

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Geneze grafických karet jako základní součásti PC

Drahošlav Stejskal

Bakalářská práce

2011

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Drahošlav STEJSKAL**
Osobní číslo: **I08166**
Studijní program: **B2646 Informační technologie**
Studijní obor: **Informační technologie**
Název tématu: **Geneze grafických karet jako základní součásti PC**
Zadávající katedra: **Katedra informačních technologií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Charakterizovat vlastnosti a parametry grafických karet během dosavadního vývoje PC pro různé sběrnice.
2. Charakterizovat funkční požadavky na grafické karty kladené různými typy aplikací.
3. Porovnat vlastnosti integrovaných a externích karet.
4. Testovat řadu vybraných grafických karet na dvou různých platformách PC (sběrnice PCI a AGP, sběrnice PCI a PCI-Express) a porovnat podíl PC v případě PCI karet. Testovat kvalitu zobrazení, rychlost, energetickou náročnost atd.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Internet, technické příručky k hardwaru PC, časopisy (Chip, Computer atd.).

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Milan Javůrek, CSc.

Katedra řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce:

17. prosince 2010

Termín odevzdání bakalářské práce:

13. května 2011



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan



L.S.



Ing. Lukáš Čegan, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 31. března 2011

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 12. 5. 2011

Drahošlav Stejskal

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval za poskytnutí cenných rad, zkušeností a také za zapůjčení testovaných karet doc. Ing. Milanu Javůrkovi, CSc. Také děkuji všem ostatním, kteří mi při tvorbě této práce byli nápomocni zapůjčením svých grafických adaptérů. V neposlední řadě také patří dík těm, kteří se podíleli na gramatické úpravě mé práce.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá shrnutím vývoje grafických akceleratorů, vývojem jejich sběrnice, grafických jader, pamětí a dalších jejich nedílných součástí těchto karet. Je zde popsána historie karet a všech jejich parametrů. Také jsou uvedena rozhraní pro vstup a výstup obrazu. Zahrnut je také princip vykreslování obrazu na CRT a LCD monitorech. Je porovnáván rozdíl ve výkonnosti karet různých generací a také je ukázán rozdíl mezi integrovaným grafickým čipem a externím.

V praktické části pak je měřen výkon, spotřeba a teploty různě starých karet na slotech PCI, AGP a PCI Express. Výkon je měřen v testovacích aplikacích, které se zaměřují na rychlost vykreslování 2D i 3D scén. Porovnáván je také vliv ostatních částí počítače na výkon grafické karty. To probíhá poměřením výkonu grafických karet pro slot PCI na staré PC sestavě, poté na nové.

Klíčová slova

Grafický akcelerator, 2D akcelerator, 3D akcelerator, grafická karta, GPU, AGP, PCI, PCI Express, sběrnice, benchmark, test grafických karet, historie grafických karet.

Title

Genesis of graphics cards as a fundamental part of the PC.

Annotation

This thesis deals with a summary of graphics accelerators, the development of their bus, graphics cores, memories and other integral parts of that graphics cards. It describes the history of cards and all their parameters. Also shown its interface for input and output image. Included is also the principle of rendering images on CRT and LCD monitors. It compared the difference in the performance of cards of different generations and also indicated differences between integrated and external graphics chip.

The practical part measures the performance, power consumption and temperature at different ages cards for AGP, PCI and PCI Express slots. Performance is measured in the test applications that is focused on speed 2D and 3D scenes. Comparison is also affected other parts of the computer performance on graphics cards. This reconciliation is of the performance graphics card for PCI slot on the old PC, and then the new one.

Keywords

Graphics Accelerator, 2D accelerator 3D accelerator graphics card, GPU, AGP, PCI, PCI Express bus, the benchmark test, graphics cards, the history of graphics cards.

Obsah

Seznam zkratk	8
Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	12
1 Úvodní informace	14
1.1 Princip funkce grafické karty.....	14
1.2 Barevný model RGB.....	15
1.3 Vykreslení obrazu monitorem.....	16
1.3.1 CRT obrazovka.....	17
1.3.2 LCD obrazovka.....	17
2 Historie	18
3 Vlastnosti a parametry grafických karet	25
3.1 Sběrnice.....	25
3.1.1 Sloty (nejen) pro grafické karty.....	25
3.1.2 PCI.....	27
3.1.3 AGP.....	28
3.1.4 PCI Express.....	30
3.2 Obrazová paměť.....	31
3.2.1 Vybrané typy pamětí.....	32
3.3 Výstupní konektory.....	32
3.3.1 D-SUB.....	33
3.3.2 S-Video.....	33
3.3.3 DVI-D.....	34
3.3.4 DVI-I.....	34
3.3.5 HDMI.....	35
3.3.6 DisplayPort.....	36
3.4 GPU.....	36
3.5 Rozlišení.....	36
4 Porovnání integrovaných a externích grafických akceleratorů	37
4.1 APU.....	40
5 Požadavky aplikací na výkon grafické karty	41
5.1 Operační systémy.....	41

5.1.1	Microsoft Windows	41
5.1.2	Unixové systémy	42
5.2	Grafické editory, 3D modelování a střih videa.....	42
5.3	Počítačové hry.....	43
6	Test výkonnosti vybraných akcelérátorů	44
6.1	Testovací sestava.....	44
6.2	Měření teploty a spotřeby energie.....	45
6.3	Testovací aplikace.....	46
6.4	Porovnávací testy a parametry grafických karet.....	51
6.4.1	S3 Trio32.....	51
6.4.2	3Dfx Voodoo + S3 Trio32	52
6.4.3	S3 ViRGE DX.....	53
6.4.4	ATI 3D Rage II.....	54
6.4.5	Nvidia Riva TNT2 M64 (verze s pasivním chlazením).....	55
6.4.6	Nvidia Riva TNT M64.....	56
6.4.7	Nvidia GeForce2 Ti.....	57
6.4.8	Nvidia GeForce FX 5200.....	59
6.4.9	Nvidia GeForce4 MX 440.....	60
6.4.10	ATI Radeon 9600SE.....	61
6.4.11	ATI Radeon HD 5850.....	63
6.5	Souhrnné grafy.....	64
7	Vliv ostatních součástí PC na výkon grafické karty	68
8	Závěr.....	72
	Literatura	73
	Příloha A – Příložené CD.....	78

Seznam zkratek

Tabulka 1 – Seznam zkratek

AGP	Accelerated Graphics Port	Typ grafického portu
ANTIC	Alpha Numeric Television Interface Controller	Grafický čip pro mapování textu a grafických dat do videovýstupu
API	Aplication Programming Interface	Rozhraní pro programování aplikací
APU	Accelerated Processing Unit	Kombinace CPU a grafického procesoru
CAD	Computer Aided Design	Počítačové konstruování designu
CG	C for Graphics	Programovací jazyk pro grafické jádro
CGA	Color Graphics Adapter	Barevný grafický displej, 1. standard barevné grafiky
CPU	Central Processing Unit	Centrální počítačový procesor
CRT	Cathode Ray Tube	Katodová trubice
CTIA	Color Television Interface Adapter	8bit grafický čip
DDR	Double data rate	Dva přenosy dat v jednom taktu, typ paměti
DMA	Direct Memory Access	Přímý přístup do paměti
DRAM	Dynamic Random Access Memory	Druh počítačové paměti
DSTN	Double Supertwist Nematic	Jeden ze způsobů technologie displejů
DVI	Digital Video Interface	Rozhraní pro přenos digitálního obrazu
EDO RAM	Extended Data Output DRAM	Paměť DRAM s rozšířeným výstupem dat
EGA	Enhanced Graphics Adapter	Standard barevné grafiky
EISA	Extended Industry Standard Architecture	Typ sběrnice
FET	Field Effect Transistor	Tranzistor řízený polem
FPS	Frames Per Second	Snímky za vteřinu
GART	Graphics Address Remaping Table	Tabulka pro přemapování grafických adres
GDI	Graphics Device Interface	Rozhraní grafického zařízení
GLSL	OpenGL Shading Language	Programovací jazyk pro rozhraní OpenGL
GPU	Graphic Procesing Unit	Grafický procesor
HDMI	High-Definition Multi-media Interface	Rozhraní pro přenos digitálního obrazu ve vysoké kvalitě
HDTV	High Definition Television	Formát digitálního televizního signálu ve vysoké kvalitě
HGA	Hercules Graphics Adapter	Typ grafického adaptéru
HGC	Hercules Graphics Card	Standard grafického adaptéru
HLSL	High level shader language	Programovací jazyk pro rozhraní DirectX
HW	Hardware	Fyzicky existující technické vybavení počítače
IGP	Integrated Graphics Processor	Integrovaný grafický čip
ISA	Industry Standard Architecture	Typ sběrnice

LCD	Liquid Crystal Display	Displej z tekutých krystalů
MDA	Monochrome Display Adapter	Standard monochromatického grafického adaptéru
PC	Personal Computer	Osobní počítač
PCI	Peripheral Component Interface	Typ sběrnice
RAM	Random Access Memory	Náhodný přístup do paměti, druh paměti
RAMDAC	Random Access Memory Digital-to-Analog Converter	Převodník digitálního signálu na analogový
RDRAM	Rambus DRAM	Paměťové čipy fy Rambus
RGB	Red / Green / Blue	Červená / Zelená / Modrá, barevný model
RGBA	REd / Green / Blue / Alpha	RGB model rozšířený o Aplha kanál
ROP	Raster Operation	Operace s rastroem
SDRAM	Synchronized Dynamic Random Access Memory	Typ paměti, náhodný synchronní dynamický přístup
SDRAM	Single Data Rate	Druh paměti RAM
SGRAM	Synchronous Graphics Random Access Memory	Typ grafické paměti
SLI	Scalable Link Interface	Rozhraní pro propojení více grafických karet Nvidia
SVGA	Super VGA	Rozlišení 800x600 bodů
TFT	Thin Film Transistor	Tenkovrstvý tranzistor
VESA	Video Electronics Standards Association	Asociace pro video standardy
VGA	Video Graphics Array	Rozlišení 640x480 bodů
VRAM	Video RAM	Video paměť
WHUXGA	Wide Hex Ultra Extended Graphics Array	Rozlišení 7680×4800 bodů
WRAM	Windows RAM	Typ paměťových modulů
XGA	Extended Graphics Array	Rozšířené grafické pole, rozlišení 1024x768 bodů

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Schéma grafické karty (obr. upraven) [3].....	15
Obrázek 2 – Aditivní míchání barev [4]	15
Obrázek 3 – Krystaly na LCD displeji [10]	18
Obrázek 4 – Verze hry Pacman pro počítače vybavené grafickou kartou CGA [15].....	19
Obrázek 5 – Grafická karta S3 86C911 (ISA slot) [16].....	20
Obrázek 6 – 3Dfx Voodoo akcelerátor (PCI slot)	21
Obrázek 7 – GeForce 256, první karta s HW podporou transformace a osvětlení. (AGP slot) [17].....	22
Obrázek 8 – Změna vzhledu (stáří) automobilu pomocí pixel shaderu [19].....	23
Obrázek 9 – Ukázka teselace, vpravo zapnutá, vlevo vypnutá [21].....	24
Obrázek 10 – AMD Radeon 6990 [21].....	24
Obrázek 11 – Přenosové rychlosti sběrnic v PC [24]	26
Obrázek 12 – PCI slot + konektory karty.....	27
Obrázek 13 – Schéma různých sběrnic	28
Obrázek 14 – konektory sběrnice AGP [26]	29
Obrázek 15 – Sloty PCI Express [27]	31
Obrázek 16 – Konektor – Konektor D-SUB [32].....	33
Obrázek 17 – Typy video konektorů [34].....	34
Obrázek 18 – Konektory DVI SUB [32].....	35
Obrázek 19 – Konektor HDMI [36]	35
Obrázek 20 – Porovnání portů zleva: DP, HDMI, DVI [37]	36
Obrázek 21 – Názorné zobrazení typů rozlišení obrazovky [39]	37
Obrázek 22 – Schéma IGP Radeon 9100 [40]	38
Obrázek 23 – Integrované grafické čipy Intel [41].....	38
Obrázek 24 – Parametry externí grafické karty ATI 5550 [42]	39
Obrázek 25 – Porovnání IGP Intel s externí grafickou kartou Radeon HD 5550 [41].....	39
Obrázek 26 – Procesor SandyBridge [44].....	40
Obrázek 27 – APU AMD E-350 [45]	40
Obrázek 28 – Vlevo Integrovaný grafický čip na základní desce, vpravo APU [46]	41
Obrázek 29 – Testovací sestava 1	44
Obrázek 30 – Testovací sestava 2.....	45
Obrázek 31 – Multimetr Range RE6810.....	45
Obrázek 32 – Wattmetr SilverCrest PM 334-FR.....	46
Obrázek 33 – Aplikace WinGOD Benchmark	47
Obrázek 34 – Aplikace Dr. Hardware 2009	47
Obrázek 35 – Vlevo DOSBox po spuštění, vpravo emulovaná hra Quake.	48
Obrázek 36 – Uživatelské prostředí aplikace Test 3D.....	48
Obrázek 37 –3DMark 2001 SE – vlevo výsledné skóre, vpravo jedna z renderovaných scén	49
Obrázek 38 – Everest Home Edition	49
Obrázek 39 – GPU-Z	50

Obrázek 40 – S3 Trio32	51
Obrázek 41 – 3Dfx Voodoo	52
Obrázek 42 – S3 ViRGE DX	53
Obrázek 43 – ATI 3D Rage II	54
Obrázek 44 – Nvidia Riva TNT2 M64 (verze s pasivním chlazením)	55
Obrázek 45 – Nvidia Riva TNT M64	56
Obrázek 46 – Nvidia GeForce2 Ti.....	57
Obrázek 47 – Nvidia GeForce FX 5200	59
Obrázek 48 – Nvidia GeForce4 MX 440	60
Obrázek 49 – ATI Radeon 9600SE	61
Obrázek 50 – ATI Radeon HD 5850	63
Obrázek 51 – Přehled teplot GPU	64
Obrázek 52 – Přehled spotřeby PC	65
Obrázek 53 – Porovnání dosažených bodů v aplikaci WinGOD Benchmark.....	65
Obrázek 54 – Porovnání dosaženého skóre v aplikaci 3DMark 2001	66
Obrázek 55 – Porovnání počtů snímků z her emulovaných programem DosBOX.....	66
Obrázek 56 – Porovnání počtů snímků z her emulovaných programem DosBOX (Radeon 5850)	67
Obrázek 57 – Výkon grafických karet v aplikaci Test 3D.....	67
Obrázek 58 – Výkon Ati Radeon HD 5850 v aplikaci Test 3D	67
Obrázek 59 – Vliv PC sestavy na výkon grafické karty – WinGOD Benchmark.....	68
Obrázek 60 – Vliv PC sestavy na výkon grafické karty – Doom.....	69
Obrázek 61 – Vliv PC sestavy na výkon grafické karty – Quake	69
Obrázek 62 – Vliv PC sestavy na výkon grafické karty – Duke Nukem 3D	70
Obrázek 63 – Vliv PC sestavy na výkon grafické karty – 3DMark 2001	71

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Seznam zkratk	8
Tabulka 2 – Vývoj počtu kontaktů a šířky sběrnice na jednotlivých slotech	25
Tabulka 3 – Varianty AGP [26]	30
Tabulka 4 – Frekvence novodobých video pamětí [1]	32
Tabulka 5 – Náročnost operačních systémů Microsoft Windows na grafický čip	42
Tabulka 6 – Náročnost různých her na grafický čip	43
Tabulka 7 – PC sestava 1	44
Tabulka 8 – PC sestava 2	44
Tabulka 9 – Parametry S3 Trio32	51
Tabulka 10 – Naměřené hodnoty S3 Trio32	51
Tabulka 11 – Přehled výsledků WinGOD Benchmark S3 Trio32	51
Tabulka 12 – Parametry 3Dfx Voodoo	52
Tabulka 13 – Naměřené hodnoty 3Dfx Voodoo	52
Tabulka 14 – Přehled výsledků WinGOD Benchmark 3Dfx Voodoo	52
Tabulka 15 – Přehled výsledků Dr. Hardware 2001 3Dfx Voodoo	53
Tabulka 16 – Parametry S3 ViRGE DX	53
Tabulka 17 – Naměřené hodnoty S3 ViRGE DX	53
Tabulka 18 – Přehled výsledků WinGOD Benchmark S3 ViRGE DX	53
Tabulka 19 – Přehled výsledků Dr. Hardware 2001 S3 ViRGE DX	54
Tabulka 20 – Parametry Nvidia GeForce2 Ti	54
Tabulka 21 – Naměřené hodnoty Nvidia GeForce2 Ti	54
Tabulka 22 – Přehled výsledků WinGOD Benchmark Nvidia GeForce2 Ti	54
Tabulka 23 – Přehled výsledků Dr. Hardware 2001 Nvidia GeForce2 Ti	55
Tabulka 24 – Parametry Nvidia Riva TNT2 M64 (verze s pasivním chlazením)	55
Tabulka 25 – Naměřené hodnoty Nvidia Riva TNT2 M64 (verze s pasivním chlazením)	55
Tabulka 26 – Přehled výsledků WinGOD Benchmark Nvidia Riva TNT2 M64 (verze s pasivním chlazením)	55
Tabulka 27 – Přehled výsledků Dr. Hardware 2001 Nvidia Riva TNT2 M64 (verze s pasivním chlazením)	56
Tabulka 28 – Parametry Nvidia Riva TNT M64	56
Tabulka 29 – Naměřené hodnoty Nvidia Riva TNT M64	56
Tabulka 30 – Přehled výsledků WinGOD Benchmark Nvidia Riva TNT M64	56
Tabulka 31 – Přehled výsledků Dr. Hardware 2001 Nvidia Riva TNT M64	57
Tabulka 32 – 3DMark 2001 Nvidia Riva TNT M64	57
Tabulka 33 – Parametry Nvidia GeForce2 Ti	57
Tabulka 34 – Naměřené hodnoty Nvidia GeForce2 Ti	58
Tabulka 35 – Přehled výsledků WinGOD Benchmark Nvidia GeForce2 Ti	58
Tabulka 36 – Přehled výsledků Dr. Hardware 2001 Nvidia GeForce2 Ti	58

Tabulka 37 – 3DMark 2001 Nvidia GeForce2 Ti	58
Tabulka 38 – Parametry Nvidia GeForce FX 5200	59
Tabulka 39 – Naměřené hodnoty Nvidia GeForce FX 5200	59
Tabulka 40 – Přehled výsledků WinGOD Benchmark Nvidia GeForce FX 5200.....	59
Tabulka 41 – Přehled výsledků Dr. Hardware 2001 Nvidia GeForce FX 5200	59
Tabulka 42 – 3DMark 2001 Nvidia GeForce FX 5200	60
Tabulka 43 – Parametry Nvidia GeForce4 MX 440	60
Tabulka 44 – Naměřené hodnoty Nvidia GeForce4 MX 440	60
Tabulka 45 – Přehled výsledků WinGOD Benchmark Nvidia GeForce4 MX 440	61
Tabulka 46 – Přehled výsledků Dr. Hardware 2001 Nvidia GeForce4 MX 440	61
Tabulka 47 – 3DMark 2001 Nvidia GeForce4 MX 440.....	61
Tabulka 48 – Parametry ATI Radeon 9600SE.....	62
Tabulka 49 – Naměřené hodnoty ATI Radeon 9600SE	62
Tabulka 50 – Přehled výsledků WinGOD Benchmark ATI Radeon 9600SE.....	62
Tabulka 51 – Přehled výsledků Dr. Hardware 2001 ATI Radeon 9600SE	62
Tabulka 52 – 3DMark 2001 ATI Radeon 9600SE	62
Tabulka 53 – Parametry ATI Radeon HD 5850.....	63
Tabulka 54 – Naměřené hodnoty ATI Radeon HD 5850	63
Tabulka 55 – Přehled výsledků WinGOD Benchmark ATI Radeon HD 5850.....	63
Tabulka 56 – Přehled výsledků Dr. Hardware 2001 ATI Radeon HD 5850	63
Tabulka 57 – 3DMark 2001 ATI Radeon HD 5850	64
Tabulka 58 – Vliv sestavy na výkon grafické karty – Dr. Hardware 2001	70

1 Úvodní informace

Grafická karta [1], nazývaná někdy také video adaptér, je součástí počítače, která zajišťuje výstup obrazu na zobrazovací jednotce – monitoru. O vykreslování dat se stará GPU¹, jež je umístěn na grafické kartě. Dříve byly monitory analogové, a tak bylo nutné digitální signál, který vznikl na grafické kartě převést pomocí RAMDAC převodníku na analogový. U současných LCD monitorů tento převodník již není potřeba, protože zpracovávají digitální data. V dnešní době se pro připojení této karty nejčastěji používá slot PCI- Express, který poskytuje vysokou propustnost.

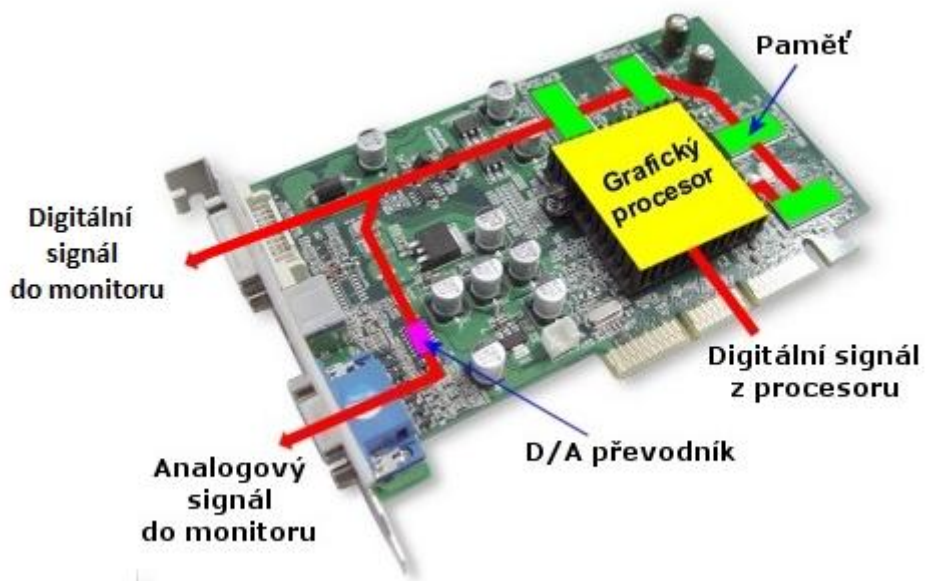
Grafická karta, která podporovala hardwarovou 3D akceleraci, byla dříve výsadou spíše profesionálních grafických studií, které si mohly tehdy drahé video adaptéry dovolit. Postupně se však osobní počítače s takovou kartou stávaly levnější, a tak si je mohla dovolit i obyčejná domácnost. Dnes takovou kartu bere již každý jako samozřejmost, ale do současné podoby a výkonnosti uběhly desítky let vývoje a inovací. Nyní je na výběr nepřeberné množství video adaptérů, které se liší v mnoha parametrech a jejich výkon je nesrovnatelný s jejich předchůdci.

V současnosti je nejrychlejší sběrnice pro připojení video adaptéru univerzální PCI-Express 2.0 16× [2], umožňující přenos dat rychlostí 8 GB/s (obousměrně 16 GB/s). Také je již vyvíjena třetí generace této sběrnice, která by měla být až dvakrát výkonnější než ta současná. Pokud však nepracujeme s aplikacemi náročnými na grafický výkon (např. programy pro střih videa, práci s grafikou, různé 2D a 3D modelování, nové hry), vystačíme si i s integrovaným grafickým čipem na základní desce našeho PC či přímo v našem CPU.

1.1 Princip funkce grafické karty

Při práci s grafickými daty [3] nejprve procesor počítače zašle požadovaná data do video paměti grafického akcelérátoru. Ty pak dále zpracovává grafický procesor a utváří z nich digitální data. Dříve tyto data bylo nutné převést pomocí **RAMDAC** převodníku na analogová, aby je byl schopný **analogový CRT** monitor zobrazit. Dnes tento převodník již většinou není zapotřebí. Obraz je vyslán v **digitální** podobě na zobrazovací matici **LCD** monitoru. Princip práce grafické karty je zachycen na obrázku 1. Výsledný obraz je tvořen pomocí skládání tří základních barev podle **RGB** modelu – červená, zelená, modrá.

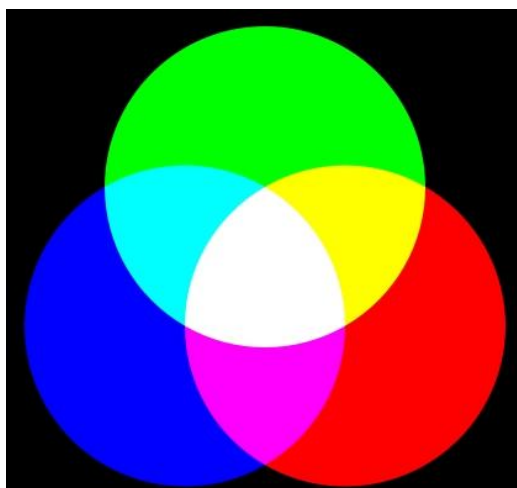
¹ GPU (grafický procesor, anglicky Graphic Processing Unit)



Obrázek 1 – Schéma grafické karty (obr. upraven) [3]

1.2 Barevný model RGB

Barevný model RGB [4] (red, green, blue) je aditivní (doplňkový) způsob míchání tří barev: červené, zelené a modré – viz obrázek 2. Tento model je využíván např. u monitorů, televizí a projektorů, a jedná se v něm o míchání vyzařovaného světla. Jelikož jsou míchány zdroje světla, není pro zobrazení potřeba vnější světlo. Jak je vidět z obrázku 2, pokud smícháme všechny tři barevné složky s maximální intenzitou odstínu, vzniká bílá barva.



Obrázek 2 – Aditivní míchání barev [4]

Jednotlivé barvy, které tvoří výsledný obraz, jsou dány mohutností tří základních barev z RGB modelu. Počet barev určuje barevnou hloubku. Barevná hloubka ovlivňuje to, jak jemně budou jednotlivé barvy od sebe vzájemně odlišeny. **Barevná hloubka** [4] obrazu je udávána v bitech – např. barevná hloubka 24 bitů odpovídá $2^{24} = 16\,777\,216$ barev. Na každou barvu pak připadá 8 bitů, to odpovídá 256 odstínům pro každou ze tří základních barev. Dnes je však většinou využíván **32bitový RGBA** barevný model (True Color). Písmeno A zastupuje složku **alpha (průhlednost)**. Dříve bylo celkem běžné použití 16bitového barevného modelu nazývaného High Color. V tom případě bylo rozdělení buď 5 bitů na každou barvu, nebo 5 bitů pro červenou, 6 pro zelenou (lidské oko je na tuto barvu nejcitlivější) a 5 pro modrou. Pokud by byla například ve Windows 7 nastavena barevná hloubka pouze 16 bitů, nebylo by možné pracovat v prostředí AERO (průhledná okna).

V současnosti již existují grafické karty i monitory, které podporují **30bitovou barevnou hloubku** [5]. Zvednutí barevného kanálu z 8 na 10 bitů zvyšuje počet barev z 16,7 milionu na více než **miliardu barev!** Přidání pouhých dvou bitů na kanál zvýšilo původní barevnou hloubku 64 -násobně (2^6).

