Lambertův-Beerův zákon platí především pro monochromatické světlo, což znamená, že se jedná o závislost na jedné konkrétní vlnové délce. Ve svém měření jsem použil nemonochromatické UV záření, a proto se zde setkáme také s několika výraznými odchylkami od očekávané ideální exponenciální křivky.



Graf 3 Závislost intenzity záření na počtu vrstev polypropylenového plastu, první měření



Graf 4 Závislost intenzity záření na počtu vrstev polypropylenového plastu, druhé měření

# Závěr

V této práci jsem nejprve sestavoval sondu pro následné měření. Prostřednictvím platformy Arduina jsem naprogramoval funkce jednotlivých součástí. Sestavená a naprogramovaná sonda byla schopná měřit intenzitu UV záření. Tyto naměřené hodnoty byly zobrazovány na OLED displeji. Pomocí mikrospínače jsem dokázal zapnout a zastavit měření sondy.

V další části této práce jsem se zabýval závislostí intenzity záření na vzdálenosti od zdroje a závislostí intenzity záření na počtu vrstev polypropylenového plastu. Naměřené hodnoty jsem vynesl do grafu, proložil křivkou a vyvodil závěr. Zjistil jsem, že intenzita klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje záření. Nicméně se v měření vyskytovaly výrazné odchylky, které byly způsobeny špatným výběrem zdroje UV záření. Dále jsem zjistil z mého měření, že se intenzita UV záření exponenciálně snižuje při průchodu tlustším materiálem. Zde jsem se také setkal v některých částech s výraznými odchylkami, které byly způsobeny použitím nemonochromatického zdroje UV záření. Pro získání přesnějších hodnot bude vhodnější si vybrat UV baterku, která tyto komplikace zamezí.

Osobně mi práce přinesla mnoho zkušeností ať už při práci s Arduinem, tak ve zpracování a vyhodnocování naměřených dat. Sestavení sondy a programování funkčnosti pomocí platformy Arduino je skvělým přístupem k vytvoření vlastního měřicího zařízení. V neposlední řadě jsem se také dozvěděl mnoho informací týkajících se ultrafialového záření. Doufám, že tato práce přispěje k dalšímu rozvoji v oblasti měření UV záření a jeho využití v různých aplikacích.

# Seznam literatury

1. Ultrafialové záření. In: *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 10. 11. 2022 [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Ultrafialov%C3%A9\\_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD](https://cs.wikipedia.org/wiki/Ultrafialov%C3%A9_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD)
2. RONAN, Philip. File:EM spectrumrevised.png. In: *Wikimedia Commons* [online]. 2013 [cit. 2023-01-02]. Dostupné z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/30/EM\\_spectrumrevised.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/30/EM_spectrumrevised.png)
3. Účinky ultrafialového záření. In: *WikiSkripta* [online]. MEFANET, 2021 [cit. 2022-12-31]. ISSN 1804-6517. Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/%C3%A9%C4%8Dinky\\_ultrafialov%C3%A9\\_ho\\_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD](https://www.wikiskripta.eu/w/%C3%A9%C4%8Dinky_ultrafialov%C3%A9_ho_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD)
4. SVOBODA, Emanuel. *Přehled středoškolské fyziky*. 6., upravené a doplněné vydání. Praha: Prometheus, 2019. ISBN 978-807-1964-759.
5. Ultraviolet. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 26 December 2022 [cit. 2022-12-31]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ultraviolet>
6. HONZÍK, Lumír. Minislovníček: Ultrafialové záření. In: *Minislovníček* [online]. Rokycany, Plzeň: Hvězdárna v Rokycanech a Plzni, 2011 [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: <https://www.hvr.cz/2011/12/14/minislovnicek-ultrafialove-zareni/>
7. Ultrafialové záření (biofyzika). In: *WikiSkripta* [online]. MEFANET, 2019 [cit. 2023-01-01]. ISSN 1804-6517. Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Ultrafialov%C3%A9\\_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD\\_\(biofyzika\)](https://www.wikiskripta.eu/w/Ultrafialov%C3%A9_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD_(biofyzika))
8. Melanin. In: *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 30. 10. 2022 [cit. 2023-01-02]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Melanin>
9. Sněžná slepota. In: *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 19. 5. 2022 [cit. 2023-01-01]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Sn%C4%9B%C5%BEn%C3%A1\\_slepota](https://cs.wikipedia.org/wiki/Sn%C4%9B%C5%BEn%C3%A1_slepota)
10. Ozonová vrstva. In: *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 19. 11. 2022 [cit. 2022-12-31]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Ozonov%C3%A1\\_vrstva](https://cs.wikipedia.org/wiki/Ozonov%C3%A1_vrstva)
11. Stratosféra. In: *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 22. 3. 2022 [cit. 2022-12-31]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Stratosf%C3%A9ra>

