

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

MĚŘENÍ MECHANICKÉ STABILITY BUDOV A STOŽÁRŮ  
VYUŽÍVANÝCH PRO FSO SPOJE

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

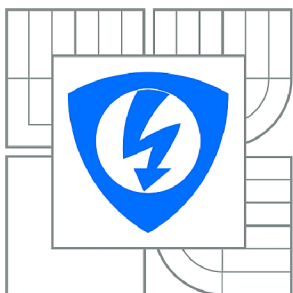
Bc. PAVEL KOČVARA

BRNO 2015



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

## **MĚŘENÍ MECHANICKÉ STABILITY BUDOV A STOŽÁRŮ VYUŽÍVANÝCH PRO FSO SPOJE**

MEASUREMENT OF THE MECHANICAL STABILITY OF BUILDINGS AND CONSOLES USED  
FOR THE FSO LINKS

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. PAVEL KOČVARA**

**VEDOUcí PRÁCE**

SUPERVISOR

**prof. Ing. OTAKAR WILFERT, CSc.**

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
**Elektronika a sdělovací technika**

**Student:** Bc. Pavel Kočvara

**ID:** 22371

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2014/2015

## NÁZEV TÉMATU:

**Měření mechanické stability budov a stožárů využívaných pro FSO spoje**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte základní vlastnosti a parametry Gaussových svazků. Seznamte se s jevem difrakce Gaussova svazku na výstupní apertuře laserového vysílače. Ukažte metodu určení polohy osy svazku v dané rovině kolmé k ose svazku a zvažte příčiny odklonu osy svazku od její ideální polohy v reálném prostředí.

V experimentální části své práce navrhnete měřicí řetězec pro určení optické intenzity na ose svazku v rovině přijímače FSO spoje. Zvažte teplotní vliv Slunce a silový vliv větru na polohovou nestabilitu budov a stožárů využívaných pro umístění hlavic FSO spojů. Navrhnete metodu měření odklonů optické osy svazku od její ideální polohy a stanovte vliv této skutečnosti na fluktuaci přijímaného optického výkonu.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] BOUCHET, O. et al. Free-Space Optics. Propagation and Communication. London: ISTE, 2006. ISBN 10: 1-905209-02-9.

[2] SALEH, B. E. A. Fundamentals of Photonics. New York: Wiley, 1991. ISBN 0-471-83965-5.

**Termín zadání:** 9.2.2015

**Termín odevzdání:** 21.5.2015

**Vedoucí práce:** prof. Ing. Otakar Wilfert, CSc.

**Konzultanti diplomové práce:**

**doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá stanovením metody měření odklonu osy optického svazku od její ideální polohy, který je zapříčiněn silovým působením silného větru ovlivňujícím polohovou stabilitu budovy nebo podpěrné konstrukce (stožáru) využívané pro umístění hlavic FSO spojů. Seznamuje čtenáře s ostatními příčinami odklonu osy svazku v reálném prostředí, s metodami určení polohy osy svazku v rovině kolmé k ose svazku a se základními vlastnostmi a parametry Gaussových svazků, včetně jevu difrakce na výstupní apertuře laserového vysílače.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

optické bezdrátové spoje, Gaussův svazek, difrakce, odklon svazku

## **ABSTRACT**

The Master's thesis deals with the determination of measurement method of deflection the axis of the optical beam from its ideal position, which is caused by action of force of strong winds affecting the positional stability of the building or supporting structure (tower) used for placement of FSO links'heads. The thesis informs the readers about the other causes of deflection of beam axis in a real environment, about methods of determining the position of the beam axis in the plane perpendicular to the beam axis and the basic properties and parameters of the Gauss beams, including the phenomenon of diffraction on the output aperture of the laser transmitter.

## **KEYWORDS**

Free-Space Optics, the Gauss beam, diffraction, deflection of the beam

PAVEL KOČVARA, Bc. *Měření mechanické stability budov a stožárů využívaných pro FSO spoje*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2015. 63 s. Vedoucí práce byl prof. Ing. Otakar Wilfert , CSc.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Měření mechanické stability budov a stožárů využívaných pro FSO spoje“ jsem 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 diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno ..... 14. 5. 2015 .....



.....  
(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu prof. Ing. Otakaru Wilfertovi, CSc. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno ..... 14. 5. 2015 .....

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Kocian', written over a dotted line.

(podpis autora)

# OBSAH

<b>Úvod</b>	<b>10</b>
<b>1 Vlnová optika</b>	<b>11</b>
1.1 Rovinná vlna . . . . .	12
1.2 Sférická vlna . . . . .	13
1.3 Paraboloidní vlna . . . . .	13
<b>2 Gaussův svazek</b>	<b>15</b>
2.1 Komplexní amplituda . . . . .	15
2.2 Vlastnosti Gaussova svazku . . . . .	17
2.2.1 Optická intenzita záření . . . . .	17
2.2.2 Optický výkon svazku . . . . .	18
2.2.3 Pološířka svazku . . . . .	19
2.2.4 Divergence svazku . . . . .	19
2.2.5 Ohnisková hloubka . . . . .	19
2.2.6 Fáze . . . . .	20
2.2.7 Vlnoplochy . . . . .	20
<b>3 Difrakce</b>	<b>22</b>
3.1 Fraunhoferova difrakce . . . . .	23
3.2 Fresnelova difrakce . . . . .	24
3.3 Difrakce na čočce . . . . .	25
<b>4 Příčiny odklonu osy svazku od její ideální polohy</b>	<b>26</b>
4.1 Vliv atmosféry na spolehlivost FSO spojů . . . . .	26
4.2 Vliv vibrací a pohyb budov na spolehlivost FSO spojů . . . . .	27
4.2.1 Nestabilita budov a stožárů vlivem silného větru . . . . .	28
4.2.2 Nestabilita budov a stožárů teplotním vlivem Slunce . . . . .	29
<b>5 Metody určení polohy osy svazku</b>	<b>30</b>
5.1 Metoda posuvné hrany . . . . .	30
5.2 Metoda posuvné štěrby . . . . .	31
5.3 Metoda s využitím polohově citlivého detektoru PSD . . . . .	32
<b>6 Experimentální metody měření odklonu budovy vlivem větru</b>	<b>33</b>
6.1 Měření pomocí zeměměřičské totální stanice . . . . .	33
6.2 Měření pomocí laserového zaměřovače a přijímače s PSD detektorem	36
6.2.1 Zdroj optického svazku (vysílač) . . . . .	36

6.2.2	Přijímač s PSD detektorem . . . . .	38
6.2.3	Realizace experimentálního měření odklonu budovy . . . . .	40
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>51</b>
	<b>Literatura</b>	<b>52</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>54</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>57</b>
<b>A</b>	<b>Tabulky naměřených hodnot</b>	<b>58</b>



# SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Spektrum elektromagnetického záření (převzato z [7]). . . . .	11
1.2	Rovinná vlna (převzato z [2]). . . . .	12
1.3	Sférická vlna (převzato z [2]). . . . .	13
1.4	Sférická, paraboloidní a rovinná vlna (převzato z [2]). . . . .	14
2.1	Základní charakteristiky a parametry kruhově symetrického Gaussova svazku ( $I$ -optická intenzita s maximální hodnotou $I_0$ na ose svazku)(převzato z [3]). . . . .	16
2.2	Závislost intenzity Gaussova svazku na radiální vzdálenosti $\rho$ . . . . .	17
2.3	Závislost intenzity Gaussova svazku na vzdálenosti $z$ . . . . .	18
2.4	Závislost pološířky svazku $W(z)$ na vzdálenosti $z$ (převzato z [2]). . . . .	19
2.5	Ohnisková hloubka Gaussova svazku (převzato z [2]). . . . .	20
2.6	Fázové zpoždění $\zeta(z)$ podél osy Gaussova svazku vztažené k rovinné vlně (převzato z [2]). . . . .	20
3.1	Transformace komplexní amplitudy $U(x, y)$ po průchodu aperturou s propustností $p(x, y)$ na komplexní amplitudu $f(x, y)$ , která ve vzdálenosti $d$ od apertury přechází na komplexní amplitudu $g(x, y)$ s difrakčním obrazcem o intenzitě $I(x, y) =  g(x, y) ^2$ (převzato z [2]). . . . .	22
3.2	Fraunhoferova difrakce kruhové apertury (převzato z [8]). . . . .	23
3.3	Přechod Fresnelovy difrakce na Fraunhoferovu difrakci, s kruhovou aperturou o průměru $D = 2a$ (převzato z [2]). . . . .	24
3.4	Difrakční obrazec v ohniskové rovině čočky, s kruhovou aperturou o průměru $D$ a jeho rozložení intenzity (převzato z [2]). . . . .	25
4.1	Rozptyl svazku vlivem mlhy (převzato z [1]). . . . .	26
4.2	Odklon svazku vlivem deště (převzato z [1]). . . . .	27
4.3	Odklon svazku vlivem kombinace mlhy a deště (převzato z [1]). . . . .	27
4.4	Ohyb konstrukce při silovém působení (převzato z [15]). . . . .	28
5.1	Posuvná hrana v rovině kolmé na osu svazku. . . . .	30
5.2	Posuvná štěrbina v rovině kolmé na osu svazku. . . . .	31
5.3	Polohově citlivé detektory PSD. . . . .	32
6.1	Robotizovaná totální stanice TOPCON QS3A a odrazný hranol (převzato z [13]). . . . .	33
6.2	Schéma měření odklonu budovy pomocí totální stanice. . . . .	34
6.3	Detail optického svazku dopadajícího na průčelí budovy v odklonu. . . . .	34
6.4	Zabezpečení přístroje před silným větrem umístěním v rohu zástavby (vlevo) a krytem (vpravo). . . . .	35
6.5	Struktura měřícího pracoviště. . . . .	36
6.6	Laserový taktický zaměřovač (vlevo) a laserové ukazovátko (vpravo). . . . .	37

6.7	Hvězdářský teleskop Celestron PowerSeeker 40TTAZ s připevněným laserovým zaměřovačem a pomocným laserovým ukazovátkem. . . . .	37
6.8	Obvod přijímače (převzato z [14]). . . . .	38
6.9	Obvodové schéma fotodetekce v přijímači (převzato z [14]). . . . .	38
6.10	Stopa optického svazku na aktivní ploše fotodetektoru. . . . .	39
6.11	Závislost polohy osy optického svazku na výstupním napětí přijímače. . . . .	39
6.12	Situace měřícího stanoviště s rozmístěním měřících zařízení. . . . .	40
6.13	Soustava přijímače - schéma uspořádání Fresnelovy čočky a PSD detektoru. . . . .	41
6.14	Realizace soustavy přijímače s Fresnelovou čočkou a PSD detektorem. . . . .	41
6.15	Umístění soustavy přijímače na střeše měřené budovy. . . . .	42
6.16	Digitální multimetr RC EM6000. . . . .	42
6.17	Anemometr WindSonic (převzato z [16]). . . . .	43
6.18	Struktura měřícího pracoviště. . . . .	44
6.19	Přepočet odklonu v rovině fotodetektoru na skutečný odklon pomocí podobnosti trojúhelníků. . . . .	44
6.20	Graf průběhu odklonu budovy a rychlosti větru ve směru západ-východ. . . . .	45
6.21	Histogram rychlosti větru po dobu měření. . . . .	46
6.22	Histogram odklonu budovy po dobu měření. . . . .	46
6.23	Graf změřené závislosti odklonu budovy na rychlosti větru ve směru západ-východ. . . . .	47
6.24	Mapa větrných oblastí na území ČR (převzato z [15]). . . . .	48
6.25	Graf celkové závislosti odklonu budovy na rychlosti větru. . . . .	50
A.1	Tabulka naměřených hodnot - část 1. . . . .	58
A.2	Tabulka naměřených hodnot - část 2. . . . .	59
A.3	Tabulka naměřených hodnot - část 3. . . . .	60
A.4	Tabulka naměřených hodnot - část 4. . . . .	61
A.5	Tabulka naměřených hodnot - část 5. . . . .	62
A.6	Tabulka naměřených hodnot - část 6. . . . .	63

# ÚVOD

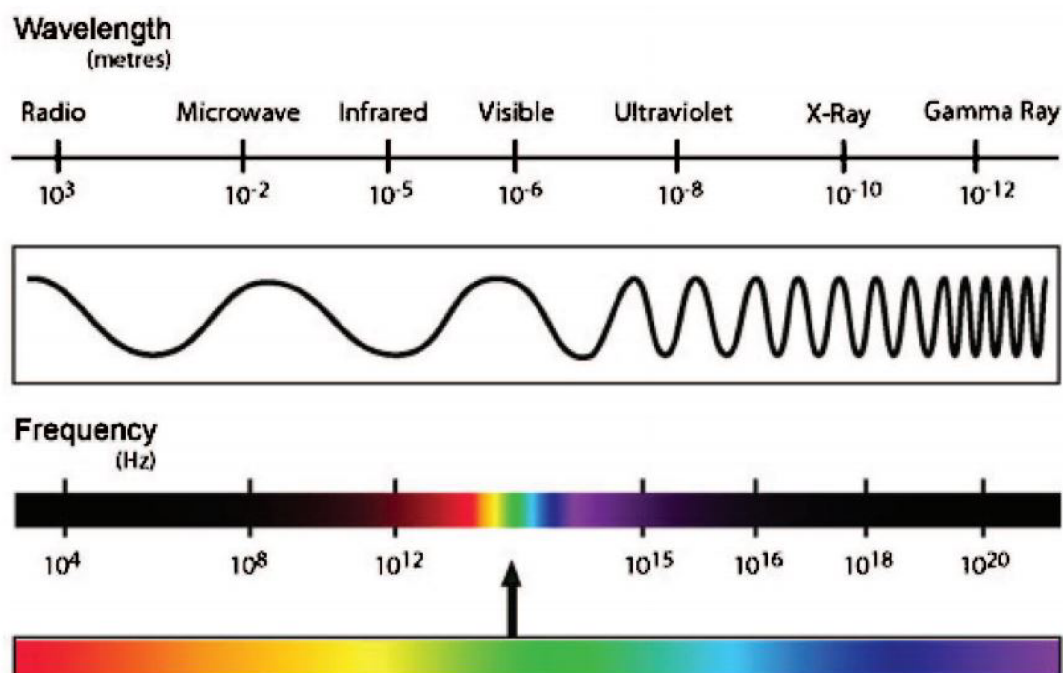
Tato práce se věnuje oblasti FSO spojů (Free Space Optical Links – bezdrátové optické spoje) s ohledem na jejich kvalitu, zejména z pohledu mechanické stability budov a stožárů, na kterých jsou jednotky FSO spojů umístěny.

FSO spoje se v poslední době velmi rychle rozvíjejí a jsou čím dál častěji používány k přenosu dat. Tyto spoje pracují na stejném principu jako optická vlákna, avšak jako přenosové médium slouží volná atmosféra. Výhodou těchto spojů je vysoká přenosová rychlost a prostorová selektivita, transparentnost pro přenos dat různých specifikací, bezpečnost, snadná a relativně levná instalace oproti kabelovým spojům, využití nelicencovaného pásma a vzdálenost, na kterou lze komunikovat. Nevýhodou FSO spojů je závislost spolehlivosti na počasí, především na husté mlze a síle větru, jež ovlivňuje kvalitu přenosu FSO spojem.

Cílem této práce je navrhnout metodu měření odklonů optické osy svazku, které jsou způsobeny silovým působením větru opírajícího se do budovy či podpěrné konstrukce (stožáru), a stanovit jeho vliv na polohovou nestabilitu budov a stožárů využívaných pro umístění hlavic FSO spojů.

# 1 VLNOVÁ OPTIKA

Optické záření se šíří ve formě vln elektromagnetického záření, jehož spektrální rozsah záření začíná v ultrafialové oblasti s vlnovou délkou od 10 nm do 390 nm, pokračuje přes viditelnou oblast, kde se vlnová délka pohybuje v rozmezí od 390 nm do 760 nm, až po infračervenou oblast s rozmezím vlnových délek od 760 nm do 0,3 mm (obr. 1.1) [2]. Pro optické bezdrátové spoje se nejčastěji využívá infračerveného záření.



Obr. 1.1: Spektrum elektromagnetického záření (převzato z [7]).

Ve volném prostoru se světelné vlny šíří rychlostí  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s. Matematicky je vlna popsána reálnou funkcí polohy  $\vec{r} = (x, y, z)$  a času  $t$ , označovanou  $u = (\vec{r}, t)$  a známou jakou vlnová rovnice [2]

$$\nabla^2 u - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0, \quad (1.1)$$

kde  $\nabla^2$  je Laplaceův operátor.

