

Miroslav Panoš

Role počítačů ve fyzikálním praktiku na MFF UK

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 47 (2002), No. 3, 250--257

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/141137>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2002

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

- [6] Praha na nejstarších grafických listech 1493–1757. Katalog výstavy Muzea hl. m. Prahy, Kreuzzieger, M., Praha 1996.
- [7] NEVÍMOVÁ, P.: Soukromé sdělení, diplomová práce.
- [8] FECHTNEROVÁ, A.: *Představení profesního domu Praha Malá Strana od roku 1623 do zrušení řádu roku 1773*. Miscellanea odd. rukopisů a vzácných tisků, Národní knihovna, Praha 1990.
- [9] PREISS, P.: Soukromé sdělení, 2002.
- [10] TOMAN, P.: *Nový slovník československých výtvarných umělců, díl I (A-K)*. Reedice 1999, Výtvarné centrum Chagall, Ostrava.

## Role počítačů ve fyzikálním praktiku na MFF UK

*Miroslav Panoš, Praha*

### Úvod

Prudký rozvoj počítačů zasáhl do mnoha oblastí lidského působení. To se projevilo i v jejich zařazování do výuky ve fyzikálním praktiku. Hlavním rysem prvních koncepcí připojení počítačů k experimentu byla zejména charakteristická vzájemná nekompatibilita různých typů, nespolehlivý způsob přenosu dat z jednoho počítače na druhý a didaktická nedostatečnost způsobená zcela automatizovaným řešením experimentu. Během vývoje v posledních desetiletích se ukazuje jako výhodné využití jednotné standardní platformy osobních počítačů (PC). I zde se však projevuje mnoho možností a způsobů, jak PC do experimentu fyzikálního praktika začlenit. Jednou cestou je využití univerzálních systémů s prostředími, která umožňují měřit mnoho fyzikálních veličin a většinou je ihned i zpracovávat (např. [4], [5], či [12]). Tato integrovaná prostředí jsou výborným nástrojem pro práci pedagoga při provádění demonstračních pokusů, avšak při jejich využití v základním kurzu fyzikálního praktika jsme se setkali s několika nedostatky (viz dále).

Námi dále prezentovaný přístup je zcela odlišný a je založen na využití jednoúčelových jednoduchých převodníků a adaptérů, které jsou připojeny mezi experiment a počítač, podobně jako např. v [9] nebo [10]. Při tomto řešení počítač spolu s jednoúčelovým programem slouží hlavně jako záznamové zařízení pro načtení dat, která zobrazí na monitoru, aby bylo patrné, zda mají požadovaný charakter a význam, avšak dále je nijak nezpracovává. Na závěr měření se data uloží v co nejuniverzálnější podobě vhodné pro další zpracování. Dalším charakteristickým rysem naší koncepce je využití počítače jen v situacích, kdy je pozorovaný efekt mimo oblast ruční měřitelnosti, tedy

---

Mgr. MIROSLAV PANOŠ (1976), Kabinet výuky obecné fyziky, MFF UK, Ke Karlovu 3, 121 16 Praha 2.

kdy je např. příliš rychlý, vyžaduje přesné nastavení, které by ručně nebylo možné, nebo v situacích, kdy jsou měřeny dlouhé série dat a chceme omezit „otrockou“ práci studenta. V některých případech, pokud to lze, student provádí měření dvěma způsoby. První způsob je založen na metodě měření nevyžadující asistenci počítače, při druhé metodě je využito některé z výhod počítačového sběru dat.

