

MĚŘENÍ PŘENOSOVÉ RYCHLOSTI PAMĚTÍ FLASH

Lukáš Pelant

ČVUT FEL v Praze, katedra radioelektroniky

Abstrakt

Paměti Flash jsou poměrně novým záznamovým zařízením. V příspěvku je uvedena problematika pamětí Flash a nastíněny jejich rozdíly oproti klasickým záznamovým médiím a dále je pak rozebrána implementace programu pro měření jejich přenosové rychlosti, a to především pro měření z pohledu uživatele, tedy nejsou oddělovány vlastnosti paměti jako takové a souborového systému, ale měří se paměť jako celek. Nakonec je předvedeno a porovnáno několik změřených paměťových karet a integrovaných pamětí v zařízeních.

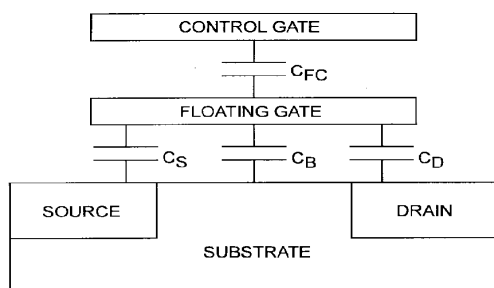
1 Paměti Flash

Paměti Flash jsou poměrně novým záznamovým zařízením, které se však stále častěji používá především v oblastech záznamu multimédií, například v přehrávačích MP3 nebo ve fotoaparátech. Jejich kapacita dosahuje již 4 GB (paměti CompactFlash). Proto začíná být čím dál tím důležitější přenosová rychlost těchto pamětí, a to nejen z funkčních důvodů, když je nutné rychle zaznamenat velké objemy dat (fotoaparáty, digitální kamery), ale i při přenosu dat mezi přenosným zařízením a počítačem.

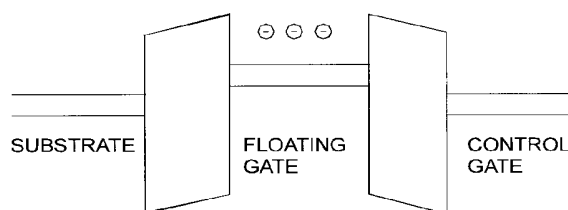
Paměti Flash patří spolu s pamětmi ROM, EPROM a EEPROM mezi stálé paměti CMOS, tedy takové, které zachovávají informaci i po odpojení proudu. Paměti EPROM je možné elektricky naprogramovat, ale ke smazání je třeba užít UV záření. Paměti EEPROM je možné vymazat elektricky (celé najednou) a programovat po jednotlivých bytech, mají však větší rozměry a jsou tudíž dražší. Paměti Flash je možné mazat po blocích. Pro mazání je nutné větší napětí, což brzdilo nástup těchto pamětí. Tento problém je již vyřešen a paměti Flash nyní získaly vůdčí postavení na trhu.

Buňka Flash je tranzistor s prahovým napětím, které se může změnit z velkého na malé a naopak v závislosti na stavu paměťové buňky (obsahuje-li hodnotu 1 nebo 0). Zápisu jednoho stavu se říká programování, zápisu druhého mazání. U některých druhů buněk je jako naprogramovaný definován stav s vyšším napětím, u jiných je tomu naopak.

Paměti Flash vychází z použití tzv. plovoucího hradla (floating gate, FG). Základní princip zařízení s FG vyplývá z obrázků 1 a 2. Na obrázku je schématický řez tranzistorem. Horní hradlo je kontrolním hradlem, pod ním, z obou stran izolované dielektrikem, je FG. FG má funkci potenciálové studny, viz obr. 2. Pokud je do ní umístěn náboj, bez aplikace externí síly nemůže zmizet. Kapacity na obrázku jsou kapacitami mezi jednotlivými částmi tranzistoru.



Obrázek 1: Schématický řez buňkou Flash



Obrázek 2: Pásový diagram tranzistoru Flash

Problém přechodu izolační vrstvou do a z FG má dvě běžně používaná řešení. Při *injekci horkých elektronů* (hot-electron injection, HEI) "zahřívá" podélné elektrické pole (mezi sourcem a drainem) elektrony a příčné elektrické pole (mezi kanálem a kontrolním hradlem) je injektuje skrz oxid do FG. Zpravidla se používá pro programování.

