



Fakulta elektrotechnická
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Analýza využitelnosti optických senzorů v systému pro zjištění orientace
pikosatelitu PilsenCUBE

Autor práce: Bc. Jan Karel
Vedoucí práce: Ing. Ivo Veřtát, Ph.D.

Plzeň 2013

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan KAREL**
Osobní číslo: **E11N0074P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Telekomunikační a multimediální systémy**
Název tématu: **Analýza využitelnosti optických senzorů v systému pro zjištění orientace pikosatelitu PilsenCUBE**
Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

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

1. Proveďte rozbor záření Země a Slunce využitelného detektory pikosatelitu.
2. V Matlabu simulujte výstupní úrovně signálů jednotlivých detektorů (UV, viditelné spektrum, infra) při libovolném natočení vůči Slunci, zastíněné Zemi a ozářené Zemi.
3. Připravte algoritmus pro vyhodnocení natočení pikosatelitu vůči Zemi z údajů optických senzorů.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ivo Veřtát, Ph.D.

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Konzultant diplomové práce:

Ing. Ivo Veřtát, Ph.D.

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání diplomové práce: 15. října 2012


Termín odevzdání diplomové práce: 9. května 2013



Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan



L.S.



Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Abstrakt

Diplomová práce pojednává o možnostech využití detektorů záření ve viditelném, ultrafialovém a infračerveném pásmu vlnových délek, k určení prostorové orientace pikosatelitu PilsenCUBE. Součástí je šumová analýza jednotlivých detektorů EPD 365, BPW-21 a TPS 230 v jejich předpokládaném zapojení s předzesilovačem LTC6079. Dále práce obsahuje teorii o využitelnosti detektorů k určení prostorové orientace a odpovídající algoritmus v programovém prostředí MATLAB.

Klíčová slova

Prostorová orientace satelitu, pikosatelit, PilsenCUBE, určování polohy, albedo.

Abstract

Karel, Jan. *Usability analysis of optical sensors for PilsenCUBE picosatellite attitude determination system* [*Analýza využitelnosti optických senzorů v systému pro zjištění orientace pikosatelitu PilsenCUBE*]. Pilsen, 2013. Master thesis (in Czech). University of West Bohemia. Faculty of Electrical Engineering. Department of Applied Electronics and Telecommunications. Supervisor: Ivo Veřtát

The master thesis is deal with possibilities of detectors usability to determine the Earth and Sun position. The part of diploma thesis contains the noise analysis of detector visible radiation (BPW-21), UV radiation (EPD 365) and IR radiation (TPS 230) in their predicted involvement. Further the work contains the theory about determination spatial orientation and appropriate algorithm in MATLAB.

Keywords

Dimensional orientation of satellite, attitude determination, picosatellite, PilsenCUBE, albedo.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem svou závěrečnou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 270 trestního zákona č. 40/2009 Sb.

Také prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 8. května 2013

Bc. Jan Karel

.....

Podpis

Poděkování

Tato práce vznikla za podpory studentské grantové soutěže SGS-2012-019 (Moderní řešení elektronických řídicích a informačních systémů) a za podpory výstupů projektu GA 102/09/0455 (Energeticky úsporná platforma pro experimentální výzkum na bázi pikosatelitů).

Obsah

Seznam obrázků	viii
Seznam tabulek	ix
Seznam symbolů a zkratek	x
1 Úvod	1
2 Slunce a Země jako zdroje záření	3
3 Detektory záření na PilsenCUBE	7
3.1 Obecné vlastnosti senzorů záření	7
3.2 Výpočty výstupních proudů ze senzorů EPD a BPW	8
4 Šumová analýza detektorů záření	12
4.1 Manuální výpočet	12
4.2 Šumová analýza v programu LTspice IV	14
5 Princip určování prostorové orientace PilsenCUBE	17
5.1 Způsoby ozáření satelitu	17
5.2 Rozlišení slunečního záření od záření zemského	19
5.3 Teoretický postup určení prostorové orientace	20
5.3.1 Definice stran satelitu a výchozího bodu	20
5.3.2 Stanovení azimutu a elevace	21
5.3.3 Rozdělení ozáření stran podle senzoru TPS	24
5.3.4 Kvantování	25
5.3.5 LUT	26
6 Azimut a elevace v MATLABu	27
7 Budoucí práce	41
8 Závěr	42
Reference, použitá literatura	44

Přílohy	45
A Obrázky	45
A.1 Vyzařování absolutně černého tělesa	45
A.2 Výsledek šumové analýzy senzoru EPD	46
A.3 Výsledek šumové analýzy senzoru BPW	47
A.4 Výsledek šumové analýzy senzoru TPS	48
B Datasheety	49
B.1 Datasheet TPS 230/3365	49
B.2 Datasheet EPD-365-0-1.4	57
B.3 Datasheet BPW 21	59
C Tabulky	63
C.1 Výstupní hodnoty proudů ze senzorů EPD a BPW	63
C.2 Tabulky SNR	64
C.3 Výtazek z LUT tabulky	65
D Skripty	66
D.1 Skripty SNR	66
D.1.1 SNR EPD Albedo - NEP	66
D.1.2 SNR EPD Albedo - 2 impedance	66
D.1.3 SNR EPD Sun - 2 impedance	67
D.1.4 SNR EPD Sun - NEP	67
D.1.5 SNR BPW Albedo	68
D.1.6 SNR BPW Sun	68
D.1.7 SNR TPS - 0°	69
D.1.8 SNR TPS - 35°	69
D.2 Detekovatelná teplota Země senzorem TPS	70
D.3 Detekovatelná teplota Slunce senzorem TPS	70
D.4 Detekovatelná teplota senzorem TPS podle úhlu ozáření	71
D.5 Určení elevace a azimutu	71
D.6 Kvantovací funkce	86
D.6.1 Funkce pro kvantování proudu Iepdalbedo	86
D.6.2 Funkce pro kvantování proudu Iepdsun	88
D.6.3 Funkce pro kvantování proudu Ibpwalbedo	89
D.6.4 Funkce pro kvantování proudu Ibpwsun	90
D.6.5 Funkce pro kvantování sledované teploty	91
E Vývojové diagramy	93
E.1 Určení azimutu a elevace Země senzorem TPS	93
E.2 Určení azimutu a elevace Země i Slunce senzorem EPD (respektive BPW)	94

E.3 Definování chyby určení polohy Slunce 95

Seznam obrázků

2.1	Dlouhodobé měření slunečního záření v průběhu let 1984 až 2004 [2]	4
2.2	Spektrum slunečního záření nad atmosférou [3]	5
2.3	Teoretické spektrum emise Země [1]	6
3.1	Ozáření senzorů EPD odrazem slunečního záření od Země [4]	9
3.2	Ozáření senzorů EPD ze Slunce [4]	9
3.3	Ozáření senzorů BPW odrazem slunečního záření od Země [4]	10
3.4	Ozáření senzorů BPW ze Slunce [4]	10
3.5	Interpolované výstupní napětí senzoru TPS v závislosti na snímané teplotě [4]	11
4.1	Předpokládané zapojení pro šumovou analýzu detektoru EPD	15
4.2	Předpokládané zapojení pro šumovou analýzu detektoru BPW	15
4.3	Předpokládané zapojení pro šumovou analýzu detektoru TPS	16
5.1	Možnosti ozáření satelitu bodovým zdrojem: Kolmé ozáření stěny A (vlevo nahoře), ozáření dvou stran A a B (vpravo), ozáření třech stran A, B a C(vlevo dole)	18
5.2	Závislost detekované teploty senzorem TPS na úhlu osvětlení od Země	20
5.3	Satelit ve sférickém souřadném systému při azimutu 225 a elevaci 45	21
5.4	Rotace satelitu při neměnném úhlu pozorování strany 2 úhlu β : Ozáření stran 1,2 a 5 úhly α , β a γ (nahore) - souřadnice $[\beta, \gamma]$, ozáření stran 2 a 5 úhly β a γ (vlevo dole) - souřadnice $[90, \gamma]$, ozáření stran 2,3 a 5 úhly β, α a γ (vpravo dole) - souřadnice $[180-\beta, \gamma]$	23
A.1	Vyzařování absolutně černého tělesa [1]	45
A.2	Výsledek šumové analýzy senzoru EPD	46
A.3	Výsledek šumové analýzy senzoru BPW	47
A.4	Výsledek šumové analýzy senzoru TPS	48
E.1	Určení azimutu a elevace Země senzorem TPS.	93
E.2	Určení azimutu a elevace Země i Slunce senzorem EPD (respektive BPW).	94
E.3	Definování chyby určení polohy Slunce.	95

Seznam tabulek

6.1	Výchozí definice unikátního vektoru.	28
C.1	Výstupní hodnoty proudů ze sensorů EPD a BPW podle úhlu ozáření. . .	63
C.2	Tabulky SNR podle úhlu ozáření.	64
C.3	LUT tabulka pro určení elevace.	65

Seznam symbolů a zkratek

AU	Astronomical Unit. Astronomická jednotka.
ACRIM	Active Cavity Radiometer Irradiance Monitor. Monitorování záření aktivním dutinovým radiometrem.
ERBE	Earth Radiation Budget Experiment. Experiment pro stanovení energetické bilance Země z hlediska příchozího a odchozího záření.
UV	Ultra Violet. Ultrafialový.
IR	Infrared. Infračervený.
AM0	Air Mass Zero. Standardizované spektrum Slunečního záření v blízkosti Země bez uvažování vlivu atmosféry.
A/D	Analog/Digital. Analogový/číslicový.
GBW	GainBandWidth. Šířka pásma zesilovače při jednotkovém zisku.
BW	BandWidth. Šířka pásma.
SNR	Signal to Noise Ratio. Odstup signálu od šumu.
LUT	Look Up Table. Vyhledávací tabulka.

1

Úvod

Kategorie pikosatelitů CubeSat má velice přísné nároky na hmotnost celkové konstrukce. Váhové omezení 1,33 kg přináší dilema, jak rozložit jednotlivé subsystémy, proto je vždy volen kompromis mezi výkonem a váhou subsystému. Dalším omezením v případě kategorie satelitů CubeSat je omezený příkon, vyplývající z omezené plochy solárních článků. Rozložení jednotlivých subsystémů pikosatelitu se tedy plánuje na desetiny gramů i wattů.

Zjištění prostorové orientace běžných satelitů je řešeno několika možnými způsoby, například detektory horizontů či orientace podle rozložení hvězd. V případě kategorie CubeSat se však konvenční metody používané v běžných satelitních systémech nemohou uplatnit pro nadměrnou váhu, rozměry, spotřebu či v neposlední řadě cenu. Vzhledem k rozměrům satelitu nelze využívat antény s velkou směrovou orientací, a proto řízení prostorové orientace za účelem zvýšení zisku v přenosovém řetězci při spojení se zemí není zatíženo vyžadovanou vysokou přesností.

Cílem této práce je ověření využitelnosti trojice detektorů záření v pásmu ultrafialovém (UV), viditelném (Vis) a infračerveném (IR), umístěných na stěnách satelitu k tomu, aby se z jejich výstupních hodnot definovaných detekovaným zářením dala určit relativní poloha Země a Slunce vzhledem k pikosatelitu. To znamená vypočítat výstupní úrovně z jednotlivých detektorů při různých úhlech ozáření a odhadnout šumové poměry detektorů. V případě teoretické využitelnosti detektorů záření k určování polohy pak vytvořit algoritmus, který z měřených hodnot vyhodnotí azimut a elevaci Země a Slunce v pevném souřadném systému definovaném vůči tělesu pikosatelitu. Vytvořený algoritmus musí brát ohledy na maximální jednoduchost, aby tak minimálně zatěžoval procesor satelitu PilsenCUBE.

Práce je rozdělena do pěti kapitol. V první kapitole je uveden rozbor slunečního záření a jeho odrazu od Země. Současně je zde uvedena samotná emise Země v infračervené oblasti. Druhá kapitola se zabývá detektory záření, jež jsou umístěny na palubě pikosatelitu PilsenCUBE a výpočty výstupních hodnot podle úhlu ozáření. V kapitole tři je provedena šumová analýza jednotlivých detektorů v konkrétním zapojení, odpovídající předpokládanému zapojení. Čtvrtá kapitola nastiňuje myšlenku určení prostorové orientace a v poslední páté kapitole je částečně popsán algoritmus vytvořený v programovém

prostředí MATLAB. Není-li uvedeno jinak, jsou všechny popisované skripty z programového prostředí MATLAB.

2

Slunce a Země jako zdroje záření

Slunce zaujímá střed sluneční soustavy a ve vzdálenosti 1 AU (přibližně 150 milionů kilometrů) od Země je v Mléčné soustavě pro Zemi nejvýraznějším zdrojem záření. Záření tolik potřebná pro životní formy na Zemi, jako flóra produkující fotosyntézou kyslík, který naopak spotřebovává ostatní živočišná forma, ale i záření pro život na Zemi nebezpečná, například rentgenové, UV a gama záření, které jsou pohlcována zcela nebo částečně v atmosféře.

Slunce je obří plynová masa skládající se přibližně z 90 % vodíku a 10 % hélia. Ve středu Slunce, kde je teplota odhadována na 15 milionů kelvinů, dochází k samovolné termonukleární reakci, kdy se slučují atomy vodíku za vzniku atomů hélia. Zjednodušeně se čtyři atomy vodíku sloučí v jedno jádro hélia. Jedno jádro hélia má však nižší hmotnost než čtyři atomy vodíku. Tento hmotnostní úbytek představuje uvolnění energie. Energie uvolněná ve formě fotonů vytváří spektrum záření slunce od gama záření (10^{-5} μm) až po dlouhé radiové vlny (km). Rozdílné vlnové délky záření vznikají pohlcováním fotonů ostatními chemickými prvky Slunce, přičemž dochází k přechodu elektronu na vyšší energetickou hladinu. Jak konstatoval Planck, vyzařování energie není kontinuální, ale je definováno kvanty. Při absorbování fotonu dojde k navýšení kvanta a následné vyzáření fotonu probíhá na odlišné frekvenci, než měl foton dopadající. Toto se řídí Planckovou definicí, kdy změna kvanta je přímo úměrná vyzářené energii:

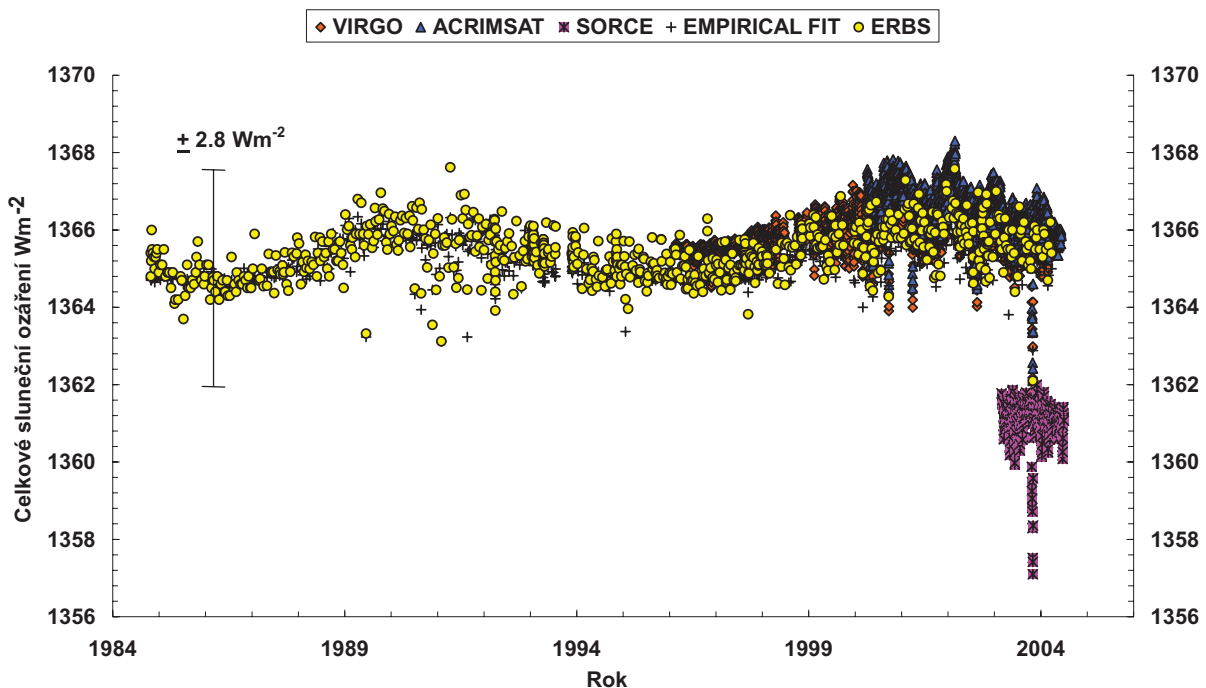
$$\Delta E = \Delta n h f \quad (2.1)$$

, kde h je Planckova konstanta, n kvantové číslo a f frekvence vyzářeného fotonu.

Planck dále definoval funkci pro hustotu vyzářené energie ze zdroje světla o určité frekvenci a teplotě. Z této funkce vychází intenzita absolutně černého tělesa jako funkce vlnové délky a teploty viz příloha A.1 [1]. Integrací Planckova zákona přes nekonečné spektrum vlnových délek získáme zákon Stefan-Boltzmanův, který vyjadřuje celkovou intenzitu záření absolutně černého tělesa. Na základě tohoto zákona a předpokládaného průměru Slunce lze získat efektivní teplotu Slunce ve fotosféře přibližně 5800 K.

V minulosti, kdy se sluneční záření měřilo pouze na zemském povrchu, byly tyto hodnoty ovlivněny útlumem a rozptylem v atmosféře, například rentgenové záření bylo po-

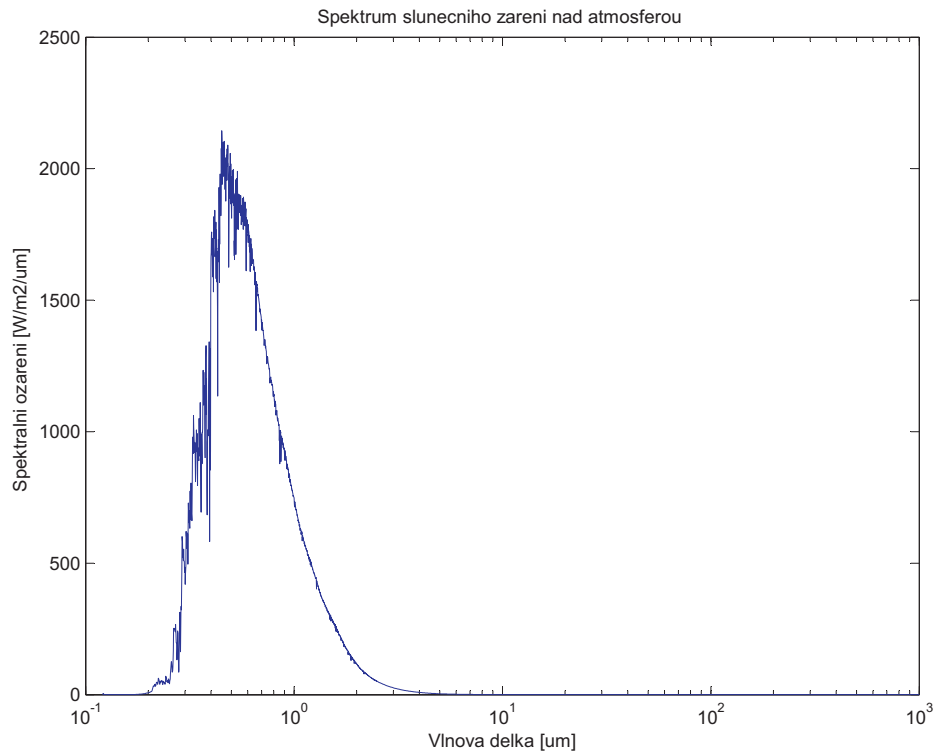
važováno za spojitě pozadí kosmu. Měření slunečního a kosmického záření prokázalo, že rentgenové záření pochází z milionů individuálních zdrojů ve vesmíru jakožto i od Slunce. Musely být proto vynalezeny metody měření kosmického záření nad atmosférou, což se podařilo až v roce 1978, kdy satelit Nimbus 7 poprvé vynesl na oběžnou dráhu elektricky kalibrovaný radiometr. V průběhu let přibývaly další mise s názvy Active Cavity Radiometer Irradiance Monitor 1 a 2 (ACRIM I, 1980; ACRIM II, 1991), Earth Radiation Budget Experiment (ERBE, 1984) a další. Na obrázku 2.1 jsou vyneseny naměřené hodnoty slunečního záření v průběhu let 1984 až 2004 [2]. Dlouhodobým měřením nad atmosférou bylo určeno průměrné celkové množství slunečního záření dopadající na Zemi 1366 Wm^{-2} s odchylkou $\pm 3 \text{ Wm}^{-2}$. Ze získaných dat je dále určeno rozložení slunečního spektra, zhruba 40 % tvoří viditelnou oblast, 50 % infračervenou a zbylých 10 % připadá na ultrafialové záření. Obrázek 2.2 vyjadřuje intenzitu slunečního záření v závislosti na jeho vlnové délce [3]. Je zde patrné, že pozorovaný průběh má tvar intenzity záření absolutně černého tělesa o teplotě 5800 K, což odpovídá efektivní teplotě Slunce.



Obr. 2.1: Dlouhodobé měření slunečního záření v průběhu let 1984 až 2004 [2]

Kromě slunečního spektra byly v již zmiňovaných vesmírných misích měřeny také hodnoty záření vyzařované samotnou Zemí. Velkou roli ve vyzařování Země a odrazu slunečního záření (takzvané albedo) hraje atmosféra Země. Oxid uhličitý, ozón, vodní páry a jiné plyny, které atmosféra obsahuje, neabsorbují a nerozptylují pouze sluneční záření, ale současně i záření, které do prostoru vyzařuje Země. Mraky, jakožto shluky vodních par, které pokrývají více než polovinu planety, mají velký význam v propustnosti záření. Vezmeme-li v úvahu situaci bez mraků, prochází atmosférou až 50 % slunečního záření, které je absorbováno a odráženo zemským povrchem. Existuje však mnoho modelů a

postupů pro výpočet přenosu záření skrze zemskou atmosféru v různých případech složení atmosféry a obsahu mraků. Tyto metody a modely jsou popsány v knize *An Introduction to Atmospheric Radiation* v kapitole 6 od doktora K. N. Liou. Jak již bylo řečeno, sluneční záření prostupující atmosférou je pohlcováno a rozptylováno. Záření, které pronikne až k zemskému povrchu, je také částečně pohlcováno a částečně odraženo zpět, kde na něj znovu působí vliv atmosféry. Ve výsledku se tedy sluneční záření odráží od atmosféry (tzv. atmosférický efekt) a současně i od Země. Ze zmíněných měření byla určena průměrná hodnota albedo 30-31 %.

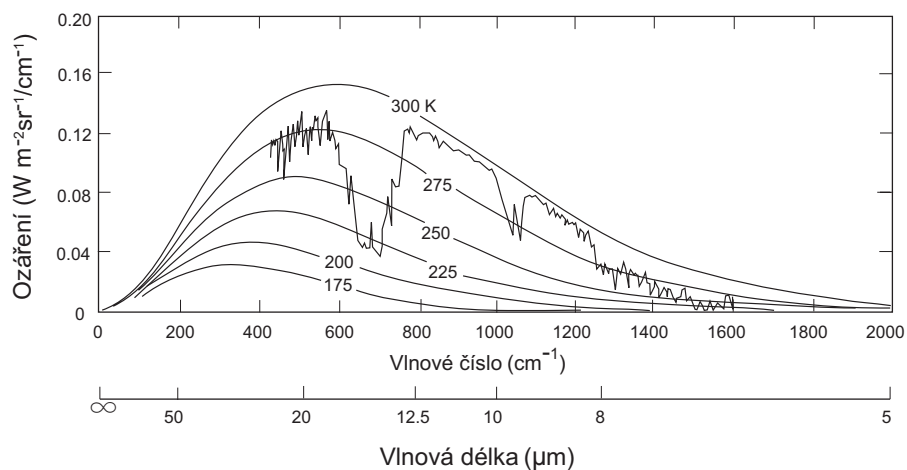


Obr. 2.2: Spektrum slunečního záření nad atmosférou [3]

Samotná emise záření Země je teoreticky dána Stefan-Boltzmanovým zákonem o vyzařování absolutně černého tělesa o teplotě 288 K, což odpovídá průměrné teplotě Země okolo 15 °C. Tyto hodnoty jsou zobrazeny na obrázku číslo 2.3 [1]. Vyzařování Země opět ovlivňuje atmosféra, a proto je skutečné spektrum vyzařované Zemí pozměněno podle absorpce a rozptylu v atmosféře. Část zemského záření je také odražena zpět k Zemi. Tento jev je znám jako skleníkový efekt a má za následek oteplování atmosféry.

Jestliže je viditelné spektrum v rozmezí přibližně 400 až 750 nm a na obrázcích 2.2 a 2.3 jsou vidět jasné maximální hodnoty intenzit záření kolem 0,5 μm u slunečního záření a odrazu od Země (dáno vysokou teplotou Slunce jako zdroje) a 10 μm u vlastní infračervené emise Země (dané její teplotou), lze snadno pochopit, proč se sluneční záření často nazývá krátkovlnné a záření od Země dlouhovlnné.

Pro další úvahy a výpočty jsou důležité především hodnoty intenzit slunečního a zem-



Obr. 2.3: Teoretické spektrum emise Země [1]

ského záření, efektivní teplota Slunce a průměrná teplota Země, na jejichž základě budou odvozeny výstupní úrovně signálů z detektorů těchto záření při různých úhlech ozáření pro využití v systému určení prostorové orientace pikosatelitu.

3

Detektory záření na PilsenCUBE

3.1 Obecné vlastnosti senzorů záření

Satelit PilsenCUBE má tvar krychle o délce strany přibližně 10 cm. Na každé stěně jsou umístěny solární články napájející celý systém satelitu a uprostřed každé z nich je umístěna trojice detektorů záření: detektor UV záření (EPD-365-0/1.4), detektor viditelného záření (BPW-21) a detektor infračerveného záření (TPS 230).

V katalogovém listu pro senzor TPS 230 využívaný pro vzdálené měření teploty se udává rozsah měřitelných teplot. Tepelné záření je z termodynamického hlediska přenos energie sáláním při libovolné vlnové délce, tedy v celém rozsahu elektromagnetického spektra. V užším smyslu se však tepelným zářením míní infračervené záření, které vydávají všechna teplá tělesa. Senzor TPS 230 lze využívat jako infračervený senzor, přes jehož čip je aplikován infračervený filtr. V podstatě se jedná o dvojici termočlánků. Jeden z termočlánků je ozářený a vytváří tak na svém výstupu napětí odpovídající zdroji ozáření a teplotě, kde je článek umístěn. Druhý termočlánek je neozářený a vytváří tak na svém výstupu pouze napětí odpovídající teplotě místa, ve kterém je termočlánek umístěn, čímž kompenzuje oteplení osvětleného článku. Výstupem ze senzoru TPS 230 je tedy napětí odpovídající teplotě pouze vyvolané zdrojem záření. V příloze B.1 je umístěn katalogový list, ve kterém je křivka výstupního napětí senzoru v závislosti na pozorované teplotě.

Detektory EPD a BPW jsou klasické fotodiody, jež vytvářejí stejnosměrný proud odpovídající dopadajícímu záření. Obě fotodiody jsou zapojeny ve fotovoltaickém režimu bez reverzního předpětí, které by způsobovalo proud za temna. Pro výpočet výstupních proudů jsou důležitými údaji spektrální citlivost detektorů, relativní citlivost v závislosti na úhlu ozáření a aktivní plocha detektoru. Tyto parametry jsou udány v katalogových listech jednotlivých senzorů v příloze B.2 a B.3. Dále jsou vyžadovány hodnoty intenzit záření pro jednotlivé spektrální složky. Tyto hodnoty jsou čerpány ze zdroje ASTM-E-490 [3], kde jsou uvedeny hodnoty záření pro AM0 (Air Mass Zero), tedy spektrální rozložení záření nad atmosférou zobrazené na obrázku 2.2.