Pro monochromatickou vlnu se zavádí reálná vlnová funkce s časovou harmonickou závislostí [2]

$$u(\vec{r}, t) = a(\vec{r}) \cos(2\pi\nu t + \varphi(\vec{r})), \quad (1.2)$$

kde  $a(\vec{r})$  je amplituda,  $\varphi(\vec{r})$  je fáze a  $\nu$  je frekvence.

Pro úplný popis vlny se vlnová funkce vyjadřuje v komplexním tvaru

$$U(\vec{r}, t) = a(\vec{r}) \exp(j\varphi(\vec{r})) \exp(j2\pi\nu t). \quad (1.3)$$

Část rovnice (1.3)  $a(\vec{r}) \exp(j\varphi(\vec{r}))$  se nazývá komplexní amplituda  $U(\vec{r})$ . Dosažení rovnice (1.3) do rovnice (1.2) vede k diferenciální rovnici komplexní amplitudy, známé jako Helmholtzova rovnice [2]

$$\nabla^2 U + k^2 U = 0, \quad (1.4)$$

kde  $k$  je vlnové číslo:

$$k = \frac{2\pi\nu}{c} = \frac{\omega}{c}, \quad (1.5)$$

kde  $\omega$  je úhlový kmitočet.

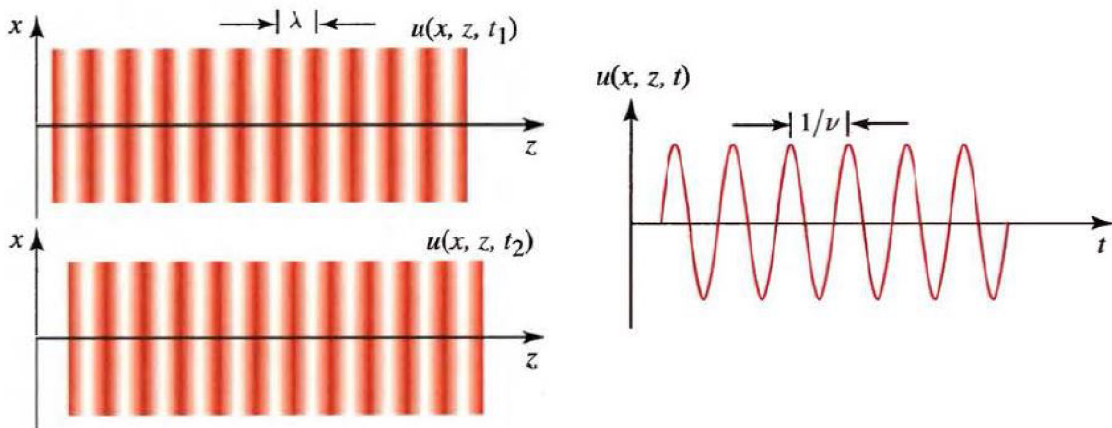
Rovnice (1.4) v různých řešeních tvoří základ vlnové optiky.

## 1.1 Rovinná vlna

Rovinná vlna má komplexní amplitudu ve tvaru

$$U(\vec{r}, t) = A \exp(j\vec{k}\vec{r}), \quad (1.6)$$

kde  $A$  je komplexní obálka a vektor  $\vec{k} = (k_x, k_y, k_z)$  je nazýván vlnovým vektorem. Pro splnění Helmholtzovy rovnice musí být velikost vlnového vektoru rovna vlnovému číslu  $k$  [2]. Rovinná vlna se šíří jedním směrem, a proto lze vektor šíření  $\vec{r}$  nahradit souřadnicí  $z$  (obr. 1.2).



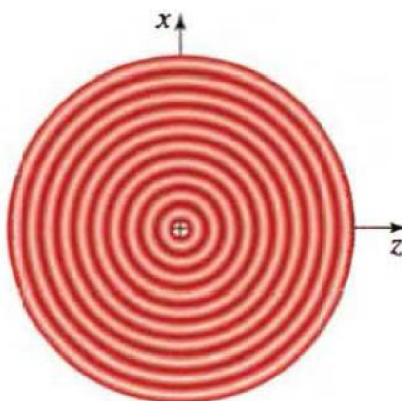
Obr. 1.2: Rovinná vlna (převzato z [2]).

## 1.2 Sférická vlna

Dalším řešením Helmholtzovy rovnice je sférická vlna (obr. 1.3)

$$U(\vec{r}) = \frac{A_0}{r} \exp(-jkr), \quad (1.7)$$

kde  $r$  je vzdálenost od počátku šíření a  $A_0$  je konstanta.



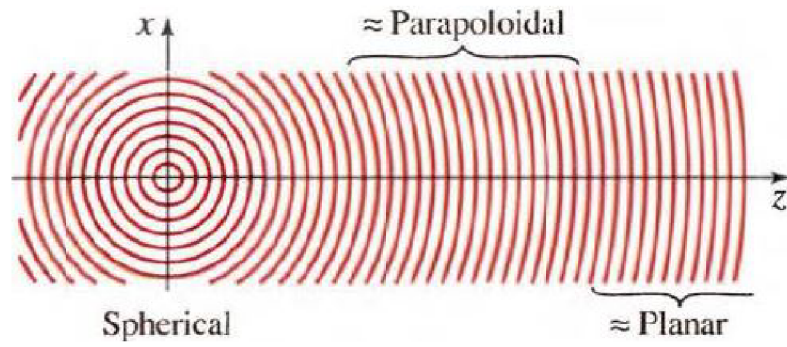
Obr. 1.3: Sférická vlna (převzato z [2]).

Pokud je vzdálenost v souřadnici  $z$  mnohem větší než vzdálenosti v souřadnicích  $x, y$ , lze ze sférické vlny odvodit paraboloidní vlnu.

## 1.3 Paraboloidní vlna

Rovnici pro paraboloidní vlnu je možné získat pozorováním sférické vlny v bodech  $\vec{r} = (x, y, z)$ , které jsou dostatečně blízko k ose  $z$ , ale zároveň vzdálené od počátku šíření, tedy  $\sqrt{x^2 + y^2} \ll z$ . Použitím rozvoje Taylerovou řadou získáme  $r = z + (x^2 + y^2)/2z$  a  $r \approx z$  v amplitudě. Dosazením do rovnice (1.7) dostáváme výsledek známý jako Fresnelova aproximace sférické vlny

$$U(\vec{r}) \approx \frac{A_0}{z} \exp(-jkz) \exp\left[-jk \frac{x^2 + y^2}{2z}\right]. \quad (1.8)$$



Obr. 1.4: Sférická, paraboloidní a rovinná vlna (převzato z [2]).

Vlny, jejichž normály vlnoploch svírají s osou směru šíření relativně malý úhel, se nazývají paraxiální vlny.

## 2 GAUSSŮV SVAZEK

### 2.1 Komplexní amplituda

Paraxiální vlnou může být rovinná vlna  $e^{-jkz}$ , kde  $k = 2\pi/\lambda$  je vlnové číslo a  $\lambda$  vlnová délka. Tato vlna je modulovaná komplexní obálkou  $A(\vec{r})$ , která je pomalu se měnící funkcí polohy. Komplexní obálka je pak popsána vztahem [2]

$$U(\vec{r}) = A(\vec{r})e^{-jkz}. \quad (2.1)$$

Při změně polohy optické osy o  $\lambda$  zůstává obálka přibližně konstantní. Jedná se tedy o lokálně rovinnou vlnu, jejíž normály k vlnoploše tvoří paraxiální paprsky. Aby komplexní amplituda splnila Helmholtzovu rovnici  $\nabla^2 U + k^2 U = 0$ , musí být komplexní obálka  $A(\vec{r})$  řešením paraxiální Helmholtzovy rovnice. Jestliže se komplexní obálka bude měnit pomalu se změnou  $z$ , bude změna  $\Delta A$  v rozmezí  $\Delta z = \lambda$  mnohem menší, než samotné  $A$ . Pak lze Helmholtzovu rovnici přepsat do tvaru

$$\nabla_T^2 A - j2k \frac{\partial A}{\partial z} = 0, \quad (2.2)$$

kde  $\nabla_T^2 = \partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2$  je příčná část Laplaceova operátoru [2]. Jedním z řešení paraxiální Helmholtzovy rovnice je paraboloidní vlna, pro kterou platí

$$A(\vec{r}) = \frac{A_1}{z} \exp\left(-jk \frac{\rho^2}{2z}\right), \quad \rho^2 = x^2 + y^2, \quad (2.3)$$

kde  $A_1$  je konstanta. Pokud je  $x$  a  $y$  mnohem menší než  $z$ , je paraboloidní vlna paraxiální aproximací sférické vlny  $U(\vec{r}) = (A_1/r) \exp(-jkr)$  [2].

Dalším řešením paraxiální Helmholtzovy rovnice je Gaussův vlnový svazek, který se získá jednoduchou úpravou paraboloidní vlny. Záměnou  $q(z)$  za  $z - \xi$ , kde  $\xi$  je konstanta, dochází k posunutí obálky o hodnotu  $\xi$

$$A(\vec{r}) = \frac{A_1}{q(z)} \exp\left(-jk \frac{\rho^2}{2q(z)}\right), \quad q(z) = z - \xi. \quad (2.4)$$

Takto upravená paraboloidní vlna má střed v bodě  $z = \xi$  místo  $z = 0$ . Rovnice (2.4) je řešením rovnice (2.2) i v případě, kdy  $\xi$  je komplexní, ale řešení nabývá zcela jiných vlastností. Když  $\xi$  je ryze imaginární, platí  $\xi = -jz_0$ , kde  $z_0$  je reálné. Pro komplexní obálku Gaussova svazku pak platí

$$A(\vec{r}) = \frac{A_1}{q(z)} \exp\left(-jk \frac{\rho^2}{2q(z)}\right), \quad q(z) = z + jz_0, \quad (2.5)$$

kde  $z_0$  je tzv. Rayleighova vzdálenost [2].



Pro oddělení amplitudy od fáze této komplexní obálky se komplexní funkce  $1/q(z) = 1/(z + jz_0)$  rozdělí na reálnou a imaginární část se zavedením nových reálných funkcí  $R(z)$  a  $W(z)$

$$\frac{1}{q(z)} = \frac{1}{R(z)} - j \frac{\lambda}{\pi W^2(z)}, \quad (2.6)$$

kde  $W(z)$  je pološířka svazku a  $R(z)$  poloměr křivosti vlnoplochy [2].

Dosazením (2.2) do rovnice (2.5) za použití (2.1) dostáváme vztah pro komplexní amplitudu  $U(\vec{r})$  Gaussova svazku

$$U(\vec{r}) = A_0 \frac{W_0}{W(z)} \exp \left[ -\frac{\rho^2}{W^2(z)} \right] \exp \left[ -jkz - jk \frac{\rho^2}{2R(z)} + j\zeta(z) \right]. \quad (2.7)$$

Pro usnadnění byla zavedena nová konstanta  $A_0 = A_1/jz_0$  [2].

Parametry Gaussova svazku [2]:

- pološířka svazku:

$$W(z) = W_0 \sqrt{1 + \left( \frac{z}{z_0} \right)^2}, \quad (2.8)$$

- poloměr křivosti vlnoplochy:

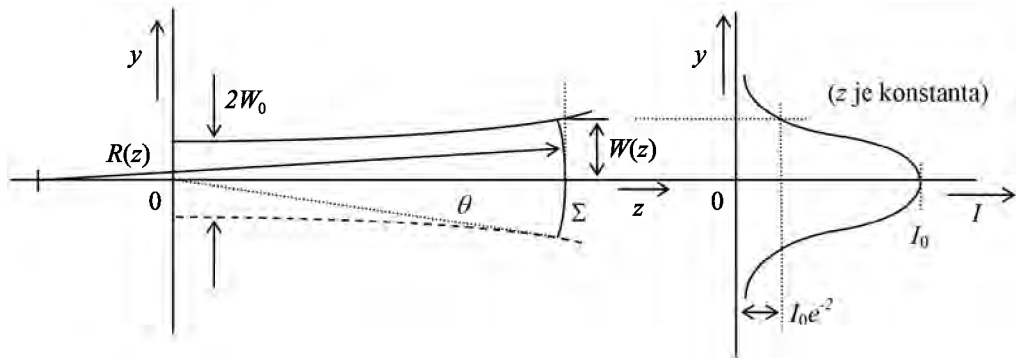
$$R(z) = z \left[ 1 + \left( \frac{z_0}{z} \right)^2 \right], \quad (2.9)$$

- fázové posunutí:

$$\zeta(z) = \tan^{-1} \frac{z}{z_0}, \quad (2.10)$$

- středová pološířka:

$$W_0 = \sqrt{\frac{\lambda z_0}{\pi}}. \quad (2.11)$$



Obr. 2.1: Základní charakteristiky a parametry kruhově symetrického Gaussova svazku ( $I$ -optická intenzita s maximální hodnotou  $I_0$  na ose svazku)(převzato z [3]).

## 2.2 Vlastnosti Gaussova svazku

Gaussův svazek popisují následujícími parametry:

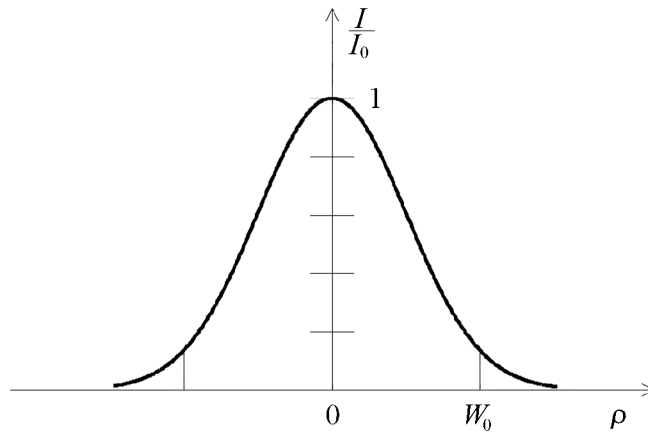
- optická intenzita záření;
- optický výkon svazku;
- pološířka svazku;
- divergence svazku;
- ohnisková hloubka;
- fáze;
- vlnoplochy.

### 2.2.1 Optická intenzita záření

Optická intenzita záření  $I(\vec{r}) = |U(\vec{r})|^2$  je funkcí axiální vzdálenosti  $z$  a radiální vzdálenosti  $\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$ , respektive

$$I(\rho, z) = I_0 \left[ \frac{W_0}{W(z)} \right]^2 \exp \left[ -\frac{2\rho^2}{W^2(z)} \right], \quad (2.12)$$

kde  $I_0 = |A_0|^2$  a  $W_0 = W(0)$  [2]. V každé hodnotě  $z$  je optická intenzita Gaussovou funkcí radiální vzdálenosti  $\rho$ . Největší hodnoty nabývá Gaussova funkce pro  $\rho = 0$  a klesá s rostoucí radiální vzdáleností  $\rho$ , jak je zobrazeno na obr. 2.2. Pološířka svazku  $W(z)$  roste s axiální vzdáleností  $z$  a je dána radiální vzdáleností  $\rho$ , při které má optická intenzita hodnotu  $I_0 \cdot e^{-2}$ .

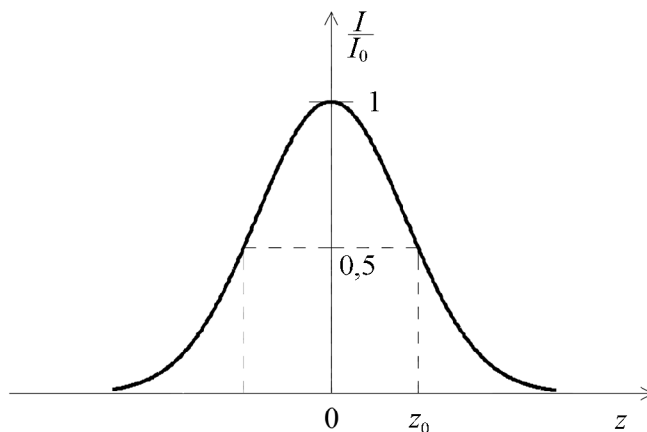


Obr. 2.2: Závislost intenzity Gaussova svazku na radiální vzdálenosti  $\rho$ .

Na ose svazku ( $\rho = 0$ ) pak pro optickou intenzitu platí

$$I(0, z) = I_0 \left[ \frac{W_0}{W(z)} \right]^2 = \frac{I_0}{1 + (z/z_0)^2}. \quad (2.13)$$

Intenzita má maximální hodnotu  $I_0$  pro  $z = 0$  a spojitě klesá s rostoucím  $z$ . Jestliže je hodnota  $z = \pm z_0$ , dosahuje intenzita poloviny maximální hodnoty  $I_0$  (obr. 2.3). Ve středu svazku (v Rayleighově vzdálenosti), kde  $z = 0$  a  $\rho = 0$ , je intenzita největší:  $I(0, 0) = I_0$ .