1.3 Vykreslení obrazu monitorem

V kapitole 1.1 je uvedeno, že výstupy z grafické karty vysílají do zobrazovací jednotky analogový nebo digitální signál. Ten musí být schopný monitor vhodně interpretovat pomocí RGB modelu. Dříve se pro tento účel využívaly CRT monitory, dnes jsou to kompaktnější LCD monitory.

U monitorů [6] rozeznáváme několik základních vlastností. Jedná se o **velikost úhlopříčky** – udává velikost úhlopříčky obrazovky v palcích. Maximální **rozlišení** určuje počet horizontálně zobrazitelných bodů krát počet vertikálně zobrazitelných bodů. **Obnovovací frekvence** udává, kolikrát za vteřinu je obraz obnovován – 60 Hz zobrazí obraz 60x za sekundu. Obecně platí čím vyšší obnovovací frekvence, tím méně jsou namáhány naše oči. **Vstupy / Výstupy** udávají, jakými konektory lze připojit monitor ke grafické kartě či jinému zařízení.

Další parametry určují zejména kvalitu zobrazení [7]. Je to např. **rozteč bodů**. Ta udává vzdálenost mezi pixely. **Kontrast** udává poměr svítivosti černé a bílé barvy v luxech. Čím vyšší je první číslo z poměru, tím vyšší je kontrast barev. Kontrast je udáván statický a dynamický. Dynamický kontrast je utvářen i pomocí tlumení nebo přisvícení osvětlovací trubice monitoru, proto je lepší řídit se kontrastem statickým. **Jas** monitoru se měří podle svítivosti všech pixelů při zobrazení bílé barvy. Je udáván v kandelách na metr čtvereční. Ideální hodnoty se pohybují v rozmezí 250-300 cd/m².

Důležitým parametrem je **doba odezvy**. Je udávána v milisekundách a určuje jak rychle je monitor schopný změnit černou barvu na bílou a zpět. Čím nižší odezva, tím lépe. Důležitý je také **pozorovací úhel**, který udává, z jakého úhlu lze obraz pozorovat, aniž by byl zkreslený.

1.3.1 CRT obrazovka

CRT (Cathode ray tube) [6] obrazovka používá pro vykreslení obrazu katodovou trubici. Z té je vystřelován proud elektronů (3 svazky elektronových paprsků pro barevný monitor). Paprsky jsou vychylovány pomocí vychylovacích cívek. Dopadají na luminofor, kde se mění ve světlo. U barevných monitorů jsou tři vrstvy luminoforu – červená, zelená a modrá. Jelikož se elektrony vzájemně odpuzují, obsahují obrazovky kovovou masku, která tak brání rozostření obrazu. První masky nesly označení Delta, později vznikla maska In-Line a zdokonalením In-Line masky vznikl Trinitron.

Vykreslování obrazu na CRT monitoru probíhá po řádcích z levého horního rohu obrazovky směrem dolů. Tomuto procesu se říká **řádkování**. Elektronové dělo vystřeluje elektrony vždy zleva doprava. Jakmile dojde na konec řádku, přestane vysílat elektrony a přesune se na levý okraj následujícího řádku. Když se paprsek dostane na konec obrazovky – pravý spodní roh, přesune se opět do levého horního rohu a začne obnovovací cyklus [8]. Jelikož po osvětlení luminoforu trvá jenom krátkou dobu, doporučuje se obnovovací frekvence alespoň 75 Hz.

1.3.2 LCD obrazovka

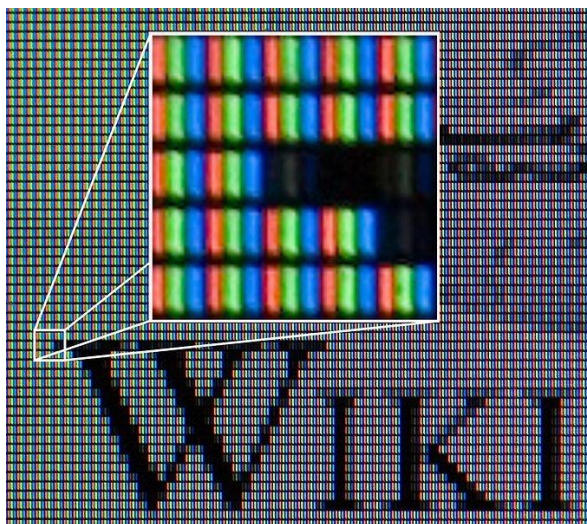
LCD (Liquid Crystal Display) [9] obrazovka funguje na bázi tekutých krystalů. Každý pixel je tvořen třemi subpixely pro červenou, zelenou a modrou barvu (obrázek 3). Struktura tekutého krystalu je měněna pomocí elektrického pole. Vložením tekutého krystalu do elektrického pole lze dosáhnout natočení jeho molekul a pozměnit tak jeho strukturu. K určování intenzity elektrického pole slouží pro každý pixel FET tranzistor (u TFT monitoru). Těch musí být v displeji několik milionů. Pod těmito krystaly svítí světlo, nejčastěji je to elektroluminiscenční výbojka, nebo úspornější LED osvětlení. To prostupuje krystalem a je tak polarizováno. Každý bod displeje obsahuje červený, zelený a modrý filtr, které jsou umístěny vedle sebe.

Kolem každého pixelu jsou elektrody a polarizační filtry. První filtr se nachází v zadní části monitoru a má vertikální polarizaci. Filtr umístěný vpředu je orientován horizontálně a svírá s prvním filtrem úhel 90° . Princip průchodu světla přes filtry je popsán na Wikipedii [10] takto: *„Jakmile dopadne světlo na první filtr, dojde k jeho polarizaci. Molekuly každé vrstvy vedou přijaté světlo směrem k další vrstvě. Když prochází světlo těmito vrstvami tekutých krystalů, molekuly také mění rovinu kmitání světla, a to tak, aby odpovídala jejich vlastnímu úhlu. Jakmile tedy světlo dorazí ke vzdálené části hmoty tekutých krystalů, kmitá pod stejným úhlem jako poslední vrstva molekul. Pokud je poslední vrstva sesouhlasena s polarizačním filtrem - světlo prochází. V opačném případě vidíte na obrazovce tmou. Pokud molekuly tekutých krystalů vystavíte elektrickému náboji, změni svůj směr. Po opětovném srovnání začnou měnit úhel světla, které jimi prochází, a tento úhel nebude již odpovídat úhlu vrchního polarizačního filtru. Takovou oblast displeje nemůže procházet žádné světlo, a proto bude tmavé“*

LCD panely jsou dále děleny [10] na pasivní **DSTN** (Double Supertwist Nematic) a aktivní TFT (Thin-Film Transistors). DSTN je levnější varianta než TFT, v současnosti

se už nepoužívá. Tato technologie je pomalejší a zobrazení je méně věrné. Napájení zde probíhá pomocí integrovaných obvodů, které přivádí napětí do určitého sloupce a řády k určenému pixelu.

TFT (Thin Film Transistors) [11] je technologie, při které je každý pixel ovládán mikroskopickým FET tranzistorem. To umožňuje mnohem přesnější a rychlejší regulaci elektrického pole.



Obrázek 3 – Krystaly na LCD displeji [10]

2 Historie

1940+

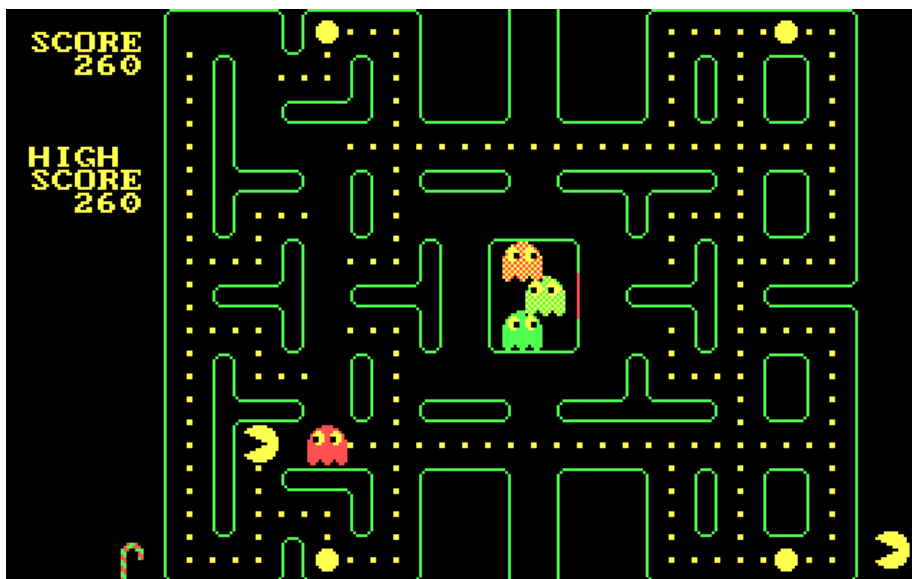
Předchůdci grafických karet [12] byly vyvíjeny nejprve pro potřeby americké armády. Ve čtyřicátých letech díky americké armádě spatřil světlo světa počítačový systém SAGE, který byl užíván jako vzdušná obrana proti atomovému útoku a také posloužil projektu Whirlwind, což byl předchůdce leteckých simulátorů.

1970+

Začínají se využívat ANTIC a CTIA čipy [13] pro hardwarové mixování grafických a textových režimů v 8bitových počítačích Atari. Konstruktor čipu ANTIC Jay Miner je také tvůrcem grafického čipu pro legendární Commodore Amiga.

1980+

Commodore Amiga byl první masově vyráběný počítač [14], jehož video hardware obsahoval blitter². Grafický systém 8514 od IBM byl z prvních systémů, které tomuto stroji umožnily provádět jednoduchou 2D grafiku. Amiga již obsahovala plnohodnotný grafický akcelerátor a grafický koprocesor s vlastní sadou instrukcí. Obrázek 4 ukazuje hru Pacman, která byla spustitelná pro počítače s grafickou kartou CGA – rozlišení 320 x 200 se 4 barvami.



Obrázek 4 – Verze hry Pacman pro počítače vybavené grafickou kartou CGA [15]

1990+

Rozšíření osobních počítačů [14] s operačním systémem Microsoft Windows, zapříčinilo orientaci vývojářů hardwaru na výkonné GPU podporující programové rozhraní Windows Graphics Device Interface (GDI). Na počátku devadesátých let se dostala do povědomí firma S3 Graphics s prvním jednočipem (86C911) s 2D akcelerací, u kterého tvůrci slibovali vysokou výkonnost. Tento grafický adaptér byl určen pro ISA slot (obrázek 5). Tímto čipem se inspirovala většina konkurenčních značek a tak již v roce 1995 všichni významní výrobci využívali čipy s 2D akcelerací.

² **Blitter** (anglicky *B*lock *I*mage *T*ransfer označuje specializovaný obvod (někdy koprocesor), který nezávisle na CPU velmi rychle přesouvá data v paměti počítače. Typicky slouží jako akcelerace pro přesun části obrazu zobrazené na monitoru počítače.

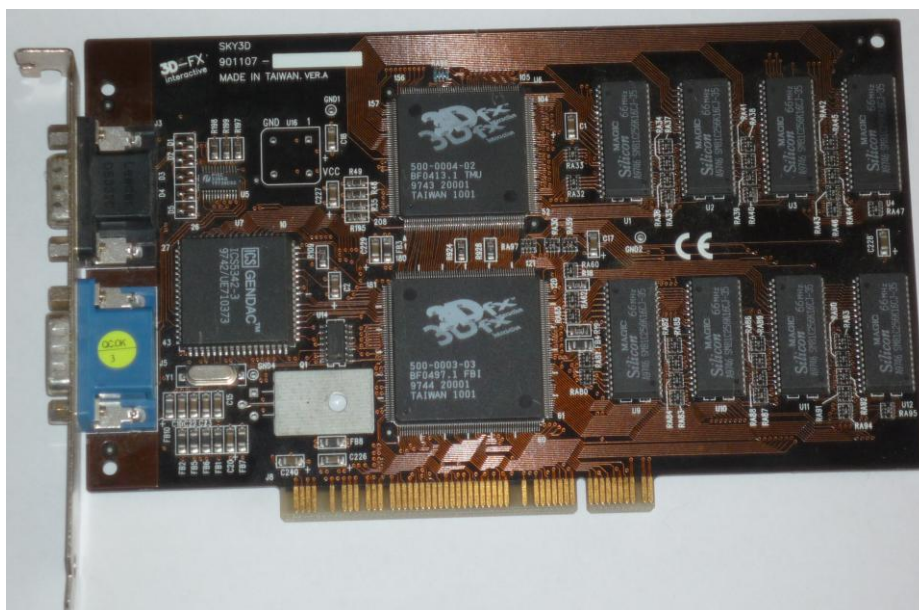


Obrázek 5 – Grafická karta S3 86C911 (ISA slot) [16]

Zlepšování výrobních podmínek [13] mělo za následek zvyšování integrace grafických čipů, a tak bylo možné využívat stále větší výkon GPU. Byly vyvinuty přídavné API³, čehož využívala grafická knihovna WinG (Windows 3.x) a pozdější nástupce DirectDraw pro Hardwarovou akceleraci 2D her pod Windows 95 a vyšších.

Od počátku 90. let se také čím dál více v počítačových hrách vyskytovalo renderování 3D grafiky v reálném čase. Bylo načase přijít s 3D hardwarovou akcelerací. První pokusy o akcelerátory byly S3 ViRGE, ATI Rage a Matrox Mystique, avšak toto byly v podstatě čipy předchozí generace 2D akcelerátorů obohacené o 3D vlastnosti. Zpočátku se výkonné 3D čipy vyskytovaly na samostatných kartách a byly určeny pouze pro 3D akceleraci – např. 3Dfx Voodoo (obrázek 6). Postupem času se 2D, 3D a video akcelerace dostala do jediného čipu. Mezi první zástupce patřil chipset Verite od firmy Rendition.

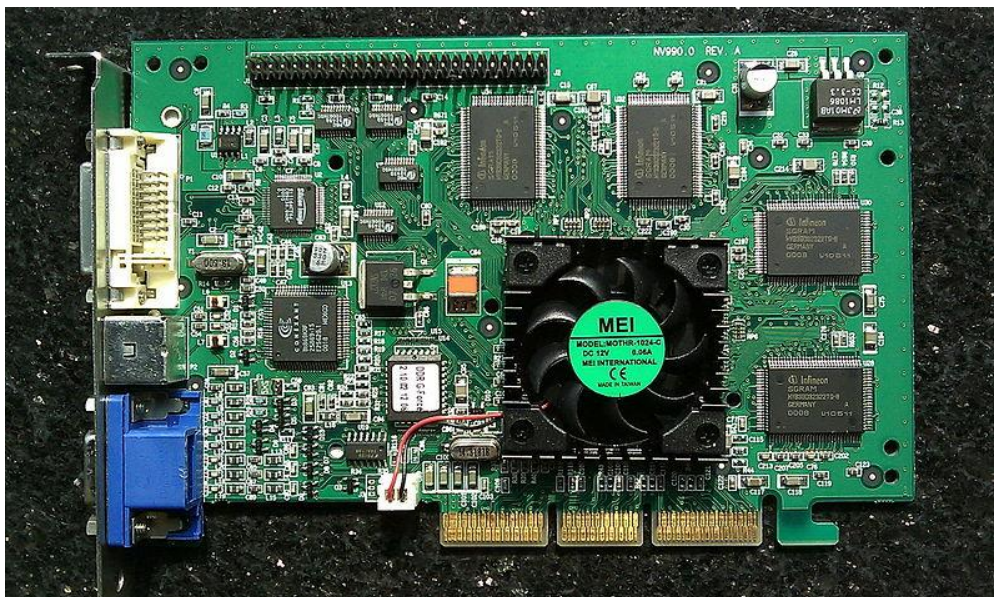
³ API (Application Programming Interface) označuje rozhraní pro programování aplikací. Je to sbírka procedur, funkcí či tříd nějaké knihovny (ale třeba i jiného programu nebo jádra operačního systému), které může programátor využívat. API určuje, jakým způsobem se funkce knihovny volají ze zdrojového kódu programu.



Obrázek 6 – 3Dfx Voodoo akcelerátor (PCI slot)

Velikou roli při rozvoji grafických karet sehrálo v 90. letech profesionální grafické API OpenGL⁴. Kromě hardwarové podpory tohoto standardu existují i implementace softwarové, které umožňují provozovat OpenGL i na hardwaru. Ten tento standard podporuje ovšem za cenu menšího výkonu. V roce 1995 se objevuje nové API od Microsoftu s označením DirectX. Ten se liší od OpenGL hlavně v tom, že může být provozován pouze pod hardwarem, jež jej podporuje a také jenom pod operačním systémem Windows. Toto samozřejmě nebylo výhodné pro vývojáře, avšak postupem času Microsoft začal více spolupracovat s tvůrci hardwaru, a tak pátá verze získala širokou podporu na herním trhu a stala se konkurenceschopnou. Roku 1999 pak Microsoft přišel s DirectX 7, jež přineslo podporu hardwarové transformace a osvětlení. Předtím musel mnoho těchto výpočtů vykonávat procesor počítače. Toto byl významný krok v poli 3D renderování, jednalo se o předchůdce pozdějších vertex a pixel shader jednotek.

⁴ OpenGL (*Open Graphics Library*) je průmyslový standard specifikující multiplatformní rozhraní (API) pro tvorbu aplikací počítačové grafiky. Používá se při tvorbě počítačových her, CAD programů, aplikací virtuální reality či vědeckotechnické vizualizace apod.



Obrázek 7 – GeForce 256, první karta s HW podporou transformace a osvětlení. (AGP slot) [17]

2000+

Významným posunem oblasti grafických karet byl příchod programovatelných shader jednotek [18]. Každý pixel či vertex⁵ tak může být zpracován krátkým programem ještě předtím, než je zobrazen. Objekty ke zpracování jsou do grafického jádra posílány pomocí tzv. pipeline. Zpracování probíhá pomocí shaderu, což je specializovaný procesor (nebo část čipu) pro zpracování grafických informací. Takovýto procesor se programuje nejčastěji v jazycích: CG (nVidia, univerzální), HLSL (Microsoft, DirectX), GLSL (pro OpenGL). Později je tento jazyk překladačem přeložen do assembleru pro danou grafickou kartu. Jazyky jsou si velice podobné a společně se podobají jazyku C. V dnešní době se nejčastěji používají tyto druhy shaderů: vertex, pixel a geometry, případně shadery univerzální, které zastanou funkci vertex a pixel shaderů.

Jako první se při zpracování obrazu pomocí shader jednotek aplikuje vertex. Ten vezme jednotlivé polygony (vrcholy trojúhelníků) a provede na nich požadované efekty (např. osvětlení a barva prohlubní). Nelze však měnit samotnou kostru objektu. Vertex shader je dostupný již od verze DirectX 8 (r. 2000).

Pixel shadery [19] se provádějí během texturování, kdy je kostra objektu „potahována“ texturou a získává tak svojí téměř finální podobu. Pixel shader se aplikuje po jednotlivých pixelech celé textury. Protože se úprava obrazu provádí po pixelech

⁵ Vertex je v oblasti 3D počítačové grafiky bod v prostoru. Jako takový je jedním z jeho základních primitiv (všechna ostatní primitiva, jako například úsečka, trojúhelník či mnohoúhelník se skládají ze dvou či více vertexů).

(např. odrazy světla v zrcadle), je tento shader nejvíce náročný na výkon. I tento shader je součástí DirectX 8. Obrázek 8 ukazuje, jak lze změnit vzhled modelu automobilu pomocí pixel shaderu.



Obrázek 8 – Změna vzhledu (stáří) automobilu pomocí pixel shaderu [19]

Jako poslední přichází na řadu geometry shader. Tyto shadery jsou velice specifické, protože utvářejí kostru objektů z jednotlivých polygonů ještě před vertex shadery. Geometry shadery umějí jako jediné pracovat s kostrou objektu, měnit počet jeho polygonů a tvarovat ho. Můžeme tedy v reálném čase sledovat například růst trávy, což bylo doposud možné pouze pomocí více objektů, které se objevovaly a mizely. To bylo ale velice náročné na výkon. Geometry shader se objevuje až od verze DirectX 10 (2006).

Ve spojení se shadery se také můžeme setkat s výrazem „unifikovaný shader“ [18]. To je část grafického čipu vyhrazená pro práci shaderů, která umožňuje zpracovávat objekt pomocí vertex, shader i geometry shaderů. Daná úloha je tak zpracována mnohem rychleji, protože dochází k optimálnímu využití shaderů. Jedinou nevýhodou je to, že unifikovaný pixel shader je pomalejší než primárně určené pixel shadery.

S příchodem DirectX 11 (rok 2009) se objevuje nová vlastnost geometry shaderů, nazývaná teselace [20] (Obrázek 9). Zde grafická karta nejen zobrazuje povrch, ale také jej přímo vytváří, což šetří čas procesoru. Při teselaci se navíc povrch z části generuje náhodně, takže je unikátní. Dále se jedná o systém, jenž dovoluje měnit měřítko, a tak můžeme udávat stupeň teselace. Z toho vyplývá, že čím blíže jsme u objektu, tím se zvyšuje zobrazování detailů. První grafické karty, jež podporovaly DirectX 11, byly ze série Ati Radeon 5000.



Obrázek 9 – Ukázka teselace, vpravo zapnutá, vlevo vypnutá [21]

Současná (duben 2011) nejvýkonnější grafická karta světa je AMD Radeon HD 6990 [21] (na obrázku 10). Toto označení pod sebou skrývá dvojici jader o taktu 830 MHz, 4 GB rychlé DDR5 paměti s frekvencí 5000 Mhz, 3072 Stream Procesorů (2x 1536), sběrnici o šíři 2 x 256 bitů. Propustnost paměti je neuvěřitelných 320 GB/s. Karta má podporu API DirectX 11, OpenGL 4,1, Pixel a Vertex Shader 5.0. Tento kousek připojíme přes rozhraní PCI Express. Spotřeba energie se pohybuje od 37 W v klidu po 375 W v zátěži. Karta je vyrobena pomocí 40nm technologie a obsahuje 2 x 2,64 mld. tranzistorů. V současnosti se u nás dá pořídit za cenu kolem 15 000 Kč.



Obrázek 10 – AMD Radeon 6990 [21]

Jak je demonstrováno o odstavce výš, pokud jde o náruživého hráče, či prostě potřebujeme k práci extrémně výkonnou grafickou kartu, budeme potřebovat také výkonný počítačový zdroj. Ke kartě AMD Radeon 6990 bude zapotřebí minimálně 750 W zdroj, což

se ale samozřejmě odvíjí od spotřeby ostatních komponent, jako je např. CPU. Vysoké taktů si také vynutily přítomnost aktivního chlazení s pořádným kusem pasivního „železa“.

3 Vlastnosti a parametry grafických karet

Grafické karty mají mnoho parametrů, podle kterých můžeme předběžně určit, jak pro nás bude karta vhodná a zda bude dostačující pro naše účely. V průběhu času můžeme na kartách sledovat zrychlování kmitočtů paměti i čipů, zvyšování přenosové rychlosti a maximálního rozlišení obrazovky, či přibývání zcela nových parametrů jako např. počet stream procesorů. Důležitá je i volba sběrnice, pro kterou musí být na vaší základní desce vhodný slot.

3.1 Sběrnice

Sběrnice [23] grafické karty určuje, jakou maximální rychlostí bude možné přenášet data z operační paměti do video paměti. Toto je důležité při přenosu většího množství dat, jako např. při hraní her či sledování videa. Grafické karty se připojují na základní desku do tzv. slotů. V níže uvedené tabulce je možno přehledně vidět, jak se vyvíjely sloty pro grafické karty.

3.1.1 Sloty (nejen) pro grafické karty

Tabulka 2 – Vývoj počtu kontaktů a šířky sběrnice na jednotlivých slotech

Název slotu	Šířka sběrnice [bit]	Počet kontaktů	Typ	Rok vydání
8bit ISA	8	62	Paralelní	1981
ISA	16	98	Paralelní	1983
MCA	16/32	2*58 + (2*31)	Paralelní	1987
EISA	32	98 + 100	Paralelní	1988
PCI 1.0	32	62	Paralelní	1990
VL-BUS	32	112	Paralelní	1992
PCI 2.1 >	64	94	Paralelní	1993
AGP 1x	32	132	Paralelní	1997
PCI - X	64	184	Paralelní	1998
AGP 8x	32	132	Paralelní	2002
PCI - X 2.0	64	184	Paralelní	2003
PCI Express (x1)	1-32	2 * 18	Sériové	2004
PCI Express (x16)	1-32	2 * 82	Sérió - Paralelní	2004
PCI Express 2.0 (x16)	1-32	2 * 82	Sérió - Paralelní	2007

Označení	Hodinová frekvence	Bitová šířka	Přenosů za takt	Výsledná rychlost	Poznámka
8bit ISA (XT Bus)	4,77 MHz	8	1×	2,38 MB.s ⁻¹	první takt: adresa, druhý takt: data
16bit ISA (XT Bus)	6 MHz	16	1×	6 MB.s ⁻¹	první PC AT
16bit ISA (XT Bus)	8 MHz	16	1×	8 MB.s ⁻¹	standardní frekvence
16bit ISA (XT Bus)	8,33 MHz	16	1×	8,33 MB.s ⁻¹	standardní frekvence
16bit ISA (XT Bus)	10 MHz	16	1×	10 MB.s ⁻¹	nestandardní frekvence
16bit ISA (XT Bus)	12 MHz	16	1×	12 MB.s ⁻¹	nestandardní frekvence
16bit ISA (XT Bus)	16 MHz	16	1×	16 MB.s ⁻¹	nestandardní frekvence
VESA Local Bus	25 MHz	32	1×	100 MB.s ⁻¹	odvozeno od frekvence CPU
VESA Local Bus	33 MHz	32	1×	132 MB.s ⁻¹	odvozeno od frekvence CPU
VESA Local Bus	40 MHz	32	1×	160 MB.s ⁻¹	odvozeno od frekvence CPU
VESA Local Bus	50 MHz	32	1×	200 MB.s ⁻¹	odvozeno od frekvence CPU
PCI 1.x	33 MHz	32	1×	132 MB.s ⁻¹	v desktopových PC standard, 5 V
PCI 1.x	33 MHz	64	1×	264 MB.s ⁻¹	
PCI 2.1	66 MHz	32	1×	264 MB.s ⁻¹	úroveň signálů 3,3 V
PCI 2.1	66 MHz	64	1×	532 MB.s ⁻¹	úroveň signálů 3,3 V
PCI 3.0	133 MHz	32	1×	532 MB.s ⁻¹	ve stavu návrhu, nahrazeno PCI-X
PCI 3.0	133 MHz	64	1×	1066 MB.s ⁻¹	ve stavu návrhu, nahrazeno PCI-X
AGP 1×	66 MHz	32	1×	266 MB.s ⁻¹	úroveň signálů 3,3 V
AGP 2×	66 MHz	32	2×	533 MB.s ⁻¹	úroveň signálů 3,3 V
AGP 4×	66 MHz	32	4×	1066 MB.s ⁻¹	úroveň signálů 1,5 V
AGP 8×	66 MHz	32	8×	2133 MB.s ⁻¹	úroveň signálů 0,8 V
PCI-X	66 MHz	64	1×	533 MB.s ⁻¹	zpětně kompatibilní s PCI
PCI-X	133 MHz	64	1×	1066 MB.s ⁻¹	
PCI-X 2.0	266 MHz	64	1×	2133 MB.s ⁻¹	
PCI-X 2.0	533 MHz	64	1×	4266 MB.s ⁻¹	
PCI Express 1.1 ×1	2525 MHz	1	1×	250 MB.s ⁻¹	přenosová rychlost jedné dráhy
PCI Express 1.1 ×2	2525 MHz	2	1×	500 MB.s ⁻¹	každá dráha přenáší data nezávisle na dalších drahách
PCI Express 1.1 ×16	2525 MHz	16	1×	4000 MB.s ⁻¹	maximální počet drah ve standardních PC
PCI Express 1.1 ×32	2525 MHz	32	1×	8000 MB.s ⁻¹	maximální normou stanovený počet drah
PCI Express 2.0 ×1	5050 MHz	1	1×	500 MB.s ⁻¹	přenosová rychlost jedné dráhy
PCI Express 2.0 ×2	5050 MHz	2	1×	1000 MB.s ⁻¹	
PCI Express 2.0 ×16	5050 MHz	16	1×	8000 MB.s ⁻¹	
PCI Express 2.0 ×32	5050 MHz	32	1×	16000 MB.s ⁻¹	více než 6500× rychlejší než první ISA!