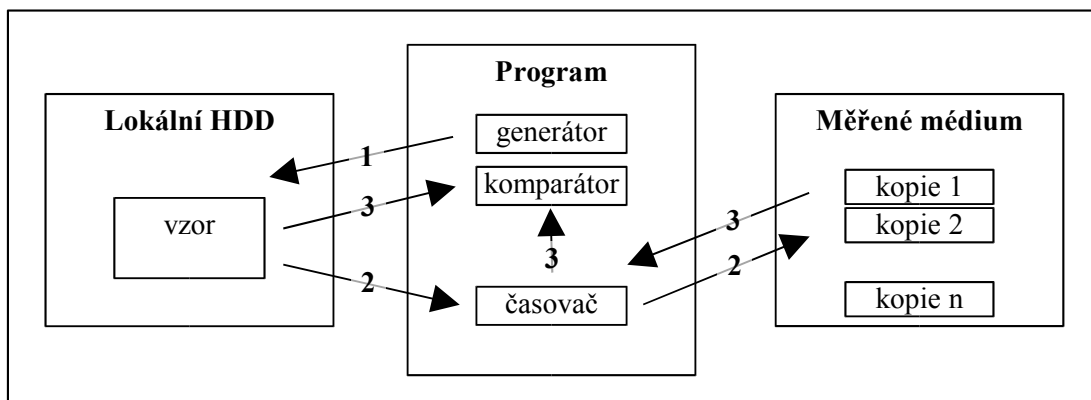
Mechanismus *Fowler-Nordheimova (FN) tunelování* nastává při existenci velkého elektrického pole ve slabé vrstvě oxidu. Za těchto podmínek je pásový diagram v oblasti oxidu velmi strmý a tudíž je vysoká pravděpodobnost, že elektrony protunelují potenciálovou bariéru. Často se používá pro mazání.

2 Implementace programu

Díky stále většímu zájmu o paměti Flash vyvstává potřeba pro nástroj na analýzu záznamu a reprodukce signálu při použití těchto pamětí, pomocí kterého by bylo možné mimo jiné změřit přenosovou rychlost pamětí. Od takového nástroje očekáváme, že bude dostatečně univerzální, půjde použít pod všemi námi používanými operačními systémy, tedy ve Windows i v Linuxu, půjde jednoduše upravovat, naskytne-li se nový požadavek, a bude moci též sloužit jako výukový a demonstrační program v rámci výuky.

Problém při měření rychlosti přenosu na zařízení připojené k PC jako disk je vyrovnávací paměť. Část paměti se zpravidla využívá jako buffer, ve kterém zůstávají data posílaná na toto zařízení a ke skutečnému zápisu nedojde hned při uživatelské příkaz, ale až někdy později. Tento koncept je výhodný pro většinu druhů práce s disky, ale ne pro měření přenosové rychlosti. Jedním řešením je zařízení ihned po provedení zápisu ze systému "odpojit" a systém tak donutit k okamžitému provedení zápisu. To je však programově těžko implementovatelné. Proto jsem zvolil jiný způsob, a totiž zápis velkého množství dat a průběžného měření rychlosti. Dojde-li k zaplnění bufferu, před každým dalším zápisem je nutné nejdříve počkat na skutečné zaznamenání předchozích dat. Při pohledu na naměřené hodnoty tak jednoduše poznáme, kde došlo k výraznému zpomalení a odkud tedy již můžeme považovat hodnoty za reprezentativní pro měřené médium. Při čtení tento problém nastává také, poslední data stále ještě zůstávají v bufferu, ostatní se však již musí číst přímo z média. Pro vyloučení vlivu rychlosti počítače se nejdříve vygenerují data, uloží se na lokální disk a následně se z něj kopírují na měřené médium a zpět. Pro tento postup je nutná podmínka vyšší rychlosti lokálního disku než měřeného média, což však vzhledem k plánovanému použití není problém.

Funkce programu vyplývá z blokového schématu na obrázku 3. Po zadání vstupních parametrů, kterými je velikost souboru, počet kopírovaných souborů a cesta k cílovému médiu (kvůli použitelnosti v Linuxu se jedná o obecnou cestu, nikoli pouze písmeno disku) (viz obr. 4), dojde k vygenerování vzorového souboru, který je uložen do pracovního adresáře na lokálním disku. Následně je soubor opakovaně kopírován na měřené médium. Přitom je měřen čas potřebný k uskutečnění každého dílčího zápisu. Poté je soubor kopírován zpět a v případě zaškrtnutí políčka pro kontrolu chyb porovnáván s referenčním, tedy s tím, který sloužil při kopírování jako vzor, přičemž se opět měří čas a případně i počet chyb. Nakonec jsou časy přepočítány na přenosovou rychlost v MB/s a vykresleny grafy. Pro snazší porovnání je implementována historie, tedy je možné porovnat několik po sobě následujících měření, která se mohou lišit všemi použitými parametry – může se tedy jednat o různé paměti i o tutéž paměť, ale různé velikosti kopírovaného souboru či počet kopií. Historie je uložena v souboru, je tedy dostupná i po ukončení a opětném spuštění programu, vymazat ji je možné z programu nebo smazáním souboru, kde je uložena. Je možné přepínat mezi zobrazením přenosové rychlosti při zápisu a při čtení. Pro náročnější srovnání je přidána funkce exportu, která uloží naměřená data, a to včetně aktuální historie, do textového souboru a vykreslí grafy vhodné pro tisk.



