

Středoškolská odborná činnost 2012/2013

Obor 02 – Fyzika

## **Detekce sekundárního kosmického záření v závislosti na meteorologických podmínkách**

Autor:

*Veronika Valešová*

*Gymnázium Pardubice, Dašická 1083*

*530 03 Pardubice, 8. ročník*

Konzultant:

*RNDr. Vladimír Vícha*

*Gymnázium Pardubice*

Spolupráce:

*Ústav technické a experimentální fyziky, ČVUT Praha*

Upravená verze 13. 5. 2013

Kopie

**Pardubice, 2013**

Pardubický kraj

Prohlašuji tímto, že jsem soutěžní práci vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Vladimíra Víchy a uvedla v seznamu literatury veškerou použitou literaturu a další zdroje včetně internetu.

V Pardubicích dne \_\_\_\_\_

---

podpis autora

## Poděkování

Ráda bych poděkovala všem, díky kterým se mohl projekt Detekce sekundárního kosmického záření v závislosti na meteorologických podmínkách uskutečnit.

První dík patří pracovníkům Ústavu technické a experimentální fyziky ČVUT v Praze, kteří tento projekt založili a nabídli naší škole spolupráci, a následně mi poskytli svůj čas a byli mými rádci. Za všechny jmenujme alespoň Ing. Stanislava Pospíšila, DrSc., Doc. Ing. Ivana Štekla, CSc., Ing. Karla Smolka, PhD., Ing. Petra Přidala, DrSc.

Druhý dík patří mému kamarádovi, Bc. Tomáši Peterkovi z FIT ČVUT v Praze, který mi pomáhal s tvorbou programů pro zpracování dat.

Třetí a hlavní dík patří panu RNDr. Vladimíru Víchovi, který je mým konzultantem a který se mnou trávil mnoho času, aby mi s touto prací pomohl a díky kterému mohl tento projekt vzniknout.

Naposlední dík patří také mé rodině, která mne jako vždy velmi podporovala.

## Anotace

Předmětem mojí práce byla detekce vysokoenergetického kosmického záření o energiích  $10^{14}$  eV a vyšších. Toto záření je měřeno na 7 stanicích CZELTA v České republice.

Studovala jsem, jak se hodinový tok mění v závislosti na meteorologických podmínkách. Snažila jsem se najít meteorologické veličiny, které ovlivňují a také neovlivňují hodinový tok.

Provedla jsem korekce, které umožní popisovat hodinový tok jako Poissonovo rozdělení.

Tyto výsledky mohou sloužit k vyhodnocování anomálií v hodinovém toku, které se liší od matematického modelu.

# Obsah

Prohlášení .....	2
Poděkování .....	3
Anotace .....	4
Obsah .....	5
1. Úvod .....	8
2. Historie meteorologie .....	11
2.1 Božské vysvětlení aneb prvopočátky .....	11
2.2 Významná božstva .....	11
2.3 Začátky poznávání .....	12
2.4 Středověk .....	12
2.5 Renesance .....	12
2.6 Osmnácté století .....	13
2.7 Devatenácté století .....	14
2.8 Dvacáté století .....	14
2.9 Dvacátéprvní století .....	15
3. Zemská atmosféra .....	16
3.1 Vertikální členění atmosféry .....	16
3.1.1 Podle průběhu teploty vzduchu s výškou .....	16
3.1.1.1 Troposféra .....	16
3.1.1.2 Stratosféra .....	17
3.1.1.3 Mezosféra .....	17
3.1.1.4 Termosféra .....	17
3.1.2 Podle chemického složení .....	17
3.1.2.1 Homosféra .....	17
3.1.2.2 Heterosféra .....	18
4. Meteorologické veličiny .....	19
4.1 Teplota vzduchu .....	19
4.2 Rosný bod .....	19
4.3 Tlak vzduchu .....	20
4.3.1 Aperiodické změny tlaku vzduchu .....	20
4.3.2 Periodické změny tlaku vzduchu .....	21
4.3.3 Horizontální rozložení atmosférického tlaku na Zemi .....	21
4.4 Tlaková tendence .....	22
4.5 Hustota vzduchu .....	22
4.6 Vlhkost vzduchu .....	23
4.6.1 Absolutní vlhkost vzduchu .....	23
4.6.2 Relativní (poměrná) vlhkost vzduchu .....	24
4.6.3 Vlhkost vzduchu a příčiny jejich změn .....	24
4.6.4 Roční chod absolutní vlhkosti .....	24
4.6.5 Denní chod relativní vlhkosti .....	24
4.6.6 Roční chod relativní vlhkosti .....	24
4.7 Srážky .....	25
4.7.1 Kvantitativní charakteristiky srážek .....	25
4.8 Sněhová pokrývka .....	26
4.9 Oblačnost .....	26

4.10 Oblaka.....	27
4.10.1 Mezinárodní klasifikace oblaků.....	27
4.10.2 Stručná historie klasifikace oblaků.....	27
4.10.3 Mezinárodní klasifikace oblaků současnosti.....	27
4.10.3.1 Cirrus (řasa) – Ci .....	29
4.10.3.2 Cirrocumulus (řasová kupa) – Cc.....	29
4.10.3.3 Cirrostratus (řasová sloha) – Cs .....	29
4.10.3.4 Altocumulus (vysoká kupa) – Ac .....	30
4.10.3.5 Altostratus (vysoká sloha) – As .....	30
4.10.3.6 Nimbostratus (dešťová sloha) – Ns .....	30
4.10.3.7 Stratocumulus (slohová kupa) – Sc .....	30
4.10.3.8 Stratus (sloha) – St .....	31
4.10.3.9 Cumulus (kupa) – Cu .....	31
4.10.3.10 Cumulonimbus (dešťová kupa) – Cb.....	31
4.11 Vítr.....	33
4.11.1 Rychlost větru.....	33
4.11.2 Turbulence.....	34
4.11.3 Konvence.....	34
4.12 Meteorologická dohlednost.....	34
5. Kosmické záření.....	35
5.1 Objev částic.....	35
5.2 Charakteristika částic.....	35
5.3 Částicová astrofyzika.....	36
5.4 „Rodiště“ částic.....	36
5.5 Sprchy spršek.....	37
5.6 Detekce.....	37
5.7 CZEch Large-area Time coincidence Array – CZELTA.....	37
5.8 Observatoř Pierra Augera.....	38
5.8.1 Povrchové detektory.....	39
5.8.2 Optické teleskopy.....	39
5.9 Rekord a budoucnost.....	39
6. Postup výzkumu.....	41
6.1 Data CZELTA.....	41
6.2 Formát dat.....	45
6.3 Programy.....	45
6.3.1 Program pro tvorbu hodinových toků.....	46
6.3.2 Program pro stahování meteodát.....	47
6.3.3 Program slučující toky a meteodata.....	49
7. Zpracování dat.....	52
7.1 První model.....	52
7.2 Druhý model.....	55
7.3 Třetí model.....	57
7.4 Lineární regrese a korekce hodinového toku.....	67
7.4.1 Korekce pouze na teplotu detektorů.....	69
7.4.2 Korekce pouze na atmosférický tlak.....	70
7.4.3 Korekce na teplotu detektorů a tlak (obojí lineárně).....	70
7.4.4 Korekce na teplotu detektorů a přirozený logaritmus tlaku.....	71
7.4.5 Korekce na viditelnost a relativní vlhkost I.....	76
7.4.6 Korekce na přirozený logaritmus viditelnosti a přirozený logaritmus relativní vlhkosti.....	76

7.4.7 Korekce na viditelnost a přirozený logaritmus relativní vlhkosti..	77
7.4.8 Korekce na přirozený logaritmus viditelnosti a relativní vlhkost...	77
7.4.9 Korekce na rozdíl přirozeného logaritmu viditelnosti a standardní viditelnosti a rozdíl přirozeného logaritmu relativní vlhkosti a standardní relativní vlhkosti .....	78
7.4.10 Korekce na viditelnost a relativní vlhkost II.....	78
7.4.11 Korekce na viditelnost a relativní vlhkost III.....	79
8. Závěr.....	80
9. Zdroje informací.....	82

# 1. Úvod

Projekt CZELTA se na naší škole realizuje od roku 2006. Na střechu školy byly umístěny tři scintilační detektory a v kabinetu pracuje 24 hodin denně elektronika, která vyhodnocuje koincidenční události a zapisuje je společně s UTC do počítače. Tato data jsou přístupná pod heslem na webu UTEF: [www.czelta.utef.cvut.cz](http://www.czelta.utef.cvut.cz). Bližší seznámení s měřícím systémem je v kapitole 5.7 CZEch Large-area Time coincidence Array – CZELTA.



Obrázek č. 1 – Umístění detektorů na Gymnáziu Pardubice, Dašická





Obrázek č. 2 – Umístění detektorů v dřevěných boxech na střeše Gymnázia Pardubice

Hodinový tok částic zachycených stanicí CZELTA během let kolísá. Během měsíce jsou viditelné pouze aktuální změny meteorodat, avšak během let je krásně vidět střídání léta a zimy.

Hodinový tok zřejmě závisí na:

- a) aktivitě vesmíru
- b) stavu atmosféry
- c) měřicí aparatuře.

Rozhodla jsem se zkoumat vliv atmosféry a měřicí aparatury, aby se následně dala posuzovat aktivita vesmíru.

První čtyři kapitoly, tj. 2, 3, 4, 5 se zaměřují na bližší popis teorie, která je nezbytná pro moji práci. Jedná se o atmosféru, meteorologii a kosmické záření.

Kapitola č. 2 – *Historie meteorologie*, blíže popisuje, jak jednotliví vědci měřily meteorologické podmínky a jak vynalezli jednotlivé měřicí aparatury, které používáme dodnes. Také se zaměřuje na jednotlivá období, ve kterých se meteorologie vyvíjela. V neposlední řadě slouží též jako paralela. Lidé se meteorologií zabývali již od počátku, zatímco sekundárním kosmickým zářením až od roku 1912, kdy jej objevil rakouský fyzik Viktor Hess.

Kapitola č. 3 – *Zemská atmosféra* nás blíže seznamuje s vertikálním dělením atmosféry. Jelikož meteorologické veličiny jsou ovlivňovány nadmořskou výškou a srážky sekundárního kosmického záření vznikají ve výšce 20-30 km nad zemským povrchem, tedy v trochu jiných meteorologických podmínkách, než které jsou naměřeny na povrchu Země.

Kapitola č. 4 – *Meteorologické veličiny*, nám udává jednotlivé veličiny, které lze v dnešní době měřit, a které nám ovlivňují atmosféru. Jejich definice, jednotky či anomálie.

Kapitola č. 5 – *Kosmické záření* vypovídá o objevu, složení či různých způsobech detekce sekundárního kosmického záření.

Od následné kapitoly č. 6 – *Postup výzkumu* se již zaměřuji na vlastní práci – postup, data, grafy, výsledky a závěr.

## 2. Historie meteorologie

### 2.1 Božské vysvětlení aneb prvopočátky

Starověké národy často reagovaly na projevy počasí neznale a pověřivě. Věřily, že bohové kontrolují větry, déšť a slunce. Proto měly vlastní charakteristický panteon bohů, kteří ovlivňovali počasí. Tato božstva byla uctívána jako všemocná, protože ovládala nebesa a řídila živly, včetně slunce, větru a deště. Lidé věřili, že pokud jsou tito bohové vyprovokováni nebo podrážděni, mohou jako trest za lidskou neposlušnost seslat na Zem nevlídné počasí. Vytvořili tedy složitý systém modliteb a rituálů, aby boží hněv utišili. Někdy byly součástí těchto obřadů i lidské oběti. Mnozí starověcí bohové povětří byli zobrazováni jako kouzelná zvířata nebo v pololidské polozvířecí podobě a obdařeni mimořádnou silou. Náboženství znala a respektovala sílu přírody, v mnohých náboženských spisech nalezneme historiky o velkých živelných pohromách v historii, ale i pokusy o jejich předpověď v daleké budoucnosti.

### 2.2 Významná božstva

Mnoho starověkých národů uznávalo jako nejvyšší substanci vítr, vodu a hrom či blesk.

Osiris patřil mezi významnější egyptská božstva a jeho přítomnost je doložena již okolo roku 2500 př. n. l. Je odpovědný za pravidelně se opakující rozvodnění Nilu.

Malovaná dřevěná maska berana byla užívána lidmi Baoulé z Pobřeží slonoviny v západní Africe k oslavě přicházejících srážek.

Podle amerických indiánů blesk a hrom ovládal bůh-pták Tseiqami, obří orel, který vyvolával hrom máváním velikými křídly a jehož oči vysílaly blesky.

Ehecatl byl předním aztéckým bohem, který měl ovládat vítr. Ale Aztékové zacházeli tak daleko, že nabízeli bohům lidskou oběť, aby uspokojili boha deště Tláloce.

El Castillo je velký mayjský chrám ve starověkém městě Chichen Itza, které se nachází na území dnešního Mexika. Byl zasvěcen bohu Quetzalcoatlovi, který měl podobu opeřeného hada a byl bohem větru a deště.

Hlavním bohem babylonského panteonu byl Marduk, který vládl obloze, a zejména hromu.

Domorodí lidé z Arnhemu na severu Austrálie měli hada, který poslal déšť a ukončil tak každoroční období sucha.

Tór byl norský bůh hromu a blesku.

Zeus byl řeckým bohem nebes, který určoval, jaké bude počasí. Na jeho povel se objevovaly mraky, deště, hromy a blesky.

## 2.3 Začátky poznávání

Aztécký kamenný kalendář je vlastně velká socha, v níž je zaznamenáno, jak Aztékové měřili čas, a také jsou zde zachycena roční období. Kámen byl zasvěcen bohu slunce Tonatiuhovi.

První známý srážkoměr byl vynalezen v Indii ve 4. stol. př. n. l. ve stejné době také v Palestině, Číně a Koreji.

Čínský pozorovatel vyvinul 300 let př. n. l. kalendář s rokem rozděleným na 24 „festivalů“ a pro každý popsal charakteristické počasí.

První vědecké snahy o pochopení počasí sahají ke knize *Meteorologica* řeckého učenice Aristotela (384 - 322 př. n. l.). Byl přesvědčen, že veškerá hmota je složena z pěti živlů – ohně, vody, vzduchu, země a étheru a dal vzniknout pojmenování vědy o počasí – meteorologie. (Slovo pochází z řeckého *metéoros*, což znamená vznášející se ve vzduchu.)

Aristotelův žák Theophrastus (372-287 př. n. l.) pokračoval v jeho práci dílem *Znaky počasí*, které popisuje 50 příznaků bouřky, 80 deště a 45 větru.

Římský učenec Plinius Starší (23-79 n. l.), vytvořil přehled starověkých vědomostí. Jeho dílo *Naturalis historia* obsahuje záznamy, pozorování a pověry z Egypta a Babylonu, Řecka a Říma. Dílo bylo ovlivněno pracemi Aristotela.

Po zhroutilí říše římské v 5. století n. l. se vědecké úsilí přesunulo do islámského světa.

## 2.4 Středověk

Prvními meteorology byli obvykle vysocí kněží, šamani či medicinmani, jejichž úkolem bylo nejen předpovídat počasí, ale také bohy usmířit a zajistit tak příznivé podmínky do budoucna.

V Evropě ve středověku byly někdy upalovány čarodějnice, údajně služebnice ďábla, po krupobitích, či že zpochybňovaly různé pověry o počasí.

Dalšími hybateli pokroku v oblasti chápání počasí se staly dvě skupiny lidí, které byly počasím přímo ovlivňovány, totiž námořníci a zemědělci. Vztah mezi počasím a oblačností, povahou větrů, a dokonce i změnami v chování rostlin a zvířat.

Středověk potlačil vědecký rozvoj, včetně diskusí o povětrnostních úkazech.

## 2.5 Renesance

Intelektuální a kulturní obrození v 15. století, období renesance, navázalo významnějším způsobem na předchozí vědecké bádání a měření počasí. Leonardo da Vinci, který je zosobněním vědeckého ducha a experimentu, zkonstruoval několik meteorologických přístrojů, včetně vlhkoměru. Galileo Galilei vyvinul teploměr a Evangelista Torricelli sestrojil

tlakoměr. Francouzský vědec Blaise Pascal si uvědomoval změny tlaku vzduchu měřené tlakoměrem za různých typů počasí a objevil tak jeden ze základních zákonů meteorologie.

V roce 1600 přibily na evropské mapě i obě Ameriky. Kryštof Kolumbus a Fernando de Magalhães prováděli na svých cestách první pravidelné záznamy o počasí na oceánech, zlepšovalo se povědomí o proudění vzduchu a oceánských proudech.

Vzniká hvězdný atlas s názvem *Harmonia Macrocosmica* od Andrease Cellaria, který vydal holandský kartograf Johannes Janssonius v roce 1660.

Francouzský vědec Blaise Pascal odhalil, že tlak vzduchu se mění s nadmořskou výškou a zkoumal změny počasí ve vztahu ke změnám tlaku.

V Anglii se zabýval fyzikálními zákony mladý vědec Isaac Newton, narozený v roce Galileova úmrtí (1642). V podstatě položil základy dnešním počítačovým modelům počasí. Způsobil převrat v matematice a fyzice a jako první vysvětlil vznik barevné duhy. V klasickém experimentu nechal projít denní světlo skleněným hranolem, aby ukázal, jak se rozkládá do jednotlivých barev spektra.

Italskému vynálezci a klíčové osobnosti renesance, Leonardu da Vincimu (1452-1519) je připisován vynález vlhkoměru – přístroje na měření atmosférické vlhkosti – a to kolem roku 1500.

Galileo Galilei, jeden z nejslavnějších hvězdářů, který žil v letech 1564-1642, vynalezl teploměr na měření teploty vzduchu. Učil Torricelliho, Magiottiho a Nardiho.

Naplněním skleněné trubice rtutí měřil Ital Evangelista Torricelli (1608-1647) tlak vzduchu - zařízení známé jako „Torricelliho trubice“. V roce 1620 Evangelista Toricelli navrhl a sestrojil první barometr, jímž měřil atmosférický tlak. Barometr měřil výšku sloupce rtuti ve skleněné trubičce, která je vytlačována vnějším atmosférickým tlakem.

V roce 1557 turecký sultán Sulejman Nádherný založil hvězdárnu v Galatě, věnovanou studiu astronomie.

První síť meteorologických pozorování v Evropě vznikla na popud velkovévody Ferdinanda II. Toskánského v roce 1654 a stala se předchůdkyní sítě, která tvoří základy dnešní Světové meteorologické organizace.

## 2.6 Osmnácté století

Německý fyzik Gabriel Fahrenheit (1686 – 1736) vyvinul teplotní stupnici, která dodnes nese jeho jméno. Tato stupnice je kalibrována třemi body: teplotou směsi vody, ledu a soli (0°F), bodem tuhnutí vody (32°F) a teplotou lidského těla (průměrně 96°F).

V roce 1742 švédský astronom Anders Celsius (1701 – 1744) připravil novou stupnici, jejímž základem byla teplota varu vody (0°C) a teplota tuhnutí vody (100°C). Tato stupnice, obrácená v roce 1745 Carlem von Linné do dnešní podoby, je známa jako Celsiova stupnice.

Americký státník a filozof Benjamin Franklin (1706-1790) připravil v roce 1752 průlomový experiment. Připojil telegraf k létajícímu drakovi a pustil ho do bouřkové oblačnosti. Tento experiment našťastí přežil a dokázal, že blesk je ve skutečnosti elektrický výboj. Již v roce 1743 publikoval Franklin první analýzy bouřkových systémů vycházející

z novinových zpráv. Je rovněž jedním ze dvou vynálezců bleskosvodu, který chrání budovy před přímým zásahem blesku (tím druhým je Prokop Diviš).

Americký prezident George Washington byl rovněž horlivým pozorovatelem počasí. Jeho meteorologické poznámky z 13. prosince 1799 jsou považovány za poslední slova, která napsal před svou smrtí.

Třetí prezidentem Spojených států amerických Thomas Jefferson prováděl meteorologická pozorování v letech 1776-1816.

## 2.7 Devatenácté století

V roce 1816 německý fyzik Heinrich Brandes objevil, že pásy vysokého a nízkého tlaku neustále obíhají kolem Země ve středních zeměpisných šířkách. Položil základy dnešním synoptickým mapám.

Základní síla, která působí na všechny povětrnostní systémy, je vyvolávána rotací Země. Poprvé si to uvědomil Francouz Gaspard-Gustave de Coriolis v roce 1835, a proto se na jeho počest této síle říká Coriolisova.

Jeden z prvních přístrojů, zaznamenávajících počet hodin slunečního svitu, vynalezl v roce 1853 Skot John Francis Campbell a vylepšil a upravil jej matematik sir George Gabriel Stokes.

V roce 1854 Robert Fitzroy založil Britský meteorologický úřad. Vydával výstrahy před bouřemi a zlepšil meteorologické předpovědi.

Tajná služba armády Spojených států amerických začala v roce 1870 sestavovat a distribuovat detailní denní povětrnostní mapy a povětrnostní statistiky. Tímto byla veřejnost připravována na další vývoj moderní předpovědi počasí. Povětrnostní mapy se postupně stávaly podrobnějšími a přesnějšími.

V roce 1873 byla založena Mezinárodní meteorologická organizace (IMO). V roce 1950 byla přejmenována na Světovou meteorologickou organizaci (WMO) a dnes již má přes 180 členských států.

V roce 1883 správně poznamenal skotský vědec lord Kelvin: „Když to, o čem hovoříte, můžete změřit a vyjádřit to v číslech, pak můžete říci, že o tom něco víte.“ Mnoho přístrojů, které dnes používáme k meteorologickým měřením, bylo po celá staletí založeno na stejném principu.

## 2.8 Dvacáté století

Výzkum pohybů v atmosféře a v oblasti dynamiky tekutin, který uskutečnil profesor Vilhelm Bjerknes, zásadně přispěl ke zpřesnění předpovědí počasí a meteorologii obecně.

Lewis Fry Richardson (1881-1953) navrhoval používat pro předpovídání počasí matematické modely. Ačkoli to nebylo provozně využitelné, tyto výpočty předcházely moderní výpočetní techniku a její využití ve velkých předpovědních centrech současnosti.

V roce 1922 L. F. Richardson vydal knihu *Weather Prediction by Numerical Process*. Techniky, které v ní nastínil, však nemohly být efektivně využity, dokud se neobjevily o 25 let později první počítače.

V roce 1950 začali vědci používat elektronkový počítač, nazývaný ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer), k meteorologickým předpovědím.

V roce 1929 Francouz Robert Bureau vyvinul první fungující radiosondu, která byla schopna přenášet meteorologická data z balonů v ovzduší.

V předpovědním centru ve Velké Británii (UK MetOffice) ukazoval již v 50. letech 20. století radar odrazy dešťové nebo bouřkové oblačnosti ze vzdálenosti 250 km.

Polární meteorologická družice TIROS (Television InfraRed Observation Satellite) byla vypuštěna v dubnu 1960. Meteorologické družice byly schopny poskytnout informace o počasí z velkých částí zemské koule v krátkých časových intervalech, sledovat pohyb oblačnosti v reálném čase. Do roku 1963 byly snímky z polární družice přenášeny pouze v okamžiku přeletu nad přijímacím zařízením. Stacionární družice jsou „ukotveny“ nad rovníkem a komunikují s přijímacím zařízením kdykoli.

Na vrcholu studené války v roce 1963 se 150 zemí dohodlo na společném programu sledování počasí WWW (World Weather Watch) zaměřeném na výměnu dat pro přípravu globálních povětrnostních map.

## **2.9 Dvacátéprvní století**

První evropský satelit (MetOp-A) na polární dráze byl uveden do provozu v roce 2007. Specializované vybavení sleduje hladinu ozónu v atmosféře, měří teplotu, vlhkost, rychlost a směr větru v různých nadmořských výškách.

Na počátku 21. století se meteorologie rozvinula v komplexní interdisciplinární vědu. Superpočítače, napojené na celou síť mezinárodních automatických meteorologických stanic, satelitů a bójek plovoucích na hladině oceánů, jsou schopny předpovídat počasí až na sedm dní dopředu.

Síť meteorologických stanic je budována ve všech zemích světa; některé z nich fungují již stovky let. Tisíce meteorologických stanic poskytují data, obvykle každé tři hodiny, pro národní meteorologické služby. Lodě a bóje na oceánech doplňují pozemní síť a plně automatické stanice operují v izolovaných a nehostinných částech světa, např. v Antarktidě. I ta nejjednodušší meteorologická stanice měří teplotu, vlhkost a množství srážek. Většinou jsou však měřeny i další základní prvky – směr a rychlost větru, tlak vzduchu, sluneční svit, sluneční záření, meteorologické jevy, jako bouřky, kroupy, sněžení, mlha a mráz, typ oblačnosti, výpar a další. V pravidelných intervalech jsou vypouštěny meteorologické balony, které vynášejí čidla na měření větru, teploty a vlhkosti.

## 3. Zemská atmosféra

Jelikož meteorologické veličiny se vlivem nadmořské výšky liší a spršky sekundárního kosmického záření vznikají kolem 20-30 km nad Zemí, tedy v prostoru, kde je atmosféra trochu jiná než v místě měření. Proto uvádím stručný přehled dělení zemské atmosféry.

### 3.1 Vertikální členění atmosféry

Atmosféra Země, její plynný obal, který sahá od zemského povrchu do výšek několika desítek kilometrů a v převážné míře se Zemí rotuje, je tvořen, směsí různých plynů včetně vodní páry a obsahuje pevné a kapalné částice. Procentuální zastoupení většiny plynů se do výšky přibližně 100km nemění. Výjimku tvoří oxid uhličitý, jehož množství se mění v závislosti na čase (ve dne je ho méně než v noci) a na místě (nad souší je ho více než nad mořem), ozon, jehož množství se mění především v závislosti na výšce (maximum koncentrace dosahuje v průměru ve výšce asi 22 km) a vodní pára, která je soustředěna především ve spodních 10 km.

Charakteristickým rysem atmosféry je pokles tlaku ve vzduchu s výškou podle barometrického zákona. Vzduch ve spodních vrstvách je stlačován tíhou vzduchu ležícího nad ním.

Atmosféru Země můžeme podle různých hledisek rozdělit na řadu vrstev. Nejdůležitější a nejobvyklejší je dělení podle průběhu teploty vzduchu s výškou, dále ji můžeme dělit podle chemického složení, koncentrace iontů a podle vzájemného působení se zemským podkladem.

#### 3.1.1 Podle průběhu teploty vzduchu s výškou

Rozeznáváme troposféru, stratosféru, mezoféru, termosféru a exosféru. Přechodné oblasti mezi jednotlivými vrstvami nazýváme tropopauza, stratopauza, mezopauza a termopauza.

##### 3.1.1.1 Troposféra

Troposféra tvoří spodní část atmosféry Země a teplota vzduchu zde s výškou klesá v průměru o 0,65 °C na 100 m. V troposféře jsou soustředěny přibližně ¾ hmotnosti celé atmosféry. Nachází se zde prakticky veškerá voda vyskytující se v atmosféře. Proto je troposféra oblastí vzniku nejdůležitějších druhů oblačnosti, bouřkové činnosti a vypadávání srážek, výskytu mlh apod. Je oblastí neustálého vertikálního promíchávání vzduchu. Rychlost proudění v troposféře s výškou obvykle roste a maxima dosahuje v blízkosti tropopauzy. Troposféra sahá nad rovníkem do výšky 13- 18 km, nad póly 7- 9 km. Ve středních zeměpisných šířkách je průměrná výška horní hranice troposféry kolem 11 km, mění se



v závislosti na roční době – v zimě je nižší než v létě, a na povětrnostní situaci – v tlakových nížích bývá nižší než v tlakových výších.

### **3.1.1.2 Stratosféra**

Stratosféra se prostírá nad troposférou ve výškách přibližně od 11 do 50 km. V její spodní části se do výšek v průměru 20- 25 km teplota s výškou nemění, mluvíme o izotermii, a odtud směrem nahoru roste, tj. mluvíme o inverzi teploty. Maximálních hodnot v průměru kolem 0 °C dosahuje teplota v blízkosti stratopauzy. Tento vzestup teploty vzduchu s výškou je částečně způsoben přítomností ozonu, který pohlcuje v ultrafialové části slunečního záření a silně se tím zahřívá. Uplatňují se však i další složité faktory. Rychlost větru ve stratosféře s výškou nejprve klesá, minima dosahuje kolem 22- 25 km, potom opět roste. Ve výškách kolem 25 km se občas pozorují tzv. perleťové oblaky, které jsou pravděpodobně složeny z přechlazených kapek vody a dokazují tak, že i v těchto výškách je přítomna vodní pára a nezmrzlé vodní kapky.

### **3.1.1.3 Mezoféra**

Mezoféra leží přibližně mezi 50- 80 km a teplota vzduchu zde s výškou opět klesá a v blízkosti mezopauzy dosahuje ve vysokých zeměpisných šířkách v létě hodnot kolem -80 až -90 °C, v zimě -40 až -50 °C. Jak ukazují přímá měření, je proudění v mezosféře značně proměnlivé. V blízkosti mezopauzy se někdy v létě pozorují tzv. noční svítící (stříbřité) oblaka. Mají velmi jemnou strukturu a předpokládá se, že jsou složeny z jemných ledových krystalků nebo shluků kosmického prachu proniklého shora do ovzduší.

### **3.1.1.4 Termosféra**

Termosféra je oblastí, kde teplota s výškou opět roste. Podle některých autorů je vhodné klást horní hranici termosféry do oblastí, kde se ještě vyskytují polární záře (600- 800 km), jiní autoři uvažují termosféru do výšek kolem 500 km.

Vyšší oblasti atmosféry Země přiřazujeme exosféře.

## **3.1.2 Podle chemického složení**

Dělíme atmosféru Země na homosféru a heterosféru.

### **3.1.2.1 Homosféra**

V homosféře (tj do výšky ca 90 km) se s výškou podstatně nemění objemové zastoupení hlavních plynů (kromě vodní páry, ozonu a oxidu uhličitého) vzdušné směsi. Hlavní příčinou, proč má homosféra v horizontálním i vertikálním směru téměř konstantní složení, je turbulentní promíchávání. Jak bylo ale již shora uvedeno, i v homosféře existují látky v proměnném množství. Patří k nim nejen vodní pára, ozon a oxid uhličitý, ale i další příměsi, např. oxid dusičitý, čpavek, částice prachu, voda v tekutém i pevném skupenství. Meteorologický význam těchto proměnlivých složek vzduchu, i když objemově jsou jen málo zastoupeny, je značný. Např. vodní pára, oxid uhličitý, ozon, voda v kapalně i tuhé fázi

a prach pohlcují určité vlnové délky ze spektra slunečního záření i tepelného záření Země a tím ovlivňují radiační a tepelnou bilanci systému Země – atmosféra.

### ***3.1.2.2 Heterosféra***

V heterosféře (tj. nad homosférou) ustává turbulentní výměna, a proto se zde neudržuje konstantní složení atmosférického vzduchu. Od výšky asi 90 km se začíná uplatňovat difúzní rovnováha, která se ustaví podle molekulových vah jednotlivých plynů. Koncentrace lehkých plynů ubývá s výškou pomaleji, a proto ve výškách několika tisíc kilometrů převládá atomární vodík. V heterosféře se uplatňuje elektromagnetické záření, které způsobuje fotoionizaci a fotodisociaci a působí zde i záření korpuskulární. Vznikají ionty a volné elektrony, v případě fotodisociace štěpí záření molekuly na atomy. Vlivem absorpce sluneční energie roste teplota od mezopauzy výše a dosahuje hodnot vyšších než 1000 K. K největší produkci elektronů a iontů dochází ve výškách asi 300 km.

## 4. Meteorologické veličiny

V dnešní době internetu se přístup k meteodatům velmi zjednodušil. Já jsem se naučila stahovat data z meteorologických stanic umístěných na letištích. K dispozici je 17 sledovaných veličin: překrytí mraky, výška mraků, typ mraků, rosný bod, relativní vlhkost, míra srážek, tlak přepočtený na hladinu moře, tlaková tendence, míra sněhových srážek, hloubka sněhu, tlak na stanici, teplota vzduchu, viditelnost, teplota větru, směr větru, rychlost větru v nárazech a rychlost větru. Proto zde jednotlivé veličiny blíže popisují.

### 4.1 Teplota vzduchu

Měříme ji teploměrem a to v meteorologické budce ve 2 m nad povrchem země. Zde se také zjišťuje nejvyšší teplota – maximální, a nejnižší teplota – minimální, toho kterého dne. Jediná teplota, která se měří mimo meteorologickou budku je teplota přízemní minimální, která se měří ve výšce 5 cm nad povrchem země, v zimě 5 cm nad povrchem sněhu. Máme-li vyhodnotit průměrnou denní teplotu vzduchu, pak sečteme teploty měřené ráno v 7 hod., ve 14 hod. a teplotu měřenou ve 21. hod. připočteme 2x. Výsledek pak dělíme 4. Vyjde nám průměrná denní teplota. Naměřené teploty udáváme podle Celsiovy stupnice.

Vzduch se přímým slunečním zářením otepluje velmi málo. Hlavním zdrojem tepla pro atmosférický vzduch je zemský povrch. Zahřívání povrchu Země je výsledkem velmi složitého pochodu. Záleží na průchodu slunečního záření zemskou atmosférou, na úhlu dopadu slunečních paprsků na zemský povrch, na vlastním tepelném záření Země a na mnoha dalších faktorech.

Během dne je zemský povrch vlivem slunečního záření teplejší než vzduch, který se od tepelného povrchu ohřívá. V noci zemský povrch ztrácí teplo vyzařováním, stává se chladnějším než vzduch. Vzduch se začíná rovněž ochlazovat, neboť předává své teplo chladnějšímu povrchu a také chladnějším vyšším vrstvám atmosféry.

### 4.2 Rosný bod

To je teplota, při níž vzduch je vodní parou nasycen a vodní pára v něm obsažená se začíná srážet. Protože vzduch může za určité teploty pojmout jen určité množství vodní páry, při ochlazení pod rosný bod začíná přebytečná vodní pára kondenzovat – kapalnět. Chladné předměty se vodou vyloučenou ze vzduchu orosí. Tady vznikl název teploty rosného bodu – rosný bod. Takto vzniká rosa, mlha, oblaka. Při husté mlze, kdy relativní vlhkost vzduchu dosahuje 100 %, se rosný bod rovná teplotě vzduchu. Je-li relativní vlhkost vzduchu menší než 100 %, je rosný bod nižší než teplota vzduchu. Čím větší je rozdíl mezi teplotou

vzduchu a teplotou rosného bodu, tím je také menší relativní vlhkost. K tomu, aby bylo dosaženo kondenzace vodních par (to znamená vznik rosy a podobně) je třeba větší ochlazení vzduchu.

## 4.3 Tlak vzduchu

Tlak vzduchu (atmosférický tlak, barometrický tlak) je hydrostatický tlak způsobený tíhou vertikálního vzduchového sloupce, který sahá od hladiny moře (nebo od libovolné jiné sledované hladiny) až k horní hranici atmosféry. Obecně představuje tlak vzduchu sílu, která působí kolmo na jednotkovou plochu.

Základní jednotkou tlaku v soustavě SI je pascal (Pa) odpovídající síle jednoho newtonu (N) na plochu o velikosti  $1 \text{ m}^2$ . Praktickou jednotkou může být také např. hydrostatický tlak, jímž působí 1 mm vysoký sloupec rtuti. Této jednotky se dříve používalo téměř výhradně (mmHg nebo torr), dnes se s ní setkáváme ve starší literatuře.

