

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra elektrotechniky a automatizace



Vliv konstrukce notebooků na závady vzniklé nedostatečným
chlazením

Bakalářská práce

Vedoucí práce: prof. Ing. Zdeněk Bohuslávek, CSc.

Autor práce: Ondřej Zelený

Praha 2017

Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Vliv konstrukce notebooků na závady vzniklé nedostatečným chlazením“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 SB., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorském a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne

.....

Ondřej Zelený

Poděkování

Rád bych poděkoval prof. Ing. Zdeňku Bohuslávskovi, CSc. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce.

Abstrakt: Cílem bakalářské práce je prezentovat vliv konstrukce notebooku a jeho chlazení na možný vznik závad komponent, které ovlivňují jeho životnost. V teoretické části jsou popsány základní principy a funkce integrovaných obvodů se zaměřením na mikroprocesory, které jsou hlavním zdrojem generovaného tepla. Nedílnou součástí problematiky je tepelná vodivost materiálů a s ní související způsoby chlazení notebooků. Praktická část práce se zabývá typy konstrukcí notebooků, častými vadami a návrhy na zlepšení jejich chlazení. S chlazením úzce souvisí i potřeba pravidelné servisní údržby (profylaxe), na kterou je zaměřena i závěrečná část práce. Zde jsou porovnány naměřené hodnoty účinnosti profylaxe notebooku a použitých teplovodivých medií, shrnuté jejich závěrečným vyhodnocením.

Klíčová slova: notebook, chlazení, oteplení integrovaných obvodů, CPU, GPU

Influence design notebooks to problems caused by inadequate cooling

Summary: Aim of the bachelor thesis is to present the influence of notebook construction and cooling on possible component defects affecting their lifetime. Theoretical part describes the basic principles and functions of integrated circuits with a focus on microprocessors, which are the main source of generated heat. Integral part of this problematics is the thermal conductivity of materials and related cooling notebook methods. Practical part focuses on the types of notebook constructions, frequent defects and suggestions to improve their cooling. The cooling is closely related with the need of regular service and maintenance (prophylaxis), which is focused in final part of the work. Here are compared the measured efficiency values of notebook prophylaxis, used thermal media and their summarization with final evaluation.

Key words: notebook, cooling, warming integrated circuits, CPU, GPU

1 Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce.....	2
3	Metodika práce	3
4	Teoretická východiska.....	4
4.1	Integrované obvody	4
4.1.1	Polovodiče	4
4.1.2	Dioda	5
4.1.3	Bipolární tranzistor	6
4.1.4	Unipolární tranzistor.....	7
4.2	Mikroprocesory.....	8
4.2.1	Procesor	9
4.2.2	Grafický procesor	10
4.2.3	Tepelný výkon procesoru	10
4.3	Typy šíření tepla	11
4.3.1	Šíření tepla vedením	11
4.3.2	Šíření tepla vyzařováním	12
4.3.3	Šíření tepla prouděním	13
4.4	Chlazení	13
4.4.1	Pasivní chlazení	13
4.4.2	Materiál.....	14

4.4.3	Heatpipe.....	14
4.4.4	Aktivní chlazení.....	15
4.4.5	Ventilátory.....	16
4.4.6	Vodní chlazení.....	18
4.5	Přenosové médium.....	21
4.5.1	Teplovodivá pasta.....	21
4.5.2	Teplovodivý pad.....	22
5	Vlastní zpracování.....	23
5.1	Konstrukce notebooku.....	23
5.1.1	Materiály.....	23
5.1.2	Tělo notebooku.....	24
5.1.3	Typy uchycení komponent.....	24
5.1.4	Vady konstrukce.....	26
5.2	Profylaxe hardwaru.....	27
5.2.1	Prach.....	27
5.2.2	Teplovodivá pasta.....	28
5.2.3	Termální pad.....	30
5.3	Snížení tepelného namáhání.....	31
5.3.1	Výměna procesoru.....	31
5.3.2	Výměna grafické karty.....	32
5.3.3	Chladicí podložka.....	33
5.4	Vady vzniklé nedostatečným chlazením.....	34

5.5	Měření.....	35
5.5.1	Měření teplovodivých médií.....	36
5.5.2	Měření účinnosti profylaxe notebooku.....	36
6	Výsledky a jejich hodnocení.....	37
6.1	Výsledky měření teplovodivých medií.....	37
6.2	Výsledky měření účinku profylaxe u notebooku.....	38
7	Závěr.....	41
8	Seznam použitých zdrojů.....	43
9	Seznam obrázků.....	48
10	Seznam tabulek.....	49
11	Seznam grafů.....	49

1 Úvod

Notebooky od začátku 21. století prošly velkou řadou změn, a přitom původní koncepce přenosného počítače zůstala zachována. Stále disponují monitorem, klávesnicí, myší a jsou nezávislé na pevném zdroji elektrické energie. Největší změny se odehrály především ve výrobní technologii jednotlivých komponent. Mikroprocesory používané v notebookech již poskytují dostatečný výkon pro náročné výpočetní operace a v řadě případů mohou nahrazovat stolní počítače. Tento nárůst výkonu je však vykoupěn zvýšením energetických nároků a vyššími požadavky na chlazení procesoru notebooku.

Výrobci často nabízejí notebooky s atraktivním designem, do kterých jsou instalovány výkonné komponenty (procesor a grafická karta). Design klade důraz především na jejich tloušťku, která výrazně omezuje možnosti dimenzování chlazení. Komponenty jsou relativně drahé, a proto se výrobci snaží celkovou cenu notebooků co možná nejvíce snížit, často právě na úkor kvality zpracování a použitých materiálů.

Dané téma jsem si zvolil zejména proto, že se jako servisní technik v oboru informačních technologií, setkávám s velkým množstvím různých mobilních zařízení, převážně notebooků. Při své praxi řeším jejich opravy a setkal jsem se již s velkým počtem různých druhů závad. Některé tyto vady, především v konstrukci notebooků, přetrvávají u výrobců již řadu let.

Bakalářská práce obsahuje teoretická východiska, ve kterých jsou vysvětleny základní principy integrovaných obvodů, popsány jednotlivé druhy mikroprocesorů a typy chlazení používaných v notebookech. Ve vlastní práci jsou popisovány jednotlivé typy konstrukcí notebooků a možnosti prodloužení jejich životnosti, včetně konkrétních měření teplotních průběhů. Poslední část je zaměřena na vyhodnocování výsledků těchto měření.

2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je prezentovat možné vlivy konstrukce notebooků na jejich dlouhodobé tepelné zatížení s následným dopadem na výskyt poruch.

3 Metodika práce

V teoretické části práce je detailněji popsána problematika vzniku tepla v integrovaných obvodech, především v jejich hlavních používaných součástkách - tranzistorech. Následuje seznámení s mikroprocesory, především procesorem (CPU), grafickým procesorem (GPU) a generováním jejich tepelného výkonu. Pokračuje přehledem o druzích šíření tepla, které mají výrazný vliv na chlazení notebooku, včetně tepelné vodivosti materiálů. Dalším tématem je popis jednotlivých druhů chlazení, konstrukce a porovnání jejich účinnosti. Poslední část se zabývá přenosovými médii, které předávají teplo od mikroprocesoru k chladiči.

Praktická část se zabývá materiály, ze kterých jsou vyráběny jednotlivé části těla notebooku a uchycení komponent do šasi notebooku, včetně jejich vad. Dalším tématem je snížení účinnosti chladicí soustavy a obnova její správné funkčnosti. Následně jsou popisovány možnosti zlepšení chlazení výměnou dílčích komponent, včetně jejich porovnání, případně navrhované použití externího zařízení. Pokračují druhy závad, jejichž příčinou je nedostatečné chlazení. V poslední části je uvedeno měření teplovodivých médií a účinky profylaktického čištění na celkové chlazení notebooku.

4 Teoretická východiska

Pro správné pochopení dané problematiky je důležité seznámení se se základními pojmy používanými v oboru výpočetní techniky, objasnění teoretických východisek a popis funkčních principů jednotlivých komponent.

4.1 Integrované obvody

Integrované obvody umožňují velký rozvoj ve všech oblastech elektroniky. Jejich hlavní komponentou jsou tranzistory, které jsou vyrobeny z polovodičových materiálů. Tranzistory jsou základním stavebním prvkem při planární technologii výroby integrovaných obvodů. Používají se především k výrobě mikroprocesorů, pamětí a logických obvodů. [1]

4.1.1 Polovodiče

Ze začátku byly využívány tranzistory na bázi germania. Bohužel tento prvek nebyl vhodný pro většinu aplikací díky velké závislosti vodivosti na teplotě a schopnosti vody rozpouštět oxidy germania. Polovodičový prvek, který tyto nedostatky nemá, je křemík, proto se převážně využívá k výrobě integrovaných obvodů. Mezi jeho hlavní přednosti patří růst vrstvy SiO_2 termální cestou, což umožňuje selektivní leptání. [2; 1]

Vlastní polovodič obsahuje pouze atomy křemíku. V tomto případě se jedná pouze o teoretický model a v praxi jsou jeho atomy nahrazovány přídavnými atomy jiných prvků. Při pokojové teplotě získávají vlivem tepla některé jeho elektrony energii, která jim umožní odtrhnutí od atomu a pohyb v meziatomovém vakuu. Po odtrhnutí se zvyšuje kinetická energie elektronu, a při kolizi s atomem v krystalové mřížce dochází k předání kinetické energie. Mřížka je rozechvěna, stoupne její teplota a elektron ztrácí svou kinetickou energii. Takovýto elektron nazýváme „volný elektron“. Po odtržení zanechá nezaplňenou vazbu a nazýváme ji „díra“ a jedná se o kladně nabitou částici. V intrinsickém polovodiči je počet volných elektronů rovný počtu děr. Energie potřebná k vytvoření volného elektronu u křemíku je 1,12 eV (elektronvoltů). „Energie jednoho elektronvoltu je energie, kterou získá jeden elektron, jestliže se přemístí mezi dvěma deskami, mezi nimiž je napětí jeden volt“ [3]. Tato měrná jednotka je několikanásobně menší než základní SI jednotka energie. [1; 3]

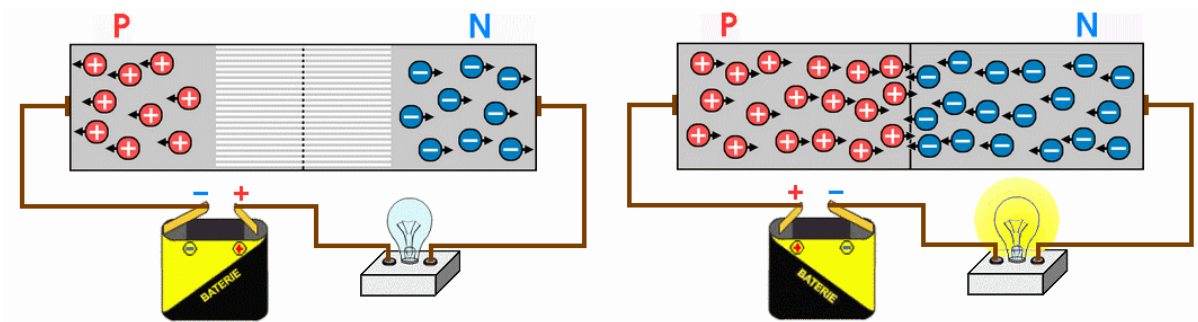
Jak bylo zmíněno, v praxi se využívá přídavných prvků, které mají tři nebo pět valenčních elektronů. Jedním z prvků, který má pět valenčních elektronů je arsen. Čtyři jeho valenční elektrony se chovají stejně v meziatomových vazbách, jako elektrony křemíku. Pátý valenční elektron je slabě připoután k atomu arsenu a při dodání energie 0,039 eV se stane volným elektronem. Arzén je označován jako „donor“ díky volným elektronům. Mezi další donory patří fosfor a antimon. Druhým typem prvků, které mají tři valenční elektrony je bor, galium, aluminium a indium. V tomto případě chybí jeden valenční elektron, který prvek přijme od křemíku. Takto vznikne díra a tyto prvky se nazývají „akceptory“. Energie, potřebná k přijmutí volného elektronu borem, je 0,045 eV. U dopovaných polovodičů převládají volné elektrony, které nazýváme „majoritními nosiči nábojů“ a díry „minoritní nosiče“. Takový prvek je označován N (negativ). Pokud je polovodič akceptorem a majoritním nosičem, jsou díry a je označován P (pozitiv). [1]

V meziatomovém vakuu se volné elektrony pohybují chaoticky a jejich pohyb nepředstavuje elektrický proud. Pokud k polovodiči připojíme vnější napětí, díry (kladné) se přesouvají směrem k zápornému pólu a volné elektrony (záporné) proudí k pólu kladnému. „*Usměřovaný chaotický pohyb představuje elektrický proud*“ [1]. [2; 1]

4.1.2 Dioda

Dioda je jeden z obvodových prvků, jehož vlastnosti jsou založeny na rozhraní mezi polovodiči typu P a N. Tento typ přechodu je nazýváme P-N, jeho hlavní vlastností je vedení elektrického proudu pouze jedním směrem. Spojením polovodičů typu P a N se na jejich rozhraní probíhá rekombinace, kdy část děr přechází do polovodiče typu N, volné elektrony putují do polovodiče typu P. Při tomto jevu se kladné a záporné náboje elektronů vyrovnávají a vzniká hradlová vrstva, která neobsahuje volné náboje. [1; 4]

Závěrný směr nastane, pokud připojíme zdroj napětí, kdy záporný pól je připojen k polovodiči typu P a kladný pól k polovodiči typu N viz. Obr. 1. V tomto případě jsou kladné (díry) přitahovány k zápornému pólu baterie a volné elektrony (záporné) ke kladnému pólu. Hradlová vrstva neobsahuje volné náboje a elektrický proud tímto obvodem neprochází. V propustném směru je připojen kladný pól na polovodič P a záporný pól na polovodič N. Volné elektrony (záporné) jsou odpuzovány záporným pólem a přitahovány kladným pólem. U děr je tento jev stejný, kdy jsou přitahovány negativním pólem a odpuzovány kladným pólem viz. Obr. 1. Hradlová vrstva zaniká a elektrický proud prochází obvodem. [4]

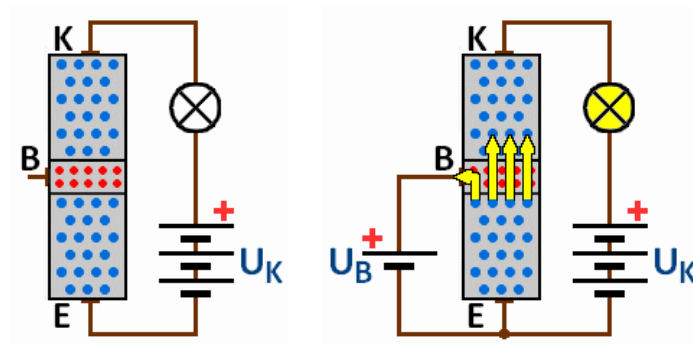


Obr. 1 Přechod P-N v závěrném směru (vlevo) a propustném směru (vpravo) [4]

4.1.3 Bipolární tranzistor

Tranzistory patří mezi hlavní části integrovaného obvodu. Bipolární tranzistor obsahuje tři vrstvy polovodičů s různým typem vodivosti a jeho struktura připomíná dvě diody, které jsou zapojené proti sobě. Každá vrstva má připojenu jednu elektrodu ke kolektoru, bázi a emitoru. Tranzistor obsahuje dva přechody typu P-N. Kolektorový přechod je uskutečněn mezi kolektorem a bází, zatímco emitorový mezi bází a emitorem. Řízení velikosti proudu, který protéká tranzistorem, je řízen přídavným napětím na bázi. Existují dva typy bipolárních tranzistorů PNP a NPN. Rozdíl mezi nimi spočívá v opačné polaritě napětí zdroje. [1; 5]

Pro vysvětlení fungování tranzistoru NPN je využito dvou kroků. V prvním kroku je zapojen obvod dle obrázku Obr. 2 (vlevo). Obvod je tvořen mezi emitorem připojeným k zápornému a kolektorem připojeným ke kladnému pólu zdroje napětí U_K . Takto zapojený tranzistor umožňuje přechod mezi bází a emitorem v propustném směru, ale přechod mezi kolektorem a bází má směr opačný, tedy závěrný a proud neprochází kolektorovým obvodem. Druhým krokem je připojení zdroje U_B mezi emitor a bází podle Obr. 2. Musí platit podmínka, při které je zdroj napětí U_K větší než U_B . Přechod mezi emitorem a bází je v propustném směru, volné elektrony proudí od emitoru do báze. Majoritní část elektronů přitahuje zdroj napětí U_K přes kolektor a tímto obvodem prochází několikanásobně vyšší proud než přes obvod báze. U tranzistoru typu PNP je princip obdobný. Rozdíl je v zapojení polarity obou zdrojů opačným způsobem. Malým záporným napětím na bázi tranzistoru je ovládán kolektorový proud. [6]