## Využití PC ve fyzikálním praktiku

Při využití počítačů v laboratořích základního praktika na MFF UK jsme narazili na několik specifických problémů:

- Především bychom si měli uvědomit, že experimenty prováděné ve fyzikálním praktiku by neměly být pouhou replikou standardního vědeckého měření, ale jakýmsi „modelem“. Ten by měl být postaven tak, aby si student nejen rozšířil znalosti z dané problematiky, ale také musel absolvovat celou cestu od přípravy, spočívající v teoretickém zvládnutí procvičované problematiky, přes vlastní měření, zpracování a vyhodnocení naměřených experimentálních dat, až k diskusi o získaných výsledcích s vyslovením patřičných závěrů, které student prezentuje písemně ve formě protokolu [3].
- Fyzikální experimentální aparatury sloužící vědeckému výzkumu se neustále zdokonalují a hlavním požadavkem na takovou aparaturu není snaha o názornost, ale hlavním kritériem je dosažení co nejvyšší přesnosti měření. Analogové měřicí přístroje jsou nahrazovány přístroji digitálními, které danou veličinu měří s větší přesností nebo v časech, které by analogovým zařízením nebyly dostupné. Dá se říci, že doby, kdy bylo možné přesvědčit se na vlastní oči o fyzikálním jevu probíhajícím v takto koncipované experimentální aparatuře, jsou pryč. Použití takových aparatur ve fyzikálním praktiku by bylo jak finančně náročné, tak hlavně didakticky nevhodné, a proto musíme hledat kompromisní řešení, kdy si experiment fyzikálního praktika na jedné straně zachová jistou transparentnost, avšak na straně druhé již v něm bude naznačen trend moderní laboratoře.
- Ve fyzikálním praktiku by se měl student seznámit především s experimenty, které demonstrují metody měření fyzikálních veličin či fyzikálních konstant, např. měření rychlosti zvuku, indexu lomu apod., dále s experimenty seznamujícími studenta s fyzikálními jevy a jejich zákonitostmi prakticky, např. ohyb vlnění, setrvačnost, hystereze, a v neposlední řadě i s experimenty demonstrujícími využití fyzikálních zákonitostí v praxi, např. měření poloměrů čoček využitím interference, měření rychlosti pohybu částic využitím Dopplerova jevu apod. Zvláštní skupinou experimentů, které by neměly být opomenuty, jsou historické experimenty, které vedly k převratným teoriím a závěrům, např. fotoefekt (podpora kvantové hypotézy záření), Franckův-Hertzův pokus (experimentální potvrzení Bohrovy teorie stavby atomů), Sternův-Gerlachův pokus (formulace hypotézy elektronového spinu).
- Aktivní osvojování učiva — Za aktivní a uvědomělé osvojování učiva považujeme nejen vlastní práci studenta, kterou koná např. v průběhu fyzikálního praktika, ale

i poznávání hlubších souvislostí s jinými oblastmi fyziky. Je sice důležité, aby si studenti osvojili řadu praktických dovedností a návyků, které používají při samostatném měření, ale rozhodující význam pro uvědomělé osvojení učiva má aktivita činnosti myšlenkové, k níž patří např. řešení úloh, které vyžadují pracovat s grafy, tabulkami, schémata apod.

- Zpracování a vyhodnocení experimentálních dat se v poslední době stále více přesouvá z klasického přístupu ke zpracování s využitím počítače. To potvrzují i výsledky studentské ankety zaměřené na výuku ve fyzikálním praktiku, prováděné v minulých letech na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy, které ukazují neustále vzrůstající počet studentů zpracovávajících výsledky pomocí počítače, a to zejména pomocí některého z tabulkových procesorů (v minulém semestru 98 %).

Abychom při zařazení počítače do fyzikálního praktika co nejlépe splnili předcházející požadavky, zaměříme se na dva hlavní body použití moderní výpočetní techniky ve fyzikálním praktiku, a to: a) na hardwarové využití počítačů při samotném měření a b) na využití počítačů s příslušným software při zpracování výsledků měření.

