**Obsah**

[1. Arduino 2](#_Toc33372436)

[1.1. Vývojové desky Arduino 2](#_Toc33372437)

[Arduino Uno 2](#_Toc33372438)

[2. Vybrané kapitoly z fyziky 2](#_Toc33372439)

[2.1. Hallův jev 2](#_Toc33372440)

[Využití Hallova jevu 4](#_Toc33372441)

[2.2. Proudění tekutin 4](#_Toc33372442)

[2.2.1. Bernoulliho rovnice 4](#_Toc33372443)

[Pitotova trubice 5](#_Toc33372444)

[Prandtlova trubice 6](#_Toc33372445)

[Praktické využití Prandtlovy trubice 7](#_Toc33372446)

[Další způsoby měření rychlosti tekutin 8](#_Toc33372447)

[Bibliografie 9](#_Toc33372448)

# Arduino

Arduino je otevřená, tzv. open source, elektronická platforma, která využívá uživatelsky jednoduchý hardware a software. V užším pojetí bychom jako Arduino mohli označit malý jednodeskový počítač od společnosti Arduino. V širším pojetí tento pojem označuje celou platformu, která zahrnuje jak výrobu počítačových desek, tak i řadu přídavných komponentů, tzv. shieldů, a vývojové programovací prostředí, anglická zkratka IDE (Integrated Development Environment). Protože Arduino je platforma otevřená, existuje celá řada napodobenin a kopií (tzv. klony) desek i dalších komponentů, které jsou často dostatečnou a levnější alternativou k „pravému“ Arduinu. Jedinou věcí, která je chráněna zákonem a nelze ji využívat či kopírovat je samotná značka Arduino, aby uživatelé věděli, co je skutečné Arduino a co ne. Arduino ovšem není jedinou platformou svého typu, podobná je např. platforma PICAXE, Arduino je nicméně ve světě nejrozšířenější. (1)

Arduino kombinuje věci, které jsou sami o sobě těžko použitelné, tak něco o tom (Proccesing, Java…)

Vývoj platformy Arduino má počátek v roce 2005 v Institutu interakčního designu (Interaction Design Institute) v Italském městě Ivrea. Pracovníci institutu tehdy hledali nástroj, který by byl dostatečně jednoduchý a pro studenty institutu cenově dostupný. Toto hledání nakonec vedlo k vytvoření vlastního projektu. Jeho autory jsou Italové M. Banzi a G. Martino, Američané D. Mellis a T. Igoe a Španěl D. Cuartielles.

## Vývojové desky Arduino

### Arduino Uno

Arduino Uno je pravděpodobně nejčastěji užívaná deska.

# Vybrané kapitoly z fyziky

## Hallův jev

Pokud je elektrický vodič umístěn do magnetického pole a vodičem protéká elektrický proud, je na okrajích tohoto vodiče měřitelné elektrické napětí, toto napětí je nazýváno Hallovo napětí a celý tento úkaz je pojmenován Hallův jev na počest jeho objevitele Američana Edwina Herberta Halla. Edwin Hall byl absolventem Johns Hopkinsovy Univerzity a efekt objevil v roce 1879, když tehdy jako 24letý pracoval na své doktorské fyzikální práci. S jeho pomocí je možné zjistit, jestli částice proudu mají kladný nebo záporný náboj, ale i počet těchto částic na objemovou jednotku vodiče. (2)

Hallův jev se nejčastěji měří na tenkém kovovém pásku. Tento kovový pásek je umístěn do magnetického pole, které se co nejvíce blíží homogennímu, tak, aby siločáry pole byly orientovány kolmo k rovině pásku. Na elektrony pohybující se vodičem driftovou rychlostí pak působí Lorentzova síla, která je kolmá ke směru magnetického pole i vůči směru pohybu elektronů. Lorentzova síla je dána vztahem:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.1) |

kde q je velikost elektrického náboje, v jeho rychlost a B magnetická indukce.

V důsledku toho jsou elektrony nuceny pohybovat se ve směru jejího působení a seskupují se na jednom z okrajů pásku, přičemž se stále pohybují vpřed driftovou rychlostí. Tímto přeskupením elektronů na jednu stranu, ale na straně opačné vzniknou nevykompenzované kladné náboje. Díky tomu vzniká mezi první a druhou stranou pásku elektrické pole, které má intenzitu **E**, a elektrická síla Fe, která působí proti síle Lorentzově. Elektrická síla postupně roste, až se obě síly vyrovnají a navzájem vyruší. Potenciálový rozdíl, který vznikne na okrajích pásku se nazývá Hallovo napětí UH a je přímo měřitelné pomocí voltmetru. Velikost tohoto napětí je rovna součinu intenzity elektrického pole E a vzdálenosti d mezi okraji.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.2) |

S využitím veličin, které můžeme přímo měřit, lze vyjádřit koncentraci nosičů náboje n. Platí rovnost výše zmíněných sil:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.3) |

kde e je elementární náboj.