3.2 Výpočty výstupních proudů ze senzorů EPD a BPW

Výpočty výstupních proudů detektorů EPD a BPW uvádí ve své diplomové práci Optical Attitude Determination Subsystem for PilsenCUBE Pico-Satellite Ing. Nagarjuna Rao Kandimala. Tabulky výsledných proudů jsou uvedené v příloze C.1 a C.2 [4]. Rovnice pro určení proudů jsou následující:

$$I_{SUN} = S_{real}(\varphi) \cdot ActiveArea \cdot \sum_{i=1}^n (PowerDensity(\lambda_i) \cdot SpectralSensitivity(\lambda_i) \cdot \Delta\lambda) \quad (3.1)$$

, kde I_{SUN} představuje výstupní proud z detektorů EPD a BPW při ozáření ze Slunce, $S_{rel}(\varphi)$ je relativní citlivost v závislosti na úhlu ozáření, $ActiveArea$ aktivní plocha detektoru (EPD – 1,2 mm², BPW – 7,5 mm²), $PowerDensity$ intenzita dopadajícího záření pro danou vlnovou délku z dat AM0, $SpectralSensitivity$ citlivost detektoru na danou vlnovou délku podle katalogového listu a $\Delta\lambda = \lambda_{i+1} - \lambda_i$,

$$I_{ALBEDO} = S_{mean}(\varphi) \cdot ActiveArea \cdot 0,3 \sum_{i=1}^n (PowerDensity(\lambda_i) \cdot SpectralSensitivity(\lambda_i) \cdot \Delta\lambda) \quad (3.2)$$

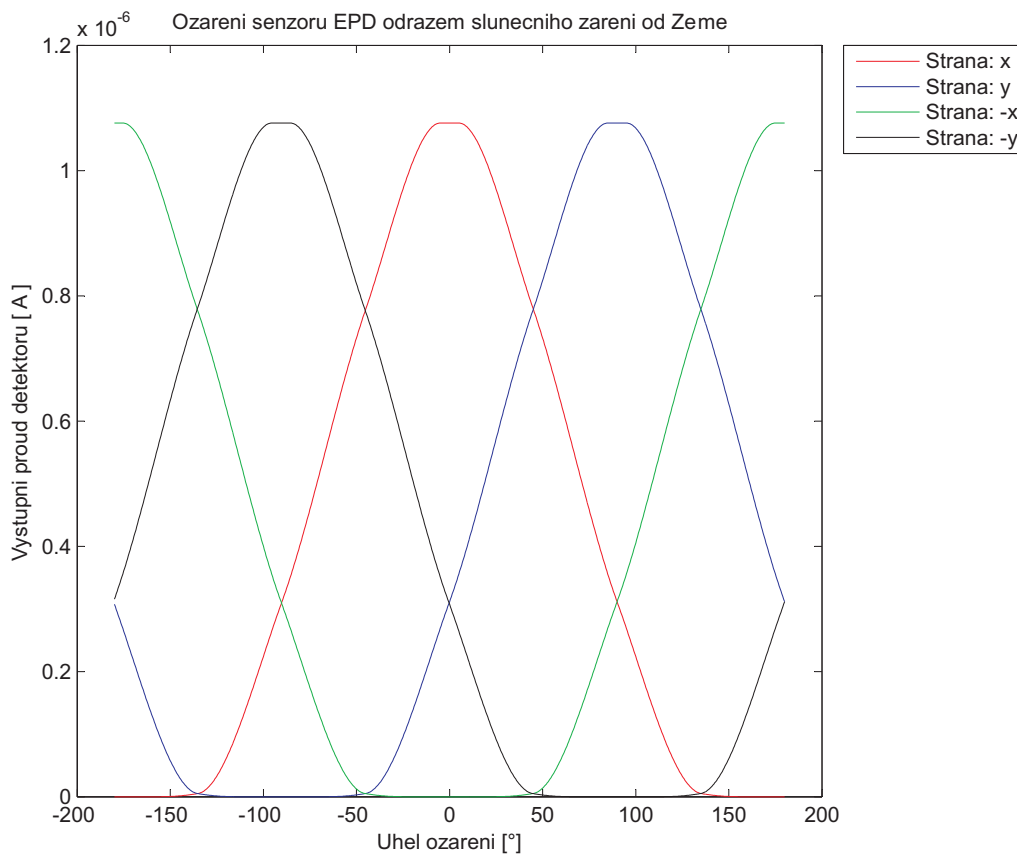
, kde I_{ALBEDO} reprezentuje výstupní proud z detektorů EPD a BPW při ozáření zemským povrchem, $S_{mean}(\varphi)$ představuje střední hodnotu ozáření detektoru podle úhlu natočení vůči Zemi, jelikož na rozdíl od Slunce Zemi pro svou relativně blízkou vzdálenost nemůžeme považovat za bodový zdroj záření. Hodnota 0,3 představuje 30% odrazivost slunečního záření od zemského povrchu. Teplota viditelná senzorem TPS:

$$T_{weighted} = \frac{T_{obj}}{WeightedSum} (SpectralSum(\varphi)) + \frac{T_{space}}{WeightedSum} (SpectralSum(\varphi)) \quad (3.3)$$

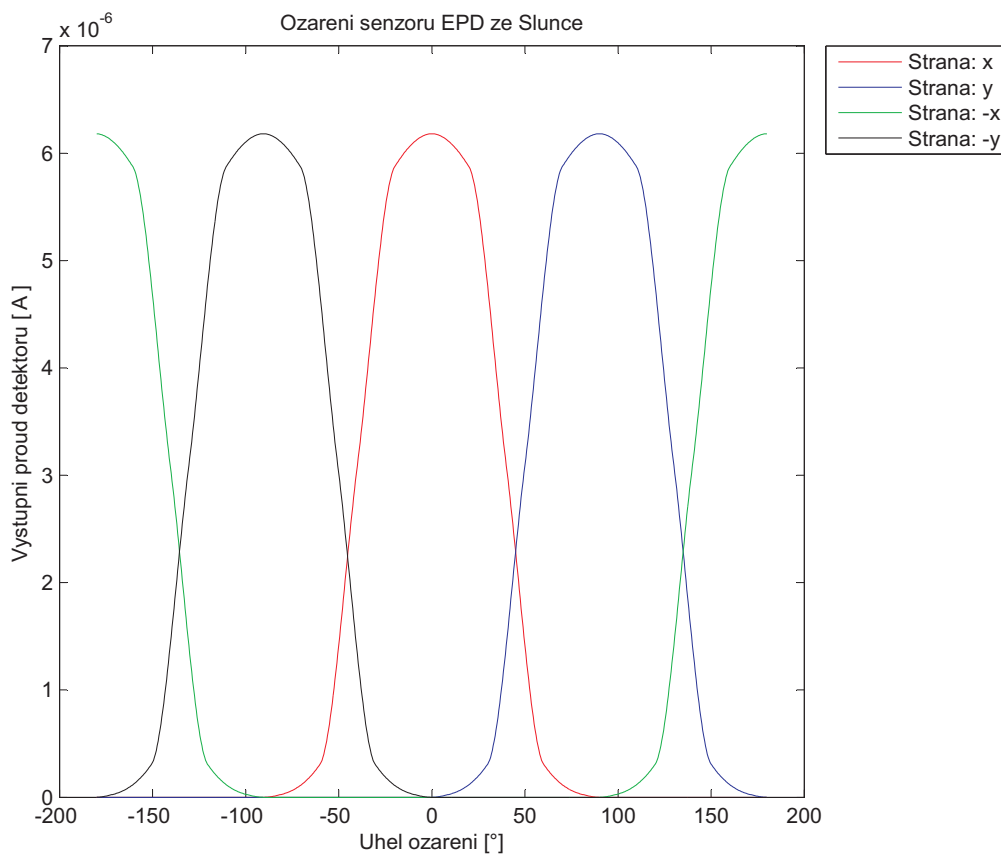
, kde $T_{weighted}$ je teplota, kterou detektor TPS detekuje, T_{obj} teplota snímaného objektu, $WeightedSum$ představuje sumu všech spektrálních citlivostí detektoru TPS, $SpectralSum(\varphi)$ sumu citlivostí přes které je viditelný sledovaný objekt ve vesmíru a T_{space} teplota okolního prostoru.

Na následujících obrázcích jsou výstupní proudy ze senzorů EPD a BPW při ozáření Sluncem a odrazem slunečního záření od Země v závislosti na úhlu ozáření. Graf závislosti viditelné teploty na úhlu ozáření senzoru TPS je umístěn v kapitole 5.2.

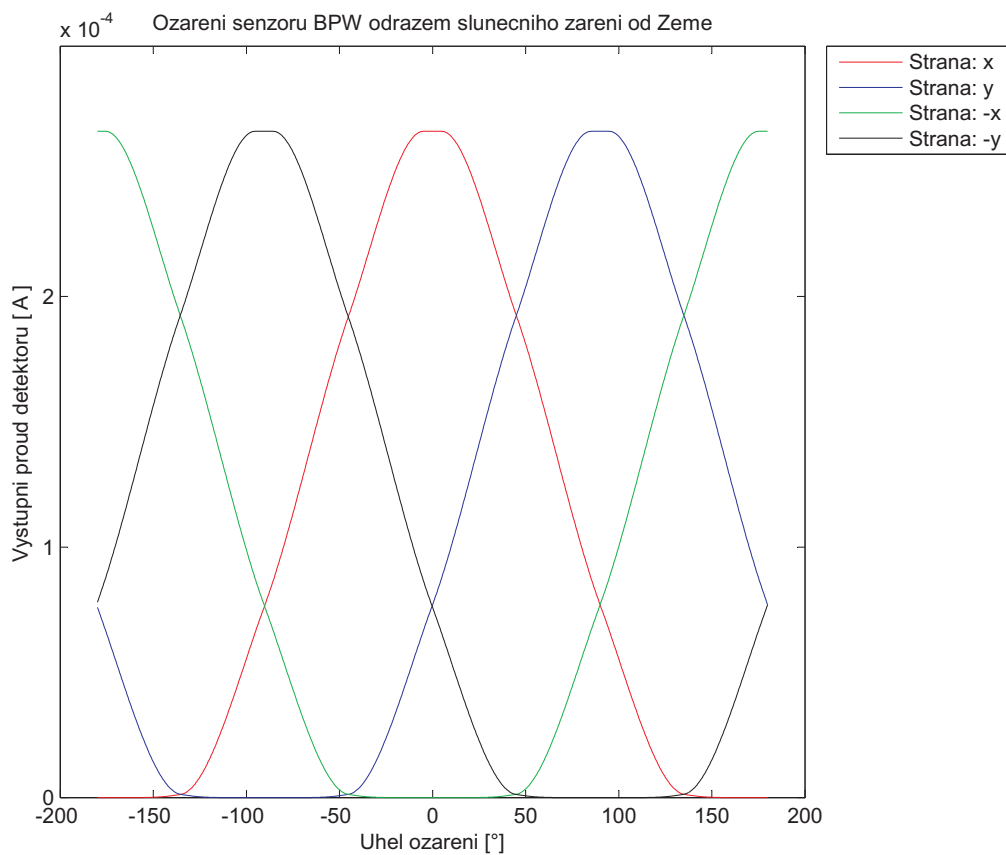
Pro odhad přesnosti měřeného úhlu ozáření podle výstupního proudu je zapotřebí provést šumovou analýzu.



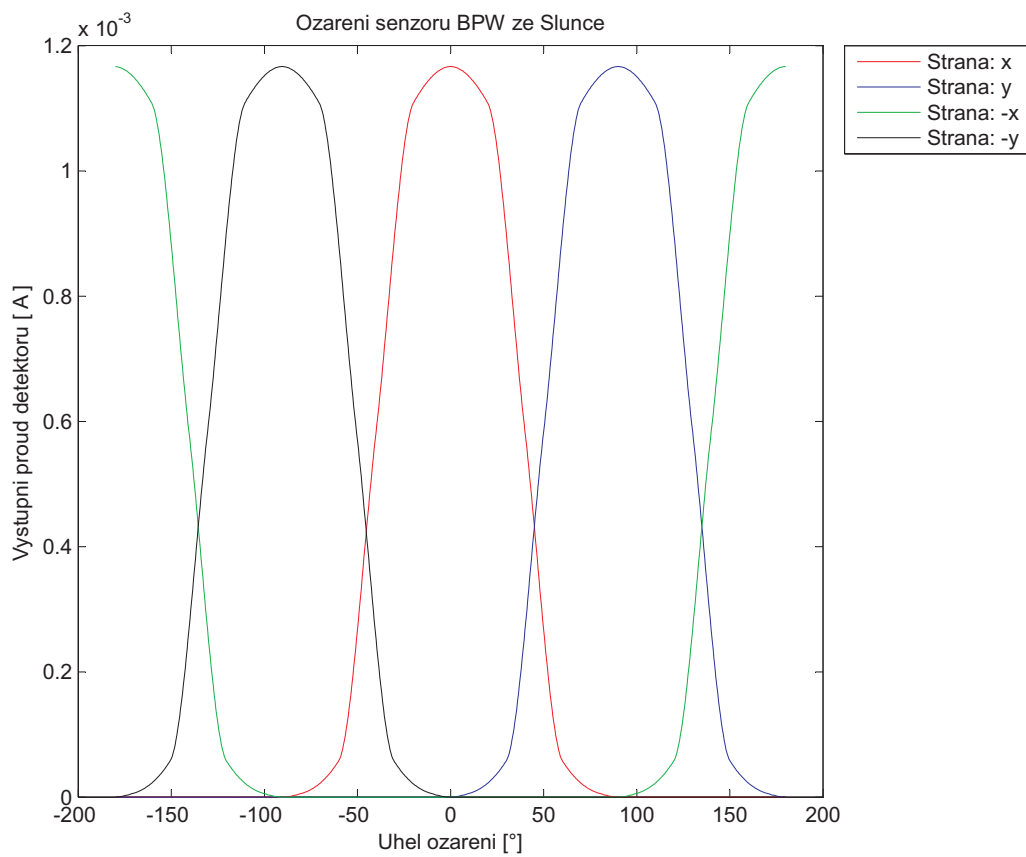
Obr. 3.1: Ozáření senzorů EPD odrazem slunečního záření od Země [4]



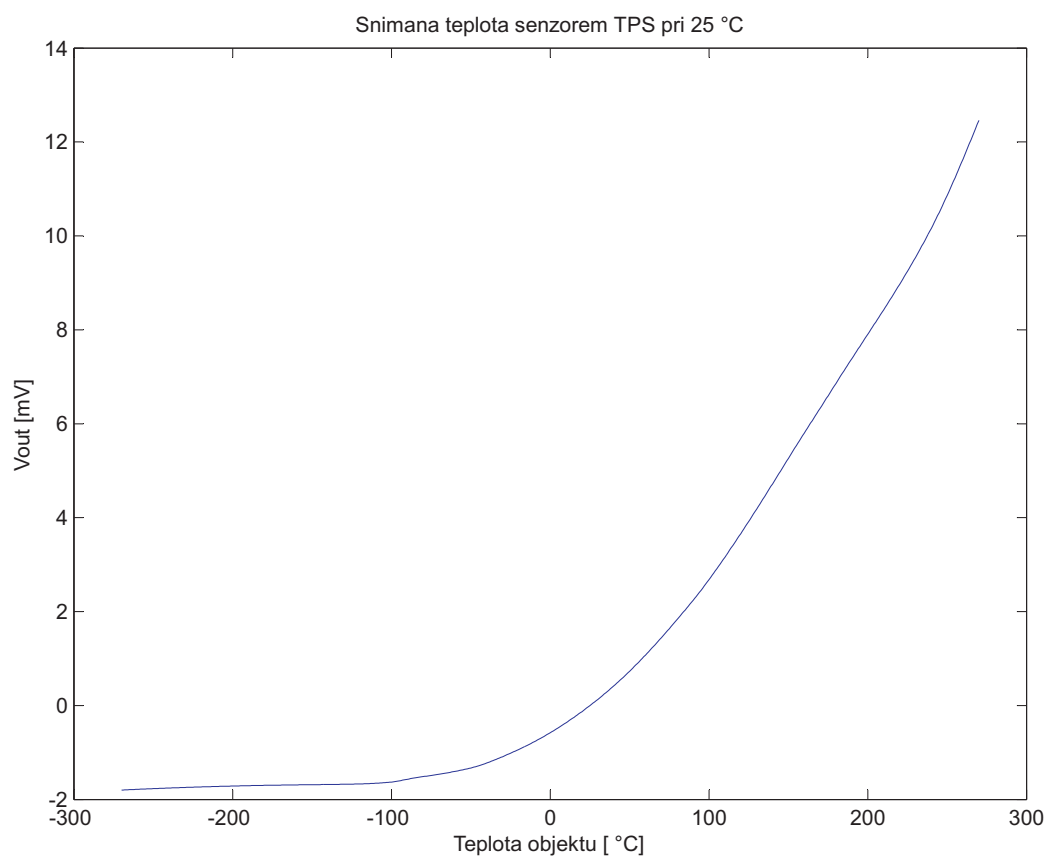
Obr. 3.2: Ozáření senzorů EPD ze Slunce [4]



Obr. 3.3: Ozáření senzorů BPW odrazem slunečního záření od Země [4]



Obr. 3.4: Ozáření senzorů BPW ze Slunce [4]



Obr. 3.5: Interpolované výstupní napětí senzoru TPS v závislosti na snímané teplotě [4]

4

Šumová analýza detektorů záření

4.1 Manuální výpočet

Tato část práce se zabývá šumovou analýzou detektorů záření jako takových v jejich bezprostředním zapojení (předzesilovač, A/D převodník). Účelem není získat přesnou analýzu šumů a jejich optimalizaci v rámci zapojení, ale ověřit, zda pro vysoké úhly ozáření detektoru (například 80° a více) nebude šum převyšovat velikost signálu, tedy bude-li dostatečný odstup signálu od šumu.

Jelikož A/D převodník ADUC842 neobsahuje antialiasingový filtr, omezení spektra závisí na zapojení předzesilovače. Všechny typy detektorů jsou vedeny na předzesilovač LTC6079 v zapojení neinvertujícího zesilovače. Z tohoto typu zapojení můžeme určit šířku propustného pásma, jestliže známe GBW (Gain Bandwidth). Z katalogového listu zesilovače LTC6079 byla získána hodnota GBW=360 kHz pro celý rozsah pracovních teplot.

Zisk neinvertujícího zesilovače:

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (4.1)$$

,kde G je zisk a R hodnoty odporů v zapojení.

Šířka propustného pásma zesilovače:

$$BW = \frac{GBW}{G} \quad (4.2)$$

,kde BW je šířka pásma.

Pro hodnoty odporů $R_1=100 \text{ k}\Omega$ a $R_2=330 \text{ k}\Omega$ v předpokládaném zapojení pro detektory EPD a BPW získáváme šířku pásma $BW=83721 \text{ Hz}$. Detektor TPS má rozdílnou hodnotu odporu R_1 a to $R_1=820 \text{ }\Omega$. Pro toto zapojení je tedy šířka pásma omezena na hodnotu $BW=892,3282 \text{ Hz}$.

Celková spektrální hustota výkonu šumu je dána jako součet dílčích šumových příspěvků:

$$U_{ntotal}^2 = U_b^2 + U_n^2 + U_{th}^2 + U_{nep}\sqrt{BW} \quad (4.3)$$

, kde U_b je napětí generované šumovým proudem I_b zesilovače na zatěžovacím odporu diody R_{in} , tedy:

$$U_b^2 = (I_b R_{in})^2 \quad (4.4)$$

U_n je šumové napětí zesilovače definované v katalogovém listu, U_{th} je napětí vyvolené termálním šumem odporu R_{in} , respektive střední kvadratická hodnota napětí na dvou rozdílných impedancích R_{in} a R_{sh} v případě senzoru EPD. U_{nep} je ekvivalentní spektrální hustota výkonu šumu senzoru a BW šířka pásma.

Příklad výpočtu pro senzor BPW zaměřující Zemi pod úhlem 0° (tj. kolmo na rovinu detektoru):

Z katalogových listů:

$I_b = 350 \text{ pA}$

$U_n = 18 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$

$U_{nep} = 7,2 \cdot 10^{-14} \text{ W}/\sqrt{\text{Hz}}$

Ze zapojení:

$R_{in} = 2200 \text{ } \Omega$

Z předchozích výpočtů:

$I_{sig} = 0,266 \text{ mA}$

$BW = 83721 \text{ Hz}$

$$U_{ntotal} = (I_b R_{in})^2 \quad (4.5)$$

$$U_{ntotal} = \sqrt{(I_b \cdot R_{in})^2 + (U_n \cdot \sqrt{BW})^2 + 4 \cdot k \cdot T \cdot BW \cdot R_{in} + U_{nep} \cdot \sqrt{BW}} \quad (4.6)$$

$$U_{ntotal} = \sqrt{(350 \cdot 10^{-12})^2 + (18 \cdot \sqrt{83721})^2 + 4 \cdot k \cdot 338,15 \cdot 83721 \cdot 2200 + 7,2 \cdot \sqrt{83721}} \quad (4.7)$$

$$U_{ntotal} = (7,21 \mu V) \quad (4.8)$$

, kde k je Boltzmanova konstanta ($k = (1,3806488 \pm 0,0000013) \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$) a T je teplota okolí, vychází se z nejhorších možných parametrů tedy kolem hodnoty $70 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$\begin{aligned} U_{sig} &= I_{sig} \cdot R_{in} \\ &= 0,000266 \cdot 2200 \\ &= (0,5852V) \end{aligned} \quad (4.9)$$

$$\begin{aligned}
SNR_{BPW,albedo} &= 20 \log \left(\frac{U_{sig}}{\frac{U_{ntotal}}{2}} \right) \\
&= 20 \log \left(\frac{0,5852}{\frac{7,21 \cdot 10^{-6}}{2}} \right) \\
&= 104,2 \text{ dB}
\end{aligned} \tag{4.10}$$

Výraz $\frac{U_{ntotal}}{2}$ představuje snížení hodnoty šumu v důsledku průměrování hodnot A/D převodníkem. Jestliže se průměrování provádí přes 16 vzorků a průměrováním se výkon šumu sníží o odmocninu z počtu vzorků, pak se hodnota výkonu šumu sníží čtyřikrát, což odpovídá polovině pro hodnotu napětí.

Z výpočtu SNR podle ekvivalentní spektrální hustoty výkonu šumu senzoru jsou vypočteny všechny hodnoty SNR pro všechny tři typy senzorů. U senzoru EPD je v katalogovém listu uvedena hodnota vnitřního odporu detektoru R_{shunt} , který klesá na polovinu s přírůstkem teploty o každých 10 °C. Pro ověření SNR byla u tohoto senzoru použita i metoda určení odstupů signálu od šumu z výpočtu šumového napětí na dvou rozdílných impedancích R_{sh} a R_{in} při rozdílných teplotách. U_{th} a U_{nep} je tak nahrazeno pouze:

$$U_{th} = \frac{4kB \left(\frac{T_1}{R_{sh}} + \frac{T_2}{R_{in}} \right)}{\left(\frac{1}{R_{sh}} + \frac{1}{R_{in}} \right)^2} \tag{4.11}$$

, kde R_{sh} je vnitřní odpor senzoru, R_{in} je zatěžovací odpor senzoru EPD, T_1 teplota na povrchu satelitu (předpokládaná teplota 0-70 °C), T_2 teplota uvnitř satelitu.

Z dosažených výsledků, které jsou zkompleťovány v příloze C.2 (tabulky vypočtených odstupů signálů od šumů pro senzory EPD a BPW), je možné konstatovat, že v případě neznámé ekvivalentní spektrální hustoty výkonu šumu senzoru je možné počítat šumové parametry ze znalosti vnitřního odporu senzoru při dané teplotě. Podrobné okomentované postupy výpočtů SNR v programu MATLAB jsou obsaženy v příloze D1.

4.2 Šumová analýza v programu LTspice IV

Z důvodu nedostupnosti modelu zesilovače LTC6079 pro jiné verze simulačních programů typu SPICE je šumová analýza prováděna v programu LTspice IV, což je vlastní simulační program firmy Linear Technology, která daný typ zesilovače vyrábí a ve vlastním softwaru mají zanesený jeho přesný model.

Simulace obvodu s následnou šumovou analýzou je prováděna na předpokládaném schématu zapojení. Náhradní obvody detektorů jsou vytvořeny pouze z jejich vnitřních odporů, které mají vliv na šumovou analýzu. V případě senzorů EPD a BPW je modelována kapacita 50 pF jako nejčastější hodnota kapacity PN přechodu u fotodiod. Na

obrázcích 4.1, 4.2 a 4.3 jsou uvedena předpokládaná schémata zapojení, ze kterých vychází šumová analýza. V příloze A.2, A.3 a A.4 jsou zobrazeny výsledky šumových analýz.

Výsledné hodnoty šumových napětí z šumových analýz jsou:

$$U_{nEPD}=37,685 \mu\text{V}$$

$$U_{nBPW}=37,685 \mu\text{V}$$

$$U_{nTPS}=12,193 \mu\text{V}$$

Výsledná šumová napětí z manuálních výpočtů jsou následovná:

Metodou dvou impedancí na rozdílných teplotách (známá hodnota R_{sh} pro EPD):

$$U_{nEPD}=37,529 \mu\text{V}$$

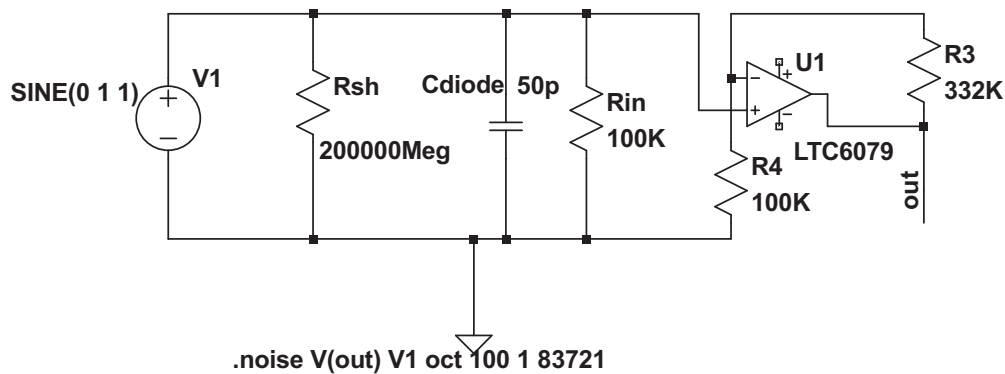
Metodou ekvivalentního spektrálního výkonu šumu:

$$U_{nEPD}=35,459 \mu\text{V}$$

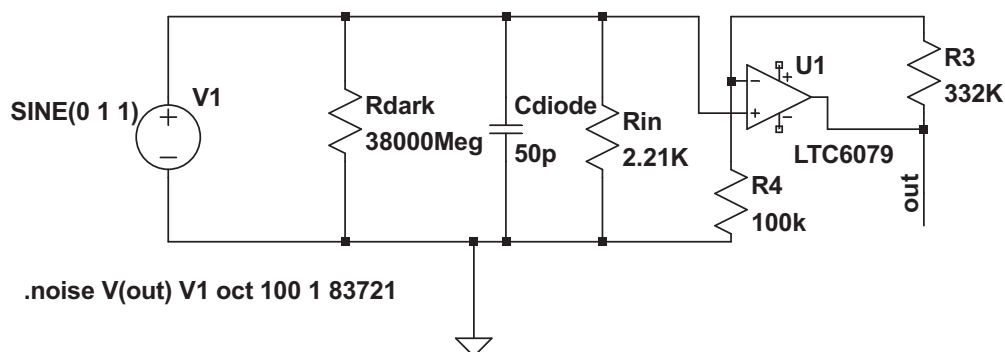
$$U_{nBPW}=7,21 \mu\text{V}$$

$$U_{nTPS}=8,3 \mu\text{V}$$

Poznámka: Ani na výsledcích ze šumové analýzy ani v manuálních výpočtech není aplikováno dělení dvěma pro snížení šumu vlivem průměrování převodníku.

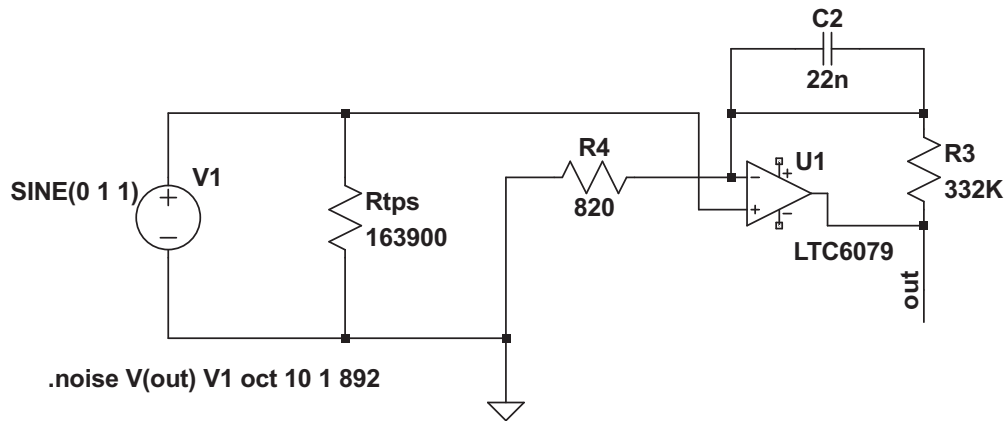


Obr. 4.1: Předpokládané zapojení pro šumovou analýzu detektoru EPD



Obr. 4.2: Předpokládané zapojení pro šumovou analýzu detektoru BPW

V momentě, kdy senzor TPS směřuje kolmo k Zemi, odpovídá sledovaná teplota hodnotě $13,91^\circ\text{C}$. Této teplotě odpovídá hodnota šumového napětí $8,3 \mu\text{V}$. Při rotaci satelitu, kdy je úhel odklonu od kolmice roviny detektoru roven 35° , je viditelná teplota senzoru



Obr. 4.3: Předpokládané zapojení pro šumovou analýzu detektoru TPS

TPS $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Této teplotě odpovídá šumové napětí $48\text{ }\mu\text{V}$. Šumové napětí $8,3\text{ }\mu\text{V}$ může zapříčinit změnu měřené teploty o $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Změna o jeden stupeň nahoru nemění viditelnost Země, protože vyšší teplotu sensor nemůže detekovat. Změna o jeden stupeň dolů vyvolává největší chybu v oblasti, kdy teplota klesá nejpomaleji se změnou úhlu ozáření (tj. nejmenší úhly odklonění od kolmice detektoru). Tato chyba může pro nízké úhly ozáření být až 10° . Naopak šumové napětí $48\text{ }\mu\text{V}$ může zapříčinit změnu měřené teploty z $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až na $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo v opačném případě na $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tato změna teploty (pro daný úhel ozáření 35°) vyvolá nižší chybu určení úhlu ozáření a to zhruba o 1° .

Šumová napětí senzorů EPD a BPW jsou oproti výstupním napětím tak nízká, že nemají vliv na přesnost určení úhlu ozáření. Z toho vyplývá, že přesnost určování prostorové orientace v závislosti na šumových parametrech bude nejvíce záležet na senzoru TPS. Pro následující úvahy bylo zvoleno rozlišení prostorové orientace 5° , jako kompromis mezi největší a nejmenší chybou v určení prostorové orientace senzorem TPS.

Při porovnání manuálních výpočtů a výsledků simulace lze prohlásit výsledky za věrohodné, jelikož se nezávisle a řádově shodují. Toto prohlášení je důležité pro následující úvahy při konstruování teorie o využitelnosti detektorů záření k určování prostorové orientace pikosatelitu. Jestliže je odstup signálu od šumu dostatečný i pro vysoké úhly ozáření, je možné určovat orientaci pomocí jedné stěny až na samotnou hranici fyzikálních možností, tedy téměř až k 90° .

5

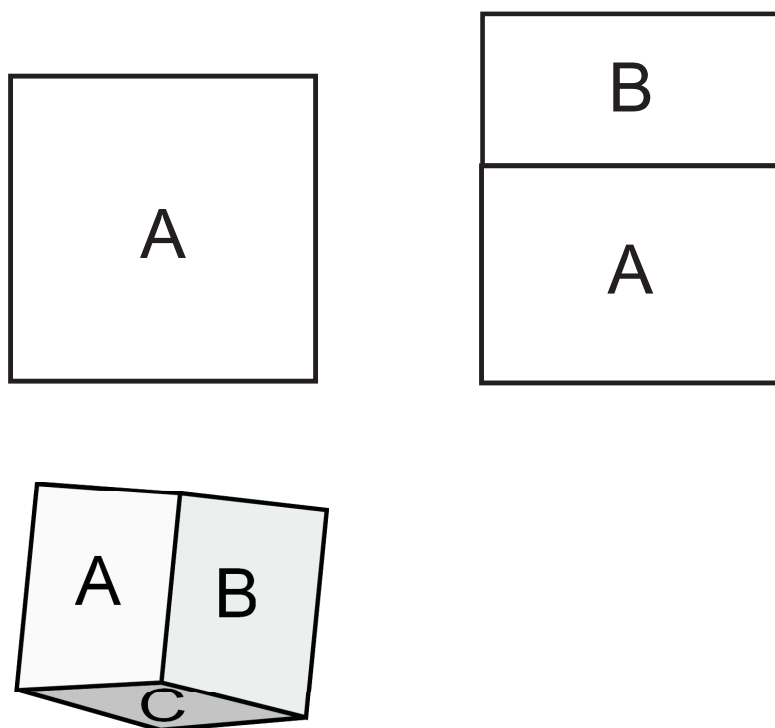
Princip určování prostorové orientace PilsenCUBE

5.1 Způsoby ozáření satelitu

Slunce, které je vzdálené od Země asi 150 milionů kilometrů, je z nízké orbitální dráhy satelitu viditelné pod úhlem cca $0,5^\circ$. Z toho lze vyvodit závěr, že Slunce je pro satelit bodovým zdrojem záření. Naopak Země, která je v relativní blízkosti vlastnost bodového zdroje záření nemá. Pro krychlový tvar satelitu PilsenCUBE mohou vzniknout pouze určité situace ozáření.