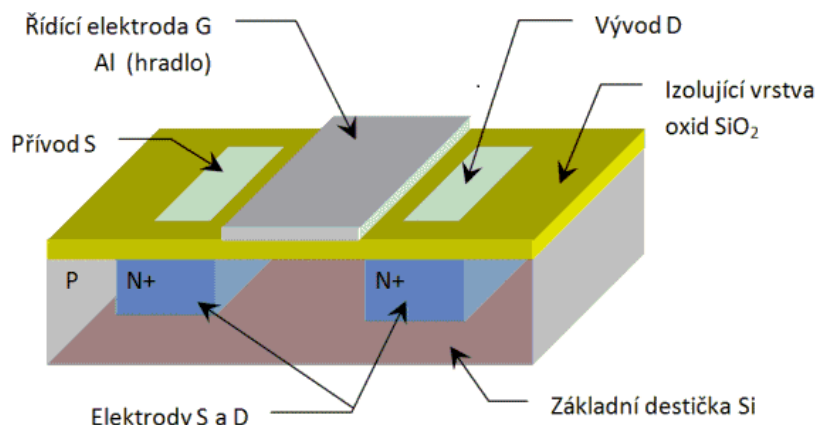
Obr. 2 Tranzistor bez zdroje napětí (vlevo). Tranzistor s připojeným zdrojem napětí mezi emitorem a bází (vpravo). [6]

Hlavní schopností tranzistoru je zesilovat elektrický proud nebo napětí. Toho využíváme u většiny elektronických přístrojů (například v rádiu, televizi nebo počítači). Tranzistor lze využít jako spínač, sloužící k rychlému spínání elektronických obvodů v oblasti digitální techniky. [7]

4.1.4 Unipolární tranzistor

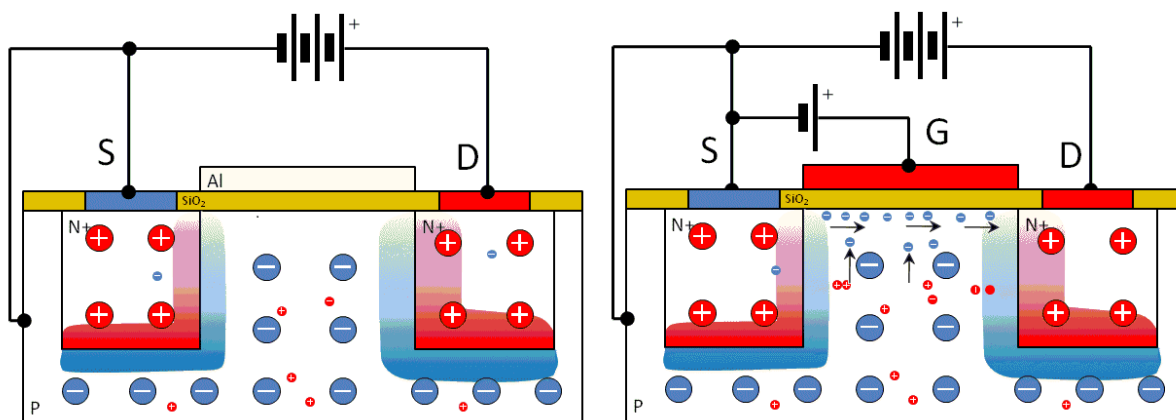
Unipolární tranzistor oproti předchozímu typu tranzistoru využívá pouze jednoho druhu nosiče náboje, kterým jsou díry nebo volné elektrony. Neobsahuje dva polovodičové přechody a proud nosiče nábojů není ovládán proudem, nýbrž elektrickým polem (napětím). Tranzistory fungující na tomto principu jsou označovány „FET (Field Electric Tranzistor)“ a vodivým kanálem jsou polovodiče typu P nebo N. Hlavním zástupcem je „MOS (Metal Oxide Semiconductor)“ tranzistor, který je používán v logických obvodech kvůli možnosti vysoké integrace. Název je odvozen od použitých materiálů, kde hradlem bývá kov, například hliník, a izolační vrstvou je oxid křemíku SiO_2 . [1; 8]

Tranzistor MOSFET se skládá ze základní destičky jednoho polovodiče typu P nebo N, který má nízkou koncentraci příměsí, do níž jsou vnořeny dvě elektrody opačného typu, v tomto případě N^+ , obsahující velkou koncentraci příměsí. Na základní destičce je nanesena nevodivá vrstva oxidu křemíku, ke které je napařena vodivá elektroda G z hliníku viz. Obr. 3. Izolační nevodivá vrstva je velmi tenká a napětí, které ji prorazí, se pohybuje v desítkách voltů. Největším nebezpečím při manipulaci je statická elektřina. [9]



Obr. 3 MOSFET s indukovaným napětím [9]

Není-li na řídicí elektrodu tranzistoru připojen zdroj elektrického napětí, vzniká v přechodu mezi elektrodami tranzistoru (S a D) vyprázdňená oblast. Z vývodu D pomocí zvětšeného napětí neprotéká proud kvůli závěrnému směru viz. Obr. 4. Pokud přivedeme elektrické napětí o kladné polaritě na řídicí elektrodu, dochází k přitahování volných elektronů ze základní destičky, čímž vzniká inverzní vrstva. Tato vrstva pojme dostatek volných elektronů a je schopna vést mezi elektrodami S a D elektrický proud. [9]



Obr. 4 MOSFET – na řídicí elektrodu není přivedeno napětí (vlevo) a řídicí elektroda se zdrojem napětí (vpravo) [9]

4.2 Mikroprocesory

Mikroprocesor je součástka, jejíž funkcí je vykonávání aritmetických a logických operací (sčítání, odčítání, porovnání dvou čísel, načítání a ukládání čísel). Tyto operace jsou výsledkem skupiny instrukcí, vycházející z navržené architektury výrobce. [10]

4.2.1 Processor

CPU (Central Processing Unit) je integrovaný obvod, jehož hlavním úkolem je zpracování strojových instrukcí programu. Mezi čtyři základní funkce procesoru patří čtení, dekódování, vykonání a zápis instrukce. Hlavní částí procesoru jsou ALU, FPU, registry a cache paměť. ALU (aritmeticko-logická jednotka) provádí aritmetické a logické výpočty, FPU (matematický koprocessor) slouží pro operace s čísly, které mají pohyblivou řadovou čárku. Registry jsou dočasná paměť pro dočasné uchování instrukcí a mezivýpočtů. Cache paměť slouží k uložení následně prováděných instrukcí a dat při zpracování programu procesorem. Její výhodou je vysoká rychlost. [11]

Předními výrobci procesorů pro osobní počítače jsou Intel a AMD (Advanced Micro Devices). Každé CPU má několik důležitých parametrů. Základní je frekvence jádra, která se pohybuje v jednotkách GHz. Dalším kritériem je počet jader. Notebookové CPU má nejčastěji dvě nebo čtyři jádra, což umožňuje vyšší výkon a snížení spotřeby. Následujícím parametrem je výrobní technologie, která ovlivňuje velikost a počet tranzistorů. V dnešní době se pohybuje mezi 14-28 nm. Některé procesory obsahují i GPU (integrovaný grafický procesor), který je využíván převážně u mobilních CPU. Intel nabízí doplňkové technologie například „Turbo Boost a Hyper-Threading Technology“. Turbo Boost dočasně zvyšuje frekvenci jader v jednotkách stovek MHz. Tato funkce se využívá především u aplikací, které pracují s jedním vláknem. Hyper Threading dodává dvě procesorová vlákna na jedno jádro. Tato technologie zlepšuje efektivitu paralelního zpracování instrukcí. [12; 13]

Intel pro sledování teplot a ochrany využívá technologii „Thermal Monitoring Technologies“ (TMT). První generace TMT funguje na principu vkládání prázdných cyklů mezi výpočty, čímž dochází ke snížení výpočetního výkonu procesoru. Tento stav nastane při překročení hraniční teploty pro daný procesor. Druhá generace TMT kontroluje teploty snížením operační frekvence a napětí na procesoru. Po snížení teplot na nižší hodnotu procesor opět pracuje na své základní frekvenci. [14]

AMD využívá technologii „PowerNow!“, známé také jako „Cool'n'Quiet“. Tato technologie snižuje hodnoty napětí a frekvence a tím docílí menších teplot na procesoru a zároveň přizpůsobuje rychlost otáček chladicího ventilátoru procesoru. AMD nepopisuje, jakým způsobem technologie funguje, ale pouze její výhody. [15; 16]

4.2.2 Grafický procesor

GPU (Graphic Processing Unit) je mikroprocesor, který provádí rychlé matematické výpočty primárně za účelem vykreslování obrázků. Původně tuto činnost vykonávalo CPU, ale nevýhodou bylo vysoké výpočetní zatížení a tím i snížení výkonu procesoru v ostatních výpočtech. GPU je schopné vykreslovat obrázky mnohem rychleji než procesor díky architektuře paralelního zpracování. Tato technologie umožňuje zpracování více výpočtů naráz. Výsledkem je několikanásobné zlepšení výkonu a možnost GPU využívat pro jiné druhy výpočtů například pro vědecké simulace. [17; 18]

Integrovaný grafický procesor (iGPU) je součástí CPU. Tyto procesory se velmi často využívají v notebookech, kde důležitý aspekt je spotřeba elektrické energie, pohybující se v rozmezí několika wattů. Nevýhodou je obvykle několikanásobně nižší grafický výkon a potřeba sdílet s operační pamětí (RAM) její kapacitu. Hlavními výrobci iGPU jsou firmy AMD a Intel. [19]

Druhým typem grafických procesorů používaných jak u notebooků, tak u běžných osobních počítačů, je „dedikovaný“. Jedná se o grafický procesor, který má vlastní rychlejší GDDR paměť a není součástí procesoru. Nespornou výhodou je vysoký grafický výkon. Negativem tohoto řešení je vysoká energetická náročnost, což vyžaduje výkonnější chlazení, s čímž souvisí i nárůst tloušťky těchto zařízení. Tyto typy grafických procesorů se nevyužívají u notebooků, jejich konstrukce vychází z požadavku na časté přenášení a s tím souvisí potřeba nízké hmotnosti. Nejčastější použití lze proto najít u „herních“ a profesionálních notebooků, od kterých požadujeme vysoký grafický výkon, a jejich hmotnost je vedlejším kritériem. [19]

4.2.3 Tepelný výkon procesoru

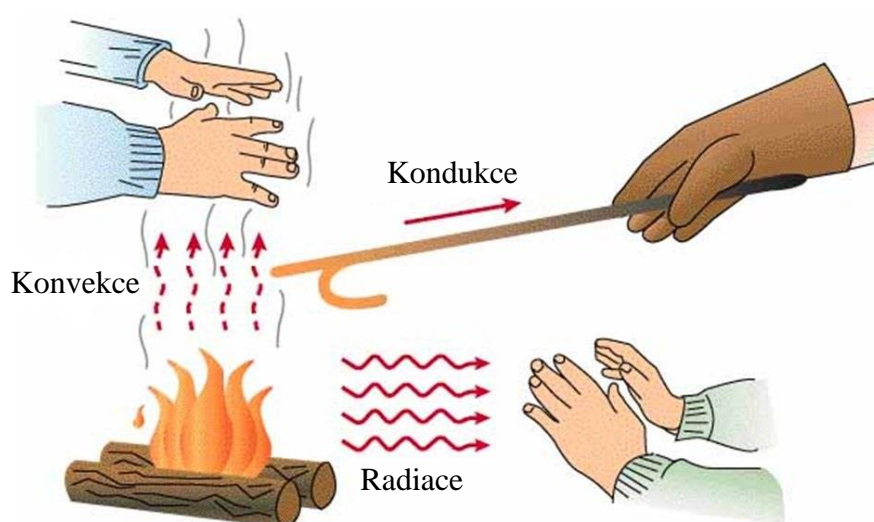
Jedná se o důležitý parametr procesoru, deklarující maximální tepelný výkon, který je procesor schopen vyzařovat. TDP (Thermal Design Power) využíváme při navrhování chladicího výkonu chladičů. Dalším ukazatelem je spotřeba elektrické energie, která je ve většině případů téměř shodná s TDP. U notebooků se hodnota pohybuje v řádech desítek wattů. Každý výrobce popisuje tento parametr vlastním způsobem. Výrobce Intel jej definuje, jako průměrný tepelný výkon ve wattch, který procesor vydá při základní frekvenci se všemi aktivními jádry během výpočetních testů. Výrobce AMD vlastní definici veřejně neuvádí. [20; 12]

4.3 Typy šíření tepla

Šířením tepla se rozumí forma přenosu energie mezi zdrojem tepla a ovlivňovaným objektem. Běžně rozlišujeme tři základní typy šíření tepla.

4.3.1 Šíření tepla vedením

Šíření tepla vedením (kondukcí) viz. Obr. 5 se uskutečňuje prostřednictvím kmitajících částic uvnitř daného materiálu. Během kmitání dochází ke srážkám jednotlivých částic a tím k přenosu vlastní kinetické energie. Pokud je materiál ohříván, částice oscilují rychleji. [21; 22]



Obr. 5 Typy šíření tepla [23]

„Vedení si lze představit např. na kovové tyči délky d , na jejichž koncích je udržován stálý teplotní rozdíl $T_2 - T_1$. Předpokládejme, že teplota klesá rovnoměrně od teplejšího konce k chladnějšímu. Výraz $\frac{T_2 - T_1}{d}$ značí teplotní spád (teplotní gradient). Teplo Q , které projde za těchto podmínek libovolným průřezem S tyče za dobu τ , je rovno: $Q = \lambda S \frac{T_2 - T_1}{d} \tau$, kde λ je součinitel tepelné vodivosti ($[\lambda] = W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$).“ [24]

Tepelná vodivost je schopnost materiálu přenášet teplo. Potažmo rychlost, kterou teplo proniká od ohřáté části materiálu do druhé, chladnější. „Tepelná vodivost každé látky je dána součinitelem tepelné vodivosti.“ [22]. Na základě hodnot součinitele tepelné vodivosti dělíme látky na dobré, nebo špatné tepelné vodiče viz. Tab.1 .[22]

Materiál	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
Stříbro	429
Měď	401
Hliník	205
Vzduch	0,024

Tab. 1 Hodnoty tepelné vodivosti materiálu při 25 °C [25]

Při tomto přenosu tepla je důležité obstarat vhodný fyzický kontakt mezi komponentou, která vytváří teplo a chladičem. Procesory pro stolní počítače využívají rozptylovač, pomocí kterého je přenášeno teplo do pasivního chladiče. Jedná se o kovový plíšek, nejčastěji z mědi, s poniklovaným povrchem. Je využíván z důvodu velikosti jádra procesoru, jehož velikost je v desítkách milimetrů čtverečních. Malé jádro je schopné vyprodukovat TDP přes 100 Wattů, a z toho důvodu je nutné tuto plochu rozšířit. [21; 22; 26]

4.3.2 Šíření tepla vyzařováním

Vyzařování (radiace) je infračervené záření, které patří do skupiny elektromagnetických záření. Jeho zdrojem je tepelný pohyb molekul a atomů zdrojového objektu. Velikost vyloučeného záření je závislá na teplotě objektu. Hodnota vyzářené energie objektem je snížena o množství přeneseného tepla do okolního prostředí viz. Obr. 5. V opačném případě je energie z okolního prostředí tímto objektem pohlcována. Pro maximální příjem tepelné energie se využívá černá barva, která absorbuje teplo nejlépe. [22]

V praxi na procesorech a chladičích není černá barva používána. Hodnota přijaté energie prostřednictvím černé barvy je však malá, a působí spíše jako izolační vrstva. Tato je dána tepelnou vodivostí barvy. [21]

4.3.3 Šíření tepla prouděním

Ohříváním plynu nebo kapaliny dochází k expanzi a tím také ke snížení hustoty. Dle Archimédova zákona se chladnější kapalina či plyn (s vyšší hustotou) pohybuje jednotlivými vrstvami okolního prostředí směrem dolů. Tímto způsobem jsou teplejší vrstvy kapaliny či plynu vytlačovány směrem vzhůru viz. Obr. 5 (konvekce). Energie v prostředí je přenášena směrem od teplých do studených míst [22]

Tento jev je využíván při ochlazování chladiče procesoru. Nejčastějším médiem, používaným pro chlazení chladiče, je vzduch, který je snadno dostupný. Druhým nejpoužívanějším médiem je voda, například ve vodním chlazení nebo heatpipe. [21]

4.4 Chlazení

Komponenty uvnitř notebooku generují teplo a pro jejich správnou funkci je důležité udržovat pro ně definované provozní teploty. Snížení teploty komponent je možné pomocí chlazení, což zajišťuje jejich správnou funkčnost.