Obr. 2.3: Závislost intenzity Gaussova svazku na vzdálenosti  $z$ .

### 2.2.2 Optický výkon svazku

Celkový optický výkon  $P$  přenášený svazkem je dán integrálem součinu optické intenzity záření a plochy příčného průřezu svazku [2]

$$P = \int_0^{\infty} I(r, z) 2\pi r dr. \quad (2.14)$$

Řešením této rovnice dostáváme výkon nezávislý na axiální vzdálenosti  $z$

$$P = \frac{1}{2} I_0 (\pi W_0^2). \quad (2.15)$$

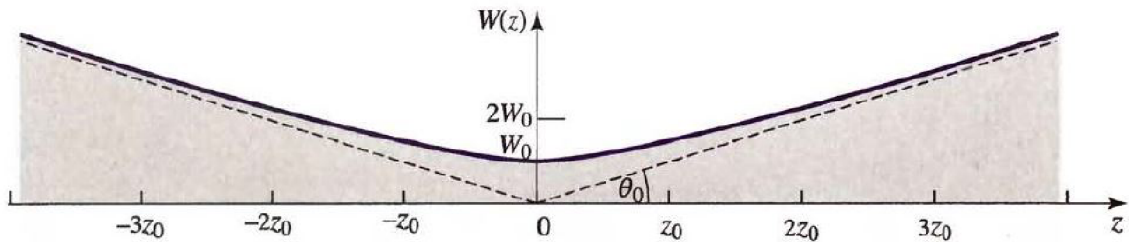
Z rovnice (2.15) vyplývá, že výkon svazku je roven polovině součinu maximální intenzity s kruhovou plochou o poloměru, který se rovná středovému poloměru optického svazku. Intenzita svazku pak může být vyjádřena ve tvaru

$$I(\rho, z) = \frac{2P}{\pi W^2(z)} \exp \left[ -\frac{2\rho^2}{W^2(z)} \right]. \quad (2.16)$$

Výkon obsažený uvnitř kruhové plochy o poloměru  $\rho = W(z)$  je tedy přibližně 86% z celkového výkonu svazku. Přibližně 99% výkonu obsahuje kruhová plocha o poloměru  $1,5W(z)$ .

### 2.2.3 Pološířka svazku

V příčném průřezu svazku dosahuje optická intenzita svého maxima na ose  $z$  a klesá s rostoucí radiální vzdáleností, přičemž ve vzdálenosti  $\rho = W(z)$  klesne na hodnotu  $1/e \approx 0,135$  největší hodnoty. Jelikož je oblastí  $W(z)$  přenášeno 86% celkového výkonu, označujeme  $W(z)$  jako pološířku svazku. Závislost pološířky (poloměru) svazku  $W(z)$  na vzdálenosti  $z$  vyjadřuje rovnice (2.8). V místě, kde  $z = 0$ , nabývá  $W(z)$  minimální hodnoty  $W_0$ . Toto místo maximálního zúžení svazku se nazývá pas svazku nebo „krček“ svazku (obr. 2.4).



Obr. 2.4: Závislost pološířky svazku  $W(z)$  na vzdálenosti  $z$  (převzato z [2]).

### 2.2.4 Divergence svazku

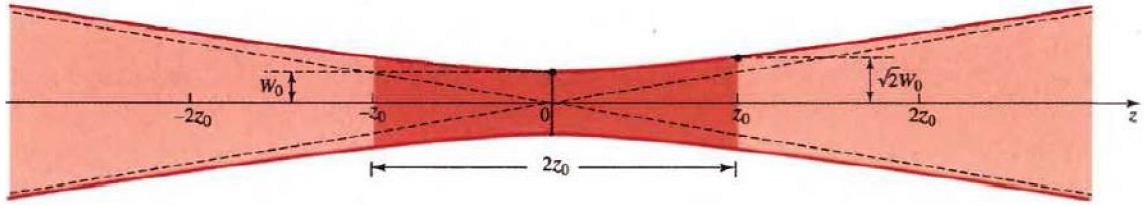
Pro velké vzdálenosti  $z \gg z_0$  poloměr svazku roste téměř lineárně s rostoucím  $z$  a svazek tvoří kužel s vrcholovým úhlem  $2\theta_0$ . Divergence svazku je dána polovinou vrcholového úhlu (obr. 2.8), tedy

$$\theta_0 = \frac{W_0}{z_0} = \frac{\lambda}{\pi W_0}. \quad (2.17)$$

Divergence svazku je přímo úměrná vlnové délce  $\lambda$  a nepřímo úměrná poloměru svazku  $W_0$ .

### 2.2.5 Ohnisková hloubka

Svazek má své nejužší místo v hodnotě  $z = 0$ , ve kterém má i nejlepší ohnisko. Od ohniska svazek postupně narůstá na obě strany. Vzdálenost, ve které poloměr svazku dosáhne hodnoty  $\sqrt{2}W_0$ , je nazývána jako ohnisková hloubka nebo konfokální parametr (obr. 2.5) [2].



Obr. 2.5: Ohnisková hloubka Gaussova svazku (převzato z [2]).

## 2.2.6 Fáze

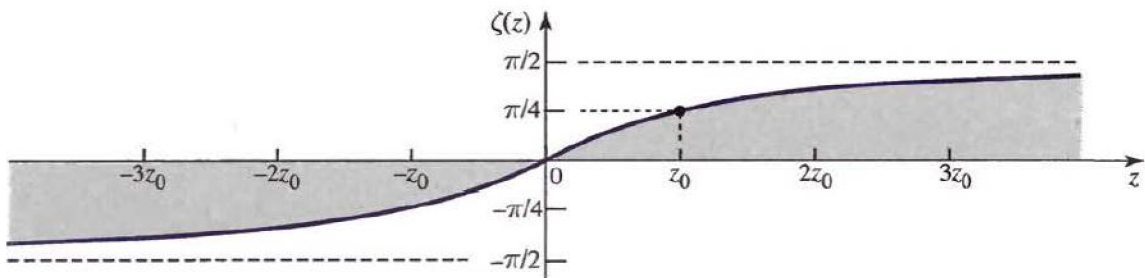
Fáze Gaussova svazku je dána vztahem [2]

$$\varphi(\rho, z) = kz - \zeta(z) + \frac{k\rho^2}{2R(z)}. \quad (2.18)$$

Na ose svazku ( $\rho = 0$ ) má fáze dva členy:

$$\varphi(\rho, z) = kz - \zeta(z). \quad (2.19)$$

První člen  $kz$  představuje fázi rovinné vlny, druhým členem  $\zeta(z)$  je fázové zpoždění, které se mění v rozsahu od  $-\pi/2$  do  $\pi/2$ . Celkové zpoždění podél osy svazku je pak  $\pi$  [2].



Obr. 2.6: Fázové zpoždění  $\zeta(z)$  podél osy Gaussova svazku vztahené k rovinné vlně (převzato z [2]).

## 2.2.7 Vlnoplochy

Zakřivení vlnoplochy je způsobeno posledním členem ve vztahu (2.18), který reprezentuje odchylku fáze bodů mimo osu vlnoplochy od fáze rovinné vlny tečné k této vlnoploše v ose svazku.

Plochy konstantní fáze jsou dány vztahem

$$k \left( z + \frac{k\rho^2}{2R(z)} \right) - \zeta(z) - 2\pi q(z), \quad q(z) = z + jz_0. \quad (2.20)$$

$\zeta(z)$  a  $R(z)$  se mění relativně pomalu, proto je lze považovat za přibližně konstantní na každé vlnoploše. Pak můžeme psát

$$z + \frac{k\rho^2}{2R(z)} = \lambda q(z) + \frac{\lambda\zeta(z)}{2\pi}. \quad (2.21)$$

Rovnice (2.21) je rovnicí plochy paraboloidu o poloměru zakřivení  $R = R(z)$  [2].

### 3 DIFRAKCE

Optická difrakce je jev, při kterém dochází k odklonu přímočarého šíření optických vln jinak než odrazem či lomem [4].

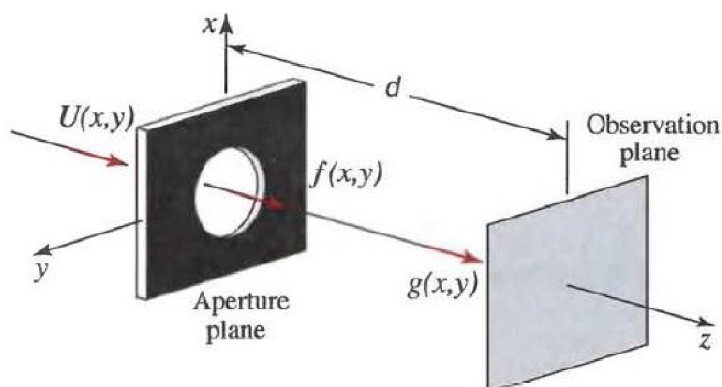
Prochází-li optické záření aperturou o velikosti srovnatelné s jeho vlnovou délkou, může nastat difrakce neboli ohyb světla. Světlo se po dopadu na okraji apertury šíří za překážkou také do prostoru, kam by přímočaré šíření nemělo proniknout. V některých případech lze na stínítku pozorovat difrakční jevy projevující se střídáním minima a maxima intenzity záření.

Jestliže  $U(x, y)$  a  $f(x, y)$  jsou komplexní amplitudy před a za aperturou s propustností  $p(x, y)$  (obr. 3.1), platí pro ně vztah [2]

$$f(x, y) = U(x, y)p(x, y), \quad (3.1)$$

kde

$$p(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{uvnitř apertury} \\ 0, & \text{vně apertury.} \end{cases}$$



Obr. 3.1: Transformace komplexní amplitudy  $U(x, y)$  po průchodu aperturou s propustností  $p(x, y)$  na komplexní amplitudu  $f(x, y)$ , která ve vzdálenosti  $d$  od apertury přechází na komplexní amplitudu  $g(x, y)$  s difrakčním obrazcem o intenzitě  $I(x, y) = |g(x, y)|^2$  (převzato z [2]).

Difrakční obrazec  $I(x, y) = |g(x, y)|^2$  je znám jako Fraunhoferova nebo Fresnelova difrakce, v závislosti na tom, zda je šíření ve volném prostoru popsáno pomocí Fraunhoferovy či Fresnelovy aproximace. K určení druhu difrakce slouží Fresnelovo číslo

$$N_F = \frac{b^2}{\lambda d}, \quad (3.2)$$

kde  $b$  je průměr kruhové apertury.

Pokud  $N_F \rightarrow \infty$ , jedná se o Fresnelovu difrakci, v opačném případě, kdy  $N_F$  je malé, vzniká Fraunhoferův difrakční obraz.

### 3.1 Fraunhoferova difrakce

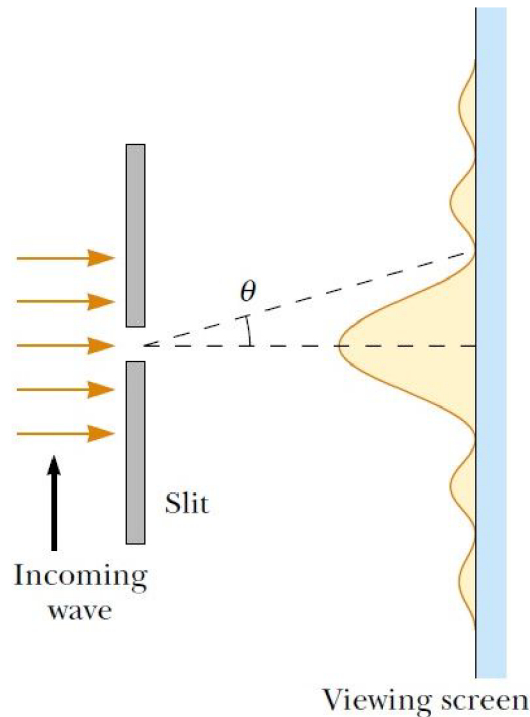
Fraunhoferova difrakce vzniká v případě, kdy dopadající vlna na kruhovou aperturu je rovinná. Fraunhoferova aproximace je platná tehdy, je-li vzdálenost  $d$  mezi aperturou a stínítkem dostatečně velká a to tak, aby Fresnelovo číslo  $N'_F = b^2/\lambda d \ll 1$ .

Je-li intenzita rovinné vlny  $I_i$ , která se šíří ve směru osy  $z$ , je komplexní amplituda  $U(x, y) = \sqrt{I_i}$ . Dosazením do rovnice (3.1) a při Fraunhoferově aproximaci s využitím Fourierovy transformace dostaneme difrakční obrazec (obr. 3.2) [2]

$$I(x, y) = \frac{I_i}{(\lambda d)^2} \left| P\left(\frac{x}{\lambda d}, \frac{y}{\lambda d}\right) \right|^2. \quad (3.3)$$

V případě kruhové apertury o průměru  $D$  platí vztah pro určení úhlu mezi osou směru šíření a prvním intenzivním minimem v difrakčním obrazci [2]

$$\theta = 1,22 \frac{\lambda}{D}. \quad (3.4)$$



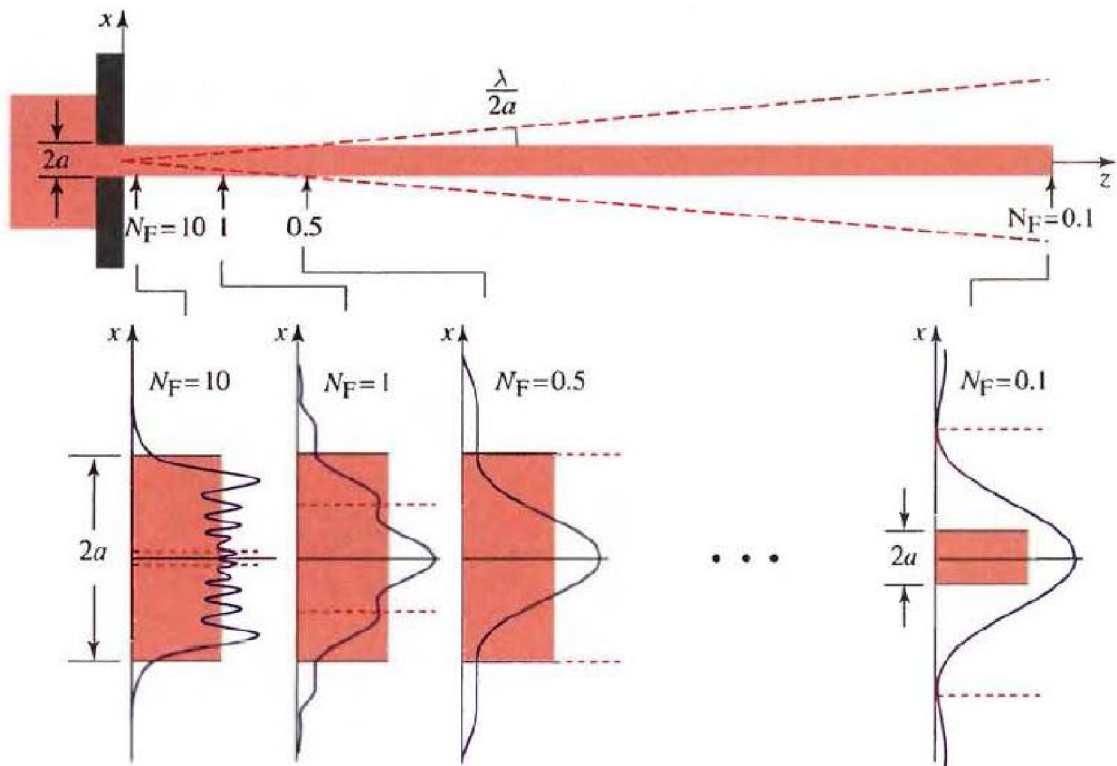
Obr. 3.2: Fraunhoferova difrakce kruhové apertury (převzato z [8]).



## 3.2 Fresnelova difrakce

Fresnelova difrakce nastává tehdy, je-li vlna dopadající na aperturu sférická. Fresnelova aproximace platí tehdy, když je vzdálenost  $d$  mezi aperturou a stínítkem dostatečně malá. Difrakční obrazec v blízké vzdálenosti  $d$  (obr. 3.3) je dán vztahem [2]

$$I(x, y) = \frac{I_i}{(\lambda d)^2} \left| \iint_{-\infty}^{\infty} p(x', y') \exp \left[ -j\pi \frac{(x - x')^2 + (y - y')^2}{\lambda d} \right] dx', dy' \right|^2. \quad (3.5)$$



Obr. 3.3: Přechod Fresnelovy difrakce na Fraunhoferovu difrakci, s kruhovou aperturou o průměru  $D = 2a$  (převzato z [2]).