Obrázek 3: Blokové schéma práce programu

Měřit je možné jakékoliv médium připojitelné k počítači jako disk. Například všechny zařízení typu Mass Storage Device, tedy USB Flash disky, většinu digitálních fotoaparátů a MP3 přehrávačů. Technicky je také možné měřit i jiná záznamová média, například HDD, diskety nebo ve speciálních případech i CD-ROM, a získat tak zajímavé srovnání s paměťmi Flash, které je často nahrazují, ale pro tyto média není program určen a výsledky nemusí být vždy spolehlivé.

3 Výsledky

Pro měření přenosové rychlosti při zápisu byl použit počítač s procesorem Pentium 450 MHz, operační paměť 186 MB a rozhraním USB1, a dále počítač s procesorem Athlon 2500, operační paměť 768 MB a rozhraním USB 2.

Jak je patrné z obrázku 5, čím větší soubor se použije, tím spolehlivější výsledky se při měření rychlosti zápisu získají. U USB 1 jsou pro 5 MB soubor výsledky použitelné od 9. souboru, tedy po zápisu 40 MB, jsou však značně nevyrovnané. Při použití souboru o délce 10 MB dostáváme rozumné výsledky již od 7. souboru, tedy po zápisu 60 MB dat, jsou přitom o poznání vyrovnanější, došlo ke zprůměrování časů, čímž částečně odstraňujeme efekt bufferu. Při použití USB 2 na výkonnějším systému není možné použít měření se souborem o velikosti 5 MB, u souboru o velikosti 10 MB můžeme použít 8. a vyšší dílčí měření. Za povšimnutí stojí, že při zápisu 12 takto velkých souborů se zaplní 128 MB paměť (proto jsem kvůli porovnání nepoužíval větší počty u žádné paměti), a tudíž je na spolehlivé spočítání průměrné přenosové rychlosti stále příliš málo dat. Vedlejším produktem měření je zjištění velikosti používaného bufferu.

Na obrázcích 6 a 7 jsou porovnání rychlosti zápisu čtyř změřených pamětí, z toho dvě jsou paměti typu CompactFlash užívané v digitálních fotoaparátech, jedna je USB disk a jedna přehrávač MP3 s paměťmi Flash ve formě USB disku. V posledních dvou sloupcích se nachází průměrné hodnoty pro dílčí měření, u kterých můžeme předpokládat zaplnění bufferu a tedy víceméně přímý zápis na paměť a průměrné hodnoty pro všechna dílčí měření. Je vidět, že oba průměry hodnotí relativní rozdíly mezi jednotlivými paměťmi podobně, to se ostatně dalo předpokládat, zápis do bufferu je u všech měření stejně rychlý, takže způsobí pouze zmenšení rozdílů a celkový pokles rychlosti (při skončení měření je stále plný a některá data jsou nezapsána). Je vidět, že vliv bufferu je u zápisu 12 souborů o velikosti 10 MB skutečně významný.

Měření rychlosti čtení bylo problematictější než měření rychlosti zápisu. Čtení je u pamětí Flash rychlejší než zápis a z toho důvodu byly výsledky ještě více závislé na výkonu systému, na kterém bylo měření prováděno, jak je vidět z obrázků 9 a 10. Buffer se zde v některých případech projevil přesně opačně než u zápisu, první soubory byly čteny přímo z měřené paměti, zbylé, které stále ještě byly v bufferu, z něj. Při počítání průměru je tedy nutné brát v úvahu jen několik prvních dílčích měření, kromě úplně prvního, které je zkresleno zpožděním systému při prvním přístupu na paměť. Určit oblast působení bufferu je zde však velmi obtížné.

U žádné paměti se nevyskytla chyba. To bylo v souladu s očekáváním, jelikož jsou tyto paměti používány pro záznam digitální informace, obecně jakýchkoliv souborů, musí paměť spolu se souborovým systémem zaručit naprostou bezchybnost. Funkce detekce chyb by byla využita jen při měření vadných pamětí.

Výrazný vliv při měření hrál výkon systému a především použité rozhraní. Je vidět, že rychlost pamětí je výrazně vyšší než propustnost rozhraní USB 1. Nicméně i při měření na systému s tímto rozhraním se rychlost paměti projevila a výsledky rychlostí jednotlivých pamětí jsou zde v relativní míře podobné výsledkům při použití rozhraní USB 2.