4.4.1 Pasivní chlazení

Pasivní chlazení je základní metodou, která neobsahuje mnoho negativ. Mezi hlavní výhody patří nehluknost, protože neobsahuje žádné pohyblivé části a stává se tak spolehlivým chlazením na dlouhou dobu. Velkou nevýhodou mohou být rozměry a hmotnost, které jsou potřebné ke chlazení výkonných komponent. Proto je nutné vytvořit vhodný rozměr chladiče, který spolu s případným aktivním chlazením splní požadavky na tepelný výkon generovaný mikroprocesorem. [21]

Důležitým aspektem v konstrukci notebooků je uchycení pasivního chlazení do základní desky nebo šasi notebooku. Použití velké utahovací síly při montáži šroubků má často za následek prohýbání komponent s negativním vlivem na její funkčnost. Nejčastěji tento problém vzniká u CPU a GPU, kdy je narušena integrita plošného spoje nebo se dostaví únava materiálu. Proto se obvykle využívá speciální montážní plech opatřený upínacími závity, který rozloží sílu utaženého chlazení na větší plochu. Další možností je použití šroubků opatřených silovou předpínací pružinkou. Šroubky lze v tomto případě utahovat až na konec závitu. Potřebnou upínací sílu k základní desce zajišťuje pružinka. Tím se zabrání nadměrnému ohýbání dané komponenty a zároveň je dosaženo rovnoměrného přitlaku součástí. [21]

4.4.2 Materiál

Nejčastějším materiálem pro chlazení komponent je měď a hliník. Z porovnání obou materiálů podle Tab. 1 vyplývá, že měď má skoro dvakrát vyšší tepelnou vodivost oproti hliníku. Díky své výborné tepelné vodivosti a s ohledem na relativně nízkou cenu, pohybující se okolo 150 Kč za jeden kilogram, je často využívána. Přesto, že má měď třikrát vyšší hustotu než hliník, je při dnešních rozměrech notebooků tato vlastnost zanedbatelná a předností se stává materiál s vyšší tepelnou vodivostí. Hliník je spíše využíván při konstrukci notebooků jako šasi, kde se výrobci snaží uplatnit jeho tepelně vodivé vlastnosti jako formu pasivního chladiče. Hlavní výrobce, který využívá této koncepce je firma Apple. [21; 27; 28]

4.4.3 Heatpipe

Jedná se o hermeticky uzavřenou trubičku vyráběnou výhradně z mědi viz. Obr. 6. Uvnitř trubičky po jejím obvodu nalezneme houbovitou, síťovou nebo drážkovou strukturu (kapiláry). Uvnitř kapilár cirkuluje de-ionizovaná voda, která může obsahovat methanol, který snižuje bod varu kapaliny. Tímto je dosaženo snížení výparného tepla samotné vody. Měď se využívá především díky vysoké tepelné vodivosti a také nízkým pořizovacím nákladům. Modifikovaná voda v kombinaci s mědí jsou vhodnými médii také s ohledem na transportní činitel kapaliny. Její přesné složení výrobci tají, ale není zdraví škodlivá. [21; 29]



Obr. 6 Heatpipe (vlevo) a struktura vnitřní stěny trubičky (vpravo)

Heatpipe se používá k přenosu tepelné energie z jednoho místa do druhého prostřednictvím kapaliny. „*Proud par se dává do pohybu na základě rozdílných tlaků v místě výparníku (tlak vyšší) a místě kondenzátoru (tlak nižší). Návrat kondenzátu zpět ke zdroji tepla je zajištěn kapilárními silami v porézním materiálu, který kondenzát v podstatě „nasává“ zpět ke zdroji tepla. To heat pipe umožňuje, aby pracovala v poloze, kdy je kondenzátor níže než výparník*“ [29]. Díky tomuto principu je schopna dosahovat až 1000 vyšší tepelné vodivosti oproti mědi. Rychlost a přenášení tepla při vypařování vody na páru dosahuje rychlosti zvuku. [21; 29]

Po přemístění tepelné energie na opačnou stranu od zdroje tepla je nutné tento konec ochladit. K odebrání tepla je použito žebrování pasivního chladiče nejčastěji z mědi nebo hliníku a na straně procesoru je používán měděný plíšek. Spojení heatpipe a chladiče je zajištěno pomocí pájení nebo nalisování. Nejčastější případ je použití jedné trubice, kde procesor nebo grafický čip vytváří malý tepelný výkon. Pro výkonné čipy k dosažení požadovaného přenosu tepla se přidávají další heatpipe. [21; 29]

Při použití heatpipe je důležité dbát na její ohýbání, protože jinak tepelná vodivost klesá. Nespornou výhodou je nezávislost na poloze jak vodorovné, tak svislé. Na internetu lze najít diskuze, zda její funkčnost není omezena při změně polohy. Z výsledků testů však vyplývá, že poloha heatpipe neovlivňuje tepelnou vodivost. Houbovitá struktura umožňuje projevení kapilárního efektu, což zajišťuje proudění vody proti gravitační síle. [21]

Hlavním důvodem využití u notebooků je nízký prostor nad procesorem, chipsetem a grafickým čipem. Proto je heatpipe zploštěna a vyvedena mimo tyto komponenty, kde je možnost umístit pasivní chladič, který je chlazen ventilátorem. Místo, kde je umístěn pasivní chladič bývá nechlazenější místo v notebooku. [21]

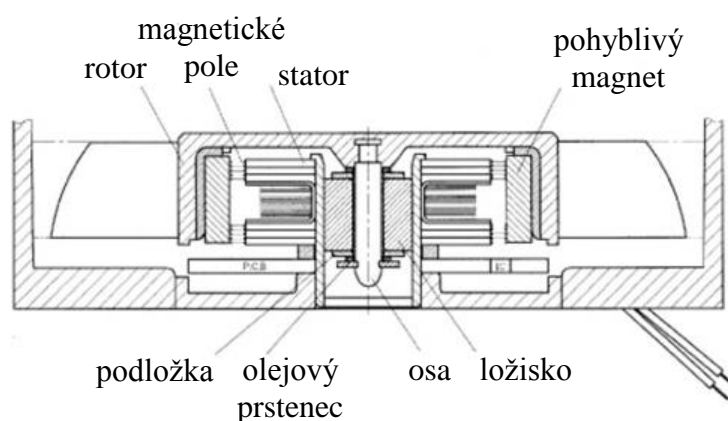
4.4.4 Aktivní chlazení

Pasivní chlazení pro notebooky je často nedostačující z důvodu velikosti generovaného tepelného výkonu CPU a GPU a také nízkým průtokem vzduchu přes chladič. Pro zajištění nutné cirkulace vzduchu u chlazení je přidáván ventilátor zvyšující průtok vzduchu skrze pasivní chladič a umožňující tím jeho rychlejší ochlazování. Použití ventilátoru má svá negativa ve formě hlučnosti způsobené aerodynamickým hlukem proudícího vzduchu a hučením ložisek ventilátoru. [21]

4.4.5 Ventilátory

Ventilátory, používané při chlazení notebooků, jsou obvykle elektrické axiální lopatkové, napájené stejnosměrným napětím 5 V. Tvoří je soustava stator (pouzdro), rotor (hřídelka, na které jsou přichyceny lopatky) a elektronika sloužící k pohonu a řízení otáček elektromotoru. Z hlediska zajištění dlouhodobé správné funkčnosti ventilátoru je prioritní částí ložisko. Existují různé typy ložisek, podle kterých se odvíjejí jejich charakteristické vlastnosti. Na první pohled není vždy možné zjistit, o jaký typ ložiska se jedná, a pro bližší diagnostiku je nutné jej rozebrat. Při použití kvalitních ložisek se s rostoucími otáčkami nezvyšuje hluk ventilátoru, ani zřetelně nesnižuje jeho životnost. [21]

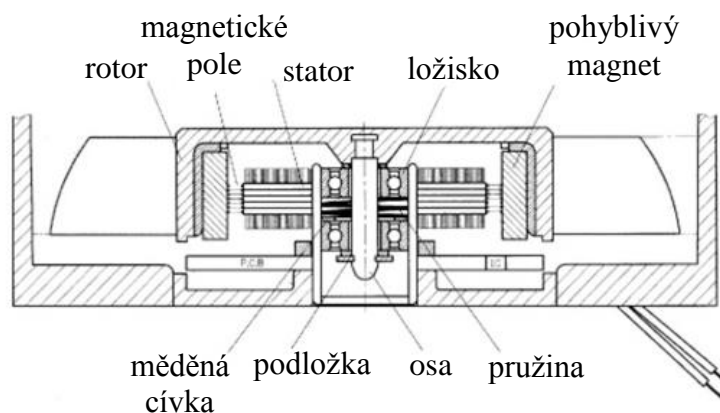
Kluzná ložiska mají prostor mezi uložením a hřídelkou vyplněn vazelínou. Rotor klouže po vazelině, ale díky nedokonalému vyvážení rotoru s lopatkami a nerovnosti povrchu pouzdra statoru, mají tyto ventilátory nízkou životnost. Ta je způsobena zasycháním nebo znečištěním vazelíny a může způsobit zadření ventilátoru. Důležitým parametrem ventilátoru je jeho hlučnost. Nejvíce je slyšet aerodynamický hluk, zvuk cívek nebo ložiska. Hlučnost ložiska může být závislá na teplotě. Proto se tento typ ložiska nedoporučuje používat u zařízení s nepřetržitým provozem po dobu několika let. [21]



Obr. 7 Princip ventilátoru s kluzným ložiskem [30]

Kuličkové ložisko se skládá ze dvou prstenců. Mezi vnitřním a vnějším prstencem je vazelína, v níž jsou uloženy ocelové kuličky, které přenášejí rotující pohyb. Použití kuliček snižuje namáhání materiálu a pohyblivé části neklouzají tolik jako u kluzných ložisek. Jako v předchozím případě vyvážení rotoru hraje velikou roli, protože je zde více prvků, které vytvářejí hluk. Výhodou je vyšší životnost ventilátoru vykoupená právě zmiňovanou hlučností. Přesto je tento typ ložisek u ventilátorů nejvíce používán, a to obvykle v páru (dual ball

bearing). Na obdobném principu fungují i keramická ložiska, pouze ocelové kuličky jsou nahrazeny keramickými s ohledem na jejich lepší vlastnosti. [21]



Obr. 8 Princip ventilátoru s kuličkovým ložiskem [30]

Dalším typem je hybridní konstrukce magnetického ložiska v kombinaci s fixačním kroužkem. Hlavní rozdíl je v magnetickém uložení, zajišťujícím axiální souosost rotoru a statoru. Při změně polohy ventilátoru dochází k zajištění rotoru na obou koncích hřídelky fixačním kroužkem. Výhodou je vysoká životnost a nezávislost na teplotě, protože ložiska nejsou zanášena ani opotřebovávána. Výhradně magnetické ložisko se u notebooků nepoužívá z důvodu možné změny polohy notebooku, což nelze u tohoto typu ložiska zabezpečit. [21]

Posledním a velmi využívaným typem jsou fluidní ložiska s obdobným základem, jako jsou kuličková. Fungují na principu kapilárních sil mezi olejem, stranou ložiska z jedné strany a pouzdrem ze strany druhé. Prostor mezi osou a pláštěm je tak malý, že se v ložisku drží olej pomocí vzniklé kapilární elevace. Při otáčení rotoru nedochází k dotyku materiálu, takže opotřebení mizí a nevytváří se ani hluk. Fluidní ložiska mají desetkrát menší vůli než zmíněná kuličková a jejich výhodou je vysoká odolnost vůči otřesům. [31]

Jeden z důležitých parametrů ventilátoru je počet otáček za minutu, taktéž označováno RPM. Pro tišší ventilátory se hodnoty pohybují v rozmezí 600-1200, jejich vnější rozměr je nejčastěji okolo 120 mm. Pro menší ventilátory s rozměrem pod 80 mm je tato hodnota 4000 otáček a více. Důvodem je dosažení stejného průtoku vzduchu při různých rozměrech a obecně platí čím menší ventilátor, tím rychleji se musí otáčet. To sebou nese nepříjemnost v podobě akustické hlučnosti, především u notebooků. [21]

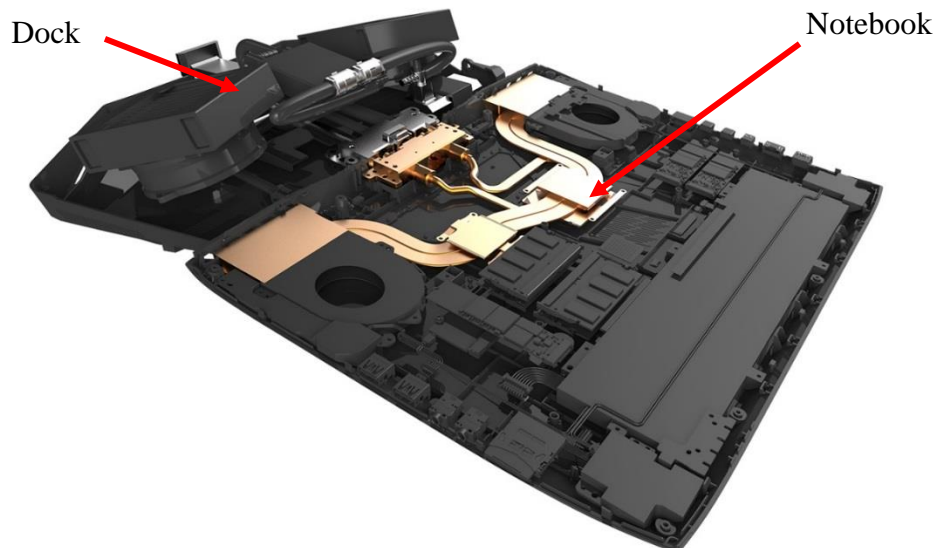
Jak již bylo zmíněno, hlavním parametrem je hlučnost ventilátoru, která je závislá na typu použitých ložisek, kvalitě zpracování lopatek a dalších faktorech. Hlučnost je udávána v decibelech a nejčastěji se u notebookových ventilátorů pohybuje okolo 40 dB při maximálních otáčkách. U méně kvalitních odlitků lopatek ventilátoru jsou na hranách velké otřepy. Hluk vzniká prouděním vzduchu, který naráží na ostré hrany lopatek. Částečným řešením snížení aerodynamického hluku je tedy zaoblování hran lopatek. Další faktor, který ovlivňuje hlučnost je vyvážení rotoru malým závažíčkem, ale ve většině případů jsou notebookové ventilátory malé a díky kvalitě zpracování se vibrace ve větší míře neprojeví. V případě tenkých nízko profilových notebookových ventilátorů je nejvýraznějším zvukovým projevem „pískání“. Naproti tomu rotory s vyšším profilem se projevují „hučením“. [21; 32]

Poslední oblastí je regulace otáček rotoru, která snižuje hluk, umožňuje nastavení průtoku vzduchu přes pasivní chladič a zvyšuje životnost ložisek ventilátoru. V případě stolních počítačů je častým řešením použití potenciometru, ale u notebooků je to o něco složitější. Ve většině situací se řeší regulace otáček ventilátorů při vysokých teplotách mikroprocesorů ke zvýšení účinnosti chlazení. Nejčastěji se o regulaci stará sám notebook, ale u některých modelů notebooků, lze použít program a nastavit otáčky ventilátoru nezávisle na teplotě procesoru. [21]

4.4.6 Vodní chlazení

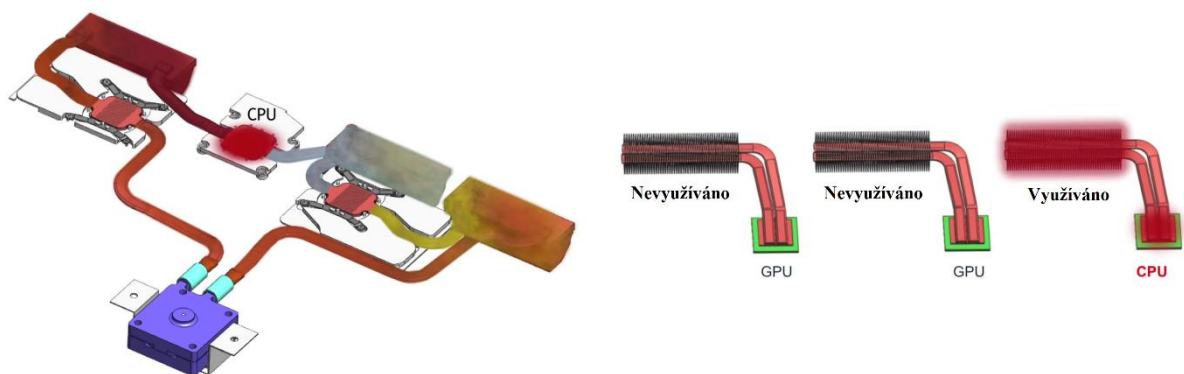
Vodní chlazení je v oblasti stolních počítačů často používáno pro výkonné sestavy, kde je předpokladem zvyšování výkonu taktováním komponent. Stejně jako u heatpipe voda slouží k přenosu tepla. Již delší dobu tento typ chlazení není využíván výhradně ve stolních sestavách, ale uplatňuje se i v notebookovém odvětví. Existují dvě možnosti, jakým způsobem využívat vodní chlazení v notebooku. [33; 21]

