

Simulátor optického bezvláknového spoje SIMFSO



Uživatelský manuál

Verze: 1.0

Datum uvolnění: 31. 10. 2022

Autor: Ing. Petr Skryja

Ing. Jiří Němeček, CSc.

Ing. Peter Barcík, Ph.D.

Vývoj programu byl podpořen projektem MV ČR „Robustní systém optické bezvláknové komunikace“, č. VI20192022173.

Licenční ujednání – Freeware licence (EULA)

Stažením, instalací nebo používáním software SIMFSO (dále software) vyjadřujete svůj souhlas s následujícími smluvními podmínkami:

Oprávnění k používání, kopírování a distribuci software a dokumentace je uděleno bezplatně za předpokladu, že budou všechny kopie obsahovat uvedené upozornění týkající se autorských práv a že bude toto upozornění na autorská práva obsaženo společně s tímto upozorněním týkajícím se udělení oprávnění obsaženo v podpůrné dokumentaci. Autor neposkytuje žádné informace týkající se vhodnosti daného softwaru k libovolným účelům. Software je poskytován tak, jak je bez výslovné či předpokládané záruky.

Berete na vědomí, že software obsahuje informace, které jsou vlastnictvím autora a informace, které jsou chráněné autorským zákonem a jinými zákony. Souhlasíte s tím, že nebudete software prodávat, licencovat, distribuovat, měnit, přizpůsobovat, překládat, dekompileovat, zpětně překládat, převádět ze strojového kódu, připravovat ze software odvozená díla nebo se jinak pokoušet z něj odvodit zdrojový kód.

Software je autory poskytován tak, jak je bez jakýchkoli výslovných či předpokládaných záruk. Autor nenesou v žádném případě odpovědnost za jakékoli přímé, nepřímé, náhodné, zvláštní, těžké ani následné škody.

Uživatelský manuál

1. Určení programu

Program SIMFSO (*Simulation of Free-space Optics*) je určen k simulaci základních vlastností obecného bezvláknového optického spoje. Ve spojení s hlavicemi MOBFSO dovoluje řídit a monitorovat činnost lokální i vzdálené hlavice.

Podle zadaných vstupních parametrů spoje a atmosféry poskytuje program informace, které vyjadřují chování a použitelnost spoje. Tyto informace se zobrazují na stránkách:

- **LOCATION,**
- **STEADY AND STATISTICAL MODEL OF THE LINK,**
- **Sun orientation,**
- **Safety.**

Ke komunikaci s hlavicemi MOBFSO je určena stránka **FSO CONSOLE CONNECTION**.

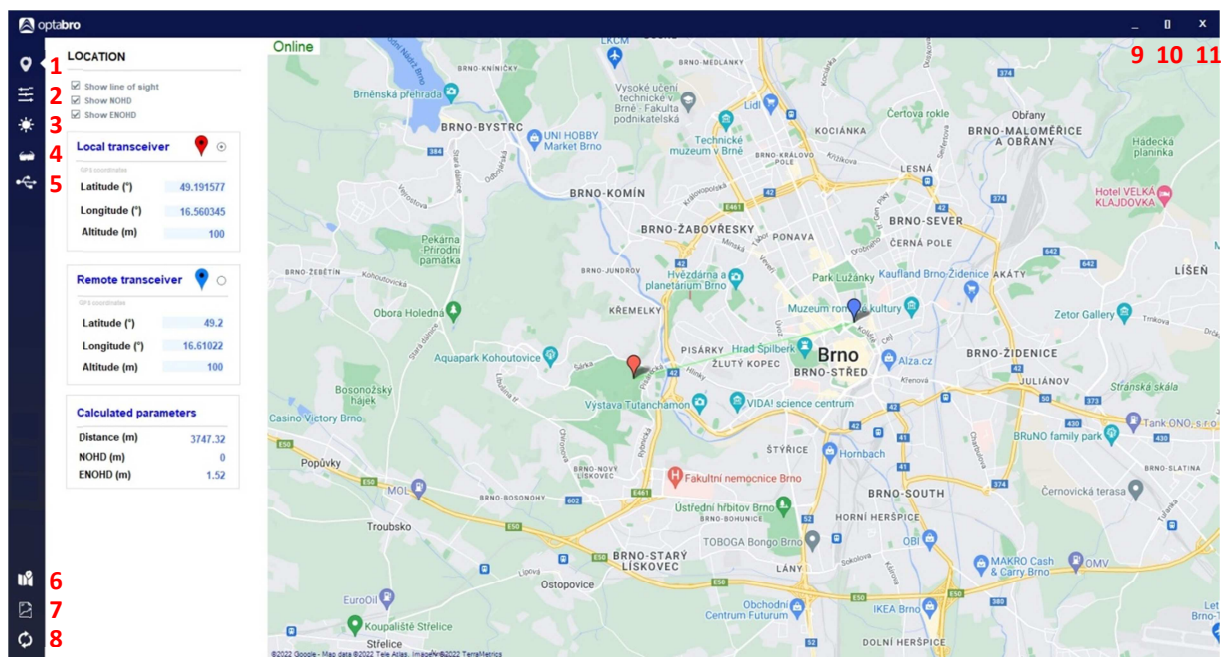
2. Základní ovládání

2.1 Ovládací prvky aplikace

Základní ovládací prvky aplikace slouží k výběru úloh programu a požadovaných funkcí. Jednotlivé prvky jsou označeny na Obr. 2-1, kde:

- 1 Záložka **LOCATION,**
- 2 Záložka **STEADY AND STATISTICAL MODEL OF THE LINK,**
- 3 Záložka **Sun orientation,**
- 4 Záložka **Safety,**
- 5 Záložka **FSO CONSOLE CONNECTION,**
- 6 Tlačítko pro nahrávání map,
- 7 Tlačítko pro generování reportu v PDF,
- 8 Tlačítko pro výpočet (*refresh*),
- 9 Tlačítko pro skrytí aplikace (minimalizaci),
- 10 Tlačítko pro zmenšení aplikace,
- 11 Tlačítko pro zavření aplikace.

Název záložkou zvolené stránky se zobrazuje v horní části obrazovky vlevo. Při použití tlačítka pro zavření aplikace se uloží veškerá data pro příští spuštění.



Obr. 2-1: Základní ovládací prvky aplikace.

2.2 Zadávání hodnot parametrů a chybová hlášení

Při zadávání hodnot jednotlivých parametrů na všech stránkách programu se kurzor přesune myší do příslušné buňky, stiskne se a uvolní levé tlačítko myši a vepíše hodnota parametru podle jednotky příslušného parametru zobrazené v kulatých závorkách.

Po zadání hodnot libovolných parametrů na všech stránkách programu je nutné stisknout tlačítko pro výpočet (Tlačítko 8, viz obr. 2-1.). Poté proběhne výpočet všech veličin a zobrazí se hodnoty vypočítaných parametrů podle aktuálních hodnot parametrů vstupních. Tlačítkem 8 lze spustit výpočet na kterékoliv stránce programu.

Některé parametry jsou opatřeny poznámkou *Note*. Tyto parametry jsou označeny hvězdičkou. Poznámka se zobrazí při umístění kurzoru na název parametru.

Rozsah hodnot některých parametrů je omezený. Pokud je zadaná hodnota mimo povolený rozsah, po stisknutí tlačítka 8 se buňka s chybnou hodnotou zbarví červeně a zobrazí se chybové hlášení *Value error*:

There is an error in the entered value(s), please check the red colored field(s). Number of incorrectly entered values: #.

V případě, že zadané hodnoty některých parametrů jsou extrémní, po stisknutí tlačítka 8 se zobrazí chybové hlášení *Form 1*. Jedná se o neošetřenou výjimku, při které lze buď chybu ignorovat, změnit hodnotu parametru a pokračovat v simulaci spoje, nebo ukončit program.

3. Simulační moduly

3.1 Záložka LOCATION

Záložka LOCATION (Záložka 1, viz obr. 2-1.) slouží k výběru stránky, na které se zadává poloha jednotlivých stanic spoje. Stanice jsou označeny barevným špendlíkem; červený *Local transceiver*, modrý *Remote transceiver*. Poloha stanic se zadává buď zápisem zeměpisné délky *Longitude*, zeměpisné šířky *Latitude* a nadmořské výšky *Altitude* do příslušných buněk ve sloupci vlevo vedle mapy, anebo kurzorem na mapě. V horní části levého sloupce jsou zaškrtačkové pole, pomocí kterých lze zvolit zobrazení spojnice stanic *Line of sight*, jmenovité vzdálenosti s nebezpečím poškození oka *NOHD* (*Nominal ocular hazard distance*) a rozšířené jmenovité vzdálenosti s nebezpečím poškození oka *ENOHD* (*Extended nominal ocular hazard distance*). V dolní části sloupce se zobrazují vypočítané hodnoty vzdálenosti mezi stanicemi *Distance*, *NOHD* a *ENOHD*.

Zeměpisná délka a šířka se zadávají ve stupních (°), nadmořská výška v metrech (m). Po zadání hodnot těchto zeměpisných souřadnic je nutné stisknout tlačítko 8, viz obr. 2-1. Značky stanic na mapě se zobrazí v místech se zadanou polohou. Jsou-li zaškrtnuta příslušná pole, současně se stanicemi se zobrazí čáry *Line of sight*, *NOHD* a *ENOHD*.

Při využití mapy k zadání polohy stanic je nutné nejdříve v levém sloupci označit stanici (*Local transceiver*, nebo *Remote transceiver*), jejíž poloha bude následně zadaná na mapě. Stanice se volí pomocí funkčního prvku *radio button*. Poté se umístí ukazatel myši do místa na mapě, ve kterém se nachází vybraná stanice. Dvojklikem levého tlačítka myši se zobrazí špendlík zvolené stanice a souřadnice této stanice se zavedou do programu. Bezprostředně následuje výpočet vzdálenosti mezi stanicemi *Distance*, která se zobrazí v poli *Calculated parameters*. Dále je nutné zadat hodnoty nadmořských výšek umístění jednotlivých stanic do příslušných buněk v levém sloupci. Po stisknutí tlačítka 8 proběhnou výpočty všech parametrů na každé stránce programu. Zadávaná nadmořská výška umístění konkrétní stanice musí být součtem nadmořské výšky terénu pod stanicí a výšky stanice nad terénem.

Mapu je možné přibližovat, oddalovat a přesouvat pomocí myši, podobně jako u online map Google.

Mapové podklady

Program SIMFSO může využívat online mapové podklady od poskytovatele Google nebo offline podklady v podobě souboru na disku. Kliknutím na tlačítko *Online* respektive *Offline* v levém horním rohu mapy dojde k přepnutí map mezi mapami Google a databází ve formátu *MBTiles* uloženou v počítači. Pokud ještě *Offline* mapa nebyla vložena, je uživatel vyzván k jejímu výběru.

MBTiles je souborový formát pro ukládání mapových dlaždic do jednoho souboru. Technicky jde o databázi SQLite. Data je možné získat bezplatně z podkladů Open Street Map na následujících odkazech:

<http://osmlab.github.io/osm-qa-tiles/>

Zde je možné získat databázi pro celý svět (cca 36 GB) nebo vyexportovat jen určitou zemi (ČR cca 800MB).