Pro driftovou rychlost, kterou se pohybují elektrony ve směru elektrického proudu platí

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.4) |

kde J = I/S je velikost hustoty proudu v pásku, S je obsah příčného průřezu pásku.

Jestliže z rovnice (2.4) vyjádříme n a dosadíme z rovnice (2.3) za vd a následně z rovnice (2.2) za E, dostáváme se ke vztahu

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.5) |

Obsah příčného průřezu pásku S = d · h, kde h je tloušťka pásku. Dosazením lze vztah ještě o něco zjednodušit:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.6) |

Je zřejmé, že koncentraci n lze vypočítat s využitím veličin, které je možné přímo měřit.

Hallova jevu lze také použít k měření rychlosti elektrického proudu, resp. driftové rychlosti. Při tomto experimentu se pohybuje kovovým páskem uvnitř magnetického pole v opačném směru, než teče elektrický proud a zároveň se měří Hallovo napětí na okrajích pásku. Ve chvíli, kdy Hallovo napětí je nulové, je nulová i rychlost nosičů náboje vůči magnetickému poli. Velikost rychlosti pohybu pásku a driftové rychlosti se za tohoto stavu rovnají, ale mají opačnou orientaci. (3)

### Využití Hallova jevu

## Proudění tekutin

### Bernoulliho rovnice

Bernoulliho rovnice popisuje princip zachování mechanické energie stále proudící ideální kapaliny. Rovnici formuloval nizozemský matematik a fyzik Daniel Bernoulli v roce 1738 ve svém díle *Hydrodynamica*, kde popsal proudění kapalin a v omezené míře také proudění plynů. Díky svým objevům je Bernoulli považován za zakladatele hydrodynamiky. (4)

Bernoulliho rovnice je definována vztahem

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

kde: ρ hustota kapaliny

v rychlost proudění kapaliny

U potenciál kapaliny

p tlak kapaliny

Předpokládáme-li, že proudící kapalina se nachází v tíhovém poli Země, pak potenciální energie vztažená vůči libovolné nulové hladině je a potenciál Po dosazení vztah nabyde následující tvar.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

Rovnice vyjadřuje, že součet energie (kinetické a potenciální ) objemové jednotky kapaliny a jejího tlaku je konstantní. Tlak kapaliny klesá s její rostoucí rychlostí a naopak roste, pokud se rychlost snižuje. V závislosti na obsahu průřezu trubice, kterou kapalina proudí, je v místech s větším průřezem rychlost kapaliny menší a tlak větší než v místech s menším průřezem. Tomuto jevu se říká hydrodynamické paradoxon a v praxi je využíván např. u rozprašovačů, lakovacích stříkacích pistolí, karburátoru a ejektoru. (5)

### Pitotova trubice

Pitotova trubice je zařízení zkonstruované francouzským inženýrem a vynálezcem Henri Pitotem v 18. století. V roce 1724 se Henri Pitot stal členem Akademie věd a začal se věnovat problematice proudění vody v kanálech a řekách. Při svých měřeních zjistil, že tehdejší poznání je chybné, mezi nejvýznamnější omyly patřila představa, že rychlost vody se zvyšuje společně s hloubkou. Významnou pomůckou mu při tom byla tato trubice, která umožňuje změření rychlosti proudění kapaliny, která trubicí protéká. (6)

Pitotova trubice se skládá z hlavní vodorovné trubice, která je do tekoucí kapaliny umístěna rovnoběžně s proudnicemi, a dalších dvou trubiček, které jsou napojeny seshora na hlavní trubici. Jedna z trubiček je do hlavní trubice umístěna kolmo, zatímco druhá trubička má na svém konci krátký pravoúhlý ohyb, který je nasměrován proti proudění. Kapalina má v každém bodě trubice určitý tlak, který je závislý na rychlosti proudění kapaliny. Tento tlak se projeví tím, že voda v připojených trubičkách vystoupá do určité výšky. Z rozdílu výšek mezi hladinami v první a druhé trubičce, můžeme potom vypočítat rychlost, kterou protéká voda hlavní trubicí.

Sem přijde schéma Pitotovy trubice.