První řešení nabízí firma ASUS, využívající klasické aktivní chlazení doplněné o vodní bloky na CPU a GPU. Při běžném používání nebo přenášení je notebook chlazen jen pomocí ventilátorů, jako je tomu u běžných notebooků. Propojením těla notebooku s dokovatelnou stanicí (dock), se vodní okruh uzavře a proudí jím voda viz. Obr. 9. Teplo je odváděno mimo notebook a ochlazováno v připojené stanici, což umožňuje snížení teploty komponent. Hlavním důvodem využití tohoto systému je možnost přetaktovat komponenty a zvýšit tak jejich výkon. U procesoru se pohybuje toto navýšení až o 48 %, u grafické karty až o 43 %. [34]

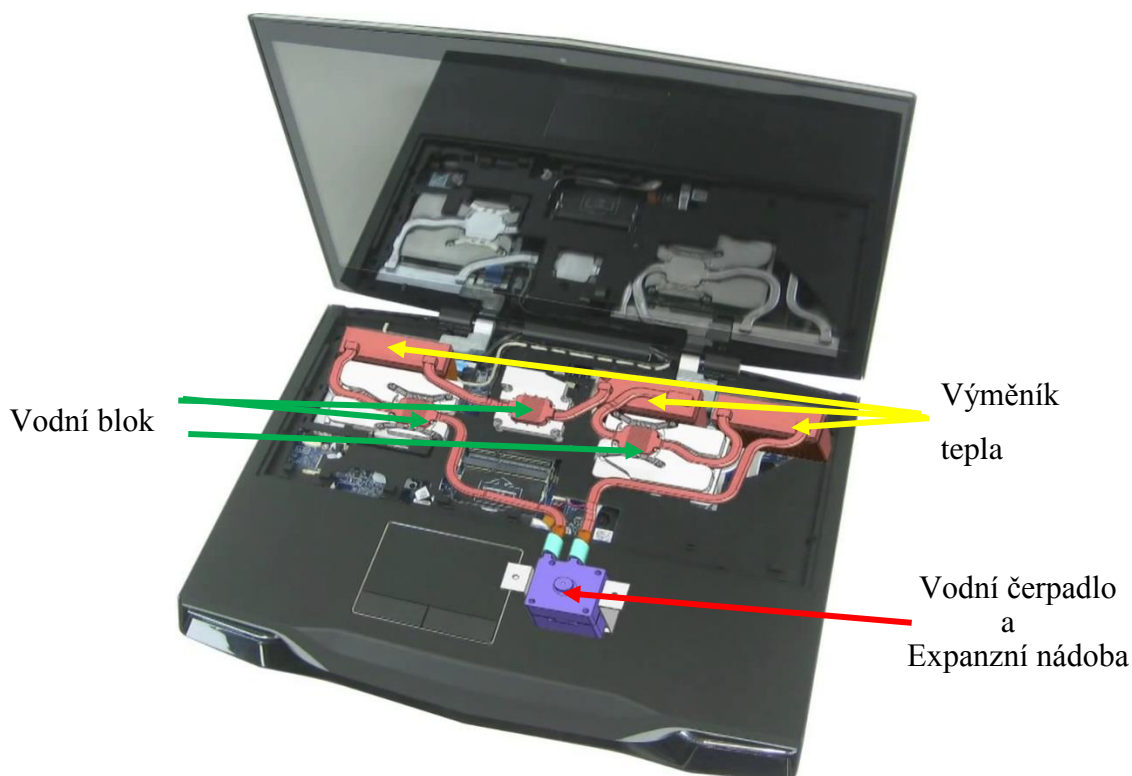


Obr. 9 Schéma zapojení vodního chlazení od firmy ASUS [34]

Druhé řešení vytvořila firma Asetek, která se dlouhodobě věnuje vodnímu chlazením v počítačovém průmyslu. S rostoucím výkonem mikroprocesorů se zaměřila také na notebooky. Rozdíl oproti předchozímu typu je v komplexním řešení AIO (All-In-One), což je funkční celek, který nepotřebuje pro svoji funkčnost další komponenty. Cílem je nahradit heatpipe tak, aby generovaný tepelný výkon CPU byl rovnoměrně rozložen mezi ostatní komponenty viz. Obr. 10. Klasické chlazení notebooku s heatpipe je vyjmuta a nahrazeno vodním okruhem o stejných rozměrech, při zachování původních ventilátorů viz. Obr. 11. Toto řešení umožňuje přetaktovat frekvenci procesoru z 3,5GHz na 4,4GHz a frekvenci grafického čipu ze 680Mhz na 800MHz. Po těchto úpravách je celkový výpočetní výkon navýšen o 23 %. [35]



Obr. 10 Porovnání rozloženého tepelného výkonu mezi vodním chlazením a heatpipe [33]



Obr. 11 Schéma vodního chlazení v notebooku [33]

Vodní čerpadlo je důležitý prvkem v chladícím okruhu a má velký vliv na účinnost celého systému viz. Obr. 11. Využívá se průtokové čerpadlo, které má přívod sloužící k nasávání vody a vývod pro tlačení vody ven do okruhu. Důležitým parametrem je výkon čerpadla udávaný v litrech za časový interval. Je nutné použít správně dimenzované čerpadlo, protože při vyšším průtoku se může více zahřívat. Při předimenzování dochází ke snížení odvodu tepla, neboť se voda ve vodním bloku nestihne ohřát. Je třeba dbát na správné umístění čerpadla uvnitř soustavy. V ideálním případě je zapojením čerpadla až za výměník tepla dosaženo snížení teploty, což zvyšuje jeho životnost. [21]

Nezbytnou součástí vodního chlazení je vodní blok, který je v kontaktu s prvkem generujícím teplo viz. Obr. 11. Kontakt je vyplněn teplovodivou pastou, pro lepší přenos tepla. Vodní blok, stejně jako čerpadlo, obsahuje vstup a výstup zajišťující průtok kapaliny. Uvnitř bloku se může nacházet kanálek, který má několik záhybů nebo chladících výstupků o velikosti jednotek desetin milimetru, a počtem v řádu stovek výstupků. Pokud je použit kanálek s příliš jednoduchou cestou, voda je odvedena velmi rychle a teplo není účinně odvedeno. V opačném případě není voda schopna přijmout tolik tepla a komponenty se více hřejí. Bloky jsou nejčastěji vyráběny z mědi s ohledem na vhodné fyzikální vlastnosti. Použití hliníku je možné jen

v případě, že je ve vodním okruhu přítomen samostatně. Případná chemická reakce těchto dvou prvků způsobuje nežádoucí oxidaci. [21; 35; 36]

Expanzní nádoba je součástí, která slouží především k odvodu vzduchu. Pokud se do okruhu dostane vzduch, nejčastěji ve formě bublinek, dochází ke zhoršení chlazení uvnitř vodního bloku. Expanzní nádoba vniknutí vzduchu do chladicí soustavy zabraňuje, a slouží zároveň k doplňování vody. [21]

Poslední částí je výměník tepla, obvykle nazývaný „radiátor“, mající vliv na výkon chladicího systému viz. Obr. 11. Teplá voda prochází vstupem přes radiátor, který předává teplo do okolí prostřednictvím měděných či hliníkových trubek, na kterých jsou navařeny plechy z mědi nebo alumina. Při ochlazování proudí voda směrem k výstupu z radiátoru. Samotný výměník tepla lze použít jen v případě méně výkonných komponent. Vhodným řešením je přídavný ventilátor, napomáhající zvýšení průtoku vzduchu přes žebra radiátoru. [21]

4.5 Přenosové médium

Kontaktní plochy chladiče a rozptylovače tepla procesoru nejsou na některých místech v přímém kontaktu ani po jejich dokonalém zbroušení. Tato místa přenášejí generovaný tepelný výkon méně a nahrazují se jiným teplovodivým médiem.

4.5.1 Teplovodivá pasta

Při montáži komponent chlazení dochází téměř vždy v prostoru mezi chladičem a mikroprocesorem k velmi malým mezerám vyplněným vzduchem. Vzduch má velmi malou tepelnou vodivost a působí tak jako izolant viz. Tab. 1. Teplovodivá pasta slouží k vyplnění tohoto prostoru a zajišťuje lepší přenos tepla mezi komponenty chlazení. Termální pasty mají mnohem nižší tepelnou vodivost oproti mědi nebo hliníku. [21]

Teplovodivé pasty jsou rozlišovány podle složení, které je nejčastěji na bázi silikonu nebo stříbra. Silikonové pasty neobsahují kov, nejsou tedy elektricky vodivé, a díky tomu jsou aplikovány v nejvíce případech. Jednou ze složek mohou být mikročástice uhlíku, ale většina výrobců své přesné složení tají. Tepelná vodivost dosahuje až $8,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ je tedy mnoho násobně vyšší než v případě vzduchu. Kvalitní teplovodivé pasty si dlouhodobě zachovávají svou konzistenci a nevysychají, což zaručuje jejich stálou tepelnou vodivost. [21; 37]

Druhým typem jsou pasty na bázi kovu. Nejpoužívanějším prvkem je z důvodu vysoké hodnoty tepelné vodivosti stříbro. Patří mezi kovy a jeho tepelná vodivost dosahuje až $38,4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Měřený teplotní rozdíl oproti silikonové pastě je až $5 \text{ }^\circ\text{C}$ na CPU nebo GPU. Při kontaktu s hliníkem však způsobuje oxidaci povrchu. [38; 39; 40]

4.5.2 Teplovodivý pad

Teplovodivý pad, častěji známější pod názvem „Thermal pad“, je používán za stejným účelem jako teplovodivá pasta. Vyplňuje mezeru mezi komponenty, které si předávají teplo. Využívá se především při chlazení paměťových čipů, rezistorů, stabilizátorů a cívek. Jsou případy, kdy je možné se setkat s použitím termálního padu na GPU a CPU. Tento způsob využívají výrobci u méně výkonných notebooků. Hlavním důvodem nasazení je větší prostor mezi chladičem a například paměťovým čipem, kde tato mezera může dosahovat až vzdálenosti 1 mm. Kvalitní teplovodivé pady mají běžnou tepelnou vodivost $6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a nejlepší až $17 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. [41; 42]

5 Vlastní zpracování

V této části práce je pozornost věnována konstrukci notebooků, jejich čištění, zvýšení chladících účinků chladičů, vyskytujícím se vadám a měření účinků profylaxe.

5.1 Konstrukce notebooku

Při konstrukci notebooků a jejich dílčích součástí jsou používány různorodé materiály. To má za následek často rozdílné požadavky na spojení, uložení a uchycení komponent. Nevhodné navržení konstrukce může v dlouhodobém časovém horizontu způsobovat různé typy závad.

5.1.1 Materiály

Materiálem, který se nejčastěji používá při konstrukci notebooků, je plast. Mezi jeho kladné vlastnosti patří malá hmotnost, relativní pevnost a pružnost. Pro dosažení požadovaných vlastností, především zvýšení pevnosti, jsou přidávány do plastu doplňující směsi. Negativem takto upraveného materiálu je náchylnost ke křehnutí, zvýšení pružnosti při vyšších teplotách a relativně nízká životnost při častém mechanickém namáhání. Použití plastu je ve většině případů dáno požadavkem výrobce na nízké výrobní náklady.

Kvalitativně vyšší kategorií používaných materiálů jsou slitiny hořčíku, nejčastěji s hliníkem. Mezi přednosti patří nízká hustota, která má vliv především na hmotnost a vysoká pevnost. Zápornou vlastností slitin hořčíku je nízká pružnost při deformaci. Slitiny hořčíku nacházejí širší uplatnění v kvalitativně vyšší kategorii notebooků.

Posledním materiálem, se kterým je možné se setkat u konstrukce notebooků, je hliník. Oproti slitinám hořčíku má nižší pevnost, avšak vyšší houževnatost, tažnost a pružnost. Technologické zpracování hliníku umožňuje snížit tloušťku materiálu na minimum, ale při požadavku na vyšší tuhost a tedy i tloušťku materiálu se zvyšuje jeho hmotnost.

5.1.2 Tělo notebooku

Tělo notebooku tvoří v základu tři části. Prvním je víko displeje s LCD panelem a panty, které umožňují spojení s tělem notebooku. Víko je vyráběno ze všech zmíněných materiálů. Například modely notebooků řady ThinkPad využívají slitiny hořčíku pro uložení displeje a plast překrývající tento rám. U notebooků nižší kategorie zpracování je používán výhradně plast, vyšší kategorie využívají také hliníkové víko displeje. [43]

Další částí notebooku je spodní díl označovaný jako „vana“. V polovině případů slouží k uložení a uchycení komponent, pantů víka displeje nebo chlazení. Je vyráběn z hliníku nebo plastu, podle požadovaných vlastností. Často je kombinován s rámem z hořčíkových slitin pro zvýšení tuhosti, která zabraňuje nadměrnému ohýbání a poskytuje ochranu komponent, při relativně nízkém zvýšení hmotnosti. V druhé polovině případů slouží pouze jako spodní kryt komponent.

Poslední částí těla notebooku je horní díl tzv. „palmrest“. Zde bývá přichycena klávesnice, touchpad, zapínací tlačítko notebooku, ovládání hlasitosti reproduktorů, případně indikátory stavu provozu notebooku. V případě, že je zvolena varianta uložení komponent do „vany“, slouží horní díl zároveň jako kryt. Při použití spodního dílu notebooku jako kryt, jsou na horním dílu přichyceny jednotlivé komponenty a panty víka displeje.

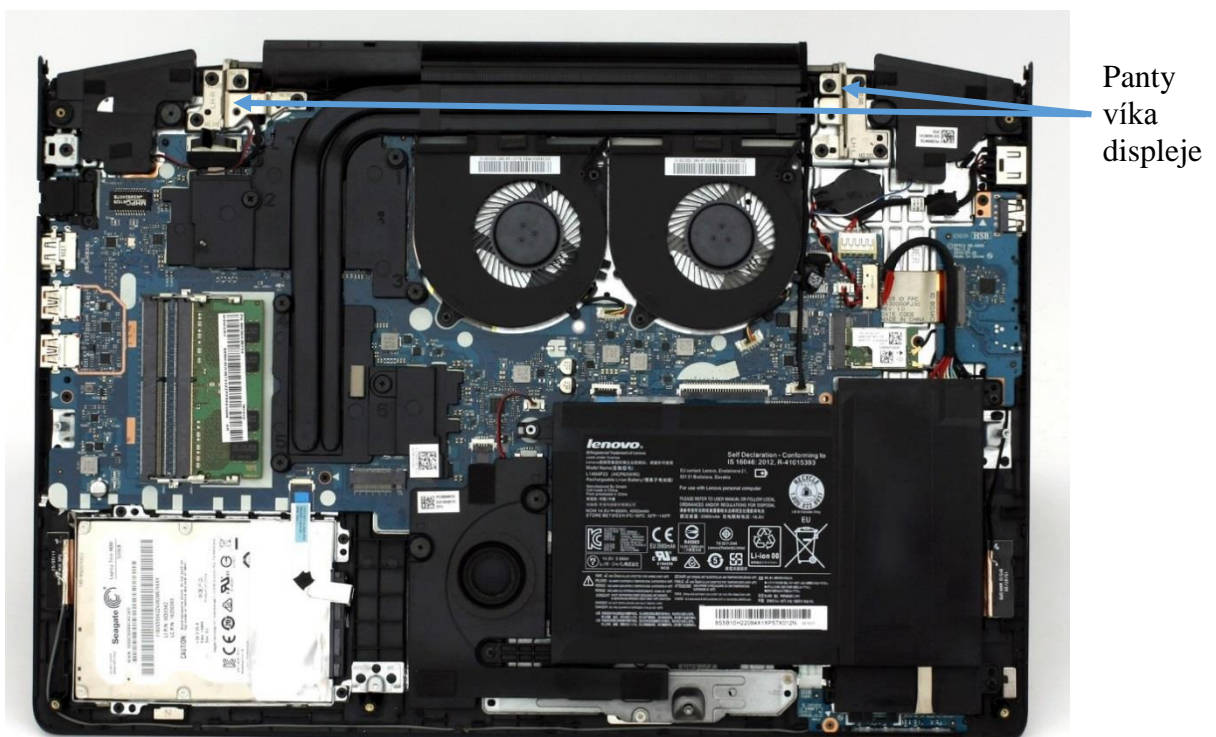
5.1.3 Typy uchycení komponent

Jak bylo zmíněno v předešlé části, komponenty počítače lze umístit dvěma způsoby. S ohledem na zažité názvosloví používané při popisu konstrukce notebooků, jsou obvykle oba díly (tzn. horní i spodní díl), souhrnně označovány jako „šasi“ notebooku. Prvním způsobem je uchycení komponent notebooku do spodního dílu šasi vyrobeného z plastu, popřípadě slitin hořčíku. Na Obr. 12 je vana šasi vyrobena ze slitin hořčíku tvořící nosný celek konstrukce. Pokus o deformaci šasi se projeví pouze mírně a pro překročení mezí pevnosti materiálu je vyžadována značná síla. Plasty jsou v porovnání se slitinami hořčíku na deformaci velmi citlivé. Síla, která u hořčíkového šasi způsobuje pouze mírnou deformaci, může u plastového způsobit až prasknutí materiálu. U hořčíkového šasi jsou komponenty přichyceny k vaně šroubky, a i přes nesprávné dotažení některého upínacího šroubku se pevnost celého šasi nesníží.