Pro vyjadřování údajů o atmosférickém tlaku je jednotka Pa příliš malá, a proto v meteorologii používáme jednotku hektopascal zkr. hPa ( $1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa}$ ). Tato jednotka má dále tu výhodu, že 1 hPa se rovná dříve používané jednotce 1 mbar (milibar).

Na základě obvykle přijímané konvence považujeme v úrovni hladiny moře za normální atmosférický tlak (tzv. tlak jedné atmosféry)  $1013,25 \text{ hPa}$  a můžeme psát, že  $p_0 = 1013,25 \text{ hPa} = 1013,25 \text{ mbar} = 760 \text{ mmHg} = 760 \text{ torr}$ .

Pro vzájemný převod dvou v praxi nejrozšířenějších jednotek, tj. mmHg a hPa (mb), platí tyto vztahy:

$$1 \text{ mmHg} = 1,333 \text{ hPa (mb)}$$

$$1 \text{ hPa} = 0,750 \text{ mmHg}$$

Vyšší tlak není vždy spojen s pěkným počasím. Skutečné počasí nezáleží výhradně na tlaku vzduchu.

Absolutní tlak (tlak vzduchu na stanici) – skutečný tlak vzduchu na pozorovacím místě.

Střední (relativní tlak) – tlak vycházející z průměrného poklesu tlaku s výškou v „normální atmosféře“. Ve výšce 0 m máme tlak  $760 \text{ mmHg}$  ( $= 1013 \text{ hPa}$ ), ve výšce 500m tlak  $716 \text{ mmHg}$  ( $= 954,5 \text{ hPa}$ ), ve výšce 1000m tlak  $674 \text{ mmHg}$  ( $= 899 \text{ hPa}$ ) atd. Ve spodních vrstvách atmosféry úbytek  $1 \text{ hPa}$  na 8 m výšky.

Tlak vzduchu redukováný na hladinu moře – tlak vzduchu přepočtený na hladinu moře („normální nula“) slouží pro srovnatelnost měření, i ze stanic výše položených. V nadmořské výšce 0 m je tlak  $760 \text{ mmHg}$  čili  $1013 \text{ hPa}$ .

### 4.3.1 Aperiodické změny tlaku vzduchu

Tlak vzduchu je časově i prostorově značně proměnlivý meteorologický prvek. Někdy pozorujeme jeho vzestup, jindy pokles, přičemž velikost a trvání změn tlaku vzduchu jsou velice různé. Toto kolísání je vcelku neperiodické, tzn. bez zjevné pravidelnosti.

Celková tíha vertikálního sloupce vzduchu, a tedy i tlak vzduchu se mění vlivem jednak termických, jednak dynamických příčin, jako zejména:

1. nerovnoměrným zahříváním zemského povrchu v různých oblastech,
2. výměnou teplejších, a tedy i lehčích vzduchových hmot s chladnějšími, tj. těžšími vzduchovými hmotami nebo opačně,
3. přenosem vzduchových hmot ve volné atmosféře,
4. hromadění vzduchu v některých oblastech, zatímco v jiných oblastech je vzduch odčerpáván, a tudíž i zředěván v souvislosti se změnami vzdušných proudění při různém charakteru cirkulace.

#### 4.3.2 Periodické změny tlaku vzduchu

Vedle neperiodických změn tlaku vzduchu existuje i periodické kolísání tlaku, a to denní i roční. Roční chod tlaku vzduchu, tj. např. chod jeho měsíčních průměrů, souvisí se sezónními změnami barického pole na zemském povrchu. Tyto změny jsou jiné na kontinentech, jiné na oceánech a mimo to mají odlišný charakter v různých zeměpisných šířkách. V souvislosti s tím není roční chod tlaku vzduchu v různých místech stejný:

- a) Na kontinentech nastává roční maximum tlaku vzduchu v zimě, minimum v létě.
- b) Obrácený roční chod mají vysoké hory, kde připadá maximum na léto, minimum na zimu.
- c) Na oceánech je roční chod tlaku vzduchu dvojitý. Vyskytují se tam dvě maxima, a to v létě a v zimě, a dvě minima, a to na jaře a na podzim.
- d) Opačný dvojitý roční chod než na oceánech je v polárních oblastech, kde jsou na jaře a na podzim maxima, kdežto minima tlaku vzduchu se objevují v létě a v zimě.

Denní kolísání tlaku vzduchu je výsledkem denního kolísání teploty vzduchu a slapových pohybů atmosféry.

Pravidelné denní variace však můžeme zjistit, jestliže sledujeme průměrné hodnoty tlaku v jednotlivých hodinách, které byly vypočteny z dlouhé řady pozorování. Tím se totiž náhodné aperiodické výkyvy vzájemně vykompenzují a zůstane pravidelný denní chod. Z takto připraveného materiálu vyplývá, že:

- a) Denní chod tlaku vzduchu představuje dvojitou vlnu, přičemž se vyskytují dvě maxima, totiž asi v 10 a ve 22 hodin a dvě minima kolem 4. a 16. hodiny místního času.
- b) Denní amplituda – tj. rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou během dne (24 hodin) – se zmenšuje s rostoucí zeměpisnou šířkou. V tropickém pásu činí denní amplituda přibližně jednotky hPa, v mírných zeměpisných šířkách jen desetiny hPa, (0,3-0,6 hPa).

#### 4.3.3 Horizontální rozložení atmosférického tlaku na Zemi

Při sledování ročních, sezónních nebo měsíčních průměrných hodnot atmosférického tlaku redukovaného na mořskou hladinu a jejich rozložení po zemském povrchu lze nalézt oblasti vyznačující se vůči svému okolí téměř trvale nižším nebo vyšším tlakem. K nejvýznamnějším z nich patří především:

1. Pás sníženého tlaku obepínající v rovníkové oblasti Zemi (tzn. rovníková neboli ekvatoriální tlaková deprese).
2. Dva rovnoběžkové pásy zvýšeného tlaku obepínající na obou polokoulích Zemi v subtropích ca mezi 25.– 30. stupněm zeměpisné šířky. Tyto pásy však nejsou zcela souvislé a vyskytují se v nich jednotlivé tlakové výše. Pro naši geografickou oblast je z nich významná zejména Azorská tlaková výše, dále lze na severní polokouli uvést např. Havajskou tlakovou výši a na jižní polokouli tři tlakové výše nalézající se v oblastech jižních částí Atlantského, Tichého a Indického oceánu.
3. Pásy nízkého tlaku prostírající se přibližně podél šedesátého stupně zeměpisné šířky na obou polokoulích. Na severní polokouli je součástí tohoto pásu především výrazná Islandská tlaková níže, jež podstatně ovlivňuje vývoj počasí v severním Atlantiku a v Evropě, dále je třeba se zmínit o Aleutské tlakové níži v oblasti Aleutských ostrovů u Aljašky.

#### 4.4 Tlaková tendence

Jestliže tlakoměr na stanovišti ukazuje klesající tendenci, pak je počasí pěkné. Teplý vzduch z jihu se dostane při zemi k severu – děj, na který tlakoměr reaguje poklesem. Přizemní teplý vzduch postupuje zvláště rychle, rychleji než ve výšce, a na jeho zadní straně proniká z výšky studený vzduch. V tomto klesajícím vzduchu se však rozpouští oblaka a slunko svítí.

Jestliže tlakoměr ukazuje stoupající tendenci je následné počasí oblačné a deštivé. Zde je to přizemní studený vzduch ze severu, který se rychle dostává k jihu – děj, na který tlakoměr reaguje vzestupem. Studený vzduch posunuje nad ním ležící nehybný teplý vzduch směrem vzhůru. To však pro teplý vzduch znamená ochlazení se známými důsledky: tvoření oblaků, srážky.

#### 4.5 Hustota vzduchu

Ještě v době před raketami a družicemi se zkoumala struktura atmosféry, především pomocí balonových sond a radiosond, aby se vědělo víc o složení atmosféry a o hustotních poměrech ve větších výškách. Na základě fyzikálních zákonů by se dalo soudit, že hustota se vzrůstající výškou klesá. Měly by zde být též rozdíly ve složení vzduchu, neboť plyny, z nichž se atmosféra skládá, nejsou stejně těžké. Lehčí plyny, například helium a vodík, by měly být s přibývajícím výškou zastoupeny více, přičemž dusík a kyslík převládají v nižších vrstvách.

Hustota vzduchu má důležitou úlohu například v letecké dopravě. Hustota vzduchu je přímo úměrná tlaku vzduchu, ale nepřímo úměrná teplotě. V horských krajinách nebo při teplotách za vrcholného léta a při vysoko položených rozjezdových a přistávacích drahách

se registruje citelně menší hustota. Letadla pak potřebují dlouhou startovací dráhu nebo nesmějí být plně naložena.

Výpočet hustoty vzduchu (použité jednotky v hranaté závorce):

$$\text{hustota vzduchu} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] = 0,349 \frac{\text{tlak [hPa]}}{\text{teplota [K]}}$$

Dnes víme, že až do výšky skoro 100km se složení vzduchu nijak zvlášť nemění. Za to zřejmě může velkoprostorové promíchávání, které umožňuje výměnu plynů. Tím je zabráněno usazování plynů podle jejich specifické hmotnosti. Za povšimnutí stojí úbytek hustoty s výškou, zhruba srovnatelný s poklesem tlaku. Na hladině moře při 15 °C je hustota vzduchu 1,23 kg/m<sup>3</sup>. Ve výšce 17 km je to ještě jedna desetina původní hodnoty. Nad výškou 100 km je pokles hustoty pomalejší, podobně je to s poklesem tlaku.

Hustota vzduchu vykazuje systematické výkyvy v závislosti na denní a roční době. Kromě toho se vyskytují změny související se sluneční aktivitou. Cizí částice vyskytující se v přízemní vrstvě vzduchu, například zvířený prach, produkty hoření a jiné příměsi, nemění hustotu vzduchu. Tyto pevné polétavé částice ovšem mají vzrůstající vliv na důležité jevy počasí, například na srážky a na vznik mlhy a zákalu.

## 4.6 Vlhkost vzduchu

Ve vzduchu je vždy přítomna vodní pára, někdy více, někdy méně. Vodní pára ve vzduchu je plynná. Nemůžeme ji ani vidět, ani čichat nebo vnímat chutí. Při dané teplotě může vzduch pojmout jen určité omezené množství vodní páry. Čím je vzduch teplejší, tím více vlhkosti (vodní páry) může pojmout. Naopak ochlazování vzduchu zmenšuje schopnost přijímat vodní páru. Příslušné hodnoty vztahované na krychlový metr (m<sup>3</sup>) vzduchu jsou tyto:

Množství vodní páry (g)	Teplota (°C)
30,3	+30
17,3	+20
9,4	+10
4,8	0
2,4	-10
1,1	-20

Protože teplota hraje důležitou roli, nestačí jen vědět, kolik vlhkosti vzduchu obsahuje. Proto se ustálila zvyklost, že se určuje procentní poměr skutečného množství vodní páry k maximálně možnému množství při dané teplotě. Výsledkem je relativní vlhkost. Zmíněné maximálně možné množství odpovídá stavu, kdy vzduch je při dané teplotě nasycen vodními parami.

### 4.6.1 Absolutní vlhkost vzduchu

Absolutní vlhkost vzduchu neboli hustota vodní páry (značíme  $\rho_v$ ) je hmotnost vodní páry v jednotce objemu. Vyjadřuje se obvykle v kg · m<sup>-3</sup>. Množství vodní páry se ve vzduchu nemůže zvyšovat neomezeně. Pro danou teplotu existuje vždy mezní hodnota, nad kterou

obsah vodních par ve vzduchu už nemůže vzrůstat. Přebytek vodní páry potom kondenzuje. Tuto mezní hodnotu  $\rho_{vs}$ , tj. pro danou teplotu nejvyšší možné množství vodní páry obsažené v jednotce objemu, nazýváme absolutní vlhkost nasyceného vzduchu.

#### 4.6.2 Relativní (poměrná) vlhkost vzduchu

Relativní (poměrná) vlhkost vzduchu  $r$  je v procentech vyjádřený poměr skutečné absolutní vlhkosti  $\rho_v$  k maximální absolutní vlhkosti  $\rho_{vs}$  za dané teploty, nebo poměr aktuálního tlaku par  $e$  k tlaku nasycených par  $E$  za dané teploty. Platí tedy

$$r = \frac{\rho_v}{\rho_{vs}} 100\% = \frac{e}{E} 100\%$$

#### 4.6.3 Vlhkost vzduchu a příčiny jejich změn

Vlhkost určuje obsah vodní páry ve vzduchu. Ten se stále mění s časem a místními vlivy a podléhá zejména následujícím dějům:

- vypařování a naopak kondenzaci vodní páry v atmosféře,
- přenosu vodní páry vertikálním směrem působením konvekce a turbulentní výměny,
- advekcí tj. horizontálním prouděním vlhkého vzduchu, který postupně nahrazuje relativně sušší vzduch, resp. naopak.

#### 4.6.4 Roční chod absolutní vlhkosti

Roční chod absolutní vlhkosti a tlaku vodní páry je dán ročním chodem výparu, který je v létě nejvyšší a v zimě nejnižší. Proto připadá roční maximum absolutní vlhkosti a tlaku páry rovněž na léto, kdežto nejnižší roční hodnota těchto prvků se vyskytuje v zimě.

#### 4.6.5 Denní chod relativní vlhkosti

Relativní vlhkost je ze své definice dána poměrem skutečné hustoty vodní páry ku hustotě nasycené páry při dané teplotě. Tento poměr lze však též velmi dobře vyjádřit poměrem skutečného tlaku vodní páry ku tlaku nasycené páry (opět při téže teplotě). Při vyšší teplotě je skutečný tlak par vyšší, současně se však s rostoucí teplotou zvětšuje i napětí a nasycení. Vzrůst napětí a nasycení v závislosti na teplotě je daleko rychlejší než vzestup skutečného napětí vodní páry, a proto relativní vlhkost se při stoupající teplotě vzduchu zpravidla zmenšuje a naopak. V důsledku toho má relativní vlhkost opačný chod, a to denní i roční, než teplota vzduchu.

#### 4.6.6 Roční chod relativní vlhkosti

V ročním chodu má relativní vlhkost zpravidla opačný chod než teplota vzduchu, a proto se v zimě vyskytuje maximum a v létě minimum hodnot relativní vlhkosti. Jsou ovšem oblasti, kde má relativní vlhkost vlivem místních klimatických podmínek odlišný roční chod, což platí především pro oblasti monzunů (např. jihovýchodní, tzv. monzunová Asie.)



## 4.7 Srážky

Jako atmosférické srážky označujeme částice vzniklé následkem kondenzace vodní páry v ovzduší a vyskytující se v kapalně nebo pevné fázi v atmosféře, na povrchu země nebo předmětech v atmosféře. Obvykle rozeznáváme atmosférické srážky padající (někdy vertikální) a k nim patří déšť, mrznoucí déšť, mrholení, mrznoucí mrholení, sníh, sněhové krupky, sněhová zrna, krupky, zmrzlý déšť, ledové jehličky a kroupy. Jako srážky usazené (někdy též horizontální) označujeme rosu, jíní, námrazu a ledovku. Pokud atmosférické srážky vypadávají z oblaků, ale nedosahují na povrch země, označují se jako virga (srážkové pásy pod základnami oblaků). K popisu druhů srážek je vypracována mezinárodní klasifikace srážek, která je uvedena v Mezinárodním atlasu oblaků a v návodech pro pozorovatele meteorologických stanic.

### 4.7.1 Kvantitativní charakteristiky srážek

Množství (z hlediska odborné terminologie úhrn) srážek se vyjadřuje v milimetrech (řidčeji v centimetrech), které udávají výšku vodní vrstvy, jež by se vytvořila na horizontálním povrchu ze spadlých kapalných srážek nebo z rozsáhlých tuhých srážek, kdyby se žádná voda ani nevsakovala ani nevypařovala. Se zřetelem k hustotě vody znamená údaj množství srážek v milimetrech číselně také počet litrů srážkové vody spadlé na 1 m<sup>2</sup> horizontálního povrchu. V meteorologii se udává množství srážek spadlé za 24 hodin (v praxi dodržované na meteorologických stanicích od 06 hodin ráno do 06 hodin následujícího dne). V synoptické meteorologii se obvykle měří v intervalu 06-18 a 18-06 hodin světového času. Průběh srážek zejména přeháňkového charakteru vyjadřuje tzv. intenzita srážek. Tato veličina udává množství srážek spadlé za jednotku času, zpravidla v mm za minutu či hodinu. Hodnoty intenzity srážek mají spolu s údajem o jejím trvání zásadní význam pro hydrologické účely, např. v souvislosti s povodněmi.

Významnou pomoc při sledování prostorového rozložení intenzity srážek dnes poskytují radarové metody měření.

Vzduch obsahuje vodní páru. Ochlazení vzduchu vede ke zkapalnění vodní páry, ta kondenzuje. Přitom platí fyzikální zákon, že vzduch určité teploty může pojmout jen určité množství vodní páry. Krychlový metr vzduchu pojme při teplotě 20 °C nejvýš 17,3 gramů vodní páry, při 0 °C již jen 4,8 gramů. Zkondenzovaná vodní pára z oblaku vypadne jako srážky, například déšť, nebo se vypaří ještě dřív, než dopadne na zemský povrch. Pro tvorbu srážek je přitom důležité, že vodní kapky nebo ledové krystalky ve vzduchu rostou [V nižších hladinách se kapky často slévají (koalescence). Popudem k tomu může být i rázová vlna při blesku.] Teprve když jsou dostatečně velké a těžké, mohou padat až k zemskému povrchu. Slévání většího množství částic zkondenzované vodní páry je silně ovlivňováno výstupnými a sestupnými pohyby vzduchu a elektrickým polem v oblaku.

Děšť	Průměr kapek v mm	Pádová rychlost v cm/s
mlha s mrholením	0,006-0,06	0,10-20
mrholení	0,06-0,6	20-100
trvalý déšť	1-3	150-400
liják	4-6	500-800

Normální dešťová kapka o průměru několika milimetrů se skládá z jednoho milionu nejjemnějších oblačných kapiček.

Množství srážek se udává v milimetrech za určitý časový úsek, například za 24 hodin. Přitom jeden milimetr srážek odpovídá jednomu litru vody na čtvereční metr. Den, v němž spadlo nejméně 0,1 mm, se nazývá den s deštěm.

## 4.8 Sněhová pokrývka

Sníh padající v zimním období v mírných a vysokých zeměpisných šířkách vytváří zpravidla sněhovou pokrývku. Sněhová pokrývka chrání půdu před silným ochlazováním v důsledku její malé tepelné vodivosti. Současně však v důsledku velké schopnosti odrazet krátkovlnné sluneční záření a schopnosti vyzařovat dlouhovlnnou radiaci téměř jako dokonale černé těleso se povrch samotného sněhu silně ochlazuje a tím klesá i teplota přilehlých vrstev vzduchu.

Zásoba vody ve sněhové pokrývce bývá vyjadřována tzv. vodní hodnotou sněhu. Touto veličinou rozumíme výšku vodní vrstvy (nejčastěji vyjádřenou v mm), která by vznikla, kdyby sněhová pokrývka úplně roztála.

Základními veličinami, které charakterizují sněhovou pokrývku je výška sněhové pokrývky (v cm) a hustota sněhu ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ). S hustotou sněhu souvisí jeho tepelná vodivost. Čím je sníh kypřejší (menší hustota), tím je jeho tepelná vodivost menší.

## 4.9 Oblačnost

Oblačností rozumíme množství oblaků, které se v daném místě a určitém okamžiku vyskytují na obloze. Obvykle se udává v osminách pokrytí oblohy, někdy (v klimatologii) v desetínách.

Není-li termín oblačnost nijak blíže specifikován, rozumíme jím vždy tzv. celkovou oblačnost, tzn. množství všech oblaků bez ohledu na jejich druh či výšku. V synoptické meteorologii se kromě celkové oblačnosti udává zvláště množství oblačnosti nízkého, středního a vysokého patra.

## 4.10 Oblaka

Oblaka se skládají jednak z kapalných, jednak z pevných částic, tj. z vodních kapiček a ledových částíček. Vodní kapičky v oblacích nemají stejnou velikost, jejich průměr se zhruba pohybuje mezi 0,005 až 0,05 mm. Během pokračujícího vývoje oblaku se však v něm vyskytují i pomalu padající kapky o průměru až 0,5 mm i velké dešťové kapky o průměru do 5 mm. V teplotách pod bodem mrazu se vyskytují v oblaku jednak kapičky v přechlazeném stavu, jednak ledové krystalky, které mohou narůstat a vytvářet např. sněhové hvězdičky. K vodním oblakům patří většinou Ac, Sc, St a Cu. K čistě ledovým oblakům patří Ci, Cs a převážně Cc. Ve smíšených oblacích se vyskytují jak vodní kapičky různých velikostí v přechlazeném stavu, tak ledové částice. Smíšená oblaka mají větší vertikální rozsah a patří mezi ně As, Ns a Cb, někdy Cu congestus. Struktura oblaku a výška jeho spodní základny i vertikální mohutnost oblaku závisí na poloze kondenzační hladiny, hladiny nulové izotermy a horní hranice konvence.

### 4.10.1 Mezinárodní klasifikace oblaků

Světová meteorologická organizace (SMO) definuje oblak jako: „*Viditelnou soustavu nepatrných částic vody nebo ledu, popřípadě obojího, v ovzduší. Tato soustava může obsahovat zároveň i větší částice vody nebo ledu a také jiné částice pocházející například z průmyslových exhalací, kouře nebo prachu.*“

### 4.10.2 Stručná historie klasifikace oblaků

Za první kvalifikované pokusy o klasifikaci oblaků se považují studie, které publikovali francouzský přírodovědec Jean Baptiste Lamarck (1744 – 1829) v roce 1802 a anglický chemik Luke Howard (1772 – 1864) v roce 1803. Zatímco Lamarckova klasifikace, která využívala francouzštinu pro názvy oblaků a byla publikovaná v jedné z jeho meteorologických ročenek, nenašla širokou odezvu, základ klasifikace L. Howarda se používá dodnes. Howard využil pro označení oblaků latinu a návrh své klasifikace zveřejnil v roce 1803 ve studii „*On the modification of clouds and on the principles of their production, suspension and destruction*“, která vyšla v poměrně známém časopisu „*Tilloch's Philosophical Magazine*“ v Londýně. Pojem „*modification*“ v názvu studie je přitom nutné chápat jako klasifikaci stále se modifikujících oblačných forem.

Stejně jako Lamarck také Howard rozeznal tři základní režimy ve vzhledu oblaků. Oblaky vláknitého vzhledu označil jako „*cirrus*“ (vlasy), oblaky plošného vzhledu zakrývající velkou část nebo celou oblohu označil jako „*stratus*“ (plochý) a pro oblaky se zřejmou vertikální architekturou použil označení „*cumulus*“ (nakupený, nahromaděný). K těmto třem druhům přidal ještě „*nimbus*“ (oblak), který vztáhl k oblakům srážkovým.

### 4.10.3 Mezinárodní klasifikace oblaků současnosti

Základem mezinárodní klasifikace je rozdělení oblaků na 10 oblačných druhů, které jsou dále jemněji strukturovány na oblačné tvary, odrůdy a zvláštnosti. Určují se i průvodní

oblaky a klasifikace zahrnuje i možnost určit mateřské oblaky, z nichž se klasifikovaný oblak vyvinul. Jména základních oblačných druhů jsou *Cirrus*, *Cirrocumulus*, *Cirrostratus*, *Altostratus*, *Altostratus*, *Stratocumulus*, *Stratus*, *Nimbostratus*, *Cumulus* a *Cumulonimbus*. Pro jména oblačných druhů existují i české ekvivalenty, které vycházejí z přiřazení *cumulus* – *kupa*, *stratus* – *sloha*, *cirrus* – *řasa*. Meteorologové a meteorologičtí pozorovatelé však téměř výhradně užívají označení mezinárodní.

Rozdělení atmosféry do výškových pater, která charakterizují výskyt jednotlivých druhů oblaků

Výškové patro	Polární oblasti	Oblasti stř. z. š.	Tropické oblasti
vysoké	3 – 8 km	5 -13 km	6 – 18 km
střední	2 – 4 km	2 – 7 km	2 – 8 km
nízké	od povrchu Země do 2 km	od povrchu Země do 2 km	od povrchu Země do 2 km

Označení tvarů, odrůd, zvláštností a průvodních oblaků i mateřských oblaků pro jednotlivé druhy oblaků (podle SMO, 1965). Zvláštnosti označené kurzivou se vyskytují zřídka. Pro označení druhů jsou užity zkratky.

Druh	Tvar	Odrůdy	Zvláštnosti a průvodní oblaky	Mateřské oblaky
Ci	fibratus, uncinus, spissatus, castellanus, floccus	intortus, radiatus, vertebratus, duplicatus	mamma	Cc, Ac, Cb
Cc	stratiformis, lenticularis, castellanus, floccus	undulatus, lacunosus	virga, mamma	---
Cs	fibratus, nebulosus	duplicatus, undulatus	---	Cc, Cb
Ac	stratiformis, lenticularis, castellanus, floccus	translucidus, perlucidus, opacus, duplicatus, undulatus, radiatus, lacunosus	virga, mamma	Cu, Cb
As	---	translucidus, opacus, duplicatus, undulatus, radiatus	virga, praecipitatio, pannus, mamma	As, Cb
Ns	---	---	praecipitatio, virga, pannus,	Cu, Cb
Sc	stratiformis, lenticularis, castellanus	translucidus, perlucidus, opacus, duplicatus, undulatus, radiatus, lacunosus	mamma, virga, <i>praecipitatio</i>	As, Ns, Cu, Cb
St	nebulosus, fractus	opacus, translucidus, undulatus	praecipitatio	Ns, Cu, Cb
Cu	humilis, mediocris, congestus, fractus	radiatus	pileus, velum, virga, <i>praecipitatio</i> , <i>arcus</i> , <i>pannus</i> , <i>tuba</i>	Ac, Sc

Cb	calvus, capillatus	---	praecipitatio, virga, pannus, incus, mamma, pileus, velum, arcus, <i>tuba</i>	Ac, As, Ns, Sc, Cu
----	--------------------	-----	---	-----------------------

Horizontálně i vertikálně rozsáhlý srážkový oblak *Nimbostratus* se také pravidelně vyskytuje ve středním patře, většinou však sahá i do obou dalších pater. Oblaky *Cumulus* a *Cumulonimbus* mají základny obvykle v nízkém patře, jejich vrcholky však mohou zasahovat do patra středního i vysokého. Pro zařazení do patra je v klasifikaci oblaků rozhodující převažující výskyt oblaku. Často je spolehlivější určit zařazení do výškového patra podle výšky základny, zejména u oblaků s velkým vertikálním rozsahem jako je *Cumulus* a *Cumulonimbus*, které pak spolu s oblaky druhu *Nimbostratus* bývají řazeny do spodního patra. Někdy bývají *Cumulus*, *Cumulonimbus* a *Nimbostratus* označovány jako skupina oblaků s velkým vertikálním rozsahem a není jim přiřazeno žádné patro. Pro pozorování oblaků je podstatné, že různé druhy oblaků se mohou vyskytovat v různých patrech současně.

#### **4.10.3.1 Cirrus (řasa) – Ci**

*Definice: Vzájemně oddělené obláčky v podobě bílých jemných vláken nebo bílých, popř. převážně bílých, plošek nebo úzkých pruhů. Tyto oblaky mají vláknitý vzhled a hedvábný lesk, popř. obojí.*

Cirrus představuje nesrážkovou ledovou oblačnost vysokého patra, při níž se může vyskytovat optický jev, tzv. halo, které však vzhledem k malému prostorovému rozsahu oblaků nemá podobu celého uzavřeného kruhu. Husté tvary mohou částečně nebo úplně zakrýt Slunce. Základna oblaků je obvykle ve výškách 6 až 12 km.

#### **4.10.3.2 Cirrocumulus (řasová kupa) – Cc**

*Definice: Tenké menší nebo větší skupiny nebo vrstvy bílých oblaků bez vlastního stínu, složené z velmi malých oblačných částí v podobě zrněk nebo vlněk apod. Tyto jednotlivé části mohou být buď navzájem odděleny, nebo mohou spolu souviset a jsou víceméně pravidelně uspořádány. Zdálnivá velikost jednotlivých částí nepřesahuje 1° prostorového úhlu (odpovídá přibližně úhlu, pod jakým vidíme šířku malíku při natažené paži).*

Jde opět o nesrážkovou ledovou oblačnost vysokého patra, která je natolik průsvitná, že přes ni lze obvykle rozeznat pozici Slunce nebo Měsíce. Výšky základny je ze země obtížně určitelná, obvykle se odhaduje na 7 až 10 km.

#### **4.10.3.3 Cirrostratus (řasová sloha) – Cs**

*Definice: Průsvitný bělavý závoj oblaků, vláknitého nebo hladkého vzhledu, který úplně nebo částečně zakrývá oblohu a dává vznik halovým jevům.*

Stejně jako předchozí cirovitě druhy je Cs nesrážkový ledový oblak vysokého patra, pro nějž je typický častý výskyt halo. Slunce je vrstvou Cs viditelné, Cs může zmohutnět a transformovat se na *Altostratus*.

#### **4.10.3.4 Altocumulus (vysoká kupa) – Ac**

*Definice: Menší nebo větší skupiny nebo vrstvy oblaků barvy bílé nebo šedé, popř. bílé a šedé, mající vlastní stíny; skládají se z malých oblačných částí podoby vln, oblázků nebo valounů apod., které mohou být buď navzájem odděleny, nebo mohou spolu souviset. Mnohdy mají částečný vláknitý nebo rozplývavý vzhled. Zdánlivá velikost jednotlivých pravidelně uspořádaných částí oblaků bývá 1°- 5° prostorového úhlu.*

Ac je nesrážkový oblak středního patra složený z vodních kapek, při velmi nízkých teplotách se v Ac mohou vyskytovat i ledové krystaly. Ac se vyskytuje v mnoha variantách a také jeho průsvitnost je velmi proměnlivá. Vypadávají-li z Ac krystaly, mohou vzniknout halové jevy. Ac lenticularis v podobě čoček vzniká často vlivem orograficky vynucených výstupů. Příležitostně u nás mohou z Ac vypadávat srážky nedosahující zemského povrchu (virga).

#### **4.10.3.5 Altostratus (vysoká sloha) – As**

*Definice: Šedavá nebo modravá oblačná plocha nebo vrstva se strukturou vláknitou nebo žebrovitou, popř. bez patrné struktury, pokrývající úplně nebo částečně oblohu; je tak tenká, že místy jsou patrné alespoň obrysy Slunce jako za matným sklem. U altostratu se nevyskytují halové jevy.*

Altostratus je oblak středního patra, který může mohutnět a při klesající základně přejít v Nimbostratus. Může zasahovat i do vysokého patra. Příležitostně u nás mohou z As vypadávat srážky nedosahující zemského povrchu (virga). Mohou vypadávat i srážky dosahující zemského povrchu ve formě deště nebo sněhu a krupek, často však jde již o přechod As na Nimbostratus.

#### **4.10.3.6 Nimbostratus (dešťová sloha) – Ns**

*Definice: Šedá, často tmavá oblačná vrstva, která vlivem vypadávání více nebo méně trvalých dešťových nebo sněhových srážek má matný vzhled; srážky většinou dosahují země. Vrstva je všude tak hustá, že poloha Slunce není patrná. Pod touto vrstvou se často vyskytují nízké roztrhané oblaky, které mohou, ale nemusí s vrstvou souviset.*

Nimbostratus je smíšený oblak, z něhož mohou vypadávat plošně rozsáhlé dešťové nebo sněhové srážky. Jde o oblak s velkou vertikální mohutností. Základna Ns se může nacházet ve spodním patře, vrcholky mohou zasahovat i do patra vysokého.

#### **4.10.3.7 Stratocumulus(slohová kupa) – Sc**

*Definice: Šedé nebo bělavé, popř. šedé a bělavé, menší nebo větší skupiny nebo vrstvy oblaků, které téměř vždy mají tmavá místa; oblak se skládá z částí podobných dlaždicím, oblázkům, valounům apod., má vzhled nevláknitý (s výjimkou zvláštního případu „virga“). Jednotlivé části oblaku buď spolu souvisí, nebo mohou být oddělené; jejich zdánlivá velikost je větší než 5° prostorového úhlu.*

Stratocumulus představuje většinou nesrážkovou oblačnost nízkého patra. Velmi slabé srážky jsou možné ve formě deště i sněhu. Může se vyskytnout i virga ze sněhových krystalů, doprovázená halovými jevy. Oblak Sc může být dostatečně hustý, aby zakryl Slunce nebo Měsíc. Základna je obvykle ve výšce mezi 300 až 1400 m nad zemským povrchem.

#### 4.10.3.8 Stratus (sloha) – St

*Definice: Oblačná vrstva, obvykle šedá, s celkem jednotvárnou základnou, z níž vypadává mrholení, ledové jehličky nebo ledová zrna. Prosvítá-li vrstvou stratu Slunce, bývají jeho obrysy zřetelně patrné. Stratus nedává vznik halovým jevům, leda v případech velmi nízkých teplot.*

Stratus je kapalný nebo smíšený oblak nízkého patra. Pokud srážka vypadává, má nejčastěji charakter mrholení. V blízkosti pobřeží nebo v hornatém terénu může být déšť silnější, ale jeho zdrojem může být i výše ležící srážková oblačnost jako Ns. Stratus může být dostatečně hustý, takže zakrývá Slunce nebo Měsíc. Při malé hustotě St však mohou být Slunce i Měsíc jasně viditelné. Základna St se obvykle vyskytuje se vrstvě mezi zemským povrchem a 600 m, někdy může být pozorována až do výšky 1200 m.

#### 4.10.3.9 Cumulus (kupa) – Cu

*Definice: Osamocené oblaky, obvykle husté a s ostře ohraničenými obrysy vyvíjející se směrem vzhůru v podobě kup, kupolí nebo věží; jejich horní část má často podobu kvěťáku. Části oblaku ozářené Sluncem bývají nejčastěji zářivě bílé; základna oblaku bývá poměrně tmavá a téměř vodorovná. Někdy jsou Cu roztrhané.*

Cumulus je většinou kapalný oblak a většinou nesrážkový. Platí to pro odrůdu Cu humilis, která je typickým kupovitým oblakem pěkného počasí, i pro odrůdu Cu mediocris. Oblaky odrůdy Cu congestus mají větší vertikální rozsah, mohou dosahovat i nad nulovou izotermu a mohou z nich vypadávat slabé přeháňky. Základna Cu je obvykle ve výšce 300 až 1500 m, někdy může dosáhnout i výšky 2000 m. Po zformování oblaku často vede růst teploty k růstu výšky základny Cu nad zemským povrchem.

#### 4.10.3.10 Cumulonimbus (dešťová kupa) – Cb

*Definice: Mohutný a hustý oblak velmi značného vertikálního rozsahu v podobě hor nebo obrovských věží. Alespoň část jeho vrcholu je obvykle hladká nebo vláknitá nebo žebrovitá, a téměř vždy zploštělá; tato část se často rozšiřuje do podoby kovadliny nebo širokého chocholu. Pod základnou oblaku, obvykle velmi tmavou, se často vyskytují nízké roztrhané oblaky, které mohou, ale nemusí s oblakem souviset, a srážky (někdy jako virga).*

Cumulonimbus je srážkový oblak, který obsahuje částice kapalné vody i ledu. Je spojen se srážkami ve formě přeháněk, přívalových srážek i krupobití a jsou pro něj charakteristické bleskové výboje. Bývá někdy označován jako „bouřkový mrak“. Obvyklý je i výskyt silného nárazovitého větru. Základna leží obvykle ve výšce 600 až 1500 m, může však být níže nebo sahat až ke 2 km. Silné konvekční bouře s doprovodnými nebezpečnými jevy jsou spojeny právě s vývojem Cb.