Z bodového zdroje záření, tedy Slunce, mohou být zároveň osvětleny maximálně tři strany současně s libovolným úhlem ozáření jednotlivých stran. V krajním případě, kdy je osvětlena bodovým zdrojem pouze jedna strana satelitu, dopadá světlo na tuto stranu kolmo. Poslední možností je ozáření pouze dvou stran satelitu. Tehdy je úhel ozáření obou stěn svázaný. Jestliže jsou osvětleny strany A a B a strana A je ozářena pod úhlem α , potom úhel ozáření β strany B je dán rozdílem $90^\circ - \alpha$. Je-li tedy strana A ozářena pod úhlem 45° , strana B musí být zákonitě ozářena také pod úhlem 45° . Z toho vyplývá, že výstupní hodnoty z čidel na straně A i B budou srovnatelné.

Na druhou stranu od nebodového zdroje záření, tedy Země, mohou být ozářeny všechny strany satelitu najednou a to například pro azimut 45° a elevaci 45° . Je-li satelit natočen jednou stěnou kolmo k Zemi, jsou částečně ozářeny i její okolní stěny. Vzhledem k nízké orbitě satelitu je minimální počet osvětlených stran od Země jako zdroje záření pět. Stanoví-li se tedy tři nejsilnější signály od třech nejvíce ozářených stěn satelitu a další ozářené stěny budou ignorovány, lze aplikovat přístup jako pro bodový zdroj ozářující současně tři stěny.



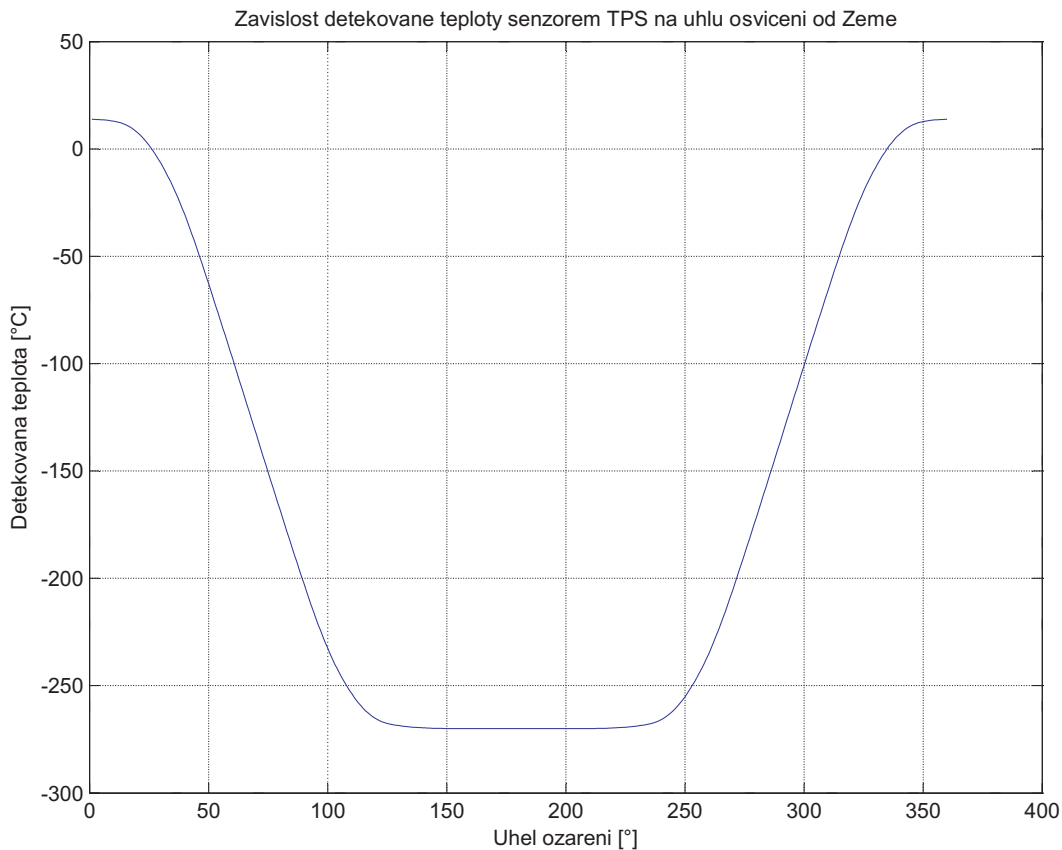
Obr. 5.1: Možnosti ozáření satelitu bodovým zdrojem: Kolmé ozáření stěny A (vlevo nahoře), ozáření dvou stran A a B (vpravo), ozáření třech stran A, B a C (vlevo dole)

5.2 Rozlišení slunečního záření od záření zemského

Jak je vidět v tabulkách výstupních proudů podle úhlu ozáření senzorů EPD a BPW (příloha C.1), výstupní úrovně proudů se prolínají takřka přes celý rozsah ozáření, například pro senzor EPD a hodnotu proudu $1,08 \mu\text{A}$ nelze rozlišit, zda se jedná o kolmé ozáření odrazem od Země či o sluneční záření dopadající na senzor pod úhlem méně než 50° . Podle amplitudy proudu tedy nelze rozlišit, zda se jedná o záření sluneční nebo odraz slunečního záření od Země. Jestliže Slunce emituje celé spektrum vlnových délek, které Země odráží, avšak sama zeměkoule emituje pouze záření infračervené, je nutné řešení rozzeznatelnosti mezi výstupními úrovněmi proudu hledat u senzoru TPS, který infračervené záření detekuje.

Jak bylo uvedeno výše, efektivní teplota Slunce je přibližně 5780 K . Teplota okolního prostoru se pohybuje okolo 3 K . Průměrná teplota Země je 288 K . Z těchto tří hodnot lze stanovit využitelnost senzoru TPS. Ve výpočtech výstupních proudů ze senzorů EPD a BPW bylo zmíněno, že hodnota výstupního proudu je závislá na relativní citlivosti v závislosti na úhlu ozáření. Stejně tak senzor TPS má definovanou relativní citlivost. Při pozorování Země pod úhlem 0° je relativní citlivost v tomto bodě rovna jedné, ovšem Země jako nebodový zdroj záření osvětluje senzor z více než jednoho úhlu. Pozorovací úhel Země z oběžné dráhy satelitu je přibližně 130° , tudíž ve výhledu senzoru 180° v jedné rovině je při přímém pozorování Země z části také viditelný okolní prostor, i když se sníženou citlivostí. Pro zjištění pozorované teploty Země senzorem TPS byl sestaven protokol v příloze D.2. Princip protokolu je založen na interpolaci hodnot relativní citlivosti senzoru TPS, ze kterých se získává suma relativních citlivostí pro úhly viditelnosti Země 130° (respektive 65° na každou stranu v jedné rovině) a suma citlivostí pro zbylé úhly, kde je snímána teplota vesmíru. Tyto sumy jsou násobeny danými sledovanými teplotami a děleny celkovou sumou relativních citlivostí. V součtu pak získáme teplotu Země $13,91^\circ\text{C}$, kterou při průměrné teplotě 15°C detekuje senzor TPS. Stejným postupem se určí odpovídající teplota Slunce s tím rozdílem, že Slunce zabírá pouze půl stupně viditelnosti, čili postihuje pouze jednu hodnotu relativní citlivosti. Nejvyšší pozorovatelná teplota tedy bude pro úhel pozorování 0° , kdy je relativní citlivost rovna jedné. V příloze D.3 je uveden skript řešící tuto rovnici. Výsledkem přímé viditelnosti Slunce detektorem TPS je teplota $-234,13^\circ\text{C}$.

Je zřejmé, že přímé ozáření ze Slunce a Země je senzorem TPS rozlišitelné. Ovšem, jak se bude měnit poloha satelitu a s ním úhel ozáření senzoru TPS, bude se měnit i relativní citlivost a tím detekovaná teplota Země. V příloze D.4 je uveden skript vytvářející závislost detekované teploty na úhlu ozáření senzoru TPS v případě zemského záření. Výsledkem řešení skriptu je obrázek číslo 5.2. Z výsledného grafu na obrázku 5.2 je zjištěna teplota $-202,4^\circ\text{C}$ pro úhel 90° , což je fyzicky největší úhel v jedné polorovině, který může senzor na každé straně detekovat. Z vypočtených teplot Slunce a Země detekovaných senzorem TPS je možné dojít k závěru, že je tento senzor díky spektrálnímu omezení IR filtrem schopen rozlišit mezi hodnotami vytvářející sluneční záření a záření od Země.



Obr. 5.2: Závislost detekované teploty senzorem TPS na úhlu osvětlení od Země

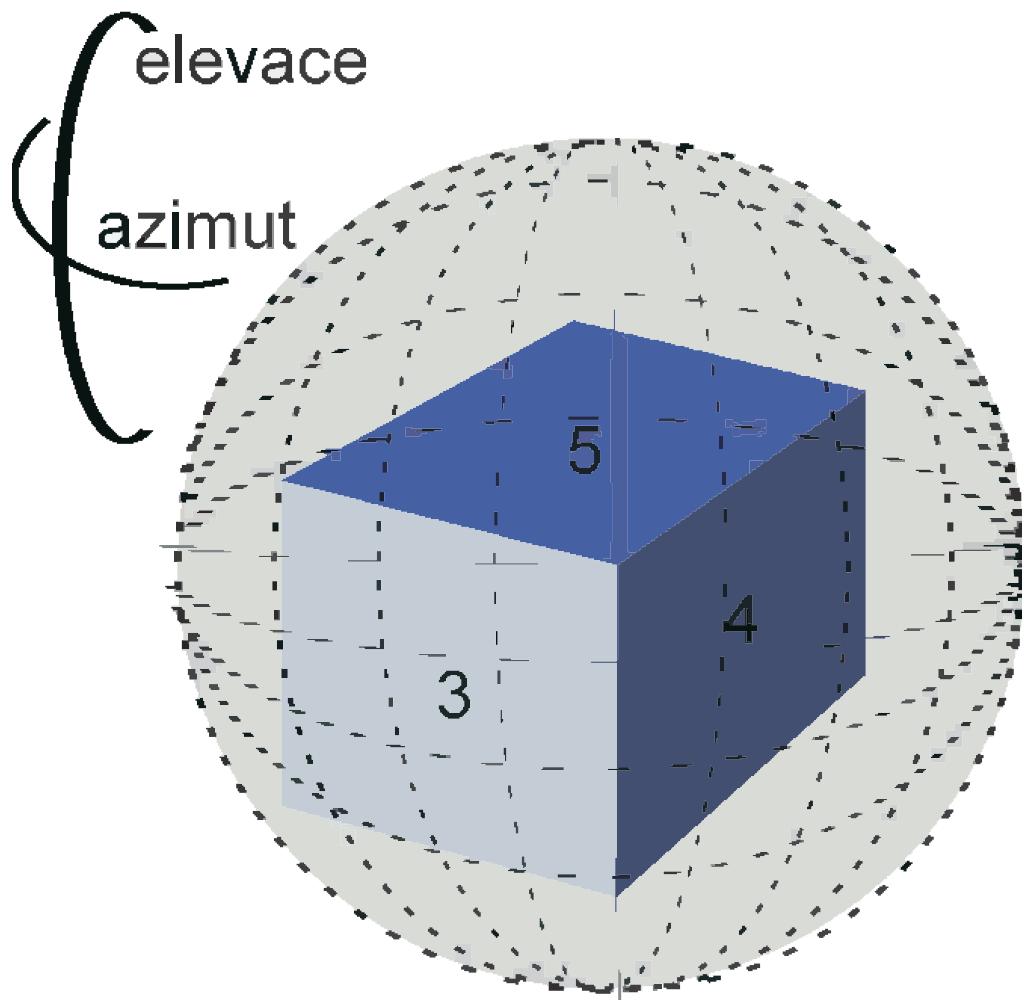
Jelikož bylo zjištěno, že pro plné využití detektoru TPS by bylo zapotřebí znát průběh výstupního napětí až k hodnotě odpovídající $-202,4$ °C a chyba interpolace je s každým krokem vyšší, bylo rozhodnuto, že pro výpočty azimutu a elevace bude jako rozhodující veličina měřená teplota. Po vypuštění satelitu a změření relevantních hodnot může být provedena korekce pro rozhodování podle výstupního napětí ze senzoru TPS.

5.3 Teoretický postup určení prostorové orientace

5.3.1 Definice stran satelitu a výchozího bodu

Konečným výsledkem prostorové orientace satelitu je určení azimutu a elevace Země a Slunce. Pro definování výchozího bodu ($[0,0]$ [azimut, elevace]) azimutu a elevace je nejprve potřeba definovat strany satelitu. Nechť stěna, na které krychle stojí a její protější stěna (horní a dolní podstava), jsou označeny jako strany 5 a 6. Stěna směřující na pozorovatele je označena jako stěna 1. Její vedlejší stěna (v horizontální rovině v protisměru hodinových ručiček) nechť je označena stěnou 2. Stěna 3 je pak protější stranou strany 1 a stěna 4 je logicky protější stranou strany 2. Trojice detektorů je vždy umístěna v geometrickém středu každé stěny. Nechť v geometrickém středu stěny 1 je definován výchozí bod $[0,0]$ pro určení elevace a azimutu. Pohybem v protisměru hodinových ručiček od strany

jedna ke straně dvě a dále se tak zvyšuje hodnota azimutu od 0° do 360° , kdy je výchozí a konečný bod totožný. Nechť geometrický střed strany 5 (horní podstava) je označen jako bod $[0,90]$ a geometrický střed strany 6 jako bod $[0,-90]$. Poté se otáčením krychle z bodu $[0,0]$ po směru hodinových ručiček ve vertikální rovině mění hodnota elevace od hodnoty 0° přes -90° opět k 0° (otočení o 180° ve vertikální rovině). Při stejné rotaci se elevace mění od 0° přes 90° až do výchozího bodu $[0,0]$ (další otočení o 180° ve vertikální rovině, tedy do celkových 360°). Nyní je definována elevace a azimut pro libovolné natočení satelitu. Příklad: Je-li pozorována současně stěna 3,4 a 5 pod úhly 45° znamená to azimut a elevaci $[225,45]$.



Obr. 5.3: Satelit ve sférickém souřadném systému při azimutu 225 a elevaci 45

5.3.2 Stanovení azimutu a elevace

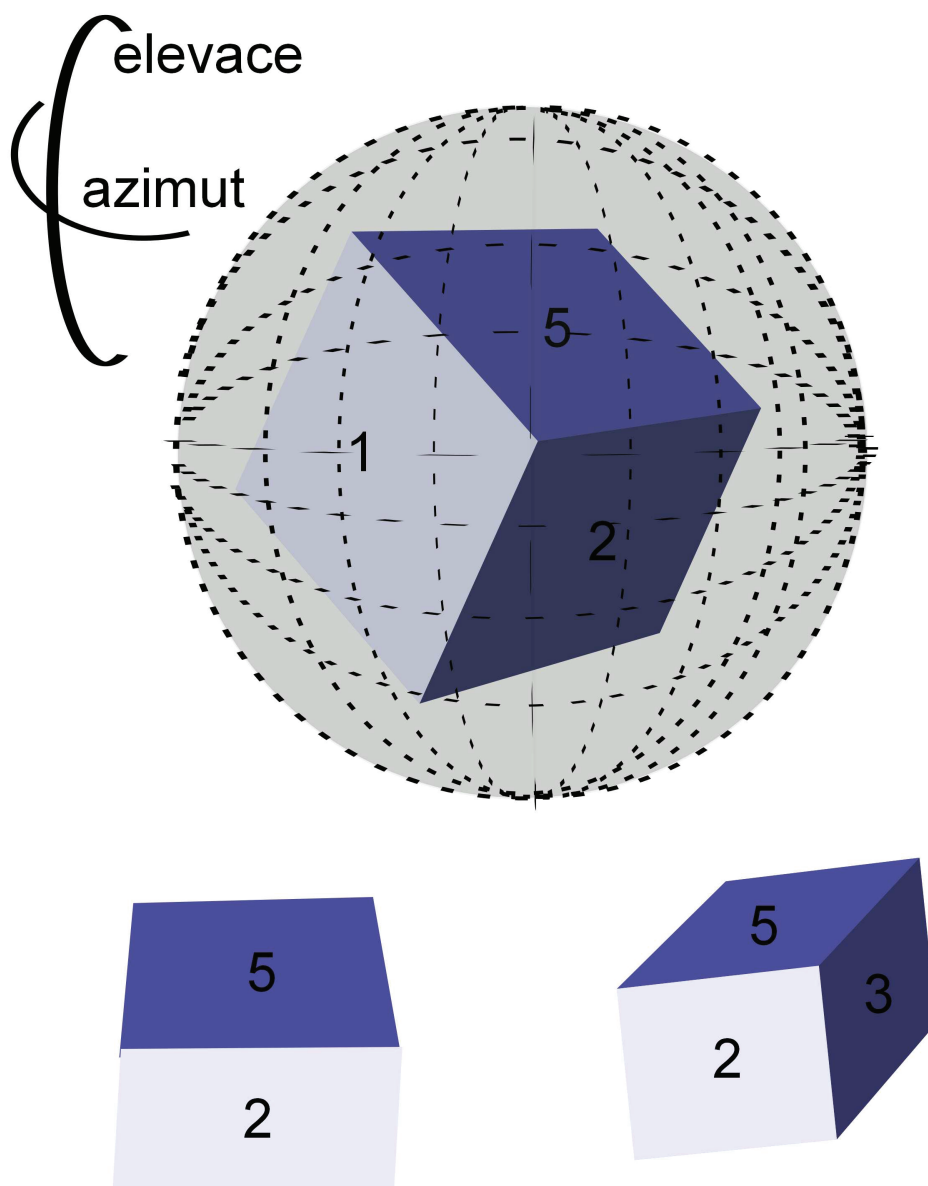
V kapitole 3.2 jsou definovány výstupní hodnoty proudů ze senzorů EPD a BPW v jednodimenzionálním prostoru. Zorné pole detektoru umístěného ve středu stěny satelitu je polokulová plocha. V jednodimenzionálním prostoru se ozáření senzoru pod úhlem α v zorném poli detektoru projeví jako kužel, jehož plášť a stěna satelitu svírá úhel α .

Pozoruje-li se stěna 1 z přímého pohledu a není ozářena žádná další stěna (úvaha pro bodový zdroj světla či nebodový zdroj omezený výběrem třech nejsilnějších signálů viz níže kapitola 5.3.3), je azimut a elevace $[0,0]$. Pro tento případ je úhel ozáření $\alpha=0^\circ$ a kužel je transformován v přímku. Při rotaci satelitu ve vertikální ose se mění elevace (viz kapitola 5.3.1), současně s tím se mění úhly ozáření stran 1 a 5 (resp. 6). Řešením elevace tedy může být řešení průniku dvou kuželů. Na druhou stranu při ozáření pouze dvou stran je definována závislost $\beta=90^\circ-\alpha$. Osvětlení pouze strany 1 je definováno azimutem a elevací výchozího bodu. Rotuje-li satelit jen ve vertikální ose, nemění se hodnota azimutu, avšak mění se hodnota elevace. Změní-li se tedy hodnota úhlu α , mění se zákonitě i hodnota ozáření strany 5 (resp. 6) úhel β .

Bude-li podle stejného principu satelit rotovat od výchozího bodu v horizontální ose, mění se hodnota azimutu při zachování nulové elevace.

Rotuje-li satelit současně v horizontální a vertikální ose, mění se současně azimut i elevace. V tomto případě jsou současně ozářeny tři stěny satelitu a neplatí zde závislost ozáření úhlů mezi dvěma stěnami $\beta=90^\circ-\alpha$. Výslednici azimutu a elevace je tedy možno určit jako průsečík třech kuželů. Vezme-li se v úvahu, že ozáření všech tří stran je na sobě závislé a změna azimutu je dána rotací satelitu v horizontální ose a změna elevace rotací v ose vertikální, lze vytvořit takovouto ideu. Jsou osvětleny stěny 1,2 a 5 pod úhly α, β a γ . Osvětlení stěny 2 vyjadřuje rotaci v ose horizontální a osvětlení strany 5 představuje rotaci satelitu v ose vertikální. Úhel α je závislý na úhlech β a γ . Změní-li se úhel γ při zachování úhlu β musí se současně měnit i úhel α . To, že se nezměnila hodnota úhlu β , představuje pohyb po kružnici kužele pláště osvětlení detektoru ze stěny 2. Při pohybu po této kružnici se mění hodnota elevace a hodnota azimutu je zachována (rotace pouze ve vertikální ose) až do doby, kdy stěna 1 nepřestane být ozářena. V tento moment jsou ozářeny současně jen dvě stěny a začne platit předpis $\beta=90^\circ-\alpha$ (respektive $\beta=90^\circ-\gamma$) a hodnota azimutu se tak změní. V případě ozáření stěn 1 a 5 byl pro libovolný úhel ozáření α označen azimut=0 a elevace= $90^\circ-\alpha$. Jestliže stěna 1 a stěna 2 jsou na sebe kolmé, lze vyjádřit pro ozáření stěn 2 a 5 azimut= 90° a elevace= $90^\circ-\beta$. Při udržování rotace ve vertikální ose satelitu bude opět ozářena třetí strana satelitu, a to strana 3. V tento moment se azimut opět změní podle vzájemné závislosti ozáření všech tří stěn, ale pokud je zachován úhel ozáření stěny 2 úhel β , je v následujících 180° pohybu po vertikální ose satelitu azimut opět nezměněn. Ke změně dochází pouze v elevaci.

Obdobnou myšlenku je možné realizovat pro horizontální rotaci satelitu, kdy dochází ke změně azimutu a zachování elevace. V případě horizontálního pohybu se dokonce elevace nemění pro 360° , na rozdíl od neměnnosti azimutu při vertikální rotaci, jelikož elevace je definována v rozmezí -90° až 90° a azimut je definován v rozmezí 0° až 360° . V duchu této myšlenky může být azimut a elevace stanovena podle úhlů ozáření dvou stran (úhly β a γ) a faktu, že strana třetí, jejíž úhel α je současně závislý na úhlech β a γ , je osvětlena bez toho, aniž by se řešila rovnice průsečíků pro zjištění úhlu α .



Obr. 5.4: Rotace satelitu při neměnném úhlu pozorování strany 2 úhlu β : Ozáření stran 1,2 a 5 úhly α , β a γ (nahore) - souřadnice $[\beta, \gamma]$, ozáření stran 2 a 5 úhly β a γ (vlevo dole) - souřadnice $[90, \gamma]$, ozáření stran 2,3 a 5 úhly β, α a γ (vpravo dole) - souřadnice $[180-\beta, \gamma]$

Pro důkladné pochopení je vhodný názorný příklad:

Strana 1 je osvětlena úhlem α , který není třeba definovat, vychází se pouze z toho, že strana je osvětlena. Strana 2 je osvětlena pod úhlem $\beta=30^\circ$ a strana 5 pod úhlem $\gamma=50^\circ$.

Je-li výchozí bod na straně 1 definován $[0,0]$, pak pro ozáření stran 1, 2 a 5 podle zadání bude azimut a elevace odpovídat souřadnicím $[30,50]$. Změní-li se úhel ozáření β a γ například o 13° a 10° , je výsledná souřadnice definována jako $[43,60]$. Na změnu ozáření stěny 1, respektive na změnu úhlu α , není brán zřetel. V momentě, kdy stěna 1 nebude ozářena, je azimut=90 a elevace podléhá výpočtu podle $\beta=90-\gamma$. Z toho vyplývá, že situace pro neozářenou stranu 1 s úhly $\beta=30^\circ$ a $\gamma=50^\circ$ nemůže nikdy nastat. Při stejném zadání úhlů β a γ , kdy je ovšem současně osvětlena stěna 3, je určení azimutu a elevace obdobné. Je nutné si uvědomit, že strana 3 je protilehlou stranou strany 1. Je mezi nimi tedy úhel 180° . Protipól výchozího bodu na straně 3 má pak souřadnice $[180,0]$. Výpočet azimutu a elevace při osvětlení stěn 2,3 a 5 je tudíž následující $[180 - \beta, \gamma]$. Výsledně tedy ze zadání $[150,50]$.

Krajním případem, kdy je znám úhel α , je současné ozáření všech tří stěn pod stejným úhlem 45° .

Budou-li ozářeny stěny 1,4 a 6 pod stejnými úhly 45° , je pozorována společná spojnice těchto stěn (spodní levý roh krychle při pohledu na výchozí bod). Tomuto osvětlení odpovídá azimut a elevace $[315,-45]$, což odpovídá úvaze, kdy při osvětlení stěny 1 a 4 je nutné azimut odvozovat podle pravidla $[360 - \beta, \gamma]$.

5.3.3 Rozdělení ozáření stran podle senzoru TPS

Podle výpočtů z kapitoly 5.2 je pouze senzor TPS schopen rozlišit původ záření. Pro stanovení azimutu a elevace se tak v první řadě musí určit, které strany satelitu a jakým zdrojem záření jsou osvětlené. V prvním kroku jsou tedy vybrány tři nejsilnější signály od senzoru TPS v rozsahu 15°C až $-202,4^\circ\text{C}$, což odpovídá tepelnému záření ze Země. Podle definování stran satelitu a určování azimutu a elevace popsané v kapitole 5.3.2 je pro určení elevace nutné znát hodnotu ozáření strany 5 nebo 6. Jelikož je známo, že nebodový zdroj záření, jakým je Země, osvětluje minimálně tři stěny krychle satelitu, je pochopitelné, že vždy bude strana 5 nebo strana 6 ozářena. Z toho vyplývá, že jeden nejsilnější signál je vybrán ze stěn 5 nebo 6 a další dva nejsilnější signály jsou vybrány ze stěn 1 až 4. Azimut je dále určen na základě dvou nejsilnějších signálů ze stěn 1 až 4. V případě bodového zdroje je postup totožný. Ozářeny mohou být maximálně tři stěny současně, z čehož plyne, že nikdy nemohou být ozářeny protější strany 5 a 6 současně. Opět se tedy vybere silnější signál ze stran 5 a 6 k určení elevace a dva nejsilnější signály ze stěn 1 až 4 k určení azimutu. V případě, že jsou osvětleny pouze dvě strany (respektive jen jedna), vykazují ostatní neosvětlené detektory hodnoty odpovídající osvětlení pod úhlem 90° . Je-li známa tato informace, je také známo kolik stran a jaké jsou přesně osvětleny. Když jsou označeny strany s nejsilnějšími signály od senzoru TPS, mohou se pro určení azimutu a elevace Země použít i signály od senzorů EPD a BPW a to právě ze stěn, které

pro určení azimutu a elevace Země využil senzor TPS.

K určení elevace a azimutu Slunce je nutné zajistit důvěryhodnost. Mohl by totiž nastat případ, kdy jedna (respektive až dvě) ze stěn satelitu je ozářena odrazem ze Země pod takovým úhlem, že výstupní hodnoty ze senzoru TPS jsou nižší než z ostatních stran. V takové situaci není tato stěna uvedena do výpočtu azimutu a elevace Země, ale přesto je částečně ozářena. Jsou tedy ozářeny i senzory EPD a BPW na této stěně. Nebude-li na tuto konkrétní stěnu dopadat sluneční záření, mohla by být strana mylně vybrána pro určení souřadnic Slunce. K zajištění důvěryhodnosti je třeba označit všechny strany ozářené od Země. Poté je možné na základě úrovní signálů z jednotlivých senzorů na dané straně určit, zda je stěna ozářena ze Slunce se 100% pravděpodobností nebo zda při vyhodnocování polohy Slunce dochází k chybě. Odpovídá-li hodnota kvantovaného signálu ze senzoru TPS nižšímu úhlu ozáření nežli úhlu kvantovaného signálu ze senzoru EPD (respektive BPW) na dané sporadické stěně, lze prohlásit určení polohy Slunce za pravdivé. V opačném případě je stěna buď ozářena Sluncem s hodnotou odpovídající nižšímu úhlu ozáření, nebo v nejnepříznivějším případě není tato stěna od Slunce ozářena vůbec. V takovém případě nelze určit přesnou odchylku v určování polohy Slunce. Lze však stanovit maximální chybu, která se rovná úhlu ozáření ze zemského povrchu. Pokud je zajištěna korektnost při určování polohy Slunce, může se na zbylé tři stěny, které nebyly použity pro výpočet polohy Země, aplikovat stejný algoritmus k určování polohy.

Formální problém nastává tehdy, kdy je satelit natočen vůči Zemi tak, že stěny pro rozhodování o poloze Země jsou zároveň, nebo z části osvětleny i Sluncem. V tento moment se do určení prostorové orientace dostává chyba, kterou není možno určit. Chyba je zapříčiněna saturací čidel, z nichž pak nelze správně určit polohu Země. Naštěstí tyto případy nastávají zřídka při přeletu satelitu ze Sluncem ozářené části orbity na neozářenou část a naopak. Druhou výhodou je fakt, že doba úsvitu a západu Slunce na nízké orbitě je velice krátká. Proto byla tato chyba přijata jako akceptovatelná chvilková nejistota při určování prostorové orientace.

Z principu vyzařování zemského spektra pouze v oblasti infračerveného záření je samozřejmě na odvrácené straně Země z orbitální dráhy možno detekovat polohu Země pouze za využití detektoru TPS.

5.3.4 Kvantování

V momentě, kdy jsou přiděleny signály z jednotlivých senzorů do správných kategorií, je třeba rozlišit pod jakým úhlem je vlastně daný senzor ozářen, jelikož jeho výstupní hodnota je napětí či proud. Pro každý typ detektoru je vytvořena kvantizační tabulka, která podle výstupního napětí (respektive teploty) či proudu detektoru rozhoduje o tom, pod jakým úhlem v jednodimenzionálním prostoru je detektor ozářen. Kvantizační tabulky senzorů EPD a BPW vychází z vypočtených hodnot proudů v kapitole 3.2 uvedené v příloze C.1. Kvantizační tabulka senzoru TPS je vyhotovená z grafu závislosti teploty Země na úhlu ozáření uvedeném na obrázku 5.2. Prostorové rozlišení je stanoveno na 5° . Nižší

prostorové rozlišení je zbytečné z hlediska předpokládané nepřesnosti v měření. Pro zachycení rozsahu $0-90^\circ$ s rozlišením 5° je využito pětibitového kvantování s celkovým počtem stavů 32, kdy část rozsahu není využita. Pro přímé ozáření byl zvolen vektor 00000. Z toho vyplývá, že při změně jednoho bitu při posunu o 5° , má konečný vektor pro hodnotu 90° tvar 10011.