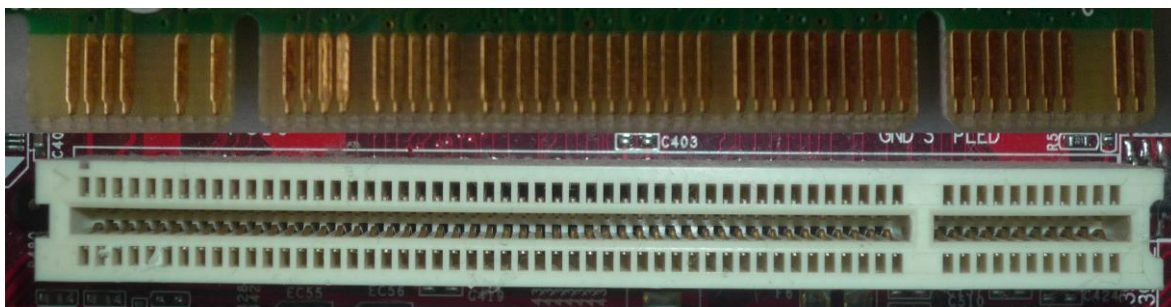
Obrázek 11 – Přenosové rychlosti sběrnic v PC [24]

Jak je patrné z tabulky 2, paralelní sběrnice se pro grafické karty v současnosti již téměř neuvžívá, a to zejména z toho důvodu, že při vysoké paralelizaci nebylo možné nadále zvyšovat frekvenci přenosu kvůli vzájemnému rušení, zkreslení a rozdílnému zpoždění na jednotlivých vodičích. Také počet spojů se stával neúnosným. Sériové řešení přenosu [24] sice vede k užívání složitějších obvodů (zavedení paketové technologie), avšak i tak se paradoxně snižují náklady na výrobu grafické karty i základní desky. Navíc je možné do jedné karty vést více sériových linek a tak se zvýší přenosová rychlost.

Na obrázku 11 je znázorněno, že při vývoji PC se vystřídala velká řada sběrnic a popis všech by byl velice zdlouhavý. Zde se budeme věnovat alespoň těm, na kterých bylo v druhé části práce prováděno testování.

3.1.2 PCI

Sběrnici PCI [25] (Peripheral Component Interface) navrhla firma Intel již počátkem 90. let a dodnes je velice populární pro mnohé rozšiřující karty, i když aktuální grafické karty se v současnosti pro tento slot již nevyrábějí. Důvodem veliké úspěšnosti byly hlavně nevyhovující parametry předchozích ISA sběrnic, které byly pomalé a také neposkytovaly potřebný počet přerušení. Předchozí VESA Local Bus zase nebyla vhodná kvůli lokální sběrnici umožňující připojit omezený počet zařízení. PCI zařízení také poskytuje funkci, bez které si dnešní svět rozšiřujících karet neumíme představit – Plug and Play, což je automatická detekce a konfigurace zařízení po startu PC. PCI používá multiplexované datové a adresové vodiče, což znamená, že v jednu chvíli se po stejných vodičích vysílají buď data, nebo jen adresa. Tento princip byl zaveden kvůli snížení počtu vodičů a tím i ceny. Toto mělo vliv i na snazší instalaci a vyndávání karty (znázorněno na obrázku 12) než u předchozích technologií.

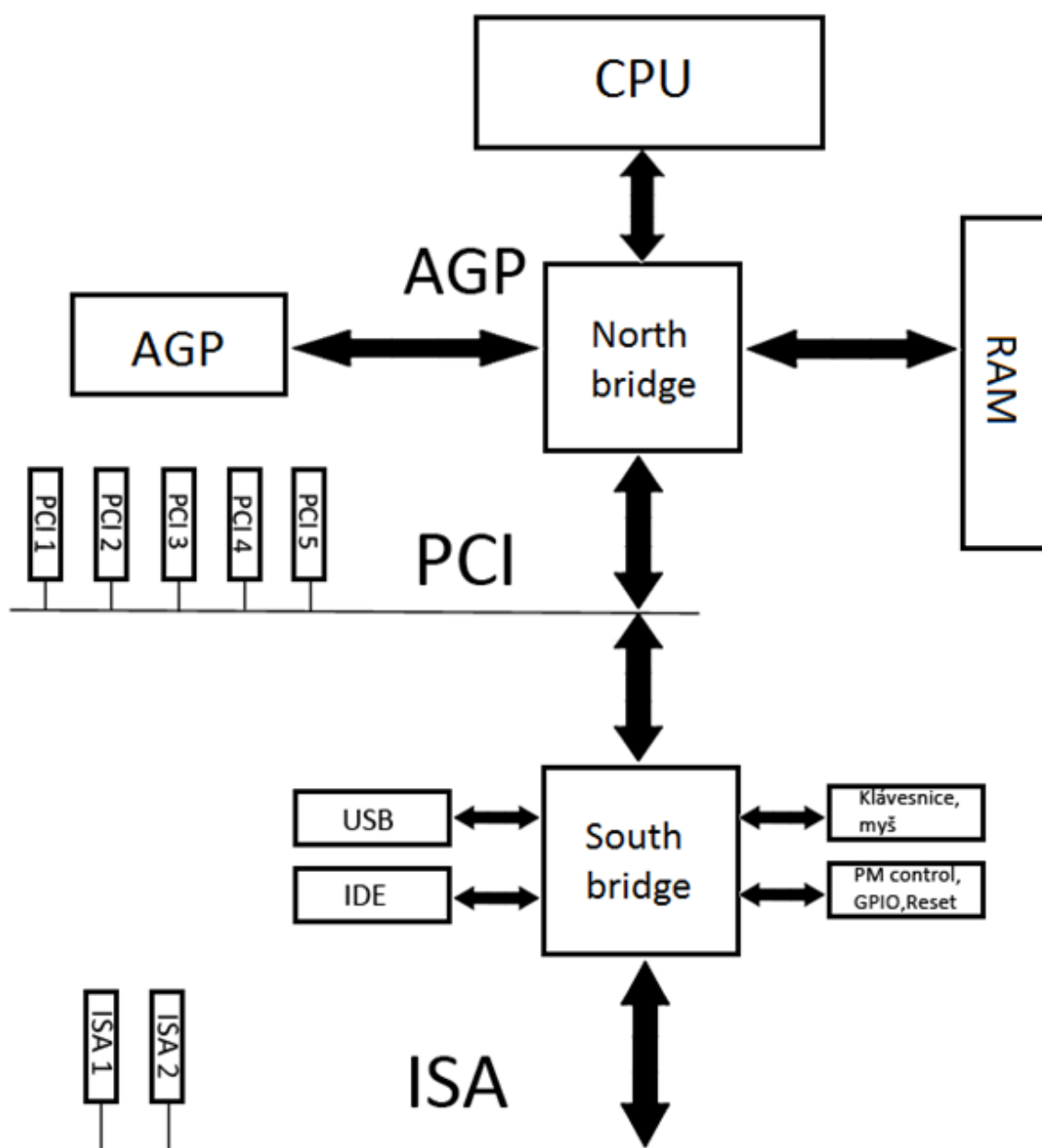


Obrázek 12 – PCI slot + konektory karty

Rychlosti sběrnice PCI, jsou přehledně uvedeny na Obrázek 11, a tak zbývá dodat jen to, že v klasickém IBM PC se nejčastěji vyskytoval nejpomalejší typ sběrnice na taktu 33 Mhz a se šířkou sběrnice 32 bitů. To poskytovalo maximální přenosovou rychlost 132 MB/s, o kterou se však dělila všechna zařízení připojená na tuto sběrnici. Rychlejší sběrnice pak měla uplatnění při práci s vysokým datovým tokem, např. při práci s videem či rychlými disky.

3.1.3 AGP

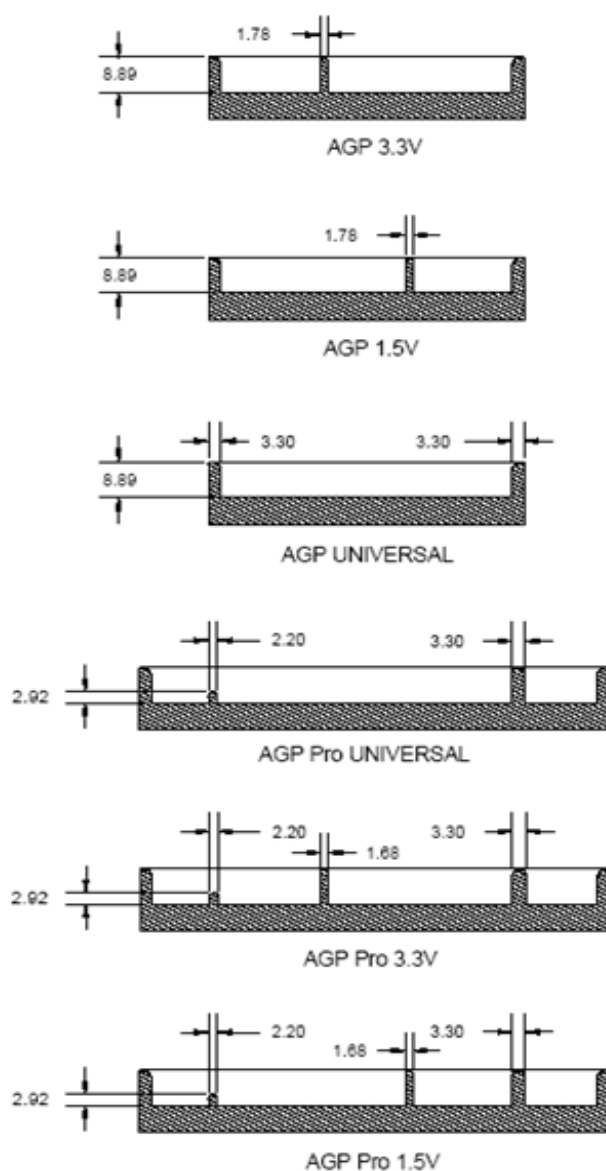
Zkratka AGP [26] pod sebou skrývá název accelerated graphics port, což vypovídá o tom, že tento slot je na rozdíl od jiných univerzálních určen pouze pro grafické karty. Slovo sběrnice je v tomto případě trochu zavádějící, protože na AGP lze připojit pouze jediné zařízení a jedná se o spojení typu point-to-point. AGP je připojeno přímo k tzv. north bridge, což je čip s vysokou mírou integrace umístěný poblíž procesoru ve vrchní části desky. Důvodem pro zavedení této sběrnice byly zvýšené požadavky na rychlost přenosu dat pro grafickou kartu.



Obrázek 13 – Schéma různých sběrnic

Na obrázku 13 je vidět, jak probíhá komunikace jednotlivých sběrnic na základní desce. Všimněme si, že čím blíže je sběrnice připojená k severnímu můstku, tím je rychlejší.

Technologie AGP vznikla z PCI a tak se využívají podobné řídicí signály i multiplexing dat a adres. Nově se však zvýšila frekvence oproti první verze PCI z 33 MHz na 66 MHz a také byl odstraněn arbitrážní obvod, takže lze připojit pouze jedno zařízení. Sběrnice existuje ve více variantách a postupem času se měnilo napájení, tvar slotu i přenosová rychlost. Zrychlení přenosové rychlosti probíhá pomocí zvyšování počtů přístupů do paměti. Buď se může provést jeden přístup do paměti (266 MB/s), dva přístupy na stejném principu jako DDR (533 MB/s), čtyři přístupy (dva hodinové signály otočené o 90 stupňů, 1066 MB/s), nebo dokonce až osm přístupů (2133 MB/s). Přistupuje se do texturovací paměti grafického akcelérátoru či framebufferu.



Obrázek 14 – konektory sběrnice AGP [26]

- Jednotlivé verze AGP se liší rychlostmi a úrovní signálů tak jak je uvedeno v tabulce 3.

Tabulka 3 – Varianty AGP [26]

Verze	Podporovaná rychlost	Úroveň signálů
AGP 1.0	1x 2x	3,3 V
AGP 2.0	1x 2x 4x	3,3 V nebo 1,5 V
AGP Pro	1x 2x 4x	3,3 V nebo 1,5 V
AGP 3.0	1x 2x 4x 8x	1,5 V, pro rychlost 8x 0,8 V

Jelikož je slot AGP určený pouze pro grafické karty, bylo možno přidat některé zvláštní režimy pro práci s grafikou. Například při přenosu textur mají data nastaven příznak jen pro čtení, a tak není nutné ukládání do vyrovnávací paměti. Také je možné zvolit, bude-li využita výhradně paměť grafického akcelerátoru, či zda se tato paměť stane rovnocennou s operační pamětí PC.

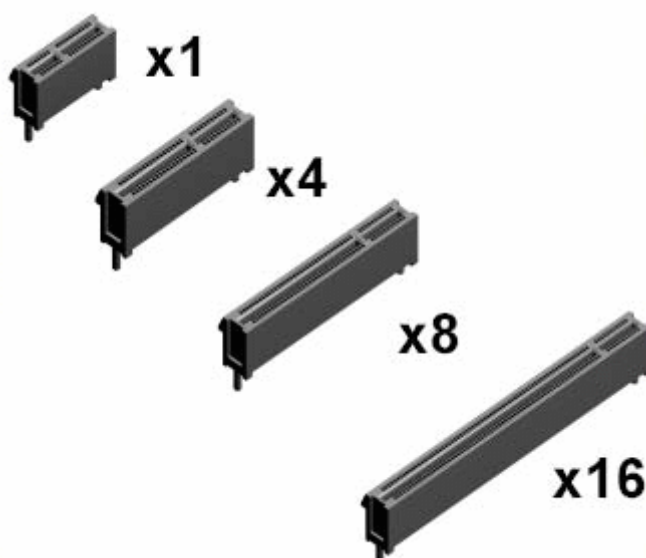
„Režim DMA: v tomto režimu jsou veškerá rastrová data textur uložena v paměti grafického akcelerátoru. Pokud již není v paměti grafického akcelerátoru volný prostor pro uložení další textury nebo je textura ve vykreslované scéně použita poprvé, musí se data zkopírovat z operační paměti počítače do paměti integrované na grafickém akcelerátoru. Toto kopírování probíhá po velkých blocích (řádově desítky kilobytů) pomocí režimu DMA. Každý přenos tedy znamená velkou zátěž pro celý systém, tato zátěž je však pouze krátkodobá a občasná. Režim DMA se stává výhodným především v případech, že na grafickém akcelerátoru je nainstalována paměť s dostatečnou kapacitou.

Režim Execute: v tomto režimu je z hlediska texturování paměť integrovaná na grafickém akcelerátoru a operační paměť rovnocenná. To znamená, že se při texturování nemusí na grafický akcelerátor přenášet celá textura, ale je umožněn přenos pouze malé části, která je v dané chvíli potřebná. V systému existuje tzv. GART (Graphics Address Remapping Table), v níž jsou vedeny informace o uložení a funkci stránek paměti. Jedna stránka má konstantní velikost 4 KB. V případě, že jsou data z nějaké stránky vyžadována pro vykreslování a stránka je uložena v operační paměti, je proveden přenos těchto 4 KB do paměti grafického akcelerátoru a následně se provede úprava záznamu v GART. Vzhledem k poměrně malé velikosti stránek tak nedochází k jednorázovému zatížení systému, protože se zátěž v čase rozloží. Tento režim je populární u „integrovaných“ grafických čipů, včetně grafických karet použitých v notebookech.“ [26]

3.1.4 PCI Express

Tato technologie [24] se zásadně od předchozích liší v tom, že data přenáší sériově. Pro přenos dat, adres i řídicích signálů slouží dva páry vodičů, přičemž v jednom směru každý pár přenáší informace rychlostí 2,525 Gigabitů za sekundu a u aktuální druhé verze je to ještě dvojnásobná rychlost. Vodiče se sdružují po dvou párech, kvůli obousměrné

komunikaci do tzv. lane (dráha, pruh). Bylo by možné říci, proč nestačí pro každý směr jenom jeden vodič, jedná se přece o sériovou komunikaci. Důvod, proč se používají dva vodiče, je ten, že tak vzniká proudová smyčka, na které lze přenášet data vysokou rychlostí. Kdyby se však používal jenom jeden vodič, jehož potenciál by se porovnával se společnou zemí, vodiče by působily jako antény a zároveň by se rušily právě tak jako u klasické paralelní sběrnice. Podle počtu drah se pak rozlišují i jednotlivé sloty pro karty jako x1 pro jednu dráhu, x2 pro dvě dráhy a obdobně tomu je i u x4, x8, x16 a x32. Zajímavé je také to, že pokud máme například síťovou kartu do slotu PCI Express x1, lze ji zapojit do kteréhokoliv většího slotu s tím, že zbytek bude prázdný. Při přenosu je užito kódování 8b/10b, a tak je každých 8 bitů dat převedeno na 10 bitů tak, aby se tvořily co nejdelší sekvence nul a jedniček za sebou. Je to daň za vysoké přenosové rychlosti, která snižuje šířku přenosového pásma o 25%.



Obrázek 15 – Sloty PCI Express [27]

3.2 Obrazová paměť

Obrazová paměť nebo chcete-li, video paměť, je umístěna přímo na grafické kartě a její takty se vůbec nemusí shodovat s frekvencí operační paměti počítače. Pokud je však grafický čip umístěn přímo na základní desce počítače, využívá se pouze operační paměť. Ukládají se do ní data, se kterými pracuje grafické jádro. Komunikace probíhá přes tzv. paměťový řadič. U tohoto dočasného úložiště rozlišujeme tři hlavní parametry, a to frekvenci, typ a velikost paměti. V historii bylo mnoho druhů pamětí [1] jako např.: EDO, VRAM, WRAM, SDRAM, SGRAM, RDRAM, SDR. Dnes se však používají mnohem rychlejší paměti DDR či GDDR, rychlosti novodobých pamětí jsou uvedeny v tabulce 3. Maximální teoretická přenosová rychlost je vypočtena právě z frekvence a šířky sběrnice. Velikost pamětí se vyvinula řádově z kB na dnešní GB.

Tabulka 4 – Frekvence novodobých video pamětí [1]

Typ paměti	Frekvence [MHz]
DDR	166 - 950
DDR2	533 - 1000
DDR3	700 - 2200
GDDR2	700 – 1000
GDDR3	700 - 2400
GDDR4	2000 - 3600
GDDR5	3400 - 5600

3.2.1 Vybrané typy pamětí

- DRAM – (Dynamic RAM) nebo SD RAM: do paměti můžeme v daném okamžiku buď pouze zapisovat nebo číst. Tato paměť byla levnější, ale také méně výkonná.
- SGRAM (Synchronous Graphic RAM): oproti paměti DRAM má navíc podporu blokových operací, rychleji např. přesouvá bloky dat v částech paměti.
- VRAM (Video RAM): tato paměť mívá možnost dvou vstupů a výstupů. Dovoluje, aby do ní v jednom okamžiku procesor počítače zapisoval a zároveň procesor videokarty četl. Tento druh paměti je dražší, ale poskytuje vyšší výkon.
- WRAM (WWindowRAM): podobná paměti VRAM, navíc s podporou blokových operací. [28]
- DDR (Double data rate): přenáší dvojnásobné množství dat během jednoho cyklu, přenos probíhá na náběžné i sestupné hraně.
- DDR2: dokáže efektivně pracovat na dvojnásobku rychlosti DDR. Pracuje přitom pouze na poloviční frekvenci oproti DDR. Protože je spotřeba těchto pamětí poloviční, lze je taktovat na vyšší frekvence než předchozí generaci.
- DDR3: tyto paměti jsou rychlejší díky vyšším taktům, než používá DDR2, v dnešní době se pohybují až kolem hranice 2500 MHz.
- GDDR2: (Graphics Double Data Rate): tyto paměti jsou navrženy speciálně pro grafické karty, poskytují větší rychlost než DDR.
- GDDR3 [29]: vychází z technologie DDR2, menší spotřeba než GDDR2, pro vyšší výkon paměť přenáší 4 datové bity na pin ve 2 hodinových cyklech.
- GDDR4 [30]: Oproti předchůdci nabízí mírně vyšší frekvence, avšak za cenu vyšší latence. Proto se tyto paměti neuchytily a raději se přešlo rovnou na paměti GDDR5 [31].
- GDDR5 : poskytuje přenos 4 bity za jeden takt, což třeba při rychlosti 1GHz tvoří efektivní frekvenci 4Ghz.

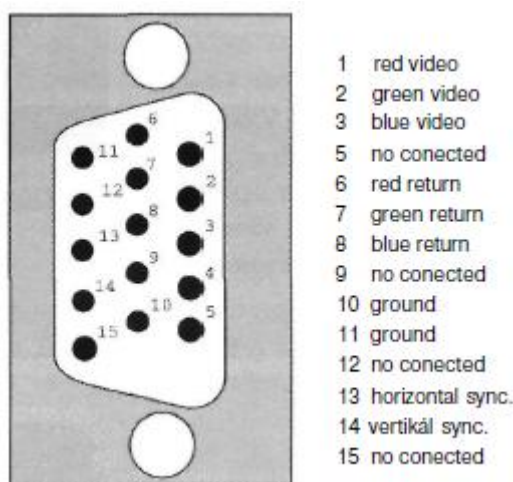
3.3 Výstupní konektory

Výstupní konektory [32] slouží k připojení monitoru ke grafické kartě. Staré karty byly většinou vybaveny VGA konektorem, neboli D-SUB analogovým konektorem. Tyto výstupy se však již téměř nepoužívají a nahradily je dnes nejčastěji používané konektory DVI-I a DVI-D. Odpadá zde převod digitálního signálu na analogový pomocí RAMDAC

jednotky. Do roku 2015 by měly však D-SUB i DVI konektory zaniknout [33], protože tyto konektory již nejsou efektivní a také jsou příliš drahé. Proto se již dnes prodávají grafické adaptéry s HDMI výstupem. Problém je, že HDMI konektor je licencovaný, a tak se výrobci rozhodli udělat si svůj konektor, nazývaný DisplayPort. Největší zásluhu na jeho uvedení mají společnosti AMD a Samsung, ty jej již přes dva roky podporují a osazují je na své produkty. Již od 5000 řady grafik ATI se vyskytuje technologie Eyefinity, která díky Display portu umožňuje k jednomu grafickému adaptéru připojit 3 monitory nebo dokonce až 6, s celkovým rozlišením 7680x3200 obrazových bodů.

3.3.1 D-SUB

D-SUB [32] je 15 -ti pinový třířadový analogový konektor, který byl určen zejména pro CRT monitory, které uměly zpracovat výhradně analogový signál. Pro LCD monitory již dnes ale není vhodný, protože grafický čip nakreslí do paměti obraz digitálně a do tohoto rozhraní jej musí převést zpět na analogový signál pomocí RAMDAC (Random Access Memory Digital-to-Analog Converter) převodníku. LCD panel však pracuje s digitálními daty, a tak musí signál převést zpět na digitální a umístit výsledný obraz do přesné matice LCD. Z toho vyplývá, že obraz je dvakrát zbytečně převáděn, což samozřejmě snižuje odezvu monitoru a navíc mohou vznikat šумы, díky kterým se obraz stává nekvalitní. Jak můžeme vidět na obrázku 16, čtyři piny nejsou vůbec využity.

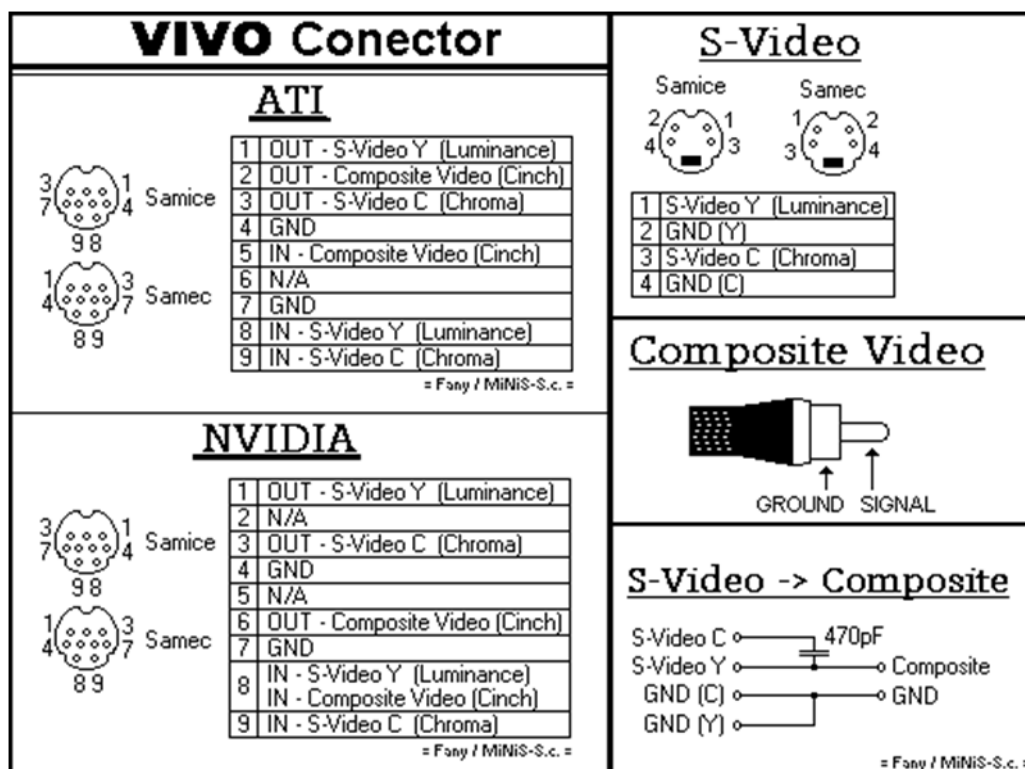


Obrázek 16 – Konektor – Konektor D-SUB [32]

3.3.2 S-Video

Konektor S-Video [32] (Separate Video) slouží pro přenos analogového videosignálu. Přenos probíhá v rozlišení SD, nejčastěji režimech s prokládanými řádky (576 pro PAL a 480 pro NTSC). Toto rozhraní dále dělíme na vstupní (IN) a výstupní (OUT). Tento konektor existuje ve verzi se čtyřmi nebo sedmi kontakty, které slouží pro přenos chrominance a luminance a jejich země. Konektorem lze připojit k počítači různá video zařízení jako například televizi, videokameru nebo DVD přehrávač. Pro tento účel

existuje více druhů konektorů, jak můžeme vidět na obrázku 17. V současnosti je tento standart na ústupu a je vytlačován konektory typu HDMI či DisplayPort.