<https://extract.bbbike.org/?format=mbtiles-openmaptiles.zip>

Tato služba dovoluje exportovat vybrané území na mapě.

V obou případech je výsledkem soubor s příponou .mbtiles, který se musí nejdříve uložit do trvalé složky na disku. Při přepnutí SIMFSO do offline režimu je uživatel vyzván k zadání souboru. V programu je pak uložena jen cesta k tomuto souboru. Jeho obsah se z důvodu velikosti nikam nekopíruje.

3.2 Záložka STEADY AND STATISTICAL MODEL OF THE LINK

Záložka **STEADY AND STATISTICAL MODEL OF THE LINK** (Záložka 2, obr. 2-1.) slouží k výběru stránky, na které se pomocí stacionárního a statistického modelu spoje počítají parametry a veličiny spoje, které slouží k posouzení jeho výkonové bilance a použitelnosti. Dále se zde počítají parametry, které vyjadřují útlum optického záření při průchodu atmosférou a vliv turbulentního proudění vzduchu na laserový svazek. Je zde také výpočet rozptýleného optického výkonu přijímaného odposlechovým přijímačem. Stránka má pět vrstev.

V první vrstvě v horní části stránky jsou dvě pole, kde se zadávají vstupní parametry vysílače *Transmitter input parameters* a vstupní parametry přijímače *Receiver input parameters*. Tyto parametry se využívají ke stanovení výkonové bilance spoje podle jeho stacionárního modelu.

V druhé vrstvě jsou pole vypočítaných systémových parametrů *Calculated system parameters* a parametrů šíření *Calculated propagation parameters*. Podle systémových parametrů se rozhoduje, zda se úroveň optického výkonu přijímaného přijímačem nachází v přípustném intervalu hodnot. Parametry šíření představují konstantní složky útlumu optického výkonu, které nezávisí na aktuálním stavu atmosféry. Využívají se ve stacionárním modelu spoje.

Ve třetí vrstvě jsou výkonový diagram spoje *Power level diagram* a diagram nedostupnosti spoje *Unavailability diagram*. Tyto diagramy reprezentují stacionární a statistický model spoje.

Ve čtvrté vrstvě jsou dvě pole. V poli *Eavesdropping* se zobrazují zadávané i vypočítané parametry, které jsou určeny ke stanovení výkonu přijímaného přijímačem mimo hlavní optický kanál. Tento přijímač slouží k příjmu atmosférou rozptýleného záření optického spoje. Jednotlivé parametry vyjadřují vlastnosti rozptylujícího přenosového prostředí a odposlechového přijímače. V poli *Beam wandering* se zobrazují parametry svazku, které charakterizují vliv turbulentního proudění vzduchu na prostorové fluktuace optického svazku spoje.

V páté vrstvě je pole *Atmospheric attenuation*. V tomto poli se zobrazují zadávané i počítané parametry, které charakterizují vliv vybraných meteorologických jevů na útlum vysílaného optického výkonu mezi stanicemi spoje. Tyto parametry se využívají při tvorbě statistického modelu spoje.

3.2.1 Parametry vysílače a přijímače

První vrstva stránky je zobrazena na obr. 3-1. V poli *Transmitter input parameters* se zadávají následující vstupní parametry vysílače:

- Střední hodnota výkonu vysílaného zdrojem záření, *Radiation source mean power*, zadávaná v (mW),
- Útlum na přechodu zdroj záření/vysílací optická soustava (VOS), *Source / Lens attenuation*, (dB),
- Útlum na VOS, *TX lens attenuation*, (dB),

- Průměr VOS, *TX lens diameter*, (mm),
- Útlum na krycím skle, *Cover glass attenuation*, (dB),
- Vlnová délka, *Wavelength*, (nm),
- Rozbíhavost svazku, *Angular width of the beam*, (mrad).

V poli *Receiver input parameters* se zadávají následující vstupní parametry přijímače:

- Citlivost přijímače, *Sensitivity threshold*, (dBm),
- Útlum na přijímací optické soustavě (POS), *RX lens attenuation*, (dB),
- Průměr POS, *RX lens diameter*, (mm),
- Dynamický rozsah přijímače, *Dynamic range*, (dB),
- Útlum způsobený chybou zamíření, *Pointing error attenuation*, (dB),
- Zorný úhel přijímače, *Angle of view*, (mrad).

STEADY AND STATISTICAL MODEL OF THE LINK	
Transmitter input parameters	
Radiation source mean power (mW)	40
Source/Lens attenuation (dB)	0.5
TX lens attenuation (dB)	0.5
TX lens diameter (mm)	20
Cover glass attenuation (dB)	0.5
Wavelength (nm)	850
Angular width of the beam (mrad) *	4
Receiver input parameters	
Sensitivity threshold (dBm) *	-30
RX lens attenuation (dB)	2
RX lens diameter (mm)	125
Dynamic range (dB)	20
Pointing error attenuation (dB)	1.5
Angle of view (mrad)	10

Obr. 3-1: Zadávání parametrů optického přijímače a vysílače.

Předpokládá se, že výstupní svazek vysílače je Gaussův. Rozbíhavost tohoto svazku je definována jako úhel, který svírají tečny ke krajům svazku. Kraj svazku ve stacionárním modelu spoje je v takové vzdálenosti od osy svazku, ve které optická intenzita poklesne na úroveň $(1 / e^2) \cdot I_m$, kde I_m je optická intenzita na ose svazku.

Umístěním kurzoru na parametr *Angular width of the beam* se zobrazí poznámka *Note*, která uvádí definici kraje svazku pro výpočet výkonu ve stacionárním modelu: *Angular width of the TX beam (edge – edge) defined by an optical intensity level equal to a multiple $(1/e^2)$ of its maximum value.*

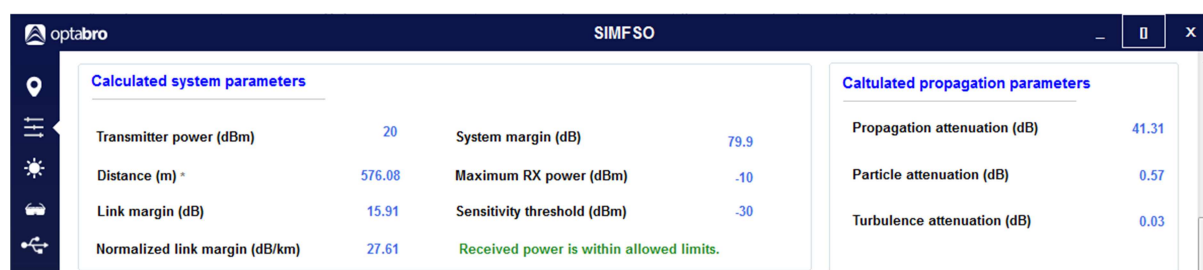
Zadávané hodnoty vlnové délky musí ležet v intervalu od 700 nm do 1800 nm. Při vložení hodnoty, která je mimo tento interval, se zobrazí chybové hlášení *Value error*.

Umístěním kurzoru na parametr *Sensitivity threshold* se zobrazí poznámka *Note: Minimum detected power*. Je to minimální detekovaný optický výkon, při kterém spoj pracuje s požadovanou odolností vůči útlumu optického záření v atmosféře.

3.2.2 Vypočítané systémové parametry

Druhá vrstva stránky je zobrazena na obr. 3-2. V poli *Calculated system parameters* jsou zobrazené hodnoty následujících počítaných parametrů:

- Výkon výstupního záření vysílače, *Transmitter power*, (dBm),
- Přímá vzdálenost mezi stanicemi spoje, *Distance*, (m),
- Linková rezerva, *Link margin*, (dB),
- Normovaná linková rezerva, *Normalized link margin*, (dB / km),
- Systémová rezerva, *System margin*, (dB),
- Saturační výkon přijímače, *Maximum RX power*, (dBm),
- Citlivost přijímače, *Sensitivity threshold*, (dBm).



The screenshot shows the SIMFSO application window with a sidebar on the left and two main panels. The 'Calculated system parameters' panel contains a table with the following data:

Calculated system parameters	
Transmitter power (dBm)	20
Distance (m)	576.08
Link margin (dB)	15.91
Normalized link margin (dB/km)	27.61
System margin (dB)	79.9
Maximum RX power (dBm)	-10
Sensitivity threshold (dBm)	-30
Received power is within allowed limits.	

The 'Calculated propagation parameters' panel contains a table with the following data:

Calculated propagation parameters	
Propagation attenuation (dB)	41.31
Particle attenuation (dB)	0.57
Turbulence attenuation (dB)	0.03

Obr. 3-2: Zobrazení systémových parametrů.

Kromě hodnot uvedených parametrů se v tomto poli zobrazuje výsledek výpočtu ve formě hlášení, která sdělují, zda se přijímaný výkon nachází v požadovaném intervalu hodnot, nebo pod úrovní citlivosti přijímače, nebo nad saturační úrovní:

- *Received power is within allowed limits.*
- *Received power is under allowed limit!*
- *Received power is above allowed limit!*

V poli *Calculated propagation parameters* jsou zobrazené hodnoty následujících počítaných parametrů:

- Útlum šířením, *Propagation attenuation*, (dB),

- Útlum na částicích čisté atmosféry (dB), *Particle attenuation*, (dB)
- Útlum způsobený turbulencí vzduchu, *Turbulence attenuation*, (dB).

Umístěním kurzoru na parametr *Distance* se zobrazí poznámka *Note: Straight-line distance between transceivers*.

Základní veličiny, podle kterých se hodnotí použitelnost spoje dané konfigurace, jsou linková rezerva spoje M , normovaná linková rezerva M_1 a systémová rezerva M_S . Ve spojení se statistickým modelem spoje umožňují stanovit nedostupnost spoje v uvažované lokalitě. Tyto veličiny jsou dané následujícími vztahy [1]:

$$M = \tilde{P}_{m,RX} - P_{0,RX}, \quad (1)$$

$$M_1 = \frac{M}{L_{12}}, \quad (2)$$

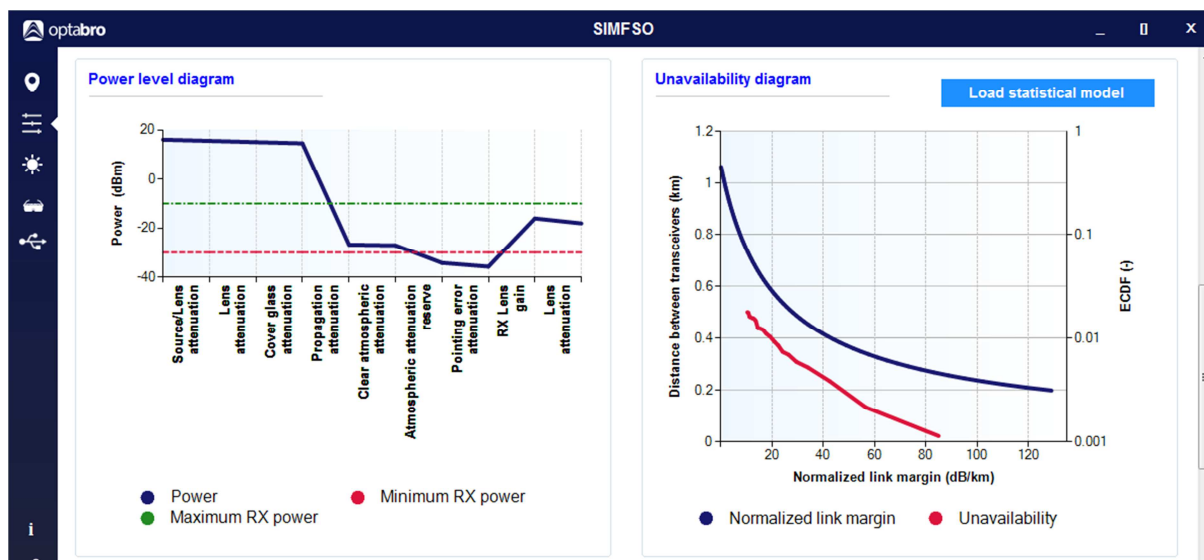
$$M_S = P_{m,TX} - P_{0,RX} + 20 \cdot \log\left(\frac{D_{RX}}{\varphi_t}\right), \quad (3)$$

kde	$\tilde{P}_{m,RX}$	–	střední přijímaný optický výkon pro případ čisté atmosféry, (dBm),
	$P_{0,RX}$	–	citlivost přijímače, (dBm),
	L_{12}	–	vzdálenost mezi stanicemi, (m),
	$P_{m,TX}$	–	střední optický výkon vysílače, (dBm),
	D_{RX}	–	průměr přijímací optické soustavy, (mm),
	φ_t	–	rozbíhavost svazku, (mrad).