Obr. 12 Spodní díl šasi ze slitin hořčíku a hliníku s komponentami

Druhým typem uchycení komponent, obvykle do plastu, je využití horního šasi notebooku, viz. Obr. 13. Plastový palmrest má tloušťku pouze 1-2 mm, která zaručuje pouze omezenou pevnost. Celková deformace šasi je vyšší, než při uchycení komponent do spodního dílu s použitím plastů.

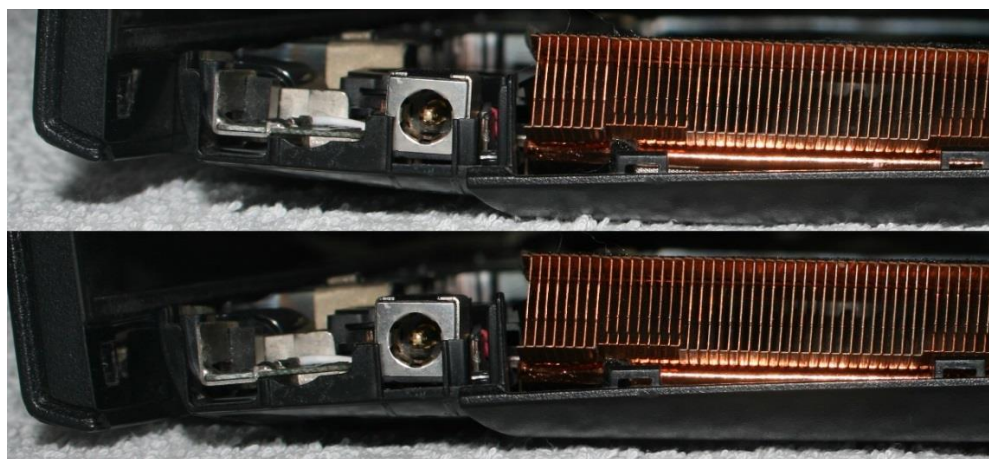


Obr. 13 Horní díl šasi z plastu s komponentami [44]

Samotné horní šasi tedy nezaručuje celkovou pevnost konstrukce. Tato je závislá zároveň na připojených komponentech. Ke snížení deformace palmrestu tak napomáhají obvykle základní deska s chlazením CPU a GPU. Ke zvýšenému namáhání dochází v oblasti pantů víka displeje, kde je zatížení na ohyb největší. Celkové pevnosti konstrukce je dosaženo až dotažením spodního víka šroubky. Pokud je šroubek špatně dotažen například v oblasti pantů, celá tuhost konstrukce je snížena a může dojít k následnému poškození, většinou lomu. Obdobné vady mohou způsobit i vysoké teploty uvnitř šasi, způsobující křehnutí plastů.

5.1.4 Vady konstrukce

Z předchozích částí vyplývá, že volba použitého materiálu má velký vliv na životnost celého šasi. Na Obr. 14 si lze povšimnout deformace dolní části šasi při běžném používání notebooku. Síla potřebná k otevření víka displeje je přenášena pomocí pantů přímo do plastového šasi. Zvýšené namáhání ohybem je částečně vyřešeno palmrestem, který se pro jeho správné usazení spojuje šroubky a plastovými západkami.



Obr. 14 Deformace dolního šasi při zavírání víka displeje (nahore) a při otevírání víka displeje (dole)

Deformace materiálu je ve většině případů vratná a nemá přímo viditelné následky. V závislosti na četnosti a způsobu používání notebooku, se mohou následky namáhání objevit až za delší dobu, například jako drobné praskliny v šasi. Bohužel v této situaci už není možné zabránit dalšímu šíření trhlin a je žádoucí vyhledat odbornou pomoc, jinak hrozí trvalé poškození dalších komponent notebooku. Obvykle jsou plastová šasi nejvíce namáhána v oblasti pantů víka displeje, proto někteří výrobci zpevňují dílčí části přidáním výztužného plechu pro rozložení namáhání. Pokud i tak selžou všechny konstrukční prvky, zlepšující pevnost šasi, dochází k jeho poškození viz. Obr. 15. Pro uchycení pantů do dolní části plastového šasi se nejčastěji

používají zatavené mosazné matice. Při únavě plastu dochází k utržení a vylomení matice, jednotlivý pant je tím uvolněn a celá hmotnost víka displeje spočívá na zbylém. Opravu lze provést spojením obou dílů šasi se zajištěním šroubovým spojem. Pro rozložení místního namáhání je vhodné šroubový spoj opatřit plochými podložkami. Tomuto poškození napomáhají také výdechy chlazení, které způsobují křehnutí plastu. U šasi ze slitin hořčíku a hliníku se tyto závady projevují pouze v případě nešetrného zacházení. Tím bývá nejčastěji pád na tvrdý povrch, při kterém materiál není schopen pohltit namáhání a v nejslabším místě dochází k lomu.



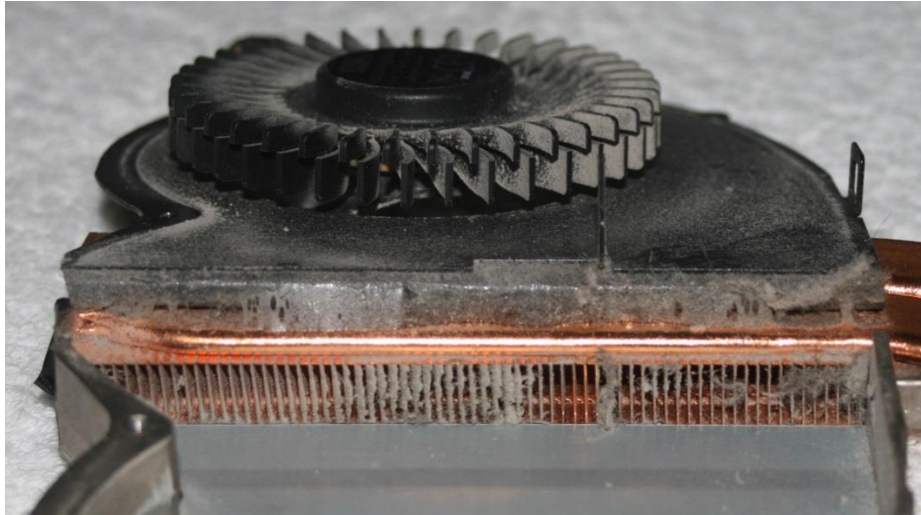
Obr. 15 Vady vzniklé únavou materiálu u přichycení pantu (vlevo) a namáhání u pantu (vpravo)

5.2 Profylaxe hardwaru

Všechny notebooky mají určitou životnost, kterou lze výrazně zkrátit zanedbáním údržby nebo prodloužit pomocí pravidelných preventivních servisních úkonů.

5.2.1 Prach

Vzduch je plný pevných mikročástic, které se spojují a vytvářejí větší celky. Viditelným částicím říkáme prach. Prach je nasáván nejčastěji z průduchů spodní strany vany notebooku, kde je rozvířen ventilátorem a zachytává se na žebrování výdechu chlazení. Zde je prach kumulován a vytváří prachovou vrstvu na ventilátoru a žebrování viz. Obr. 16. Tím se zmenšuje mezera mezi žebry, která snižuje průtok vzduchu včetně chladícího účinku.



Obr. 16 Chlazení notebooku zanesené prachem

Prach také zanáší ložiska ventilátoru a způsobuje zvýšení odporu otáčení rotoru, což má za následek snížení jeho životnosti. Životnost je možné částečně prodloužit použitím vhodné vazelíny nebo aplikací oleje do ložiska ventilátoru, což může výrazně prodloužit jeho funkčnost. Chlazení zanesené prachem, se v krajních případech může stát neúčinným, pokud vrstva naneseného prachu již neumožňuje průtok vzduchu. Působí tak jako izolační vrstva. To má zpětně vliv na teplotu aktivních komponent především CPU a GPU, které se více zahřívají a mohou způsobovat nestabilní funkčnost notebooku. Vyšší tepelný výkon, vyzařovaný mikroprocesory, je opět následně přenášen tepelnou radiací do okolí, což teplotně namáhá šasi včetně základní desky, operační paměť nebo pevný disk.

K odstranění prachové vrstvy je možné použít mechanické očištění žebrování a lopatek ventilátoru pomocí štětce, odsátí vysavačem nebo stlačený vzduch, případně chemické očištění. Někteří výrobci využívají prachového filtru ve formě plastu se žebrováním. Tuto ochranu lze snadno vyjmout a vyčistit. Doporučením je pravidelný interval čištění celé chladicí soustavy, nebo alespoň občasné pročištění průduchů chlazení stlačeným vzduchem.

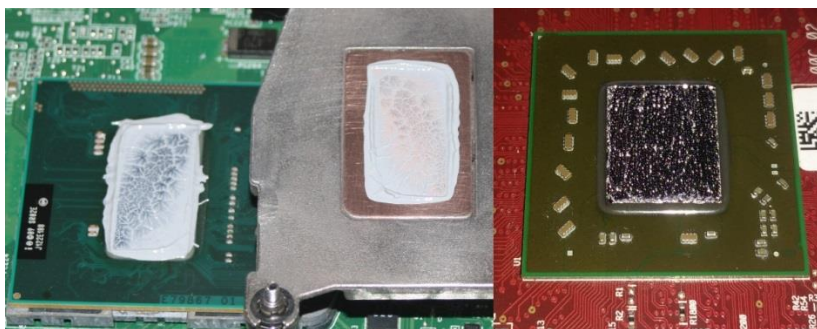
5.2.2 Teplovodivá pasta

Při větší výkonové zátěži notebooku jsou CPU a GPU značně tepelně namáhány. Generované teplo je přenášeno termální pastou umístěnou mezi CPU popř. GPU a chladičem, která postupem času ztrácí svoje tepelně vodivé vlastnosti. Správnou funkci pasty nejvíce ovlivňuje navržený způsob a stav chlazení, který často není schopen dostatečně odvádět generované teplo. Pasta vlivem vysokých teplot vysychá, pozbývá své viskozity a tvrdne. To má negativní vliv

na schopnost přenášet teplo generované mikroprocesory, což je zpětně zahřívá a napomáhá tak dalšímu tvrdnutí pasty. Tomu je možné částečně zabránit již zmíněným čištěním.

Pokud dojde k předchozím zmíněným problémům, je nutné původní vrstvu termální pasty odstranit. To lze řešit ve většině případů nejdříve mechanickým očištěním a poté chemickým ošetřením povrchu kontaktní plochy chladiče. Pro odstranění pasty z rozptylovače tepla procesoru a dosedací plochy chladiče lze obvykle použít textilní hadřík napuštěný vhodným chemickým přípravkem (rozpouštěčem). V malém počtu případů se může pasta „zapéct“ do kontaktních ploch a je nutné použít vhodný nástroj k jejímu odstranění. Poté je aplikován stejný způsob očištění ploch hadříkem.

Před samotnou aplikací teplovodivé pasty je nutné zvolit její požadované vlastnosti. U notebooků se používá výhradně silikonové složení, tedy bez příměsí kovů. Metalické termální pasty není vhodné používat z důvodu jejich vysoké elektrické vodivosti a viskozity. U těchto past může při nesprávném nanesení dojít k úniku malého objemu pasty ve formě kuličky. Během manipulace s notebookem dochází k jejímu uvolnění a při provozu tak způsobí elektrický zkrat kontaktů komponent. Před nanesením vrstvy teplovodivé pasty na silikonové bázi je nutné zvolit její správné množství. Silná vrstva pasty působí spíše jako izolant a nesplňuje požadavky na přenos generovaného tepla. Ideální tloušťka je dána Obr. 17, kdy jsou dosedací plochy v těsném kontaktu a vytvářejí vzájemný otisk.

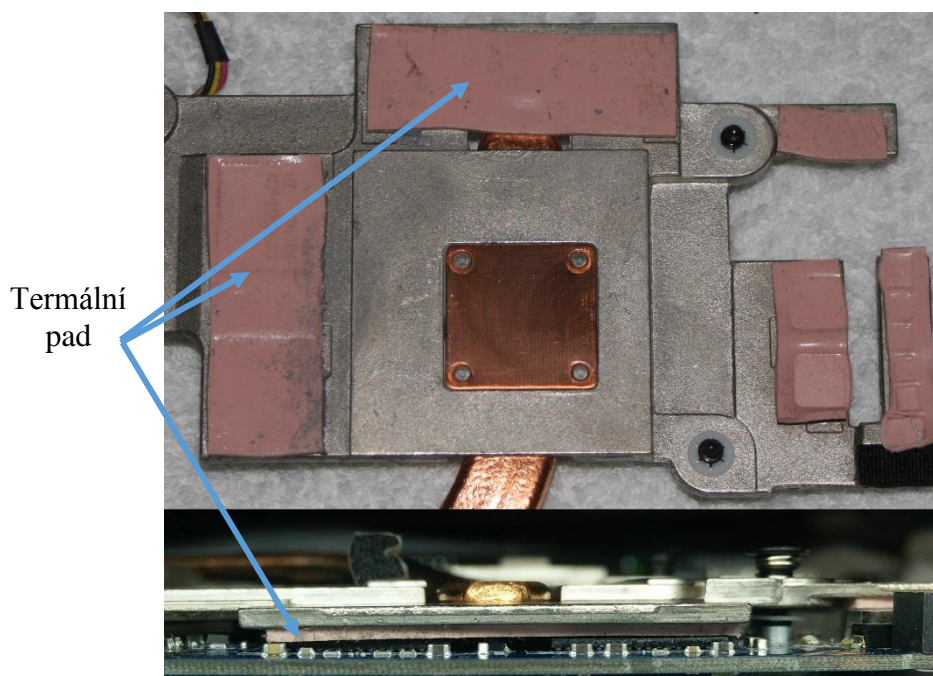


Obr. 17 Správné množství teplovodivé pasty (vlevo) a její správné nanášení (vpravo)

Nanesení termální pasty je možné provést dvěma způsoby. První způsob vhodný pro malé rozptylující plochy je nanesení pasty na její střed, kde se při dotahování chladiče pasta stlačuje a nanáší na zbylou plochu. Druhým způsobem je použití plošného aplikátoru k rovnoměrnému rozetření dle Obr. 17.

5.2.3 Termální pad

Součástky generující teplo, u kterých není možné pro přenos tepla využít teplovodivou pastu s ohledem na velikost mezery nimi a chladičem, jsou chlazeny pomocí termálního padu viz. Obr. 18. V některých případech je využíván výrobcí notebooků i k přenosu tepla od CPU a GPU. Termální pady mohou dosahovat stejných hodnot tepelné vodivosti jako pasta, ale limitujícím parametrem je jejich tloušťka. Obvykle jsou používány pady s tloušťkou od 0,5mm do 1 mm, které jsou schopny zajistit dostatečný přenos tepla. Takovéto tloušťce teplovodivého padu je přizpůsobeno i chlazení výrobců. Životnost termálního padu, je stejně jako u termální pasty ovlivněna tepelným zatížením, při kterém dochází také ke tvrdnutí. Následně je nutná jeho výměna.