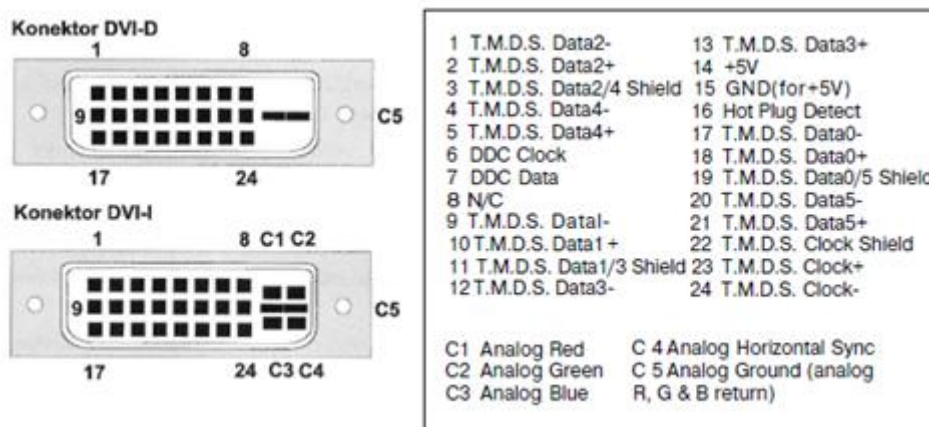
Obrázek 17 – Typy video konektorů [34]

3.3.3 DVI-D

DVI-I [32] (*Digital Video Interface - Digital*) je ryze digitální konektor velice rozšířený, a tak se s ním můžeme setkat mimo grafické karty například i u DVD přehrávačů či videoprojektorů. DVI přenáší digitální data, čímž tak odpadá zbytečné převádění obrazu a tudíž se stává RAMDAC obvod nepotřebným. Videosignál je přenášen pomocí dvacetipětipólového kabelu. Postupem času přestávala stačit omezená šířka přenosového pásma, a tak přišla verze Dual-Link, která rozšiřuje přenosové schopnosti.

3.3.4 DVI-I

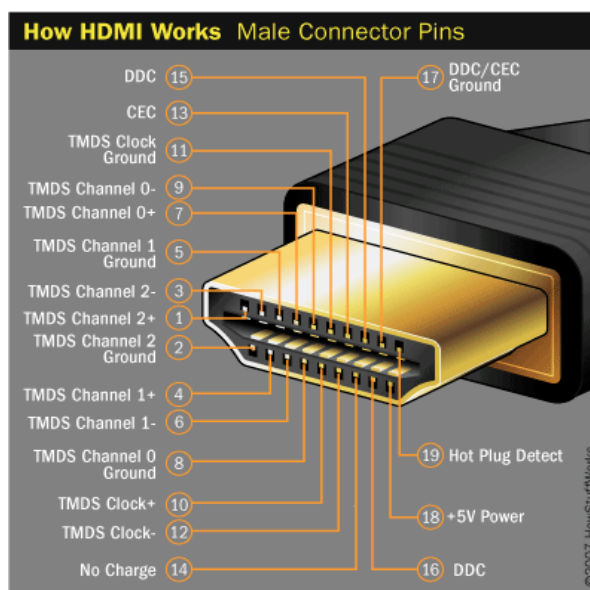
DVI-I [32] (*Digital Video Interface - Integrated*) je schopno přenášet digitální i analogový signál. Pro analogový signál přibyly čtyři piny a jedna zem, jak můžeme vidět na obrázku 18. Konektor má tedy celkem 29pólový kabel. Pokud byste chtěli na DVI-I připojit starý CRT monitor, použili byste speciální redukci, která má na jedné straně D-SUB a na druhé DVI-I „samice“. Rozhraní je vhodné pro přenos HDTV obrazu.



Obrázek 18 – Konektory DVI SUB [32]

3.3.5 HDMI

HDMI [35] (High-Definition Multimedia Interface) je licencované rozhraní, které přišlo na konci roku 2002 s rychlostí 5 Gbps, což s dvojnásobnou rezervou pokrývá dnešní potřeby. HDMI je také zpětně kompatibilní s DVI rozhráním. HDMI obsahuje 19 vodičů a svým tvarem se podobá USB (viz obrázek 19). Jako první poskytuje nekomprimované plně digitální audio/video rozhraní a umožňuje přenášet všechny HDTV standardy. Také podporuje 8 kanálové digitální audio. Existuje také typ B, který má 29 pinů a podporuje rozlišení WQUXGA (3840x2400). Aktuální verze je HDMI 1.4, která nově podporuje 3D obraz, rozlišení až 4096x2160 při 24 Hz a přináší maximální datový tok až 10,2 Gbps. Přes toto rozhraní je možno připojit širokou škálu zařízení, která tak mohou pracovat s obrazem i zvukem ve vysoké kvalitě. K připojení se používají speciální HDMI kabely, které musí vyhovovat určeným standardům.



Obrázek 19 – Konektor HDMI [36]

3.3.6 DisplayPort

Display port [37] neboli zkráceně DP, je port pro přenos digitálních dat, který již ve své první generaci umožňoval přenos rychlostí až 10,8 Gb/s. Stejně jako u HDMI, tento port dokáže přenášet obraz i osmikanálový zvuk, navíc s ochranou DPCP [38] (DisplayPort Content Protection) a 128bitovým AES šifrováním. Tento port je silně podporován např. výrobci AMD, Intel, Dell, Genesis Microchip, Hewlett-Packard, Lenovo, Molex, Nvidia, Philips, Samsung a také organizací VESA, což je asociace pro video standardy. DP je částečně kompatibilní s DVI a HDMI, můžeme tedy emulovat DVI či HDMI na DP, ale zpětně to není možné. Verze 1.2 z ledna 2010 přináší rychlost 21,6 Gb/s a zajímavostí je, že jeden port umožní přenést až dva různé obrazy s rozlišením 2560 × 1600 px zároveň nebo čtyři 1920 × 1200 px. Je také podporována linka na přenos externích dat, která nesouvisí s audiem či videem (např. servisní kanály) a to až rychlostí 720Mb/s.



Obrázek 20 – Porovnání portů zleva: DP, HDMI, DVI [37]

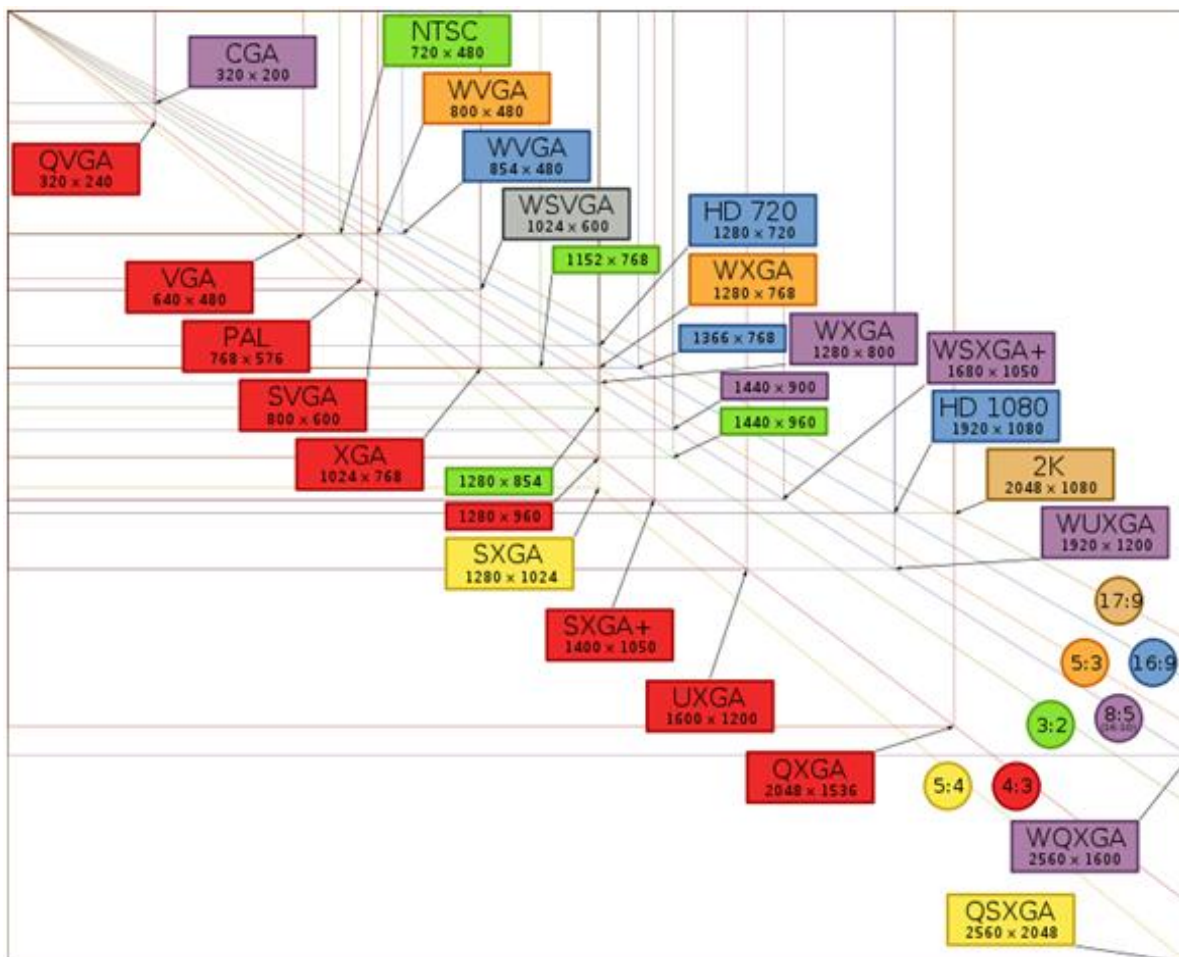
3.4 GPU

Dalším důležitým ukazatelem výkonnosti grafické karty je výkon grafického čipu. Ten je daný hlavně frekvencí grafického jádra a počtem shader jednotek. Dnes se takty jádra pohybují ve stovkách MHz, aktuální herní grafické karty nemají problém s frekvencí kolem 800 MHz. Počet shader jednotek je počítán ve stovkách až tisících jednotek. Shader jednotky jsou vlastně specializované procesory pro zpracování grafických informací. Více je o nich napsáno na str. 22. GPU (Graphics Processing Unit) je takový druhý procesor počítače. Na rozdíl od CPU však zvládá velké množství paralelních operací najednou a jeho výkon je zaměřen výhradně na grafické operace, ve kterých je rychlejší než standardní CPU počítače. Dnešní výkonné GPU obsahují dokonce více než 2 miliardy tranzistorů pro zpracování grafických informací. Na trhu se vyskytují dva hlavní výrobci těchto jader. Vybrat si můžete hlavně mezi AMD (dříve ATI Radeon) a Nvidia GeForce. Prodejci grafických karet mohou být buď přímo výrobci jader, nebo ostatní dodavatelé, kteří využívají těchto jader ve svých kartách. Jedná se např. o značky: ASUS, MSI, Sapphire, PowerColor, Zotac, Gainward a další.

3.5 Rozlišení

Rozlišení [39] je (maximální) počet pixelů, který může být na obrazovce zobrazen. Jako první se udává počet sloupců krát druhý údaj počet řádků. Když si oba tyto údaje vynásobíme, získáme počet pixelů, který je zobrazován. Nejnižší rozlišení u standardních

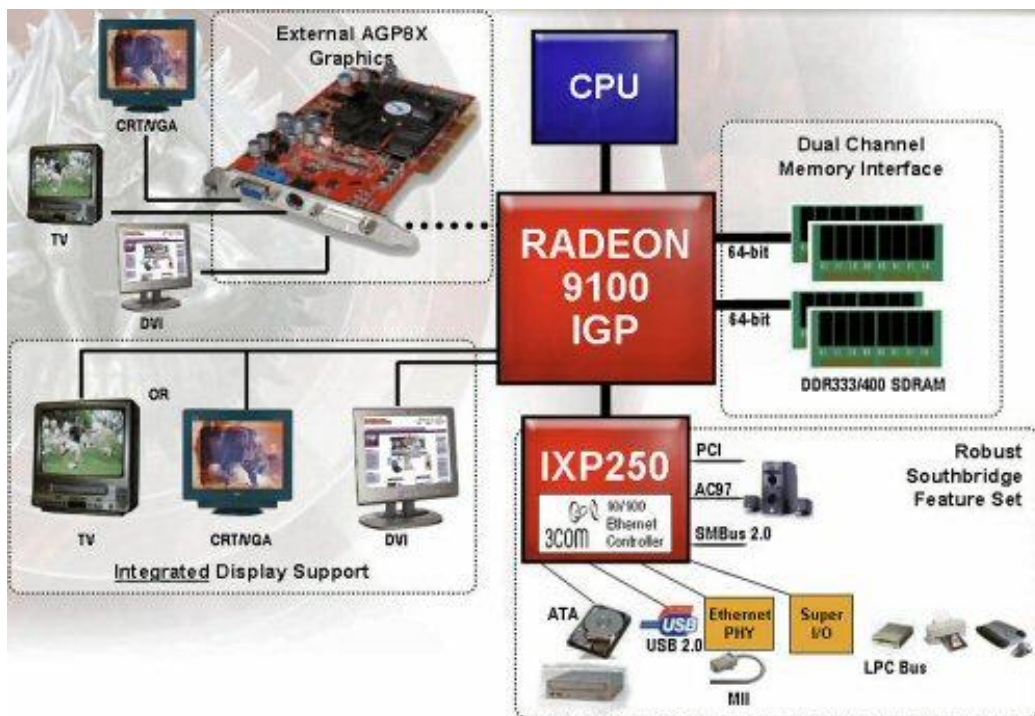
IBM PC je CGA (rok 1981) což se rovná 320×200 bodům, to je 64 tisíc pixelů. Nejvyšší rozlišení, které se však dá využít jen pomocí více monitorů, je WHUXGA – 7680×4800 a představuje 37 milionů pixelů. V dnešní době se s rozlišením nižším než 1024×768 setkáte spíše už jen výjimečně, nebo u malých monitorů netbooků. Na obrázku 21 je názorně zobrazen přehled rozlišení:



Obrázek 21 – Názorné zobrazení typů rozlišení obrazovky [39]

4 Porovnání integrovaných a externích grafických akceleratorů

Jak bylo uvedeno v úvodu, pokud víme, že na svém PC nebudeme hrát nové hry, pracovat s videem či pracovat s grafickými editory a jinými aplikacemi náročnými na grafický výkon, postačí pracovat s grafickou kartou integrovanou přímo na základní desce počítače. Integrovaný grafický čip (IGP) se nachází na severním můstku základní desky (north bridge). Pokud by v budoucnu byl připojen externí grafický adaptér, stačí v BIOSU nastavit primární grafický adaptér na požadovanou sběrnici a zakázat integrovaný čip. Zjednodušené schéma IGP je zobrazeno na obrázku 22. V současnosti jsou integrované grafické čipy na základní desku na ústupu a přechází se na integraci přímo do CPU.



Obrázek 22 – Schéma IGP Radeon 9100 [40]

Otázkou je, zda se nevyplatí koupit levnější desku bez integrované grafické karty a koupit si nějaký levný model dedikované karty. Výhodou dedikovaného grafického akcelérátoru je mimo vyšší grafický výkon i to, že nepracuje s drahocennou operační pamětí, kterou bychom mohli využít pro jiné aplikace a svižný běh operačního systému. Na obrázku 23 jsou tři porovnané integrované čipy, které se dnes běžně dají koupit. Jsou porovnané s dedikovanou externí kartou (obrázek 24), která má cenu zhruba 1200 Kč. Výsledky jsou ovšem propastné.

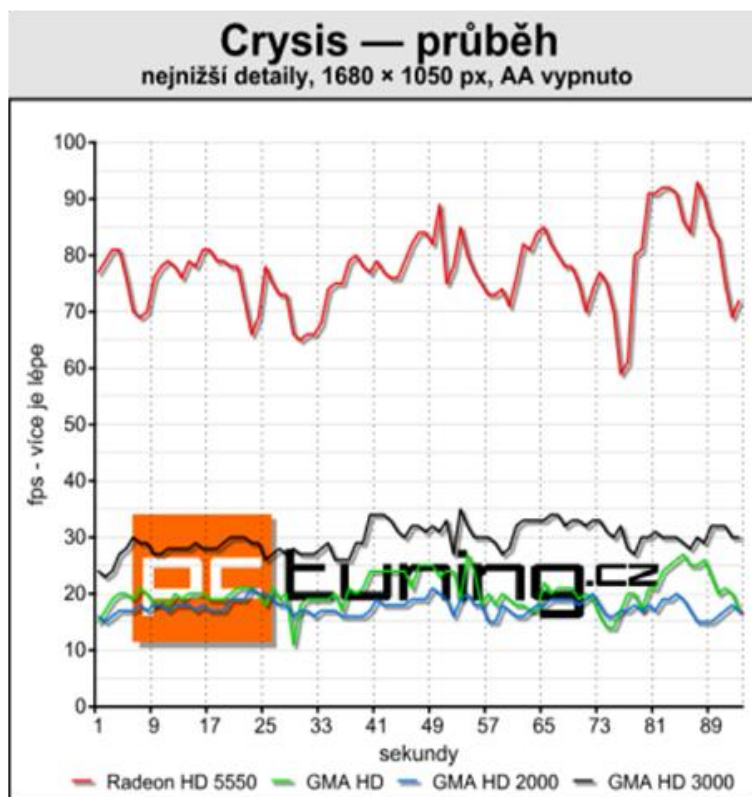
Přehled integrovaných grafických čipů pro desktopové procesory Intel					
	Procesory	EUs	DirectX	Akcelerace HD videa	Frekvence jádra
Intel GMA HD	Architektura Westmere, čipy Core i3/i5	12	10	Ano	533 MHz (Pentium G6950)
					733 MHz (Core i3 5x0, i7 6x0)
					900 MHz (Core i5 661)
GMA HD 2000	Architektura Sandy Bridge, čipy Core i3/i5/i7 non K	6	10.1	Ano	1250 MHz
GMA HD 3000	Architektura Sandy Bridge, čipy Core i3/i5/i7 řady K	12	10.1	Ano	1350 MHz

Obrázek 23 – Integrované grafické čipy Intel [41]

Jádro:	Paměť:	API:
<ul style="list-style-type: none"> ■ Výrobce grafického čipu: ATI ■ Grafický čip: Radeon HD 5550 ■ Rychlost grafického čipu [MHz]: 550 ■ Pixel Shader Engines: 320 ■ Vertex Shaders: 320 ■ ROPs: 8 ■ TMUs: 16 ■ Shader Clock [MHz]: 550 ■ Výrobní proces [nm]: 40 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Typ grafické paměti: DDR2 ■ Velikost grafické paměti [MB]: 1024 ■ Rychlost grafických pamětí (efektivně) [MHz]: 1800 ■ Šířka paměťové sběrnice [bit]: 128 ■ Propustnost paměti [GB/s]: 25,6 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Podpora DirectX: 11 ■ Podpora OpenGL: 3,2 ■ Pixel Shader Version: 5 ■ Vertex Shader Version: 5

Obrázek 24 – Parametry externí grafické karty ATI 5550 [42]

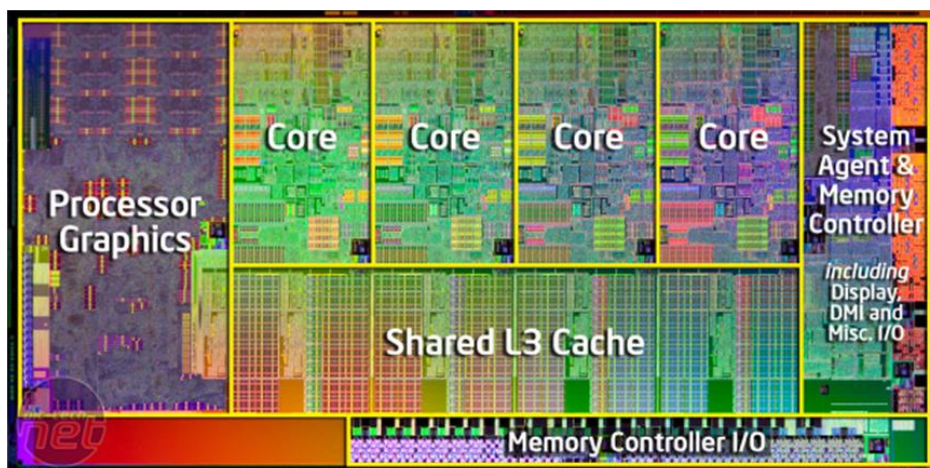
Jak je vidět z grafu na obrázku 25, při testování FPS (počtu snímků za vteřinu) ve hře Crysis je rozdíl velice znatelný. Je vidět, že hodnoty klesají pod 30 FPS, což způsobuje trhanost hry a tím i horší hratelnost. Je třeba podotknout, že tyto hodnoty jsou naměřeny pro nejnižší grafické detaily, takže hra je ochuzena o propracovanou grafiku a detaily. U nových her se navíc bohužel může stát i to, že s integrovaným grafickým čipem vůbec nepůjdou spustit. Na druhou stranu nové čipy podporují hardwarovou akceleraci videa s vysokým rozlišením, takže by sledování Full HD videa neměl být problém.



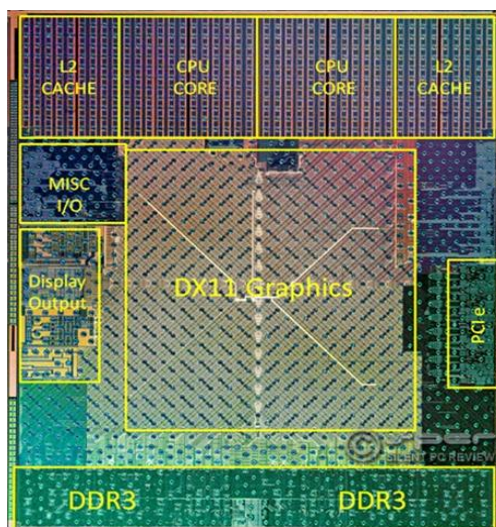
Obrázek 25 – Porovnání IGP Intel s externí grafickou kartou Radeon HD 5550 [41]

4.1 APU

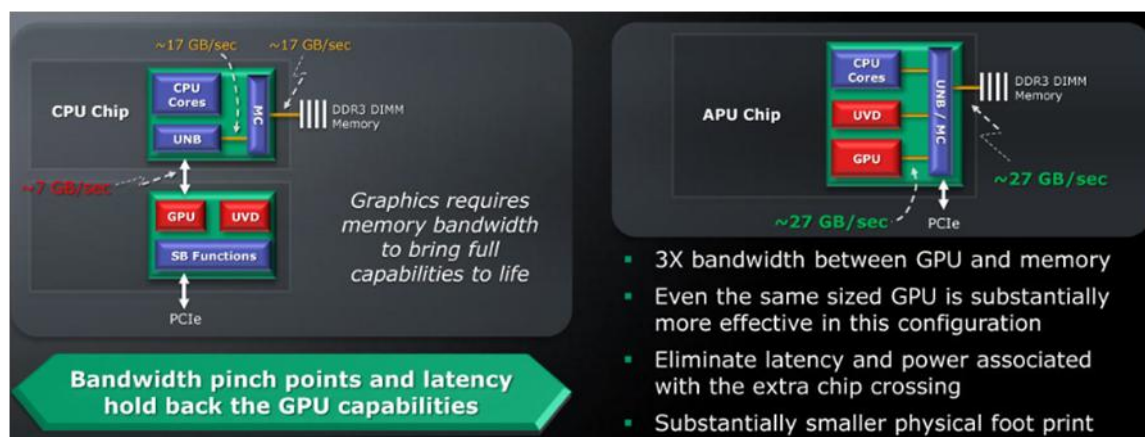
APU [43] (Accelerated Processing Unit) čipy v sobě kombinují klasický procesor a grafický čip, a tak by mohly být nástupci integrovaných grafických čipů na základní desce. Tato technologie přišla poprvé na trh v roce 2010 a přináší mnoho výhod. Hlavní z nich je ta, že se zkrátí podstatně cesta mezi CPU a GPU, tudíž bude komunikace efektivnější, a tak se sníží celkové rozměry a spotřeba zařízení. Jako první se na trhu objevil procesor Intel Atom Pine View, kde se prokázala jeho nízká energetická náročnost. Výkon grafického čipu byl ale dostačující spíše jen pro 2D prostředí. Nové procesory Sandy Bridge (obrázek 26) potom přináší grafický výkon, který dostačuje i na nenáročnou 3D hru. U procesorů Sandy Bridge se navíc objevila technologie Turbo Boost 2.0, která umožňuje zvýšit výkon grafického jádra na úkor CPU a naopak. Přináší tak velice efektivní řešení na poli integrovaných grafických čipů. Pozadu nezůstává ani AMD, se svými procesory Fusion. Model Llano slibuje integraci až 400 stream procesorů. Obrázky 26 a 27 porovnávají APU dvou konkurentů. Obrázek 28 ukazuje rozdíl v architektuře IGP a APU.



Obrázek 26 – Procesor SandyBridge [44]



Obrázek 27 – APU AMD E-350 [45]



Obrázek 28 – Vlevo Integrovaný grafický čip na základní desce, vpravo APU [46]

5 Požadavky aplikací na výkon grafické karty

Důvodem, proč existuje tak široká škála grafických čipů od integrovaných až po ty nejvýkonnější je to, aby si uživatel mohl zvolit optimální typ podle svých požadavků a podle nároků aplikací, které využívá. Pokud je uživatel nenáročný a nevyužívá žádné aplikace náročné na výkon grafické karty, pak jistě nešlápne vedle s žádným z dnes běžně prodávaných grafických akceleračních čipů a bude nejspíše vybírat podle co nejnižší ceny, případně podle nejvýhodnějšího poměru ceny a výkonu. Hardwarovou náročnost většinou uvádí výrobce přímo ve specifikaci aplikace, a tak lze předem zjistit, zda bude aplikace pro danou grafickou kartu vhodná. Je také příhodné aplikaci vyzkoušet nejdříve s nějakou bezplatnou licencí a ověřit si funkčnost na daném systému. V této části je uvedena náročnost jednotlivých aplikací, ale i operačních systémů, na výkon grafické karty (rozlišení, barevná hloubka, grafická paměť...).

