

Merací systém



Sergej Il'kovič



Prešov 2022

Merací systém uLAB

(You in LAB)

Merací systém s WiFi pripojením na báze mikrokontrolérov

Autor: Sergej Il'kovič

Recenzenti: prof. RNDr. Ludvík Parma, CSc.
prof. Ing. Ivo Čáp, CSc.

Vydala: Prešovská univerzita v Prešove vo Vydavateľstve Prešovskej univerzity Prešov, 2021

© Text – Sergej Il'kovič, 2022

© Foto – Sergej Il'kovič, 2022

© Prešovská univerzita v Prešove, 2022

Publikácia vznikla v rámci riešenia projektu KEGA 009PU-4/2020: Využitie pokročilých technológií s prvkami automatizácie vo fyzikálnom vzdelávaní

ISBN: 978-80-555-2965-3

Obsah

1. Analýza súčasného stavu vzdelávania	11
2. Filozofia systému	14
2.1. Bloková schéma systému uLAB	16
2.2. Stručná charakteristika systému uLAB	17
2.2.1. Jadro systému uLAB	17
2.2.2. Napájanie uLAB-u	19
2.2.3. Mobilné zariadenie	20
2.3. Pre koho je systém určený	22
2.4. Uvedenie systému uLAB do prevádzky	23
3. Užívateľské prostredie uLAB	25
3.1. Režim časového merania veličín	26
3.2. Režim merania vzájomnej závislosti veličín	31
3.3. Zobrazenie súborov v súborovom systéme	33
3.3.1. Firmvér uLAB BOXu	33
3.3.2. Dátové úložisko uLAB BOXu	34
3.3.3. SPI editor	35
3.4. Konštrukcia systému uLAB	37
3.4.1. Etapy konštrukcie zariadení MS uLAB	37
3.4.2. Návrh a výroba dosiek plošných spojov	39
3.4.3. Vytvorenie návrhu plošného spoja	40
3.4.4. Mikrokontrolér ESP32	40
3.5. uLAB BOX	42
3.5.1. Konštrukcia uLAB BOXu	43
3.6. uLAB senzory	48
3.6.1. Konštrukcia uLAB SENSORa	48
3.6.2. Meranie fyzikálnych veličín	53
3.6.3. Spôsoby komunikácie so senzormi	60

3.7. Napájanie senzorov.....	60
3.8. Príslušenstvo	60
4. Dizajn modulov.....	62
4.1. Výber technológie výroby plastových dielov	62
4.2. Požiadavky na zapuzdrenia jednotiek.....	62
4.3. Návrh 3D modelov puzdier modulov	64
4.4. Výroba zapuzdrení	64
4.4.1. Princíp extrúdovacích 3D tlačiarňí.....	65
4.4.2. Filamenty pre 3D tlač	65
4.4.3. Finalizácia 3D výtlačkov.....	66
5. Softvér	67
5.1. Správa verzií pri vývoji softvéru	67
5.2. Vývojové prostredie VSCode.....	68
5.3. Štruktúra meracieho systému uLAB.....	68
5.4. Inštalácia firmvéru	70
5.5. Štruktúra zdrojového kódu pre uLAB BOX.....	71
5.6. Štruktúra zdrojového kódu pre uLAB SENSOR.....	72
6. Súbor laboratórných meraní s využitím systému uLAB.....	74
6.1. Nové trendy	74
6.2. Nové perspektívy modernizácie vzdelávania.....	74
6.3. Princípy merania fyzikálnych veličín	75
6.4. Nové trendy v oblasti školského vzdelávania	77
6.5. Analýza aktuálneho stavu prírodovedného vzdelávania	77
6.5.1. Školský fyzikálny experiment	77
6.5.2. Klasifikácia školských fyzikálnych experimentov.....	78
6.6. Identifikácia problémov projektového vyučovania	
a bádateľského prístupu	79
6.7. Inštrukcie k práci so súborom laboratórných úloh	81
6.7.1. Atribúty laboratórných úloh.....	81

6.7.2.	Základná charakteristika úloh.....	82
A.	Teoretická príprava.....	83
A.1.	Mechanika	83
A.2.	Mechanika - dynamika.....	84
A.3.	Mechanika - kmity	87
A.4.	Termodynamika.....	88
A.5.	Termodynamika – zmena skupenstva	89
A.6.	Stavová rovnica plynu.....	92
A.7.	Elektrické pole	93
B.	Laboratórne úlohy	96
B.1.	Mechanika	98
B.1.1.	Rovnomerný pohyb	98
B.1.2.	Voľný pád.....	103
B.2.	Dynamika.....	108
B.2.1.	Meranie momentu zotrvačnosti telesa	108
B.2.2.	Premena mechanickej energie	113
B.3.	Kmity.....	117
B.3.1.	Určenie tuhosti pružiny	117
B.3.2.	Určenie tiažového zrýchlenia.....	122
B.4.	Termodynamika.....	126
B.4.1.	Meranie teploty v miestnosti.....	126
B.4.2.	Meranie hmotnostnej tepelnej kapacity	132
B.5.	Skupenské premeny	138
B.5.1.	Meranie teploty vody pri vare	138
B.5.2.	Meranie skupenského tepla topenia	145
B.6.	Ideálny plyn	150
B.6.1.	Štúdium izochorického deja.....	150
B.6.2.	Štúdium izotermického deja	155

B.7. Elektrické pole.....	161
B.7.1. Ohmov zákon.....	161
B.7.2. Meranie elektrického potenciálu	167
Literatúra.....	174
Príloha	179
Zoznam pojmov a skratiek	179

Predhovor

Technológie ovplyvňujú náš život prakticky od narodenia. Aj keď sa na prvý pohľad zdá, že je pokrok v oblasti nových technológií v priebehu roka málo viditeľný, ale ak si porovnáme dlhšie obdobie, s údivom zisťujeme, že vďaka vytrvalému tempu vývoja sa naše životy postupne menia, pričom už na intervale jednej dekády je možné pozorovať signifikantné zmeny, ktoré dokonca menia správanie spoločnosti. Intenzívna penetrácia nových technológií do spoločnosti tak na jednej strane výrazne uľahčuje, zefektívňuje či spríjemňuje niektoré ľudské činnosti, avšak na druhej strane, ignorancia alebo odmietanie využívania nových technológií môže mať aj negatívne dopady na život jedinca v podobe spoločenského vylúčenia, obmedzenia jeho možností realizácie, alebo zvýšenie rizika spojeného s ohrozením jeho či už fyzickej alebo digitálnej bezpečnosti.

Aj keď je využívanie nových technológií pomerne jednoduché a intuitívne, vďaka čomu sa ich využívanie neobmedzuje iba na vzdelanú a mladú časť populácie, ich komplexnosť a technologická náročnosť neumožňuje väčšine populácie pochopiť ich princíp na vývojovej úrovni, ktorý vysoko prekračuje ich schopnosti. U vysoko sofistikovaných technológií je dokonca nevyhnutná úzka špecializácia vývojárov a inžinierov, ktorí sa podieľajú na ich vývoji a servise.

Aby nové technológie mohla používať široká verejnosť, zariadenia sa musia vyznačovať tzv. užívateľskou prívetivosťou a byť teda „users friendly“. Moderné zariadenia je možné ovládať prostredníctvom tzv. užívateľského rozhrania. Jednoduché zariadenia je možné ovládať tlačidlami alebo potenciometrami, zložitejšie zariadenia je možné ovládať pomocou myši, klávesnice alebo dotykových displejov. Najzložitejšie zariadenia je možné ovládať pomocou hlasových povelov, gest či iných signálov generovaných človekom alebo samotným prostredím, k čomu sa využíva umelá inteligencia (z angl. AI – Artificial Intelligence), ktorej dynamický rozvoj máme v posledných rokoch možnosť pozorovať.

Požiadavka intuitívnosti a jednoduchosti použitia zariadení môže byť dosiahnutá vďaka digitálnym technológiám, ktoré sa v posledných desaťročiach stali dostupné a široko využívané. Nízka cena procesorov umožňuje ich nasadenie aj v oblastiach, kde to bolo v minulosti nemysliteľné. Využitie čipov s procesormi je tak možné pozorovať aj u veľmi lacných zariadení či vo výrobkoch na jedno použitie ako sú ochranné prvky na tovaroch, elektronické kľúče alebo hračky pre deti. Energetická úspornosť a prítomnosť komunikačných technológií zase stojí za rozvojom perspektívnej oblasti Internetu vecí (z angl. IoT – Internet of Things), ktorá už teraz nachádza a aj v budúcnosti bude nachádzať stále viac aplikácií. Ako príklad možno uviesť monitorovacie systémy, parkovacie systémy, systémy riadenia rôznych technologických a poľnohospodárskych procesov a pod.

Dostupnosť lacných a výkonných procesorov na trhu motivuje mnohých profesionálov ale aj amatérov k hľadaniu nových možností využitia ich potenciálu v rôznych oblastiach nášho života. Kvalitné programovacie nástroje umožňujú rýchly a efektívny spôsob vývoja softvéru pre procesory aj menej skúseným vývojárom. Mikroprocesory, ktoré sú využívané mimo počítačov alebo mobilných telefónov sa nazývajú mikrokontroléry a práve im sa v tejto publikácii budeme venovať.

S príchodom mikrokontrolérov sa dramaticky zmenili spôsoby riešenia mnohých úloh a problémov. Hlavnou výhodou riešení realizovaných pomocou mikrokontrolérov je ich všestrannosť a aktualizovateľnosť, čo znamená, že pri zmenených požiadavkách zadania častokrát nie je nutný zásah do hardvéru, namiesto toho postačuje aktualizovať softvér, čo výrazne šetrí čas, námahu a v neposlednom rade aj finančné prostriedky. Mikrokontroléry je výhodnejšie využiť dokonca aj pri zabezpečovaní pomerne jednoduchých úloh, o čom som sa presvedčil pri návrhu a konštrukcii vonkajšieho osvetlenia. Klasické riešenie by bolo natoľko zložité a ťažko udržiavateľné, že iná rozumná alternatíva ako využitie mikrokontroléra prakticky neexistuje. Počas realizácie tejto úlohy som si uvedomil, aký veľký potenciál tieto malé „počítače“ vlastne majú. A bolo by veľkou škodou tento potenciál nevyužiť.

Ako fyzik a učiteľ zároveň som si v krátkom čase uvedomil široké možnosti využitia mikrokontrolérov vo fyzikálnom experimente. Fascinovala ma predovšetkým voľnosť pri návrhu meracích zariadení vďaka širokému výberu senzorov fyzikálnych veličín a ich priamočiary a rýchly proces vývoja a výroby. Pomocou mikrokontrolérov je možné merať veľké množstvo fyzikálnych veličín. V prírode sú fyzikálne veličiny často vzájomne prepojené a pri skúmaní fyzikálnych javov je potrebné skúmať tieto súvislosti a prepojenia. Bolo preto potrebné nájsť spôsob, ako senzory vzájomne prepojiť, a vytvoriť tak merací systém ponúkajúci celý rad štandardných, ale aj nadštandardných funkcií. Medzi štandardné funkcie možno zaradiť časové meranie fyzikálnych veličín s voliteľným intervalom a frekvenciou merania, meranie vzájomných závislostí fyzikálnych veličín a ich ukladanie na dátové médium. Medzi menej štandardné funkcie patrí napríklad vzdialená zmena meracieho rozsahu senzorov, zmena jednotiek merania a pod.

Pridávaním ďalších funkcií a vyladovaním softvéru som si v určitom okamihu uvedomil, že takto navrhnutý merací systém, ktorý dostal meno uLAB môže hravo konkurovať komerčným meracím systémom, pričom viaceré parametre komerčných meracích systémov v porovnaní s vyvíjaným systémom, dokonca zaostávajú. Existuje viacero výhod meracieho systému uLAB oproti komerčným meracím systémom, avšak za najdôležitejšie považujem voľnosť pri návrhu funkčnosti systému a jeho nízku cenu. Filozofia systému bola postavená na eliminácii nedostatkov komerčných meracích systémov a implementácii nových funkcií s dôrazom na jednoduchosť používania a s ohľadom na finančnú a technickú nenáročnosť ich výroby. Takto sa podarilo dosiahnuť viaceré vylepšenia, vďaka čomu sa zvýšila pridaná hodnota meracieho systému. Vďaka vlastnej filozofii systému sa tak môže uLAB pochváliť napríklad svojou nezávislosťou od typu klientského zariadenia (napr. počítača alebo smartfónu) a jeho operačného systému, bezdrôtovým pripojením klienta, jednotným spôsobom prepojenia senzorov alebo účelným a minimalistickým dizajnom užívateľského rozhrania. Okrem toho, na strane klienta odpadá inštalácia ovládačov a obslužného softvéru a odpadá aj problém s napájaním senzorov, nakoľko tieto sú napájané z centrálného zdroja, pričom je možné použiť buď sieťový adaptér, alebo powerbanku, ktorej použitie je obzvlášť výhodné pri realizácii terénnych meraní.

Vďaka niekoľkoročnému úsiliu tak vznikol merací systém, ktorého súčasťou sú okrem softvéru a hardvéru, vrátane dosky plošných spojov, aj doriešené mechanické detaily a návrh zapuzdrenia, ktoré je možné priamo vytlačiť na 3D tlačiarňi.

Táto publikácia prevedie čitateľa dôležitými fázami návrhu a konštrukcie všetkých funkčných častí meracieho systému uLAB. Vzhľadom na to, že meranie fyzikálnych veličín je realizované s využitím modulov tretích strán, sú tieto moduly charakterizované iba povrchno, pričom úplné informácie sú dostupné v bibliografických odkazoch. Okrem použitých modulov je možné implementovať celý rad ďalších modulov od rôznych výrobcov, pričom ich implementácia je vďaka účelne navrhutej softvérovej štruktúre veľmi jednoduchá.

Merací systém uLAB je určený hlavne užívateľom (učiteľom, žiakom či prírodovedným nadšencom), u ktorých sa nepredpokladá znalosť programovania či hlboká znalosť z oblasti elektroniky, ale na plnohodnotnú prácu so systémom postačuje ovládanie bežných funkcií počítača alebo mobilného zariadenia akými sú napríklad práca s internetovým prehliadačom alebo s tabuľkovým procesorom. V publikácii si čitatelia nájdu základné informácie o systéme, jeho ovládání a inšpiratívne laboratórne cvičenia, ktoré môžu poslúžiť pri návrhu vlastných laboratórnych cvičení využívaných ako na vyučovaní, tak aj v mimoškolskej záujmovej činnosti. V publikácii si však nájde cenné informácie aj náročnejší čitateľ, ktorý má skúsenosti s programovaním a elektronikou, ktorému sa tak otvárajú široké možnosti využitia svojich zručností s perspektívou participácie na vývoji systému.

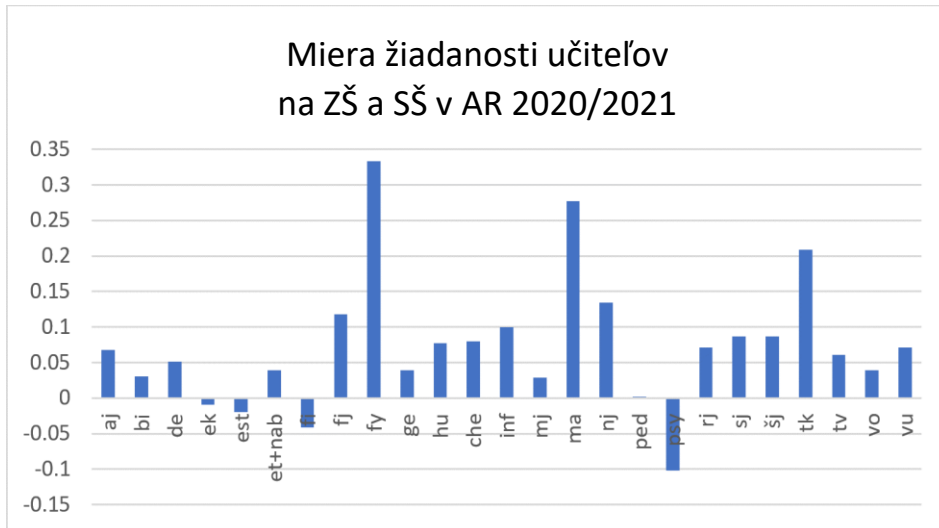
Vzdelávanie prírodovedných disciplín s dôrazom na získavanie experimentálnych zručností predstavuje primárne využitie tohto meracieho systému, avšak jeho využitie v podmienkach základných a stredných škôl môže mať svoj presah aj do disciplín ako sú matematika, ekológia alebo biológia. Svoje najväčšie uplatnenie však nachádza práve v informatike, kde môže inovatívnym spôsobom poslúžiť napríklad pri výučbe programovania, ale napríklad aj v elektrotechnike či elektronike.

Vzdelávanie však nie je jedinou oblasťou, kde je možné vidieť aplikačný potenciál. S malými úpravami je možné tento merací systém pretvoriť na univerzálny automatizačný systém, ktorý môže byť nasadený napríklad pri automatickej regulácii osvetlenia, regulácii teploty, otáčok motora či automatickej závlahe, ale potenciálne zaujímavé sú aj rôzne špecifické aplikácie využívajúce sofistikované algoritmy riadenia. Možnosti sú prakticky neobmedzené a je len na čitateľovi, aké nové využitie nájde tomuto meraciemu systému.

autor

1. Analýza súčasného stavu vzdelávania

Reforma vzdelávania, ktorá v SR prebehla v roku 2008 mala za následok postupné znižovanie počtu škôl orientovaných na prax a v znižovaní záujmu o prírodovedne a technicky orientované odbory. Tento trend stále pokračuje, pričom počty absolventov učiteľských programov menovite fyziky, matematiky a techniky výrazne zaostávajú oproti spoločenskej požiadavke na rozdiel od programov humanitného zamerania (Obr. 1).



Obr. 1: Graf znázorňuje mieru nedostatku učiteľov na ZŠ a SŠ. Čím vyššia hodnota, tým je vyšší dopyt po absolventoch programu. Záporné hodnoty zodpovedajú programom, ktorých predmety sa štandardne nevyučujú (nie je ich možné porovnávať s kladnými hodnotami). Pri spracovaní grafu boli použité údaje z Centra vedecko-technických informácií SR [1] a zo Štátneho pedagogického ústavu SR [2].

Miera nedostatku učiteľov bola vyjadrená ako pomer počtu vakantných učiteľov daného predmetu k počtu absolventov príslušného učiteľského programu vynásobený koeficientom vyjadrujúci približný denný počet vyučovaných hodín daného predmetu spolu pre ZŠ a SŠ. Tento koeficient bol stanovovaný pre každý predmet osobitne. Táto korekcia mala za následok zvýhodnenie predmetov s vyššou hodinovou dotáciou. Aby sa v grafe odrazila podstata analýzy, v prípade predmetov, ktoré sa nevyučujú na školách, bola miera uvedená ako počet nadbytočných učiteľov na trhu práce vynásobený vhodne zvoleným škálovacím koeficientom. Z uvedeného dôvodu je možné vzájomne porovnávanie týchto dvoch skupín predmetov iba pomerovo. Na základe tohto grafu možno vidieť veľmi nepriaznivý stav v sektore prírodovedných predmetov ako je fyzika a matematika, s predpokladom akútneho nedostatku ich učiteľov, predovšetkým fyziky, matematiky a techniky vo výhlade niekoľkých rokov. Štatistika bola spracovaná iba pre učiteľstvo v kombinácii, a nakoľko učiteľstvo prírodovedných predmetov je možné študovať iba v kombinácii, štatistika je v skutočnosti ešte nepriaznivejšia. Tento stav sa pritom už vyše 10 rokov nezlepšuje.

Príčin tohto stavu je niekoľko. Za najzávažnejšie príčiny možno spomenúť absenciu riadenej podpory programov s najžiadanejšími absolventmi na trhu práce a neexistujúca motivácia učiteľov pre vykonávanie povolania a žiakov pre vzdelávanie v oblasti prírodných vied a následného prírodovedného alebo technického kariérneho zamerania.

Azda najvýznamnejším faktorom vplývajúci na znižovanie záujmu o prírodovedné vzdelávanie je klesajúca hodinová dotácia pre prírodovedné predmety. Inovácie vzdelávacích programov tak avizované zámery nenaplnili, pričom hodinové dotácie sa postupne znižovali. V súčasnosti je napríklad hodinová dotácia fyziky na gymnáziách v 1. až 3. ročníku 5 hodín týždenne, čo predstavuje spolu 150 vyučovacích hodín [3]. V prípade prípravy žiakov na maturitnú skúšku môže byť vyučovanie fyziky v závislosti od úrovne maturitnej skúšky obohatené o ďalšie hodiny [4]. Vzhľadom na to, že záujem žiakov vykonať maturitnú skúšku z fyziky je veľmi nízky, z ekonomických dôvodov sa v praxi na gymnáziách k tomuto obohateniu vyučovania fyziky prakticky nepristupuje. Tento stav je dôsledkom nevyžadovania vykonania maturitnej skúšky k prijatiu na VŠ prírodovedného, technického a medicínskeho zamerania, čo nemotivuje žiakov SŠ k výberu fyziky ako maturitného predmetu.

Výsledkom nízkeho počtu hodín fyziky na školách je skutočnosť, že žiaci na vyučovaní nezískajú dostatočne hlboké základy z fyziky, čo znemožňuje ich ďalšie budovanie kariéry v oblasti prírodných vied bez dodatočnej samostatnej individuálnej prípravy mimo vyučovania. Okrem toho, v snahe pokryť všetky tematické celky sa školské vzdelávacie programy obmedzia iba na vybrané kapitoly z fyziky bez vzájomnej nadväznosti a prepojenia s praxou, v ktorých často niet miesto pre experimenty. Aj v prípade, že sú do vzdelávacieho programu zahrnuté aj experimenty, často sa jedná iba o demonštračné experimenty alebo iba dokonca simulácie, ktoré neumožňujú žiakom hlbšie pochopenie učiva, prichádzajú o možnosť presvedčiť sa o prepojení experimentov s praxou a hlavne nezískajú zručnosti s experimentálnou technikou, ktoré veľmi chýbajú a sú v dnešnej dobe veľmi cenené.

Problém nízkej hodinovej dotácie fyziky však, žiaľ, nie je jediný problém vplývajúci na znižovanie záujmu žiakov o štúdium fyziky. Aj keby bola dotácia hodín postačujúca, veľa škôl by nedokázalo zabezpečiť adekvátnu výučbu experimentálne orientovaných hodín. Dôvodom je nízka vybavenosť škôl meracími prístrojmi a pomôckami. I keď dnes existujú spoločnosti, ktoré sa venujú ich výrobe, ich cena je často nad finančné možnosti škôl. Jediné riešenie predstavujú dary a prostriedky pochádzajúce z európskych projektov. Avšak ani v prípade získania finančných prostriedkov tieto nie sú dostatočné na zakúpenie pomôcok pre každého žiaka z dôvodu ich vysokej ceny. Ak navyše zohľadníme absenciu špecializovaných laboratórií alebo laboratóriá často s nevyhovujúcimi technickými podmienkami, do ktorých sa roky neinvestovalo, možnosti na prípravu žiakov v tejto oblasti sú výrazne obmedzené.

Vo všeobecnosti možno povedať, že školám chýbajú také pomôcky, ktoré by umožňovali žiakom rozvíjať praktické zručnosti prepojené s digitálnymi technológiami na individuálnej báze, ktoré podporujú kritické myslenie. Z hodín fyziky sa tak vytratila krása objavovania prírody, čo bolo kompenzované zaradením všeobecných poznatkov do učiva fyziky, čo ešte viac odrádza žiakov od ďalšieho štúdia fyziky.



Vytvorenie priestoru pre experimentálnu činnosť na hodinách fyziky a dostupnosť experimentálnych pomôcok a zariadení však nepostačuje na kvalitnú výučbu fyziky. Kľúčovú rolu vo vyučovacom procese zohráva učiteľ, ktorý musí byť dobre oboznámený so všetkými pomôckami v laboratóriu a musí byť rovnako pripravený ochotne odovzdávať vedomosti žiakom efektívnym spôsobom. Najrýchlejší spôsob prípravy učiteľov je organizovanie školení a seminárov venujúce sa konkrétnym témam, využívajúc pomôcky, ktorých nasadenie sa očakáva. Tieto školenia sú však bez vnútornej motivácie učiteľa pomerne málo efektívne. Je potrebné si uvedomiť, že moderné učebné pomôcky, ktoré sa využívajú na hodinách fyziky, v hojnej miere využívajú digitálne technológie, s ktorými majú problém niektoré skupiny, hlavne starší učitelia, pre ktorých zvládnutie moderných technológií často predstavuje neprekonateľnú bariéru.

Existujú prípady, keď sa po počiatočnom nadšení učiteľov využitie moderných pomôcok výrazne redukovalo. Príčin tejto redukcie je viac. V prvom rade moderné technológie veľmi rýchlo zastarajú a ich používanie tak už po krátkom čase stráca zmysel. Ďalším dôvodom vyradenia týchto pomôcok je ich porucha, prípadne nutnosť aktualizácie, čo vyžaduje nemalé dodatočné investície, ktoré však už škola nie je ochotná investovať. Z ďalších dôvodov možno ešte menovať nemožnosť rozšírenia funkcií zariadení a často komplikovaný servis a užívateľská podpora zariadení.

Ak by sme si chceli zhrnúť tieto informácie, tak meracie systémy majú potenciál naplňať myšlienky Komenského v duchu hesla „škola hrou“, avšak mnohé problémy spôsobujú, že nasadenie komerčných riešení v prírodovednom vzdelávaní je niekedy kontraproduktívne. Novým trendom, ktoré môžu napomôcť riešiť túto situáciu, sa venujú nasledujúce kapitoly, ktoré sa venujú vlastnému meraciu systému uLAB a v praktickej časti A a B uvádzajú niektoré možnosti využitia tohto systému v konkrétnych laboratórnych úlohách aj s metodickými poznámkami pre učiteľa.

2. Filozofia systému

Komerčné systémy, ktoré sa používajú v podmienkach vzdelávania, sa vyznačujú mnohými vlastnosťami, ktoré sa môžu na prvý pohľad zdať užitočné, avšak nemusia vyhovovať všetkým používateľom. Žiaľ, u komerčných systémov sú možnosti prispôsobenia vlastností systému požiadavkám užívateľa limitované. Snaha výrobcov komerčných systémov pokryť potreby širokej skupiny užívateľov viedla k vytvoreniu komplexných sofistifikovaných riešení, ktoré majú svoj negatívny dopad najmä na jednoduchosť používania a na obstarávaciu cenu systému.

Hlavnou črtou vyvíjaného systému je jeho jednoduché použitie, vďaka čomu sa môže užívateľ venovať skúmanej problematike naplno bez nadmerného zaťaženia experimentátora inštrumentálnou stránkou experimentu. Odrážajúc tieto skutočnosti vznikol názov systému **uLAB** (plný názov v angličtine **YOU IN LAB**, ktorý sa foneticky môže prepísať na U-IN-LAB, alebo skrátene uLAB). Tento názov voľne preložený do slovenčiny „ty v laboratóriu“ označuje experimentátora v laboratóriu, kde pozornosť je sústredená práve na experimentátora v jeho snahe objavovať svet okolo seba a nie na prístroje, ktoré mu na tento účel slúžia. Vzhľadom na priestorovú, energetickú a technickú nenáročnosť systému by sme mohli uLAB chápať aj ako **YOU AS LAB**, teda „ty ako laboratórium“, nakoľko je systém mobilný a je tak možné jeho priame a bezprostredné nasadenie pre merania v teréne. Keďže experimentátor nie je len pasívna súčasť experimentu, a môže priebeh experimentu nielen monitorovať, ale aj aktívne doň vstupovať, mohli by sme názov uLAB rozšírovať aj ako **YOU OF LAB**, teda „ty ako súčasť laboratória“. Názov uLAB je možné interpretovať aj ako „**Universal LAB**“, teda ako univerzálne laboratórium, ktoré vyžaduje iba málo externých pomôcok a zariadení. Je teda funkčné samé osebe a poskytuje užívateľovi plný komfort pri jeho ovládaní a pritom zahŕňa pomerne širokú škálu dostupných senzorov umožňujúcich meranie množstva fyzikálnych veličín.

Jazyk rozhrania systému je zvolený anglický zámerne, a to hlavne preto, aby sa predchádzalo nedorozumeniam z dôvodu nekompatibility názvov v jednotlivých jazykoch. V prípade potreby je možné vytvoriť rôzne jazykové mutácie užívateľského prostredia.

Aj keď koncept vlastného systému nevychádza priamo z konceptov komerčných systémov, niektoré črty má s nimi spoločné. Na druhej strane, aj porovnateľná funkcia je v systéme uLAB často využitá originálnym spôsobom, pričom sú využité dostupné hardvérové a softvérové prostriedky. Porovnanie niektorých funkcií komerčných systémov a systému uLAB sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:



Funkcia	Implementácia v komerčných systémoch	Implementácia v uLAB-e
Koncept riadiacej jednotky a senzorov, ktoré sú k nej pripájané	Riadiaca jednotka je vybavená spravidla farebným grafickým displejom, pričom senzory sú k nej pripájané prostredníctvom káblov.	Riadiaca jednotka je vybavená malým notifikačným displejom a vytvára WiFi prístupový bod. Senzory sú rovnako pripájané prostredníctvom káblov.
Pripojenie riadiacej (centrálnej) jednotky	Zariadenie klienta sa k riadiacej jednotke pripája pomocou kábla, ale aj pomocou bezdrôtových technológií. V oboch prípadoch sa vyžaduje inštalácia špecializovaného softvéru.	Zariadenie klienta sa k riadiacej jednotke pripája cez WiFi sieť a užívateľské rozhranie je zobrazované priamo v internetovom prehliadači.
Automatická detekcia pripojených senzorov	Spôsob detekcie senzorov nie je zdokumentovaný.	Informácie o senzore sú uložené v samotnej senzorickej jednotke. Po pripojení senzora k riadiacej jednotke dôjde ku obojsmernej komunikácii, vďaka ktorej sa vytvorí spojenie senzora s riadiacou jednotkou.
Zmena rozsahov senzorov	Rozsahy je možné meniť mechanickým prepínačom na samotnom senzore, prípadne aj dištančne, avšak nastavenia nie sú v senzore ukladané.	Rozsahy sa spravidla nastavujú v užívateľskom rozhraní a nastavenia sa zachovávajú aj po opätovnom pripojení senzora k centrálnej jednotke.
Realizácia merania	Meranie je možné realizovať buď s počítačom (ku ktorému je centrálna jednotka pripojená), alebo bez počítača.	Meranie je možné vykonať po pripojení ľubovoľného mobilného zariadenia, pričom proces merania ďalej prebieha autonómne.
Ukladanie nameraných hodnôt	Namerané hodnoty sú ukladané do riadiacej jednotky systému, prípadne na periférne dátové úložisko.	Namerané hodnoty sú ukladané do riadiacej jednotky systému, resp. priamo do zariadenia užívateľa.

Získanie nameraných údajov	Namerané údaje je možné získať po pripojení riadiacej jednotky k počítaču, prípadne mechanickým prekopírovaním obsahu externej pamäte do PC.	Namerané údaje sú okamžite k dispozícii v rozhraní prostredia (po pripojení klienta k riadiacej jednotke cez WiFi sieť).
Monitorovanie merania	V prípade komerčných zariadení sú namerané hodnoty zobrazované priamo na LCD riadiacej jednotky, čo je energeticky veľmi náročné, pričom neexistuje možnosť redukcie energetickej spotreby.	Namerané hodnoty je možné sledovať pripojením pasívneho farebného LCD k riadiacej jednotke, ktorý je možné v prípade požiadavky redukcie spotreby kedykoľvek odpojiť a to aj počas prebiehajúceho merania.
Spracovanie nameraných údajov	Namerané údaje je možné spracovať buď v riadiacej jednotke, alebo v počítači pomocou vlastného softvéru.	Na spracovanie sa nevyžaduje vlastný softvér. Užívateľ môže využiť ľubovoľný program podľa vlastných preferencií aj z ponuky voľných programov.

Nakoľko je ponuka komerčných systémov pomerne bohatá, pričom aj jeden výrobca môže ponúkať viacero zariadení, nie je možné spraviť univerzálne porovnanie. Ponuka rôznych komerčných výrobcov sa napokon môže aktualizovať a zariadenia tiež môže modernizovať. Z uvedeného dôvodu boli do porovnávania zahrnuté iba zariadenia od výrobcu Vernier (LabQuest 3 a LabQuest Stream) a od výrobcu IPCoach (CoachLab II).

Napriek dynamike vývoja meracích systémov komerčných dodávateľov si môže čitateľ spraviť predstavu o ich základných vlastnostiach a parametroch buď prostredníctvom internetových stránok výrobcov, alebo na základe nezávislých porovnaní a štúdií, napr. [5].

2.1. Bloková schéma systému uLAB

Systém uLAB pozostáva z centrálnej interfejsovej jednotky, ktorú budeme nazývať uLAB BOX (skrátene BOX) a zo senzorov, ktoré sa k nej pripájajú (viď Obr. 2).



Obr. 2: Bloková schéma meracieho systému uLAB



Súčasťou systému je napájací modul, ktorý tvorí USB adaptér (nabíjačka), ktorý prostredníctvom USB micro kábla napája BOX. Pomocou powerbanky je možné napájať systém rovnakým spôsobom ako pomocou USB adaptéra. Micro USB kábel je možné využiť aj pri nabíjaní powerbanky pomocou toho istého USB adaptéra. USB adaptér, prípadne powerbanka zabezpečuje napájanie celého systému vrátane senzorov a komunikácie medzi komponentmi. Odber prúdu závisí od počtu a typu pripojených senzorov, čo má v prípade použitia powerbanky dopad na čas prevádzky celého systému. V prípade časovo náročných meraní v teréne sa odporúča využívať špeciálny režim merania (viď kap. 3.1). V prípade výpadku elektrickej energie (výpadok elektrickej siete v prípade použitia USB adaptéra, prípadne vybitie powerbanky) nedochádza k mazaniu nameraných dát, dôjde len k prípadnému prerušeniu merania. Po obnovení dodávky elektrickej energie je možné meranie spustiť opätovne.

2.2. Stručná charakteristika systému uLAB

Merací systém uLAB bol vyvinutý ako platforma orientovaná na realizáciu prírodovedných experimentov. Systém je nenáročný na obsluhu a jeho používanie nevyžaduje hlboké vedomosti o jeho technických detailoch. Samotná inštalácia systému, resp. uvedenie systému do prevádzky trvá menej ako minútu a zvládne ju aj začiatočník (viď kap. 2.4).

Pre činnosť uLAB-u sú nevyhnutné tri súčasti:

1. samotný systém (uLAB BOX a minimálne jeden uLAB SENSOR)
2. napájanie (USB adaptér, powerbanka, alebo iné zariadenie s USB portom)
3. mobilné zariadenie (notebook, PC, tablet alebo smartfón)

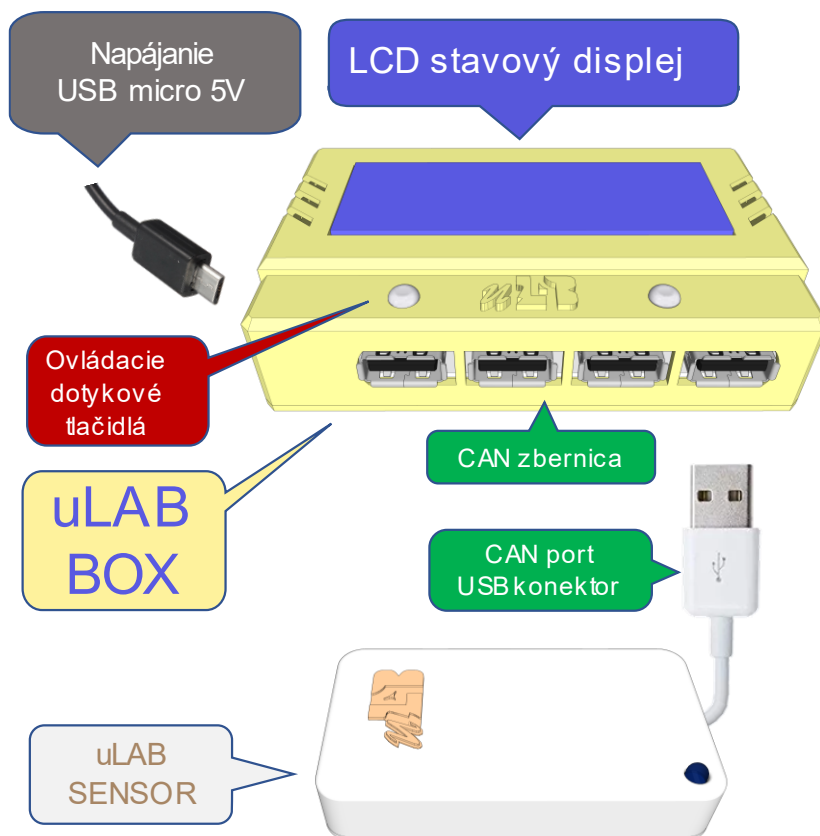
Jadro systému tvorí uLAB BOX a uLAB SENSORy. Ostatné komponenty systému (napájanie a mobilné zariadenie) je možné použiť od rôznych výrobcov za podmienky dodržania základných požiadaviek.

2.2.1. Jadro systému uLAB

K centrálnej jednotke uLAB BOX sa pripájajú senzorické jednotky¹ uLAB SENSOR (Obr. 3). Na komunikáciu medzi BOXom a SENSORmi slúži CAN (Controller Area Network) zbernica², ktorá je odolná voči rušeniu vonkajším elektrickým poľom. Vzhľadom na očakávané frekvencované používanie tohto prepojenia bol pre prepojovací kábel zvolený USB konektor typu A, ktorý je odolný voči mechanickému namáhaniu. Za daných okolností existuje riziko pripojenia USB zariadenia (zariadenia komunikujúceho prostredníctvom univerzálnej sériovej zbernice, z angl. Universal Serial Bus) k uLAB-u, ale aj pripojenie senzora namiesto USB zariadenia. V oboch prípadoch za štandardných podmienok nedôjde k poškodeniu žiadneho zo zariadení. Napriek tomu sa neodporúča takýto spôsob používania, nakoľko v oboch prípadoch nie sú zariadenia funkčné.

¹ Tieto jednotky obsahujú senzory, pod ktorými budeme v ďalšom texte rozumieť snímače a aktuátory. Senzormi budeme niekedy označovať aj komerčné senzorické moduly.

² Rovnaký spôsob prepojenia zariadení je masovo využívaný v automobilovom priemysle, čo výrazne zjednodušuje a zlacňuje výrobu elektroinštalácie vozidiel.



Obr. 3: Jadro systému uLAB

Jednotka uLAB BOX pripojené senzory automaticky deteguje, o čom informuje LCD displej na BOXe. Na displeji je zároveň zobrazená informácia o celkovom počte pripojených senzorov. uLAB SENSOR je fyzické zariadenie, ktoré obsahuje jeden alebo viacero snímačov fyzikálnych veličín. Každý uLAB SENSOR môže merať najviac 8 fyzikálnych veličín. Každá veličina meraná snímačmi v uLAB SENSOR-e sa v systéme identifikuje ako jeden senzor (v ďalšom texte ho budeme označovať subsenzor).

Počet fyzicky pripojených uLAB SENSORov je limitovaný počtom konektorov uLAB BOXu na štyri. uLAB BOX má až 8 voľných slotov, čiže komunikačných kanálov s jednotlivými subsenzormi jednotiek uLAB SENSOR. Sloty sú automaticky obsadzované/uvoľňované po pripojení/odpojení jednotky uLAB SENSOR. Ak počet subsenzorov pripájanej jednotky uLAB SENSOR prevyšuje aktuálny počet voľných slotov, obsadia sa všetky voľné sloty a zvyšné subsenzory sú systémom ignorované. V prípade uvoľnenia slotu po odpojení niektorého uLAB SENSORa je možné pripojiť ďalšie subsenzory až po opätovnom pripojení (odpojení a následnom pripojení) uLAB SENSORa. V prípade zapnutia napájania systému s vopred zapojenými uLAB SENSORmi je pripojenie (výber) subsenzorov výsledkom vlastného arbitrážneho procesu.



Pre merací systém uLAB bolo vyvinutých niekoľko senzorov merajúcich rôzne fyzikálne veličiny. Zoznam a podrobnejší popis senzorov je prezentovaný v kap. 5.6.

2.2.2. Napájanie uLAB-u

Napájacie napätie:	5V DC
Minimálny prúd:	2A
Konektor:	USB micro/USB-C

Na tento účel je možné použiť zariadenia od rôznych výrobcov. Uvádame niektoré komponenty, ktoré je možné využiť pri napájaní uLABu:

- USB adaptér (5V, 2A; výstup USB typ A, female)
- Powerbanka s kapacitou aspoň 1000 mAh (výstup USB typ A, female, micro USB alebo USB-C konektor na nabíjanie)
 - vzhľadom na pomerne nízky odber prúdu meracieho systému sa osvedčili lacné powerbanky, v ktorých boli inštalované jedna alebo dve akumulátorové LiPol batérie typu 18650. Aj keď na akumuláciu elektrickej energie je možné využiť aj iné technológie, tieto akumulátory sú výhodné predovšetkým pre ich vysokú hustotu energie, pomerne vysoký počet nabíjajúcich cyklov a pomerne nízku cenu (podrobnejšie v kap. 2.4).
- Systém je možné napájať aj pomocou alkalických batérií. Ich napätie však musí byť upravené DC-DC meničmi na 5V. Z finančného hľadiska sa však jedná o pomerne nákladné riešenie, a preto ho neodporúčame.
- USB kábel na napájanie uLAB-u a na nabíjanie powerbanky
 - USB typ A, female
 - micro USB male
 - Pri kúpe kábla je potrebné dbať na jeho kvalitu. Nie každý kábel je vhodný na použitie.
- Predovšetkým u lacných čínskych káblov sa môže malý prierez vodičov prejavíť na ich vyššom elektrickom odpore. Táto skutočnosť sa môže negatívne prejavíť poklesom výstupného napätia pri vyšších odberoch spôsobený úbytkom napätia na vodičoch kábla, čo môže viesť k nečakanému správaniu sa systému (napríklad resetovanie BOXu).
- Podobne veľké dĺžky káblov môžu viesť k podobnému správaniu.
- V prípade potreby je možné uLAB napájať aj pomocou tzv. barrel jacku³ Tento konektor je mechanicky odolný, ale pri použití powerbanky vyžaduje redukciu.
- U novších verzií je na napájanie uLAB BOXu použitý USB-C konektor, ktorý sa oproti USB micro vyznačuje vyššou mechanickou odolnosťou a vyššími hodnotami prúdu. Mechanická odolnosť je navyše podporená spôsobom inštalácie konektora na PCB dosku uLAB BOXu.

³ Tento spôsob napájania bol v počiatkoch vývoja primárny. Neskôr bol pridaný oveľa dostupnejší a univerzálnejší konektor USB micro, alebo USB-C, ktorý je možné využiť aj pre nabíjanie powerbanky. Od tejto možnosti napájania sa postupne upúšťa (najnovšie verzie už tento spôsob napájania neobsahujú), aj keď je oproti USB micro mechanicky odolnejší.

Režimy napájania:

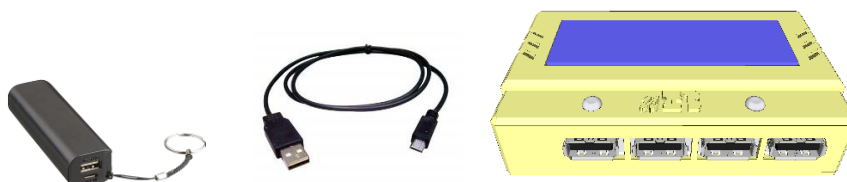
1. Napájanie uLAB-u zo siete:



2. Napájanie uLAB-u pomocou iného zariadenia:



3. Napájanie uLAB-u z powerbanky:



4. Nabíjanie powerbanky:



2.2.3. Mobilné zariadenie

Pod pojmom mobilné zariadenie budeme rozumieť digitálne zariadenie, ktoré predstavuje počítač s displejom a WiFi konektivitou. Displej a WiFi konektivita sú jedinými kritériami pre výber mobilného zariadenia. Nerozhoduje značka, operačný systém, jazyk ani cena. Z tohto pohľadu je systém uLAB kompatibilný prakticky so všetkými zariadeniami dostupnými na trhu.

Podľa rozsahu využitia a ceny mobilných zariadení by sme ich mohli rozdeliť do niekoľkých skupín:



1. Notebooky (laptopy) predstavujú veľmi rozšírené počítače u všetkých vekových skupín používateľov. Svoju popularitu si notebooky získali predovšetkým vďaka svojej všestrannosti a v neposlednom rade vďaka pomerne vysokému výkonu pri priaznivých cenách. Mobilita je zabezpečená zabudovanými akumulátormi a konektivita WiFi je u notebookov úplnou samozrejmosťou. Väčšina notebookov je vybavená kvalitným LCD resp. LED displejom vo veľkostiach 10'' až 17'', čo zaručuje pohodlnú prácu so systémom uLAB. Najpoužívanejší operačný systém u notebookov je Windows (rôzne verzie). Nasledujú MacOS a Linux.
2. Tablety. V posledných niekoľkých rokoch došlo k masívnemu rozšíreniu týchto zariadení. Svoje využitie tablety našli ako v zábavnom priemysle, tak aj pri plnení pracovných úloh. Na rozdiel od notebookov sú tablety menšie a ľahšie, avšak ich najväčší rozdiel je v operačnom systéme. Vo väčšine tabletov je nainštalovaný OS Android, alebo iOS. Obrazovky tabletov sa pohybujú v intervale 7''-10''.
3. Smartfóny predstavujú najmobilnejšie zariadenia, u ktorých je penetrácia v populácii najvyššia. Zjednodušene možno povedať, že smartfón je zmenšený tablet, ktorému boli spravidla odobraté niektoré funkcie (napríklad pero), a na strane druhej niektoré funkcie má navyše (napríklad GSM konektivitu). Displeje smartfónov dosahujú hodnoty 4'' až 6''.
4. Stolové PC. Aj keď nejde o mobilné zariadenia v pravom zmysle, PC je možné využiť v situáciách, kde mobilita nehrá dôležitú úlohu, napríklad v laboratóriu, alebo v učebni. Veľkou výhodou PC je veľký monitor, ktorý nezriedka dosahuje uhlopriečky 22'' a viac. Častý nedostatok WiFi konektivity je možné hľavo vyriešiť inštalovaním tzv. USB WiFi dongle⁴, ktorý PC touto konektivitou jednoduchým spôsobom vybaví.



Obr. 4: USB Wi-Fi modul

Nutnou podmienkou pre činnosť uLAB-u je internetový prehliadač nainštalovaný v zariadení. Práve v internetovom prehliadači je zobrazené užívateľské prostredie, ktoré umožňuje užívateľovi interagovať s meracím systémom uLAB (viď kap. 3, ktorá sa venuje užívateľskému prostrediu). V dnešnej dobe už hádam neexistuje zariadenie, ktoré nemá štandardne nainštalovaný internetový prehliadač. V opačnom prípade je možné si do zariadenia nainštalovať jeden z množstva kvalitných a bezplatných internetových prehliadačov.

Merací systém uLAB je optimalizovaný pre internetové prehliadače Mozilla Firefox a Google Chrome. Väčšina funkcií by však mala byť dostupná aj v ostatných internetových prehliadačoch. Užívateľské rozhranie ponúka všetky dostupné funkcie systému vrátane ovládania senzorov a práce s nameranými údajmi. Zároveň je možné užívateľské rozhranie aj aktualizovať a to bez nutnosti aktualizovať firmvér uLAB BOXu a uLAB SENSORov.

⁴ Jedná sa o malé a lacné zariadenie (cca 2€) v tvare malého USB kľúča, ktorý dokonca nie je potrebné v počítači manuálne inštalovať. Inštalácia u tzv. PnP (plug & play) zariadení prebieha úplne automaticky a to vo všetkých najpoužívanejších operačných systémov.

2.3. Pre koho je systém určený

Systém uLAB je vzhľadom na jeho vlastnosti vhodný predovšetkým na realizáciu študentských experimentov, ktoré môže žiak/študent realizovať buď pod dohľadom pedagóga, alebo samostatne po inštrukciami. V prospech jeho individuálneho nasadenia v podmienkach školstva hovorí jeho jednoduché použitie, vysoká mobilita a veľmi priaznivá cena.

Z uvedených dôvodov je potenciál využitia systému vo vzdelávaní vysoký, a to predovšetkým v týchto oblastiach:

1. Využitie systému ako učebnej pomôcky pre vyučovanie predovšetkým prírodovedných predmetov a to ako:
 - pomôcka k demonštračným experimentom (ako pri prezenčnej tak aj pri dištančnej výučbe)
 - vybavenie laboratória, vďaka ktorému budú môcť žiaci v škole realizovať laboratórne cvičenia
 - učebná pomôcka pre žiakov, ktorí budú môcť systém využívať doma pri príprave projektových zadaní
2. Pre školy ako prostriedok pre výučbu programovacích jazykov (C++, html)
3. Pre školy ako prostriedok pre výučbu základov elektroniky, elektrotechniky, automatizácie a dizajnu

Platforma uLAB tiež môže byť využitá aj v mimoškolskej činnosti, ale aj ako nástroj na realizáciu rôznych hobby aktivít.

Okrem toho, s istými úpravami môže byť systém nasadený aj v komerčnej sfére na realizáciu automatizovaných projektov, napríklad automatizovaný systém zavlažovania skleníka, automatické osvetlenie obsahujúce sofistikované funkcie (napríklad zmena režimu podľa teploty, osvetlenia, detekcie pohybu a pod.) a iné. Tento druh aplikácie zatiaľ nie je do systému implementovaný. Vzhľadom na zabudovaný Bluetooth modul sa otvára cesta pre ovládanie systému napríklad cez aplikáciu mobilného telefónu, alebo inými IoT⁵ zariadeniami.

⁵ IoT = Internet of Things, teda internet vecí. Jedná sa o sieť, v ktorej je možná vzájomná komunikácia medzi „vecami“, teda uzlami, alebo nodmi.



2.4. Uvedenie systému uLAB do prevádzky

Na uvedenie systému do prevádzky je potrebné spraviť tieto kroky:

1. Pripojenie napájania k uLAB BOXu (buď z adaptéra alebo z powerbanky).
2. Pomocou mobilného zariadenia sa pripojíme k WiFi hotspotu pomocou údajov z displeja



3. Po pripojení zariadenia sa zobrazí IP adresa webservera, ktorú je potrebné zadať do internetového prehliadača, napríklad



4. Po otvorení stránky v internetovom prehliadači môže užívateľ so systémom pracovať okamžite. Na stavovom displeji sa zobrazujú aktuálne informácie o stave systému, o počte pripojených mobilných zariadení (Devs⁶) a o počte pripojených senzorov (Sensors)



Poznámky:

- systém nemá vypínač a zapína sa iba pripojením napájania
- názov siete (SSID) je odvodený od MAC adresy wifi karty mikrokontroléra, aby bolo možné rozlíšiť jednotlivé BOXy v prípade ak je v dosahu mobilného zariadenia viac ako jeden BOX (v zriedkavých prípadoch môže nastať situácia rovnakého názvu siete; ak je tento stav nežiaduci, je možné ho vyriešiť napríklad pridaním viacerých znakov do názvu siete odvodených z ďalších bajtov MAC adresy, prípadne nepoužívať kolidujúce zariadenia na jednom mieste)
- je nastavené jednotné preddefinované heslo siete (v prípade potreby je možné heslo zmeniť, či pre heslo generovať náhodný reťazec pri každom, alebo iba pri prvom spustení). Ak nehrozí zneužitie systému je možné heslo úplne vynechať
- systém je optimalizovaný pre internetové prehliadače Google Chrome a Mozilla Firefox, pričom základné funkcie budú pravdepodobne dostupné aj na ostatných internetových prehliadačoch
- vo webovom rozhraní systému je možné sledovať aktuálne namerané hodnoty všetkých pripojených senzorov a realizovať dostupné merania (viď kap. 3)

⁶ Devs – skratka anglického slova Devices (zariadení)

-
- maximálny počet pripojených klientov (mobilných zariadení) je 4, pričom prvý pripojený klient je v aktívnom režime (má umožnené zasahovať do priebehu merania), zatiaľ čo ostatné zariadenia sú pripojené iba v pasívnom - monitorovacom režime
 - počet klientov a počet pripojených senzorov je aktualizovaný v reálnom čase
 - senzory je možné pripájať k BOXu ako pri vypnutom, tak aj pri zapnutom BOXe (v prípade zapnutého systému a pripojeného klienta je senzor okamžite zobrazený v prostredí systému)
 - ak je senzor odpojený/pripojený počas merania nedôjde k poškodeniu systému, avšak údaje z týchto senzorov nebudú zaznamenané (nemá to však vplyv na senzory, s ktorými sa nemanipulovalo)

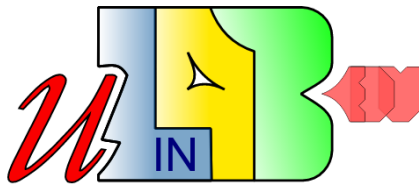


3. Uživatelské prostředí uLAB

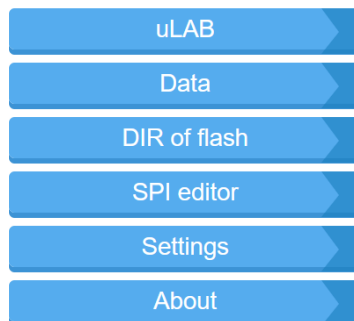
Merací systém uLAB v snahe čo najviac zjednodušiť hardvér a znížiť jeho cenu neobsahuje zobrazovacie zariadenie ani hardvérové ovládacie nástroje. Túto funkciu v uLABe zabezpečuje mobilné zariadenie, ktoré je k systému pripojené prostredníctvom WiFi technológie.

Uživatelské prostredie je vytvorené vo forme webstránky, ktorá je umiestnená vo FLASH pamäti uLAB BOXu. Na uLAB BOXe je automaticky spúšťaná služba Webserver, ktorá umožňuje klientom prehliadať stránky. Tieto stránky si vie klient (internetový prehliadač mobilného zariadenia) zobraziť a prostredníctvom služby WebSocket aj so systémom obojsmerne interagovať (podrobnejšie v kap. 5.5). Na uLAB BOXe je teda rovnako spustená aj služba WebSocket, ktorá umožňuje v reálnom čase prenášať povely užívateľa pre systém a rovnako prenášať namerané údaje od senzorov k užívateľovi.

Uživatelské prostredie je minimalistické, aby bolo pre užívateľa príťažlivé (Obr. 5, Obr. 6, Obr. 7, Obr. 8). Snahou vývoja prostredia bolo klásť dôraz na jeho jednoduchosť a prehľadnosť. Vďaka moderným funkciám html jazyka, ktoré implementovali internetové prehliadače, je možné dosiahnuť vysokú responzivnosť prostredia, a to aj pri využití sofistikovaných funkcií jazyka html a JavaScriptu.

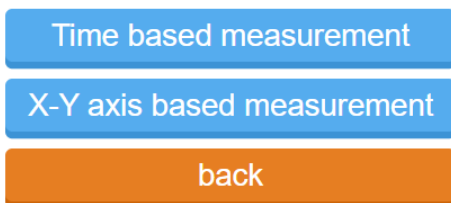


MAIN MENU



Obr. 5: Hlavné menu užívateľského prostredia

MEASUREMENT MENU



Obr. 6: a) Režimy merania,

uLAB Info

Author: Sergej Il'kovič
Version: 97
Free RAM: 140416
Used Flash: 472.00kB
Free Flash: 2.48MB



b) Informácia o systéme uLAB

Hlavné menu (Obr. 5) ponúka tieto možnosti:

- **uLAB** - vstup do rozhrania merania (Obr. 6a)
- **Data DIR** – otvorenie priečinka so súborami nameraných údajov (Obr. 9)
- **Flash DIR** – zobrazenie všetkých súborov uLAB BOXu vrátane súborov webstránky
- **SPI editor** – rozhranie pre manipuláciu editáciu súborov uložených v uLAB BOXe (Obr. 10)
- **Settings** – poskytuje nastavenie základných parametrov MS (Obr. 11)
- **About** – zobrazenie základných informácií o systéme (Obr. 6b)

Systém ponúka dva základné režimy merania⁷ (Obr. 6a):

1. Časové merania veličín
2. Merania vzájomnej závislosti veličín

3.1. Režim časového merania veličín

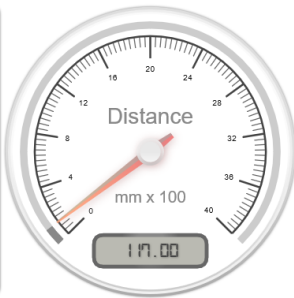
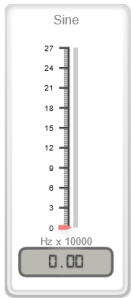
Tento režim sa používa v situácii, keď potrebujeme zmerať časové závislosti fyzikálnych veličín pripojených senzorov. Užívateľské prostredie tohto režimu obsahuje 6 nasledujúcich blokov:

- A Panel ukazovateľov
- B Panel nastavenia merania
- C Stavový panel
- D Ovládací panel
- E Panel voľby zobrazenia grafu
- F Časová závislosť meranej veličiny

⁷ V prípade potreby je možné v procese vývoja systému počet režimov rozšíriť. Takým spôsobom je možné doplnenie funkcií systému napríklad aj pre rôzne automatizačné a monitorovacie účely, ktoré môžu byť potenciálne využité aj v komerčnej oblasti.