Obr. 18 Použití termálního padu na chladiči (nahore) a kontakt s paměťovými čipy (dole)

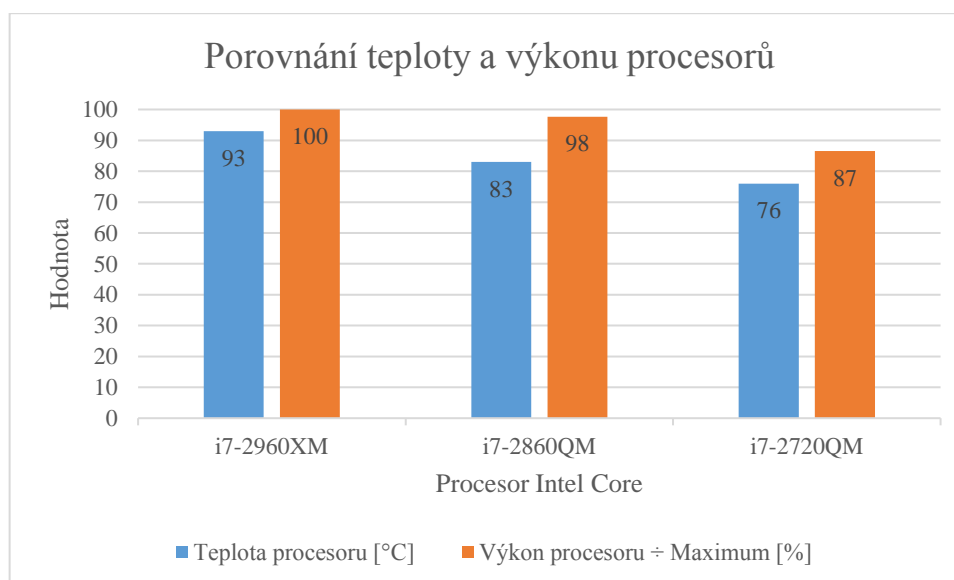
Aplikace teplovodivých padů není složitým úkonem, pokud je dodržen správný postup. Je důležité správně rozvrhnout umístění padu a přizpůsobit jeho rozměr, s malým přesahem, komponentě, se kterou má být v kontaktu. Pad má dvě strany opatřené folií usnadňující jeho aplikaci. Silnější folie určuje stranu, která je v přímém kontaktu se součástí generující teplo, například paměťový čip. Strana přicházející do kontaktu s chladičem, má folii slabou.

5.3 Snížení tepelného namáhání

Chlazení dimenzované výrobcí notebooků lze v některých případech zlepšit. To lze provést například použitím teplovodivé pasty s vyšší hodnotou tepelné vodivosti, nebo odstraněním termálních padů z CPU a GPU a jejich nahrazením účinnější pastou. Určité modely notebooků umožňují výměnu procesoru a grafické karty, které jsou hlavními zdroji generujícími teplo.

5.3.1 Výměna procesoru

Výměna procesoru je prováděna nejčastěji za účelem zvýšení výkonu notebooku. Možnost instalace novějšího procesoru s vyšším výkonem, generujícím méně tepla, není však u notebooků obvykle možná. Lze použít pouze podporované procesory daného modelu. Tím obvykle dochází k navýšení TDP procesoru a je nutné zlepšit účinnost chlazení, která je již limitována předchozím CPU. Možným řešením je použití kvalitnější teplovodivé pasty s vyšší hodnotou tepelné vodivosti. Z porovnání procesorů druhé generace Intel Core, podle Grafu 1 vyplývá, že procesor i7-2720QM s TDP 45 W dosahuje nejnižší teploty z porovnávaných CPU, měřených při maximálním výkonu. V případě požadavku na vyšší výkon procesoru není však vhodnou volbou [45]



Graf 1 Porovnání teplot a výkonu procesorů v notebooku Dell Precision M6600 [46; 47]

První možností náhrady původního procesoru je typ i7-2860QM se stejným TDP, dosahujícím vyšší teploty v zátěžových testech i vyššího výkonu při zachování stejného chlazení a termální pasty. Nárůst teplot na tomto procesoru jen velmi málo ovlivňuje tepelné namáhání šasi

notebooku včetně jeho chlazení. Ve většině situací procesor typu i7-2860QM nevygeneruje maximální teploty uvedené v Grafu 1. Při běžném používání nepřesahuje teploty původního procesoru. Zátěžový test slouží pouze k určení maximální hranice. [45]

Druhou možností je použití nejvýkonnějšího CPU i7-2960XM od firmy Intel v podporovaných možnostech notebooku. Tento procesor má nejvyšší výkon z výše zmíněných, avšak za cenu zvýšených teplot z důvodu navýšení hodnoty TDP na 55 W. Vysoká teplota CPU může způsobit zhoršení mechanických vlastností šasi a také snižovat životnost ventilátoru chladiče. Jednou z možností je vypnutí technologie Intel Turbo Boost, která automaticky navyšuje základní frekvenci procesoru. Tímto dochází ke snížení maximálního výkonu procesoru. [45]

Stejný princip je možné použít v opačném případě, kdy není kladen důraz na výpočetní výkon procesoru. Výměnou za méně výkonný CPU je dosaženo snížení generovaného tepla a menšího zatížení chlazení včetně ventilátoru, což následně pozitivně ovlivňuje dlouhodobou pevnost šasi notebooku.

5.3.2 Výměna grafické karty

Výměnu grafické karty notebooku je možné realizovat ještě v menším počtu případů, než u výměny CPU. Většina notebooků s možností výměny GPU, je určena převážně ke hraní her, práci s grafickými programy, nebo pro střih videa. GPU těchto notebooků je konstrukčně řešena jako samostatný zásuvný modul do sběrnice (slotu). Z tohoto důvodu dochází k navýšení celkové tloušťky těla notebooku, které lze následně využít ke zvýšení průtoku vzduchu v chladičí soustavě. Tepelný výkon generovaný nejvýkonnějšími GPU dosahuje až 165 W, ale standardní hodnota je 75-100 W TDP, při zachování mobility notebooku. Poškození grafické karty, nebo její nedostatečný výkon, jsou nejčastější důvody k její výměně. [48]

Další z možností, jak zlepšit chlazení, je výměna grafické karty za novější typ, v ideálním případě za kartu vyrobenou modernějším výrobním procesem viz. Tab. 2. Při výběru je důležité neopomenout TDP grafického čipu, aby nedošlo k jeho přehřívání. Výrobní proces umožňuje zachovat hodnotu TDP a navýšit frekvence jádra a paměťových čipů grafické karty, což zvyšuje její výkon. Teploty FirePro M6100 jsou o 4 °C nižší ve výpočetních zátěžových testech než u starší HD 6970M, což má vliv především na nižší namáhání ventilátoru chlazení. Obdobně jako u CPU je možné použít grafickou kartu s nižším TDP, při zachování původního výkonu GPU, především pomocí menšího výrobního procesu.

Parametry	AMD HD 6970M	AMD FirePro M6100
Frekvence CPU [MHz]	680	1075
Frekvence paměti [Mhz]	900	1375
Výrobní proces [nm]	40	28
TDP [W]	75	75
Početni výkon [GLOPS]	1305,6	1651,2
Maximální teplota GPU [°C]	87	83

Tab. 2 Porovnání parametrů grafických karet AMD HD 6970M a FirePro M6100 [49; 50; 51]

5.3.3 Chladicí podložka

Tělo notebooku je zahříváno provozem mikroprocesorů a dalších komponent, které předávají teplo do celého šasi notebooku. To není ochlazováno a zahřívá následně povrch, na kterém je notebook položen, například stůl. Nasávaný zahřátý vzduch, proudící přes spodní díl šasi, není již schopen optimálně absorbovat množství generovaného tepla a tím klesá i účinnost chlazení.

Nejsnazším řešením je podložení notebooku a umožnění nasávání chladnějšího vzduchu, což není moc efektivní. Lepší řešení poskytují výrobci chladících podložek, které jsou přizpůsobeny k tomuto účelu viz. Obr. 19. Notebook je položen na podložce, jejíž horní část je perforována výřezy, a umožňuje tak snadný prostup vzduchu. Zároveň je mnohdy možné využít výklopných plastových „nožiček“, díky kterým lze přizpůsobit sklon chladicí podložky a tím zvětšit mezeru mezi notebookem a jeho podkladem. Pro zlepšení proudění vzduchu skrze chladicí podložku je možné u vybraných typů podložek využít integrovaných ventilátorů, které nasávají vzduch od povrchu podložky a tím více ochlazují šasi notebooku. [52]

Použití chladicí podložky ovlivňuje teplotu komponent uvnitř notebooku včetně šasi. Tímto způsobem je možné ochladit základní desku až o 9 °C a snížit teplotu procesoru o 6 °C. Jedná se o nejjednodušší metodu efektivního snížení teplotního namáhání CPU a GPU, bez potřeby výměny komponent, což má za následek prodloužení životnosti notebooku. [53; 52]



Obr. 19 Chladící podložka [52]

5.4 Vady vzniklé nedostatečným chlazením

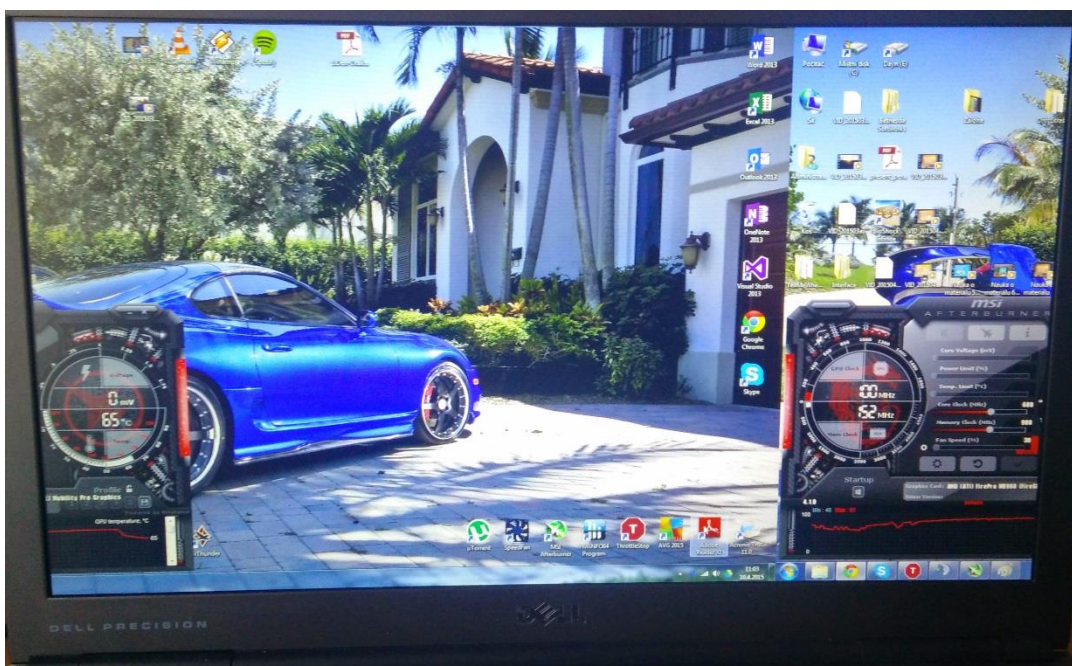
Nadměrné tepelné namáhání může způsobovat poškození jednotlivých komponent. Šasi notebooku obsahuje bezpečnostní prvky, jejichž účelem je zabránit nadměrnému opotřebení. Obdobné prvky obsahují i aktivní komponenty notebooku, například CPU a GPU.

Procesor obsahuje již zmíněnou technologii TMT, která ve většině případů zabrání jeho přehřívání. Pokud dojde k překročení teplotních hodnot stanovených výrobcem procesoru je aktivována termální pojistka a notebook je vypnut. Tím nedochází k poškození CPU a jeho funkčnost je opět možná po ochlazení na provozní teplotu. [12]

Vysoké teploty mají také vliv na řídicí elektroniku pevného disku. Nadměrné zahřívání snižuje jeho životnost a může zapříčinit poškození elektroniky pevného disku. Při jejím poškození není možné pracovat s daty, které jsou na něm uloženy. Stav disku, lze kontrolovat pomocí technologie „S.M.A.R.T“. Ta průběžně ukládá hodnoty jednotlivých parametrů včetně teploty disku. Kontrolou hodnot je možné zabránit poškození disku a tím zamezit ztrátě dat. [54]

Správná funkčnost GPU je závislá na více součástkách, což zvyšuje pravděpodobnost poškození. Grafický procesor spolu s jeho pamětmi integrovaný na základní desce i grafická karta, která je zasouvána do slotu, jsou postihovány stejnými typy závad. Při zahřívání základní desky dochází k její pružné deformaci (prohýbání) a křehnutí pájky způsobí narušení spoje se

součástí. Nejčastější závadou je špatný elektrický spoj grafické paměti se základní deskou. Projevem je nesprávné zobrazení obrazu na LCD panelu viz. Obr. 20. V tomto případě grafický ovladač není schopen plně přistoupit k paměti, která je potřebná k vykreslení daného obsahu. Stejná vada se projevuje například různě barevnými pruhy na displeji notebooku. To může způsobit selhání operačního systému, které se například u Windows může vizuálně projevit jako modrá obrazovka s příslušným chybovým hlášením.



Obr. 20 Následek poškození elektrického spoje grafické paměti se základní deskou.

Pokud dojde k narušení elektrického spoje základní desky a grafického čipu, je tato závada po zapnutí notebooku prezentována trvalým svícením nebo problikáváním indikačních kontrolky. Displej notebooku je vypnutý z důvodů neobdržení signálu k jeho zapnutí. Obdobným způsobem notebook indikuje chybějící modul operační paměti, který je navíc doprovázen akustickou signalizací (pípáním) reproduktoru, nebo specifickou signalizací stavových kontrolky.

5.5 Měření

Jednotlivé prvky chladicí soustavy mají velký vliv na správné chlazení procesoru, grafického čipu a jeho paměti. Výměnou nebo vyčištěním těchto prvků je možné výrazně ovlivnit kvalitu ochlazování komponent.

5.5.1 Měření teplovodivých médií

Pro měření byly zvoleny čtyři nejčastější typy přenosových médií mezi CPU a chladičem. Naměřená teplota v místnosti byla 20 °C. Po očištění kontaktních ploch hadříkem následovalo přichycení chladiče k procesoru. Tento postup byl použit před každou výměnou termálního média. První měření proběhlo bez přidání teplovodivé pasty a padu. Přenosovým médiem byl pouze vzduch, jehož hodnota tepelné vodivosti podle Tab. 1 je $0,024 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Poté následovalo měření teplovodivého padu od výrobce Phobya s tepelnou vodivostí $7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a tloušťkou 0,5 mm. Po odstranění teplovodivého padu byla na procesor nanesena termální pasta IC Essential E1 od výrobce Artic s tepelnou vodivostí až $4,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Posledním měřeným médiem byla teplovodivá pasta MX-4 od výrobce Cooler Master s tepelnou vodivostí $8,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Pro měření výkonu procesoru byl použit výpočetní algoritmus programu IntelBurnTest. K měření teplot procesoru bylo využito programu MSI Afterburner, který výsledné hodnoty uložil do souboru. [37; 55; 56; 57; 58]

5.5.2 Měření účinnosti profylaxe notebooku

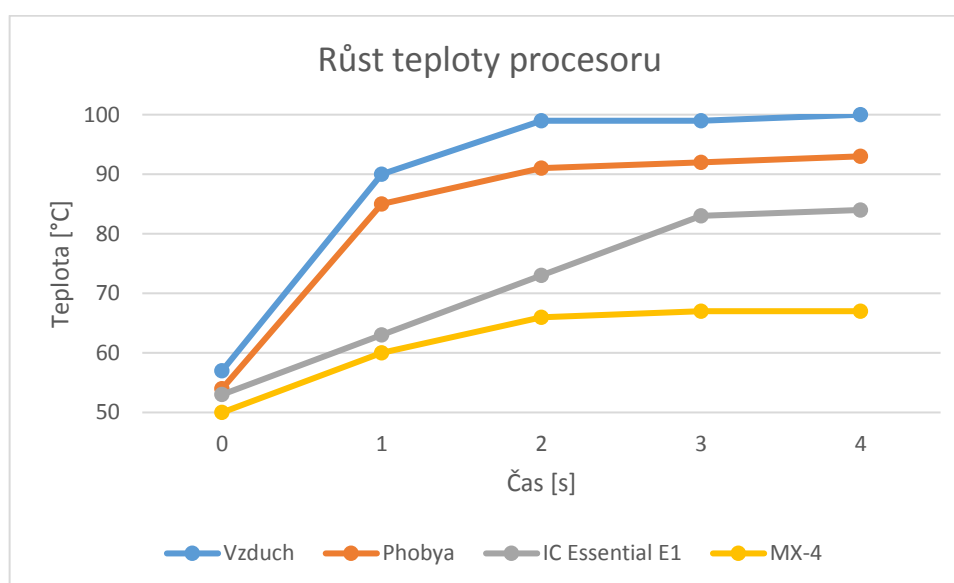
Notebook vybraný k měření byl aktivně používán po dobu osmi měsíců. Hlavním kritériem pro jeho výběr byly vysoké teploty na CPU a GPU, které zvyšovaly riziko na oslabení šasi notebooku. Prach zanesl lopatky ventilátorů a žebrování chladiče. Teplovodivá pasta vlivem vysokých teplot mikroprocesorů změnila svoji původní viskozitní strukturu na „tvrdou“ a ztratila schopnost efektivně přenášet teplo od procesoru. Naměřená teplota v místnosti byla 21 °C. Před profylaxí chladicí soustavy bylo provedeno měření pro zaznamenání teplot na CPU. Pro zatížení procesoru výpočetními testy byl jako v předchozím případě použit IntelBurnTest. K měření teploty procesoru a jeho frekvence během zátěžového testu procesoru byl použit software TrottleStop, který naměřené hodnoty ukládal do souboru. Po očištění chladicího soustavy od prachu a aplikaci nové teplovodivé pasty byl použit stejný postup měření. [58; 59]

6 Výsledky a jejich hodnocení

Výsledky umožňují porovnání jednotlivých měření, pomocí kterých je možné stanovit východiska pro aplikaci teplovodivých médií a účinku profylaxe na notebook.