4 Závěr

Jak se ukázalo, problém bufferu je zvláště u počítačů s velkou pamětí poměrně značný, buffer může být větší než médium samotné. Proto je program dobře použitelný pouze pro paměti s dostatečným objemem. I tady se však vyskytl problém, protože buffer způsobí značné výkyvy v naměřené přenosové rychlosti, a to i v oblasti, kde již byl očekáván přímý zápis. Přitom kapacita měřených pamětí je obecně příliš malá na získání dostatečného počtu dílčích výsledků pro vypočítání spolehlivého průměru.

Tato metoda měření je vhodná pro pochopení a demonstraci problematiky přenosu dat mezi počítačem a připojenými paměťmi a výsledky takto získané jsou dostatečně přesné pro porovnání

jednotlivých pamětí. Pro získání reprodukovatelných hodnot by však bylo nutné užít jiné metody nebo dosáhnout vyřazení bufferu.

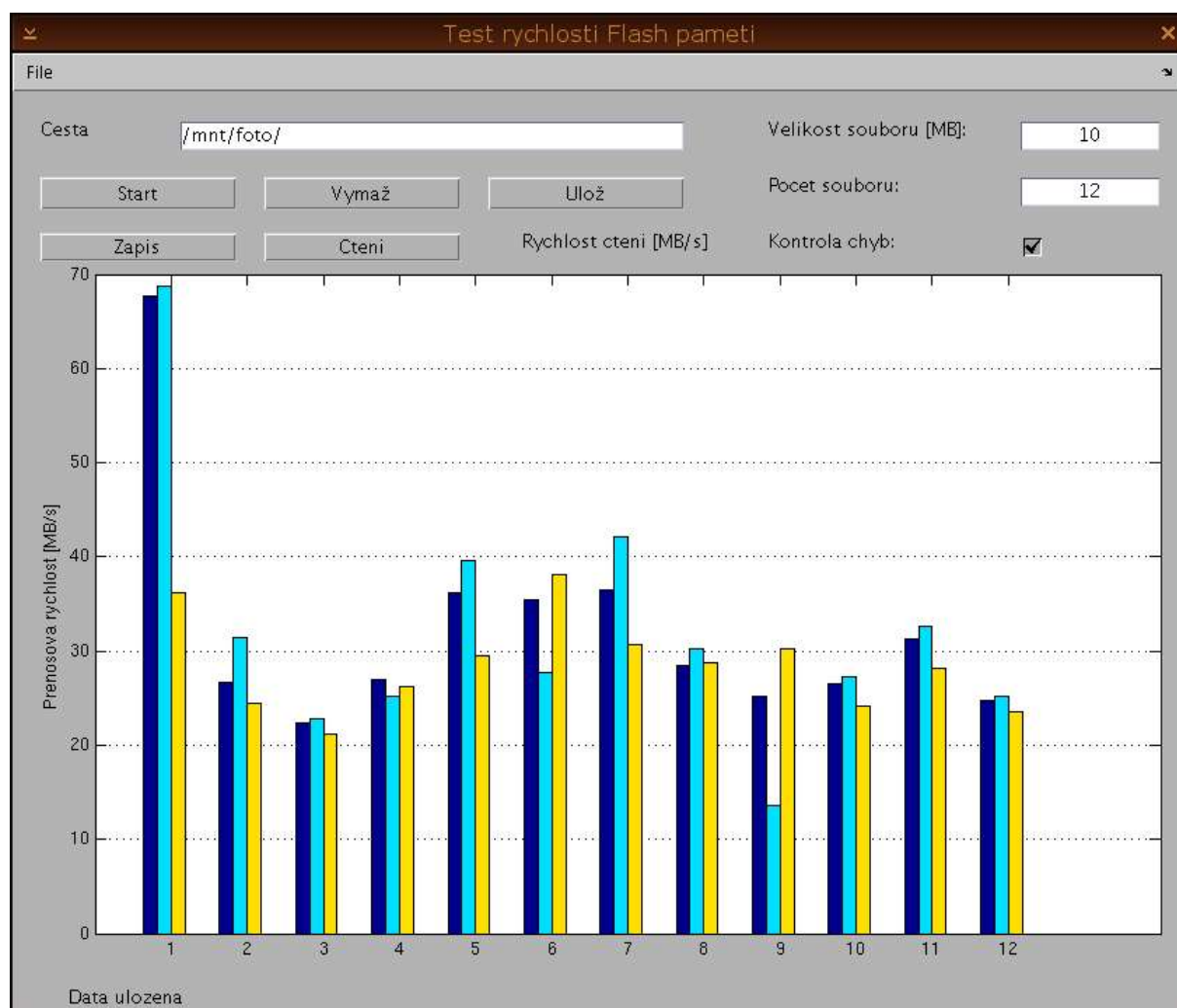
Práce byla podpořena grantem *GACR č. 102/05/2054* „Kvalitativní aspekty zpracování audiovizuální informace v multimediálních systémech“ a výzkumným záměrem *MSM č. 6840770014* „Výzkum perspektivních informačních a komunikačních technologií“