Po provedení kvantování je získán vektor o délce 30 bitů. Vektor je sestaven ze šesti pětibitových vektorů odpovídajících ozáření jednotlivých stěn řazených za sebe vzestupně podle očíslování stran satelitu. Tento vektor odpovídá jedinečné kombinaci osvětlení satelitu, čímž je v podstatě určena poloha zdroje záření.

5.3.5 LUT

Pro snížení výpočetního výkonu procesoru na palubě satelitu bude určení azimutu a elevace z jedinečného vektoru představujícího unikátní kombinaci osvětlení všech stran satelitu, transformováno na určení pozice v paměti, kde bude umístěna hodnota azimutu a elevace. Jedinečný vektor hodnot tak bude reprezentovat místo v paměti, na kterém bude uložena hodnota elevace a azimutu. Pro všechny kombinace unikátního vektoru by to znamenalo velikost paměti 2^{30} . Jestliže k výpočtu polohy je využito pouze třech stran, může být tabulka redukována na 2^{15} kombinací. Jelikož stanovení elevace, na rozdíl od určení azimutu, který se vypočítává vždy z kombinace dvou stran, je prováděno vždy jen z jedné strany. Při rozdělení tabulky na azimut a elevaci může být snížen počet kombinací na 2^{10} (azimut) a 20 (elevace). S přihlédnutím k tomu, že není využit celý rozsah pětibitového kvantování, bude tabulka azimutu čítat méně jak 1024 kombinací. Důležité je uvědomit si, že je využita symetričnost krychle při konstruování LUT s výběrem pouze tří (respektive dvou) stran k určení pozice. Náhled LUT tabulky je uveden v příloze C.3.

6

Azimut a elevace v MATLABu

V rámci této diplomové práce byl vytvořen skript v MATLABu, který zpracovává popsany algoritmus určení prostorové orientace v kapitole 5. Výstupem je unikátní vektor, podle kterého lze v LUT dohledat azimut a elevaci podle právě ozářených stěn (respektive těch, které jsou k výpočtu použity). Nadstavbou v programu je automatické prohledávání imaginární LUT tabulky k vyhodnocení azimutu a elevace. Tato nadstavba je zřízena jednak pro rychlejší kontrolu korektnosti výpočtu, ale hlavně také pro možnost určení chyby v detekování polohy Slunce. Pokud by se v rámci přenášené zprávy ze satelitu na pozemní stanici vysílaly i jedinečné vektory určující polohu Země a Slunce, mohla by tato část skriptu probíhat na pozemní stanici, a tak ověřovat funkci stabilizačního subsystému. Celý skript se nachází v příloze D.5.

Jelikož tento algoritmus nebude přímo použit v procesoru palubního počítače satelitu (nutno přeprogramovat v příslušném jazyce), bylo využito proměnných typu CHAR k snadnému vizuálnímu odlišení stavu neozářené, nebo nezpracovávané stěny. Při programování do procesoru satelitu může být výchozí stav vektorů uveden například kombinací 11111, který při pětibitovém kvantování přes 20 kombinací není využit.

Následuje ukázka definování výchozí pozice unikátního vektoru. Opět pro jednoduchou vizuální kontrolu není zvolen ucelený vektor o délce 30 bitů, ale je využita matice 5x6, kde jsou ve sloupcích uvedeny jednotlivé stěny satelitu s příslušnou pětibitovou kombinací kvantování.

V příloze E jsou umístěny vývojové diagramy, které zjednodušeně popisují funkci algoritmu. Příloha E.1 uvádí vývojový diagram pro stanovení azimutu a elevace Země za využití senzoru TPS. Vývojový diagram v příloze E.2 zobrazuje zjištění azimutu a elevace Země i Slunce za pomoci detektoru EPD. Pro senzor BPW je vývojový diagram totožný jako pro senzor EPD, a proto není vytvořen zvlášť. Příloha E.3 obsahuje vývojový diagram vyjadřující stanovení chyby při určování polohy Slunce.

Skript začíná načtením hodnot z jednotlivých senzorů. V této fázi vývoje je načítání hodnot řešeno jako definování konstant. Konstanty jsou logicky pojmenovány po původním senzoru a stěně, ze které pochází. Např. epd3 reprezentuje proud vyvolávající na výstupu detektor EPD na straně 3.

		strana 1	strana 2	strana 3	strana 4	strana 5	strana 6
Pětibitová kombinace	unikátního vektoru	X	X	X	X	X	X
		X	X	X	X	X	X
		X	X	X	X	X	X
		X	X	X	X	X	X
		X	X	X	X	X	X

Tab. 6.1: Výchozí definice unikátního vektoru.

Aby bylo možné pracovat se všemi hodnotami od jednoho typu senzoru najednou, jsou vytvořeny vektory odpovídajícího názvu dle typu detektoru. Tyto vektory jsou naplněny načtenými hodnotami ze všech stěn. Př.:

```
tps=[tps1 tps2 tps3 tps4 tps5 tps6];
epd=[epd1 epd2 epd3 epd4 epd5 epd6];
```

Podle předepsaného postupu je nejprve nutné vybrat tři nejsilnější signály od senzoru TPS s jednou hodnotou ze strany 5 nebo 6. K tomu slouží následující část kódu, kde jsou vytvořeny dva vektory `tpssort14` a `tpssort56`, do kterých je sestupně seřazen vektor `tps` v příslušném rozmezí. Tím je zajištěn výběr vhodných nejsilnějších signálů ze senzoru TPS, který je přenesen do vektoru `earthtps`, jež slouží k následnému kvantování těchto hodnot.

```
tpssort14=sort(tps(1:4), 'descend');
tpssort56=sort(tps(5:6), 'descend');
earthtps=[tpssort14(1:2) tpssort56(1)];
```

Nyní je definován vektor s nejsilnějšími signály ze stěn 1 až 6. Při třídění byla ztracena informace o tom, z jaké stěny konkrétně signály pocházejí. Další úryvek skriptu řeší znovu získání informace o původu signálů. V cyklu, odpovídajícímu cyklu `DOWHILE` v jazyce C, je systematicky prohledáván tříděný vektor `tpssort14` (respektive `tpssort56`) a porovnáván s hodnotami v netříděném vektoru `tps`, ve kterém pořadí odpovídá pořadí stěn. Je-li nalezena shoda, uloží se pozice z vektoru `tps` do nové proměnné označené jako `tpsposX`, kde `X` určuje sílu signálu. Z logiky využití třech nejsilnějších signálů k určení polohy jsou proměnné `tpspos1` a `tpspos2` nejsilnějšími signály v tříděném vektoru `tpssort14` a proměnná `tpspos3` nejsilnějším signálem z tříděného vektoru `tpssort56`. Pozice stěn, které nejsou využity k určení pozice Země, ovšem jsou využívány k určení tolerance pozice Slunce, jsou označeny jako `tpspos4`, `tpspos5`, `tpspos6`, kde jsou opět řazeny podle síly signálu. Například `tpspos5` tedy obsahuje pozici druhého nejsilnějšího signálu ze stěn, které nejsou využity k určení prostorové orientace.

```
i=1;
while true
    tpspos1=i; %position of strongest signal from sides 1-4
    if tpssort14(1)==tps(i)
        break
    end
    i=i+1;
end
tps(i)=0; %i position is erased

i=1;
while true
    tpspos2=i;
    if tpssort14(2)==tps(i) %position of second strongest signal from sides 1-4
        break
    end
    i=i+1;
end
tps(i)=0;

i=1;
while true
    tpspos4=i;
    if tpssort14(3)==tps(i) %position of third strongest signal from sides 1-4
        break
    end
    i=i+1;
end
tps(i)=0;

i=1;
while true
    tpspos5=i;
    if tpssort14(4)==tps(i) %position of weakest signal from sides 1-4
        break
    end
    i=i+1;
end
tps(i)=0;
```

```

i=1;
while true
    tpspos3=i;
    if tpssort56(1)==tps(i) %position of stronger signal from sides 5,6
        break
    end
    i=i+1;
end
tps(i)=0;

i=1;
while true
    tpspos6=i;
    if tpssort56(2)==tps(i) %position of weaker signal from sides 5,6
        break
    end
    i=i+1;
end
tps(i)=0;

```

Po každém průběhu cyklu DOWHILE je nutné vynulovat příslušnou pozici ve vektoru tps. Kdyby nastala situace, kdy vektor tps obsahuje dvě shodné hodnoty (ozáření dvou stěn pod stejným úhlem), vyhodnocovala by se pozice druhé stejně ozářené stěny chybně.

Obdobný postup k třídění podle síly signálu a následovného vyhledávání pozic stěn v tříděném vektoru je použit i v případě senzorů EPD a BPW. Výjimkou je, že tříděný vektor není dělen na pozice 1 až 4 a 5 a 6. Podmínka pro vybírání vhodných dat z tříděných vektorů je řešena v další části skriptu.

Jestliže jsou známi pozice seřazených nejsilnějších signálů podle proměnných tpsposX a epdposX (respektive bpwposX), pak je možné plnit vektory určené pro kvantování earthepd (respektive earthbpw) s využitím jednoduchých porovnání těchto pozic (respektive odpovídajících osvětlených stran).

```
earthepd=[0 0 0];
```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Filling the earthepd vector with three strongest signals facing the Earth
%Two from sides 1-4 and one from side 5 or 6
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
if (tpspos1==epdpos1) && (tpsA(tpspos1)>TvisEarth)
    earthepd(1)=epdsortA(1);
    epdsortA(1)=0;

```

```
end

if (tpspos1==epdpos2) && (tpsA(tpspos1)>TvisEarth)
    earthepd(1)=epdsortA(2);
    epdsortA(2)=0;
end

if (tpspos1==epdpos3) && (tpsA(tpspos1)>TvisEarth)
    earthepd(1)=epdsortA(3);
    epdsortA(3)=0;
end

if (tpspos1==epdpos4) && (tpsA(tpspos1)>TvisEarth)
    earthepd(1)=epdsortA(4);
    epdsortA(4)=0;
end

if (tpspos1==epdpos5) && (tpsA(tpspos1)>TvisEarth)
    earthepd(1)=epdsortA(5);
    epdsortA(5)=0;
end

if (tpspos1==epdpos6) && (tpsA(tpspos1)>TvisEarth)
    earthepd(1)=epdsortA(6);
    epdsortA(6)=0;
end

if (tpspos2==epdpos1) && (tpsA(tpspos2)>TvisEarth)
    earthepd(2)=epdsortA(1);
    epdsortA(1)=0;
end

if (tpspos2==epdpos2) && (tpsA(tpspos2)>TvisEarth)
    earthepd(2)=epdsortA(2);
    epdsortA(2)=0;
end

if (tpspos2==epdpos3) && (tpsA(tpspos2)>TvisEarth)
    earthepd(2)=epdsortA(3);
    epdsortA(3)=0;
```

```
end

if (tpspos2==epdpos4) && (tpsA(tpspos2)>TvisEarth)
    earthepd(2)=epdsortA(4);
    epdsortA(4)=0;
end

if (tpspos2==epdpos5) && (tpsA(tpspos2)>TvisEarth)
    earthepd(2)=epdsortA(5);
    epdsortA(5)=0;
end

if (tpspos2==epdpos6) && (tpsA(tpspos2)>TvisEarth)
    earthepd(2)=epdsortA(6);
    epdsortA(6)=0;
end

if (tpspos3==epdpos1) && (tpsA(tpspos3)>TvisEarth)
    earthepd(3)=epdsortA(1);
    epdsortA(1)=0;
end

if (tpspos3==epdpos2) && (tpsA(tpspos3)>TvisEarth)
    earthepd(3)=epdsortA(2);
    epdsortA(2)=0;
end

if (tpspos3==epdpos3) && (tpsA(tpspos3)>TvisEarth)
    earthepd(3)=epdsortA(3);
    epdsortA(3)=0;
end

if (tpspos3==epdpos4) && (tpsA(tpspos3)>TvisEarth)
    earthepd(3)=epdsortA(4);
    epdsortA(4)=0;
end

if (tpspos3==epdpos5) && (tpsA(tpspos3)>TvisEarth)
    earthepd(3)=epdsortA(5);
    epdsortA(5)=0;
```

```

end

if (tpspos3==epdpos6) && (tpsA(tpspos3)>TvisEarth)
    earthepd(3)=epdsortA(6);
    epdsortA(6)=0;
end

```

Podmínka ověřující, že daná stěna opravdu směřuje k Zemi, tzn. měřená teplota je vyšší než -202°C , je spíše formální podmínkou. V další části se ovšem uplatní, protože rozhoduje o tom, zda stěny nevyužité k výpočtu azimutu a elevace Země, jsou ze Země ozářeny či nikoliv. Vektor epdsortA (respektive bpwsortA), který je totožný jako epdsort (respektive bpwsort), je promazáván na pozici, která odpovídá stěně pozorující Zemi. Před plněním vektoru určenému ke kvantování signálů vytvořených slunečním zářením epdsun (respektive bpwsun), je zapotřebí vyřadit z vektoru epdsortA (respektive bpwsortA) i stěny nepoužité k určování polohy Země. Poté ve vektoru epdsortA (respektive bpwsortA) zůstanou jen hodnoty odpovídající slunečnímu záření a může dojít k jejich řazení podle amplitudy a následnému určování polohy stěn ozářených ze Slunce.

```

sunepd=sort(epdsortA,'descend');

%If the sides don't face the Earth, the position of these facing the Sun
%is determinated
i=1;
while true
    epdpos1sun=i;
    if (sunepd(1)==epdA(i)) && (epdpos1sun~=tpspos1) && (epdpos1sun~=tpspos2)
        && (epdpos1sun~=tpspos3) && (epdpos1sun~=tpspos4) && (epdpos1sun~=tpspos5)
        && (epdpos1sun~=tpspos6)
        break
    end
    i=i+1;
end
epdA(i)=0;

i=1;
while true
    epdpos2sun=i;
    if (sunepd(2)==epdA(i)) && (epdpos2sun~=tpspos1) && (epdpos2sun~=tpspos2)
        && (epdpos2sun~=tpspos3) && (epdpos1sun~=tpspos4) && (epdpos1sun~=tpspos5)
        && (epdpos1sun~=tpspos6)
        break;
    end
end

```

```

        end
        i=i+1;
end
epdA(i)=0;

i=1;
while true
    epdpos3sun=i;
    if (sunepd(3)==epdA(i)) && (epdpos3sun~=tpspos1) && (epdpos3sun~=tpspos2)
        && (epdpos3sun~=tpspos3) && (epdpos1sun~=tpspos4) && (epdpos1sun~=tpspos5)
        && (epdpos1sun~=tpspos6)
            break;
        end
        i=i+1;
end
epdA(i)=0;

```

Nyní jsou připraveny vektory naplněné třemi největšími signály od stěn ozářených Sluncem či Zemí. Tyto signály je tedy možné podrobit kvantování. Kvantování na základě vstupních hodnot ze senzorů určuje jednoznačné pětibitové vektory odpovídající úhlu ozáření. Výstupní vektory jsou uloženy na příslušnou pozici v maticích představující jedinečnou kombinaci ozáření satelitu.

```

EPDsun(1:5,epdpos1sun)=kvaepdsun(sunepd(1));
EPDsun(1:5,epdpos2sun)=kvaepdsun(sunepd(2));
EPDsun(1:5,epdpos3sun)=kvaepdsun(sunepd(3));

if (tpspos1~=0)
    EPDalbedo(1:5,tpspos1)=kvaepdalb(earthepd(1));
end

if (tpspos2~=0)
    EPDalbedo(1:5,tpspos2)=kvaepdalb(earthepd(2));
end

if (tpspos3~=0)
    EPDalbedo(1:5,tpspos3)=kvaepdalb(earthepd(3));
end

BPWsun(1:5,bpwpos1sun)=kvabpwsun(sunbpw(1));
BPWsun(1:5,bpwpos2sun)=kvabpwsun(sunbpw(2));

```

```

BPWsun(1:5,bpwpow3sun)=kvabpwsun(sunbpw(3));

if (tpspos1~=0)
    BPWalbedo(1:5,tpspos1)=kvabpwalb(earthbpw(1));
end

if (tpspos2~=0)
    BPWalbedo(1:5,tpspos2)=kvabpwalb(earthbpw(2));
end

if (tpspos3~=0)
    BPWalbedo(1:5,tpspos3)=kvabpwalb(earthbpw(3));
end

if (tpspos1~=0)
    TPSalbedo(1:5,tpspos1)=kvatps(earthtps(1));
end

if (tpspos2~=0)
    TPSalbedo(1:5,tpspos2)=kvatps(earthtps(2));
end

if (tpspos3~=0)
    TPSalbedo(1:5,tpspos3)=kvatps(earthtps(3));
end

```

Volané funkce pro kvantování kvaepdsun, kvaepdalbedo, kvabpwsun, kvabpwalbedo a kvatps jsou uvedeny v přílohách D.6.

Příklad výsledků z MATLABu unikátních výstupních vektorů podle ozáření:

EPDalbedo =

0x1x1x

0x0x0x

1x0x0x

0x1x1x

0x1x0x

EPDsun =

x0x1x0

x0x0x0

x1x0x1

x0x1x0

x0x1x1

Z demonstrovaného příkladu je vidět, že poloha Země je počítána ze stěn 1,3 a 5. Jelikož poloha Slunce je určena ze stěn 2,4 a 6, ví se, že satelit je v poloze, kdy Zemi čelí pouze ze tří stran. Zde dochází k odchylce od teoretického představení principu určení polohy Slunce. Z důvodu vyhodnocovacích podmínek pro stanovení ozáření stěn od Slunce jsou z vektoru `epdsortA` (respektive `bpwsortA`) vymazány hodnoty ozáření odpovídající stěnám ozářených Zemí. Poloha Slunce je tak vždy určena jen ze stěn neozářených od Země. Poté je možné vyhodnotit minimální a maximální odchylku, se kterou je poloha Slunce definována. Ozařuje-li Slunce detektor pod nižším úhlem než Země, ví se, že maximální odchylka (v případě, že Slunce na detektor vůbec nesvítí) bude udána právě úhlem ozáření od Země. Je-li tomu naopak, je možno stanovit minimální odchylku, na dané straně opět z úhlu ozáření od zemského povrchu. Vyhodnocení chyby je zobrazeno na následujícím úseku kódu.

```

help1=['x' 'x' 'x' 'x' 'x'];
help2=['x' 'x' 'x' 'x' 'x'];
help3=['x' 'x' 'x' 'x' 'x'];
help4=['x' 'x' 'x' 'x' 'x'];

if (tpspos4==0) && (tpspos5==0) && (tpspos6==0)
    disp('Poloha slunce není počítána s chybou.')
end

if (tpspos4~=0) && (tpspos5==0) && (tpspos6==0)
    help1(1:5)=kvatps(tpsA(tpspos4));
    help2(1:5)=kvaepdsun(epdA(tpspos4));
    if str2num(help1)<str2num(help2)
        disp('Poloha slunce je počítána s chybou na straně.')
        disp (tpspos4)
        disp('Chyba činí maximálně:')
        disp(azimut(help1))
    else
        disp('Poloha slunce je počítána s chybou na straně.')
        disp (tpspos4)
        disp('Chyba činí minimálně:')
        disp(azimut(help1))
    end
end

end

```

```

if (tpspos4~=0) && (tpspos5~=0) && (tpspos6==0)
    help1(1:5)=kvatps(tpsA(tpspos4));
    help2(1:5)=kvaepdsun(epdA(tpspos4));
    if str2num(help1)<str2num(help2)
        disp('Poloha slunce je počítána s chybou na straně.')
        disp (tpspos4)
        disp('Chyba činí maximálně:')
        disp(azimut(help1))
    else
        disp('Poloha slunce je počítána s chybou na straně.')
        disp (tpspos4)
        disp('Chyba činí minimálně:')
        disp(azimut(help1))
    end
    help3(1:5)=kvatps(tpsA(tpspos5));
    help4(1:5)=kvaepdsun(epdA(tpspos5));
    if str2num(help3)<str2num(help4)
        disp('Poloha slunce je počítána s chybou na straně.')
        disp (tpspos5)
        disp('Chyba činí maximálně:')
        disp(azimut(help3))
    else
        disp('Poloha slunce je počítána s chybou na straně.')
        disp (tpspos4)
        disp('Chyba činí minimálně:')
        disp(azimut(help3))
    end
end
end

```

Protože bylo použito k úvodnímu zobrazení unikátních vektorů proměnné typu CHAR, je nyní v rozhodovacích podmínkách nutno převádět řetězec znaků na číslo. V případě programování této části programu do procesoru satelitu bude konfrontaci s řetězcem zamezeno, čímž se značně urychlí rozhodování v podmínkách.

Příklad výstupních vektorů v případě ozáření čtyř stěn satelitu od Země:

```

BPWsun =
xxx1x0
xxx0x0
xxx0x1
xxx1x0
xxx1x1

```

BPWalbedo =
 00xx1x
 00xx0x
 10xx0x
 00xx1x
 00xx0x

Nyní je vidět, že určení polohy Země je dáno stranami 1,2 a 5. Evidentně je strana 3 taktéž osvětlena odrazem záření od Země, a tak není zahrnuta do výpočtu pozice Slunce. Jestliže ozáření senzoru TPS na straně 3 odpovídá menšímu úhlu než ozáření senzoru BPW na této straně (kvantováno podle hodnot Slunečního ozáření), bude to ohlášeno například takto:

Poloha slunce je počítána s chybou na straně.

3

Chyba činí minimálně:

37.5000

V opačném případě takto:

Poloha slunce je počítána s chybou na straně.

3

Chyba činí maximálně:

37.5000

Ze získaných unikátních vektorů je v LUT možno vyhledávat pozici azimutu a elevace. Pokud je v tomto případě třetí vektor pro vyhledávání v tabulce typu CHAR (XXXXX), je považována třetí strana za neozářenou. Jak bylo uvedeno výše, skript obsahuje i automatické prohledávání imaginární LUT tabulky. Míra elevace je určena z ozáření stran 5 a 6:

```
pom=(EPDsun(1:5,5)');
```

```
if pom~=('xxxxx')
```

```
    ELsunEPD=elevace(EPDsun(1:5,5)')
```

```
else
```

```
    pom=(EPDsun(1:5,6)');
```

```
    if pom~=('xxxxx')
```

```
        ELsunEPD=(elevace(EPDsun(1:5,6)'))*(-1)
```

```
    else
```

```
        ELsunEPD=0
```

```
    end
```

```
end
```

Pro rozhodování o azimutu je zapotřebí více podmínek, jelikož se nevyhodnocuje pouze z jedné nezávislé strany jako elevace. V případě ozáření strany 1 se ověří úroveň ozáření

strany 2 nebo 4, ze kterých se pak určuje azimut v rozmezí 270° až 90°. Není-li ozářena strana jedna, ale strana 3, ověřuje se obdobně úroveň ozáření strany 2 nebo 4 a určí se azimut v rozsahu 90° až 270°. Je-li ozářena pouze jedna ze čtyř stran, může azimut nabývat pouze hodnot 0°, 90°, 180° či 270°. Opět se zde pracuje s řetězci, které by v případě zpracování do procesoru satelitu byly nahrazeny proměnnými typu INT.

```
pom1=(EPDsun(1:5,1)');
pom2=(EPDsun(1:5,2)');
pom3=(EPDsun(1:5,3)');
pom4=(EPDsun(1:5,4)');

if pom1~=('xxxxx')
    if pom2~=('xxxxx')
        AZsunEPD=azimut(EPDsun(1:5,2)')
    else
        if pom4~=('xxxxx')
            AZsunEPD=360-azimut(EPDsun(1:5,4)')
        else
            AZsunEPD=0
        end
    end
end
else
    if pom3~=('xxxxx')
        if pom2~=('xxxxx')
            AZsunEPD=180-azimut(EPDsun(1:5,2)')
        else
            if pom4~=('xxxxx')
                AZsunEPD=azimut(EPDsun(1:5,4)')+180
            else
                AZsunEPD=180
            end
        end
    end