3.2.3 Výkonový diagram a nedostupnost

Třetí vrstva stránky je zobrazena na obr. 3-3. Výkonový diagram *Power level diagram* reprezentující stacionární model spoje graficky znázorňuje úroveň optického výkonu, stanovenou v závislosti na vlastnostech jednotlivých prvků přenosové trasy uvedených podél vodorovné osy diagramu. Kromě položek *RX Lens gain*, *Atmospheric attenuation reserve* a *BER reserve* se v diagramu vždy jedná o výkon, který zahrnuje reálný útlum záření na daném prvku přenosové trasy. Položka *RX Lens gain* vyjadřuje reálný zisk přijímací optické soustavy pro danou konfiguraci spoje. Položka *Atmospheric attenuation reserve* vyjadřuje požadavek na zvýšení výkonu zdroje záření za účelem posílení odolnosti spoje vůči útlumu optického záření v atmosféře. V diagramu jsou také vyznačené minimální a maximální úroveň přijímaného výkonu, což jsou mezní přípustné hodnoty dané citlivostí, resp. saturací přijímače. Přijímaný výkon by se měl nacházet v pásmu mezi těmito mezními hodnotami.

V diagramu nedostupnosti spoje *Unavailability diagram* jsou dva grafy. První vyjadřuje závislost normované linkové rezervy spoje M_1 na vzdálenosti mezi stanicemi spoje L_{12} , $M_1 = f(L_{12})$. Normované linkové rezervě je roven mezní koeficient útlumu atmosféry, při kterém je úroveň přijímaného optického výkonu rovna citlivosti přijímače. Při zvýšení koeficientu útlumu nad mezní úroveň poklesne přijímaný výkon pod hodnotu citlivosti přijímače a nastává únik spoje.



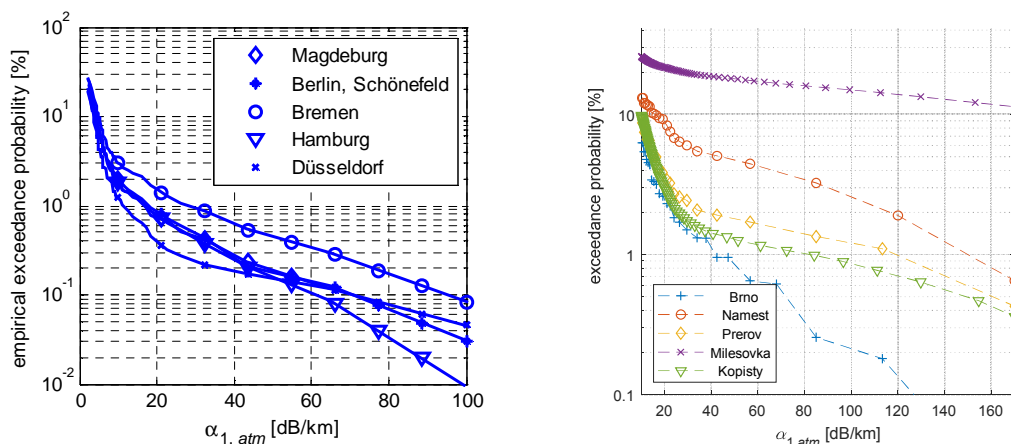
Obr. 3-3: Výkonový diagram a nedostupnost.

Dlouhodobá nedostupnost spoje představuje pravděpodobnost, že přídatný útlum v atmosféře způsobený zejména rozptylem na hydrometeorech mlhy přesáhne hodnotu linkové rezervy. Jednou z možností, jak získat dlouhodobé statistiky je využití záznamů o meteorologické dohlednosti, které provádějí všechna letiště [1]. Meteorologická dohlednost je definovaná jako délka trasy v atmosféře L , při níž propustnost nabývá hodnoty $T = 0,02 = 2\%$ (při $\lambda = 550\text{ nm}$). Mezi meteorologickou dohledností V_M a koeficientem extinkce α_e platí přibližný vztah [2]

$$\alpha_e(\lambda) \approx \frac{3,91}{V_M \left(\frac{\lambda}{550}\right)^q}; (\text{km}^{-1}; \text{km}, \text{nm}), \quad (4)$$

kde $q = 0,16 V_M + 0,34$ pro $1\text{ km} < V_M < 6\text{ km}$; (opar)
 $q = V_M - 0,5$ pro $0,5\text{ km} < V_M < 1\text{ km}$; (střední mlha)
 $q = 0$ pro $V_M < 0,5\text{ km}$; (silná mlha)

Ve studii [3] byly zpracovány dlouhodobé záznamy meteorologické dohlednosti z 210 evropských letišť, které je možné využít pro odhad nedostupnosti. Jejich seznam je uveden v příloze.



Obr. 3-4: Příkladové doplňkové distribuční funkce pro některá města.

Tab. 1 Závislost nedostupnosti linky na hodnotě normované linkové rezervy

Město	40 dB/km	60 dB/km	80 dB/km	100 dB/km
Dresden	0,31	0,22	0,11	0,051
Cologne	0,14	0,090	0,051	0,027
Nurnberg	0,15	0,072	0,026	0,0082
Leipzig	0,38	0,20	0,12	0,079
Hannover	0,44	0,26	0,16	0,10
Hamburg	0,18	0,033	0,014	0,0087
Dortmund	0,27	0,17	0,058	0,015
Bayreuth	1,24	0,67	0,31	0,14
Catania	0,043	0,028	0,020	0,014
Bergamo	0,95	0,62	0,40	0,26
Torino	1,05	0,77	0,52	0,33
Parma	0,82	0,46	0,28	0,17
Bologna	1,70	1,16	0,82	0,59
Verona	1,76	1,45	1,08	0,77
Firenze	0,66	0,44	0,29	0,19
Trieste	0,31	0,17	0,093	0,051
Grenoble	0,23	0,12	0,056	0,024
Vichy	0,78	0,48	0,30	0,19
Montpellier	0,19	0,098	0,057	0,034
Avignon	0,50	0,39	0,25	0,15
Orléans	1,02	0,58	0,24	0,090
Lille	1,30	0,87	0,56	0,35
Strasbourg	0,96	0,53	0,29	0,15

Tabulka 1 slouží pro odhad nedostupnosti spoje na základě znalosti normované linkové rezervy. Pro grafické zobrazení funkcí z obr. 3-4 je možné příslušnou statistickou závislost nahrát pomocí tlačítka **Load statistical model**. V instalační složce programu SIMFSO jsou uloženy ve složkách „Europe“ a „visibility_2019“ zpracované záznamy v podobě jednotlivých souborů pojmenovaných podle míst měření.

Graf je platný pro konkrétní lokalitu, ve které se uskutečnila potřebná měření. Je grafickým vyjádřením statistického modelu spoje. Představuje doplňkovou funkci $R(\alpha_{1,atm})$ ke statistické distribuční funkci $F(\alpha_{1,atm})$ koeficientu útlumu atmosféry $\alpha_{1,atm}$. Jedná se o funkci, která vyjadřuje pravděpodobnost, že koeficient útlumu atmosféry překročí stanovenou hodnotu. Je-li touto hodnotou mezní úroveň rovnající se normované linkové rezervě spoje, je možné z doplňkové funkce koeficientu útlumu přímo stanovit pravděpodobnost nedostupnosti spoje P_{un} za období minimálně jednoho roku, $P_{un} = R(\alpha_{1,atm} > M_1)$. V diagramu je pravděpodobnost nedostupnosti vyjádřena v procentech.

Pomocí diagramu nedostupnosti lze stanovit procento nedostupnosti konkrétního spoje následujícím způsobem. Pro zvolenou vzdálenost mezi stanicemi se z grafu funkce $M_1 = f(L_{12})$ určí hodnota normované linkové rezervy M_1 . Z grafu $P_{un} = R(M_1)$ se pro nalezenou hodnotu M_1 následně určí procento nedostupnosti spoje. Takto stanovená nedostupnost platí pro spoj

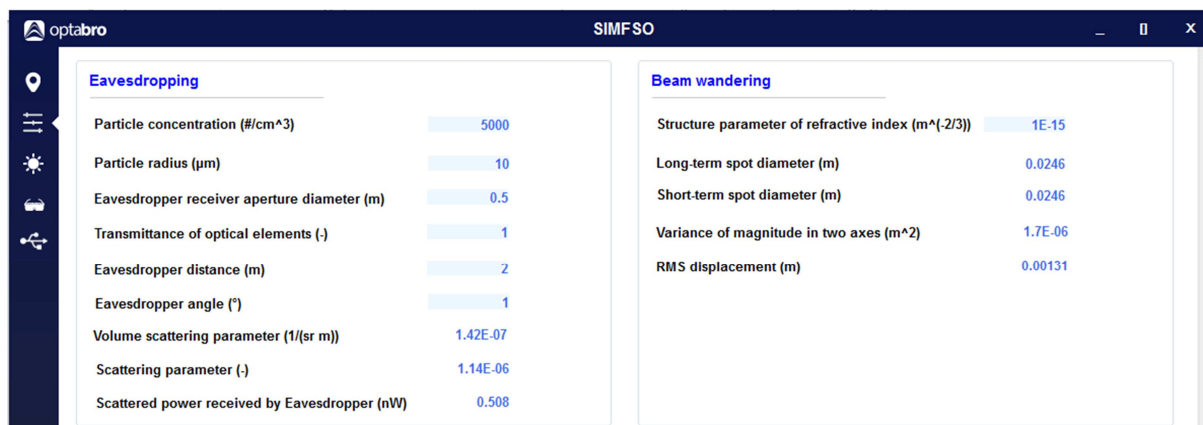
se zvolenou vzdáleností mezi stanicemi a s danou linkovou rezervou, která je určena konkrétní konfigurací spoje.