Reference

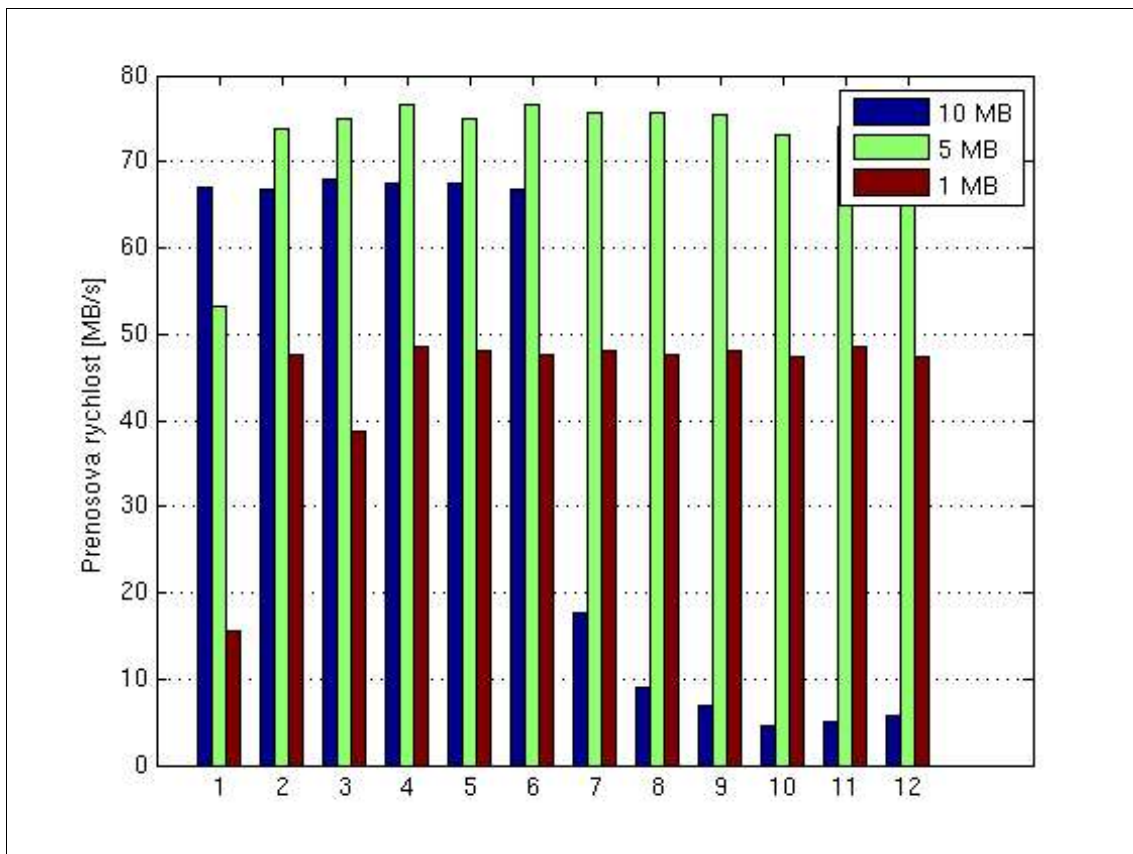
- [1] P. Pavan, R. Bez, P. Olivo. *E.Zanoni Flash Memory Cells - An Overview*. Proceedings Of The IEEE, vol. 85, no. 8, August 1997