Rozložení intenzity záření na stínítku se kvalitativně mění v závislosti na velikosti apertury. Difrakce se projevuje v úzkých oblastech na rozhraní apertury. Se zmenšováním rozměru apertury dochází k přechodu na Fraunhoferovu difrakci, neboť je možné využít Fraunhoferovu aproximaci.

### 3.3 Difrakce na čočce

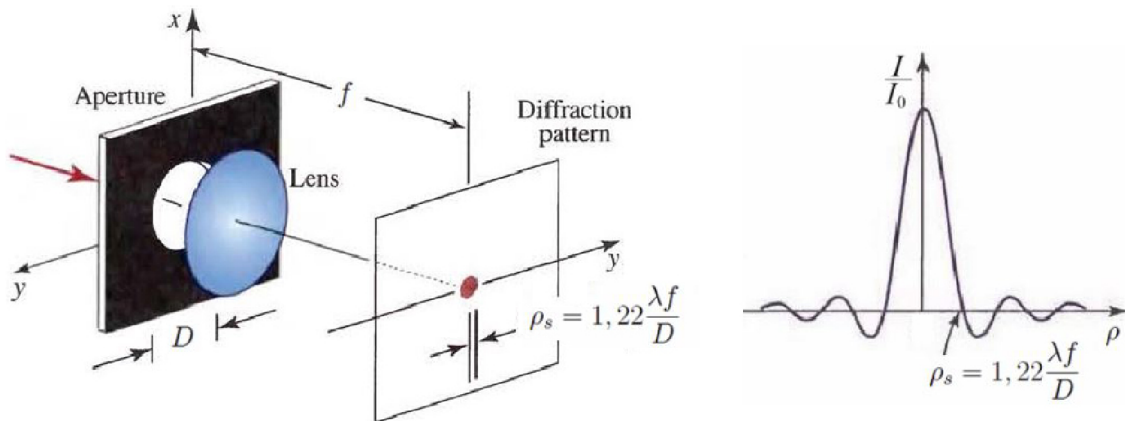
Pokud se rovina pozorování nenachází v dostatečné vzdálenosti od apertury (difrakčního otvoru), je nutno použít spojnou čočku a difrakci pozorovat v ohniskové rovině čočky [4]. V případě dopadu vlny na spojnou čočku s ohniskovou vzdáleností  $f$  a průměrem apertury  $D$  (obr. 3.4) bude intenzita v ohniskové rovině určena vztahem [2]

$$I(x, y) = I_0 \left[ \frac{2J_1\left(\frac{\pi D \rho}{\lambda f}\right)}{\frac{\pi D \rho}{\lambda f}} \right]^2, \quad \rho = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad (3.6)$$

kde  $I_0$  je maximum intenzity.

Polohu prvního intenzitního minima v difrakčním obrazci lze určit vztahem (obr. 3.4) [2]

$$\rho_s = 1,22 \frac{\lambda f}{D}. \quad (3.7)$$



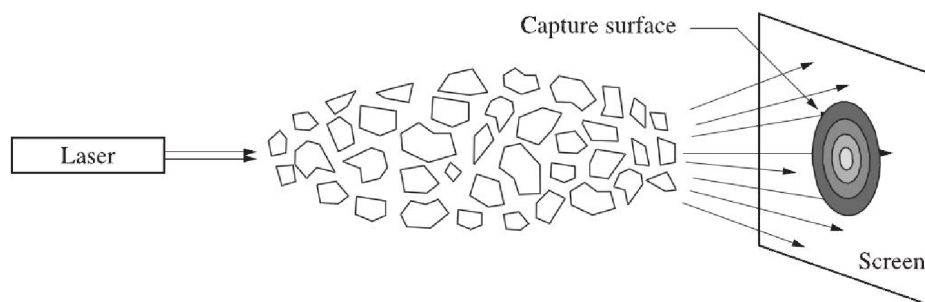
Obr. 3.4: Difrakční obrazec v ohniskové rovině čočky, s kruhovou aperturou o průměru  $D$  a jeho rozložení intenzity (převzato z [2]).

## 4 PŘÍČINY ODKLONU OSY SVAZKU OD JEJÍ IDEÁLNÍ POLOHY

Spolehlivost FSO spoje je závislá na mnoha vnějších vlivech. Optický svazek je velmi úzký a při spoji na vzdálenost několika kilometrů může sebemenší odchylka znamenat ztrátu spojení. Odklon osy svazku od její ideální polohy může být zapříčiněn atmosférou, vibracemi a pohybem budov, případně průletem ptáka, kterým může být spoj zcela zacloněn.

### 4.1 Vliv atmosféry na spolehlivost FSO spojů

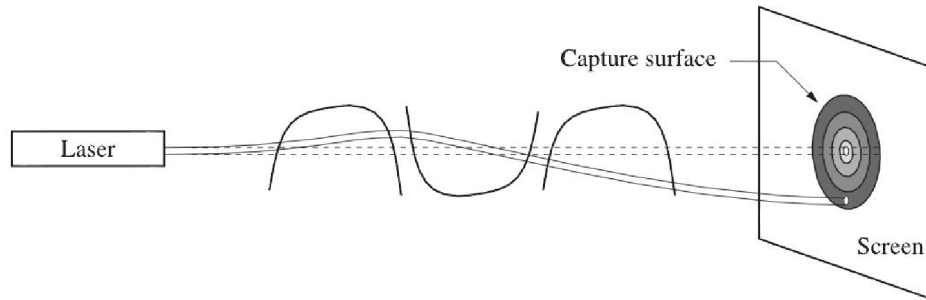
Jedněmi z hlavních faktorů, které ovlivňují spolehlivost FSO spojů, jsou mlha, déšť, sníh, smog nebo nízká oblačnost. Největší vliv na spolehlivost FSO spoje má mlha a nízká oblačnost. Mlha se skládá z velice malých kapiček vody a při průchodu svazku je svazek utlumen vlivem větší permitivity a také dochází k rozptylu svazku (obr. 4.1).



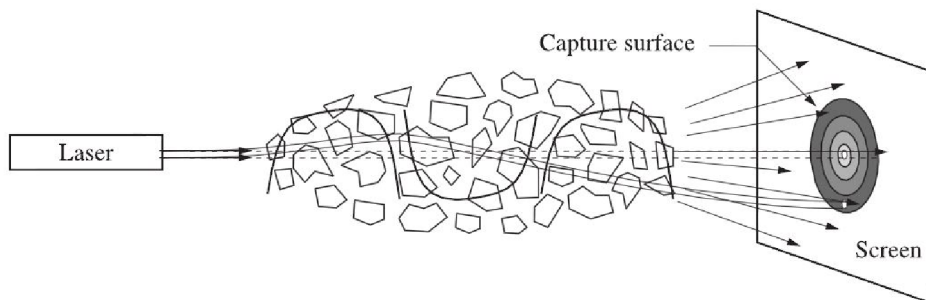
Obr. 4.1: Rozptyl svazku vlivem mlhy (převzato z [1]).

Obrázek 4.1 demonstruje případ, kdy jsou rozměry kapiček mnohem menší než šířka vysílaného svazku. V případě deště, kdy jsou kapky srovnatelné s šířkou svazku, dochází k vychýlení svazku (obr. 4.2). Tyto uvedené vlivy se mohou objevovat v kombinaci (obr. 4.3).

Kromě mlhy a deště má na svazek FSO spoje velký vliv turbulence větru. V místech turbulencí větru se projevuje nehomogenita indexu lomu, což zapříčiňuje ohyb svazku. Pokud jsou turbulentní víry mnohem menší než šířka svazku, dochází k fázovému posuvu a tím k scintilacím a následnému odklonu optického svazku.



Obr. 4.2: Odklon svazku vlivem deště (převzato z [1]).



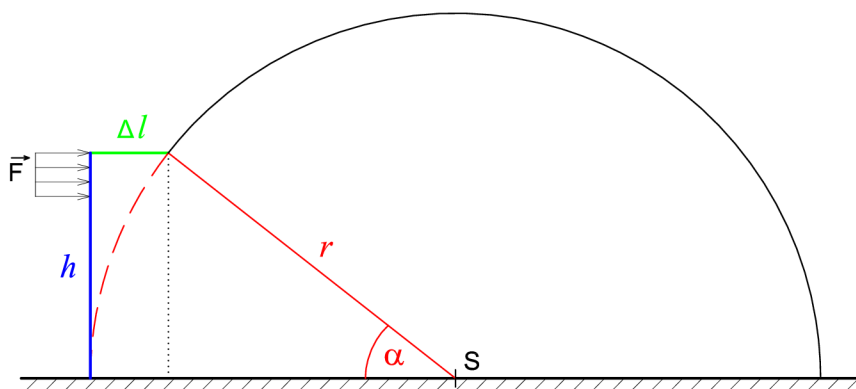
Obr. 4.3: Odklon svazku vlivem kombinace mlhy a deště (převzato z [1]).

## 4.2 Vliv vibrací a pohyb budov na spolehlivost FSO spojů

Dalším problémem FSO spojů je udržet správné nasměrování hlavic vysílače a přijímače. Optické hlavice se nejčastěji umísťují na budovách. Vzhledem k malé divergenci svazku je v místě přijímací hlavice relativně malý průměr svazku a každý nepatrný pohyb budovy může způsobit odklon osy svazku. Tím dochází ke špatnému směřování hlavic a k poklesu optického výkonu na přijímači nebo k celkovému přerušení spoje. Pohyb budov může být způsoben několika faktory, mezi které patří výkyvy teplot, působení větru nebo vibrace. Velikost vlivu těchto faktorů významně ovlivňuje výška budovy. Čím vyšší budova, tím více se projeví její pohyb při větrném působení. Kromě samotného pohybu budovy je důležitá i kvalita upevnění optických hlavic, kterou nejvíce ovlivňují vibrace budovy. Ty mohou být způsobeny pohybem lidí, případně strojů v budově.

### 4.2.1 Nestabilita budov a stožárů vlivem silného větru

Zatížení větrem je proměnné v čase a působí přímo jako tlak na vnější povrch budovy nebo konstrukci podstavce (stožáru), na který je FSO hlavice připevněna. V případě budov působí nepřímo i na vnitřní povrchy vlivem prodyšnosti vnějších povrchů, např. v případě otevřeného okna. Tyto tlaky způsobují síly kolmé k povrchu konstrukce budovy nebo stožáru. V případě velkých ploch konstrukcí, které jsou obtékány větrem, mohou významné třecí síly působit tečně k povrchu. Toto zatížení se popisuje zjednodušeným souborem tlaků, jejichž účinky jsou ekvivalentní maximálním účinkům turbulentního větru. Účinek větru na konstrukci je závislý na tvaru, velikosti a dynamických vlastnostech konstrukce [15], které jsou pro každou budovu specifické a odvíjí se od použitého stavebního materiálu (ocel, železobeton, dřevo) a nosné konstrukce (stěnová, skeletová). Stavební materiál je definován svou pevností a pružností, což má za následek deformaci materiálu při silovém působení. V případě budov a stožárů dochází při silovém působení silného větru k ohybu konstrukce. Tvar a výška budovy či stožáru značně přispívá k velikosti ohybu. Čím více bude výška konstrukce převládat nad půdorysnými rozměry, tím větší ohyb nastane. Pokud je konstrukce podél výšky  $h$  a ve směru odklonu  $\Delta l$  homogenní, opisuje při svém odklonu přibližně tvar kružnice o poloměru  $r$  (obr. 4.4).



Obr. 4.4: Ohyb konstrukce při silovém působení (převzato z [15]).

Pro  $r$  platí vztah

$$r^2 = (r - \Delta l)^2 + h^2 \quad \Rightarrow \quad r = \frac{\Delta l^2 + h^2}{2\Delta l}. \quad (4.1)$$

Úhlová odchylka  $\alpha$  v rovině dané „ $h$ “ a „ $\Delta l$ “ je dána vztahem

$$\sin \alpha = \frac{h}{r}, \quad (4.2)$$

Často bývá hlavice FSO spoje osazena na samostatné konstrukci, která se kotví do budovy. Konstrukce bývá tvořena svislou ocelovou trubkovou podpěrou nebo svařovanou konstrukcí pyramidového tvaru, která nejlépe odolává silovému působení větru, případně podpěrným prvkem ve tvaru konzoly. Samotná podpěrná konstrukce (stožár) způsobuje další vychýlení optického svazku od její ideální polohy. Největší vychýlení svazku nastává při současném maximálním odklonu budovy i stožáru. Pak je výsledná maximální úhlová odchylka dána vztahem

$$\alpha = \alpha_b + \alpha_s, \quad (4.3)$$

kde  $\alpha_b$  je maximální úhlová odchylka budovy a  $\alpha_s$  je maximální úhlová odchylka stožáru.

Pokud je výsledná úhlová odchylka  $\alpha$  větší než divergence  $\theta_0$  optického svazku FSO spoje, dojde k vychýlení vyzařovaného svazku mimo přijímač umístěný na jiné budově, dále ke ztrátě přijímaného optického výkonu a přerušení FSO spoje. V takovém případě je nutné upravit parametry vyzařovaného optického svazku a zvětšit jeho úhel divergence, což vede ke zvýšení výkonu optického svazku, případně zvětšit zorný úhel přijímače.

#### 4.2.2 Nestabilita budov a stožárů teplotním vlivem Slunce

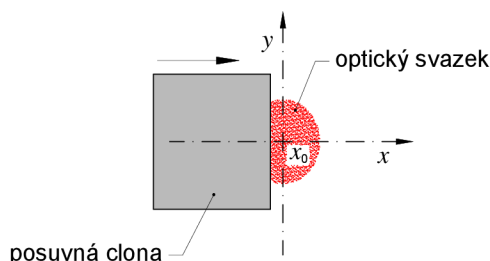
Ke stabilitě budov a stožárů negativně přispívá nejen proměnlivá teplota vnějšího prostředí, ale i přímé sluneční záření. Materiál se vlivem tepelného působení rozpíná (při zahřívání) nebo smršťuje (při ochlazování). Tím dochází k nepatrným deformacím konstrukce, které mohou ovlivnit kvalitu FSO spoje. S rostoucí teplotou se snižuje pevnost a tuhost materiálů a tím je konstrukce náchylnější na silové působení. Lze očekávat, že v létě bude mít konstrukce větší odklon než v zimě při stejném silovém působení větru. Nestabilita konstrukcí způsobená zvýšenou teplotou vnějšího prostředí v letním období je navýšena vlivem přímého slunečního záření. Přímé sluneční záření působí na konstrukce z jednoho směru. Ze strany, na kterou toto záření působí, má konstrukce vyšší teplotu a tedy nižší tuhost než na zastíněné straně. V období s vyššími teplotami, případně za přímého slunečního záření, a silných větrů jsou FSO spoje nejvíce náchylné na kvalitu a spolehlivost.

## 5 METODY URČENÍ POLOHY OSY SVAZKU

Existuje několik metod měření, pomocí kterých určujeme parametry Gaussova svazku včetně polohy osy svazku. Mezi tyto parametry patří pološířka svazku v určité vzdálenosti a divergence svazku. Osa optického svazku  $z$  je dána středem vysílací apertury a středem stopy svazku (rozložení optické intenzity) v libovolně vzdálené příčné rovině od vysílací apertury. K určení polohy osy svazku lze využít měření metodou posuvné hrany nebo štěrbin, případně můžeme použít detektory PSD (Position Sensitive Detector – polohově citlivý detektor) .

### 5.1 Metoda posuvné hrany

Metoda posuvné či skenovací hrany spočívá v tom, že se mezi zdroj optického svazku a optický měřič výkonu vloží pohyblivá clona ve formě ostré hrany, která v závislosti na poloze hrany ve směru  $x$  nebo  $y$  ovlivňuje velikost přijatého výkonu na fotodetektoru (obr. 5.1) [10].



Obr. 5.1: Posuvná hrana v rovině kolmé na osu svazku.

Nejprve je nutné změřit celkový výkon svazku bez zaclonění  $P_0$  . Poté postupně posouváme hranu clony napříč svazkem ve směru  $x$ , čímž dochází k zastínění části svazku a k poklesu detekovaného výkonu. V místě  $x_0$ , ve kterém je zaznamenán poloviční výkon svazku  $P = 0,5P_0$ , se hrana clony nachází na ose svazku ve směru  $x$ . Stejným způsobem lze nalézt polohu osy svazku v ose  $y$ , která se nachází ve stejné rovině jako osa  $x$  a na kterou je kolmá. V obecném případě, kdy je osa svazku  $z$  ve své ideální poloze, označíme její polohu v příčné rovině dané „ $x$ “ a „ $y$ “ souřadnicemi  $x_0 = x(0)$  a  $y_0 = y(0)$ . Tato rovina je od vysílací apertury ve vzdálenosti  $z > z_0$ , kde  $z_0$  je střed vysílací apertury. V případě odklonu osy svazku od její ideální polohy, dostáváme použitím posuvné hrany novou polohu osy svazku se souřadnicemi  $x_1$  a  $y_1$ .