3.2.4 Rozptylový kanál

Čtvrtá vrstva stránky je zobrazena na Obr. 3-5. V poli *Eavesdropping* se zobrazují následující parametry:

Vstupní zadávané parametry

- Koncentrace částic, *Particle concentration*, ($1 / \text{cm}^3$),
- Průměr částic, *Particle radius*, (μm),
- Průměr vstupní apertury odposlechového přijímače, *Eavesdropper receiver aperture diameter*, (m),
- Transmittance optických prvků odposlechového přijímače, *Transmittance of optical elements*, (–)
- Vzdálenost odposlechového přijímače, *Eavesdropper distance*, (m),
- Úhlem snímání rozptylující oblasti odposlechovým přijímačem, *Eavesdropper angle*, ($^\circ$).



Obr. 3-5: Zobrazení parametrů rozptylového kanálu pro monitorování spoje.

Výstupní počítané parametry

- Objemový koeficient rozptylu, *Volume scattering parameter*, ($1 / (\text{sr} \cdot \text{m})$),
- Parametr rozptylu, *Scattering parameter*, (–).
- Výkon rozptýleného záření přijímaný odposlechovým přijímačem, *Scattered power received by Eavesdropper*, (nW).

Vzdálenost odposlechového přijímače je vzdálenost mezi středem snímané rozptylující oblasti a odposlechovým přijímačem. Snímaná rozptylující oblast je daná průnikem laserového svazku a zorného pole odposlechového přijímače.

Úhel snímání rozptylující oblasti odposlechovým přijímačem je úhel, který svírá optická osa odposlechového přijímače s osou optického svazku vysílače. Úhel je roven nule, jsou-li osy totožné a vysílač se nachází v zorném poli přijímače.

Cílem této části programu je výpočet optického výkonu rozptýleného záření přijímaného odposlechovým přijímačem. Jedná se o příjem části vysílaného optického záření v místě, které se nachází mimo přímý svazek vysílače, kde lze využít jen záření rozptýlené přenosovým prostředím. Velikostí tohoto výkonu je daná potenciální možnost nežádoucího odposlechu spoje.

Velikost takto přijímaného výkonu je úměrná výkonu vysílanému, výkonu rozptýlenému v oblasti, která se nachází v zorném poli odposlechového přijímače, velikosti vstupní apertury odposlechového přijímače a jeho vzdálenosti. Velikost rozptýleného výkonu je dána koncentrací a průměrem rozptylujících částic. Vzhledem k tomu, že tento výkon je směrově závislý, je hodnota výkonu přijímaného odposlechovým přijímačem určena také úhlem snímání rozptylující oblasti.

Přijatý rozptýlený výkon P_{SCATE} je dán vztahem

$$P_{SCATE} = 10^{-3} \cdot \beta_{SCAT} \cdot \Omega_{RXE} \cdot P_{TX} \cdot \tau_{OE} \cdot \tau \cdot 10^9, \quad (5)$$

- kde τ – transmitance přenosového prostředí (mezi snímanou rozptylující oblastí a odposlechovým přijímačem),
- P_{TX} – výkon výstupního záření vysílače,
- β_{SCAT} – objemový koeficient rozptylu,
- Ω_{RXE} – prostorový úhel vymezený přijímací aperturou odposlechového přijímače a vzdáleností tohoto přijímače od středu rozptylující snímané oblasti,
- τ_{OE} – transmitance optických prvků odposlechového přijímače.

Veličiny β_{SCAT} a Ω_{RXE} jsou dané následujícími vztahy:

$$\beta_{SCAT} = 10^6 \cdot N \cdot \frac{\rho^2}{4} \cdot Q_{SCAT}, \quad (6)$$

$$\Omega_{RXE} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{D_{RXE}^2}{L_E^2}, \quad (7)$$

- kde N – koncentrace částic, (1 / cm³).
- Q_{SCAT} – parametr rozptylu, (-),
- D_{RXE} – průměr přijímací apertury odposlechového přijímače, (m),
- L_E – vzdálenost mezi středem rozptylující snímané oblasti a odposlechovým přijímačem, (m).

Parametr rozptylu (aproximace podle [9]) je dán vztahem

$$Q_{SCAT} = \frac{8\pi^4 \rho^6}{\lambda^4} \cdot \left(\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right)^2 \cdot (1 + \cos^2 \theta), \quad (8)$$

- kde λ – vlnová délka záření vysílače, (nm),
- θ – úhel snímání rozptylující oblasti odposlechovým přijímačem, (°),
- ρ – poloměr rozptylujících částic,

m – skutečný index lomu částice vzhledem k indexu lomu okolního prostředí, (-)

Transmittance τ je dán vztahem

$$\tau = e^{-\alpha_e \cdot L_E}, \quad (9)$$

kde α_e je koeficient extinkce.

V poli *Beam wandering* se zobrazují následující parametry:

Vstupní zadávaný parametr

- Strukturální parametr indexu lomu, *Structure parameter of refractive index*, ($m^{-2/3}$).

Výstupní počítané parametry

- Dlouhodobý průměr optické stopy v rovině přijímače, *Long-term spot diameter*, (m),
- Krátkodobý průměr optické stopy v rovině přijímače, *Short-term spot diameter*, (m),
- Rozptyl amplitudy prostorové odchylky svazku ve dvou osách, *Variance of magnitude in two axes*, (m^2),
- RMS prostorové odchylky svazku, *RMS displacement*, (m).

Strukturální parametr indexu lomu vyjadřuje míru turbulentního proudění v atmosféře. Jeho hodnoty se pohybují řádově v rozsahu od $10^{-16} m^{-2/3}$ do $10^{-13} m^{-2/3}$ pro slabou až velmi silnou turbulenci. Tento parametr se využívá při výpočtu veličin, které jsou způsobené turbulencí. V tomto programu se jedná o veličiny uvedené v poli *Beam wandering* a *Turbulence attenuation* v poli *Calculated propagation parameters*.

Počítané parametry v poli *Beam wandering* charakterizují prostorové fluktuace laserového svazku v rovině vstupní apertury přijímače po průchodu turbulentní atmosférou na trase mezi stanicemi spoje.

3.2.5 Útlum na hydrometeorech

Pátá vrstva stránky je zobrazena na obr. 3-6. V poli *Atmospheric attenuation* jsou následující parametry:

Vstupní parametry

- Meteorologická dohlednost, *Meteorological visibility*, (km),
- Intenzita deště, *Rain rate*, (mm / h),
- Intenzita sněžení, *Snow rate*, (mm / h).

Počítané parametry

- Koeficient útlumu podle Kruseova modelu, *Fog Attenuation Kruse model*, (dB / km),
- Koeficient útlumu podle Kimova modelu, *Fog Attenuation Kim model*, (dB / km),
- Koeficient útlumu způsobeného advekční mlhou podle Al-Naboulsiho modelu, *Advection fog attenuation Al-Naboulsi model*, (dB / km),

- Koeficient útlumu způsobeného radiační mlhou podle Al-Naboulsiho modelu, *Radiation fog attenuation Al-Naboulsi model* (dB / km),
- Koeficient útlumu způsobeného deštěm, *Rain attenuation*, (dB / km),
- Koeficient útlumu způsobeného suchým sněhem, *Dry snow attenuation*, (dB / km),
- Koeficient útlumu způsobeného mokrým sněhem, *Wet snow attenuation*, (dB / km).

Atmospheric attenuation			
Meteorological visibility (km)	0.2	Rain rate (mm/hr)	0.2
Attenuation Kruse model (dB/km)	73.24	Rain attenuation (dB/km)	0.37
Attenuation Kim model (dB/km)	85	Snow rate (mm/h)	0.2
Advection fog attenuation Al-Naboulsi model (dB/km)	85.43	Dry snow attenuation (dB/km)	0.6
Radiation fog attenuation Al-Naboulsi model (dB/km)	86.81	Wet snow attenuation (dB/km)	1.22

Obr. 3-6: Výpočet útlumu na hydrometeorech.

Koeficienty útlumu podle Kruseova [5], Kimova [2] a Al-Naboulsiho [4] modelů se počítají na základě meteorologické dohlednosti. Koeficienty útlumu pro déšť i sníh se počítají podle intenzity těchto srážek.

Al-Naboulsiho modely výpočtu koeficientu útlumu platí pro vlnové délky v intervalu 690–550 nm a meteorologické dohlednosti v intervalu 0,05–1 km. Pokud jsou zadané hodnoty těchto parametrů mimo uvedené intervaly, v příslušných buňkách hodnot pro Al-Naboulsiho modely se zobrazí *N/A*.

Hodnoty vypočítaných koeficientů poskytují informaci o velikosti dodatečného jednotkového útlumu optického výkonu v přenosovém prostředí mezi stanicemi spoje pro konkrétní meteorologickou situaci. Celkový útlum je úměrný příslušnému koeficientu a vzdálenosti mezi stanicemi spoje.

3.3 Záložka SUN ORIENTATION

Záložka **SUN ORIENTATION** (Záložka 3, viz obr. 2-1.) slouží k výběru stránky, na které se číselně i graficky zobrazují informace související se vzájemnou polohou stanic spoje a polohou Slunce.

V horní části stránky jsou uvedené hodnoty úhlu zorného pole přijímače *Angle of view*, elevace *Elevation* a azimutu *Azimuth* obou stanic v polích *Local transceiver* a *Remote transceiver*, obr. 3-7. Jednotlivé stanice spoje jsou zobrazené také v grafu pole *Sun position diagram*, viz obr. 3-8. Hodnoty azimutu a elevace každé stanice jsou dané směrem ke stanici protilehlé.

Azimut a elevace Slunce v průběhu libovolného dne v roce jsou graficky zobrazené v grafu pole *Sun position diagram*. Den je možné zvolit pomocí kalendáře *Calendar*, který se nachází v poli *Sun position diagram*. Hodnoty polohových úhlů spoje se počítají podle poloh jednotlivých stanic zadaných na stránce **LOCATION**. V grafu jsou také zobrazené průběhy polohy Slunce pro dny 24. 6. a 18. 12., kdy je Slunce nejvýše, resp. nejniže.

Křivkami spojujícími průběhy polohy Slunce, při kterých je Slunce nejniže a nejvýše, je zobrazen čas, kdy Slunce zaujímá danou polohu. Hodnoty času jsou zobrazené nad křivkou nejvyšší polohy Slunce v průběhu 24. 6. Pro každý čas jsou zde dvě křivky, které jsou platné buď pro období od 18. prosince do 24. června, nebo pro období od 24. června do 18. prosince. Průsečíky těchto křivek s grafem polohy Slunce pro konkrétní zvolený den udávají azimut a elevaci Slunce v daném čase. Pomocí ovladačů kurzorů *Cursor C1* a *Cursor C2* lze nastavit libovolný čas a vyhledat souřadnice Slunce ve vybraných časech. Pomocí zaškrtnutých polí lze vybírat zobrazení časových křivek. Zaškrtnutá pole jsou *Time*, *Time cursors*, *Time (December-June)* a *Time (June-December)*.