5.1 Operační systémy

Splnit hardwarové požadavky operačního systému je nutné minimum, pokud chceme provozovat další aplikace. Jedním z požadavků je i výkon grafické karty. Starší systémy si vystačily pouze s požadavkem minimálního rozlišení, případně barevné hloubky, nové pak požadují určitou minimální grafickou paměť a hardwarovou podporu grafických knihoven a dalších funkcí.

5.1.1 Microsoft Windows

Z tabulky 5 je vidět, že až do vydání Windows Vista byly operační systémy od firmy Microsoft poměrně nenáročné [47] na grafickou kartu. Příchod Windows Vista a s ním i líbivější vzhled a efekty jako AERO, již požadují výkonnější grafické akcelerační čipy. Pokud by byly grafické efekty vypnuté, pro spuštění Windows Vista [48] a Windows 7 by vystačila grafická karta s požadavky Windows Vista Home Basic, kde se tyto efekty nenacházejí.

Tabulka 5 – Náročnost operačních systémů Microsoft Windows na grafický čip

Název	Rok vydání	Požadavky na grafickou kartu
Windows 1	1985	CGA, Hercules, EGA
Windows 2.10	1987	CGA, EGA, VGA (nebo kompatibilní)
Windows 3.1x	1992	CGA, EGA, VGA, Hercules, 8514
Windows 95	1995	VGA nebo vyšší rozlišení (256 barev SVGA doporučeno)
Windows 98	1998	VGA nebo vyšší rozlišení (16 bitů nebo 24 bitů barevná hloubka, SVGA doporučeno).
Windows Milenium Edition	2000	VGA, doporučeno SVGA
Windows XP	2001	SVGA a vyšší
Windows Vista Home Basic	2007	32 MB grafické paměti, podpora DirectX 9.0
Windows Vista Home Premium Windows Vista Business Windows Vista Enterprise Windows Vista Ultimate	2007	128 MB grafické paměti, podpora DirectX 9.0 a Pixel Shader 2.0, podpora WDDM ⁶ , 32 bitů barevná hloubka
Windows 7 Home Basic Windows 7 Starter	2009	Stejně jako u Windows Vista Home Basic
Windows 7 Home Premium Windows 7 Professional Windows 7 Enterprise Windows 7 Ultimate	2009	Stejně jako u Windows Vista Home Premium a vyšších

5.1.2 Unixové systémy

Unixové systémy jsou známé svými nízkými nároky na hardware [49], a tak ani u grafických čipů tomu není jinak. Pokud by byl využíván pouze textový režim, postačí grafická karta kompatibilní se standardem VGA, což dnes všechny karty splňují. Pokud bychom chtěli zapojit historickou kartu s podporou CGA, MDA nebo HGA, většina systémů by je měla přijmout, avšak potom by nebyla možná práce v grafickém režimu X Window System. Podpora grafických karet v grafickém režimu také závisí na tom, zda pro kartu existuje ovladač v projektu X.Org.

5.2 Grafické editory, 3D modelování a střih videa

Pro práci s grafikou je vhodná grafická karta, která bude podporovat co nejvyšší rozlišení a případně i připojení dalšího monitoru, což umožní pohodlnější a efektivnější práci na PC. Vhodná je určitě také velká kapacita grafické paměti ve spojení s rychlým grafickým jádrem. Některé editory využívající akceleraci GPU vyžadují grafickou kartu podporující určené grafické knihovny a další funkce.

Aktuální verze grafického editoru **Adobe Photoshop CS5** [50] vyžaduje minimálně kartu adaptér s rozlišením 1024 x 768, spíše je ale doporučeno minimální rozlišení 1280 x 800, podpora hardwarové akcelerace OpenGL, alespoň 16-ti bitová hloubka barev a video paměť minimálně 256 MB. Některé funkce pak vyžadují podporu standardů Shader Model 3.0 a OpenGL 2.0

⁶ Windows Vista Display Driver Model – grafická karta a ovladače vyhovující operačnímu systému Windows Vista

U 3D modelování jsou dnešní požadavky obdobné jako u 2D tvorby. Třeba Autodesk **3Ds max 2011** [51] uvádí jako minimální požadavky rozlišení 1024x768 s 16 mil. barev. Video paměť požaduje minimálně 256 MB a 1GB pro větší scény. Karty pak musí podporovat alespoň DirectX 9.0c (Shader Model 3.0), případně OpenGL.

Pokud by grafická karta měla sloužit pro střih videa, minimální požadavky budou nižší než u předchozích dvou případů, protože většinu práce zastanou jiné části počítače jako třeba rychlý procesor. U aplikace **Pinnacle Studio 15 HD** [52] určitě bude zapotřebí video adaptér s podporou DirectX 9 a alespoň 64 MB video paměti, ideálně však 128 MB a pro střih HD Videu minimálně 256 MB paměti.

5.3 Počítačové hry

Počítačové hry jsou velice náročné na výkon grafické karty, která také při dnešním zpracování her zastane nejdůležitější funkci v počítači a nejvíce ovlivní plynulost chodu náročných 3D scén plných efektů. Typickým znakem herních grafických akceleratorů je masivní chlazení grafického čipu velkým aktivním ventilátorem. Pokud by bylo zapotřebí do budoucna zvýšit za rozumnou cenu výkon grafické karty, je vhodné zakoupit kus, který umožňuje **SLi** (Nvidia) nebo **Crossfire** (AMD) zapojení, což je propojení více grafických adaptérů v PC. Pro správnou volbu grafického akceleratoru na hraní je nejvhodnější porovnání pomocí nejnovějších herních testů přístupných na internetu, kde je přehledně zobrazen počet snímků za vteřinu z vybraných her pro různé grafické karty. Výborná stránka pro přehledné srovnání výkonu video karet je www.tomshardware.com, kde se nalézají žebříčky řazené dle různých parametrů jako např. úroveň hluku, teplota jádra, výkon v benchmarku a samozřejmě také dle výkonu v aktuálních PC hrách.

Tabulka 6 – Náročnost různých her na grafický čip

Název hry	Vydání	Minimální požadavky na grafickou kartu
Worms	1995	Alespoň VGA video karta
Duke Nukem 3D	1996	Alespoň VGA video karta
Carmageddon	1997	Alespoň VGA video karta
Grand theft auto	1998	1 MB video paměti, SVGA video karta
Re-Volt	1999	4 MB video paměti, DirectX 6.0 kompatibilní
NFS 5: Porsche Unleashed	2000	4 MB video paměti, DirectX 7.0 kompaatibilní
May Payne	2001	16 MB video paměti, DirectX 8.0 kompatibilní
Mafia	2002	16 MB video paměti, DirectX 8.1 kompatibilní
Call of Duty	2003	32 MB video paměti, DirectX 9.0b kompatibilní
Far Cry	2004	64 MB video paměti, DirectX 9.0b kompatibilní
GTA: San Andreas	2005	64 MB video paměti, DirectX 9 kompatibilní GeForce3
Prey	2006	64 MB video paměti, ATi Radeon 9600, nVidia GeForce3
Crysis	2007	256 MB , video paměti, NVIDIA GeForce 6800 GT; ATI Radeon 9800 Pro (Radeon X800 Pro pro Visty)
Fallout 3	2008	256MB video paměti, Direct X 9.0c kompatibilní, NVIDIA 6800, ATI X850
Call Of Duty: Modern Warfare 2	2009	256 MB video paměti, GeForce 6600 GT nebo ATI Radeon 1600XT, s podporou Shader Model 3.0
Mafia 2	2010	256 MB video paměti, GeForce 8600 nebo ATI HD2600
Crysis 2	2011	512 MB video paměti, Nvidia 8800 GT, Radeon HD 3850, doporučena hardwarová podpora DirectX 11 .

6 Test výkonnosti vybraných akceleratorů

6.1 Testovací sestava

- Pro testování byly použity tyto dvě počítačové sestavy:

Tabulka 7 – PC sestava 1

Sestava 1 (pro PCI a AGP karty):	
CPU	Athlon 1800+, 1500 MHz
Paměť RAM	DDR 512 MB, efektivní takt 400 MHz
Základní deska	MSI KT4 Ultra (MS-6590)
Pevný disk	WDC WD1600BB-00RDA0 (149 GB, IDE)
Operační systém	Microsoft Windows XP Professional SP3
Zdroj	ColorsIT 8032 Silver, výkon 450W
Monitor	Acer AL1721, 17" LCD



Obrázek 29 – Testovací sestava 1

Tabulka 8 – PC sestava 2

Sestava 2 (pro PCI-Express karty):	
CPU	AMD Phenom II X4 955 Black Edition, 4 jádra, OC 3,4 GHz
Paměť RAM	DDR 3, Kingston HyperX ,4GB (kit 2x 2GB), 1800MHz
Základní deska	MSI 790FX-GD70
Pevný disk	Seagate Barracuda 7200.12 3.5" 500GB ST3500418AS
Operační systém	Microsoft Windows XP Professional SP3
Zdroj	Arctic Cooling Fusion 550 550W Bulk
Monitor	Acer AL1721, 17" LCD



Obrázek 30 – Testovací sestava 2

6.2 Měření teploty a spotřeby energie



Obrázek 31 – Multimetr Range RE6810

zaznamenávat spotřebu celé sestavy (bez monitoru). Spotřeba sestavy bez grafického adaptéru činila 73,5 W.

Testované karty, většinou neposkytovaly teplotní čidlo, a tak bylo nutné využít externí zařízení. Měření teploty grafického jádra probíhalo kontaktním teploměrem digitálního multimetru Range RE6810 (obrázek 31). Výrobce udává přesnost na 3°C s rozlišením 1°C. Tato přesnost sice není ideální, ale pro orientační přehled plně dostačuje. Teplotní čidlo bylo vždy umístěno přímo mezi GPU a chladič.

Energie byla měřena wattmetrem SilverCrest PM 334-FR (obrázek 32). Tento model bohužel neposkytuje průběžný záznam hodnot, a tak byla měřena pouze v klidu a při maximálním zatížení grafické karty. Takto bylo možné



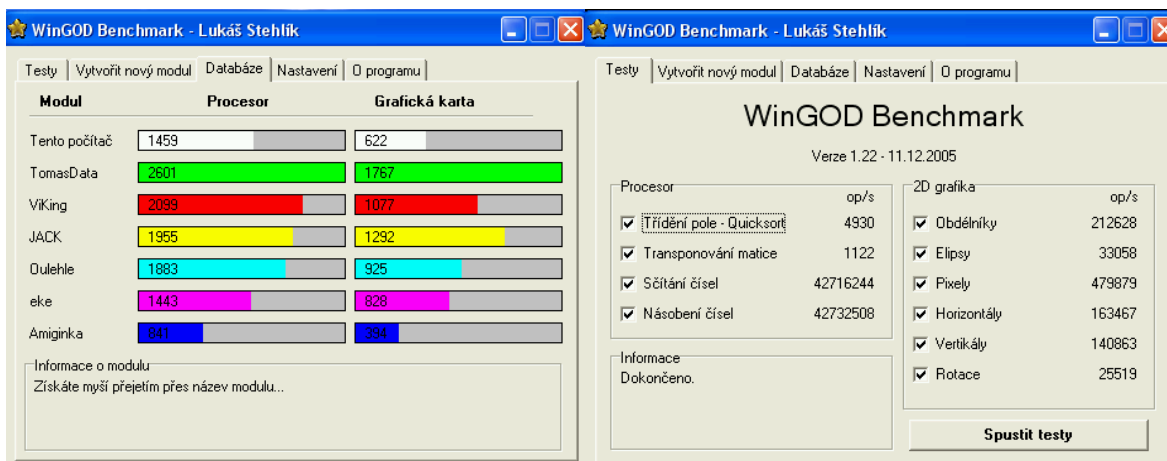
Obrázek 32 – Wattmetr SilverCrest PM 334-FR

6.3 Testovací aplikace

Pokud je třeba testovat širší spektrum grafických adaptérů napříč historií, je nejprve nutné zvolit vhodné aplikace, které budou funkční i na starých kusech. Pro tento účel byly vyhledány speciálně určené aplikace, které testovaly karty při mnoha operacích. Také bylo vhodné vybrat aplikaci, která poskytne podrobnější informace o daném adaptéru. Testování 3D výkonu pomocí graficky náročných benchmarků bylo prováděno jenom na výkonnějších kartách, které aplikace podporovala. Veškeré testování bylo kvůli starším kartám prováděno při rozlišení 800x640 obrazových bodů.

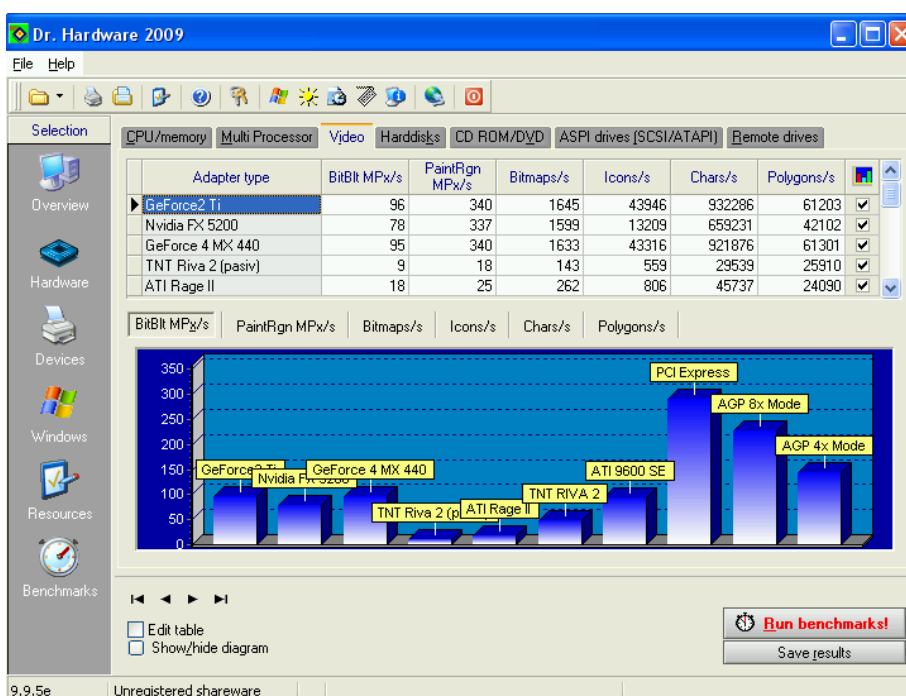
Test výkonnosti grafických karet byl prováděn pomocí několika aplikací. Pro testování 2D výkonu posloužila testovací freeware aplikace **WinGOD Benchmark 1.22** a **Dr. Hardware 2009**. Dále test probíhal na demoverzích her Doom, Quake a Duke Nuke 3D. Testování těchto starých her probíhalo pomocí emulátoru **DOSBox 0.74**. Hry Doom a Quake poskytují tzv. timedemo, při němž PC projde část hry, a zaznamenává u toho FPS (snímky za vteřinu). Hra Duke Nuke 3D umožňuje zobrazovat FPS přímo ve hře. Výkon při zobrazování 3D scén byl porovnáván freeware aplikací **Test 3D**. Zde byla prováděna měření pro knihovny DirectX i OpenGL. Poslední měření programem **3DMark 2001 SE** (freeware verze) bylo určeno spíše pro výkonnější karty (většinou alespoň 32 MB video paměti). Podrobnější informace o grafickém adaptéru poskytly aplikace **Everest Home Edition 2.20** a **GPU-Z 0.5.3**.

- **WinGOD Benchmark 1.22**: Tato aplikace je volně ke stažení na webové stránce <http://wingod.zde.cz/>. Jedná se o testovací program pro 2D grafiku a CPU. Při benchmarku se provádí vykreslování a operace s těčto prvků: obdélníky, elipsy, pixely, horizontály, vertikály a rotace. Ukázka rozhraní této aplikace je na obrázku 33.



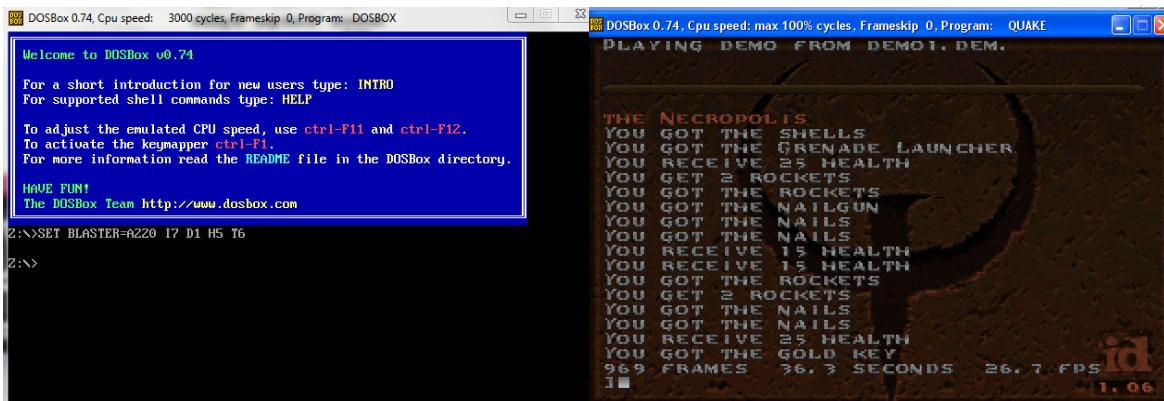
Obrázek 33 – Aplikace WinGOD Benchmark

- **Dr. Hardware 2009:** Dr. Hardware 2009 slouží pro testování a detekci komponent v PC. Při testu zobrazení je testováno vykreslování bitmap (bitmaps/s), ikon (icons/s), znaků (chars/s), polygonů (polygons/s), vyplňování štětcem (paintRgn MPx/s), přenos části obrazu (bitblt/s). Ukázka rozhraní je znázorněna na obrázku 34. Aplikace je ke stažení na této stránce: <http://www.dr-hardware.com/>.



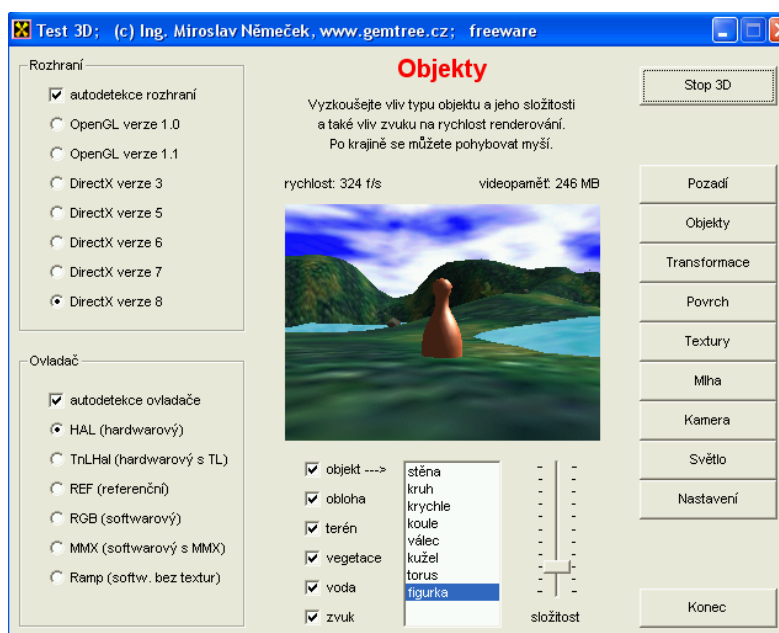
Obrázek 34 – Aplikace Dr. Hardware 2009

- **DOSBox 0.74:** DosBox (obrázek 35) je emulátor operačního systému MS-DOS a reálného i chráněného režimu procesorů platformy x86. Jeho zaměření je především na staré hry případně staré verze OS windows. Program je zdarma ke stažení na stránkách <http://www.dosbox.com/>.



Obrázek 35 – Vlevo DOSBox po spuštění, vpravo emulovaná hra Quake.

- **Test 3D:** Tento program umožňuje testovat i starší grafické karty v prostředí 3D. Mimo jiné je umožněno navolit, jaké objekty se budou zobrazovat, a také jejich složitost. Pro vykreslení může být navolena konkrétní verze DirectX či OpenGL. Tento test byl spuštěn vždy se všemi objekty s výchozím nastavením složitosti. Uživatelské rozhraní znázorňuje obrázek 36. Ke stažení je volně k dispozici na webové stránce <http://www.osej.cz/Test-3d.html>.

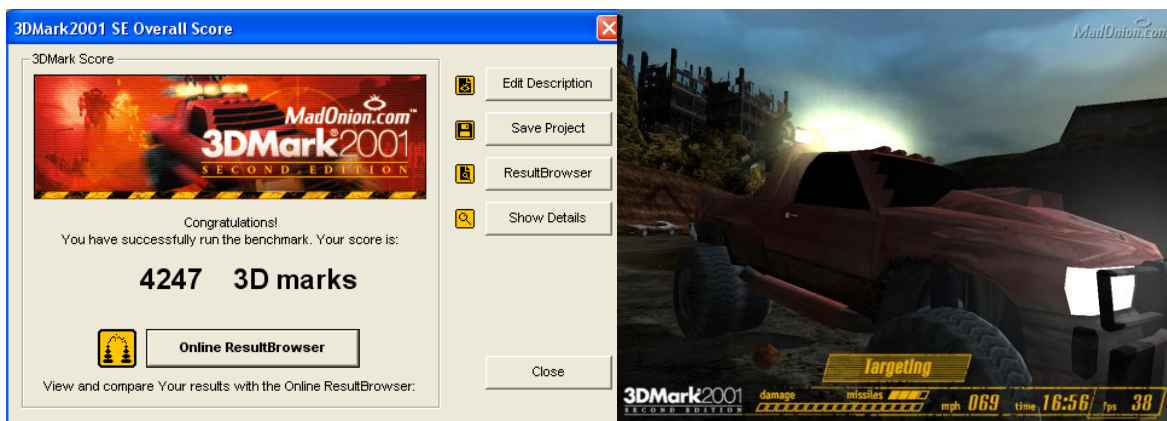


Obrázek 36 – Uživatelské prostředí aplikace Test 3D

- **3DMark 2001 SE:** 3DMark (obrázek 37) je program testující herní výkon počítače. Výsledek je podán v určitém počtu bodů. Ten vychází z počtů herních snímků z různých úseků renderovaných scén. Mimo samotné testy také 3DMark poskytuje diagnostické nástroje pro detekci parametrů grafické karty i jiného hardwaru. Minimální požadavky na grafickou kartu jsou alespoň 32 MB video

paměti. Test probíhal při základním nastavení rozlišení (1024x768), ostatní parametry byly také nastaveny do výchozích hodnot. Aplikaci lze stáhnout z webové adresy

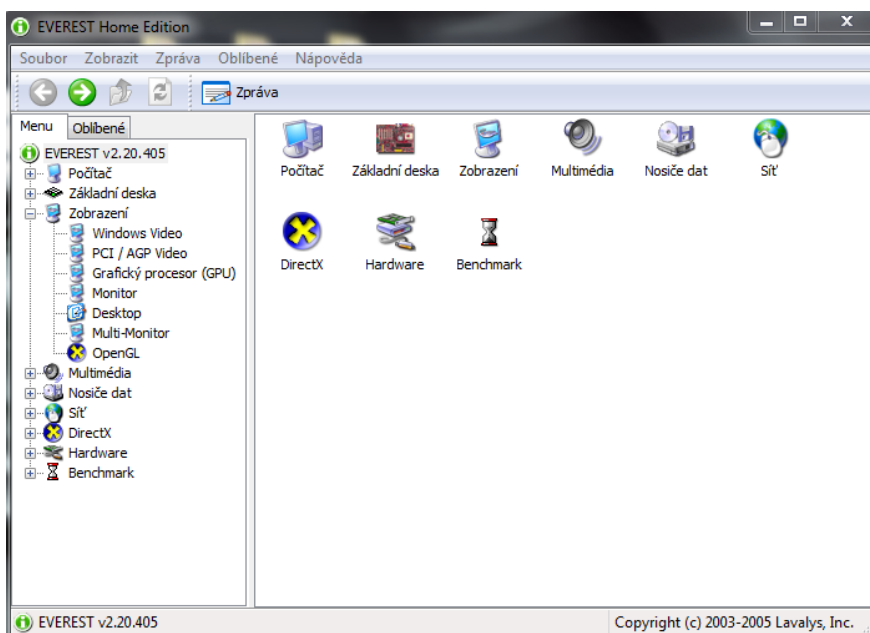
- <http://www.futuremark.com/download/3dmark2001/>.



Obrázek 37 – 3DMark 2001 SE – vlevo výsledné skóre, vpravo jedna z renderovaných scén

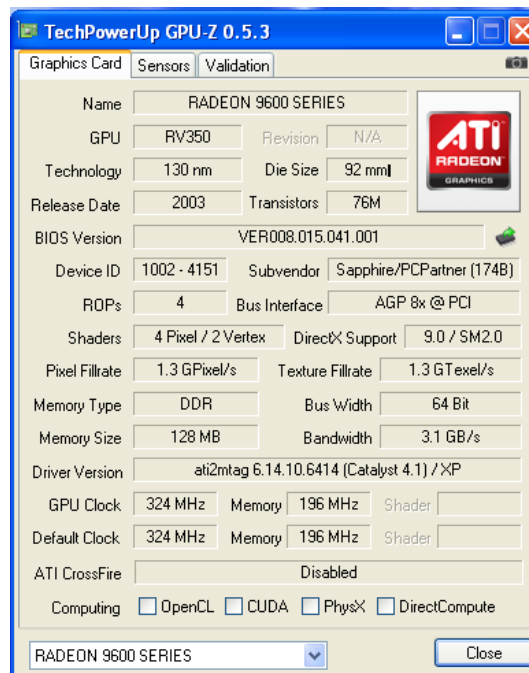
- **Everest Home Edition 2.20:** Everest je známý diagnostický program, který poskytuje nejpodrobnější informace o veškerém hardware počítače. Poskytuje také základní benchmarky paměti, procesoru a pevného disku. V našem případě posloužil pro zobrazení podrobných parametrů grafické karty. Prostředí programu Everest ukazuje obrázek 38. Stažený byl z této webové stránky:

http://www.stahuj.centrum.cz/utility_a_ostatni/benchmarky_a_testy/everest/



Obrázek 38 – Everest Home Edition

- **GPU-Z 0.5.3:** GPU-Z obsahuje souhrn informací o grafických kartách Nvidia a ATI (dnes AMD). Mimo parametry aplikace poskytuje teplotu jádra, vytížení paměti a GPU a jiné užitečné informace. Tyto informace umožňuje uložit do formátu gif. Aplikaci není nutné instalovat, a lze ji stáhnout na adrese <http://www.techpowerup.com/gpuz/>.