Podle Bernoulliho rovnice (2.8) platí zákon zachování energie. Sečteme-li energii a tlak v místě připojení první trubičky, musíme dojít ke stejnému výsledku i v místě, kde je připojena druhá trubička. Úvahu vyjadřuje vztah

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.) |

V případě, že trubice je umístěna ve vodorovné poloze, potenciální energie kapaliny způsobená tíhovým polem se nemění a členy na obou stranách rovnice můžeme vykrátit. Dále člen na pravé straně rovnice je roven nule, protože voda, která vstoupí do trubičky s kolmým ohybem, ztratí veškerou rychlost a proudění se zastaví. Tato ztráta kinetické energie se projeví zvýšením tlaku a nárůstem vodního sloupce. Dostáváme vztah

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.10) |

Tlak kapaliny v obou trubičkách můžeme vypočítat jako hydrostatický tlak vodního sloupce. Podle vtahu pro hydrostatický tlak platí

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.11) |
|  |  | (.12) |

Dosazením rovnic (2.11) a (2.12) do rovnice (2.10) a vyjádřením rychlosti dospějeme k finálnímu vztahu pro její výpočet (7)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.13) |

### Prandtlova trubice

Prandtlova trubice, někdy nazývaná pitot-statická trubice, je zařízení pro měření rychlosti vzduchu nebo jiného plynu, který proudí dovnitř a kolem trubice. Něco o Prandtlovy

Prandtlova trubice využívá stejného fyzikálního principu jako Pitotova trubice (měří rychlost na základě rozdílu tlaku), ale konstrukční řešení je rozdílné. Prandtlova trubice je dvouplášťová, do vnějšího pláště jsou kolmo vyvrtány drobné otvory, kterými je snímán tzv. statický tlak . Protože tyto otvory jsou kolmé vůči směru proudění, jsou natlakovány náhodnou složkou rychlosti vzduchu. V porovnání s Pitotovou trubicí, která je popsána výše, plní tyto otvory podobnou funkci jako trubička, která byla do Pitotovy trubice zavedena kolmo k proudění.

Další otvor trubice, který je orientován přímo proti proudícímu vzduchu, je vystaven jednak tlaku náhodné složky rychlosti, ale také tlaku uspořádané rychlosti vzduchu. Tento tlak se nazývá celkový nebo totální tlak . Rozdíl totálního tlaku a statického tlaku se rovná tlaku dynamickému.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.14) |

Protože v části trubice, kde je měřen , je rychlost vzduchu rovna nule, platí podle Bernoulliho rovnice vztah

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.15) |

a pro rychlost vzduchu po vyjádření platí

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (.16) |

Hodnoty statického i totálního tlaku jsou obvykle z trubice snímány pomocí diferenciálního tlakoměru. (8)

### Praktické využití Prandtlovy trubice

Prandtlova trubice nachází využití zejména v letectví, kde je využívána k měření rychlosti letadla vůči okolnímu vzduchu. Trubice bývají asi 25 cm dlouhé s průměrem asi 1 cm a umisťují se buď na nos, nebo na křídlo letadla. (8)

Jiným a velmi zajímavým využitím Prandtlovy trubice je její využití týmy závodních formulí. Pro závodní vozy jsou velmi důležitým faktorem aerodynamické vlastnosti jejich konstrukcí. Od vozu se vyžaduje, aby měl co nejnižší hmotnost, kladl co nejnižší odpor vzduchu a zároveň, aby dostatečně přilnul k vozovce v prudkých zatáčkách. To je možné díky vysokému aerodynamickému přítlaku, který zajišťuje řada aerodynamických prvků v konstrukci vozů. Prandtlova trubice je nepostradatelným nástrojem, který konstruktérům pomáhá ve zkoumání proudění vzduchu v okolí vozu. Další využití trubice např. nachází při měření efektivity chladiče motoru. (9)

Přestože Pitotova a Prandtlova trubice jsou velmi praktické nástroje v některých oborech nepostradatelné, nese jejich použití některá praktická omezení:

1. Pokud je rychlost pohybu tělesa, na kterém je trubice umístěna, příliš nízká, je rozdíl měřených tlaků velmi malý a chyby přístroje mohou být větší než měření samotné. Trubice fungují s větší přesností pro větší rychlosti.
2. Naopak, pokud je rychlost příliš vysoká a přesáhne rychlost zvuku, na ústí trubice se vytvoří rázová vlna, která ovlivní hodnotu celkového tlaku. Vlivy rázové vlny je možno ošetřit korekcemi a trubice tak lze využívat i pro nadzvukové letouny.
3. Další nevýhodou je, že pokud se trubice ucpe nečistotou nebo ve vyšších nadmořských výškách zamrzne ledem, měří přístroj nereálné hodnoty. Taková chyba v letovém provozu může dojít až k ohrožení lidských životů. V červenci 2009 došlo právě kvůli zamrznutí leteckého rychloměru k havárii letu 447 z Brazilského Rio de Janeira do Paříže. Kvůli rozcházejícím se hodnotám z rychloměrů se odpojil nastavený autopilot a následně se letou ztrativší rychlost zřítil do moře. Zamrzání leteckých rychloměrů se nyní předchází jejich vyhříváním. (8)