#### a) Proces měření

Dnes, kdy většina počítačů je vzájemně kompatibilní, počítače jsou navzájem propojeny do sítí, a i softwarové prostředky pro další zpracování jsou běžně dostupné, již odpadá problém s nedostatečným počtem počítačů v laboratořích, problémy při přenosu dat z jednoho počítače na druhý, vzájemná nekompatibilita různých typů počítačů apod. V dnešní době se při spojení reálného experimentu a počítače ve většině případů setkáváme s využitím tzv. integrovaných experimentálních prostředí. Jde o univerzální sady s řadou různých čidel pro měření mnoha fyzikálních veličin. Univerzálnost těchto sad se projevuje i v koncepci ovládacího programu, který umožňuje načítat a zpracovávat experimentální data nejrůznějšími způsoby. Popisy použití těchto sad ve výuce se již zabývalo mnoho příspěvků, např. [4], [8], [11]. Jak již bylo zmíněno v úvodu, tyto systémy jsou nenahraditelnými pomocníky při frontálním demonstračním pokusu či při laboratorním cvičení, kde je tento systém využíván pro několik různých úloh. Jejich použití ve fyzikálním praktiku, kde jsou aparatury sestavené jen pro jeden typ měření, by však v našem případě vedlo k příliš jednostrannému využívání. Druhým problémem je i to, že pro připojení těchto prostředí k našim experimentům by bylo potřeba konstruovat svá vlastní čidla nebo alespoň různé předzesilovače a mezistupně. Z tohoto důvodu jsme se rozhodli připojení počítače k experimentu vyřešit rovnou bez těchto prostředí. Navíc způsob, kdy se student spíše učí modifikovat a ovládat stále jedno dané prostředí proto, aby naměřil požadovaná data, a kdy celé toto prostředí působí dojem „magické skříňky“, nepovažujeme za příliš vhodný, neboť při jeho použití může dojít k didakticky nejhoršímu případu, kdy student získá hotové a zpracované výsledky měření, a to pro něj zcela neprůhledným způsobem.

Z uvedených důvodů jsme zvolili jiné systémové řešení, ve kterém jsme se rozhodli pro dva základní kroky:

1. Počítač je do výuky ve fyzikálním praktiku zařazen jen v „nezbytně nutných“ situacích. Co tímto pojmem rozumíme? Využit počítač skutečně jen v případech, kdy pozorovaný efekt nelze naměřit ručním způsobem nebo když student zná techniku měření, několikrát ji i použil, a nyní jen potřebuje naměřit velké množství hodnot, např. proměřit určitou závislost. Výsledkem tohoto měření však nesmí být hotový graf, zpracovaná tabulka a podobně, ale pokud možno pouze experimentální data vhodná pro další zpracování. K tomuto kroku jsme se rozhodli poté, co se ukázalo, že přílišná autonomie aparatury staví studenta do role pasivního diváka, což odporovalo naší snaze o docílení aktivního osvojování vědomostí.
2. Počítač je k úloze připojen přes jednoduchý interface obsluhovaný jednoúčelovým programem, s jehož pomocí jsou experimentální data naměřena a případně zobrazena na monitoru, ale většinou nejsou dále vyhodnocována. Ve své koncepci jde o standardní řešení problému připojení počítače k experimentu, kdy pomocí čidla či dostatečně rychlého A/D převodníku (blíže např. v [6] a [9]) počítač načítá a zobrazuje měřenou fyzikální veličinu. Pro připojení PC k experimentu využíváme standardních rozhraní, lze tedy k aparatuře připojit kterýkoliv počítač PC bez jakéhokoliv hardwarového zásahu. Načtená a nezpracovaná experimentální data jsou předána studentovi v podobě ASCII souboru, který se zatím jeví jako nejuniverzálnější formát pro různé typy dalšího zpracování. Jestliže student dostane jako výsledek experimentu soubor naměřených dat, se kterým musí dále aktivně pracovat, musí prokázat znalost dané problematiky a upevňuje tím své schopnosti a dovednosti při zpracování experimentálních výsledků.

Tato koncepce nejen umožňuje, ale přímo nutí posluchače samostatně zpracovat naměřená data, a tím se odlišuje od koncepcí, které můžeme vysledovat v již citovaných článcích [4], [5] a [12], kdy je jedno univerzální prostředí používáno jak pro načítání dat různých experimentů, tak i k jejich následnému zpracování.