Obrázek 39 – GPU-Z

6.4 Porovnávací testy a parametry grafických karet

6.4.1 S3 Trio32



Obrázek 40 – S3 Trio32

Tabulka 9 – Parametry S3 Trio32

Takt GPU [MHz]	54	Maximální rozlišení	800x600, 16bit
Grafický čip	Trio 32	Vstupy/Výstupy	D-SUB
Typ paměti	EDO RAM	Podpora DirectX	Ne
Velikost paměti [MB]	1	Počet Shader jednotek	0
Frekvence paměti [MHz]	54	Pixel Fillrate	-
Šířka sběrnice [bit]	?	Texture Fillrate	-
Šířka pásma	?	ROPs	-
Rozhraní sběrnice	PCI	Pixel Shader (ver., počet)	-
Výrobní technologie	?	Vertex Shader (ver., počet)	-
Počet tranzistorů	?	Chlazení	Bez chladiče

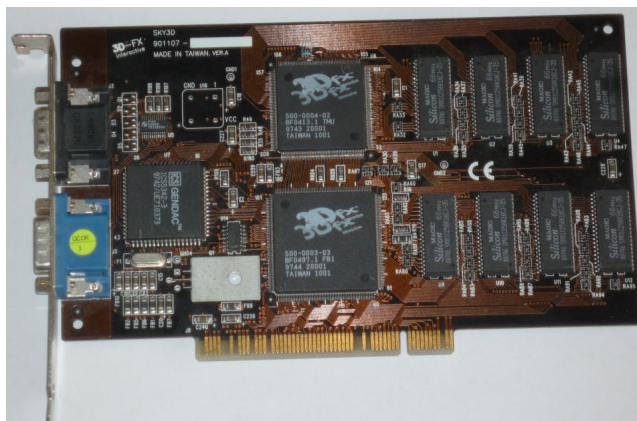
Tabulka 10 – Naměřené hodnoty S3 Trio32

Spotřeba sestavy v klidu [W]	73	Spotřeba sestavy v zátěži [W]	87
Teplota GPU v klidu [°C]	46	Teplota GPU v zátěži [°C]	46
Průměrné FPS Doom	27	Průměr FPS Quake	20,4
Průměrné FPS Duke Nukem 3D	26	Průměrné FPS Test 3D (DirectX)	14
Průměrné FPS Test 3D (OpenGL)	13	WinGod Benchmark skóre	65
3DMark Skóre	-	Podpora všech testů 3DMark	-

Tabulka 11 – Přehled výsledků WinGOD Benchmark S3 Trio32

	Obdélníky	Elipsy	Pixely	Horizontály	Vertikály	Rotace
Operaci/s	7235	8035	330 386	9 584	5 532	1 870

6.4.2 3Dfx Voodoo + S3 Trio32



Obrázek 41 – 3Dfx Voodoo

Tabulka 12 – Parametry 3Dfx Voodoo

<i>Takt GPU [MHz]</i>	50	<i>Maximální rozlišení</i>	Záleží na připojené kartě
<i>Grafický čip</i>	Voodoo	<i>Vstupy/Výstupy</i>	D-SUB(in, out)
<i>Typ paměti</i>	EDO RAM	<i>Podpora DirectX</i>	Ne
<i>Velikost paměti [MB]</i>	4	<i>Počet Shader jednotek</i>	0
<i>Frekvence paměti [MHz]</i>	50	<i>Pixel Fillrate</i>	-
<i>Šířka sběrnice [bit]</i>	64	<i>Texture Fillrate</i>	-
<i>Šířka pásma</i>	?	<i>ROPs</i>	-
<i>Rozhraní sběrnice</i>	PCI	<i>Pixel Shader (ver., počet)</i>	-
<i>Výrobní technologie</i>	500 nm	<i>Vertex Shader (ver., počet)</i>	-
<i>Počet tranzistorů</i>	1 mil.	<i>Chlazení</i>	Bez chladiče

Tabulka 13 – Naměřené hodnoty 3Dfx Voodoo

<i>Spotřeba sestavy v klidu [W]</i>	79	<i>Spotřeba sestavy v zátěži [W]</i>	92
<i>Teplota GPU v klidu [°C]</i>	54	<i>Teplota GPU v zátěži [°C]</i>	54
<i>Průměrné FPS Doom</i>	26,5	<i>Průměr FPS Quake</i>	20,1
<i>Průměrné FPS Duke Nukem 3D</i>	32	<i>Průměrné FPS Test 3D (DirectX)</i>	23
<i>Průměrné FPS Test 3D (OpenGL)</i>	17	<i>WinGod Benchmark skóre</i>	65
<i>3DMark Skóre</i>	-	<i>Podpora všech testů 3DMark</i>	-

Tabulka 14 – Přehled výsledků WinGOD Benchmark 3Dfx Voodoo

	<i>Obdélníky</i>	<i>Elipsy</i>	<i>Pixely</i>	<i>Horizontály</i>	<i>Vertikály</i>	<i>Rotace</i>
<i>Operací/s</i>	7238	8022	330 945	9 599	5 532	2 130

Tabulka 15 – Přehled výsledků Dr. Hardware 2001 3Dfx Voodoo

	<i>BitBlT MPx/s</i>	<i>PaintRgn MPx/s</i>	<i>Bitmaps/s</i>	<i>Icons/s</i>	<i>Chars/s</i>	<i>Polygons/s</i>
<i>Výsledek</i>	9	15	142	1 537	27 271	16 994

6.4.3 S3 ViRGE DX



Obrázek 42 – S3 ViRGE DX

Tabulka 16 – Parametry S3 ViRGE DX

<i>Takt GPU [MHz]</i>	70	<i>Maximální rozlišení</i>	1600 x 1200, 16bit
<i>Grafický čip</i>	ViRGE/DX/CX	<i>Vstupy/Výstupy</i>	D-SUB
<i>Typ paměti</i>	EDO RAM	<i>Podpora DirectX</i>	DirectX 6
<i>Velikost paměti [MB]</i>	2	<i>Počet Shader jednotek</i>	0
<i>Frekvence paměti [MHz]</i>	70	<i>Pixel Fillrate</i>	-
<i>Šířka sběrnice [bit]</i>	64	<i>Texture Fillrate</i>	-
<i>Šířka pásma</i>	?	<i>ROPs</i>	-
<i>Rozhraní sběrnice</i>	PCI	<i>Pixel Shader (ver., počet)</i>	-
<i>Výrobní technologie</i>	350 nm	<i>Vertex Shader (ver., počet)</i>	-
<i>Počet tranzistorů</i>	?	<i>Chlazení</i>	Bez chladiče

Tabulka 17 – Naměřené hodnoty S3 ViRGE DX

<i>Spotřeba sestavy v klidu [W]</i>	75	<i>Spotřeba sestavy v zátěži [W]</i>	81,5
<i>Teplota GPU v klidu [°C]</i>	65	<i>Teplota GPU v zátěži [°C]</i>	71
<i>Průměrné FPS Doom</i>	37,8	<i>Průměr FPS Quake</i>	23,2
<i>Průměrné FPS Duke Nukem 3D</i>	48	<i>Průměrné FPS Test 3D (DirectX)</i>	47
<i>Průměrné FPS Test 3D (OpenGL)</i>	25	<i>WinGod Benchmark skóre</i>	145
<i>3DMark Skóre</i>	-	<i>Podpora všech testů 3DMark</i>	-

Tabulka 18 – Přehled výsledků WinGOD Benchmark S3 ViRGE DX

	<i>Obdélníky</i>	<i>Elipsy</i>	<i>Pixely</i>	<i>Horizontály</i>	<i>Vertikály</i>	<i>Rotace</i>
<i>Operací/s</i>	48 557	20 460	630 650	5 750	6 711	627

Tabulka 19 – Přehled výsledků Dr. Hardware 2001 S3 ViRGE DX

	<i>BitBlt MPx/s</i>	<i>PaintRgn MPx/s</i>	<i>Bitmaps/s</i>	<i>Icons/s</i>	<i>Chars/s</i>	<i>Polygons/s</i>
<i>Výsledek</i>	20	104	439	390	122 221	28 861

6.4.4 ATI 3D Rage II



Obrázek 43 – ATI 3D Rage II

Tabulka 20 – Parametry Nvidia GeForce2 Ti

<i>Takt GPU [MHz]</i>	67	<i>Maximální rozlišení</i>	800x600, 32 bitů
<i>Grafický čip</i>	Rage II	<i>Vstupy/Výstupy</i>	D-SUB, S-Video (out, composite)
<i>Typ paměti</i>	SDRAM	<i>Podpora DirectX</i>	DirectX 5
<i>Velikost paměti [MB]</i>	1	<i>Počet Shader jednotek</i>	0
<i>Frekvence paměti [MHz]</i>	?	<i>Pixel Fillrate</i>	-
<i>Šířka sběrnice [bit]</i>	64	<i>Texture Fillrate</i>	-
<i>Šířka pásma</i>	?	<i>ROPs</i>	-
<i>Rozhraní sběrnice</i>	PCI	<i>Pixel Shader (ver., počet)</i>	0
<i>Výrobní technologie</i>	350 nm	<i>Vertex Shader (ver., počet)</i>	0
<i>Počet tranzistorů</i>	?	<i>Chlazení</i>	Bez chladiče

Tabulka 21 – Naměřené hodnoty Nvidia GeForce2 Ti

<i>Spotřeba sestavy v klidu [W]</i>	76,5	<i>Spotřeba sestavy v zátěži [W]</i>	90
<i>Teplota GPU v klidu [°C]</i>	54	<i>Teplota GPU v zátěži [°C]</i>	57
<i>Průměrné FPS Doom</i>	43,2	<i>Průměr FPS Quake</i>	23,5
<i>Průměrné FPS Duke Nukem 3D</i>	49	<i>Průměrné FPS Test 3D (DirectX)</i>	25
<i>Průměrné FPS Test 3D (OpenGL)</i>	19	<i>WinGod Benchmark skóre</i>	80
<i>3DMark Skóre</i>	-	<i>Podpora všech testů 3DMark</i>	-

Tabulka 22 – Přehled výsledků WinGOD Benchmark Nvidia GeForce2 Ti

	<i>Obdélníky</i>	<i>Elipsy</i>	<i>Pixely</i>	<i>Horizontály</i>	<i>Vertikály</i>	<i>Rotace</i>
<i>Operaci/s</i>	8897	9182	410 046	10 970	8 429	2 198

Tabulka 23 – Přehled výsledků Dr. Hardware 2001 Nvidia GeForce2 Ti

	<i>BitBlt MPx/s</i>	<i>PaintRgn MPx/s</i>	<i>Bitmaps/s</i>	<i>Icons/s</i>	<i>Chars/s</i>	<i>Polygons/s</i>
<i>Výsledek</i>	18	25	262	806	45737	24 090

6.4.5 Nvidia Riva TNT2 M64 (verze s pasivním chlazením)



Obrázek 44 – Nvidia Riva TNT2 M64 (verze s pasivním chlazením)

Tabulka 24 – Parametry Nvidia Riva TNT2 M64 (verze s pasivním chlazením)

<i>Takt GPU [MHz]</i>	111	<i>Maximální rozlišení</i>	1920x1200
<i>Grafický čip</i>	Riva TNT M64	<i>Vstupy/Výstupy</i>	D-SUB
<i>Typ paměti</i>	SDRAM	<i>Podpora DirectX</i>	DirectX 6
<i>Velikost paměti [MB]</i>	32	<i>Počet Shader jednotek</i>	0
<i>Frekvence paměti [MHz]</i>	111	<i>Pixel Fillrate</i>	222 MPixel/s
<i>Šířka sběrnice [bit]</i>	64	<i>Texture Fillrate</i>	222 MTexel/s
<i>Šířka pásma</i>	0,88 GB/s	<i>ROPs</i>	2
<i>Rozhraní sběrnice</i>	PCI	<i>Pixel Shader (ver., počet)</i>	-
<i>Výrobní technologie</i>	250 nm	<i>Vertex Shader (ver., počet)</i>	-
<i>Počet tranzistorů</i>	15 mil.	<i>Chlazení</i>	Pasivní

Tabulka 25 – Naměřené hodnoty Nvidia Riva TNT2 M64 (verze s pasivním chlazením)

<i>Spotřeba sestavy v klidu [W]</i>	80	<i>Spotřeba sestavy v zátěži [W]</i>	93,5
<i>Teplota GPU v klidu [°C]</i>	56	<i>Teplota GPU v zátěži [°C]</i>	57
<i>Průměrné FPS Doom</i>	32,2	<i>Průměr FPS Quake</i>	18,6
<i>Průměrné FPS Duke Nukem 3D</i>	35	<i>Průměrné FPS Test 3D (DirectX)</i>	22
<i>Průměrné FPS Test 3D (OpenGL)</i>	22	<i>WinGod Benchmark skóre</i>	106
<i>3DMark Skóre</i>	-	<i>Podpora všech testů 3DMark</i>	-

Tabulka 26 – Přehled výsledků WinGOD Benchmark Nvidia Riva TNT2 M64 (verze s pasivním chlazením)

	<i>Obdélníky</i>	<i>Elipsy</i>	<i>Pixely</i>	<i>Horizontály</i>	<i>Vertikály</i>	<i>Rotace</i>
<i>Operaci/s</i>	8287	9620	714 565	10 109	6 153	1 411

Tabulka 27 – Přehled výsledků Dr. Hardware 2001 Nvidia Riva TNT2 M64 (verze s pasivním chlazením)

	<i>BitBlt MPx/s</i>	<i>PaintRgn MPx/s</i>	<i>Bitmaps/s</i>	<i>Icons/s</i>	<i>Chars/s</i>	<i>Polygons/s</i>
<i>Výsledek</i>	9	18	143	559	29 539	25 910

6.4.6 Nvidia Riva TNT M64



Obrázek 45 – Nvidia Riva TNT M64

Tabulka 28 – Parametry Nvidia Riva TNT M64

<i>Takt GPU [MHz]</i>	125	<i>Maximální rozlišení</i>	1920x1200
<i>Grafický čip</i>	Riva TNT2 M64	<i>Vstupy/Výstupy</i>	D-SUB
<i>Typ paměti</i>	SDRAM	<i>Podpora DirectX</i>	DirectX 6
<i>Velikost paměti [MB]</i>	32	<i>Počet Shader jednotek</i>	0
<i>Frekvence paměti [MHz]</i>	125	<i>Pixel Fillrate</i>	0,3 Gpixel/s
<i>Šířka sběrnice [bit]</i>	64	<i>Texture Fillrate</i>	0,3 GTexel/s
<i>Šířka pásma</i>	1,0 GB/s	<i>ROPs</i>	2
<i>Rozhraní sběrnice</i>	PCI	<i>Pixel Shader (ver., počet)</i>	-
<i>Výrobní technologie</i>	250 nm	<i>Vertex Shader (ver., počet)</i>	-
<i>Počet tranzistorů</i>	15 mil.	<i>Chlazení</i>	Aktivní

Tabulka 29 – Naměřené hodnoty Nvidia Riva TNT M64

<i>Spotřeba sestavy v klidu [W]</i>	84	<i>Spotřeba sestavy v zátěži [W]</i>	95
<i>Teplota GPU v klidu [°C]</i>	44	<i>Teplota GPU v zátěži [°C]</i>	46
<i>Průměrné FPS Doom</i>	43,6	<i>Průměr FPS Quake</i>	22,1
<i>Průměrné FPS Duke Nukem 3D</i>	57,0	<i>Průměrné FPS Test 3D (DirectX)</i>	139
<i>Průměrné FPS Test 3D (OpenGL)</i>	19	<i>WinGod Benchmark skóre</i>	278
<i>3DMark Skóre</i>	662	<i>Podpora všech testů 3DMark</i>	Ne

Tabulka 30 – Přehled výsledků WinGOD Benchmark Nvidia Riva TNT M64

	<i>Obdélníky</i>	<i>Elipsy</i>	<i>Pixely</i>	<i>Horizontály</i>	<i>Vertikály</i>	<i>Rotace</i>
<i>Operací/s</i>	67 384	37 305	389 456	111 751	22 436	1 526

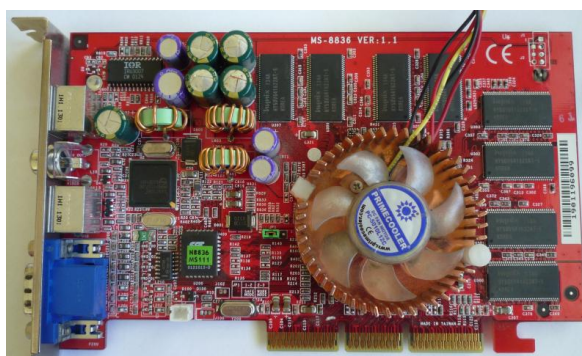
Tabulka 31 – Přehled výsledků Dr. Hardware 2001 Nvidia Riva TNT M64

	<i>BitBlt MPx/s</i>	<i>PaintRgn MPx/s</i>	<i>Bitmaps/s</i>	<i>Icons/s</i>	<i>Chars/s</i>	<i>Polygons/s</i>
<i>Výsledek</i>	49	189	1160	8319	233 269	33 013

Tabulka 32 – 3DMark 2001 Nvidia Riva TNT M64

<i>Hra 1, honička, nízké detaily [fps]</i>	11,2	<i>Point Sprites [MSprites/s]</i>	0,4
<i>Hra 1, honička, vysoké detaily [fps]</i>	6,5	<i>Mnoho polygonů (1 světlo) [MTriangles/s]</i>	1,7
<i>Hra 2, Dragothic, nízké detaily [fps]</i>	9,9	<i>Mnoho polygonů (8 světel) [MTriangles/s]</i>	1,8
<i>Hra 2, Dragothic, vysoké detaily [fps]</i>	4,5	<i>Prostředí, bump mapping [fps]</i>	-
<i>Hra 3, Lobby, nízké detaily [fps]</i>	10,5	<i>DOT3, bump mapping [fps]</i>	-
<i>Hra 3, Lobby, vysoké detaily [fps]</i>	6,3	<i>Vertex Shader [fps]</i>	6,5
<i>Hra 4, příroda [fps]</i>	-	<i>Pixel Shader [fps]</i>	-
<i>Fill Rate (Single-Texturing) [MTexels/s]</i>	83,1	<i>Pokočilý Pixel Shader [fps]</i>	-
<i>Fill Rate (Multi-Texturing) [MTexels/s]</i>	95,9	<i>Celkové skóre</i>	662

6.4.7 Nvidia GeForce2 Ti



Obrázek 46 – Nvidia GeForce2 Ti

Tabulka 33 – Parametry Nvidia GeForce2 Ti

<i>Takt GPU [MHz]</i>	250	<i>Maximální rozlišení</i>	2048 x 1536
<i>Grafický čip</i>	GeForce2 Ti	<i>Vstupy/Výstupy</i>	S-Video (out, in, Composite), D-SUB,
<i>Typ paměti</i>	DDR	<i>Podpora DirectX</i>	DirectX 7
<i>Velikost paměti [MB]</i>	64	<i>Počet Shader jednotek</i>	4
<i>Frekvence paměti [MHz]</i>	400	<i>Pixel Fillrate</i>	1,0 GPixel/s
<i>Šířka sběrnice [bit]</i>	128	<i>Texture Fillrate</i>	1,0 GTexel/s
<i>Šířka pásma</i>	6,4 GB/s	<i>ROPs</i>	4
<i>Rozhraní sběrnice</i>	AGP 4x	<i>Pixel Shader (ver., počet)</i>	Verze 0.5, 4
<i>Výrobní technologie</i>	150 nm	<i>Vertex Shader (ver., počet)</i>	-
<i>Počet tranzistorů</i>	25 mil.	<i>Chlazení</i>	Aktivní

Tabulka 34 – Naměřené hodnoty Nvidia GeForce2 Ti

<i>Spotřeba sestavy v klidu [W]</i>	95	<i>Spotřeba sestavy v zátěži [W]</i>	122
<i>Teplota GPU v klidu [°C]</i>	39	<i>Teplota GPU v zátěži [°C]</i>	41
<i>Průměrné FPS Doom</i>	50,4	<i>Průměr FPS Quake</i>	26,7
<i>Průměrné FPS Duke Nukem 3D</i>	60	<i>Průměrné FPS Test 3D (DirectX)</i>	324
<i>Průměrné FPS Test 3D (OpenGL)</i>	61	<i>WinGod Benchmark skóre</i>	622
<i>3DMark Skóre</i>	4247	<i>Podpora všech testů 3DMark</i>	Ne

Tabulka 35 – Přehled výsledků WinGOD Benchmark Nvidia GeForce2 Ti

	<i>Obdélníky</i>	<i>Elipsy</i>	<i>Pixely</i>	<i>Horizontály</i>	<i>Vertikály</i>	<i>Rotace</i>
<i>Operací/s</i>	212 628	33 058	479 879	163467	140 863	25 519

Tabulka 36 – Přehled výsledků Dr. Hardware 2001 Nvidia GeForce2 Ti

	<i>BitBlt MPx/s</i>	<i>PaintRgn MPx/s</i>	<i>Bitmaps/s</i>	<i>Icons/s</i>	<i>Chars/s</i>	<i>Polygons/s</i>
<i>Výsledek</i>	96	340	1645	43 946	932 286	61 203

Tabulka 37 – 3DMark 2001 Nvidia GeForce2 Ti

<i>Hra 1, honička, nízké detaily [fps]</i>	81,9	<i>Point Sprites [MSprites/s]</i>	8,6
<i>Hra 1, honička, vysoké detaily [fps]</i>	32,0	<i>Mnoho polygonů (1 světlo) [MTriangles/s]</i>	18,7
<i>Hra 2, Dragothic, nízké detaily [fps]</i>	67,5	<i>Mnoho polygonů (8 světel) [MTriangles/s]</i>	3,7
<i>Hra 2, Dragothic, vysoké detaily [fps]</i>	30,7	<i>Prostředí, bump mapping [fps]</i>	-
<i>Hra 3, Lobby, nízké detaily [fps]</i>	76,5	<i>DOT3, bump mapping [fps]</i>	46,7
<i>Hra 3, Lobby, vysoké detaily [fps]</i>	36,7	<i>Vertex Shader [fps]</i>	28,3
<i>Hra 4, příroda [fps]</i>	-	<i>Pixel Shader [fps]</i>	-
<i>Fill Rate (Single-Texturing) [MTexels/s]</i>	338,0	<i>Pokočilý Pixel Shader [fps]</i>	-
<i>Fill Rate (Multi-Texturing) [MTexels/s]</i>	637,2	<i>Celkové skóre</i>	4247

6.4.8 Nvidia GeForce FX 5200



Obrázek 47 – Nvidia GeForce FX 5200

Tabulka 38 – Parametry Nvidia GeForce FX 5200

<i>Takt GPU [MHz]</i>	250	<i>Maximální rozlišení:</i>	2048 x 1536
<i>Grafický čip</i>	GeForce FX-5200	<i>Vstupy/Výstupy</i>	DVI-I, D-SUB, S-Video (out)
<i>Typ paměti</i>	DDR	<i>Podpora DirectX</i>	9.0
<i>Velikost paměti [MB]</i>	128	<i>Počet Shader jednotek</i>	6
<i>Frekvence paměti [MHz]</i>	400	<i>Pixel Fillrate</i>	1.0 GPixel/s
<i>Šířka sběrnice [bit]</i>	64	<i>Texture Fillrate</i>	1.0 GTexel/s
<i>Šířka pásma</i>	2,3 GB/s	<i>ROPs</i>	4
<i>Rozhraní sběrnice</i>	AGP 8x	<i>Pixel Shader (ver., počet)</i>	4
<i>Výrobní technologie</i>	150 nm	<i>Vertex Shader (ver., počet)</i>	2
<i>Počet tranzistorů</i>	47 mil.	<i>Chlazení</i>	Pasivní

Tabulka 39 – Naměřené hodnoty Nvidia GeForce FX 5200

<i>Spotřeba sestavy v klidu [W]</i>	84	<i>Spotřeba sestavy v zátěži [W]</i>	100
<i>Teplota GPU v klidu [°C]</i>	68	<i>Teplota GPU v zátěži [°C]</i>	72
<i>Průměrné FPS Doom</i>	49,9	<i>Průměr FPS Quake</i>	25,8
<i>Průměrné FPS Duke Nukem 3D</i>	59	<i>Průměrné FPS Test 3D (DirectX)</i>	337
<i>Průměrné FPS Test 3D (OpenGL)</i>	61	<i>WinGod Benchmark skóre</i>	546
<i>3DMark Skóre</i>	3372	<i>Podpora všech testů 3DMark</i>	Ano

Tabulka 40 – Přehled výsledků WinGOD Benchmark Nvidia GeForce FX 5200

	<i>Obdélníky</i>	<i>Elipsy</i>	<i>Pixely</i>	<i>Horizontály</i>	<i>Vertikály</i>	<i>Rotace</i>
<i>Operací/s</i>	193 024	32 736	500 573	155 200	52 414	62 857

Tabulka 41 – Přehled výsledků Dr. Hardware 2001 Nvidia GeForce FX 5200

	<i>BitBlit MPx/s</i>	<i>PaintRgn MPx/s</i>	<i>Bitmaps/s</i>	<i>Icons/s</i>	<i>Chars/s</i>	<i>Polygons/s</i>
<i>Výsledek</i>	78	337	1599	13 209	659 231	42 102

Tabulka 42 – 3DMark 2001 Nvidia GeForce FX 5200

<i>Hra 1, honička, nízké detaily [fps]</i>	44,9	<i>Point Sprites [MSprites/s]</i>	5,9
<i>Hra 1, honička, vysoké detaily [fps]</i>	25,9	<i>Mnoho polygonů (1 světlo) [MTriangles/s]</i>	19,8
<i>Hra 2, Dragothic, nízké detaily [fps]</i>	48,5	<i>Mnoho polygonů (8 světel) [MTriangles/s]</i>	3,1
<i>Hra 2, Dragothic, vysoké detaily [fps]</i>	33,8	<i>Prostředí, bump mapping [fps]</i>	40,9
<i>Hra 3, Lobby, nízké detaily [fps]</i>	50,3	<i>DOT3, bump mapping [fps]</i>	26,5
<i>Hra 3, Lobby, vysoké detaily [fps]</i>	28,1	<i>Vertex Shader [fps]</i>	28,9
<i>Hra 4, příroda [fps]</i>	9,0	<i>Pixel Shader [fps]</i>	33,9
<i>Fill Rate (Single-Texturing) [MTexels/s]</i>	215,4	<i>Pokočilý Pixel Shader [fps]</i>	24,7
<i>Fill Rate (Multi-Texturing) [MTexels/s]</i>	271,4	<i>Celkové skóre</i>	3372

6.4.9 Nvidia GeForce4 MX 440



Obrázek 48 – Nvidia GeForce4 MX 440

Tabulka 43 – Parametry Nvidia GeForce4 MX 440

<i>Takt GPU [MHz]</i>	270	<i>Maximální rozlišení:</i>	2048x1536
<i>Grafický čip</i>	GeForce 4 MX	<i>Vstupy/Výstupy</i>	DVI-I, D-SUB, S-Video (out)
<i>Typ paměti</i>	DDR	<i>Podpora DirectX</i>	DirectX 7
<i>Velikost paměti [MB]</i>	64	<i>Počet Shader jednotek</i>	2
<i>Frekvence paměti [MHz]</i>	405	<i>Pixel Fillrate</i>	0,5 GPixel/s
<i>Šířka sběrnice [bit]</i>	128	<i>Texture Fillrate</i>	0,5 GTexel/s
<i>Šířka pásma</i>	6,5 GB/s	<i>ROPs</i>	2
<i>Rozhraní sběrnice</i>	AGP 4x	<i>Pixel Shader (ver., počet)</i>	-
<i>Výrobní technologie</i>	150 nm	<i>Vertex Shader (ver., počet)</i>	Verze 1.1, 2
<i>Počet tranzistorů</i>	29 mil.	<i>Chlazení</i>	Aktivní