TIME BASED MEASUREMENT



Record interval (min.sec.ms):

00:01.000



Stop after (h.m.s):

00:00:10



Status: Ready
File size: 20B

fast
 long

mode Duration:
0 days, 00:00:00

Freq: 9 Hz
DIR | data



rec

stop

delete

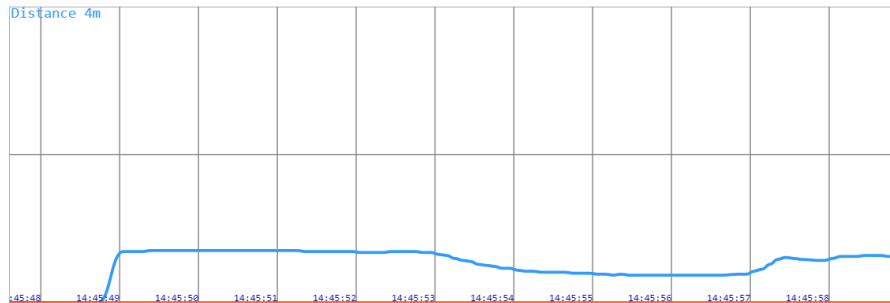
save

download

Time scale:



Time shift:




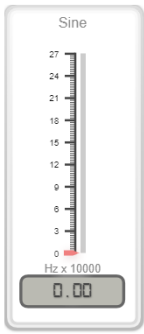
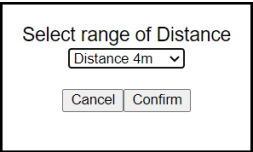
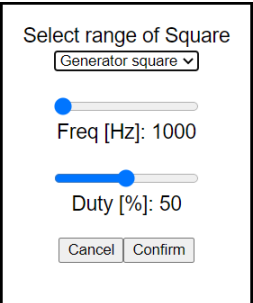
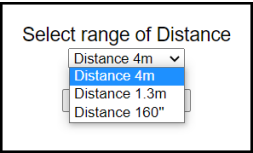
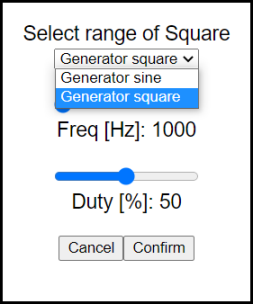
uLAB (c) ver.093w_t

Obr. 7: Užívateľské prostredie uLAB – meranie časovej závislosti



A. panel ukazovateľov

Ak je užívateľ úspešne pripojený k uLAB BOXu, pri načítaní tejto stránky sa v tomto paneli zobrazia všetky pripojené senzory. Novo pripojený senzor sa okamžite zobrazí v tomto paneli, zatiaľ čo odpojený senzor je automaticky odstránený. Namerané hodnoty všetkých senzorov sa obnovujú každých 100ms a automaticky zobrazujú ako vo forme analógového ukazovateľa, tak aj v podobe digitálnej veličiny. Aktualizácia hodnôt senzorov počas merania závisí od intervalu merania. Existujú dva typy subsenzorov - senzory a aktuátory. Sensory snímajú hodnoty meraných veličín a aktuátory predstavujú akčný člen realizujúci zmenu niektorej fyzikálnej veličiny. Vlastnosti elementov týchto typov subsenzorov sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Element / subsenzor	Senzor	Aktuátor
Ukazovateľ <ul style="list-style-type: none"> v závislosti od typu senzora sa zobrazí príslušný ukazovateľ obsahuje digitálnu a analógovú veličinu po kliknutí sa zobrazí menu nastavenia rozsahu 		
Rozsah <ul style="list-style-type: none"> v závislosti od typu subsenzora závisí počet nastavovaných parametrov 		
Výber rozsahu <ul style="list-style-type: none"> z „dropdown“ menu sa vyberie príslušný rozsah a potvrdí tlačidlom Confirm 		



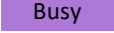
Tab. 1: Elementy subsenzorov, zmena ich rozsahov



B. Panel nastavenia merania. V užívateľskom prostredí tohto režimu je možné nastaviť tieto parametre:



- *Record interval* - udáva frekvenciu merania, pričom sa zadáva interval medzi jednotlivými meraniami.
 - Zadávanie intervalu merania sa realizuje pomocou troch posuvníkov (meniť hodnotu možno aj s použitím kurzorových šípok klávesnice, pričom pri súčasnom stlačení klávesy SHIFT je krok 10, a pri súčasnom stlačení klávesy CTRL je krok 100).
 - Ak je hodnota intervalu merania viac ako 100ms, počas záznamu je generovaný živý náhľad na časový priebeh senzorov.
 - Nastavený interval merania bude zohľadnený aj v prípade, že niektorý senzor potrebuje na odmeranie hodnoty dlhší čas. Zaznamenaná bude až najbližšia dostupná hodnota. V danom kanáli sa v prípade nedostupnosti hodnoty neuloží žiadna hodnota.
- *Stop after* – udáva dĺžku merania. Po uplynutí tejto doby dôjde k automatickému zastaveniu merania. V prípade, ak nevieme odhadnúť dĺžku merania, zadáme maximálny predpokladaný čas merania s tým, že meranie vieme kedykoľvek ukončiť⁸.

C. Stavový panel zobrazuje alebo umožňuje nastaviť tieto parametre:

- *Status* – zobrazuje stav, v akom sa nachádza systém. Táto stavová informácia je zároveň zobrazovaná na LCD displeji uLAB BOXu.
 - Systém sa môže nachádzať v týchto stavoch:
 -  **Ready** - systém je pripravený k práci
 -  **Record** - prebieha záznam merania
 -  **Busy** - systém je zaneprázdnený (spravidla prebieha prenos dát)
- *File size* – zobrazuje aktuálnu veľkosť súboru v bajtoch (prípadne kB, MB). Táto hodnota je aktualizovaná priebežne (po každých desiatich záznamoch).
- *Fast* – umožňuje realizovať rýchle merania, ktoré už nie sú merané v reálnom čase, nakoľko prenosový kanál nie je schopný tieto dáta vo zvolenej rýchlosti prenášať do klientskeho zariadenia. Tieto dáta sú prenesené zo zariadenia až po ukončení merania. Tento stav je indikovaný fialovou farbou. Pri zvolení tohto režimu treba rátať s tým, že objem prenášaných dát môže byť v závislosti od nastavených parametrov pomerne veľký, a preto aj čas potrebný na prenos dát sa môže zvýšiť. V tomto režime je potrebné oveľa starostlivejšie sledovať voľné miesto vo FLASH pamäti, keďže jej zapĺňanie v tomto režime prebieha oveľa rýchlejšie. V prípade

⁸ V prípade, že sa preruší napájanie systému, nedochádza k strate všetkých nameraných údajov. Namerané údaje sú spoľahlivo uložené vo FLASH pamäti uLAB BOXu. Aby sa predchádzalo opotrebeniu FLASH pamäte, k zápisu do tejto pamäte dochádza v blokoch desiatich meraní. Z uvedeného dôvodu pri výpadku napájania zariadenia môže dôjsť k strate maximálne posledných desiatich meraní.

zaplnenia pamäte dôjde k strate iba údajov presahujúcich kapacitu FLASH pamäte.

- *Long* – umožňuje realizovať dlhé merania s úsporou energie. Tento režim merania sa odporúča zvoliť v prípade napájania systému powerbankou pri časovo náročných meraniach s veľkými intervalmi medzi jednotlivými meraniami. V tomto režime meranie prebieha tak, že po odmeraní veličín všetkých senzorov sa systém prepne do režimu spánku s veľmi nízkou spotrebou energie až do ďalšieho merania. Aby sa dosiahla maximálna úspora energie, sú počas tohto merania WiFi sieť a displej BOXu vypnuté. To znamená, že v tomto režime nie je možné sa k BOXu pripojiť. Toto meranie sa dá kedykoľvek prerušiť bez straty údajov⁹ dotykom pravého tlačidla na BOXe.
- *mode* – umožňuje kliknutím meniť zobrazenie priebehu merania, pričom sú k dispozícii tieto módy:
 - *Duration* – čas uplynutý od začiatku merania
 - *Remains* – čas do konca merania
 - *Progress* – stav priebehu merania v %
- *Freq* – orientačný údaj frekvencie posielania meraných veličín
- *DIR | data* – umožňuje zobraziť obsah FLASH pamäte BOXu (viď Obr. 9)
- indikátor websocket pripojenia
 -  pripojenie je aktívne
 -  pripojenie je neaktívne (po kliknutí dôjde k znovupripojeniu)

D. Ovládací panel

- *rec* – spustenie nahrávania merania do súboru data.csv; nové meranie pripojí údaje na koniec súboru až doiaľ nie je uložený pomocou save
- *stop* – zastavenie merania
- *delete* – zmazanie súboru data.csv
- *save* – premenovanie súboru data.csv na názov obsahujúci dátum a čas merania (tieto súbory sú dostupné v pamäti BOXu)
- *download* – stiahnutie súboru data.csv do mobilného zariadenia

E. Panel voľby zobrazenia grafu

- *Time scale* – vymedzenie časového intervalu sledovania nameraných hodnôt. Tento údaj udáva šírku časového okna pre pozorovanie.
- *Time shift* – udáva posun časového okna oproti súčasnosti

F. Časová závislosť meranej veličiny

- V grafe sú zobrazované iba prvé dva senzory. Hodnoty ostatných senzorov sa síce v grafe nezobrazia, ale sú rovnako zaznamenávané.
- Mierka grafu je odvodená od rozsahu senzorov

⁹ V prípade odpojenia napájania rovnako nedôjde k strate údajov s výnimkou najviac posledných desiatich meraní.



3.2. Režim merania vzájomnej závislosti veličín

Tento režim umožňuje zistiť vzájomný vzťah medzi dvomi meranými veličinami vyjadrený grafickým spôsobom. Využíva sa vtedy, ak sa očakáva vzájomná závislosť meraných veličín. V tomto režime je možné merať viaceré fyzikálne veličiny, ale závislosť je možné sledovať iba u dvoch zvolených veličín. Užívateľské prostredie (Obr. 8) pozostáva z týchto blokov:

- A Panel senzorov
- B Stavový panel
- C Ovládací panel
- D Graf

X-Y AXIS BASED MEASUREMENT

data channel	Man	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
sensor	nr.	Distance							
value	5	99.00							
unit		mm							
axis	<input checked="" type="radio"/> x y <input type="radio"/> x y								

line on/off **Status: Recording** Data points: 4
 Man autoincrement DIR | data

graph point download clear

Distance 4m [mm]

nr. []

measured data

nr. []	Distance 4m [mm]
1.0	42
2.0	175
3.0	240
4.0	225
5.0	95



uLAB (c) ver.093w_xy

Obr. 8: Užívateľské prostredie uLAB – meranie vzájomnej závislosti veličín

A. Panel senzorov - predstavuje zoznam všetkých pripojených senzorov k uLAB BOXu. Tento panel umožňuje zvoliť si, ktorých veličín závislosti chceme zobrazovať. Panel tvoria tieto riadky:

- *data channel* – udáva číslo kanála, resp. pripojeného senzora. Kliknutím na číslo môžeme kanál skryť/zobraziť. Prvý senzor označený „Man“ predstavuje senzor, ktorého hodnotu môžeme manuálne zadávať. Využíva sa napríklad vtedy, ak máme niektorú veličinu zistenú iným spôsobom bez použitia uLABu, prípadne môže slúžiť na zaznamenanie čísla merania a pod. Tento pseudosenzor môže mať aj jednotku, ktorú je možné editovať.
- *sensor* – udáva názov senzora (resp. meranú alebo nastavovanú veličinu). Kliknutím na príslušný názov môžeme zmeniť rozsah senzora rovnakým spôsobom, ako to bolo vysvetlené v kap. 3.1 (Tab. 1).
- *value* – zobrazuje aktuálnu nameranú hodnotu senzora v jeho aktuálne zvolených jednotkách
- *unit* – zobrazuje jednotku senzora
- *axis* – určuje os, ktorá je priradená meranej veličine. Každéj veličine je možné priradiť iba jednu os.

B. Stavový panel

- *line on/off* – zaškrťavacie políčko umožňuje nastaviť spôsob vytvárania grafu (v prípade zaškrtnutia políčka budú body vynesené do grafu pospájané, ak políčko nie je zaškrtnuté, namerané dáta budú zobrazované ako body)
- *Man autoincrement* – v prípade zaškrtnutia políčka sa bude hodnota senzora Man inkrementovať automaticky
- *Status* – zobrazuje stav, v akom sa nachádza systém. Táto stavová informácia je zároveň zobrazovaná na LCD displeji uLAB BOXu
- *Data points* – zobrazuje počet zaznamenaných hodnôt
- *DIR | data* – umožňuje zobraziť obsah FLASH pamäte BOXu (viď Obr. 9)
- indikátor websocket pripojenia
 -  pripojenie je aktívne
 -  pripojenie je neaktívne (po kliknutí dôjde k znovupripojeniu)

C. Ovládací panel

- *graph* – na základe priradenia oboch osí zvoleným senzorom sa vykreslí graf
- *point* – pridá do grafu bod z aktuálne nameraných dát. Túto operáciu je možné spraviť aj stlačením medzerníka na klávesnici.
- *download* – stiahnutie dát do mobilného zariadenia¹⁰
- *clear* – vymaže graf

¹⁰ Pozor, tieto údaje sa nezaznamenávajú do uLAB BOXu, ale nachádzajú sa iba v pamäti prehliadača, preto po zavretí, resp. znovunačítaní stránky sa namerané hodnoty nenávratne stratia.



D. Graf zobrazuje body z nameraných údajov. Posledný bod zodpovedá aktuálne nameraným hodnotám senzorov. Odčítanie a zaznačenie aktuálnej hodnoty vykonáme stlačením tlačidla point. Graf má označené jednotlivé osi prislúchajúce zvoleným senzorom aj s uvedením jednotiek. Mierka grafu sa adaptívne prispôsobuje nameraným hodnotám, aby sa využila celá plocha obrazovky.

3.3. Zobrazenie súborov v súborovom systéme

Jednotka uLAB BOX je vybavená internou FLASH pamäťou s kapacitou 4MB¹¹. S touto pamäťou sa pracuje podobne ako s ukladacím diskom počítača. Tento typ pamäte sa zvykne označovať ako „non-volatile memory“, čo znamená, že údaje uložené v tejto pamäti sa zachovávajú aj po vypnutí napájania zariadenia. Podobne ako na disku počítača je možné aj v tomto prípade vytvoriť partície (logické disky), ktoré sa správajú ako nezávislé dátové úložiská, nachádzajúce sa na tom istom čipe. Vzhľadom na spôsob využitia a filozofiu systému je táto pamäť rozdelená na tieto hlavné partície¹²:

1. programu - firmvéru (1 MB)
2. dátové úložisko (2,94 MB) obsahuje:
 - nástroje slúžiace na manipuláciu a editáciu súborov užívateľského prostredia systému (koreňový priečinok)
 - súbory tvoriace webstránku užívateľského prostredia (priečinok ulab)
 - súbory nameraných údajov (priečinok data), pre ktoré je dostupných cca 2,5 MB úložného priestoru

3.3.1. Firmvér uLAB BOXu

Firmvér predstavuje binárny súbor nachádzajúci sa vo FLASH pamäti mikrokontroléra, ktorý predstavuje binárny spúšťateľný kód – program, skompilovaný (preložený) pre konkrétny mikrokontrolér, v našom prípade pre ESP32. Program firmvéru je napísaný v programovacom jazyku C++, pričom niektoré časti môžu byť naprogramované v jazyku C, Python a i. Kompilácia, ale napríklad aj editovanie a ladenie kódu, sa realizuje pomocou tzv. integrovaných vývojových prostredí IDE (Integrated Development Environment), ktoré ponúka viacero tvorcov. Mnohé produkty sú programátorom k dispozícii bezplatne ako tzv. freeware. Pri vývoji systému uLAB je preferovaný kompilátor (IDE) Visual Studio Code (VSCode) [6], avšak je možné použiť aj iné IDE. Pre menej skúsených programátorov sa odporúča využiť prostredie Arduino IDE [7].

Systém je možné využívať aj bez znalosti programovania, nakoľko firmvér je v systéme spravidla už inštalovaný. Ak však vznikne potreba aktualizácie (napríklad z dôvodu pridania nových funkcií, alebo odstránenia chýb), nový firmvér je dostupný na oficiálnej internetovej stránke systému ulab.unipo.sk. Aktualizáciu systému zvládne aj menej skúsený užívateľ

¹¹ V súčasnosti sú už dostupné moduly ESP32 s pamäťou do 16MB. Vzhľadom na parametre systému uLAB a charakter údajov, kapacita modulu 4MB na bežné využitie spravidla postačuje. Napriek tomu sa v ďalších verziách meracieho systému v súvislosti s poklesom cien polovodičových súčiastok počíta s inštaláciou čipov obsahujúcich FLASH pamäte s vyššími kapacitami.

¹² V skutočnosti v tejto pamäti existuje viacero partícií, ktorých vysvetlenie je uvedené v kap. 3.5.

(viď kap. 5.4). Základné algoritmy a princípy využité pri programovaní systému uLAB sú podrobnejšie vysvetlené v kap. 5.

3.3.2. Dátové úložisko uLAB BOXu

Pre užívateľa je najdôležitejší priečinok data, ktorý obsahuje užívateľom namerané údaje (Obr. 9).

FLASH File Manager (/data) add new

Filename	File Size	Options
 /data/202104252026.csv	[177B]	del
 /data/202104261005.csv	[177B]	del



Used **472.00kB** (16%) of storage.
Free **2.48MB** (84%) of total **2.94MB**.

Upload new file

No file selected.

Obr. 9: Súbory nameraných údajov

Súbory nameraných údajov je možné si stiahnuť kliknutím na príslušný súbor, ktorý sa stiahne do zariadenia, ktoré je k systému pripojené. Formát súborov je CSV¹³. Tieto súbory je možné ďalej spracovať v rôznych špecializovaných programoch. Okrem toho, pre potreby využitia systému uLAB na hodinách fyziky (resp. prírodovedných predmetov) je možné sa inšpirovať spracovanými laboratórnymi úlohami, ktoré sú vytvorené v programe Excel (kap. 6).

Prehľad o obsadenosti pamäte sa nachádza pod zoznamom súborov ako v grafickej podobe, tak aj v textovej forme. Ak chceme uvoľniť miesto v pamäti, tlačidlom del môžeme zmazať nepotrebný súbor. Jednotka môže slúžiť aj ako úložné zariadenie, do ktorého je možné súbory aj nahráť. Na tento účel slúži posledný blok „Upload new file“.

¹³ CSV = comma separated value, to znamená, stĺpce dát sú oddelené čiarkou. V našom prípade z dôvodu vyššej kompatibility s Excelom sú stĺpce oddelené bodkočiarkou.



3.3.3. SPI editor

Na realizáciu pokročilejších funkcií pri práci so súbormi v súborovom systéme uLABu je možné využiť SPI¹⁴ Editor (Obr. 10), ktorý predstavuje integrované prostredie slúžiace predovšetkým na:

1. vytváranie, editovanie a mazanie súborov
2. prenos súborov z/do uLAB BOXu
3. vývoj a ladenie nových funkcií systému
4. núdzový prenos malých súborov

```

1 <!DOCTYPE html>
2 <html>
3
4 <head>
5 <title>Universal LAB</title>
6 <meta charset="UTF-8">
7 <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0, user-scalable=no">
8 <meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge">
9 <link href="/ulab/styles.css" rel="stylesheet">
10 <link rel="shortcut icon" href="favicon.ico">
11 </head>
12
13 <body id="index">
14 <div class="detector"></div>
15 <div class="container">
16 <header>
17 
18 </header>
19 <div class="content">
20 <h1>Main menu</h1>
21 <ul class="menu has-arrow">
22 <li><a class="btn blue" href="/ulab/ulab.html">uLAB</a></li>
23 <li><a class="btn blue" href="/dir?/data">Data</a></li>
24 <li><a class="btn blue" href="/dir?/">DIR of flash</a></li>
25 <li><a class="btn blue" href="/e.htm">SPI editor</a></li>
26 <li><a class="btn blue" href="/info">About</a></li>
27 </ul>
28 <div id="analog"></div>
29 <div id="digital"></div>
30 </div>
31 </div>
32 </body>
33
34 </html>

```

Obr. 10: Prostredie SPI Editora

Pozor, pomocou SPI Editora je možné neodborným zásahom spôsobiť nefunkčnosť systému. Z toho dôvodu je vstup do tohto prostredia chránený heslom. Neodborným zákrokom síce môžeme systém znefunkčniť, avšak týmto spôsobom nemožno spôsobiť jeho poškodenie. V takom prípade sa odporúča vykonať obnovu súborového systému s tým, že sa zmažú všetky užívateľské dáta vrátane súborov meraní, a preto sa pred obnovou súborového systému dôrazne odporúča zálohovanie všetkých potrebných súborov. Podrobnejšie sa obnovy súborového systému venuje kap. 5.4.

Prostredie SPI Editora obsahuje tri bloky:

- horný blok obsahuje tlačidlá základných funkcií editora
- ľavý blok obsahuje zoznam súborov a priečinkov systému
- pravý blok zobrazuje obsah editovaných súborov

¹⁴ SPI (Serial Peripheral Interface) je rozhranie pomocou ktorého je pripojená FLASH pamäť

Poznámky:

- súborový systém uLABu vďaka použitej knižnici LittleFS [8] podporuje priečinkovú štruktúru
- z dôvodu rozlíšenia medzi priečinkami a súbormi sa neodporúča v názvoch priečinkov používať prípony
- priečinky sa vytvárajú automaticky v prípade vytvorenia súboru s cestou, napríklad /folder/info.txt (v tomto prípade je vytvorený nielen súbor info.txt, ale aj priečinok folder, do ktorého je tento súbor umiestnený)
- súbor sa ukladá pomocou tlačidla Save, alebo klávesovej skratky CTRL-S
- priečinok sa maže automaticky po zmazení posledného súboru nachádzajúceho sa v ňom
- ak je prenášaný súbor do niektorého existujúceho priečinka v uLABe, je potrebné v okne vľavo od tlačidla Upload uviesť jeho cestu, napríklad /data/meranie.csv (takto je súbor meranie.csv prenesený do priečinku data)

Súčasťou rozhrania meracieho systému je aj stránka umožňujúca nastavenie základných parametrov systému, aby ho bolo možné používať bez ohľadu na národnostné konvencie práce s číslami a formátmi a tiež aby sme mohli MS prispôsobiť požiadavkám užívateľa. Všetky nastavenie je možné nastaviť v nasledujúcom rozhraní:

WIFI SETTINGS

SSID:	uLAB-BB54
Password:	labko-01
<input type="button" value="default"/>	
<input type="button" value="save"/>	

FILE SETTINGS

Decimal point character:	.
CSV separator:	;
UTF8 BOM:	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="button" value="default"/>	
<input type="button" value="save"/>	

Obr. 11: Rozhranie nastavenia parametrov MS uLAB



Hardvér

V tejto kapitole sa budeme venovať predovšetkým uLAB BOXu a uLAB SENSORom. Základom oboch jednotiek je mikrokontrolér



ESP32 od čínskej spoločnosti Espressif Systems, ktorá bola založená v roku 2008 v Šanghaji, so zastúpením v Singapure, Indii, Českej republike a Brazílii. Základom jej výroby sú produkty s konektivitou WiFi a Bluetooth orientujúce sa na aplikáciu v tzv. IoT zariadeniach s nízkou spotrebou. V roku 2018 vyrobili 100-miliónty čip a ich produkcia neustále rastie. V roku 2019 spoločnosť vstúpila na burzu.

Mikrokontrolér ESP32 predstavuje nástupcu úspešného mikrokontroléra ESP8266, ktorý istým spôsobom spôsobil revolúciu v oblasti lacných IoT zariadení. V súčasnosti (2021) pribudli do portfólia spoločnosti ďalšie mikrokontroléry, ktoré využívajú najmodernejšie technológie s rozšírenými možnosťami zabezpečenia (ESP32 rady S a C).

3.4. Konštrukcia systému uLAB

uLAB BOX a uLAB SENSOR pozostávajú z týchto konštrukčných častí:

1. doska plošných spojov DPS (angl. PCB – Printed Circuit Board)
 - na doske sú osadené SMD¹⁵ súčiastky
 - k doske sú pripojené ostatné komponenty, napr. konektory, káble, senzory, LCD displej
2. zapuzdrenie jednotiek
 - v procese vývoja zariadenia pri nízkych produkciách sa na ich výrobu používa technológia 3D tlače
 - pre vyššie produkcie je výhodné využiť iné technológie, napr. lisovanie

3.4.1. Etapy konštrukcie zariadení MS uLAB

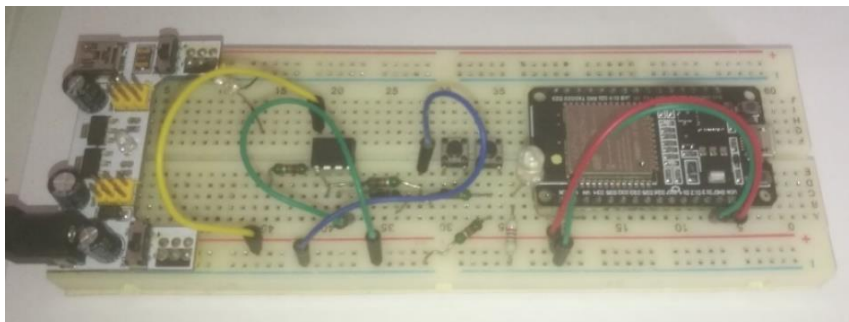
Vývoj a návrh konštrukcie elektronických zariadení prebieha v niekoľkých etapách. Vývoj MS uLAB prešiel týmito etapami:

1. vytvorenie celkovej koncepcie systému s ohľadom na súčiastkovú základňu
 - v tejto etape je potrebné si ujasniť princíp činnosti zariadenia ako takého, ale aj jednotlivých komponentov a spôsob komunikácie medzi jednotlivými komponentmi
 - výber súčiastok sa realizuje s ohľadom na ich vzájomnú kompatibilitu

¹⁵ Súčiastky sú osadzované na povrchu plošných spojov (z angl. SMD = Surface Mounted Devices) a nevyžaduje sa pri ich osadzovaní na PCB dosku navrtávanie montážnych dierok tak, ako je to potrebné u technológii THT (z angl. Through Hole Technology). Táto technológia sa nazýva SMT, a v súčasnosti je pred THT preferovaná z dôvodu jej nižšej náročnosti na výrobné procesy automatizovaných liniek. Aj keď sa technológia SMT využíva predovšetkým v priemyselnej sfére, táto technológia si získava čoraz väčšiu obľubu aj v amatérskej komunite.

2. zostavenie zariadenia na tzv. nepájivom poli (angl. breadboard) (Obr. 12)

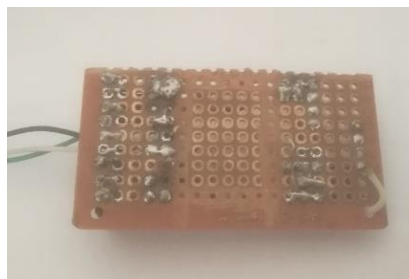
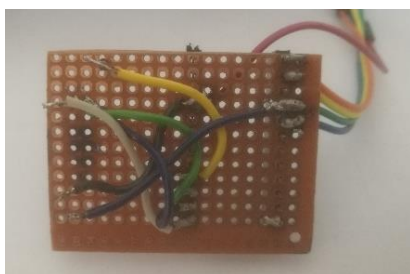
- breadboard dáva vývojárovi možnosti jednoducho a rýchlo meniť konfiguráciu a zapojenie elektronických obvodov
- z negatívnych vlastností možno vymenovať nízku spoľahlivosť v dôsledku vysokých hodnôt prechodových odporov spojov a neestetické a často neprehľadné prevedenie zapojenia



Obr. 12: Zapojenie obvodu pomocou breadboardu

3. konštrukcia zariadenia na univerzálnych plošných spojoch (Obr. 13)

- čiastočne odstraňuje nespoľahlivosť zapojenia u nepájivých polí
- pomerne nákladná a prácna výroba vyžadujúca manuálne prepájanie elektrotechnických súčiastok pomocou vodičov, resp. cínových drážok
- náročná identifikácia chýb kvôli nízkej prehľadnosti
- náročnosť až nemožnosť využitia SMD súčiastok
- zvýšené riziko skratu
- nízka estetická úroveň



Obr. 13: Zapojenie pomocou univerzálneho plošného spoja

4. konštrukcia zariadenia s využitím na mieru navrhnutých a vyrobených dosiek plošných spojov (viď. kap. 3.4.2)

- vyžaduje návrh v špecializovanom programe
- cenová výhodnosť v prípade produkcie väčšieho počtu kusov
- nutné rátať s časom výroby a dodávky
- vysoká spoľahlivosť a estetická úroveň



3.4.2. Návrh a výroba dosiek plošných spojov

Návrh a výroba na mieru navrhnutých spojov predstavuje ideálne riešenie v prípade už odladeného zapojenia. Toto riešenie nie je výhodné v prípade jednodusovej produkcie z dôvodu pomerne vysokej časovej náročnosti prípravy návrhu. Okrem toho je potrebné rátať s časom samotnej výroby a dopravy, čo znemožňuje jeho okamžité použitie.

Výrobca plošných spojov je schopný vyrobiť prakticky ľubovoľný plošný spoj podľa požiadavky zákazníka, pričom súčasťou výroby je aj rezanie (môžu tak vzniknúť aj PCB dosky pomerne komplikovaných tvarov), vŕtanie, potlač a povrchová úprava dosiek.

V súčasnosti už existuje pomerne veľký počet spoločností, ktoré sa zaoberajú výrobou a niekedy aj návrhom PCB dosiek. Viacero spoločností sa nachádza aj v Európe, ale tie často nie sú schopné cenovo (a niekedy aj kvalitou) konkurovať výrobcovi z Ázie. Okrem toho, veľké spoločnosti často ponúkajú zdarma nástroje na návrh PCB dosiek, u ktorých je prepojenie na výrobu vynikajúco zvládnuté. Za všetkých výrobcov možno spomenúť JLCPCB [9] z Hong Kongu a PCBWay [10] z čínskeho Hangzhou.

Pri dodávke PCB dosiek sú k cene dosiek pripočítané náklady na dopravu, pričom v menších objemoch je do výslednej ceny zahrnutý aj paušálny poplatok za CLO a DPH. Výroba nízkych objemov (desiatky až stovky kusov) trvá spravidla dva dni. Doba a cena doručenia závisí od spoločnosti a služby, ktorú si zákazník má možnosť vybrať pred samotnou objednávkou.

V projekte uLAB boli využité služby JLCPCB. Hlavným dôvodom je možnosť využitia kvalitného bezplatného online nástroja na návrh plošných spojov EasyEDA [11]. Tento program je možné využívať aj v prípade lokálnej inštalácie na počítač. Výhoda online nástroja spočíva predovšetkým v jeho jednoduchosti a cloudovému úložisku všetkých vytvorených projektov a ako už bolo spomenuté v jednoduchom prepojení na výrobcu PCB dosiek. Okrem návrhu a výroby plošných spojov spomenutá platforma slúži aj na simuláciu funkčnosti navrhnutých elektronických obvodov, a v prípade požiadavky zákazníka výrobca ponúka aj osadenie elektronických súčiastok z rozsiahlej databázy rôznych dodávateľov priamo na dosku plošného spoja.

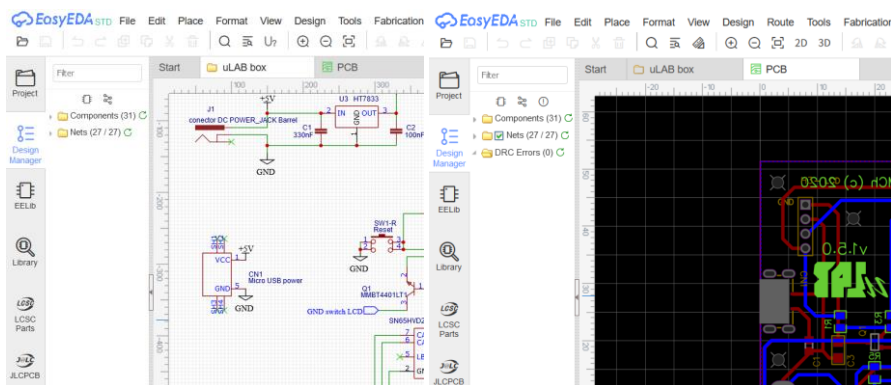
Možnosti výroby plošných spojov zvoleného výrobcu sú naozaj bohaté:

- možnosť voľby počtu vrstiev (až 6)
- možnosť voľby hrúbky a farby dosky
- zhotovenie PCB dosky ľubovoľného tvaru
- možnosť voľby povrchovej úpravy spojov
- možnosť voľby hrúbky medenej vrstvy
- možnosť elektrickej kontroly spojov
- možnosť výroby masky (stencil), ktorá sa využíva pri SMT technológii
- možnosť osadenia PCB dosky súčiastkami (za príplatok)
- ďalšie špecifické požiadavky po konzultácii s dodávateľom

3.4.3. Vytvorenie návrhu plošného spoja

Všetky plošné spoje pre uLAB BOX a uLAB SENSOR boli navrhnuté v online verzii nástroja EasyEDA Designer [12]. Návrh PCB dosky prebieha v týchto fázach:

1. výber súčiastok a ich parametrov
2. vytvorenie elektrickej schémy poprepájaním jednotlivých súčiastok
3. rozmiestnenie súčiastok na PCB doske
4. vytvorenie spojov na PCB doske (je možné využiť automatické vytvorenie spojov, avšak výsledok automatického usporiadania často nevyhovuje požiadavkám vývojára)
5. export a výroba PCB dosky

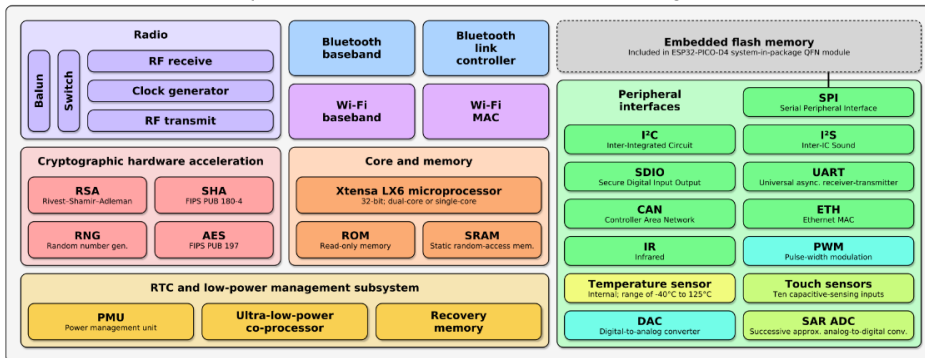


Obr. 14: Ukážka z prostredia online nástroja pre tvorbu návrhov PCB dosiek EasyEDA

3.4.4. Mikrokontrolér ESP32 [13] [14]

- Jedná sa o veľmi úspešný mikrokontrolér s týmito hlavnými parametrami:
- dve 32-bitové jadrá LX6 s taktovacou frekvenciou do 240MHz
- 448 KB ROM pre bootovanie a základné funkcie
- 520 KB SRAM pre dáta a program
- 4MB SPI flash pre ukladanie firmvéru a dát
- 4MB PSRAM (v prípade modulu Wrover [14])
- 16 KB SRAM v RTC (modul reálneho času)
- WiFi konektivita (802.11b/g/n do 150Mbit/s)
- Bluetooth (vrátane BLE – Bluetooth Low Energy)
- ULP procesor s nízkou spotrebou (Ultra Low Power)
- RTC (Real Time Clock) obvod reálneho času
- Podpora hardvérového šifrovania
- Viacero rozhraní, ako napríklad: SD card, UART, SPI, SDIO, I²S, PWM, I²S, IR, GPIO, kapacitný dotykový senzor, ADC, DAC, Two-Wire, CAN

Espressif ESP32 Wi-Fi & Bluetooth Microcontroller – Function Block Diagram



Obr. 15: Bloková schéma mikrokontroléra ESP32 (prevzaté z https://en.wikipedia.org/wiki/ESP32#/media/File:Espressif_ESP32_Chip_Function_Block_Diagram.svg)

Mikrokontrolér ESP32 môže existovať vo viacerých prevedeniach:

a) ESP32 čip (Obr. 16a)

- musí byť nainštalovaný na vlastnej PCB doske
- osadenie na PCB dosku je pomerne náročné z dôvodu malých rozmerov
- pre jeho činnosť je nutné pridať ďalšie súčiastky, ako FLASH pamäť, kryštál, anténu, meniče napätia a pod.
- neobsahuje programátor, nutné použiť externý modul

b) ESP32 modul (Obr. 16b)

- neobsahuje pokročilé funkcie, ale iba základné
- čip je osadený na PCB doske, ktorý už obsahuje anténu, prípadne IPEX konektor na pripojenie externej antény
- neobsahuje programátor, nutné použiť externý modul

c) ESP32 Dev Kit (alebo Development kit, čo je vývojový modul) (Obr. 16c)

- spravidla obsahuje všetky potrebné obvody na základné využitie vrátane programátora, preto majú svoje uplatnenie v projektoch s častou potrebou programovania mikrokontroléra, napr. v oblasti vzdelávania
- oproti ostatným verziám je väčších rozmerov
- je tzv. „breadboard friendly“ – možné použiť v breadboardoch



Obr. 16: a) ESP32 čip, b) ESP32 modul, c) ESP32 DevKit

Každé prevedenie (forma) má svoje výhody aj nevýhody, ale pre merací systém bol zvolený ESP32 modul, konkrétne ESP32 Wrover pre uLAB BOX a ESP32 Wroom pre uLAB SENSORy hlavne pre tieto dôvody:

1. ESP32 moduly majú zabudovaný oscilátor
2. ESP32 moduly majú oveľa nižšiu spotrebu ako DevKity (predovšetkým z toho dôvodu, že ESP32 moduly neobsahujú programátor¹⁶)
3. ESP32 moduly majú pomerne dobre zvládnutú oblasť RF (Radio Frequency), teda rádiovú časť a to buď formou antény na PCB doske, alebo pomocou externej antény¹⁷, ktorú je možné pripojiť prostredníctvom IPEX konektora
4. ESP32 moduly majú pomerne malé rozmery (oproti DevKitom), vďaka čomu je možné navrhovať priestorovo úspornejšie zariadenia
5. ESP32 moduly obsahujú aj externú Flash pamäť (oproti čipom)
6. ESP32 moduly je možné inštalovať na PCB dosku technológiu SMT
7. ESP32 moduly obsahujú CAN rozhranie, ktoré slúži na komunikáciu medzi BOXom a SENSORom
8. ESP32 moduly majú výhodný pomer cena/výkon

3.5. uLAB BOX

Jednotka uLAB BOX predstavuje centrálné zariadenie systému, ktoré má v systéme svoje nenahraditeľné miesto. Funkcie uLAB BOXu by sa dali zhrnúť nasledovným spôsobom:

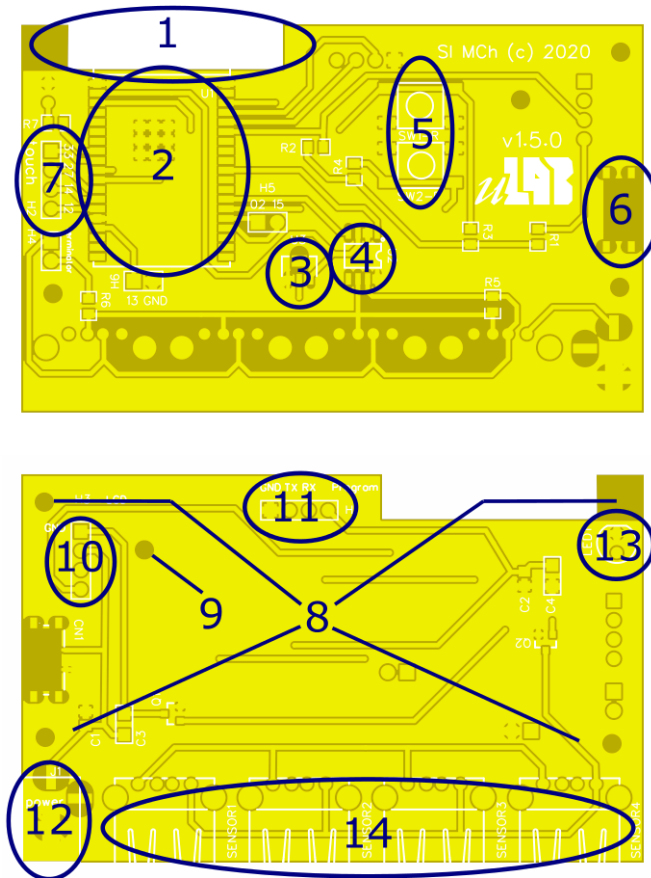
1. sprostredkúva napájanie ostatných súčastí systému
2. vytvára WiFi hotspot (AP – Access Point), ku ktorému sa môžu pripájať zariadenia (klienti) s WiFi technológiou
3. prevádzkuje webserver, na ktorom hostuje web slúžiaci ako užívateľské prostredie meracieho systému; webstránky webservera sú prehliadané internetovým prehliadačom klienta
4. prevádzkuje websocket server, ktorý zabezpečuje obojsmernú komunikáciu medzi klientom (oknom prehliadača užívateľa) a serverom:
 - server získava od klienta inštrukcie
 - server posiela klientovi hodnoty nameraných veličín pripojených senzorov a stavové informácie
5. sprostredkúva komunikáciu pripojených klientov s uLAB SENSORmi
6. zabezpečuje ukladanie nameraných hodnôt do vlastnej FLASH pamäte v prípade spustenia merania
7. s využitím užívateľského prostredia systému umožňuje manipuláciu so súborami uloženými v súborovom systéme FLASH pamäte
8. na LCD displeji zobrazuje základné informácie o stave systému

¹⁶ Programátor zapríčiňuje kontinuálnu spotrebu energie, a preto je väčšina DevKitov pre realizáciu tzv. „battery powered devices“ (batériou napájaných zariadení) nevhodná.

¹⁷ Vzhľadom na to, že sa očakáva bezprostredná vzdialenosť mobilného zariadenia od uLAB BOXu, postačuje PCB anténa na module. V prípade použitia väčších vzdialeností je možné využiť moduly s tzv. IPEX konektorom, ku ktorému sa pripája externá anténa pre oblasť WiFi, teda 2,4GHz.

3.5.1. Konštrukcia uLAB BOXu

Vďaka online nástroju pre tvorbu PCB dosiek bola vytvorená PCB doska uLAB BOXu. Na doske (Obr. 17) sa nachádzajú prvky, ktoré majú nasledovné funkcie:



Obr. 17: a) spodná strana PCB BOXu, b) vrchná strana PCB BOXu

1. priestor pre WiFi anténu mikrokontroléra

- odporúča sa výrez z PCB dosky, aby sa zamedzilo rušeniu WiFi signálu samotným zariadením
- existuje možnosť použitia verzie ESP32 IB, ktorý obsahuje IPEX konektor pre pripojenie externej antény

2. mikrokontrolér ESP32 Wrover

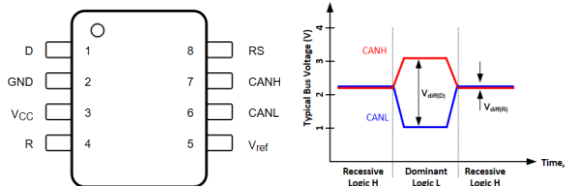
- stredná časť predstavuje vodivé spojenie pre chladenie, nakoľko v prípade prevádzky WiFi sa mikrokontrolér ohrieva, pričom môže dosiahnuť teploty aj vyše 40°C
- na PCB doske sú vyvedené aj ďalšie piny (vývody), ktoré je možné využiť v prípade rozšírenia funkcií systému

3. regulátor napätia

- menič vstupného napätia 5V na pracovné napätie ESP32 3,3V
- použitý je LDO¹⁸ regulátor napätia HT7333¹⁹ [15], ktorého použitie je výhodné pre jeho:
 - dostatočný prúd 250 mA, ktorý je postačujúci pre napájanie celého systému vrátane pripojených senzorov
 - nízku hodnotu prúdu naprázdno 3,5 mA (z angl. quiescent current); tento parameter je dôležitý hlavne pri dlhodobých meraniach, kedy medzi meraniami je systém v takzvanom hlbokom spiacom režime (deep sleep)
 - nízku hodnotu úbytku napätia 90 mV (angl. dropout voltage DV), čo umožňuje systém použiť aj pri zdrojoch s nižším napätím ako 5V (aby bol mikrokontrolér spoľahlivo napájaný, toto napätie nesmie klesnúť pod 3,4 V²⁰, v opačnom prípade sa môže systém správať nekorektne)
- pre bezporuchovú činnosť regulátora sa na jeho vstup aj výstup musí zaradiť malý kondenzátor v súlade s odporúčaniami výrobcu [15], ktorý minimalizuje šum
- vďaka tomuto meniču má systém k dispozícii dve úrovne napätia (5 V a 3,3 V) ako pre uLAB BOX tak aj pre uLAB SENSORY
- táto vlastnosť prináša možnosť kombinovania modulov a zariadení s rôznymi pracovnými napätiami

4. CAN transceiver

- predstavuje hardvérovú vrstvu komunikácie uLAB BOXu so SENSORmi, ktorú zabezpečujú CAN moduly, ktoré sú súčasťou mikrokontrolérov ESP32; na túto komunikáciu je využité dvojžilové metalické vedenie
- existuje viacero čipov plniacich funkciu CAN transcievera, ale pre výborné parametre bol na tento účel vybraný integrovaný obvod SN65HVD230 [16]



Obr. 18: a) SOIC puzdro SN65HVD230, b) signály CAN zbernice

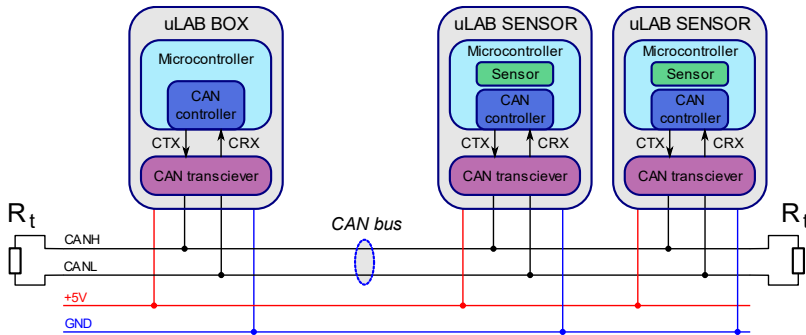
¹⁸ LDO – Low DropOut voltage (nízky úbytok napätia).

¹⁹ V prípade požiadavky vyššieho prúdu je možné použiť alternatívny regulátor napätia HT7833 [52], ktorý poskytuje prúd do 0,5A. V tomto prípade však treba rátať s vyššími hodnotami prúdu na prázdno aj úbytku napätia.

²⁰ 3,4 V = pracovné napätie mikrokontroléra (3,3 V) + DV (0,1 V).

Pri tomto napätí už nebudú spoľahlivo napájané zariadenia, ktoré pre svoju činnosť vyžadujú pracovné napätie 5V, napríklad LCD displej, prípadne niektoré snímače, avšak činnosť mikrokontroléra tým nie je nijako ohrozená. Pod touto hodnotou už mikrokontrolér nemusí pracovať korektne, prípadne môže dochádzať k jeho nepredvídaným reštartom (brownout watchdog – elektronický obvod sledujúci napájacie napätie).

- slúži na prevod signálov CTX a RTX (resp. TXD a TXD, resp. D a T), ktoré sprostredkovávajú komunikáciu medzi uLAB BOXom a uLAB SENSORmi na signály CAN zbernice CANH a CANL, ktoré sú mimoriadne odolné voči vonkajšiemu elektromagnetickému rušeniu
- schematické znázornenie komunikácie prostredníctvom CAN zbernice:



Obr. 19: Schematické znázornenie prepojenia zariadení systému uLAB pomocou CAN zbernice

- počet pripojených zariadení (nodov) k zbernici nemá teoretický limit, avšak v reálnych podmienkach záleží od viacerých parametrov (napríklad prenosová rýchlosť, dĺžka zbernice, kvalita tienenia a pod.)
- CAN zbernica má takú vlastnosť, že signál „0“ je dominantný a signál „1“ je recesívny, to znamená, že ak aspoň jeden node (pripojené zariadenie) vysiela do zbernice dominantný signál, všetky zariadenia budú čítať zo zbernice dominantný signál, teda hodnotu „0“; takto je možné doceliť automatickú arbitráž vysielať v prípade súčasných požiadaviek od viacerých nodov bez zníženia prenosovej rýchlosti (viď kap. Štruktúra zdrojového kódu pre uLAB BOX5.5)
- metalické prepojenie umožňuje zároveň napájať pripojené zariadenia, čo predstavuje veľkú výhodu oproti bezdrôtovému pripojeniu
- u metalického prepojenia zároveň nedochádza k vzájomnému rušeniu jednotlivých zariadení, prípadne nedochádza ani k interferencii systému s ostatnými zdrojmi elektromagnetických vln, a tým nedochádza k nadmernej záťaži prostredia elektromagnetickým smogom
- nové rady S a C mikrokontroléra ESP32 neobsahujú CAN controller, a preto v prípade ich využitia by musel byť pridaný externý modul, čo zvýši náročnosť realizácie a mierne navýši výslednú cenu, prípadne by musel byť použitý iný komunikačný kanál
- podľa technickej špecifikácie nedochádza k prekročeniu hodnôt pre signály CANH a CANL (-25V až 25V) ani v prípade náhodného pripojenia k USB portu
- náhodné pripojenie CAN portu k USB zariadeniu nespôsobí ani poškodenie USB zariadenia, pretože signály CANH a CANL neprekročia 5V, nakoľko nadobúdajú hodnoty v intervale 1V až 3V (Obr. 18b)

- maximálna dĺžka zbernice priamo súvisí s rýchlosťou komunikácie, pričom platí, že so zvyšujúcou sa dĺžkou CAN zbernice klesá rýchlosť komunikácie:
 - 1 km zbernica pre rýchlosť 40kbit/s
 - 40 m zbernica pre rýchlosť do 1Mbit/s
- na dosiahnutie rýchlosti 1Mbit/s je potrebné zbernicu vybaviť tzv. terminálmi, teda rezistormi s charakteristickou impedanciou 120Ω (rezistory R_t v Obr. 19) uzatvárajúcimi oba konce zbernice, aby sa zamedzilo odrazu signálu
- dĺžka prívodného vedenia od zbernice k nodom je pre rýchlosť 1Mbit/s obmedzené normou ISO11898 na 30cm, ale v prípade krátkej zbernice (systém uLAB) je komunikácia spoľahlivá aj pre dlhšie vedenie
- v prípade vysokorýchlostnej komunikácie je počet nodov podľa ISO11898 limitovaný na 30, čo plne vyhovuje požiadavkám systému

5. ovládacie tlačidlá

- Reset slúži na resetovanie jednotky
- Flash slúži na inštaláciu firmvéru (viď kap. 5.4)

6. micro USB port/USB-C port

- slúži na napájanie systému
- na napájanie môže byť použitý buď adaptér, iné zariadenia (napríklad PC) alebo powerbanka (viď kap. 2.2.2)
- dátové vodiče nie sú zapojené, preto nehrozí poškodenie zariadení ani v prípade napájania systému uLAB prostredníctvom notebooku alebo PC
- vstupné napätie 5V, min 2A

7. porty pre dotykové tlačidlá

- dotykové tlačidlá sú inštalované v korpuse zapuzdrenia v podobe skrutky, ku ktorej je pripevnený príslušný vodič (viď kap. 0)
- je možné pripojiť až 4 dotykové tlačidlá²¹

8. montážne otvory

- pomocou skrutiek je možné prichytiť PCB dosku ku korpusu puzdra

9. otvor pre nastavenie jasu LCD displeja

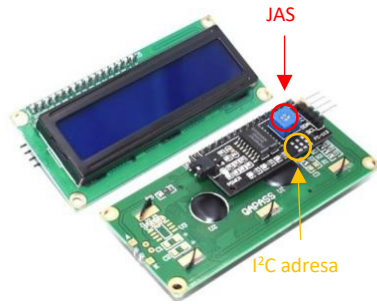
- v prípade inštalácie LCD displeja na PCB by možnosť nastavenia jasu už nebola dostupná, avšak vďaka tomuto otvoru je možné nastavenie jasu LCD displeja nastavením potenciometra (označený šípkou na Obr. 20) skrz PCB pomocou malého skrutkovača

10. pripojenie LCD displeja

- LCD 1602 [17] je dvojriadkový alfanumerický matricový displej s 16 znakmi na riadok, ktorý bol vyvinutý spoločnosťou HITACHI s typovým označením HD44780
- vďaka podsvieteniu je čitateľnosť textu vynikajúca aj pri zhoršených svetelných podmienkach a je dobre čitateľný aj na priamom slnku

²¹ V korpuse navrhnutého puzdra sa ráta iba z dvomi dotykovými tlačidlami

- každý znak ma rozmer 5x8 bodov
- LCD displej je možné ovládať priamo mikrokontrolérom, avšak na jeho ovládanie sú okrem napájania, podsvietenia a regulácie jasu potrebné minimálne štyri vodiče (piny), preto sa na zjednodušenie práce s týmto displejom používa I²C prevodník²² založený na integrovanom obvode PCF8574 (Obr. 20)



Obr. 20: LCD displej s I²C modulom

- vďaka I²C prevodníku sú na ovládanie displeja potrebné len dva vodiče – SDA a SCL (data a clock); tieto vodiče sa odporúča cez tzv. pull-up rezistory 10k pripojiť k VCC (5V)
- pomocou I²C komunikácie je možné na displeji zobraziť stručnú informáciu, ale aj zapnúť/vypnúť podsvietenie.
- displej nepodporuje špeciálne znaky, ale je možné si vytvoriť až 8 užívateľských znakov
- k mikrokontroléru je možné pripojiť viacero I²C zariadení, pričom každé I²C zariadenie má svoju 7-bitovú adresu, ktorá by mala byť v rámci zbernice jedinečná, preto má spomenutý I²C modul možnosť nastavenia adresy v istom intervale pomocou fyzického preporenia kontaktov (oblasť v krúžku pod potenciometrom), aby bolo možné v rámci jednej zbernice používať viac LCD displejov, alebo iných zariadení (toto nie je náš prípad)
- štandardná rýchlosť I²C komunikácie je 100kbit/s, čo pre potreby občasného zobrazenia údajov na LCD plne postačuje

11. programovací UART port²³

- obsahuje signály RX, TX (a GND kvôli prispôsobeniu zeme – teda nulového potenciálu)
- na programovanie slúži tzv. USB to UART bridge (viď kap. 5.4)

12. napájanie pomocou tzv. barrel jacku

- v nových verziách systému sa od tohto spôsobu napájania upúšťa, ale možnosť inštalácie tohto konektora je naďalej ponechaná

13. indikačná, resp. notificačná LED využitá predovšetkým v režimoch s úsporou elektrickej energie

14. porty pre pripojenie jednotiek uLAB SENSOR

- použité sú USB type A female konektory
- tento typ konektorov bol vybraný hlavne pre ich vysokú mechanickú odolnosť vzhľadom na ich časté pripájanie

²² I²C – Inter-Integrated Circuit predstavuje synchrónne komunikačné rozhranie, ktoré v roku 1981 vyvinula spoločnosť Phillips (v súčasnosti NXP Semiconductors N.V.) [53].

²³ UART - Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

- spôsob zapojenia je odvodený od USB špecifikácie s odlišnou funkciou dátových vodičov:
 - D- je nahradený CANH
 - D+ je nahradený CANL
- dvojicu dátových vodičov v USB konektore dopĺňa dvojica vodičov napájania (+ a -); z dôvodov kompatibility a bezpečnosti je napätie zvolené 5 V, čo vďaka regulátoru napätia umožňuje v senzorických jednotkách používať obe napätia (5 V a 3,3 V)
- maximálna hodnota prúdu pre USB 1.0 je 500 mA, čo plne vyhovuje potrebám senzorickej jednotky

3.6. uLAB senzory

Jednotka uLAB SENSOR predstavuje periférnu jednotku, ktorá sa pripája k uLAB BOXu. Jednotka je napájaná z uLAB BOXu a spravidla neobsahuje iný zdroj energie. Funkcie uLAB SENSORa by sa dali zhrnúť nasledovným spôsobom:

1. obsahuje identifikačné údaje o meraných veličinách (v závislosti od senzorov, ktoré sú využité)
2. v závislosti od režimu realizuje merania fyzikálnych veličín
3. v prípade potreby realizuje jednoduché spracovanie nameraných hodnôt, prípadne kalibráciu
4. nastavuje meracie rozsahy senzorov
5. komunikuje s jednotkou uLAB BOX

3.6.1. Konštrukcia uLAB SENSORa

Jednotka uLAB SENSOR je navrhnutá tak, aby mohla získavať hodnoty fyzikálnych veličín z viacerých senzorov. To znamená, že jedno fyzické zariadenie môže obsahovať viacero subsenzorov. Základ jednotky tvorí mikrokontrolér, ku ktorému sú pripojené rôzne snímače a aktuátory, ktorých veličiny a parametre sú zobrazované v užívateľskom rozhraní (kap. 3). Takéto riešenie redukuje počet pripojených senzorov a tým zároveň znižuje náklady na výrobu komponentov systému. Výsledkom je integrované zariadenie jednotky uLAB SENSOR, v ktorej viacero snímačov je ovládaných jedným mikrokontrolérom, s úsporou materiálu, komunikačných modulov, prípojných vodičov a modulov napájania. Takýto prístup zároveň redukuje množstvo káblov, keďže prepojenie uLAB BOXu so SENSORom je realizované prostredníctvom metalického vedenia. Typ senzorov, resp. meraná fyzikálna veličina v integrovanej jednotke sú volené takým spôsobom, aby nedochádzalo k vzájomnému ovplyvňovaniu (napríklad v dôsledku elektromagnetickej interferencie, generovaniu tepla, magnetického poľa a pod.) či k obmedzovaniu ich funkčnosti s dôvodu ich geometrických rozmerov a podobne. Jednotka uLAB SENSOR predstavuje integrovaný modul, ktorý komunikuje s jednotkou uLAB BOX.