Při umístění kurzoru na období červen až prosinec *Time (June-December)* se zobrazí následující poznámka *Note: The curve in the graph shows the time information valid for the period from 24. 6. until 18. 12.*

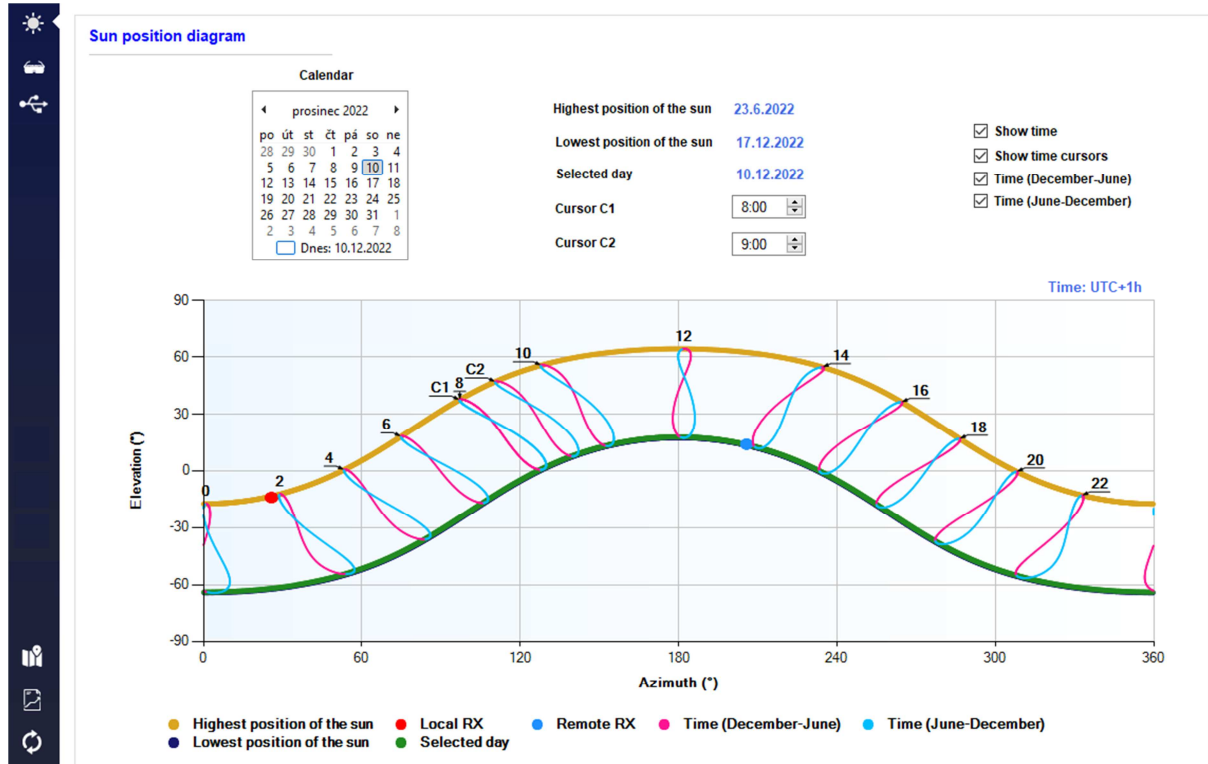
Při umístění kurzoru na období prosinec až červen *Time (December-June)* se zobrazí následující poznámka *Note: The curve in the graph shows the time information valid for the period from 18. 12. until 24. 6.*

V polích *Local RX irradiation* a *Remote RX irradiation* se zobrazují zprávy o riziku, zda se Slunce nachází v zorném poli přijímače příslušné stanice, viz obr. 3-9. Tento stav se kontroluje v diskretních časech. Interval mezi sousedními časy je 10 minut. K posouzení uvedeného rizika je nutné na stránce stacionárního a statistického modelu **STEADY AND STATISTICAL MODEL OF THE LINK** zadat hodnotu úhlu zorného pole přijímače *Angle of view* v poli *Receiver input parameters*.

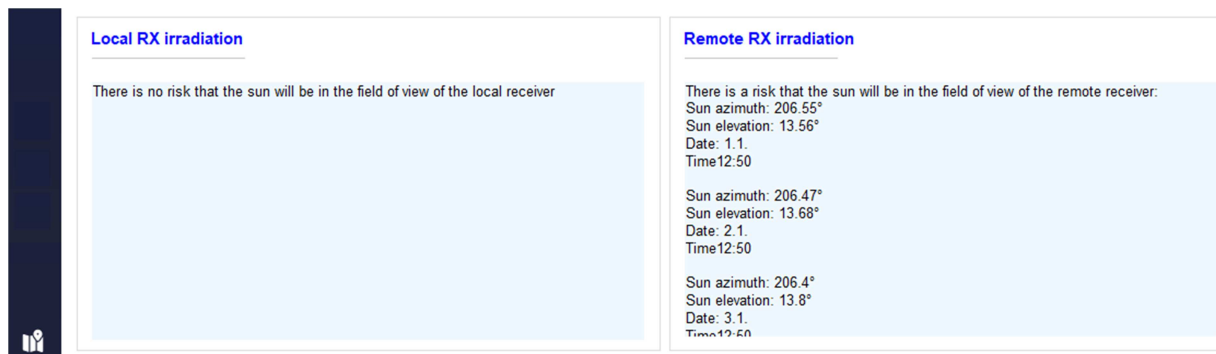


SUN ORIENTATION			
Local Transceiver		Remote Transceiver	
Angle of view (°)	2.86	Elevation (°)	-13.97
		Azimuth (°)	25.76
Angle of view (°)	2.86	Elevation (°)	13.97
		Azimuth (°)	205.76

Obr. 3-7: Zorný úhel přijímače, elevace a azimut stanic spoje.



Obr. 3-8: Grafické zobrazení elevace a azimutu stanic spoje a Slunce.



Obr. 3-9: Zprávy o riziku Slunce v zorném poli přijímače.

Elevace E a azimut A Slunce se v programu počítají podle následujících vztahů

$$E = \arcsin(\sin \varphi \cdot \sin \delta - \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau), \quad (10)$$

$$A = \arccos\left[\frac{\cos \delta}{\cos h} \cdot (\cos \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta + \sin \varphi \cdot \cos \tau)\right], \text{ pro } H \leq 12 \text{ h}, \quad (11)$$

$$A = 360 - \arccos\left[\frac{\cos \delta}{\cos h} \cdot (\cos \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta + \sin \varphi \cdot \cos \tau)\right], \text{ pro } H > 12 \text{ h}, \quad (12)$$

$$\delta = 23,45 \cdot \sin[29,7 \cdot (M - 1) + 0,98 \cdot D - 80], \quad (13)$$

kde δ – deklinace, (°),

D – pořadové číslo dne v měsíci, (-),

- M – pořadové číslo měsíce v kalendářním roce, (-),
- τ – hodinový úhel, ($^{\circ}$), $\tau = 15 \cdot H$,
- H – denní doba (denní hodina) od půlnoci, (h),
- ϕ – zeměpisná šířka, ($^{\circ}$).

Deklinace δ je úhlová vzdálenost Slunce severně nebo jižně od světového rovníku. Je kladná nebo záporná směrem k severnímu, respektive jižnímu světovému pólu.

3.4 Záložka SAFETY

Záložka **SAFETY** (Záložka 4, viz obr. 2-1.) slouží k výběru stránky, která je určena k výpočtu bezpečnostních ukazatelů laserového spoje. Postup jejich určení je stanoven normami ČSN EN 60825-1 ed. 3, *Bezpečnost laserových zařízení – část 1: Klasifikace zařízení a požadavky* (dále jen Norma 1) a ČSN EN 60825-12, *Bezpečnost systémů prostorové optické komunikace užívaných pro přenos informací* (dále jen Norma 12).

Do programu zadávané vstupní parametry potřebné ke stanovení bezpečnostních ukazatelů jsou v polích *Input parameters* a *Measured parameters*, viz obr. 3-10. V poli *Input parameters* jsou:

- Pološířka svazku v rovině krycího skla vysílače, *Half width of the beam*, (mm),
- Rozbíhavost svazku, *Angular width of the beam*, (mrad).
- Frekvence vysílaného optického signálu, *Frequency*, (kHz),
- Střída vysílaného optického signálu, *Duty cycle*, (-),
- Průměr vstupní apertury pozorovacího přístroje, *Observation device lens diameter*, (mm).
- Rozbíhavost svazku, *Angular width of the beam*, (mrad).

V poli *Measured parameters* jsou:

- Změřený optický výkon pro podmínku 1, *Measured power Condition 1*, (mW),
- Změřený optický výkon pro podmínku 3, *Measured power Condition 3*, (mW).

	Condition 1		Condition 3	
Wavelength (mm)	Screen aperture (mm)	Distance (mm)	Screen aperture (mm)	Distance (mm)
≥ 700 ÷ 1400	50	2000	7	100
≥ 1400 ÷ 1800	24.5	2000	3.5	100

Obr. 3-10: Zadávané parametry pro určení bezpečnosti.

Předpokládá se, že výstupní svazek vysílače je Gaussův. Pološířka svazku je vzdálenost mezi osou svazku a jeho krajem. K výpočtu bezpečnostních ukazatelů v souladu s Normou 1 je kraj svazku v takové vzdálenosti od osy svazku, ve které optická intenzita poklesne na úroveň $(1/e) \cdot I_m$, kde I_m je optická intenzita na ose svazku. Totéž platí i pro rozbíhavost tohoto svazku, která je definována jako úhel, který svírají tečny ke krajům svazku.

Umístěním kurzoru na parametr *Half width of the beam* se zobrazí poznámka *Note*, která uvádí definici kraje svazku pro výpočet bezpečnostních ukazatelů: *Half width of the beam in the plane of*

the TX cover glass defined by an optical intensity level equal to a multiple ($1/e$) of its maximum value.

Umístěním kurzoru na parametr *Angular width of the beam* se zobrazí poznámka *Note*, která uvádí definici kraje svazku pro výpočet bezpečnostních ukazatelů: *Angular width of the TX beam (edge – edge) defined by an optical intensity level equal to a multiple ($1/e$) of its maximum value.*

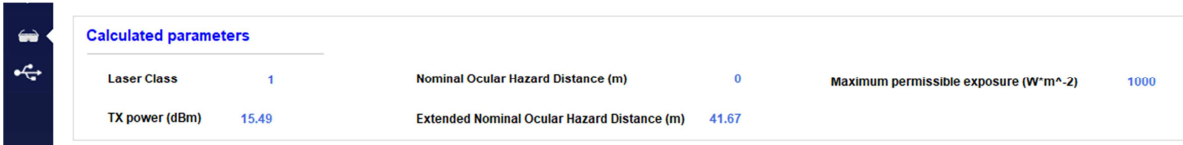
Střídá se zadává v intervalu od 0 do 1. Umístěním kurzoru na parametr *Duty cycle* se zobrazí poznámka *Note: Duty cycle in range $\langle 0; 1 \rangle$.*

Hodnoty parametrů zadávané do pole *Measured parameters* je nutné získat měřením v souladu s Normou 1. Základní požadavky na měření v závislosti na vlnové délce emitovaného záření a podmínkách měření definovaných normou jsou uvedené v poli *Measured parameters*. Hodnoty změřeného optického výkonu podle podmínek *Condition 1* a *Condition 3* slouží k zařazení spoje do třídy. Podmínka *Condition 1* zohledňuje pozorování za použití optických pomůcek, podmínka *Condition 3* je pro případ pozorování bez optických pomůcek.