Pro potřebu histogramů jsem si očíslovala jednotlivé typy mraků viz. obr. č. 3.

{ <b>Altostratus</b> }	<b>1</b>
{ <b>Altostratus</b> }	2
{ <b>Cirrus</b> }	3
{ <b>Cumulonimbus</b> }	4

{ Cumulus Altocumulus}	5
{ Stratocumulus Altocumulus}	6
{ Stratocumulus Nimbostratus}	7
{ Stratocumulus}	8
{ Stratus Cumulus}	9
{ Stratus Nimbostratus}	10
{ Stratus Stratocumulus}	11
{Altocumulus }	12
{Altocumulus Altocumulus }	13
{Altocumulus Altocumulus Cumulonimbus}	14
{Altocumulus Altostratus }	15
{Altocumulus Cirrocumulus}	16
{Altocumulus Cirrostratus Cumulonimbus}	17
{Altocumulus Cirrostratus}	18
{Altocumulus Cumulonimbus}	19
{Altostratus Cirrostratus}	20
{Altostratus Cirrus}	21
{Cirrocumulus }	22
{Cirrocumulus Cirrostratus}	23
{Cirrocumulus Cirrus}	24
{Cirrostratus }	25
{Cumulonimbus Altocumulus Altocumulus}	26
{Cumulonimbus Altocumulus Cumulonimbus}	27
{Cumulonimbus Altocumulus}	28
{Cumulonimbus Cumulonimbus Altostratus}	29
{Cumulonimbus Cumulonimbus Cumulonimbus}	30
{Cumulonimbus Stratus Cumulonimbus Cumulonimbus}	31
{Cumulonimbus Stratus Cumulonimbus}	32
{Cumulus }	33
{Cumulus Altocumulus }	34
{Cumulus Altocumulus Cumulonimbus Cumulonimbus}	35
{Cumulus Altostratus Cumulonimbus}	36
{Cumulus Altostratus}	37
{Cumulus Cirrocumulus}	38
{Cumulus Cirrostratus}	39
{Cumulus Cirrus }	40
{Cumulus Cumulonimbus}	41
{Cumulus Stratocumulus }	42
{Nimbostratus}	43
{Stratocumulus Altostratus }	44
{Stratocumulus Cirrostratus}	45
{Stratocumulus Cirrus }	46
{Stratocumulus Cumulonimbus }	47
{Stratocumulus Stratocumulus }	48



{Stratocumulus Stratus}	49
{Stratocumulus}	50
{Stratus }	51
{Stratus Altocumulus }	52
{Stratus Altostratus }	53
{Stratus Cirrus}	54
{Stratus Cumulonimbus Cumulonimbus}	55
{Stratus Nimbostratus}	56
{Stratus Stratocumulus}	57
{Stratus Stratus }	58

Obrázek č. 3 – Klasifikace mraků

## 4.11 Vítr

Pouze pro místní větrné systémy platí plně vysvětlení, že vítr vyrovnává tlakové rozdíly. Vane od míst s vysokým tlakem vzduchu k místům s nízkým tlakem. Vítr také nevane jen horizontálně. Jsou významné vertikální vzdušné proudy, například výstupné pohyby při bouřce. Kromě teplotních rozdílů ve vzduchových hmotách, které trvale způsobují rozdíly v tlaku vzduchu, spolupůsobí ještě další síly, které odchyľují vzdušné proudy:

1. rotace Země
2. tření o zemský povrch

Mechanika mořských a pevninských vánků se opírá o tlakové a teplotní rozdíly s denním chodem. U velkoprostorových vzdušných proudů se projevuje Coriolisovo zrychlení – odchylování směru vzdušných proudů na rotující Zemi. Takovým velkoprostorovým systémem větru jsou pasáty severně a jižně od rovníku.

### 4.11.1 Rychlost větru

Měří se v metrech za sekundu nebo v uzlech, tj. v námořních mílich (1 námořní míle = 1,852 km) za hodinu. Je základem pro údaje ve stupních hodně rozšířené Beaufortovy stupnice síly větru.

Roste s výškou. Čím je vítr silnější, tím je nárazovitější. Je to dáno povahou podkladu (konfigurací terénu) a teplotním zvrstvením ve výšce. Nejsilnější nárazy se objevují při vpádech studeného vzduchu. Na velkých vodních plochách, případně na moři, vane vítr obvykle rovnoměrněji, protože odpadávají nepravidelnosti povrchu pevniny.

Holandský meteorolog Buys-Ballot objevil toto pravidlo: „Postavíme-li se na severní polokouli zády proti větru, máme oblast nižšího tlaku s převládajícím špatným počasím po levici poněkud vpředu, oblast vyššího tlaku s lepším počasím po pravici poněkud vzadu.“ Západní větry a severní větry přinášejí vlhkost a chlad, východní a jižní sucho a teplo.

#### **4.11.2 Turbulence**

Jev, při kterém se vyskytují v proudícím vzduchu nepravidelné víry s rozměrem od několika milimetrů do stovek metrů. Je spjata s nárazovitostí větru a působí promíchávání vzduchu. Je působena např. drsností zemského povrchu.

#### **4.11.3 Konvence**

Výstupné a kompenzující sestupné pohyby vzduchu v atmosféře. Je působena archimedovskými vztahovými silami, vznikajícími následkem horizontálních teplotních nehomogenit při nerovnoměrném ohřívání zemského povrchu.

### **4.12 Meteorologická dohlednost**

Za denního světla označujeme jako meteorologickou dohlednost vzdálenost v daném (zpravidla horizontálním) směru, na kterou je zdravé, průměrně citlivé lidské oko schopno odlišit od pozadí obrys dostatečně velkého předmětu, jenž nevydává žádný vlastní jas. Je zřejmé, že takto definovaná dohlednost úzce souvisí se schopností vzduchu propouštět viditelné záření (světlo). Molekuly vzduchu, popř. v něm obsažené aerosolové částice, rozptylují sluneční záření a takto rozptýlené světlo lze považovat za zdroj jasu prostředí (vzduchu).

## 5. Kosmické záření

Kosmické záření je proud urychlených částic neznámého původu. Při interakci s atmosférou vzniká sprška milionů i miliard částic. Nejenergetičtější částice kosmického záření, které se dosud podařilo detekovat, mají energie až  $10^{20}$  eV. Sprška z takové částice zasáhne na zemském povrchu mnoho desítek  $\text{km}^2$ . Tak energetická částice se objeví přibližně jednou za sto let. Kosmické záření je majoritním zdrojem antihmoty na naší planetě. Může vznikat v supernovách, pulzarech, aktivních galaktických jádrech, atd. Naprostá většina částic kosmického záření, okolo 88 %, jsou protony, přibližně 10 % jsou jádra hélia (alfa záření), 1 % elektrony a pozitrony a 1 % těžké prvky. Kosmické záření má naprosto nejširší spektrum energií ze všech dodnes známých jevů. Mnohé částice, které se dnes vědci pokoušejí nalézt v moderních urychlovačích, se mohou nacházet právě v kosmickém záření.

### 5.1 Objev částic

Kosmické záření bylo objeveno v roce 1912 rakouským fyzikem Viktorem Hessem při balónových experimentech, pomocí ionizační komory umístěné ve výškovém balonu, ve výšce až 5 500 metrů. S rostoucí výškou stoupala ionizace atmosféry a tím byl prokázán kosmický původ záření. Za objev získal V. Hess v roce 1936 Nobelovu cenu za fyziku.

### 5.2 Charakteristika částic

Viktor Hess objevil, že zemský povrch je nepřetržitě bombardován proudem nabitých částic. Jsou to částice s velmi širokým spektrem energií od  $10^9$  eV (1 GeV) do  $10^{20}$  eV a výjimečně i vyšší. Pro porovnání – lidstvo v nejmodernějších urychlovačích na světě, jako je CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire), dokázalo zatím částici urychlit jen na energii  $10^{12}$  eV. O částicích s nižšími energiemi je známo, že jsou urychlovány dynamickými magnetickými poli, jako je magnetické pole Slunce, pole ve slunečním větru nebo pole vznikající při výbuších supernov v naší Mléčné dráze. Udělují kosmickým paprskům zrychlení, které je teoreticky vysvětlitelné.

Převážná většina kosmického záření je tvořena protony (jádra molekuly vodíku). I když část nízkoenergetického kosmického záření obsahuje také těžší jádra, jsou v této části energetického spektra zastoupena převážně jádra lehkých prvků (lithium, beryllium, bór).

Měření prováděná mimo zemskou atmosféru ukázala, že s rostoucí energií kosmického záření roste podíl těžkých jader. Procento lehkých jader v záření s nižšími energiemi je nicméně daleko vyšší, než se očekávalo. Možné vysvětlení spočívá v tom, že kosmické záření procházející mezihvězdným prostorem může náhodně narazit na řídké mračno plynu. Zasažený atom (což může být např. křemík nebo jiný těžší prvek) vytvoří sekundární částice – lehká jádra.

Zastoupení jader různých prvků v kosmickém záření může rozšířit dosavadní znalosti o složení vesmíru – kromě toho známe-li hustotu atomů v mezihvězdném prostoru, můžeme odhadnout, z jaké vzdálenosti kosmické záření přichází. Pro záření s nižšími energiemi vychází tento odhad na několik milionů světelných let. V kombinaci s údaji o gama záření ze satelitních laboratoří se dá odvodit, kde nízkoenergetické kosmické záření pravděpodobně

vzniká. Předpokládá se, že gama paprsky jsou produkovány interakcí kosmického záření s intergalaktickým plynem v naší galaxii, což je Mléčná dráha. Údaje ze satelitů indikují klesající intenzitu gama záření s rostoucí vzdáleností od centra galaxie. Lze tedy celkem oprávněně předpokládat, že nízkoenergetické kosmické záření vzniká pravděpodobně v centrální části Mléčné dráhy. Původ a povaha kosmického záření o vysokých energiích nad  $10^{18}$  eV však zůstává „astrofyzikální záhadou století“.

Částice s vyššími energiemi, zvláště pak nad  $10^{14}$  eV, se pozorují velmi obtížně. Zatímco částic o energii 1 GeV dopadá na zemský povrch  $10\ 000/m^2$  za sekundu, částice s energií  $10^{12}$  eV dopadá jedna na metr čtvereční za minutu, počet částic s energií  $10^{16}$  eV dopadá jen několik na metr čtvereční za rok a zvláště zajímavé částice s energií nad  $10^{20}$  eV jsou dokonce tak vzácné, že dopadá v průměru jedna na kilometr čtvereční za celé století. Je tedy třeba přestěhovat se s pozorováním těchto extrémně energetických částic ze satelitů a výškových balonů na zemský povrch.

V roce 1938 francouzský fyzik Pierre Auger při pozorování na vrcholu hory Jungfrauoch v Alpách odhalil existenci spršek sekundárního kosmického záření a odtud dokázal odvodit velmi vysoké energie primárního kosmického záření, které tyto spršky vyvolává.

### 5.3 Částicová astrofyzika

Započala tak éra nového vědního oboru a hon na informace objasňující původ, složení a vlastnosti těchto spršek částic dopadajících na Zemi. Velmi brzo se zdálo, že bude problém vyřešen. Ještě v téže roce dokázal Hess pomocí měření v balonu během slunečního zatmění, že hlavním zdrojem těchto nabitých částic je právě Slunce. Během zpřesňování měření se však postupem času ukazovalo, že existuje stále dost částic, které k nám ze Slunce nepřišly. Odkud tedy? A proč jsou tak zajímavé? Na všechny otázky kolem kosmického záření se snaží odpovídat různé modely. Každý z těchto modelů je poté potřeba porovnávat s napozorovanými skutečnostmi. A zde narážíme na dva kameny úrazu. Prvním jsou stálé potíže v bezproblémové detekci a druhým problémem je, že žádný z dosavadních modelů nesedí zcela. A to vše se týká především nejexotičtějších oblastí – částic s ultravysokými energiemi začínají na energiích  $10^9$  eV, což jsou nejběžnější složky slunečního větru, a končí právě na energiích  $10^{20}$  eV.

### 5.4 „Rodiště“ částic

Zatímco o slunečním větru (díky jeho intenzitě) máme slušný přehled, u částic s vyššími energiemi jsme na tom již podstatně hůře. To proto, že všechny částice, o kterých je řeč, jsou nabité. A jejich trajektorie jsou tedy ovlivňovány magnetickými poli. Jejich trajektorie jsou tak zakřiveny nejen magnetickým polem Země, ale také Sluncem a celou naší sluneční soustavou a koneckonců i naší galaxií. Takže tyto částice za sebou důkladně zametají cestičky ve všech případech, kdy to jejich energie dovolí. Ty s nejmenší energií se nám již zamotají do Van Allenových radiačních pásů Země. Ty, co pocházejí z událostí v nitru galaxie jsou zase ovlivňovány Sluncem a sluneční soustavou. Ty nejenergetičtější, nejvzácnější a nejdiskutovanější částice pak překonávají téměř všechna omezení. Neznáme zdroje magnetického pole, které by je dokázalo zakřivit, a pokud na Zemi dopadnou, téměř přesně ukazují na místo, ve kterém vznikly. Za 40 let detekce se jich podařilo zaznamenat

jen zhruba 20 kousků s energií přes  $10^{20}$  eV. Ten nejenergetičtější měl  $3,2 \times 10^{20}$  eV a jeho stopy polapili vědci v americkém státě Utah v roce 1991 pomocí detektoru s názvem Fly's Eye.

## 5.5 Sprchy spršek

Střet se zemskou atmosférou je pro všechny takovéto částice destruktivní. Jejich velká energie při střetu s jádrem atomů atmosférických plynů způsobí okamžitý rozpad na nestabilní mesony a postupně a kaskádovitě na další typy ionizujícího záření. Výsledkem je doslova sprcha nabitých částic, které dopadnou na zemský povrch. Zde vězí kámen úrazu přímé detekce exotických ultraenergetických částic. Na Zemi totiž nedopadnou. A protože jsou navíc velmi vzácné (odhad u energií  $10^{19}$  eV je 1 částice/m<sup>2</sup>/rok), není příliš účinné posílat malé detekční sondy do kosmu (i když balonová i satelitní měření se stále provádějí a vylepšují). Jako řešení, populární v poslední době, se jeví pozemská detekce sekundárních částic. Tedy produktů po rozpadu původní ultraenergetické částice v atmosféře. A jedním z těchto počínů je právě i projekt Ústavu technické a experimentální fyziky ČVUT v Praze s názvem CZELTA.

## 5.6 Detekce

Možnosti jsou dvě. Příkladem první metody je projekt Pierre Auger Observatory, kde se specializují na detekci kosmického záření s energií  $10^{19}$  eV a vyšší. Na ploše o rozloze 50 x 50 km je hustá síť jednoduchých stanic – barely s vodou, vzdálené od sebe asi 1,5 km, které registrují Čerenkovské fotony vzniklé při dopadu spršky sekundárních částic kosmického záření.

Projekt CZELTA jde druhou cestou. Snaží se vybudovat řídkou síť od sebe vzdálených autonomních stanic, které jsou schopny samy částice zaregistrovat. Díky časovému rozdílu mezi průchodem částic spršky jednotlivými scintilačními detektory stanice a pomocí systému GPS lze určit i směr, odkud primární částice kosmického záření přišla.

## 5.7 CZEch Large-area Time coincidence Array – CZELTA

„CZEch Large-area Time coincidence Array“ je projekt, jehož cílem je detekovat primární částice kosmického záření o energiích větších než  $10^{14}$  eV. Projekt CZELTA vyšel z kanadského projektu ALTA = Alberta's Large-area Time coincidence Array, který byl realizován v kanadském Edmontnu. Detekční síť byla hustší – jen v Edmontnu bylo 11 stanic. Princip detekce pomocí scintilačních detektorů zůstává, avšak vlastní rozmístění a vyhodnocování výsledků bylo jiné. Projekt běžel jen 4 roky (2002-2006). V roce 2005 se zařízení a scintilační detektory přesunuly do České republiky pod záštitu Ústavu technické a experimentální fyziky ČVUT v Praze. A vznikl tak projekt CZELTA. V rámci naší republiky jde o zcela unikátní dílo, jelikož naplňuje nejpřísnější vědecké cíle, které však

dokážou realizovat i studenti středních škol. A těm je právě projekt určen. Pilotní projekty realizuje Ústav technické a experimentální fyziky ČVUT v Praze a Ústav fyziky na Slezské univerzitě v Opavě.

Detekční stanice se skládá ze tří scintilačních detektorů. Scintilátor je deska o rozměrech 60 x 60 cm a tloušťce 1 cm. Pokud jím projde nabitá částice, scintilací vytvoří fotony, které se vedou světlovodem do fotonásobiče a ten vyrobí signál pro elektronické zařízení uvnitř budovy. Data se uchovávají pouze pokud jsou zasaženy všechny tři detektory během časového intervalu 100 ns. To znamená, že se jedná o spršku o průměru alespoň 10 m a primární částice kosmického záření, která ji způsobila, měla energii větší než  $10^{14}$  eV. Detektory jsou umístěny v trojúhelníku se stranou 10 metrů. Fotonásobič u každého detektoru pak má za úkol spolu s GPS navigačním systémem zaznamenávat čas a energii jednotlivých událostí. GPS zaručuje přesnost  $\sim 10$  ns, koincidenční mód detektoru pak to, že jsou zaznamenávány jen události, které proběhly na všech třech detektorech naráz. Taková informace nám poté do databáze uloží výslednou energii primární částice  $10^{14}$  eV. Samotná elektronika scintilačních detektorů pak umožňuje určit to nejcennější – směr, odkud primární částice vstoupila do atmosféry s přesností 2 – 3 stupňů.

Hustější síť nám pak dává šanci detekovat a hlavně identifikovat i energetičtější částici. Základním principem zde je, že primární částice, která zasáhne zemskou atmosféru, se rozpadne na další nabitě částice. Čím je taková primární částice energetičtější, tím je i více produktu jejího rozpadu a tím je širší i oblast, kterou výsledná sprška zasáhne. Zatímco pro částici o energii  $10^{14}$  eV má taková plocha průměr deset metrů, u částic  $10^{20}$  eV jsou to již kilometry. Při dostatečně husté síti stanic je pak dobrá šance pomocí tohoto jinak velmi triviálního způsobu takto extrémně energetickou částici nejen zachytit, ale také určit její energii a směr, odkud přilétla. Existuje tak i malá naděje, že bude-li projekt úspěšný, mohou například čeští studenti nejen pokořit americký rekord z roku 1991, ale také významně přispět k objasnění záhad těchto „splášených“ atomových jader.

## 5.8 Observatoř Pierra Augera

„*Pierre Auger Observatory*“ je dlouhodobý astrofyzikální projekt, který se řadí k největším a nejvýznamnějším současným projektům základního výzkumu. Duchovními otci výzkumu kosmického záření o ultravysokých energiích jsou americký fyzik, nositel Nobelovy ceny Jim Cronin a britský fyzik Alan Watson. Základní myšlenku vybudovat hybridní laboratoř, která by pomohla rozluštit tuto hádanku, zformulovali již v roce 1991. Finance do začátku našli nakonec až u zakladatele firmy Motorola. Pak se mohlo začít organizovat a pracovat naostro. A tak v odlehlé pustině argentinských And ve výšce 1400 m n. m. v provincii Mendoza vyrostlo nové „okno do vesmíru“. Soustava detektorů již začala poskytovat údaje, které by konečně mohly vysvětlit záhadu vzniku kosmických paprsků s velmi vysokými energiemi (nejvýkonnější urychlovače na zemi dokážou produkovat částice o energii nejvýše  $10^{13}$  eV). Tito poslové z vesmíru by nám mohli přinést velmi poučný příběh o svém vzniku. K rozluštění jejich poselství soustředila Augerova observatoř obrovský experimentální potenciál a to jak detekční, tak i vyhodnocovací. Kompletní observatoř byla uvedena do provozu v roce 2005. Zabírá plochu  $3000 \text{ km}^2$ , aby dokázala zachytit statisticky dostatečný počet částic. Předpokládá se, že data bude shromažďovat řádově dvacet let. Kromě observatoře v Argentině je plánováno podobné zařízení na severní polokouli.

Detekci spršek kosmického záření budou v tomto hybridním zařízení zajišťovat dva typy zařízení. Soustava povrchových detektorů bude zaznamenávat průlet částic nádržemi

s vodou pomocí Čerenkovova záření. Nezávislá soustava optických teleskopů pak bude vybavena citlivými detektory kratičkých záblesků fluorescenčního záření.

### 5.8.1 Povrchové detektory

Observatoř v konečné podobě obsahuje 1600 povrchových detektorů. Každý z nich je tvořen nádrží o objemu 3000 galonů (1 galon = 4,546 l) naplněnou 12 tunami destilované vody. Jednotlivé detektory tvoří pravidelnou mříž, vzdálenost mezi nimi je 1,5 km a pokrývají plochu 3000 km<sup>2</sup>. Každá stanice tvoří samostatnou jednotku, je napájena slunečními články a pracuje bez obsluhy.

Při průchodu sledované částice vzniká Čerenkovovo záření, které představuje kolektivní reakci atomů média na elektrické pole pohybující se nabitě částice, pokud tato částice dosáhne v daném prostředí rychlosti větší, než je rychlost světla ve stejném prostředí (rychlost světla ve vodě tvoří 70 % rychlosti ve vakuu). Záření se šíří ve formě kužele podél dráhy částice. Rozsáhlá sprška způsobená primární částicí s velkou energií vytvoří pozorovatelnou odezvu např. v pěti nebo více detektorech.

Sprška, která je iniciována částicí o energii 10<sup>20</sup> eV, může při dopadu zasáhnout plochu až 16 km<sup>2</sup>. Množství světla vzniklého v detektoru se detekuje fotonásobiči. Lokální počítač vyšle zprávu do centra, které rozhodne, zda je částice součástí větší spršky. Centrální počítač zaregistruje a porovná údaje o počtu a přesném času dopadu na jednotlivých detektorech. Z toho určí směr dopadu a energii původní kosmické částice, která způsobila spršku. Předpokládá se, že ročně bude zaregistrováno přibližně 30 částic s energií větší než 10<sup>20</sup> eV a velké množství částic s energií nižší.

### 5.8.2 Optické teleskopy

Optické teleskopy jsou vybaveny citlivými detektory fluorescenčního záření. Jedná se o světlo vyzařované molekulami, které byly excitovány sprškou kosmického záření. Např. molekuly dusíku vyzařují relativně intenzivní ultrafialové záření, které je možno pozorovat za tmavých, bezměsíčných nocí. Teleskopy představují obří Schmidovu komoru, činná plocha hlavního zrcadla má čtvercový průřez 3,6 × 3,6 m. Po zkušenostech s prototypem bylo rozhodnuto použít čtyři skupiny teleskopů po obvodu observatoře, každá bude mít zorný úhel 180°. Teleskopy jsou schopny zaznamenávat kaskádový rozvoj Augerovy spršky.

Měří celkový jas emitovaného světla, z něhož je možno usuzovat na energii primární kosmické částice. Tvar a směr světelné stopy na obloze indikuje směr primární částice a druh částice, který mohl spršku způsobit. Fluorescenční detektory mohou měřit vlastnosti spršek kosmického záření podrobněji než soustava povrchových detektorů, jejich nevýhodou ale je, že mohou měřit pouze za tmavých nocí. Soustava povrchových detektorů je v činnosti neustále a zachycuje přibližně desetkrát více případů. Oba druhy detektorů tvoří dohromady účinný nástroj pro zkoumání nejvzácněji se vyskytujících, nejzajímavějších a nejzáhadnějších vysokoenergetických kosmických paprsků.

## 5.9 Rekord a budoucnost

Dosavadní detektory kosmického záření zejména v Japonsku a USA zaregistrovaly v posledních 30 letech údaje o několika desítkách částic kosmického záření s energiemi nad 10<sup>19</sup> elektronvoltů. Rekordní hodnota činila dokonce 3,2 × 10<sup>20</sup> eV. Částice byla zachycena

detektorem „Muší oko“ v Utahu v USA 15. října 1991. O tomto záření se ví pouze to, že existuje, ale neví se, odkud přichází, co je jeho podstatou, jak vzniká a kam až vlastně sahá škála jeho energií. Proto vědci potřebují těchto vysoce energetických částic zaregistrovat daleko více, aby výsledky byly statisticky vypovídající a aby se případně podařilo tuto astrofyzikální záhadu rozluštit. A tak budou tyto částice „chytat“ na ploše 3000 km<sup>2</sup> v nádherném přírodním prostředí mezi Andami a argentinskou pampou podle předpokladu po dobu dvaceti let ve dne v noci. Neobsahuje fyzika přece jen řádný kus poezie?



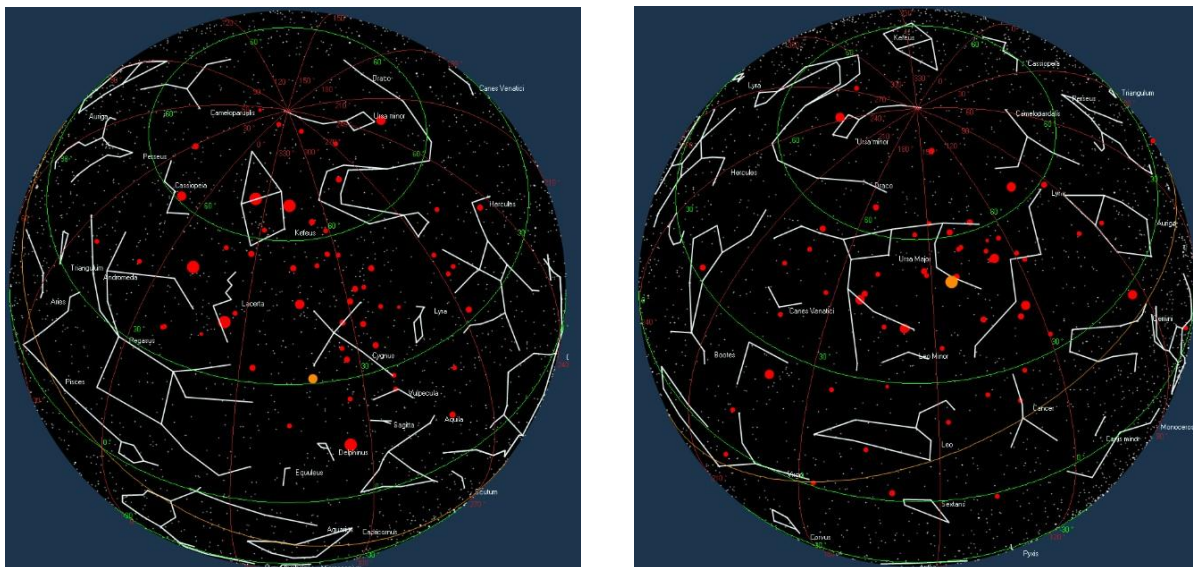
## 6. Postup výzkumu

### 6.1 Data CZELTA

Spršky zaznamenávají stanice CZELTA: Gymnázium Dašická v Pardubicích, SPŠE v Pardubicích, Slezská univerzita v Opavě, Mendelovo gymnázium v Opavě, ZŠ Boženy Němcové v Opavě, SPŠ v Kladně a UTEF v Praze již od roku 2005. Celkem je na stanicích zaznamenáno přes 28 miliónů spršek. Přitom každý rok je na 1 stanici zaznamenáno okolo 1 miliónu událostí – jsou to spršky sekundárního kosmického záření, kontrolní LED diody (každou minutu), případně události jako výpadky či opravy elektroniky na stanici.

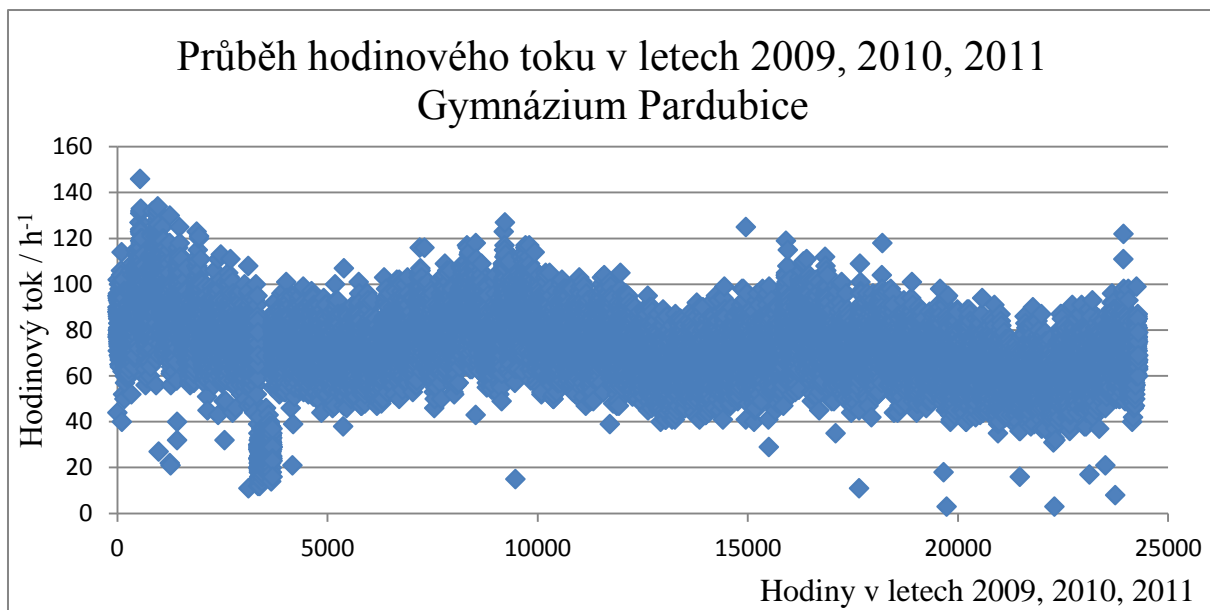
Na domovské stránce projektu je možné prohlížet si grafy hodinových toků, směry událostí, ale především je možné si data stáhnout.

Jestliže se bavíme o směrech událostí, je nutno podotknout, že na aktuální mapě hvězdné oblohy je vidět odkud primární částice „přiletěla“. Nelze však říci, když směr příchodu odpovídá souhvězdí, které je v pozadí, že z něj částice opravdu přišla. Víme jen směr příchodu primární částice na obloze, ale nevíme, z jaké části vesmíru přišla. Viz kapitola 5.4 – „Rodiště“ částic.

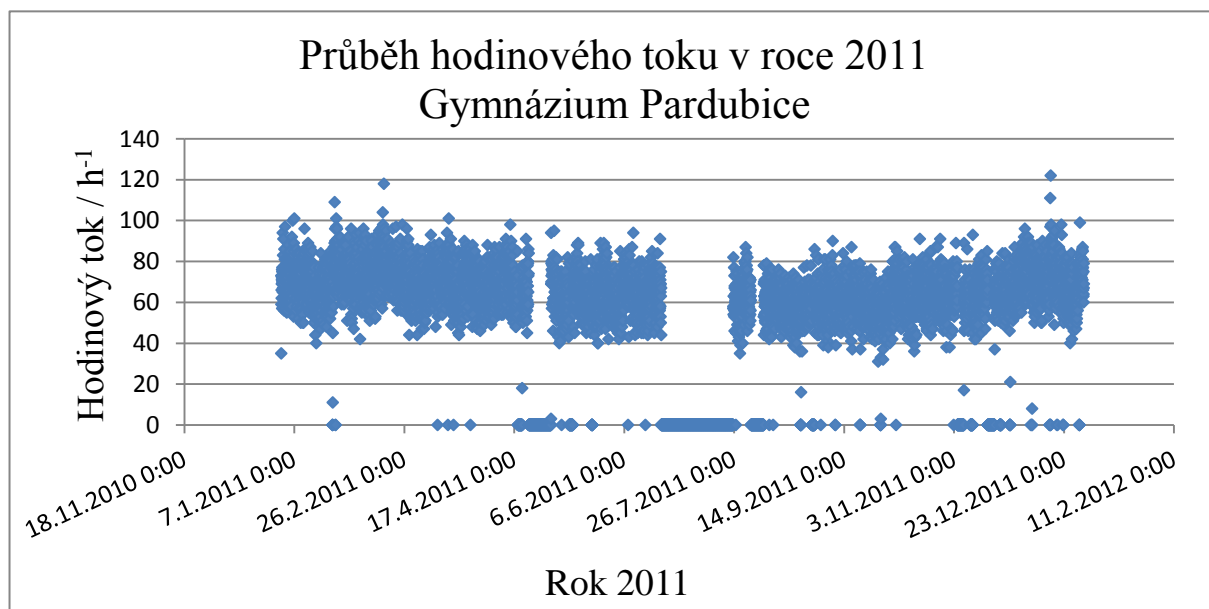


Obrázek č. 4 a 5 – Aktuální mapa hvězdné oblohy a směr příchodu primární částice, různé velikosti koleček odpovídají různé energii částice, aktuální částice je vyznačena oranžově

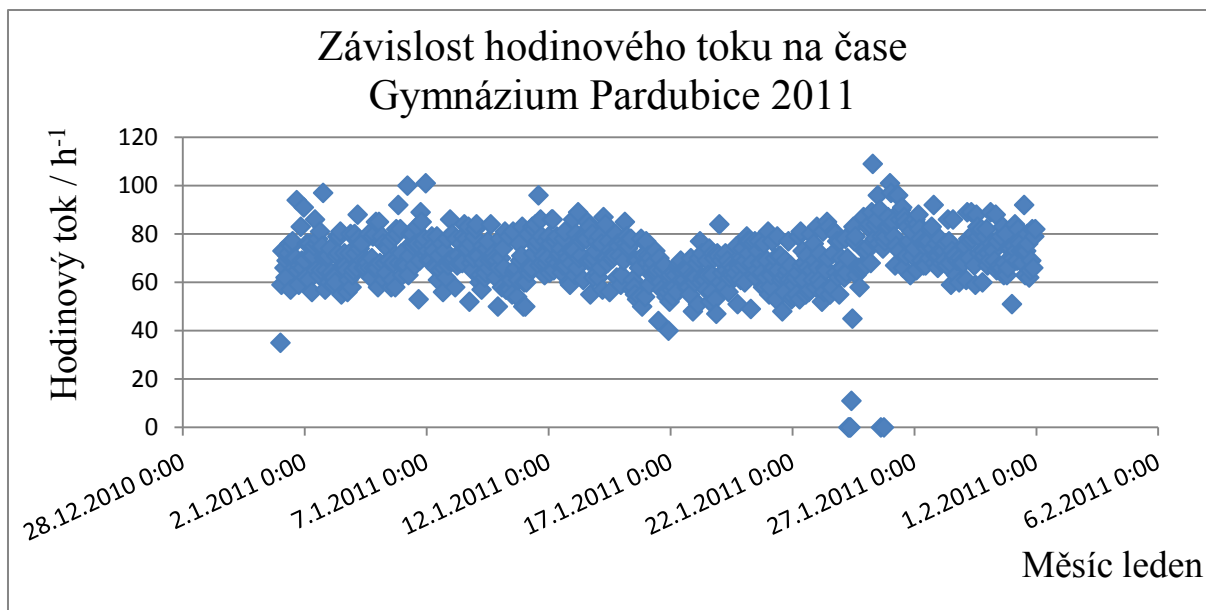
Je vidět ze stažených a upravených dat, že hodinové toky kolísají v průběhu let, roku, ale i v průběhu dne, jak ukazují obr. č. 6 až obr. č. 9. Na grafech, kde je hodinový tok roven 0 znamená, že stanice byla mimo provoz, byly na ní prováděny drobné úpravy nebo něco jiného, ale jednoduše neměřila. Neznamená to, že by za hodinu nedetekovala ani jednu spršku.