## **b) Zpracování experimentálních dat**

Výstup výsledků experimentů byl zvolen ve formě tabulky ASCII znaků. To umožňuje data vytisknout v čitelné podobě a zpracovat je klasickým způsobem. Především však pro celkové zpracování experimentálních dat do formy tabulek a grafů lze využít počítačového softwaru, který je obecně označován jako tzv. tabulkové procesory. Většina tabulkových procesorů umožňuje načtení experimentálních hodnot v podobě ASCII souborů, které získáme z měření. Velkou předností tabulkových procesorů je možnost grafického zobrazení experimentálních, resp. upravených dat, kdy graf vznikne jako zobrazení určité tabulky, se kterou je odkazově propojen, což znamená, že jakákoliv změna hodnot v tabulce se okamžitě projeví i na změnách v grafickém zobrazení. Neocenitelná je i možnost fitování experimentálních dat teoretickou křivkou [2]. Toho lze např. využít při hledání šířky difrakční štěrbin. Máme-li naměřeny tvary difrakčního obrazce, zadáme do tabulkového procesoru výraz pro Fraunhoferovu difrakci na štěrbině, kde parametrem fitu bude šířka štěrbin a tabulkový procesor se zadanou přesností určí hledaný parametr.

## Příklady použití počítačů ve fyzikálním praktiku v průběhu měření

V následujícím odstavci si ukažme některé konkrétní příklady začlenění počítače do fyzikálního praktika, které byly realizovány na MFF UK.

1. V laboratoři fyzikálních praktik z optiky je zařazena úloha zabývající se studiem difrakce laserového svazku na různých optických elementech — štěrbíně, dvojštěrbíně, mřížce. Pracovní úkol této úlohy je zaměřen na to, aby se posluchači na praktických příkladech seznámili se zákonitostmi Fraunhoferových difrakčních jevů. Studenti by se měli nejen seznámit s různými tvary difrakčních obrazců, ale zejména získat údaje o polohách extrémů, ze kterých je pak možno určit parametry difrakčních elementů. Získané výsledky studenti porovnají s výsledky, které získají z přímého měření pomocí mikroskopu s kalibrovaným okulárem. Difrakční obrazec vzniklý na mřížce má, při dané konfiguraci aparatury, vzdálenost extrémů na stínítku řádově centimetry, takže lze difrakční obrazec promítnout a překreslit na milimetrový papír s dostačující přesností. Při rozšíření pracovního úkolu na studium ohybových jevů na štěrbíně a dvojštěrbíně se vzdálenost extrémů při stejné geometrii sníží až na milimetry a je zřejmé, že záznam extrémů ohybových jevů na milimetrový papír je již nevyhovující, neboť polohu extrémů určíme s malou přesností. Proto byl zprvu pro záznam tvaru difrakčních obrazců využit upravený liniový zapisovač. Úprava spočívala v tom, že posun papíru ve směru osy  $x$  byl spojen s posuvem detektoru po difrakčním obrazci. Zároveň byl na osu  $y$  spojitě zakreslován průběh světelné intenzity. Posuv detektoru a přesnost záznamu jeho polohy byly nastaveny takovým způsobem, aby difrakční obrazec byl sejmut v desetinásobném zvětšení. Studenti tedy opět pomocí posuvného měřítka mohli ze vzniklého záznamu odečítat polohy extrémů s přesností srovnatelnou s přesností záznamu ohybových jevů na mřížce. Nevýhodou této analogové formy záznamu bylo to, že studenti dostali jako výsledek měření tvar difrakčního obrazce zaznamenaný na papíře, což neumožňovalo příliš mnoho možností dalšího zpracování výsledků, jako je např. proložení experimentálních dat teoretickou křivkou či nalezení parametrů ohybových elementů několika různými metodami. Tyto nedostatky analogového záznamu tvaru difrakčního obrazce odstraňuje modifikace úlohy s využitím osobního počítače. Přitom jsme požadovali, abychom s přesností srovnatelnou s předešlým řešením záznamu difrakčního obrazce a s dostatečným rozlišením načítali do paměti počítače údaje o poloze detektoru v rovině pozorování kolmé k optické ose a údaje o intenzitě světla v tomto místě. Řízení aparatury a načítání hodnot světelné intenzity do paměti počítače má v tomto případě i tu výhodu, že hodnota světelné intenzity v určitém místě může být načtena několikrát a spočítáním aritmetického průměru (resp. mediánu apod.) tak lze významně snížit vliv šumu, což při záznamu pomocí liniového zapisovače nebylo možné. Pro záznam průběhu intenzity v difrakčním obrazci byla proto navržena následující aparatura: Detektor světelné intenzity se pomocí krokového motoru posouvá po difrakčním obrazci se známým pevným krokem. Tím získáme diskrétní hodnoty průběhu intenzity v závislosti na poloze detektoru, které se ukládají do paměti počítače. Zároveň jsou tato data zobrazována