12. Ozon. In: *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 20. 6. 2022 [cit. 2022-12-31]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Ozon>
13. Ozone cycle. In: *Wikimedia Commons* [online]. 2020 [cit. 2023-01-02]. Dostupné z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/77/Ozone\\_cycle\\_-\\_no\\_texts.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/77/Ozone_cycle_-_no_texts.svg)
14. REICHL, Jaroslav. Ultrafialové záření. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2011 [cit. 2022-12-31]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/531-ultrafialove-zareni>
15. Opalovací krém. In: *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 23. 12. 2022 [cit. 2023-01-02]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Opalovac%C3%AD\\_kr%C3%A9m](https://cs.wikipedia.org/wiki/Opalovac%C3%AD_kr%C3%A9m)
16. Opalování. In: *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 31. 12. 2021 [cit. 2023-01-02]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Opalov%C3%A1n%C3%AD>
17. FOJTKOVÁ, Petra. *Jak fungují přírodní UV filtry?* [online]. Brno: Dr. Max, 2023, 2. 6. 2021 [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: <https://www.drmax.cz/clanky/jak-funguji-prirodni-uv-filltry>
18. Intenzita záření. In: *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 26. 10. 2022 [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Intenzita\\_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD](https://cs.wikipedia.org/wiki/Intenzita_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD)
19. Zákon převrácených čtverců. In: *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 10. 2. 2023 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1kon\\_p%C5%99evr%C3%A1cen%C3%BDch\\_%C4%8Dtverc%C5%AF](https://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1kon_p%C5%99evr%C3%A1cen%C3%BDch_%C4%8Dtverc%C5%AF)
20. Lambertův–Beerův zákon. In: *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 10. 2. 2023 [cit. 2023-05-20].
21. Absorpční koeficient. In: *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 10. 2. 2023 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Absorp%C4%8Dn%C3%AD\\_koeficient](https://cs.wikipedia.org/wiki/Absorp%C4%8Dn%C3%AD_koeficient)
22. Arduino. In: *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 9. 2. 2023 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Arduino>
23. VODA, Zbyšek. *Průvodce světem Arduina* [online]. Bučovice: Martin Stříž, 2015 [cit. 2023-05-20]. ISBN 978-808-7106-907.



# Přílohy

## Příloha 1 Zdrojový kód

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>

#define OLED_RESET -1
Adafruit_SSD1306 display(OLED_RESET);
#define pinOut A0
#define pinRef3V3 A1
#define pinSwitch 2

int hodnotaUV = 0;
bool mereniZapnuto = false;
int pocetHodnotProZprumerovani = 5;
float zprumerovanaHodnota = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);
  display.clearDisplay();
  display.setTextColor(WHITE);

  pinMode(pinOut, INPUT);
  pinMode(pinRef3V3, INPUT);
  pinMode(pinSwitch, INPUT_PULLUP);
}

void loop() {
  if (digitalRead(pinSwitch) == LOW) {
    mereniZapnuto = !mereniZapnuto;
    delay(200);
  }

  if (mereniZapnuto) {
    float sum = 0;
    for (int i = 0; i < pocetHodnotProZprumerovani; i++) {
      int hodnotaUV = prumerAnalogRead(pinOut);
      int hodnotaRef3V3 = prumerAnalogRead(pinRef3V3);
      float napetiOutUV = 3.3 / hodnotaRef3V3 * hodnotaUV;
      float intenzitaUV = prevodNapetiIntenzita(napetiOutUV, 0.96, 2.8, 0.0,
15.0);
      sum += intenzitaUV;
      delay(50);
    }
    zprumerovanaHodnota = sum / pocetHodnotProZprumerovani;
  }
}
```

```

Serial.print("UV intenzita: ");
Serial.print(zprumerovanaHodnota);
Serial.println(" mW/cm^2");

display.clearDisplay();
display.setCursor(0,0);
display.setTextSize(1);
display.println("UV intenzita");
display.setCursor(0,15);
display.setTextSize(2);
display.print(zprumerovanaHodnota);
display.setCursor(63,22);
display.setTextSize(1);
display.println("mW/cm^2");
display.display();
delay(50);
}
}

int prumerAnalogRead(int pinToRead) {
    byte numberOfReadings = 8;
    unsigned int runningValue = 0;

    for(int x = 0 ; x < numberOfReadings ; x++)
        runningValue += analogRead(pinToRead);
    runningValue /= numberOfReadings;
    return(runningValue);
}

float prevodNapetiIntenzita(float x, float in_min, float in_max,
                             float out_min, float out_max) {
    return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}

```