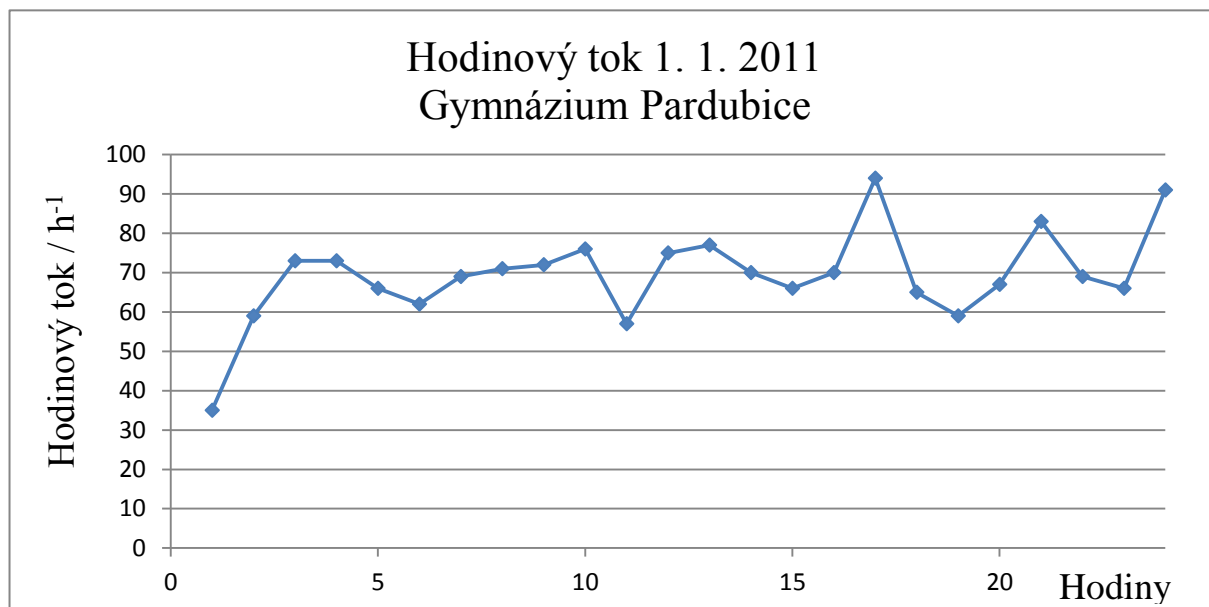
Obrázek č. 6 – Kolísání hodinového toku v průběhu 3 let, horní „píky“ odpovídají zimě a dolní „píky“ létu, pokles mezi 4000 – 5000 hodinou odpovídá úpravám stanice



Obrázek č. 7 – Kolísání hodinového toku v průběhu jednoho roku



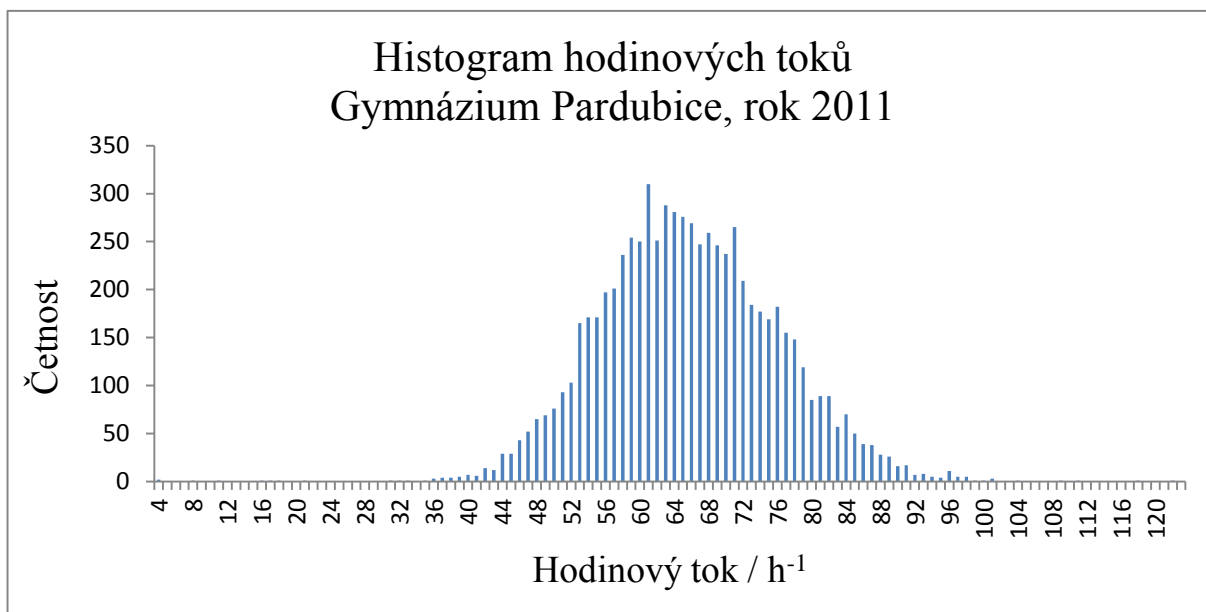
Obrázek č. 8 – Kolísání hodinového toku během jednoho měsíce



Obrázek č. 9 – Kolísání hodinového toku v průběhu jednoho dne

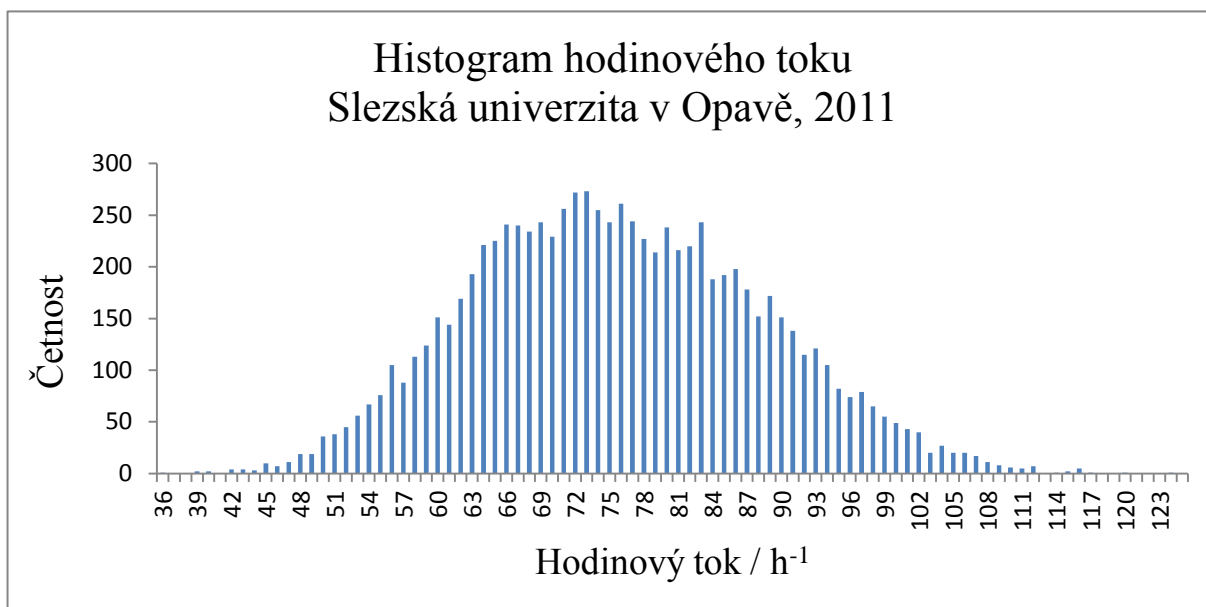
Pro lepší představu o rozptýlu hodinového toku jsem vytvářela histogramy hodinových toků. Z následujícího histogramu pro rok 2011 je vidět, že by mohlo jít o Poissonovo rozdělení se střední hodnotou 65 spršek za hodinu. Aby data mohla být ještě více vypovídající, přikládám k roku 2011, Gymnázium Pardubice i přehled statistických hodnot.

- 7.216 hodinových toků
- Aritmetický průměr – 66
- Modus – 61
- Medián – 65
- Rozptyl – 108
- Směrodatná odchylka – 10,4
- Variační koeficient – 15,8%



Obrázek č. 10 – Histogram hodinových toků v rámci jednoho roku na Gymnáziu v Pardubicích

Na dalších stanicích může být střední hodnota jiná, ale histogramy jsou si podobné. Odlišnost střední hodnoty souvisí s nastavením stanice. Na obr. č. 11 je střední hodnota 76 spršek za hodinu.



Obrázek č. 11 – Histogram hodinových toků v rámci jednoho roku na Slezské univerzitě v Opavě

## 6.2 Formát dat

Za dobu měření (jen z naší školy) je uloženo přes 6 miliónů spršek.

Při své práci jsem se nejprve musela seznámit se strukturou dat, které ukládá stanice CZELTA. Z webu stahují data ve formátu txt.

```
x 0 0 0 0 0 0 0.0 0 0 0 0 0 0 0.0 0.0 0.0 0.0
a 2010 04 19 13 03 11 242916367.0 2304 3776 1935 286 761 2047 40.0 -1.0 -1.0 40.0
c 2010 04 19 13 03 33 647026300.6 2160 3760 784 303 1272 2047 40.0 -1.0 -1.0 40.0
c 2010 04 19 13 03 40 720180.6 2803 3777 1621 937 1206 2047 40.0 -1.0 -1.0 40.0
a 2010 04 19 13 04 11 64500945.3 2612 3769 1895 365 886 2047 40.0 -1.0 -1.0 40.0
c 2010 04 19 13 04 40 720933.5 2983 3780 1770 911 1117 2047 40.0 -1.0 -1.0 40.0
a 2010 04 19 13 04 50 532714755.4 3078 3788 1043 323 726 2047 40.0 -1.0 -1.0 40.0
a 2010 04 19 13 05 32 249189128.9 2677 3763 784 2047 2047 2047 40.0 -1.0 -1.0 40.0
c 2010 04 19 13 05 40 723390.4 2766 3787 1923 0 914 2047 40.0 -1.0 -1.0 40.0
a 2010 04 19 13 06 28 990425835.0 2836 3783 1950 609 285 663 39.5 -1.0 -1.0 40.0
c 2010 04 19 13 06 40 726527.4 2484 3776 1763 765 1233 2047 39.5 -1.0 -1.0 40.0
a 2010 04 19 13 07 36 587528178.9 3058 3771 1199 296 493 162 39.5 -1.0 -1.0 40.0
c 2010 04 19 13 07 40 715807.2 2882 3788 1903 799 1060 2047 39.5 -1.0 -1.0 40.0
a 2010 04 19 13 07 55 75160026.7 3171 3780 1997 446 1151 775 39.5 -1.0 -1.0 40.0
a 2010 04 19 13 08 21 10732331.5 3033 3799 2042 155 1001 587 39.5 -1.0 -1.0 40.0
c 2010 04 19 13 08 40 721653.2 2729 3778 1633 892 999 2047 39.5 -1.0 -1.0 40.0
c 2010 04 19 13 09 40 727597.3 2726 3769 1757 0 1078 2047 39.5 -1.0 -1.0 40.0
a 2010 04 19 13 09 55 930197616.8 3632 3765 2028 538 388 2047 39.5 -1.0 -1.0 40.0
c 2010 04 19 13 10 40 718208.1 2814 3766 1806 827 981 2047 39.5 -1.0 -1.0 40.0
a 2010 04 19 13 11 04 646406246.5 2980 3768 2214 315 2047 884 39.5 -1.0 -1.0 40.0
a 2010 04 19 13 11 28 966139223.5 3041 3775 2135 282 415 867 39.5 -1.0 -1.0 40.0
c 2010 04 19 13 11 40 726396.1 3115 3770 2020 833 998 2047 39.5 -1.0 -1.0 40.0
a 2010 04 19 13 11 46 628712784.6 2657 3781 1391 206 958 2047 39.5 -1.0 -1.0 40.0
a 2010 04 19 13 12 25 845270857.0 2121 3790 847 154 652 608 39.5 -1.0 -1.0 40.0
a 2010 04 19 13 12 35 839486152.1 2627 3783 1474 143 555 1730 39.5 -1.0 -1.0 40.0
c 2010 04 19 13 12 40 715893.9 2688 3772 1792 0 999 2047 39.5 -1.0 -1.0 40.0
a 2010 04 19 13 13 14 777319581.7 2268 3771 1172 306 177 2047 40.0 -1.0 -1.0 40.0
a 2010 04 19 13 13 31 901559127.1 2712 3784 1287 346 957 588 40.0 -1.0 -1.0 40.0
a 2010 04 19 13 13 34 920159007.1 3370 3771 2464 2047 2047 2047 40.0 -1.0 -1.0 40.0
a 2010 04 19 13 13 39 739851662.8 3107 3789 2172 701 2047 2047 40.0 -1.0 -1.0 40.0
c 2010 04 19 13 13 40 1220192.1 2805 3774 1869 791 1008 2047 40.0 -1.0 -1.0 40.0
a 2010 04 19 13 14 22 554672293.8 2987 3772 1335 180 369 661 39.5 -1.0 -1.0 40.0
c 2010 04 19 13 14 40 724949.8 2665 3771 1777 0 1026 2047 40.0 -1.0 -1.0 40.0
```

Obrázek č. 12 – Ukázka txt souborů se staženými daty

Každý řádek odpovídá jedné zaznamenané události (eventu). Řádky označení „c“ odpovídají kalibračním eventům – bliknutí LED, řádky označené „x“ odpovídají počátku měření či výpadku stanice a řádky s „a“ označují spršku sekundárního kosmického záření. U každé spršky je zaznamenán čas příchodu v UTC (zaznamenává GPS) – rok, měsíc, den, hodina, minuta, sekunda, nanosekunda, TDC0, TDC1, TDC2 (zpoždění zásahů jednotlivých detektorů), ADC0, ADC1, ADC2 (energie absorbovaná v detektorech), T0, T1, T2 (teploty detektorů), T3 (teplota měřená v elektronice).

K prozkoumání hodinových toků bylo třeba vytvořit program, který ze stažených datových souborů vypočítá hodinové toky a uloží je jako další soubor.

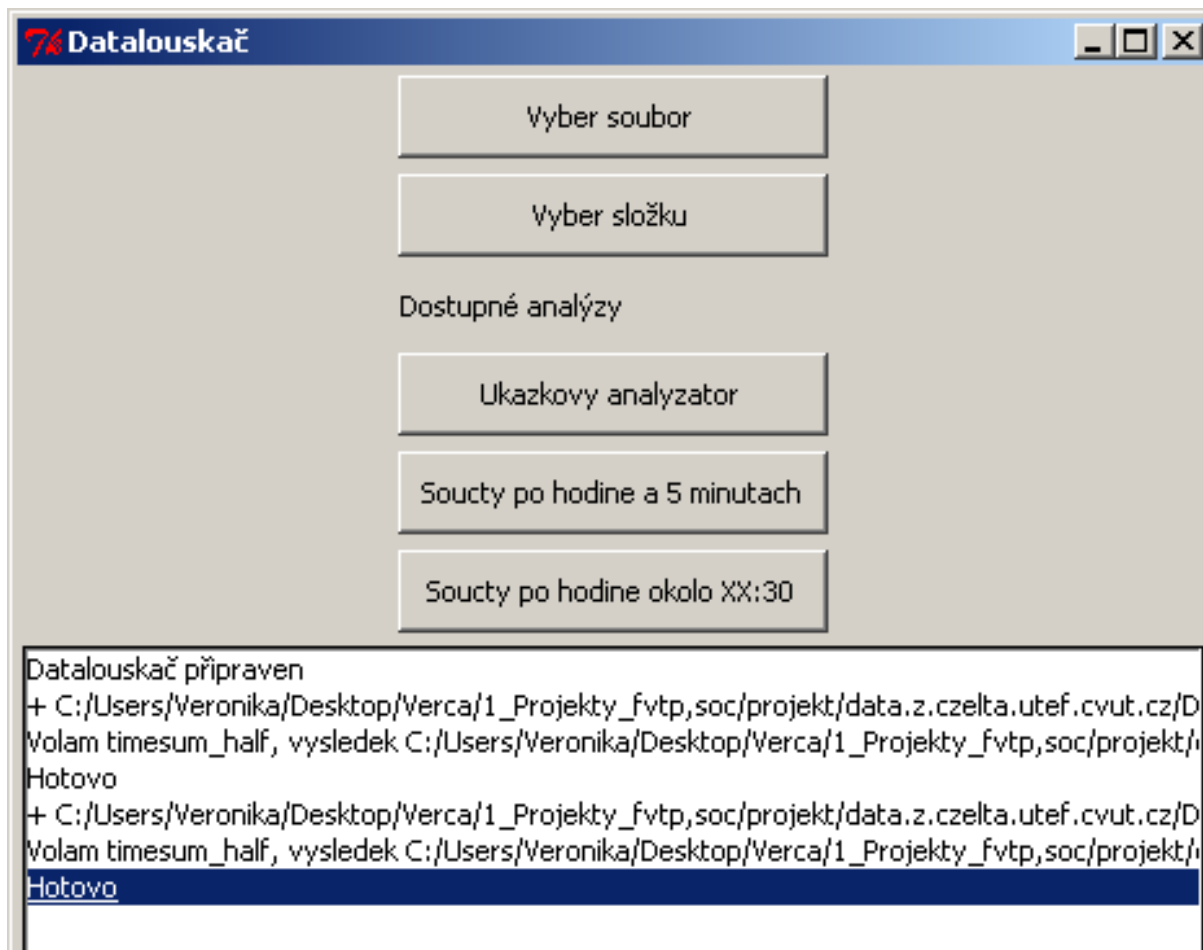
## 6.3 Programy

Program pro tvorbu hodinových toků a program slučující toky a meteodata byly vytvořeny v Pythonu.

### 6.3.1 Program pro tvorbu hodinových toků

Vzhledem k vysokému počtu zpracovávaných spršek nebylo možné vytvářet hodinové toky manuálně. S programem pro tvorbu hodinových toků mi pomohl kamarád, který studuje programování na FITu, ČVUT. S ním jsem měla možnost konzultovat jednotlivé části programu.

Program „Datalouskač“ načítá txt soubory stažené z webu CZELTA.



Obrázek č. 13 – Ovládací menu programu „Datalouskač“ pro tvorbu hodinových toků

Výstupem z programu je soubor ve formátu csv. Ten otevírám v programu Microsoft Excel a další zpracování již provádím v Excelu.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	a	2009	1	1	0	0	0.0	0.0	39094.0	77387.0	164850.0	28203.0	24768.0	21180.0	264.0	242.0	242.0	50.5	45
2	a	2009	1	1	1	0	0.0	0.0	89668.0	161185.0	331824.0	52296.0	61166.0	39710.0	534.0	489.0	489.5	93.5	90
3	a	2009	1	1	2	0	0.0	0.0	97131.0	180018.0	380661.0	56513.0	63715.0	40921.0	570.5	514.5	541.0	99.5	103
4	a	2009	1	1	3	0	0.0	0.0	91833.0	171920.0	371173.0	60108.0	60805.0	44147.0	544.5	495.0	495.0	56.0	100
5	a	2009	1	1	4	0	0.0	0.0	90849.0	188173.0	393388.0	62567.0	60592.0	45216.0	561.0	525.0	524.0	62.0	106
6	a	2009	1	1	5	0	0.0	0.0	75518.0	157323.0	325901.0	61569.0	63243.0	46120.0	435.0	421.5	406.5	44.5	88
7	a	2009	1	1	6	0	0.0	0.0	104156.0	182082.0	389487.0	63562.0	69462.0	42393.0	520.0	468.5	468.0	65.5	105
8	a	2009	1	1	7	0	0.0	0.0	85504.0	156172.0	340917.0	65194.0	48574.0	34188.0	455.0	409.5	413.0	71.5	92
9	a	2009	1	1	8	0	0.0	0.0	89421.0	168255.0	340161.0	64214.0	57190.0	38298.0	455.0	409.5	410.5	76.5	92
10	a	2009	1	1	9	0	0.0	0.0	102758.0	184295.0	389514.0	58584.0	65308.0	39283.0	520.0	468.0	468.0	156.5	105
11	a	2009	1	1	10	0	0.0	0.0	113091.0	185140.0	400514.0	63641.0	65863.0	43976.0	544.0	501.0	517.5	261.0	108
12	a	2009	1	1	11	0	0.0	0.0	93727.0	163971.0	354420.0	64809.0	66896.0	38554.0	522.5	475.0	478.0	283.5	96
13	a	2009	1	1	12	0	0.0	0.0	85924.0	166731.0	359625.0	58878.0	71046.0	38730.0	558.0	511.5	528.0	331.5	97
14	a	2009	1	1	13	0	0.0	0.0	77022.0	147598.0	317086.0	51951.0	65450.0	39612.0	510.5	467.5	481.0	319.5	86
15	a	2009	1	1	14	0	0.0	0.0	93687.0	181895.0	374141.0	65231.0	73131.0	40210.0	647.5	586.0	600.0	394.5	101
16	a	2009	1	1	15	0	0.0	0.0	68662.0	131921.0	288881.0	48784.0	48644.0	29891.0	500.5	462.0	462.0	286.0	78
17	a	2009	1	1	16	0	0.0	0.0	96735.0	177022.0	370020.0	62113.0	65013.0	45105.0	645.5	594.0	609.0	375.0	100
18	a	2009	1	1	17	0	0.0	0.0	88656.0	161387.0	340944.0	52915.0	62756.0	38014.0	632.5	546.0	591.5	345.5	92
19	a	2009	1	1	18	0	0.0	0.0	127540.0	217152.0	455012.0	69165.0	71181.0	50750.0	854.0	732.0	793.0	487.5	123
20	a	2009	1	1	19	0	0.0	0.0	89305.0	166699.0	345419.0	53287.0	58027.0	34655.0	644.0	583.5	598.0	355.0	93
21	a	2009	1	1	20	0	0.0	0.0	105512.0	168710.0	347644.0	58627.0	58789.0	43482.0	651.0	604.5	604.5	372.5	94
22	a	2009	1	1	21	0	0.0	0.0	90943.0	165548.0	341268.0	63991.0	63125.0	38122.0	673.0	591.5	591.5	365.0	92
23	a	2009	1	1	22	0	0.0	0.0	116346.0	205504.0	427287.0	76962.0	66408.0	46543.0	855.0	741.0	741.0	457.0	115
24	a	2009	1	1	23	0	0.0	0.0	65517.0	142430.0	295653.0	43295.0	45911.0	35221.0	592.5	513.5	513.5	322.5	80
25	a	2009	1	2	0	0	0.0	0.0	102779.0	198924.0	419592.0	59080.0	66729.0	47188.0	840.0	728.0	777.0	458.5	113

Obrázek č. 14 – Výstupní soubor hodinových toků ve formátu csv

Program nejprve odfiltroval kalibrační eventy „c“ a výpadekové eventy „x“ a ponechal eventy pocházející z vesmíru „a“. Na základě UTC vytvořil hodinové toky (v posledním sloupečku - S). Každý řádek odpovídá jednomu hodinovému toku. Kromě počtu spršek, sečetl v dané hodině TDC0, TDC1, TDC2, ADC1, ADC1, ADC2, T0, T1, T2, T3, z těchto dat pak lze vypočítat průměrné hodnoty v dané hodině. (Hodnoty stačí vydělit hodinovým tokem.)

### 6.3.2 Program pro stahování meteorodat

Stanice CZELTA se nacházejí ve 4 městech – Pardubice, Praha, Kladno, Opava. Potřebovala jsem data z meteorostanic co nejbližších ke stanicím CZELTA. Využila jsem meteorostanice na letištích:

- Letiště Pardubice – pro Gymnázium a SPŠE (vzdálené 3-4 km) – „LKPD“
- Letiště Václava Havla – pro UTEF a Kladno (vzdálené 12-13 km) – „LKPR“
- Janáčkovo letiště – pro Opavu (vzdálené 31 km) – „LKMT“

Pro stahování meteorodat využívám program Wolfram Mathematica. Stejně jako mí kolegové, kteří se projektem zabývali přede mnou.

Nejprve zadáme, že chceme údaje o počasí – *WeatherData*, pak odkud „LKPD“, jakou meteorologickou veličinu „*Temperature*“ a nakonec, za jaké období – celý rok - {2011}.

```

Mathematica 8 Kernel
File Edit
Mathematica 8.0 for Microsoft Windows (64-bit)
Copyright 1988-2010 Wolfram Research, Inc.

In[1]:= WeatherData["LKPD", "Temperature", {2012}]
Initializing WeatherData indices ....
Initializing WeatherData indices ....
Initializing WeatherData indices ....
Initializing WeatherData indices ....

Out[1]= {{{2012, 1, 1, 0, 0, 0}, 0}, {{2012, 1, 1, 1, 0, 0}, 0.1}, {{2012, 1, 1, 2, 0, 0}, 0.4},
> {{2012, 1, 1, 3, 0, 0}, 0.5}, {{2012, 1, 1, 4, 0, 0}, 0.8}, {{2012, 1, 1, 5, 0, 0}, 1.1},
> {{2012, 1, 1, 6, 0, 0}, 1.1}, {{2012, 1, 1, 7, 0, 0}, 1.6}, {{2012, 1, 1, 8, 0, 0}, 2.2},
> {{2012, 1, 1, 9, 0, 0}, 2.5}, {{2012, 1, 1, 9, 11, 0}, 3}, {{2012, 1, 1, 10, 0, 0}, 2.9},
> {{2012, 1, 1, 11, 0, 0}, 3.2}, {{2012, 1, 1, 13, 0, 0}, 4.5}, {{2012, 1, 1, 14, 0, 0}, 4.6},
> {{2012, 1, 1, 15, 0, 0}, 4.5}, {{2012, 1, 1, 16, 0, 0}, 4.8}, {{2012, 1, 1, 17, 0, 0}, 5},
> {{2012, 1, 1, 18, 0, 0}, 4.9}, {{2012, 1, 1, 19, 0, 0}, 5.2}, {{2012, 1, 1, 20, 0, 0}, 5.1},
> {{2012, 1, 1, 21, 0, 0}, 5.2}, {{2012, 1, 1, 22, 0, 0}, 3.8}, {{2012, 1, 1, 23, 0, 0}, 4.9},
> {{2012, 1, 2, 0, 0, 0}, 6.4}, {{2012, 1, 2, 1, 0, 0}, 6.7}, {{2012, 1, 2, 2, 0, 0}, 6.3},
> {{2012, 1, 2, 3, 0, 0}, 5.4}, {{2012, 1, 2, 4, 0, 0}, 4.8}, {{2012, 1, 2, 5, 0, 0}, 6.4},
> {{2012, 1, 2, 6, 0, 0}, 7.8}, {{2012, 1, 2, 7, 0, 0}, 5.6}, {{2012, 1, 2, 8, 0, 0}, 6.3},
> {{2012, 1, 2, 9, 0, 0}, 7.6}, {{2012, 1, 2, 10, 0, 0}, 9.7}, {{2012, 1, 2, 11, 0, 0}, 9.5},

```

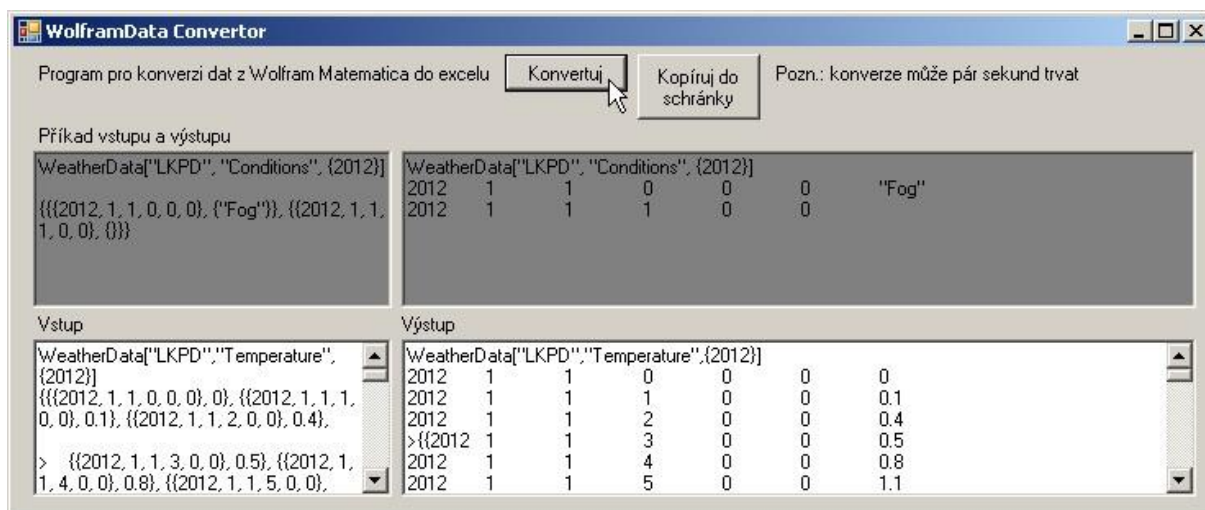
Obrázek č. 15 – Wolfram Mathematica při stahování meteodat

<b>"CloudCoverFraction"</b>	<b>fraction of the sky obscured by cloud cover</b>
<b>"CloudHeight"</b>	elevation of 5/8 cloud obscuration
<b>"CloudTypes"</b>	list of cloud types observed
<b>"DewPoint"</b>	dew point temperature in °C
<b>"Humidity"</b>	relative humidity
<b>"PrecipitationRate"</b>	average precipitation rate in cm/hr
<b>"Pressure"</b>	barometric pressure in millibars
<b>"PressureTendency"</b>	, , or for decreasing, steady, and increasing pressure
<b>"SnowAccumulationRate"</b>	average rate of snow accumulation in cm/hour
<b>"SnowDepth"</b>	depth of snow cover in cm
<b>"StationPressure"</b>	pressure, uncorrected for elevation
<b>"Temperature"</b>	temperature in °C
<b>"Visibility"</b>	visibility in kilometers
<b>"WindChill"</b>	wind chill temperature in °C
<b>"WindDirection"</b>	wind direction in degrees
<b>"WindGusts"</b>	gusting wind speed in kilometers/hour
<b>"WindSpeed"</b>	wind gust speed in kilometers/hour

Obrázek č. 16 – Přehled všech možných meteorologických veličin ke stažení

Né všechny meteorologické veličiny byly měřeny dostatečně krát (jako Snow Accumulation Rate, Wind Gusts, Wind Speed, ...) abych je mohla použít pro statistické zpracování.





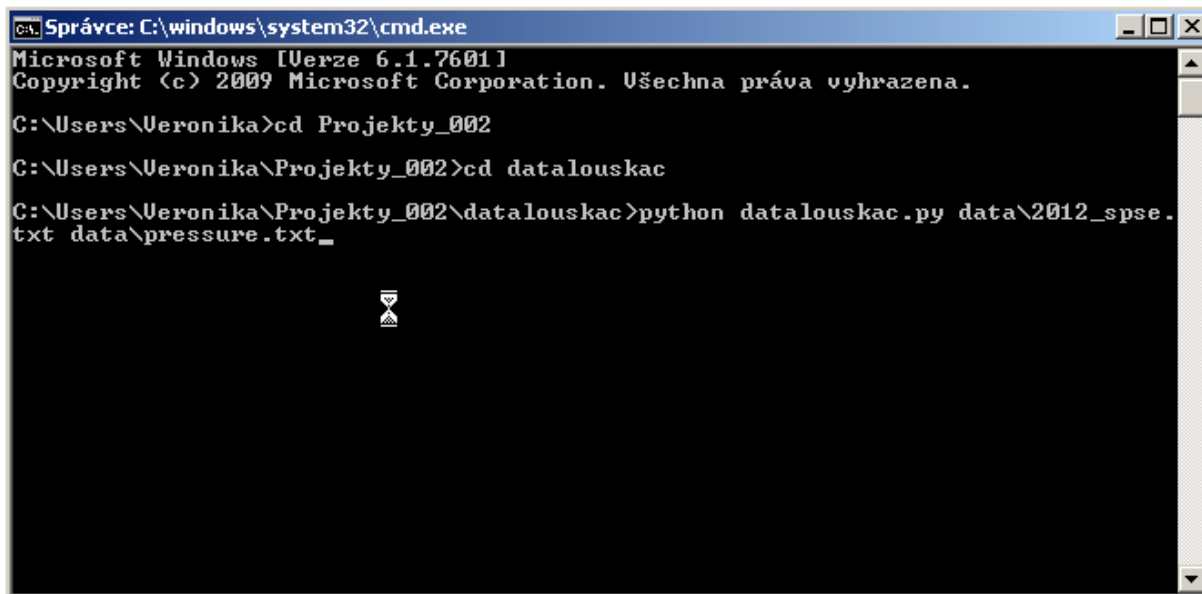
Obrázek č. 17 – Program pro převedení dat z Wolfram Mathematicy do „excelovské“ tabulky (využívali ho již mí předci pro úpravu „wolframových“ stažených dat)

Nejprve dám překopírovaná data z Wolfram Mathematicy (obr. č. 15) do vstupu, přesně podle vzoru v tmavě šedivém políčku. Následuje příkaz „Konvertuj“ a po několika sekundách mám výsledek – výstup. Ten už stačí překopírovat do Exelu.

### 6.3.3 Program slučující toky a meteodata

Ke každé hodině jsou přiřazeny veličiny – překrytí mraky, výška mraků, typ mraků, rosný bod, relativní vlhkost, míra srážek, tlak přepočtený na hladinu moře, tlaková tendence, míra sněhových srážek, hloubka sněhu, tlak na stanici, teplota vzduchu, viditelnost, teplota větru, směr větru, rychlost větru v nárazech a rychlost větru.

Nyní je třeba sloučit soubor hodinových toků se souborem meteodat. Pro to mám vytvořený další program. Hodinové součty z programu 6.3.1 jsou počítány vždy k „celé“ hodině, pro kterou máme k dispozici meteodata. To znamená, že součty hodinových toků jsou vždy od půl do půl (např. pro hodinový součet srážek ve 12 hodin, použije program údaje od 11:30 do 12:30) Výsledný soubor obsahuje na každém řádku čas, TDC0, TDC1, TDC2, ADC0, ADC1, ADC2, T0, T1, T2, T3, hodinový tok a 17 výše uvedených proměnných meteorologických veličin. Tyto soubory již přímo slouží pro moje analýzy v Excelu.