    else
        if pom2~=('xxxxx')
            AZsunEPD=90
        else
            AZsunEPD=270
        end
    end
end
end
```

Výsledný produkt může vypadat například takto:

$$EL_{\text{sunEPD}} = -67.5000$$

$$EL_{\text{sunBPW}} = -67.5000$$

$$EL_{\text{albedoEPD}} = 2.5000$$

$$EL_{\text{albedoBPW}} = 2.5000$$

$$EL_{\text{albedoTPS}} = 2.5000$$

$$AZ_{\text{sunEPD}} = 107.5000$$

$$AZ_{\text{sunBPW}} = 107.5000$$

$$AZ_{\text{albedoEPD}} = 0$$

$$AZ_{\text{albedoBPW}} = 0$$

$$AZ_{\text{albedoTPS}} = 0$$

Poloha slunce není počítána s chybou.

7

Budoucí práce

- a) Naprogramovat algoritmus do procesoru satelitu v příslušném jazyce.
- b) Převést výstupní unikátní vektory na určení místa v paměti, kde je umístěn odpovídající azimut a elevace.
- c) Uvedení satelitu do provozu na oběžné dráze.
- d) Praktické ověření teoretické využitelnosti trojice detektorů záření k určení prostorové orientace.
- e) Z naměřených hodnot výstupních proudů a napětí detektorů záření stanovit přesné kvantizační tabulky odpovídající reálným podmínkám.

8

Závěr

Tato diplomová práce řešila otázku využitelnosti trojice detektorů záření k určení prostorové orientace pikosatelitu PilsenCUBE. Byl proveden rozbor záření Slunce a jeho odrazu od Země se současnou vlastní emisivitou Země. Z hodnot solárního záření převzatých z ASTM-E-490 [3] odpovídající AM0 byly stanoveny teoretické výstupní hodnoty jednotlivých detektorů záření EPD 365-0/1.4, BPW-21 a TPS 230 podle daného úhlu ozáření.

Za účelem rozhodnutí o věrohodnosti výstupních hodnot z detektorů v oblasti vysokého úhlu ozáření (nízké výstupní úrovně signálu) byla provedena šumová analýza. Z teoretického výpočtu i simulace bylo dosaženo řádově totožných výsledků, pro něž odstup signálu od šumu byl stále dostačující. Na základě těchto výsledků bylo rozhodnuto o tom, že bude využit celý rozsah viditelnosti detektorů.

Z výstupních úrovní signálů jednotlivých senzorů byla definována kvantizační tabulka k určení úhlu ozáření. Krok mezi jednotlivými úrovněmi byl zvolen 5° . Pro ozáření 0° až 90° tak bylo zvoleno pětibitového kvantování pro zachycení všech možných stavů.

Ze znalosti krychlového tvaru satelitu a umístění trojice detektorů uprostřed každé ze stěn satelitu byla vytvořena teorie k určení prostorové orientace satelitu. S ohledem na tuto teorii byl vytvořen algoritmus v programovém prostředí MATLAB. Výstupem programu je sada unikátních vektorů odpovídajících jedinečnému ozáření satelitu ze třech nejsilnějších signálů podle dopadajícího světla na stěny satelitu. Tyto unikátní vektory budou definovat místo v paměti, kde bude uložena tabulka předem vypočtených hodnot azimutů a elevací.

Pro zrychlené vyhodnocování člověkem je součástí programu sada podmínek automaticky prohledávající imaginární LUT. Pro palubní počítač to znamená zbytečný výpočetní výkon, který je třeba šetřit, a tak bude využito prohledávání paměti. Automatické vyhodnocování azimutu a elevace by mohlo být využito v pozemní stanici, pokud by součástí přenášené zprávy ze satelitu byly sady unikátních vektorů. Zvláště v počátcích mise satelitu, kdy bude nutné přenastavit kvantizační tabulky podle reálně změřených hodnot, by se tato část kódu v pozemní stanici mohla uplatnit k rychlému ověření funkce určování prostorové orientace.

Jako doplněk k určení relativní polohy Slunce je uvedena maximální či minimální

chyba polohy Slunce v jedné až dvou osách satelitu. Jelikož není možné rozeznat částečné ozáření satelitu současně od Země i Slunce, je alespoň definována minimální či maximální chyba v určování polohy Slunce.

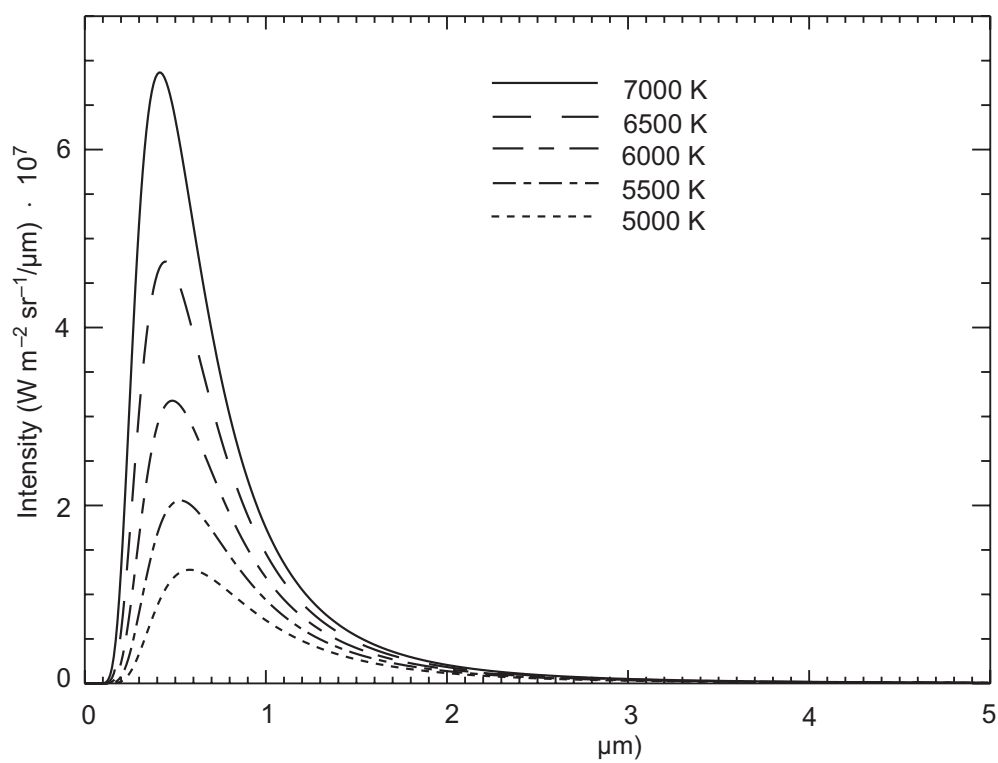
Literatura

- [1] N. K. Liou. *An Introduction to Atmospheric Radiation Second Edition.*, Academic Press, 2002.
- [2] Robert B. Lee and Robert S. Wilson. *Accuracy and Precision of Earth Radiation Budget Experiment [ERBE] Solar Monitor on the Earth Radiation Budget Satellite [ERBS]*, NASA, 2005.
- [3] Daryl Myer. *Solar Spectra: Standard Air Mass Zero* ASTM-E-490-00, NREL, U.S. Department of Energy, 2004. Dostupné z: <http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am0/ASTM2000.html>
- [4] Nagarjuna Rao Kandimala 6. *Master Thesis, Optical Attitude Determination Subsystem for PilsenCUBE Pico-Satellite.*, 2012.

Příloha A

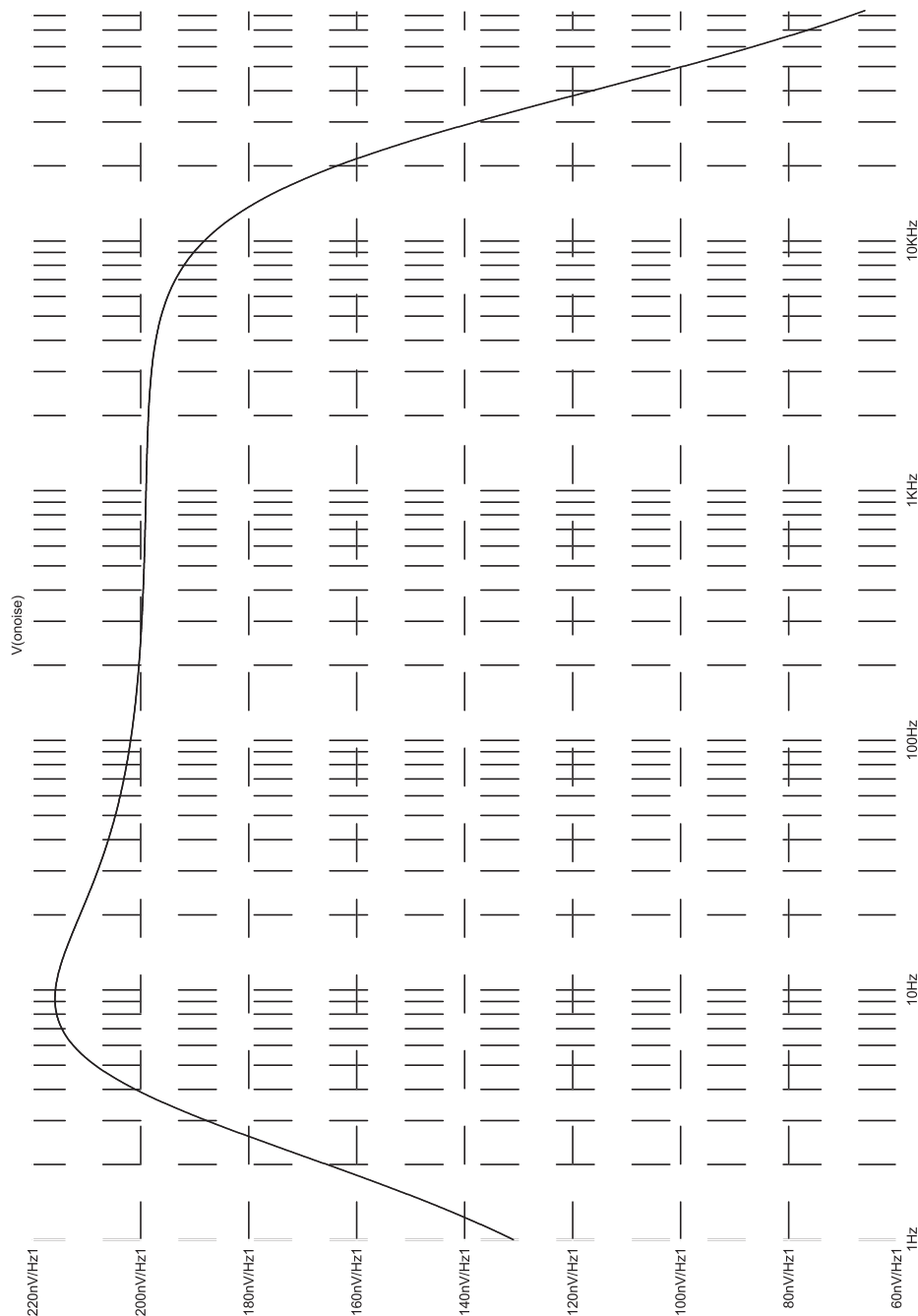
Obrázky

A.1 Vyzařování absolutně černého tělesa



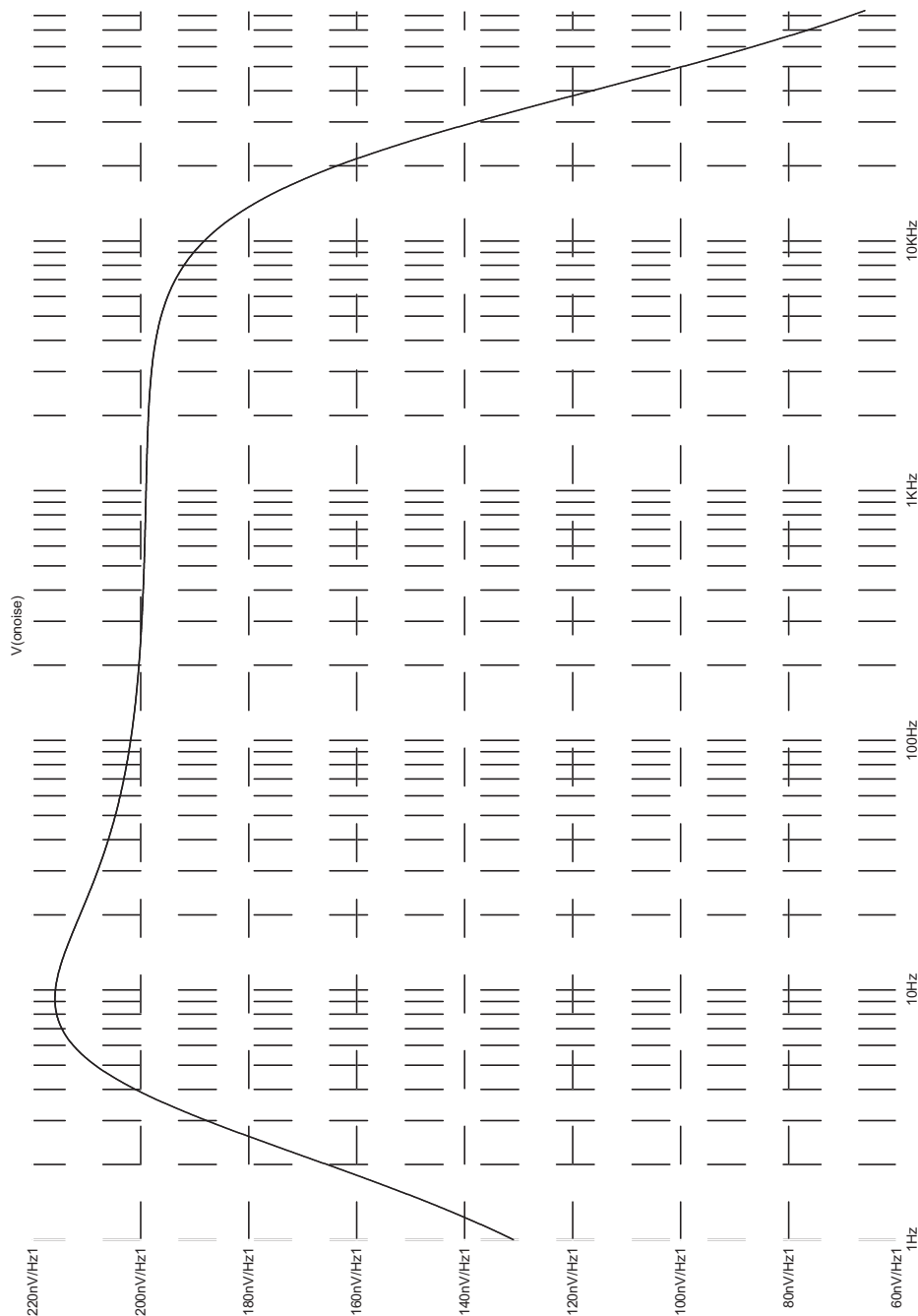
Obr. A.1: Vyzařování absolutně černého tělesa [1]

A.2 Výsledek šumové analýzy senzoru EPD



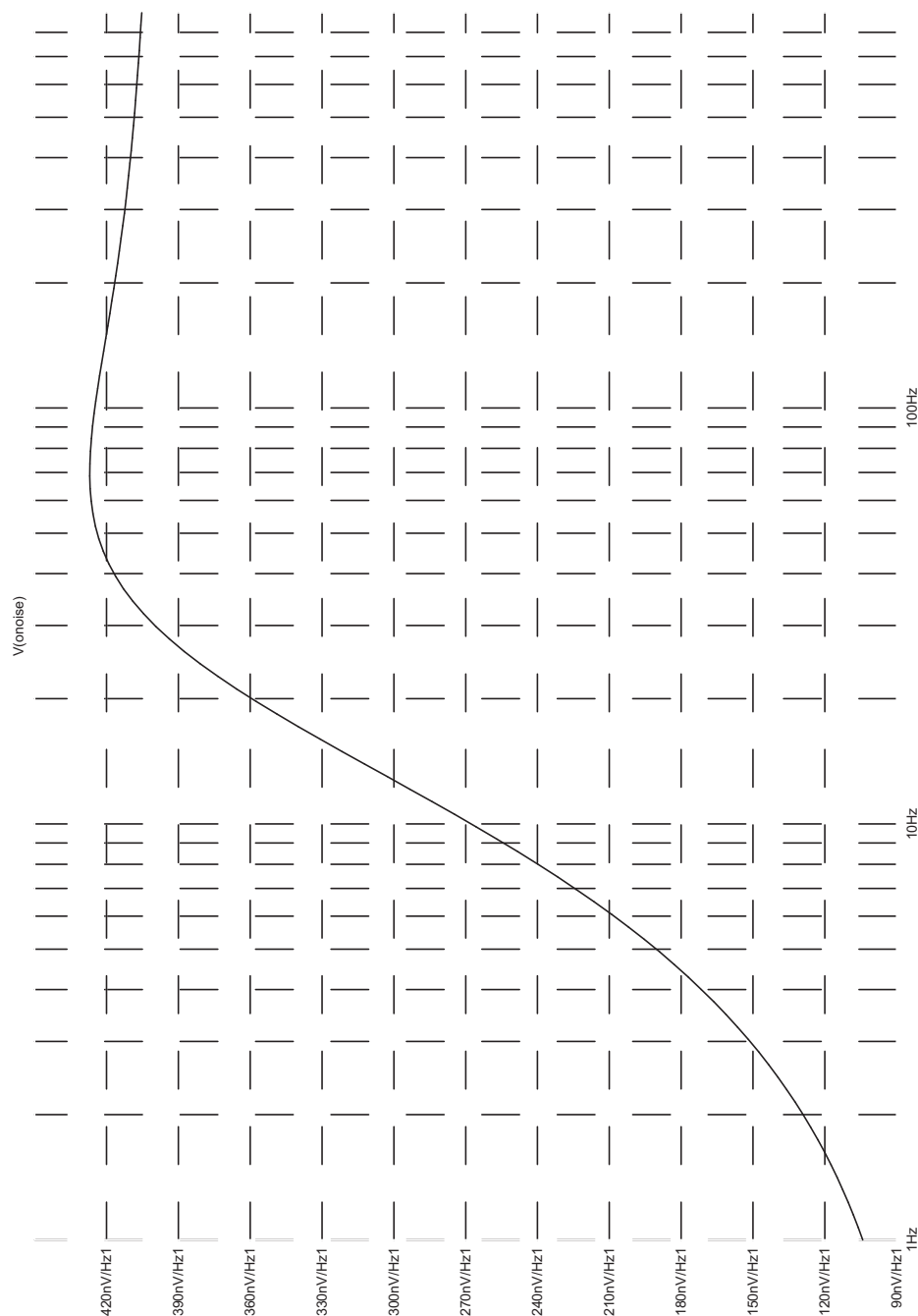
Obr. A.2: Výsledek šumové analýzy senzoru EPD

A.3 Výsledek šumové analýzy senzoru BPW



Obr. A.3: Výsledek šumové analýzy senzoru BPW

A.4 Výsledek šumové analýzy senzoru TPS



Obr. A.4: Výsledek šumové analýzy senzoru TPS

Příloha B

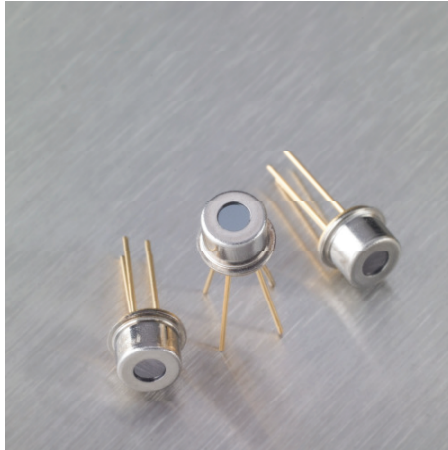
Datasheety

B.1 Datasheet TPS 230/3365

Thermopile Sensor

TPS 230 / 3365

Revision - Date: 2007/11/12



Introduction

PerkinElmer introduces the new TPS 230 as part of the TPS 23x family for low-cost remote temperature measurement applications. It consists of a silicon (Si) based thermopile chip in a metal housing with IR transmissive filter. The Si-chip carries a series of thermoelements, forming a sensitive area covered by an IR absorbing material.

With its optimized output signal, the TPS 23x family replaces the TPS 43x series by offering better performance at a lower cost.

The thermopile sensing principle allows for broadband IR measurements. PerkinElmer Optoelectronics thermopile sensors are equipped with a MEMS / MOEMS state-of-the-art sensing element and an optical filter that defines the sensitive spectral range of the sensor and at the same time serves as device window.

Properties of TPS 230

The TPS 230 is a miniature thermopile sensor in the extremely small TO-41 (3.5 mm cap diameter) housing. It is especially suited for compact ear thermometer solutions.

The sensor employs a very small thermopile chip with a 0.5 mm round active area allowing small spot sizes in pyrometer applications. The chip is optimized for a large output signal.

The round window is equipped with an PerkinElmer's standard IR longpass filter with 5.5 μm cut-on wavelength. The frequency behavior corresponds to a low pass characteristic.

A 100 k Ω thermistor inside the TO-housing serves as the ambient temperature reference.

Features and Benefits

- Miniature TO-41 housing (3.5 mm \varnothing)
- Small and perfectly round measurement spot
- Large output voltage
- High signal to noise ratio
- 5.5 μm IR longpass filter
- Stable signal in the case of ambient thermal shock due to the small TO-41 housing
- RoHS compliant – Si-chip made by standard CMOS processes

Applications

- Compact ear thermometer
- High precision remote temperature sensing
- Infrared pyrometry

www.optoelectronics.perkinelmer.com


PerkinElmer[®]
precisely.

Table of Contents

1	General Characteristics	3
1.1	Absolute Maximum Ratings	3
1.2	Handling Requirements	3
2	Type Characteristics	3
2.1	Design Characteristics	3
2.2	Electrical Characteristics	3
2.3	Optical Characteristics	6
2.4	Mechanical Drawing	7
3	Quality Statement	7
3.1	Liability Policy	7

List of Figures

Figure 1:	Typical output voltage versus object temperature with sensor at 25° C	4
Figure 2:	Field of View Curve	6
Figure 3:	Transmission Curve for PerkinElmer Standard Filter	6
Figure 4:	Mechanical Drawing of the TPS 230	7

List of Tables

Table 1:	Absolute Maximum Ratings	3
Table 2:	Design Characteristics	3
Table 3:	Thermopile sensor characteristics	3
Table 4:	Typical numerical data of Thermopile's output voltage (sensor at 25° C)	4
Table 5:	Thermistor 100 kΩ	5
Table 6:	Tabulated Thermistor Data	5
Table 7:	Optical Characteristics	6
Table 8:	Filter Parameters	6

1 General Characteristics

1.1 Absolute Maximum Ratings

Table 1: Absolute Maximum Ratings

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit	Conditions
TA	Ambient temperature range	-20		100	°C	Operation
TA	Ambient temperature range	-40		100	°C	Storage

1.2 Handling Requirements

Stresses above the absolute maximum ratings may cause damages to the device. Do not expose the sensor to aggressive detergents such as Freon, Trichloroethylene, etc. Windows may be cleaned with alcohol and cotton swab. Hand soldering and wave soldering may be applied by a maximum temperature of 260 °C for a dwell time less than 10 s. Avoid heat exposure to the top and the window of the detector. Reflow soldering is not recommended.

2 Type Characteristics

2.1 Design Characteristics

The Sensor TPS 230 is a lead-free component and fully complies with the RoHS regulations.

Table 2: Design Characteristics

Parameter	Description
Cap	Metal cap with integrated IR window
Header	TO 41
Leads	(3 isolated + 1 ground) pins with solderable gold coating
Filter type	Si-based interference IR longpass filter
Temperature reference	Thermistor 100 kΩ
Insulation gas sealing	The sensor is sealed in a dry nitrogen environment and gross leak proof
Device marking	PerkinElmer Logo "P" + device number xxxx + 3 digits date code YWW

2.2 Electrical Characteristics

Table 3: Thermopile sensor characteristics

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit	Conditions
	Sensitive Area		0.2		mm ²	Absorber Ø0.5 mm (round)
R _{TP}	Resistance	85		135	kΩ	
S _v	Responsivity		42		V/W	T _{obj} = 500 K (=227 °C), T _{amb} = 298 K (=25 °C) 1Hz,
ΔU / ΔT	Average sensitivity		28		μV/K	T _{obj} = 313 K (=40 °C), T _{amb} = 298 K (=25 °C)
ΔU / ΔT	Average sensitivity		36		μV/K	T _{obj} = 373 K (=100 °C), T _{amb} = 298 K (=25 °C)
τ	Time constant		15		ms	
V _{RMS}	Noise voltage		40		nV/√Hz	
	TC of resistance		0.03		%/K	
	TC of sensitivity		-0.05		%/K	

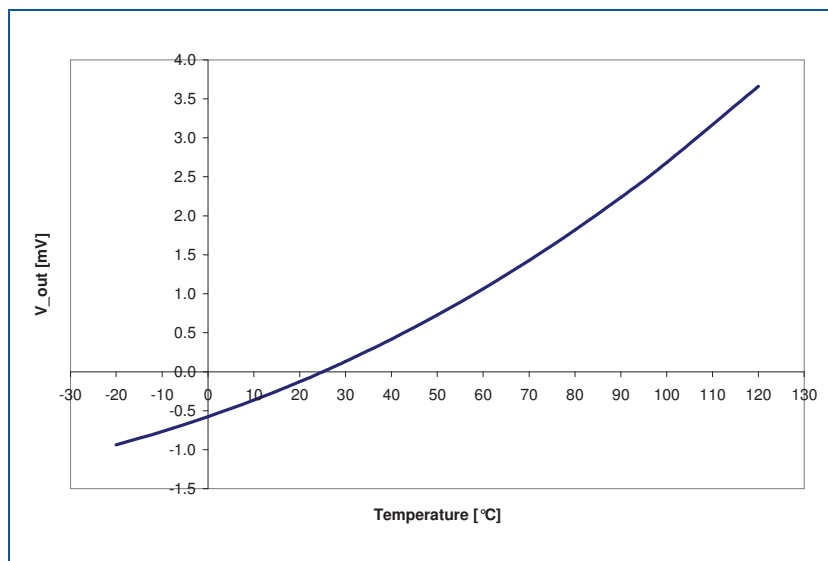


Figure 1: Typical output voltage versus object temperature with sensor at 25 °C.

Table 4: Typical numerical data of Thermopile's output voltage (sensor at 25 °C)

Temp. °C	V_out mV
-20	-0.94
-10	-0.77
0	-0.58
10	-0.36
20	-0.13
25	0.00
30	0.13
40	0.42
50	0.73
60	1.06
70	1.43
80	1.82
90	2.24
100	2.68
120	3.66

Table 5: Thermistor 100 kΩ

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit	Conditions
R25	Base resistance	95	100	105	kΩ	Tamb = 25 °C
β	BETA -value		3964		K	Defined at 25 °C/100 °C
β	BETA - tolerance			± 0.3	%	

Table 6: Tabulated Thermistor Data

Temp. °C	R _{min1} Ω	R _{min2} Ω	R _{nom} Ω	R _{max2} Ω	R _{max1} Ω
-20	862756	909418	915479	921581	968201
-15	655207	690548	694575	698625	733944
-10	501697	528693	531349	534018	561001
-5	387196	407985	409715	411452	432234
0	301098	317232	318336	319444	335574
5	235852	248468	249149	249832	262445
10	186038	195972	196369	196767	206701
15	147731	155608	155815	156022	163900
20	118070	124357	124439	124521	130808
25	95000	100000	100000	100000	105000
30	76707	80791	80843	80895	84978
35	62328	65649	65732	65815	69137
40	50926	53643	53743	53843	56559
45	41833	44067	44175	44283	46516
50	34541	36387	36497	36608	38453
55	28662	30195	30303	30412	31944
60	23898	25176	25280	25385	26663
65	20017	21089	21187	21286	22357
70	16842	17744	17836	17928	18830
75	14231	14994	15079	15165	15927
80	12075	12721	12800	12879	13526
85	10286	10838	10910	10983	11534
90	8796	9268	9334	9401	9872
95	7550	7956	8016	8077	8481
100	6504	6853	6908	6964	7313

R_{min1} : Minimum Thermistor Resistance resulting from the Total Tolerance
 R_{min2} : Minimum Thermistor Resistance resulting from the BETA-Tolerance
 R_{nom} : Typical Thermistor Resistance
 R_{max1} : Maximum Thermistor Resistance resulting from the Total Tolerance
 R_{max2} : Maximum Thermistor Resistance resulting from the BETA-Tolerance

2.3 Optical Characteristics

Table 7: Optical Characteristics

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit	Conditions
	Field of view		82		degree	At 50% target signal
	Optical axis		0	+/- 10	degree	

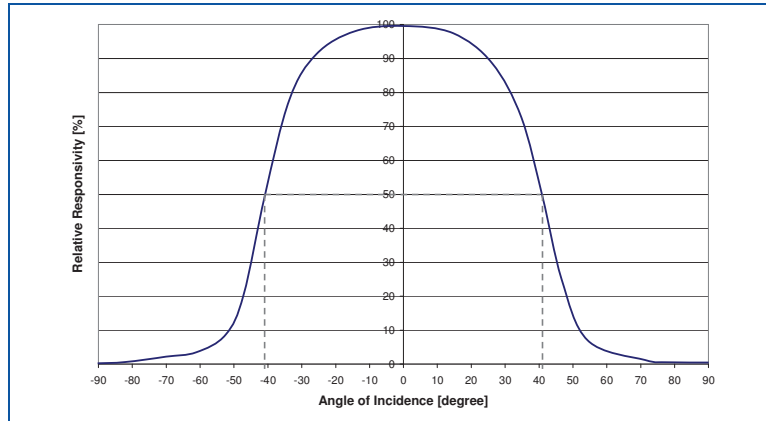


Figure 2:Field of View Curve

Table 8: Filter Parameters

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit	Conditions
TA	Average transmittance	75	> 77		%	Wavelength range from 7.5 μm to 13.5 μm
TA	Average transmittance			< 0.5	%	Wavelength range < 5 μm
λ (5 %)	Cut on wavelength	5.2	5.5	5.8	μm	At 25° C

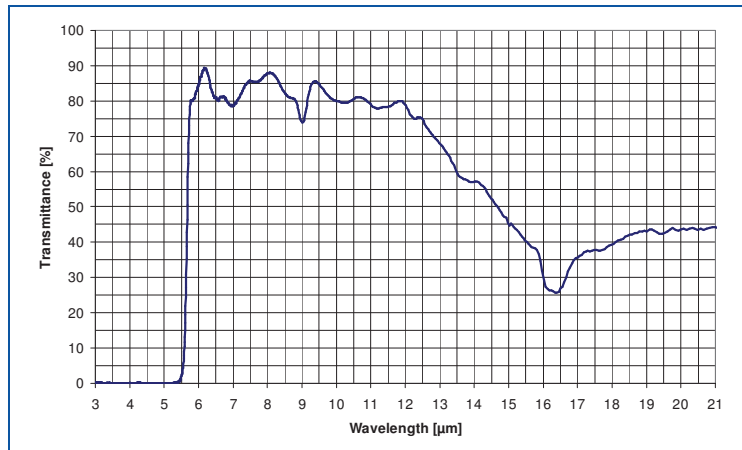


Figure 3: Transmission Curve for PerkinElmer Standard Filter

2.4 Mechanical Drawing

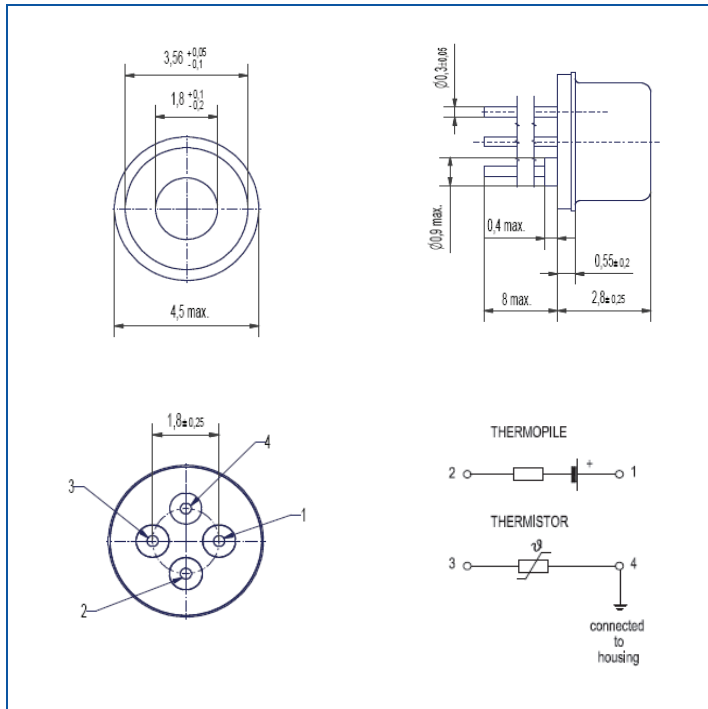


Figure 4: Mechanical Drawing of the TPS 230

3 Quality Statement

PerkinElmer Optoelectronics is an ISO 9001:2002 and ISO/TS 16949:2002 certified manufacturer. All devices employing PCB assemblies are manufactured according to IPC-A-610 guidelines.

3.1 Liability Policy

The contents of this document are subject to change without notice and customers should consult with PerkinElmer Optoelectronics sales representatives before ordering. Customers considering the use of PerkinElmer Optoelectronics thermopile devices in applications where failure may cause personal injury or property damage, or where extremely high levels of reliability are demanded, are requested to discuss their concerns with PerkinElmer Optoelectronics sales representatives before such use. The Company's responsibility for damages will be limited to the repair or replacement of defective product. As with any semiconductor device, thermopile sensors or modules have a certain inherent rate of failure. To protect against injury, damage or loss from such failures, customers are advised to incorporate appropriate safety design measures into their product.

North America Customer Support Hub
PerkinElmer Optoelectronics
 22001 Dumbery Road
 Vaudreuil-Dorion, Québec
 Canada J7V 8P7
 Telephone: +1 450-424-3300, (+1) 866-574-6786 (toll-free)
 Fax: +1 450-424-3345
 Email: opto@perkinelmer.com
www.optoelectronics.perkinelmer.com

European Headquarters
PerkinElmer Optoelectronics
 Wenzel-Jaksch-Str. 31
 65199 Wiesbaden, Germany
 Telephone: (+49) 611-492-247
 Fax: (+49) 611-492-170
 Email: opto.Europe@perkinelmer.com

Asia Headquarters
PerkinElmer Optoelectronics
 47 Ayer Rajah Crescent #06-12
 Singapore 139947
 Telephone: (+65) 6775-2022
 Fax: (+65) 6775-1008
 Email: opto.Asia@perkinelmer.com



For a complete listing of our global offices, visit www.optoelectronics.perkinelmer.com
 ©2007 PerkinElmer, Inc. All rights reserved. The PerkinElmer logo and design are registered trademarks of PerkinElmer, Inc. All other trademarks not owned by PerkinElmer, Inc. or its subsidiaries that are depicted herein are the property of their respective owners. PerkinElmer reserves the right to change this document at any time without notice and disclaims liability for editorial, pictorial or typographical errors.
 600235_01 DTS1107

B.2 Datasheet EPD-365-0-1.4

Photodiode

EPD-365-0-1.4

Preliminary

11.04.2007

rev. 03/07

Wavelength	Type	Technology	Case
UV	Schottky Contact	GaP	TO-46 + UG-11 filter

	<p>Description</p> <p>Wide bandwidth and high spectral sensitivity in the UV range (245 nm - 400 nm), mounted in hermetically sealed TO-46 package with UG11 UV filter-glass window</p> <p>Applications</p> <p>Medical engineering (dermatology), output check of UV - lamps and gas burner flame, measurement and control of ecological parameters, radiation control for a solarium, UV water purification facilities</p>
--	---

Miscellaneous Parameters

T_{amb} = 25°C, unless otherwise specified

Parameter	Test conditions	Symbol	Value	Unit
Active area		A	1.2	mm ²
Temperature coefficient of I _D		T _C (I _D)	7.0	%/K
Operating temperature range		T _{amb}	-40 to +125	°C
Storage temperature range		T _{stg}	-40 to +125	°C
Acceptance angle at 50% S _λ		φ	50	deg.

Optical and Electrical Characteristics

T_{amb} = 25°C, unless otherwise specified

Parameter	Test conditions	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Breakdown voltage ¹⁾	I _R = 10 μA	V _R	5			V
Dark current	V _R = 5 V	I _D		5	30	pA
Peak sensitivity wavelength	V _R = 0 V	λ _p		365		nm
Responsivity at λ _p	V _R = 0 V	S _λ		0.07		A/W
Sensitivity range at 1%	V _R = 0 V	λ _{min} , λ _{max}	245		400	nm
Spectral bandwidth at 50%	V _R = 0 V	Δλ _{0.5}		85		nm
Shunt resistance	V _R = 10 mV	R _{SH}	150	200		GΩ
Noise equivalent power	λ = 365 nm	NEP		1.8x10 ⁻¹⁴		W/√Hz
Specific detectivity	λ = 365 nm	D*		5.9x10 ¹²		cm·√Hz·W ⁻¹
Junction capacitance	V _R = 0 V	C _J		250		pF
Switching time (R _L = 50 Ω)	V _R = 5 V	t _r , t _f		1/20		ns
Photo current at λ = 365 nm ^{1,2)}	V _R = 0 V E _e = 1 mW/cm ²	I _{ph}		0.3		μA

¹⁾for information only

²⁾measured with common halogen lamp source and appropriate filter

Note: All measurements carried out with EPIGAP equipment

Labeling

Type	Lot N°	R _D (typ.) [GΩ]	Quantity
EPD-365-0-1.4			

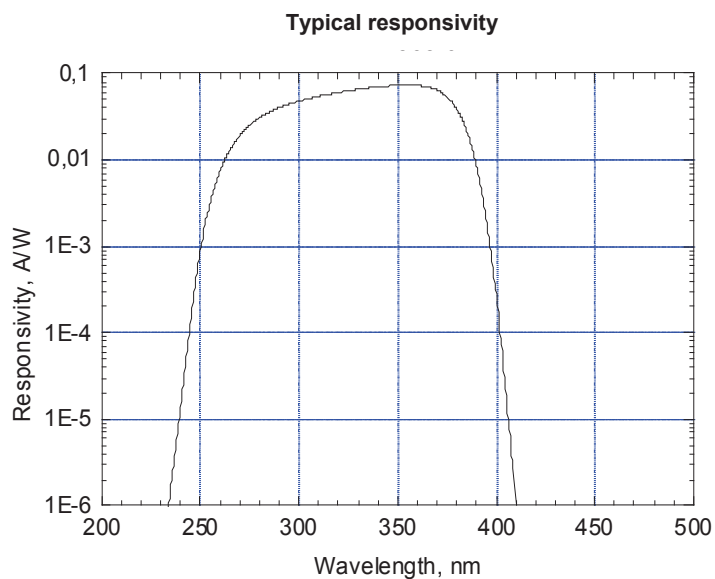
Photodiode

EPD-365-0-1.4

Preliminary

11.04.2007

rev. 03/07

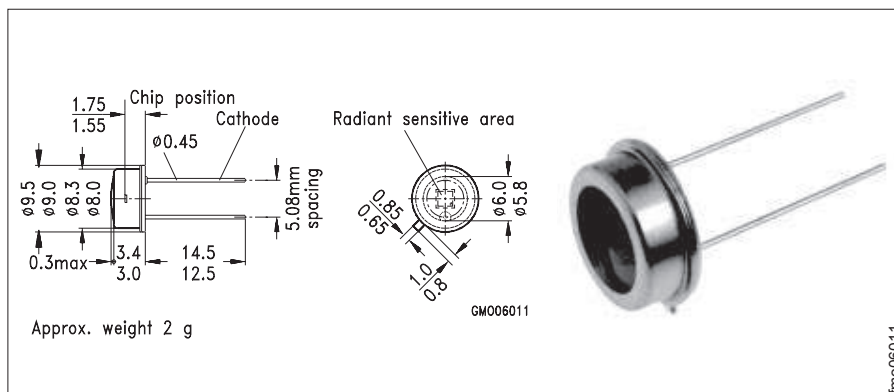


B.3 Datasheet BPW 21

SIEMENS

Silizium-Fotodiode für den sichtbaren Spektralbereich
Silicon Photodiode for the visible spectral range

BPW 21



Maße in mm, wenn nicht anders angegeben/Dimensions in mm, unless otherwise specified.

Wesentliche Merkmale

- Speziell geeignet für Anwendungen im Bereich von 350 nm bis 820 nm
- Angepaßt an die Augenempfindlichkeit (V_λ)
- Hermetisch dichte Metallbauform (ähnlich TO-5)

Anwendungen

- Belichtungsmesser für Tageslicht
- Für Kunstlicht mit hoher Farbtemperatur in der Fotografie und Farbanalyse

Features

- Especially suitable for applications from 350 nm to 820 nm
- Adapted to human eye sensitivity (V_λ)
- Hermetically sealed metal package (similar to TO-5)

Applications

- Exposure meter for daylight
- For artificial light of high color temperature in photographic fields and color analysis

Type	Bestellnummer Ordering Code
BPW 21	Q62702-P885

SIEMENS**BPW 21****Grenzwerte
Maximum Ratings**

Bezeichnung Description	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Betriebs- und Lagertemperatur Operating and storage temperature range	$T_{op}; T_{stg}$	- 40 ... + 80	°C
Löttemperatur (Lötstelle 2 mm vom Gehäuse entfernt bei Lötzeit $t \leq 3$ s) Soldering temperature in 2 mm distance from case bottom ($t \leq 3$ s)	T_S	235	°C
Sperrspannung Reverse voltage	V_R	10	V
Verlustleistung, $T_A = 25$ °C Total power dissipation	P_{tot}	250	mW

Kennwerte ($T_A = 25$ °C, Normlicht A, $T = 2856$ K)
Characteristics ($T_A = 25$ °C, standard light A, $T = 2856$ K)

Bezeichnung Description	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Fotoempfindlichkeit, $V_R = 5$ V Spectral sensitivity	S	10 (≥ 5.5)	nA/lx
Wellenlänge der max. Fotoempfindlichkeit Wavelength of max. sensitivity	$\lambda_{S\ max}$	550	nm
Spektraler Bereich der Fotoempfindlichkeit $S = 10$ % von S_{max} Spectral range of sensitivity $S = 10$ % of S_{max}	λ	350 ... 820	nm
Bestrahlungsempfindliche Fläche Radiant sensitive area	A	7.34	mm ²
Abmessung der bestrahlungsempfindlichen Fläche Dimensions of radiant sensitive area	$L \times B$ $L \times W$	2.73×2.73	mm \times mm
Abstand Chipoberfläche zu Gehäuseoberfläche Distance chip front to case surface	H	1.9 ... 2.3	mm
Halbwinkel Half angle	φ	± 55	Grad deg.

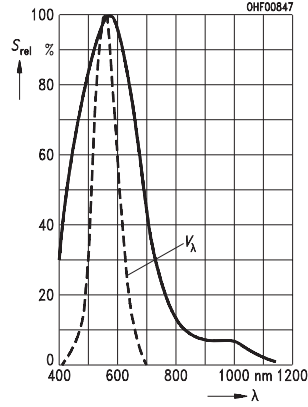
SIEMENS**BPW 21****Kennwerte** ($T_A = 25\text{ °C}$, Normlicht A, $T = 2856\text{ K}$)**Characteristics** ($T_A = 25\text{ °C}$, standard light A, $T = 2856\text{ K}$) (cont'd)

Bezeichnung Description	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Dunkelstrom Dark current $V_R = 5\text{ V}$ $V_R = 10\text{ mV}$	I_R I_R	2 (≤ 30) 8 (≤ 200)	nA pA
Spektrale Fotoempfindlichkeit, $\lambda = 550\text{ nm}$ Spectral sensitivity	S_λ	0.34	A/W
Quantenausbeute, $\lambda = 550\text{ nm}$ Quantum yield	η	0.80	<u>Electrons</u> Photon
Leerlaufspannung, $E_v = 1000\text{ lx}$ Open-circuit voltage	V_O	400 (≥ 320)	mV
Kurzschlußstrom, $E_v = 1000\text{ lx}$ Short-circuit current	I_{SC}	10	μA
Anstiegs- und Abfallzeit des Fotostromes Rise and fall time of the photocurrent $R_L = 1\text{ k}\Omega$; $V_R = 5\text{ V}$; $\lambda = 550\text{ nm}$; $I_p = 10\text{ }\mu\text{A}$	t_r, t_f	1.5	μs
Durchlaßspannung, $I_F = 100\text{ mA}$, $E = 0$ Forward voltage	V_F	1.2	V
Kapazität, $V_R = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$, $E = 0$ Capacitance	C_0	580	pF
Temperaturkoeffizient von V_O Temperature coefficient of V_O	TC_V	-2.6	mV/K
Temperaturkoeffizient von I_{SC} Temperature coefficient of I_{SC}	TC_I	-0.05	%/K
Rauschäquivalente Strahlungsleistung Noise equivalent power $V_R = 5\text{ V}$, $\lambda = 550\text{ nm}$	NEP	7.2×10^{-14}	$\frac{\text{W}}{\sqrt{\text{Hz}}}$
Nachweisgrenze, $V_R = 5\text{ V}$, $\lambda = 550\text{ nm}$ Detection limit	D^*	1×10^{12}	$\frac{\text{cm} \cdot \sqrt{\text{Hz}}}{\text{W}}$

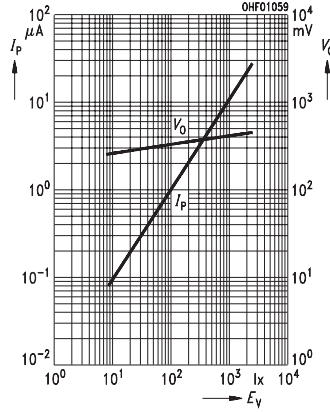
SIEMENS

BPW 21

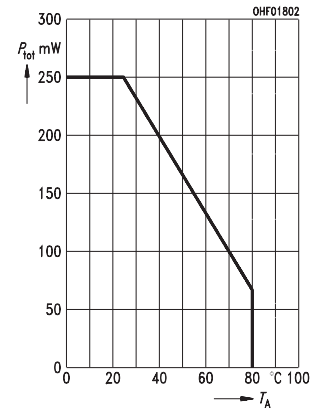
Relative spectral sensitivity
 $S_{rel} = f(\lambda)$



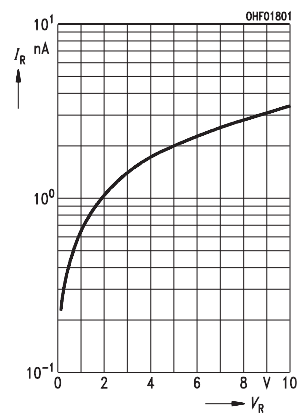
Photocurrent $I_P = f(E_V), V_R = 5 V$
Open-circuit voltage $V_O = f(E_V)$



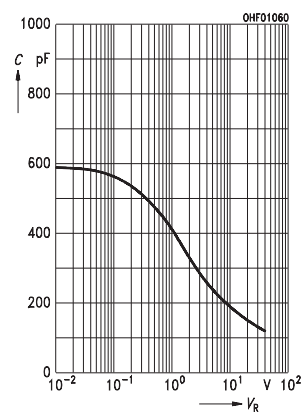
Total power dissipation
 $P_{tot} = f(T_A)$



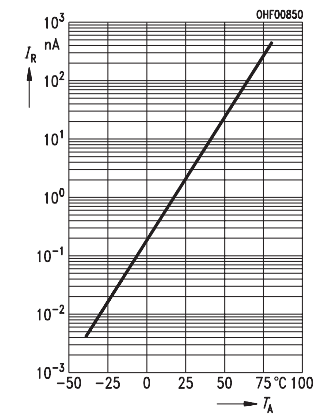
Dark current
 $I_R = f(V_R)$



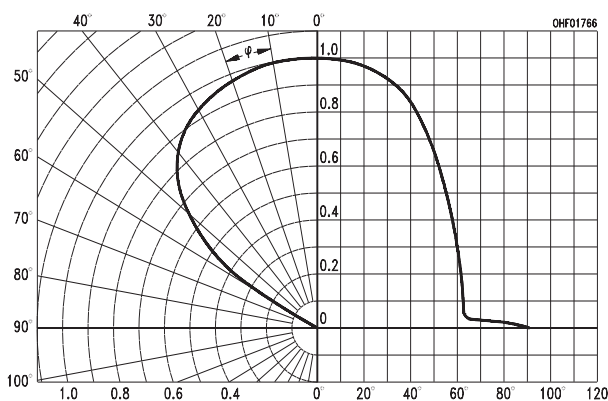
Capacitance
 $C = f(V_R), f = 1 MHz, E = 0$



Dark current
 $I_R = f(T_A), V_R = 5 V$



Directional characteristics $S_{rel} = f(\varphi)$



Příloha C

Tabulky

C.1 Výstupní hodnoty proudů ze senzorů EPD a BPW

Úhel ozáření [°]	Iepdsun [A]	Iepdalbedo [A]	Ibpwsun [A]	Ibpwalbedo [A]
0	6,18E-06	1,08E-06	1,17E-03	2,66E-04
5	6,16E-06	1,08E-06	1,16E-03	2,66E-04
10	6,10E-06	1,07E-06	1,15E-03	2,64E-04
15	6,00E-06	1,05E-06	1,13E-03	2,58E-04
20	5,87E-06	1,01E-06	1,11E-03	2,50E-04
25	5,49E-06	9,70E-07	1,04E-03	2,40E-04
30	4,76E-06	9,23E-07	8,68E-04	2,28E-04
35	3,89E-06	8,74E-07	7,34E-04	2,16E-04
40	3,09E-06	8,24E-07	5,83E-04	2,04E-04
45	2,29E-06	7,79E-07	4,32E-04	1,92E-04
50	1,42E-06	7,33E-07	2,67E-04	1,81E-04
55	6,84E-07	6,82E-07	1,29E-04	1,69E-04
60	3,09E-07	6,27E-07	5,83E-05	1,55E-04
65	1,99E-07	5,71E-07	3,75E-05	1,41E-04
70	1,19E-07	5,14E-07	2,24E-05	1,27E-04
75	6,40E-08	4,59E-07	1,21E-05	1,13E-04
80	3,09E-08	4,05E-07	5,83E-06	1,00E-04
85	9,55E-09	3,56E-07	1,80E-06	8,79E-05
90	0,00E+00	3,11E-07	0,00E+00	7,70E-05

Tab. C.1: Výstupní hodnoty proudů ze senzorů EPD a BPW podle úhlu ozáření.

C.2 Tabulky SNR

Úhel ozáření [°]	SNRedpalb-2imp [dB]	SNRedpalb-NEP [dB]	SNRedpsun-2imp [dB]	SNRedpsun-NEP [dB]	SNRbpwalb [dB]	SNRbpwsun [dB]
0	75,20	75,69	90,35	90,85	104,20	117,07
5	75,20	75,69	90,33	90,82	104,20	116,99
10	75,12	75,61	90,24	90,73	104,14	116,92
15	74,96	75,45	90,10	90,59	103,94	116,77
20	74,62	75,11	89,90	90,40	103,66	116,62
25	74,27	74,76	89,32	89,82	103,31	116,05
30	73,83	74,33	88,09	88,58	102,87	114,78
35	73,36	73,86	86,33	86,83	102,40	113,02
40	72,85	73,34	84,33	84,83	101,90	111,02
45	72,36	72,86	81,73	82,22	101,38	108,42
50	71,84	72,33	77,58	78,07	100,86	104,24
55	71,20	71,70	71,23	71,73	100,27	97,92
60	70,48	70,97	64,33	64,83	99,52	91,02
65	69,67	70,16	60,51	61,00	98,69	87,19
70	68,75	69,24	56,04	56,54	97,79	82,71
75	67,77	68,26	50,66	51,15	96,77	77,37
80	66,68	67,18	44,33	44,83	95,70	71,02
85	65,56	66,06	34,13	34,63	94,59	60,82

Tab. C.2: Tabulky SNR podle úhlu ozáření.

C.3 Výtažek z LUT tabulky

elevace	strana 5 / strana 6				
±0	1	0	0	1	1
±2,5	1	0	0	1	0
±7,5	1	0	0	0	1
±12,5	1	0	0	0	0
±17,5	0	1	1	1	1
±22,5	0	1	1	1	0
±27,5	0	1	1	0	1
±32,5	0	1	1	0	0
±37,5	0	1	0	1	1
±42,5	0	1	0	1	0
±47,5	0	1	0	0	1
±52,5	0	1	0	0	0
±57,5	0	0	1	1	1
±62,5	0	0	1	1	0
±67,5	0	0	1	0	1
±72,5	0	0	1	0	0
±77,5	0	0	0	1	1
±82,5	0	0	0	1	0
±87,5	0	0	0	0	1
±90	0	0	0	0	0

Tab. C.3: LUT tabulka pro určení elevace.

Příloha D

Skripty

D.1 Skripty SNR

D.1.1 SNR EPD Albedo - NEP