Výhodu tohto integrovaného riešenia ocenia prevažne učitelia používajúci tento merací systém, nakoľko integrované zariadenia výrazne zjednodušia a sprehľadnia experimentálne usporiadanie. Žiak tak má možnosť sa plne sústrediť na samotný experiment.

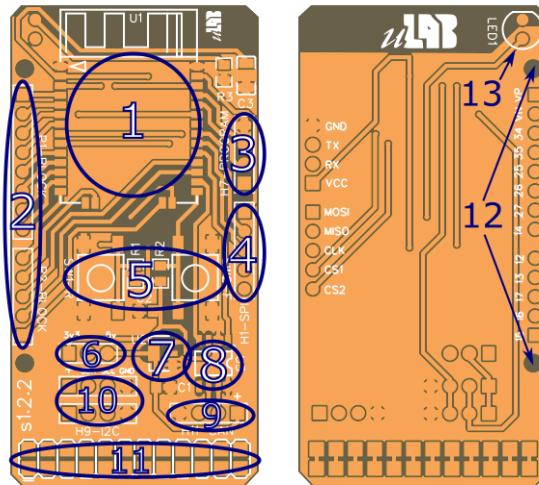


Možnosti pripojenia senzorov a aktuátorov sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Periféria\typ	Digitálne	Analógové
Senzor	<p>Pripája sa priamo k niektorému zo vstupných digitálnych pinov GPIO (napríklad senzor optickej brány, tlačidlá alebo dotykový senzor)</p> <p>Moduly senzorov komunikujú s mikrokontrolérom pomocou niektorého z komunikačných rozhraní:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. OneWire rozhranie (napríklad digitálny teplomer DS18B20) 2. I²C rozhranie (široká ponuka senzorov) 3. SPI rozhranie (široká ponuka senzorov) 4. rozhrania iných typov (napr. UART, CAN, vlastné rozhrania ai.) 	<p>Pripája sa k niektorému z pinov analógovo-digitálneho prevodníka ADC (angl. Analog to Digital Converter), ktorý konvertuje analógovú hodnotu napätia na digitálnu hodnotu, pričom platí:</p> <ul style="list-style-type: none"> • analógová hodnota musí byť vždy nižšia, ako VCC (3,3V) • ak je potrebné digitalizovať vyššie napätia, je potrebné použiť tzv. delič napätia • takto je možné merať nielen elektrické napätia, ale aj elektrické odpory napríklad potenciometrov, fotorezistorov, termistorov a pod.
Aktuátor	<p>Najpoužívanejší digitálny aktuátor je relé, ktoré umožňuje spínať veľké množstvo zariadení. V istých prípadoch je namiesto relé použitá polovodičová spínacia súčiastka. Výhodou použitia polovodičového spínania je predovšetkým jeho rýchlosť spínania, vďaka čomu je možné ovládať digitálne aktuátory pomocou tzv. PWM modulácie. Pomocou týchto spínačov je možné spínať rôzne zariadenia, napríklad ventily, LED osvetlenie, alebo ovládanie rôznorodnej elektroniky.</p> <p>Do tejto skupiny aktuátorov možno zaradiť napríklad aj LCD displeje, prípadne elektronické zariadenia digitálne nastavované, napríklad digitálny potenciometer alebo krokový motorček.</p>	<p>Medzi analógové aktuátory patrí napríklad výhrevné teleso, zdroje elektrického prúdu či napätia, zdroje elektromagnetického poľa, elektrický motor rôzneho účelu použitia, generátory signálov a pod.</p> <p>Aby bolo možné tieto analógové aktuátory ovládať digitálnym mikrokontrolérom, je potrebné digitálne hodnoty previesť na kvázi-analógové. Na tento účel sa používajú tzv. digitálne analógové prevodníky DAC (angl. Digital to Analog Converter), ktorý prevádza digitálnu hodnotu určitej bitovej šírky n na hodnotu elektrického napätia 2^n diskretných úrovní. Pri dostatočne jemnom kroku je možné dosiahnuť výsledok porovnateľný s analógovým signálom.</p>

Tab. 2: Periférie jednotky uLAB SENSOR

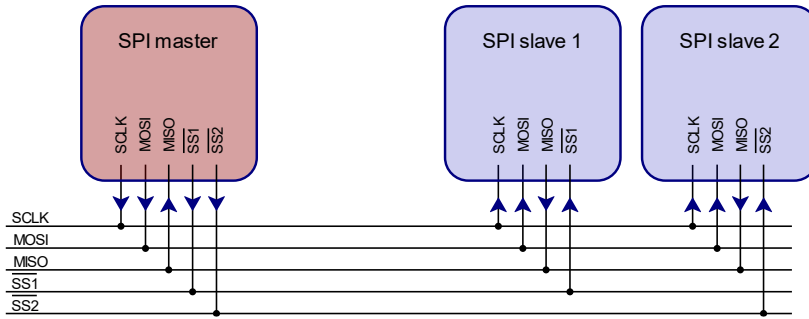
Online nástrojom pre tvorbu PCB dosiek bola vytvorená PCB doska uLAB SENSORa, ktorá je znázornená na Obr. 21.



Obr. 21: a) spodná strana PCB SENSORa, b) vrchná strana PCB SENSORa

Na doske sa nachádzajú prvky, ktoré majú nasledovné funkcie:

1. mikrokontrolér ESP32 Wroom
 - nakoľko pre činnosť senzorov nie je potrebná PSRAM, v tejto jednotke sa využíva lacnejšia verzia modulu ESP32
 - vzhľadom na to, že jednotky uLAB SENSORy nekomunikujú bezdrôtovo (v budúcnosti táto možnosť nie je vylúčená), bezdrôtová časť mikrokontroléra nie je využitá, a preto je možné využiť aj moduly neobsahujúce anténu
 - FLASH pamäť kapacity 4 MB je využitá pre:
 - firmvér jednotky
 - uloženie parametrov senzora (napríklad: názov senzora a ostatné metaúdaje, aktuálny rozsah senzora, kalibračné koeficienty a pod.)
2. GPIO piny
 - na PCB doske sú vyvedené všetky dostupné a pre senzory a aktuátory použiteľné piny mikrokontroléra ESP32
 - označenie pinov (na vrchnej strane) vychádza z datasheetu mikrokontroléra [13]
 - ich význam spočíva predovšetkým vo využití neštandardných knižníc, prípadne vlastných aktuátorov
3. programovací UART port (viď kap. 3.5.1)
4. SPI rozhranie pre pripojenie senzorov (Obr. 22)



Obr. 22: SPI rozhranie

- na SPI zbernici musí byť minimálne jedno zariadenie Master (riadiace), ktoré generuje hodinové impulzy (clock), ostatné zariadenia sú Slave (podriadené) - Obr. 22
 - snímače a aktuátory sú spravidla k zbernici pripojené ako Slave zariadenia
 - SPI zbernicu tvoria tieto vodiče:
 - SCLK: Serial CLock (hodinové impulzy, ktoré generuje Master)
 - MOSI: Master Out Slave In (dáta Master → Slave)
 - MISO: Master In Slave Out (dáta Slave → Master)
 - SS: Slave Select alebo CS: Cable Select (výber Slave zariadenia, s ktorým prebieha komunikácia); zariadenie Slave je väčšinou aktivované logickou úrovňou „0“
 - okrem typického použitia SPI zbernice je možné kaskádové zapojenie (angl. daisy chain), ktoré redukuje počet SS vodičov, ale zároveň sa tým znižuje rýchlosť komunikácie
 - k jednotke uLAB SENSOR môžu byť prostredníctvom zbernice SPI súčasne pripojené až dva snímače, ktoré sú riadene signálmi CS1 a CS2
5. ovládacie tlačidlá (viď kap. 3.5.1)
 6. volič napájania pre I²C zbernicu
 - umožňuje napájať I²C zariadenia ako napätím 5V (staršie senzory), tak aj napätím 3,3V (novšie senzory)
 - voľba správneho napätia sa nastavuje pomocou prepajky-jumpera
 7. regulátor napätia
 - menič vstupného napätia 5V na pracovné napätie ESP32 3,3V, nakoľko sú tieto jednotky napájané z uLAB BOXu
 - vzhľadom na to, že jednotky uLAB SENSOR nevyužívajú WiFi pripojenie (je vypnuté), ich spotreba je oproti uLAB BOXom nižšia, preto sa v týchto jednotkách v prípade použitia štandardných senzorov odporúča použiť regulátor HT7333

8. CAN transciever (viď kap. 3.5.1)

- kontakty pre pripojenie kábla s konektorom USB type A male, pričom poradie kontaktov je nasledovné:

<i>PCB</i>	<i>FARBA (USB funkcia)</i>
○ +	červená farba (+5V)
○ CANH	biela farba (D-)
○ CANL	zelená farba (D+)
○ GND	čierna farba (GND)

9. I²C rozhranie

- umožňuje pripojiť až 2 snímače
- senzory musia mať rovnaké napájacie napätie

10. svorkovnica na prepojenie kontaktov

- umožňuje prehľadné prepojenie jednotlivých snímačov a aktuátorov

11. montážne otvory

- s pomocou skrutiek je možné prichytiť PCB dosku ku korpusu puzdra

12. indikačná LED

- indikuje aktivitu senzora (meranie a posielanie dát uLAB BOXu)
- farbou LED je odlíšená kategória senzorov:

<i>farba</i>	<i>kategória senzora</i>
○ modrá	senzory vzdialenosti a mechanické senzory
○ červená	elektrotechnické senzory (ampérmetre, voltmetre)
○ žltá	senzory tlaku, sily, hmotnosti, akustické senzory
○ zelená	senzory teploty, vlhkosti
○ oranžová	magnetické, optické senzory, ostatné
○ biela	aktuátory všetkých typov

3.6.2. Meranie fyzikálnych veličín

Merací systém uLAB je navrhnutý tak, aby bol vývoj ďalších senzorických jednotiek uLAB SENSOR čo najjednoduchší. Z uvedeného dôvodu bolo vytvorené jadro systému senzorickej jednotky, ktoré spolupracuje s meracími podprogramami využívajúce knižnicu širokej ponuky komerčných senzorov ponúkajúcich meranie veľkého množstva fyzikálnych veličín. Podľa meranej fyzikálnej veličiny možno senzory rozdeliť do týchto skupín:

1. senzor teploty

a) TE01: polovodičový teplomer Dallas DS18B20 [18]

- rozsah $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Obr. 23)
- v intervale $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ presnosť $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 9-bitové až 12-bitové rozlíšenie
- jednovodičová komunikácia
- napájanie 3V až 5,5V
- potrebné zapojiť tzv. „pull-up“ rezistor hodnoty 4,7 k Ω
- rýchla konverzia analógovej veličiny na digitálnu (pri rozlíšení 12 bitov trvá konverzia 750 ms)
- existuje aj vode odolná (tzv. waterproof) verzia senzora (Obr. 23 dole) obsahujúca rovnaký čip
- možnosť nastavenia alarmu pri prekročení teplotného limitu



Obr. 23: Verzie zapuzdrenia senzora Dallas DS18B20

b) TE02: senzor obsahujúci dvojicu polovodičových teplomerov Dallas DS18B20

- toto riešenie redukuje použitý hardvér a cenu v prípade využitia dvoch rovnakých teplotných senzorov súčasne
- redukuje počet obsadených konektorov v uLAB BOXe pre uLAB SENSORy
- zjednodušuje manipuláciu s viacerými senzormi

c) TE03: bezkontaktný infračervený teplomer [19] (Obr. 24)

- rozsah $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+380\text{ }^{\circ}\text{C}$ pre objekty
- rozsah $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ pre pozadie
- presnosť $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, rozlíšenie 0,02 $^{\circ}\text{C}$
- I²C/SMBus rozhranie
- napájanie 3,3V alebo 5V
- 17-bitový ADC prevodník
- meranie aj pohybujúcich sa objektov
- obsahuje integrovaný zosilňovač GY-906
- odpadá nevyhnutnosť korekcie merania s ohľadom na tepelnú kapacitu senzora



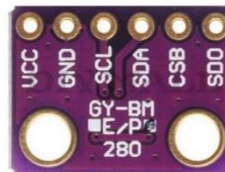
Obr. 24: Bezkontaktný teplotný senzor MLX90614

2. senzor tlaku vzduchu

a) PT01: kombinovaný senzor atmosférického tlaku a teploty BMP280 [20]

- rozsah: 300 až 1100 hPa, presnosť $\pm 1\text{ hPa}$, rozlíšenie $\pm 0,16\text{ Pa}$ (Obr. 25)

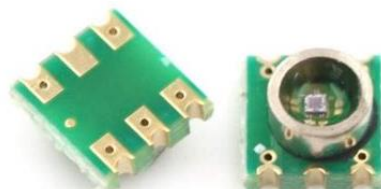
- rozsah teploty: -40 až 85 °C, rozlíšenie $\pm 0,01$ °C
- nízky čas merania 5,5 ms, čo umožňuje dosahovať frekvencie merania vyše 150 Hz
- nízka spotreba (0,1 mA až 3,4 mA) vďaka existencii spiacieho režimu
- I²C a SPI rozhranie
- malé rozmery senzora
- možnosť určovania nadmorskej výšky
- vyšší rad oproti senzoru BMP180



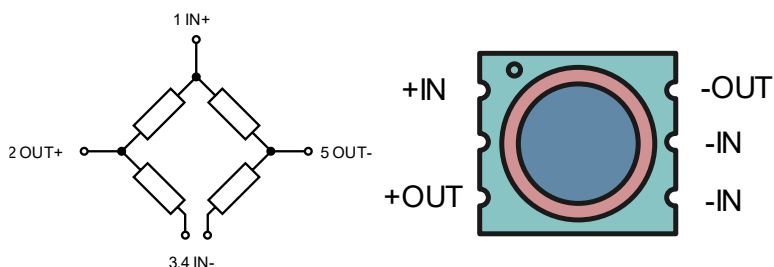
Obr. 25: Senzor tlaku a teploty BMP280

b) PR01: senzor tlaku MD-PS002 (Obr. 26 a Obr. 27)

- mostíkové usporiadanie snímacích elementov
- kompaktné rozmery 6mm x 6mm
- rozsah 150 kPa
- dostupné sú aj iné rozsahy
- umožňuje meranie podtlaku
- existujú aj iné zapuzdrenia, ktoré umožňujú jednoduché nasadenie silikónovej hadičky
- na prevod na digitálnu veličinu slúži ADC prevodník s predzosilňovačom HX-711 (Obr. 30)
- usporiadanie snímacích elementov:



Obr. 26: Senzor tlaku MS-PS002



Obr. 27: Senzor tlaku MS-PS002 a) usporiadanie elementov b) význam kontaktov

3. senzor sily

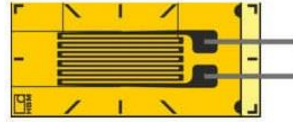
a) FO01: tenzometer s rozsahom do 5kg (Obr. 28)

- tzv. jednobodový snímač zaťaženia (angl. Single Point Load Cell)
- obsahuje spravidla 2 alebo 4 rezistívne senzory deformácie (Obr. 29)
- rezistívne senzory menia svoj elektrický odpor v závislosti od deformácie
- pružné vrstvičky rezistívnych senzorov sú umiestnené na kovovom tele snímača



Obr. 28: Senzor sily

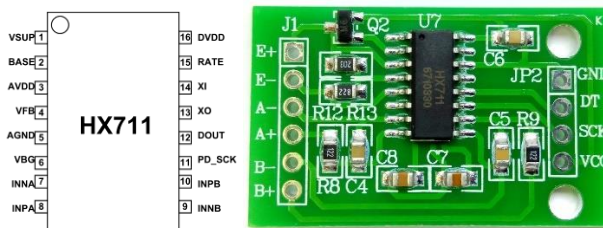
- rezistívne senzory sú zapojené do mostíka, pričom prevod na digitálnu veličinu zabezpečuje ADC prevodník s predzosilňovačom HX-711 (Obr. 30)
- existuje viacero rozsahov senzorov sily, pričom bežne sú dostupné rozsahy 1 kg, 2 kg, 5 kg, 10 kg, 20 kg, ale pre citlivé merania sú dostupné aj tenzometre s rozsahom 100 g.



Obr. 29: Rezistívny senzor

ADC prevodník s predzosilňovačom HX-711 vhodný pre mostíkové senzory [21] (Obr. 30)

- vhodný pre meranie dvoch senzorov (kanály A a B)
- programovateľný zisk zosilnenia 128 alebo 64 pre kanál A
- konštantný zisk 32 pre kanál B
- až 28-bitové rozlíšenie pre každý kanál
- napájanie od 2,7 V po 5,5 V
- voliteľná rýchlosť vzorkovania 10 alebo 80 SPS²⁴ (vďaka prítomnosti vlastného oscilátora)



Obr. 30: ADC prevodník HX-711 a) integrovaný obvod b) modul

4. senzor vzdialenosti

a) DI01: laserový senzor vzdialenosti vI5310x [22] (Obr. 31)

- princíp je založený na meraní času t potrebného na prekonanie vzdialenosti od zdroja k prekážke a späť²⁵
- vzdialenosť je vypočítaná na základe znalosti rýchlosti svetla vo vákuu c ($c \doteq c_{\text{vzduchu}}$) podľa vzťahu $s_2 = c \cdot t$
- výsledná vzdialenosť je v skutočnosti polovičná
- rozsah senzora 0,04 - 2 m

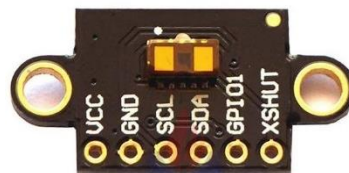


Obr. 31: Modul senzora vzdialenosti vI5310x

²⁴ SPS, z angl. Samples Per Second, v jednotkách vzoriek za sekundu sa udáva rýchlosť vzorkovania ADC prevodníka.

²⁵ Z angl. Time of Flight (ToF) – „čas letu“.

- presnosť rádo vo % (závisí od režimu a podmienok), rozlíšenie 1 mm
 - frekvencia merania max 50 Hz
 - ako zdroj svetla je použitá laserová LED s vlnovou dĺžkou 940 nm, bezpečnostná trieda Class 1 (nepredstavuje zdravotné riziko pre ľudské oko)
 - napájanie 3,3V, komunikácia prostredníctvom I²C zbernice
 - reset a prerušenie súčasťou hardvéru
- b) DI01: laserový senzor vzdialenosti vl5311x [23] (Obr. 32)
- oproti vl5310x ma dvojnásobný rozsah (0,04 - 4m)
 - zorný uhol 27°



Obr. 32: Modul senzora vzdialenosti vl5311x

- c) na meranie vzdialenosti je možné využiť aj ultrazvukový senzor, napríklad HC-SR04
- obsahuje vysielач a prijímač (Obr. 33)
 - rozsah výrazne závisí od vlastností povrchu telies (rádo vo desiatky cm)
 - nebol do systému implementovaný z dôvodu výrazne horších vlastností oproti laserovým senzorom
 - potenciálne využitie v podmienkach vysokých intenzít IR žiarenia



Obr. 33: Senzor vzdialenosti HC-SR04

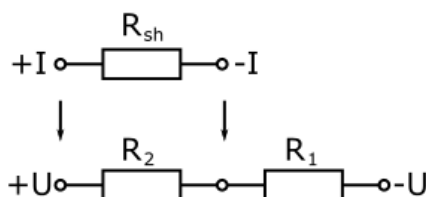
- d) meranie vzdialeností pomocou fotobrány
- fotobrána generuje impulzy zatemňovaním fototranzistora kotúčom, pričom jednému impulzu zodpovedá uhol otočenia $360^\circ/n$ (Obr. 34)
 - takto je možné merať aj rýchlosť resp. frekvenciu rotácie hriadeľa s kotúčom
 - kladka s navinutým bubnom umožňuje prevádzať posuvný pohyb na rotačný (a opačne)
 - posuvný pohyb je možné priamo detegovať pomocou tzv. hrebeňa (lineárneho elementu s ekvidištancnými otvormi)
 - nevýhoda tohto princípu spočíva v tom, že merané teleso je mechanicky spojené s pohyblivou časťou senzora, čo ovplyvňuje namerané hodnoty
 - fotobrána je možné využiť aj pri meraní času prechodu meraného telesa fotobránou; v takom prípade musia byť rozmery brány prispôsobené rozmeru telesa
 - v aktuálnom zozname vyvinutých senzorov sa zatiaľ tento typ nevyskytuje



Obr. 34: Fotobrána s kotúčom

Poznámka 1:

Veľkou nevýhodou oboch senzorov je (na rozdiel od prúdov) ich neschopnosť merania oboch polarít napätí, čo je nevýhodou hlavne pri jeho využití v podmienkach vzdelávania, kedy ľahko môže dôjsť k prepólovaniu voltmetra a následnému zničeniu senzora. Tento nedostatok je však možné odstrániť úpravou senzora INA3221 a to takým spôsobom, že jeden prúdový kanál sa použije pre meranie elektrického napätia využitím napäťového deliča (Obr. 38). Táto úprava vyžaduje nahradenie snímacieho rezistora dvojicou rezistorov s vypočítanými hodnotami v závislosti od zvoleného napäťového rozsahu.



Obr. 38: Úprava prúdového senzora na napäťový

Na základe znalosti maximálneho rozdielu potenciálov vstupu ADC prevodníka U_{ADC} ($\pm 163,8$ mV) a zvoleného rozsahu U_V (napríklad ± 20 V) si zostavíme rovnicu pre výpočet hodnôt rezistorov R_1 a R_2 :

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{U_{ADC}}{U_V}.$$

Vzhľadom na to, že sme si zostavili jednu rovnicu s dvomi neznámymi, jednu neznámu, napríklad R_2 si môžeme zvoliť a druhú neznámu si vypočítame:

$$R_1 = R_2 \frac{U_V - U_{ADC}}{U_{ADC}} \doteq R_2 \frac{U_V}{U_{ADC}}.$$

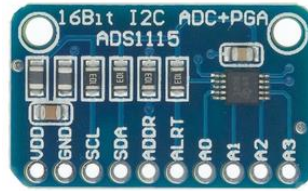
Pre zvolenú hodnotu $R_2 = 3,3$ k Ω dostávame hodnotu pre rezistor R_1 hodnotu približne 403 k Ω . S ohľadom na dostupnosť rezistorov v rade E12, pre rezistor R_1 volíme hodnotu $R_1 = 390$ k Ω . Nakoľko zvolené hodnoty rezistorov presne nezodpovedajú vstupným požiadavkám a s ohľadom na tolerancie použitých rezistorov, sa pri finalizácii senzora dôrazne odporúča vykonať kalibráciu senzora s využitím iného voltmetra.

Poznámka 2:

Existuje niekoľko výrobcov a verzií spomínaného modulu INA3221. Niektoré sa líšia v zapojení. Aj keď samotný čip umožňuje nezávislé meranie prúdov, niektorí výrobcovia predpokladali využitie senzora pre meranie prúdov v paralelných vetvách, a preto vzájomne prepojili záporné svorky všetkých troch kanálov a pripojili ich k nulovému potenciálu (GND). Ak však potrebujeme nezávislé meranie prúdov, je potrebné tieto prepojenia mechanicky odstrániť.

c) UI04: digitálny voltmeter s využitím ADS1115 [27] (Obr. 39)

- predstavuje 16-bitový ADC
- nastaviteľná frekvencia vzorkovania (od 8 SPS po 860 SPS)
- 4 jednoduché vstupy, alebo 2 diferenčné vstupy
- viacero rozsahov (od 6 V po 0,256 V)
- citlivosť iba 8 μV
- pripojenie pomocou I²C zbernice
- napájanie 2 V až 5,5 V, nízka spotreba (150 μA)
- pre merací systém boli využité dva diferenčné vstupy, ktoré umožňujú nezávislé meranie oboch polarít napätí

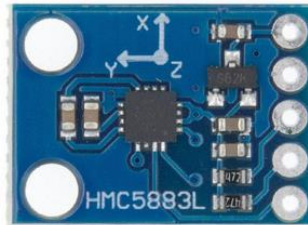


Obr. 39: Modul digitálneho voltmetra ADS1115

7. senzor magnetického poľa

a) MA01: senzor magnetickej indukcie HMC5883 [28] (Obr. 40)

- meranie magnetickej indukcie v smere osí x , y a z
- rozsah ± 8 Gauss ($\pm 800 \mu\text{T}$)
- 12-bitový ADC prevodník
- pre aplikáciu kompasu presnosť $\pm 2^\circ$
- pripojenie pomocou I²C zbernice
- napájanie 3,3 V, spotreba (100 μA)
- frekvencia vzorkovania 160 Hz

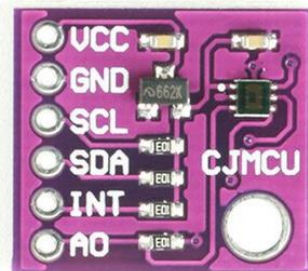


Obr. 40: Modul senzora magnetickej indukcie HMC5883

8. senzor intenzity osvetlenia

a) LI01: digitálny luxmeter MAX44009 [29] (Obr. 41)

- dynamický rozsah
- v intervale 0,045 Lx až 188 000 Lx
- 22-bitový ADC prevodník
- napájanie 3,3 V, spotreba (0,65 μA)
- možnosť blokovat IR a UV žiarenie
- štandardná rýchlosť vzorkovania 10 Hz (možnosť nastavenia v rozsahu 1,25 Hz až 160 Hz) v závislosti od režimu merania
- programovateľné prerušenia
- malé rozmery



Obr. 41: Modul digitálneho luxmetra MAX44009

3.6.3. Spôsoby komunikácie so senzormi

V závislosti od zámeru merať konkrétnu fyzikálnu veličinu je v zariadení uLAB SENSOR využitý dostupný senzor s vhodnými parametrami. Ako bolo uvedené v kap. 3.6.1, senzory môžu byť k mikrokontroléru pripojené rôznym spôsobom. Najčastejšie využívanými komunikačnými kanálmi medzi mikrokontrolérom a senzorom sú I²C a SPI. Technológia I²C, ktorú podporuje mikrokontrolér ESP32 umožňuje dátové prenosy s rýchlosťami 400 kbit/s, prípadne 1 Mbit/s, kdežto u technológie SPI neexistuje limit, avšak tieto rýchlosti musia podporovať obe komunikujúce zariadenia.

3.7. Napájanie senzorov

Väčšina dostupných senzorov je napájaná buď napätím 3,3 V alebo 5 V. Jednotka uLAB SENSOR podporuje obe tieto napätia vďaka regulátoru HT 7333. Maximálny prúdový odber tejto jednotky v prípade 3,3 V zbernice je 250 mA, čo je dané jednak samotným regulátorom a jednak USB káblom, ktorý je využitý na prepojenie uLAB BOXu s uLAB SENSORmi. Výhoda napäťového regulátora HT 7333 spočíva predovšetkým v jeho nízkom úbytku napätia (LDO – z angl. Low DropOut) a v nízkom prúde naprázdno (z angl. Low Quiescent Current).

V prípade využitia napájania 5 V zbernice je prúd limitovaný iba napájacím zdrojom (USB adaptér, resp. powerbanka). V prípade použitia USB kábla 2.0 alebo 3.0 môže byť hodnota prúdu ešte vyššia. V prípade potreby vyšších prúdov je možné využiť napäťový regulátor HT 7833 [30], prípadne iný.

V prípade potreby iných napätí nižších ako 5 V je potrebné využiť iný regulátor, avšak ak sa vyžaduje vyššie napätie ako je 5 V, je potrebné využiť niektorý tzv. Step-Up modul (modul umožňujúci zvýšenie napätia). Možnosti Step-Up modulov sú vzhľadom na vstupné napätie 5 V pomerne obmedzené.

V špecifickom prípade zvýšených energetických nárokov na prevádzku senzorov, je pre ich napájanie možné využiť externý zdroj napájania. V tejto situácii sa dôrazne odporúča využiť vhodný manažment napájania (power management), ktorý zabráni čerpaniu energie mimo prevádzky, prípadne zabráni vybíjaniu akumulátora.

3.8. Príslušenstvo

Filozofia meracieho systému uLAB bola navrhnutá tak, aby komunikácia medzi uLAB BOXom a uLAB SENSORmi a rovnako komunikácia medzi klientom a uLAB BOXom prebiehala bez ohľadu na meranú alebo generovanú veličinu. Po CAN zbernici sú posielané iba inštrukcie, ktoré sú obojsmerné. V závislosti od pripojeného hardvéru v uLAB SENSORoch je naprogramovaná logika merania.

K systému je však možné pripojiť aj špeciálny monitorovací „senzor“, ktorý zobrazuje všetky senzormi namerané veličiny na farebnom LCD displeji. Existencia tohto monitorovacieho senzora pritom nijako neovplyvňuje jeho činnosť, nakoľko sa jedná o pasívne zariadenie, ktoré dáta nevysiela, ale iba prijíma (Obr. 42). Výhoda takého monitorovacieho modulu spočíva v tom, že v takom prípade nie je pre jednoduché meranie potrebný počítač, alebo mobilné zariadenie. Tento modul slúži iba na živé zobrazenie nameraných veličín. Takým spôsobom nie je možné realizovať automatické merania.



Obr. 42: LCD monitorovací modul

Okrem tohto zariadenia je možné k systému pripájať ďalšie zariadenia, ktorých činnosť je závislá od sledovaných fyzikálnych veličín. Takým spôsobom je možné vyvinúť aj jednoduché automatizačné systémy, ktoré pracujú autonómne. Zásah užívateľa sa vyžaduje iba pri počiatočnej inicializácii automatizačného systému, kde sa užívateľom nadefinujú jeho základné parametre.

Takým spôsobom je možné vytvoriť napríklad automatický systém zapínania/zhasínania svetiel vďaka informácii zo svetelného senzora, prípadne automatické zavlažovanie, u ktorého je na základe informácie o vlhkosti (prípadne teploty, času, prietoku a pod.) ovládaný elektromagnetický ventil alebo čerpadlo. Táto funkcia v súčasnosti ešte nie je implementovaná.

4. Dizajn modulov

4.1. Výber technológie výroby plastových dielov

Aby merací systém spĺňal všetky požiadavky, ktoré sa kladú na zariadenia používané vo vzdelávacom procese, je nevyhnutné, aby bolo preň vyvinuté špeciálne zapuzdrenie, ktoré spĺňa ako funkčné, tak aj estetické požiadavky. Grafický návrh vychádza z predpokladanej technológie výroby. Vzhľadom na to, že sa v posledných rokoch stala 3D tlač dostupná aj pre amatérov, je táto technológia veľmi výhodná v prípade kusovej výroby²⁷. V prípade produkcie vyššieho počtu kusov sa tento spôsob javí ako neefektívny, nakoľko je výroba touto technológiou časovo veľmi náročná. Pri nízkom počte vyrobených kusov je však táto technológia veľmi výhodná, pretože okrem 3D tlačiarne a samotného materiálu, z ktorého sa výrobok vyhotovuje nie je potrebné žiadne ďalšie vybavenie.

V prípade vyššieho počtu výrobkov existuje niekoľko komerčných riešení, ktoré je možné využiť pri výrobe zapuzdrenia. Výroba plastových dielov vstrekováním je jednou z najvhodnejších technológií pre tento účel. Istou nevýhodou tohto riešenia je nutnosť vyhotovenia vstrekovacej formy, ktorá predstavuje nezanedbateľnú investíciu, ktorá sa však pri vysokej produkcii vráti. Pri tejto technológii je potrebné rátať ešte s povrchovou úpravou finálneho výrobku. Cena jedného výrobku sa tak stáva konkurencieschopnou v porovnaní s 3D tlačou až pri výrobe niekoľkých tisíc kusov. Istú úsporu nákladov je možné dosiahnuť výrobou kombinovanej formy pre viaceré výrobky, pričom je možné použiť nezávislé vstrekovanie materiálu, avšak musí byť splnená požiadavka rovnakého materiálu, ktorý sa môže líšiť iba vo farbe. Zásadnou nevýhodou tejto technológie je skutočnosť, že pri akejkoľvek zmene dizajnu plastového výrobku je nutné vyhotoviť novú formu, na čo je nutné prihliadať predovšetkým v počiatočných fázach vývoja výrobkov.

4.2. Požiadavky na zapuzdrenia jednotiek

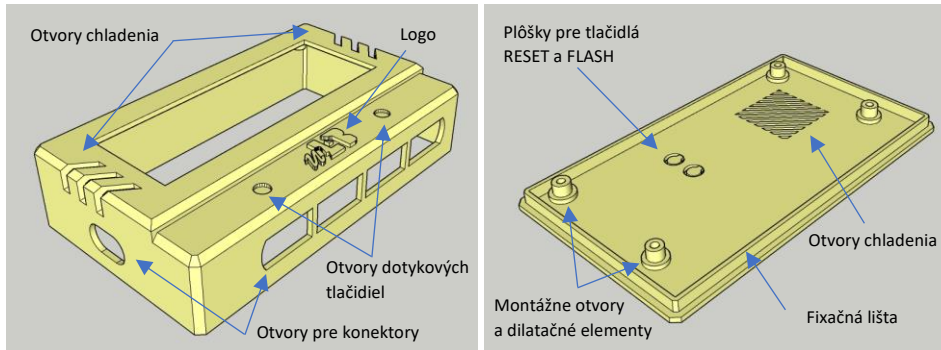
Bez ohľadu na výber výrobných technológií plastových dielov je potrebné navrhnuť a spracovať 3D model jednotlivých dielov jednotiek systému. V prvom rade sa jedná o puzdra uLAB BOXu a uLAB SENSORov. Z hľadiska udržateľnosti a jednoduchosti ďalšieho vývoja meracieho systému bolo potrebné minimalizovať rozmanitosť návrhov jednotlivých plastových dielov, čo predovšetkým u sensorických jednotiek viedlo k návrhom univerzálnych zapuzdrení. Jedinou výnimkou je senzor sily, pre ktorý v snahe zachovať jeho kompaktnosť nebolo možné použiť univerzálny návrh zapuzdrenia.

Pri návrhu jednotlivých častí sa predovšetkým prihliadalo na ich funkčnosť a kompaktnosť. Súčasťou týchto častí sú:

- mechanické fixačné prvky zabraňujúce pohybu elektroniky v puzdre
- mechanické prvky fixujúce jednotlivé časti puzdra
- otvory pre chladenie, konektory a spojovacie prvky (skrutky)
- logá, nápisy a elementy minimalizujúce odpad pri 3D tlači

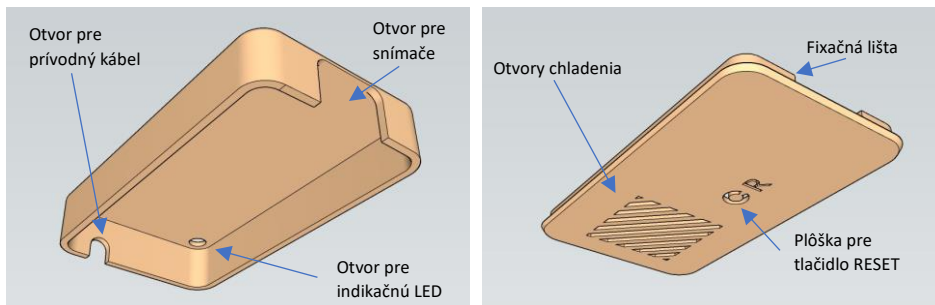
²⁷ Jedná sa o jednotky až stovky kusov.

Na základe požiadaviek z praxe a technických možností 3D tlače boli vytvorené 3D modely jednotlivých plastových dielov (obr. 43):



Obr. 43: Jednotlivé plastové diely zapuzdrenia uLAB BOXu

Ako je možné vidieť z vizualizácie, návrhy obsahujú všetky vymenované prvky. Jednotlivé puzdra sú navrhnuté s ohľadom na rozmer dosky plošných spojov a všetkých súčiastok na ňom osadených, ktorým sú prispôbené rozmery všetkých otvorov a konštrukčných prvkov. Podobným spôsobom boli navrhnuté zapuzdrenia senzorických jednotiek (obr. 44):



Obr. 44: Jednotlivé plastové diely zapuzdrenia uLAB SENSORa

V tomto prípade je otvor pre snímače univerzálny, vyhovujúci väčšiemu počtu modulov tretích strán, ktoré sú využité pri konštrukcii senzorickej jednotky. Obidve jednotky neobsahujú otvory programovacieho portu. V prípade nevyhnutnosti preprogramovania firmvéru je preto potrebné otvoriť puzdro a pripojiť sa k portu priamo. Tlačidlo pre programovanie senzorických jednotiek sa nachádza na doske plošného spoja pod krytom (označené písmenom „F“).

V prípade aktualizácie elektronických komponentov alebo zmeny elektronického zapojenia často dochádza aj k zmene geometrických parametrov dosky plošných spojov, čomu sa musí prispôbiť aj návrh zapuzdrenia. Vždy je však potrebné dbať na zachovanie funkčnosti všetkých častí systému.

4.3. Návrh 3D modelov puzdier modulov

Moderné technológie prinášajú významné inovácie aj do oblasti návrhu modelov rôznych objektov, puzdra nevynímajúc. Hlavnú inováciu v tejto oblasti priniesli počítače. Dnes je už nemysliteľné realizovať návrh modelov iným spôsobom ako prostredníctvom špecializovaných dizajnerských programov. Existujú ako profesionálne komerčné riešenia, tak aj veľmi kvalitné voľne šíriteľné alternatívy. Medzi kvalitné komerčné programy by sme mohli zaradiť napríklad AutoCAD [31]. Medzi bezplatné alternatívy možno zaradiť napríklad Blender [32], alebo za istých podmienok aj Google Sketchup [33].

4.4. Výroba zapuzdrení

3D model konkrétneho komponentu navrhnutý s využitím spomínaných 3D programov, uložený v niektorom z formátov 3D programov však často nie je vhodný na ďalšiu prácu, napríklad pre 3D tlač. Na tento účel je potrebné tieto modely previesť na sériu inštrukcií tlačiarnej hlavy 3D tlačiarne pomocou špeciálnych programov nazývaných *slicery* (čítaj slajser). Spravidla sú tieto programy dodávané spolu s 3D tlačiarňami, prípadne je možné použiť ľubovoľný iný dostupný slicer. Tieto programy sa vzájomne líšia ovládaním, svojimi možnosťami a parametrami, ale skúsenejší návrhár môže dosiahnuť slušné výsledky bez ohľadu na výber slicera. Medzi najpopulárnejšie slicery patria PrusaSlicer [34] a Ultimaker Cura [35]. Výsledkom prípravy modelov pre 3D tlač je súbor *gcode*, ktorý obsahuje inštrukcie jazyka G-code, pôvodne určeného pre programovanie CNC strojov²⁸, ktorý bol implementovaný aj pre 3D tlač [36].

S využitím slicera má možnosť dizajnér optimálne rozvrhnúť tlačiacu plochu a objem 3D tlačiarne a riešiť technické problémy 3D tlače, napríklad tlač podpôr a pomocných konštrukcií, voľbu hrúbky vlákna, výplne a podobne. V sliceri sa rovnako rozhoduje o použití materiálu tlače. Pri výbere materiálu tlače existuje niekoľko možností. Pri 3D tlači sa v súčasnosti bežne používajú tieto materiály:

1. PLA (Polylactic Acid)
 - je biologicky degradovateľný a tým je ekologický, nakoľko je vyrobený z biologických materiálov obsahujúcich škrob
 - je menej tepelne stály
 - je dostupný v tvrdej a mäkkej forme
2. ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)
 - je pevnejší a tepelneodolnejší ako PLA
3. PVA (PolyVinyl Alcohol plastic)
 - jedná sa o materiál rozpustný vo vode
 - používa sa spravidla ako podporný materiál
4. PC (Polycarbonate)
 - zriedkavejšie využitie
 - vysoká teplotnú odolnosť a výborné mechanické vlastnosti

²⁸ Pojem CNC znamená (Computer Numerical Control) a jedná sa o počítačom riadený obrábací stroj pre obrábanie kovov, dreva a pod.

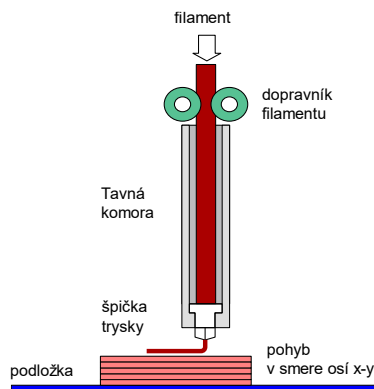
Materiál sa obyčajne dodáva v podobe tzv. filamentov, čo je vlákno hrúbky 1,75 mm navinuté na cievke. Štandardná hmotnosť filamentu je 1 kg. V závislosti od materiálu je možné objednanie viacerých farieb. V prípade potreby existujú aj také 3D tlačiarne, ktoré umožňujú tlač z viacerých filamentov, čím sa docieli viacfarebná tlač [37].

Okrem tlače z filamentov existujú aj iné techniky 3D tlače. Za všetky možno spomenúť:

1. práškové metódy (polyamid a alumid)
2. živicové metódy (tvrdnutie kvapalných polymérov je dosiahnuté expozíciou UV žiarenia)
3. kovová tlač známa ako *direct metal laser sintering* (DMLS) alebo *selective laser sintering* (SLS), kde sa používa metóda spekania bez nutnosti tavenia materiálu

4.4.1. Princíp extrúdovacích 3D tlačiarní

Extrúdovací filamentová tlač (Extrusion-based technology) je v súčasnosti jedna z najpopulárnejších technológií, ktoré sa používajú na 3D tlač, čo je predovšetkým spôsobené kompaktnosťou a spoľahlivosťou tlačiarní a ich pomerne nízkou obstarávacou cenou. Základný princíp spočíva v roztavení materiálu v tavnom telese a nanosením taveniny vhodného rozmeru na podložku pomocou trysky (obr. 45). Správne umiestnenie taveniny na podložku sa dosahuje pomocou pohonov krokových motorov v troch osiach x, y a z. Spôsob pohybu trysky a podložky závisí od konkrétneho výrobcu.



Obr. 45: Usporiadanie extrúdera 3D tlačiarnie

Pri úvahách o vhodnosti filamentových tlačiarní rozhoduje viacero parametrov v závislosti od požiadaviek praxe. Na trhu existuje pomerne veľké množstvo výrobcov 3D tlačiarní, pričom cena nie vždy musí vypovedať o kvalite výrobku. Je potrebné si uvedomiť, že samotná tlač trvá pomerne dlho, čo môže predstavovať problém predovšetkým v prípade vysokého počtu výtláčkov. Okrem toho, prevádzka tlačiarnie je pomerne hlučná a spôsobuje miernu kontamináciu vzduchu výparmi filamentu pri jeho tavení, čo ju vylučuje z miest, kde sa trvale vyskytuje ľudská obsluha. Nadmerná záťaž výroby zase kladie veľké nároky na kvalitu a pevnosť jej mechanických častí. Napríklad malá mechanická odolnosť rámu 3D tlačiarnie môže spôsobiť zníženie kvality tlače až napokon jej poškodenie.

4.4.2. Filamenty pre 3D tlač

Ako bolo popísané v kap. 4.4, existuje viacero technológií a materiálov, ktoré je možné využiť pri 3D tlači. Pre účely zapuzdrenia jednotiek systému uLAB sa ako najvhodnejší materiál osvedčil PLA, nakoľko je ekologický, pružný, lacný a zachováva si stály tvar v prevádzkovom teplotnom intervale.

Samotný výber výrobcu filamentov nie je kľúčový. Prípadné problémy s kompatibilitou je možné riešiť zmenou výrobcu alebo značky filamentu.

4.4.3. Finalizácia 3D výtlačkov

Po ukončení tlače je potrebné oddeliť výtlačok od podložky. U kvalitnejších podložiek je toto oddelenie bezproblémové, avšak u niektorých podložiek je nutné použiť násilie a pomôcky ako je napríklad špachtľa. Pri tomto procese je potrebná opatrnosť, aby sa predišlo prípadnému poškodeniu výtlačku alebo podložky.

Pri 3D tlači vznikajú na výtlačku artefakty, ktoré je nutné po ukončení tlače odstrániť. Na minimalizáciu výskytu týchto artefaktov je nutné pamätať už pri vytváraní 3D modelu súčiastky. Pri finalizácii súčiastky má prioritu jej líc, avšak aj pri rubovej časti je potrebné zabezpečiť dostatok priestoru pre umiestnenie inštalovanej elektroniky.

Jedným z posledných úkonov pri finalizácii puzdier je inštalácia dotykových plôšok do naznačených otvorov vrchnej časti puzdra pre uLAB BOX. Dotyková plôška je tvorená skrutkou M3 s polguľovitou hlavou, ktorá sa prevlečie naznačeným otvorom. Na ňu sa zo spodnej strany navlečie podložka a kovové oko, a celá sústava sa zafixuje maticou. Ku kovovému oku je pripojený vodič, ktorý sa na záver celej inštalácie priletuje k doske plošných spojov. Spojenie kovového oka s vodičom sa môže realizovať dvomi spôsobmi: vodič sa k oku buď priletuje, alebo zakrimpluje (zalisuje) špeciálnymi kliešťami.



5. Softvér

Neoddeliteľnou súčasťou meracieho systému uLAB je okrem hardvéru (elektroniky) aj softvér (program), ktorý sa v prípade malých elektronických zariadení zvykne označovať ako firmvér (z angl. firmware). Je potrebné si uvedomiť, že veľké množstvo zariadení by bez softvéru nemohlo pracovať. Podobne je to aj u meracieho systému uLAB. Po kompletizácii hardvérovej časti zariadenia je potrebné pristúpiť k jeho naprogramovaniu. Z praktických dôvodov sa odporúča proces programovania realizovať ešte pred umiestnením elektroniky do puzdra.

Samotný proces zavedenia firmvéru do mikrokontroléra je vysvetlený v kap. 5.4, avšak ešte pred tým je potrebné program napísať a skompilovať do binárneho spúšťateľného súboru. Ako už bolo spomenuté v kap. 3.3.1, na písanie programu, úpravu, ladenie, testovanie a kompiláciu slúži vývojové prostredie IDE. Pri vývoji softvéru všetkých súčastí meracieho systému uLAB bolo využité vývojové prostredie VSCode [6], ktoré ponúka omnoho viac možností ako napríklad Arduino IDE. I keď je prostredie VSCode oproti Arduino IDE trocha zložitejšie, vďaka intuitívnosti ovládania môže jeho funkcie zvládnuť už po krátkom čase aj začiatočník. Ďalšou výhodou tohto prostredia je jeho široká užívateľská podpora, dynamický vývoj, pridávanie nových funkcií a podpora nového hardvéru.

5.1. Správa verzií pri vývoji softvéru

Aby mohol vyvíjaný softvér plniť úlohy vysokých nárokov, zvyšuje sa tak jeho komplexnosť a znižuje jeho prehľadnosť. Prehľadnosť programu sa spravidla darí udržiavať rozdelením programu je logických blokov a celkov, ktoré sa zvyknú nachádzať v osobitných súboroch. Jedna zmena v programe tak môže vyžadovať viacero zmien na rôznych ďalších miestach, s predpokladom paralelného editovania viacerých súborov naraz. Manuálne editovanie všetkých takýchto zmien by tak mohlo zároveň viesť k výraznému nárastu chýb a následného spomalenia samotného vývoja. Namiesto manuálneho editovania zdrojového kódu sa tak zvykne využívať niektorý nástroj na správu zdrojového kódu, napríklad **Git** [38], ktorý je jeden z najpoužívanejších distribuovaných systémov riadenia revízií (DVCS z angl. Distributed Version Control System) od známeho tvorcu OS Linux, Linusa Torvaldsa, ktorý bol inšpirovaný zaniknutým systémom BitKeeper a bol prvýkrát zverejnený v roku 2005.

Tento nástroj tak vďaka podpore tzv. „vetiev“ (z angl. branches) môže slúžiť na tzv. nelineárny vývoj. To znamená, že v ktoromkoľvek čase a stupni vývoja softvéru je možné oddelenie vetiev (odklon od hlavnej vetvy programu), vďaka čomu vývojár získava možnosti oddeleného vývoja, prípadne zapracovanie zmien programu bez ovplyvnenia vlastností pôvodného programu (hlavnej vetvy).

Vývoj softvéru a zvyšovanie jeho komplexnosti si zároveň vyžaduje nárast programátorov, ktorí sa na ňom podieľajú. Je preto extrémne dôležité vytvoriť vývojovému tímu optimálne podmienky nielen pri samotnom procese tvorby kódu, ale pri vzájomnej komunikácii a interakcii jednotlivých jej vývojárov. Pri vysoko komplexných a sofistikovaných programoch je dokonca nevyhnutná hierarchická organizácia vývojárov do jednotlivých úrovní a skupín s cieľom efektívnej koordinácie všetkých prác na vývoji výsledného produktu. Keďže Git predstavuje lokálny program (nainštalovaný na vlastnom počítači), so zvyšujúcim

sa počtom vývojárov by neúmerne rástli aj požiadavky na prenos a synchronizáciu dát komunikujúcich strán. Oveľa výhodnejšie je v takom prípade použitie centrálného úložiska, ktoré bude túto synchronizáciu zabezpečovať. Existuje niekoľko platforiem, ktoré slúžia na takýto zdieľaný vývoj aplikácií. Jednou z najrozšírenejších je *GitHub* [39], čo je vlastne internetová hostingová služba slúžiaca na vývoj softvéru s použitím DCVS Git.

5.2. Vývojové prostredie VSCode

Vývojové prostredie VSCode od spoločnosti Microsoft patrí do skupiny voľne šíriteľných OpenSource programov pod MIT licenciou. Svojich priaznivcov si toto vývojové prostredie získalo predovšetkým vďaka funkciám, ako sú:

1. možnosť kolaborácie s ostatnými užívateľmi a nelineárneho vývoja aplikácií vďaka plnej podpore DCVS Git
2. prehľadné prostredie s možnosťou farebného zvýrazňovania časti kódu, čo výrazne znižuje množstvo chýb pri programovaní
3. automatické dopĺňanie kódu a poskytovanie návodov a odporúčaní pri písaní kódu
4. porovnávanie zmien v kóde a správa verzií
5. podpora programovacích nástrojov (ToolChainov) pre vývoj softvéru pre rôzne hardvérové platformy

Veľmi výhodná sa ukazuje integrácia niektorého zásuvného modulu (pluginu), zjednodušujúceho prácu vývojára. Dostupné sú napríklad pluginy rozširujúce prácu pri zdieľanom vývoji projektov, umožňujúce vizualizáciu vývoja softvéru, prinášajúce nástroje ladenia a testovania aplikácií a pod.

5.3. Štruktúra meracieho systému uLAB

Ako už bolo spomenuté v kap. 5.1, je výhodné pracovať s oddelenými blokmi programu, ktoré sa nachádzajú v rôznych súboroch. Tieto súbory sa pritom môžu nachádzať v rôznych priečinkoch, aby sa predišlo nedorozumeniam a náhodným a nechceným zmenám v kóde programu. Celý systém priečinkov a súborov teda môžeme nazývať štruktúra projektu. V nasledujúcej tabuľke je uvedený zoznam niektorých priečinkov a súborov s krátkym popisom:

Súbor (priečink)	Význam
...\uLAB	Koreňový priečink projektu
...\uLAB\.pio	Pracovný priečink, v ktorom sa ukladajú skompilované časti programu a používaných knižníc, ako aj dočasné súbory potrebné počas samotného procesu kompilácie.
...\uLAB\.vscode	IDE VSCode môže obsahovať viacero koreňových priečinkov, pričom tento priečink (ako podpriečink koreňového priečinku) obsahuje nastavenia IDE pre daný koreňový priečink.



...\uLAB\bin	V tomto priečinku sa nachádzajú skompilované binárne súbory stabilnej verzie programu spolu s nástrojmi na ich automatické prenesenie do mikrokontroléra za pomoci nástroja esptool.py, čo je voľne dostupný nástroj slúžiaci na komunikáciu počítača s ROM bootloadero ²⁹ mikrokontrolérov vyrábaných spoločnosťou Espressif.
...\uLAB\data	Tento priečinok obsahuje obsah SPI Flash pamäte jednotky uLAB BOX, resp. uLAB SENSOR. V tomto priečinku sa nachádzajú súbory tvoriace webové rozhranie systému.
...\uLAB\Extra	V tomto priečinku sa nachádzajú dodatočné súbory, napríklad 3D modely a vizualizácie jednotlivých modulov.
...\uLAB\include	V tomto priečinku sa nachádzajú vlastné knižnice jednotlivých senzorov zariadenia uLAB SENSOR, pričom každému senzoru patria dva súbory: nazovsensora.ini – názov pôvodnej knižnice senzora nazovsensora.cpp – obsahuje naprogramované funkcie definované v súbore sensor.h pre konkrétny senzor V prípade uLAB BOX je tento priečinok prázdny.
...\uLAB\lib	V tomto priečinku sa nachádzajú upravené voľne dostupné knižnice, ktoré sú využité v projekte.
...\uLAB\src	V prípade uLAB BOXu obsahuje: - main.cpp (zdrojový kód programu) V prípade uLAB SENSORa obsahuje: - const.h (definície konštánt) - main.cpp (zdrojový kód programu) - sensor.h (hlavičky prototypov funkcií senzorov)
...\uLAB\test	Priečinok obsahujúci testy funkčnosti programu. Vo všeobecnosti sa jedná o tzv. skripty, ktoré overujú správnosť fungovania jednotlivých funkcií programu.
...\uLAB\.gitignore	V tomto súbore je uvedený zoznam všetkých priečinkov a súborov, ktoré nie sú synchronizované s GitHubom.

²⁹ Jedná sa o bootovací (zavádzací) manažér, teda krátky program, ktorý umožňuje zaviesť hlavný program, resp. operačný systém. Bootloader v prípade mikrokontroléra ESP32 umožňuje na základe nastavenia niektorých pinov (GPIO0 a GPIO2) voliť režim činnosti mikrokontroléra.

...\uLAB\travis.yml	Predstavuje konfiguračný súbor v tzv. YAML formáte, ktorý slúži na automatickú kompiláciu a testovanie projektov.
...\uLAB\custompart.csv	Súbor obsahujúci informácie o partíciách súborového systému pamäte Flash.
...\uLAB\littelfsbuilder.py	Program pre vytvorenie dátovej partície obsahujúcej súbory webového rozhrania systému.
...\uLAB\mklittelfs.exe	Ten istý program skompilovaný pre OS Windows.
...\uLAB\platformio.ini	Súbor obsahujúci nastavenia IDE.
...\uLAB\README.md	Súbor obsahujúci krátku anotáciu projektu v GitHube.
...\uLAB\uLAB.jpg	Logo meracieho systému.

5.4. Inštalácia firmvéru

Po skompilovaní firmvéru, teda po preložení jeho zdrojového kódu spolu s použitými knižnicami, je potrebné ho preniesť do Flash pamäte mikrokontroléra. Prenos prebieha vďaka USB2TTL prevodníku, ktorý predstavuje pomerne jednoduchý prevádzač signálu medzi jednotlivými komunikačnými štandardmi. Prevodník typu CH340 [40], alebo CP2102 [41] (Obr. 46) slúži na emuláciu (simulovanie činnosti) sériového portu, ktorý prevádza tzv. TTL UART signály na signály sériovej komunikácie prenosu dát s rozhraním RS232.



Obr. 46: USB2TTL prevodníky: a) CH340 b) CP2102

Pred použitím týchto prevodníkov je potrebná inštalácia ich ovládačov (driverov) v počítači, ktorý sa použije k programovaniu mikrokontrolérov. Samotné programovanie (prenesenie binárneho kódu do Flash pamäte mikrokontroléra) prebieha s využitím buď samotného rozhrania IDE, v ktorom je napísaný zdrojový kód (napríklad VSCode), alebo pomocou iných špecializovaných programov, akým je napríklad nástroj flash_download_tool od samotného výrobcu mikrokontroléra ESP32 – Espressif Systems [42], ktorý ponúka možnosti programovania všetkých mikrokontrolérov z rodiny ESP.



Pre potreby programovania jednotiek uLAB BOX a uLAB SENSOR je výhodnejšie používať nástroj *esptool.py*, ktorý bol rovnako vyvinutý spoločnosťou Espressif Systems a predstavuje otvorený nástroj napísaný v programe Python, ktorý slúži na komunikáciu s ROM čipmi ESP mikrokontrolérov. Tento nástroj je nezávislý od OS, pričom je potrebné mať na danom počítači nainštalovaný interpretér Pythonu, prípadne je potrebné mať k dispozícii skompilované binárne verzie tohto nástroja pre príslušný OS.

Samotné programovanie s využitím nástroja *esptool.py* prebieha s pomocou už vopred pripraveného dávkového súboru *flash_uLAB.bat*, ktorý sa nachádza v priečinku `\bin\flash`. V prípade použitia tohto súboru je potrebné pred jeho spustením aktualizovať všetky cesty k použitému súborom a zvoliť si aktuálne priradený sériový port COM pripojeného USB2TTL modulu. V čase spustenia tohto súboru je potrebné mať prepojený mikrokontrolér s počítačom prostredníctvom USB2TTL modulu. Programovací proces začne až v okamihu uvedenia mikrokontroléra do režimu programovania³⁰ (po resete mikrokontroléra v okamihu, keď je pin GPIO0 pripojený k terminálu GND). Na uvedenie zariadení uLAB BOX a uLAB SENSOR do režimu programovania slúžia tlačidlá RESET a FLASH, pričom zariadenie je pripravené na programovanie po krátkom stlačení tlačidla RESET pri stlačení tlačidla FLASH (Obr. 17 a Obr. 21).

5.5. Štruktúra zdrojového kódu pre uLAB BOX

Obe zariadenia (uLAB BOX aj uLAB SENSOR) plnia v rámci meracieho systému rôzne funkcie, čomu je prispôbená aj štruktúra ich zdrojového kódu. S ohľadom na čitateľnosť kódu pre prípadných viacerých vývojárov sú jednotlivé funkcie programu popísané komentárom, ktorý ponúka základné informácie o ich význame a spôsobe použitia. Pre vývoj meracieho systému uLAB bolo vybrané vývojárske prostredie Arduino IDE vrátane knižnic podporujúcich platformu ESP32. Toto vývojárske prostredie bolo uprednostnené pred vlastným kvalitným oficiálnym IDE od spoločnosti Espressif (ESP-IDF, čiže IoT Development Framework) predovšetkým z dôvodu veľkej obľúbenosti vo vývojárskej komunite vychádzajúcej z jednoduchosti programovania.