Obrázek č. 18 – Program na slučování – „zavolá se“ program, pak soubor s hodinovými toky a nakonec metedata (tolik, kolik jich je třeba)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	20125149000.057893.0103158.0139069.017283.015330.012002.01046.0-37.0-37.0944.5381022.4																		
2	201251410000.0147014.0255604.0346542.041718.037154.027231.02632.0-92.0-92.02349.5931021.9																		
3	201251411000.0143888.0242235.0330500.032960.031091.022018.02333.0-88.0-88.02252.0891020.9																		
4	201251412000.0200884.0344266.0460455.060862.049981.044137.03354.5-123.0-123.03142.51241020.3																		
5	201251413000.0145768.0246159.0331631.041399.036132.027003.02390.0-89.0-89.02230.0901019.6																		
6	201251414000.0164467.0279096.0371987.051029.043739.033368.02752.5-100.0-100.02543.51011019.1																		
7	201251415000.0112766.0208189.0290215.039995.033920.025239.02040.0-77.0-77.01964.5781018.3																		
8	201251416000.0153441.0255533.0354369.037985.036455.024029.02260.0-94.0-94.02382.0951018																		
9	201251417000.0124814.0219822.0304861.036361.031366.024119.01824.0-81.0-81.02062.0821017.6																		
10	201251418000.0170601.0291942.0396219.052494.048764.033638.02141.0-106.0-106.02703.01071017.3																		
11	201251419000.0155197.0255037.0353831.042475.044517.030762.01721.5-94.0-94.02380.5951017.5																		
12	201251420000.0137488.0236138.0318932.046680.041894.031312.01492.0-86.0-86.02151.0871017.3																		
13	201251421000.0157719.0279950.0379000.042309.041331.029100.01682.5-101.0-101.02506.01021017.1																		
14	201251422000.0149359.0265914.0352393.045413.035876.030196.01495.0-94.0-94.02303.0951016.7																		
15	201251423000.0143997.0258661.0343741.041031.037950.027508.01355.0-92.0-92.02241.0931016																		
16	20125159000.0102519.0179532.0233960.032496.032673.021925.0823.0-63.0-63.01512.0641011.1																		
17	201251510000.0214688.0379497.0489353.065828.056186.039635.04572.5-133.0-133.03456.01341010.7																		
18	201251511000.0143731.0266846.0357371.050346.035854.027588.03506.0-95.0-95.02515.0961009.9																		
19	201251512000.0144820.0244683.0329852.038553.032596.024126.03113.0-88.0-88.02332.0891009.5																		
20	201251612000.019692.031892.048847.08383.04168.03937.0448.5-13.0-13.0346.0141014.6																		
21	201251613000.0150556.0260311.0357423.051402.041725.034313.02667.0-95.0-95.02517.5961014.9																		
22	201251614000.0144709.0248053.0340066.047129.031997.026639.02235.5-92.0-92.02412.0931015.2																		
23	201251615000.039036.069330.093614.015662.07227.07505.0560.0-25.0-25.0633.0261015.6																		
24	201251616000.0117827.0201869.0278430.029676.024569.019428.01560.0-74.0-74.01689.5751015.6																		
25	201251617000.0158987.0273190.0351834.051499.041518.026261.01829.5-95.0-95.02205.5961016.3																		

Obrázek č. 19 – Výsledný soubor

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	"2012	5	14	9	0	0.0	57893.0	103158.0	139069.0	17283.0	15330.0	12002.0	1046.0	-37.0	-37.0	944.5	38 1022.4"		
2	"2012	5	14	10	0	0.0	147014.0	255604.0	346542.0	41718.0	37154.0	27231.0	2632.0	-92.0	-92.0	2349.5	93 1021.9"		
3	"2012	5	14	11	0	0.0	143888.0	242235.0	330500.0	32960.0	31091.0	22018.0	2333.0	-88.0	-88.0	2252.0	89 1020.9"		
4	"2012	5	14	12	0	0.0	200884.0	344266.0	460455.0	60862.0	49981.0	44137.0	3354.5	-123.0	-123.0	3142.5	124 1020.3"		
5	"2012	5	14	13	0	0.0	145768.0	246159.0	331631.0	41399.0	36132.0	27003.0	2390.0	-89.0	-89.0	2230.0	90 1019.6"		
6	"2012	5	14	14	0	0.0	164467.0	279096.0	371987.0	51029.0	43739.0	33368.0	2752.5	-100.0	-100.0	2543.5	101 1019.1"		
7	"2012	5	14	15	0	0.0	112766.0	208189.0	290215.0	39995.0	33920.0	25239.0	2040.0	-77.0	-77.0	1964.5	78 1018.3"		
8	"2012	5	14	16	0	0.0	153441.0	255533.0	354369.0	37985.0	36455.0	24029.0	2260.0	-94.0	-94.0	2382.0	95 1018"		
9	"2012	5	14	17	0	0.0	124814.0	219822.0	304861.0	36361.0	31366.0	24119.0	1824.0	-81.0	-81.0	2062.0	82 1017.6"		
10	"2012	5	14	18	0	0.0	170601.0	291942.0	396219.0	52494.0	48764.0	33638.0	2141.0	-106.0	-106.0	2703.0	107 1017.3"		
11	"2012	5	14	19	0	0.0	155197.0	255037.0	353831.0	42475.0	44517.0	30762.0	1721.5	-94.0	-94.0	2380.5	95 1017.5"		
12	"2012	5	14	20	0	0.0	137488.0	236138.0	318932.0	46680.0	41894.0	31312.0	1492.0	-86.0	-86.0	2151.0	87 1017.3"		
13	"2012	5	14	21	0	0.0	157719.0	279950.0	379000.0	42309.0	41331.0	29100.0	1682.5	-101.0	-101.0	2506.0	102 1017.1"		
14	"2012	5	14	22	0	0.0	149359.0	265914.0	352393.0	45413.0	35876.0	30196.0	1495.0	-94.0	-94.0	2303.0	95 1016.7"		
15	"2012	5	14	23	0	0.0	143997.0	258661.0	343741.0	41031.0	37950.0	27508.0	1355.0	-92.0	-92.0	2241.0	93 1016"		
16	"2012	5	15	9	0	0.0	102519.0	179532.0	233960.0	32496.0	32673.0	21925.0	823.0	-63.0	-63.0	1512.0	64 1011.1"		
17	"2012	5	15	10	0	0.0	214688.0	373497.0	489353.0	65828.0	56186.0	39635.0	4572.5	-133.0	-133.0	3456.0	134 1010.7"		
18	"2012	5	15	11	0	0.0	143731.0	266846.0	357371.0	50346.0	35854.0	27588.0	3506.0	-95.0	-95.0	2515.0	96 1009.9"		
19	"2012	5	15	12	0	0.0	144820.0	244683.0	329852.0	38553.0	32596.0	24126.0	3113.0	-88.0	-88.0	2332.0	89 1009.5"		
20	"2012	5	16	12	0	0.0	19692.0	31892.0	48847.0	8383.0	4168.0	3937.0	448.5	-13.0	-13.0	346.0	14 1014.6"		
21	"2012	5	16	13	0	0.0	150556.0	260311.0	357423.0	51402.0	41725.0	34313.0	2667.0	-95.0	-95.0	2517.5	96 1014.9"		
22	"2012	5	16	14	0	0.0	144709.0	248053.0	340066.0	47129.0	31997.0	26639.0	2235.5	-92.0	-92.0	2412.0	93 1015.2"		
23	"2012	5	16	15	0	0.0	39036.0	69330.0	93614.0	15662.0	7227.0	7505.0	560.0	-25.0	-25.0	633.0	26 1015.6"		
24	"2012	5	16	16	0	0.0	117827.0	201869.0	278430.0	29676.0	24569.0	19428.0	1560.0	-74.0	-74.0	1689.5	75 1015.6"		
25	"2012	5	16	17	0	0.0	158987.0	273190.0	351834.0	51499.0	41518.0	26261.0	1829.5	-95.0	-95.0	2205.5	96 1016.3"		

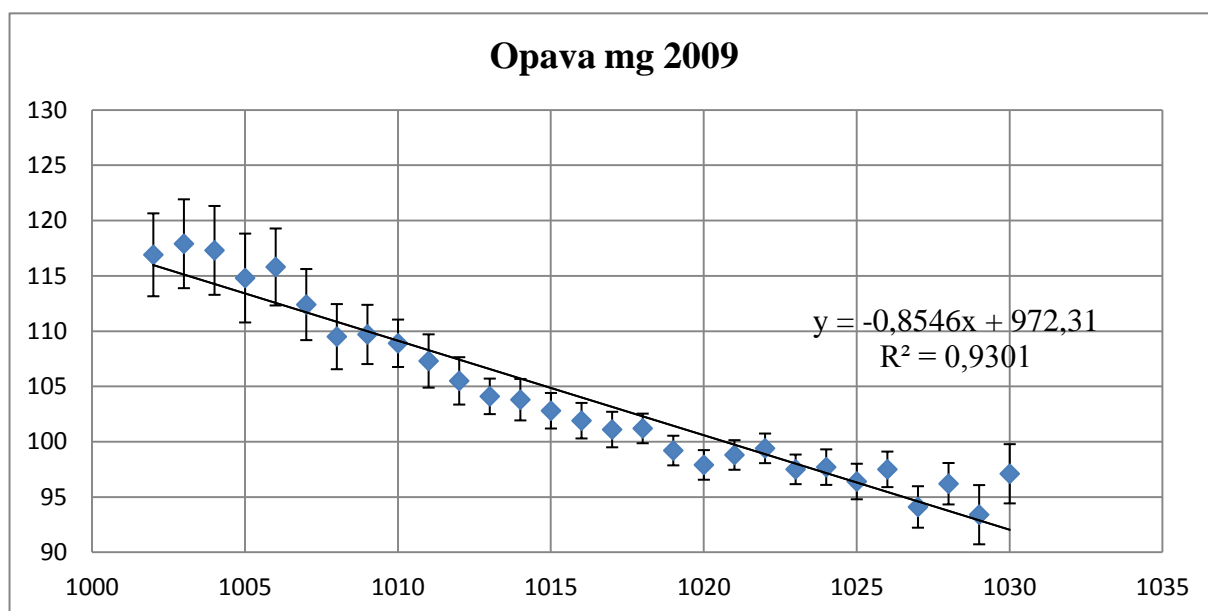
Obrázek č. 20 – Výsledný, upravený soubor (zvýrazněné sloupečky: R – hodinový tok, S a dále – přiřazená meteoata)

Zpracování jednoho roku se všemi 17 meteoatami mi zabírá v průměru asi 3 – 4 hodiny.

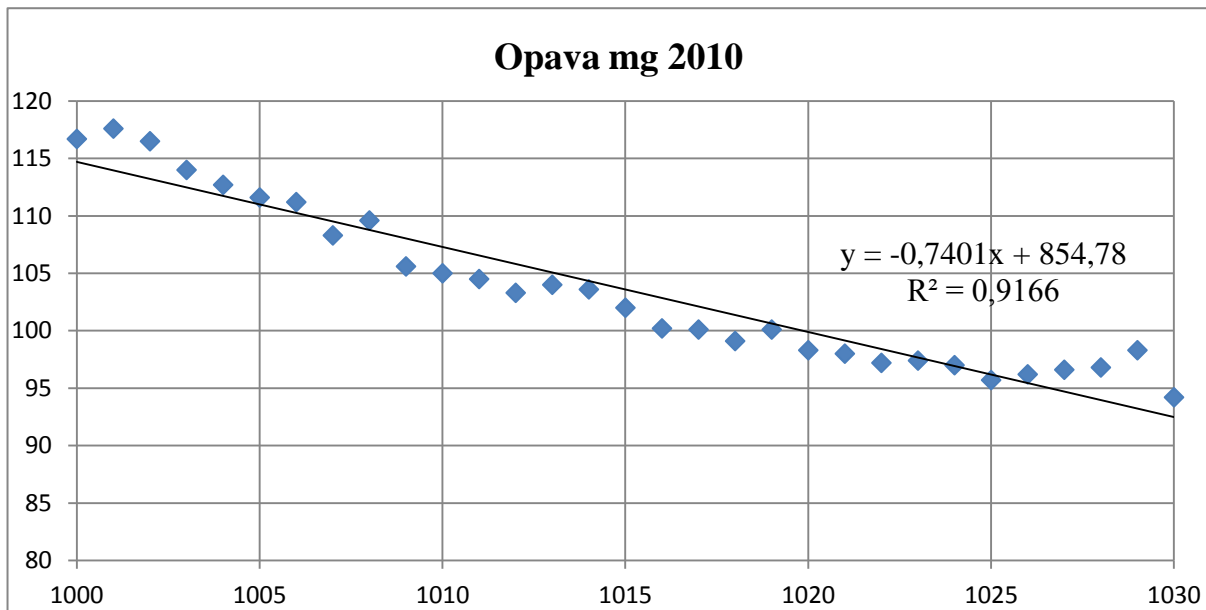
## 7. Zpracování dat

### 7.1 První model

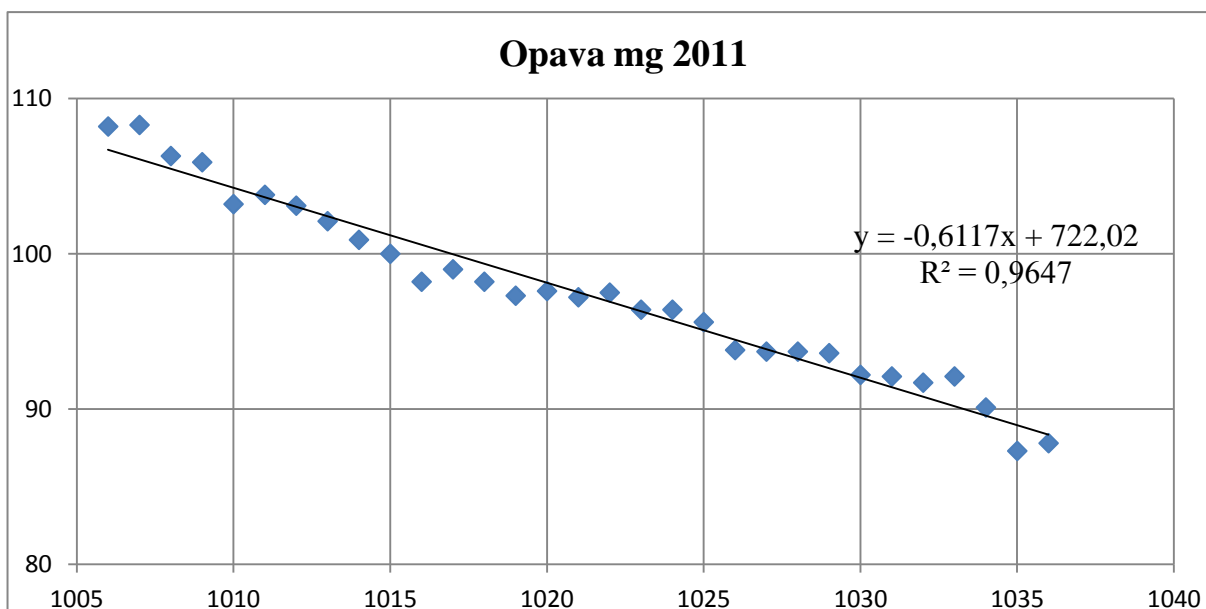
Úplně jako první meteorologickou veličinu, na které by hodinový tok záření mohl nejvíce záviset, jsem si zvolila tlak vzduchu. Vycházela jsem ze základní myšlenky, že při nižším tlaku bude vyšší hodinový tok. Netušila jsem však, jaká funkce tuto myšlenku bude nejlépe vystihovat. Proto jsem vytvořila 25 grafů – Závislost hodinového toku na tlaku, kde na ose x je tlak v hPa a na ose y je hodinový tok. Pro názornost uvádím stanici – Opava, Mendelovo gymnázium v letech 2009, 2010, 2011.



Obrázek č. 21 – Závislost hodinového toku na tlaku vzduchu v roce 2009 pro stanici Opava, Mendelovo gymnázium



Obrázek č. 22 – Závislost hodinového toku na tlaku vzduchu v roce 2010 pro stanici Opava, Mendelovo gymnázium



Obrázek č. 23 – Závislost hodinového toku na tlaku vzduchu v roce 2011 pro stanici Opava, Mendelovo gymnázium

Ostatní výsledky jsem zpracovala do tabulky pro lepší porovnání.

Bukurešť	1010 – 1029	$y = -0,2371x + 285,95$	$R^2 = 0,2873$
Kladno sps	1005 – 1033	$y = -0,3896x + 470,16$	$R^2 = 0,8038$
Košice	1006 – 1034	$y = -0,2456x + 332,77$	$R^2 = 0,6383$
Opava mg	1006 – 1036	$y = -0,6117x + 722,02$	$R^2 = 0,9647$
Opava su	1006 – 1036	$y = -0,7852x + 875,92$	$R^2 = 0,9727$
Opava zsbm	1007 – 1032	$y = 0,0529x + 26,553$	$R^2 = 0,0133$
Pardubice gd	1006 – 1037	$y = -0,2907 + 362,5$	$R^2 = 0,8196$
Pardubice spse	1008 – 1027	$y = -0,6734x + 783,32$	$R^2 = 0,9097$
Praha UTEF	1005 - 1037	$y = -0,4789x + 560,83$	$R^2 = 0,849$

Obrázek č. 24 – Tabulka s porovnáním jednotlivých závislostí v roce 2011 (první sloupeček udává místo detekční stanice, druhý rozmezí tlaků, pro které je ve třetím spočítaná závislost a v posledním sloupečku je vypočítaná spolehlivost závislosti)

2011 – tlak 1010 - 1027					
město	přímka		exponenciála		odchylka $R^2$
Bukurešť	$y = -0,3134x + 363,43$	$R^2=0,3695$	$y = 59510 e^{-0,007x}$	$R^2=0,3686$	0,24%
Kladno spse	$y = -0,2616x + 339,03$	$R^2=0,6361$	$y = 2734,6 e^{-0,004x}$	$R^2=0,6401$	0,63%
Košice	$y = -0,0556x + 139,03$	$R^2=0,0446$	$y = 161,57 e^{-7E-0,4x}$	$R^2=0,0429$	3,81%
Opava mg	$y = -0,5571x + 665,93$	$R^2=0,9398$	$y = 30801 e^{-0,006x}$	$R^2=0,9419$	0,22%
Opava su	$y = -0,8492x + 940,86$	$R^2=0,9659$	$y = 7E + 0,6 e^{-0,011x}$	$R^2=0,9639$	0,24%
Opava zsbm	$y = 0,0978x - 20,521$	$R^2=0,0253$	$y = 21,11 e^{0,0013x}$	$R^2=0,0274$	8,30%
Pardubice gd	$y = -0,2343x + 304,22$	$R^2=0,7251$	$y = 2458,3 e^{-0,004x}$	$R^2=0,7261$	0,14%
Pardubice spse	$y = -0,6388x + 748,01$	$R^2=0,8834$	$y = 78567 e^{-0,007x}$	$R^2=0,879$	0,5%
Praha UTEF	$y = -0,2546x + 332,22$	$R^2=0,5185$	$y = 2482 e^{-0,003x}$	$R^2=0,5181$	0,08%

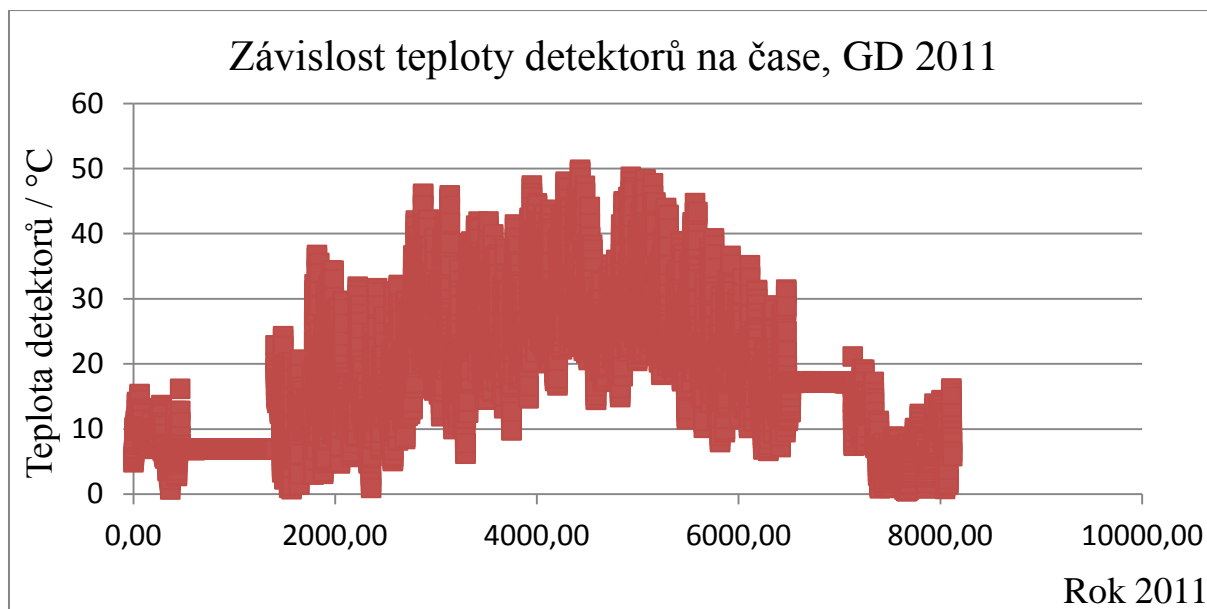
Obrázek č. 25 – Tabulka srovnání mezi popisem lineárním a exponenciálním a jejich odchylka

Rozdíly /odchylky mezi lineárním a exponenciálním popisem jsou malé. Proto jsem pro další výpočty a modely zvolila lineární model.

Odchylky naměřených hodnot od vypočteného modelu jsou stále velké. Proto jsem začala sledovat i další meteorologické veličiny.

## 7.2 Druhý model

Jako druhou meteorologickou veličinu jsem si zvolila teplotu detektorů, která je přímo úměrná teplotě vzduchu.



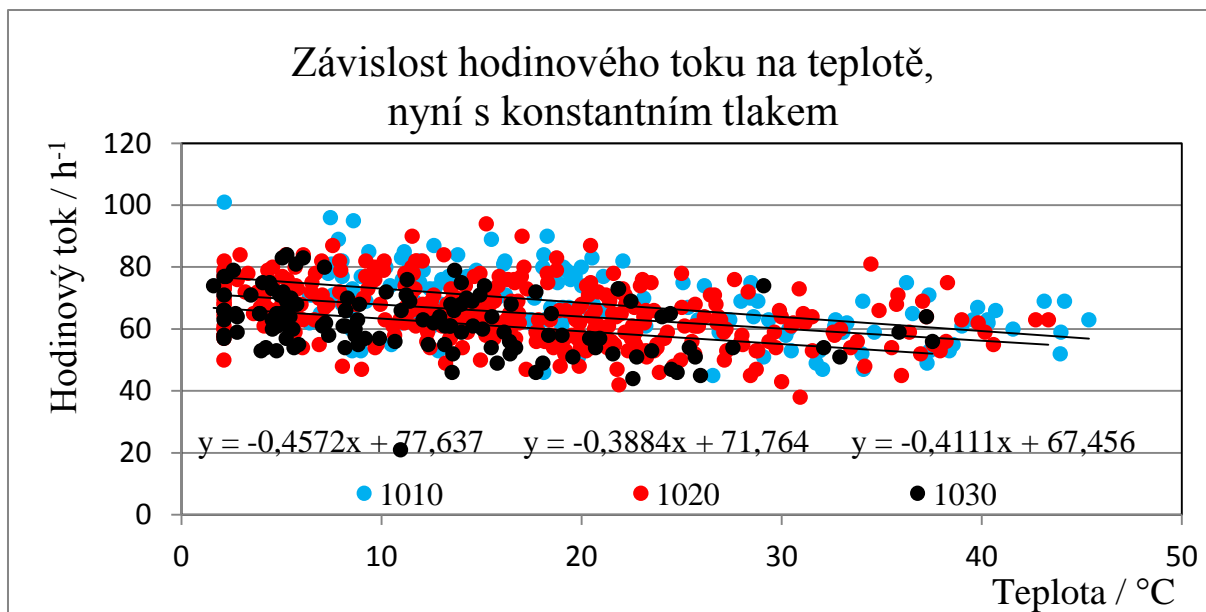
Obrázek č. 26 – Závislost teploty detektorů na čase, Gymnázium Pardubice 2011  
Oblast vyšší teplotou odpovídá letním měsícům

Histogramy a závislosti hodinového toku na teplotě detektorů a teplotě venkovní nalezneme v další kapitole 7.3.

Rozdíly naměřených hodnot spočívají v měřicí aparatuře. Jestliže venkovní teplota klesne pod bod mrazu ( $0^{\circ}\text{C}$ ), v detektorech se sepne čidlo a začne se v nich topit. Proto v histogramu teplot detektorů je nejnižší teplota  $0^{\circ}\text{C}$ . Naopak v letních měsících může být teplota detektorů i vyšší než teplota venkovní. Detektory jsou umístěny v dřevěných boxech, jak je vidět z obr. č. 2. Ty mohou v letních měsících „přitahovat“ sluneční paprsky a detektory v nich tak mohou mít vyšší teploty než je skutečné venkovní.

Pro zanedbání vlivu tlaku jsem udělala graf závislosti hodinového toku na teplotě detektorů, pro 3 konstantní tlaky – 1010 hPa, 1020 hPa, 1030 hPa, viz obr. č. 27. Je vidět, že nezávisle na tlaku má teplota stejnou tendenci – klesající.

Odchytky vypočtených hodnot od naměřených se sice zmenšily, ale stále je patný vliv dalších meteorologických veličin.



Obrázek č 27 – Závislost hodinového toku na teplotě detektorů, při 3 konstantních tlacích – 1010 hPa, 1020 hPa a 1030 hPa

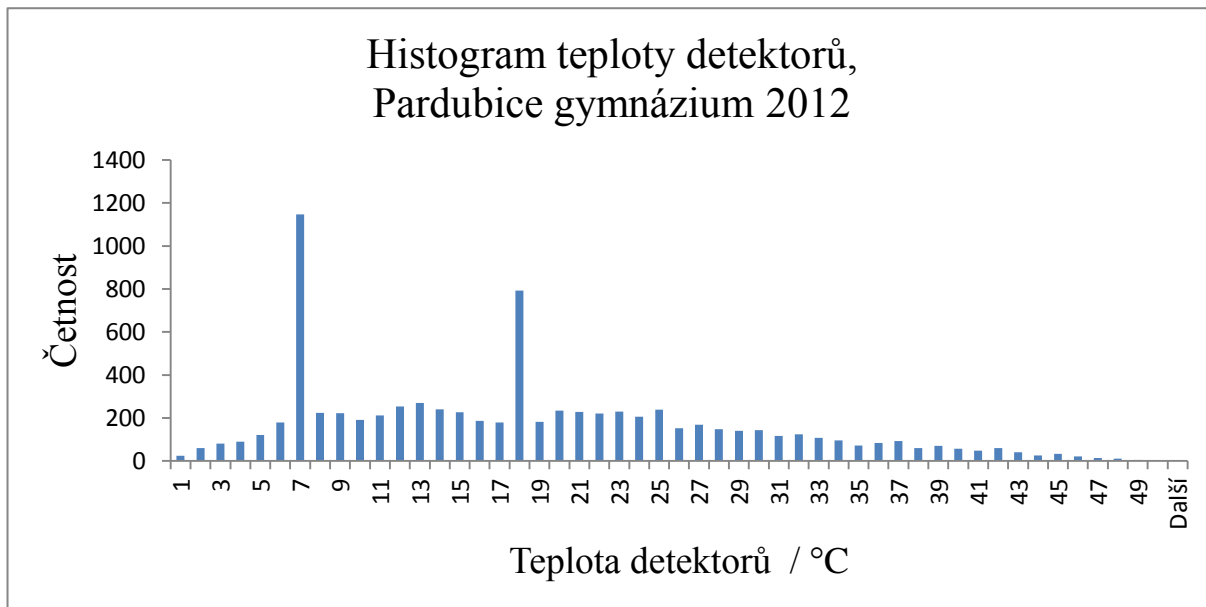


### 7.3 Třetí model

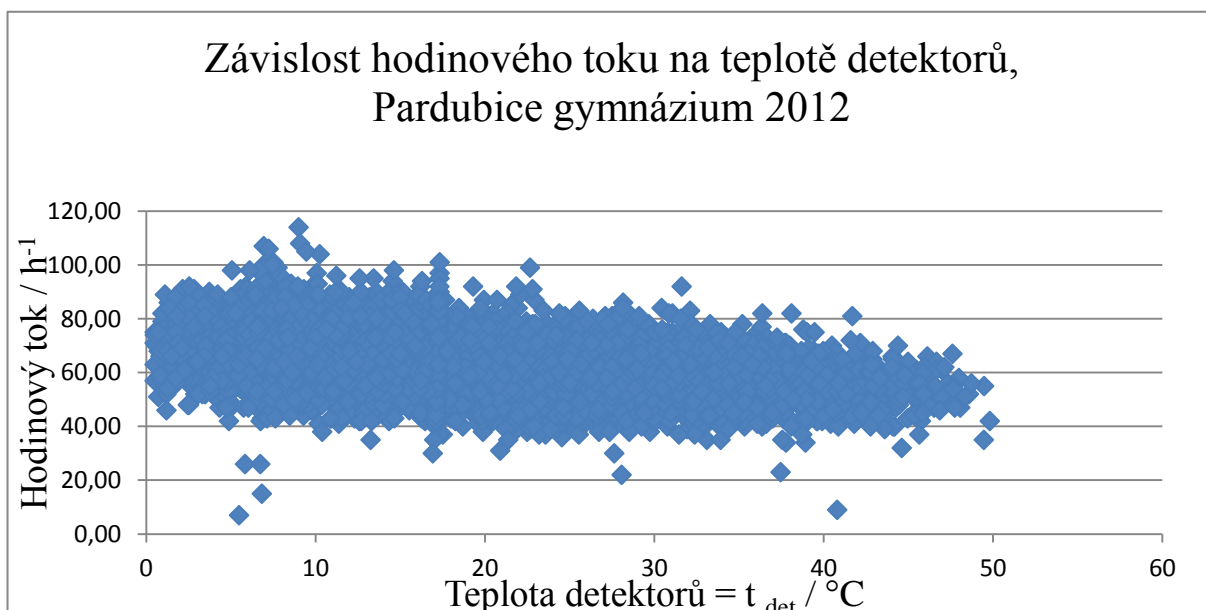
Veličin, měnících se v průběhu roku, je celá řada a není jasné, které všechny hodinový tok ovlivňují. Z obr. č. 7 je vidět, že průměrné hodinové toky v zimních měsících jsou poněkud vyšší než v letních měsících. Z toho usuzuji, že jednou z veličin, která tok ovlivňuje je teplota detektorů, resp. teplota vzduchu. Z článků je mi také známo, že tok je ovlivněn tlakem vzduchu. O těchto 2 meteorologických veličinách se zmiňuji v předchozích kapitolách – 7.1 a 7.2.

Mezi meteodaty jsou veličiny popisované kvantitativně a některé kvalitativně. U kvalitativních veličin, jsem zavedla číslování jednotlivých kategorií, abych pro ně mohla zavést roční histogram. Současně jsem začala vytvářet grafy závislosti hodinového toku na teplotě, tlaku a dalších veličinách.

Tato kapitola bude věnována histogramům meteorologických veličin a závislosti toku na těchto veličinách.

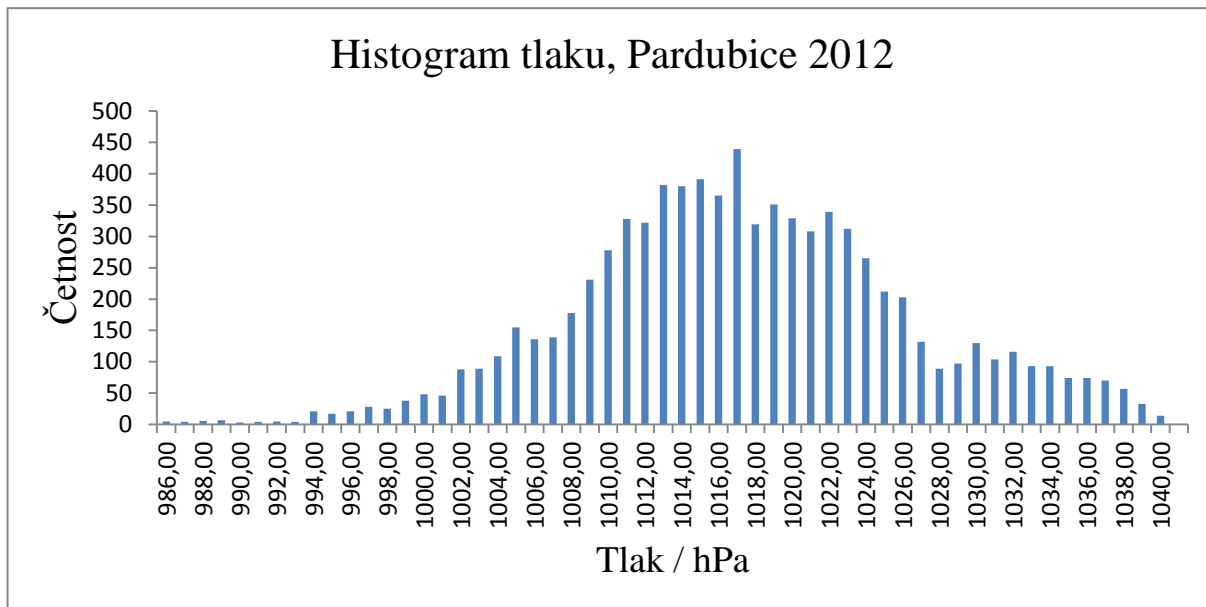


Obrázek č. 28 – Histogram teploty detektorů, Pardubice gymnázium 2012

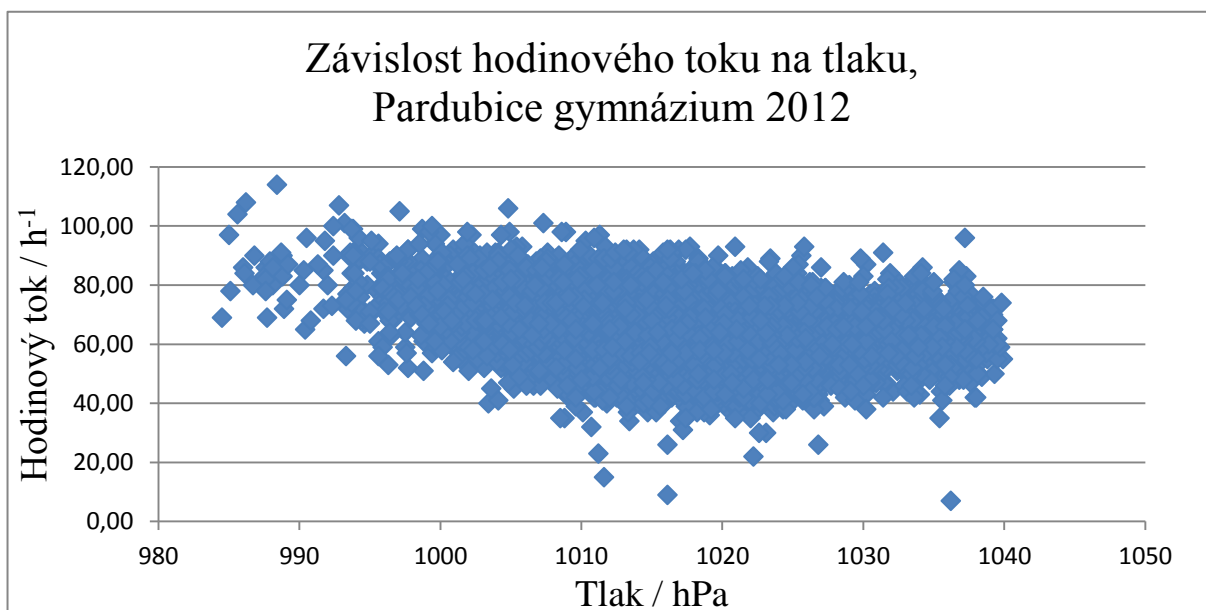


Obrázek č. 29 – Závislost hodinového toku na teplotě detektorů, Pardubice gymnázium 2012

Z obr. č. 29 je krásně viditelná klesající tendence. To znamená, že při vyšší teplotě detektorů, která je přímo úměrná venkovní teplotě vzduchu, stanice detekuje méně částic. Teplota by ovlivňovala účinnost stanice. Když se podíváme na obr. 7, je vidět, že v letních měsících měla stanice výpadek – neměřila. To by mohlo znamenat, že při vyšší teplotě detektorů má stanice problémy s přehříváním a dochází k výpadkům měření.