Lukáš Pelant
pelanl1@fel.cvut.cz

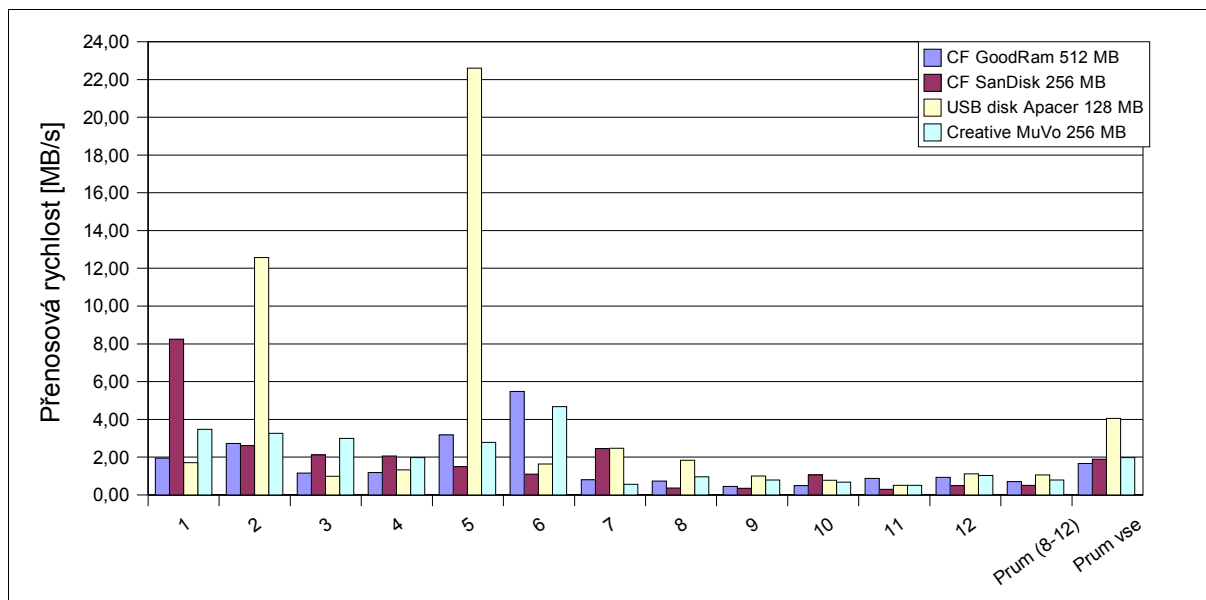
5 Příloha 1



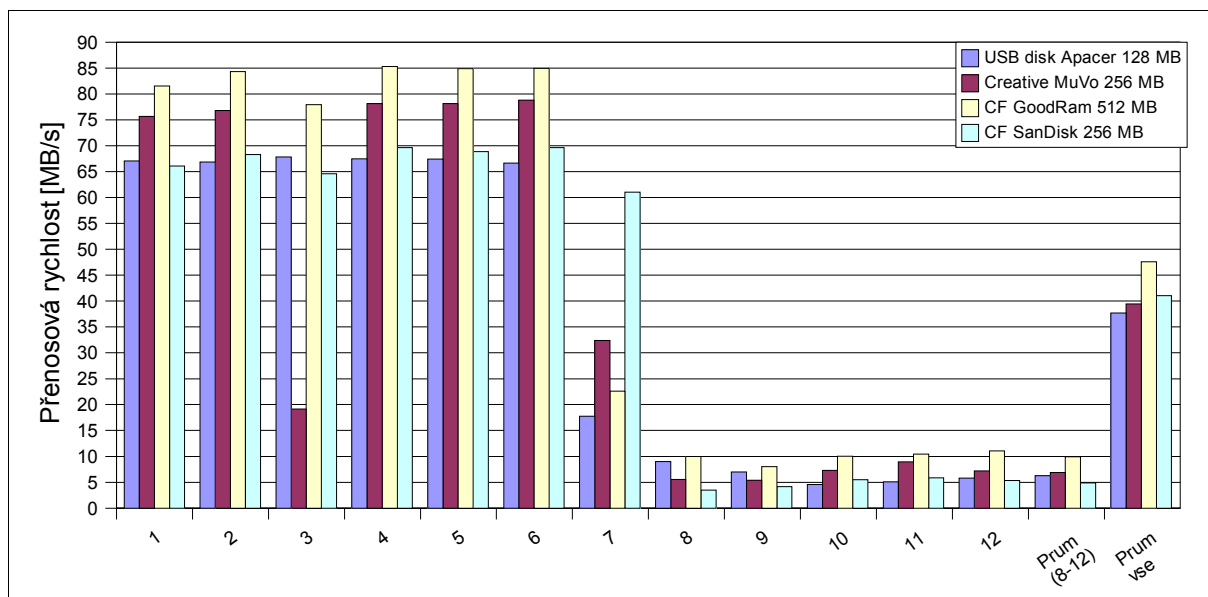
Obrázek 4: Uživatelské rozhraní programu