### Další způsoby měření rychlosti tekutin

* Plováčkové průtokoměry – jsou konstruovány jako svislé odzdola nahoru se rozšiřující trubice. Uvnitř je umístěn volně se pohybující plováček vyrobený z materiálu o větší hustotě, než je hustota proudící tekutiny. Její proudění trubicí vyzvedá plováček do výšky h, která je závislá na velikosti průtoku.
* Anemometry – Anemometry mohou být mechanické nebo elektrické a slouží k měření rychlosti větru (anemos znamená řecky vítr). Mechanické anemometry jsou založeny na principu přenosu mechanické energii větru na lopatky vrtule nebo misky rotoru. Ze znalosti rozměrů rotoru a počtu otáček lze poté dopočítat rychlost větru. U miskových anemometrů nezáleží na směru větru, vítr musí být pouze kolmý k ose rotoru. Tyto anemometry se často používají v meteorologii.

Elektrické neboli zchlazovací anemometry měří rychlost plynu na základě ochlazování žhaveného drátku kolem proudícím plynem. Drátek je buď žhavený stále na stejnou teplotu a rychlost plynu je pak úměrná topnému příkonu, nebo je topný příkon stálý a rychlost je úměrná poklesu teploty drátku.

* Turbínové průtokoměry – U průtokoměrů tohoto typu se měří rychlost proudění pomocí rotoru, který je umístěn v trubce velmi podobného průměru. Proudící médium se opírá do lopatek rotoru, roztáčí ho a rychlost jeho otáčení je úměrná rychlosti proudění média. Lopatky rotoru jsou buď plastové a jejich otáčení je snímáno opticky, nebo jsou kovové a k počítání otáček je využita indukce. Nevýhodou může být, že tyto průtokoměry špatně měří tekutiny, které vytváří v potrubí vířivé proudy, a že může dojít k jejich ucpání nečistotami.
* Ultrazvukové průtokoměry – V potrubí jsou za sebou umístěny vysílač a přijímač ultrazvukového signálu. Pokud známe rychlost šíření zvuku v dané tekutině, můžeme z přírůstku rychlosti (pokud se signál šíří po proudu), nebo z úbytku rychlosti (signál se šíří proti proudu) určit rychlost proudění.

Jiná varianta využívá Dopplerova jevu, kdy frekvence signálu se mění v závislosti na rychlosti. Využití tohoto řešení je zvlášť vhodné pro znečistěné kapaliny a taveniny.

* Dále se využívají indukční, tepelné a průtokoměry s optickými vlákny. (10)

# Bibliografie

1. **Voda, Zbyšek.** *Průvodce světem Arduina.* Bučovice : Martin Stříž, 2017. 978-80-87106-93-8.

2. Edwin Herbert Hall. *Prabook.* [Online] World Biographical Encyclopedia, 2020. [Citace: 19. 02 2020.] https://prabook.com/web/edwin\_herbert.hall/1103706.

3. **HALLIDAY, David, WALKER, Jearl a RESNICK, Robert.** *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky.* Brno : VUTIUM, 2000.

4. Daniel Bernoulli. *Famous Scientists.* [Online] 2020. [Citace: 22. 02 2020.] https://www.famousscientists.org/daniel-bernoulli/#.

5. Základní kurz fyziky pro distanční studium: Proudění ideální tekutiny. *Matematicko-fyzikální fakulta.* [Online] Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta. [Citace: 22. 02 2020.] https://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz\_fyziky\_pro\_DS/display.php/kontinuum/4\_3.

6. Henri Pitot. *BRITANNICA.* [Online] Encyclopædia Britannica, 2020. [Citace: 22. 02 2020.] https://www.britannica.com/biography/Henri-Pitot.

7. Princip Pitotovy trubice. *Sbírka řešených úloh.* [Online] Katedra didaktiky fyziky Matematicko-fyzikální fakulty UK, 4. 8 2016. [Citace: 22. 2 2020.] http://reseneulohy.cz/1038/princip-pitotovy-trubice.

8. Pitot-Static Tube. *NASA.* [Online] National Aeronautics and Space Administration, 2015. [Citace: 22. 2. 2020.] https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/pitot.html.

9. Pitotovy trubice - Jak pomáhají v mapování aerodynamiky vozů F1? *F1NEWS.* [Online] INCORP, 2012. [Citace: 22. 2. 2020.] https://f1news.autoroad.cz/technika/42191-pitotovy-trubice-jak-pomahaji-v-mapovani-aerodynamiky-vozu-f1#photogalleryInArticle-1.

10. **Formánek, Josef.** Výukové texty pro předmět Měřicí technika: Podklady k principu měření rychlosti a rychlosti proudění. *Západočeská univerzita v Plzni.* [Online] [Citace: 23. 2. 2020.] http://home.zcu.cz/~formanek/mmvyuka/Data/ivk-mt-soubory/12-F.pdf.