na monitoru, kde je vidět průběh světelné intenzity se změnou polohy detektoru v difrakčním obrazci ve vhodném měřítku. To zcela koresponduje s původním řešením této úlohy, kdy byl místo počítače použit analogový zapisovač. Načtení dat do počítače ve formě ASCII souboru však otevírá kvalitativně lepší možnosti zpracování těchto hodnot, směřující ke stanovení parametrů difrakčního elementu metodou postupných iterací či proložením teoretické závislosti experimentálními hodnotami.

2. Druhým příkladem z téhož fyzikálního praktika je úloha zabývající se studiem GaAs/GaAlAs laseru. V této úloze je měřena voltampérová charakteristika laserové diody, její světelná charakteristika, emisní spektra a modová struktura emisních spekter. Voltampérovou a světelnou charakteristiku použité laserové diody je možné měřit klasickým způsobem, a proto ji studenti měří bod po bodu. Emisní spektra a jejich modová struktura byly nejdříve měřeny pomocí liniového zapisovače podobným způsobem jako u předešlé úlohy, ze stejných důvodů byla tato úloha modifikována pomocí počítače. Počítač je u této úlohy využit jen při načítání jednotlivých emisních spekter. Krokový motor otáčí disperzním elementem monochromátoru s krokem, jehož velikost musí studenti nejdříve zjistit při kalibraci pomocí známého světelného zdroje — Hg výbojky. Způsobem obdobným jako v předchozí úloze jsou do počítače zaznamenána jednotlivá spektra polovodičového laseru. Student opět musí nejdříve zpracovat získané soubory experimentálních dat a teprve potom formulovat patřičné závěry.
3. Dalším příkladem použití počítače ve fyzikálním praktiku může být sledování efektů velice rychlých pro přímé pozorování, kdy je počítač využit jako jednoduchý paměťový osciloskop, který získáme připojením modulu rychlého A/D převodníku k počítači. S tímto řešením se v praktiku z optiky setkáváme u úlohy nazvané: Studium laserové dopplerovské anemometrie. I u této úlohy nejdříve studenti provádějí kalibraci aparatury, ve které není použito počítače. Po kalibraci anemometru student dále postupuje měřením dopplerovských signálů. Do míst optické sondy vloží květu se zkoumanou kapalinou. Regulovaným zdrojem nastaví otáčky motoru, který míchá kapalinu v květi. Student pozoruje závislost frekvence dopplerovského signálu na rychlosti proudění kapaliny. Po ustavení a seřízení celé aparatury může začít měřit statistiku rychlostí při dané rychlosti míchání. Rozdělení rychlostí by mělo mít přibližně tvar normálního rozdělení. Frekvence vyhodnocovaných dopplerovských signálů je řádově 1 až 2 kHz, což je frekvence příliš vysoká pro jakýkoliv ruční způsob záznamu. Z tohoto důvodu byl v úloze pro záznam použit počítač, který s připojeným modulem rychlého A/D převodníku slouží jako jednoduchý paměťový osciloskop. Elektrický signál z fotonásobiče je vzorkován, převeden do binární podoby a uložen do paměti počítače. S ohledem na frekvenci dopplerovského signálu je signál vzorkován s periodou  $30\ \mu\text{s}$ , aby načtené signály byly dostatečně prokresleny. Počítač signály načte a zobrazí na monitoru. Po načtení jedné série hodnot student prohlédne celý tento časový záznam (asi 1 s) a u vhodných dopplerovských signálů odečte potřebné parametry. Postupným zpracováním načtených signálů student získává sérii dat, ze kterých lze dostat statistické rozdělení rychlostí