```
1
2 %constants
3 q=1.602*10^-19;
4 k=1.3806*10^-23;
5
6 %data
7 B=BpreampEPD; %[Hz]
8 Rin=1*10^5; %[ohm]
9 Rsh=[800 200 50 12.5]*10^9;%Rsh decreasing twice every 10°C
10 TC=[5 25 45 65];%[°C]
11 TK=TC+273.15;%[K]
12 Rp=max((Rin.*Rsh)./(Rin+Rsh));
13
14 Ib=350*10^-12;%amplifier noise current
15 Ub2=(Ib*Rp)^2;
16
17 Unz2=(18*sqrt(B)*10^-9)^2;%amplifier noise voltage
18
19 Uthmax2=(1.8*sqrt(B)*10^-14);%ekvivalent noise power EPD
20
21 Un2=sqrt(Ub2+Unz2+Uthmax2);%RMS of all voltages
22
23 for i=1:18
24     Is=Is_albedoEPD(i)*10^-6; %Output senzor current
25     Us=Is*Rin;
26
27     SNR=(Us)./(Un2/2);%noise is decreased 4 times in power by averaging ADC
28     SNRdb=20*log10(SNR)
29 end
30
```

D.1.2 SNR EPD Albedo - 2 impedance

```
1
2 %constants
3 q=1.602*10^-19;
4 k=1.3806*10^-23;
5
6 %data
7 B=BpreampEPD; %[Hz]
8 Rin=1*10^5; %[ohm]
9 Rsh=[800 200 50 12.5]*10^9;%Rsh decreasing twice every 10°C
10 TC=[5 25 45 65];%[°C]
11 TK=TC+273.15;%[K]
```

```

12 Rp=max((Rin.*Rsh)./(Rin+Rsh));
13
14 Ib=350*10^-12;%amplifier noise current
15 Ub2=(Ib*Rp)^2;
16
17 Unz2=(18*sqrt(B)*10^-9)^2;%amplifier noise voltage
18
19 for ii=1:4
20     Tin=258+20*ii;
21     Uth2=(4*k*B*(TK./Rsh+Tin./Rin))./((1./Rsh+1./Rin).^2);
22     Uthmax2(ii)=max(Uth2);
23 end
24 Uthmax2;%noise voltage at two different impedances at different temperatures
25
26 Un2=sqrt(Ub2+Unz2+max(Uthmax2));%RMS of all voltages
27
28 for i=1:18
29     Is=Is_albedoEPD(i)*10^-6; %Output senzor current
30     Us=Is*Rin;
31
32     SNR=(Us)./(Un2/2);%noise is decreased 4 times in power by averaging ADC
33     SNRdb=20*log10(SNR)
34 end
35

```

D.1.3 SNR EPD Sun - 2 impedance

```

1
2 %konstanty
3 q=1.602*10^-19;
4 k=1.3806*10^-23;
5
6 %data
7 B=BpreampEPD; %[Hz]
8 Rin=1*10^5; %[ohm]
9 Rsh=[800 200 50 12.5]*10^9;%dvojnásobek Rsh kazdych 10°C niže (200Gohm při 25°C)
10 TC=[5 25 45 65];%[°C]
11 TK=TC+273.15;%[K]
12
13 Rp=max((Rin.*Rsh)./(Rin+Rsh));
14
15 Ib=350*10^-12;%amplifier noise current
16 Ub2=(Ib*Rp)^2;
17
18 Unz2=(18*sqrt(B)*10^-9)^2;%amplifier noise voltage
19
20 for ii=1:4
21     Tin=258+20*ii;
22     Uth2=(4*k*B*(TK./Rsh+Tin./Rin))./((1./Rsh+1./Rin).^2);
23     Uthmax2(ii)=max(Uth2);
24 end
25 Uthmax2;%noise voltage at two different impedances at different temperatures
26
27 Un2=sqrt(Ub2+Unz2+max(Uthmax2));%RMS of all voltages
28
29 for i=1:18
30     Is=Is_sunEPD(i)*10^-6;%Output senzor current
31     Us=Is*Rin;
32
33     SNR=(Us)./(Un2/2);%noise is decreased 4 times in power by averaging ADC
34     SNRdb=20*log10(SNR)
35 end
36

```

D.1.4 SNR EPD Sun - NEP

```

1
2 %constants
3 q=1.602*10^-19;
4 k=1.3806*10^-23;

```



```

5
6 %data
7 B=BpreampEPD; %[Hz]
8 Rin=1*10^5; %[ohm]
9 Rsh=[800 200 50 12.5]*10^9;%Rsh decreasing twice every 10°C
10 TC=[5 25 45 65];%[°C]
11 TK=TC+273.15;%[K]
12 Rp=max((Rin.*Rsh)./(Rin+Rsh));
13
14 Ib=350*10^-12;%amplifier noise current
15 Ub2=(Ib*Rp)^2;
16
17 Unz2=(18*sqrt(B)*10^-9)^2;%amplifier noise voltage
18
19 Uthmax2=(1.8*sqrt(B)*10^-14);%ekvivalent noise power EPD
20
21 Un2=sqrt(Ub2+Unz2+Uthmax2);%RMS of all voltages
22
23 for i=1:18
24     Is=Is_sunEPD(i)*10^-6; %Output sensor current
25     Us=Is*Rin;
26
27     SNR=(Us)./(Un2/2);%noise is decreased 4 times in power by averaging ADC
28     SNRdb=20*log10(SNR)
29 end
30

```

D.1.5 SNR BPW Albedo

```

1
2 %constants
3 q=1.602*10^-19;
4 k=1.3806*10^-23;
5
6 %data
7 B=BpreampBPW; %[Hz]
8 Rin=2200; %[ohm]
9 TC=[5 25 45 65];%[°C]
10 TK=TC+273.15;%[K]
11
12 Ib=350*10^-12;%amplifier noise current
13 Ub2=(Ib*Rin)^2;
14
15 Unz2=(18*sqrt(B)*10^-9)^2;%amplifier noise voltage
16
17 Uth2=4*k*TK*B*Rin;%thermal noise of rezistor Rin
18
19 NEP=7.2*10^-14*sqrt(B);%ekvivalent noise power BPW21
20
21 Un2=sqrt(Ub2+Unz2+max(Uth2)+NEP);%RMS of all voltages
22
23 for i=1:18
24     Is=Is_albedoBPW(i)*10^-4;%Output sensor current
25     Us=Is*Rin;
26
27     SNR=(Us)./(Un2/2);%noise is decreased 4 times in power by averaging ADC
28     SNRdb=20*log10(SNR)
29 end
30

```

D.1.6 SNR BPW Sun

```

1
2 %constants
3 q=1.602*10^-19;
4 k=1.3806*10^-23;
5
6 %data
7 B=BpreampBPW; %[Hz]
8 Rin=2200; %[ohm]

```

```

9 TC=[5 25 45 65];%[°C]
10 TK=TC+273.15;%[K]
11
12 Ib=350*10^-12;%amplifier noise current
13 Ub2=(Ib*Rin)^2;
14
15 Unz2=(18*sqrt(B)*10^-9)^2;%amplifier noise voltage
16
17 Uth2=4*k*TK*B*Rin;%thermal noise of rezistor Rin
18
19 NEP=7.2*10^-14*sqrt(B);%ekvivalent noise power BPW21
20
21 Un2=sqrt(Ub2+Unz2+max(Uth2)+NEP);%RMS of all voltages
22
23 for i=1:18
24     Is=Is_sunBPW(i)*10^-3;%Output sensor current
25     Us=Is*Rin;
26
27     SNR=(Us)/(Un2/2);%noise is decreased 4 times in power by averaging ADC
28     SNRdb=20*log10(SNR)
29 end
30

```

D.1.7 SNR TPS - 0°

```

1
2 k=1.3806*10^-23;
3 B=BpreampTPS2;
4 R1=163900;% T1=288.15k Earth visible angle 0°
5
6 Us=0.00024; %Output voltage for 288.15 K
7
8 Ib=50*10^-12;%amplifier noise current
9
10 Un3=sqrt(B)*18*10^-9;%amplifier noise voltage
11
12 Un1=(40*10^-9*sqrt(B))^2;%ekvivalent noise power TPS230
13
14 Un4=Ib*R1;
15
16 Un=sqrt(Un1+Un3^2+Un4^2);%RMS of all voltages
17
18 SNRdb=20*log10(Us./(Un./2))%noise is decreased 4 times in power by averaging ADC
19
20

```

D.1.8 SNR TPS - 35°

```

1
2 k=1.3806*10^-23;
3 B=BpreampTPS2;
4 R1=968201;% T1=253.15k Earth visible angle 35°
5
6 Us=0.00094; %Output voltage for 253.15 K
7
8 Ib=50*10^-12;%amplifier noise current
9 Un3=sqrt(B)*18*10^-9;%amplifier noise voltage
10
11 Un1=(40*10^-9*sqrt(B))^2;%ekvivalent noise power TPS230
12
13 Un4=Ib*R1;
14
15 Un=sqrt(Un1+Un3^2+Un4^2);%RMS of all voltages
16
17 SNRdb=20*log10(Us./(Un./2))%noise is decreased 4 times in power by averaging ADC
18

```

D.2 Detekovatelná teplota Země senzorem TPS

```

1
2 %Earth temperature from TPS230
3 angle = [-90 -80 -60 -40 -20 0 20 40 60 80 90 ];
4 sensitivity = [ 0 0.005 0.05 0.5 0.95 1 0.95 0.5 0.05 0.005 0 ];
5 tpsAngle= -90:0.5:90;
6
7 tpsSensitivity = interp1(angle,sensitivity,tpsAngle,'pchip');
8 [maximum,pos]=max(tpsSensitivity);
9
10 for i=1:36
11     sens=tpsSensitivity(pos+i*5);%Scale is changed from 1° to 5°
12     sensity(i)=sens;
13 end
14 sensity;
15
16 sumA=0;
17 sumB=0;
18 sumC=0;
19 a=27;%Number of states of Earth visibility
20
21 for ii=1:a
22     A=sensity(ii)*2;
23     sumA=sumA+A;
24 end
25
26 for iii=(a+1):36
27     B=sensity(iii)*2;
28     sumB=sumB+B;
29 end
30
31 %total sensitivity
32 for e=1:36
33     C=sensity(e)*2;
34     sumC=sumC+C;
35 end
36
37 Earthtemperature=((288.15*(1+sumA))/(1+sumC))+((3*(sumB))/(1+sumC))-273.15
38
39

```

D.3 Detekovatelná teplota Slunce senzorem TPS

```

1
2 %Sun temperature from TPS230
3 angle = [-90 -80 -60 -40 -20 0 20 40 60 80 90 ];
4 sensitivity = [ 0 0.005 0.05 0.5 0.95 1 0.95 0.5 0.05 0.005 0 ];
5 tpsAngle= -90:0.5:90;
6
7 tpsSensitivity = interp1(angle,sensitivity,tpsAngle,'pchip');
8
9 sumA=0;
10 sumC=0;
11
12 for ii=1:180
13     A=tpsSensitivity(ii)*2;
14     sumA=sumA+A;
15 end
16
17 Suntemperature=(5780/(1+sumA))+((3*(sumA))/(1+sumA))-273.15
18
19

```

D.4 Detekovatelná teplota senzorem TPS podle úhlu ozáření

```

1
2 clear all
3 clc
4
5 %Temperature according to angle of view Earth
6 angle = [-90 -80 -60 -40 -20 0 20 40 60 80 90 ];
7 sensitivity = [ 0 0.005 0.05 0.5 0.95 1 0.95 0.5 0.05 0.005 0 ];
8 tpsAngle= -90:1:90;
9
10 tpsSensitivity = interp1(angle,sensitivity,tpsAngle,'pchip');
11 S=[zeros(1,89) tpsSensitivity(1:181) zeros(1,90)];
12
13 T(1:112)=3;
14 T(113:248)=288;
15 T(249:360)=3;
16
17 sumC=sum(tpsSensitivity);
18 H=zeros(360,1);
19
20 for i=1:360
21     H(i)=T*circshift(S',i)/sumC-273;
22 end
23
24 plot(H)
25 xlabel('Úhel ozáření [°]')
26 ylabel('Detekovaná teplota [°C]')
27 title('Závislost detekované teploty senzorem TPS na úhlu osvětlení od Země')
28 grid
29
30

```

D.5 Určení elevace a azimutu

```

1
2 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
3
4 % Master Thesis
5 % Author : Jan Karel
6 % Submission Date : 9/May/2013
7
8 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
9
10
11 clear all
12 clc
13
14 %Final vectors are represent an unique combination of exposure
15 %to the Sun or the Earth
16 EPDsun=['x' 'x' 'x' 'x' 'x' 'x'; 'x' 'x' 'x' 'x' 'x' 'x'];
17 'x' 'x' 'x' 'x' 'x' 'x'; 'x' 'x' 'x' 'x' 'x' 'x'; 'x' 'x' 'x' 'x' 'x' 'x'];
18 EPDalbedo=['x' 'x' 'x' 'x' 'x' 'x'; 'x' 'x' 'x' 'x' 'x' 'x'];
19 'x' 'x' 'x' 'x' 'x' 'x'; 'x' 'x' 'x' 'x' 'x' 'x'; 'x' 'x' 'x' 'x' 'x' 'x'];
20 BPWsun=['x' 'x' 'x' 'x' 'x' 'x'; 'x' 'x' 'x' 'x' 'x' 'x'];
21 'x' 'x' 'x' 'x' 'x' 'x'; 'x' 'x' 'x' 'x' 'x' 'x'; 'x' 'x' 'x' 'x' 'x' 'x'];
22 BPWalbedo=['x' 'x' 'x' 'x' 'x' 'x'; 'x' 'x' 'x' 'x' 'x' 'x'];
23 'x' 'x' 'x' 'x' 'x' 'x'; 'x' 'x' 'x' 'x' 'x' 'x'; 'x' 'x' 'x' 'x' 'x' 'x'];
24 TPSalbedo=['x' 'x' 'x' 'x' 'x' 'x'; 'x' 'x' 'x' 'x' 'x' 'x'];
25 'x' 'x' 'x' 'x' 'x' 'x'; 'x' 'x' 'x' 'x' 'x' 'x'; 'x' 'x' 'x' 'x' 'x' 'x'];
26
27 %Data loading, temperature is loaded from TPS sensor, output current is
28 %loaded from EPD and BPW sensors
29 tps1=9.64;
30 tps2=-209;
31 tps3=-270;
32 tps4=-243;

```