Zdrojový kód zariadenia uLAB BOX predstavuje jeden súbor `main.cpp`, ktorý obsahuje všetky potrebné časti, ktoré je možné rozdeliť do týchto skupín:

1. Základné informácie o programe, vytvorenie použitých C++ objektov a definície konštánt a premenných.
2. Zdrojové kódy použitých funkcií, ktoré sa týkajú:
 - a. Práce so súborovým systémom Flash pamäte.
 - b. Práce s eeprom pamäťou³¹ na trvalé ukladanie nastavení meracieho systému (napríklad názov prístupového bodu, formát ukladaných dát a pod.).

³⁰ Ak nebude zariadenie uvedené do programovacieho režimu do vypršania limitu (cca 20 sekúnd), proces programovania zlyhá a je nutné ho spustiť opakovane.

³¹ Ide iba o emulovanie funkcie EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) pamäte, ktorá je vytvorená ako osobitná partícia Flash pamäte.

- c. Práce s internetom a bezdrôtovou komunikáciou (WiFi).
 - d. Práce s panelom LCD.
 - e. Komunikácie so senzormi prostredníctvom CAN zbernice.
 - f. Manažmentu pripojených senzorov (ich pripájanie/odpájanie).
 - g. Komunikácie s klientom (posielanie dát zo senzorov a prijímanie povelov od klienta, zmeny rozsahov a nastavovanie aktuátorov).
 - h. Dočasného ukladania dát získaných zo senzorov do rýchlej PSRAM pamäte (Pseudostatic DRAM - Dynamic Random-Access Memory).
 - i. Obsluhy webového servera zabezpečujúceho užívateľské rozhranie meracieho systému.
3. Funkcia *setup*, ktorá sa vykonáva iba pri prvom spustení systému alebo po resete. Táto funkcia zabezpečuje predovšetkým:
- a. Zobrazenie základných informácií o systéme prostredníctvom sériového portu (verziu, obsah pamäte, IP adresu zariadenia, stav inicializácie hardvéru a pod.).
 - b. Inicializáciu hardvéru (jeho počiatočné nastavenie, uvedenie hardvéru do prevádzky).
 - c. Načítanie konfiguračných nastavení z eeprom pamäte.
 - d. Inicializáciu webového servera.
4. Funkcia *loop*, ktorá sa opakovane vykonáva po ukončení funkcie *setup* až do resetu resp. prerušenia napájania zariadenia. V rámci tejto slučky sú volané jednotlivé funkcie tak, aby sa dosiahlo požadované správanie sa systému.

5.6. Štruktúra zdrojového kódu pre uLAB SENSOR

Podobne, ako u uLAB BOXu, aj zdrojový kód uLAB SENSORa má svoju štruktúru. Významná časť zdrojového kódu pre všetky zariadenia uLAB SENSOR bez ohľadu na typ implementovaného senzora (aktuátora) ostáva zachovaná bezo zmien. Tieto funkcie označujeme ako jadro systému. Aby sa uľahčil vývoj ďalších jednotiek uLAB SENSOR, bol na tento účel vytvorený systém vlastných knižníc založený na báze voľne dostupných knižníc k použitému hardvéru (senzorom a aktuátorom).

Na rozdiel od zdrojového kódu uLAB BOXu, zdrojový kód uLAB SENSORa tvoria štyri hlavné súbory:

- *src/consts.h* predstavuje súbor obsahujúci základné konštanty zariadenia
- *src/main.cpp* obsahuje hlavný zdrojový kód s funkciami jadra systému
- *src/sensor.h* predstavuje hlavičkový súbor (header file), ktorý obsahuje deklarácie užívateľských funkcií mimo jadra systému, ktoré sa nachádzajú v zdrojovom kóde vlastných knižníc naprogramovaných osobitne pre každý typ senzora (aktuátora)
- *platformio.ini* predstavuje konfiguračný súbor so zoznamom vlastných knižníc



Zdrojový kód jadra funkcií obsahuje súbor `main.cpp`, ktorý pozostáva z týchto častí:

1. Deklarácia a definícia objektov, konštánt a premenných
2. Zdrojový kód funkcií jadra, ktoré zabezpečujú:
 - a. Manažment zmeny rozsahov
 - b. Komunikáciu so zariadením uLAB BOX
3. Funkcia `setup`, ktorá zabezpečuje predovšetkým:
 - a. Inicializáciu hardvéru (senzorov alebo aktuátorov)
 - b. Zobrazenie základných informácií o senzore prostredníctvom sériového portu (verziu jadra, typ senzora a informácie o ňom, stav inicializácie a pod.).
4. Funkcia `loop`, ktorá sa opakovane vykonáva po ukončení funkcie `setup` až do resetu resp. prerušenia napájania zariadenia. V rámci tejto slučky sú volané jednotlivé funkcie tak, aby sa dosiahlo požadované správanie sa systému.

Okrem týchto súborov sa v priečinku `include` nachádzajú vlastné knižnice pre jednotlivé senzory a aktuátory, ktoré tvoria dvojice súborov typu `názov.cpp` a `názov.ini`. V súbore `názov.ini` sa nachádza odkaz na pôvodnú knižnicu hardvéru, ktorý odkazuje na GitHub. V súbore `názov.cpp` sa nachádza zdrojový kód všetkých užívateľských funkcií pre konkrétny senzor (aktuátor), ktoré sú uvedené v hlavičkovom súbore `sensor.h`.

Zdrojový kód v súbore `názov.cpp` by sme mohli rozdeliť na tieto časti:

1. Informácie o senzore (aktuátore)
 - a. Informácia o zapojení (schéma)
 - b. Definícia rozsahov senzora
 - c. Definícia ostatných konštánt
2. Zdrojové kódy užívateľských funkcií, ktoré slúžia na:
 - a. Nastavenie (zmenu) intervalu merania
 - b. Zmenu rozsahu merania
 - c. Meranie fyzikálnej veličiny
 - d. Nastavenie hodnoty aktuátora

6. Súbor laboratórných meraní s využitím systému uLAB

6.1. Nové trendy

Fyzika je veda, ktorá umožňuje spoznávať svet predovšetkým experimentálnymi metódami. Z tohto pohľadu by bola fyzika bez experimentov všetkým možným, len nie fyzikou. Žijeme v dobe, keď človeku pomáha veľké množstvo užitočných zariadení a to nielen v profesionálnej oblasti, ale aj v každodennom živote. Stávame sa konzumentmi čoraz sofistikovanejších prístrojov, o ktorých činnosti často nemáme ani tušenia. Zariadenia čoraz častejšie používame ako „čierne skrinky“, pričom ich využitie je obmedzené na sériu činností, ktoré vykonávame automaticky bez zamyslenia sa o dôsledkoch konania.

V poslednej dobe odborníci čoraz častejšie vystríhajú užívateľov moderných technológií pred ich ľahkovážnym využívaním. Na vzostupe je počítačová kriminalita, ale aj prípady kyberšikany. A najzraniteľnejšia je práve mladá generácia, ktorá tieto technológie používa najčastejšie. U tejto skupiny sa vo veľkej miere prejavuje dokonca závislosť na technológiách a vznik psychických porúch a vplyv iných nežiaducich javov na týchto jedincov. Sprievodným javom týchto procesov je čoraz väčší nedostatok odborníkov v niektorých profesiách, ktoré sú spojené s prírodovedným vzdelaním, keď pokles rozvoja kritického myslenia mládeže je v korelácii s redukciami vzdelávania v oblasti prírodných vied. Snahy o ďalšiu redukciiu prírodovedného vzdelávania, napríklad zlúčením prírodovedných predmetov do jedného predmetu prinesú len ďalší pokles vzdelanostnej úrovne žiakov a problém nedostatku kvalitných odborníkov na trhu práce sa tým len prehĺbi.

Aj keď, ako už bolo spomenuté, súčasná doba prináša výraznú redukciiu činností, ktoré sú nahrádzané automatmi, robotmi, alebo umelou inteligenciou, stále však existuje celý rad činností a profesií, ktoré sú výlučnou doménou ľudí. Spravidla sa jedná o vysoko kreatívne povolania a povolania náročné na odbornú erudíciu. Netreba zabúdať na to, že aj vývoj, výroba, servis a v neposlednom rade ekologická likvidácia všetkých technologických zariadení je často v rukách človeka. Niektoré činnosti je možné automatizovať, tie kľúčové sú však stále v rukách človeka. Moderná doba si vyžaduje človeka inteligentného, vzdelaného, schopného využívať kritické myslenie, a čo je veľmi dôležité, aj zručného v manuálnych činnostiach pri práci so sofistikovanými prístrojmi a zariadeniami, ktorý dokáže ich potenciál využiť naplno.

6.2. Nové perspektívy modernizácie vzdelávania

V dejinách civilizácie možno často pozorovať ako negatívne dopady prírodných katastrof a vojen ľudstvo využívalo vo svoj prospech. Napríklad zvýšené množstvo zrážok v minulosti často spôsobovalo ničivé povodne až dokiaľ sa človek nenaučil budovať priehrady, z ktorých profituje okrem ochrany zdravia a životov aj získaním elektrickej energie, prípadne získaním zásobárne pitnej vody pre obyvateľstvo. Podobne je našou povinnosťou pokúsiť sa využiť moderné technológie aj na to, aby sme nielen eliminovali negatívne vplyvy prírodných živlov a negatívne prejavy našej spoločnosti na okolie, ale aby mohli s prispením týchto technológií priniesť ľudstvu ešte viac benefitov.



Tento cieľ sleduje aj vyvinutý univerzálny merací systém uLAB, ktorý môže byť úspešne využívaný pri realizácii ako projektového vyučovania, tak zároveň poskytuje materiálnu základňu potrebnú pri realizácii bádateľsky orientovaných aktivít. Merací systém uLAB predstavuje plnohodnotný, nenáročný a cenovo dostupný merací systém, ktorý je vďaka svojmu minimalistickému konceptu jednoduchý na ovládanie, a tým je vhodný pre použitie vo vzdelávacom procese. Vďaka svojim možnostiam je priam predurčený pre prírodovedné a technické predmety, prípadne je ho možné využiť pri rozvoji medzipredmetových vzťahov.

Základ meracieho systému tvoria jednočipové počítače - mikrokontroléry ESP32, ktoré aj keď nepredstavujú najvýkonnejšie procesory na trhu³², na druhej strane predstavujú špičku na trhu vo svojej kategórii. Zároveň sa jedná o moderné³³ a lacné mikrokontroléry, ktoré s rezervou spĺňajú nároky modernej doby. Merací systém je navrhnutý tak, aby bol možný rýchly a jednoduchý vývoj a implementácia nových senzorov. Veľkou výhodou systému je skutočnosť, že návrh nového uLAB-SENSORa nevyžaduje úpravu hardvéru a softvéru ostatných komponentov systému (uLAB-BOX, ostatné uLAB-SENSORY a pripojené mobilné zariadenia). Z uvedeného dôvodu sa bude zoznam dostupných senzorov neustále dopĺňať a aktualizovať podľa požiadaviek užívateľov a stavu implementácie senzorov s ohľadom na technické parametre dostupných komponentov.

6.3. Princípy merania fyzikálnych veličín

Na meranie fyzikálnych veličín sa používajú senzory, teda zariadenia, ktoré slúžia na prevod meranej fyzikálnej veličiny na niektorú elektrickú veličinu. Výhoda použitia takýchto senzorov spočíva v jednoduchosti spracovávania elektrického signálu a následného prevodu tohto signálu do digitálnej formy. Súčasťou inteligentných senzorov sú preto aj analógovo-digitálne prevodníky (ADC).

Senzory je možné podľa potreby externého zdroja rozdeliť na **aktívne** (nevyžadujú externý zdroj napájania) a **pasívne** (vyžadujú externý zdroj napájania). Pre každý senzor je charakteristická hodnota **rozlíšenia** (z angl. resolution), čo predstavuje najmenšiu detekovateľnú zmenu meranej veličiny. Výsledné rozlíšenie senzora závisí aj od rozlíšenia ADC, preto je potrebné venovať pozornosť výberu vhodného ADC. Ďalším dôležitým parametrom senzora je jeho **chyba merania**, ktorá môže byť statická (nezávisí od veľkosti meranej veličiny) alebo dynamická (závisí od veľkosti meranej veličiny) a závisí ako od samotného princípu merania, tak aj od použitých komponentov [43].

Senzory je možné klasifikovať podľa použitého fyzikálneho princípu prevodu meranej fyzikálnej veličiny. Pre potreby meracieho systému boli použité senzory a moduly, ktorých princípy a parametre boli popísané v kapitole 3.6.2.

³² Celkové prvenstvo vo výkone (napr. pri porovnaní MIPS - Millions of Instructions Per Second) patrí iným kategóriám procesorov, ktoré dosahujú hodnoty vyše 2 000 000 MIPS (rok 2020). Výkon procesorov sa však častejšie meria pomocou testovacích programov, tzv. benchmarkov, ktoré simulujú rôzne úlohy. Výkonnosť procesorov výrazne závisí od riešenej úlohy, preto neexistuje univerzálne porovnanie výkonu procesorov.

³³ Šanghajska spoločnosť Espressif vyrábajúca mikrokontroléry ESP32 každým rokom prináša na trh nové verzie mikrokontrolérov, ktoré obohacuje o najmodernejšie funkcie, najnovšie s dôrazom na bezpečnosť.

Súčasti MS uLAB

V súčasnosti sú v MS uLAB dostupné tieto senzory, ktoré sú súčasťou jednotiek uLAB SENSOR:

č.	senzor	princíp	farba LED
1.	senzor vzdialenosti rozsah 4m	laser ToF	modrá
2.	senzor vzdialenosti rozsah 2m	laser ToF	modrá
3.	senzor zrýchlenia a gyroskop (v osiach x, y a z)	MEMS	modrá
4.	ampérmeter obojsmerný (max 3 meracie prístroje)	shunt	červená
5.	voltmeter obojsmerný (max 2 meracie prístroje)	shunt	červená
6.	multimeter (1 voltmeter a 1 ampérmeter)	shunt	červená
7.	senzor atmosférického tlaku a teploty (absolútne hodnoty)	piezorezistivita	žltá
8.	senzor tlaku (relatívne hodnoty)	MEMS	žltá
9.	senzor sily	tenzometer	žltá
10.	senzor teploty (teplomer)	termistor	zelená
11.	senzor teploty s dvomi senzormi (teplomer)	termistor	zelená
12.	bezkontaktný teplomer	IR	zelená
13.	senzor magnetickej indukcie	Hallov jav	oranžová
14.	senzor osvetlenia (luxmeter)	fotoefekt	oranžová

Tab. 3: Zoznam dostupných senzorov systému uLAB

č.	aktuátor	princíp	farba LED
1.	generátor harmonických a obdĺžnikových kmitov	generátor	biela

Tab. 4: Zoznam dostupných aktuátorov systému uLAB



6.4. Nové trendy v oblasti školského vzdelávania

V ďalších kapitolách tejto publikácie je predstavený MS uLAB z pohľadu jeho potenciálu využitia vo vyučovacom procese pri vyučovaní prírodovedných predmetov, predovšetkým fyziky. Isté uplatnenie však nájde aj v mimoškolskej oblasti. Zmysluplné a efektívne aplikácie nových prístupov a využívaniu nových poznatkov vo vyučovaní vždy musí predchádzať detailná analýza aktuálneho stavu prírodovedného vzdelávania na konkrétnom stupni.

6.5. Analýza aktuálneho stavu prírodovedného vzdelávania

V poslednom období je viacerými odborníkmi [44] presadzované projektové vyučovanie a bádateľské prístupy vo vyučovaní. Vzhľadom na viaceré úskalia týchto prístupov sa jeho implementácia v praxi stretáva s množstvom rôznorodých problémov.

Zo skúseností možno povedať, že projektové vyučovanie sa takmer výlučne redukuje na žiacku prípravu kompilačných slohových prác s netvorivým využitím internetu, ktoré nielen že nezvyšujú kritické myslenie žiakov, ale práve naopak, pre nesmiernu náročnosť identifikovať omyly, faktické chyby, zavádzanie a hoaxy šírené predovšetkým na internete, existuje predpoklad, že takýmto prístupom sa kritické myslenie u žiakov výrazne oslabuje. Témy ktoré sú predkladané v rámci projektového vyučovania sú často veľmi komplexné a zložité, a preto si žiaci často nevedia z dostupných zdrojov vybrať tie relevantné, pričom ich možnosť overiť si správnosť informácií je výrazne obmedzená. Táto obmedzenosť sa pritom nevzťahuje iba na mládež, ale aj na dospelých, ktorí však majú výhodu – osobnú skúsenosť. Avšak ani táto výhoda často nestačí na to, aby v záplave informácií boli nájdené tie relevantné. S bádateľskými prístupmi to rovnako nie je jednoduché, nakoľko sú výrazne náročnejšie na prípravu učiteľa a jeho odbornosť, a sú osobnosťou učiteľa oveľa výraznejšie ovplyvnené. V neprospech tohto prístupu hovorí aj skutočnosť, že na realizáciu činností spojených s bádáním je potrebné aspoň minimálne vybavenie, ktoré nemusí byť z rôznych dôvodov dostupné v každej škole.

6.5.1. Školský fyzikálny experiment

Školský fyzikálny experiment je odrazom vedeckého experimentu, avšak má svoje špecifiká, ktorými sa výrazne odlišuje od vedeckého experimentu. Školský experiment sa realizuje v školskom prostredí a je zjednodušením vedeckého experimentu. Materiálne vybavenie pre realizáciu školského experimentu je podstatne zjednodušené a didakticky upravené tak, aby ho bolo možné využiť pri vyučovaní fyziky.

Funkcie školského experimentu [45]:

- **Motivačná.** Učiteľ školským experimentom navodzuje záujem u žiakov o preberané učivo.
- **Expozičná.** Experimentom sa prezentuje daný fyzikálny jav alebo zákonitosť.
- **Heuristická.** Školský experiment má pomôcť žiakovi objaviť neznáme zákonitosti, nové poznatky, javy a zákony.
- **Verifikačná.** Fyzikálnym experimentom učiteľ potvrdzuje pravdivosť preberaného učiva.

- Fixačná. Realizovaním experimentom si žiaci upevňujú preberané učivo.
- Aplikačná. Naučené poznatky žiaci aplikujú pri realizácii experimentu.
- Diagnostická. Školským experimentom učiteľ zistí úroveň porozumenia u žiakov.
- Výchovná. Experiment podporuje spoluprácu medzi žiakmi, komunikáciu a prácu v tíme.

Školský fyzikálny experiment má svoje miesto vo vyučovaní fyziky, avšak príprava experimentu je najnáročnejšia z pohľadu učiteľa a má svoje kritické miesta. Učiteľ pred zaradeným experimentom musí najprv vedieť čo je cieľom experimentu a čo chce demonštrovať experimentom. Učiteľ by nikdy nemal prezrádzať výsledok experimentu dopredu, pretože experiment tak stráca svoj motivačný účinok. Kritickým miestom je samotná realizácia experimentu na hodine, kedy experiment nemusí prebiehať podľa očakávania učiteľa, a to najmä v prípade žiackych experimentov. Preto je žiaduce, aby si každý experiment učiteľ vyskúšal pred hodinou a to s pomôckami, ktoré bude využívať na vyučovacej hodine. Medzi najdôležitejšie zásady experimentovania patrí bezpečnosť pri realizácii experimentu. Žiaci by nesmú manipulovať s nebezpečnými látkami (napr. jedy, kyseliny), otvoreným ohňom či veľmi ostrými predmetmi (napr. skalpel). Pomôcky využívané pri experimentovaní by mali byť primerané veku žiakov. Príliš časté využívanie experimentov vedie k prakticismu, teda žiaci sa sústredia len na inštrumentálnu stránku experimentovania bez zvládnutia teoretických poznatkov z fyziky. Druhým extrémom je verbalizmus, ktorý vedie k učeniu sa z knihy, čím sú žiaci ochudobnení o praktické skúsenosti a o prepojenie poznatkov s praxou.

6.5.2. Klasifikácia školských fyzikálnych experimentov

Školské experimenty možno rozdeliť do 2 základných skupín:

1. Demonštračné experimenty, ktoré realizuje učiteľ. Slúžia k motivácii, objaveniu či objasneniu nových fyzikálnych poznatkov alebo k ich overeniu. Experiment predvádza učiteľ celej triede. Charakteristickým znakom experimentu je to, že všetci žiaci sa sústredia v jednom čase na priebeh experimentu. Medzi výhody demonštračného experimentu patrí najmä nižšia časová náročnosť, keďže učiteľ vie experiment vykonať rýchlejšie ako žiaci. Oproti žiackym experimentom, má učiteľ možnosť si experiment vyskúšať vopred, čím sa podstatne minimalizuje riziko zlyhania realizácie experimentu. Učiteľ počas vyučovacej hodiny pozná pomôcky experimentu, úskalia a kritické miesta experimentu, čím sa zvyšuje pravdepodobnosť úspešného zrealizovania experimentu. Demonštračný experiment sa odporúča realizovať predovšetkým v prípade ak hrozia bezpečnostné riziká.
2. Žiacke experimenty, ktoré vykonáva žiak sám, alebo skupina žiakov v rámci vyučovacieho procesu. V porovnaní s demonštračným experimentom dochádza k rozvoju kognitívnych ale aj motorických schopností žiakov. Žiacky experiment je prostriedkom k rozvoju tvorivosti žiaka či už pri objavovaní alebo objasňovaní nových poznatkov. Žiacky experiment, na rozdiel od demonštračného experimentu je náročnejší pre učiteľa. Učiteľ musí brať ohľad na to, že experimentovať budú žiaci brať do úvahy viaceré faktory – vek, individuálne schopnosti, zručnosti, vedomosti



a poznatky žiakov. Učiteľ musí poznať aj triedu, v ktorej chce realizovať žiacke experimenty. Pre realizáciu žiackych experimentov sa odporúča najprv realizovať demonštračný experiment, počas ktorého sa žiaci oboznámia s didaktickou pomôckou, prípadne celou aparatórou.

Podľa úrovne samostatnosti môžeme rozdeliť žiacke experimenty na pokusy realizované podľa inštrukcií (návodu) učiteľa, podľa návodu v učebnici fyziky alebo podľa návrhu žiaka. Laboratórne úlohy sú spravidla náročnejšie kvantitatívne žiacke experimenty, ktoré sa realizujú na samostatných hodinách. Charakteristickým znakom je delenie triedy na viacero skupín, pričom každá skupina pracuje na rovnakej úlohe. Praktikum z fyziky je samostatný predmet, ktorý slúži k opakovaniu, prehĺbeniu a rozšíreniu získaných vedomostí.

Podľa logickej povahy experimenty delíme na kvantitatívne a kvalitatívne. Obsahom kvalitatívnych experimentov je ukážka existencie a popis fyzikálneho javu. Pri kvalitatívnych experimentoch určujeme kvalitatívnu charakteristiku fyzikálneho javu. Účelom kvalitatívnych experimentov je zisťovanie fyzikálnych zákonitostí a ich vyjadrenie vo forme fyzikálnych zákonov. Meranie je činnosť, ktorá sa realizuje pomocou kvantitatívnych experimentov, ktorých výsledkom je zistenie hodnôt meraných fyzikálnych veličín.

6.6. Identifikácia problémov projektového vyučovania a bádateľského prístupu

Vychádzajúc zo základných princípov, ktoré rozpracovali John Dewey a William Kilpatrick [46] sa pokúsime analyzovať charakteristiku tejto formy a identifikovať problémy, ktoré sa vyskytujú v praxi. Zároveň navrhujeme možné riešenia založené na využití moderných technológií, ktoré môžu byť použité pri minimalizácii negatívnych dopadov.

Charakteristika projektového vyučovania: Projektové vyučovanie by sme mohli označiť ako praktickú činnosť žiaka, pri ktorej žiak rieši učiteľom nastolený problém, ktoré vedie k praktickej (manuálnej), ale aj teoretickej (rozumovej) činnosti žiaka. Vedomosti sú nadobúdané riešením praktických úloh, záverom ktorých je pojmotvorný proces. Táto forma nesie v sebe tieto znaky:

- žiak pracuje na úlohe samostatne prípadne s využitím pomoci učiteľa, rodiča alebo inej osoby
- pri využívaní projektového vyučovania sa prihliada na individuálne schopnosti žiaka voľbou vhodnej obťažnosti úlohy
- rozvíjajú sa vôľovo-osobnostné vlastnosti žiaka ako sú vytrvalosť, cieľavedomosť, dôslednosť, zodpovednosť, komunikatívnosť, ctížiadosť, odhodlanie a pod.
- riešenie úloh projektového vyučovania rozvíja medzipredmetové vzťahy

Problém:

V praxi je tento rozmer často redukovaný iba na pojmotvorný proces, pri ktorom sa rozvíjajú nižšie kognitívne procesy bez realizácie praktických úloh. Znamená to, že úsilie žiakov je nasmerované iba na teoretické poznatky bez nadväznosti na praktickú oblasť, čo sa zvykne označovať ako formálne vzdelávanie. Vynechanie praktickej, resp. experimentálnej

časti výrazným spôsobom negatívne ovplyvňuje splnenie viacerých cieľov. Napríklad bez experimentálnej časti často nie je možné vyhodnotiť úlohu, resp. vyvodiť závery. Najzávažnejším problémom však zostáva skutočnosť, že žiaci takto nezískajú celý rad kompetencií a skúseností a výrazne obmedzený je aj rozvoj kritického myslenia. Jedným z častých problémov je nadmerná pomoc rodiča, či presun realizácie praktickej časti projektu na rodiča. Rodič zaujme rolu žiaka, urobí úlohu a žiak sa len pasívne zúčastňuje pri praktickej časti.

Príčiny problému a možné riešenia: Existuje viacero príčin a možných návrhov riešenia tohto problému. Nasadením meracieho systému uLAB je možné efektívne riešiť veľkú časť vzniknutých problémov nasledujúcim spôsobom:

1. nedostatok technického a materiálneho vybavenia na škole, prípadne nepriaznivé finančné možnosti školy neumožňujúce zakúpenie drahých komerčných učebných pomôcok
 - samotný MS predstavuje univerzálny nástroj – učebnú pomôcku určenú na meranie fyzikálnych veličín; MS uLAB môže byť úspešne využívaný pri riešení úloh projektového vyučovania a to ako samostatne, tak aj s využitím ďalších pomôcok
 - MS uLAB bol navrhnutý tak, aby minimalizoval jeho finančnú záťaž pre školy; nízka cena komponentov systému sa však neodrazila negatívne ani na jeho kvalite ani na jeho parametroch
2. nedostatočná odborná erudícia vyučujúceho a nedostatok vhodnej literatúry
 - jednoduchá obsluha MS uLAB, ako aj jeho minimalistický dizajn umožňuje systém využívať už po krátkej inštrukcii, čo výrazne zjednodušuje jeho využitie v praxi
 - modulárnosť systému zase umožňuje pridávanie ďalších komponentov bez nutnosti zdĺhavého štúdia dodatočných informácií
 - súčasťou tejto publikácie je súbor úloh, aktivít a inšpirácií, ktorý môže byť využitý pri realizácii projektového vyučovania či bádateľsky orientovanej výučby
3. nedostatočná manuálna zručnosť žiakov
 - v poslednom období možno pozorovať zníženie záujmu žiakov o manuálne činnosti, čo má za následok aj zníženie ich motorických kompetencií; výberom vhodnej náročnosti zadávaných úloh je možné motivovať žiakov ak k manuálnej činnosti
 - pri súbore úloh sú jednotlivé úlohy označené symbolom náročnosti, čo môže poslúžiť ako pomôcka pre učiteľa pri prideľovaní úloh žiakom (viď. Kapitolu A.7)
4. zvýšená časová náročnosť realizácie experimentu s komerčnými MS
 - modulárnosť systému znižuje náročnosť prípravy ako učiteľa, tak aj žiaka, predovšetkým po technickej stránke
 - MS uLAB pre svoju činnosť vyžaduje mobilné zariadenie (tablet, smartfón, notebook alebo PC), pričom sa očakáva, že žiaci a učitelia už majú zvládnuté základy ovládania týchto zariadení na úrovni, ktorú vyžaduje MS uLAB



- nie je nutná žiadna inštalácia softvéru na tieto zariadenia, použitý je iba softvér, ktorý je súčasťou OS použitého zariadenia
 - nie je nutná komplikovaná inštalácia hardvéru, nakoľko inštalácia hardvéru spočíva iba v pripojení napájania systému, v káblovom prepojení súčasti systému (uLAB BOX a uLAB SENSORY) a v pripojení sa užívateľa k WiFi sieti meracieho systému
 - existencia súboru úloh v tejto publikácii môže ušetriť čas na prípravu ako pre učiteľa, tak aj žiaka
5. možné bezpečnostné riziká pri realizácii experimentov klasickým spôsobom
- všetky súčasti MS uLAB pracujú s nízkym napätím (do 20V), pričom riziko úrazu je výrazne minimalizované vďaka ergonomickému a účelnému návrhu jednotlivých komponentov
 - v prípade zadania úlohy projektového vyučovania hrozí riziko, že žiak siahne po pomôckach, ktoré môžu znamenať bezpečnostné riziko (napríklad vznik požiaru, úraz a pod.), avšak vďaka využitiu MS uLAB sa toto riziko výrazne redukuje, z dôvodu zníženia požiadaviek na dodatočné vybavenie

6.7. Inštrukcie k práci so súborom laboratórnych úloh

Jednotlivé úlohy sú navrhnuté tak, aby tvorili ucelené činnosti s možnosťou rozšírenia zadania či zmeny usporiadania experimentu. Pri výbere laboratórnych úloh zohrávala úlohu požiadavka na ich vyváženosť, a preto sa v zozname spracovaných laboratórnych úloh nachádzajú úlohy z rôznych oblastí fyziky s rôznou úrovňou obťažnosti. Úlohy sú koncipované tak, aby pokrývali širšie spektrum vedomostí, a preto, i keď existuje istá tematická nadväznosť, je teoretická časť (A) oddelená od praktickej časti (A.7). Zvládnutie experimentálnej úlohy preto predpokladá ovládanie poznatkov z teoretickej časti.

6.7.1. Atribúty laboratórnych úloh

Pre lepšiu orientáciu učiteľa pri výbere a zadávaní úloh, každá úloha je identifikovaná prehľadným systémom atribútov (viď s. 96):

- **Náročnosť** vypovedá o celkovej zložitosti a komplexnosti úlohy, do ktorej je predovšetkým zahrnuté:
 - úroveň kompetencií potrebných na úspešné riešenie úlohy (napríklad využitie matematického aparátu, využitie počítača a softvérových nástrojov, spolupráca viacerých osôb pri meraní a pod.).
 - úroveň zručností práce s experimentálnymi zariadeniami a prístrojmi.
- **Čas** prípravy a samotnej realizácie úlohy.
- **Oblasť.** V Štátnom vzdelávacom programe ISCED 2 a ISCED 3 v oblasti Človek a príroda [3] sa primárne orientujeme na vyučovací predmet fyzika s možným rozšírením na chémiu a biológiu, ale aj na ďalšie oblasti, napríklad na predmety matematika, geografia, informatika či na predmet telesná a športová výchova.

6.7.2. Základná charakteristika úloh

Súbor laboratórných cvičení je zoradený podľa oblastí, pričom úlohy v rámci jednej oblasti sú zoradené podľa stúpajúcej náročnosti. Laboratórne cvičenia majú jednotnú štruktúru, ktorú tvoria tieto časti: Rozbor, Úloha, *Bezpečnosť*, Pomôcky, Usporiadanie, Postup, Spracovanie, *Varianty*, Zhodnotenie a Poznámky. Časti uvedené kurzívou nie sú povinné a nevyskytujú sa preto pri každej úlohe. Šablóna laboratórných cvičení s vysvetlením jednotlivých častí je uvedená na strane 96.

Vzhľadom na to, že prakticky všetky laboratórne cvičenia využívajú merací systém uLAB, na začiatku každého merania je potrebná jeho príprava, ktorá spočíva v týchto krokoch:

1. napájanie systému uLAB
 - na napájanie systému uLAB sa môže použiť USB sieťový adaptér, powerbanka alebo počítač s USB portom
 - prepojenie s uLAB BOXom sa realizuje prostredníctvom štandardného USB kábla, ktorého micro USB/USB-C konektor sa zasunie do uLAB BOXu
2. pripojenie mobilného zariadenia (počítača, mobilu alebo smartfónu) k bezdrôtovej Wi-Fi sieti uLAB BOXu, pričom prihlasovacie údaje sú zobrazené na displeji uLAB BOXu (uLAB BOX plní zároveň funkciu Wi-Fi smerovača – Access Pointu)
3. zadanie IP adresy zobrazenej na displeji uLAB BOXu do internetového prehliadača a načítanie webovej stránky (táto stránka je úvodnou stránkou webu, ktorý predstavuje grafické rozhranie meracieho systému uLAB)
4. pripojenie vybraných senzorov uLAB SENSOR zasunutím konektora senzora do uLAB BOXu

V opise postupu tieto kroky nie sú uvedené, avšak vždy musia byť vykonané. Ich vykonanie za predpokladu pripravenosti mobilného zariadenia trvá spravidla menej ako jednu minútu.

Poznámka: Sensory môžu byť k uLAB BOXu pripojené aj pred pripojením napájania, v takom prípade sa na displeji už nezobrazí informácia o pripojení, ale je zobrazená iba informácia o pripojených senzoch a stave systému. Informácie o spôsobe pripojenia, prístupových informáciách a stave systému (napr. počet pripojených zariadení a senzorov, prípadne čas) je možné podľa potreby prepínať pomocou dotykových tlačidiel nachádzajúcim sa na vrchnom paneli uLAB BOXu.



A. Teoretická príprava

A.1. Mechanika

Mechanika je odbor fyziky, ktorý sa zaoberá zákonmi, príčinami a následkami mechanického pohybu. Pod mechanickým pohybom rozumieme zmenu polohy telesa v čase. Mechaniku najčastejšie delíme na **kinematiku** (skúma dráhu pohybu, rýchlosť a zrýchlenie) a **dynamiku** (skúma príčiny pohybu telesa).

Pohyby delíme podľa:

1. trajektórie na:
 - a) priamočiary
 - b) krivočiary (napríklad pohyb po kružnici, alebo po inej trajektórii)
2. zrýchlenia na:
 - a) rovnomerný pohyb (veľkosť rýchlosti je konštantná)
 - b) zrýchlený pohyb, ktorý môže mať konštantné, alebo s časom sa meniace zrýchlenie
3. periodicity na:
 - a) periodické pohyby, ktoré sa pravidelne opakujú
 - b) neperiodické pohyby

Pri skúmaní pohybu telesa definujeme rýchlosť telesa ako časovú zmenu jeho polohy:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (\text{A.1.1})$$

Rýchlosť v má význam priemernej rýchlosti v úseku dráhy Δs a udáva sa v jednotkách m/s alebo km/s . Okamžitú rýchlosť možno vyjadriť v limitnom prípade skrátene časového intervalu. Ak sa teleso pohybuje rovnomerne, znamená to, že za každý rovnaký časový interval teleso prejde rovnakú vzdialenosť:

$$\Delta s = v \cdot \Delta t \quad (\text{A.1.2})$$

V prípade krivočiareho pohybu bude objekt meniť svoj smer, a preto je vhodné zaviesť tzv. polohový vektor $\Delta \vec{r}$, ktorý spája počiatok súradnicovej sústavy s ťažiskom telesa, preto aj rýchlosť bude mať vektorový charakter, čo zohľadňuje nasledujúca rovnica:

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \quad (\text{A.1.3})$$

V prípade, ak rýchlosť nie je konštantná, môžeme definovať zrýchlenie a ako časovú zmenu rýchlosti:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (\text{A.1.4})$$

Ak sa objekt pohybuje priamočiarym zrýchleným pohybom s konštantným zrýchlením, tak takýto pohyb nazývame rovnomerne zrýchlený/spomalený pohyb, ktorého rýchlosť sa bude s časom priamo úmerne zvyšovať/znižovať a rýchlosť je možné v tomto prípade napísať ako funkciu času:

$$v = v_0 + a \cdot t \quad (\text{A.1.5})$$

Pre dráhu telesa pohybujúceho sa priamočiaro s konštantným zrýchlením platí:

$$s = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + s_0, \quad (\text{A.1.6})$$

kde v_0 je počiatočná rýchlosť telesa (rýchlosť v čase $t = 0s$) a s_0 je počiatočná dráha telesa (vzdialenosť od počiatku súradnicovej sústavy rýchlosť v čase $t = 0s$). Voľný pád telies v gravitačnom poli má charakter rovnomerne zrýchleného pohybu. V prípade gravitačného poľa Zeme zohľadniac odstredivú silu pri jej rotácii je zrýchlenie rovné tzv. tiažovému zrýchleniu $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

A.2. Mechanika – dynamika

Už v 17. storočí sformuloval Isaac Newton pohybové zákony, ktoré dnes poznáme ako 3 Newtonove pohybové zákony:

1. **zákon zotrvačnosti:**

Teleso zotráva v pokoji alebo rovnomernom priamočiarom pohybe, dokiaľ nie je nútené vonkajšími silami tento stav zmeniť.

2. **zákon sily:**

Ak na teleso pôsobí sila, teleso sa pohybuje zrýchlením, ktoré je priamo úmerné pôsobiacej sile a nepriamo úmerné hmotnosti telesa. To sa dá chápať aj tak, že ak sa teleso s hmotnosťou m pohybuje so zrýchlením \vec{a} , potom naň pôsobí sila

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad (\text{A.2.1})$$

Jednotkou sily je newton ($N = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)

3. **Zákon akcie a reakcie:**

Dve telesá na seba pôsobia rovnako veľkými silami opačného smeru, ktoré súčasne vznikajú a súčasne zanikajú.

Ak sa teleso hmotnosti m pohybuje rýchlosťou v , také teleso sa vyznačuje **hybnosťou**

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v} \quad (\text{A.2.2})$$

Zmenu hybnosti spôsobuje impulz sily

$$\vec{I} = \vec{F} \cdot t, \quad (\text{A.2.3})$$

pričom platí $\Delta\vec{p} = \Delta\vec{I}$, alebo $m \cdot \Delta\vec{v} = \vec{F} \cdot \Delta t$.

Pri premiestnení telesa na dráhe s pôsobením sily F sa vykonala **mechanická práca**

$$W = F \cdot s, \text{ alebo všeobecne } \Delta W = \vec{F} \cdot \Delta\vec{r} \quad (\text{A.2.4})$$

Táto práca sa rovná zmene mechanickej energie. Ak na teleso v pokoji (vzhľadom na nejakú inerciálnu sústavu) začne pôsobiť vonkajšia sila, teleso sa začne pohybovať so zrýchlením a po istom čase nadobudne rýchlosť v . Práca vonkajšej sily sa v prípade izolovanej sústavy použije na zvýšenie tzv. **kinetickej energie** telesa, ktorá je úmerná hmotnosti telesa a štvorcu rýchlosti

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (\text{A.2.5})$$



Ak sa teleso hmotnosti m nachádza v gravitačnom poli Zeme, na takéto teleso pôsobí tiažová sila, ktorú dostaneme z A.2.1, ak si za zrýchlenie dosadíme tiažové zrýchlenie g

$$F_g = m \cdot g \quad (\text{A.2.6})$$

Na zdvihnutie telesa o Δh v homogénnom gravitačnom poli musíme vykonať prácu $W_g = F_g \cdot \Delta h$. Vzhľadom na referenčný bod, nachádzajúci sa napríklad na podložke, od ktorého budeme merať výšku h , môžeme vyjadriť **potenciálnu energiu**

$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad (\text{A.2.7})$$

Pri voľnom páde telesa z výšky h sa začne premieňať potenciálna energia na kinetickú. Zo zákona zachovania energie by sa preto všetka potenciálna energia mala tesne pred dopadom telesa na podložku premeniť na kinetickú energiu.

Vzťah A.2.5 platí pre translačný (posuvný) pohyb. V prípade, ak teleso rotuje s uhlovou rýchlosťou ω , môžeme vyjadriť rotačnú zložku kinetickej energie vzhľadom na os rotácie ako súčet kinetických energií všetkých elementov m_i rotujúceho telesa:

$$E_k = \sum_i \frac{1}{2} m_i v^2 = \sum_i \frac{1}{2} m_i (\omega r_i)^2 = \frac{1}{2} \omega^2 \underbrace{\sum_i m_i r_i^2}_I = \frac{1}{2} I \omega^2, \quad (\text{A.2.8})$$

kde I je **moment zotrvačnosti** vzhľadom na danú os rotácie. Rozmer momentu zotrvačnosti je $kg \cdot m^2$. Tento moment zotrvačnosti je možné v prípade pravidelných homogénnych telies presne vypočítať³⁴. V nasledujúcej tabuľke sú uvedené momenty zotrvačnosti niektorých pravidelných telies:

Teleso	Tyč dĺžky l	Štvorec so stranou a	Kruhový disk s polomerom r	Guľa polomeru r	Valec polomeru r
znázornenie					
Moment zotrvačnosti	$\frac{ml^2}{12}$	$\frac{ma^2}{12}$	$\frac{mr^2}{2}$	$\frac{2}{5}mr^2$	$\frac{mr^2}{2}$

Tab. 5: Momenty zotrvačnosti niektorých pravidelných telies vzhľadom na označené osi

V prípade, ak os otáčania neprechádza ťažiskom, je možné vyjadriť moment zotrvačnosti s využitím tzv. Steinerovej vety:

$$I = I_0 + mr^2, \quad (\text{A.2.9})$$

³⁴ Moment zotrvačnosti pravidelných telies je možné vypočítať pomocou integrálov, keď moment zotrvačnosti I vyjadrený ako súčet konečného počtu elementov telesa $I = \sum_i m_i r_i^2$ prevedieme na integrál $I = \int_M r^2 dm$, v ktorom sčítame nekonečne veľký počet inifinitesimalných elementov dm telesa s celkovou hmotnosťou M .

kde r je vzdialenosť osi otáčania od ťažiska a m je hmotnosť telesa.

Pri posúvaní telesa po podložke na teleso pôsobí **tracia sila**, ktorá má opačný smer ako smer pohybu telesa. Trecia sila je úmerná tlakovej sile F_N s konštantou úmernosti f , ktorá má názov **koeficient šmykového trenia**:

$$F_t = f \cdot F_N \quad (\text{A.2.10})$$

Tlaková sila F_N má smer kolmý na podložku. Ak sa rotačné teleso s polomerom R odvaľuje po podložke, na teleso pôsobí valivá trecia sila

$$F_t = \frac{\xi \cdot F_N}{R}, \quad (\text{A.2.11})$$

kde ξ je koeficient valivého trenia.

Ak sa hmotný bod pohybuje po kružnici, potom jeho rýchlosť má smer dotyčnice. Ak sa veľkosť rýchlosti hmotného bodu po kružnici nebude meniť, potom hovoríme o rovnomernom **pohybe po kružnici**. To znamená, že dráha s časom lineárne rastie. Vzhľadom na to, že dráha l vyjadrená ako dĺžka oblúka závisí od uhla α : $l = R \cdot \alpha$, kde R je polomer kružnice. Potom s časom lineárne rastie aj uhol, pričom môžeme vyjadriť tzv. uhlovú rýchlosť ω :

$$\omega = \frac{\alpha}{t} \quad (\text{A.2.12})$$

Zrýchlenie takého hmotného bodu bude nenulové, aj keď sa veľkosť obvodovej rýchlosti nemení, pretože rozdiel vektorov rýchlosti nebude nulový. V prípade konštantnej obvodovej rýchlosti môžeme pre veľkosť zrýchlenia napísať:

$$a_d = \frac{v^2}{R} \quad (\text{A.2.13})$$

Na teleso s hmotnosťou m preto pôsobí dostredivá sila s dostredivým zrýchlením a_d . V neinerciálnej sústave spojennej s hmotným bodom sa objaví opačne orientovaná zotrvačná sila, ktorú nazývame **odstredivá sila**, ktorú s využitím A.2.1 zapíšeme

$$F_o = m \frac{v^2}{R} \quad (\text{A.2.14})$$

Ak sa teleso pohybuje v tekutine rýchlosťou v , potom naň pôsobí odporová sila F_r , ktorá v závislosti od rýchlosti môže mať dve podoby:

$$F_{rx} = \frac{1}{2} C_x \rho S v^2, \quad (\text{A.2.15})$$

kde η je dynamická viskozita, r je polomer sférického telesa, v je rýchlosť, ρ je hustota tekutiny a S je čelný prierez telesa. C_x je koeficient dynamického odporu, ktorý závisí od tvaru telesa a od tzv. Reynoldsovho čísla Re , čo je bezrozmerná veličina používaná v hydrodynamike a aerodynamike, ktorá dáva do vzájomného pomeru dynamické a viskózne sily pôsobiace pri prúde tekutín. Podľa tohto čísla je možné určiť o aký typ prúdenia ide (laminárne pre $Re < 2300$ alebo turbulентné pre $Re > 2900$).



A.3. Mechanika – kmity

Periodický dej je taký dej, ktorý sa opakuje po uplynutí periódy T . Pri takom deji dochádza k periodickej zmene nejakej veličiny ako funkcie času, napríklad $y(t)$.

Kmitanie alebo oscilácia je príkladom periodického deja, ktorý popisuje pohyb hmotného bodu, ktorý sa začne periodicky pohybovať po vychýlení z tzv. rovnovážnej polohy. Jedno opakovanie deja sa nazýva **kmit**. Pohyb medzi dvomi krajnými bodmi sa nazýva **kyv**.

Najjednoduchšími príkladmi kmitania sú:

1. kmitanie matematického kyvadla
2. kmitanie telesa na pružine

Obidva tieto prípady v ideálnom prípade predstavujú tzv. harmonické oscilátory vykonávajúce **harmonické kmity**, ktoré možno popísať pomocou funkcie sínus alebo kosínus. Výchylku týchto kmitov $y(t)$ možno vyjadriť

$$y(t) = y_m \sin(\omega t + \varphi_0) = y_m \cos(\omega t + \psi_0), \quad (\text{A.3.1})$$

kde y_m je **amplitúda** (maximálna výchylka) kmitavého pohybu, $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$ je uhlová frekvencia a udáva sa v jednotkách rad/s a má rozmer s^{-1} . T je perióda udávaná v sekundách a f je frekvencia, ktorá má jednotku $Hz = s^{-1}$. Frekvencia vyjadruje počet kmitov za jednu sekundu. Konštanty φ_0 a ψ_0 sa nazývajú začiatočná fáza kmitavého pohybu a určujú výchylku kmitavého pohybu v čase $t = 0s$, teda $y_0 = y_m \sin(\varphi_0) = y_m \cos(\psi_0)$.

Pri kmitaní matematického kyvadla dochádza k premene kinetickej energie na potenciálnu a opačne. Po vychýlení telesa sa bude toto teleso nachádzať v najvyššom bode, teda v bode, v ktorom bude mať najvyššiu potenciálnu energiu. Po uvoľnení telesa sa začne pohybovať a jeho kinetická energia sa začne zvyšovať z nulovej hodnoty. V rovnovážnej polohe bude mať teleso maximálnu kinetickú energiu a minimálnu (nulovú) potenciálnu energiu. Potenciálna energia sa začne od tohto okamihu zvyšovať na úkor kinetickej energie až do okamihu, keď sa teleso dostane do druhej krajnej polohy s maximálnou potenciálnou energiou a nulovou kinetickou energiou, pretože sa v tejto polohe teleso na okamih zastaví. Pre periódu matematického kyvadla s dĺžkou kyvadla l a tiažovým zrýchlením g približne³⁵ platí

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (\text{A.3.2})$$

V prípade kmitania telesa na pružine dochádza k vzájomnej premene kinetickej energie telesa na deformačnú energiu pružiny a opačne. Periódu kmitov T telesa s hmotnosťou m kmitajúcom na pružine tuhosti k možno vyjadriť vzťahom

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}, \quad (\text{A.3.3})$$

³⁵ Toto priblíženie je možné spraviť za predpokladu, že výchylka kyvadla bude malá, vtedy je $\sin(x) \approx x$.

pričom **tuhosť pružiny** k vyjadruje vzťah medzi deformačnou silou F a predĺžením pružiny x nasledovne:

$$F = k \cdot x \quad (\text{A.3.4})$$

Vzťah A.3.3 približne platí aj v prípade, ak je v gravitačnom poli na pružine zavesené závažie.

A.4. Termodynamika

Termodynamika popisuje zákonitosti tepelných javov.

Tepló je forma výmeny energie medzi telesami, resp. telesom a jeho okolím, s rôznou teplotou. Prijaté alebo odovzdané teplo sa prejaví zmenou vnútornej energie alebo vykonanou mechanickou prácou.. Značka tepla je Q , jednotkou je J (Joule, čítaj *Džaul*).

Teplota predstavuje stavovú veličinu telesa, ktorá súvisí s pohybom jeho stavebných častíc ako sú atómy alebo molekuly. Značka teploty je t , jednotkou je °C (stupeň Celzia). Termodynamická teplota T má jednotku K (Kelvin), pričom obe stupnice majú rovnaký dielik, pričom 0°C zodpovedá 273,15K, a teda na prevod teploty v kelvinoch na teplotu v °C slúži tento vzťah:

$$\{t\} = \{T\} - 273,15 \quad (\text{A.4.1})$$

Z uvedeného vyplýva, že $\Delta t = \Delta T$. Ak dodáme telesu energiu, zvýši sa kinetická energia jeho stavebných častíc a tým aj jeho teplota. Čím viac tepla prijme teleso, tým viac sa zvýši jeho teplota. Túto lineárnu závislosť je možné vyjadriť nasledujúcim vzťahom:

$$Q = C \cdot \Delta T \quad (\text{A.4.2})$$

C predstavuje konštantu úmernosti, ktorú nazývame **tepelná kapacita**³⁶. Udáva sa v jednotkách $J/^\circ C$, alebo J/K ($J \cdot K^{-1}$). Inými slovami, tepelná kapacita predstavuje teplo, ktoré je potrebné dodať telesu, aby sa jeho teplota zvýšila o 1°C (1K). Čím väčšie množstvo látky (vyššiu hmotnosť) budeme ohrievať, tým viac tepla budeme potrebovať na ohriatie látky o 1°C, teda $C = m \cdot c$, čo môžeme zapísať:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T, \quad (\text{A.4.3})$$

kde konštantu c sa nazýva **hmotnostná tepelná kapacita** a má význam množstva tepla, ktoré musí prijať 1kg látky, aby sa ohrial o 1°C. Hmotnostná tepelná kapacita je materiálovou konštantou a nemusí byť pre všetky látky rovnaká.

Pri tepelných javoch zavádzame pojem izolovanej sústavy, ktorá neumožňuje výmenu tepla medzi sústavou a okolím. Ku odovzdávaniu tepla v izolovanej sústave dochádza iba v prípade, ak telesá nemajú rovnakú teplotu. V takom prípade teplejšie teleso odovzdáva teplo chladnejšiemu telesu až dokiaľ sa nedosiahne tepelná rovnováha (teplota všetkých telies v izolovanej sústave dosiahne rovnakú hodnotu).

³⁶ Tepelná kapacita závisí od toho, či sa súčasne koná práca, najmä u plynov, kde sa odlišujú tepelné kapacity pri konštantnom objeme (nekoná sa práca) a pri konštantnom tlaku.



Výkon predstavuje množstvo energie (tepla) ΔQ dodanej alebo odovzdanej za jednotku času Δt . Značka výkonu je P , jednotkou je $W = J \cdot s^{-1}$ (Watt).

$$P = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (\text{A.4.4})$$

Ak je výkon konštantný, potom je množstvo tepla úmerné času:

$$\Delta Q = P \cdot \Delta t \quad (\text{A.4.5})$$

Účinnosť vyjadruje pomer množstva energie, ktorá slúži na užitočnú činnosť P k celkovému výkonu P_p (v prípade elektrických zariadení sa takto označuje príkon). Značka účinnosti je η a spravidla sa vyjadruje v percentách:

$$\eta = \frac{P}{P_p} \cdot 100\% \quad (\text{A.4.6})$$

A.5. Termodynamika – zmena skupenstva

Čo je to skupenstvo:

Skupenstvo je štruktúrna charakteristika stavu látky v závislosti od teploty a tlaku. Látka sa môže nachádzať v týchto skupenstvách:

1. **Pevné** (tuhé) skupenstvo
2. **Kvapalné** skupenstvo
3. **Plynné** skupenstvo
4. **Plazma**

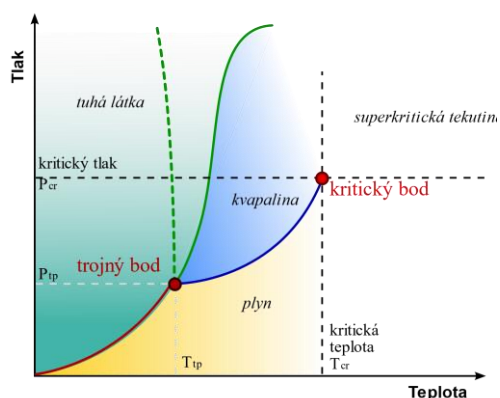
Tieto skupenstvá v ideálnom stave majú rôzne fyzikálne vlastnosti:

Skupenstvo	Usporiadanie častíc	Tvar	Objem (stlačiteľnosť)
Pevné	Častice na seba vzájomne pôsobia trvalou silou a nemôžu sa v látke voľne pohybovať, iba vibrovať okolo rovnovážnych polôh	Bez pôsobenia vonkajších síl sa zachováva (pôsobením vonkajších síl sa môžu deformovať)	Bez pôsobenia vonkajších síl sa zachováva
Kvapalné	Častice na seba vzájomne pôsobia trvalou silou, ale môžu meniť vzájomnú polohu	Nezachováva sa, prispôsobuje sa tvaru nádoby	Zachováva sa, telesá sú iba málo stlačiteľné (v praktických prípadoch sa často považujú za nestlačiteľné)
Plynné	Častice sú voľné, pričom môže dochádzať k zrážkam (vzájomným)	Nezachováva sa, rozopne sa do	Nezachováva sa, telesá sú v prípade ideálneho plynu

	i so stenami). Častice na seba vzájomne pôsobia iba počas zrážok.	celého uzavretého objemu nádoby	dokonale stlačiteľné
Plazma	Má vlastnosti podobné plynom s tým rozdielom, že stavebné častice plazmy nie sú neutrálne atómy alebo molekuly, ale plazmu tvoria ionizované častice (atómy), a je teda vodivá.		

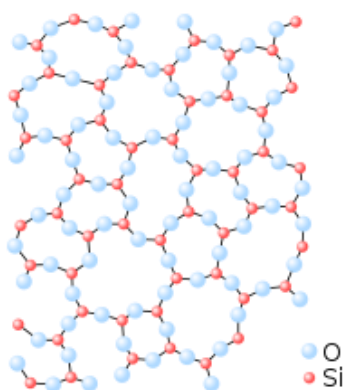
Skupenstvo, v ktorej sa látka nachádza, závisí od tzv. stavových veličín, ktoré sú teplota a tlak. V závislosti od týchto stavových veličín možno vytvoriť fázový diagram látky. Fázový diagram vody je znázornený na Obr. 47. V každom bode so súradnicami teploty a tlaku je možné určiť jej skupenstvo.

Obr. 47: Fázový diagram látok (čiarkovane zelenou farbou znázornená anomálna krivka topenia vody)

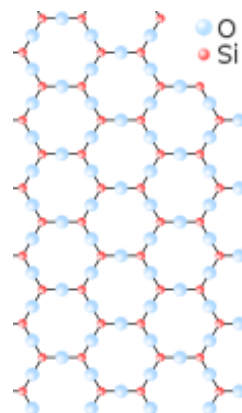


Poznámky:

- Kvapalné a plynné látky sa nazývajú aj **tekutiny**.
- Látky majú svoje skupenstvo určené dvojicou stavových veličín a to **teplotou a tlakom**.
- Rôzne skupenstvá tej istej látky sa nazývajú **fázy**.
- Tuhé látky môžu mať buď **kryštalické** usporiadanie (pravidelnosť štruktúry na veľké vzdialenosti), alebo **amorfné** usporiadanie (pravidelnosť štruktúry na krátke vzdialenosti) viď Obr. 48.



Obr. 48: a) amorfné usporiadanie

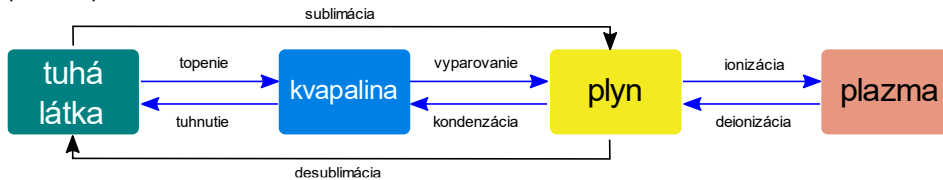


b) kryštalické usporiadanie [47]

- Skupenstvo látok popisuje **fázový diagram**, ktorý pre každú kombináciu stavových veličín definuje skupenstvo. Vo fázovom diagrame sa vyskytujú čiary (krivky), v ktorých sa látka vyskytuje v dvoch fázach, ktoré sú v rovnováhe; tri fázy koexistujú v rovnováhe v tzv. trojnóm bode.
- **Tekuté kryštály** (angl. Liquid Crystals) sú špeciálne prípady tuhých látok, ktoré majú široké využitie v priemysle napríklad pri výrobe displejov.