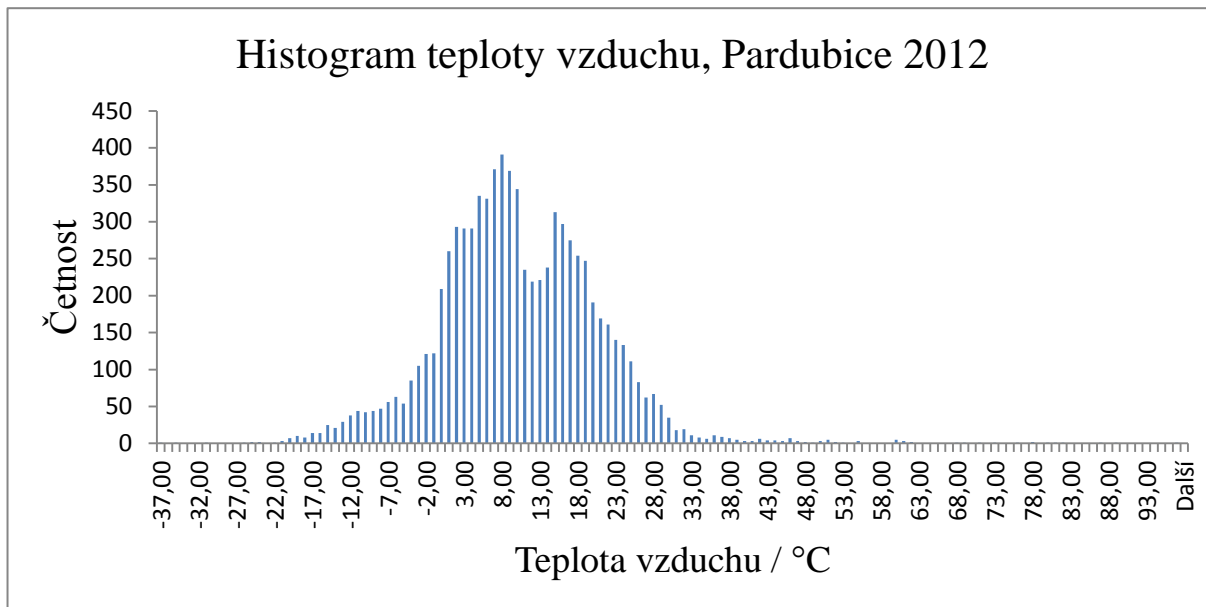


Obrázek č. 30 – Histogram tlaku, Pardubice 2012

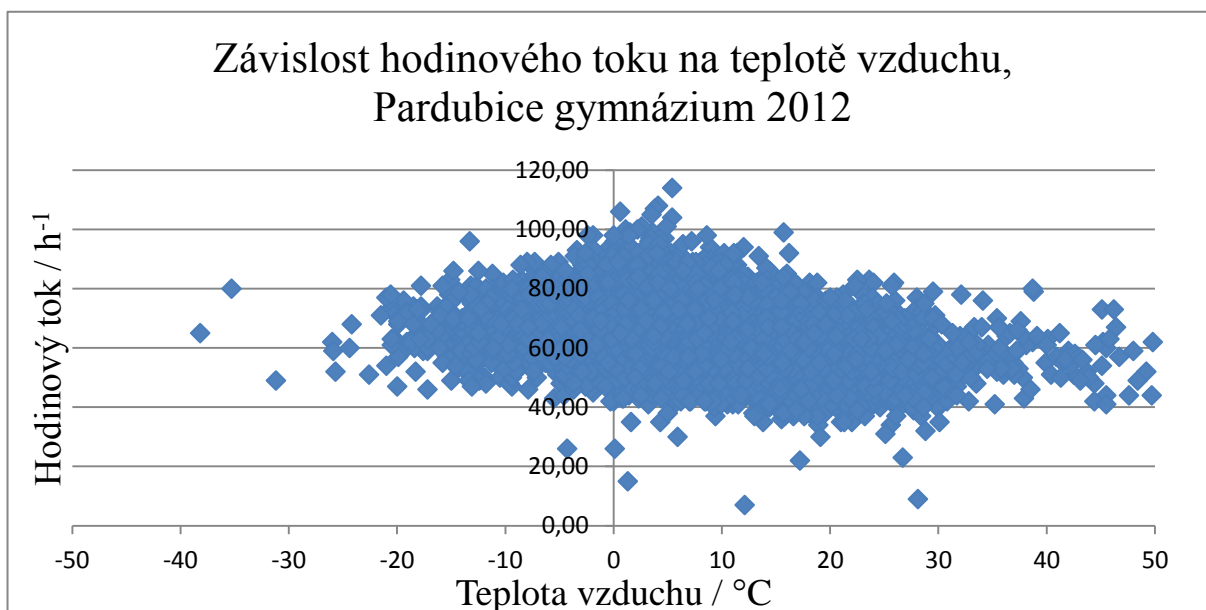


Obrázek č. 31 – Závislost hodinového toku na tlaku, Pardubice gymnázium 2012

Z obr. č. 31 je vidět klesající tendence závislosti hodinového toku na tlaku vzduchu. To znamená, že při vyšším tlaku „chodí“ méně částic. Vysvětlení by mohlo být následovné: Vyšší hustota vzduchu – více částic a přilétající částice sekundárního kosmického záření mají problém se mezi takovým množstvím částic vzduchu „prodat“ až k Zemi. Částice z vesmíru mohou interagovat či zanikat a nemusí vždy dopadnout na detektor.

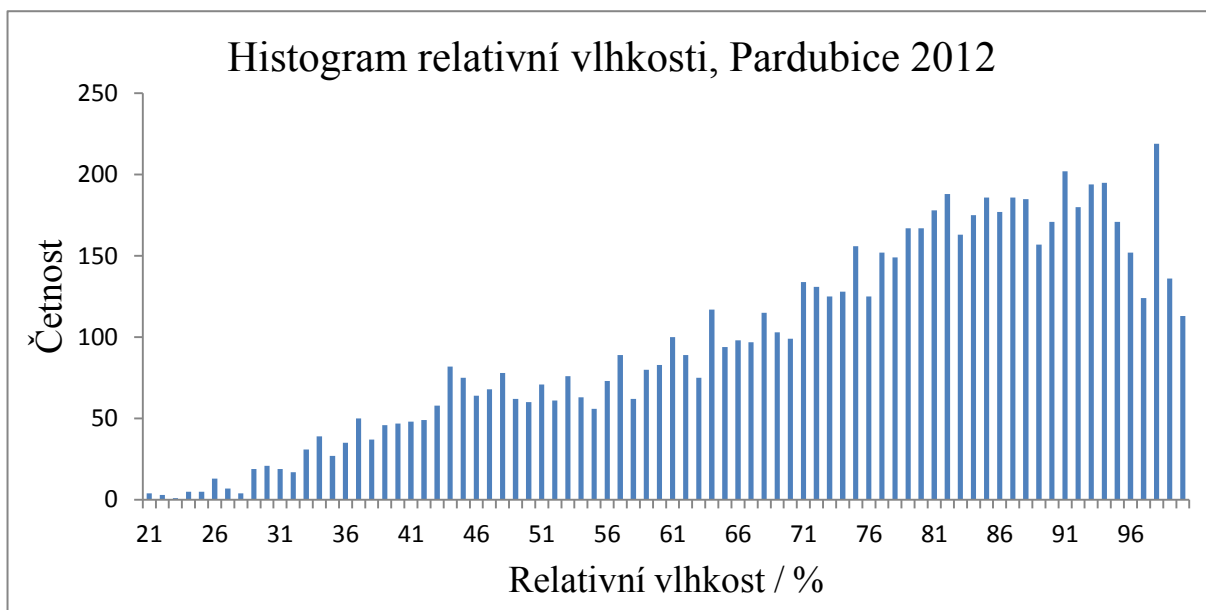


Obrázek č. 32 – Histogram teploty vzduchu, Pardubice 2012

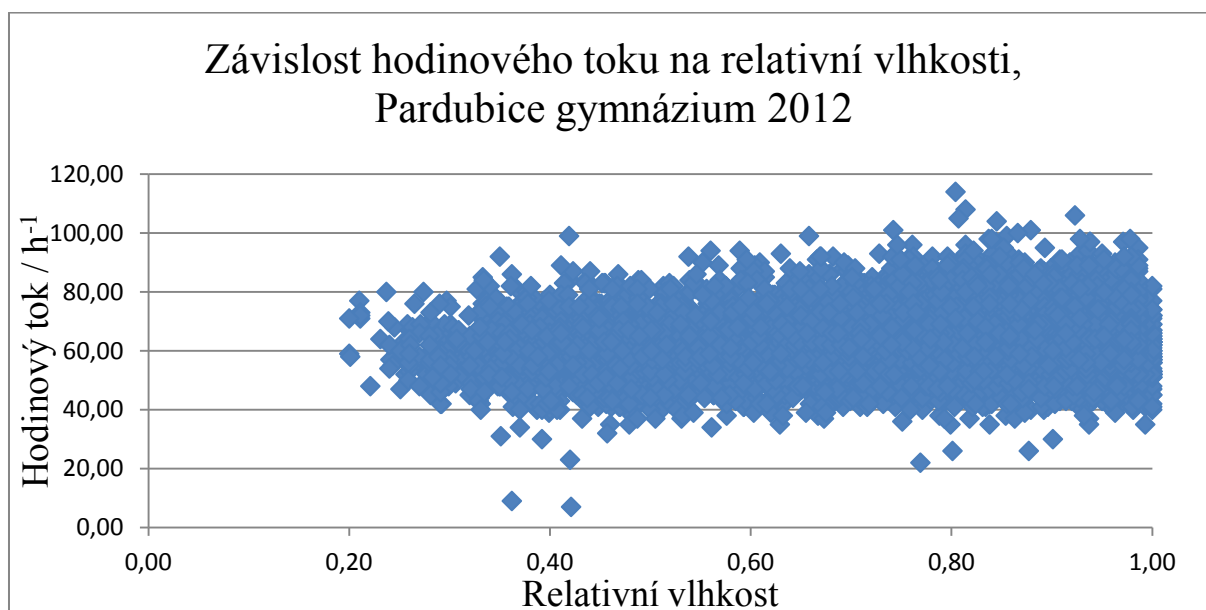


Obrázek č. 33 – Závislost hodinového toku na teplotě vzduchu, Pardubice gymnázium 2012

Z obr. č. 33 je vidět klesající závislost. To znamená, že při vyšší teplotě vzduchu přichází méně částic. Proč? Zde se naskýtá možnost využít vlnové vlastnosti částic. Částice vzduchu při nižší teplotě mají menší amplitudu – výchylku a naopak. Z toho vyplývá, že když se vyšší teplota, částice vzduchu mají větší výchylky a přicházející vlny (částice sekundárního kosmického záření) mají problém projít tak, aby nezareagovaly či nezanikly.

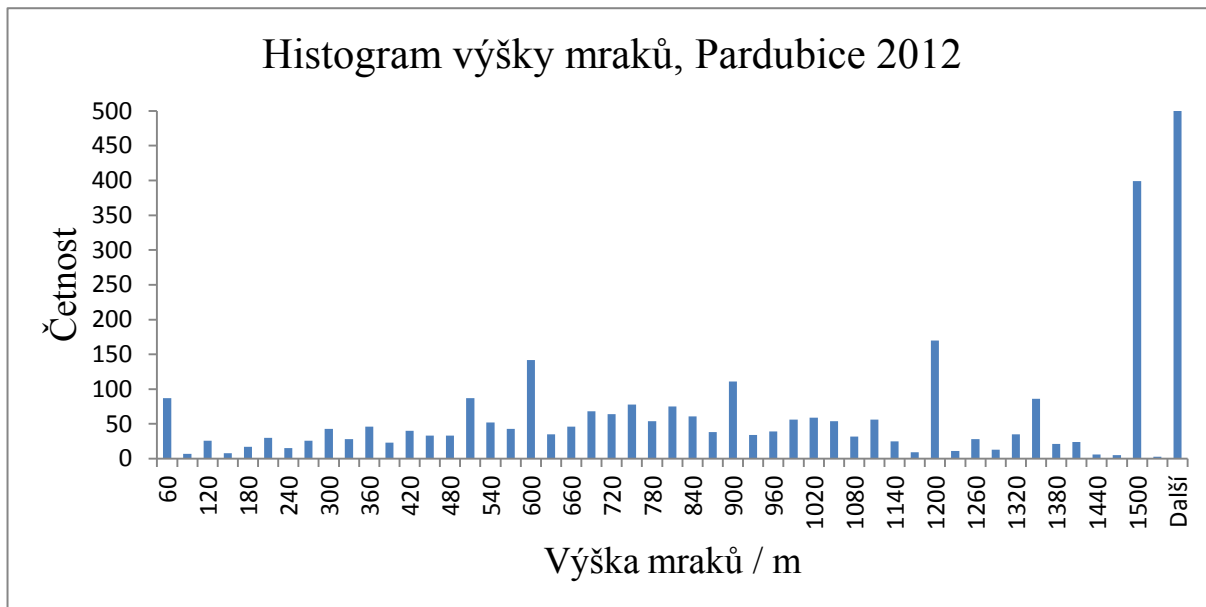


Obrázek č. 34 – Histogram relativní vlhkosti, Pardubice 2012

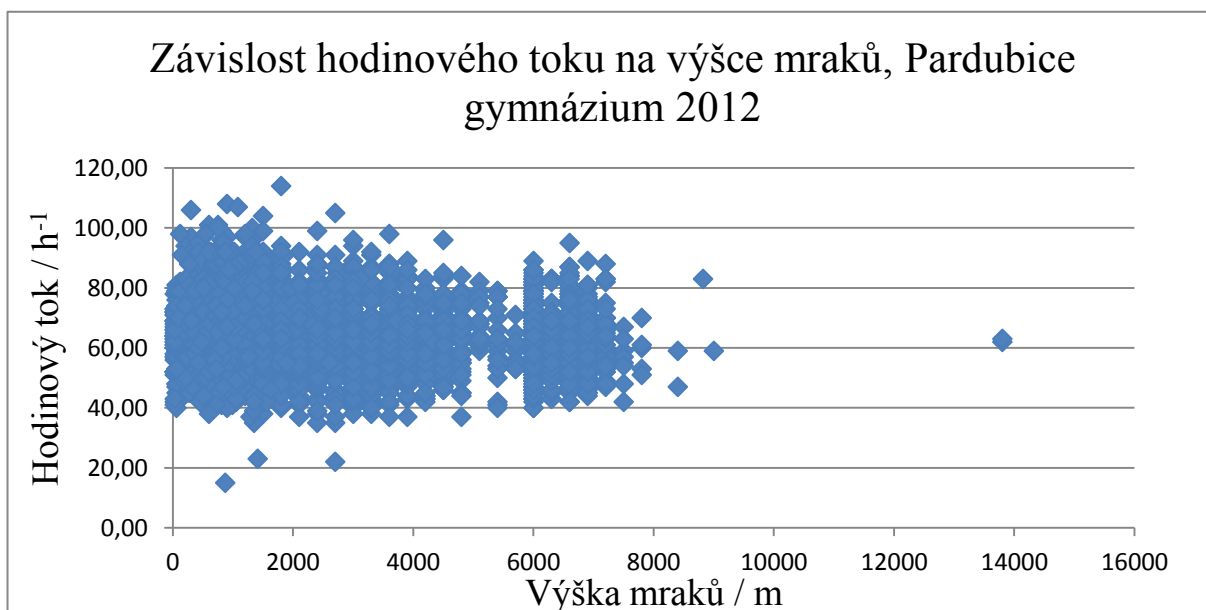


Obrázek č. 35 – Závislost hodinového toku na relativní vlhkosti, Pardubice gymnázium 2012

Z obr. č. 35 by se mohla jevit mírně rostoucí tendence. To by mohlo znamenat, že drobné částičky vody či molekuly vody s částicemi sekundárního kosmického záření reagují a díky interakcím se nepohlcují, ale vytváří hustší spršku záření.

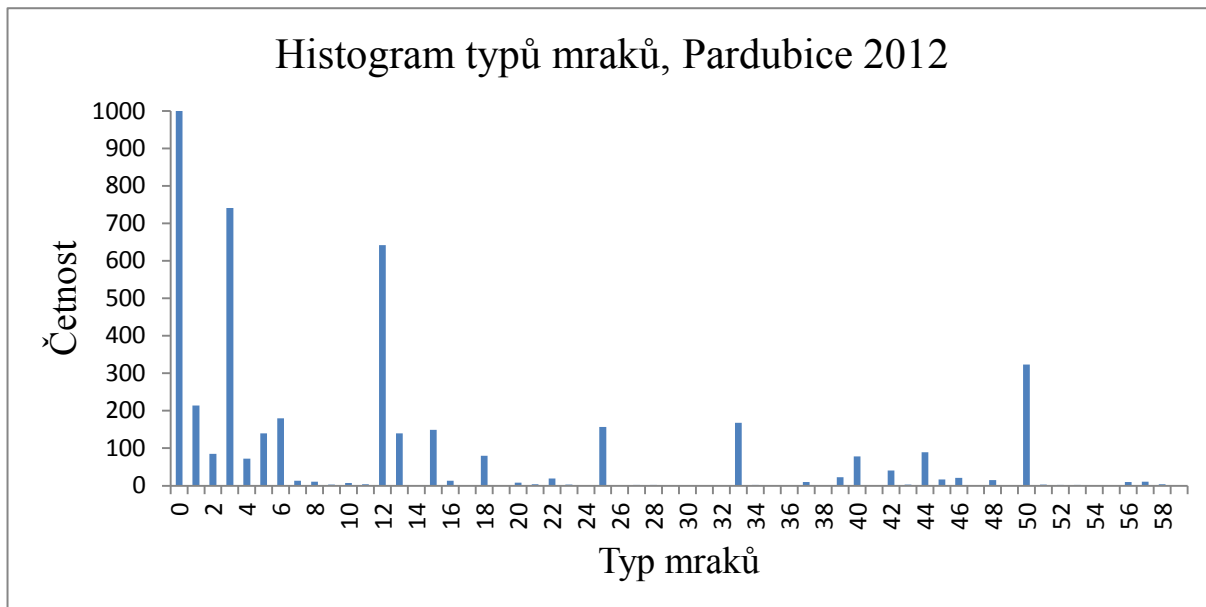


Obrázek č. 36 – Histogram výšky mraků, Pardubice 2012

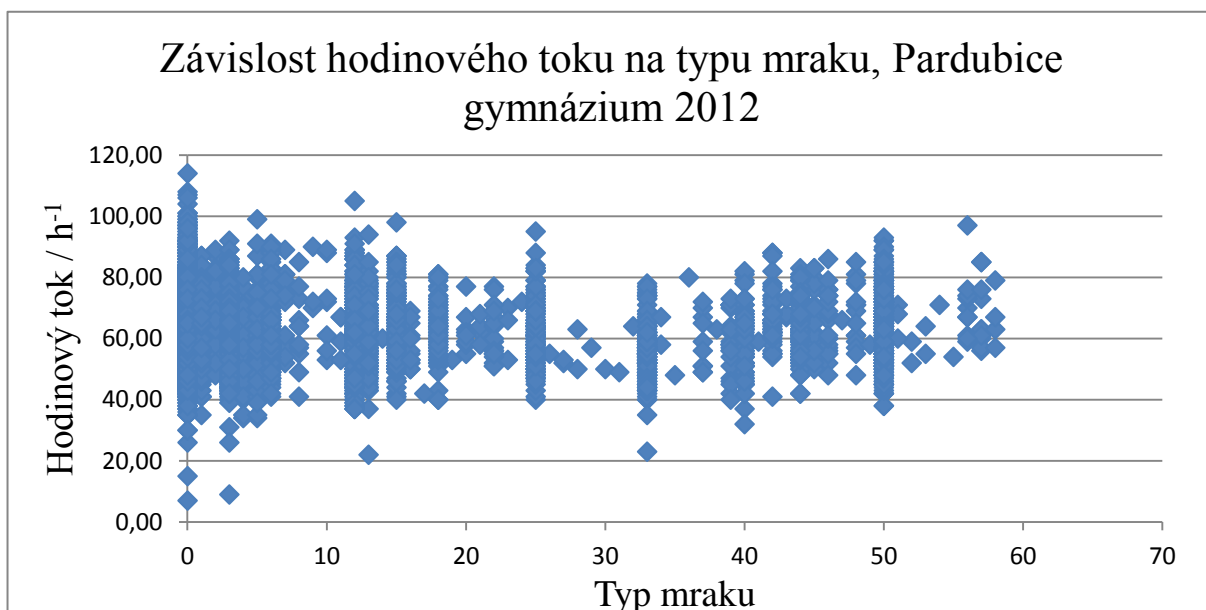


Obrázek č. 37 – Závislost hodinového toku na výšce mraků, Pardubice gymnázium 2012

Z obr. č. 37 je vidět mírně klesající tendence. Proč? Vysvětlení by mohlo být následující: Jestliže jsou mraky vysoko, pohltí vznikající „malý“ kužel sekundárního kosmického záření a tedy nemůže vzniknout kužel, který by mohl přijít až k povrchu Země, k detektorům. Naopak, když jsou mraky nízko, vzniklý kužel sekundárního kosmického záření je už dostatečně veliký a i při drobném pohlcení částic mrakem jich je stále dost, aby mohly zasáhnout detektor.

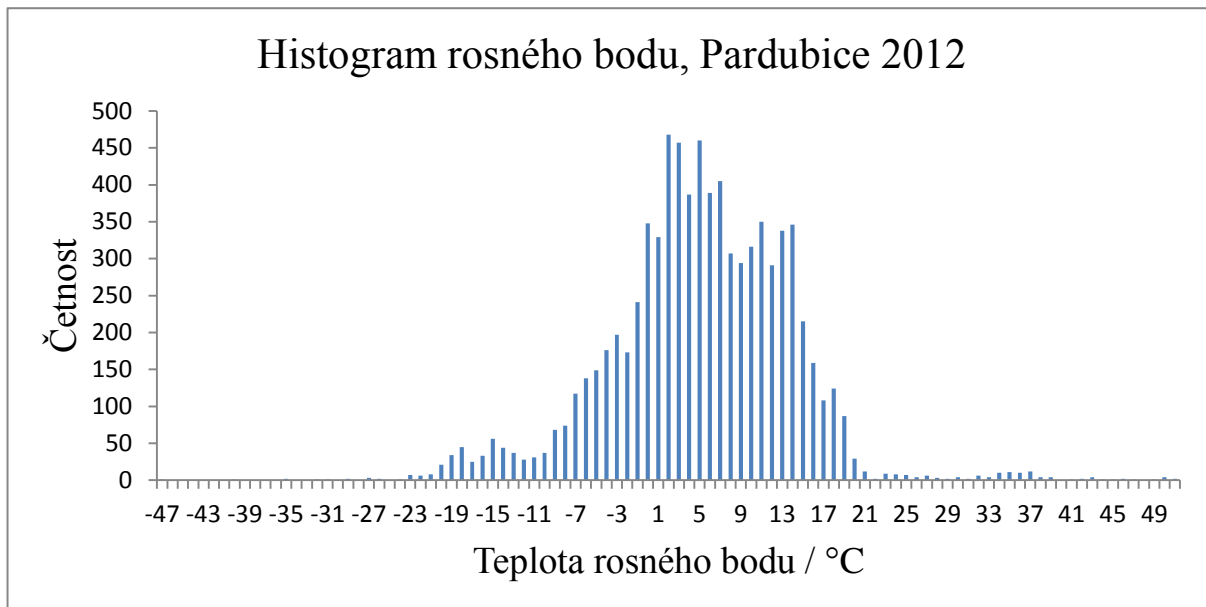


Obrázek č. 38 – Histogram typů mraků, Pardubice 2012

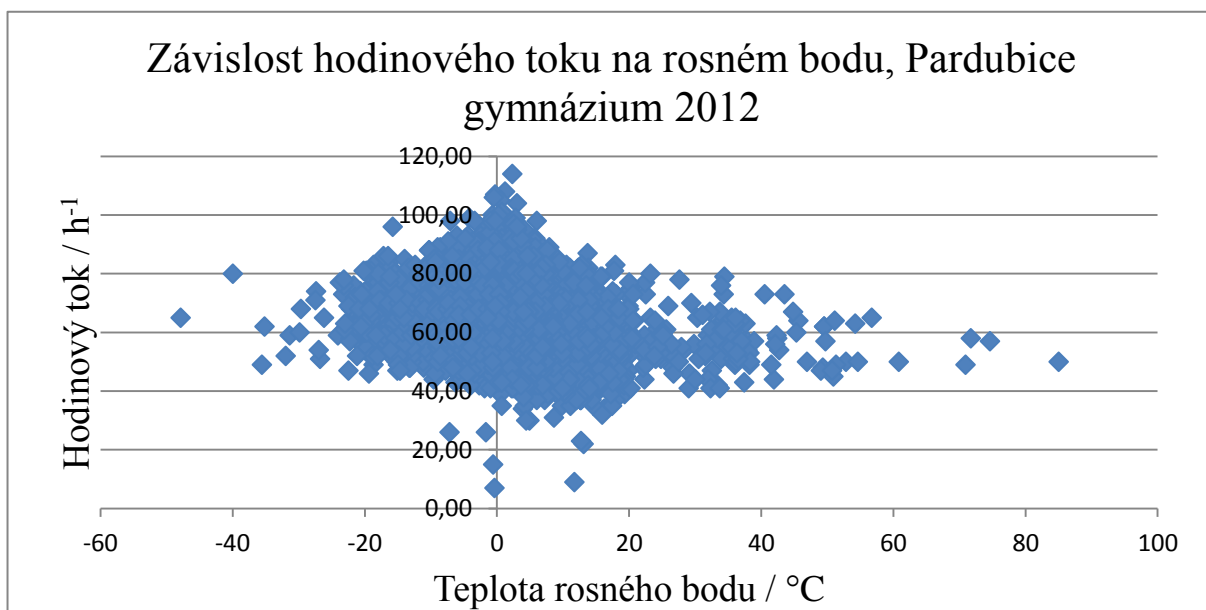


Obrázek č. 39 – Závislost hodinového toku na typu mraku, Pardubice gymnázium 2012

Z obr. č. 39 je krásně viditelné, že při některých typech mraků „chodí“ více částic. To jaké jsou typy, vychází z obr. č. 38, z histogramu. Vysvětlení může souviset s výškou mraků (viz. str. 62), nebo jejich složením – vodní kapičky, krystalky ledu, ...



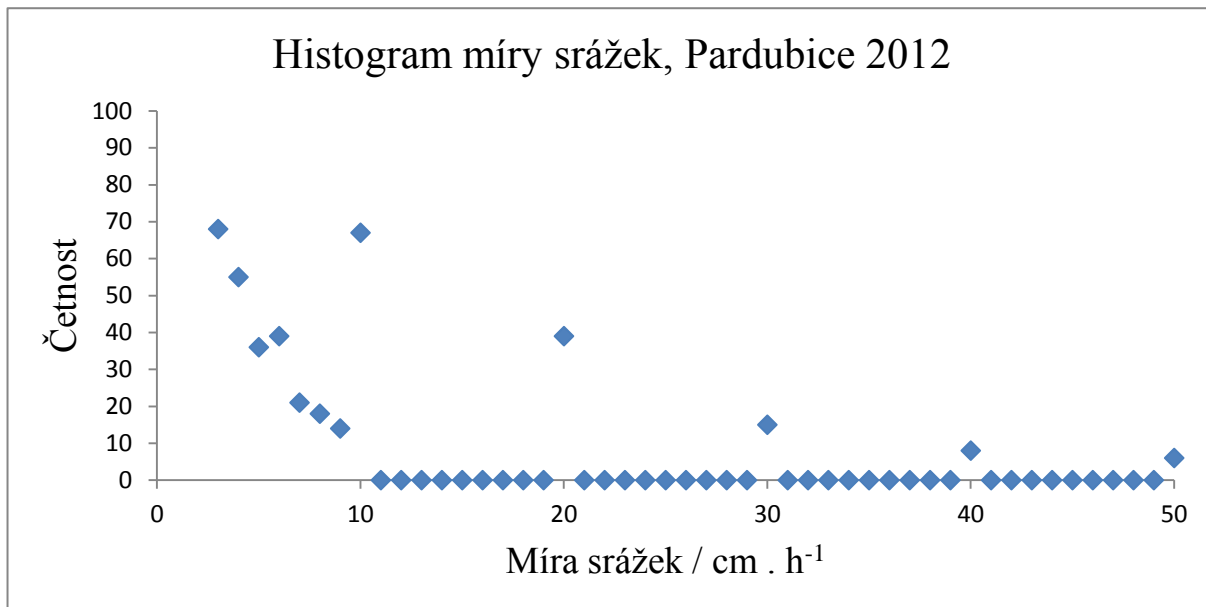
Obrázek č. 40 – Histogram rosného bodu, Pardubice 2012



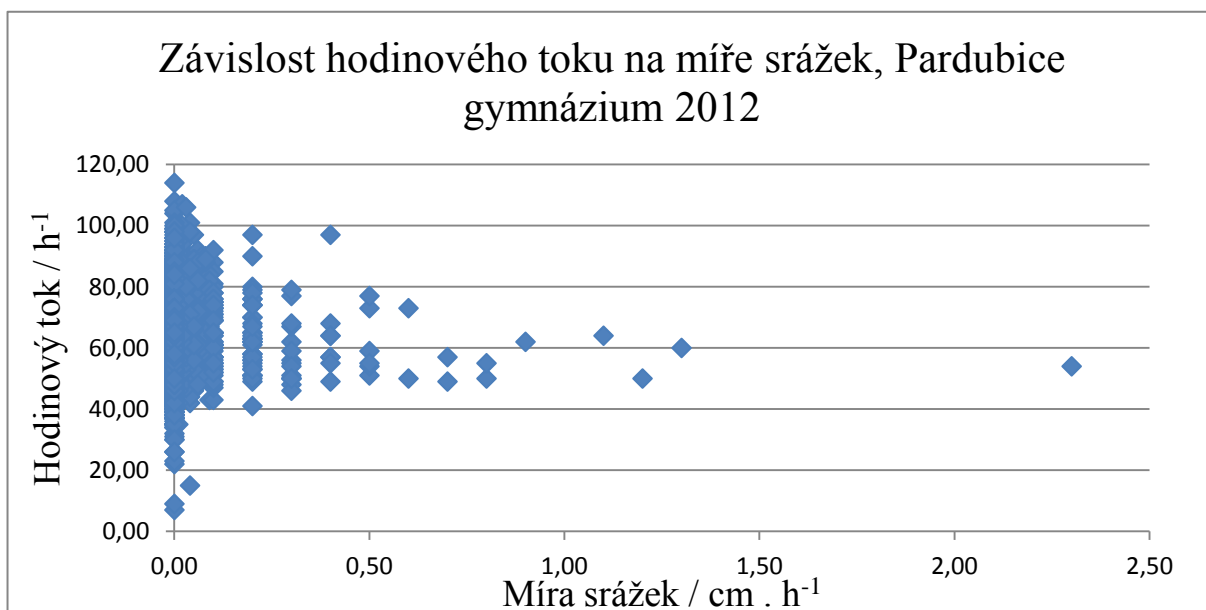
Obrázek č. 41 – Závislost hodinového toku na rosném bodu, Pardubice gymnázium 2012

Z obr. č. 41 je patná klesající tendence. Dalo by se říci, že rosný bod souvisí s teplotou. Tudíž by i vysvětlení mohlo být podobné.



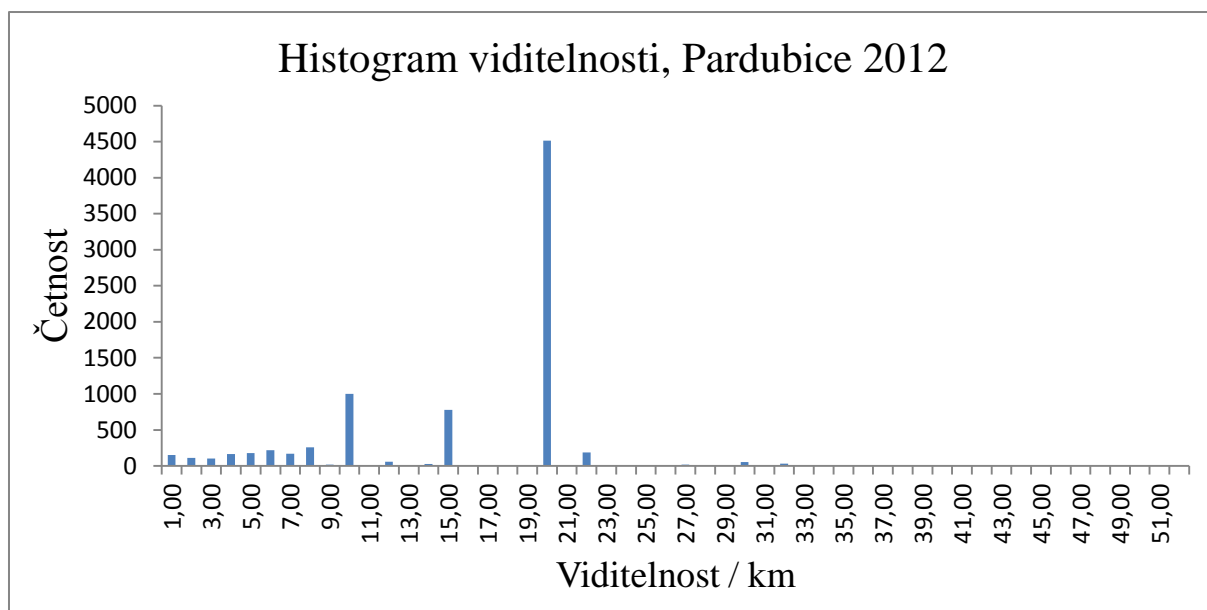


Obrázek č. 42 – Histogram míry srážek, Pardubice 2012

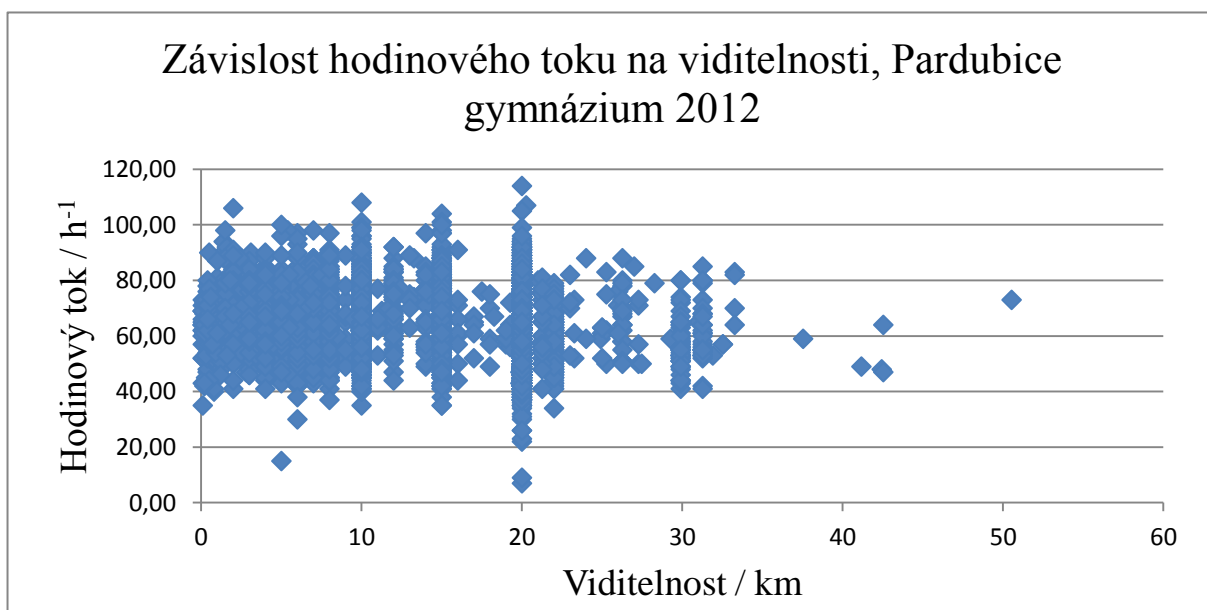


Obrázek č. 43 – Závislost hodinového toku na míře srážek, Pardubice gymnázium 2012

Z obr. č. 43 vyplývá klesající tendence. Mohlo by to znamenat, že když je úhrn srážek větší, částic „přilétá“ méně. Kapky vody by mohly pohlcovat částice sekundárního kosmického záření.