K výpočtu bezpečnostních ukazatelů musí být na stránce stacionárního a statistického modelu **STEADY AND STATISTICAL MODEL OF THE LINK** zadané střední hodnota výkonu vysílaného zdrojem záření *Radiation source mean power*, *Source/Lens attenuation*, *TX lens attenuation*, *Cover glass attenuation* a vlnová délka *Wavelength* v poli *Transmitter input parameters*.

V poli *Calculated parameters* jsou uvedené hodnoty následujících parametrů, viz obr. 3-11:

- Třída spoje, *Laser link class*,
- Optický výkon vysílače, *TX power*, (dBm),
- Jmenovitá vzdálenost s nebezpečím poškození oka, *Nominal ocular hazard distance*, (m),
- Rozšířená jmenovitá vzdálenost s nebezpečím poškození oka, *Extended nominal ocular hazard distance*, (m).
- Maximální přípustná dávka ozáření, *Maximal permissible exposure*, ($W \cdot m^{-2}$).



Calculated parameters			
Laser Class	1	Nominal Ocular Hazard Distance (m)	0
TX power (dBm)	15.49	Extended Nominal Ocular Hazard Distance (m)	41.67
		Maximum permissible exposure ($W \cdot m^{-2}$)	1000

Obr. 3-11: Bezpečnostní ukazatele.

K výpočtu bezpečnostních ukazatelů se jako optický výkon vysílače využívá výkon za krycím sklem vysílače. Při umístění kurzoru na parametr *TX power* se zobrazí poznámka *Note: TX power behind the cover glass.*

Postup klasifikace je uveden v Normě 1. Pokud nebyla stanovena třída spoje, v buňce hodnot se zobrazí *N/A*.

Jmenovité vzdálenosti s nebezpečím poškození oka jsou bezpečnostní ukazatele, které určují velikost oblasti s nominálním nebezpečím. Vzdálenost *NOHD* je vzdálenost od výstupní apertury, v níž se intenzita ozáření nebo dávka ozáření rovná příslušné maximální přípustné dávce ozáření *MPE* (*Maximum permissible exposure*) pro rohovku pro případ ozáření neozbrojeného oka, viz Norma 1. Při použití pozorovacího přístroje se tato mezní vzdálenost zvětší na hodnotu *ENOHD*, která závisí na velikosti vstupní apertury pozorovacího přístroje.

Postup stanovení *MPE* je uveden v Normě 1. Její hodnota závisí především na vlnové délce záření a době ozáření oka. Vzdálenosti *NOHD* a *ENOHD* se v programu počítají podle následujících vztahů

$$NOHD = \frac{\sqrt{\frac{4 \cdot P_{TX}}{\pi \cdot E_{MPE}} - 2 \cdot w_{cgs}}}{\varphi_{ts}}, \quad (14)$$

$$ENOHD = NOHD \cdot G + \frac{2 \cdot w_{cgs} \cdot (G - 1)}{\varphi_{ts}}, \quad (15)$$

$$G = \frac{D_o}{0,007}, \quad (16)$$

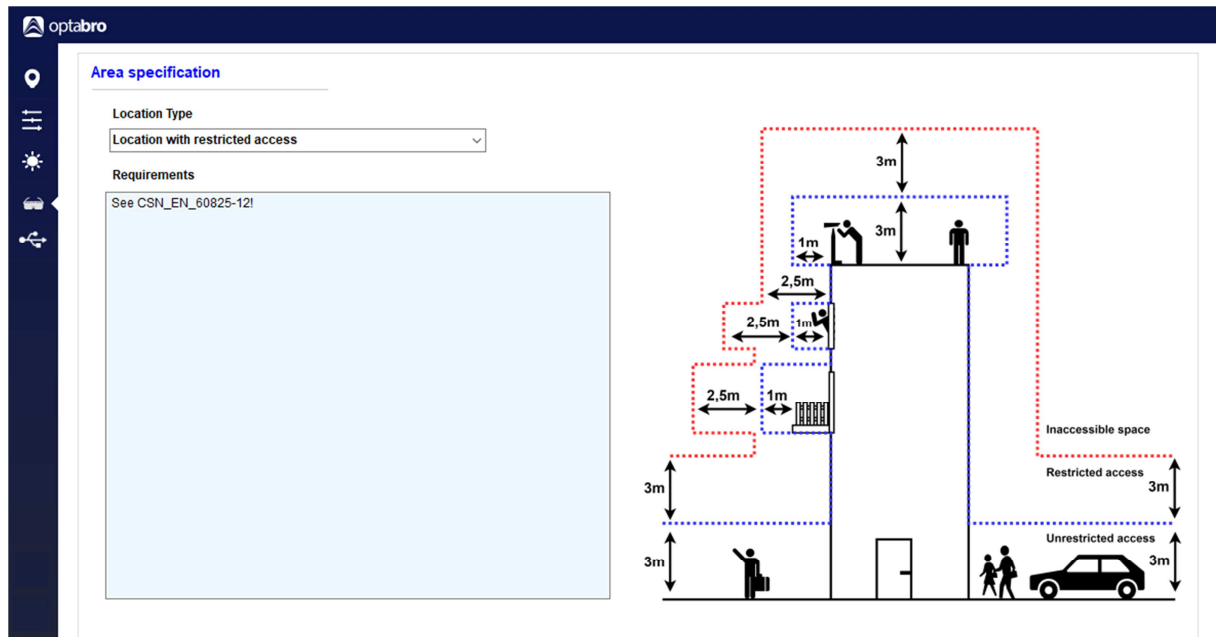
kde	E_{MPE}	–	MPE vyjádřená jako intenzita ozáření, ($W \cdot m^{-2}$),
	G	–	činitel zesílení sledovacího přístroje (např. dalekohledu), (–),
	w_{cgs}	–	pološířka svazku v rovině krycího skla vysílače, která se použije k posouzení bezpečnosti spoje, (m),
	φ_{ts}	–	rozbíhavost svazku, která se použije k posouzení bezpečnosti spoje, (rad),
	D_o	–	průměr vstupní apertury pozorovacího přístroje, (mm).

V poli *Area specification*, viz obr. 3-12, jsou v části *Location type* uvedené typy umístění spoje podle přístupu osob do prostorů, ve kterých se nachází stanice spoje. Jednotlivé typy umístění spoje znázorňuje obrázek vpravo. Typy umístění jsou:

- Prostor s volným přístupem, *Location with unrestricted access*,
- Prostor s omezeným přístupem, *Location with restricted access*,
- Prostor s kontrolovaným přístupem, *Location with controlled access*,
- Nepřístupný prostor, *Location of inaccessible access*.

V části *Requirements* jsou uvedené základní pokyny ke splnění požadavků na technická, organizační a prostorová opatření, která musí být učiněna při instalaci spoje zařazeného do konkrétní třídy. V závislosti na třídě spoje jsou tyto požadavky ilustrovány obrázky dole.

Ke splnění bezpečnostních požadavků je nezbytné striktně postupovat podle Normy 1 a Normy 12.

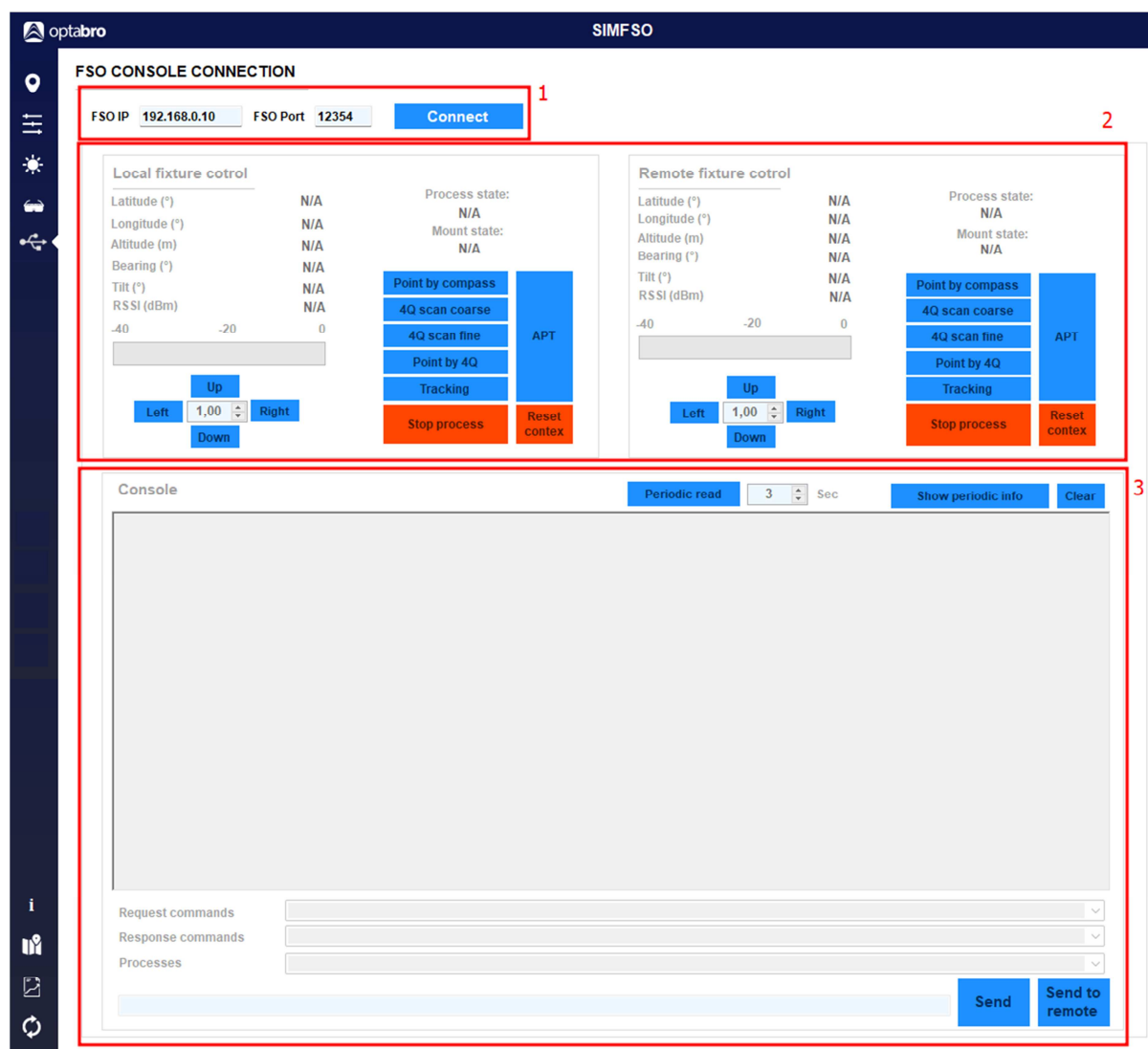


Obr. 3-12: Typy umístění spoje.

3.4 Záložka FSO CONSOLE CONNECTION

Záložka slouží pro připojení a ovládání FSO jednotky. Stránka (viz obr. 3-13) se skládá z:

1. informačních údajů pro připojení (IP adresa a port jednotky),
2. ovládacích prvků a
3. konzole pro zaslání příkazů.