Zmeny skupenstva:

Zmenou fyzikálnych veličín možno skupenstvo meniť podľa nasledujúcej schémy (Obr. 49):



Obr. 49: Zmeny skupenstva

Teplo, ktoré je potrebné na zmenu skupenstva látky s hmotnosťou m sa označuje ako **skupenské teplo**, ktoré je možné vyjadriť:

$$L = m \cdot l, \quad (\text{A.5.1})$$

kde l je **hmotnostné skupenské teplo**. Ak dochádza k skupenskej premene tuhej fázy na kvapalnú (a opačne), hovoríme o skupenskom teple topenia (tuhnutia) L_t . Ak dochádza k premene kvapalnej fázy na plynnú (a opačne), hovoríme o skupenskom teple vyparovania (kondenzácie) L_v . Ak dochádza k premene tuhého skupenstva na plynné (a opačne), hovoríme o skupenskom teple sublimácie (desublimácie) L_s .

Na meranie skupenského tepla topenia slúži zmiešavací kalorimeter, ktorý spravidla tvorí tepelne izolovaná nádoba s miešačkou (Obr. 61, s. 132). Pri určovaní skupenského tepla topenia je potrebné do vnútornej nádoby kalorimetra umiestniť látku A tuhého/kvapalného skupenstva, ktorému dodá/odoberie teplo iná látka B (ľubovoľného skupenstva) vďaka čomu dôjde k zmene skupenstva (roztopeniu/stuhnutiu) látky A. Po dosiahnutí tepelnej rovnováhy (neprebíha tepelná výmena medzi komponentmi sústavy) možno napísať kalorimetrickú rovnicu, ktorá vychádza zo zákona o zachovaní tepelnej energie, z ktorej na základe známych veličín možno určiť skupenské teplo topenia/tuhnutia.

$$Q_1 = Q_2 \quad (\text{A.5.2})$$

Na ľavej strane je teplo Q_1 , ktoré odovzdávajú všetky telesá v sústave a na pravej strane je teplo Q_2 , ktoré prijímajú všetky telesá v sústave. Do kalorimetrickej rovnice vstupuje okrem tepla látok, ktoré vkladáme do vnútornej nádoby, aj teplo, ktoré prijíma resp. odovzdáva vnútorná nádoba kalorimetra. Vonkajšia nádoba kalorimetra tepelne izolovaná od vnútornej sa na tepelnej výmene nezúčastňuje. Ak sústava pozostáva z viacerých telies, prípadne ak zmenou skupenstva sa zmenia tepelné vlastnosti viacerých telies, je možné túto rovnicu prepísať na všeobecnejší tvar:

$$\sum Q_i = \sum Q_j \quad (\text{A.5.3})$$

A.6. Stavová rovnica plynu

Ideálny plyn (dokonalý plyn) predstavuje taký plyn, pri ktorom sa neuvažuje so vzájomným pôsobením jeho stavebných častíc. Pre takýto plyn platí, že pre rovnaké množstvo plynu je súčin stavových veličín tlaku p a objemu V predelený termodynamickou teplotou T vždy konštantný:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{const} \quad (\text{A.6.1})$$

Pre to isté množstvo plynu teda musí platiť:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \quad (\text{A.6.2})$$

Ak rozšírime túto vlastnosť na ľubovoľné látkové množstvo n udávané v moloch, dostaneme tzv. stavovú rovnicu pre ideálny plyn:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T, \quad (\text{A.6.3})$$

kde R je tzv. univerzálna plynová konštanta ($R = 8,314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$). Stavovú rovnicu je možné vyjadriť aj v tvare:

$$p \cdot V = N \cdot k_B \cdot T, \quad (\text{A.6.4})$$

kde k_B je tzv. Boltzmannova konštanta ($k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$) a N je počet častíc plynu. Reálne plyny sa k tejto závislosti približujú pri vysokých teplotách a nízkych tlakoch. Zmena jednej stavovej veličiny vyvoláva nutne zmenu aspoň jednej ďalšej stavovej veličiny.

V prípade, že sa jedna stavová veličina nemení, rozlišujeme tieto deje:

1. **izobarický** dej, ak $p_1 = p_2$, potom $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$
2. **izotermický** dej, ak $T_1 = T_2$, potom $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$
3. **izochorický** dej, ak $V_1 = V_2$, potom $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

Ak nedochádza k výmene tepla medzi látkou a okolím, hovoríme o **adiabatickom** deji. Inými slovami, dochádza iba k premene práce na vnútornú energiu a opačne. Pre ideálny plyn potom platí Poissonova rovnica:

$$p \cdot V^\kappa = \text{const}, \quad (\text{A.6.5})$$

kde κ je bezrozmerná tzv. Poissonova konštanta, ktorá závisí od počtu atómov v molekule plynu. Zohľadnením stavovej rovnice plynu A.6.3 vyjadrieme zvyšné dve rovnice pre adiabatický dej:

$$T \cdot V^{\kappa-1} = \text{const} \quad (\text{A.6.6})$$

$$T \cdot p^{\frac{1-\kappa}{\kappa}} = \text{const} \quad (\text{A.6.7})$$

A.7. Elektrické pole

V okolí elektrického náboja q sa vytvorí elektrické pole, ktorého prítomnosť je možné overiť zmeraním sily, ktorá pôsobí na skúšobný náboj q^* vo vzdialenosti r :

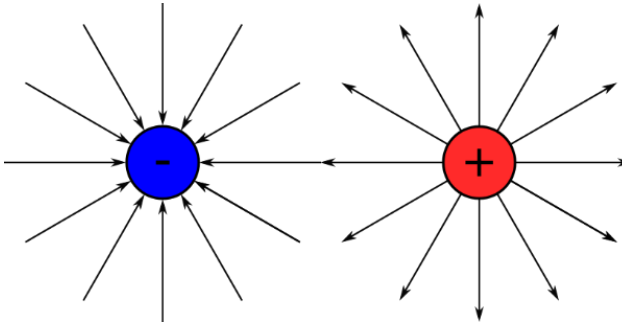
$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{qq^*}{r^2} \quad (\text{A.7.1})$$

Konštanta ϵ sa nazýva permitivita a v prípade vákua má hodnotu $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ F/m. Každé prostredie sa od vákua líši v bezrozmernej konštante relatívnej permitivity ϵ_r , pričom platí:

$$\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \quad (\text{A.7.2})$$

Elektrická sila je vektorová veličina, ktorá má smer spojnice bodových nábojov. Smer sily (znamienko) však závisí aj od znamienka nábojov q a q^* . Vyjadrenie predstavuje Coulombov zákon. Pri popise elektrického poľa je výhodné definovať veličinu, ktorá nie je závislá od skúšobného náboja q^* , a preto sa zavádza veličina intenzity elektrického poľa:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q^*} \quad (\text{A.7.3})$$



Obr. 50: Siločiarly elektrického poľa bodových nábojov

Vektor elektrickej intenzity má veľký význam pri znázornení elektrického poľa, ktoré sa spravidla znázorňuje čiarami (siločiarly elektrostatického poľa -), ktoré sa vyznačujú tým, že vektor \vec{E} v každom jej bode má smer jej dotýčnice. Pri premiestnení náboja q^* v smere rektora $\Delta\vec{r}$ v elektrickom poli náboja q vykonáme prácu

$$\Delta W = \vec{F}_e \cdot \Delta\vec{r} \quad (\text{A.7.4})$$

Pod operáciou „ \cdot “ V rovnici rozumieme tzv. skalárny súčin. Ak túto rovnicu opäť predelíme skúšobným nábojom, dostávame vyjadrenie pre elektrický potenciál (jeho zmenu $\Delta\varphi$), ktorý sa udáva vo voltoch (V):

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta W}{q^*} = \frac{-\vec{F}_e \cdot \Delta\vec{r}}{q^*} = -\frac{\vec{F}_e}{q^*} \cdot \Delta\vec{r} = -\vec{E} \cdot \Delta\vec{r} \quad (\text{A.7.5})$$

Znamienko mínus zohľadňuje skutočnosť, že sila, ktorá koná prácu pôsobí opačne ako \vec{F}_e . Rozdiel potenciálov v dvoch bodoch vyjadruje fyzikálna veličina elektrické napätie U , ktoré sa rovnako udáva vo voltoch. Elektrický potenciál vyjadrený v konkrétnom bode má

význam množstva energie, ktorá je potrebná na prenesenie jednotkového náboja z referenčného miesta (spravidla z miesta v nekonečnej vzdialenosti od náboja) do daného bodu. V prípade infinitezimálnych (nekonečne malých) zmien veličín môžeme písať:

$$\varphi = \int_{\varphi} d\varphi = - \int_{\infty}^A \vec{E} \cdot d\vec{r} \quad (\text{A.7.6})$$

Sila pôsobiaca na náboj v elektrickom poli má za následok zvýšenie jeho kinetickej energie na úkor potenciálnej energie elektrického poľa. Ak na náboj pôsobí vonkajšia sila, potom táto sila koná prácu, ktorá sa použije na zvýšenie potenciálnej energie el. poľa. Množstvo práce potrebnej na prenesenie jednotkového elektrického náboja zo vzťažného bodu (ktorému je prisúdený nulový potenciál, spravidla v nekonečnej vzdialenosti od náboja) do daného miesta sa nazýva elektrický potenciál.

Ak sú vektory intenzity elektrického poľa v každom bode prostredia rovnobežné a rovnako veľké, také pole sa nazýva homogénne. Homogénne elektrické pole je možné vytvoriť medzi dvomi vodivými platňami medzi ktorými sa nachádza dielektrikum (takúto sústavu nazývame kondenzátor), pripojených na el. napätie U , ktoré je vyjadrené ako rozdiel potenciálov. Pre veľkosť intenzity homogénneho elektrického poľa v priestore medzi platňami platí:

$$E = \frac{U}{d}, \quad (\text{A.7.7})$$

kde d je vzdialenosť medzi doskami kondenzátora.

Pohyb nabitých častíc označujeme pojmom elektrický prúd, ktorý je vyjadrený ako zmena náboja za jednotku času:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}. \quad (\text{A.7.8})$$

Elektrický prúd je úmerný elektrickému napätiu s konštantou úmernosti G :

$$I = G \cdot U = \frac{1}{R} U = \frac{U}{R}, \quad (\text{A.7.9})$$

kde konštanta G má význam elektrickej vodivosti a udáva sa v jednotkách *siemens*. Ako je vidieť, je prevrátenou hodnotou elektrického odporu R [Ω]. Preto tiež platí

$$R = \frac{1}{G}. \quad (\text{A.7.10})$$

Súčiastka, ktorá sa vyznačuje elektrickým odporom sa nazýva rezistor. Výkon rezistora pripojeného na napätie U ktorým prechádza prúd I je daný súčinom el. napätia a prúdu, teda:

$$P = U \cdot I \quad (\text{A.7.11})$$

Jednotkou elektrického výkonu je W (Watt).

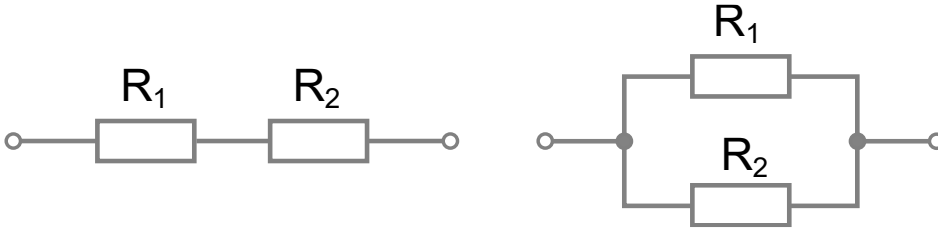
Existujú dva základne spôsoby radenia rezistorov: sériové a paralelné (Obr. 51). Všetky sériovo-paralelné siete (zapojenia) rezistorov je možné nahradiť jedným výsledným rezistorom. Výsledný elektrický odpor týchto zapojení je možné vypočítať pomocou nasledujúcich vzorcov:

$$R_s = R_1 + R_2 \quad (\text{A.7.12})$$



$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (\text{A.7.13})$$

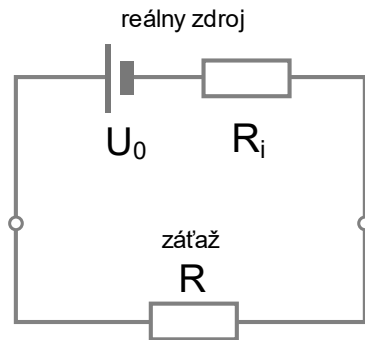
Existujú však aj také zapojenia rezistorov, ktorých výsledný elektrický odpor nie je možné vypočítať pomocou týchto vzorcov, ale je potrebné použiť tzv. transfiguráciu trojuholníkového na hviezdicové a opačne.



Obr. 51: Radenie rezistorov a) sériové b) paralelné

Ak v jednoduchom elektrickom obvode uvažujeme s reálnym zdrojom, ktorý sa okrem elektromotorického napätia U_0 vyznačuje aj vnútorným odporom R_i , ktorý bude zaradený do série s rezistorom záťaže (Obr. 52), potom ohmov zákon nadobudne tvar:

$$I = \frac{U}{(R+R_i)}. \quad (\text{A.7.14})$$



Obr. 52: Jednoduchý elektrický obvod s reálnym zdrojom



B. Laboratórne úlohy

Túto kapitolu tvorí súbor spracovaných laboratórnych úloh, ktoré sú realizované pomocou meracieho systému uLAB. Všetky úlohy majú jednotnú štruktúru. Na to, aby bol experimentátor schopný zvládnuť laboratórne úlohy, potrebuje zvládnuť prácu s meracím systémom uLAB a ovládať fundamentálne teoretické vedomosti obsiahnuté v kapitole A.

Názov témy (vzor)

Úloha



Plné znenie laboratórnej úlohy. Ikony znázorňujú náročnosť , časovú náročnosť  a tematické celky z fyziky, ktoré sú vyjadrené piktogramami:

-  mechanika
-  kmity
-  termodynamika
-  optika
-  elektrické javy

Pomôcky

Zoznam všetkých pomôcok použitých pri realizácii experimentu. V zozname sú uvedené jednotlivé moduly meracieho systému uLAB a ostatné pomôcky a laboratórne vybavenie potrebné k realizácii experimentu.

Usporiadanie

Usporiadanie experimentu s obrázkami, náčrtmi a schémami.

Obyčajne táto časť obsahuje znázornenie experimentu a jeho reálnu fotografiu.

Postup

V tejto časti je uvedený úplný a podrobný zoznam krokov v prípravnej a realizačnej fáze experimentu. Ak si to situácia vyžaduje, sú v tejto časti odvodené potrebné závislosti veličín využívajúc teoretickú časť z kapitoly A.

Bezpečnosť

Nepovinná časť (nie je súčasťou každej laboratórnej úlohy) týkajúca sa otázok bezpečnosti a ochrany zdravia a prírody.

Spracovanie

Záznam nameraných hodnôt a ich spracovanie. Súčasťou sú tabuľky, grafy a výpočty.



Varianty

Uvedenie alternatívneho spôsobu realizácie experimentu s prípadným využitím iných senzorov, pomôcok alebo inej aparatury (nepovinná časť).

Zhodnotenie

Zhodnotenie merania, v ktorom sú zhrnuté najdôležitejšie závery merania a určenie resp. odhad presnosti merania. Spravidla zhodnotenie merania obsahuje otázky vyplývajúce z merania a odpovede viažuce sa k týmto otázkam. Otázky a odpovede sú zvyčajne štruktúrované.

Poznámky

V tejto časti sú uvádzané menej podstatné skutočnosti súvisiace s meraním, napríklad predprípravné informácie, metodické poznámky a vlastné postrehy z priebehu merania okrajovo súvisiace s úlohou a podobne. V poznámke sú niekedy uvádzané doplňujúce informácie o princípoch merania, prípadne o aplikácii študovaných javov v praxi.

B.1. Mechanika

B.1.1. Rovnomerný pohyb

Úloha



Odmerajte rýchlosti pohybujúcich sa telies. V prípade rovnomerného priamočiareho pohybu zmerajte jeho rýchlosť.

Pomôcky

- uLAB BOX
- uLAB SENSOR DI01 alebo DI02 (laserový senzor vzdialenosti)
- rôzne telesá guľového alebo valcového tvaru (basketbalová lopta, medicinbal, plechovka), prípadne aparátúra určená na skúmanie pohybu telesa (napr. vzduchová lavica, autíčko na zotrvačnik alebo s elektrickým pohonom)
- podložka (drevená, kovová alebo plastová) najlepšie s vymedzením dráhy (napríklad pomocou vodiacich líšt alebo pomocou žľabu)

Usporiadanie



Obr. 53: Meranie vzdialenosti – a) zostavenie experimentu, b) obrázok experimentu

Postup

1. Inštalujeme (zafixujeme) senzor vzdialenosti a pripojíme ho k uLAB BOXu.
2. Na podložku vo vzdialenosti 5 cm od senzora umiestnime teleso, napríklad basketbalovú loptu. Rozsah senzora vzdialenosti je 4 m (2 m v prípade DI02), na základe čoho volíme počiatočné a koncové polohy telies.
3. Spustíme meranie časovej závislosti vzdialenosti predmetu od senzora, pričom interval záznamu hodnôt zvolíme najviac 100 ms (desať meraní za sekundu).
4. Udelíme telesu rýchlosť napríklad úderom do lopty alebo zapnutím motora, uvoľnením telesa a pod.
5. Zastavíme meranie (ak nedošlo k jeho automatickému zastaveniu).

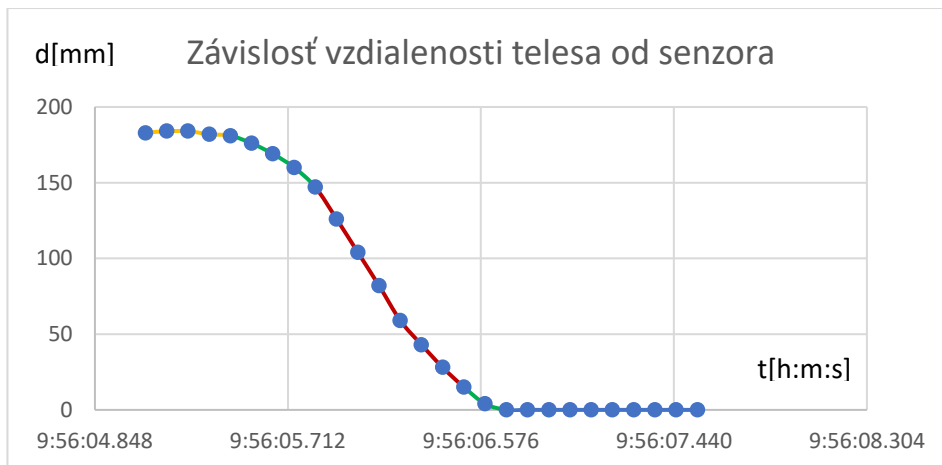
Spracovanie

V nasledujúcej tabuľke sú zaznamenané namerané hodnoty vzdialenosti telesa od senzora vzdialenosti [48].

dátum	čas	vzdialenosť [mm]	dátum	čas	vzdialenosť [mm]
16.6.2022	9:56:05.170	184	16.6.2022	9:56:06.025	104
16.6.2022	9:56:05.265	184	16.6.2022	9:56:06.120	82
16.6.2022	9:56:05.360	182	16.6.2022	9:56:06.215	59
16.6.2022	9:56:05.455	181	16.6.2022	9:56:06.310	45
16.6.2022	9:56:05.550	176	16.6.2022	9:56:06.405	30
16.6.2022	9:56:05.645	169	16.6.2022	9:56:06.500	15
16.6.2022	9:56:05.740	161	16.6.2022	9:56:06.595	4
16.6.2022	9:56:05.835	148	16.6.2022	9:56:06.690	0
16.6.2022	9:56:05.930	126	16.6.2022	9:56:06.785	0

Tab. 6: Meranie vzdialenosti telies od detektora a výpočet ich rýchlosti

Na základe tejto tabuľky si zostrojíme graf:



Graf 1: Časová závislosť vzdialenosti telesa od senzora

Graf môžeme rozdeliť na niekoľko úsekov, ktoré sú rozlíšené farbami. Je vidieť, že prvých 5 meraní je vzdialenosť konštantná, to znamená, že sa teleso nepohybovalo. Počas ďalších štyroch meraní na teleso začala pôsobiť sila, v dôsledku čoho sa teleso začalo pohybovať so zrýchlením. Stredná časť (zvýraznená červenou farbou) sa vyznačuje tým, že grafom časovej závislosti vzdialenosti telesa od senzora je priamka. Zelenou farbou je znázornený časový interval, počas ktorého došlo k prudkému nárazu telesa na prekážku v blízkosti senzora. Pre záverečnú časť je opäť charakteristická nemenná (nulová) vzdialenosť telesa od senzora. Z grafu aj z tabuľky môžeme odčítať, že celý pohyb trval 1,6 s. V prípade potreby je možné časový údaj h:m:s previesť na sekundy.

Varianty

Merať môžeme polohy ľubovoľných telies, potrebujeme si však brať ohľad na princíp merania laserového senzora (viď poznámku). Je preto potrebné si uvedomiť, že k detekcii telesa, a tým aj namerania jeho vzdialenosti od detektora, dôjde pri splnení istých požiadaviek:

- Minimálneho pričného rozmeru telesa (10 cm až 20 cm v závislosti od vzdialenosti telesa od detektora)
- Dobrého reflexného povrchu telesa (povrch musí dobre odrážať infračervené žiarenie, napr. biela alebo lesklá rovinná plocha)

Zhodnotenie

Meraním sme získali časovú závislosť polohy telesa (gule). Závislosť predstavuje množinu bodov s dvomi súradnicami – čas a poloha. Preložení krivky bodmi získame závislosť, z ktorej môžeme odčítať polohu telesa v ľubovoľnom čase z meraného intervalu. S využitím vzťahu A.1.1 môžeme vyjadriť priemernú rýchlosť v ľubovoľnom časovom intervale medzi dvomi meraniami. Ak si uvedomíme, že medzi jednotlivými meraniami uplynul pomerne krátky čas (necelých 0,1 s), môžeme považovať rýchlosť vyjadrenú v tomto intervale za okamžitú.

Os vzdialenosti telesa od senzora je orientovaná tak, že so vzdďaľovaním od senzora rastie. V našom prípade sa však teleso k senzoru približuje, a preto aj rýchlosť bude záporná (orientovaná proti zmyslu osi vzdialenosti). Veľkosť priemernej rýchlosti celého pohybu teda môžeme vyjadriť:

$$v_p = \frac{|\Delta s|}{\Delta t} = \frac{0,184 \text{ m}}{1,615 \text{ s}} \doteq 0,114 \text{ m/s} = 11,4 \text{ cm/s} . \quad (\text{B.1.1})$$

Podobne by sme mohli vypočítať priemerné rýchlosti v každom intervale, ktoré budeme považovať za okamžité rýchlosti. Hodnotu rýchlosti priradíme k časovej hodnote nachádzajúcej sa v strede intervalu:

t[s]	0.047	0.142	0.237	0.332	0.427	0.522	0.617	0.712	0.807	0.902	0.997	1.092	1.187	1.282	1.377	1.472	1.567	1.662
v[m/s]	0.01	0.00	-0.02	-0.01	-0.05	-0.07	-0.08	-0.14	-0.23	-0.23	-0.23	-0.24	-0.15	-0.16	-0.16	-0.12	-0.04	0.00

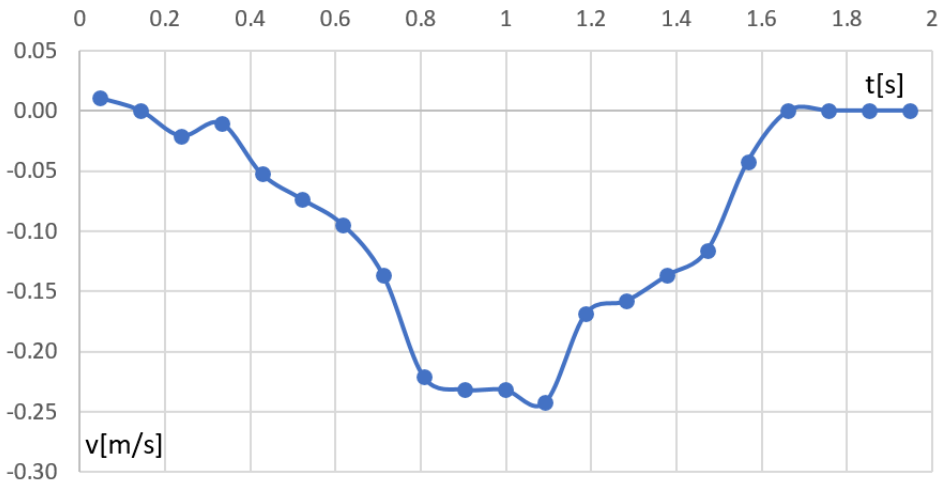
Tab. 7: Časová závislosť rýchlosti telesa

Z grafu (Graf 2) je vidieť, že rýchlosť sa v čase od 0,760 s po 1,045 s veľmi nemení, je teda prakticky konštantná, a teda môžeme považovať pohyb v tomto časovom intervale za rovnomerný.

Na počiatku a na konci pohybu je rýchlosť nulová, to znamená, že sa v týchto časoch teleso nepohybovalo. Na základe analýzy grafu možno povedať, že spočiatku (0 s – 0,8 s) sa teleso pohybovalo so zrýchlením, v čase 0,8 s – 1,1 s sa teleso pohybovalo konštantnou rýchlosťou, v čase od 1,1 s sa teleso pohybovalo so spomalením až do 1,65 s, kedy sa teleso zastavilo.



Časová závislost rýchlosti telesa



Graf 2: Časová závislost rýchlosti telesa

Otázky:

1. Určte časový interval, v ktorom sa veľkosť rýchlosti pohybu telesa znižuje.
2. Určte, kedy veľkosť rýchlosti nadobudla hodnotu približne 0,14 m/s.
3. Ako by vyzeral graf časovej závislosti rýchlosti, ak by sa teleso namiesto približovania vzdalovalo?
4. Ako sa na časovej závislosti vzdialenosti telesa od senzora prejaví vyššia rýchlosť pri rovnomernom pohybe?
5. Ako je možné znížiť priemernú rýchlosť pohybu na uvažovanej dráhe?

Odpovede:

1. Veľkosť rýchlosti predstavuje veľkosť vektora rýchlosti bez ohľadu na orientáciu príslušnej osi. V našom prípade sa pýtame na to, kedy sa absolútna hodnota rýchlosti znižuje. Na základe grafu môžeme povedať, že rýchlosť sa znižuje od cca 1,1 s do konca pohybu. Malú výnimku predstavuje tretí interval, avšak v skutočnosti je nepravdepodobné, že by sa rýchlosť v tomto intervale skutočne znižovala. Tento pokles je s vysokou pravdepodobnosťou zapríčinený nepresnosťou merania polohy a tým aj presnosti vyjadrenia okamžitej rýchlosti.
2. Na grafe (Graf 2) je znázornená závislosť $v = f(t)$, ktorá predstavuje funkciu okamžitej rýchlosti v závislosti od času. Ak za rýchlosť zvolíme konštantu (zafixujeme rýchlosť), dostávame rovnicu $v_{const} = f(t)$. Riešenie tejto rovnice predstavuje odpoveď na položenú otázku. V našom prípade však rovnicu nemáme vyjadrenú analyticky, a tak riešenie nájdeme graficky. Ekvivalentom analytického riešenia je grafické riešenie, ktoré nájdeme z priesečníka grafu s konštantnou

funkciou, čo zodpovedá vodorovnej priamke prechádzajúca bodom v_{const} na osi rýchlosti. Na základe týchto úvah sme zistili, že existujú dve riešenia, pretože sme našli dva priesečníky: približne 0,7 s a 1,5 s.

3. Ak by sa teleso vzdalovalo, vzdialenosť od senzora by sa s časom zvyšovala. Rýchlosť by teda mala kladné znamienko. Graf by bol teda preklopený pozdĺž časovej osi (bol by zobrazený v osovej súmernosti s časovou osou).
4. Vyššia rýchlosť sa na časovej závislosti vzdialenosti telesa od senzora prejaví vyšším sklonom závislosti (pri nezmenenej mierke osí sa zvýši uhol, ktorý zvierá priamka s časovou osou), pretože teleso za rovnaký časový úsek prekoná väčšiu dráhu.
5. Priemernú rýchlosť vypočítame zo vzťahu A.1.1. Ak máme nemennú dráhu, potom priemernú rýchlosť môžeme meniť zmenou času, za ktorý ju teleso prejde. Keďže je čas pohybu telesa v menovateli, jedná sa o nepriamu úmernosť. To však znamená, že zvýšenie času pohybu bude mať za následok zníženie priemernej rýchlosti pohybu telesa.

Poznámky

Princíp merania vzdialenosti spočíva v meraní času, ktorý uplynie medzi vyslaním svetelného impulzu a jeho detekciou po odraze od meraného telesa. Na základe tohto času je vypočítaná vzdialenosť medzi detektorom a meraným objektom podľa vzťahu:

$$s = c \cdot \frac{t}{2}, \quad (\text{B.1.2})$$

kde $c \doteq 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ je rýchlosť svetla vo vákuu. Pri vyjadrení vzdialenosti objektu od senzora je potrebné uvažovať polovičnú hodnotu nameraného času t , pretože čelo elektromagnetickej vlny v skutočnosti prejde dvojnásobnú vzdialenosť medzi senzorom a objektom.

B.1.2. Voľný pád

Úloha

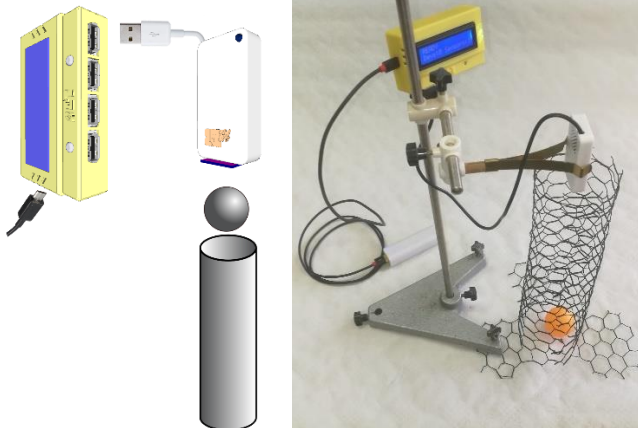


Štúdium voľného pádu telesa v gravitačnom poli Zeme.

Pomôcky

- uLAB BOX
- uLAB SENSOR DIO1 alebo DIO2 (laserový senzor vzdialenosti)
- teleso najlepšie guľového tvaru (ak je to možné, tak s vodiacim puzdrom)
- stojan, podložka (nemusí byť, ak je súčasťou puzdra)

Usporiadanie



Obr. 54: Meranie vzdialenosti voľného pádu – a) zostavenie experimentu, b) obrázok experimentu

Postup

Na všetky telesá v gravitačnom poli Zeme pôsobí tiažová sila, ktorá je vyjadrená ako súčet dvoch zložiek a to gravitačnej sily a odstredivej sily rotácie Zeme okolo svojej osi. Z tohto dôvodu tiažová sila nesmeruje presne do ťažiska Zeme, ale je mierne odchýlená. Táto sila vyvoláva zrýchlenie voľného telesa podľa vzťahu A.2.1. V dôsledku zrýchlenia sa bude rýchlosť telesa pohybujúceho sa voľným pádom s časom zvyšovať podľa vzťahu A.1.5. Dráha sa bude zvyšovať s druhou mocninou času podľa A.1.6. Pre voľný pád platí, že zrýchlenie má význam tiažového zrýchlenia, počiatočná rýchlosť $v_0 = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a v prípade stotožnenia počiatku súradnicovej sústavy s polohu telesa v čase $t = 0 \text{ s}$ môžeme napísať:

$$v = g \cdot t \quad (\text{B.1.3})$$

$$s = \frac{1}{2} g t^2 \quad (\text{B.1.4})$$

Hodnota tiažového zrýchlenia mierne závisí od zemepisnej polohy, ale pri experimentoch možno pracovať s hodnotou $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Na pohybujúce sa teleso okrem tiažovej sily v praxi pôsobí aj odporová sila, ktorú však často zanedbávame, pretože pri nízkych rýchlostiach a pomerne malých rozmeroch telies je oproti tiažovej sile výrazne menšia. Meranie polohy telesa, ktoré padá voľným pádom realizujeme podľa tohto postupu:

1. Inštalujeme senzor vzdialenosti na stojan a pripojíme ho k uLAB BOXu.
2. V rozhraní si zvolíme časové meranie a nastavíme dĺžku merania na 10 s s čo najnižším intervalom merania hodnôt (v praxi to znamená nastaviť interval napríklad na hodnotu 30 ms).
3. Spustíme meranie a v krátkom čase pustíme teleso.
4. Vyberieme relevantné hodnoty, z ktorých zostrojíme graf závislosti dráhy (vzdialenosti telesa od senzora) od času.

Spracovanie

Z nameraných hodnôt je najprv potrebné vybrať tie hodnoty, ktoré zodpovedajú voľnému pádu telesa. Na to potrebujeme určiť čas, kedy došlo k pusteniu telesa a tento čas stotožníme s nulou. Inými slovami tento čas odčítame od všetkých časových údajov. Do tabuľky vyberieme všetky merania (riadky), u ktorých bol pozorovaný výrazný (kvadratický) nárast hodnoty dráhy [48].

Na každom časovom úseku možno spočítať priemernú rýchlosť podľa vzťahu A.1.1, pričom rýchlosti v jednotlivých intervaloch možno vyjadriť podľa vzorca

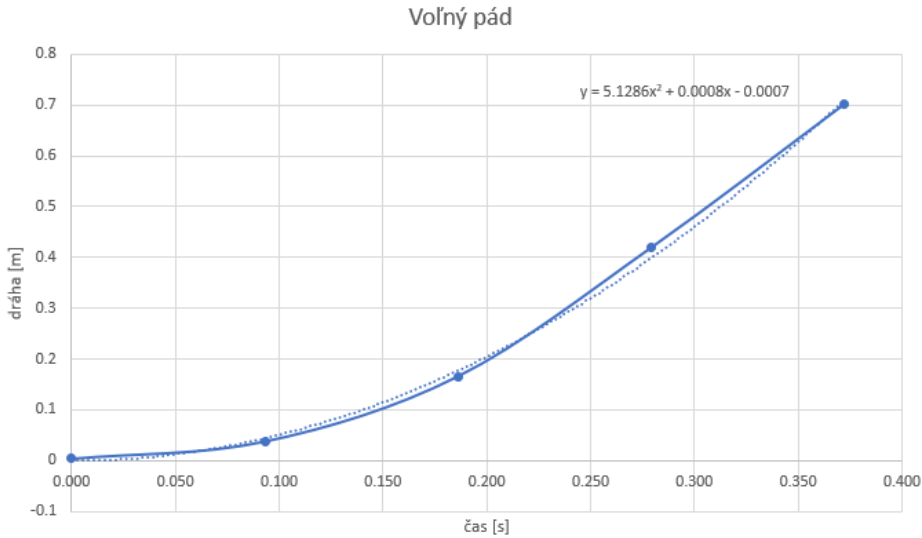
$$v_1 = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_1 - s_0}{t_1 - t_0} \quad (\text{B.1.5})$$

Keďže počiatočná rýchlosť telesa je, predpokladáme, nulová, preto sa v prvom riadku nachádza nula. Ostatné riadky sú vyplnené podľa predošlého vzťahu.

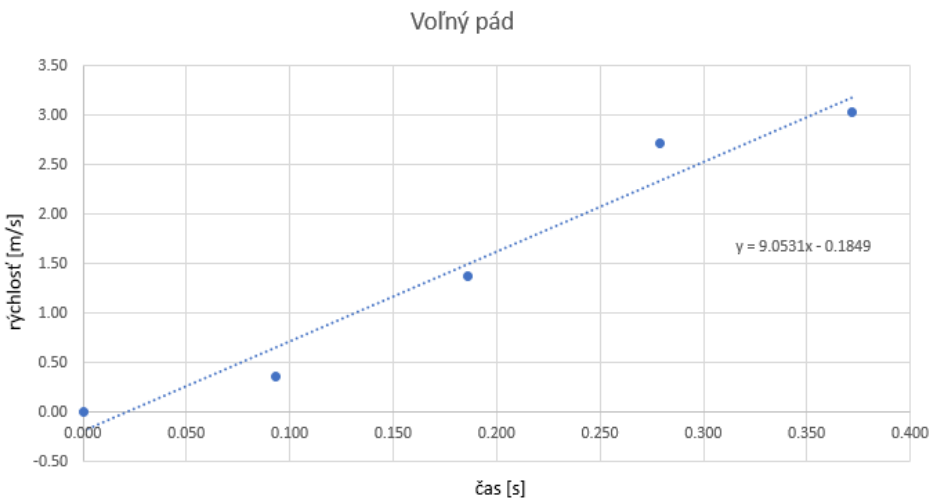
Čas	dráha	rýchlosť
[s]	[m]	[m/s]
0,000	0,004	0,00
0,093	0,038	0,37
0,186	0,166	1,38
0,279	0,419	2,72
0,372	0,701	3,03

Tab. 8: Závislosť prejdenej dráhy a rýchlosti od času pri voľnom páde telesa

Na základe týchto hodnôt bol zostrojený graf závislosti dráhy telesa od času (Graf 3) a graf závislosti rýchlosti telesa od času (Graf 4) pri voľnom páde telesa v gravitačnom poli Zeme. Tieto závislosti boli fitované³⁷ (nahradené) takými funkciami, aby čo najlepšie vystihovali závislosť A.1.5. resp. závislosť A.1.6.



Graf 3: Časová závislosť prejdenej dráhy telesa pri voľnom páde



Graf 4: Časová závislosť rýchlosti telesa pri voľnom páde

³⁷ Pre fitovanie bola využitá funkcia zobrazenia trendovej krivky v programe Excel, pri ktorej bola využitá tzv. metóda najmenších štvorcov.

Varianty

Z nameraných hodnôt je vidieť, že interval medzi meraniami je približne 100 ms. Nové modely senzorov umožňujú realizovať merania už s intervalmi 30 ms.

Senzor vzdialenosti je možné inštalovať aj v spodnej časti puzdra, avšak toto usporiadanie nie je vhodné predovšetkým z dvoch dôvodov: 1. teleso fyzicky dopadá na senzor, čo môže spôsobiť jeho poškodenie, 2. vzdialenosť telesa od senzora sa s časom bude znižovať, čo je potrebné pri spracovaní prepočítať (prejdenú dráhu vypočítame tak, že od počiatkovej vzdialenosti telesa od senzora odčítame nameranú vzdialenosť).

Zhodnotenie

Časová závislosť prejdenej dráhy je výrazne nelineárna a ako je vidieť z grafu (Graf 3), fitovaná funkcia má predpis:

$$s(t) = 5,1286t^2 + 0,0008t - 0,0007 \doteq \frac{2 \cdot 5,13}{2} t^2 = \frac{1}{2} \cdot 10,26 \cdot t^2 \text{ [m, s]}.$$

Porovnaním koeficientov tejto funkcie s funkciou A.1.5. možno určiť hodnotu tiažového zrýchlenia, ktoré má hodnotu $g_s = 10,26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Porovnaním nameraného tiažového zrýchlenia s tabuľkovou hodnotou dospejeme k vyjadreniu absolútnej chyby, ktorá má hodnotu $\Delta g = 0,45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ a relatívnej chyby, ktorá má hodnotu $\delta g = 4,59 \%$. Ostatné koeficienty (v_0 a s_0) sú prakticky nulové.

V prípade rovnomerne zrýchleného pohybu očakávame lineárnu závislosť rýchlosti od času. V dôsledku nepresnosti merania pozorujeme značný rozptyl hodnôt okolo fitovanej lineárnej časovej závislosti rýchlosti, ktorú vystihuje funkcia $v(t) = 9,0531t - 0,1849$ [m/s, s]. Porovnaním koeficientov s funkciou A.1.6. možno určiť hodnotu tiažového zrýchlenia $g_v \doteq 9,05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Táto hodnota je na rozdiel od hodnoty g_s nižšia ako tabuľková hodnota. Počiatočná rýchlosť bola porovnaním koeficientov stanovená na hodnotu približne $v_0 = 0,18 \text{ m/s}$, čo je hodnota, ktorú môžeme zanedbať. Ak by sme použili analogický výpočet aj na určenie zrýchlenia v jednotlivých časových intervaloch, výsledky by boli v dôsledku spomínanej nepresnosti merania veľmi nepresné, čo by malo za následok interpretáciu, ktorá nie je v súlade s pozorovaním (v niektorých intervaloch mohli byť vypočítané aj záporné zrýchlenia, resp. spomalenia).

Otázky:

1. Popíšte tvar závislostí grafov Graf 3 a Graf 4. Ktorá zo závislostí (Graf 3 a Graf 4) je lineárna a prečo?
2. Čo vyjadruje parameter v_0 v rovnici A.1.5, resp. A.1.6?
 - a. Ako by ste objasnili kladnú/zápornú hodnotu tohto koeficienta?
 - b. Ako sa zmena hodnoty tohto koeficienta prejaví na grafe?
3. Kedy by sme museli pri časovej závislosti dráhy rovnomerne zrýchleného pohybu, ktorý popisuje závislosť A.1.6, zohľadniť koeficient s_0 ?
4. Interpretujte nenulový lineárny koeficient v grafe Graf 3.



Odpovede:

1. Lineárna závislosť, ktorej grafom je priamka je znázornená na grafe Graf 4, pretože patrí časovej závislosti rýchlosti rovnomerne zrýchleného pohybu podľa A.1.6. Závislosť na grafe Graf 3 je kvadratická a má tvar časti paraboly.
2. Parameter v_0 vyjadruje počiatočnú rýchlosť rovnomerne zrýchleného pohybu.
 - a. V prípade voľného pádu možno zjednodušene povedať, že ak sa teleso v čase $t = 0$ s pohybuje nadol/nahor, hodnota koeficientu v_0 bude kladná/záporná.
 - b. Hodnota koeficientu v_0 posúva Graf 3 vodorovne, a Graf 4 zvisle.
3. Koeficient s_0 by sa musel zohľadniť v prípade, ak by počiatočná vzdialenosť telesa (vzdialenosť telesa od senzora v čase $t = 0$ s) nenulová.
4. To predstavuje nenulovú počiatočnú rýchlosť, a teda vlastne ide o zvislý vrh nadol.

B.2. Dynamika

B.2.1. Meranie momentu zotrvačnosti telesa

Úloha



Odmerajte moment zotrvačnosti plnej gule.

Pomôcky

- uLAB BOX
- uLAB SENSOR DI01 alebo DI02 (laserový senzor vzdialenosti)
- plné teleso guľového tvaru, napríklad penovú alebo polystyrénovú loptičku
- žľab s možnosťou náklonu dĺžky aspoň 1 m, v ktorom sa pohybuje guľové teleso
- váhy, alebo senzor sily uLAB SENSOR FO01, ak je teleso neznámej hmotnosti

Usporiadanie



Obr. 55: Meranie momentu zotrvačnosti – a) zostavenie experimentu, b) obrázok experimentu

Postup

1. Inštalujeme senzor vzdialenosti na stojan a pripojíme ho k uLAB BOXu.
2. V rozhraní si zvolíme časové meranie a nastavíme dĺžku merania na 10 s s čo najnižším intervalom merania hodnôt (v praxi to znamená nastaviť interval napríklad na hodnotu 30 ms).
3. Pripravíme si naklonenú rovinu v podobe žľabu podľa Obr. 55a, aby bol vymedzený priamočiary pohyb gule.
4. Sklon naklonenej roviny regulujeme zmenou výšky horného konca žľabu h a nastavíme ho tak, aby bolo možné spoľahlivo merať časovú závislosť polohy gule. V praxi to znamená, že sklon nastavíme na takú hodnotu, aby čas pohybu gule po naklonenej rovine bol aspoň 1 s.

5. Zafixujeme si žľab a zmeriame si výšku h .
6. Na horný koniec žľabu položíme guľu a tesne pred jej uvoľnením spustíme časové meranie.
7. Po dosiahnutí spodného konca žľabu meranie zastavíme.

Bezpečnosť

Pri realizácii tohto merania sú bezpečnostné riziká minimálne. Jedinou výnimkou je venovanie zvýšenej pozornosti pri meraní, ak je využitá oceľová guľa vyšších rozmerov. V takom prípade, už pri priemere 6 cm môže jej hmotnosť prekročiť hmotnosť 1 kg, a v prípade pádu zo stola na zem môže spôsobiť zranenie, alebo materiálne škody, napríklad poškodenie podlahy.

Spracovanie

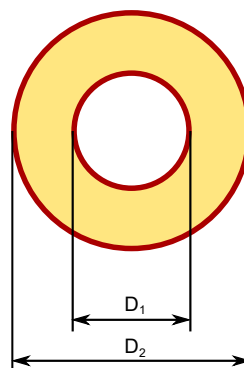
Na všetky telesá na povrchu Zeme pôsobí gravitačná, resp. tiažová sila. Vďaka tomu pri premiestnení telesa proti tejto sile o vzdialenosť h sa musí konať práca. Táto práca predstavuje potenciálnu (polohovú) energiu telesa v gravitačnom poli Zeme (A.2.7). Ak považujeme vodorovnú podložku za východiskovú polohu, v tomto mieste budú mať telesá nulovú potenciálnu energiu. V najvyššom bode naklonenej roviny bude mať guľa hmotnosti m potenciálnu energiu $E_p = m \cdot g \cdot h$, kde h je výška horného konca žľabu nad podložkou.

Po uvoľnení gule sa guľa začne pohybovať po naklonenej rovine, pričom sa bude premieňať potenciálna energia na kinetickú. Ak však porovnáme vypočítanú potenciálnu energiu gule v najvyššej polohe a kinetickou energiou v najnižšej polohe zistíme, že iba časť potenciálnej energie sa premenila na kinetickú energiu translačného (posuvného) pohybu. Časť energie sa premenila na kinetickú energiu rotačného pohybu gule, ktorú je možné vyjadriť z A.2.8.

Varianty

Z dôvodu horšej detekovateľnosti železnej gule je lepšie použiť iné teleso, napríklad leštenú guľu, alebo jej väčší objem, čím sa však zvýši aj jej hmotnosť a tým rastie riziko úrazu. Vhodnou alternatívou je použitie valca. V experimente bola nakoniec využitá valcová rolka papierových obrúskov s otvorom uprostred. Vnútorň priemer valca bol $D_1 = 5,5$ cm a vonkajší bol $D_2 = 11$ cm (obr. 56). Na základe týchto údajov je možné pre známu hmotnosť vypočítať moment zotrvačnosti podľa vzťahu:

$$J = \int r^2 dm. \quad (\text{B.2.6})$$



Obr. 56: Profil telesa

Z rozmerov prierezu valca si pomocou plošnej hustoty vyjadríme hmotnostný element dm :

$$dm = \sigma ds = \frac{M}{\underbrace{\pi(R_2^2 - R_1^2)}_{\sigma}} 2\pi r \cdot dr, \quad (\text{B.2.7})$$

kde M je hmotnosť telesa. Pri dosadení do (B.2.6) môžeme vyjadriť moment zotrvačnosti telesa:

$$J = \frac{2\pi M}{\pi(R_2^2 - R_1^2)} \int_{R_1}^{R_2} r^3 dr = \frac{2M}{R_1^2 - R_2^2} \left[\frac{r^4}{4} \right]_{R_1}^{R_2} = \frac{M}{2} \frac{R_2^4 - R_1^4}{R_2^2 - R_1^2} = \frac{M}{2} (R_1^2 + R_2^2). \quad (\text{B.2.8})$$

Pre tento pohyb možno zapísať zákon zachovania energie nasledovne:

$$E_k + E_p + E_\omega = E_0, \quad (\text{B.2.9})$$

kde E_k je okamžitá kinetická energia postupného pohybu telesa, E_p je okamžitá potenciálna energia telesa, $E_\omega = \frac{1}{2}J\omega^2$ je energia rotačného pohybu telesa a E_0 je počiatočná energia telesa, ktorá je na počiatku rovná potenciálnej energii telesa v počiatočnej výške telesa nad podložkou. Vo vzťahu (B.2.9) nie je zohľadnené trenie, ktoré pozostáva z dvoch zložiek, a to valivé trenie a odpor vzduchu. Trenie zohľadníme až v závere experimentu.

Po dosadení do (B.2.9) dostávame rovnicu:

$$\frac{1}{2}mv^2 + mgh + \frac{1}{2}J\omega^2 = mgH. \quad (\text{B.2.10})$$

Odtiaľ je možné vyjadriť vzťah pre translačnú rýchlosť, nakoľko $v = \omega r$:

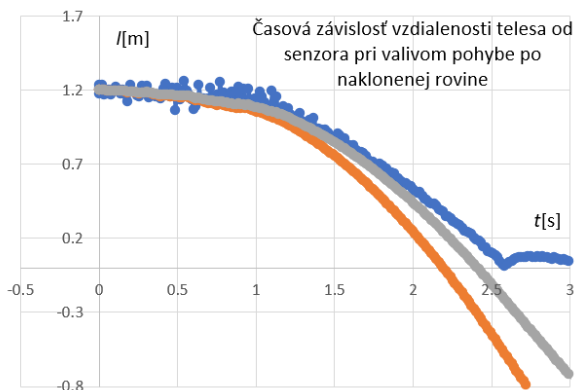
$$v = \sqrt{\frac{2g(H-h)}{1+J/mR_2^2}}. \quad (\text{B.2.11})$$

Ako je vidieť, rýchlosť telesa závisí iba od výšky telesa nad podložkou h , ktorú je možné určiť z meraní vzdialenosti telesa od senzora nasledovne:

$$h = l \cdot \frac{H}{L}, \quad (\text{B.2.12})$$

kde H je maximálna výška telesa nad podložkou a L je maximálna vzdialenosť telesa od senzora.

Na základe týchto úvah bolo realizované meranie odvažovania telesa po naklonenej rovine. Graf znázorňuje časovú závislosť vzdialenosti telesa od senzora (modrá farba). Ak by sme uvažovali, že sa potenciálna energia premení na kinetickú, potom by bolo možné vyjadriť rýchlosť telesa v zjednodušenom tvare $v = \sqrt{2g(H-h)}$ a výpočtom dĺžok úsekov v jednotlivých intervaloch by sme sa dopracovali k teoretickým hodnotám vzdialenosti telesa od senzora (oranžová farba). Porovnaním oboch závislostí prichádzame k záveru, že tieto závislosti nesúhlasia. Ak zarátame energiu rotačného pohybu telesa, vďaka vzťahu B.2.11 sa dopracujeme k šedej závislosti, ktorá pôvodnú závislosť výrazne koriguje. Ani v tomto prípade však nepozorujeme dokonalý súhlas, pretože ako sme na začiatku povedali, do úvah nie sú zahrnuté trecie sily.



Graf 5: Časová závislosť vzdialenosti telesa od senzora pri valivom pohybe po naklonenej rovine

Zhodnotenie

Na základe merania môžeme povedať, že nezohľadnenie energie rotačného pohybu dochádza k výraznému nesúhlasu teórie s experimentom. Dokonalý súhlas však nedosiahneme ani zahrnutím tohto príspevku, nakoľko by bolo potrebné uvažovať aj trecie sily. Pri zanedbaní trecích síl by sme mohli v prípade znalosti hmotnosti telesa m v každom čase určiť jeho moment zotrvačnosti. Najvýhodnejšie je vypočítať moment zotrvačnosti telesa, resp. pomer J/m tesne pred koncom pohybu, teda napríklad v čase 2,5 s. Z nameraných údajov kvôli zanedbaniu odporových síl je táto hodnota rovná $4,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$, čo je asi 2,5-krát vyššia hodnota, ako hodnota $1,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ vypočítaná podľa vzorca (B.2.8).

Nameraný moment zotrvačnosti telesa po vynásobení hmotnosťou $m = 0,305 \text{ kg}$ má hodnotu $J = 1,38 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, zatiaľ čo teoretická hodnota je $J = 0,54 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$.

Pri odpovediach na nasledujúce otázky je potrebné poznať výšku telesa nad podložkou na začiatku pohybu, ktorá bola nameraná $H = 0,13 \text{ m}$.

Otázky:

1. Vysvetlite, čo sa deje s telesom po uplynutí 2,5 s (modrá závislosť Graf 5).
2. V akom čase dochádza k dosiahnutiu minimálnej vzdialenosti od senzora?
3. Aký je význam oranžovej krivky (Graf 5), ktorá má charakter simulácie?
4. Aký experiment by overil simuláciu z otázky 3?
5. S akým zrýchlením sa pohybovalo teleso po naklonenej rovine?
Uvažujte rovnomerne zrýchlený pohyb s nulovou počiatočnou rýchlosťou.
6. Aký uhol ziera naklonená rovina s vodorovnou rovinou?
7. S akým zrýchlením by sa pohybovalo teleso po naklonenej rovine, ak by sa kĺzalo po podložke s nulovým trením?

Odpovede:

1. Po dosiahnutí minimálnej vzdialenosti telesa od senzora došlo k jeho odrazeniu, čo sa prejavilo na zvyšovaní vzdialenosti telesa od senzora. Vzhľadom na nízku pružnosť zrážky sa väčšina energie použila na deformáciu telesa.
2. Hľadáme globálne minimum modrej závislosti, ktoré je pozorované približne v čase 2,6 s.
3. Vzhľadom na to, že h predstavuje výšku telesa nad podložkou, táto hodnota sa postupne znižuje až približne v čase 2,6 s dosiahne (takmer) nulu. Ak uvažujeme, že táto výška ostáva konštantná (nulová), potom na základe vzťahu (B.2.11) bude mať aj rýchlosť konštantnú hodnotu $v = \sqrt{\frac{2gH}{1+J/mR_2^2}}$. Teleso sa teda bude pohybovať rovnomerne priamočiario, preto od tohto okamihu bude závislosť vzdialenosti telesa od senzora priamka. Keďže sa jedná o simuláciu (bez zrážky), vzdialenosti budú klesať aj do záporných hodnôt.
4. Táto simulácia má svoju interpretáciu v experimente, kedy by namiesto zrážky sa teleso začalo pohybovať po vodorovnej podložke. Záporné hodnoty vzdialenosti telesa od senzora by predstavovali také polohy telesa, ktoré by sa nachádzali na opačnej strane senzora (v opačnej polovine).
5. Úlohu je možné riešiť fitovaním, ale aj výpočtom. Výpočet je pomerne jednoduchý a je založený na fakte, že v čase 2,5 s teleso prekonal rozdiel výšok $s_0 = H - h = 1,12$ m. Využitím vzťahu pre rovnomerne zrýchlený pohyb (A.1.6) pri nulovej počiatkovej rýchlosti dostávame pre zrýchlenie hodnotu $g = 2s/t^2 \doteq 0,36 \text{ ms}^{-2}$.
6. Naklonená rovina zvierá s vodorovnou rovinou uhol $\alpha = \frac{\pi}{2} - \arccos\left(\frac{H}{L}\right) \doteq 6,68^\circ$.
7. Zrýchlenie telesa, ktoré sa kĺže po naklonenej rovine s uhlom α vypočítame ako priemet vektora tiažového zrýchlenia do smeru rovnobežného s naklonenou rovinou. Veľkosť zrýchlenia telesa teda bude rovné $a = g \cdot \sin(\alpha) \doteq 1,16 \text{ ms}^{-2}$.

Poznámky

Predošlé výpočty boli realizované pri istých zjednodušeníach, čo malo vplyv na zníženie presnosti výsledkov. S využitím vzťahov pre treciu (A.2.11) resp. odporovú silu (A.2.15) sa možno dopracovať k oveľa presnejším hodnotám momentu zotrvačnosti, avšak je potrebné poznať niektoré ďalšie parametre, napríklad koeficient valivého trenia, plochu telesa, hustotu vzduchu a pod.

B.2.2. Premena mechanickej energie

Úloha



Skúmajte premenu potenciálnej energie na kinetickú pri voľnom páde pružného telesa.

Pomôcky

- uLAB BOX
- uLAB SENSOR DI01 alebo DI02 (laserový senzor vzdialenosti)
- pružné teleso najlepšie guľového tvaru (ak je to možné, tak s vodiacim puzdrom), napríklad tenisovú loptičku
- stojan, podložka (nemusí byť, ak je súčasťou puzdra)
- váhy, alebo senzor sily uLAB SENSOR FO01, ak je teleso neznámej hmotnosti

Usporiadanie

Totožné s B.1.2

Postup

Celková mechanická energia telesa E je daná súčtom jeho potenciálnej energie E_p (A.2.7) a kinetickej energie E_k (A.2.5):

$$E = E_p + E_k \quad (\text{B.2.13})$$

Ak sa teleso nachádza vo výške h_1 (vzdialenosť od vodorovnej podložky), potom jeho potenciálna energia je $E_{p1} = m \cdot g \cdot h_1$. Počas voľného pádu pôsobí na teleso tiažová sila, ktorá koná prácu vďaka ktorej sa začne teleso pohybovať a bude sa preto vyznačovať aj kinetickou energiou. Počas voľného pádu sa preto bude výška znižovať a rýchlosť telesa zvyšovať tak, že potenciálna energia sa začne premieňať na kinetickú, pričom celková energia zostáva nezmenená. Tesne pred dopadom telesa na podložku sa teda všetka potenciálna energia premení na kinetickú, pričom platí:

$$E_p = E_k, \text{ teda } m \cdot g \cdot h_1 = \frac{1}{2} m v_1^2, \quad (\text{B.2.14})$$

odkiaľ vyjadríme vzťah pre rýchlosť telesa tesne pred dopadom na podložku:

$$v_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_1} \quad (\text{B.2.15})$$

Po dopade pružného telesa na pružnú podložku dôjde k jeho deformácii až do okamihu, keď sa v ideálnom prípade premení všetka kinetická energia na deformačnú energiu, ktorá začne uvádzať do pohybu pružné teleso, teraz však opačným smerom, teda nahor. Po nadobudnutí svojho pôvodného tvaru pružné teleso získa svoju pôvodnú kinetickú energiu už tesne nad povrchom. V ďalšej fáze pohybu sa pružné teleso začne pohybovať zvislým vrhom nahor, a jeho potenciálna energia sa bude zvyšovať na úkor kinetickej energie až kým sa spotrebuje všetka kinetická energia a dosiahne sa pôvodná výška h_1 , v ktorej sa teleso zastaví. Po zastavení telesa sa celý cyklus opakuje.