Obrázek č. 44 –Histogram viditelnosti, Pardubice 2012



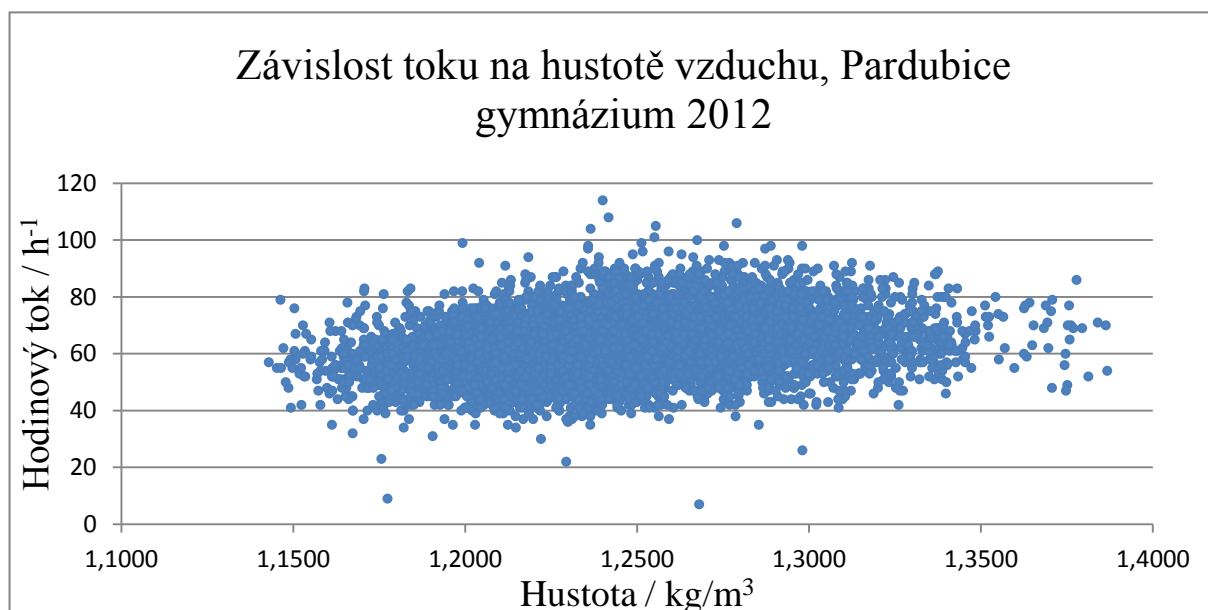
Obrázek č. 45 – Závislost hodinového toku na viditelnosti, Pardubice gymnázium 2012

Z obr. č. 45 je patná mírně klesající tendence. To by mohlo mít stejné vysvětlení, jako rostoucí závislost u relativní vlhkosti. Jestliže je viditelnost špatná /nízká, ve vzduchu můžou být částičky prachu, smogu, ... Částice sekundárního kosmického záření by mohly s těmito částičkami interagovat a „vytvořit“ více větších spršek, které zasáhnou všechny tři detektory.

Musela jsem si uvědomit, že jednotlivé veličiny nemusí být nezávislé, což komplikuje vyhodnocení grafů. Např. teplota vzduchu ovlivňuje teplotu detektorů, vlhkost i tlak. To nejlépe demonstruje graf na obrázku č. 46. Hustotu jsem vypočítala podle vzorce:

$$\rho = \frac{pM}{RT},$$

kde  $p$  je tlak vzduchu,  $M$  je molární hmotnost vzduchu,  $R$  je molární plynová konstanta a  $T$  je termodynamická konstanta vzduchu.



Obrázek č. 46 - Závislost naměřeného hodinového toku na hustotě vzduchu

Na první pohled se zdá, že při vyšší hustotě je vyšší i hodinový tok. To ale neodpovídá fyzikální představě absorpce záření v hmotě tedy i v atmosféře. Očekávala bych, že při vyšší hustotě vzduchu bude menší hodinový tok. Vyšší hustota vzduchu je však nepřímo úměrná teplotě vzduchu, vyšší teplota vzduchu způsobuje vyšší teplotu detektorů a ta následně způsobuje nižší hodnoty zachyceného toku částic. Detektory jsou zřejmě při vyšší teplotě méně účinné na dopad sekundárních spršek záření.

## 7.4 Lineární regrese a korekce hodinového toku

Předpokládejme, že hodinový tok ovlivňují veličiny  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ . Tyto veličiny mají v ročních datech také statistické rozdělení viz obr. č. 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38.

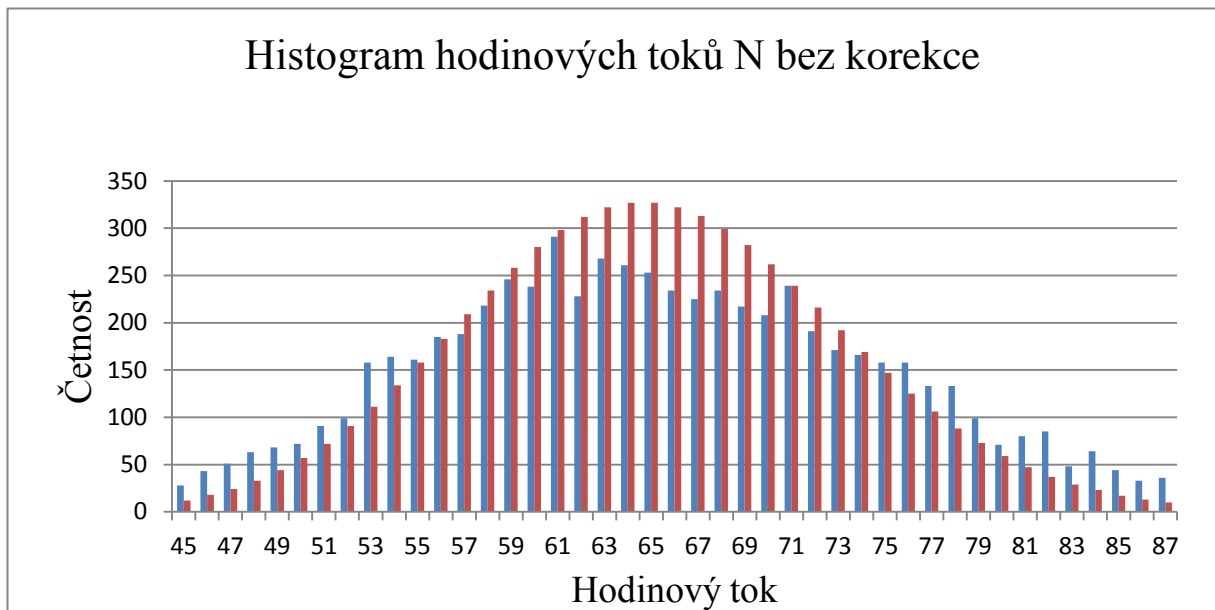
Pro každou sledovanou veličinu si určím její standardní hodnotu  $x_{1st}, x_{2st}, x_{3st}, \dots, x_{(n)st}$ . Vybrala jsem průměrnou hodnotu veličiny  $x_i$  za daný rok pro danou stanici. Kdyby veličiny nabývaly v průběhu roku pouze standardních hodnot, nabýval by hodinový tok hodnot,

kteří označím  $N_{st}$ . Statistické rozdělení toku  $N_{st}$  by mohlo odpovídat Poissonovu rozdělení, které je popsáno vzorcem:

$$p_k = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}$$

kde  $p_k$  je pravděpodobnost, že hodinový tok nabývá hodnoty  $k$ ,  $\lambda$  je střední hodinový tok a  $k$  je hodnota hodinového toku.

Jako příklad uvádím histogram naměřených hodinových toků na stanici Gymnázium Pardubice v roce 2011 a současně histogram odpovídající Poissonovu rozdělení se stejnou střední hodnotou toku, obr. č. 47.



Obrázek č. 47 – Porovnání reálných hodinových toků s Poissonovým rozdělením.

Červený histogram odpovídá Poissonovu rozdělení, které má střední hodinový tok 65. Hodnota 65 je vypočtený průměrný tok z reálně naměřených hodinových toků na Gymnáziu Pardubice v roce 2011. Během roku bylo zaznamenáno 6624 korektních hodinových měření – modrý histogram.

Odlišnosti histogramů vidíme především dvě.

1. Toky blízké střednímu toku 65 mají menší četnost než toky vypočtené z Poissonova rozdělení (modrý histogram je nižší než červený).
2. Toky vzdálené od středního toku 65 mají naopak vyšší četnost než toky vypočtené (modrý histogram je zde výše než červený).

Odchylna od standardní hodnoty každé ze sledovaných veličin zřejmě vyvolává odchylku toku  $N$  od standardního toku  $N_{st}$ . Hledám takovou korekci naměřených toků  $N$ , která povede na Poissonovo rozdělení toků  $N_{st}$ .

Vyzkoušela jsem různé korekce:

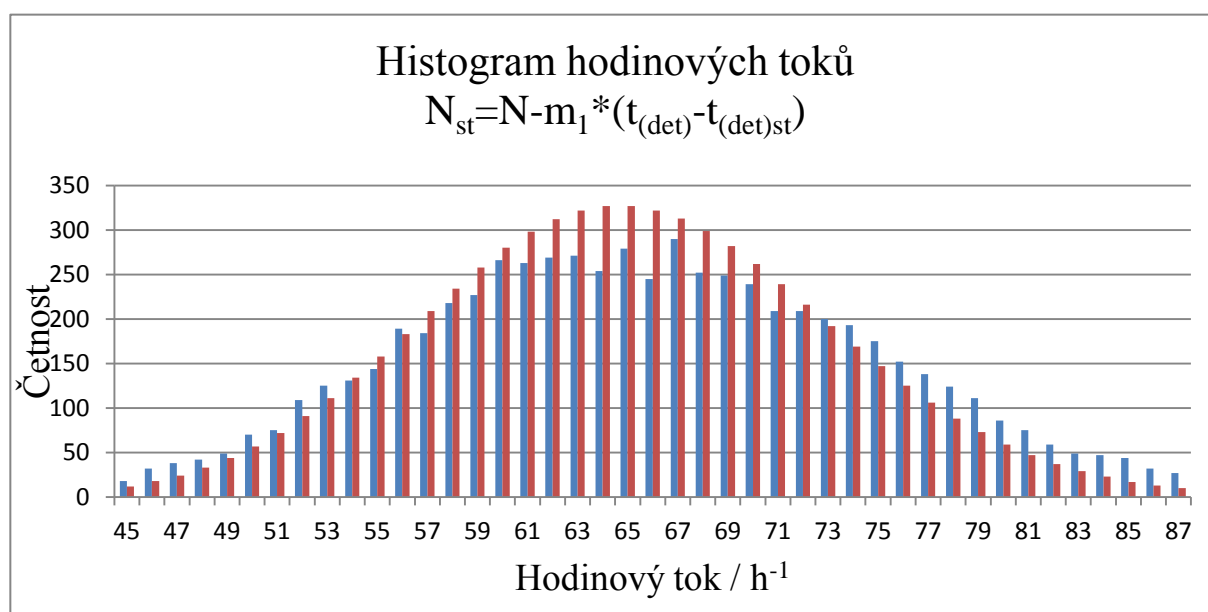
Skutečný tok je lineární kombinací odchylek veličin  $x_1$  až  $x_n$  od standardních hodnot  $x_i$ .

$N = N_{st(\text{průměr})} + m_1 \cdot (x_1 - x_{1st}) + m_2 \cdot (x_2 - x_{2st}) + \dots + m_n \cdot (x_n - x_{nst})$ , kde  $m_i$  jsou hledané parametry, vlastně parciální derivace funkce  $N$  podle  $x_i$ . Zpracování provádím v Excelu užitím funkce LINREGRESE na souboru dat za 1 rok (podle stanic 6000 až 8000 hodinových toků). Ze znalosti parametrů  $m_1$  až  $m_n$  celého souboru mohu již vypočítat pro každý naměřený tok  $N$  opravený standardní tok  $N_{st}$ .

$$N_{st} = N - (m_1 \cdot (x_1 - x_{1st}) + m_2 \cdot (x_2 - x_{2st}) + \dots + m_n \cdot (x_n - x_{nst})).$$

#### 7.4.1 Korekce pouze na teplotu detektorů

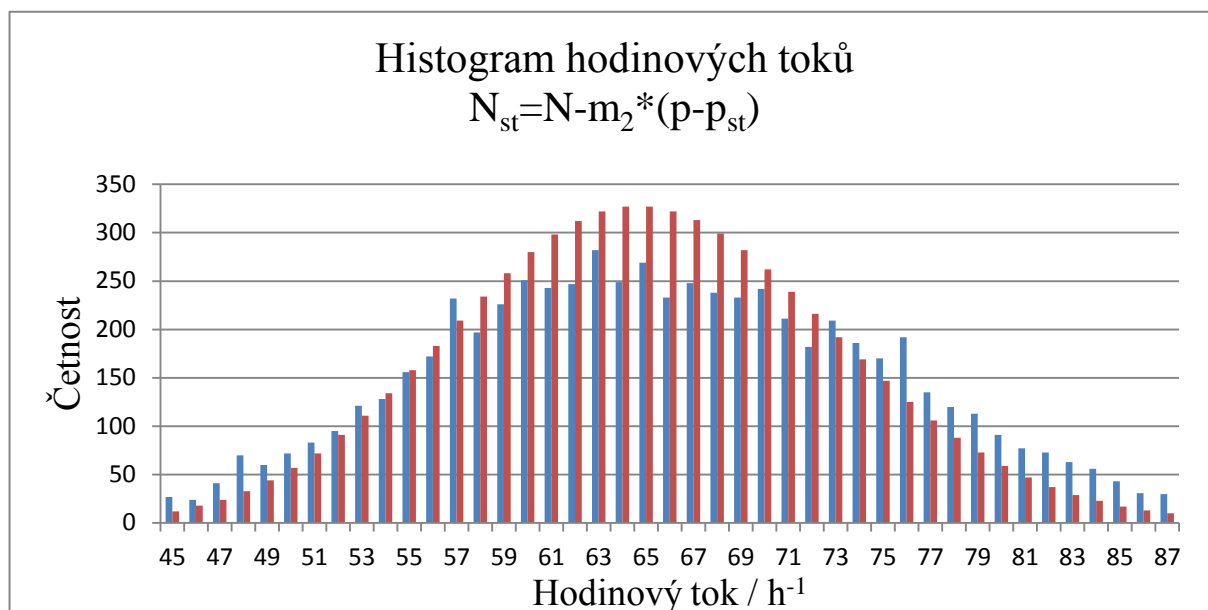
Za standardní hodnotu sledované veličiny jsem vybrala průměrnou teplotu v detektorech za celý rok,  $t_{(\text{det})st} = 18^\circ\text{C}$ .



Obrázek č. 48 – Histogram hodinových toků  $N_{st}$  po korekci na teplotu detektorů  
Koeficient  $m_1 = -0,36101$

### 7.4.2 Korekce pouze na atmosférický tlak

Koriguji pouze veličinu tlak vzduchu,  $p_{st}=1020$  hPa,

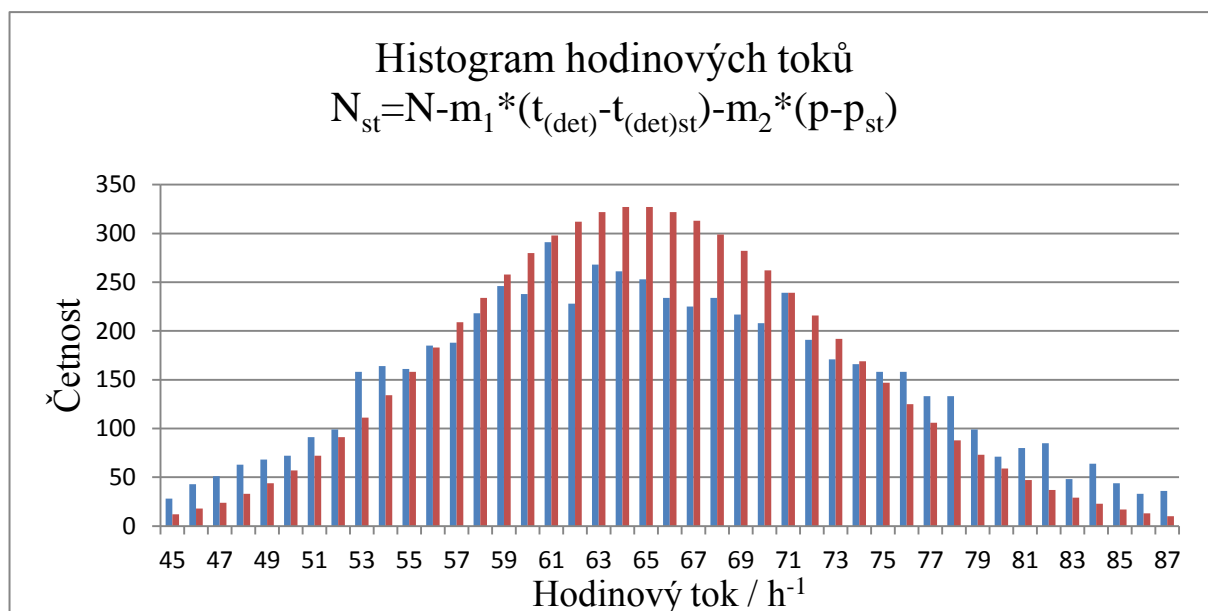


Obrázek č. 49 – Histogram hodinových toků po korekci tlaku.

Koeficient  $m_2 = -0,29563$ .

### 7.4.3 Korekce na teplotu detektorů a tlak (obojí lineárně)

Koriguji teplotu detektorů i tlak,  $t_{(det)st}=18^\circ\text{C}$ ,  $p_{st}=1020$  hPa



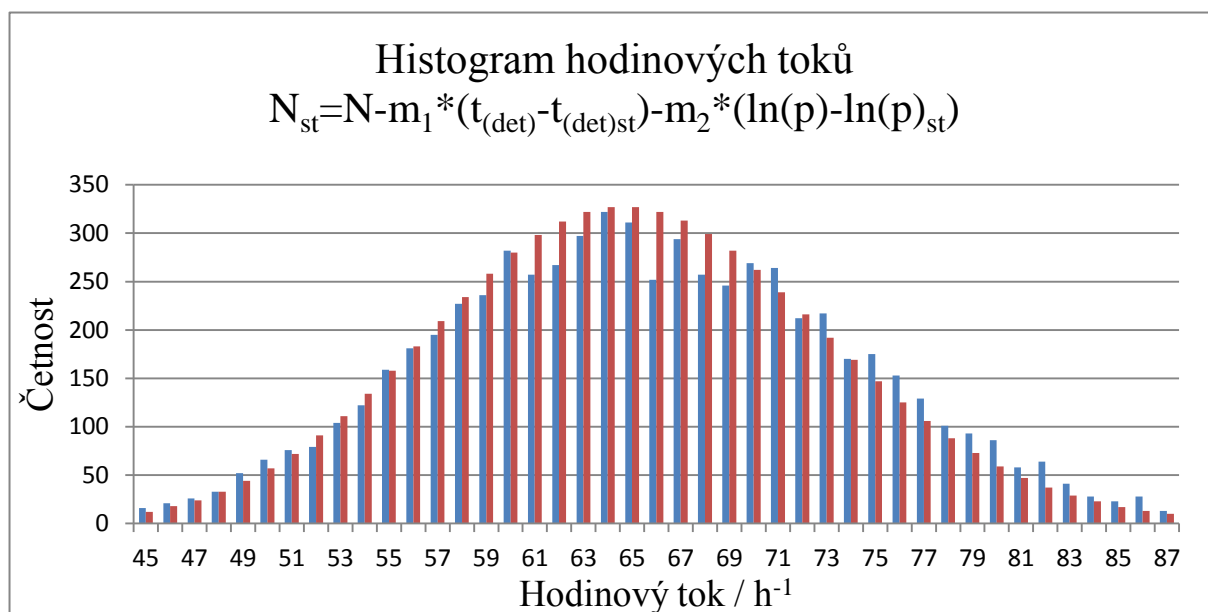
Obrázek č. 50 – Histogram hodinových toků po korekci detektorů a tlaku.

Koeficient  $m_1 = -0,46797$  a  $m_2 = -0,47016$ .

Ani jedna z uvedených tří korekcí výrazně nezlepšuje shodu s Poissonovým rozdělením.

#### 7.4.4 Korekce na teplotu detektorů a přirozený logaritmus tlaku

Provedla jsem další korekci, ve které na pozici tlaku  $p$  vystupuje přirozený logaritmus  $\ln(p)$ .



Obrázek č. 51 – Histogram hodinových toků po korekci teploty detektorů a přirozeného logaritmu tlaku.

Výsledky lineární regrese pro rok 2011 jsou následující:

Koeficient pro teplotu:	$m_1 = -0,46752$
Směrodatná odchylka koeficientu:	0,11216
Relativní odchylka:	2,4 %
Koeficient pro logaritmus tlaku:	$m_2 = -479,344$
Směrodatná odchylka koeficientu:	14,639
Relativní odchylka:	3,1 %
Průměrný tok za standardních podmínek	$N_{st(prům)} = 65,119$

Rovnice lineární regrese:

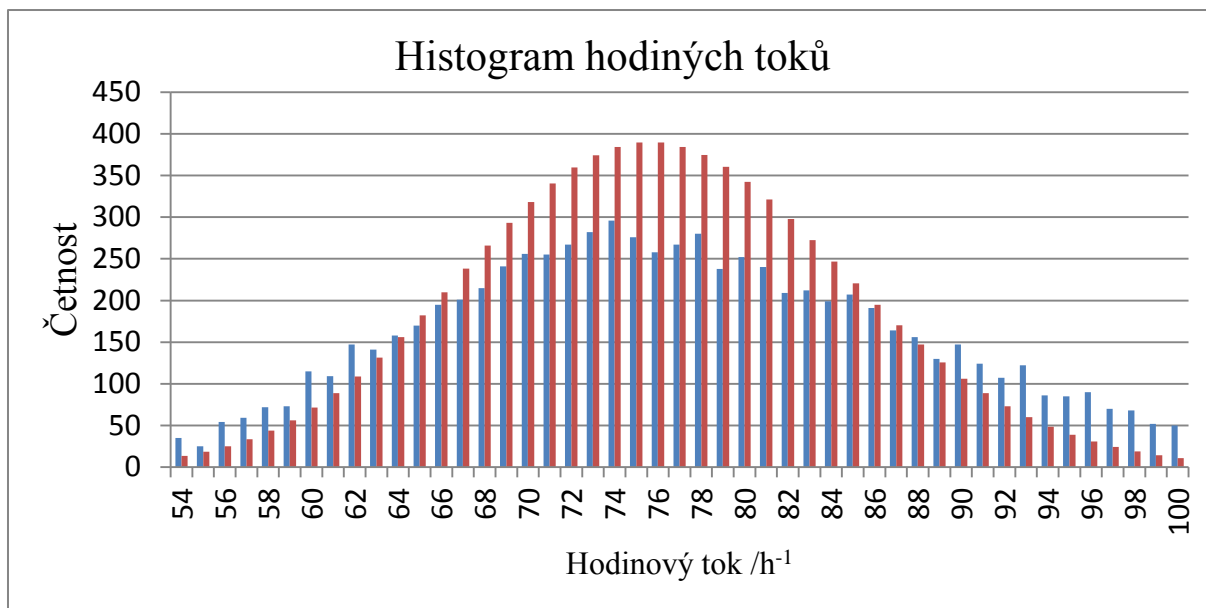
$$N = 65,11899 - 0,46752 \cdot (t_{det} - 18) - 479,344 \cdot (\ln(p) - \ln(1020))$$

Zde již došlo k výraznému zlepšení ve shodě histogramů. Zdá se, že užití funkce přirozený logaritmus u proměnné tlak je vhodné.

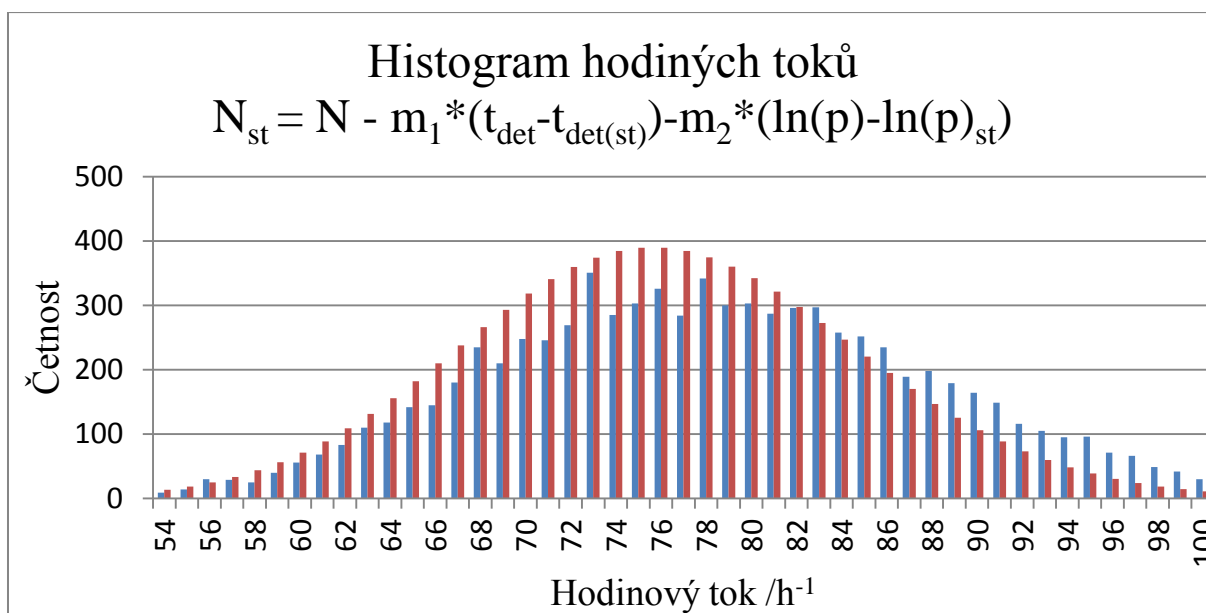
Zkoušela jsem i další korekce s veličinami teplota detektorů a tlak vzduchu, ale lepší shody jsem již nedosáhla.

V oblasti grafu, kde jsou nízké toky, je již velmi dobrá shoda mezi histogramy. V oblasti kolem středního toku nadále zůstávají toky naměřené menší než toky podle Poissonova rozdělení. Rozdíly ale už nejsou tak velké. V oblasti vyšších toků je ještě četnost naměřená poněkud vyšší, než četnost očekávaná podle Poissonova rozdělení, ale ke zlepšení došlo.

Všechny tyto opravované grafy v kapitole 7.4 jsou z roku 2011 ze stanice Gymnázium Pardubice, Dašická. Na důkaz správnosti úvahy i výpočtů, uvádím ještě další grafy pro Gymnázium Pardubice. Vždy platí: modrá – naměřeno /přepočítáno, červená – Poisson.



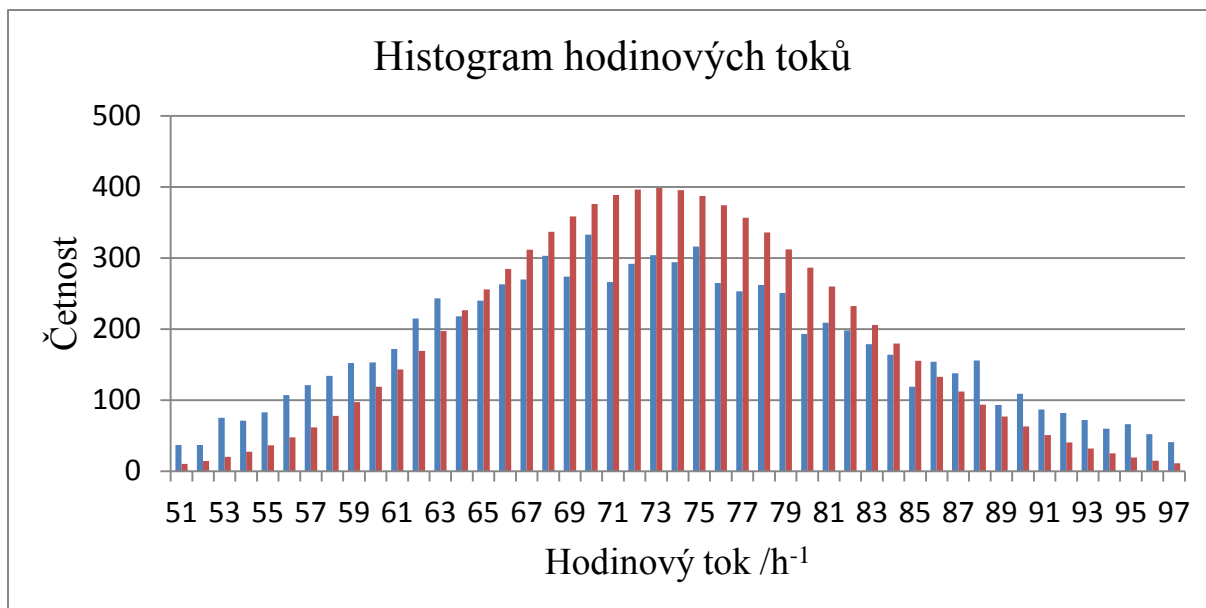
Obrázek č. 52 – Histogram hodinových toků bez opravy pro Gymnázium Pardubice, rok 2009