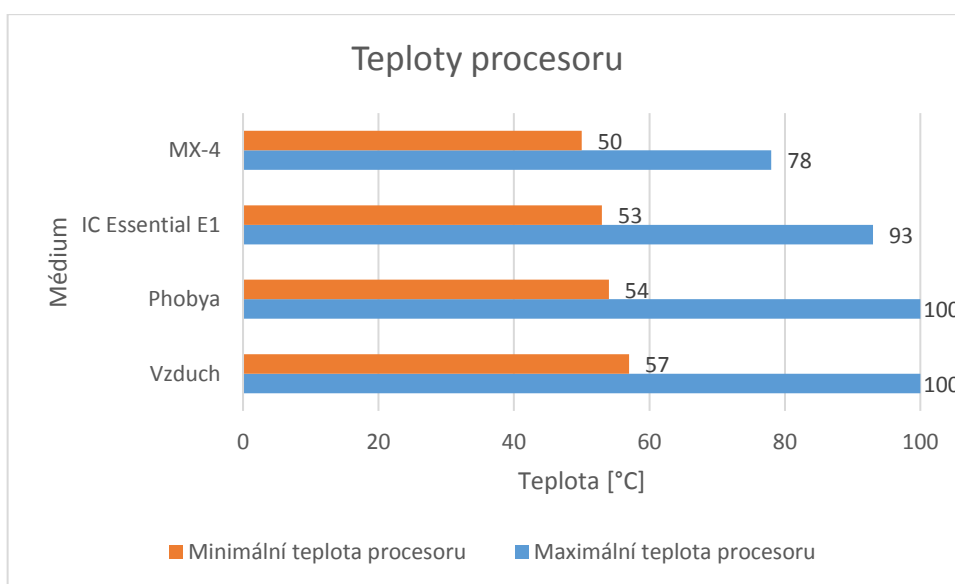
6.1 Výsledky měření teplovodivých medií

Z Grafu 2 vyplývá, že nárůst teploty v čase je ovlivněn hodnotou tepelné vodivosti daného materiálu. Vzduch má nejnižší hodnotu a není tedy vhodným médiem pro přenos tepelného výkonu od procesoru do chladiče. Po uplynutí čtyř vteřin není vzduch schopen dostatečně předávat generovaný tepelný výkon. Termální pad má vysokou tepelnou vodivost, ale při použití tloušťky 0,5 mm je mezera mezi chladičem a procesorem větší než v případě vzduchu. Jeho potenciál je využit pouze minimálně a křivka nárůstu teplot je obdobná, jako vzduchu. Teplovodivá pasta IC Essential E1 má lepší výsledky v latentním stavu procesoru oproti předchozím mediím. Její vrstva je výrazně tenší než v případě termálního padu, a tím jsou lépe využity její schopnosti přenášet tepelný výkon od procesoru, při nižší tepelné vodivosti. Během prvních dvou vteřin je nárůst teploty daleko nižší a pasta se lépe vyrovnává s nárazovými výkyvy teplot procesoru. Posledním vzorkem je teplovodivá pasta MX-4, která má o něco vyšší tepelnou vodivost než termální pad. Její vrstva je stejně slabá, jako u předchozí pasty, ale generovaný tepelný výkon v delším čase přenáší lépe.



Graf 2 Porovnání růstu teplot medií v závislosti na čase

Při delším zátěžovém testu procesoru je chlazení intenzivně zahříváno, touto simulací je možné zjistit budoucí stabilitu systému. Z porovnání médií v Grafu 3 v latentním stavu vyplývá, že teploty procesoru jsou vyhovující a nijak nenarušují pracovní stabilitu notebooku. Z výsledků zátěžového testu, který probíhá v řádech desítek minut, vyplývá, že při použití termálního padu a vzduchu se naměřené teploty přibližují maximální povolené teplotě procesoru. Ta se pohybuje obvykle okolo 100 °C Termální pasta IC Essential E1 udržuje teplotu procesoru o „pouhých“ 7 °C nižší, než předchozí dvě média. V následném porovnání je pasta MX-4 schopna tuto teplotu ještě snížit o dalších 15 °C.



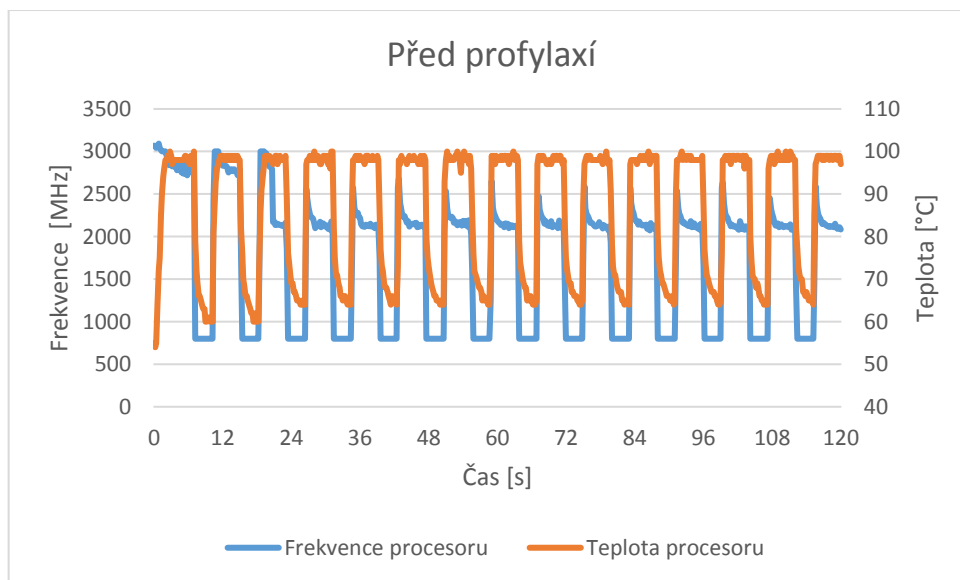
Graf 3 Porovnání naměřených minimálních a maximální teplot při plném zatížení CPU

Z výsledků měření vyplývá, že termální pad a vzduch nejsou vhodnými médii pro přenos tepla od procesoru. Naproti tomu kvalitní termální pasta z dlouhodobého hlediska příznivě ovlivňuje a umožňuje správnou funkčnost notebooku.

6.2 Výsledky měření účinku profylaxe u notebooku

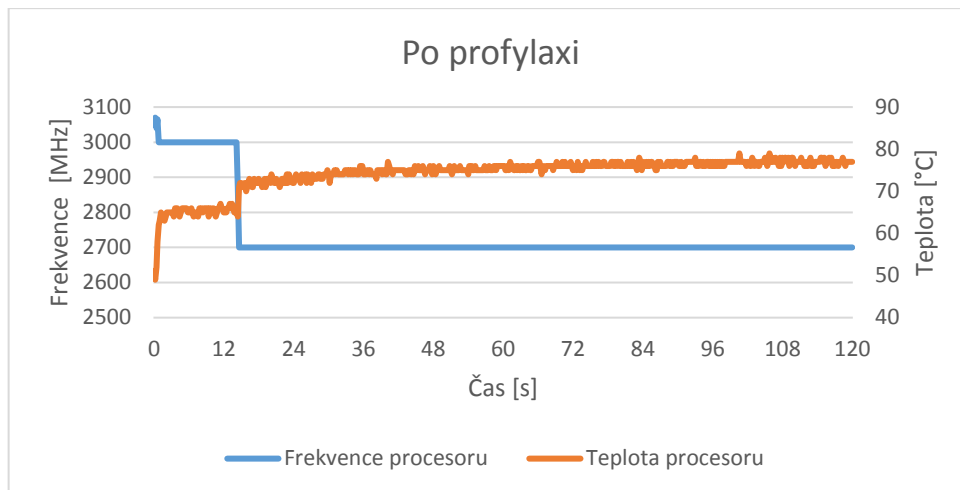
Naměřené hodnoty před vyčistěním chladicí soustavy a výměnou teplovodivé pasty jsou znázorněny v Grafu 4. Teplota procesoru po spuštění zátěžového testu stoupá z 53 °C velmi rychle vzhůru. Zároveň při tom klesá jeho frekvence z maximálních 3100 MHz. Po třech vteřinách testu teplota procesoru dosahuje 100 °C. Pro udržení stability procesoru je jeho frekvence snížena na 2700 MHz a tím dochází k mírnému poklesu teploty, který opět umožňuje znovu navýšení frekvence procesoru o 200 MHz. Po sedmi vteřinách od začátku testu je dosaženo maximální provozní teploty procesoru. Aby nedošlo k poškození procesoru,

technologie TMT snižuje jeho frekvenci na minimální hodnotu tedy 800 MHz. Generovaný tepelný výkon procesorem výrazně klesá a tím je po dobu tří vteřin snižována i teplota procesoru. Po snížení teploty procesoru na 60 °C je frekvence navýšena na 3000 MHz. Tento cyklus navyšování a snižování frekvence včetně teploty procesoru je opakován do ukončení výpočtového testu.



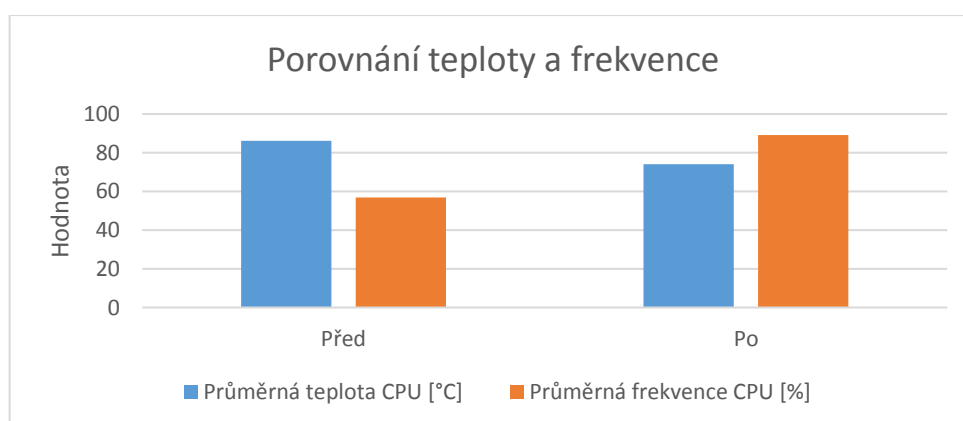
Graf 4 Průběh frekvence a teploty procesoru před profylaxí

Hodnoty měření po profylaxi tzn. vyčištění žebrování chlazení, lopatek ventilátoru od prachu a výměny teplovodivé pasty mezi procesorem a chladičem jsou znázorněny na Grafu 5. Při spuštění zátěžového testu, teplota CPU je zvyšována ze 49 °C na 66 °C. Tento nárůst teplot probíhá po dobu tří vteřin, během kterých je frekvence procesoru snižována na 3000 MHz. Hodnoty frekvence a teploty procesoru jsou změněny po uplynutí patnácti vteřin, kdy teplota procesoru skokově narůstá na 71 °C a zároveň jeho frekvence je snížena na 2700MHz a po zbylý čas zátěžového testu je neměnná. Teplota procesoru postupně narůstá až na 79 °C. Křivka průběhu není lineární z důvodu četného kolísání teplot o 1-3 °C, což způsobuje nerovnoměrné výpočetní zatížení jader procesoru.



Graf 5 Průběh frekvence a teploty procesoru po profylaxi

Porovnáním předchozích dvou měření lze zjistit účinnost profylaxe hardwaru notebooku. Před odstraněním prachu a aplikací teplovodivé pasty jsou průměrné teploty procesoru 86,2 °C dle Grafu 6. Takto „nízká“ hodnota je zapříčiněna výkyvy teplot, které zamezují přehřátí procesoru. Některé notebooky ve stejném případě udržují provozní teploty procesoru v rozmezí 97-100 °C, při kterých nedochází k velkým změnám frekvence procesoru. Po provedené profylaxi je průměrná teplota procesoru snížena na 74,1 °C. Rozdíl teplot v tomto případě není zásadní. Naopak výrazný rozdíl je viditelný při porovnání frekvencí procesorů před a po profylaxi. Před profylaxi je jeho průměrná frekvence 56,9 % ze 3100 MHz. Po profylaxi je tato hodnota výrazně vyšší a to 89,1 % ze 3100 MHz. V přímém porovnání činí nárůst průměrné frekvence procesoru 33,2 % tedy 990 MHz. Z toho vyplývá, že pravidelná servisní údržba notebooku má velký vliv na jeho životnost a tepelné namáhání komponent včetně šasi. Zároveň dochází k udržení výkonu těchto komponent spolu se stabilitou notebooku.



Graf 6 Vliv profylaxe na průměrnou teplotu a frekvenci procesoru před a po její aplikaci

7 Závěr

Ve své bakalářské práci jsem se zabýval vlivy nedostatečného chlazení komponent notebooků a jejich následky na celkovou životnost. Toto téma je velmi rozsáhlé, z toho důvodu jsou uvedeny pouze základní typy a pojmy řešené problematiky. V teoretické části práce je popsána funkce tranzistorů, které jsou základním prvkem integrovaných obvodů používaných pro výrobu mikroprocesorů. Následuje charakteristika využívaných mikroprocesorů, jejich parametrů, popis jednotlivých typů šíření tepla a tepelné vodivosti materiálů. V závěru teoretické části je věnována pozornost typům chlazení notebooků, jejich účinnosti a charakteristice teplovodivých médií.

V praktické části jsem se zabýval jednotlivými částmi notebooků, specifikací používaných materiálů pro jejich výrobu, typy uchycení komponent do těla notebooku a popisem nejčastějších vad konstrukce. Ty se nejvíce projevují u konstrukcí notebooků z plastu v oblasti pantů víka displeje, kde dochází k velkému mechanickému namáhání, způsobující odtržení uchycení pantů. Naopak nejméně vad se projevuje u těla notebooků ze slitin hořčíku, které mají vyšší pevnost. Následně jsou popsány účinky zanesení chlazení notebooků prachem, při kterém dochází ke snížení průtoku vzduchu skrze žebrování chladiče a místnímu navýšení teplot. To má zpětně vliv na snížení tepelné vodivosti médií mezi kontaktními plochami chladičů a mikroprocesorů, což způsobuje jejich další zahřívání. U některých typů notebooků lze místní tepelné namáhání zlepšit výměnou procesoru, případně grafické karty. Snížení tepelného namáhání má následně vliv na četnost vad elektrických spojů mezi součástkami a základní deskou. V závěru praktické části je uvedeno měření teplovodivých médií a měření účinnosti provedené servisní údržby notebooku.

Ze závěrečných výsledků a měření vyplývá několik důležitých poznatků. Patří k nim vhodný výběr konstrukce notebooku, daný předpokládaným využitím notebooku, dále optimální volba použitých CPU a GPU včetně teplovodivých médií a důležitost pravidelné servisní údržby notebooku. Tyto všechny prvky společně výrazným způsobem ovlivňují celkovou životnost notebooků. Tím se podařilo se potvrdit mé předpoklady vycházející z mých praktických zkušeností při servisní činnosti. Určitým omezením byl nedostatek kvalitních informačních zdrojů, zabývajících se touto tematikou.

Tuto práci lze rozšířit o měření teplot jednotlivých částí notebooku termokamerou, sledovat jejich teplotní průběhy a následně navrhnout potřebné konstrukční změny. Na práci lze dále navázat výzkumem a návrhem vodního chlazení, které najde širší uplatnění u notebooků, kde je hlavním požadavkem výpočetní a grafický výkon při zachování dostatečné mobility.