jednotlivých částic. Nalezení parametrů tohoto statistického rozdělení umožňuje určit např. průměrnou rychlost proudění kapaliny. Podobně jako u předešlých příkladů použitý ovládací program získaná data nikterak nezpracovává, ale jen je načte a zobrazí, popřípadě obsahuje jednoduchý nástroj pro odečtení potřebných parametrů. Program především umožňuje uložit tvary vybraných dopplerovských signálů ve formě ASCII souborů, což umožňuje jejich načtení do různých programů, kde je lze dále zpracovávat a tisknout. To většina klasických paměťových osciloskopů takto lehce neumožňuje. Uložení průběhu dopplerovského signálu ve formě dat (nikoliv jen jako obrázek) umožňuje studentům připojit k závěrečnému protokolu měření vzorové zpracování jednoho vybraného signálu, čímž prokáží, zda dopplerovské signály zpracovávali správně, zda rozumějí metodě měření a zda tedy jsou jejich naměřená data relevantní. Nemalou výhodou tohoto řešení je i nízká pořizovací cena v porovnání s nákupem profesionálního paměťového osciloskopu, který by pak u úlohy nebyl využit v plné šíři svého možného uplatnění.

4. Čtvrtým příkladem využití počítače ve fyzikálním praktiku je využití počítače jako jednoduchého čítače impulsů, jejichž četnost je příliš velká pro ruční měření. Toto řešení se například využívá ve fyzikálním praktiku z atomové fyziky v úloze nazvané: Studium Geigerova-Müllerova počítáče [7]. V první části pracovního úkolu student měří bez pomoci počítače napěťovou charakteristiku čítače a určuje jeho tzv. mrtvou dobu. Počítač je užit až v další fázi, kdy je zaznamenáváno rozdělení počtů částic dopadajících na detektor ve zvoleném časovém intervalu. K získání relevantních výsledků, nutných pro nalezení příslušného statistického rozdělení, je zapotřebí provést velké množství měření četností za relativně krátké časové intervaly (řádově milisekundy). Zcela obdobně předešlým případům i u této úlohy jsou experimentální data postupně zobrazována v grafické podobě na obrazovce počítače, kde je možno pozorovat postupný přechod od rozdělení Poissonova ke Gaussovu. Konečný výsledek měření však obsahuje pouze soubor naměřených četností a následné nalezení statistického rozdělení a jeho parametrů musí student provést sám ve zpracování úkolu.

Přesné zadání a bližší popis zde uváděných úloh lze nalézt na internetových stránkách základních fyzikálních praktik: <http://www.mff.cuni.cz/zfp/>, nebo ve skriptu PELANT, I. a kol.: *Fyzikální praktikum III — Optika*, MATFYZPRESS, Praha 2001.