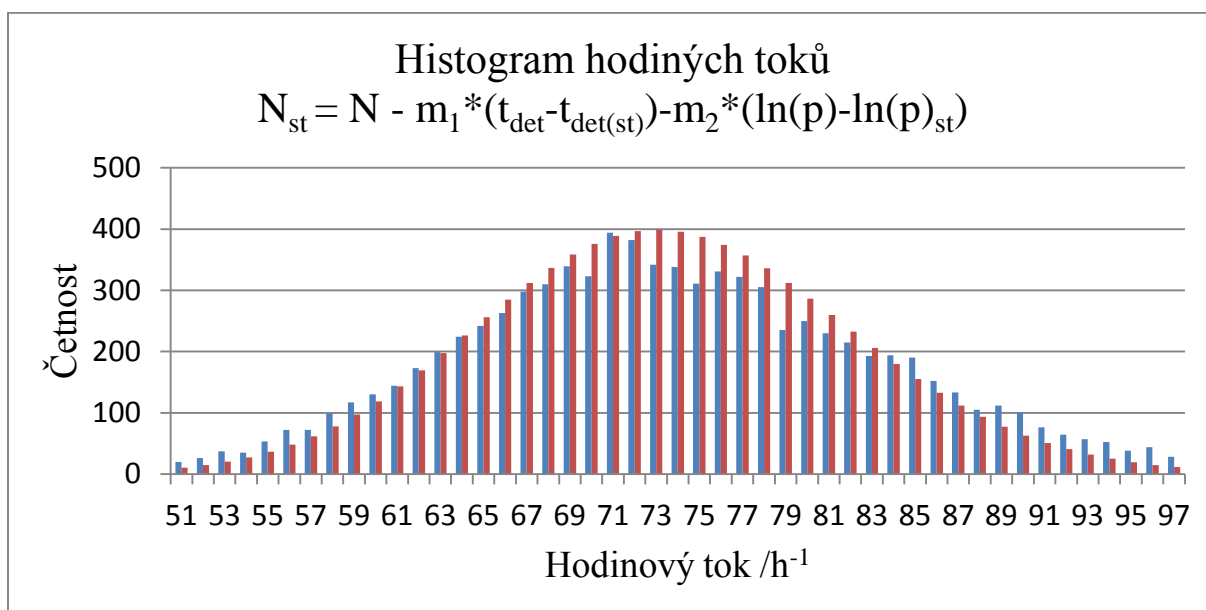
Obrázek č. 53 – Histogram hodinových toků po opravě na teplotu a přirozený logaritmus tlaku, Gymnázium Pardubice, rok 2009

$$m_1 = -0,49452 \text{ a } m_2 = -700,424$$



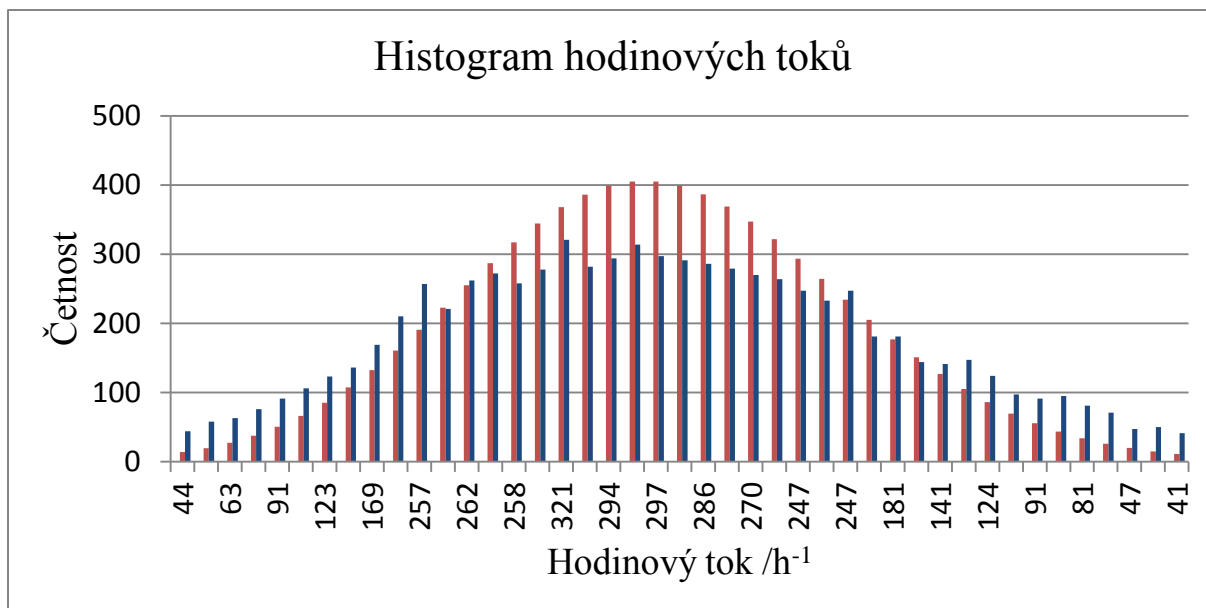


Obrázek č. 54 – Histogram hodinových toků bez opravy, Gymnázium Pardubice 2010

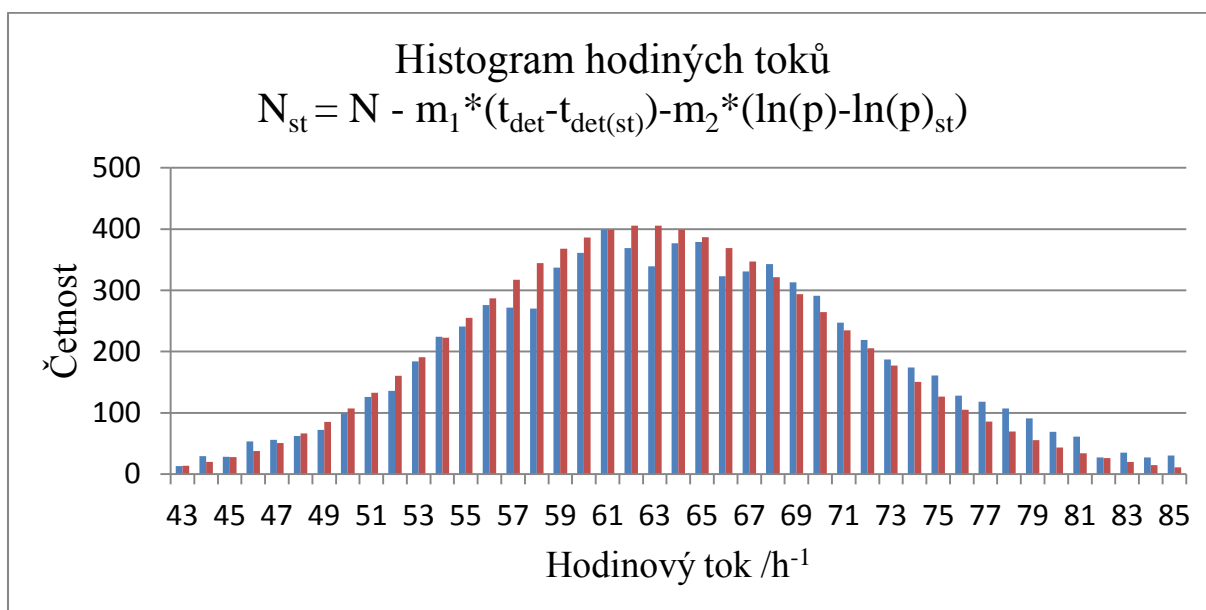


Obrázek č. 55 – Histogram hodinových toků po opravě na teplotu a přirozený logaritmus tlaku, Gymnázium Pardubice, rok 2010

$$m_1 = -0,35473 \text{ a } m_2 = -560,72$$

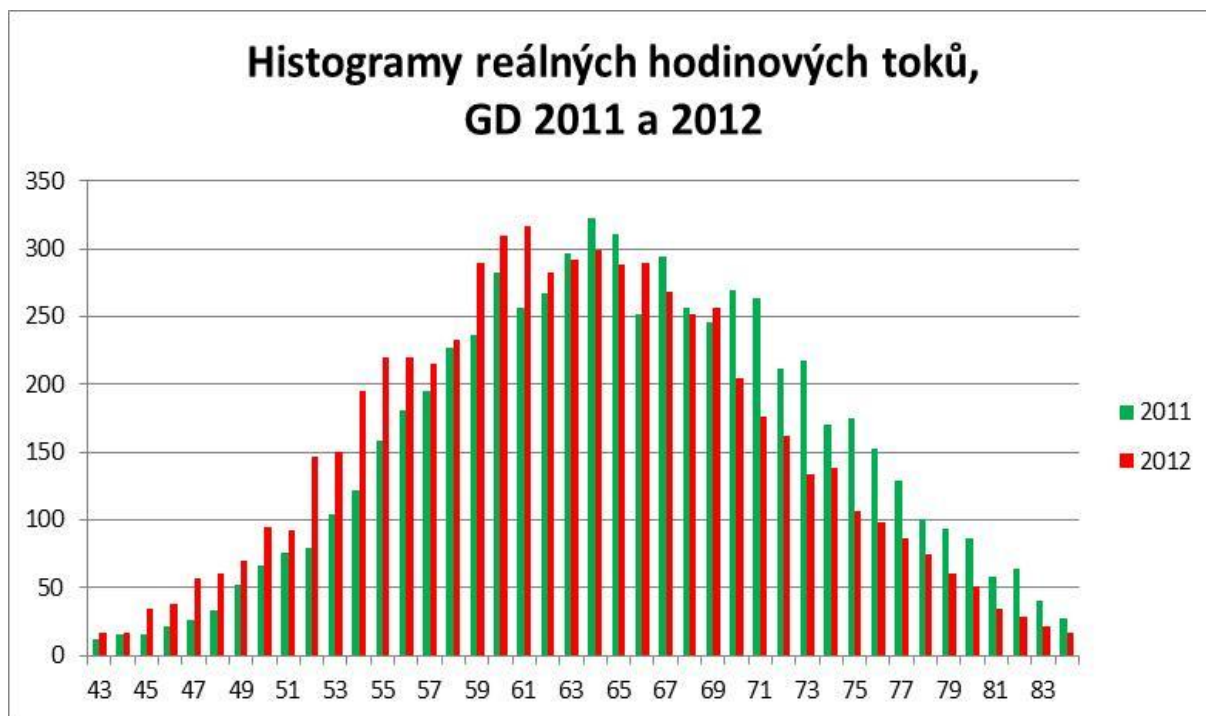


Obrázek č. 56 – Histogram hodinových toků bez opravy, Gymnázium Pardubice, rok 2012

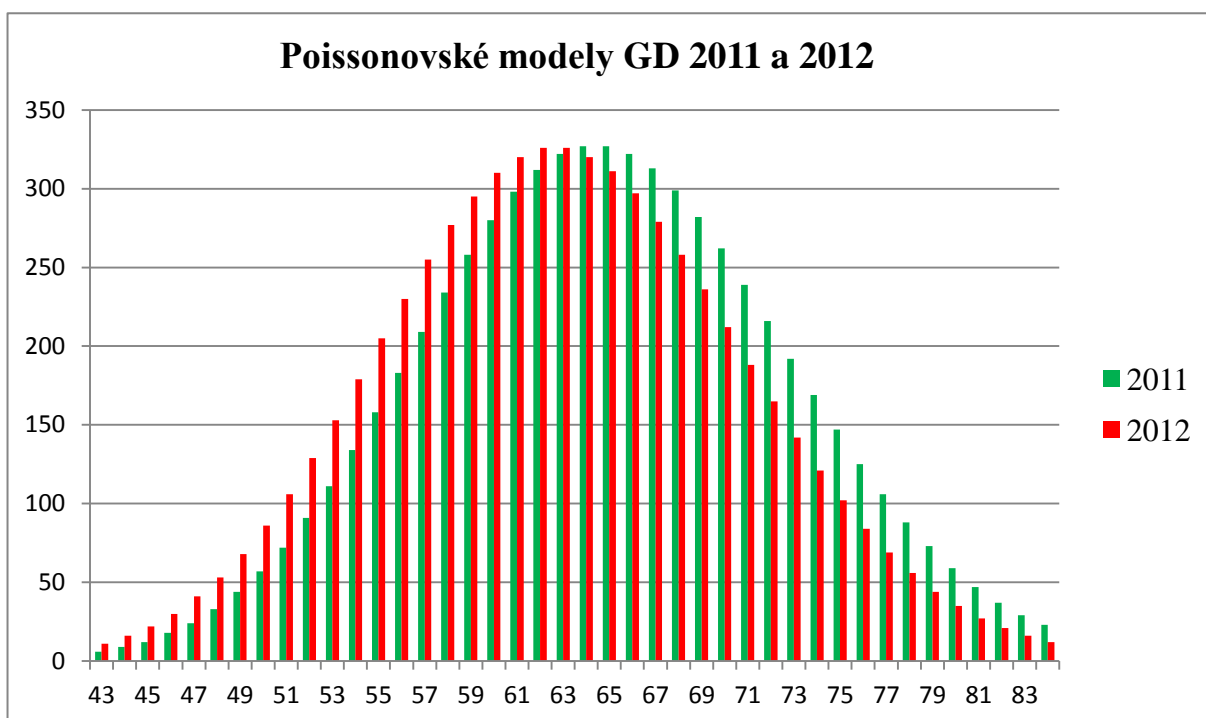


Obrázek č. 57 – Histogram hodinových toků po opravě na teplotu a přirozený logaritmus tlaku, Gymnázium Pardubice, rok 2012

$$m_1 = -0,54458 \text{ a } m_2 = -484,64$$

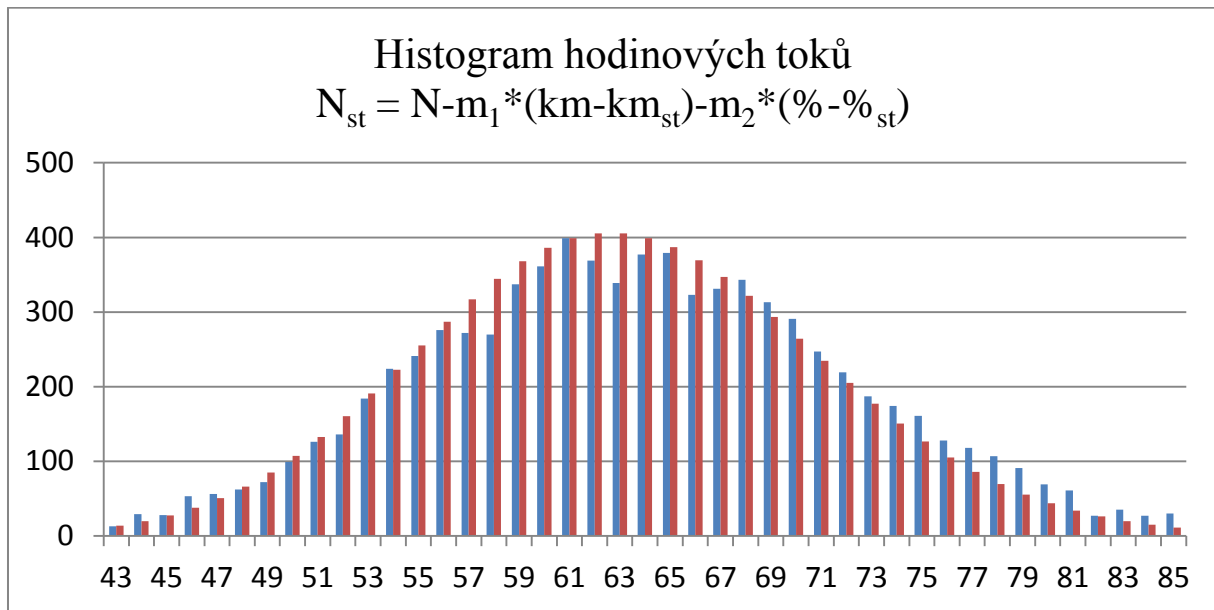


Obrázek č. 58 – Porovnání 2 let (2011, 2012) naměřených dat



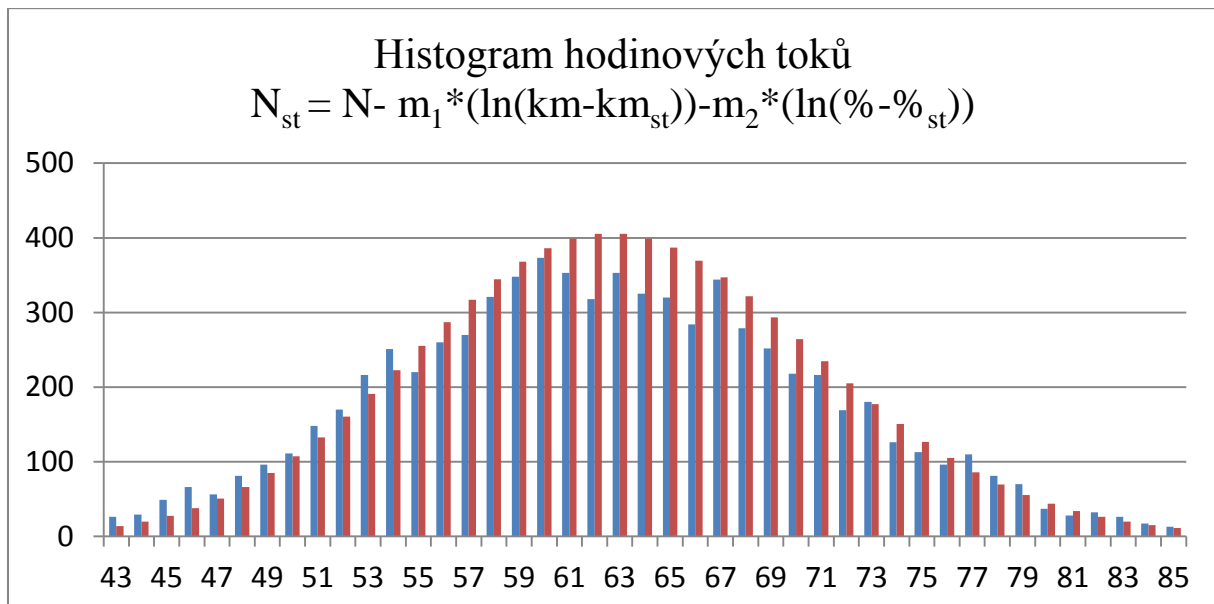
Obrázek č. 59 – Porovnání 2 let (2011,2012) teoretických/ matematických modelů

#### 7.4.5 Korekce na viditelnost a relativní vlhkost I.



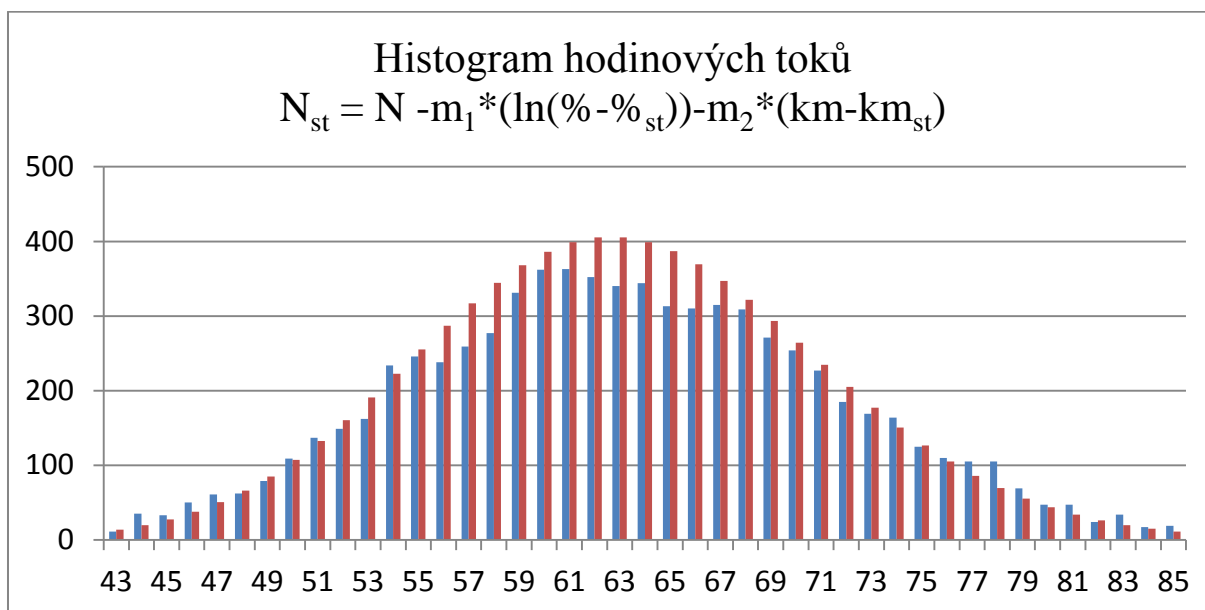
Obrázek č. 60 – Korekce na viditelnost (km) a relativní vlhkost (%)  
 (na ose x: Hodinový tok /h<sup>-1</sup> a na ose y: Četnost)  
 $m_1 = 0,60722$  a  $m_2 = -0,11618$

#### 7.4.6 Korekce na přirozený logaritmus viditelnosti a přirozený logaritmus relativní vlhkosti



Obrázek č. 61 – Korekce na viditelnost (km) a relativní vlhkost (%)  
 (na ose x: Hodinový tok /h<sup>-1</sup> a na ose y: Četnost)  
 $m_1 = 0,541246738$  a  $m_2 = -0,24315012$

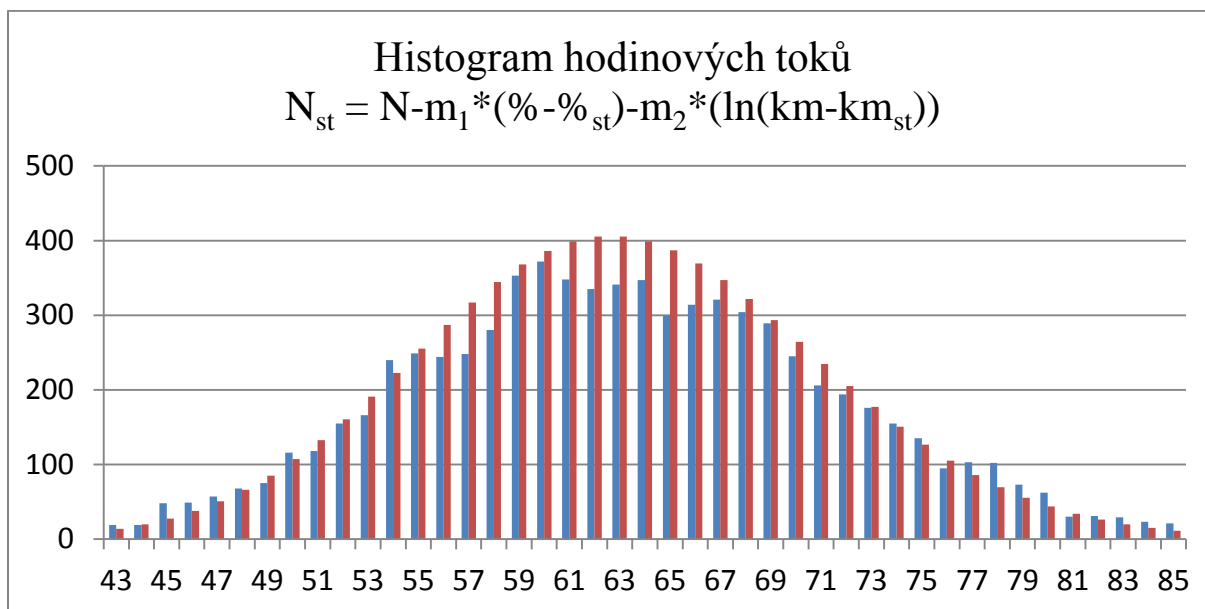
### 7.4.7 Korekce na viditelnost a přirozený logaritmus relativní vlhkosti



Obrázek č. 62 – Korekce na viditelnost (km) a relativní vlhkost (%)  
 (na ose x: Hodinový tok  $/h^{-1}$  a na ose y: Četnost)  
 $m_1 = -0,29417$  a  $m_2 = -0,13049$

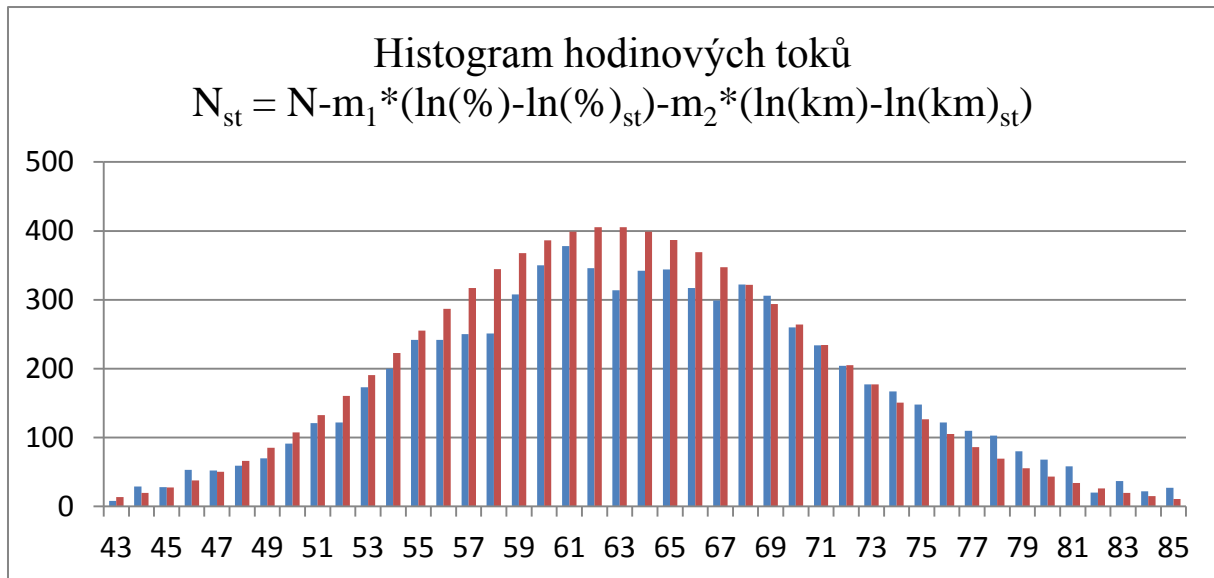
Tato oprava na viditelnost a relativní vlhkost se nakonec ukázala jako nejlepší.

### 7.4.8 Korekce na přirozený logaritmus viditelnosti a relativní vlhkost



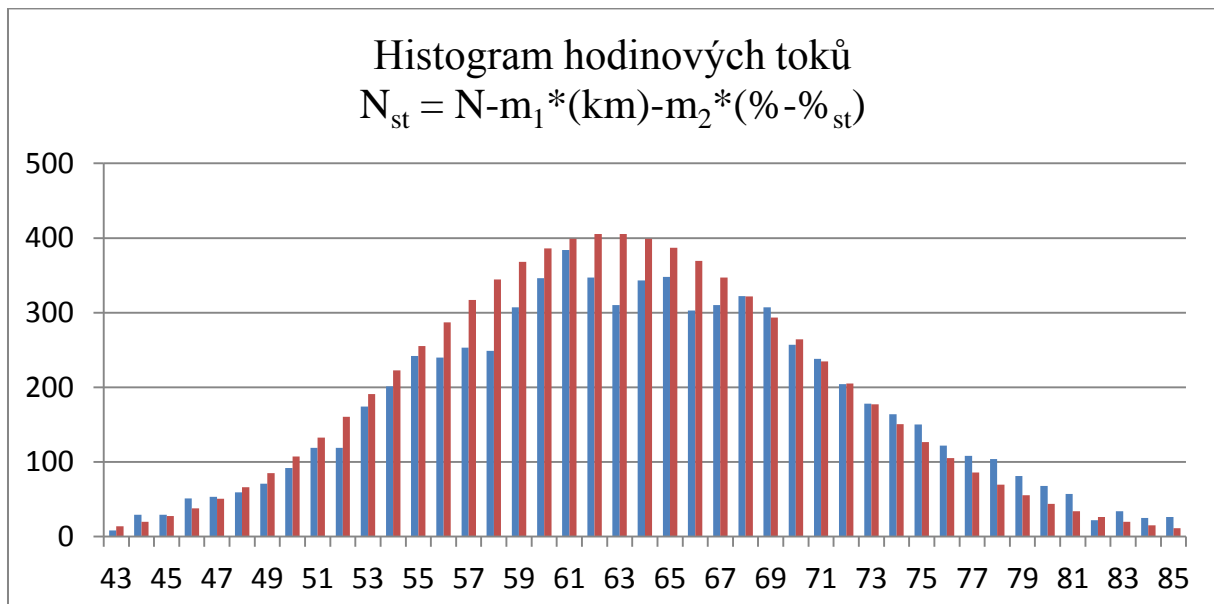
Obrázek č. 63 – Korekce na viditelnost (km) a relativní vlhkost (%)  
 (na ose x: Hodinový tok  $/h^{-1}$  a na ose y: Četnost)  
 $m_1 = 2,005591$  a  $m_2 = 0,385617$

**7.4.9 Korekce na rozdíl přirozeného logaritmu viditelnosti a standardní viditelnosti a rozdíl přirozeného logaritmu relativní vlhkosti a standardní relativní vlhkosti**



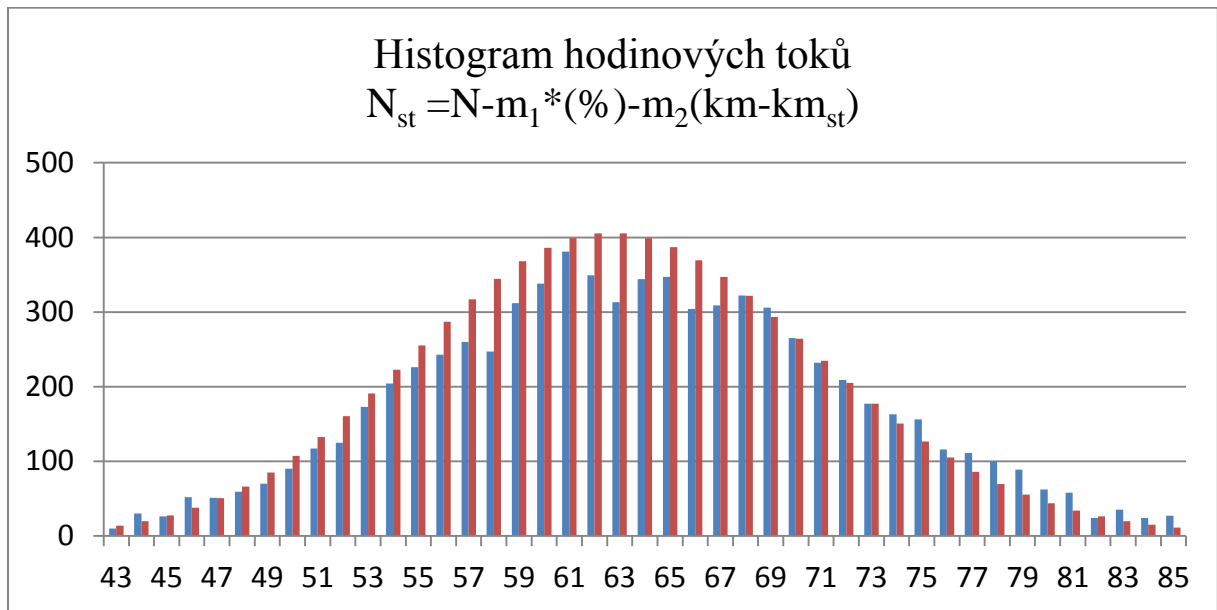
Obrázek č. 64 – Korekce na viditelnost (km) a relativní vlhkost (%)  
 (na ose x: Hodinový tok /h<sup>-1</sup> a na ose y: Četnost)  
 $m_1 = 0,019109$  a  $m_2 = 0,030754$

**7.4.10 Korekce na viditelnost a relativní vlhkost II.**



Obrázek č. 65 – Korekce na viditelnost (km) a relativní vlhkost (%)  
 (na ose x: Hodinový tok /h<sup>-1</sup> a na ose y: Četnost)  
 $m_1 = 0,020838$  a  $m_2 = 0$

### 7.4.11 Korekce na viditelnost a relativní vlhkost III.



Obrázek č. 66 – Korekce na viditelnost (km) a relativní vlhkost (%)  
(na ose x: Hodinový tok /h<sup>-1</sup> a na ose y: Četnost)  
 $m_1 = -0,00615$  a  $m_2 = 0$

Od kapitoly 7.4.5 do 7.4.11 jsou všechna použitá data z roku 2012 ze stanice Gymnázium Pardubice.

## 8. Závěr

Studiem dat ze stanic CZELTA jsem se zabývala přibližně dva roky a nyní již datům rozumím podstatně lépe než na začátku svojí práce.

Zaměřila jsem se na veličinu hodinový tok, která je veličinou náhodnou, a snažila jsem se najít rozdělení, jakým se řídí. Při analýze dat jsem se snažila odhalit jaké meteorologické veličiny či veličiny související s měřicí aparaturou ovlivňují hodinový tok.

Pro potřeby analýzy jsem studovala pravděpodobnost a meteorologii, vznikl program, který z dat počítá hodinové toky a k hodinovým tokům umím přiřadit meteodata z letišť blízkých ke stanicím CZELTA.

Pro stanicí CZELTA na Gymnáziu Pardubice jsem sestrojila roční histogramy meteodat a grafy závislosti hodinového toku na různých meteorologických veličinách.

Dospěla jsem k těmto závěrům ohledně meteorologie:

- Z obr. č. 29 je krásně viditelná klesající tendence. To znamená, že při vyšší teplotě detektorů, která je přímo úměrná venkovní teplotě vzduchu, stanice detekuje méně částic. Teplota by ovlivňovala účinnost stanice. Když se podíváme na obr. 7, je vidět, že v letních měsících měla stanice výpadek – neměřila. To by mohlo znamenat, že při vyšší teplotě detektorů má stanice problémy s přehříváním a dochází k výpadkům měření.
- Z obr. č. 31 je vidět klesající tendence závislosti hodinového toku na tlaku vzduchu. To znamená, že při vyšším tlaku „chodí“ méně částic. Vysvětlení by mohlo být následovné: Vyšší hustota vzduchu – více částic a přilétající částice sekundárního kosmického záření mají problém se mezi takovým množstvím částic vzduchu „prodrat“ až k Zemi. Částice z vesmíru mohou interagovat či zanikat a nemusí vždy dopadnout na detektor.
- Z obr. č. 33 je vidět klesající závislost. To znamená, že při vyšší teplotě vzduchu přichází méně částic. Proč? Zde se naskytá možnost využít vlnové vlastnosti částic. Částice vzduchu při nižší teplotě mají menší amplitudu – výchylku a naopak. Z toho vyplývá, že když se vyšší teplota, částice vzduchu mají větší výchylky a přicházející vlny (částice sekundárního kosmického záření) mají problém projít tak, aby nezareagovaly či nezanikly.
- Z obr. č. 35 by se mohla jevit mírně rostoucí tendence. To by mohlo znamenat, že drobné částičky vody či molekuly vody s částicemi sekundárního kosmického záření reagují a díky interakcím se nepohlcují, ale vytváří hustší spršku záření.
- Z obr. č. 37 je vidět mírně klesající tendence. Proč? Vysvětlení by mohlo být následující: Jestliže jsou mraky vysoko, pohltní vznikající „malý“ kužel sekundárního kosmického záření a tedy nemůže vzniknout kužel, který by mohl přijít až k povrchu Země, k detektorům. Naopak, když jsou mraky nízko, vzniklý kužel sekundárního kosmického záření je už dostatečně veliký a i při drobném pohlcení částic mrakem jich je stále dost, aby mohly zasáhnout detektor.



- Z obr. č. 39 je krásně viditelné, že při některých typech mraků „chodí“ více částic. To jaké jsou typy, vychází z obr. č. 38, z histogramu. Vysvětlení může souviset s výškou mraků (viz. str. 62), nebo jejich složením – vodní kapičky, krystalky ledu, ...
- Z obr. č. 41 je patná klesající tendence. Dalo by se říci, že rosný bod souvisí s teplotou. Tudíž by i vysvětlení mohlo být podobné.
- Z obr. č. 43 vyplývá klesající tendence. Mohlo by to znamenat, že když je úhrn srážek větší, částic „přilétá“ méně. Kapky vody by mohly pohlcovat částice sekundárního kosmického záření.
- Z obr. č. 45 je patná mírně klesající tendence. To by mohlo mít stejné vysvětlení, jako rostoucí závislost u relativní vlhkosti. Jestliže je viditelnost špatná /nízká, ve vzduchu můžou být částičky prachu, smogu, ... Částice sekundárního kosmického záření by mohly s těmito částičkami interagovat a „vytvořit“ více větších spršek, které zasáhnou všechny tři detektory.

Usoudila jsem, že nejvýraznější je závislost na teplotě detektorů a na atmosférickém tlaku. Provedla jsem několik lineárních regresí pro teplotu detektorů a tlak. Jako nejlepší se jeví lineární regrese obou proměnných – teplota detektorů a přirozený logaritmus tlaku. Ze získaných parametrů jsem provedla korekci hodinových toků na tyto dvě veličiny a histogram korigovaných toků porovnála s histogramem Poissonova rozdělení. Shoda histogramů je výrazně lepší než bez korekce.

Dále jsem našla ještě jednu opravu. Již z opravených dat na tlak a teplotu detektorů jsem ji ještě dále upravila na viditelnost a relativní vlhkost, viz kapitola 7.4.7.

Všechny výsledky jsou zpracovány do grafů a tabulek, které uvádím ve své práci. Ale jelikož je dat hodně a já mám krom stanice Gymnázium Pardubice zpracované i jiné stanice, které se mi sem už nevejdou, tak je uvedu ve své prezentaci.

Svojí prací jsem přispěla k „odfiltrování“ vlivu atmosféry.

## 9. Zdroje informací

- [1] Bruce Buckley, Edward J. Hopkins, Richard Whitaker, Velký obrazový průvodce počasí. 1. vyd. Dobřejovice: Rebo Productions CZ, spol. s. r. o., 2006. ISBN 80- 7234-552-4
- [2] dr. Juliane L. Fry, dr. Hans-F Graf, dr. Richard Grotjahn, dr. Marilyn N. Raphael, dr. Clive Saunders, Richard Whitaker, Velká encyklopedie počasí a změna klimatu, souhrnný obrazový průvodce. První české vydání. Praha: Svojtka a Co., s. r. o., 2012. ISBN 978-80-256-0707-7
- [3] Emanuel Strnad, Předpovídáme si počasí. Vydání první. Nakladatelství Viener, 1996. ISBN 80-901476-9-0
- [4] Günter D. Roth, Malá encyklopedie počasí, Jak porozumět počasí a meteorologickým předpovědím. Vydání první. Praha: Euromedia Group k. s. – Knižní klub, 2000. ISBN 80-242-0228-X
- [5] Jaroslav Kopáček, Jan Bednář, Jak vzniká počasí. Vydání první. Praha: Nakladatelství Karolinum, 2005. ISBN 80-246-1002-7
- [6] Daniela Řezáčová, Petr Novák, Marek Kašpar, Martin Setvák, Fyzika oblaků a srážek. Vydání 1. Praha: Nakladatelství Academia, 2007. ISBN 978-80-200-1505-1
- [7] Czelta sites management [online]. [cit. 2013-02]. Dostupný z WWW: <czelta.utef.cvut.cz >
- [8] Mapy.cz [online]. 2013 [cit. 2012-11-24]. Dostupný z WWW: <www.mapy.cz >
- [9] Wolfram Alpha LLC-A Wolfram Research Company [online]. 2013 [cit. 2012-05-26]. Dostupný na WWW: <www.wolframalpha.com>
- [10] SVĚTVĚDY.CZ [online]. 2013 [cit. 2012-03-20]. Dostupný na WWW: < http://svetvedy.cz/cihana-na-exoticke-castice/>
- [11] ČVUT [online]. 2005 [cit. 2012-03-15]. Dostupný na WWW: <http://www.cvut.cz/zajemci-o-studium/jak-to-vidi-studenti/a-zved/alias.2007-07-17.7501594369>
- [12] ALDEBARAN BULLETIN [online]. 2005 [cit. 2012-03-17]. Dostupný na WWW: <http://www.aldebaran.cz/bulletin/2005\_16\_ray.php>