Pro velikosti odklonu osy svazku  $\Delta x$  a  $\Delta y$  ve vzdálenosti  $z$  a úhly odklonu  $\varphi_x$  a  $\varphi_y$  od její ideální polohy platí vztah

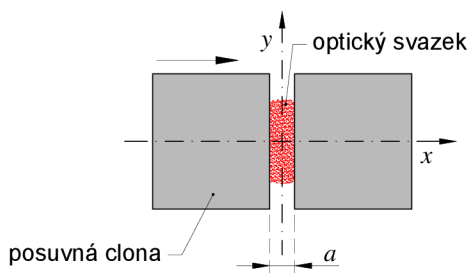
$$\Delta x = |x_0 - x_1|, \quad \tan \varphi_x = \frac{\Delta x}{z}, \quad (5.1)$$

$$\Delta y = |y_0 - y_1|, \quad \tan \varphi_y = \frac{\Delta y}{z}, \quad (5.2)$$

kde  $z$  je vzdálenost posuvné hrany od vysílací apertury ve směru osy svazku,  $\varphi_x$  je úhlová odchylka osy svazku v rovině dané „ $x$ “ a „ $z$ “ a  $\varphi_y$  je úhlová odchylka osy svazku v rovině dané „ $y$ “ a „ $z$ “.

## 5.2 Metoda posuvné štěrbiny

Tato metoda je podobná metodě s posuvnou hranou, avšak k zastínění svazku je použita štěrbina s šířkou  $a$ , která je mnohem menší než šířka svazku (obr. 5.2) [11].



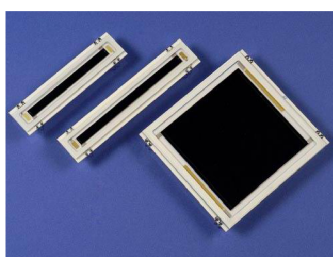
Obr. 5.2: Posuvná štěrbina v rovině kolmé na osu svazku.

U této metody není nutné měřit celkový výkon bez zastínění. Předpokládejme, že se štěrbina nachází zcela mimo svazek. V tomto případě je detekovaný výkon nulový. Pokud začneme posouvat štěrbinu napříč svazkem, fotodetektor začne zaznamenávat výkon svazku procházející štěrbinou. V místě, kde je detekován maximální výkon, se polovina šířky  $a$  posuvné štěrbiny nachází v ose svazku. Obdobně, jako u metody s posuvnou hranou, můžeme změřit odklony osy svazku od její ideální polohy v ose  $x$  a  $y$  a následně pomocí vztahů 5.1 a 5.2 stanovit úhly odklonu  $\varphi_x$  a  $\varphi_y$ .



## 5.3 Metoda s využitím polohově citlivého detektoru PSD

Využití PSD detektorů představuje jednoduchou cestu k určení polohy osy svazku v rovině aktivní plochy fotodetektoru, neboť disponují vysokou citlivostí a určení polohy není závislé na velikosti stopy svazku na detektoru. Tyto detektory poskytují kontinuální data o poloze buď pouze v ose  $x$  (jednodimenzionální) nebo v obou osách  $x$  a  $y$  navzájem kolmých (dvoudimenzionální či segmentové). Tato metoda byla použita při experimentálním měření odklonu budovy a její princip je uveden v kapitole 6.2.



Obr. 5.3: Polohově citlivé detektory PSD.

## 6 EXPERIMENTÁLNÍ METODY MĚŘENÍ ODKLONU BUDOVY VLIVEM VĚTRU

### 6.1 Měření pomocí zeměměřičské totální stanice

Jedním ze způsobů měření odklonu budovy (viz kapitola 4.2.1) je realizace pomocí univerzálního zeměměřického přístroje neboli totální stanice (obr. 6.1), PSD detektoru a spojné čočky.

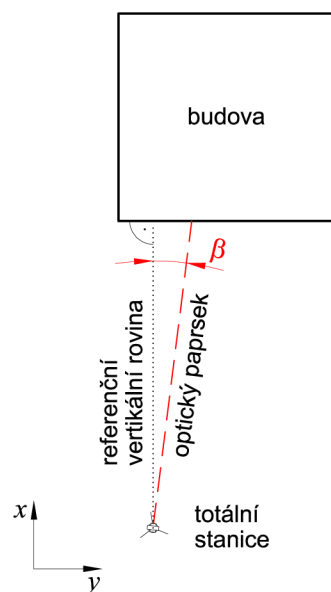


Obr. 6.1: Robotizovaná totální stanice TOPCON QS3A a odrazný hranol (převzato z [13]).

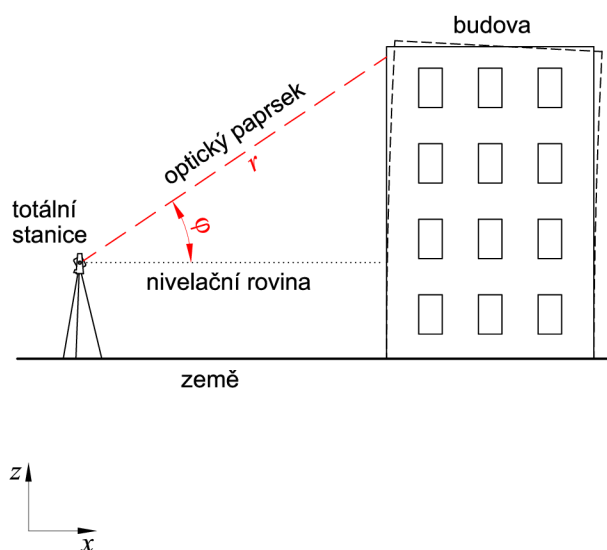
K měření odklonu můžeme použít samotnou totální stanici, která je schopna měřit vzdálenost bezhranově až do vzdálenosti 2000 m, s přesností na dvě desetiny milimetru. Pro větší vzdálenosti (3000 m) musíme použít k měření speciální odrazný hranol (popřípadě více hranolů), který vždy odráží laserový paprsek do směru, ze kterého přichází. Přístroj používá laser s vlnovou délkou 810 nm a s maximálním výkonem 1 mW. Ten lze na cíl zaměřit pomocí vestavěné optiky s nitkovým křížem, který vyznačuje střed laserového paprsku. Kromě vzdálenosti přístroj zaznamenává

polární souřadnice osy vysílaného optického svazku v horizontálním i vertikálním směru s přesností  $1''$  od nivelační roviny a referenční vertikální roviny. Nivelační rovina je horizontální rovina, v níž leží střed vysílací apertury přístroje, který současně leží v referenční horizontální rovině. Tím je zajištěna prostorová lokace měřeného cíle vůči totální stanici. Takto je možné měřit odklon budovy či stožáru ve směru osy laserového paprsku (obr. 6.2).

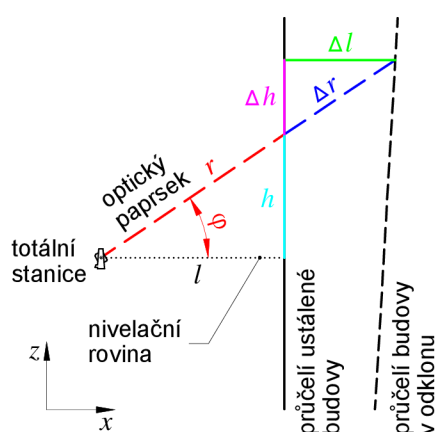
### PŮDORYS



### NÁRYS



Obr. 6.2: Schéma měření odklonu budovy pomocí totální stanice.



Obr. 6.3: Detail optického svazku dopadajícího na průčelí budovy v odklonu.

Po nasměrování optického svazku na nejvyšší místo průčelí budovy přístroj změří vodorovnou vzdálenost od budovy  $l$ , výšku  $h$  a šikmou vzdálenost  $r$  od průčelí budovy za ustáleného stavu budovy, kdy na budovu nepůsobí silové účinky větru. Dále přístroj změří úhlovou odchylku v horizontální rovině od referenční vertikální roviny označenou  $\beta$  a úhlovou odchylku ve vertikální rovině, která je daná osou vysílaného svazku a vertikálou, od nivelační roviny označenou  $\varphi$ . Přístroj můžeme nastavit přesně tak, aby horizontální úhlová odchylka  $\beta$  byla rovna nule, respektive aby půdorysný průmět osy optického svazku byl kolmý k průčelí měřené budovy. Tím se měření zjednoduší a není nutné přepočítávat šikmou odchylku  $\Delta r$  v horizontální rovině. Pomocí vzorce (6.1) přepočítáme šikmou odchylku  $\Delta r$  ve svislé rovině na skutečný odklon budovy  $\Delta l$  ve výšce  $h + \Delta h$ :

$$\cos \varphi = \frac{l + \Delta l}{r + \Delta r} \quad \Rightarrow \quad \Delta l = \cos \varphi \cdot (r + \Delta r) - l, \quad (6.1)$$

kde  $r$  je šikmá délka při ustáleném stavu budovy,  $l$  je horizontální vzdálenost průčelí budovy od totální stanice,  $\varphi$  je úhlová odchylka ve vertikální rovině. Výšková odchylka  $\Delta h = \sqrt{\Delta r^2 - \Delta l^2}$ . Totální stanice umístěná na stativu, který je zpravidla kotvený do terénu, je vzhledem ke své váze stabilní a odolává i silnějším větrům. Přesto je vhodné přístroj umístit na takovém místě, aby byl na něj co nejvíce eliminován vliv větru nebo vibrací. Takovým dostatečným místem může být roh zděného plotu nebo zástavby (obr. 6.4), kde je přístroj alespoň ze dvou stran chráněn před větrem. Pokud není v blízkosti měřené budovy takové místo k dispozici, použijeme k ochraně přístroje před silným větrem samostatně kotvený mobilní prostorový kryt (obr. 6.4), který absorbuje silové působení větru ovlivňující stabilitu totální stanice. Kryt zároveň chrání osobu obsluhující přístroj od nepříznivého počasí.

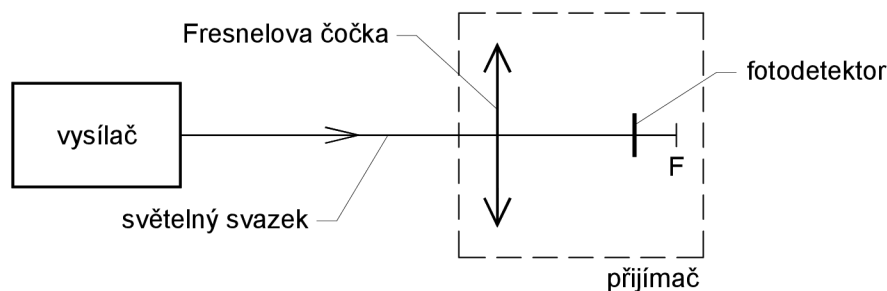


Obr. 6.4: Zabezpečení přístroje před silným větrem umístěním v rohu zástavby (vlevo) a krytem (vpravo).

Změřené odchylky přístroj zaznamenává s frekvencí 10 Hz do vnitřní paměti, ze které se soubor dat exportuje do PC ve formě textového souboru, který můžeme dále zpracovávat. Pomocí zeměměřičské totální stanice se snadno změří odklon budovy nebo stožáru, avšak pro stanovení závislosti tohoto odklonu na rychlosti větru je vhodnější použít navíc přijímač s polohově citlivým detektorem.

## 6.2 Měření pomocí laserového zaměřovače a přijímače s PSD detektorem

Měření pomocí laserového zaměřovače a přijímače s PSD detektorem poskytuje výhodu ve snadné synchronizaci měřené odchylky s rychlostí a směrem větru. Proto byl k realizaci experimentálního měření použit tento způsob. Oproti měření odklonu za použití totální stanice, kdy se měří odklon ve směru osy svazku, měří přijímač s PSD detektorem odchylky ve svislé rovině kolmé na půdorysný průmět osy optického svazku.

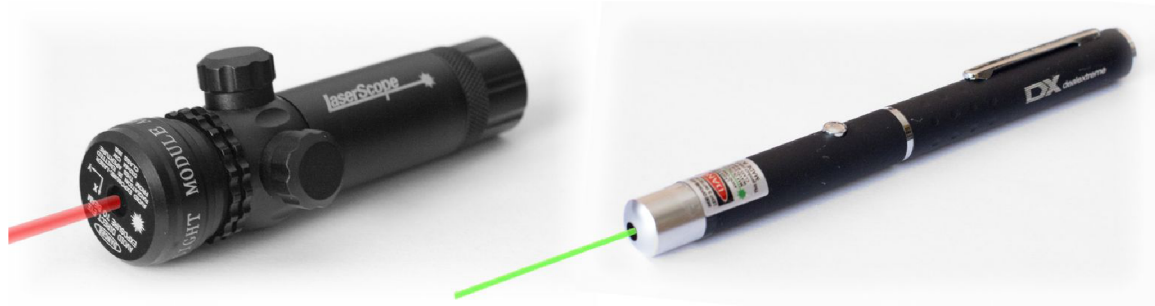


Obr. 6.5: Struktura měřícího pracoviště.

### 6.2.1 Zdroj optického svazku (vysílač)

Jako zdroj optického svazku v tomto případě nebyla totální stanice vhodná, neboť neposkytuje nepřetržité vysílání optického svazku. Přístroj je schopný pracovat pouze v impulzním režimu s maximální frekvencí 10 Hz, přičemž po zhruba třech vteřinách se vysílání zcela přerušuje na dobu přibližně jedné vteřiny. Proto byl k měření použit taktický laserový zaměřovač s výstupním výkonem 5 mW a vlnovou délkou 650 nm a pomocné laserové ukazovátko s výstupním výkonem 1 mW a vlnovou délkou 532 nm (obr. 6.6).

Stopa laseru zaměřovače však není v denních hodinách dobře viditelná na větší vzdálenosti (cca od 50 m). Pro přesné zaměření laseru na přijímač byl použit hvězdářský teleskop Celestron PowerSeeker 40TTAZ, s ohniskovou vzdáleností 400 mm



Obr. 6.6: Laserový taktický zaměřovač (vlevo) a laserové ukazovátko (vpravo).

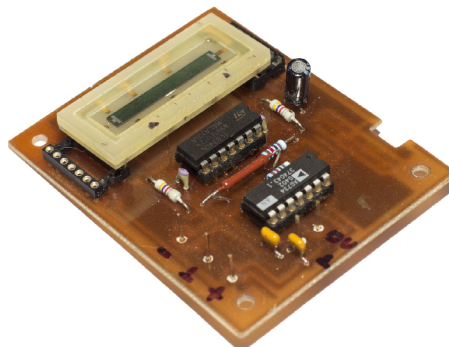
( $f/10$ ), průměrem předního členu 40 mm a přiblížením až  $250\times$ . Na teleskop byly oba lasery pevně připevněny (obr. 6.7). Zelená stopa pomocného laseru byla jasně viditelná na velkou vzdálenost, a proto tento laser plnil funkci hrubého nasměrování hlavního laseru na přijímač. Lasery musely být nastaveny tak, aby byly stopy laserů viditelné v teleskopu na vzdálenost podobné vzdálenosti, ze které se měřil odklon budovy. Laser zaměřovače umožňuje stranovou i výškovou kalibraci laseru, tudíž bylo snadné nastavit stopu laseru do středu viditelné oblasti teleskopu. V případě měření odklonu stožáru pro FSO spoj, umístěného na střeše budovy, musí být zdroj měřícího optického svazku rovněž umístěn na střeše téže budovy. Hodnoty odklonu budovy a stožáru se pak sečtou a určí se výsledný odklon, podle kterého můžeme dimenzovat optický svazek FSO spoje.