V reálnych podmienkach musíme zahrnúť skutočnosť, že pri deformácii telesa dochádza aj k odovzdaniu časti energie stavebným časticiam tohto telesa, čo sa prejaví na zvýšení jeho teploty, prípadne trvalou deformáciou podložky. Rovnicu zákona zachovania energie B.2.14 je preto potrebné prepísať na tvar

$$E_p = E_{k2} + Q, \quad (\text{B.2.16})$$

kde Q je časť energie, ktorá sa premení na teplo, ktoré prijme deformované teleso a podložka. Po odraze sa kinetická energia E_{k2} začne premieňať na potenciálnu energiu, až dosiahne výšku h_2 , keď sa opäť zastaví, lebo sa premení všetka kinetická energia na potenciálnu $E_{p2} = E_{k2}$, teda

$$m \cdot g \cdot h_2 = m \cdot g \cdot h_1 - Q, \quad (\text{B.2.17})$$

odkiaľ pre teplo, ktoré získalo padajúce teleso a podložka platí:

$$Q = m \cdot g \cdot (h_1 - h_2) \quad (\text{B.2.18})$$

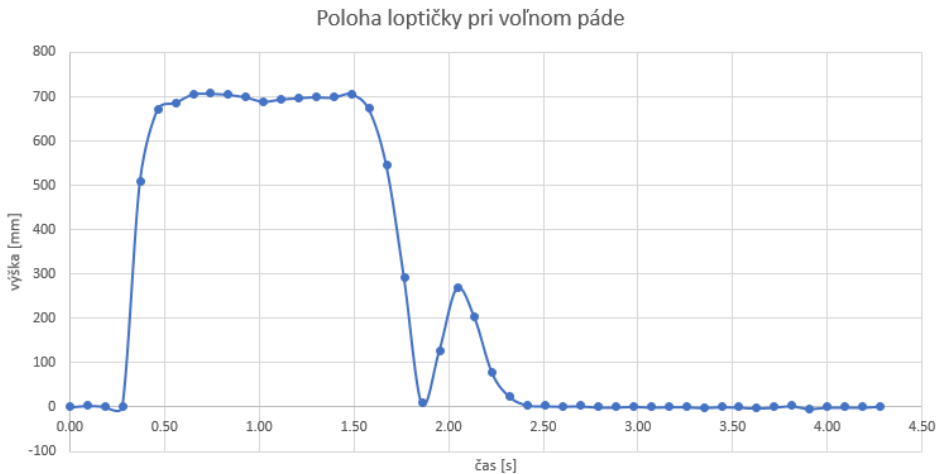
Vďaka tomuto teplu teleso nevystúpi do pôvodnej výšky, ale do výšky $h_2 < h_1$, preto sa reálny proces bude od ideálneho líšiť. Po každom odraze od podložky teleso vystúpi do stále nižšej výšky a po istom počte odrazov zostane ležať na podložke. Vtedy možno konštatovať, že sa celá potenciálna energia na začiatku experimentu E_p premenila na teplo.

Ak poznáme polohu telesa v čase, potom je možné s využitím zákona zachovania energie B.2.16 určovať aj jeho rýchlosť v každom okamihu ako aj množstvo tepla, ktoré prijímú teleso a podložka v procese deformácie. Polohu telesa padajúceho voľným pádom nameriame nasledujúcim postupom:

1. Inštalujeme senzor vzdialenosti na stojan a pripojíme ho k uLAB BOXu.
2. V rozhraní si zvolíme časové meranie a nastavíme dĺžku merania na 10 s s čo najnižším intervalom odčítania (v praxi to znamená nastaviť interval na hodnotu 30 ms).
3. Spustíme meranie a v krátkom čase pustíme loptičku.
4. Vyberieme relevantné hodnoty, z ktorých zostrojíme graf závislosti dráhy (vzdialenosti loptičky od senzora) od času.
5. Odvážime si hmotnosť loptičky

Spracovanie

Na základe merania polohy loptičky ako funkcie času sme zostrojili nasledujúci graf [48]:



Graf 6: Závislosť výšky loptičky nad podložkou od času

Varianty

Meranie je možné realizovať s rôznymi pružnými loptičkami (guľami). Snažíme sa nájsť dostatočne veľké gule s dostatočne vysokým reflexným koeficientom pre laserové žiarenie senzora vzdialenosti. V prípade vhodnej podložky je možné použiť aj kovovú, napríklad oceľovú guľu, avšak je potrebné mať na zreteli pomerne vysokú hmotnosť gule už pri malých rozmeroch, preto je potrebné veľmi starostlivo zvoliť podložku tak, aby nedošlo k jej poškodeniu, prípadne ublíženiu na zdraví.

Ak chceme dosiahnuť viac odrazov telesa od podložky, je potrebné minimalizovať energetické straty pri kontakte telesa s podložkou voľbou vhodných materiálov telesa a podložky. Veľkým problémom je docielenie minimálneho horizontálneho driftu loptičky. Na elimináciu tohto driftu slúži vodiace puzdro, alebo lišta, avšak pri každom kontakte loptičky s puzdrom dochádza k zvýšeniu strát energie loptičky odovzdaním tejto energie puzdru.

Alternatívou k voľnému pádu je pohyb po naklonenej rovine, kde je síce drift minimalizovaný, avšak v takom prípade je nutné uvažovať s energiou rotačného pohybu telesa ako aj s odporom valivého trenia v prípade odvaľovania telesa po podložke, prípadne so šmykovým trením telesa o podložku v prípade šmýkania sa telesa po podložke.

Zhodnotenie

Graf 6 reprezentuje meranie časovej závislosti výšky loptičky nad povrchom podložky. Na základe tejto závislosti je možné určiť niektoré parametre tohto procesu.

Otázky:

1. V akom čase od začiatku merania bola loptička pustená (uvoľnená nad podložkou)?
2. Z akej výšky nad podložkou bola loptička pustená?
3. Akú maximálnu výšku dosiahla loptička po prvom odraze od podložky?

4. Na grafe bol pozorovaná jeden odraz. Aký čas uplynul medzi dotykmi loptičky podložky?
5. Koľko percent zo svojej pôvodnej potenciálnej energie, keď sa loptička nachádzala v najvyššom bode nad podložkou loptička stratila po odraze od podložky (v čase dosiahnutia maximálnej výšky po odraze)?
6. Vypočítajte, o koľko by sa zvýšila teplota celuloidovej stolnotenisovej loptičky s hmotnosťou 2,7 g, ak by sa všetka odovzdaná energia pri odraze premenila na teplo? Uvažujte s hmotnostnou tepelnou kapacitou loptičky $c_c \doteq 1500 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$.
7. Závisí teplotný rozdiel od hmotnosti loptičky?
8. Z akej výšky by musela spadnúť loptička, aby pri rovnakej relatívnej strate potenciálnej energie pri odraze od podložky sa teplota loptičky zvýšila o 1°C ? Odpor vzduchu neuvažujte.

Odpovede:

1. Loptička bola pustená približne v čase 1,5 s od začiatku merania.
2. Loptička bola pustená z výšky 700 mm nad podložkou.
3. Loptička dosiahla maximálnu výšku približne 280 mm nad úroveň podložky.
4. Dotyk loptičky s podložkou bol pozorovaný v časoch 1,85 s a 2,4 s. Rozdiel časov predstavuje čas, ktorý uplynul medzi dotykmi loptičky s podložkou, teda 0,55 s.
5. Počiatočná potenciálna energia loptičky bola $E_{p0} = m \cdot g \cdot h_0$. po odraze bola jej potenciálna energia v najvyššom bode $E_{p1} = m \cdot g \cdot h_1$. Rozdiel týchto energií je $\Delta E_p = E_{p0} - E_{p1} = m \cdot g \cdot (h_0 - h_1)$. Úbytok potenciálnej energie môžeme vyjadriť v pomere $p = \Delta E_p / E_{p0} = (h_0 - h_1) / h_0 = 1 - \frac{h_1}{h_0}$. Na základe hodnôt odčítaných z grafu môžeme povedať, že loptička odrazom od podložky prišla o 60% svojej pôvodnej potenciálnej energie.
6. Teplo $Q = \Delta E_p$ sa použije na zvýšenie teploty loptičky. Z rovnice $m \cdot c_c \Delta T = m \cdot g \cdot (h_0 - h_1)$ vyjadríme zmenu teploty $\Delta T = g \cdot (h_0 - h_1) / c_c$. Na základe zistených hodnôt je teplotný rozdiel iba necelé tri tisíciny $^\circ \text{C}$.
7. Teplotný rozdiel nezávisí od hmotnosti loptičky (viď predošlý bod).
8. Ak loptička stratí pri odraze 60% svojej potenciálnej energie, potom sa na jej ohrev použije energia $Q = m \cdot g \cdot 0,6 \cdot h_c = m \cdot c_c \cdot \Delta T_c$, odkiaľ $h_c = c_c \cdot \Delta T_c / 0,6g = 250 \text{ m}$.

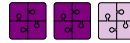
Poznámky

Pri analýze pohybu loptičky sme neuvažovali odpor vzduchu. Predpokladali sme pomerne nízke rýchlosti pohybu loptičky a jej guľový tvar, ktorý má koeficient dynamického odporu $C_x = 0,47$.

B.3. Kmity

B.3.1. Určenie tuhosti pružiny

Úloha



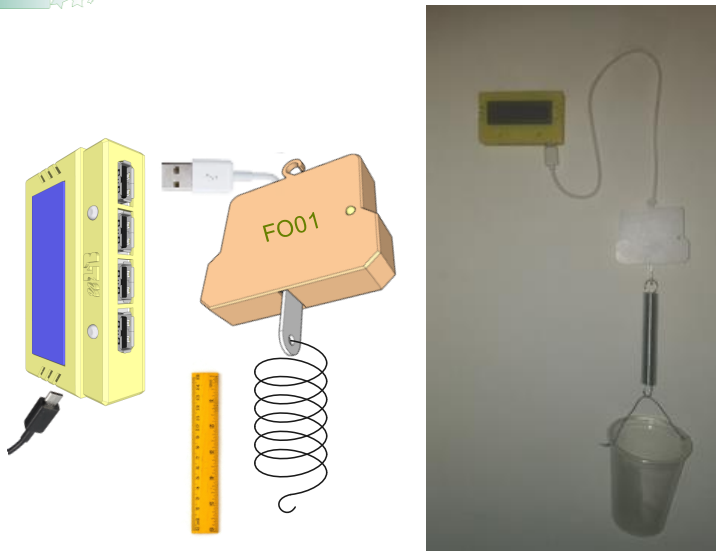
Určte hodnotu tuhosti pružiny [48].

Pomôcky



- uLAB BOX
- uLAB SENSOR FO01 (senzor sily)
- uLAB SENSOR DI01 (senzor vzdialenosti) - nepovinný
- ťažná oceľová pružina (v krajnom prípade modelárska gumička)
- dĺžkové meradlo, stojan plastový pohár s vodou, odmerka, niť, háčiky
- sada závaží alebo súbor mincí, matíc alebo iných telies použité ako závažia

Usporiadanie



Obr. 57: Meranie tuhosti pružiny – a) zostavenie experimentu, b) obrázok experimentu

Postup



1. Na stojan inštalujeme senzor sily a uLAB BOX.
2. Na oko senzora zavesíme pružinu a na jej spodný koniec zavesíme nádobu.
3. K nádobe priblížime ďalší stojan, na ktorom je umiestnené meradlo orientované zvislo.

4. Ak máme možnosť, tak stotožníme nulu dĺžkového merania s pevne zvolenou značkou nádoby (napríklad okraj nádoby alebo zvýrazňovačom nakreslená značka). Ak túto možnosť nemáme, tak túto korekciu môžeme spraviť po ukončení merania odčítaním počítačovej hodnoty meradla od všetkých nameraných polôh značky nádoby.
5. Spustíme XY meranie, pričom na x-ovú os vynesieme silu a na y-ovú os vynesieme vzdialenosť, ktorú budeme zadávať manuálne (odčítané hodnoty značky z dĺžkového meradla).
6. Vložíme do nádoby závažie, vďaka čomu sa pružina mierne predĺži, čím sa značka na stupnici dĺžkového meradla posunie. Odčítanie nameraných hodnôt sily a záznam manuálne zadaných hodnôt polohy značky na nádobe realizujeme buď pomocou medzerníka alebo pomocou tlačidla „point“.
7. Postupne pridávame do nádoby závažia a odčítavame polohy značky. Počas merania sledujeme celkovú záťaž a kontrolujeme, aby neprekročila rozsah silomeru a maximálnej záťaže pružiny. V prípade neperforovanej nádoby môžeme ako závažie použiť vodu, ktorú do nádoby pridávame pomocou odmerky.

Spracovanie

Na základe merania polohy značky v závislosti od deformujúcej sily bola spracovaná nasledujúca tabuľka:

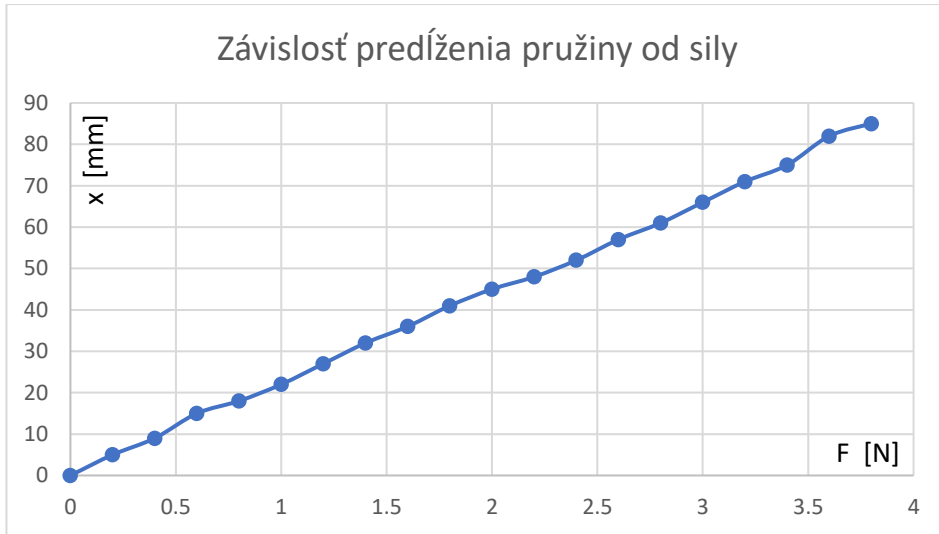
č. m.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sila [N]	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8
Poloha [mm]	50	55	59	65	68	72	77	82	86	91
k [Nm^{-1}]	-	40	44.4	40	44.4	45.5	44.4	43.8	44.4	43.9
č. m.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Sila [N]	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.4	3.6	3.8
Poloha [mm]	95	98	102	107	111	116	121	125	132	135
k [Nm^{-1}]	44.4	45.8	46.2	45.6	45.9	45.5	45.1	45.3	43.9	44.7

Tab. 9: Závislosť deformácie pružiny od deformujúcej sily

Koeficient tuhosti pružiny bol vypočítaný pre každé závažie s využitím vzťahu A.3.4, pričom skutočné predĺženie pružiny sme vypočítali tak, že sme od nameranej polohy odčítali počítačnú polohu značky (bez zavesenia závažia).

Na základe vypočítaných hodnôt koeficientu tuhosti pružiny pre rôzne deformujúce sily sme dospeli k hodnote aritmetickému priemeru $k \doteq 44,38 \text{ Nm}^{-1}$.

Zohľadniac korekciu vďaka ktorej sme si určili skutočné predĺženie pružiny, sme si zostrojili závislosť predĺženia pružiny od deformačnej sily. Táto závislosť je v súlade s A.3.4 lineárna, čo dokazuje nasledujúci graf:



Graf 7: Závislosť predĺženia pružiny od deformujúcej sily

Ak by sme dve pružiny s koeficientmi pružnosti k_1 a k_2 zaradili za sebou, potom výsledný koeficient pružnosti k_s takto vytvorenej „superpružiny“ by sme mohli vypočítať podľa vzťahu:

$$\frac{1}{k_s} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}. \quad (\text{B.3.1})$$

Ak by sme pružiny zaradili vedľa seba, potom by sme výsledný koeficient pružnosti k_p vypočítali podľa vzťahu:

$$k_p = k_1 + k_2. \quad (\text{B.3.2})$$

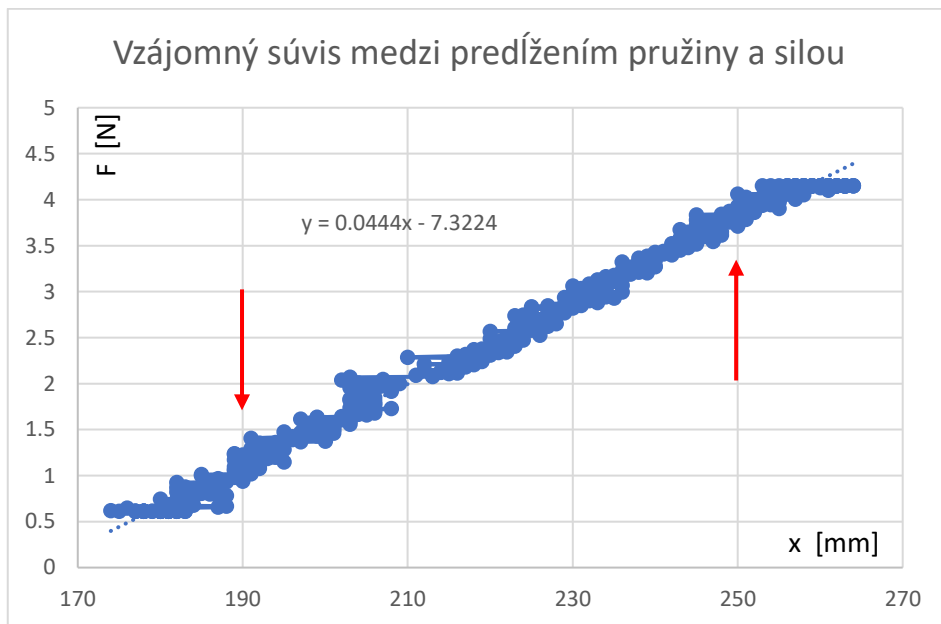
Na základe týchto vzťahov vidíme, že sa pružiny pri radení správajú podobne ako kondenzátory.

Varianty

Ak máme k dispozícii závažia, ktoré majú háčiky, ktoré umožňujú ich vešanie na pružinu, môžeme sa vyhnúť použitiu nádoby. V takom prípade je najvýhodnejšie zvoliť značku v mieste, kde sa nachádza spodný koniec pružiny. Pre pohodlnejšie odčítanie polohy tejto značky je vhodné opatriť koniec pružiny hrotom, napríklad ceruzou.

Iný spôsob merania tuhosti pružiny spočíva v kontinuálnom prilievaní vody napríklad z PET fľaše, v ktorej je vyvrtaná dierka. V takom prípade je potrebné zabezpečiť aj automatické meranie deformácie pružiny (jej predĺženie) pomocou senzora vzdialenosti (napr. DI01). Na rozdiel od predošlého merania si v tomto prípade zvolíme časové meranie, výsledkom čoho je časová závislosť sily a vzdialenosti nádoby od senzora vzdialenosti. Ak proces prilievania vody prebieha dostatočne dlho, napríklad niekoľko desiatok sekúnd, potom je možné získať namerané údaje aj v režime XY so silou na x-ovej osi a polohou na y-ovej osi. Frekvenciu odčítania si volí experimentátor podľa potreby.

Závislosť deformácie pružiny od sily v kontinuálnom režime je znázornená na nasledujúcom grafe:



Graf 8: Závislosť predĺženia pružiny od deformujúcej sily

Analýzou grafu sme dospeli k záveru, že závislosť deformačnej sily pružiny je priamo úmerná jej predĺženiu prakticky v celom intervale hodnôt. Aby sme sa vyhli malým nelinearitám na oboch koncoch závislosti, pre výpočet tuhosti pružiny si zvolíme užší podinterval pre predĺženia od 190 mm pri deformujúcej sile 1,1 N po 250 mm pri deformujúcej sile 3,8 N. Zvolenému intervalu zodpovedajú hodnoty ΔF a Δx , vďaka ktorým vypočítame tuhosť pružiny zo vzorca

$$k = \frac{\Delta F}{\Delta x} = \frac{2,7 \text{ N}}{0,06 \text{ m}} = 45 \text{ Nm}^{-1}, \quad (\text{B.3.3})$$

Tento výsledok si môžeme porovnať z fitu tejto závislosti, kde koeficient tuhosti pružiny predstavuje smernicu fitovanej priamky ($k = 44,4 \text{ Nm}^{-1}$). Ako vidíme, k hodnote smernice priamky (tuhosti pružiny k) sme sa dopracovali aj bez korekcie hodnôt predĺženia pružiny, pretože táto korekcia má za následok posun priamky vo vodorovnom smere, avšak nemá vplyv na jej sklon.

Pre úplnosť dodajme, že absolútny člen fitovanej funkcie má význam veľkosti deformačnej sily, ktorá deformuje pružinu tak, aby jej voľný koniec bol stotožnený s nulou na dĺžkovom meradle. Zo skutočnosti, že táto sila je záporná ($F_0 = -7,3 \text{ N}$) si môžeme urobiť záver, že pružinu je namiesto natiahnutia potrebné stlačiť. Vzhľadom na rôzne smery deformačnej sily by sa muselo jednať o tlačno-ťažnú pružinu, ktorá má rovnaký koeficient tuhosti ako pri jej predĺžení, tak aj pri jej skrátaní. V praxi sa však častejšie vyskytujú buď čisto tlačné, alebo čisto ťažné pružiny.



Zhodnotenie

Využitím dvoch postupov sme sa dopracovali k podobným hodnotám koeficientu tuhosti tej istej pružiny ($k_1 \doteq 44,38 \text{ Nm}^{-1}$, $k_2 \doteq 44,4 \text{ Nm}^{-1}$). Závislosť predĺženia pružiny od deformačnej sily má charakter lineárnej závislosti, ktorej grafom je priamka. O lineárnej závislosti svedčia oba grafy (Graf 7 a Graf 8). Aj keď maximálne hodnoty deformačnej sily pre danú pružinu nám neboli známe, je pravdepodobné, že túto hodnotu sme neprekročili, pretože výsledky opakovaných meraní boli porovnateľné. Rovnako sme nezaznamenali vizuálne zmeny v tvare pružiny.

Otázky:

1. Z grafu (Graf 7) odčítajte veľkosť deformačnej sily, ktorá je potrebná na predĺženie pružiny o 60 mm.
2. Aký význam majú smernice priamok znázornených v grafoch (Graf 7 a Graf 8)?
3. Najprv odhadnite a svoj odhad potvrdte výpočtom, o akú dĺžku by sa predĺžila táto pružina, ak by na ňu pôsobila sila 8 N.
4. Aký vplyv na strmosť priamky (Graf 7) by malo použitie pružiny s vyššou hodnotou koeficientu tuhosti pružiny?

Odpovede:

1. Na predĺženie pružiny o 60 mm je potrebná sila približne 2,8 N.
2. Prvý graf (Graf 7) znázorňuje funkciu závislosti predĺženia Δx od deformačnej sily ΔF , teda $\Delta x = f(\Delta F)$. Ak si zo vzťahu A.3.4 ($\Delta F = k \cdot \Delta x$) vyjadríme Δx , potom dostávame

$$\Delta x = \frac{1}{k} \Delta F \quad (\text{B.3.4})$$

Smernica tejto priamky má preto význam prevrátenej hodnoty koeficientu tuhosti pružiny. V druhom grafe (Graf 8) má smernica priamky význam tuhosti pružiny, pretože je grafom funkcie $F = k \cdot x + F_0$.

3. Ak na predĺženie pružiny o 90 mm potrebujeme silu 4 N (Graf 7), potom pri aplikácii dvojnásobnej sily 8 N dosiahneme dvojnásobné predĺženie 180 mm. Tieto úvahy môžeme zrealizovať vďaka tomu, že priamka prechádza počiatkom. Túto hodnotu môžeme získať aj výpočtom na základe znalosti koeficientu tuhosti pružiny ($k = 45 \text{ Nm}^{-1}$): $\Delta x = \frac{\Delta F}{k} = \frac{8 \text{ N}}{45 \text{ Nm}^{-1}} \doteq 178 \text{ mm}$.
4. Vyššia hodnota tuhosti pružiny má za následok zníženie predĺženia pružiny pri rovnakej hodnote deformačnej sily (viď B.3.4). Strmosť tejto priamky by sa preto znížila, teda s vodorovnou osou (sily) by zvierala menší uhol.

B.3.2. Určenie tiažového zrýchlenia

Úloha

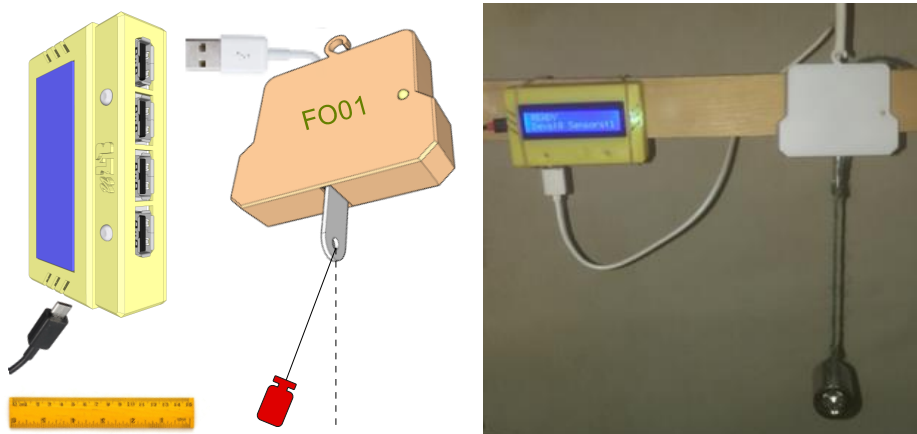


Pomocou matematického kyvadla určte hodnotu tiažového zrýchlenia Zeme. Zistite, od akých podmienok závisí perióda kmitavého pohybu kyvadla.

Pomôcky

- uLAB BOX
- uLAB SENSOR FO01 (senzor sily)
- vlákno (pevná niť alebo špagát dĺžky 5m), závažie alebo sada závaží
- stojan, háčiky, dĺžkové meradlo (pásmo)

Usporiadanie



Obr. 58: Určenie tiažového zrýchlenia zeme – a) zostavenie experimentu, b) obrázok experimentu

Postup

1. Na stojan inštalujeme senzor sily a uLAB BOX. V tejto polohe vynulujeme senzor (použijeme funkciu „tara“).
2. Na oko senzora pripevníme vlákno zistenej dĺžky, a na jeho koniec priviažeme závažie. Ak je závažie v pokoji, odčítame jeho hmotnosť (v prípade voľby hmotnostného rozsahu), prípadne hmotnosť vypočítame z nameranej hodnoty tiažovej sily.
3. Vychýlime závažie z rovnovážnej polohy tak, aby vlákno zvieralo so zvislým smerom uhol maximálne 5° a závažie uvoľníme. Malá výchylka zabezpečí harmonický pohyb kyvadla.



4. Spustíme časové meranie sily s maximálnou frekvenciou merania počas jednej minúty. V prípade silomera FO01 môžeme zvoliť minimálny interval merania 90 ms (maximálna frekvencia). Tento interval je nastavený aj v prípade, ak je zvolený nižší interval.
5. Po vykonaní desiatich kmitov (20 kyvov) môžeme meranie ukončiť manuálne.
6. Meranie zopakujeme pri rôznych dĺžkach vlákna a pri rôznych hmotnostiach závažia.
7. Namerané údaje si prenesieme do počítača.

Spracovanie

Našou úlohou je určiť hodnotu lokálneho tiažového zrýchlenia zeme g využitím vzťahu A.3.2. Aby sme túto hodnotu mohli vypočítať, potrebujeme poznať dĺžku kyvadla a periódu kmitu. Dĺžku kyvadla odmeriame dĺžkovým meradlom, pričom jeho koncové body určíme nasledovne:

- horný koniec kyvadla predstavuje miesto úchytu vlákna v oku silomera
- spodný koniec kyvadla stotožníme s ťažiskom závažia

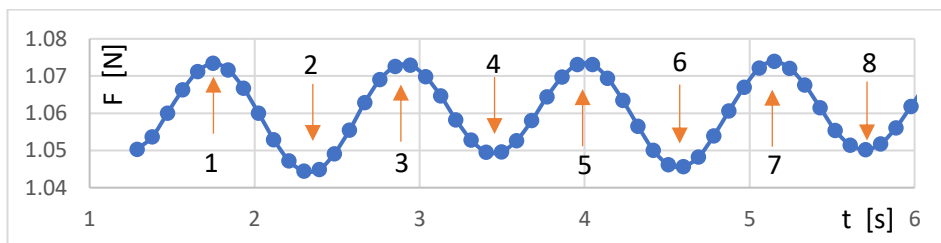
Vo vzorovom príklade boli realizované tieto tri merania:

Č. m.	l [m]	m [kg]
1	1,27	0,104
2	0,81	0,104
3	0,81	0,268

Vďaka týmto meraniam je možné zistiť:

1. závislosť periódy kmitov od dĺžky kyvadla (pri konštantnej hmotnosti – porovnaním merania č. 1 a č. 2).
2. závislosť periódy kmitov od hmotnosti závažia (pri konštantnej dĺžke kyvadla – porovnaním merania č. 2 a č. 3).

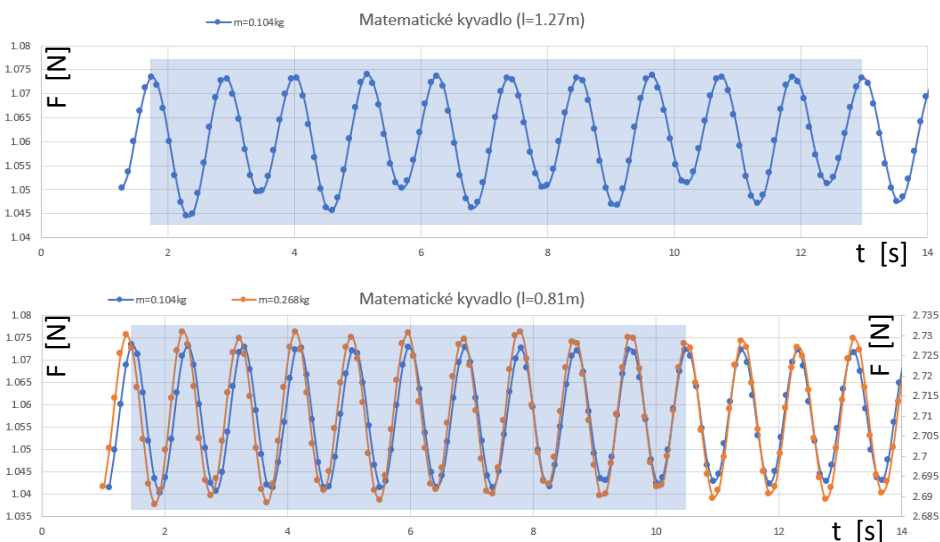
Na to, aby sme určili periódu kmitov, si musíme stotožniť fázy pohybu kyvadla s nameranými hodnotami sily, ako je to znázornené na nasledujúcom grafe (Graf 9).



Graf 9: Časový priebeh sily napínajúcej vlákna

Na tomto grafe pozorujeme rad maxim a miním, ktoré sú označené číslami od 1 po 8. Maximá označené číslami 1, 3, 5 a 7 predstavujú okamihy prechodu závažia rovnovážnou polohou a minimá 2, 4, 6 a 8 predstavujú krajné polohy závažia. Vzhľadom na to, že poloha silomera v tomto prípade nebola dokonale stotožnená so zvislým smerom, je možné tieto krajné polohy rozlíšiť, nakoľko minimá 2 a 6 dosahujú nižšie hodnoty ako minimá 4 a 8.

Jednu periódu je preto možné určiť rozdielom časov medzi bodmi 1 a 5, alebo medzi bodmi 2 a 6, 3 a 7 atď. Presnosť určenia periódy závisí od presnosti určenia maxim resp. miním čo súvisí s frekvenciou merania. Zvýšiť presnosť určenia periódy kmitu je možné aj tak, že určíme čas viacerých periód kyvadla (napríklad 5) a týmto počtom tento časový údaj predelíme. Určenie periód sme preto vykonali na vyznačených intervaloch.



Graf 10: Časový priebeh sily napínajúcej vlákno pri zmene dĺžky kyvadla a pri zmene hmotnosti

Ako demonštrujú grafy znázornené modrou farbou (Graf 10) v hornej a spodnej časti, perióda kmitov je závislá od dĺžky kyvadla, ako je to uvedené v nasledujúcej tabuľke:

l [m]	m [kg]	T_s [s]	T [s]	g [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]
1,27	0,104	11,313	2,2626	9,79
0,81	0,104	8,995	1,799	9,88

Využitím vzťahu A.3.2 sme určili hodnotu tiažového zrýchlenia pre obidve dĺžky matematického kyvadla. Ako vidíme, tieto hodnoty sú porovnateľné a veľmi blízke tabuľkovej hodnote, ktorá sa bežne používa vo výpočtoch ($g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$).

Spodný graf znázornený oranžovou farbou (Graf 10) jednoznačne dokazuje nezávislosť periódy kmitu matematického kyvadla od hmotnosti závažia. Drobné rozdiely môžu byť spôsobené napríklad miernym posunutím ťažiska závažia, prípadne natiahnutím vlákna, čo vplýva na dĺžku kyvadla.



Varianty

Meranie periódy kmitu matematického kyvadla je možné realizovať aj s využitím iných senzorov, napríklad senzora vzdialenosti DI01. Usporiadanie experimentu by bolo také, kde by kyvadlo bolo zavesené na stojane a závažie by pretínalo laserový lúč senzora vzdialenosti. Z časovej závislosti vzdialenosti by sme mohli získať periódu kmitov matematického kyvadla podobným spôsobom ako s využitím senzora sily. Toto meranie však ponúka vyššiu presnosť, pretože senzor vzdialenosti umožňuje dosahovať vyššie frekvencie merania. Okrem toho je v tomto prípade oveľa jednoduchšie a jednoznačnejšie určenie etáp pohybu, a tým je aj stanovenie periódy presnejšie.

Zhodnotenie

Meraním sme overili platnosť vzťahu A.3.2, vďaka čomu môžeme konštatovať závislosť periódy kmitov matematického kyvadla od dĺžky kyvadla a nezávislosť periódy jeho kmitov od hmotnosti závažia. Na základe meraní pri rôznych dĺžkach matematického kyvadla sme dospeli k priemernej hodnote tiažového zrýchlenia zeme v mieste merania $g = 9,83 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Otázky:

1. Ako sa zmení perióda matematického kyvadla, ak zvýšime dĺžku kyvadla štvornásobne?
2. Koľkokrát prešlo závažie rovnovážnou polohou v časovom intervale 2 s až 6 s pri dĺžke kyvadla 1,27 m?
3. Je smer pohybu závažia v 2. sekunde a 6. sekunde rovnaký?

Odpovede:

1. V súlade so vzťahom A.3.2 sa perióda zvýši $\sqrt{4} = 2$ -krát.
2. Na určenie počtu prechodov rovnovážnou polohou je potrebné spočítať počet maxim v uvedenom intervale v hornom grafe (Graf 10), ktorých je 3.
3. Ak si hlbšie minimum označíme ako ľavú krajnú polohu a menej hlboké minimum ako pravú krajnú polohu, potom v 2. sekunde sa závažie pohybuje smerom od rovnovážnej polohy k ľavej krajnej polohe a v 6. sekunde sa závažie pohybuje od pravej krajnej polohy k rovnovážnej polohe. To znamená, že smer pohybu závažia je v oboch časoch rovnaký.

Poznámky

Pri voľbe dĺžky kyvadla je potrebné vychádzať z vlastností použitého senzora. Ak si stanovíme minimálny počet meraní počas jednej periódy (počet vzoriek na jednu periódu) 10, pri hodnote minimálneho intervalu merania sily 100 ms je spodným limitom dĺžky kyvadla 25 cm. Horný limit je určený fyzickými možnosťami realizácie experimentu, avšak je potrebné mať na pamäti, že so zvyšujúcou sa dĺžkou kyvadla rastie aj povrch vlákna, čo môže výrazne zvýšiť odpor vzduchu, a tým skresliť výsledky.

Odporúča sa výber takého vlákna, ktoré pri aplikácii sily nemení svoju dĺžku. V opačnom prípade by sa dĺžka kyvadla s časom menila a to by mohlo ovplyvniť periódu jeho kmitov.

B.4. Termodynamika

B.4.1. Meranie teploty v miestnosti

Úloha

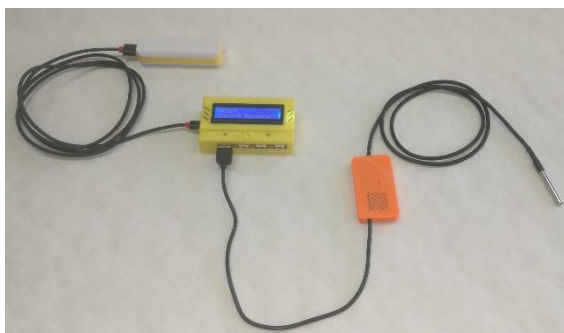


Odmerajte teplotu okolia (vzduchu) v miestnosti a teplotu niektorých telies v miestnosti.

Pomôcky

- uLAB BOX
- uLAB SENSOR TE01 (senzor teploty)
- kadička s vodou 100ml

Usporiadanie



Obr. 59: Meranie teploty – a) zostavenie experimentu, b) obrázok experimentu

Postup

1. Nalejeme vodu z vodovodného kohútika do pripravenej kadičky a odmeriame jej teplotu ponorením senzora do kvapaliny.
2. Meranie teploty realizujeme aj v rôznych miestach miestnosti, pričom sa sústredíme hlavne na miesta nachádzajúce sa pri dverách, oknách, rôznych otvoroch a pod.
3. Meranie realizujeme buď pomocou modulu časového merania, alebo pomocou modulu merania XY závislosti
 - a. v prípade časového merania (Time based measurement) odčítavame hodnoty teploty z ručičkových a digitálnych ukazovateľov, pričom namerané teploty zapisujeme do pripravenej tabuľky

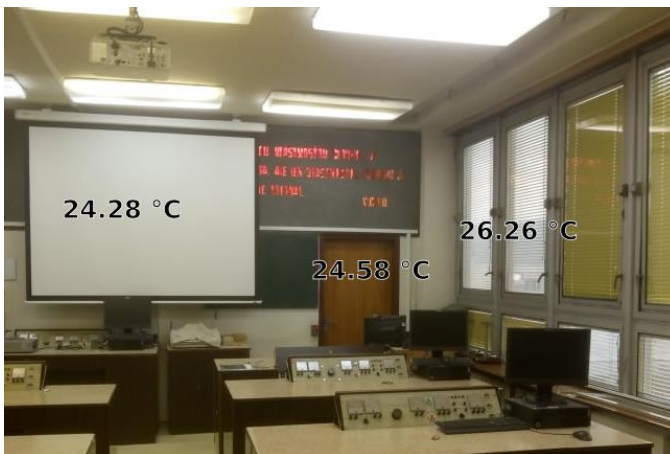
- b. v prípade použitia XY závislosti si zapneme kanál Man (kliknutím naň a premenovaním senzora napríklad na „miesto“) a zvolíme si osi (Man os x, teplota os y); meranie môžeme vykonať dvomi spôsobmi:
 - i. po zapnutí automatickej inkrementácie čísla merania (zakliknutie *Man autoincrement*) bude systém po zaznamenaní nameranej hodnoty automaticky zvyšovať číslo merania
 - ii. hodnotu (value) kanála Man budeme manuálne vkladať pred každým meraním (napr. „pri okne“); políčko *Man autoincrement* v takom prípade nesmie byť zaškrtnuté
4. Myšou alebo medzerníkom zaznamenáme aktuálnu nameranú teplotu vo zvolenom mieste.
5. Je vhodné vyhotoviť fotografiu laboratória resp. miestnosti a označiť miesta merania s uvedením nameranej teploty (Obr. 60)
6. Meranie teploty vody v kadičke môžeme realizovať dvomi spôsobmi:
 - a. odmeriame teplotu vody v kadičke po uplynutí 30 minút
 - b. teplotu vody môžeme merať kontinuálne a to vďaka modulu časového merania, v ktorom si nastavíme interval odčítavania hodnôt na 5 s a dĺžku merania na 30 minút

Bezpečnosť

Pozornosť je potrebné zvýšiť iba v prípade použitia telies s teplotou vyššou ako 60 °C, prípadne s teplotou nižšou ako -10 °C.

Spracovanie

Teplota vo vybraných miestach miestnosti bola odčítaná až v okamihu, keď sa dosiahla teplotná rovnováha medzi teplomerom a okolím, teda keď sa teplota prestala meniť.



Obr. 60: Meranie teploty v miestnosti

Za predpokladu, že pri okne sa nenachádza zdroj tepla (napríklad radiátor pre vykurovanie) možno konštatovať, že vonkajšia teplota je vyššia ako teplota aj v neklimatizovanej miestnosti, a preto je vysoko pravdepodobné, že meranie bolo realizované v lete. Tento záver podporuje aj skutočnosť, že teplota sa so zvyšujúcou vzdialenosťou od okna znižuje (je pozorovaný tzv. teplotný gradient).

Na základe merania bola vytvorená tabuľka:

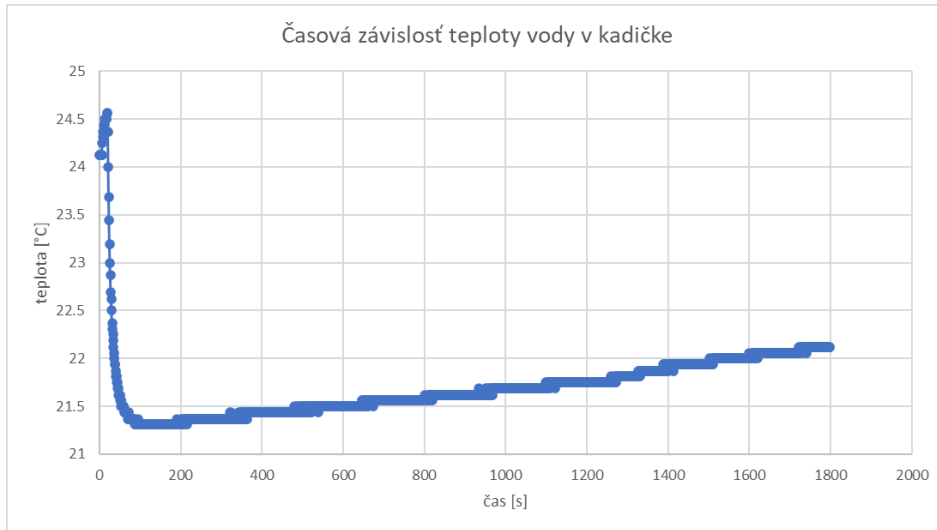
	miesto	teplota	termodynamická teplota (vyp.)	teplota
	[-]	[°C]	[K]	[K]
1	vzduch v kadičke	24.45	297.60	-
2	voda v kadičke	21.31	294.46	-
3	pri okne	26.26	299.41	299.6
4	pri dverách	24.57	297.72	297.82
5	tabuľa	24.28	297.43	297.42
6	voda v kadičke po uplynutí 30min	22.12	295.27	-
7	vzduch v kadičke po uplynutí 30min	24.35	297.50	-

Tab. 10: Meranie teploty

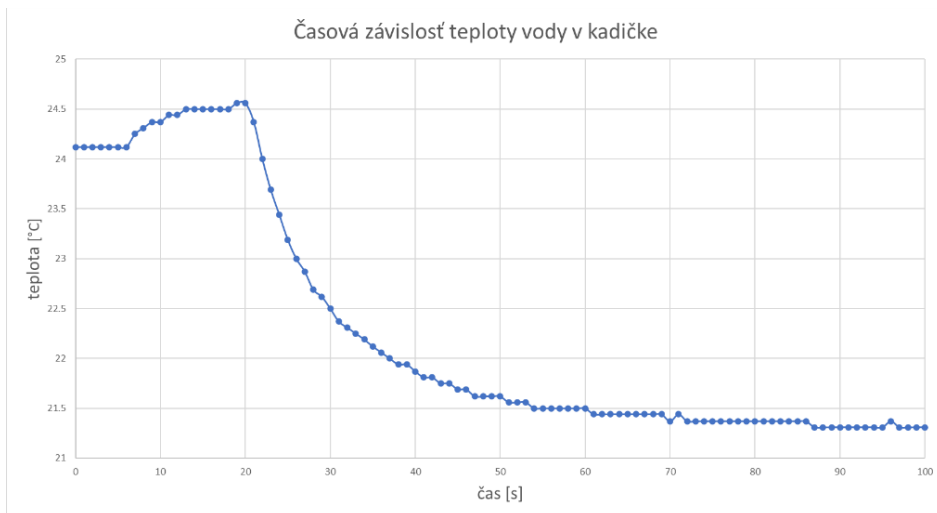
Meranie časovej závislosti teploty vody v kadičke prebiehalo tak, že po spustení merania bol po uplynutí 20 sekúnd ponorený teplomer do vody v kadičke. Mierny nárast teploty pred vložením teplomera do vody (Graf 12) je možné vysvetliť prítomnosťou ľudskej obsluhy (s telesnou teplotou takmer 37 °C). Po tomto čase, počas tepelnej výmeny teplotného senzora s vodou v kadičke meraná teplota pomerne prudko klesá až na hodnotu, ktorá je blízka reálnej teplote vody v kadičke, a teda aj teplomera. Po uplynutí asi 100 sekúnd je možné konštatovať, že proces tepelnej výmeny medzi teplomerom a kvapalinou je už ukončený, nakoľko teplota sa už prakticky nemení (resp. jej zmena je minimálna). Pomalý nárast teploty vody v kadičke je spôsobený postupnou tepelnou výmenou medzi kadičkou a okolím, ktorá prebieha pomerne pomaly (v čase 30 minút po spustení merania ešte stále k teplotnej rovnováhe nedošlo). Nakoľko teplotná výmena závisí o. i. aj od rozdielu teplôt, možno predpokladať, že sa tepelná výmena spomalí, pričom meraná teplota by sa mala za predpokladu nemenných počiatočných podmienok asymptoticky blížiť k teplote prostredia.

Využitím vzťahu A.4.1 vyplníme stĺpec *Termodynamická teplota (vyp.)*. Tieto hodnoty porovnáme s nameranými hodnotami teploty v jednotlivých miestach aj na kelvinovom rozsahu (posledný stĺpec).

Meranie teploty vody v kadičke prezentuje Graf 11 a Graf 12.



Graf 11: Časová závislosť teploty vody v kadičke



Graf 12: Časová závislosť teploty vody v kadičke – prvých 100 sekúnd

Varianty

Meranie je možné realizovať aj v exteriéri, v telocvični, v chladničke, v skleníku a pod.

Zhodnotenie

Meraním sme zistili teploty v rôznych miestach laboratória (miestnosti). Namerané teploty sú uvedené vo fotografii, do ktorej sme tieto hodnoty zanesli (Obr. 60).

Meraním teploty vody v kadičke sme analyzovali tok tepla v uvažovanej sústave.

Otázky:

1. V ktorom mieste je maximálna a minimálna teplota (uvažujte aj o dôvodoch)?
2. Ako sa situácia môže líšiť v závislosti od ročného obdobia?
3. Prečo sa porovnávané údaje termodynamickej teploty (vypočítaná a nameraná) líšia?
4. Čo sa deje s vodou v kadičke a ako sa volá stav sústavy na začiatku a ako na konci?
5. Prečo sa nezvýšila teplota okolia (resp. sa znížila iba minimálne)?
6. Čo by sa dialo ďalej po skončení merania?
7. Čo by sa stalo, ak by teplota vody v kadičke mala vyššiu teplotu, ako je teplota vzduchu?

Odpovede:

1. maximálna a minimálna teplota:
 - a. maximálna teplota bola nameraná v priestore okna, lebo teplomer sa nachádzal na priamom slnku
 - b. minimálna teplota bola nameraná v ľavej časti obrázka, v blízkosti vstupných dverí do laboratória (mimo obrázka), kde je predpoklad vyššej cirkulácie vzduchu (v tomto prípade išlo o cirkuláciu vzduchu z chladnejších priestorov budovy)
2. vplyv ročného obdobia na meranie:
 - a. možno očakávať, že v zime je vonkajšia teplota nižšia ako v miestnosti a vzhľadom na nedokonalosť tepelnej izolačnej schopnosti okna dochádza k úniku tepla oknom, a teda bude teplota v blízkosti okna nižšia, ako v strede miestnosti
 - b. ohrevné telesá (radiátory) bývajú spravidla umiestnené pod oknom, aby sa dosiahol efekt cirkulácie vzduchu (teplý vzduch má nižšiu hustotu, a preto prúdi vždy nahor); v prípade umiestnenia teplomera v blízkosti radiátora môžeme namerať vyššiu teplotu, ako v strede miestnosti
 - c. v prípade umiestnenia teplomera v okolí dverí je ťažko predvídať jeho správanie, pretože neexistuje dostatok informácií o teplotných pomeroch v priestore za dverami
3. rozdiel vypočítaných a nameraných hodnôt spočíva predovšetkým:
 - a. vďaka obmedzenej presnosti senzora, ako aj (mierne) rozdielnym miestam merania
 - b. v tom, že sa podmienky medzi oboma meraniami mohli mierne zmeniť (treba si uvedomiť, že presnosť teplomera sa pohybuje na úrovni $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$), čo je možné ovplyvniť už len prítomnosťou človeka v blízkosti senzora



4. voda v kadičke
 - a. sa v danom prípade ohrieva, pretože jej počiatočná teplota bola nižšia, ako teplota okolia (24.26 °C)
 - b. takýto stav sa nazýva nerovnovážny, čo spôsobí odovzdávanie tepla teplejšieho telesa (vzduchu a všetkých telies v miestnosti) chladnejšiemu telesu (vode v kadičke)
 - c. odovzdávanie tepla bude prebiehať dokiaľ sa obe teploty nevyrovnajú a v takom prípade sa bude sústava nachádzať v rovnovážnom stave
 - d. teplota vody v kadičke sa zvýšila, ale k tepelnej rovnováhe ešte v čase ukončenia merania nedošlo, pretože teploty vody a vzduchu nie sú rovnaké
5. teplota okolia (vzduchu a všetkých predmetov v miestnosti) sa prakticky nezmenila, pretože ich hmotnosť oproti hmotnosti vody v kadičke je výrazne vyššia (porovnaj kalorimetrická rovnica A.4.3, A.5.3)
6. teploty by sa po určitom čase vyrovnali a sústava by sa tak nachádzala v rovnovážnom stave za predpokladu tepelnej izolovanosti sústavy; v skutočnosti zabezpečiť izolovanosť sústavy je veľmi náročné
7. v takom prípade by voda odovzdávala teplo okoliu a teplota vody by sa postupne znižovala až dokiaľ by sa obe teploty nevyrovnali

Poznámky



Pri spracovaní grafov sa vyžaduje ovládanie vhodného programu tabuľkového procesora (napr. MS Excel) na základnej úrovni.

B.4.2. Meranie hmotnostnej tepelnej kapacity

Úloha



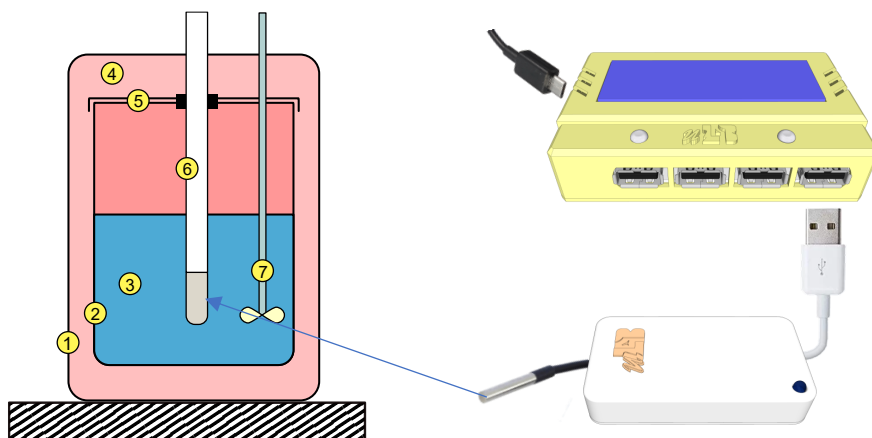
Zistite hmotnostnú tepelnú kapacitu železa alebo inej látky pomocou kalorimetra.

Pomôcky

- uLAB BOX
- uLAB SENSOR TE01 (senzor teploty)
- laboratórny kalorimeter, alebo vlastnoručne vyrobený kalorimeter
- železný predmet alebo predmet inej látky s hustotou vyššou ako $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ (napr. plastelína) s hmotnosťou aspoň 100 g; je vhodné, ak má teliesko oko, alebo nejaký prvok na uchopenie
- vodný kúpeľ na ohriatie telesa, prípadne varná kanvica
- pinzeta alebo háčik na uchopenie telesa
- váhy na váženie telies a kvapalín

Usporiadanie

Snímač teplotného senzora je vložený do otvoru kalorimetra. Teplotný senzor je pripojený k uLAB BOXu. Kalorimeter je možné vyrobiť z obalových materiálov. Návod na výrobu vlastného kalorimetra je uvedený nižšie [48].



Obr. 61: Princípová schéma zmiešavacieho kalorimetra

- | | |
|------------------------------|-------------------------------|
| 1. vonkajšia nádoba | 5. veko nádoby |
| 2. vnútorná nádoba | 6. teplotný senzor (teplomér) |
| 3. kalorimetrická kvapalina | 7. miešačka |
| 4. tepelná izolácia - vzduch | |



Postup

1. Odvážíme hmotnosť vnútornej nádoby kalorimetra s miešačkou a uzáverom m_k .
2. Odvážíme hmotnosť kovového valčeka m_2 .
3. Do vnútornej nádoby kalorimetra nalejeme vodu izbovej teploty a určíme jej hmotnosť m_1 .
4. a) V prípade použitia teplotného senzora s dvomi snímačmi teploty:
Jeden senzor vložíme do vnútornej nádoby, ktorým budeme merať teplotu vlažnej vody t_1 a druhý senzor vložíme do vodného kúpeľa, v ktorom je ponorený valček.
b) V prípade použitia senzora s jedným snímačom tieto teploty odmeriame postupne, pričom začneme meraním teploty vodného kúpeľa (valčeka).
5. Spustíme MS uLAB, do ktorého zapojíme senzor(y) teploty a spustíme meranie s dĺžkou merania 45 minút. Interval merania nastavíme na 1s.
6. a) Po dosiahnutí teploty kúpeľa približne 80 °C³⁸ presunieme kovový valček háčikom do vnútornej nádoby kalorimetra. Pozorujeme ako sa mení graf teploty pre senzor vo vnútornej nádobe kalorimetra.
b) Po dosiahnutí teploty kúpeľa približne 80 °C presunieme snímač teploty do vnútornej nádoby kalorimetra. Po ustálení teploty senzora, kedy sa dosiahne tepelná rovnováha presunieme kovový valček z vodného kúpeľa do kalorimetra. Za predpokladu nižšej teploty kalorimetrickej kvapaliny sa teleso snímača bude ochladzovať, následkom čoho sa bude nameraná teplota znižovať. Vzhľadom na nenulovú tepelnú kapacitu tela senzora a jeho nenulovú hmotnosť tento proces môže trvať niekoľko sekúnd. Tento proces je možné urýchliť použitím miešačky. Zmenu teploty sledujeme na ukazovateli a ak sa teplota ustáli, presunieme valček z kúpeľa do vnútornej nádoby kalorimetra.
7. Výslednú teplotu t určíme ako maximum z nameraných hodnôt senzora, ktorý bol umiestnený vo vnútornej nádobe kalorimetra. Tento bod na grafe odpovedá tepelnej rovnováhe.
8. Vypočítame hmotnostnú tepelnú kapacitu valčeka, určíme absolútnu a relatívnu chybu merania a zostrojíme graf.

Bezpečnosť

Pri použití teploty 80 °C hrozí riziko úrazu. S predmetmi týchto teplôt by preto mal manipulovať výhradne učiteľ, resp. dospelá osoba. Z uvedeného dôvodu je možné

³⁸ Aby sme si boli istí, že valček má teplotu vody, je potrebné dosiahnuť tepelnú rovnováhu, teda stav, keď sa teplota kvapaliny (a ani valčeka) nebude s časom meniť. Ideálne je dosiahnuť teplotu varu a chvíľu pri nej zotrvať. Vzhľadom na to, že použitý valček je vyrobený z kovu s vynikajúcou tepelnou vodivosťou a pomerne nízkou hmotnostnou tepelnou kapacitou (okolo 450 JK⁻¹kg⁻¹ oproti 4180 JK⁻¹kg⁻¹ u vody), môžeme predpokladať, že teplota valčeka pomerne presne kopíruje teplotu vody.

experiment realizovať pri teplote vodného kúpeľa 60 °C. Avšak aj pri tejto teplote je potrebné mať na zreteli isté bezpečnostné riziko.