```
33 tps5=-191;
34 tps6=-254;
35
36 epd1=1.03*10^-6;
37 epd2=5.9*10^-6;
38 epd3=1,42*10^-6;
39 epd4=0.97*10^-60;
40 epd5=3.3*10^-7;
41 epd6=5.6*10^-6;
42
43 bpw1=2.54*10^-4;
44 bpw2=1.12*10^-3;
45 bpw3=8*10^-4;
46 bpw4=1.29*10^-40;
47 bpw5=8*10^-5;
48 bpw6=1.09*10^-3;
49
50 %Temperature of vision Earth angle 90°
51 TvisEarth=-202.4;
52
53 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
54 %Selecting the sides facing the Earth from TPS senzors
55 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
56 tps=[tps1 tps2 tps3 tps4 tps5 tps6];
57 tpsA=[tps1 tps2 tps3 tps4 tps5 tps6];
58 %Sorted vectors for determine elevation and azimuth
59 tpssort14=sort(tps(1:4),'descend');
60 tpssort56=sort(tps(5:6),'descend');
61 earthtps=[tpssort14(1:2) tpssort56(1)];
62
63 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
64 %Determining of side position in the sorted vector
65 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
66 i=1;
67 while true
68     tpspos1=i; %position of strongest signal from sides 1-4 (azimuth)
69     if tpssort14(1)==tps(i)
70         break
71     end
72     i=i+1;
73 end
74 tps(i)=0; %i position is erased
75
76 i=1;
77 while true
78     tpspos2=i;
79     if tpssort14(2)==tps(i) %position of second strongest signal from sides 1-4 (azimuth)
80         break
81     end
82     i=i+1;
83 end
84 tps(i)=0;
85
86 i=1;
87 while true
88     tpspos4=i;
89     if tpssort14(3)==tps(i) %position of third strongest signal from sides 1-4 (azimuth)
90         break
91     end
92     i=i+1;
93 end
94 tps(i)=0;
95
96 i=1;
97 while true
98     tpspos5=i;
99     if tpssort14(4)==tps(i) %position of weakest signal from sides 1-4 (azimuth)
100         break
101     end
102     i=i+1;
103 end
104 tps(i)=0;
105
```

```
106 i=1;
107 while true
108     tpspos3=i;
109     if tpssort56(1)==tps(i) %position of stronger signal from sides 5,6
110         break
111     end
112     i=i+1;
113 end
114 tps(i)=0;
115
116 i=1;
117 while true
118     tpspos6=i;
119     if tpssort56(2)==tps(i) %position of weaker signal from sides 5,6
120         break
121     end
122     i=i+1;
123 end
124 tps(i)=0;
125 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
126 %Determining of side position in the sorted vector
127 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
128
129 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
130 %Selecting the sides facing the Earth from TPS senzors
131 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
132
133
134 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
135 %Selecting the sides facing the Earth from EPD senzors
136 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
137 epd=[epd1 epd2 epd3 epd4 epd5 epd6];
138 epdA=[epd1 epd2 epd3 epd4 epd5 epd6];
139
140 epdsort=sort(epd,'descend');
141 epdsortA=sort(epdA,'descend');
142
143 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
144 %Determining of side position in the sorted vector
145 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
146 i=1;
147 while true
148     epdpos1=i;
149     if epdsort(1)==epd(i)
150         break
151     end
152     i=i+1;
153 end
154 epd(i)=0;
155
156 i=1;
157 while true
158     epdpos2=i;
159     if epdsort(2)==epd(i)
160         break;
161     end
162     i=i+1;
163 end
164 epd(i)=0;
165
166 i=1;
167 while true
168     epdpos3=i;
169     if epdsort(3)==epd(i)
170         break;
171     end
172     i=i+1;
173 end
174 epd(i)=0;
175
176 i=1;
177 while true
178     epdpos4=i;
```

```
179     if epdsort(4)==epd(i)
180         break;
181     end
182     i=i+1;
183 end
184 epd(i)=0;
185
186 i=1;
187 while true
188     epdpos5=i;
189     if epdsort(5)==epd(i)
190         break;
191     end
192     i=i+1;
193 end
194 epd(i)=0;
195
196 i=1;
197 while true
198     epdpos6=i;
199     if epdsort(6)==epd(i)
200         break;
201     end
202     i=i+1;
203 end
204 epd(i)=0;
205
206 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
207 %Determining of side position in the sorted vector
208 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
209
210 %Vector for determining azimuth and elevation of the Earth from EPD sensors
211 earthepd=[0 0 0];
212
213 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
214 %Filling the earthepd vector with three strongest signals facing the Earth
215 %Two from sides 1-4 and one from side 5 or 6
216 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
217 if (tpspos1==epdpos1) && (tpsA(tpspos1)>TvisEarth)
218     earthepd(1)=epdsortA(1);
219     epdsortA(1)=0;
220 end
221
222 if (tpspos1==epdpos2) && (tpsA(tpspos1)>TvisEarth)
223     earthepd(1)=epdsortA(2);
224     epdsortA(2)=0;
225 end
226
227 if (tpspos1==epdpos3) && (tpsA(tpspos1)>TvisEarth)
228     earthepd(1)=epdsortA(3);
229     epdsortA(3)=0;
230 end
231
232 if (tpspos1==epdpos4) && (tpsA(tpspos1)>TvisEarth)
233     earthepd(1)=epdsortA(4);
234     epdsortA(4)=0;
235 end
236
237 if (tpspos1==epdpos5) && (tpsA(tpspos1)>TvisEarth)
238     earthepd(1)=epdsortA(5);
239     epdsortA(5)=0;
240 end
241
242 if (tpspos1==epdpos6) && (tpsA(tpspos1)>TvisEarth)
243     earthepd(1)=epdsortA(6);
244     epdsortA(6)=0;
245 end
246
247 if (tpspos2==epdpos1) && (tpsA(tpspos2)>TvisEarth)
248     earthepd(2)=epdsortA(1);
249     epdsortA(1)=0;
250 end
251
```

```

252 if (tpspos2==epdpos2) && (tpsA(tpspos2)>TvisEarth)
253     earthepd(2)=epdsortA(2);
254     epdsortA(2)=0;
255 end
256
257 if (tpspos2==epdpos3) && (tpsA(tpspos2)>TvisEarth)
258     earthepd(2)=epdsortA(3);
259     epdsortA(3)=0;
260 end
261
262 if (tpspos2==epdpos4) && (tpsA(tpspos2)>TvisEarth)
263     earthepd(2)=epdsortA(4);
264     epdsortA(4)=0;
265 end
266
267 if (tpspos2==epdpos5) && (tpsA(tpspos2)>TvisEarth)
268     earthepd(2)=epdsortA(5);
269     epdsortA(5)=0;
270 end
271
272 if (tpspos2==epdpos6) && (tpsA(tpspos2)>TvisEarth)
273     earthepd(2)=epdsortA(6);
274     epdsortA(6)=0;
275 end
276
277 if (tpspos3==epdpos1) && (tpsA(tpspos3)>TvisEarth)
278     earthepd(3)=epdsortA(1);
279     epdsortA(1)=0;
280 end
281
282 if (tpspos3==epdpos2) && (tpsA(tpspos3)>TvisEarth)
283     earthepd(3)=epdsortA(2);
284     epdsortA(2)=0;
285 end
286
287 if (tpspos3==epdpos3) && (tpsA(tpspos3)>TvisEarth)
288     earthepd(3)=epdsortA(3);
289     epdsortA(3)=0;
290 end
291
292 if (tpspos3==epdpos4) && (tpsA(tpspos3)>TvisEarth)
293     earthepd(3)=epdsortA(4);
294     epdsortA(4)=0;
295 end
296
297 if (tpspos3==epdpos5) && (tpsA(tpspos3)>TvisEarth)
298     earthepd(3)=epdsortA(5);
299     epdsortA(5)=0;
300 end
301
302 if (tpspos3==epdpos6) && (tpsA(tpspos3)>TvisEarth)
303     earthepd(3)=epdsortA(6);
304     epdsortA(6)=0;
305 end
306
307 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
308 %Filling the earthepd vector with three strongest signals facing the Earth
309 %Two from sides 1-4 and one from side 5 or 6
310 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
311
312 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
313 %Selecting the sides facing the Earth from EPD senzors
314 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
315
316
317 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
318 %Selecting the sides facing the Sun from EPD senzors
319 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
320
321 %In case of facing the Earth more than three sides, the values from the EPD
322 %sensors on these sides are erased
323 if (tpspos4==epdpos1) && (tpsA(tpspos4)>TvisEarth)
324     epdsortA(1)=0;

```



```
325 end
326
327 if (tpspos4==epdpos2) && (tpsA(tpspos4)>TvisEarth)
328     epdsortA(2)=0;
329 end
330
331 if (tpspos4==epdpos3) && (tpsA(tpspos4)>TvisEarth)
332     epdsortA(3)=0;
333 end
334
335 if (tpspos4==epdpos4) && (tpsA(tpspos4)>TvisEarth)
336     epdsortA(4)=0;
337 end
338
339 if (tpspos4==epdpos5) && (tpsA(tpspos4)>TvisEarth)
340     epdsortA(5)=0;
341 end
342
343 if (tpspos4==epdpos6) && (tpsA(tpspos4)>TvisEarth)
344     epdsortA(6)=0;
345 end
346
347 if (tpspos5==epdpos1) && (tpsA(tpspos5)>TvisEarth)
348     epdsortA(1)=0;
349 end
350
351 if (tpspos5==epdpos2) && (tpsA(tpspos5)>TvisEarth)
352     epdsortA(2)=0;
353 end
354
355 if (tpspos5==epdpos3) && (tpsA(tpspos5)>TvisEarth)
356     epdsortA(3)=0;
357 end
358
359 if (tpspos5==epdpos4) && (tpsA(tpspos5)>TvisEarth)
360     epdsortA(4)=0;
361 end
362
363 if (tpspos5==epdpos5) && (tpsA(tpspos5)>TvisEarth)
364     epdsortA(5)=0;
365 end
366
367 if (tpspos5==epdpos6) && (tpsA(tpspos5)>TvisEarth)
368     epdsortA(6)=0;
369 end
370
371 if (tpspos6==epdpos1) && (tpsA(tpspos6)>TvisEarth)
372     epdsortA(1)=0;
373 end
374
375 if (tpspos6==epdpos2) && (tpsA(tpspos6)>TvisEarth)
376     epdsortA(2)=0;
377 end
378
379 if (tpspos6==epdpos3) && (tpsA(tpspos6)>TvisEarth)
380     epdsortA(3)=0;
381 end
382
383 if (tpspos6==epdpos4) && (tpsA(tpspos6)>TvisEarth)
384     epdsortA(4)=0;
385 end
386
387 if (tpspos6==epdpos5) && (tpsA(tpspos6)>TvisEarth)
388     epdsortA(5)=0;
389 end
390
391 if (tpspos6==epdpos6) && (tpsA(tpspos6)>TvisEarth)
392     epdsortA(6)=0;
393 end
394
395 %In case that the side don't facing the Earth the position is zero
396 if tpsA(tpspos1)<TvisEarth
397     tpspos1=0;
```

```

398 end
399 if tpsA(tpspos2)<TvisEarth
400     tpspos2=0;
401 end
402 if tpsA(tpspos3)<TvisEarth
403     tpspos3=0;
404 end
405 if tpsA(tpspos4)<TvisEarth
406     tpspos4=0;
407 end
408 if tpsA(tpspos5)<TvisEarth
409     tpspos5=0;
410 end
411 if tpsA(tpspos6)<TvisEarth
412     tpspos6=0;
413 end
414
415 %Vector for determining azimuth and elevation of the Sun from EPD sensors
416 sunepd=sort(epdsortA,'descend');
417
418 %If the sides don't face the Earth, the position of these facing the Sun
419 %is determinated
420 i=1;
421 while true
422     epdpos1sun=i;
423     if (sunepd(1)==epdA(i)) && (epdpos1sun~=tpspos1) && (epdpos1sun~=tpspos2)
424         && (epdpos1sun~=tpspos3) && (epdpos1sun~=tpspos4) && (epdpos1sun~=tpspos5)
425         && (epdpos1sun~=tpspos6)
426         break
427     end
428     i=i+1;
429 end
430 epdA(i)=0;
431
432 i=1;
433 while true
434     epdpos2sun=i;
435     if (sunepd(2)==epdA(i)) && (epdpos2sun~=tpspos1) && (epdpos2sun~=tpspos2)
436         && (epdpos2sun~=tpspos3) && (epdpos1sun~=tpspos4) && (epdpos1sun~=tpspos5)
437         && (epdpos1sun~=tpspos6)
438         break;
439     end
440     i=i+1;
441 end
442 epdA(i)=0;
443
444 i=1;
445 while true
446     epdpos3sun=i;
447     if (sunepd(3)==epdA(i)) && (epdpos3sun~=tpspos1) && (epdpos3sun~=tpspos2)
448         && (epdpos3sun~=tpspos3) && (epdpos1sun~=tpspos4) && (epdpos1sun~=tpspos5)
449         && (epdpos1sun~=tpspos6)
450         break;
451     end
452     i=i+1;
453 end
454 epdA(i)=0;
455
456 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
457 %Selecting the sides facing the Sun from EPD sensors
458 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
459
460 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
461 %Selecting the sides facing the Earth from BPW sensors
462 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
463
464 bpw=[bpw1 bpw2 bpw3 bpw4 bpw5 bpw6];
465 bpwA=[bpw1 bpw2 bpw3 bpw4 bpw5 bpw6];
466
467 bpwsort=sort(bpw,'descend');
468 bpwsortA=sort(bpw,'descend');
469
470 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```
471 %Determining of side position in the sorted vector
472 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
473 i=1;
474 while true
475     bpwpos1=i;
476     if bpwsort(1)==bpw(i)
477         break;
478     end
479     i=i+1;
480 end
481 bpw(i)=0;
482
483 i=1;
484 while true
485     bpwpos2=i;
486     if bpwsort(2)==bpw(i)
487         break;
488     end
489     i=i+1;
490 end
491 bpw(i)=0;
492
493 i=1;
494 while true
495     bpwpos3=i;
496     if bpwsort(3)==bpw(i)
497         break;
498     end
499     i=i+1;
500 end
501 bpw(i)=0;
502
503 i=1;
504 while true
505     bpwpos4=i;
506     if bpwsort(4)==bpw(i)
507         break;
508     end
509     i=i+1;
510 end
511 bpw(i)=0;
512
513 i=1;
514 while true
515     bpwpos5=i;
516     if bpwsort(5)==bpw(i)
517         break;
518     end
519     i=i+1;
520 end
521 bpw(i)=0;
522
523 i=1;
524 while true
525     bpwpos6=i;
526     if bpwsort(6)==bpw(i)
527         break;
528     end
529     i=i+1;
530 end
531 bpw(i)=0;
532
533 %Vector for determining azimuth and elevation of the Earth from BPW sensors
534 earthbpw=[0 0 0];
535
536 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
537 %Filling the earthbpw vector with three strongest signals facing the Earth
538 %Two from sides 1-4 and one from side 5 or 6
539 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
540 if (tpspos1==bpwpos1) && (tpsa(tpspos1)>TvisEarth)
541     earthbpw(1)=bpwsortA(1);
542     bpwsortA(1)=0;
543 end
```

```
544 if (tpspos1==bpwpos2) && (tpsA(tpspos1)>TvisEarth)
545     earthbpw(1)=bpwsortA(2);
546     bpwsortA(2)=0;
547 end
548 if (tpspos1==bpwpos3) && (tpsA(tpspos1)>TvisEarth)
549     earthbpw(1)=bpwsortA(3);
550     bpwsortA(3)=0;
551 end
552 if (tpspos1==bpwpos4) && (tpsA(tpspos1)>TvisEarth)
553     earthbpw(1)=bpwsortA(4);
554     bpwsortA(4)=0;
555 end
556 if (tpspos1==bpwpos5) && (tpsA(tpspos1)>TvisEarth)
557     earthbpw(1)=bpwsortA(5);
558     bpwsortA(5)=0;
559 end
560 if (tpspos1==bpwpos6) && (tpsA(tpspos1)>TvisEarth)
561     earthbpw(1)=bpwsortA(6);
562     bpwsortA(6)=0;
563 end
564
565 if (tpspos2==bpwpos1) && (tpsA(tpspos2)>TvisEarth)
566     earthbpw(2)=bpwsortA(1);
567     bpwsortA(1)=0;
568 end
569 if (tpspos2==bpwpos2) && (tpsA(tpspos2)>TvisEarth)
570     earthbpw(2)=bpwsortA(2);
571     bpwsortA(2)=0;
572 end
573 if (tpspos2==bpwpos3) && (tpsA(tpspos2)>TvisEarth)
574     earthbpw(2)=bpwsortA(3);
575     bpwsortA(3)=0;
576 end
577 if (tpspos2==bpwpos4) && (tpsA(tpspos2)>TvisEarth)
578     earthbpw(2)=bpwsortA(4);
579     bpwsortA(4)=0;
580 end
581 if (tpspos2==bpwpos5) && (tpsA(tpspos2)>TvisEarth)
582     earthbpw(2)=bpwsortA(5);
583     bpwsortA(5)=0;
584 end
585 if (tpspos2==bpwpos6) && (tpsA(tpspos2)>TvisEarth)
586     earthbpw(2)=bpwsortA(6);
587     bpwsortA(6)=0;
588 end
589
590 if (tpspos3==bpwpos1) && (tpsA(tpspos3)>TvisEarth)
591     earthbpw(3)=bpwsortA(1);
592     bpwsortA(1)=0;
593 end
594 if (tpspos3==bpwpos2) && (tpsA(tpspos3)>TvisEarth)
595     earthbpw(3)=bpwsortA(2);
596     bpwsortA(2)=0;
597 end
598 if (tpspos3==bpwpos3) && (tpsA(tpspos3)>TvisEarth)
599     earthbpw(3)=bpwsortA(3);
600     bpwsortA(3)=0;
601 end
602 if (tpspos3==bpwpos4) && (tpsA(tpspos3)>TvisEarth)
603     earthbpw(3)=bpwsortA(4);
604     bpwsortA(4)=0;
605 end
606 if (tpspos3==bpwpos5) && (tpsA(tpspos3)>TvisEarth)
607     earthbpw(3)=bpwsortA(5);
608     bpwsortA(5)=0;
609 end
610 if (tpspos3==bpwpos6) && (tpsA(tpspos3)>TvisEarth)
611     earthbpw(3)=bpwsortA(6);
612     bpwsortA(6)=0;
613 end
614
615 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
616 %Filling the earthbpw vector with three strongest signals facing the Earth
```

```

617 %Two from sides 1-4 and one from side 5 or 6
618 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
619
620 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
621 %Selecting the sides facing the Earth from BPW senzors
622 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
623
624 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
625 %Selecting the sides facing the Sun from BPW senzors
626 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
627
628 if (tpspos4==bpwpos1) && (tpsA(tpspos4)>TvisEarth)
629     bpwsortA(1)=0;
630 end
631 if (tpspos4==bpwpos2) && (tpsA(tpspos4)>TvisEarth)
632     bpwsortA(2)=0;
633 end
634 if (tpspos4==bpwpos3) && (tpsA(tpspos4)>TvisEarth)
635     bpwsortA(3)=0;
636 end
637 if (tpspos4==bpwpos4) && (tpsA(tpspos4)>TvisEarth)
638     bpwsortA(4)=0;
639 end
640 if (tpspos4==bpwpos5) && (tpsA(tpspos4)>TvisEarth)
641     bpwsortA(5)=0;
642 end
643 if (tpspos4==bpwpos6) && (tpsA(tpspos4)>TvisEarth)
644     bpwsortA(6)=0;
645 end
646
647 if (tpspos5==bpwpos1) && (tpsA(tpspos5)>TvisEarth)
648     bpwsortA(1)=0;
649 end
650 if (tpspos5==bpwpos2) && (tpsA(tpspos5)>TvisEarth)
651     bpwsortA(2)=0;
652 end
653 if (tpspos5==bpwpos3) && (tpsA(tpspos5)>TvisEarth)
654     bpwsortA(3)=0;
655 end
656 if (tpspos5==bpwpos4) && (tpsA(tpspos5)>TvisEarth)
657     bpwsortA(4)=0;
658 end
659 if (tpspos5==bpwpos5) && (tpsA(tpspos5)>TvisEarth)
660     bpwsortA(5)=0;
661 end
662 if (tpspos5==bpwpos6) && (tpsA(tpspos5)>TvisEarth)
663     bpwsortA(6)=0;
664 end
665
666 if (tpspos6==bpwpos1) && (tpsA(tpspos6)>TvisEarth)
667     bpwsortA(1)=0;
668 end
669 if (tpspos6==bpwpos2) && (tpsA(tpspos6)>TvisEarth)
670     bpwsortA(2)=0;
671 end
672 if (tpspos6==bpwpos3) && (tpsA(tpspos6)>TvisEarth)
673     bpwsortA(3)=0;
674 end
675 if (tpspos6==bpwpos4) && (tpsA(tpspos6)>TvisEarth)
676     bpwsortA(4)=0;
677 end
678 if (tpspos6==bpwpos5) && (tpsA(tpspos6)>TvisEarth)
679     bpwsortA(5)=0;
680 end
681 if (tpspos6==bpwpos6) && (tpsA(tpspos6)>TvisEarth)
682     bpwsortA(6)=0;
683 end
684
685 %Vector for determining azimuth and elevation of the Sun from BPW senzors
686 sunbpw=sort(bpwsortA,'descend');
687
688 i=1;
689 while true

```

```

690     bpwpos1sun=i;
691     if (sunbpw(1)==bpwA(i)) && (bpwpos1sun~=tpspos1) && (bpwpos1sun~=tpspos2)
692         && (bpwpos1sun~=tpspos3) && (bpwpos1sun~=tpspos4) && (bpwpos1sun~=tpspos5)
693         && (bpwpos1sun~=tpspos6)
694         break
695     end
696     i=i+1;
697 end
698 bpwA(i)=0;
699
700 i=1;
701 while true
702     bpwpos2sun=i;
703     if (sunbpw(2)==bpwA(i)) && (bpwpos2sun~=tpspos1) && (bpwpos2sun~=tpspos2)
704         && (bpwpos2sun~=tpspos3) && (bpwpos2sun~=tpspos4) && (bpwpos2sun~=tpspos5)
705         && (bpwpos2sun~=tpspos6)
706         break
707     end
708     i=i+1;
709 end
710 bpwA(i)=0;
711
712 i=1;
713 while true
714     bpwpos3sun=i;
715     if (sunbpw(3)==bpwA(i)) && (bpwpos3sun~=tpspos1) && (bpwpos3sun~=tpspos2)
716         && (bpwpos3sun~=tpspos3) && (bpwpos3sun~=tpspos4) && (bpwpos3sun~=tpspos5)
717         && (bpwpos3sun~=tpspos6)
718         break
719     end
720     i=i+1;
721 end
722 bpwA(i)=0;
723
724 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
725 %Selecting the sides facing the Sun from BPW senzors
726 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
727
728 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
729 %Quantization
730 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
731
732 EPDsun(1:5,epdpos1sun)=kvaepdsun(sunepd(1));
733 EPDsun(1:5,epdpos2sun)=kvaepdsun(sunepd(2));
734 EPDsun(1:5,epdpos3sun)=kvaepdsun(sunepd(3));
735
736 if (tpspos1~=0)
737     EPDalbedo(1:5,tpspos1)=kvaepdalb(earthepd(1));
738 end
739
740 if (tpspos2~=0)
741     EPDalbedo(1:5,tpspos2)=kvaepdalb(earthepd(2));
742 end
743
744 if (tpspos3~=0)
745     EPDalbedo(1:5,tpspos3)=kvaepdalb(earthepd(3));
746 end
747
748 BPWsun(1:5,bpwpos1sun)=kvabpwsun(sunbpw(1));
749 BPWsun(1:5,bpwpos2sun)=kvabpwsun(sunbpw(2));
750 BPWsun(1:5,bpwpos3sun)=kvabpwsun(sunbpw(3));
751
752 if (tpspos1~=0)
753     BPWalbedo(1:5,tpspos1)=kvabpwalb(earthbpw(1));
754 end
755
756 if (tpspos2~=0)
757     BPWalbedo(1:5,tpspos2)=kvabpwalb(earthbpw(2));
758 end
759
760 if (tpspos3~=0)
761     BPWalbedo(1:5,tpspos3)=kvabpwalb(earthbpw(3));
762 end

```

```

763
764 if (tpspos1~=0)
765     TPSalbedo(1:5,tpspos1)=kvatps(earthtps(1));
766 end
767
768 if (tpspos2~=0)
769     TPSalbedo(1:5,tpspos2)=kvatps(earthtps(2));
770 end
771
772 if (tpspos3~=0)
773     TPSalbedo(1:5,tpspos3)=kvatps(earthtps(3));
774 end
775
776 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
777 %Quantization
778 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
779
780 %Vectors are represent an unique combination of exposure
781 %to the Sun or the Earthu
782 EPDsun
783 EPDalbedo
784 BPWsun
785 BPWalbedo
786 TPSalbedo
787
788 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
789 %Determining of azimuth and elevation of the Sun and the Earth
790 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
791
792 %In case of exposure on side 5 or 6 the elevation is calculated
793 pom=(EPDsun(1:5,5)');
794
795 if pom~=('xxxxx')
796     ELSunEPD=elevace(EPDsun(1:5,5)')
797 else
798     pom=(EPDsun(1:5,6)');
799     if pom~=('xxxxx')
800         ELSunEPD=(elevace(EPDsun(1:5,6)'))*(-1)
801     else
802         ELSunEPD=0
803     end
804 end
805
806 pom=(BPWsun(1:5,5)');
807
808 if pom~=('xxxxx')
809     ELSunBPW=elevace(BPWsun(1:5,5)')
810 else
811     pom=(BPWsun(1:5,6)');
812     if pom~=('xxxxx')
813         ELSunBPW=(elevace(BPWsun(1:5,6)'))*(-1)
814     else
815         ELSunBPW=0
816     end
817 end
818
819 pom=(EPDalbedo(1:5,5)');
820
821 if pom~=('xxxxx')
822     ELalbedoEPD=elevace(EPDalbedo(1:5,5)')
823 else
824     pom=(EPDalbedo(1:5,6)');
825     if pom~=('xxxxx')
826         ELalbedoEPD=(elevace(EPDalbedo(1:5,6)'))*(-1)
827     else
828         ELalbedoEPD=0
829     end
830 end
831
832 pom=(BPWalbedo(1:5,5)');
833
834 if pom~=('xxxxx')
835     ELalbedoBPW=elevace(BPWalbedo(1:5,5)')

```

```

836 else
837     pom=(BPWalbedo(1:5,6)');
838     if pom~=('xxxxx')
839         ELalbedoBPW=(elevace(BPWalbedo(1:5,6)))*(-1)
840     else
841         ELalbedoBPW=0
842     end
843 end
844
845
846 pom=(TPSalbedo(1:5,5)');
847
848 if pom~=('xxxxx')
849     ELalbedoTPS=elevace(TPSalbedo(1:5,5)')
850 else
851     pom=(TPSalbedo(1:5,6)');
852     if pom~=('xxxxx')
853         ELalbedoTPS=(elevace(TPSalbedo(1:5,6)))*(-1)
854     else
855         ELalbedoTPS=0
856     end
857 end
858
859 %The azimuth is calculated according to the exposure of sides 1-4
860 pom1=(EPDsun(1:5,1)');
861 pom2=(EPDsun(1:5,2)');
862 pom3=(EPDsun(1:5,3)');
863 pom4=(EPDsun(1:5,4)');
864
865 if pom1~=('xxxxx')
866     if pom2~=('xxxxx')
867         AZsunEPD=azimut(EPDsun(1:5,2)')
868     else
869         if pom4~=('xxxxx')
870             AZsunEPD=360-azimut(EPDsun(1:5,4)')
871         else
872             AZsunEPD=0
873         end
874     end
875 else
876     if pom3~=('xxxxx')
877         if pom2~=('xxxxx')
878             AZsunEPD=180-azimut(EPDsun(1:5,2)')
879         else
880             if pom4~=('xxxxx')
881                 AZsunEPD=azimut(EPDsun(1:5,4)')+180
882             else
883                 AZsunEPD=180
884             end
885         end
886     else
887         if pom2~=('xxxxx')
888             AZsunEPD=90
889         else
890             AZsunEPD=270
891         end
892     end
893 end
894 end
895
896 pom1=(BPWsun(1:5,1)');
897 pom2=(BPWsun(1:5,2)');
898 pom3=(BPWsun(1:5,3)');
899 pom4=(BPWsun(1:5,4)');
900
901 if pom1~=('xxxxx')
902     if pom2~=('xxxxx')
903         AZsunBPW=azimut(BPWsun(1:5,2)')
904     else
905         if pom4~=('xxxxx')
906             AZsunBPW=360-azimut(BPWsun(1:5,4)')
907         else
908             AZsunBPW=0

```



```
909     end
910   end
911 else
912   if pom3~=('xxxxx')
913     if pom2~=('xxxxx')
914       AZsunBPW=180-azimut(BPWsun(1:5,2))
915     else
916       if pom4~=('xxxxx')
917         AZsunBPW=azimut(BPWsun(1:5,4))+180
918       else
919         AZsunBPW=180
920       end
921     end
922   end
923 else
924   if pom2~=('xxxxx')
925     AZsunBPW=90
926   else
927     AZsunBPW=270
928   end
929 end
930 end
931 end
932
933
934 pom1=(EPDalbedo(1:5,1));
935 pom2=(EPDalbedo(1:5,2));
936 pom3=(EPDalbedo(1:5,3));
937 pom4=(EPDalbedo(1:5,4));
938
939 if pom1~=('xxxxx')
940   if pom2~=('xxxxx')
941     AZalbedoEPD=azimut(EPDalbedo(1:5,2))
942   else
943     if pom4~=('xxxxx')
944       AZalbedoEPD=360-azimut(EPDalbedo(1:5,4))
945     else
946       AZalbedoEPD=0
947     end
948   end
949 else
950   if pom3~=('xxxxx')
951     if pom2~=('xxxxx')
952       AZalbedoEPD=180-azimut(EPDalbedo(1:5,2))
953     else
954       if pom4~=('xxxxx')
955         AZalbedoEPD=azimut(EPDalbedo(1:5,4))+180
956       else
957         AZalbedoEPD=180
958       end
959     end
960   end
961 else
962   if pom2~=('xxxxx')
963     AZalbedoEPD=90
964   else
965     AZalbedoEPD=270
966   end
967 end
968 end
969
970 pom1=(BPWalbedo(1:5,1));
971 pom2=(BPWalbedo(1:5,2));
972 pom3=(BPWalbedo(1:5,3));
973 pom4=(BPWalbedo(1:5,4));
974
975 if pom1~=('xxxxx')
976   if pom2~=('xxxxx')
977     AZalbedoBPW=azimut(BPWalbedo(1:5,2))
978   else
979     if pom4~=('xxxxx')
980       AZalbedoBPW=360-azimut(BPWalbedo(1:5,4))
981     else
```