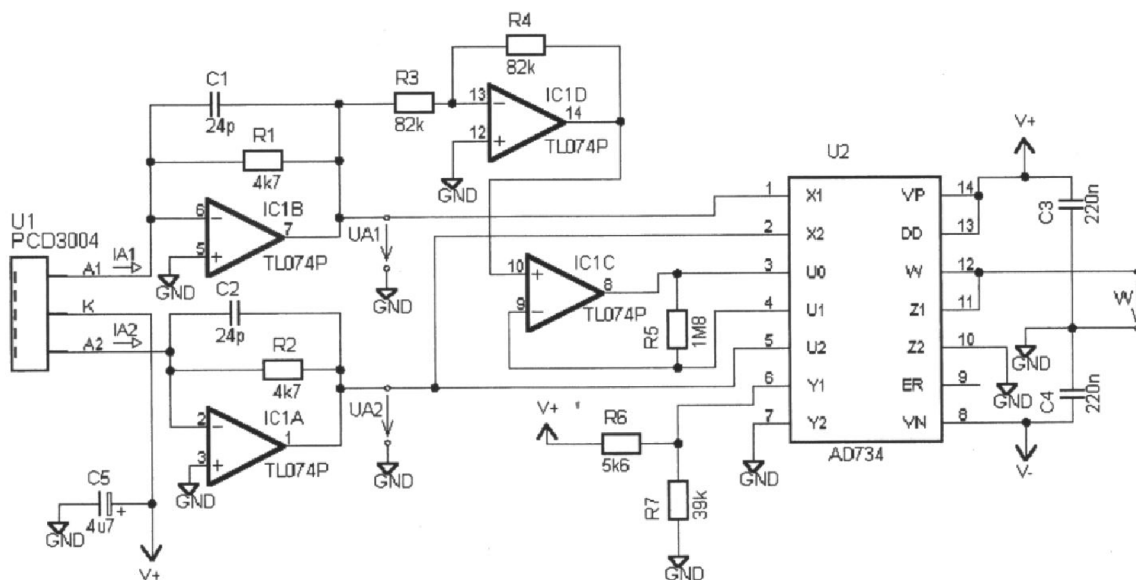
Obr. 6.7: Hvězdářský teleskop Celestron PowerSeeker 40TTAZ s připevněným laserovým zaměřovačem a pomocným laserovým ukazovátkem.

## 6.2.2 Přijímač s PSD detektorem

Hlavní částí soustavy přijímače je jednodimenzionální polohově citlivý detektor (obr. 6.8) s obdélníkovou aktivní plochou, jejíž delší strana má rozměr  $L = 26$  mm.



Obr. 6.8: Obvod přijímače (převzato z [14]).

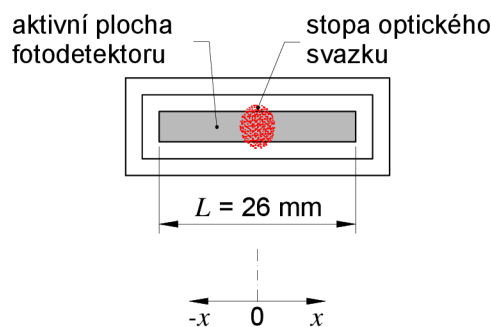


Obr. 6.9: Obvodové schéma fotodetekce v přijímači (převzato z [14]).

Pro určení vzdálenosti  $x$  optického svazku od osy aktivní plochy fotodetektoru (obr. 6.10) platí vztah

$$x = \frac{L}{2} \cdot \frac{I_{A2} - I_{A1}}{I_{A1} + I_{A2}} = \frac{L}{2} \cdot \frac{U_{A2} - U_{A1}}{U_{A1} + U_{A2}}, \quad (6.2)$$

kde  $I_{A1}$  a  $I_{A2}$  jsou výstupní proudy z anod fotodetektoru a  $U_{A1}$  a  $U_{A2}$  jsou převedená napětí z výstupních proudů fotodetektoru.



Obr. 6.10: Stopa optického svazku na aktivní ploše fotodetektoru.

Součástí obvodu fotodetekce je napěťová čtyřkvadrantová násobička AD734, která provádí matematickou operaci dělení. Tato operace je popsána vztahem

$$W = \frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{U_1 - U_2} + Z_2, \quad (6.3)$$

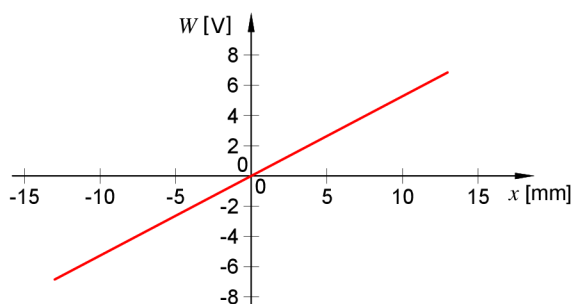
kde  $W$  je výstupní hodnota napětí z AD734 a  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $U_1$ ,  $U_2$  a  $Z_2$  jsou vstupy AD734.

Kombinací vztahů (6.2) a (6.3) získáme vztah

$$x = c.W = c. \left( \frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{U_1 - U_2} + Z_2 \right), \quad (6.4)$$

kde  $c$  je kladná konstanta.

S ohledem na požadavky vstupního napětí AD734 lze dále psát rovnosti:  $Z_2 = 0$ ,  $Y_2 = 0$ ,  $Y_1 = \text{konstanta} \neq 0$ ,  $X_1 = U_{A2}$ ,  $X_2 = U_{A1}$ ,  $U_1 = U_{A1}$ ,  $U_2 = (-U_{A2})$ . Napětí  $(-U_{A2})$  je získáno invertujícím zesilovačem s přenosem rovným 1. Konstanta  $c$  je dána podílem  $L/2$  a  $Y_1$ . Teoretická hodnota této konstanty je 1,9 mm/V při napájení  $\pm 8V$  [14]. Závislost polohy  $x$  osy optického svazku na výstupním napětí  $W$  je zobrazena na obr. 6.11.



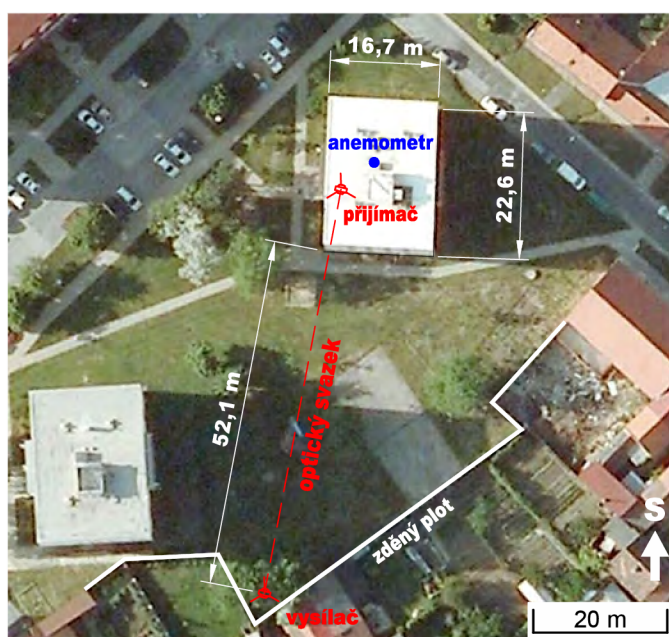
Obr. 6.11: Závislost polohy osy optického svazku na výstupním napětí přijímače.



### 6.2.3 Realizace experimentálního měření odklonu budovy

Měřenou budovou byl sedmipatrový panelový dům v centru Strážnice. Budova má obdélníkový půdorysný tvar o rozměrech 16,7 m a 22,6 m, celková výška budovy je 27,0 m. Měření bylo uskutečněno 22. března 2015 odpoledne za zvýšené rychlosti větru. Venkovní teplota byla  $+9^{\circ}\text{C}$  a bylo zataženo. Odklon budovy se měřil ve směru kratší půdorysné strany budovy (ve směru západ-východ). V tomto směru je budova více náchylná na odklon než ve směru delší půdorysné strany budovy. Vysílač byl od průčelí budovy umístěn ve vzdálenosti 52,1 m, v rohu vysokého zděného plotu (obr. 6.12).

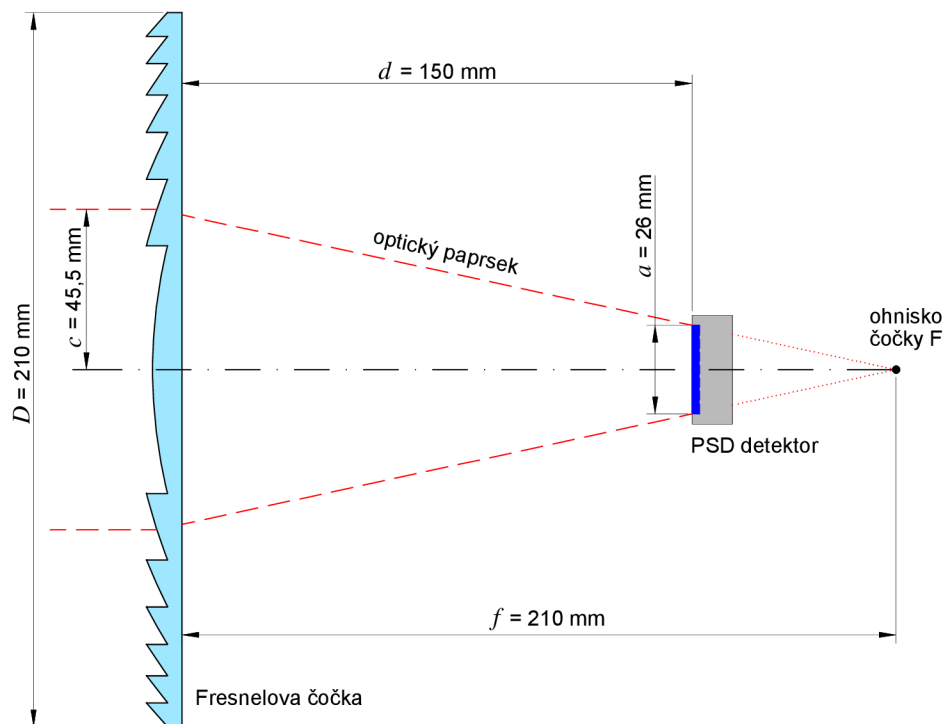
SITUACE



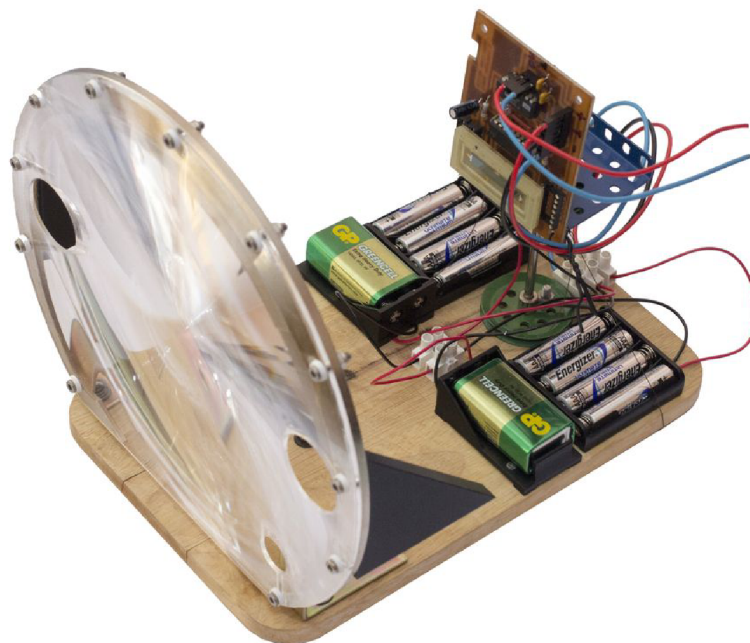
Obr. 6.12: Situace měřicího stanoviště s rozmístěním měřících zařízení.

Na přijímací soustavě byl optický svazek usměrněn Fresnelovou čočkou na aktivní plochu fotodetektoru. Fresnelova čočka o průměru  $D = 210$  mm a s ohniskovou vzdáleností  $f = 210$  mm byla umístěna před PSD detektorem ve vzdálenosti  $d = 150$  mm. Tímto uspořádáním bylo možné měřit odchylky  $\pm 45,5$  mm (obr. 6.13). Obvod přijímače byl napájen sériovým zapojením několika akumulátorů o celkovém symetrickém napětí  $\pm 15\text{V}$ . Tomu odpovídala hodnota konstanty  $c = 1,2\text{mm/V}$ .

Soustava přijímače (obr. 6.14) byla umístěna na stativu na střeše měřené budovy (obr. 6.15). Pro zajištění lepší stability a odolnosti vůči větru byl stativ prostorově zafixován třemi pevnými špagáty (obr. 6.15).



Obr. 6.13: Soustava přijímače - schéma uspořádání Fresnelovy čočky a PSD detektoru.



Obr. 6.14: Realizace soustavy přijímače s Fresnelovou čočkou a PSD detektorem.



Obr. 6.15: Umístění soustavy přijímače na střeše měřené budovy.

K detekci výstupního napětí přijímače byl použit digitální multimetr RC EM6000 (obr. 6.16), který má možnost připojení k PC pomocí USB.



Obr. 6.16: Digitální multimetr RC EM6000.

Multimetr zaznamenával hodnoty výstupního napětí z přijímače každou vteřinu. Současně byl k počítači připojen anemometr, který posílal data do PC rovněž s od-

stupem jedné sekundy. Hodnoty z přijímače a anemometru byly odečítány ve stejný čas, který byl nastaven v PC, a tím byla zajištěna synchronizace. K měření rychlosti a směru větru byl použit ultrazvukový snímač - anemometr WindSonic (obr. 6.17). Ultrazvukový anemometr využívá metody měření a porovnávání doby šíření ultrazvukového pulsu mezi jeho vysílačem a protilehlým přijímačem. Tato doba šíření je ovlivňována rychlostí proudění větru. K určení směru větru je anemometr vybaven dvěma páry ultrazvukových vysílačů-přijímačů situovaných do pozice sever-jih a západ-východ [16]. Vyhodnocovací elektronika pak spočítá úhel směru větru i jeho rychlost, kterou posílá přes sériový port RS-232 do počítače. Během měření byl anemometr umístěn s počátečním úhlem  $0^\circ$  směrem na sever. K napájení anemometru byla použita baterie o stejnosměrném napětí 9 V.



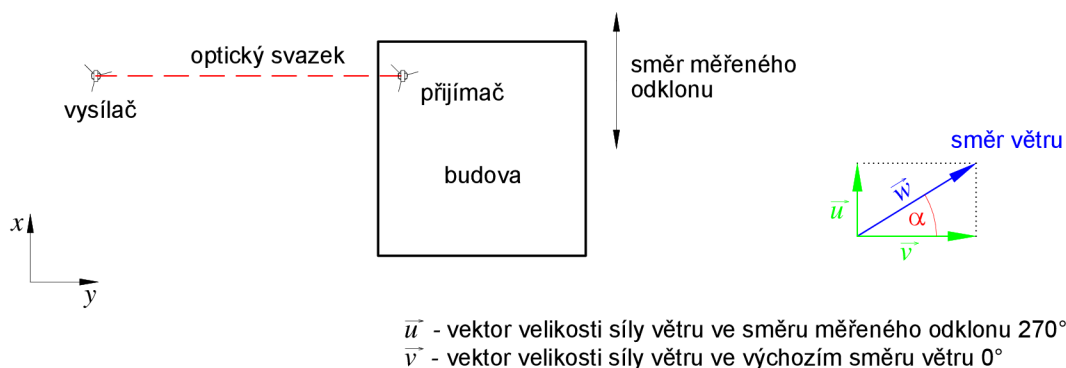
Obr. 6.17: Anemometr WindSonic (převzato z [16]).

K získání závislosti velikosti odklonu budovy v daném směru bylo nutné vektor směru větru přepočítat na vektor rovnoběžný se směrem měřeného odklonu (obr. 6.18). Je-li velikost vektoru  $\vec{w}$  dána rychlostí větru a jeho směr je dán úhlem  $\alpha$  od výchozího nastaveného směru (vektor  $\vec{v}$ ), je velikost vektoru  $\vec{u}$  ve směru měřeného odklonu dána vztahem

$$\cos \alpha = \frac{|\vec{u}|}{|\vec{w}|} \quad \Rightarrow \quad |\vec{u}| = |\vec{w}| \cdot \cos \alpha. \quad (6.5)$$

Samotné měření probíhalo po dobu 23 minut. Během měření došlo vlivem restartu PC k šestiminutovému přerušení záznamu hodnot, a proto bylo pořízeno jen 1034 hodnot z přijímače a stejný počet z anemometru. Každý soubor hodnot obsahoval čas měření, výstupní napětí z přijímače, směr a rychlost větru z anemometru. Naměřené hodnoty výstupního napětí z přijímače se pohybovaly v intervalu  $W \in \langle -0,55 \text{ V}, -0,03 \text{ V} \rangle$ , přičemž referenční střed byl na hodnotě  $-0,24 \text{ V}$  (za teoretického nulového odklonu budovy). V relativních hodnotách je pak interval  $W_R \in \langle -0,31 \text{ V}, +0,21 \text{ V} \rangle$ .

## PŮDORYS



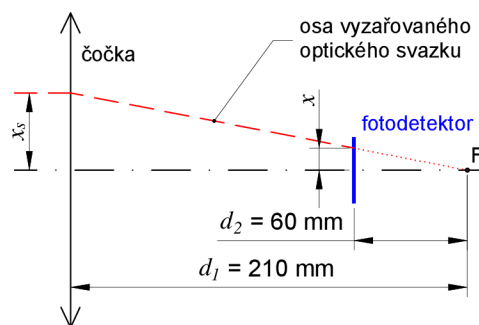
Obr. 6.18: Struktura měřícího pracoviště.