Obr. 3-13: Stránka pro ovládání FSO jednotky

Jednotka komunikuje pomocí protokolu *TCP* a pro připojení je nutné vyplnit její *IP* adresu a *Port*. Po vyplnění těchto údajů se aplikace připojí k jednotce pomocí tlačítka *Connect*. Během této operace dojde k vyčtení dostupných ovládacích příkazů a procesů z jednotky. Tyto informace jsou poté vyplněny v polích „*Request commands*“, „*Response commands*“ a

„Processes“. Zároveň se v konzoli zobrazí výpis „Connected“, tlačítko *Connect* zezelená a změní svůj text na „Connected“. Odpojení od jednotky proběhne při opětovném kliknutí na tlačítko *Connected* nebo při ztrátě spojení.

V okně pro ovládání lokální (respektive vzdálené) jednotky jsou zobrazována data o pozici (zeměpisná výška, zeměpisná šířka a nadmořská výška), úhel naklonění od severu (*Bearing*), úhel naklonění od horizontu (*Tilt*, respektive *Elevation*), úroveň přijímaného signálu (RSSI), aktivní proces (*Process state*) a stav otočného zařízení (*Mount state*). Uživatel má dále k dispozici ovládací tlačítka pro otáčení jednotkou (tlačítka *Up*, *Left*, *Right*, *Down* a údaj o kroku ve stupních, zobrazený mezi tlačítky) a tlačítka pro rychlý přístup k běžným procesům pro směřování, jako jsou směřování pomocí kompasu (*Point by compass*), hrubé/jemné skenování prostoru pomocí čtyřkvadrantové fotodiody (*4Q scan coarse/fine*), směřování/zarovnání spoje pomocí čtyřkvadrantové fotodiody (*Point by 4Q*), spuštění aktivního sledování svazku (*Tracking*), zastavení procesu (*Stop process*), spuštění APT (acquisition, pointing and tracking) smyčky a smazání kontextu, který se přenáší mezi jednotlivými kroky (*Reset context*).

V sekci konzole (3) lze nastavit periodu vyčítání informací zobrazovaných v ovládacích oknech pro lokální a vzdálenou jednotku. Tuto perioda lze nastavit (případně vypnout) pomocí tlačítka *Periodic read* a vstupního boxu pro nastavení časové periody vedle tohoto tlačítka. Aktivní periodické vyčítání je indikováno zeleným zbarvením tlačítka *Periodic read*. Zasilání a čtení těchto informací je skryté, ale uživatel má možnost tyto zprávy zobrazit v konzoli pomocí tlačítka *Show periodic info* (aktivita tlačítka je indikována zeleným podbarvením tlačítka). Ve stejné úrovni se nachází i tlačítko pro vymazání zpráv v konzoli (*Clear*). Uživatel má možnost ovládat jednotku pomocí příkazů vepsaných do řádku (nalevo od tlačítek *Send* a *Send to remote*). Příkazy jsou koncipovány následovně:

Příkaz je zadáván v textové formě jako název příkazu, za kterým následují argumenty. Příkaz a argumenty jsou oddělovány jednou mezerou.

COMMAND ARG1 ARG2 ARG3 ...

Odpověď se skládá z indikačního slova o úspěchu operace (*ACK* = úspěšné zadání příkazu; *ERR* = chyba při vykonávání příkazu), názvu vykonaného příkazu a případných argumentů. Opět jsou všechny složky odděleny mezerami.

ACK COMMAND ARG1 ARG2 ARG3 ...

ERR COMMAND ARG1 ARG2 ARG3 ...

Pro rychlé zadávání/verifikaci argumentů má uživatel k dispozici seznamy příkazů/odpovědí/procesů v roletkách *Request commands/Response commands/Processes*, z kterých může jednoduše vybrat příkaz a po kliknutí je tento příkaz zkopírován do zadávacího pole. Příkaz je pak možné odeslat do lokální jednotky pomocí tlačítka *Send* či zmáčknutí klávesy *Enter*. Pro zaslání příkazu do vzdálené jednotky (přes LoRa vysílač) slouží tlačítko *Send to remote*. Zasláný příkaz a přijatá odpověď je zobrazována v konzoli. Pokud uživatel zasílá příkaz do vzdálené jednotky tak se mu zobrazí potvrzení přijetí příkazu do fronty k odeslání a po získání odpovědi ze vzdálené jednotky (může trvat několik sekund) je

zpráva automaticky vyčtena a zobrazena v konzoli (je nutné mít zapnuté periodické vyčítání informací). Na obrázku 3-14 je zobrazeno úspěšné připojení k jednotce a zaslání příkazu pro zobrazení kalibrace kompasu.

FSO CONSOLE CONNECTION

FSO IP **192.168.137.187** FSO Port **12354** **Connected**

The screenshot displays the FSO Console Connection interface, which is divided into several sections:

- Local fixture cotrol** (Note the typo in the image):
 - Latitude [°]: 49.2288809
 - Longitude [°]: 16.5723578
 - Altitude [m]: 289.6
 - Bearing [°]: 169.70
 - Tilt [°]: 3.00
 - RSSI [dBm]: 0.0
 - Process state: IDLE
 - Mount state: IDLE
 - Buttons: Point by compass, 4Q scan coarse, 4Q scan fine, Point by 4Q, Tracking, Stop process, Reset contex (typo), Up, Down, Left, Right, and a numeric input set to 1.00.
- Remote fixture cotrol** (Note the typo in the image):
 - Latitude [°]: 49.2270788
 - Longitude [°]: 16.5749992
 - Altitude [m]: 312.3
 - Bearing [°]: 303.50
 - Tilt [°]: -2.00
 - RSSI [dBm]: 0.0
 - Process state: IDLE
 - Mount state: IDLE
 - Buttons: Point by compass, 4Q scan coarse, 4Q scan fine, Point by 4Q, Tracking, Stop process, Reset contex, Up, Down, Left, Right, and a numeric input set to 1.00.
- Console**:
 - Periodic read: 3 Sec
 - Buttons: Show periodic info, Clear
 - Log output:


```
Connected
Sent > GET_CMPS_CAL
Rec < ACK GET_CMPS_CAL 0 1 1
```

Obr. 3-14: Ukázka připojení k FSO jednotce.

Reference

- [1] KOLKA, Z.; WILFERT, O.; FIŠER, O. Achievable Qualitative Parameters of Optical Wireless Links. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 2007, roč. 9, č. 5, s. 2419-2423. ISSN: 1454- 4164.
- [2] I.I. Kim, B. McArthur, E.J. Korevaar, Comparison of laser beam propagation at 785 nm and 1550 nm in fog and haze for optical wireless communications," *Proc. SPIE 4214, Optical Wireless Communications III*, (6 February 2001).
- [3] KOLKA, Z.; BIOLKOVÁ, V.; BIOLEK, D. Availability Study of FSO Systems in Europe. In *Proceedings of European Conference of Communications (ECCOM'10)*. Puerto De La Cruz, Spain, 2010. pp. 100-103.
- [4] M. Naboulsi, H. Sizun, F. Fornel, "Propagation of optical and infrared waves in the atmosphere," *Proc. of the XXVIIIth URSI General Assembly*, New Delhi, October 2005.
- [5] P. W. Kruse, L. D. McGlauchlin, E. B. McQuistan . "Elements of infrared technology: generation, transmission and detection," J. Wiley and Sons, 1962.
- [6] Česká technická norma. *Bezpečnost laserových zařízení – Část 1: Klasifikace zařízení a požadavky*. ČSN EN 60825-1, ed. 3. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví: Praha, 2015. 100 s.
- [7] Česká technická norma. *Bezpečnost laserových zařízení – Část 12: Bezpečnost systémů prostorové optické komunikace užívaných pro přenos informací*. ČSN EN 60825-12. Český normalizační institut: Praha, 2005. 36 s.
- [8] Česká norma. *Bezpečnost laserových zařízení – Část 1: Klasifikace zařízení, požadavky a pokyny pro používání*. ČSN EN 60825-1. Praha: Český normalizační institut. 1997. 84 s.
- [9] CURTIS, M.; Boss, E.; Roesler, C. "Ocean Optics Web Book," <https://www.oceanopticsbook.info>.

Příloha č. 1 – Seznam letišť se statistikami dohlednosti

Francie

ICAO	Místo	Nadmořská výška	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka
LFBA	Agen	62	44,174714	0,590619
LFBC	Cazaux	26	44,534883	-1,131450
LFBD	Bordeaux	51	44,828611	-0,715278
LFBE	Bergerac	52	44,824431	0,520525
LFBG	Cognac	31	45,658333	-0,317500
LFBH	La_Rochelle	23	46,179211	-1,195236
LFBI	Poitiers	129	46,587500	0,306667
LFBL	Limoges	396	45,860833	1,180278
LFBO	Toulouse	152	43,635000	1,367778
LFBP	Pau_Pyrénées	188	43,380000	-0,418611
LFBT	Tarbes	384	43,185556	-0,002778
LFBZ	Biarritz	75	43,468333	-1,531111
LFCR	Rodez	582	44,407500	2,483333
LFGJ	Dole	197	47,042778	5,435000
LFJL	Metz/Nancy/Lorraine	265	48,978333	6,246667
LFKB	Bastia	8	42,550000	9,484722
LFKC	Calvi	64	42,520364	8,793028
LFKF	Figari	27	41,502222	9,096667
LFKJ	Ajaccio	5	41,923889	8,802500
LFLB	Chambery	237	45,639167	5,880000
LFLC	Clermont/Ferrand	332	45,785833	3,162500
LFLD	Bourges	161	47,064453	2,378953
LFLI	Lyon	250	45,725556	5,081111
LFLS	Grenoble	397	45,363056	5,332778
LFLV	Vichy	249	46,171783	3,404033
LFLX	Châteauroux/Déols	161	46,860278	1,721111
LFLY	Lyon	201	45,729519	4,938844
LFMD	Cannes	4	43,546389	6,954167
LFMH	St_Etienne	404	45,534050	4,297311
LFMI	Istres	25	43,522394	4,924236
LFMK	Carcassonne	132	43,215817	2,308544
LFML	Marseille	23	43,436667	5,215000
LFMN	Nice	4	43,665278	7,215000
LFMO	Orange	60	44,140089	4,868581
LFMP	Perpignan	44	42,740833	2,869722
LFMT	Montpellier_Méditerranée	5	43,583333	3,961389
LFMU	Beziers	17	43,323428	3,353397
LFMV	Avignon	38	43,906581	4,902028
LFOA	Avord	177	47,056944	2,638889
LFOB	Beauvais	109	49,454444	2,112778
LFOE	Evreux	141	49,028611	1,220000
LFOH	Le_Havre	95	49,533889	0,088056
LFOJ	Orléans	126	47,987778	1,760556
LFOK	Chalons_sur_Marne	179	48,773333	4,206111
LFOU	Rouen	156	49,390833	1,183889
LFOT	Tours	109	47,431944	0,723056
LFPB	Paris	66	48,969444	2,441389
LFPG	Paris	119	49,009722	2,547778