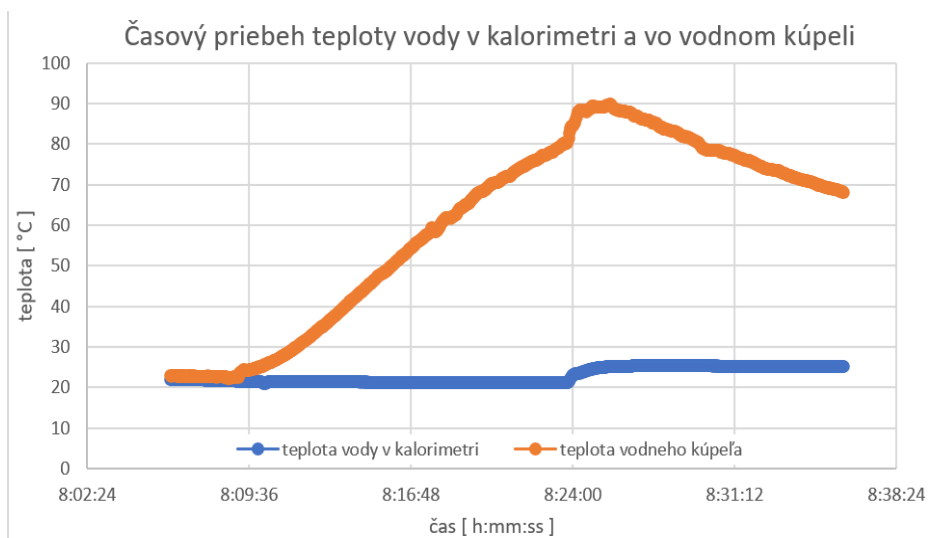
Spracovanie

Meraním boli získané hodnoty z oboch teplomerov, ktoré závisia od času a sú uvedené v nasledujúcej tabuľke. Časový údaj t je zaznamenávaný v univerzálnom formáte, ktorý má význam časti dňa, ktorý môže nadobúdať hodnotu $< 0,1$). V Exceli je možné tento údaj zobraziť priamo vo formáte, ktorý je pre človeka lepšie čitateľný. Inou alternatívou je manuálny prepočet času na sekundy s podľa vzorca

$$s = t \cdot 24 \cdot 3600. \quad (\text{B.4.1})$$

Dátum	Čas	Teplota vody v kalorimetri	Teplota vodného kúpeľa
d.m.r	h:m:s	°C	°C
18.2.2020	8:06:05	22.19	23.00
18.2.2020	8:06:07	22.19	22.94
18.2.2020	8:06:09	22.19	23.00
18.2.2020	8:06:10	22.19	23.00
18.2.2020	8:06:12	22.19	23.00
18.2.2020	8:06:13	22.19	23.06
tabuľka je neúplná			

Tab. 11: Meranie teploty v kalorimetri



Graf 13: Časové závislosti teploty



Zo zákona zachovania energie je možné zostaviť kalorimetrickú rovnicu, z ktorej je možné neskôr vyjadriť tepelnú kapacitu valčeka:

$$Q_2 = Q_1 + Q_k \quad (\text{B.4.2})$$

kde Q_1 je teplo prijaté vodou, Q_k je teplo prijaté kalorimetrom (príp. teplomerom/senzorom teploty) a Q_2 je teplo odovzdané valčekom. S využitím vzťahu A.4.3 po dosadení príslušných fyz. veličín dostávame:

$$c_1 m_1 (t - t_1) + c_k m_k (t - t_1) = c_2 m_2 (t_2 - t) \quad (\text{B.4.3})$$

Po úprave pre hmotnostnú tepelnú kapacitu valčeka c_2 dostávame:

$$c_2 = \frac{(c_1 m_1 + c_k m_k)(t - t_1)}{m_2 (t_2 - t)}, \quad (\text{B.4.4})$$

kde

c_2 je hmotnostná tepelná kapacita telesa (vypočítaná hodnota)

c_1 je hmotnostná tepelná kapacita vody (tabuľková hodnota)

m_1 je hmotnosť vody vo vnútornej nádobe kalorimetra (odmeraná hodnota)

t_1 je teplota vody pred tepelnou výmenou (odmeraná hodnota odčítaná z grafu)

c_k je hmotnostná tepelná kapacita materiálu, z ktorého je vyrobený kalorimeter (tabuľková hodnota)

m_k je hmotnosť vnútornej nádoby kalorimetra s miešačkou a vekom (odmeraná hodnota)

m_2 je hmotnosť valčeka (odmeraná hodnota)

t_2 je teplota valčeka tesne pred vložením do kalorimetra (odmeraná hodnota odčítaná z grafu)

t je výsledná teplota po ustálení tepelnej rovnováhy (odmeraná hodnota odčítaná z grafu)

c_1 [J.K ⁻¹ .kg ⁻¹]	4180	t_1 [°C]	21,35
c_k [J.K ⁻¹ .kg ⁻¹]	875	t_2 [°C]	80,63
m_1 [kg]	0,1	t [°C]	25,37
m_k [kg]	0,08	c_2 [J.K ⁻¹ .kg ⁻¹]	455,14
m_2 [kg]	0,078	c_{tab} [J.K ⁻¹ .kg ⁻¹]	452

Tab. 12: Hmotnostná tepelná kapacita telesa

Varianty



Namiesto železného valčeka môže byť použité ľubovoľné iné teleso. Aby teleso vo vode neplávalo, odporúča sa voliť jeho hustotu vyššiu ako je hustota vody. Vhodnými materiálmi sú napríklad plastelína, rôzne horniny, prípadne iný kov. V prípade použitia telesa z neznámej

látky nie je možné nameranú hodnotu porovnať s tabuľkovými hodnotami. Napriek tomu vieme tieto namerané hodnoty porovnať vzájomne.

V prípade nedostupnosti laboratórneho kalorimetra si vieme vyrobiť kalorimeter vlastnými rukami z nepotrebných obalových materiálov. Ako vnútornú nádobu možno použiť zaváraninové sklíčko s vekom, do ktorého prevrtáme otvor na teplotný senzor a miešačku a ako vonkajšiu nádobu môžeme použiť napríklad papierovú alebo plastovú škatuľu od kozmetiky, prípadne umytý obal od mlieka alebo džúsu (tetrapak). Pre c_k sa v takom prípade použije hodnota skla. Vo vonkajšej nádobe je potrebné rovnako vyvŕtať otvory pre senzor a miešačku. Kvôli zlepšeniu tepelnej izolácie kalorimetra je vhodné do vonkajšej nádoby pod vnútornú nádobu umiestniť drevenú doštičku. Namiesto doštičky je možné použiť niekoľko vrstiev kartónu, alebo papiera. Ako miešačku je možné použiť hrubší drôt so špirálovým zatočením na jeho spodnom konci.

Zhodnotenie

Určili sme hodnotu hmotnostnej tepelnej kapacity $c_2 = 455,14 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$. Absolútna odchýlka od tabuľkovej hodnoty predstavuje $3,14 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$. V relatívnom vyjadrení táto odchýlka predstavuje 0,69 %. Existuje niekoľko príčin vzniku tejto odchýlky. V prvom rade na presnosť merania vplýva presnosť teplomera(ov), ktorá je $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Svoj podiel nepresnosti nesie nedokonalosť tepelnej izolácie kalorimetra a únik tepla pri prenose valčeka z vodného kúpeľa do kalorimetra. Rovnako presnosť váženia všetkých komponentov vstupujúcich do kalorimetrickej rovnice má nezanedbateľný vplyv na výslednú hodnotu hľadanej hmotnostnej tepelnej kapacity. Táto presnosť závisí od typu použitých váh.

Otázky:

1. Na základe grafu Graf 13:
 - a. určiť čas, kedy sa začal ohrievať vodný kúpeľ
 - b. určiť čas, kedy bol vypnutý ohrev vodného kúpeľa (kedy začal sa ochladzovať)
 - c. určiť časový interval, počas ktorého dochádzalo k tepelnej výmene medzi valčekom a kalorimetrickou kvapalinou
 - d. určiť časový interval, kedy bola sústava kalorimetrická kvapalina a valček v tepelnej rovnováhe
2. Akým spôsobom je možné zvýšiť výslednú teplotu kalorimetrickej kvapaliny po vložení kovového valčeka

Odpovede:

1. Na základe grafu Graf 13 boli určené jednotlivé časy:
 - a. približne 8:09
 - b. približne 8:25
 - c. od 8:24 po 8:25
 - d. od 8:25 po koniec merania



2. Zvýšiť výslednú teplotu kalorimetrickej kvapaliny je možné s ohľadom na vzťah A.4.3 a kalorimetrickú rovnicu B.4.3 dosiahnuť týmito spôsobmi:
- ohriatím valčeka vo vodnom kúpeli na vyššiu teplotu (maximálne na teplotu približne 100°C, čo je horný limit, nakoľko pri tejto teplote je voda uvedená do varu, pri ktorom nedochádza zvýšeniu jej teploty, ale iba k zmene jej skupenstva)
 - použitím valčeka s vyššou hmotnosťou (obmedzením je jeho tvar a objem, pričom sa musí zmestiť do vnútornej nádoby kalorimetra a byť podľa možnosti úplne ponorený v kalorimetrickej kvapaline)
 - použitím telesa (valčeka) s vyššou hodnotou hmotnostnej tepelnej kapacity
 - zvýšením počiatočnej teploty kalorimetrickej kvapaliny (jej teplota sa po vložení valčeka bude zvyšovať iba v prípade, ak je nižšia, ako teplota valčeka)
 - znížením množstva kalorimetrickej kvapaliny (minimálne množstvo kvapaliny by malo byť aspoň také, aby bol valček v nej úplne ponorený; veľké množstvo kalorimetrickej kvapaliny, alebo opačne veľmi malé množstvo kalorimetrickej kvapaliny nepriaznivo vplyva na presnosť merania)

Poznámky



Odpovede na položenú otázku 1 je možné zaznačiť aj do grafu.

B.5. Skupenské premeny

B.5.1. Meranie teploty vody pri vare

Úloha



Pozorujte zmenu teploty vody, ktorá je z izbovej teploty uvedená do varu.

Určte výkon variča a jeho účinnosť.

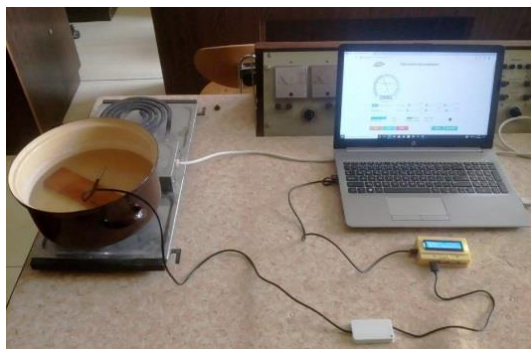
Bezpečnosť

- V prípade prekročenia teploty vody nad 60°C je potrebné sa chrániť pred úrazom popálenia
- V prípade použitia elektrických spotrebičov je potrebné dodržiavať bezpečnostné pokyny pri práci s elektrickými zariadeniami, aby sa predišlo úrazu elektrickým prúdom
- Je potrebné zabezpečiť, aby sa časti systému nedotýkali častí, ktorých teplota presahuje 60 °C (napríklad je potrebné zabezpečiť, aby sa žiadne plastové časti nedotýkali variča, prípadne aby boli v dostatočnej vzdialenosti od plameňa)

Pomôcky

- uLAB BOX
- uLAB SENSOR TE01 (senzor teploty)
- nádoba s vodou (kuchynský hrniec) s objemom aspoň 1l
- ponorný elektrický varič alebo dvojplatinčka, elektrický alebo plynový šporák, prípadne liehový kahan so stojanom
- váhy, prípadne senzor sily/hmotnosti

Usporiadanie

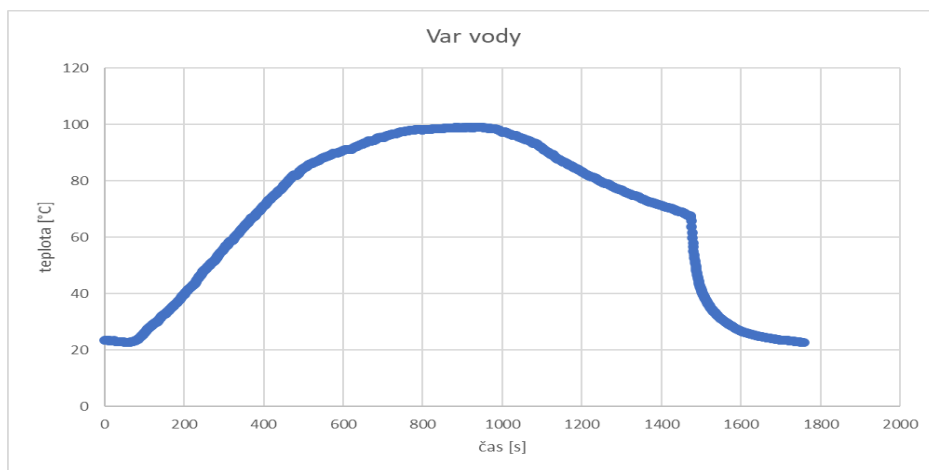


Obr. 62: a) zostavenie experimentu, b) obrázok experimentu

Postup

1. Nalejeme do hrnca 1l vody a vložíme do vody snímač teploty tak, aby sa podľa možnosti nedotýkal dna a aby sa žiadne časti systému nedotýkali hrnca a variča.
2. Spustíme MS uLAB, do ktorého zapojíme senzor teploty a spustíme meranie s dĺžkou merania 30 minút. Interval merania nastavíme na 1 sekundu. V prípade použitia variča s nízkym výkonom sa dĺžka merania môže predĺžiť. V takom prípade sa odporúča znížiť množstvo vody v hrnci.
3. Položíme hrniec na varič, ktorý zapneme.
4. Sledujeme priebeh teploty vody a dve minúty po začatí varu vypneme ohrev variča.
5. Meranie teploty vody sa automaticky ukončí po uplynutí 30 minút (1800 s), avšak meranie je možné ukončiť aj skôr po stlačení tlačidla Stop.

Spracovanie



Graf 14: Časová závislosť teploty vody

Výkon variča je možné určiť zo sklonu časovej závislosti teploty. Ak je výkon variča konštantný, v istom časovom intervale pozorujeme lineárny nárast teploty v súlade s (A.4.5). Z grafu vieme odčítať, že za čas Δt voda zvýšila svoju teplotu o ΔT . Vďaka známej hmotnosti vody je možné určiť v uvažovanom časovom intervale množstvo tepla ΔQ , ktoré prijala voda od variča (A.4.3). Využitím vzťahu (A.4.4) určíme výkon variča.

Z grafu sme určili nasledovné parametre:

- Počiatočnú teplotu vody (21 °C) a teplotu vody pri vare (100 °C).
- Okamih, kedy začal varič dodávať teplo vode: približne od 90. sekundy.
- Časový interval, počas ktorého varič odovzdáva kvapaline teplo: od 90. s po 1000. s.

- Časový interval, počas ktorého varič odovzdával kvapaline teplo s konštantným výkonom, počas ktorého sa teplota s časom zvyšovala rovnomerne: od 90. s po 480. s, s rozdielom teplôt $\Delta T = 81\text{ }^{\circ}\text{C} - 21\text{ }^{\circ}\text{C} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Tepelný výkon variča v tomto intervale P , ktorý je možné vyjadriť zo vzťahu A.4.3 a A.4.4. $P = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{\Delta t} = \frac{1.4180 \cdot 60}{390}\text{ W} \doteq 643\text{ W}$. Pri tejto úvahe sme zanedbali energiu potrebnú na ohrev hrnca (a okolia), nakoľko je jeho hmotnosť aj hmotnostná tepelná kapacita výrazne nižšia ako u vody. Ak by sme zohľadnili aj túto skutočnosť, hodnota výkonu by sa mierne zvýšila.
- Ak poznáme príkon variča P_p , je možné pomocou vzťahu A.4.6 určiť aj jeho účinnosť. U elektrických varičov býva príkon spotrebiča uvedený na štítku. Ak je známa hodnota účinnosti variča, je možné zistenú hodnotu účinnosti porovnať s hodnotou, ktorú uvádza výrobca (viď poznámky). Pre účinnosť $\eta = \frac{P}{P_p} \cdot 100\% = \frac{643}{1000} \cdot 100\% = 64,3\%$.
- Snahou výrobcov varičov je maximalizovať účinnosť, čo vedie k úspore (elektrickej) energie. Ideálna účinnosť predstavuje 100 %, ku ktorej sa výrobcovia snažia priblížiť. Zníženie účinnosti spôsobuje celý rad príčin, predovšetkým elektrické straty vo vedení a odovzdávanie tepla do okolia.
- Ukončenie lineárneho nárastu teploty po uplynutí cca 500 s je spôsobené zintenzívnením vyparovania. To znamená, že časť dodanej energie sa nespotrebuje na zvýšenie vnútornej energie vody, ale je odovzdaná molekulám vody na jej povrchu, ktoré sa vyparia.
- K varu vody dochádza v okamihu, kedy teplota prestane rásť. Celá dodaná energia sa tak využije iba na premenu skupenstva kvapaliny na plyn. Z grafu (Graf 14) odčítame teplotu varu (100 °C) a čas, kedy došlo k varu (cca po 800 sekundách od spustenia merania).
- Var prebiehal približne do 1000. sekundy, kedy bol vypnutý ohrev. Od tohto okamihu začali javy spojené s výmenou tepla medzi kvapalinou a prostredím hrať najvýznamnejšiu rolu, pričom výmena tepla je tým intenzívnejšia, čím je rozdiel teplôt vyšší. Je potrebné si uvedomiť, že aj keď sa vypol prívod elektrickej energie do výhrevného telesa variča, toto teleso mohlo ešte nejaký čas dodávať teplo chladnúcej kvapaline, čo nasvedčuje pomalší pokles jej teploty aj napriek vysokému rozdielu teplôt kvapaliny a okolia.
- Po vychladnutí výhrevného telesa variča (cca v 1100. s) sa pokles teploty podľa očakávania začal spomaľovať až do okamihu, keď bol teplomer z kvapaliny vybratý (po cca 1480 s), čo je sprevádzané výrazným poklesom teploty až na úroveň izbovej teploty, ktorá dosahuje približne teplotu prostredia na začiatku merania (21 °C). Tento výrazný pokles teploty bol spôsobený predovšetkým intenzívnejšou tepelnou výmenou medzi teplomerom a okolím a skutočnosťou, že tepelná kapacita teplomera je výrazne nižšia ako tepelná kapacita kvapaliny v dôsledku výrazne nižšej hmotnosti teplomera a jeho výrazne nižšej hmotnostnej tepelnej kapacity.



Varianty

Pri riešení úlohy je možné použiť napríklad aj varnú kanvicu, alebo ponorný varič. Ak je použitá varná kanvica, je nutné rátať s tým, že ohrev vody sa ukončí automatickým mechanizmom varnej kanvice pri dosiahnutí teploty varu vody, a teda nie je možné jednoznačne zistiť, ako sa teplota mení po dosiahnutí varu.

Pri použití plynového šporáku sa postupuje podobne, ako v prípade použitia elektrického ohrevu s tým rozdielom, že okamžitý príkon šporáku nie je možné určiť zo štítiku spotrebiča. Aj keď tento údaj môže výrobca udávať, jeho hodnota je však veľmi nepresná z dôvodu existencie regulácie výkonu. Výkon plynového variča však môžeme jednoduchým spôsobom určiť:

Zistíme si najprv spotrebu plynu pri zapnutom plynovom šporáku počas istého času a to tak, že odrátame počiatkový stav plynomeru od koncového. Takto určíme objemový prietok média (plynu):

$$Q_p = \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (\text{B.5.1})$$

Na základe tejto hodnoty budeme schopní určiť objem plynu, ktorý sa spotreboval pri ohreve:

$$\Delta V = Q_p \cdot \Delta T \quad (\text{B.5.2})$$

Ak poznáme výhrevnosť plynu, je možné určiť aj výkon plynového spotrebiča. V prípade použitia zemného plynu je distribútormi uvádzaná hodnota výhrevnosti na úrovni 34,25 MJ/m³, čo je približne 9,51 kWh/m³ [49].

Na základe údajov (dolnej) výhrevnosti je možné odhadnúť, z ktorej krajiny dovážame zemný plyn podľa nasledujúcej tabuľky desiatich najväčších vývozcov zemného plynu [50]:

Č.	Krajina	Výhrevnosť zemného plynu (rok 2015) kJ/m ³	Č.	Krajina	Výhrevnosť zemného plynu (rok 2015) kJ/m ³
1	USA	34 440	6	Čína	30 996
2	Rusko	34 407	7	Nórsko	30 966
3	Irán	35 420	8	Saudská Arábia	31 878
4	Katar	37 260	9	Turkmenistan	33 534
5	Kanada	35 100	10	Alžírsko	31 590

Tab. 13: Čistá výhrevnosť zemného plynu

Hodnoty výhrevnosti zemného plynu v Tab. 13 boli získané vynásobením hodnoty hornej výhrevnosti koeficientom 0,9, nakoľko je hodnota dolnej výhrevnosti (čistá) oproti hornej výhrevnosti (hrubá) v dôsledku odparovania vody nižšia o približne 10 %.

Množstvo energie, ktorá sa získa spálením plynu objemu V zistíme zo vzťahu:

$$E_v = H_u \cdot V, \quad (\text{B.5.3})$$

$$\text{resp. } E_v = H_u \cdot Q_p \cdot \Delta t, \quad (\text{B.5.4})$$

kde H_u je dolná výhrevnosť. Príkon P_p plynového šporáku určíme zo vzťahu A.4.4, pričom teplo predstavuje energiu získanú zo vzťahu B.5.4:

$$P_p = H_u \cdot Q_p \quad (\text{B.5.5})$$

Účinnosť plynového šporáku určíme rovnako ako u elektrického ohrevu využijúc vzťah A.4.6. Ak máme možnosť používať elektrický a plynový ohrev, je vhodné tieto hodnoty vzájomne porovnať.

Na ohrev vody je možné použiť aj liehový kahan, u ktorého sa udáva výhrevnosť 25,2 MJ/kg. Aby sme určili jeho príkon, je potrebné určiť úbytok hmotnosti liehu v kahane za jednotku času:

$$P_p = H_m \frac{\Delta m}{\Delta t} \quad (\text{B.5.6})$$

Var vody môžeme pozorovať aj v injekčnej striekačke. Do striekačky nalejeme teplú vodu (napríklad 60 °C) a ku striekačke pripevníme senzor tlaku. Pomocou pohyblivého piestu postupne znižujeme tlak vzduchu v striekačke, až kým voda nezačne vriieť. Hraničnú hodnotu tlaku, pri ktorej začne vriieť voda zapíšeme, prípadne celé meranie uložíme vo forme grafu.

Zhodnotenie

Otázky:

1. Je teplota vody homogénna (rovnaká v každom mieste)? Ak áno, tak prečo?
 - a. Ak nie, tak ako by ste zabezpečili homogenitu teploty vody?
2. Ako zistíme, že teplota vody dosiahla teplotu varu? Jav vysvetlite.
3. Prečo je časová závislosť teploty vody počas jej ohrevu priamka (časť) a o čom vypovedá sklon (smernica) tejto priamky?
 - a. Kedy by táto závislosť nebola priamka?
4. Ako by sa zmenila situácia pri použití variča s vyšším výkonom?
 - a. Bolo by takto možné dosiahnuť vyššiu teplotu vody?
5. Ako je možné zvýšiť teplotu vody pri vare?
6. Ako sa mení teplota vody po vypnutí ohrevu?
 - a. Prečo grafom časovej závislosti teploty vody pri ochladzovaní nie je priamka?
 - b. Aká je prognóza vývoja teploty vody po vypnutí ohrevu?
7. Ako zistíte, že došlo k odparení časti vody z nádoby?



Odpovede:

1. Homogenitu teploty vody by sme mohli overiť použitím dvoch teplomerov, u ktorých by sme vykonali kalibráciu tak, aby pri rovnakých teplotách zobrazovali rovnakú hodnotu. Možno však očakávať, že teplota vody bude v dôsledku zníženej tepelnej vodivosti mierne nehomogénna, pričom teplota pri dne nádoby bude vykazovať vyššiu teplotu oproti vrstve pri hladine. S blížiacim sa varom sa zintenzívni konvekcia kvapaliny (teplejšia voda v dôsledku zníženia hustoty začne stúpať vyššie), v dôsledku čoho dôjde k intenzívnejšiemu premiešaniu kvapaliny, a tým aj ku homogenizácii teploty vody.
 - a. Ak by sme chceli homogenitu teploty vody dosiahnuť umelo, mohli by sme na to použiť miešačku, napríklad drevenú varechu.
2. Ak sa zvýši teplota kvapaliny na teplotu varu, všetko dodané teplo sa spotrebuje iba na skupenskú premenu, konkrétne kvapalina (voda) sa bude premieňať na plyn (paru). Počas tohto procesu sa teplota kvapaliny nebude meniť. Var je sprevádzaný vyparovaním kvapaliny v celom jej objeme, čo môžeme pozorovať ako vznik a stúpanie plynových bublín vodnej pary smerom k povrchu kvapaliny.
3. Ak teplota s časom rastie lineárne, to svedčí o kontinuálnom dodávaní tepla kvapaline, teda o dodávaní vždy rovnakého množstva tepla za jednotku času. Tento predpoklad linearity nárastu teploty vyžaduje podstatne vyšší príkon ako je stratový tepelný výkon. Výrazný odklon od lineárneho nárastu teploty by sme mohli pozorovať napríklad pri ohreve väčšieho množstva vody (povedzme 10 l) pri nízkom výkone variča. Od istého času sa teplota dokonca prestane zvyšovať a voda tak ani nedosiahne var. Ak sa toto množstvo tepla bude s časom meniť, meniť sa bude aj okamžitý výkon ohrevu, a tým časová závislosť teploty bude rásť s inou smernicou. Graficky by sme tak okamžitý výkon mohli určovať zo smernice dotýčnice k časovej závislosti tepla $Q(t)$, kde množstvo dodaného tepla môžeme vyjadriť zo vzťahu A.4.3.
 - a. Zmena tepla prijatého kvapalinou za časovú jednotku môže byť spôsobená predovšetkým znížením okamžitého výkonu výhrevného telesa (zníženie príkonu variča, vznik tepelnej izolačnej vrstvy v okolí výhrevného telesa) alebo únikmi tepla do okolia.
4. Pri použití variča s vyšším výkonom (s porovnateľnou účinnosťou) by došlo k rýchlejšiemu ohrevu kvapaliny, nakoľko by sa zvýšil prísun tepla kvapaline za jednotku času a tým by aj teplota kvapaliny rástla s časom rýchlejšie.
 - a. Takým spôsobom nemožno zvýšiť teplotu vody, ktorá nemôže prekročiť teplotu varu, nakoľko počas varu sa teplota kvapaliny už ďalej nezvyšuje a dochádza iba k premene skupenstva z kvapalného na plynné.
5. Teplota varu kvapaliny závisí od jej tlaku. Ak by sme chceli zvýšiť teplotu kvapaliny pri vare, potrebovali by sme zvýšiť tlak v nádobe nad atmosférický tlak. To možno spraviť uzavretím nádoby tlakovým uzáverom. Tieto postupy sa bežne používajú pri príprave jedál. Na tento účel sa používajú tzv. tlakové hrnce.

6. Po vypnutí ohrevu výhrevného telesa sa teplota kvapaliny začne znižovať. Rýchlosť poklesu spočiatku nebude taká výrazná, z dôvodu dočasného dodávania energie výhrevného telesa aj po jeho vypnutí, keďže vo výhrevnom telese je nakumulovaná tepelná energia v zmysle vzťahu A.4.3.
 - a. Grafom časovej závislosti teploty kvapaliny pri ochladzovaní nie je priamka z dôvodu, že tepelná výmena tým výraznejšia, čím je väčší rozdiel teplôt objektov v sústave. To znamená, že miera tepelnej výmeny medzi kvapalinou v nádobe a vzduchom klesá, čoho dôsledkom je zmenšovanie veľkosti smernice tejto závislosti.
 - b. Vývoj teploty po vypnutí ohrevu kvapaliny závisí hlavne od teploty prostredia a od finálnej teploty kvapaliny. Ak je teplota kvapaliny vyššia/nížšia ako teplota prostredia, jej teplota po vypnutí ohrevu bude klesať/rásť. Rýchlosť nárastu/poklesu teploty závisí hlavne od tepelnej kapacity kvapaliny a od tepelného kontaktu s prostredím.
7. Úbytok kvapaliny možno zistiť dvomi spôsobmi:
 - a. Kvalitatívne: pozorovaním úniku pary z hrnca.
 - b. Kvantitatívne: vyjadrením rozdielu hmotnosti kvapaliny pred skupenskou zmenou a po nej.

Poznámky

Je potrebné poznamenať, že účinnosť elektrického variča sa jeho používaním môže s časom meniť. V prípade použitia špirálového vykurovacieho telesa, ktoré je v kontakte s vodou dochádza k usádzaniu vodného kameňa (uhličitan vápenatý - CaCO_3) na jeho povrchu. Vodný kameň sa vyznačuje nízkou elektrickou a aj tepelnou vodivosťou, čo znižuje výkon vykurovacieho telesa. Výkon vykurovacieho telesa sa znižuje aj z dôvodu spotreby časti tepla na ohrev vrstvy vodného kameňa.

B.5.2. Meranie skupenského tepla topenia

Úloha



Určte hmotnostné skupenské teplo topenia ľadu.

Pomôcky

- uLAB BOX
- uLAB SENSOR TE01 (senzor teploty) 2ks (môže postačiť aj jeden)
- váhy, prípadne senzor sily/hmotnosti
- kalorimeter s miešačkou a uzáverom
- kocky ľadu, papierové utierky

Usporiadanie



Obr. 63: Meranie skupenského tepla topenia ľadu: a) usporiadanie, b) obrázok

Postup

Aplikovaním rovnice A.5.3 v prípade, keď do kalorimetra vložíme ľad s teplotou $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ dostávame rovnicu

$$L_t + Q_1 = Q_2 + Q_k, \quad (\text{B.5.7})$$

kde L_t je teplo potrebné na roztopenie ľadu (s teplotou $0\text{ }^{\circ}\text{C}$) na vodu (s teplotou $0\text{ }^{\circ}\text{C}$), Q_1 je teplo potrebné na ohriatie vody z roztopeného ľadu na výslednú teplotu, Q_2 je teplo odovzdané vodou a Q_k je teplo odovzdané kalorimetrom (vnútornou nádobou s teplomerom). Po dosadení príslušných veličín dostávame:

$$l_t m_l + c m_l (t - t_0) = c m_1 (t_1 - t) + c_k m_k (t_1 - t) \quad (\text{B.5.8})$$

Po úprave dostávame pre hmotnostné skupenské teplo topenia ľadu l_t :

$$l_t = \frac{(c m_1 + c_k m_k)(t_1 - t)}{m_l} - c(t - t_0), \quad (\text{B.5.9})$$

kde

- c je hmotnostná tepelná kapacita vody
- m_1 je hmotnosť vody vo vnútornej nádobe kalorimetra
- t_1 je teplota vody na začiatku merania (pred tepelnou výmenou)
- c_k je hmotnostná tepelná kapacita materiálu, z ktorého je vyrobený kalorimeter
- m_k je hmotnosť vnútornej nádoby kalorimetra s miešačkou a uzáverom
- m_l je hmotnosť ľadu, ktorý vložíme do vnútornej nádoby kalorimetra
- t_0 je teplota ľadu tesne pred vložením do kalorimetra; predpokladáme, že teplota ľadu je $0\text{ }^\circ\text{C}$
- t je výsledná teplota po dosiahnutí tepelnej rovnováhy

Do vnútornej nádoby s vlažnou vodou vložíme usušený³⁹ ľad s teplotou $0\text{ }^\circ\text{C}$ a pozorujeme zmenu teploty, ktorá nastane v dôsledku ochladenia vody ľadom. Po dosiahnutí tepelnej rovnováhy zistíme výslednú teplotu sústavy voda – roztopený ľad – vnútorná nádoba kalorimetra, na základe čoho s využitím vzťahu A.4.1 vypočítame hmotnostné skupenské teplo topenia ľadu. Samotné meranie pozostáva z týchto krokov:

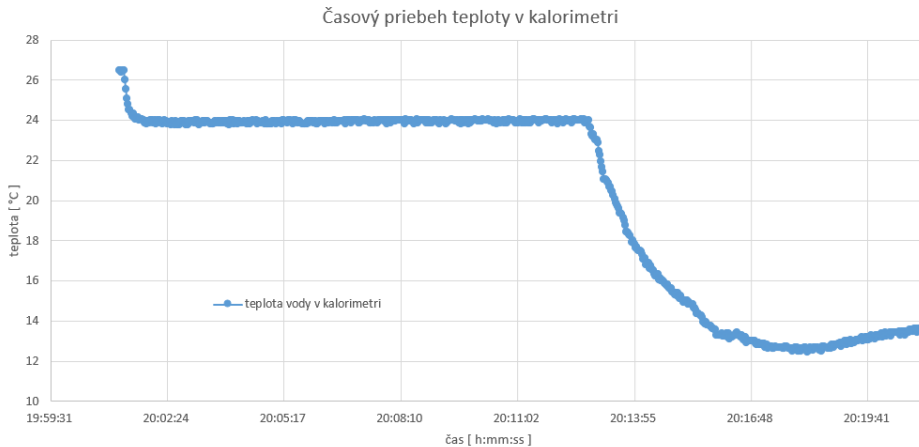
1. Odvážime hmotnosť vnútornej nádoby kalorimetra s miešačkou a uzáverom m_k .
2. Do vnútornej nádoby kalorimetra nalejeme vodu a určíme jej hmotnosť m_1 .
3. Spustíme MS uLAB, do ktorého zapojíme 2 senzory teploty a spustíme meranie v trvaní 45 minút.
4. Jeden senzor vložíme do vnútornej nádoby, ktorým budeme merať teplotu vlažnej vody t_1 . Druhý senzor vložíme do zábalu – kocky ľadu spolu so senzorom obalíme papierovými utierkami.
5. Po dosiahnutí teploty zábalu približne $0\text{ }^\circ\text{C}$, presunieme kocky ľadu do vnútornej nádoby kalorimetra. Pozorujeme ako sa mení graf teploty pre senzor vo vnútornej nádobe kalorimetra.
6. Výslednú teplotu t určíme ako minimum z nameraných hodnôt senzora, ktorý bol umiestnený vnútornej nádobe kalorimetra. Tento bod na grafe zodpovedá tepelnej rovnováhe sústavy vo vnútri kalorimetra⁴¹.
7. Hmotnosť ľadu m_l určíme odrátaním hmotnosti vody na začiatku merania od hmotnosti vody na konci merania, ktorá obsahuje roztopený ľad.
8. Vypočítame hmotnostné skupenské teplo topenia ľadu l_t , určíme chybu merania a zostrojíme graf.

³⁹ Ľad by mal byť usušený z dôvodu, aby prípadná prítomnosť vody neovplyvnila presnosť výsledku.

⁴¹ K ďalšiemu nárastu teploty vo vnútri kalorimetra dochádza v dôsledku jeho nedokonalaj tepelnej izolácie.

Spracovanie

Z meraných hodnôt zostrojíme nasledujúci graf:



Graf 15: Časová závislosť teploty v kalorimetri

c [J·K ⁻¹ ·kg ⁻¹]	4180	t_0 [°C]	0
c_k [J·K ⁻¹ ·kg ⁻¹]	875	t_1 [°C]	23,75
m_l [kg]	0,034	t [°C]	12,43
m_k [kg]	0,08	l_t [J·kg ⁻¹]	326230
m_1 [kg]	0,255	l_{tab} [J·kg ⁻¹]	332400

Tab. 14: Určenie hmotnostného skupenského tepla topenia ľadu

Na základe výsledkov merania je relatívna chyba merania na úrovni 1,86 %.

Varianty

Experiment je možné realizovať aj v prípade, keď teplota ľadu nie je rovná 0 °C. V takom prípade je však potrebné poznať hmotnostnú tepelnú kapacitu ľadu c_l a jeho počiatočnú teplotu t_2 . Počiatočnú teplotu ľadu je možné určiť z merania vnútra mrazničky, odkiaľ bol ľad vybratý, hmotnostnú tepelnú kapacitu ľadu zistíme z tabuliek. V takom prípade je nutné kalorimetrickú rovnicu A.5.3 upraviť na tvar:

$$c_l m_l (t_0 - t_2) + l_t m_l + c m_l (t - t_0) = c m_1 (t_1 - t) + c_k m_k (t_1 - t) \quad (\text{B.5.10})$$

Zhodnotenie

Otázky:

1. Z akého dôvodu nastal pokles teploty v 1. minúte merania?
 - a. Akú teplotu mala voda v kalorimetri pred vložením teplomera?
2. O čom vypovedá konštantná teplota v časovom intervale od 20:02 po 20:12?
3. Čo sa deje so sústavou po pridaní ľadu?
 - a. Kedy bol do kalorimetra pridaný ľad?
 - b. V akom čase sústava dosiahla minimálnu teplotu a čo môžeme povedať o sústave v tomto čase?
 - c. Ako dlho prebiehala tepelná výmena medzi kalorimetrickou kvapalinou a pridaným ľadom?
 - d. Usporiadajte vzostupne teploty kalorimetrickej kvapaliny a teplomera pred vložením ľadu t_A , teplotu ľadu pred vložením do kalorimetrickej kvapaliny t_B , teplotu vody (ktorá vznikla roztopením ľadu) tesne po roztopení t_C a výslednú teplotu sústavy po vložení ľadu po dosiahnutí tepelnej rovnováhy t_D (od kedy začne prebiehať už len tepelná výmena medzi sústavou a okolím).
4. Prečo teplota sústavy od tohto okamihu rastie?
 - a. Aká je prognóza vývoja teploty sústavy po ukončení merania?

Odpovede:

1. Z poklesu teploty na začiatku merania predpokladáme, že v čase spustenia merania bol už teplomer ponorený v kvapaline a ma teplotu 26,5 °C, o čom vypovedá rýchly pokles nameranej teploty, až na hodnotu zodpovedajúcu rovnovážnemu stavu (takmer 24 °C).
 - a. Pred vložením teplomera teda musela mať voda v kalorimetri ešte nižšiu teplotu. Vzhľadom na malú tepelnú kapacitu teplomera oproti vode v kalorimetri však tento rozdiel nebude veľmi významný.
2. Konštantná teplota v uvažovanom časovom intervale vypovedá o tepelnej rovnováhe sústavy (kalorimetrickej kvapaliny s teplomerom) a okolia. Na základe toho môžeme predpokladať, že vzduch prostredia má rovnakú teplotu ako kalorimetrická kvapalina.
3. Po pridaní ľadu začne sústava (kalorimetrickej kvapaliny s teplomerom) odovzdávať teplo pridanému ľadu, ktorý toto teplo bude prijímať. Tento proces je sprevádzaný poklesom teploty kalorimetrickej kvapaliny. Teplo, ktoré odovzdá kalorimetrická kvapalina sa spotrebuje na roztopenie ľadu a na zvýšenie jeho teploty na výslednú teplotu sústavy, ktorá je pozorovaná ako minimum v časovej závislosti teploty.



- a. Ľad bol do kalorimetra pridaný približne v čase 20:13, keď začala teploty sústavy rýchlo klesať.
 - b. Sústava dosiahla minimálnu teplotu 12,43 °C približne v čase 20:18, čo predstavuje rovnovážny stav sústavy v kalorimetri.
 - c. Tepelná výmena ľadu s kalorimetrickou kvapalinou vrátane skupenskej zmeny ľadu na vodu prebiehala približne päť minút, od 20:13 po 20:18.
 - d. $t_B = t_C < t_D < t_A$
4. Po dosiahnutí rovnovážneho stavu sústavy pri minimálnej teplote v dôsledku nedokonalnej tepelnej izolácie kalorimetra dochádza k výmene tepla medzi kalorimetrom a okolím. Keďže teplota okolia je vyššia ako teplota sústavy v kalorimetri (12,43 °C), pričom nepredpokladáme jej výraznú zmenu počas merania (asi 17 minút od začiatku merania), od času 20:18 táto teplota rastie.
- a. Ak sa nezmení teplota okolia, teplota sústavy v kalorimetri by sa mala po dostatočne dlhom čase s touto teplotou vyrovnáť.

Poznámky

- Množstvo kalorimetrickej kvapaliny sa volí s ohľadom na kalorimeter, pričom úhrnný objem objektov vkladných do kalorimetra nesmie prekročiť objem vnútornej nádoby kalorimetra.
- Teplotu ľadu 0 °C dosiahneme rýchlejšie, ak ľad podrvíme.
- Hmotnosť ľadu meriame nepriamo preto, že pri izbovej teplote v dôsledku topenia ľadu dochádza k úbytku jeho hmotnosti.
- Ľad plávajúci vo vode v stave tepelnej rovnováhy má teplotu 0 °C.

B.6. Ideálny plyn

B.6.1. Štúdium izochorického deja

Úloha



Odmerajte závislosť tlaku plynu od teploty pri izochorickom deji.

Pomôcky

- uLAB BOX
- vodný kúpeľ
- ľad, prípadne dezinfekčný prostriedok

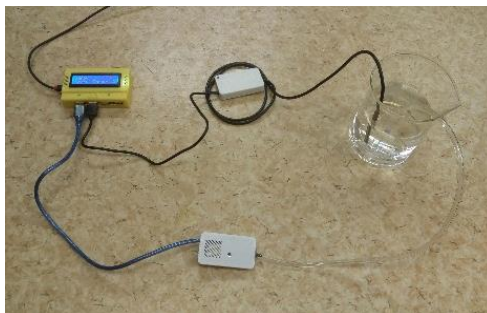
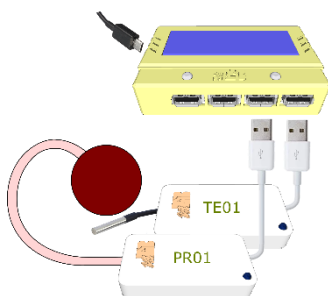
alternatíva 1:

- uLAB SENSOR TE01 - senzor teploty
- uLAB SENSOR PR01 - senzor tlaku
- gumená alebo silikónová hadička pripojená k uzavretej nádobe (napr. sklenená banka)

alternatíva 2:

- powerbanka
- uLAB SENSOR PT01 – barometer s teplomerom
- hermetická (najlepšie priehľadná) nádoba, do ktorej možno umiestniť všetky pomôcky

Usporiadanie



Obr. 64: a) Usporiadanie experimentu b) Obrázok experimentu



Obr. 65: a) Usporiadanie experimentu b) Obrázok experimentu

Postup

Pre izochorický dej platí stavová rovnica ideálneho plynu A.6.3, pričom objem sa pri takomto deji nemení, teda $V_1 = V_2$. Po vykrátení objemov dostávame:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad (\text{B.6.1})$$

Budeme merať tlak a teplotu plynu v uzavretom objeme. Teplotnú závislosť tlaku môžeme vyjadriť takýmto spôsobom:

$$p(T) = \frac{p_0}{T_0} T, \quad (\text{B.6.2})$$

kde p_0 je tlak na začiatku merania a T_0 je teplota na začiatku merania. V závislosti od použitých pomôcok je možné realizovať meranie dvomi spôsobmi:

Alternatíva 1:

1. Na ústie senzora tlaku nasadíme hadičku, pričom na jej druhom konci je pripojená napríklad sklenená banka, ktorá s teplotou mení svoj objem iba minimálne.
2. Pripojíme senzory k BOXu a spustíme XY meranie v ktorom na x-ovú os budeme vynášať teplotu a na y-ovú os budeme vynášať tlak.
3. Do vodného kúpeľa, ktorého teplotu budeme regulovať vložíme sklenenú banku a senzor teploty.
4. Meníme teplotu vodného kúpeľa napríklad:
 - ohrevom vody,
 - alebo priliatím teplej vody, prípadne vložením ľadu do vodného kúpeľa.
5. Body odčítavame medzerníkom alebo stlačením tlačidla v rozhraní.

Alternatíva 2:

1. K uLAB BOXu pripojíme senzor a spolu s powerbankou vložíme do nádoby podľa možnosti tak, aby sa senzor nedotýkal stien nádoby, ktorú hermeticky uzavrieme vekom.

2. Spustíme XY meranie, v ktorom na x-ovú os budeme vynášať teplotu a na y-ovú os budeme vynášať tlak.
3. Meníme teplotu vzduchu v nádobe:
 - Postriekaním povrchu nádoby dezinfekčným prostriedkom, prípadne použijeme fén.
 - Položením teplého alebo studeného telesa na veko nádoby.
 - Vložením uzavretej nádoby do chladničky alebo mrazničky (pred meraním je potrebné sa ubezpečiť, či steny chladničky alebo mrazničky, ktoré sú spravidla z kovu, nespôsobia zamedzenie komunikácie prostredníctvom Wi-Fi technológie).
4. Body odčítavame medzerníkom alebo stlačením tlačidla v rozhraní.

Bezpečnosť

Vyvarujeme sa vdychovaniu výparov dezinfekčného prostriedku, ktorý sa používa na ochladzovanie nádoby.

Spracovanie

Na základe nameraných údajov sme zostrojili nasledujúci graf:



Graf 16: Teplotná závislosť tlaku pri izochorickom deji

Namerané body môžeme fitovať (preložiť) lineárnou funkciou [48]. Využitím metódy najmenších štvorcov sme dospeli k rovnici fitovanej priamky: $p(t) = 424.37t + 85163$.

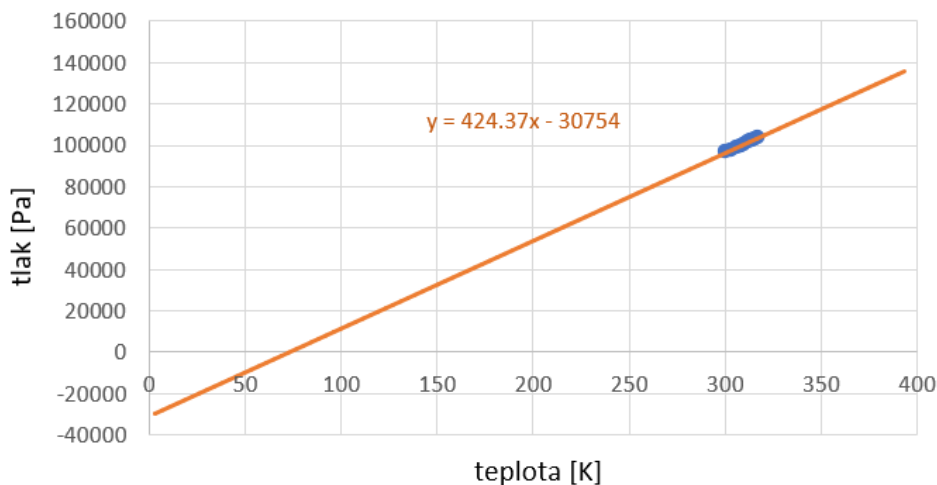
Zhodnotenie

Pre ideálny plyn by mala byť táto závislosť lineárna a mala by prechádzať bodom $[-273,15\text{ °C}; 0\text{ Pa}]$, teda by táto závislosť mala pretínať tlakovú os v absolútnej nule, teda v bode $-273,15\text{ °C}$. Vychádzajúc z experimentu je však pri absolútnej nule tlak rovný približne -30 kPa , čo nedáva fyzikálny zmysel. Túto odchýlku spôsobuje odlišnosť vlastností reálneho plynu (vzduchu uzavretého v nádobe) oproti vlastnostiam ideálneho plynu. V istom intervale hodnôt však túto závislosť môžeme pokladať za lineárnu a môžeme tak extrapolovať (rozšíriť) aj blízke hodnoty mimo intervalu nameraných hodnôt. Napríklad takto vieme určiť tlak plynu v nádobe pri 0 °C ($p_0 = (424,37 \cdot 0 + 85163)\text{ Pa} = 85163\text{ Pa}$).

Hodnota 85163 Pa preto predstavuje úsek na tlakovej osi, ktorý vytína priamka a hodnota $424,37$ predstavuje smernicu tejto priamky a v skutočnosti má rozmer $\text{Pa}/\text{°C}$. Tento koeficient vypovedá o strmosti nárastu tlaku s teplotou.

Vďaka znalosti tejto závislosti možno z nameranej hodnoty teploty vypočítať tlak v uzavretej nádobe, ale aj z nameraného tlaku určiť jeho teplotu. Závislosť tlaku od termodynamickkej teploty a fitovaná priamka je zobrazená na nasledujúcom grafe (Graf 17). Podobne, môžeme očakávať znižovanie tlaku so znižujúcou sa teplotou plynu v nádobe.

Izochorický dej



Graf 17: Závislosť tlaku od termodynamickkej teploty a fitovaná priamka pri izochorickom deji

Otázky:

1. Prečo je teplotná závislosť tlaku plynu v uzavretej nádobe lineárna?
2. Pre ideálny plyn by pri teplote 0 K mala byť hodnota tlaku nulová. Z fitovanej závislosti z nameraných dát vychádza, že tomu tak nie je. Pri akej termodynamickkej teplote je tlak fitovanej závislosti nulový?
3. Aký by mal mať vzduch v nádobe tlak pri teplote 100 °C ?

Odpovede:

1. Je to v súlade so vzťahom B.6.2. Nakoľko sa jedná o lineárnu závislosť, grafom tejto funkcie je priamka.
2. Približne pri teplote 73 K. Je treba poznamenať, že reálny plyn bude mať v skutočnosti aj pri tejto teplote nenulový tlak.
3. Približne 130 kPa.

Poznámky

Ak by bol Wi-Fi signál uLAB BOXu umiestneného v chladničke alebo mrazničke v dôsledku elektromagnetického tienenia príliš slabý, je možné experiment alternatívy 1 realizovať tak, že v chladničke/mrazničke sa budú nachádzať iba senzory. Vďaka tesneniu na dverách chladničiek a mrazničiek nedôjde k poškodeniu káblov, pomocou ktorých sú senzory pripojené k uLAB BOXu. V tomto prípade však z dôvodu deformácie tesnenia je potrebné rátať so zníženou tepelnou izoláciou chladničky/mrazničky.

B.6.2. Štúdium izotermického deja

Úloha

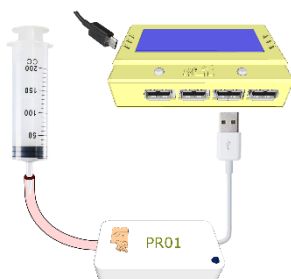


Odmerajte závislosť tlaku plynu od jeho objemu pri konštantnej teplote a s využitím stavovej rovnice ideálneho plynu určte látkové množstvo vzduchu v striekačke.

Pomôcky

- uLAB BOX
- striekačka 200ml s hadičkou
- uLAB SENSOR PR01 - senzor tlaku
- uLAB SENSOR TE01 - senzor teploty alebo ľubovoľný izbový teplomer

Usporiadanie



Obr. 66: a) Usporiadanie experimentu

b) Obrázok experimentu

Postup

Pre izotermický dej platí stavová rovnica ideálneho plynu A.6.3, pričom teplota plynu v každom časovom okamihu zostáva konštantná, teda $T_1 = T_2$. Po vykrátení teplotou dostávame:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \quad (\text{B.6.3})$$

Zmena objemu teda vyvolá zmenu tlaku plynu v striekačke podľa nasledujúceho vzťahu:

$$p(V) = p_0 V_0 \cdot \frac{1}{V}, \quad (\text{B.6.4})$$

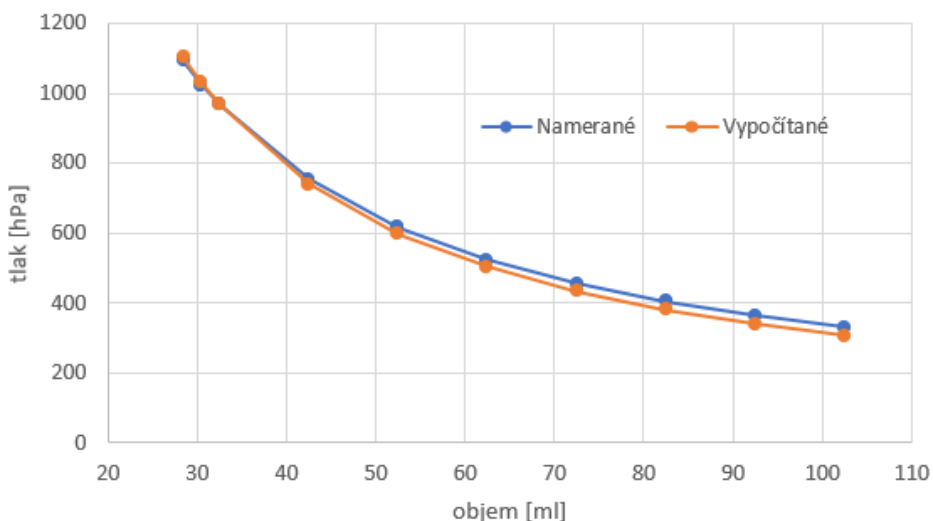
kde p_0 je tlak na začiatku merania a V_0 je jeho objem na začiatku merania. Ako vidíme, závislosť B.6.4 predstavuje nepriamu úmernosť, grafom ktorej je hyperbola. To znamená, že so zvyšujúcim sa objemom klesá tlak plynu v striekačke a opačne. Meranie závislosti tlaku od objemu realizujeme podľa týchto bodov:

1. Na ústie striekačky nasadíme hadičku čo najmenšej dĺžky, kvôli minimalizácii jej objemu.
2. Piest striekačky nastavíme na hodnotu 30ml.
3. Druhý koniec hadičky pripojíme k ústiu tlakového senzora.
4. Pripojíme senzor tlaku k BOXu a spustíme XY meranie, v ktorom na x-ovú os budeme vynášať objem ako manuálne zadávanú veličinu a na y-ovú os budeme vynášať tlak.
5. Pre objem manuálne zadáme hodnotu počiatočného objemu v striekačke (30 ml) a odčítame hodnotu atmosférického tlaku vzduchu na ručičkovom ukazovateli. Tieto hodnoty budú predstavovať V_0 a p_0 .
6. Pomocou teplomera zistíme teplotu vzduchu T_0 v blízkosti striekačky.
7. Piestom striekačky meníme objem vzduchu a následne odčítavame tlak pri manuálne zadanom objeme.

Spracovanie

Na základe nameraných údajov sme zostrojili nasledujúci graf (Namerané):

Izotermický dej



Graf 18: Závislosť tlaku vzduchu od objemu pri izotermickom deji

Využívajúc vzťah B.6.4 a získané hodnoty V_0 a p_0 sme zostrojili teoretickú závislosť tlaku od objemu (Vypočítané). Z grafu je vidieť pomerne dobrú zhodu nameraných a vypočítaných hodnôt.

Na základe znalostí stavových veličín p_0 , V_0 a $T_0 = 295$ K na základe stavovej rovnice plynu (A.6.3) možno určiť látkové množstvo vzduchu v striekačke:

$$n = \frac{p_0 \cdot V_0}{R \cdot T_0} \doteq 1,28 \text{ mmol} \quad (\text{B.6.5})$$



Vieme, že 1 mol látky obsahuje $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ častíc, kde N_A je Avogadrova konštanta. n molov látky teda obsahuje $N = n \cdot N_A$ častíc. V uvažovanom objeme vzduchu sa preto nachádza $7,72 \cdot 10^{20}$ stavebných častíc, čo sú molekuly jednotlivých zložiek plynu. Ak poznáme molárnu hmotnosť vzduchu ($M_m = 28,9647$ g/mol), je možné určiť aj hmotnosť vzduchu v striekačke:

$$m_{\text{vzduchu}} = n \cdot M_m \doteq 37 \text{ mg} \quad (\text{B.6.6})$$

Táto hmotnosť (vzduchu v striekačke) je oveľa menšia, než je hmotnosť striekačky, ktorá v závislosti od výrobcu predstavuje hodnotu o viac ako dva rády vyššiu. Vzduch predstavuje zmes rôznych plynov, ktorých zastúpenie je uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Názov	Názov (angl.)	Vzorec	M_m [g/mol]	[% objemu]	[% hmotnosti]
Dusík	Nitrogen	N ₂	28,013	78,084	75,52
Kyslík	Oxygen	O ₂	31,999	20,946	23,14
Argón	Argon	Ar	39,948	0,934	1,29
Oxid uhličitý	Carbon dioxide	CO ₂	44,01	0,033	0,051
Neón	Neon	Ne	20,18	0,001818	0,0013
Hélium	Helium	He	4,003	0,000524	0,00007
Metán	Methane	CH ₄	16,042	0,000179	0,0001
Kryptón	Krypton	Kr	83,798	0,0001	0,00029
Vodík	Hydrogen	H ₂	2,016	0,00005	0,000003
Xenón	Xenon	Xe	131,293	0,000009	0,00004

Tab. 15: Zloženie vzduchu

Zhodnotenie

Striekačky sú skonštruované tak, aby pohybujúci sa piest striekačky čo najlepšie priliehal k valcu striekačky, aby sa tak obmedzil prietok média (plynu alebo kvapaliny) medzi pracovným priestorom striekačky a okolím. V prípade použitia sklenených striekačiek s kovovým piestom natretým vazelínou je možné túto požiadavku splniť oveľa lepšie, ako v prípade lacnejšej - plastovej striekačky. Hlavná príčina nedokonalosti plastovej striekačky spočíva v deformácii jej tela, čo môže mať výrazný vplyv na tesnenie piesta vo valci striekačky.

Táto nedokonalosť má za následok, že v prípade expanzie plynu dôjde k prechodu plynu z vonku do vnútra pracovného priestoru striekačky, v ktorom sa vytvorí podtlak, vďaka čomu

sa mierne zvýši látkové množstvo plynu v pracovnom objeme striekačky. V prípade kompresie plynu dochádza k opačnému javu – časť plynu sa dostane mimo pracovného priestoru striekačky, pretože oproti tlaku vonkajšieho prostredia sa v pracovnom objeme striekačky vytvorí pretlak, a preto sa látkové množstvo plynu v pracovnom priestore striekačky v tomto prípade mierne zníži.

Na začiatku merania sme určili látkové množstvo vzduchu v striekačke na úrovni 1,28 mmol. Uvažujúc izotermický dej, pri expanzii vzduchu na objem 102,5 ml pri tlaku 33 kPa sa látkové množstvo zvýšilo na hodnotu 1,38 mmol, čo je približne o takmer 8 % viac. Pri kompresii vzduchu na objem 28,5 ml pri tlaku 109,3 kPa sa látkové množstvo znížilo na hodnotu 1,27 mmol, čo je pokles o 1 %.