Pomocí vzorce (6.4) byly hodnoty napětí přepočteny na hodnoty odklonů osy svazku  $x$  v rovině fotodetektoru:

$$x = c \cdot W_R = 1,2 \cdot W_R \quad \Rightarrow \quad x \in \langle -0,37 \text{ mm}, +0,25 \text{ mm} \rangle. \quad (6.6)$$

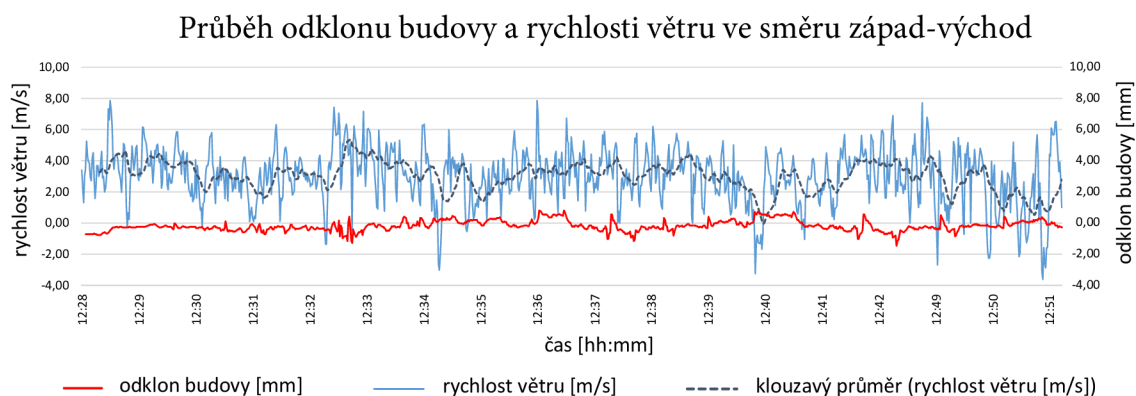
Dále bylo nutné tyto hodnoty přepočítat na skutečný odklon budovy. Využitím podobnosti trojúhelníků (viz obr. 6.19) jsme dostali hodnoty skutečného odklonu budovy  $x_s$ :

$$\frac{x_s}{d_1} = \frac{x}{d_2} \quad \Rightarrow \quad x_s = \frac{x \cdot d_1}{d_2} \quad \Rightarrow \quad x_s \in \langle -1,30 \text{ mm}, +0,88 \text{ mm} \rangle. \quad (6.7)$$



Obr. 6.19: Přepočet odklonu v rovině fotodetektoru na skutečný odklon pomocí podobnosti trojúhelníků.

Záporná hodnota odklonu uvádí odklon budovy směrem k západu (po směru větru). Výsledný graf na obr. 6.20 ukazuje skutečný odklon budovy, společně s rychlostí větru ve směru západ-východ, v průběhu doby měření.



Obr. 6.20: Graf průběhu odklonu budovy a rychlosti větru ve směru západ-východ.

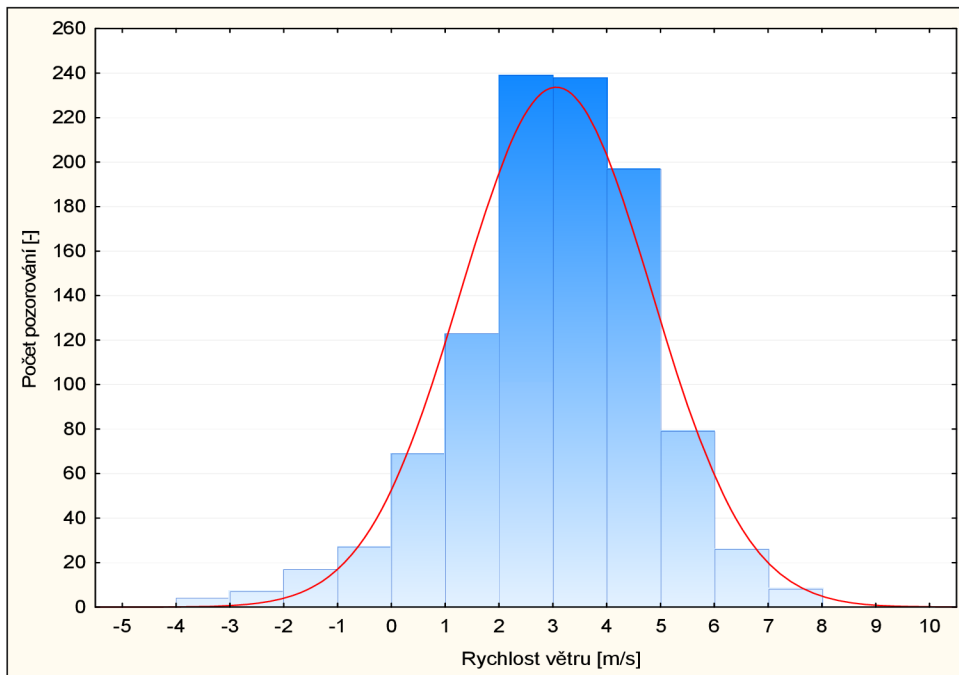
Data získaná experimentálním měřením byla podrobena základní statistické analýze na deskriptivní i induktivní rovině v programu Statistica.cz. Na deskriptivní úrovni analýzy byly u obou sledovaných proměnných zjištěny základní popisné statistiky, které ukazuje tabulka 6.1.

Tab. 6.1: Základní popisné statistiky.

Popisné statistiky	Rychlost větru	Odklon budovy
N platných	1034	1034
Průměr	3,021	-0,067
Směrodatná odchylka	1,765	0,326
Dolní hranice intervalu spolehlivosti (95%)	2,913	-0,086
Horní hranice intervalu spolehlivosti (95%)	3,128	-0,047
Medián	3,140	-0,130
Minimum	-3,610	-1,300
Maximum	7,860	0,880
Rozpětí	11,470	2,180

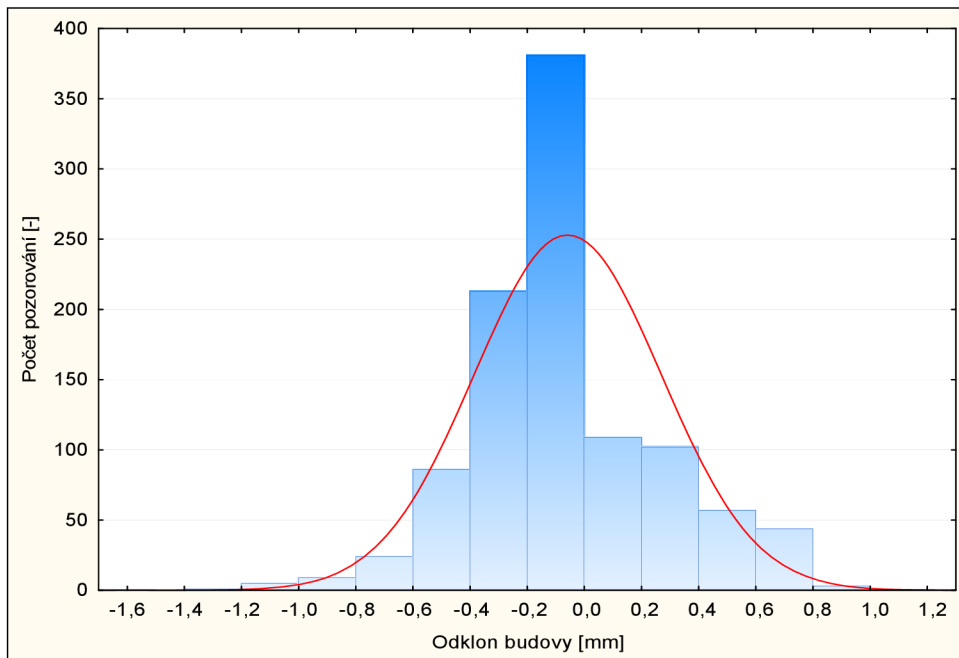
V první řadě šlo o zjištění průměrných hodnot a příslušných směrodatných odchylek charakterizujících rozptýlení hodnot od aritmetického průměru. Dále byly zjištěny 95% intervaly spolehlivosti, které predikují, kde se na základě provedeného měření nachází průměr sledované veličiny ve skutečnosti. Také byl zjišťován medián, což je hodnota, která rozděluje soubor získaných hodnot na 2 poloviny a je tudíž základní charakteristikou určující tvar rozložení proměnné v porovnání s normálním (Gaussovým) rozdělením, a posléze minimum a maximum naměřených hodnot a jejich rozpětí. Rozdělení proměnných dále ukazují histogramy proložené křivkou normality (obr. 6.21 a 6.22).

Histogram rychlosti větru



Obr. 6.21: Histogram rychlosti větru po dobu měření.

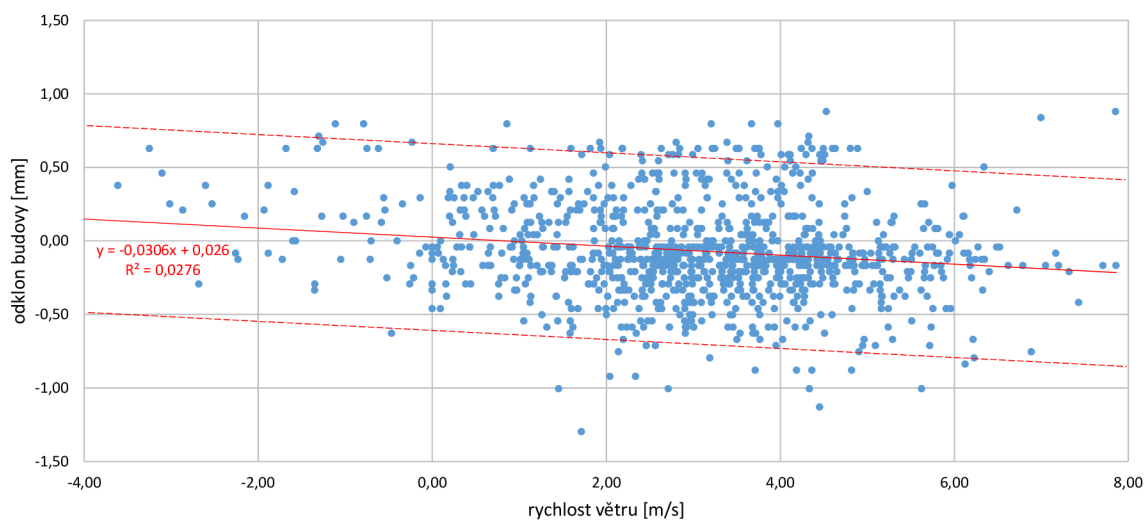
Histogram odklonu budovy



Obr. 6.22: Histogram odklonu budovy po dobu měření.

Obě proměnné byly testovány z hlediska normálního rozdělení, a to s využitím Kolmogorov – Smirnovova testu a Lillieforsova testu, přičemž oba testy potvrdily na hladině významnosti 0,01, že nesplňují nároky na normální rozdělení. Předpokládáme však, že tento fakt je dán především tím, že experimentální měření probíhalo relativně krátkou dobu, a že pro fyzikální veličiny je toto rozdělení v přírodě typické [17]. V navazující induktivní analýze šlo o analýzu vztahu mezi rychlostí větru jakožto nezávisle proměnnou a odklonem budovy jakožto závisle proměnnou. Pro analýzu byla použita metoda lineární regrese. Získanou hodnotu korelačního koeficientu  $r = -0,166$  lze interpretovat jako velmi slabou závislost mezi jevy. Na základě vytvořeného lineárního modelu se dále ukázalo, že ačkoli je tento model reálný (na základě analýzy rozptylu na hladině významnosti 0,01), odpovídá reálnému rozložení závisle proměnné pouze z 2,8%. Výsledný model je proto nutné považovat za hrubý odhad skutečnosti. Vztah mezi rychlostí větru a odklonem budovy vyjadřuje rovnice  $y = -0,0307x + 0,0263$ , pro rychlosti větru  $x \in \langle -7.86, 7.86 \rangle$ . Pokud se změní rychlost větru o 1 m/s, změní se odklon budovy o  $-0,03$  mm. Výsledek ukazuje graf na obr. 6.23, ve kterém je zároveň přerušovanými čarami vyznačen 95% interval spolehlivosti pro predikci skutečných hodnot odklonu budovy v závislosti na větru.

Závislost odklonu budovy na rychlosti větru ve směru západ-východ

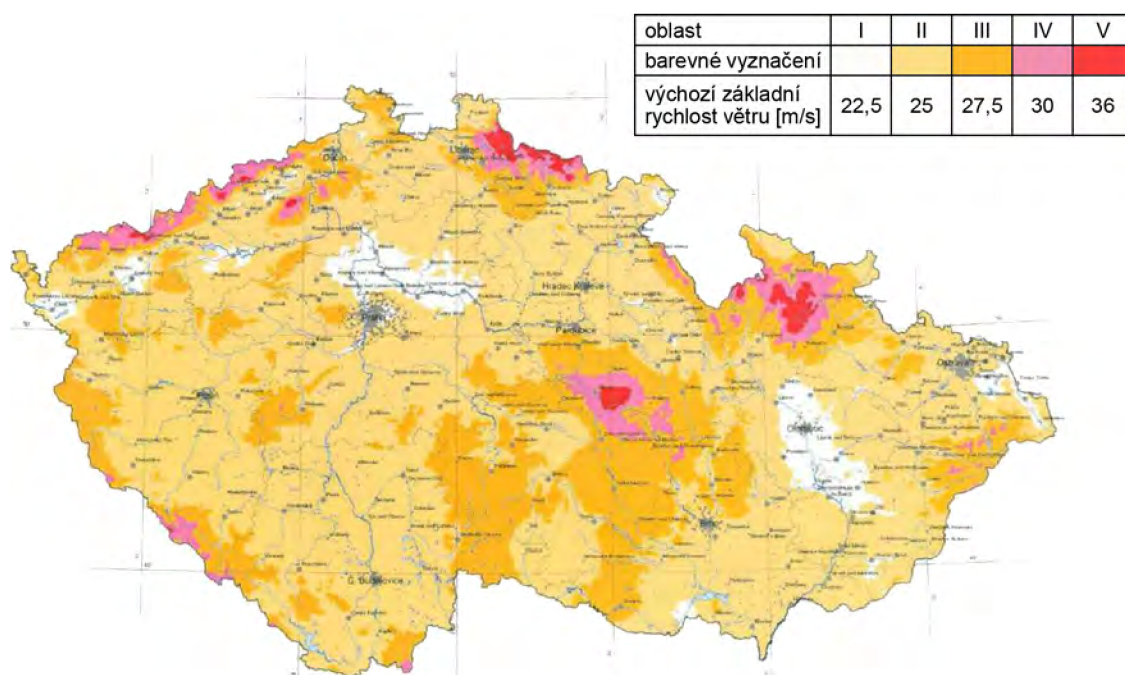


Obr. 6.23: Graf změřené závislosti odklonu budovy na rychlosti větru ve směru západ-východ.

Měřená závislost by mohla být patrnější při vyšších rychlostech větru, případně při větší výšce měřené budovy. Budova či stožár při zatížení větrem vykonává kmitavý pohyb a může docházet jak k vyrušení sil působícího větru a protisměrného



pohybu kmitu budovy, tak k jejich součtu. Můžeme však předpokládat, že se odklon budovy při extrémních rychlostech větru již nebude zvětšovat, neboť konstrukce dosáhne své maximální pružnosti. Se stále rostoucí rychlostí větru bude odklon konstantní až do chvíle, kdy bude překročena mez pevnosti konstrukce a dojde k její zřícení. Pravděpodobnost zřícení budovy vlivem silného větru je však velice malá, neboť se již během projekčních prací budovy počítá s působením vnějších vlivů, včetně silového působení větru. Pro ČR byla v roce 2006 Českým hydrometeorologickým ústavem zpracována mapa větrných oblastí s výchozí základní rychlostí větru, která udává charakteristickou desetiminutovou střední rychlost větru, ve výšce 10 m nad zemí (obr. 6.24).



Obr. 6.24: Mapa větrných oblastí na území ČR (převzato z [15]).

Tato mapa je podkladem pro dimenzování konstrukcí budov, které by měly odolat větru o rychlosti až 36 m/s. Dle Beaufortovy stupnice (tabulka 6.2) tuto rychlost představuje orkán s ničivými účinky. Proto můžeme rychlost větru 36 m/s považovat za mezní v našich podmínkách.