Tabulka 44 – Naměřené hodnoty Nvidia GeForce4 MX 440

<i>Spotřeba sestavy v klidu [W]</i>	80,5	<i>Spotřeba sestavy v zátěži [W]</i>	118,5
<i>Teplota GPU v klidu [°C]</i>	31	<i>Teplota GPU v zátěži [°C]</i>	42
<i>Průměrné FPS Doom</i>	56,1	<i>Průměr FPS Quake</i>	28,2
<i>Průměrné FPS Duke Nukem 3D</i>	59	<i>Průměrné FPS Test 3D (DirectX)</i>	317
<i>Průměrné FPS Test 3D (OpenGL)</i>	58	<i>WinGod Benchmark skóre</i>	630
<i>3DMark Skóre</i>	4690	<i>Podpora všech testů 3DMark</i>	Ne

Tabulka 45 – Přehled výsledků WinGOD Benchmark Nvidia GeForce4 MX 440

	<i>Obdélníky</i>	<i>Elipsy</i>	<i>Pixely</i>	<i>Horizontály</i>	<i>Vertikály</i>	<i>Rotace</i>
Operací/s	219 489	33 949	491 784	162 628	140 304	25 560

Tabulka 46 – Přehled výsledků Dr. Hardware 2001 Nvidia GeForce4 MX 440

	<i>BitBlt MPx/s</i>	<i>PaintRgn MPx/s</i>	<i>Bitmaps/s</i>	<i>Icons/s</i>	<i>Chars/s</i>	<i>Polygons/s</i>
Výsledek	95	340	1633	43316	921 876	61 301

Tabulka 47 – 3DMark 2001 Nvidia GeForce4 MX 440

<i>Hra 1, honička, nízké detaily [fps]</i>	93,5	<i>Point Sprites [MSprites/s]</i>	9,6
<i>Hra 1, honička, vysoké detaily [fps]</i>	33,7	<i>Mnoho polygonů (1 světlo) [MTriangles/s]</i>	24,1
<i>Hra 2, Dragothic, nízké detaily [fps]</i>	75,5	<i>Mnoho polygonů (8 světel) [MTriangles/s]</i>	4,3
<i>Hra 2, Dragothic, vysoké detaily [fps]</i>	32,5	<i>Prostředí, bump mapping [fps]</i>	-
<i>Hra 3, Lobby, nízké detaily [fps]</i>	88,1	<i>DOT3, bump mapping [fps]</i>	59,9
<i>Hra 3, Lobby, vysoké detaily [fps]</i>	39,8	<i>Vertex Shader [fps]</i>	28,6
<i>Hra 4, příroda [fps]</i>	-	<i>Pixel Shader [fps]</i>	-
<i>Fill Rate (Single-Texturing) [MTexels/s]</i>	450,1	<i>Pokočilý Pixel Shader [fps]</i>	-
<i>Fill Rate (Multi-Texturing) [MTexels/s]</i>	856,7	<i>Celkové skóre</i>	4690

6.4.10 ATI Radeon 9600SE



Obrázek 49 – ATI Radeon 9600SE

Tabulka 48 – Parametry ATI Radeon 9600SE

Takt GPU [MHz]	325	Maximální rozlišení:	2048 x 1536
Grafický čip	Radeon 9600 SE	Vstupy/Výstupy	DVI-I, D-SUB, S-Video (out)
Typ paměti	DDR	Podpora DirectX	DirectX 9.0
Velikost paměti [MB]	128	Počet Shader jednotek	4
Frekvence paměti [MHz]	400	Pixel Fillrate	1,3 GPixel/s
Šířka sběrnice [bit]	64	Texture Fillrate	1,3 GTexel/s
Šířka pásma	3,1 GB/s	ROPs	4
Rozhraní sběrnice	AGP 8x	Pixel Shader (ver., počet)	Verze 2, 4
Výrobní technologie	130 nm	Vertex Shader (ver., počet)	Verze 2, 2
Počet tranzistorů	76 mil.	Chlazení	Pasivní

Tabulka 49 – Naměřené hodnoty ATI Radeon 9600SE

Spotřeba sestavy v klidu [W]	80	Spotřeba sestavy v zátěži [W]	110
Teplota GPU v klidu [°C]	31	Teplota GPU v zátěži [°C]	36
Průměrné FPS Doom	44,2	Průměr FPS Quake	26,8
Průměrné FPS Duke Nukem 3D	60	Průměrné FPS Test 3D (DirectX)	285
Průměrné FPS Test 3D (OpenGL)	207	WinGod Benchmark skóre	578
3DMark Skóre	5805	Podpora všech testů 3DMark	Ano

Tabulka 50 – Přehled výsledků WinGOD Benchmark ATI Radeon 9600SE

	Obdélníky	Elipsy	Pixely	Horizontály	Vertikály	Rotace
Operací/s	199 044	47 786	586 805	161 020	58 834	53 580

Tabulka 51 – Přehled výsledků Dr. Hardware 2001 ATI Radeon 9600SE

	BitBlit MPx/s	PaintRgn MPx/s	Bitmaps/s	Icons/s	Chars/s	Polygons/s
Výsledek	93	549	1 938	10 509	613 618	51 625

Tabulka 52 – 3DMark 2001 ATI Radeon 9600SE

Hra 1, honička, nízké d. [fps]	77,6	Point Sprites [MSprites/s]	8,1
Hra 1, honička, vysoké d. [fps]	37,2	Mnoho polygonů (1 světlo) [MTriangles/s]	26,1
Hra 2, Dragothic, nízké detaily [fps]	87,7	Mnoho polygonů (8 světla) [MTriangles/s]	7,7
Hra 2, Dragothic, vysoké detaily [fps]	57,8	Prostředí, bump mapping [fps]	96,8
Hra 3, Lobby, nízké detaily [fps]	82,9	DOT3, bump mapping [fps]	52,5
Hra 3, Lobby, vysoké detaily [fps]	43,7	Vertex Shader [fps]	73,9
Hra 4, příroda [fps]	27,4	Pixel Shader [fps]	88,8
Fill Rate (Single-Texturing) [MTexels/s]	371,3	Pokočilý Pixel Shader [fps]	60,4
Fill Rate (Multi-Texturing) [MTexels/s]	1249,4	Celkové skóre	5805

6.4.11 ATI Radeon HD 5850



Obrázek 50 – ATI Radeon HD 5850

Tabulka 53 – Parametry ATI Radeon HD 5850

Takt GPU [MHz]	725	Maximální rozlišení:	2560x1600
Grafický čip	Radeon HD 5850	Vstupy/Výstupy	DVI-I , HDMI, DisplayPort
Typ paměti	GDDR5	Podpora DirectX	DirectX 11
Velikost paměti [MB]	1024	Počet Shader jednotek	1440
Frekvence paměti [MHz]	4000	Pixel Fillrate	23.2 GPixel/s
Šířka sběrnice [bit]	256	Texture Fillrate	52.2 GTexel/s
Šířka pásma	128 GB/s	ROPs	32
Rozhraní sběrnice	PCI Express 2.1, x16	Pixel Shader (ver., počet)	Verze 5, 1440
Výrobní technologie	40 nm	Vertex Shader (ver., počet)	Verze 5, 1440
Počet tranzistorů	2154 mil.	Chlazení	Aktivní

Tabulka 54 – Naměřené hodnoty ATI Radeon HD 5850

Spotřeba sestavy v klidu [W]	124	Spotřeba sestavy v zátěži [W]	257
Teplota GPU v klidu [°C]	47	Teplota GPU v zátěži [°C]	74
Průměrné FPS Doom	193,7	Průměr FPS Quake	106,8
Průměrné FPS Duke Nukem 3D	264	Průměrné FPS Test 3D (DirectX)	833
Průměrné FPS Test 3D (OpenGL)	1582	WinGod Benchmark skóre	618
3DMark Skóre	45851	Podpora všech testů 3DMark	Ano

Tabulka 55 – Přehled výsledků WinGOD Benchmark ATI Radeon HD 5850

	Obdélníky	Elipsy	Pixely	Horizontály	Vertikály	Rotace
Operací/s	151 788	98 728	161 315	153 293	150 611	48 028

Tabulka 56 – Přehled výsledků Dr. Hardware 2001 ATI Radeon HD 5850

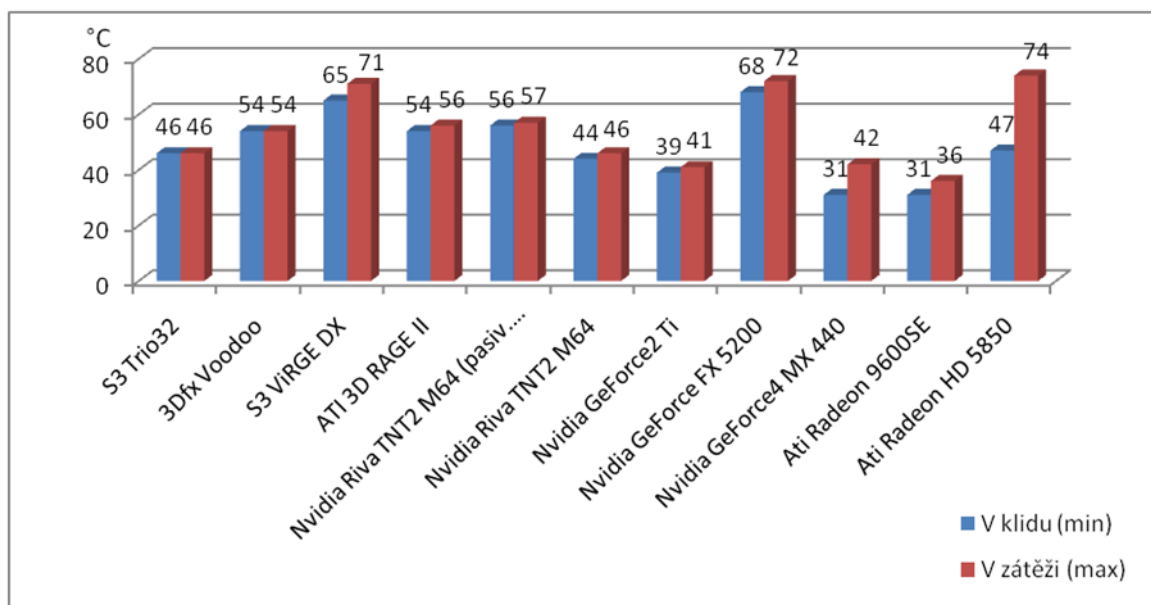
	BitBlt MPx/s	PaintRgn MPx/s	Bitmaps/s	Icons/s	Chars/s	Polygons/s
Výsledek	763	422	12 975	12 455	1 142 860	41 577

Tabulka 57 – 3DMark 2001 ATI Radeon HD 5850

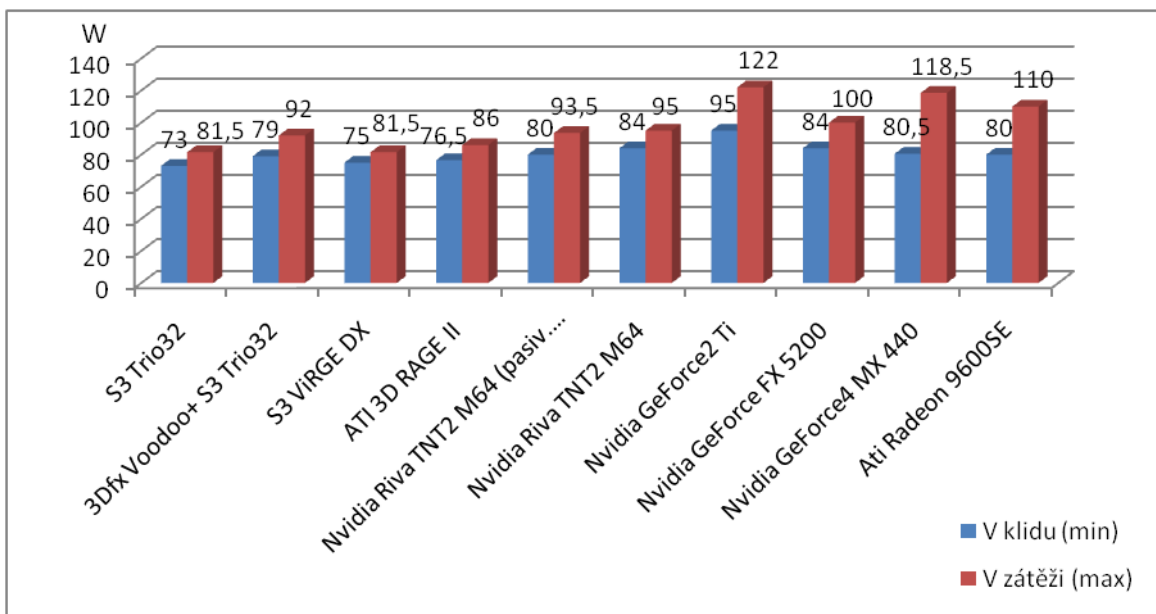
Hra 1, honička, nízké d. [fps]	526,3	Point Sprites [MSprites/s]	315,3
Hra 1, honička, vysoké d. [fps]	156,4	Mnoho polygonů (1 světlo) [MTriangles/s]	523,1
Hra 2, Dragothic, nízké detaily [fps]	704,1	Mnoho polygonů (8 světel) [MTriangles/s]	251,3
Hra 2, Dragothic, vysoké detaily [fps]	383,4	Prostředí, bump mapping [fps]	896,2
Hra 3, Lobby, nízké detaily [fps]	577,4	DOT3, bump mapping [fps]	825,5
Hra 3, Lobby, vysoké detaily [fps]	262,3	Vertex Shader [fps]	472,2
Hra 4, příroda [fps]	586,3	Pixel Shader [fps]	517,4
Fill Rate (Single-Texturing) [MTexels/s]	13659,7	Pokočilý Pixel Shader [fps]	2580,3
Fill Rate (Multi-Texturing) [MTexels/s]	47316,8	Celkové skóre	45851

6.5 Souhrnné grafy

Tyto grafy poskytují naměřená data v přehlednější podobě. V některých grafech je uvedena karta Ati Radeon HD 5850 zvlášť, protože příliš vysoké naměřené hodnoty by znehlednily sloupcové grafy. Tato grafická karta byla testována v jiné sestavě, a tak je vhodné uvádět jí pro porovnání v jiném grafu.

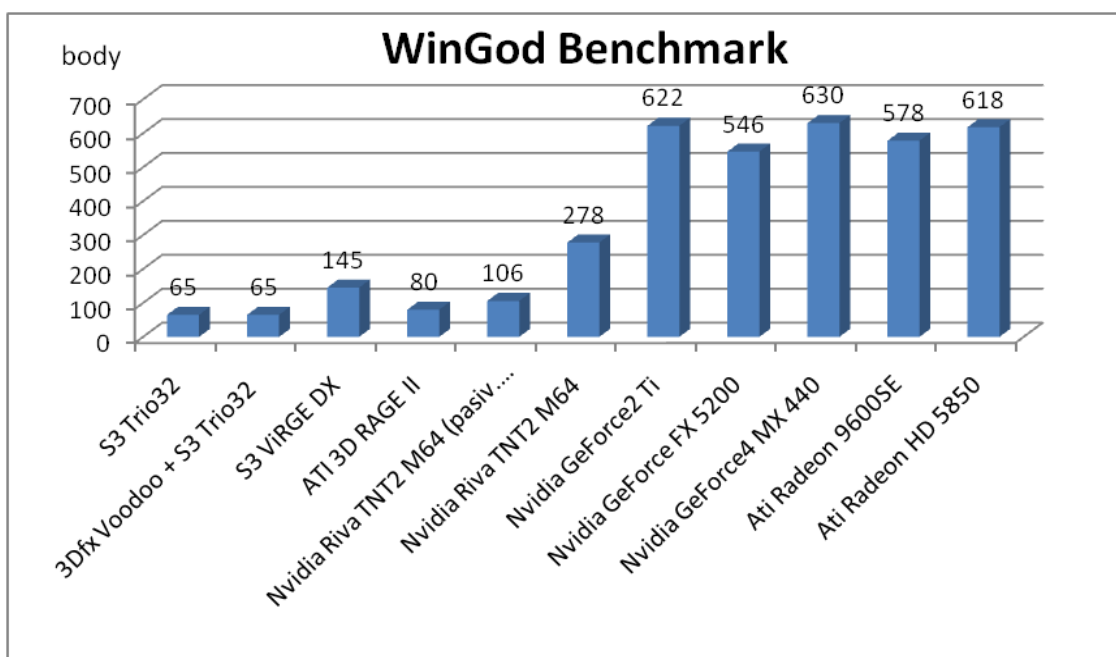


Obrázek 51 – Přehled teplot GPU

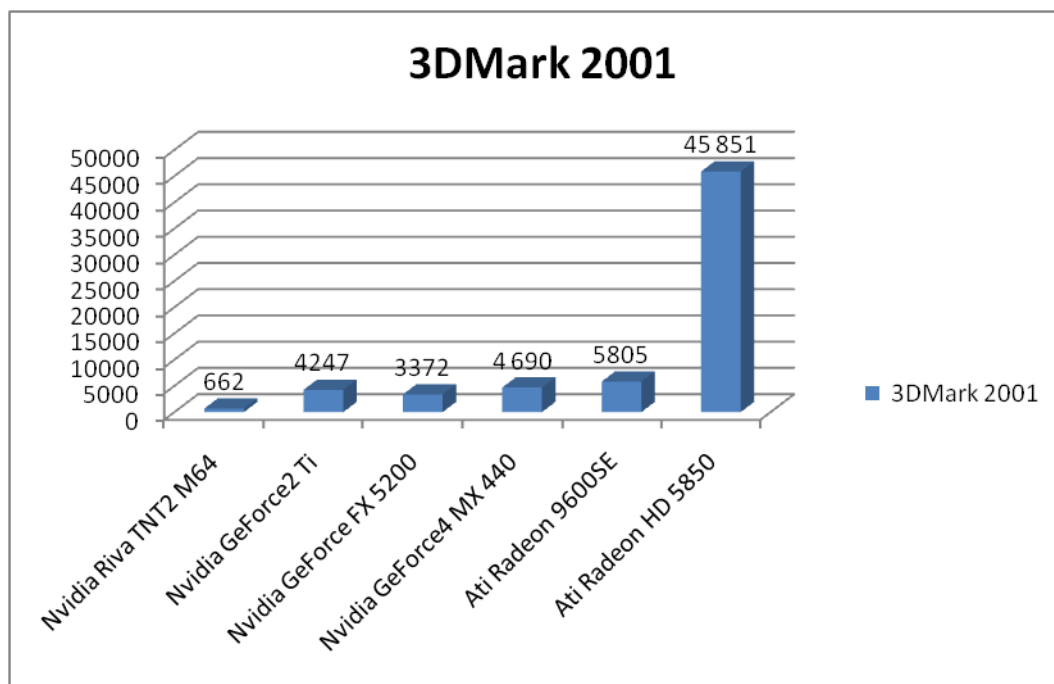


Obrázek 52 – Přehled spotřeby PC

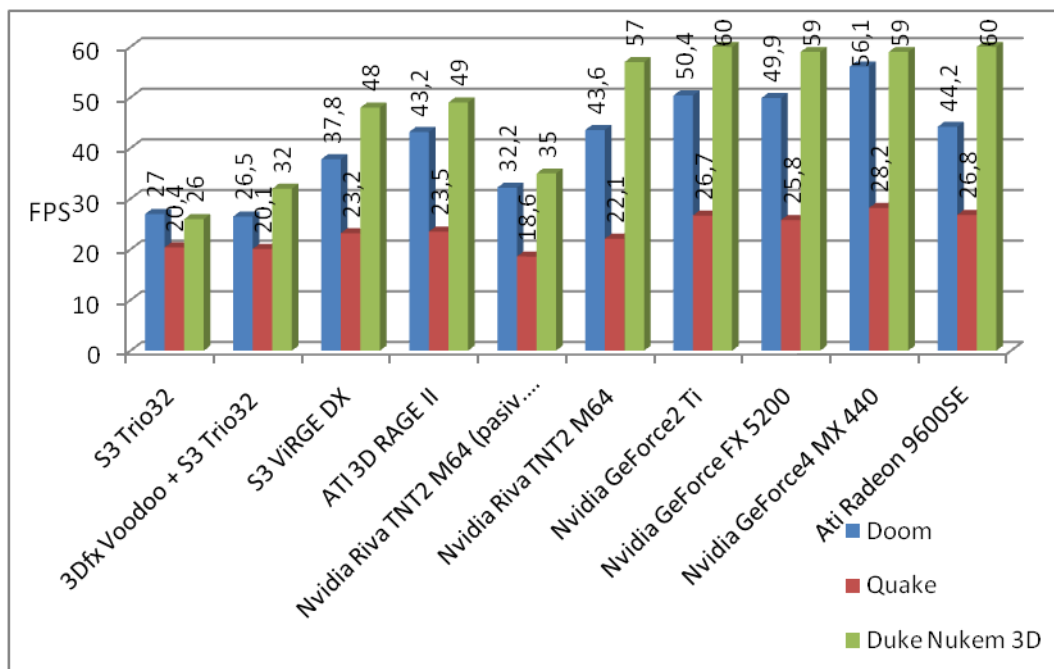
- Spotřeba **Ati Radeon HD 5850**: V klidu **124 W**, maximum v zátěži **257 W** (testováno na jiné sestavě, proto není uvedeno v grafu)



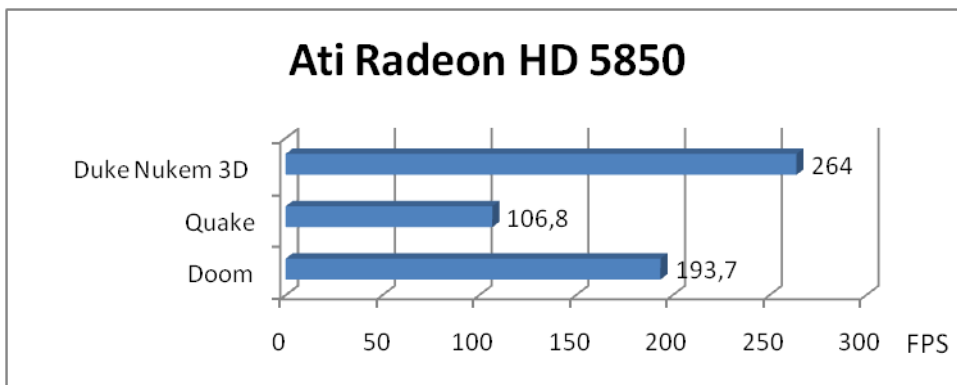
Obrázek 53 – Porovnání dosažených bodů v aplikaci WinGOD Benchmark



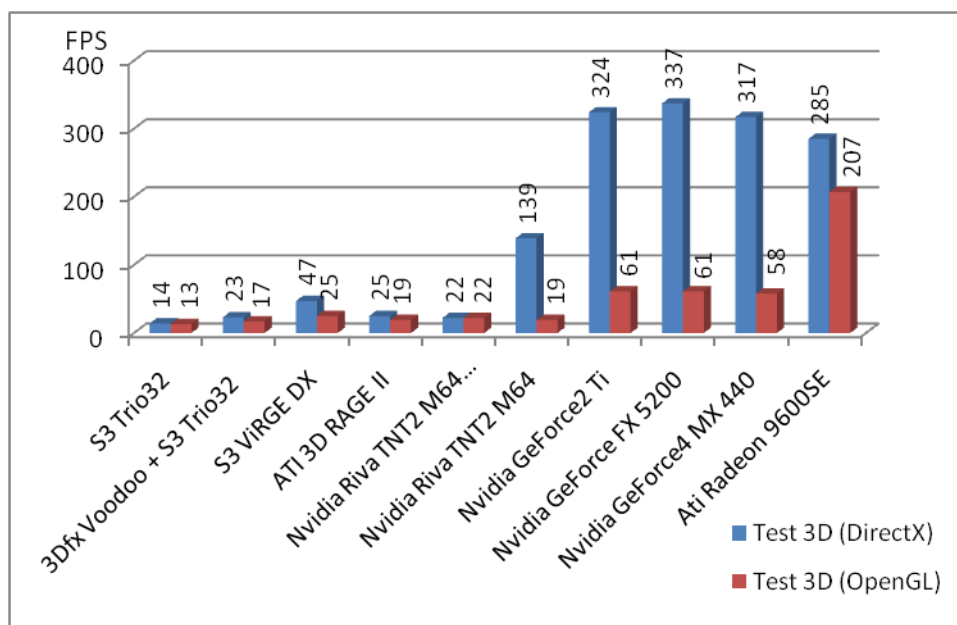
Obrázek 54 – Porovnání dosaženého skóre v aplikaci 3DMark 2001



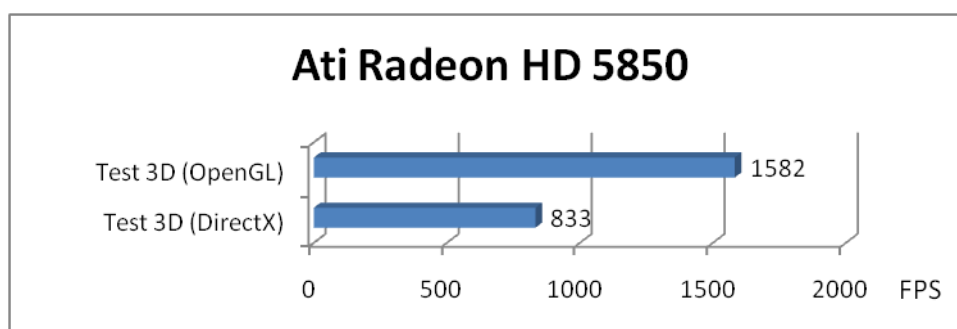
Obrázek 55 – Porovnání počtů snímků z her emulovaných programem DosBOX



Obrázek 56 – Porovnání počtů snímků z her emulovaných programem DosBOX (Radeon 5850)



Obrázek 57 – Výkon grafických karet v aplikaci Test 3D



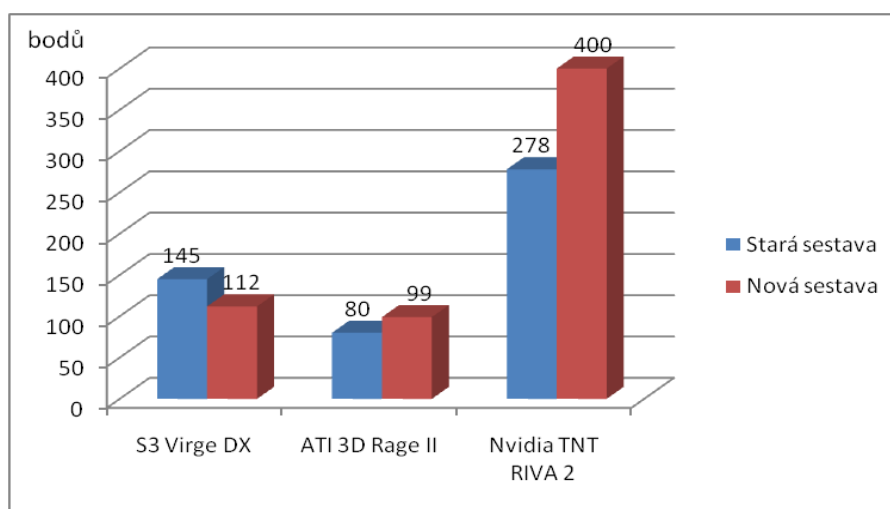
Obrázek 58 – Výkon Ati Radeon HD 5850 v aplikaci Test 3D

7 Vliv ostatních součástí PC na výkon grafické karty

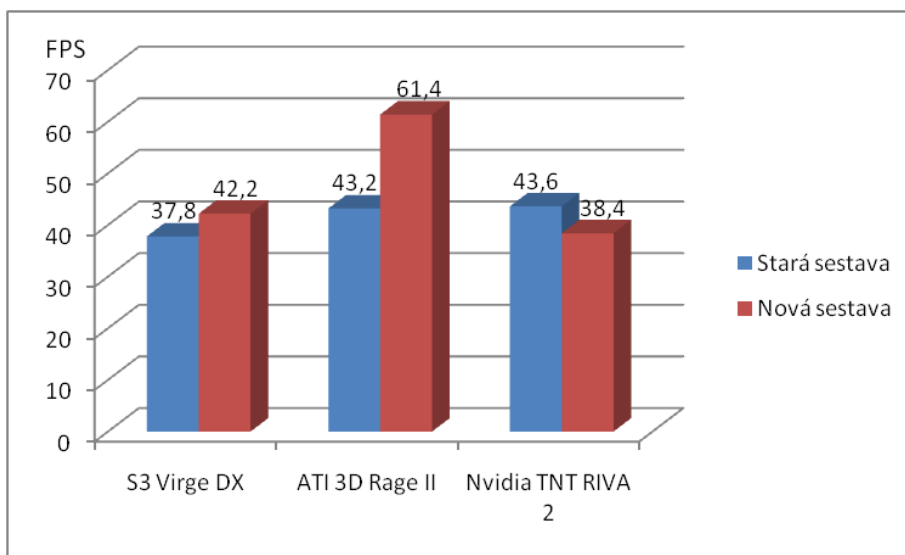
V této části jsou porovnávány grafické karty, které byly testovány nejprve ve starší PC sestavě 1, a poté v nové sestavě 2. Konfigurace obou sestav je uvedena v kapitole 6.1. Testovány byly pouze vybrané grafické karty do slotu PCI, ten se jako jediný nacházel na obou počítačích.