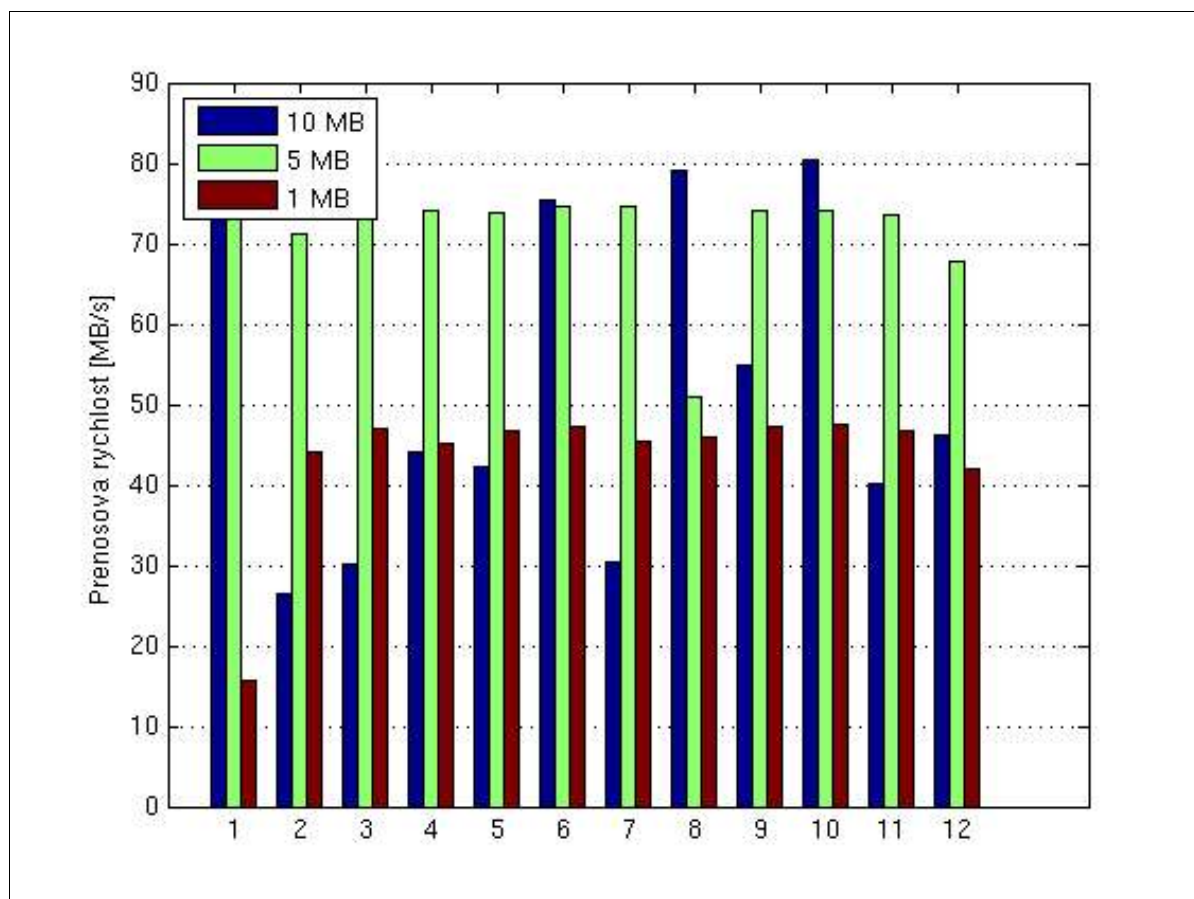
Obrázek 5: Porovnání rychlosti zápisu pro různé délky souboru u USB disku Apacer 128 MB, výstup z programu, USB-2



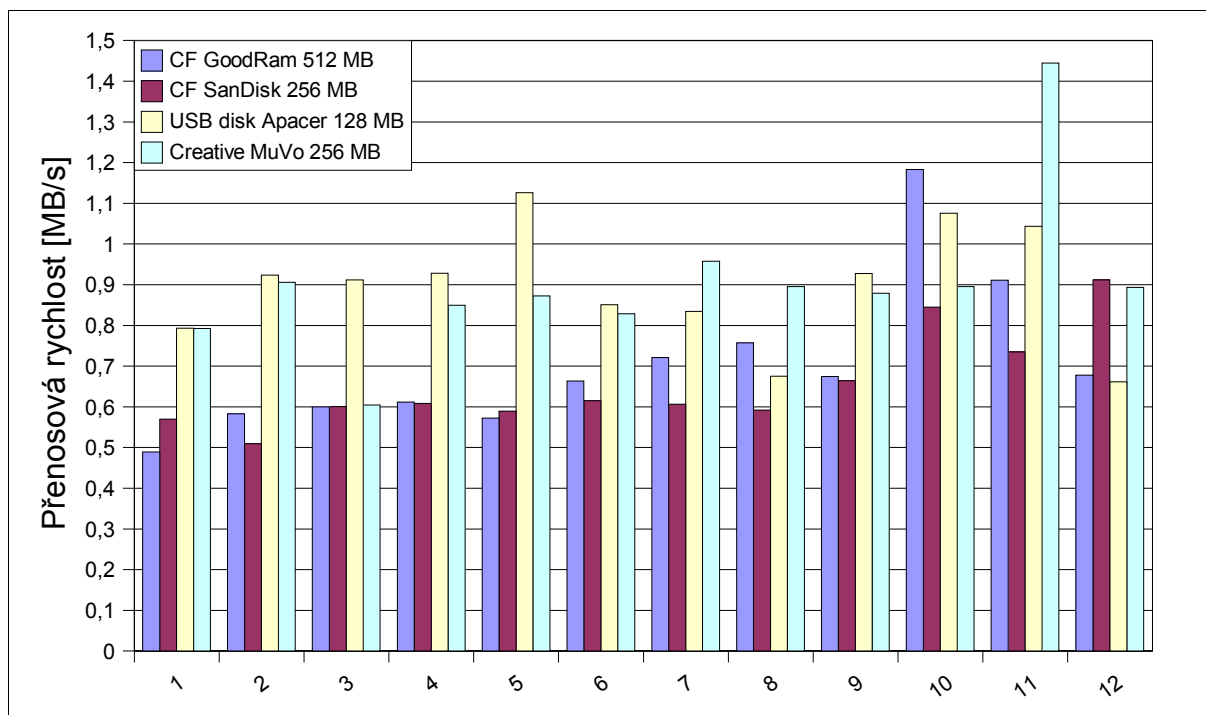
Obrázek 6: Porovnání rychlosti zápisu pro různé paměti při velikosti souboru 10 MB, USB-1