8 Seznam použitých zdrojů

1. Szántó, Ladislav. Integrované obvody. *integrovaneobvody.euweb.cz*. [Online] 2007. [Citace: 10. únor 2017.] <http://www.integrovaneobvody.euweb.cz/OdPohyblivosti.pdf>.
2. Polovodiče. *Fotovoltarika*. [Online] [Citace: 10. únor 2017.] <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k31.htm>.
3. Definice elektronvoltage. *Elektrostatika*. [Online] [Citace: 10. únor 2017.] http://elektross.gjn.cz/el_pole/elektronvolt.html.
4. Polovodičová dioda. *On Semiconductor*. [Online] 2017. [Citace: 10. únor 2017.] <http://www.onsemi.com/PowerSolutions/content.do?id=18454>.
5. Tranzistor 1. Úvod. *ON Semiconductor*. [Online] 2017. [Citace: 11. únor 2017.] <http://www.onsemi.com/PowerSolutions/content.do?id=18445>.
6. Tranzistor 2. Jak funguje tranzistor. *ON Semiconductor*. [Online] 2017. [Citace: 11. únor 2017.] <http://www.onsemi.com/PowerSolutions/content.do?id=18459>.
7. Tranzistor 3. Využití tranzistoru. *ON Semiconductor*. [Online] 2017. [Citace: 12. únor 2017.] <http://www.onsemi.com/PowerSolutions/content.do?id=18460>.
8. Havlíček, Tomáš. Tranzistory. *skriptum.wz.cz*. [Online] [Citace: 13. únor 2017.] <http://skriptum.wz.cz/elektro/Tranzist.htm>.
9. Unipolární tranzistory. *spsemoh.cz*. [Online] [Citace: 15. únor 2017.] <http://www.spsemoh.cz/vyuka/zl/tranzistory-unip.htm>.
10. Rouse, Margaret. microprocessor (logic chip). *TargetTech*. [Online] květen 2006. [Citace: 29. březen 2017.] <http://whatis.techtarget.com/definition/microprocessor-logic-chip>.
11. —. procesor (CPU). *TechTarget*. [Online] září 2016. [Citace: 7. únor 2017.] <http://whatis.techtarget.com/definition/processor>.
12. i7-2920XM Processor Extreme Edition. *Intel*. [Online] 2011. [Citace: 5. únor 2017.] http://ark.intel.com/products/52237/Intel-Core-i7-2920XM-Processor-Extreme-Edition-8M-Cache-up-to-3_50-GHz.
13. Bourgie, Mathieu. 12 CPU specification explained in plain English. *Hardware revolution*. [Online] 21. září 2009. [Citace: 8. únor 2017.] <http://www.hardware-revolution.com/12-cpu-specifications-explained-in-plain-english/>.
14. CPU Temperature Monitor: Intel TDS and PECI. *Intel*. [Online] září 2010. [Citace: 6. únor 2017.] <http://www.intel.com/content/www/us/en/embedded/testing-and-validation/cpu-monitoring-dts-peci-paper.html>.
15. FX Processors. *AMD*. [Online] 2017. [Citace: 7. únor 2017.] <http://www.amd.com/en-us/products/processors/desktop/fx>.

16. Drakula. What exactly does AMD Cool 'n' Quiet do? *AnandTech*. [Online] 4. únor 2010. [Citace: 7. únor 2017.] <https://forums.anandtech.com/threads/what-exactly-does-amd-cool-n-quiet-do.2048084/>.
17. Obermaier, Zdeněk. GeForce GTX280 - nový král 3D přichází. *PC Tuning*. [Online] 15. červen 2008. [Citace: 9. únor 2017.] <http://pctuning.tyden.cz/component/content/11075?task=view&start=4>.
18. Rouse, Margaret. GPU (graphics processing unit). *TechTarget*. [Online] duben 2013. [Citace: 9. únor 2017.] <http://searchvirtualdesktop.techtarget.com/definition/GPU-graphics-processing-unit>.
19. Bešták, Ondřej. Grafické karty v noteboocích: fakta, mýty a tipy. *cnews.cz*. [Online] 30. říjen 2013. [Citace: 11. únor 2017.] <https://www.cnews.cz/graficke-karty-v-noteboocich-fakta-myty-a-tipy/>.
20. Koc, Petr. PCT speciál - jak jsem stavěl domácí server 2.díl. *PCTuning*. [Online] 11. červenec 2011. [Citace: 5. únor 2017.] <http://pctuning.tyden.cz/navody/zaklady-stavba-pc/21481-pct-special-jak-jsem-stavel-domaci-server-2-dil?start=8>.
21. Krivohlávek, Jindřich. *Chlazení počítače*. Brno : Computer Press, a.s., 2007. ISBN: 978-80-251-1509-1.
22. Vnitřní energie. *Techmania Science Center*. [Online] [Citace: 2. únor 2017.] <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/struktura-latek/vnitri-energie>.
23. Grove, Michael. Heating Your Home: How Heat Spreads. *MAX INSULATION*. [Online] 17. září 2014. [Citace: 8. únor 2017.] <http://www.maxinsulation.us/how-heat-spreads/>.
24. Reichl, Jaroslav a Všeticka, Martin. Přenos vnitřní energie. *Encyklopedie fyziky*. [Online] 2017. [Citace: 4. únor 2017.] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/582-prenos--vnitri-energie>.
25. Thermal Conductivity od common Materials and Gases. *The Engineering ToolBox*. [Online] [Citace: 4. únor 2017.] http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html.
26. Pefhany, Spehro. PC CPU case materials? *Eletrical Engineering*. [Online] 27. březen 2015. [Citace: 3. únor 2017.] <http://electronics.stackexchange.com/questions/161775/pc-cpu-case-materials>.
27. Chart Builder. *InfoMine*. [Online] 17. únor 2017. [Citace: 18. únor 2017.] <http://www.infomine.com/ChartsAndData/ChartBuilder.aspx?z=f&gf=110563.USD.lb&dr=1m&cd=1>.
28. Bureš, Jiří. Hustota pevných látek. *conVERTER*. [Online] 2002. [Citace: 16. únor 2017.] <http://www.converter.cz/tabulky/hustota-pevne.htm>.
29. Kotlík, Václav. Heat Pipe: princip a konstrukce. *Svět Hardware*. [Online] 1. únor 2007. [Citace: 3. únor 2017.] <http://www.svethardware.cz/heat-pipe-princip-a-konstrukce/15941>.

30. Electronics Cooling Fan Buyers Guide. *Jameco Electronics*. [Online] [Citace: 25. únor 2017.] <http://www.jameco.com/Jameco/workshop/ProductNews/fan-guide.html>.
31. WD: Za disky výkonější a tišší. *PCTuning*. [Online] 29. leden 2004. [Citace: 20. únor 2017.] http://pctuning.tyden.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=3964&Itemid=45.
32. Pam, Taylor. Review Dell Precision M6600 Notebook. *NOTEBOOKCHECK*. [Online] 13. listopad 2011. [Citace: 20. únor 2017.] <http://www.notebookcheck.net/Review-Dell-Precision-M6600-Notebook.65764.0.html>.
33. Asetek Inc. Inside Asetek Labs - Liquid Cooling an Overclocked Alienware Laptop. *YouTube*. [Online] 20. březen 2012. [Citace: 21. únor 2017.] <https://www.youtube.com/watch?v=pz4a1RukOzA>.
34. ROG FX700VO. *ASUS*. [Online] [Citace: 21. únor 2017.] <https://www.asus.com/cz/Notebooks/ROG-GX700VO/>.
35. Asetek Demonstrates Liquid Cooling For Laptop And All-In-One PCs. *Asetek*. [Online] 20. březen 2012. [Citace: 21. únor 2017.] <http://www.asetek.com/press-room/news/2012/asetek-demonstrates-liquid-cooling-for-laptop-and-all-in-one-pcs/>.
36. Stixion 400. *AQUACOOL*. [Online] 18. srpen 2008. [Citace: 22. únor 2017.] <http://www.aquacool.cz/stixion400.php>.
37. MX-4. *ARTIC*. [Online] [Citace: 23. únor 2017.] https://www.arctic.ac/eu_en/mx-4.html.
38. Coollaboratory Liquid Ultr. *Coollaboratory*. [Online] [Citace: 23. únor 2017.] <http://www.coollaboratory.com/product/coollaboratory-liquid-ultra/>.
39. tw33k. Coollaboratory Liquid Ultra vs Liquid Pro. *Anadtech*. [Online] 21. leden 2013. [Citace: 23. únor 2017.] <https://forums.anandtech.com/threads/coollaboratory-liquid-ultra-vs-liquid-pro.2297140/>.
40. Wojtěch, Daniel. Velký test teplovodivých past – vyplatí se připlácet? *PCTuning*. [Online] 14. květen 2012. [Citace: 23. únor 2017.] <http://pctuning.tyden.cz/hardware/skrine-zdroje-chladice/24061-velky-test-teplovodivych-past-vyplati-se-priplacet?start=8>.
41. Fujipoly 1.0mm. *MODRIGHT*. [Online] 2013. [Citace: 24. únor 2017.] http://www.modright.com/products/11419/thr-182/Fujipoly_ModRight_Ultra_Extreme_System_Builder_Thermal_Pad_Blister_Pack_-_60_x_50_x_10_-_Thermal_Conductivity_170_WmK.html?tl=g66c29.
42. Vitek, Jan. Arctic Thermal Pad: teplovodivé podložky dodělej si sám. *Svět Hardware*. [Online] 20. květen 2015. [Citace: 24. únor 2017.] <http://www.svethardware.cz/arctic-thermal-pad-teplovodive-podlozky-dodelej-si-sam/40499>.
43. ROLL CAGE. *ThinkPAD*. [Online] 2014. [Citace: 8. březen 2017.] <http://www.lenovo.com/us/en/thisisthinkpad/engineering.html>.

44. Pandev, Rossen. Inside Lenovo Y700 (15") – disassembly, internal photos and upgrade options. *laptopmedia.com*. [Online] 8. listopad 2015. [Citace: 10. březen 2017.] <http://laptopmedia.com/news/inside-lenovo-y700-15-disassembly-internal-photos-and-upgrade-options/>.
45. Copmare Intel Products. *Intel*. [Online] 2017. [Citace: 10. březen 2017.] <http://ark.intel.com/compare/50067,53478,53476>.
46. katmail7. dell m6600+intel 2960xm temperatures=/. *NotebookReview*. [Online] 8. listopad 2013. [Citace: 8. březen 2017.] <http://forum.notebookreview.com/threads/dell-m6600-intel-2960xm-temperatures.736813/>.
47. High End CPUs - Intel vs AMD. *PASSMARK SOFTWARE*. [Online] 2017. [Citace: 8. březen 2017.] http://www.cpubenchmark.net/high_end_cpus.html.
48. Hinum, Klaus. NVIDIA GeForce GTX 1080 (Laptop). *NOTEBOOKCHECK*. [Online] 10. srpen 2016. [Citace: 11. březen 2017.] <http://www.notebookcheck.net/NVIDIA-GeForce-GTX-1080-Laptop.171212.0.html>.
49. AMD Radeon HD 6970M. *TECHPOWERUP*. [Online] 2017. [Citace: 10. březen 2017.] <https://www.techpowerup.com/gpudb/318/radeon-hd-6970m>.
50. AMD FirePro M6100. *TECHPOWERUP*. [Online] 2017. [Citace: 10. březen 2017.] <https://www.techpowerup.com/gpudb/2516/firepro-m6100>.
51. Hinum, Klaus. AMD FirePro M6100. *NOTEBOOKCHECK*. [Online] 26. leden 2016. [Citace: 10. březen 2017.] <http://www.notebookcheck.net/AMD-FirePro-M6100.104947.0.html>.
52. HV-F2056 15.6"-17" Laptop Cooler. *Havit*. [Online] 2015. [Citace: 12. březen 2017.] <http://www.havit.hk/products/hv-f2056-17-laptop-cooler/>.
53. Učen, Michal. Test chladičích podložek pod notebooky - 2. část. *SVĚTHARDWARE*. [Online] 13. červen 2007. [Citace: 13. březen 2017.] <http://www.svethardware.cz/recenze-test-chladicich-podlozek-pod-notebooky-2-cast/16958>.
54. Kuběš, Radek. Nechte harddisk, ať vám sám předem řekne, že končí. *Technet.cz*. [Online] 2. květen 2010. [Citace: 14. březen 2017.] http://technet.idnes.cz/nechte-harddisk-at-vam-sam-predem-rekne-ze-konci-fro-/software.aspx?c=A100430_142410_software_vse.
55. Afterburner. *MSI*. [Online] 2017. [Citace: 1. březen 2017.] <https://www.msi.com/page/afterburner>.
56. Phobya Thermal Pad XT 120mm x 20mm x 0.5mm - 7W/mk . *FrozenCPU*. [Online] 2017. [Citace: 15. březen 2017.] http://www.frozencpu.com/products/13407/thr-112/Phobya_Thermal_Pad_XT_120mm_x_20mm_x_05mm_-_7Wmk_V-Regs_RAM_Ramplex_Koolance_MIPs_Innovatek_19099.html?tl=c487s1481b189&id=2HN LxhtP.
57. IC Essential E1. *CoolerMaster*. [Online] [Citace: 15. březen 2017.] <http://www.coolermaster.com/cooling/thermal-compound/ic-essential-e1/>.

58. AgentGod. IntelBurnTest 2.54 Read more at: <https://tr.im/1k7pG>. *Major Geeks*. [Online] 22. červenec 2012. [Citace: březen. 1 2017.] <http://www.majorgeeks.com/files/details/intelburntest.html>.

59. Glynn, Kevin. ThrottleStop. *TechPowerUp*. [Online] 27. únor 2017. [Citace: 5. březen 2017.] <https://www.techpowerup.com/download/techpowerup-throttlestop/>.

9 Seznam obrázků

Obr. 1 Přechod P-N v závěrném směru (vlevo) a propustném směru (vpravo) [4].....	6
Obr. 2 Tranzistor bez zdroje napětí (vlevo). Tranzistor s připojeným zdrojem napětí mezi emitorem a bází (vpravo). [6].....	7
Obr. 3 MOSFET s indukovaným napětím [9].....	8
Obr. 4 MOSFET – na řídicí elektrodu není přivedeno napětí (vlevo) a řídicí elektroda se zdrojem napětí (vpravo) [9].....	8
Obr. 5 Typy šíření tepla [23]	11
Obr. 6 Heatpipe (vlevo) a struktura vnitřní stěny trubičky (vpravo).....	14
Obr. 7 Princip ventilátoru s kluzným ložiskem [30]	16
Obr. 8 Princip ventilátoru s kuličkovým ložiskem [30]	17
Obr. 9 Schéma zapojení vodního chlazení od firmy ASUS [34].....	19
Obr. 10 Porovnání rozloženého tepelného výkonu mezi vodním chlazením a heatpipe [33]..	19
Obr. 11 Schéma vodního chlazení v notebooku [33]	20
Obr. 12 Spodní díl šasi ze slitin hořčíku a hliníku s komponentami	25
Obr. 13 Horní díl šasi z plastu s komponentami [44].....	25
Obr. 14 Deformace dolního šasi při zavírání víka displeje (nahore) a při otevírání víka displeje (dole).....	26
Obr. 15 Vady vzniklé únavou materiálu u přichycení pantu (vlevo) a namáhání u pantu (vpravo)	27
Obr. 16 Chlazení notebooku zanesené prachem.....	28
Obr. 17 Správné množství teplovodivé pasty (vlevo) a její správné nanášení (vpravo)	29
Obr. 18 Použití termálního padu na chladiči (nahore) a kontakt s paměťovými čipy (dole) ...	30
Obr. 19 Chladicí podložka [52]	34
Obr. 20 Následek poškození elektrického spoje grafické paměti se základní deskou.	35

10 Seznam tabulek

Tab. 1 Hodnoty tepelné vodivosti materiálu při 25 °C [25]	12
Tab. 2 Porovnání parametrů grafických karet AMD HD 6970M a FirePro M6100 [49; 50; 51]	33

11 Seznam grafů

Graf 1 Porovnání teplot a výkonu procesorů v notebooku Dell Precision M6600 [46; 47]	31
Graf 2 Porovnání růstu teplot medií v závislosti na čase	37
Graf 3 Porovnání naměřených minimálních a maximální teplot při plném zatížení CPU	38
Graf 4 Průběh frekvence a teploty procesoru před profylaxí	39
Graf 5 Průběh frekvence a teploty procesoru po profylaxi	40
Graf 6 Vliv profylaxe na průměrnou teplotu a frekvenci procesoru před a po její aplikaci	40