Z grafů uvedených níže vyplývá, že nová sestava většinou skutečně přidá výkon i starší grafické kartě. To platí za předpokladů, že chipset nové základní desky je schopen s daným grafickým adaptérem komunikovat. Např. u staré karty S3 Trio32 systém nezvládnul nainstalovat ovladače. Nic na tom nezměnilo ani to, pokud byly nainstalovány ručně. V tomto režimu bez ovladačů karta umožňovala rozlišení pouze 640x480, při barevné hloubce 8 bitů. Navíc ani práce se základními okny Windows XP nebyla plynulá, a tak byl test této karty vypuštěn.

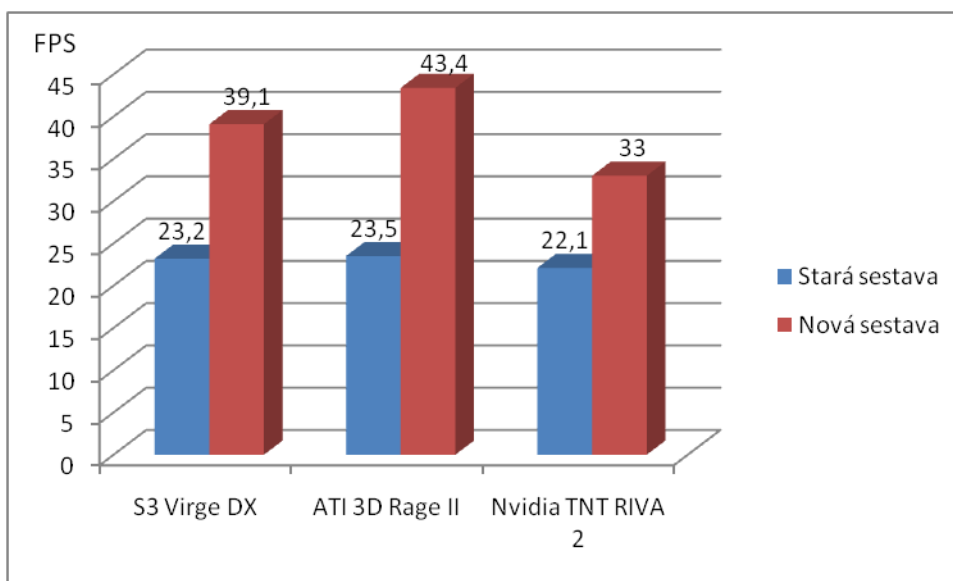
- Na níže uvedených grafech je vidět, že na nové sestavě jsou většinou grafické karty znatelně výkonnější. V tomto případě platí, čím výkonnější je karta, tím větší je rozdíl. Vyskytují se však i případy, kdy ve staré sestavě byla karta efektivnější. Může to být např. špatnou komunikací s chipsetem nové základní desky, nebo horší podporou aplikací.



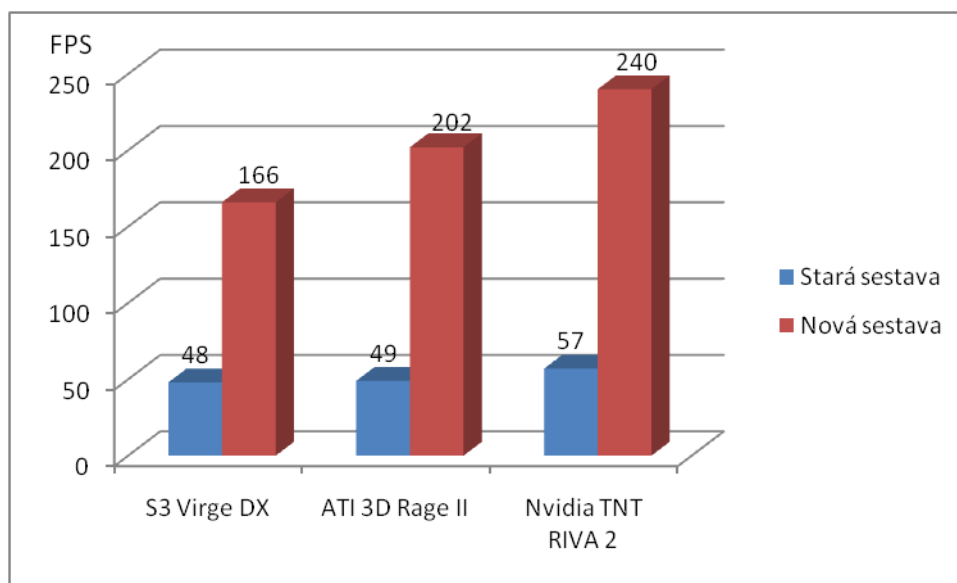
Obrázek 59 – Vliv PC sestavy na výkon grafické karty – WinGOD Benchmark



Obrázek 60 – Vliv PC sestavy na výkon grafické karty – Doom



Obrázek 61 – Vliv PC sestavy na výkon grafické karty – Quake



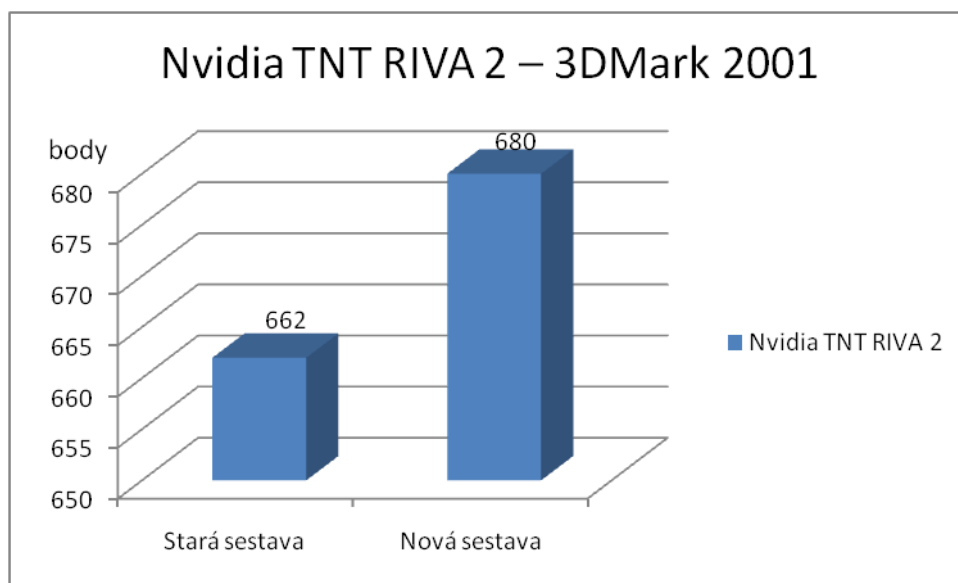
Obrázek 62 – Vliv PC sestavy na výkon grafické karty – Duke Nukem 3D

- Na hře Duke Nukem 3D je patrné, že v tomto případě většinu práce při zpracování grafiky zastane procesor.

Tabulka 58 – Vliv sestavy na výkon grafické karty – Dr. Hardware 2001

Sloupec1	S3 Virge DX	ATI 3D Rage II	Nvidia TNT RIVA 2
BitBlit [MPx/s] – staré PC	20	18	49
BitBlit [MPx/s] – nové PC	14	20	40
PaintRgn [MPx/s] – staré PC	104	25	189
PaintRgn [MPx/s] – nové PC	92	91	210
Bitmaps/s – staré PC	439	262	1160
Bitmaps/s – nové PC	237	338	955
Icons/s – staré PC	390	806	8 319
Icons/s – nové PC	201	2707	10 769
Chars/s – staré PC	122 221	45 737	233 269
Chars/s – nové PC	85 647	111 609	280 270
Polygons/s – staré PC	28 861	24 090	33 013
Polygons/s – nové PC	21 078	33 345	72 776

- Tabulka 57 ukazuje, že stará karta S3 Virge DX, byla efektivnější ve staré sestavě.



Obrázek 63 – Vliv PC sestavy na výkon grafické karty – 3DMark 2001

- Z testovaných karet pouze jedna umožnila spustit testovací aplikaci 3DMark 2001. Podmínkou je totiž alespoň 32 MB grafické paměti. Z tohoto testu vyplývá, že výkon procesoru do jisté míry napomáhá ve výkonu starších grafických karet.

8 Závěr

Tato bakalářská práce zhruba shrnuje vývoj grafických karet na počítačích typu IBM PC. Během tvorby jsem si uvědomil, jak neuvěřitelně rozsáhlé je toto téma. O tomto odvětví by se dala sepsat několika set stránková publikace. Grafická karta v sobě zahrnuje složitý systém, který svojí výkonností předčí mnoho dnešních procesorů. Také proto se dnes grafické karty využívají i k negrafickým operacím. Toto odvětví se vyvíjí mílovými kroky. Dnešní grafické karty se nám mohou zdát až příliš výkonné, avšak za pár let se nad tímto „výkonem“ jenom pousmějeme. Neustále totiž narůstá složitost a propracovanost grafických i jiných aplikací náročných na výpočty grafické karty i celého počítače. Kdo by dříve tušil, že počítačové hry se někdy budou tolik podobat realitě.

Grafické karty dříve sloužily spíše pro vědecké účely či pro profesionální využití. Dnes je hlavním odběratelem herní průmysl. Ten také udržuje stále rostoucí výkon grafických akceleratorů. Dnešní hráči počítačových her, neváhají utratit nemalé peníze za tento hardware, který zaručuje plynulý chod, a nejvyšší kvalitu z jejich herníhožitku. Zastarání grafických karet je při tom otázkou pár let. To zajišťuje výrobcům dostatečný přísun financí na nový výzkum, a výrobu ještě výkonnějších akceleratorů.

V praktické části je patrný velký nárůst výkonu u dnešních grafických karet v porovnání s prvními grafickými čipy. S tím se zvyšuje spotřeba elektrické energie i množství vyzářeného tepla, které je nutné odvádět výkonnými chladiči. Není však třeba mít obavy, že takové neekonomické kusy hardwaru si může málokdo dovolit. Dnešní uživatel si může sám zvolit, zda si připlatí za výkon, či zvolí směr úspornějších řešení. Jednou z nich je také zmiňovaný grafický čip přímo na procesoru počítače. Ten přináší přijatelný výkon při velice nízké spotřebě.

Při testování jsem narazil zejména na problém, že staré grafické karty nelze otestovat libovolným dnešním softwarem, a získat informace o jejich parametrech je také mnohdy problém. Nejeefektivnější je dnes testování karet přímo při herních scénách nejnáročnějších her. Tomu však nevyhovují parametry starých akceleratorů, a tak bylo nutné použít alternativní způsoby testování. V dnešní době jsem se nesetkal s nikým, kdo by porovnával výkon dnešních grafických karet s již historickými kusy, či testoval staré kusy těchto adaptérů na dnešních strojích. Věřím, že alespoň v tomto je moje práce unikátní.

Literatura

- [1] *Grafická karta* [online]. 2011. [cit. 2011-03-17]. *Wikipedie, otevřená encyklopedie*, Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Grafick%C3%A1_karta>.
- [2] **MASOOD , Jawad**. PCI Express 3.0 Specifications [online]. 2010-11-19 [cit. 2011-03-14]. *Hardwareinsight*. Dostupné z WWW: <<http://www.hardwareinsight.com/pci-express-3-0-specifications/>>.
- [3] *Grafické adaptéry* [online]. 11. 09. 2007 [cit. 2011-23-04]. MARKOnet. Dostupné z WWW: <<http://www.markonet.cz/pages/vyuka/principy-pocitacu/graficke-adapttery.php>>.
- [4] *RGB* [online]. 2011 [cit. 2011-04-24]. *Wikipedie*. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/RGB>>.
- [5] **PFEFFER, Tomáš**. *30-bitová barevná hloubka na dosah?* [online]. 31. 1. 2010 [cit. 2011-04-24]. Tomas.pfeffer. Dostupné z WWW: <<http://tomas.pfeffer.cz/index.php/30-bitova-barevna-hloubka-na-dosah/>>.
- [6] *Monitory* [online]. c2011 [cit. 2011-04-23]. *Hardware.mysteria*. Dostupné z WWW: <<http://hardware.mysteria.cz/data/monitor.htm>>
- [7] *Jak vybrat správný monitor* [online]. 29. 01. 2010 [cit. 2011-04-20]. *Recenze.okamzite*. Dostupné z WWW: <<http://www.recenze.okamzite.eu/articles/jak-vybrat-spravny-monitor/>>.
- [8] *Monitory – CRT, TFT, plasmové* [online]. [cit. 2011-04-22]. *Geoinformatics.upol*. Dostupné z WWW: <<http://www.geoinformatics.upol.cz/app/prostredkygis/hardware/HW/monitory1.htm>>.
- [9] *Princip fungování LCD* [online]. c2008 [cit. 2011-04-20]. *Lcd-monitory*. Dostupné z WWW: <<http://www.lcd-monitory.net/jak-funguje-lcd/>>.
- [10] *Displej z tekutých krystalů* [online]. 2011 [cit. 2011-04-21]. *Wikipedie, otevřená encyklopedie*. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Displej_z_tekut%C3%BDch_krystal%C5%AF>.
- [11] *Dle čeho vybírat LCD* [online]. 24. 02. 2006 [cit. 2011-04-23]. *VSEOHW*. Dostupné z WWW: <<http://vseohw.net/clanky/tipy/vyber-lcd>>.
- [12] **RUSSELL, Sean**. *Computer Graphics Card History* [online]. 2010-08-23 [cit. 2011-03-02]. *Ehow*. Dostupné z WWW: <http://www.ehow.com/facts_6881912_computer-graphics-card-history.html>.
- [13] *Historie grafických karet* [online]. 2009-08-02 [cit. 2011-03-02]. *Gamepark*. Dostupné z WWW: <http://www.gamepark.cz/historie_grafickykh_karet_86149.htm>.

- [14] *GPU* [online]. 2011 [cit. 2011-03-04]. Wikipedie, otevřená encyklopedie. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/GPU>>.
- [15] **TIŠNOVSKÝ, Pavel.** *Karta EGA: první použitelná barevná grafika na PC* [online]. 29,10,2009 [cit. 2011-03-05]. Root. Dostupné z WWW: <<http://www.root.cz/clanky/karta-ega-prvni-pouzitelna-barevna-grafika-na-pc/>>.
- [16] *Hwlegendshack* [online]. c2005-2011 [cit. 2011-03-08]. Dostupné z WWW: <http://www.hwlegendshack.com/out.php/i1650_911f.jpg>.
- [17] *VisionTek GeForce 256* [online]. 2011 [cit. 2011-03-09]. Wikipedie, otevřená encyklopedie. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:VisionTek_GeForce_256.jpg>.
- [18] **ŠULC, Tomáš.** *Unifikované shadery - co to vlastně je* [online]. 04. 08. 2008 [cit. 2011-03-15]. PCWorld. Dostupné z WWW: <<http://pcworld.cz/hardware/technologie-unifikovane-shadery-co-to-vlastne-je-3865>>.
- [19] **KWOLEK, Jiří.** *Polopatě - rendering 3D scény (a jak to přibližně funguje)* [online]. 30.4.2007 [cit. 2011-03-16]. Pctuning.tyden. Dostupné z WWW: <http://pctuning.tyden.cz/hardware/graficke-karty/8721-polopate-rendering_3d_sceny_a_jak_to_priblizne_funguje?start=5>.
- [20] **JAHODA, Miroslav.** *Co přináší teselace + první DirectX 11 hry* [online]. 1,10,2009 [cit. 2011-03-18]. Extrahardware.cnews. Dostupné z WWW: <<http://extrahardware.cnews.cz/co-prinasi-teselace-prvni-directx-11-hry>>.
- [21] **ZACHAR, Martin.** *Co je to DirectX?* [online]. 15. 4. 2010 [cit. 2011-03-13]. Digitálně.cz. Dostupné z WWW: <<http://digitalne.centrum.cz/co-je-to-directx/>>.
- [22] **VÁGNER, Adam.** *Radeon HD 6990: představení, parametry a vlastnosti* [online]. 8. 3. 2011 [cit. 2011-03-19]. Extrahardware.cnews. Dostupné z WWW: <<http://extrahardware.cnews.cz/radeon-hd-6990-predstaveni-parametry-vlastnosti>>.
- [23] *Sběrnice* [online]. c2004 [cit. 2011-03-21]. Kurz.softex. Dostupné z WWW: <<http://kurz.softex.cz/lexikon/sbernice.html>>.
- [24] **TIŠNOVSKÝ, Pavel.** *Interní sběrnice PCI Express* [online]. 30. 10. 2008 [cit. 2011-03-22]. Root. Dostupné z WWW: <<http://www.root.cz/clanky/interni-sbernice-pci-express/>>.
- [25] **TIŠNOVSKÝ, Pavel.** *Sběrnice VESA Local Bus a universální sběrnice PCI* [online]. 9. 10. 2008 [cit. 2011-03-23]. Root. Dostupné z WWW: <<http://www.root.cz/clanky/sbernice-vesa-local-bus-a-universalni-sbernice-pci/>>.

- [26] **TIŠNOVSKÝ, Pavel.** *Accelerated graphics port (AGP) a sběrnice PCI-X* [online]. 23. 10. 2008 [cit. 2011-03-24]. Root. Dostupné z WWW: <<http://www.root.cz/clanky/accelerated-graphics-port-agp-a-sbernice-pci-x/>>.
- [27] **VLČEK, Ondřej.** *3x televize + 1x rádio: FlyTV Express X1 MST-STA2* [online]. 4. 4. 2007 [cit. 2011-03-24]. Pctuning.tyden. Dostupné z WWW: <http://pctuning.tyden.cz/multimedia/digitalni-tv/8531-3x_televize_plus_1x_radio-flytv_express_x1_mst-sta2>.
- [28] *Grafické karty* [online]. [cit. 2011-03-26]. Geoinformatics.upol. Dostupné z WWW: <http://www.geoinformatics.upol.cz/app/prostredkygis/hardware/HW/graf_karta.htm>.
- [29] *GDDR3* [online]. 2011 [cit. 2011-03-27]. Wikipedie, otevřená encyklopedie. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/GDDR3>>.
- [30] *GDDR4* [online]. 2011 [cit. 2011-03-27]. Wikipedie, otevřená encyklopedie. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/GDDR4>>.
- [31] *GDDR5* [online]. 2011 [cit. 2011-03-27]. Wikipedie, otevřená encyklopedie. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/GDDR5>>.
- [32] **HORÁK, Jaroslav.** *Hardware : učebnice pro pokročilé*. 3. aktualizované vydání. Brno: CP Books, a.s., 2005. 344 s. ISBN 80-251-0647-0.
- [33] **STACH, Jan.** *Grafické výstupy VGA a DVI končí – Intel, AMD, Samsung a další se dohodly na jejich ukončení* [online]. 9. 12. 2010 [cit. 2011-03-28]. DDWorld. Dostupné z WWW: <<http://www.ddworld.cz/aktuality/graficke-karty-gpu/graficke-vystupy-vga-a-dvi-konci-intel-amd-samsung-a-dalsi-se-dohodly-na-jejich-ukonceni.html>>.
- [34] *Zapojení S-VIDEO konektoru* [online]. c1999-2009 [cit. 2011-04-01]. Goro.czweb. Dostupné z WWW: <http://goro.czweb.org/electronics_svideo.php>.
- [35] **PIŠKULA, Jiří.** *Tisíc podob HDMI* [online]. 1. 11. 2010 [cit. 2011-04-03]. TVFreak. Dostupné z WWW: <http://www.tvfreak.cz/art_doc-FD7994AC6FF92C09C125779E0036C9C0.html>.
- [36] **WILSON, Tracy.** *How HDMI Works* [online]. c1998-2011 [cit. 2011-04-03]. Wlelectronics.howstuffworks. Dostupné z WWW: <<http://electronics.howstuffworks.com/hdmi2.htm>>.
- [37] **KREUZIGER, Pavel; COHEN, Peter.** *DisplayPort: Zabiják DVI?* [online]. 19. 12. 2008 [cit. 2011-04-04]. PCWorld. Dostupné z WWW: <<http://pcworld.cz/hardware/displayport-zabijak-dvi-3290>>.
- [38] *DisplayPort* [online]. 2011 [cit. 2011-04-05]. Wikipedie, otevřená encyklopedie. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/DisplayPort>>.

- [39] *Rozlišení monitoru, obrazovky* [online]. c2010 [cit. 2011-04-05]. Rozmery-velikosti. Dostupné z WWW: <<http://www.rozmary-velikosti.cz/rozliseni-monitoru-obrazovky.htm>>.
- [40] **POLÍVKA, Karel.** *Přehled desktopových čipových sad pro Pentium 4 - socket 478 - aktualizováno* [online]. 4. 8. 2004 [cit. 2011-04-08]. Pctuning.tyden. Dostupné z WWW: <http://pctuning.tyden.cz/hardware/zakladni-desky/4131-prehled-desktopovych-cipovych-sad-pro-pentium_4-socket_478-aktualizovano>.
- [41] **ŠULC, Tomáš.** *Test integrovaných grafik od Intelu — dá se na nich hrát?* [online]. 8. 4. 2011 [cit. 2011-04-11]. Pctuning.tyden. Dostupné z WWW: <<http://pctuning.tyden.cz/hardware/graficke-karty/20163-test-integrovanых-grafik-od-intelu-da-se-na-nich-hrat?start=1>>.
- [42] *Sapphire HD 5550 Ultimate HM (11170-17-20R) 1GB, PCI-E* [online]. 19. 5. 2010 [cit. 2011-04-12]. CZC. Dostupné z WWW: <<http://www.czechcomputer.cz/product.jsp?artno=77545>>.
- [43] **NYGRÝN, Pavel; TRČÁLEK, Antonín.** *Černobíle: Grafický čip v procesoru, nebo samostatně?* [online]. 6. 4. 2011 [cit. 2011-04-10]. Zive. Dostupné z WWW: <<http://www.zive.cz/clanky/cernobile-graficky-cip-v-procesoru-nebo-samostatne/sc-3-a-156446/default.aspx>>.
- [44] *Intel Sandy Bridge Review* [online]. 3.1.2011 [cit. 2011-04-11]. Bit-tech. Dostupné z WWW: <<http://www.bit-tech.net/hardware/cpus/2011/01/03/intel-sandy-bridge-review/1>>.
- [45] **OBERMAIER, Z.** *AMD E-350 kompletní rozbor architektury APU Brazos* [online]. 11. 2. 2011 [cit. 2011-04-12]. Pctuning.tyden. Dostupné z WWW: <<http://pctuning.tyden.cz/hardware/procesory-pameti/20109?start=3>>.
- [46] *CES 2011: AMD uvádí procesory „Fusion“ APU s integrovanou grafikou* [online]. 4. 1. 2011 [cit. 2011-04-11]. Diit. Dostupné z WWW: <<http://www.diit.cz/clanek/ces-2011-amd-uvadi-procesory-fusion-apu-s-integrovanou-grafikou-nastin-platformy-brazos-srovnani-s-intel-sandy-bridge/37597/35519>>.
- [47] *CyberNotes: History of Windows System Requirements* [online]. 21. 4. 2008 [cit. 2011-04-13]. Cybernetnews. Dostupné z WWW: <<http://cybernetnews.com/cybernotes-history-of-windows-system-requirements/>>.
- [48] *Požadavky na systém pro operační systémy Microsoft Windows* [online]. 3. 5. 2007 [cit. 2011-04-13]. Support.microsoft. Dostupné z WWW: <<http://support.microsoft.com/kb/304297/cs>>.
- [49] *Podporovaná zařízení* [online]. c2004 – 2010 [cit. 2011-04-14]. Debian. Dostupné z WWW: <<http://www.debian.org/releases/stable/i386/ch02s01.html.cs#gfx>>.

[50] *System Requirements For Adobe CS5* [online]. c1999-2010 [cit. 2011-04-15]. Photoshopsupport. Dostupné z WWW: <<http://www.photoshopsupport.com/photoshop-blog/10/cs5-04/adobe-photoshop-cs5-system-requirements.html>>.

[51] *Co je Autodesk 3ds Max?* [online]. c2011 [cit. 2011-04-15]. Cadstudio. Dostupné z WWW: <<http://www.cadstudio.cz/3dsmax#MAX>>.

[52] *Pinnacle Studio 15 HD* [online]. c2008 [cit. 2011-04-15]. Svetsoftware. Dostupné z WWW: <<http://www.svetsoftware.cz/pinnacle-studio-15-hd/systemove-pozadavky>>.

Příloha A – Přiložené CD

Přílohu tvoří CD s elektronickou podobou bakalářské práce v elektronickém formátu pdf a také aplikace, které byly použity při testování a diagnostice grafických karet. Jedná se o tento volně dostupný software:

- GPU-Z 0.5.3
- Everest Home Edition 2.20
- 3DMark 2001 SE
- Test 3D
- DOSBox 0.74
- Dr. Hardware 2009
- WinGOD Benchmark 1.22