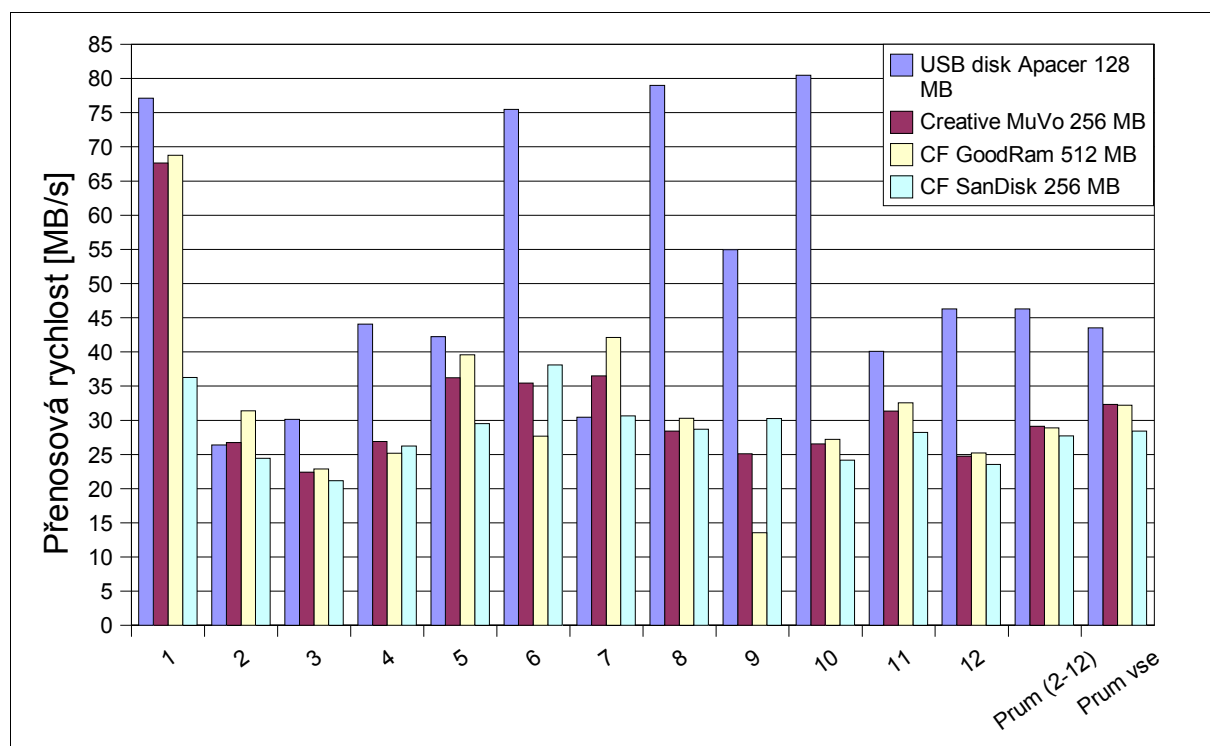
Obrázek 7: Porovnání rychlosti zápisu pro různé paměti při velikosti souboru 10 MB, USB-2



Obrázek 8: Porovnání rychlosti čtení pro různé velikosti souboru pro USB disk Apacer 128 MB, USB-2



Obrázek 9: Porovnání rychlosti čtení pro různé paměti při velikosti souboru 10 MB, USB-1



Obrázek 10: Porovnání rychlosti čtení pro různé paměti při velikosti souboru 10 MB, USB-2