## Závěr

Paralelně s prezentovanými úpravami úloh základního fyzikálního praktika byli studenti měřící tyto úlohy dotazováni formou dotazníků na klíčové momenty měření, celkový dojem z úlohy, problémy při zpracování apod. Všichni studenti hodnotili úlohy jako dobře časově navržené, zejména vyzdvihovali fakt, že počítač urychluje jinak zdlouhavé měření nebo dovoluje měřit efekty standardním způsobem neměřitelné. Celkově studenti považují použití počítače u zmiňovaných úloh za užitečné s tím, že si uvědomují, že by bylo možné některé úlohy měřit i ručně. Fyzikální princip



měření úlohy byl jasný všem dotazovaným studentům, problematikou připojení PC k experimentu se příliš nezabývali. Moduly styku PC – aparatura spíše brali jako „černé skříňky“, kterých je potřeba pro řízení experimentu. I přes tento fakt však věděli, jakou veličinu tyto moduly měří nebo jakým způsobem do experimentu zasahují. Tento výsledek zcela splňuje naši snahu, kdy jsme požadovali, aby prvotní pro úlohu byl prováděný experiment a počítač zde vystupoval jen jako podpůrný prostředek na úrovni měřicího přístroje či záznamového zařízení. Kladně dále studenti ohodnotili řešení ovládacího programu, který je vždy plně přizpůsoben jen pro jednu úlohu, zejména pak formu prezentace naměřených dat a formát jejich ukládání. Při celkovém zpracování většina studentů využívala tabulkových procesorů, někteří jednotlivci programu Maple a Famulus. Zpracování naměřených dat kalkulačkou u těchto úloh neprováděl nikdo. Zpočátku se objevoval negativní ohlas pedagogů praktika, že při počítačovém sběru dat byl student pasivní a neměl co dělat. Z tohoto důvodu byla fáze měření počítačem omezena „jen na ty nejnnutnější“ případy, většina činnosti měření je tedy ponechána na studentech, tak jak bylo dříve prezentováno v tomto článku.

Přestože většina modifikovaných úloh v našem fyzikálním praktiku zatím běží 1 až 2 roky, což pro formulaci obecných závěrů nepovažujeme za dobu dostatečně dlouhou, myslíme si, na základě kladných ohlasů studentů i pedagogů kurzu základního fyzikálního praktika, že jde o jednu z úspěšných možností začlenění PC do fyzikálního vzdělávání.

#### L i t e r a t u r a

- [1] CIESLA, E.: *Pädagogische Vorlauftforschung zum Einsatz der Computer als Unterrichtsmittel im Physikunterricht*. Physik in der Schule 1989, str. 54.
- [2] COOKE, B. A.: *Some ideas for using spreadsheets in physics*. Physics Education 2/1997, str. 80.
- [3] GLEICH, P.: *Das Praktikum — Höhepunkt der experimentellen Arbeit unserer Schüler*. Physik in der Schule (1989), str. 306.
- [4] KOLÍN, J.: *Využití systému IP COACH ve výuce fyziky*. MFI 1995, str. 201.
- [5] LUSTIG, F., LUSTIGOVÁ, Z., VLÁŠEK, P.: *ISES — Intelligent School Experimental System*. MFI 1991, str. 130.
- [6] PANOŠ, M.: *Paměťový osciloskop z PC nejen pro fyzikální praktikum*. Praktická elektronika 6/2001, A Radio, str. 30.
- [7] PANOŠ, M.: „Study of Geiger-Müller counter“. The use of PC in performing and analysing the experiment. WDS 00 Part IV, MFF UK Praha 2000, str. 602.
- [8] PEŠAT, P.: *Počítačem podporovaná výuka fyziky — kudy a kam?* Časové úvahy, TUL, Liberec 2001.
- [9] PETŘÍK, J.: *Měření elektrických veličin počítači PC XT/AT/386/486 a zobrazení jejich časových závislostí*. MFI 1992, str. 148.
- [10] RICHTER, V.: *Der Computer als universelles Meß- und Experimentiergerät*. Physik in der Schule 1990, str. 395.
- [11] STRÍBRNÝ, P.: *Počítačově podporovaná laboratoř fyziky*. MFI 1999, str. 495.
- [12] ŠTASTNÝ, F.: *Využití Control Panelu při výuce přírodovědných předmětů*. MFI 1997, str. 41.