Otázky:

1. Zmena tlaku pri zmene objemu môže prebiehať pri konštantnej teplote (izotermický dej), alebo sa teplota môže meniť (adiabatický dej). Prečo adiabatický dej za daných okolností neuvažujeme?
2. Prečo sa na grafe (Graf 18) namerané a vypočítané závislosti odlišujú?
3. Akú hmotnosť by mala voda rovnakého látkového množstva ako uvažovaný plyn, ktorého hodnotu sme stanovili pomocou B.6.6? Porovnajte vypočítanú hmotnosť vody s hodnotou pre vzduch. Uvažujte molárnu hmotnosť vody $M_m = 18,015$ g/mol.
4. Prečo sa odlišujú hodnoty objemového a hmotnostného percentuálneho zastúpenia plynov vo vzduchu pre jeho jednotlivé zložky (Tab. 15)?
5. Ako sa s tlakom mení hustota vzduchu? Vypočítajte hustotu vzduchu pri tlaku p_0 a teplote T_0 .
6. Pri expanzii vzduchu na objem $V = 102,5$ ml v dôsledku netesností striekačky dôjde k zvýšeniu látkového množstva vzduchu. Aký bude pracovný objem V_1 striekačky pri počiatocnom tlaku p_0 a teplote T_0 ?
7. Aký tlak vzduchu p_1 by sme namerali v striekačke, ak by po expanzii plyn nadobúdval pôvodný objem V_0 ?
8. Porovnajte hodnoty V_1 a p_1 oproti počiatocným hodnotám V_0 a p_0 .

Odpovede:

1. Adiabatický dej dobre popisuje rýchle procesy, pri ktorých nie je dostatok času na tepelnú výmenu, a preto sa sústava javí, ako keby k tepelnej výmene nedochádzalo. V prípade vzduchu v striekačke k istému zvýšeniu teploty vzduchu určite dôjde, avšak je pravdepodobné, že už po krátkom čase vzduch odovzdá teplo striekačke. Tento nárast teploty tela striekačky však nebude výrazný, pretože tepelná kapacita vzduchu oproti striekačke je oveľa menšia predovšetkým vďaka výrazne nižšej hmotnosti vzduchu oproti hmotnosti striekačky pri porovnateľných hodnotách hmotnostnej tepelnej kapacity (viď. poznámky).

Ak by sme pripustili adiabatický dej, uvažujúc Poissonovu konštantu pre vzduch ($\kappa = 1,4$), tak zvýšenie látkového množstva o vyše 70 % v dôsledku tejto korekcie



by nezodpovedalo realite (Tab. 16). Okrem toho, fitovaním nameraných dát by sa dosiahla zhoda pre $\kappa = 0,93$, čo nedáva fyzikálny význam, nakoľko Poissonova konštanta je definovaná ako pomer C_p/C_v , pričom vzťah medzi C_p a C_v vyjadruje tzv. Mayerova rovnica $C_v = C_p - nR$, z čoho vyplýva, že $C_v < C_p$, a preto musí byť $\kappa > 1$.

- Mierny nesúlad medzi nameranou a vypočítanou závislosťou možno vysvetliť netesnosťou striekačky, vďaka čomu nedokážeme zabezpečiť nemenné látkové množstvo skúmaného plynu počas deja.
- Voda látkového množstva 1,28 mmol má hmotnosť $m = n \cdot M_m \doteq 23$ mg, čo je menej, ako hmotnosť rovnakého látkového množstva vzduchu ($m_{\text{vzduchu}} = 37$ mg).
- Rozdielnosť hodnôt objemového a hmotnostného percentuálneho zastúpenia plynov vo vzduchu má svoj pôvod v rôznych hustotách jeho jednotlivých zložiek pri danej teplote a tlaku.
- Hustotu plynu možno vyjadriť ako pomer hmotnosti a jeho objemu $\rho = \frac{m}{V}$. Ak v stavovej rovnici ideálneho plynu A.6.3 nahradíme látkové množstvo pomerom hmotnosti a molárnej hmotnosti ($n = m/M_m$), odtiaľ možno vyjadriť hmotnosť plynu:

$$m = \frac{p \cdot V \cdot M_m}{R \cdot T} \quad (\text{B.6.7})$$

Potom dosadením hmotnosti do vyjadrenia pre hustotu dostávame:

$$\rho = \frac{p \cdot M_m}{R \cdot T} \quad (\text{B.6.8})$$

Ako vidíme, hustota je priamo úmerná tlaku a nepriamo úmerná teplote. Dosadením známych hodnôt tlaku p_0 a teploty T_0 dostávame hodnotu hustoty vzduchu pri týchto podmienkach: $\rho \doteq 1,14$ kg/m³. Pre porovnanie, pri tlaku 101,325 kPa a teplote 15 °C, je hustota vzduchu približne 1,225 kg/m³.

- Pri expanzii vzduchu na objem $V = 102,5$ ml v dôsledku netesností striekačky dôjde k zvýšeniu látkového množstva vzduchu na hodnotu $n_1 = 1,38$ mmol. Zo stavovej rovnice ideálneho plynu A.6.3 vyjadríme hodnotu objemu plynu so zvýšeným látkovým množstvom pri počiatočných podmienkach:

$$V_1 = \frac{n_1 R \cdot T_0}{p_0} \doteq 34,98 \text{ ml} \quad (\text{B.6.9})$$

- Zo stavovej rovnice ideálneho plynu A.6.3 vyjadríme hodnotu tlaku plynu so zvýšeným látkovým množstvom oproti pôvodnej hodnote pri počiatočných podmienkach:

$$p_1 = \frac{n_1 R \cdot T_0}{V_0} \doteq 104077 \text{ Pa} \quad (\text{B.6.10})$$

- V oboch prípadoch došlo k zvýšeniu pôvodnej hodnoty, teda platí $V_1 > V_0$ a $p_1 > p_0$.

Poznámky

Pri zmene pracovného objemu striekačky k určitej zmene teploty plynu vo vnútri striekačky pravdepodobne dôjde, avšak táto zmena, i keď môže byť výrazná, bude trvať iba krátky čas, pretože teplo nahromadené v plyne je pomerne malé a tepelná výmena medzi pracovným plynom a okolím (vrátane striekačky) bude intenzívna. Ak by sme chceli takéto rýchle zmeny teploty namerať, na tento účel by sa musel použiť veľmi citlivý teplomer s malou tepelnou kapacitou alebo bezkontaktný, napríklad infračervený teplomer, čo by výrazne ovplyvnilo usporiadanie experimentu.

Na overenie, že krátkodobou dochádza k zmene teploty pri zmene objemu je možné presvedčiť sa napríklad tak, že do striekačky kvapneme prchavú látku, ktorá kondenzuje pri teplotách o niekoľko °C nižších, ako je teplota okolia. Po odparení kvapaliny piestom rýchlo potiahneme, čím výrazne zvýšime objem plynu, vďaka čomu sa jeho teplota výrazne zníži. Následkom tohto zníženia teploty plynu prchavá látka opäť kondenzuje, čo sa prejaví vznikom drobných kvapôčok, ktoré pozorujeme ako hmlu. Keďže zníženie teploty trvá iba krátky čas, táto hmla sa veľmi rýchlo rozplynie, čo len potvrdzuje naše predpoklady. Na tomto princípe je založená tzv. Wilsonová hmlová komora, ktorá slúži na pozorovanie alfa častíc. Ako pracovná látka sa používa zmes zložená z 25 % acetónu, 60 % etylalkoholu a 15 % vody.

V adiabatických podmienkach, teda pri dokonalej tepelnej izolácii vzduchu v striekačke od okolia alebo pri veľmi rýchlych zmenách objemu by zmena teploty pracovného plynu bola pomerne výrazná. Nasledujúca tabuľka uvádza vypočítanú teplotu plynu pri zmene pracovného objemu striekačky:

V [ml]	p [hPa]	n [mol]	T [K]
28,5	1093	0,0012051	310,9
30,5	1023	0,0012403	302,6
32,5	967	0,0012814	295
42,5	754	0,0014546	265
52,5	616	0,0015974	243,5
62,5	522	0,0017279	227,1
72,5	455	0,001854	214
82,5	406	0,0019823	203,2
92,5	364	0,002086	194,1
102,5	330	0,0021834	186,3

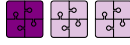
Tab. 16: Výpočet teploty vzduchu pri adiabatickom deji

Ako je vidieť z Tab. 16, pri adiabatických podmienkach je rozdiel teplôt vzduchu pri krajných polohách piestu striekačky takmer 125 °C. V prípade použitia kovových piestov vo valcoch s kvalitným tesnením je možné dosiahnuť oveľa vyššie zmeny teplôt. Tento princíp sa využíva vo vznetrových spaľovacích motoroch u ktorých je v závislosti od použitého paliva teplota potrebná k vznieteniu rádovo 800 °C. Vzhľadom na rýchle procesy kompresie a expanzie v spaľovacom motore môžeme považovať podmienky vo valci motora za adiabatické.

B.7. Elektrické pole

B.7.1. Ohmov zákon

Úloha



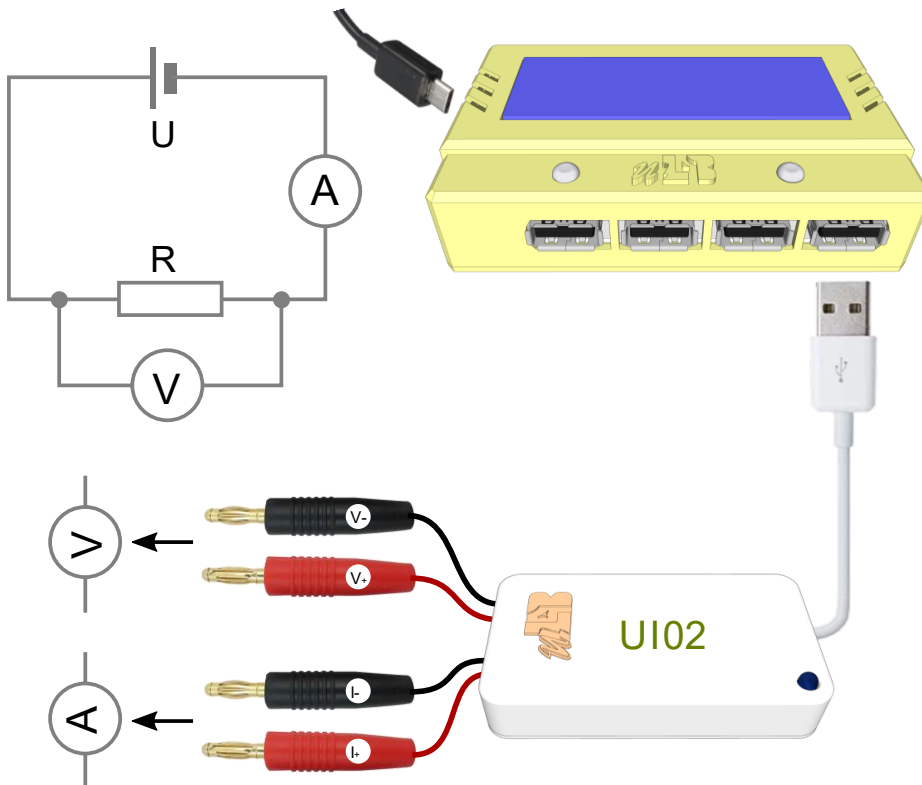
Overte platnosť Ohmovho zákona a zmerajte elektrický odpor rezistora.

Pomôcky



- uLAB BOX
- uLAB SENSOR UI02 (senzor elektrického napätia a prúdu)
- zdroj elektrického napätia (regulovateľný laboratórny zdroj)
- rezistor(y), vodiče s banánikmi resp. krokosvorkami

Usporiadanie



Obr. 67: Meranie elektrického odporu nepriamou metódou (AVAL)

Postup

1. Zapojíme si elektrický obvod podľa schémy na Obr. 67, pričom namiesto ampérmetra a voltmetra pripojíme kombinovaný senzor, ktorý pozostáva z voltmetra (svorky V+ a V-) a ampérmetra⁴² (svorky I+ a I-).
2. Pripojíme senzor k BOXu a spustíme XY meranie, v ktorom na x-ovú os budeme vynášať hodnotu el. napätia a na y-ovú os budeme vynášať el. prúd.
3. Na laboratórnom zdroji si nastavíme napätie a odčítame hodnoty úbytku napätia na rezistore a prúd, ktorý ním prechádza.
4. Pre každú dvojicu hodnôt U a I je možné určiť hodnotu elektrického odporu rezistora:

$$R = \frac{U}{I} \quad (\text{B.7.1})$$

5. Takto pokračujeme až do maximálnej hodnoty napätia, ktorá závisí od hodnoty elektrického odporu meraného rezistora (bližšie je táto problematika vysvetlená v časti Bezpečnosť).
6. V rozhraní meracieho systému môžeme sledovať tzv. voltampérovú charakteristiku rezistora.
7. Úlohu je možné merať aj pri prepólovaní zdroja (resp. rezistora), avšak vždy je potrebné zohľadniť poznámku pod čiarou na s. 162.
8. Po ukončení merania dáta uložíme v počítači, na ktorom ich spracujeme.

Bezpečnosť

Pri stanovení maximálnej hodnoty napätia zdroja je potrebné poznať aspoň približne hodnotu meraného rezistora a všetkých prvkov obvodu:

- odpory vodičov, v závislosti od materiálu a rozmerov sú rádovo maximálne desatiny ohmu až jednotky ohmov;
- vnútorný odpor ampérmetra je veľmi malý a závisí od rozsahu (v prípade použitého senzora je jeho odpor menej ako $0,1 \Omega$);
- vnútorný odpor voltmetra je spravidla oproti ostatným prvkom obvodu výrazne vyšší a rovnako ako u ampérmetra závisí od zvoleného rozsahu (v prípade použitého senzora je jeho vnútorný odpor rovný $400 \text{ k}\Omega$);

Na základe uvedeného je možné povedať, že ak nechceme prekročiť rozsah ampérmetra ($I_A = 400 \text{ mA}$) pri meraní rezistora napríklad $R = 10 \Omega$, maximálna hodnota napätia zdroja je $U = R \cdot I_A = 4 \text{ V}$. Pri použití rezistorov vyšších hodnôt je možné použiť aj vyššie napätie, avšak nesmieme prekročiť maximálny rozsah voltmetra, ktorý je v tomto prípade 20 V .

⁴² V dôsledku konštrukčných vlastností senzora je potrebné v prípade použitia oboch meracích prístrojov ampérmeter pripojiť k zápornému pólu zdroja



Pri meraní je potrebné dbať aj na maximálnu prípustnú hodnotu výkonu rezistora.

Táto hodnota sa u bežných rezistorov (s drôtovými vývodmi, angl. through hole) pohybuje od 0,25 W po 1 W. Ak použijeme napríklad rezistor 10 Ω s maximálnym výkonom 0,5 W, potom jeho maximálnu hodnotu prúdu možno vypočítať s využitím vzťahov B.7.1 a A.7.11:

$$P = R \cdot I^2 \Rightarrow I = \sqrt{P/R} \quad (\text{B.7.2})$$

V našom príklade je teda maximálna hodnota prúdu prípustná pre rezistor rovná približne 224 mA, preto maximálnu hodnotu napätia musíme vypočítať pre túto hodnotu prúdu z ohmovho zákona (B.7.1), čo predstavuje 2,24 V. Skutočná hodnota prúdu, ktorý prechádza rezistorom však bude o niečo nižšia, presnejšie bude znížená o hodnotu prúdu, ktorý prechádza voltmetrom. Avšak vzhľadom na hodnoty odporov prúd prechádzajúci voltmetrom môžeme oproti prúdu prechádzajúceho meraným rezistorom zanedbať z toho dôvodu, že el. odpor meraného rezistora je v danom prípade oproti vnútornému odporu voltmetra o niekoľko rádov nižší.

Spracovanie

Zmenou elektrického napätia regulovateľného zdroja sme zvyšovali rozdiel potenciálov na koncoch rezistora, ktorého nominálna hodnota bola 68 Ω. Výrobca udáva toleranciu nominálnej hodnoty ±5 % a jeho výkon 0,25 W, z čoho môžeme s využitím a B.7.1 vypočítať maximálne napätie $U_{\max} = \sqrt{P \cdot R} = \sqrt{0,25 \cdot 68} \doteq 4,12$ V. V praxi sa snažíme neprekročiť toto napätie, aby sme predišli poškodeniu rezistora.

Pred spustením merania je potrebné nastaviť rozsahy oboch meracích prístrojov (voltmetra a ampérmetra). Z maximálnej hodnoty napájacieho napätia môžeme pomocou B.7.1 vypočítať maximálnu hodnotu elektrického prúdu ($I_{\max} = U_{\max}/R \doteq 61$ mA). Na základe týchto maximálnych hodnôt si nastavíme rozsah voltmetra na 5 V a rozsah ampérmetra na 400 mA.

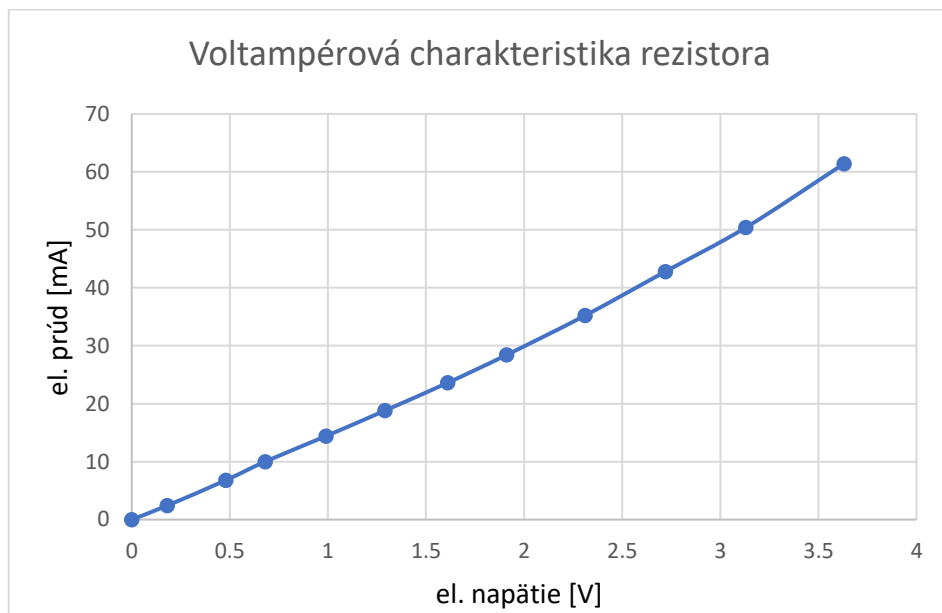
Voľbou vhodného kroku zvyšovania napätia sme namerali tieto dvojice hodnôt napätia a prúdu, ktoré sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

č. m.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
El. napätie [V]	0	0,18	0,48	0,68	0,99	1,29	1,61	1,91	2,31	2,72	3,13	3,63
El. prúd [mA]	0	2,4	6,8	10	14,4	18,8	23,6	28,4	35,2	42,8	50,4	61,4
El. odpor [Ω]	-	75,0	70,6	68,0	68,8	68,6	68,2	67,3	65,6	63,6	62,1	59,1

Tab. 17: Voltampérová charakteristika rezistora

Pre každú dvojicu nameraných hodnôt (s výnimkou prvého merania) bolo možné na základe B.7.1 vypočítať elektrický odpor rezistora, čo je uvedené v poslednom riadku Tab. 17. Za predpokladu platnosti Ohmovho zákona môžeme určiť hodnotu elektrického odporu rezistora ako aritmetický priemer všetkých hodnôt, teda $\bar{R} \doteq 67$ Ω. Relatívna chyba je približne 1,5 %, čo je v tolerancii, ktorú uvádza výrobca.

Z nameraných hodnôt uvedených v tejto tabuľke možno zostrojiť tzv. Voltampérovú charakteristiku (VACH) rezistora tak, že na vodorovnú os (os nezávislých premenných) vynášame elektrické napätie a na zvislú os (os závislých premenných) vynášame elektrický prúd.



Graf 19: Voltampérová charakteristika rezistora

Varianty

V prípade použitia rezistorov vyšších hodnôt el. odporu (porovnateľné s vnútorným odporom voltmetra a vyššie). V tomto prípade nebude možné zanedbať prúd, ktorý prechádza voltmetrom, a preto je potrebné pri vyjadrení el. odporu meraného rezistora s touto korekciou prúdu uvažovať:

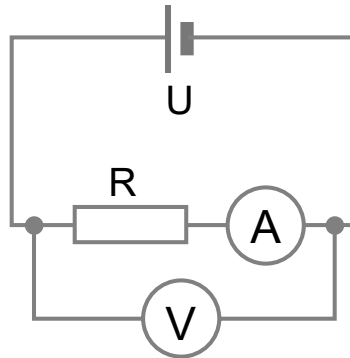
$$R = \frac{U}{I - I_V} = \frac{U}{I - \frac{U}{R_V}} \quad (\text{B.7.3})$$

Aj keď sa vďaka uvedenej korekcii dopracujeme k pomerne presnému výsledku, v praxi sa používa modifikované zapojenie, ktoré je uvedené na Obr. .

V tomto prípade voltmetrom nenameriame úbytok napätia na rezistore, ale na sériovej kombinácii rezistora a ampérmetra. Elektrický odpor potom vypočítame:

$$R = \frac{U - U_A}{I} = \frac{U - I \cdot R_A}{I} = \frac{U}{I} - R_A \quad (\text{B.7.4})$$

Vzhľadom na to, že vnútorný odpor ampérmetra je oproti meranému rezistoru veľmi malý, úbytok napätia na ampérmetri často môžeme zanedbať.



Obr. 68: Meranie elektrického odporu pomocou metódy AMONT

Meranie je možné realizovať aj s použitím premenlivého rezistora, akým je napríklad potenciometer, alebo trimer. Osobitnú pozornosť pritom musíme venovať situácii s polohou bežca, v ktorom je jeho elektrický odpor najnižší, pretože ním bude prechádzať maximálny prúd, ktorý ho môže poškodiť.

Zhodnotenie

Meraním sme zistili, že elektrický prúd, ktorý prechádza rezistorom je priamo úmerný elektrickému napätiu (úbytku napätia na rezistore) s konštantou úmernosti G (viď A.7.9). Ak poznáme hodnotu el. odporu rezistora ($R = 67 \Omega$), potom jeho vodivosť je $G = 14,9 \text{ mS}$.

Otázky:

1. Z grafu (Graf 19) odčítajte, aký prúd by tiekol rezistorom, ak by sme na ňom namerali úbytok napätia 2 V?
2. Aký výkon by v tomto prípade mal rezistor?
3. Ak rezistorom prechádza elektrický prúd, koná sa elektrická práca. Vypočítajte, aká veľká práca sa vykoná na tomto rezistore za čas 1 h pri napätí 2 V a na čo sa táto práca spotrebuje.
4. Elektrický odpor rezistora súvisí so smernicou priamky VACH. Ak by bol použitý rezistor s menším el. odporom, ako by sa zmenila VACH?
5. Popíšte, čo by sa stalo, ak by sme zmenili polaritu zdroja? Ako by sa to prejavilo na VACH?
6. Prečo nie je vyčíslená hodnota elektrického odporu prvého merania (Tab. 17)?

Odpovede:

1. Pri úbytku napätia 2 V by rezistorom prechádzal prúd približne 30 mA.
2. Na základe vzťahu by bol výkon rezistora 60 mW.
3. Prechodom elektrického prúdu rezistorom sa premení elektrická práca na teplo a za 1 h sa v súlade s A.4.5 vylúči 216 J. Toto teplo sa použije na ohrev rezistora, ale aj prostredia (médiu v tepelnom kontakte s rezistorom, akým je napríklad vzduch alebo vodiče).
4. VACH by bola v takom prípade strmšia (pri zachovaní mierky osí). To znamená, že by pri tom istom napätí prechádzal rezistorom vyšší prúd.
5. V takom prípade by bol smer prúdu opačný oproti pôvodnej polarite zdroja. V prípade pôvodného zapojenie by boli namerané záporné hodnoty prúdu aj napätia, čo by sa na grafe prejavilo jeho preklopením v stredovej súmernosti okolo počiatku súradnicovej sústavy, vďaka čomu by sa graf VACH dostal do 3. kvadrantu.
6. V tomto prípade rezistorom neprechádza elektrický prúd. Na rezistore je nameraný nulový úbytok napätia. Rovnica $U = R \cdot I$ vyjadrujúca vzťah medzi elektrickým napätím a prúdom bude mať tvar $0 = R \cdot 0$, čo platí pre ľubovoľnú hodnotu elektrického odporu R . Inými slovami, z uvedeného merania nie je možné túto hodnotu elektrického odporu určiť.

Poznámky

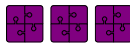
Na každej elektronickej súčiastke, ktorou prechádza elektrický prúd, sa vylučuje teplo, ktoré súčiastku ohrieva. V elektrotechnike sa to považuje za nežiaduci jav, ktorý okrem zníženia účinnosti danej súčiastky môže navyše spôsobiť jej poškodenie v dôsledku prehriatia. V prípade niektorých súčiastok, napríklad u tranzistorov, integrovaných obvodov sa zvykne udávať parameter tepelného odporu θ_{JA} (používa sa angl. výraz Junction-to-ambient thermal resistance), ktorý sa udáva v jednotkách K/W alebo °C/W a predstavuje nárast teploty súčiastky pripadajúci na 1 W výkonu [51]. Tento údaj pomáha konštruktérom navrhovať elektronické obvody tak, aby sa zabránilo poškodeniu zariadení v dôsledku vylúčenia nadmerného tepla. Teplotu súčiastky je možné vyjadriť:

$$T_s = T_o + \theta_{JA} \cdot P, \quad (\text{B.7.5})$$

kde T_s je teplota súčiastky, T_o je teplota prostredia a P je jej elektrický výkon. Ak sa chceme vyhnúť poškodeniu súčiastky z dôvodu prehriatia, musí byť táto teplota nižšia ako maximálna pracovná teplota povolená výrobcom (v angličtine sa niekedy táto teplota označuje ako Thermal shutdown temperature) a to pri maximálnom výkone.

B.7.2. Meranie elektrického potenciálu

Úloha



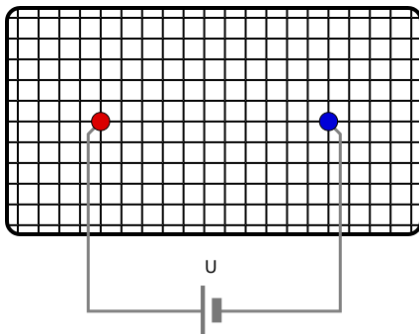
Určte elektrický potenciál v rôznych miestach prostredia.

Pomôcky



- uLAB BOX
- uLAB SENSOR UI01 (senzor elektrického napätia)
- zdroj elektrického napätia (laboratórny zdroj)
- 4 klince dĺžky aspoň 50mm, vodiče s krokosvorkami
- plytká plastová, najlepšie priehľadná nádoba
- výkres, ceruza, pravítko
- plastelína

Usporiadanie



Obr. 69: Meranie el. potenciálu a) náčrt experimentu, b) obrázok experimentu

Postup



1. Na výkres si nakreslíme raster (zvislé a vodorovné čiary vzdialené 1cm).
2. Na raster položíme nádobu a v dvoch miestach pomocou plastelíny upevníme dva klince (klince zapichneme do pripravenej plastelíny – červený a modrý terčik) podľa Obr. 69a, ktoré budú mať funkciu napájajúcich elektród.
3. Do pripravenej nádoby nalejeme čistú pitnú vodu z vodovodného kohútika. Vodu stačí naliať do výšky 1 cm.
4. Na jeden kliniec pripojíme kladnú svorku zdroja a na druhý kliniec jeho zápornú svorku.
5. Na zdroji si nastavíme napätie (napr. 3 V). Pri tomto usporiadaní a pri použití čistej pitnej vody by elektrický prúd nemal prekročiť hodnotu 100 mA. V prípade použitia

kvapaliny s nižším el. odporom (napríklad pri slanej vode) by mohla vysoká hodnota prechádzajúceho prúdu spôsobiť jej elektrolýzu.

6. Zápornú elektródu voltmetra (senzora) pripojíme na klinec, ktorý je pripojený k zápornej svorke zdroja.
7. Do krokosvorky kladného pólu voltmetra (senzora) uchopíme klinec, ktorý bude predstavovať snímaciu elektródu.
8. Snímaciu elektródu postupne umiestňujeme do rôznych miest (priesečníky čiar v rastru), pričom v každom bode zaznamenávame hodnotu elektrického potenciálu v danom mieste, čo predstavuje hodnotu napätia medzi zápornou elektródou zdroja a snímacou elektródou.

Poznámky:

- v prípade merania napätí pomocou voltmetra možno namerané hodnoty zapisovať priamo do dvojrozmerného poľa podľa rozmeru rastra
- v prípade použitia senzora je meranie oveľa rýchlejšie, pretože odpadá odčítanie digitálnej resp. analógovej hodnoty z meracieho prístroja, odčítanie ktorej komplikuje nestabilita nameranej hodnoty
- výhoda merania s pomocou senzora sa prejavuje aj v tom, že možno v reálnom čase sledovať ako už namerané hodnoty, tak aj aktuálnu hodnotu a experimentátor tak má predstavu o celom meraní (napríklad vie rýchlejšie odhaliť zhoršený kontakt elektródy alebo skrat)
- aby bolo možné spracovať namerané hodnoty pomocou senzora (viď spracovanie), je potrebné si vopred dohodnúť poradie meraných bodov (napríklad či budú body merané po riadkoch, alebo po stĺpcoch, prípadne zig-zag spôsobom a pod.)

Bezpečnosť

Čistá (destilovaná) voda, ktorá sa v laboratórnych podmienkach nazýva deionizovaná voda, je veľmi zlý vodič elektrického prúdu, pretože obsahuje malé množstvo voľných nosičov náboja. Nenulovú vodivosť (resp. konečnú rezistivitu okolo 200 k Ω .m) takáto voda získa vďaka tzv. autoionizácii. Pitná voda obsahuje malé množstvo minerálnych látok, ktoré dodávajú vode jej chuť a zároveň zvyšujú jej vodivosť pridaním voľných nosičov náboja.

V prípade použitia kvapaliny s vysokou vodivosťou, takýmto elektrolytom bude prechádzať vyšší prúd. V prípade použitia roztoku kuchynskej soli vo vode dôjde k disociácii molekuly soli (NaCl) na dva ióny: Na⁺ (katión) a Cl⁻ (anión). Vodivosť elektrolytu (soľného roztoku) sa výrazne zvýši vďaka zvýšeniu koncentrácie voľných nosičov náboja. V dôsledku vonkajšieho elektrického poľa (vytvoreného zdrojom) dôjde k vytvoreniu usmerneného pohybu týchto iónov k príslušnej elektróde (katión sa pohybuje ku zápornej katóde a anión sa pohybuje ku kladnej anóde). Tento pohyb nabitých častíc charakterizuje elektrický prúd, ktorý má význam množstva prejdeného náboja ΔQ za jednotku času Δt podľa vzťahu A.7.8. Na rozdiel od kvapalín je v prípade kovov elektrický prúd tvorený len pohybom voľných elektrónov.



V závislosti od salinity vody a od usporiadania experimentu sa elektrický prúd pri napätí jednotiek voltov môže pohybovať až na úrovni jednotiek mA, pričom už malá koncentrácia soli vo vodnom roztoku výrazne vplýva na jeho vodivosť. Pri vysokých hodnotách salinity, napríklad u morskej vody má roztok vlastnosti dobrého vodiča s hodnotou rezistivity okolo $0,2 \Omega \cdot \text{m}$. K zvyšovaniu vodivosti morskej vody prispieva aj prítomnosť niektorých kyselín.

V prípade použitia roztokov kyselín je potrebné klásť dôraz na bezpečnosť pri manipulácii s nimi, nakoľko pri neodbornej manipulácii môže dôjsť k poškodeniu zdravia. Z tohto dôvodu sa pri školských experimentoch, ale aj pri samostatnej práci žiakov ich použitie neodporúča.

Použitie rôznych horľavých, agresívnych a na zdravie človeka nepriaznivo pôsobiacich kvapalín sa rovnako neodporúča. Namiesto nich je vhodné použiť dostupnú a bezpečnú kvapalinu. Použitie niektorých kvapalín môže spôsobiť výraznú koróziu elektród, prípadne v dôsledku elektrolyzy sa môžu v okolí elektród vylučovať nebezpečné látky.

Spracovanie

Elektrický potenciál, ale aj vektor intenzity elektrického poľa sú teda fyzikálne veličiny, ktoré nám umožňujú získať predstavu o elektrickom poli. Elektrická sila, a teda aj práca potrebná na premiestnenie skúšobného náboja v elektrickom poli bežne dostupných nabitých telies je pomerne malá, a preto je obťažne ju merať priamo. Aby sme získali niektorú z uvedených veličín je potrebné nájsť spôsob, akým je ich možné merať.

Na meranie elektrického napätia slúži voltmeter, ktorý na zobrazenie hodnoty vyžaduje buď prechod elektrického prúdu cievkou vychýľovacieho mechanizmu u tradičných voltmetrov, prípadne nabitie kondenzátora (premiestnenie náboja na kondenzátor), ktorého hodnota sa prevádza pomocou tzv. komparátorov na digitálnu veličinu u digitálnych voltmetrov. To znamená, že voltmetre potrebujú na svoju činnosť prítomnosť voľného náboja, a preto meranie napätia týmto spôsobom v ideálnych dielektrikách nie je možné realizovať. Napätie je však možné merať v prostrediach s nenulovou vodivosťou, v ktorých je vytvorené elektrické pole napríklad pomocou elektród, ktoré sú pripojené k zdroju (Obr. 69a). Tieto podmienky sú splnené napr. v prípade čistej pitnej vody, ale aj v prípade iných kvapalín. Existujú však aj kvapaliny, ktoré pre svoju nízku vodivosť nie sú vhodné na toto meranie, napríklad destilovaná voda alebo rôzne rastlinné či živočíšne oleje.

Na rozdiel od elektrického potenciálu, ktorého hodnota v danom mieste závisí od voľby referenčného miesta, rozdiel potenciálov (elektrické napätie) od referenčného miesta nezávisí. Ak však chceme zmapovať elektrické pole pomocou elektrického potenciálu, referenčné miesto (bod) si musíme zvoliť. Z praktického hľadiska sa za referenčný bod, teda miesto s nulovým potenciálom volí záporná elektróda. Preto je záporná svorka voltmetra spojená so zápornou elektródou.

V závislosti od zvoleného postupu merania (viď poznámky) získame rad nameraných hodnôt rozdielu potenciálov (napätí) medzi svorkami voltmetra. Vzhľadom na voľbu referenčného bodu môžeme považovať tieto hodnoty za hodnoty elektrického potenciálu v každom nameranom mieste s ohľadom na referenčný bod.

Pre reálne zobrazenie hodnôt elektrického potenciálu vo všetkých bodoch rastru je potrebné konvertovať rad nameraných hodnôt do dvojrozmerného poľa tak, ako je to znázornené v nasledujúcej tabuľke:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	1.82	1.83	1.81	1.75	1.72	1.73	1.66	1.62	1.56	1.48	1.41	1.36	1.33	1.28	1.21	1.20	1.16	1.16	1.15	1.14
2	1.83	1.83	1.81	1.77	1.73	1.73	1.70	1.63	1.55	1.48	1.41	1.36	1.30	1.24	1.20	1.18	1.15	1.15	1.14	1.14
3	1.84	1.85	1.83	1.79	1.76	1.75	1.71	1.63	1.56	1.48	1.41	1.35	1.29	1.22	1.14	1.16	1.14	1.13	1.13	1.13
4	1.85	1.86	1.86	1.84	1.81	1.77	1.72	1.64	1.56	1.49	1.41	1.34	1.27	1.19	1.09	1.10	1.12	1.11	1.12	1.12
5	1.86	1.88	1.88	1.88	1.89	1.81	1.74	1.64	1.56	1.48	1.40	1.33	1.25	1.15	1.04	1.01	1.08	1.10	1.11	1.12
6	1.86	1.88	1.88	1.92	2.55	1.84	1.73	1.64	1.55	1.48	1.40	1.32	1.25	1.14	1.05	0.00	1.03	1.10	1.11	1.12
7	1.85	1.87	1.87	1.86	1.95	1.88	1.71	1.63	1.55	1.48	1.40	1.32	1.26	1.16	1.10	0.97	1.07	1.11	1.11	1.12
8	1.84	1.85	1.83	1.81	1.84	1.80	1.69	1.62	1.54	1.48	1.34	1.34	1.28	1.18	1.18	1.08	1.10	1.13	1.13	1.13
9	1.82	1.82	1.80	1.77	1.79	1.78	1.68	1.60	1.54	1.41	1.40	1.35	1.29	1.22	1.21	1.15	1.17	1.14	1.14	1.14
10	1.81	1.81	1.78	1.76	1.76	1.75	1.67	1.61	1.52	1.47	1.40	1.36	1.30	1.25	1.23	1.18	1.18	1.16	1.15	1.14
11	1.79	1.79	1.77	1.73	1.74	1.72	1.65	1.59	1.52	1.46	1.41	1.36	1.32	1.25	1.24	1.19	1.20	1.17	1.16	1.15

Tab. 18: Znázornenie elektrostatického poľa pomocou elektrického potenciálu

Volbou vhodnej farebnej schémy, vďaka čomu je každej hodnote elektrického potenciálu priradená určitá farba, získame obrázok, ktorý poskytuje vytvorenie názornej predstavy o rozložení elektrického potenciálu v skúmanej oblasti.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	1.82	1.83	1.81	1.75	1.72	1.73	1.66	1.62	1.56	1.48	1.41	1.36	1.33	1.28	1.21	1.20	1.16	1.16	1.15	1.14
2	1.83	1.83	1.81	1.77	1.73	1.73	1.70	1.63	1.55	1.48	1.41	1.36	1.30	1.24	1.20	1.18	1.15	1.15	1.14	1.14
3	1.84	1.85	1.83	1.79	1.76	1.75	1.71	1.63	1.56	1.48	1.41	1.35	1.29	1.22	1.14	1.16	1.14	1.13	1.13	1.13
4	1.85	1.86	1.86	1.84	1.81	1.77	1.72	1.64	1.56	1.49	1.41	1.34	1.27	1.19	1.09	1.10	1.12	1.11	1.12	1.12
5	1.86	1.88	1.88	1.88	1.89	1.81	1.74	1.64	1.56	1.48	1.40	1.33	1.25	1.15	1.04	1.01	1.08	1.10	1.11	1.12
6	1.86	1.88	1.88	1.92	2.55	1.84	1.73	1.64	1.55	1.48	1.40	1.32	1.25	1.14	1.05	0.00	1.03	1.10	1.11	1.12
7	1.85	1.87	1.87	1.86	1.95	1.88	1.71	1.63	1.55	1.48	1.40	1.32	1.26	1.16	1.10	0.97	1.07	1.11	1.11	1.12
8	1.84	1.85	1.83	1.81	1.84	1.80	1.69	1.62	1.54	1.48	1.34	1.34	1.28	1.18	1.18	1.08	1.10	1.13	1.13	1.13
9	1.82	1.82	1.80	1.77	1.79	1.78	1.68	1.60	1.54	1.41	1.40	1.35	1.29	1.22	1.21	1.15	1.17	1.14	1.14	1.14
10	1.81	1.81	1.78	1.76	1.76	1.75	1.67	1.61	1.52	1.47	1.40	1.36	1.30	1.25	1.23	1.18	1.18	1.16	1.15	1.14
11	1.79	1.79	1.77	1.73	1.74	1.72	1.65	1.59	1.52	1.46	1.41	1.36	1.32	1.25	1.24	1.19	1.20	1.17	1.16	1.15

Tab. 19: Znázornenie ekvipotenciálnych hladín elektrostatického poľa

Vzájomným pospájaním všetkých bodov, ktoré majú rovnaký potenciál v tejto „mape“ elektrického poľa, vytvoríme tzv. ekvipotenciálne čiary, resp. hladiny. Vzhľadom na pomerne nízku hustotu meraných bodov a nepresnosť merania potenciálu, sa k lepšiemu výsledku vizualizácie ekvipotenciálnych hladín dopracujeme tak, že každý interval hodnôt potenciálu vyfarbíme inou farbou. Rozhranie farieb nám bude predstavovať ekvipotenciálne hladiny pre



hodnoty potenciálov z hraničných bodov intervalov, ako je to znázornené v predošlej tabuľke.

Na základe , v prípade znalosti hodnôt elektrického potenciálu v každom mieste prostredia môžeme skúmať zmenu elektrického potenciálu pozdĺž elementárneho posunutia $d\vec{r}$

$$d\varphi = -\vec{E} \cdot d\vec{r} \quad (\text{B.7.6})$$

Ak sa posunieme v smere osi x , potom prírastok potenciálu pozdĺž posunutia dx bude

$$d\varphi_x = -\vec{E} \cdot \vec{i} \cdot dx = -E_x \cdot dx, \quad (\text{B.7.7})$$

kde \vec{i} je jednotkový vektor v smere osi x (analogicky sú vektory \vec{j} a \vec{k} jednotkové vektory v smere osí y a z). Na základe uvedeného môžeme pre x -ovú zložku vektora intenzity písať:

$$-\frac{d\varphi}{dx} = E_x \quad (\text{B.7.8})$$

Využitím analógie v smere osí y a z pre vektor intenzity elektrického poľa dostávame

$$\vec{E} = -\left(\frac{d\varphi}{dx}, \frac{d\varphi}{dy}, \frac{d\varphi}{dz}\right), \text{ alebo} \quad (\text{B.7.9})$$

$$\vec{E} = -\frac{d\varphi}{dx}\vec{i} - \frac{d\varphi}{dy}\vec{j} - \frac{d\varphi}{dz}\vec{k} = -\text{grad } \varphi \quad (\text{B.7.10})$$

Vektor intenzity má teda smer najväčšej zmeny elektrického potenciálu. Zmena potenciálu bude teda maximálna, ak sa pohybujeme v smere intenzity elektrického poľa, teda gradientu potenciálu a naopak, zmena potenciálu bude nulová, ak sa budeme pohybovať kolmo na vektor intenzity, pretože v takom prípade bude na základe B.7.6 skalárny súčin $\vec{E} \cdot d\vec{r}$ rovný nule. To znamená, že v každom mieste platí, že ekvipotenciálna hladina (čiara) je kolmá na siločiaru (vektor intenzity elektrického poľa).

Varianty



Uvedeným postupom je možné skúmať elektrické polia:

- vytvorené elektródami, ktoré majú rôzny tvar, napríklad:
 - o hrotové elektródy (použité v ukážkovom meraní)
 - o doskové (platničkové) elektródy
 - o prstencové elektródy
 - o elektródy zložitejších tvarov

- v rôznych kvapalinách, napríklad:
 - vodných roztokoch rôznych látok, napríklad solí ako sú NaCl, CuSO₄, ale aj kyselín (napríklad kyselina citrónová)
 - rôzne druhy rastlinných a živočíšnych olejov
 - rôzne technické kvapaliny, napríklad čistiace prostriedky, roztoky alkoholu a pod.
- vytvorené elektródami vyrobené z rôznych materiálov
- vytvorené viac ako dvomi elektródami

Okrem toho je možné skúmať vplyv veľkosti prúdu a napätia na charakter elektrického poľa a vplyv magnetického poľa na namerané výsledky. Magnetické pole je možné vytvoriť napríklad pomocou silného neodýmiového magnetu. Takéto magnety je možné si zakúpiť, alebo napríklad aj vymontovať z nefunkčného alebo vyradeného pevného disku z počítača.

Zhodnotenie

Na základe nameraných údajov možno odpovedať na nasledujúce otázky.

Otázky:

1. Kde sa nachádzajú v elektrolyte elektródy, ktoré sú pripojené k zdroju el. napätia? Svoje tvrdenie zdôvodnite.
2. Aké napätie bolo pripojené k elektródam v elektrolyte?
3. Môžeme doceliť, aby nulový potenciál bol v inom mieste? Ak áno, ako?
4. Aký je rozdiel potenciálov medzi bodmi N2 a E8? Ako je možné namerať tento rozdiel potenciálov?
5. Nachádzajú sa body D2 a C11 na tej istej ekvipotenciálnej hladine (čiare)?
6. Určte dvojicu bodov, ktoré sa nachádzajú na tej istej ekvipotenciálnej hladine.

Odpovede:

1. Na základe skutočnosti, že záporná elektróda voltmetra je pripojená na elektródu vodivo spojenú so záporným pólom zdroja vieme určiť polohu zápornej elektródy – miesto s nulovým potenciálom na súradniciach P6. Elektróda pripojená ku kladnému pólu zdroja musí mať potenciál s najvyššou hodnotou. V našom prípade tomuto bodu s potenciálom 2,55 V zodpovedá súradnica E6.
2. Rozdiel potenciálov v týchto dvoch bodoch (P6 a E6) je zároveň rovné elektrickému napätiu zdroja.
3. V bode P6 je nameraný nulový potenciál preto, že sme vodivo spojili záporné póly voltmetra a zdroja. To znamená, že nulový potenciál je vždy v mieste umiestnenia zápornej elektródy voltmetra. Charakter elektrického poľa sa nezmení, ak túto podmienku nedodržíme, v takom prípade budeme pozorovať nulový potenciál v mieste umiestnenia záporného pólu voltmetra. V takom prípade v niektorých



miestach (bližšie k elektróde pripojenej k zápornému pólu zdroja nameriame záporné hodnoty elektrického potenciálu. Ak umiestnime záporný pól voltmetra na kladný pól zdroja, nulový potenciál bude v tomto mieste a všetky ostatné body sa budú vyznačovať záporným potenciálom (oproti bodu s nulovým potenciálom). Vo všetkých prípadoch získame rovnaké hodnoty napätí (rozdielu potenciálov) pre ľubovoľnú dvojicu bodov.

4. V bode N2 je nameraný potenciál 1,24 V a v bode E8 je nameraný potenciál 1,84 V. Rozdiel potenciálov, čiže napätie medzi týmito bodmi je 0,6 V.
5. Aj keď body D2 a C11 majú rovnaký potenciál, ktorý má hodnotu 1,77 V, ešte sa nemusia nachádzať na rovnakej ekvipotenciálnej hladine. Na základe znázornenia ekvipotenciálnych hladín (Tab. 19) vidíme, že uvedené body je možné spojiť súvislou čiarou, takže môžeme povedať, že uvedené body ležia na ekvipotenciálnej hladine.
6. Takých dvojíc bodov môžeme nájsť viac, napríklad (G3, G7), alebo (N3, N9) a ďalšie.

Literatúra

- [1] C. v.-t. i. SR, 2021. [Online]. Available: https://www.cvtisr.sk/cvti-sr-vedecka-kniznica/informacie-o-skolstve/statistiky/statisticka-rocenka-publikacia/statisticka-rocenka-vysoke-skoly.html?page_id=9596.
- [2] Š. p. ú. SR, 2021. [Online]. Available: <https://www.statpedu.sk/sk/svp/inovovany-statny-vzdelavaci-program/inovovany-svp-gymnazia-so-stvorrocnym-patrocny-m-vzdelavacim-programom/ramcovy-ucebny-plan/>.
- [3] Štátny pedagogický ústav, „Štátny vzdelávací program – FYZIKA (Vzdelávacia oblasť: Človek a príroda) PRÍLOHA ISCED 3A.,“ [Online]. Available: https://www.statpedu.sk/files/articles/dokumenty/statny-vzdelavaci-program/fyzika_iscsed3.pdf.
- [4] „VYHLÁŠKA Ministerstva školstva Slovenskej republiky o ukončovaní štúdia na stredných školách a o ukončovaní prípravy v odborných učilištiach, učilištiach a praktických školách,“ 23 08 2004. [Online]. Available: https://www.slovlex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2004/510/vyhlasene_znenie.html#prilohy.priloha-priloha.text2. [Cit. 22 07 2022].
- [5] M. Choma, Participácia na vývoji elektronického meracieho systému, Prešovská univerzita v Prešove FHPV - Nezverejnená rigorózna práca, 2020.
- [6] „Integrated development environment Visual Studio Code,“ Microsoft, [Online]. Available: <https://code.visualstudio.com/>. [Cit. 26.4.2021].
- [7] „The open-source Arduino Software (IDE),“ Arduino Software, [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/>.
- [8] littlefs-project, „A little fail-safe filesystem designed for microcontrollers,“ github.com, [Online]. Available: <https://github.com/littlefs-project/littlefs>. [Cit. 26 05 2022].
- [9] „PCB Prototype & PCB Fabrication Manufacturer - JLCPCB,“ [Online]. Available: <https://jlcpcb.com/>.
- [10] „PCB Prototype the Easy Way,“ [Online]. Available: <https://www.pcbway.com/>.
- [11] „EasyEDA - Online PCB design & circuit simulator,“ [Online]. Available: <https://easyeda.com/>.



- [12] „EasyEDA(Standard) - A Simple and Powerful Electronic Circuit Design Tool,“ [Online]. Available: <https://easyeda.com/editor>.
- [13] E. Systems, „ESP32 Wi-Fi & Bluetooth Modules I Espressif: ESP32 Wroom,“ [Online]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32e_esp32-wroom-32ue_datasheet_en.pdf. [Cit. 29 04 2021].
- [14] E. Systems, „ESP32 Wi-Fi & Bluetooth Modules I Espressif: ESP32 Wrover,“ [Online]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wrover-e_esp32-wrover-ie_datasheet_en.pdf. [Cit. 29 04 2021].
- [15] Holtek, „LCSC Electronics: HT73xx Series Low Power Consumption LDO,“ Holtek, [Online]. Available: https://datasheet.lcsc.com/lcsc/1810171710_Holtek-Semicon-HT7333-A_C21583.pdf. [Cit. 29 04 2021].
- [16] T. Instruments, „SN65HVD23x3.3-V CAN Bus Transceivers,“ [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn65hvd230.pdf>. [Cit. 29 04 2021].
- [17] H. Technology, „I2C Serial Interface 1602LCD Module,“ [Online]. Available: https://handsontec.com/dataspecs/module/I2C_1602_LCD.pdf. [Cit. 29 04 2021].
- [18] D. Semiconductors, „DS18B20 Datasheet,“ [Online]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/58557/DALLAS/DS18B20.html>. [Cit. 24 06 2022].
- [19] M. I. Engineering, „MLX90614 family Datasheet Single and Dual Zone Infra Red Thermometer in TO-39,“ 13 09 2019. [Online]. Available: <https://media.melexis.com/-/media/files/documents/datasheets/mlx90614-datasheet-melexis.pdf>. [Cit. 24 06 2022].
- [20] Bosh, „BMP280 Digital Pressure Sensor – Data sheet,“ 20 10 2021. [Online]. Available: <https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bmp280-ds001.pdf>. [Cit. 28 06 2022].
- [21] A. Semiconducotr, „HX711 Datasheet by SparkFun Electronics,“ [Online]. Available: <https://www.digikey.com/htmldatasheets/production/1836471/0/0/1/hx711.html>. [Cit. 29 06 2022].
- [22] STMicroelectronics, „Time-of-Flight ranging sensor VL53L0X,“ STMicroelectronics, [Online]. Available: <https://www.st.com/en/imaging-and-photonics-solutions/vl53l0x.html>. [Cit. 29 06 2022].
- [23] STMicroelectronics, „VL53L1X Time-of-Flight ranging sensor based on ST's FlightSense technology,“ STMicroelectronics, [Online]. Available:

- <https://www.st.com/en/imaging-and-photonics-solutions/vl53l1x.html>. [Cit. 29 06 2022].
- [24] I. Inc., „MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4,“ 19 08 2013. [Online]. Available: <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>. [Cit. 29 06 2022].
- [25] T. Instruments, „INA219 data sheet, product information and support | TI.com,“ 2014. [Online]. Available: <https://www.ti.com/document-viewer/INA219/datasheet/>. [Cit. 29 06 2022].
- [26] T. Instruments, „INA3221 Triple-Channel Data sheet,“ 03 2016. [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina3221.pdf>. [Cit. 30 06 2022].
- [27] T. Instruments, „ADS1115 Data sheet,“ 01 2018. [Online]. Available: <https://www.ti.com/product/ADS1115>. [Cit. 30 06 2022].
- [28] Honeywell, „Three-Axis Digital Compass IC HMC5883L,“ 04 2012. [Online]. Available: <https://www.farnell.com/datasheets/1683374.pdf>. [Cit. 30 06 2022].
- [29] M. Integrated, „MAX44009 - Industry's Lowest-Power Ambient Light Sensor with ADC,“ 2011. [Online]. Available: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX44009.pdf>. [Cit. 30 06 2022].
- [30] Holtek, „HT78xx Series 500mA TinyPower™ LDO,“ 03 04 2019. [Online]. Available: <https://www.holtek.com.tw/documents/10179/82844a36-1633-498c-a6e3-4d99f2d0f6d7>. [Cit. 07 07 2022].
- [31] A. Inc., „Autodesk | 3D Design, Engineering & Construction Software,“ 2022. [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>. [Cit. 26 07 2022].
- [32] B. Foundation, „blender.org - Home of the Blender project - Free and Open 3D Creation Software,“ [Online]. Available: <https://www.blender.org/>. [Cit. 26 07 2022].
- [33] T. Inc., „3D Design Software | 3D Modeling on the Web | SketchUp,“ 2022. [Online]. Available: <https://www.sketchup.com/>.
- [34] J. Prusa, „PrusaSlicer | Original Prusa 3D printers directly from Josef Prusa,“ [Online]. Available: https://www.prusa3d.com/page/prusaslicer_424/. [Cit. 26 07 2022].



- [35] U. B.V., „Ultimaker Cura: Powerful, easy-to-use 3D printing software,“ 2011-2022. [Online]. Available: <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura>. [Cit. 26 07 2022].
- [36] M. Ritland, 3D printing with Sketchup, Birmingham: Packt Publishing Ltd., 2014.
- [37] D. R. B. S. Ian Gibson, Additive Manufacturing Technologies, Louisville, KY USA: Springer New York Heidelberg Dordrecht London, 2015.
- [38] L. Torvalds, „Git,“ [Online]. Available: <https://www.git-scm.com/>. [Cit. 26 09 2022].
- [39] I. GitHub, „GitHub: Where the world builds software,“ 2022. [Online]. Available: <https://github.com/>. [Cit. 26 09 2022].
- [40] D. Innovations, „WCH CH340G Datasheet,“ [Online]. Available: <https://www.insidegadgets.com/wp-content/uploads/2016/12/ch340g-datasheet.pdf>. [Cit. 29 09 2022].
- [41] S. Laboratories, „CP2102/9 Single-Chip USB- TO-UART Bridge,“ 2017. [Online]. Available: <https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/CP2102-9.pdf>. [Cit. 28 09 2022].
- [42] „Flash Download Tools,“ Espressif Systems, 2022. [Online]. Available: <https://www.espressif.com/en/support/download/other-tools>. [Cit. 28 09 2022].
- [43] I. R. Sinclair, Sensors and transducers, Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001.
- [44] R. J. DEFILLIPPI, Introduction: Project-based learning, reflective practices and learning, 2001.
- [45] J. JANOVIČ, V. KOUBEK a I. PECEN, Vybrané kapitoly z didaktiky fyziky, Univerzita Komenského, 1999.
- [46] F. SINGULE, Americká pragmatická pedagogika: John Dewey a jeho následovníci., zv. 1. vyd., Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1990, p. 197.
- [47] „State of matter,“ [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/State_of_matter. [Cit. 18 08 2021].
- [48] M. Choma, Implementácia alternatívneho meracieho systému v školskom fyzikálnom experimente, Prešov: Dizertačná práca, 2022.
- [49] a. SPP. [Online]. Available: <https://www.spp.sk/sk/velki-zakaznici/zemny-plyn/o-zemnom-plyne/vyhody-zemneho-plynu/vysoko-vyhrevny/>. [Cit. 2021 8 20].

-
- [50] I. E. Agency, „Key world energy statistics,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.ourenergypolicy.org/wp-content/uploads/2016/09/KeyWorld2016.pdf>. [Cit. 20 8 2021].
- [51] H. N. Darvin Edwards, „Texas Instruments: Semiconductor and IC Package Thermal Metrics,“ 04 2016. [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/an/spra953c/spra953c.pdf>. [Cit. 30 09 2022].
- [52] Holtek, „LCSC Electronics: HT78xx Series Low Power Consumption LDO,“ [Online]. Available: https://datasheet.lcsc.com/lcsc/1810171817_Holtek-Semicon-HT7833_C50936.pdf. [Cit. 29 04 2021].
- [53] N. Semiconductors, „I2C-bus specification and user manual Rev 7,“ NXP Semiconductors, 01 10 2021. [Online]. Available: https://web.archive.org/web/20120502134707/http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10204.pdf. [Cit. 27 05 2022].



Príloha

Zoznam pojmov a skratiek

Bootloader – krátky program, ktorý sa spúšťa pri zapnutí mikrokontroléra, ktorý slúži na zavedenie operačného systému, resp. hlavného programu

GPIO – General Purpose Input/Output (vstupno-výstupný kanál na všeobecné použitie)

Pin – jednovodičový vstup alebo výstup; zvyčajne sa takto označuje vývod (nožička) logického obvodu, napríklad mikrokontroléra

TTL – Transistor-to-Transistor Logic

UART - Universal Asynchronous Receiver-Transmitter



Merací systém uLAB

Merací systém s WiFi pripojením na báze mikrokontrolérov

Autor: doc. RNDr. Sergej Il'kovič, PhD.

Rozsah: 180 strán

Náklad: 110 ks

Vydanie: prvé

Obálka: Peter Szombathy

Foto na obálke: doc. RNDr. Sergej Il'kovič, PhD.

Ilustrácie: doc. RNDr. Sergej Il'kovič, PhD.

Sadzba: doc. RNDr. Sergej Il'kovič, PhD.

Vydala: Prešovská univerzita v Prešove vo Vydavateľstve Prešovskej univerzity Prešov, 2022

ISBN: 978-80-555-2965-3

EAN: 9788055529653