SIMFSO - Uživatelský manuál

LFPN	Toussus-Le-Noble	164	48,749756	2,111178
LFPO	Paris	89	48,723333	2,379444
LFQB	Troyes	118	48,321619	4,016622
LFQI	Cambrai	78	50,219167	3,152222
LFQQ	Lille	48	50,563333	3,086944
LFRB	Brest	99	48,447222	-4,421667
LFRC	Cherbourg	140	49,650833	-1,475278
LFRD	Dinard	67	48,587778	-2,080000
LFRG	Deauville	146	49,363333	0,160000
LFRH	Lorient	52	47,760533	-3,439953
LFRK	Caen	78	49,173281	-0,449875
LFRM	Le_Mans	59	47,948492	0,201647
LFRN	Rennes	38	48,071944	-1,732222
LFRO	Lannion	88	48,754892	-3,474483
LFRQ	Quimper	91	47,975000	-4,167778
LFRS	Nantes	27	47,156944	-1,607778
LFRT	St-Brieuc	138	48,537492	-2,856542
LFRZ	St-Nazaire	4	47,310556	-2,156667
LFSB	Basel/Mulhouse	270	47,590000	7,529167
LFSC	Colmar	211	47,921944	7,399722
LFSD	Dijon-Longvic	221	47,265833	5,095000
LFSF	Metz	192	49,076389	6,133889
LFSI	St-Dizier	140	48,633536	4,908189
LFSO	Nancy	337	48,583186	5,954525
LFSR	Reims-Champagne	96	49,310278	4,050833
LFST	Strasbourg	154	48,543611	7,637222
LFSX	Luxeuil	278	47,787222	6,364999
LFTH	Hyeres	2	43,097344	6,146031
LFTW	Nîmes	94	43,757500	4,416389

Itálie

ICAO	Místo	Nadmořská výška	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka
LIBA	Amendola	56	41,541392	15,718083
LIBC	Crotone	159	38,997225	17,080169
LIBD	Bari	54	41,138856	16,760594
LIBG	Taranto	66	40,517514	17,403212
LIBN	Lecce	48	40,239228	18,133325
LIBP	Pescara	15	42,431656	14,181067
LIBQ	Monte_Scuro	1720	39,333060	16,399720
LIBR	Brindisi	14	40,657633	17,947033
LIBV	Gioia_Del_Colle	362	40,767833	16,933333
LICA	Lamezia_Terme	12	38,905394	16,242269
LICC	Catania	12	37,466781	15,066400
LICD	Lampedusa	21	35,497914	12,618083
LICG	Pantelleria	194	36,816519	11,968864
LICJ	Palermo/Punta_Raisi	20	38,175958	13,091019
LICP	Palermo/Boccadifalco	105	38,110833	13,313333
LICR	Reggio	29	38,071206	15,651556
LICT	Trapani	7	37,911403	12,487961
LICZ	Sigonella	24	37,401664	14,922358
LIEA	Alghero	27	40,632133	8,290772

SIMFSO - Uživatelský manuál

LIED	Decimomannu	30	39,354222	8,972481
LIEE	Cagliari	4	39,251469	9,054283
LIEO	Olbia	11	40,898661	9,517628
LIMC	Milano/Malpensa	234	45,630606	8,728111
LIME	Bergamo	238	45,673889	9,704166
LIMF	Torino/Caselle	301	45,200761	7,649631
LIMG	Albenga	45	44,050608	8,127428
LIMH	Pian_Rosa/Mountain_Top	3488	45,933	7,700
LIMJ	Genova	4	44,413333	8,837500
LIMK	Torino/Bric_Della_Cro	710	45,033	7,733
LIML	Milano/Linate	108	45,445103	9,276739
LIMN	Cameri	179	45,529592	8,669225
LIMP	Parma	49	44,824483	10,296367
LIMS	Piacenza	139	44,913055	9,723333
LIMT	Passo_Della_Cisa	1040	44,433	9,933
LIMU	Capo_Mele	221	43,950	8,167
LIMV	Passo_Dei_Giovi	475	44,633	8,933
LIMY	Monte_Malanotte	1742	44,250	7,800
LIMZ	Cuneo/Levaldigi	386	44,547019	7,623217
LIPA	Aviano	125	46,031889	12,596472
LIPB	Bolzano	240	46,460194	11,326383
LIPC	Cervia	5	44,224175	12,307203
LIPE	Bologna	37	44,535444	11,288667
LIPF	Ferrara	5	44,817	11,617
LIPH	Treviso	18	45,648400	12,194422
LIPI	Rivolto	55	45,978750	13,049331
LIPK	Forli	30	44,194753	12,070094
LIPL	Ghedi	101	45,432167	10,267667
LIPO	Verona	109	45,428889	10,330556
LIPQ	Trieste	11	45,827500	13,472222
LIPR	Rimini	12	44,020292	12,611747
LIPS	Treviso	42	45,684867	12,082881
LIPT	Vicenza	39	45,573411	11,529550
LIPX	Verona	73	45,395706	10,888533
LIPY	Ancona	15	43,616342	13,362319
LIPZ	Venezia	2	45,505278	12,351944
LIQN	Rieti	389	42,433	12,850
LIQO	Mount_Argentario	632	42,383	11,167
LIQW	Sarzana	14	44,083	9,983
LIRA	Roma/Ciampino	130	41,799361	12,594936
LIRE	Pratica_Di_Mare	12	41,654522	12,445183
LIRF	Roma/Fiumicino	5	41,804475	12,250797
LIRG	Guidonia	88	41,990278	12,740833
LIRH	Frosinone	193	41,648	13,295
LIRK	Monte_Terminillo	1875	42,467	12,983
LIRL	Latina	28	41,542436	12,909019
LIRM	Grazzanise	9	41,060833	14,081944
LIRN	Napoli	90	40,886033	14,290781
LIRP	Pisa	2	43,683917	10,392750
LIRQ	Firenze	43	43,809953	11,205100
LIRS	Grosseto	5	42,759747	11,071897
LIRT	Trevico	1093	41,050	15,233
LIRU	Roma/Urbe	17	41,951946	12,498889

SIMFSO - Uživatelský manuál

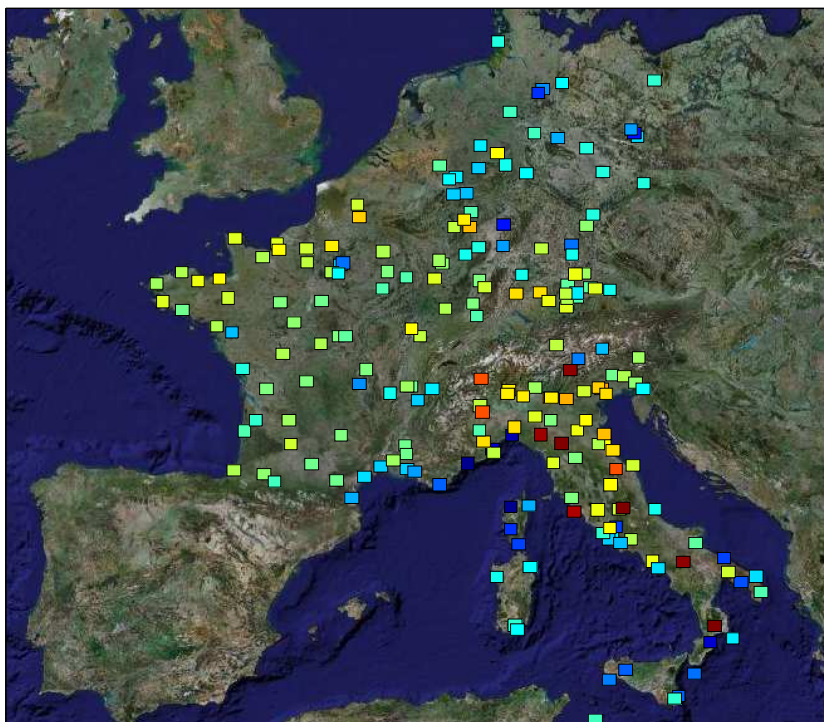
LIRV	Viterbo	302	42,430183	12,064156
LIRZ	Perugia	211	43,095906	12,513222
LIVC	Cimone_Mountain	2173	44,200	10,700
LIVD	Dobbiaco	1226	46,733	12,217
LIVE	Resia Pass	1800	46,833	10,5000
LIVF	Frontone	574	43,517	12,733
LIVM	Point_Marina	6	44,450	12,300
LIVO	Tarvisio	778	46,500	13,583
LIVP	Paganella_Mountain	2129	46,150	11,033
LIVR	Rolle_Pass	2006	46,300	11,783
LIVT	Trieste	20	45,650	13,750

Německo

ICAO	Místo	Nadmořská výška	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka
EDAH	Heringsdorf	28	53,878706	14,152347
EDBM	Magdeburg	82	52,073658	11,626467
EDDB	Berlin/Schönefeld	48	52,380001	13,522500
EDDC	Dresden	230	51,132767	13,767161
EDDF	Frankfurt	111	50,026421	8,543125
EDDG	Münster/Osnabrück	49	52,134642	7,684831
EDDH	Hamburg	16	53,630389	9,988228
EDDI	Berlin	51	52,473025	13,403944
EDDK	Köln-Bonn	92	50,865917	7,142750
EDDL	Düsseldorf	45	51,289453	6,766775
EDDM	München	453	48,353783	11,786086
EDDN	Nürnberg	319	49,498700	11,066897
EDDP	Leipzig	142	51,432447	12,241633
EDDR	Saarbrücken	322	49,214553	7,109508
EDDS	Stuttgart	389	48,689878	9,221964
EDDT	Berlin/Tegel	37	52,559683	13,287717
EDDV	Hannover	56	52,461056	9,685078
EDDW	Bremen	4	53,047500	8,786667
EDFH	Hahn	503	49,948672	7,263892
EDFM	Mannheim	94	49,472706	8,514264
EDHI	Hamburg	7	53,535886	9,837025
EDHL	Lübeck	16	53,805367	10,719222
EDLN	Mönchengladbach	38	51,230356	6,504494
EDLP	Paderborn/Lippstadt	213	51,614089	8,616317
EDLV	Niederrhein	32	51,602414	6,142172
EDLW	Dortmund	130	51,518314	7,612242
EDMA	Augsburg	462	48,425158	10,931764
EDMO	Oberpfaffenhofen	593	48,081364	11,283067
EDNY	Mühlendorf	404	48,279444	12,500833
EDQD	Bayreuth	488	49,984428	11,638569
EDQM	Hof-Plauen	597	50,288836	11,854919
EDTL	Lahr	156	48,369250	7,827722
EDVE	Braunschweig	90	52,319167	10,556111
EDVK	Kassel	277	51,408394	9,377631
EDXW	Westerland	16	54,913250	8,340472
ETAD	Binsfeld	365	49,972667	6,692500
ETAR	Ramstein	237	49,436911	7,600283

SIMFSO - Uživatelský manuál

ETGZ	Messtetten	920	48,183	9,000
ETHA	Altenstadt	739	47,835500	10,871167
ETHL	Laupheim	538	48,220117	9,910200
ETHM	Mendig	182	50,365983	7,315333
ETHN	Niederstetten	468	49,391883	9,958183
ETHR	Roth	386	49,217500	11,100167
ETNN	Nörvenich	118	50,831217	6,658117
ETSA	Landsberg_am_Lech	623	48,070533	10,906017
ETSB	Büchel	478	50,173850	7,063367
ETSE	Erding	462	48,322383	11,948717
ETSF	Fürstenfeldbruck	519	48,205667	11,267000
ETSI	Ingolstadt	366	48,715667	11,534000
ETSL	Lechfeld	555	48,185433	10,861133
ETSM	Memmingen	634	47,983	10,233
ETSN	Neuburg	381	48,711000	11,211500
ETUO	Gütersloh	72	51,922833	8,306333



Pokrytí území Evropy