```

982         AZalbedoBPW=0
983     end
984 end
985 else
986     if pom3~=('xxxxx')
987         if pom2~=('xxxxx')
988             AZalbedoBPW=180-azimut(BPWalbedo(1:5,2)')
989         else
990             if pom4~=('xxxxx')
991                 AZalbedoBPW=azimut(BPWalbedo(1:5,4)')+180
992             else
993                 AZalbedoBPW=180
994             end
995         end
996     end
997 else
998     if pom2~=('xxxxx')
999         AZalbedoBPW=90
1000    else
1001        AZalbedoBPW=270
1002    end
1003 end
1004 end
1005 end
1006
1007 pom1=(TPSalbedo(1:5,1)');
1008 pom2=(TPSalbedo(1:5,2)');
1009 pom3=(TPSalbedo(1:5,3)');
1010 pom4=(TPSalbedo(1:5,4)');
1011
1012 if pom1~=('xxxxx')
1013     if pom2~=('xxxxx')
1014         AZalbedoTPS=azimut(TPSalbedo (1:5,2)')
1015     else
1016         if pom4~=('xxxxx')
1017             AZalbedoTPS=360-azimut(TPSalbedo(1:5,4)')
1018         else
1019             AZalbedoTPS=0
1020         end
1021     end
1022 else
1023     if pom3~=('xxxxx')
1024         if pom2~=('xxxxx')
1025             AZalbedoTPS=180-azimut(TPSalbedo(1:5,2)')
1026         else
1027             if pom4~=('xxxxx')
1028                 AZalbedoTPS=azimut(TPSalbedo(1:5,4)')+180
1029             else
1030                 AZalbedoTPS=180
1031             end
1032         end
1033     end
1034 else
1035     if pom2~=('xxxxx')
1036         AZalbedoTPS=90
1037     else
1038         AZalbedoTPS=270
1039     end
1040 end
1041 end
1042 end
1043
1044 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
1045 %Determining of azimuth and elevation of the Sun and the Earth
1046 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
1047
1048 %Decision about correct calculation of the Sun position
1049 help1=['x' 'x' 'x' 'x' 'x'];
1050 help2=['x' 'x' 'x' 'x' 'x'];
1051 help3=['x' 'x' 'x' 'x' 'x'];
1052 help4=['x' 'x' 'x' 'x' 'x'];
1053
1054 if (tpspos4==0) && (tpspos5==0) && (tpspos6==0)

```

```

1055     disp('Poloha slunce není počítána s chybou.')
1056 end
1057
1058 if (tpspos4~=0) && (tpspos5==0) && (tpspos6==0)
1059     help1(1:5)=kvatps(tpsA(tpspos4));
1060     help2(1:5)=kvaepdsun(epdA(tpspos4));
1061     if str2num(help1)<str2num(help2)
1062         disp('Poloha slunce je počítána s chybou na straně.')
1063         disp (tpspos4)
1064         disp('Chyba činí maximálně:')
1065         disp(azimut(help1))
1066     else
1067         disp('Poloha slunce je počítána s chybou na straně.')
1068         disp (tpspos4)
1069         disp('Chyba činí minimálně:')
1070         disp(azimut(help1))
1071     end
1072
1073 end
1074
1075 if (tpspos4~=0) && (tpspos5~=0) && (tpspos6==0)
1076     help1(1:5)=kvatps(tpsA(tpspos4));
1077     help2(1:5)=kvaepdsun(epdA(tpspos4));
1078     if str2num(help1)<str2num(help2)
1079         disp('Poloha slunce je počítána s chybou na straně.')
1080         disp (tpspos4)
1081         disp('Chyba činí maximálně:')
1082         disp(azimut(help1))
1083     else
1084         disp('Poloha slunce je počítána s chybou na straně.')
1085         disp (tpspos4)
1086         disp('Chyba činí minimálně:')
1087         disp(azimut(help1))
1088     end
1089     help3(1:5)=kvatps(tpsA(tpspos5));
1090     help4(1:5)=kvaepdsun(epdA(tpspos5));
1091     if str2num(help3)<str2num(help4)
1092         disp('Poloha slunce je počítána s chybou na straně.')
1093         disp (tpspos5)
1094         disp('Chyba činí maximálně:')
1095         disp(azimut(help3))
1096     else
1097         disp('Poloha slunce je počítána s chybou na straně.')
1098         disp (tpspos4)
1099         disp('Chyba činí minimálně:')
1100         disp(azimut(help3))
1101     end
1102 end
1103
1104

```

D.6 Kvantovací funkce

D.6.1 Funkce pro kvantování proudu Iepdalbedo

```

1
2 function [y]=kvaepdalb(x)
3
4 Iepdalbedo=x*10^6;
5
6 % 0°
7 if Iepdalbedo > 1.08
8     y=[48 48 48 48 48];
9 end
10 % 0° až 5°
11 if (Iepdalbedo <= 1.08) && (Iepdalbedo > 1.076)
12     y=[48 48 48 48 49];
13 end
14 % 5° až 10°

```

```
15 if (Iepdalbedo <= 1.076) && (Iepdalbedo > 1.068)
16     y=[48 48 48 49 48];
17 end
18 % 10° až 15°
19 if (Iepdalbedo <= 1.068) && (Iepdalbedo > 1.046)
20     y=[48 48 48 49 49];
21 end
22 % 15° až 20°
23 if (Iepdalbedo <= 1.046) && (Iepdalbedo > 1.012)
24     y=[48 48 49 48 48];
25 end
26 % 20° až 25°
27 if (Iepdalbedo <= 1.012) && (Iepdalbedo > 0.9704)
28     y=[48 48 49 48 49];
29 end
30 % 25° až 30°
31 if (Iepdalbedo <= 0.9704) && (Iepdalbedo > 0.9232)
32     y=[48 48 49 49 48];
33 end
34 % 30° až 35°
35 if (Iepdalbedo <= 0.9232) && (Iepdalbedo > 0.874)
36     y=[48 48 49 49 49];
37 end
38 % 35° až 40°
39 if (Iepdalbedo <= 0.874) && (Iepdalbedo > 0.824)
40     y=[48 49 48 48 48];
41 end
42 % 40° až 45°
43 if (Iepdalbedo <= 0.824) && (Iepdalbedo > 0.779)
44     y=[48 49 48 48 49];
45 end
46 % 45° až 50°
47 if (Iepdalbedo <= 0.779) && (Iepdalbedo > 0.733)
48     y=[48 49 48 49 48];
49 end
50 % 50° až 55°
51 if (Iepdalbedo <= 0.733) && (Iepdalbedo > 0.682)
52     y=[48 49 48 49 49];
53 end
54 % 55° až 60°
55 if (Iepdalbedo <= 0.682) && (Iepdalbedo > 0.627)
56     y=[48 49 49 48 48];
57 end
58 % 60° až 65°
59 if (Iepdalbedo <= 0.627) && (Iepdalbedo > 0.571)
60     y=[48 49 49 48 49];
61 end
62 % 65° až 70°
63 if (Iepdalbedo <= 0.571) && (Iepdalbedo > 0.514)
64     y=[48 49 49 49 48];
65 end
66 % 70° až 75°
67 if (Iepdalbedo <= 0.514) && (Iepdalbedo > 0.459)
68     y=[48 49 49 49 49];
69 end
70 % 75° až 80°
71 if (Iepdalbedo <= 0.459) && (Iepdalbedo > 0.405)
72     y=[49 48 48 48 48];
73 end
74 % 80° až 85°
75 if (Iepdalbedo <= 0.405) && (Iepdalbedo > 0.356)
76     y=[49 48 48 48 49];
77 end
78 % 85° až 90°
79 if (Iepdalbedo <= 0.356) && (Iepdalbedo > 0.311)
80     y=[49 48 48 49 48];
81 end
82 if (Iepdalbedo <= 0.311)
83     y=[49 48 48 49 49];
84 end
85
86
```

D.6.2 Funkce pro kvantování proudu Iepdsun

```
1
2 function [y]=kvaepdsun(x)
3
4 Iepdsun=x*10^6;
5
6 % 0°
7 if Iepdsun > 6.18
8     y=[48 48 48 48 48];
9 end
10 % 0° až 5°
11 if (Iepdsun <= 6.18) && (Iepdsun > 6.16)
12     y=[48 48 48 48 49];
13 end
14 % 5° až 10°
15 if (Iepdsun <= 6.16) && (Iepdsun > 6.1)
16     y=[48 48 48 49 48];
17 end
18 % 10° až 15°
19 if (Iepdsun <= 6.1) && (Iepdsun > 6.0)
20     y=[48 48 48 49 49];
21 end
22 % 15° až 20°
23 if (Iepdsun <= 6.0) && (Iepdsun > 5.87)
24     y=[48 48 49 48 48];
25 end
26 % 20° až 25°
27 if (Iepdsun <= 5.87) && (Iepdsun > 5.49)
28     y=[48 48 49 48 49];
29 end
30 % 25° až 30°
31 if (Iepdsun <= 5.49) && (Iepdsun > 4.76)
32     y=[48 48 49 49 48];
33 end
34 % 30° až 35°
35 if (Iepdsun <= 4.76) && (Iepdsun > 3.89)
36     y=[48 48 49 49 49];
37 end
38 % 35° až 40°
39 if (Iepdsun <= 3.89) && (Iepdsun > 3.09)
40     y=[48 49 48 48 48];
41 end
42 % 40° až 45°
43 if (Iepdsun <= 3.09) && (Iepdsun > 2.29)
44     y=[48 49 48 48 49];
45 end
46 % 45° až 50°
47 if (Iepdsun <= 2.29) && (Iepdsun > 1.42)
48     y=[48 49 48 49 48];
49 end
50 % 50° až 55°
51 if (Iepdsun <= 1.42) && (Iepdsun > 0.684)
52     y=[48 49 48 49 49];
53 end
54 % 55° až 60°
55 if (Iepdsun <= 0.684) && (Iepdsun > 0.309)
56     y=[48 49 49 48 48];
57 end
58 % 60° až 65°
59 if (Iepdsun <= 0.309) && (Iepdsun > 0.199)
60     y=[48 49 49 48 49];
61 end
62 % 65° až 70°
63 if (Iepdsun <= 0.199) && (Iepdsun > 0.119)
64     y=[48 49 49 49 48];
65 end
66 % 70° až 75°
67 if (Iepdsun <= 0.119) && (Iepdsun > 0.064)
68     y=[48 49 49 49 49];
69 end
70 % 75° až 80°
71 if (Iepdsun <= 0.064) && (Iepdsun > 0.0309)
```

```

72     y=[49 48 48 48 48];
73 end
74 % 80° až 85°
75 if (Iepdsun <= 0.0309) && (Iepdsun > 0.00955)
76     y=[49 48 48 48 49];
77 end
78 % 85° až 90°
79 if (Iepdsun <= 0.00955) && (Iepdsun > 0.000112)
80     y=[49 48 48 49 48];
81 end
82 %90°
83 if (Iepdsun <= 0.000112)
84     y=[49 48 48 49 49];
85 end
86

```

D.6.3 Funkce pro kvantování proudu Ibpwalbedo

```

1
2 function [y]=kvabpwalb(x)
3
4 Ibpwalbedo=x*10^4;
5
6 % 0°
7 if Ibpwalbedo > 2.66
8     y=[48 48 48 48 48];
9 end
10 % 0° až 5°
11 if (Ibpwalbedo <= 2.66) && (Ibpwalbedo > 2.66)
12     y=[48 48 48 48 49];
13 end
14 % 5° až 10°
15 if (Ibpwalbedo <= 2.66) && (Ibpwalbedo > 2.64)
16     y=[48 48 48 49 48];
17 end
18 % 10° až 15°
19 if (Ibpwalbedo <= 2.64) && (Ibpwalbedo > 2.58)
20     y=[48 48 48 49 49];
21 end
22 % 15° až 20°
23 if (Ibpwalbedo <= 2.58) && (Ibpwalbedo > 2.5)
24     y=[48 48 49 48 48];
25 end
26 % 20° až 25°
27 if (Ibpwalbedo <= 2.5) && (Ibpwalbedo > 2.4)
28     y=[48 48 49 48 49];
29 end
30 % 25° až 30°
31 if (Ibpwalbedo <= 2.4) && (Ibpwalbedo > 2.28)
32     y=[48 48 49 49 48];
33 end
34 % 30° až 35°
35 if (Ibpwalbedo <= 2.28) && (Ibpwalbedo > 2.16)
36     y=[48 48 49 49 49];
37 end
38 % 35° až 40°
39 if (Ibpwalbedo <= 2.16) && (Ibpwalbedo > 2.04)
40     y=[48 49 48 48 48];
41 end
42 % 40° až 45°
43 if (Ibpwalbedo <= 2.04) && (Ibpwalbedo > 1.92)
44     y=[48 49 48 48 49];
45 end
46 % 45° až 50°
47 if (Ibpwalbedo <= 1.92) && (Ibpwalbedo > 1.81)
48     y=[48 49 48 49 48];
49 end
50 % 50° až 55°
51 if (Ibpwalbedo <= 1.81) && (Ibpwalbedo > 1.69)
52     y=[48 49 48 49 49];
53 end

```

```

54 % 55° až 60°
55 if (Ibpwalbedo <= 1.69) && (Ibpwalbedo > 1.55)
56     y=[48 49 49 48 48];
57 end
58 % 60° až 65°
59 if (Ibpwalbedo <= 1.55) && (Ibpwalbedo > 1.41)
60     y=[48 49 49 48 49];
61 end
62 % 65° až 70°
63 if (Ibpwalbedo <=1.41) && (Ibpwalbedo > 1.27)
64     y=[48 49 49 49 48];
65 end
66 % 70° až 75°
67 if (Ibpwalbedo <= 1.27) && (Ibpwalbedo > 1.13)
68     y=[48 49 49 49 49];
69 end
70 % 75° až 80°
71 if (Ibpwalbedo <= 1.13) && (Ibpwalbedo > 1)
72     y=[49 48 48 48 48];
73 end
74 % 80° až 85°
75 if (Ibpwalbedo <= 1) && (Ibpwalbedo > 0.879)
76     y=[49 48 48 48 49];
77 end
78 % 85° až 90°
79 if (Ibpwalbedo <= 0.879) && (Ibpwalbedo > 0.77)
80     y=[49 48 48 49 48];
81 end
82 if (Ibpwalbedo <= 0.77)
83     y=[49 48 48 49 49];
84 end
85

```

D.6.4 Funkce pro kvantování proudu Ibpwsun

```

1
2 function [y]=kvabpwsun(x)
3
4 Ibpwsun=x*10^3;
5
6 % 0°
7 if Ibpwsun > 1.17
8     y=[48 48 48 48 48];
9 end
10 % 0° až 5°
11 if (Ibpwsun <= 1.17) && (Ibpwsun > 1.16)
12     y=[48 48 48 48 49];
13 end
14 % 5° až 10°
15 if (Ibpwsun <= 1.16) && (Ibpwsun > 1.15)
16     y=[48 48 48 49 48];
17 end
18 % 10° až 15°
19 if (Ibpwsun <= 1.15) && (Ibpwsun > 1.13)
20     y=[48 48 48 49 49];
21 end
22 % 15° až 20°
23 if (Ibpwsun <= 1.13) && (Ibpwsun > 1.11)
24     y=[48 48 49 48 48];
25 end
26 % 20° až 25°
27 if (Ibpwsun <= 1.11) && (Ibpwsun > 1.04)
28     y=[48 48 49 48 49];
29 end
30 % 25° až 30°
31 if (Ibpwsun <= 1.04) && (Ibpwsun > 0.898)
32     y=[48 48 49 49 48];
33 end
34 % 30° až 35°
35 if (Ibpwsun <= 0.898) && (Ibpwsun > 0.734)
36     y=[48 48 49 49 49];

```

```

37 end
38 % 35° až 40°
39 if (Ibpwsun <= 0.734) && (Ibpwsun > 0.583)
40     y=[48 49 48 48 48];
41 end
42 % 40° až 45°
43 if (Ibpwsun <= 0.583) && (Ibpwsun > 0.432)
44     y=[48 49 48 48 49];
45 end
46 % 45° až 50°
47 if (Ibpwsun <= 0.432) && (Ibpwsun > 0.267)
48     y=[48 49 48 49 48];
49 end
50 % 50° až 55°
51 if (Ibpwsun <= 0.267) && (Ibpwsun > 0.129)
52     y=[48 49 48 49 49];
53 end
54 % 55° až 60°
55 if (Ibpwsun <= 0.129) && (Ibpwsun > 0.0583)
56     y=[48 49 49 48 48];
57 end
58 % 60° až 65°
59 if (Ibpwsun <= 0.0583) && (Ibpwsun > 0.0375)
60     y=[48 49 49 48 49];
61 end
62 % 65° až 70°
63 if (Ibpwsun <= 0.0375) && (Ibpwsun > 0.0224)
64     y=[48 49 49 49 48];
65 end
66 % 70° až 75°
67 if (Ibpwsun <= 0.0224) && (Ibpwsun > 0.0121)
68     y=[48 49 49 49 49];
69 end
70 % 75° až 80°
71 if (Ibpwsun <= 0.0121) && (Ibpwsun > 0.00583)
72     y=[49 48 48 48 48];
73 end
74 % 80° až 85°
75 if (Ibpwsun <= 0.00583) && (Ibpwsun > 0.0018)
76     y=[49 48 48 48 49];
77 end
78 % 85° až 90°
79 if (Ibpwsun <= 0.0018) && (Ibpwsun > 0.00002)
80     y=[49 48 48 49 48];
81 end
82 %90°
83 if (Ibpwsun <= 0.00002)
84     y=[49 48 48 49 49];
85 end
86

```

D.6.5 Funkce pro kvantování sledované teploty

```

1
2 function [y]=kvatps(x)
3
4 % 0°
5 if x > 13.7843
6     y=[48 48 48 48 48];
7 end
8 % 0° až 5°
9 if (x <= 13.7843) && (x > 13.5158)
10    y=[48 48 48 48 49];
11 end
12 % 5° až 10°
13 if (x <= 13.5158) && (x > 12.7568)
14    y=[48 48 48 49 48];
15 end
16 % 10° až 15°
17 if (x <= 12.7568) && (x > 10.8241)
18    y=[48 48 48 49 49];

```

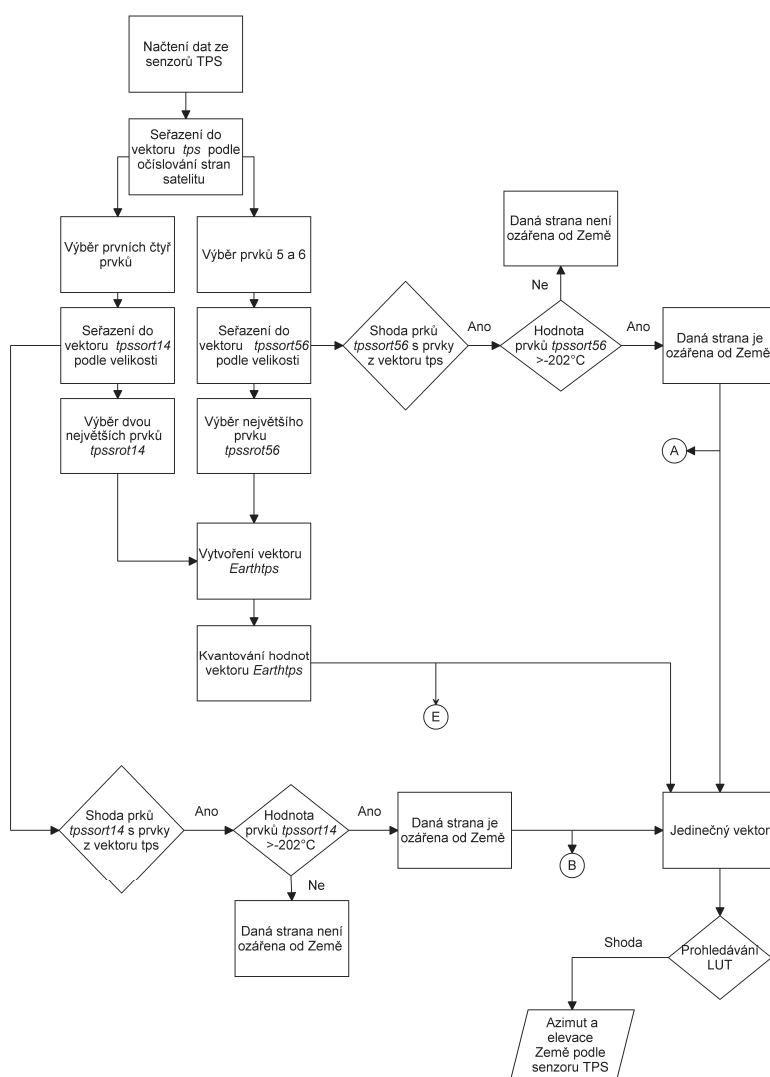


```
19 end
20 % 15° až 20°
21 if (x <= 10.8241) && (x > 6.7586)
22     y=[48 48 49 48 48];
23 end
24 % 20° až 25°
25 if (x <= 6.7586) && (x > 0.1875)
26     y=[48 48 49 48 49];
27 end
28 % 25° až 30°
29 if (x <= 0.1875) && (x > -8.6975)
30     y=[48 48 49 49 48];
31 end
32 % 30° až 35°
33 if (x <= -8.6975) && (x > -19.8899)
34     y=[48 48 49 49 49];
35 end
36 % 35° až 40°
37 if (x <= -19.8899) && (x > -33.5573)
38     y=[48 49 48 48 48];
39 end
40 % 40° až 45°
41 if (x <= -33.5573) && (x > -49.3000)
42     y=[48 49 48 48 49];
43 end
44 % 45° až 50°
45 if (x <= -49.3000) && (x > -66.1502)
46     y=[48 49 48 49 48];
47 end
48 % 50° až 55°
49 if (x <= -66.1502) && (x > -83.3928)
50     y=[48 49 48 49 49];
51 end
52 % 55° až 60°
53 if (x <= -83.3928) && (x > -100.9151)
54     y=[48 49 49 48 48];
55 end
56 % 60° až 65°
57 if (x <= -100.9151) && (x > -118.6173)
58     y=[48 49 49 48 49];
59 end
60 % 65° až 70°
61 if (x <= -118.6173) && (x > -136.3827)
62     y=[48 49 49 49 48];
63 end
64 % 70° až 75°
65 if (x <= -136.3827) && (x > -154.0849)
66     y=[48 49 49 49 49];
67 end
68 % 75° až 80°
69 if (x <= -154.0849) && (x > -171.6072)
70     y=[49 48 48 48 48];
71 end
72 % 80° až 85°
73 if (x <= -171.6072) && (x > -188.8498)
74     y=[49 48 48 48 49];
75 end
76 % 85° až 90°
77 if (x <= -188.8498) && (x > -205.7000)
78     y=[49 48 48 49 48];
79 end
80 % 90°
81 if (x <= -205.7000)
82     y=[49 48 48 49 49];
83 end
84
85
```

Příloha E

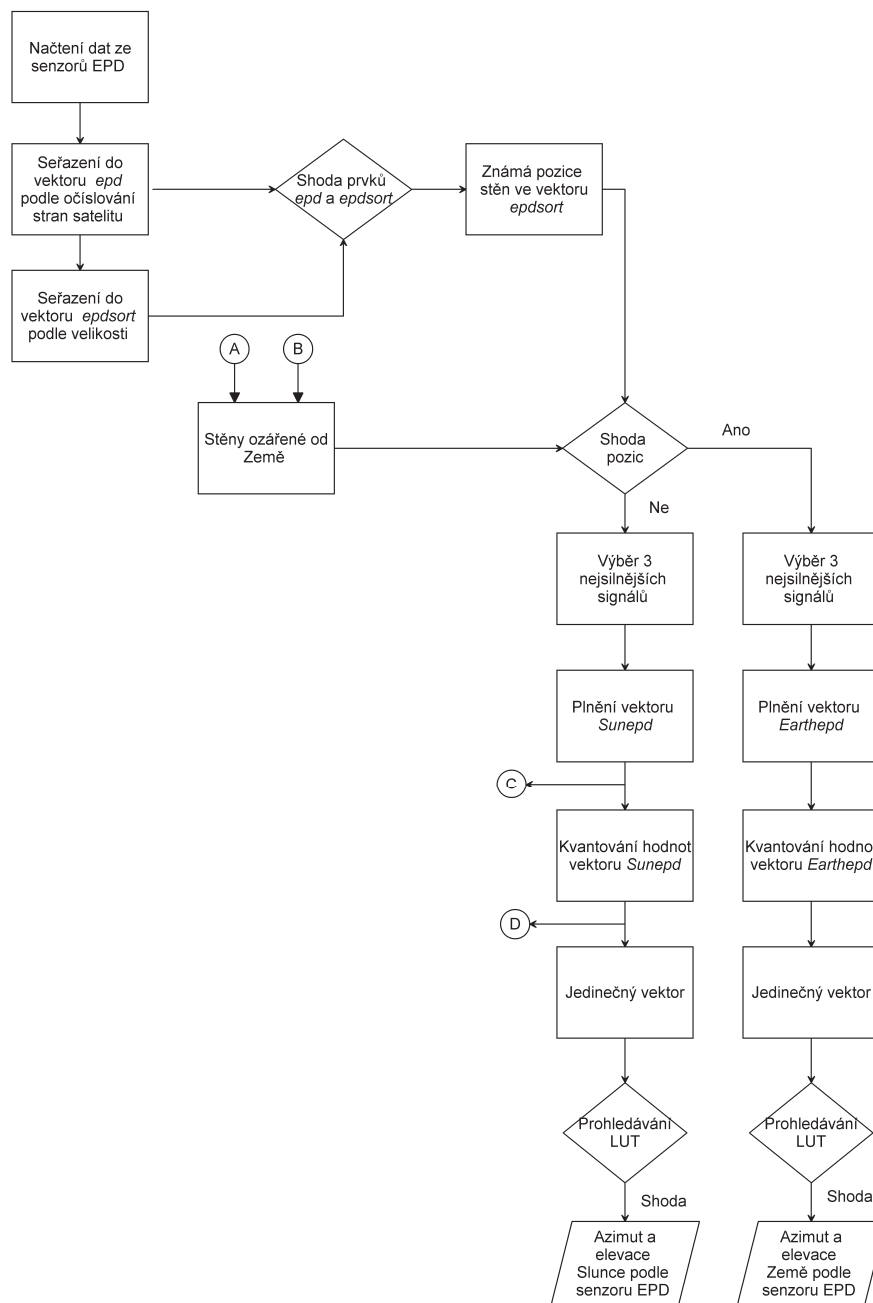
Vývojové diagramy

E.1 Určení azimutu a elevace Země senzorem TPS



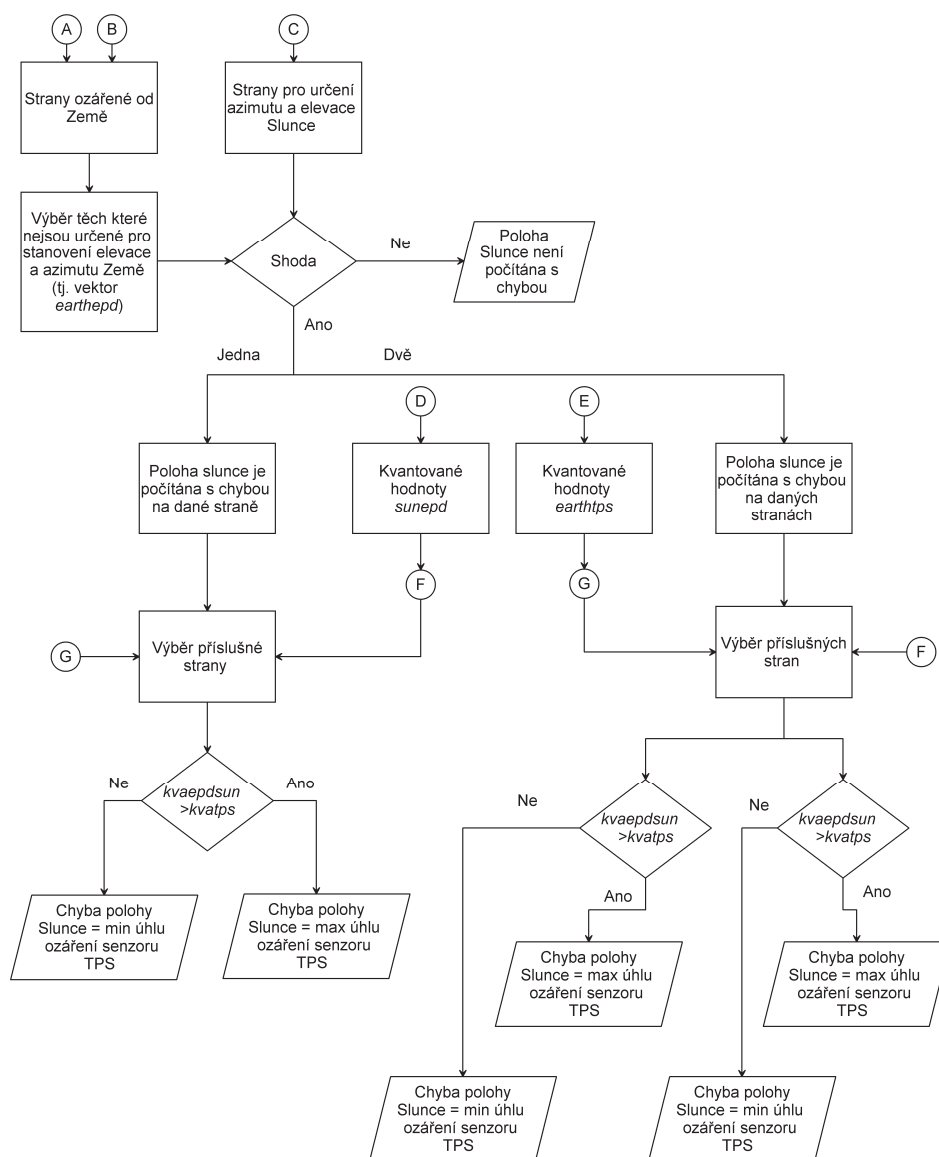
Obr. E.1: Určení azimutu a elevace Země senzorem TPS.

E.2 Určení azimutu a elevace Země i Slunce senzorem EPD (respektive BPW)



Obr. E.2: Určení azimutu a elevace Země i Slunce senzorem EPD (respektive BPW).

E.3 Definování chyby určení polohy Slunce



Obr. E.3: Definování chyby určení polohy Slunce.