Předpokládaná závislost odklonu budovy na rychlosti větru do mezní rychlosti větru je zobrazena na obr. 6.25. Graf je rozdělen na tři oblasti. Oblast I je změřenou oblastí s lineární závislostí, oblast II zobrazuje nelineární závislost, která přechází na oblast III, ve které již není odklon budovy závislý na rychlosti větru. Pro různé budovy můžeme očekávat podobný tvar závislosti, ale s odlišnými velikostmi odklonu. Do rychlosti větru 10 m/s bude závislost lineární, od 10 m/s do 25 m/s se před-

Tab. 6.2: Beaufortova stupnice síly větru.

název	rychlost [m/s]	rychlost [km/h]
bezvětří	0 - 0,2	pod 1
vánek	0,3 - 1,5	1 - 5
vánek	0,3 - 1,5	1 - 5
mírný vítr	3,4 - 5,4	12 - 19
dosti čerstvý vítr	5,5 - 7,9	20 - 28
čerstvý vítr	8,0 - 10,7	29 - 38
silný vítr	10,8 - 13,8	39 - 49
prudký vítr	13,9 - 17,1	50 - 61
bouřlivý vítr	17,2 - 20,7	62 - 74
vichřice	20,8 - 24,4	75 - 88
silná vichřice	24,5 - 28,4	89 - 102
mohutná vichřice	28,5 - 32,6	103 - 117
orkán	nad 32,7	nad 118

pokládá nelineární závislost, kdy dochází k namáhání konstrukce na mez pružnosti. Při rychlostech větru nad 25 m/s je pružnost konstrukce překročena a její pevnost nedovoluje další odklon konstrukce. Pro měřenou budovu tedy předpokládáme její maximální odklon  $\Delta l = \pm 0,5$  mm. Po dosazení do rovnice 4.1 dostáváme

$$r = \frac{\Delta l^2 + h^2}{2\Delta l} = r = \frac{(0,5^{-3})^2 + 27^2}{2 \cdot 0,5} = 729000 \text{ m}, \quad (6.8)$$

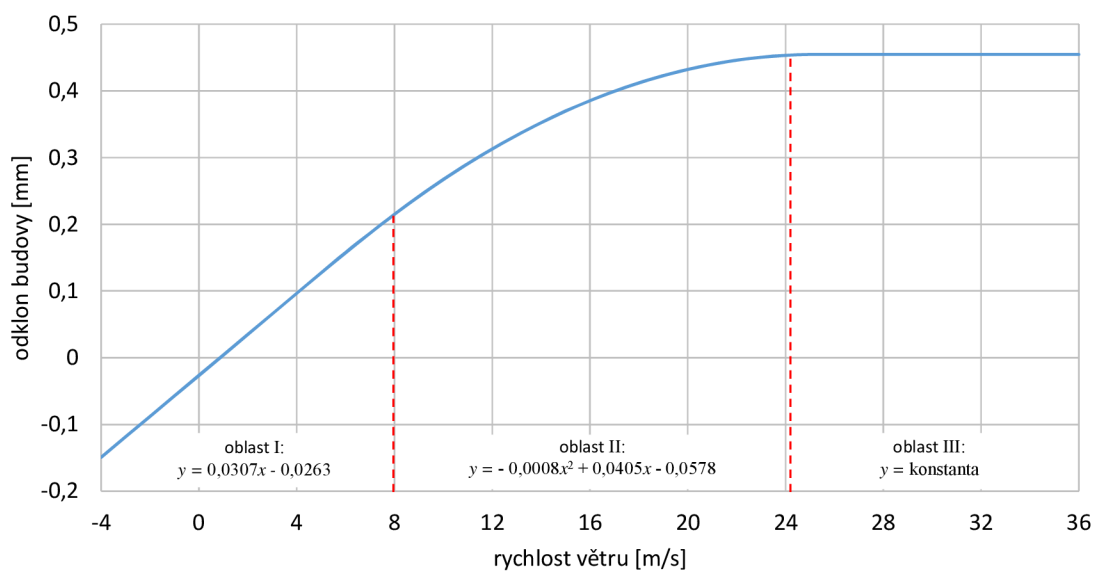
kde  $h$  je výška budovy.

Následně dosadíme do rovnice 4.2 a získáme úhlovou odchylku budovy:

$$\sin \alpha = \frac{h}{r} = \frac{27}{729000} = 3,7037^{-5} \quad \Rightarrow \quad \alpha = 0,037 \text{ mrad}, \quad (6.9)$$

Na základě získané úhlové odchylky budovy je nutné při umístění hlavice FSO na tuto budovu počítat s potřebnou divergencí optického svazku o velikosti nejméně 0,037 mrad.

Celková závislost odklonu budovy na rychlosti větru ve směru západ-východ



Obr. 6.25: Graf celkové závislosti odklonu budovy na rychlosti větru.

## 7 ZÁVĚR

Hlavním cílem této diplomové práce bylo stanovení metody měření pro určení odklonu optického svazku vlivem silného větru, který způsobuje nestabilitu budov a podpěrných konstrukcí (stožárů) využívaných pro umístění hlavic FSO spojů. Na základě této metody měření lze stanovit výchylku budovy a stožáru, která může být podkladem pro rozhodování o vhodnosti umístění optických hlavic, případně stanovení takových vlastností a parametrů optického svazku pro daný FSO spoj, aby nebyla ovlivněna jeho spolehlivost. Experimentálně byl změřen odklon budovy pomocí přijímače s PSD detektorem pouze v jednom směru. Pro celkové zmapování odklonu budovy nebo stožáru je nutné měřit odklony ve dvou směrech navzájem kolmých současně. Během tohoto měření byly synchronizovaně s odklonem budovy zaznamenávány údaje o rychlosti a směru větru s cílem určení závislosti měřeného odklonu na rychlosti větru. Z výsledků měření byla zjištěna lineární závislost do rychlosti větru 7,86 m/s. Pro větší rychlosti větru byla stanovena předpokládaná celková závislost odklonu měřené budovy na rychlosti větru a to až do maximální rychlosti větru vyskytující se na území ČR. Na základě výsledných maximálních odklonů a jim odpovídajících úhlových odchylek můžeme navrhnout parametry vysílacího světelného svazku tak, aby daný FSO spoj pracoval s požadovanou chybovostí. Pro měřenou budovu byla zjištěna maximální úhlová odchylka 0,037 mrad. Při umístění hlavice FSO na tuto budovu je proto nutné počítat s potřebnou divergencí optického svazku o velikosti nejméně 0,037 mrad. Stabilitu budov není možné zajistit a musíme počítat s jejich odklony. Stabilitu stožárů pro umístění optických pojítek můžeme ovlivnit mnohem lépe. Z hlediska odolnosti proti silnému větru nejsou pro montáž hlavic FSO spoje vhodné tyčové stožáry bez patřičného zavětrování. Vhodnější jsou svařované konstrukce pyramidového tvaru, které zajišťují větší stabilitu a odolnost vůči silnému větru. Případně lze stožár navíc ochránit zástěnami proti větru, které většinu silového působení větru absorbují. Proti vibracím, přenášejícím se z budovy na stožár, je dobré stožáry kotvit do budovy přes dilatační gumové podložky.

## LITERATURA

- [1] BOUCHET, O. et al. *Free-Space Optics: Propagation and Communication*. London: ISTE, 2006. ISBN 10: 1-905209-02-9.
- [2] SALEH, B. E. A. *Fundamentals of Photonics*. New York: Wiley, 1991. ISBN 0-471-83965-5.
- [3] WILFERT, O. *Kvantová a laserová elektronika*. Brno, 2012. ISBN 978-80-214-4493-5.
- [4] WILFERT, O. *Optoelektronika*. Brno, 2002. ISBN 80-214-2264-5.
- [5] KOECHNER, W. a BASS, M. *Solid-State Lasers: A Graduate Text*. New York, 2003. ISBN 0-387-95590-9.
- [6] RAIDA, Z., Multimediální učebnice elektromagnetických vln a mikrovlnné techniky [online]. ©2010 [cit. 2014-11-07]. Dostupné z: <<http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/multimedia/>>.
- [7] American Mathematical Society [online]. ©2014 [cit. 2014-11-08]. Dostupné z: <<http://www.ams.org/>>.
- [8] Joyful Physics [online]. ©2011 [cit. 2014-11-15]. Dostupné z: <<http://joyful-physics.blogspot.cz/>>.
- [9] Laser Focus World [online]. ©2014 [cit. 2014-11-24]. Dostupné z: <<http://www.laserfocusworld.com/>>.
- [10] TROJÁNEK, F., Studium gaussovských svazků [online]. [cit. 2014-11-24]. Dostupné z: <[http://physics.mff.cuni.cz/kchfo/ooe/pdf/praktika\\_gauss.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/kchfo/ooe/pdf/praktika_gauss.pdf)>.
- [11] ISO/TR 11146-3:2004. *Lasers and laser-related equipment — Test methods for laser beam widths, divergence angles and beam propagation ratios — Part 3: Intrinsic and geometrical laser beam classification, propagation and details of test methods*. 2004.
- [12] Laser Focus World [online]. ©2014 [cit. 2014-11-24]. Dostupné z: <<http://www.laserfocusworld.com/>>.
- [13] TOPCON CORPORATION [online]. ©2014 [cit. 2014-12-01]. Dostupné z: <<http://global.topcon.com/>>.
- [14] VACULÍN, T. *Optical beam position meter*. 2003.

- [15] ČSN EN 1991-1-4. *ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA - Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem*. 2007.
- [16] WindSonic [online]. [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: <<http://www.windsonic.cn/>>.
- [17] ČERNÝ, M., Zápis číselných hodnot a nejistoty měření [online]. [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <<http://physics.fme.vutbr.cz/~mcerny/vyuka/chyby.pdf>>.

## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

FSO	Free Space Optical Links – bezdrátové optické spoje
PSD	Position Sensitive Detector – polohově citlivý detektor
$\alpha, \alpha_b, \alpha_s$	úhlová odchylka (budovy, stožáru)
$\Delta h$	výšková odchylka
$\Delta l$	odklon konstrukce
$\Delta r$	šikmá odchylka konstrukce
$\Delta x, \Delta y$	odklon osy optického svazku
$\nabla^2$	Laplaceův operátor
$\zeta(z)$	fázové posunutí na ose Gaussova svazku
$\theta_0$	úhel divergence svazku
$\lambda$	vlnová délka
$\nu$	frekvence monochromatické vlny
$\xi$	konstanta fázového posunu
$\rho$	radiální vzdálenost v cylindrické souřadné soustavě
$\rho_s$	poloměr difrakčního obrazce v prvním intenzivním minimu
$\varphi(\vec{r})$	fáze monochromatické vlny
$\varphi, \varphi_x, \varphi_y$	úhlová odchylka osy optického svazku
$\omega$	úhlový kmitočet
$a$	poloměr kruhové apertury, šířka aktivní plochy fotodetektoru
$a(\vec{r})$	amplituda monochromatické vlny
$A$	komplexní obálka
$A_0, A_1$	konstanta
$A(\vec{r})$	modulovaná komplexní obálka
$b$	průměr kruhové apertury

$c$	rychlost šíření vlny ve volném prostoru, konstanta
$d$	vzdálenost stínítka od apertury, vzdálenost fotodetektoru od čočky
$d_1$	ohnisková vzdálenost čočky
$d_2$	vzdálenost fotodetektoru od ohniska čočky
$D$	průměr kruhové apertury, průměr čočky
$e, \exp$	exponent
$f$	ohnisková vzdálenost čočky
$F$	ohnisko čočky
$\vec{F}$	vektor silového působení větru na konstrukci
$h$	výška konstrukce (budovy, stožáru)
$l$	horizontální vzdálenost vysílače od průčelí budovy
$q(z)$	komplexní parametr Gaussova svazku
$I_0$	optická intenzita záření v ose Gaussova svazku
$I_i$	optická intenzita záření rovinné vlny
$I(\vec{r}), I$	optická intenzita záření
$j$	imaginární jednotka
$k$	vlnové číslo
$\vec{k}$	vlnový vektor
$N_F$	Fresnelovo číslo
$P$	optický výkon
$r$	vzdálenost od počátku šíření vlny, poloměr kružnice, šikmá délka
$R(z)$	poloměr křivosti vlnoplochy
$t$	čas
$U(\vec{r})$	komplexní amplituda
$W(z)$	pološířka svazku



$W_0$	středová pološířka svazku
$W$	výstupní napětí z přijímače fotodetektoru
$W_R$	relativní výstupní napětí z přijímače fotodetektoru
$x_s$	skutečný odklon osy optického svazku
$x, y, z$	kartézské souřadnice
$z_0$	Rayleighova vzdálenost
$\vec{u}, \vec{v}, \vec{w}$	vektory velikosti a směru větru

# SEZNAM PŘÍLOH

A Tabulky naměřených hodnot

58

# A TABULKY NAMĚŘENÝCH HODNOT

čas měření	směr větru [°]	rychlost větru [m/s]	rychlost větru ve směru odklonu [m/s]	hodnoty z PSD detektoru [V]	hodnoty k relativnímu středu -0,24V [V]	odchylka na PSD od rel. středu [mm]	skutečný odklon budovy [mm]
12:27:18	23	8,70	3,40	-0,38	-0,14	-0,17	-0,59
12:27:19	15	8,89	2,30	-0,38	-0,14	-0,17	-0,59
12:27:20	10	7,60	1,32	-0,38	-0,14	-0,17	-0,59
12:27:21	19	9,24	3,01	-0,38	-0,14	-0,17	-0,59
12:27:22	21	9,65	3,46	-0,38	-0,14	-0,17	-0,59
12:27:23	31	10,18	5,24	-0,38	-0,14	-0,17	-0,59
12:27:24	25	10,16	4,29	-0,38	-0,14	-0,17	-0,59
12:27:25	24	9,67	3,93	-0,38	-0,14	-0,17	-0,59
12:27:26	22	10,32	3,87	-0,38	-0,14	-0,17	-0,59
12:27:27	17	10,15	2,97	-0,37	-0,13	-0,16	-0,54
12:27:28	17	9,33	2,73	-0,38	-0,14	-0,17	-0,59
12:27:29	28	8,89	4,17	-0,38	-0,14	-0,17	-0,59
12:27:30	33	8,28	4,51	-0,39	-0,15	-0,18	-0,63
12:27:31	23	7,45	2,91	-0,39	-0,15	-0,18	-0,63
12:27:32	14	6,56	1,59	-0,39	-0,15	-0,18	-0,63
12:27:33	21	6,55	2,35	-0,39	-0,15	-0,18	-0,63
12:27:34	35	6,43	3,69	-0,39	-0,15	-0,18	-0,63
12:27:35	43	5,40	3,68	-0,38	-0,14	-0,17	-0,59
12:27:36	33	5,50	3,00	-0,36	-0,12	-0,14	-0,50
12:27:37	31	6,25	3,22	-0,36	-0,12	-0,14	-0,50
12:27:38	39	6,25	3,93	-0,35	-0,11	-0,13	-0,46
12:27:39	34	8,22	4,60	-0,36	-0,12	-0,14	-0,50
12:27:40	23	7,43	2,90	-0,37	-0,13	-0,16	-0,54
12:27:41	21	8,32	2,98	-0,37	-0,13	-0,16	-0,54
12:27:42	17	6,86	2,01	-0,36	-0,12	-0,14	-0,50
12:27:43	17	7,57	2,21	-0,34	-0,10	-0,12	-0,42
12:27:44	20	8,42	2,88	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:27:44	32	8,21	4,35	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:27:45	49	9,70	7,32	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:27:46	48	8,91	6,62	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:27:47	59	9,17	7,86	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:27:48	55	8,79	7,20	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:27:49	56	7,45	6,18	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:27:50	37	6,77	4,07	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:27:51	30	6,91	3,46	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:27:52	37	7,16	4,31	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:27:53	43	6,34	4,32	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:27:54	44	6,38	4,43	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:27:55	45	5,73	4,05	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:27:56	45	4,72	3,34	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:27:57	32	5,83	3,09	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:27:58	34	4,93	2,76	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:27:59	24	4,86	1,98	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:28:00	35	5,76	3,30	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:28:01	51	6,57	5,11	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:28:02	47	6,82	4,99	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:28:03	34	6,81	3,81	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:28:04	10	6,33	1,10	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:28:05	358	7,03	-0,25	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:28:06	8	4,85	0,67	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:28:07	3	4,72	0,25	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:28:08	49	3,42	2,58	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:28:09	40	5,63	3,62	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:28:10	38	8,03	4,94	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:28:11	28	8,95	4,20	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:28:12	19	10,46	3,41	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:28:13	22	10,36	3,88	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:28:14	28	10,31	4,84	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:28:15	29	10,26	4,97	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:28:16	19	9,59	3,12	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:28:17	17	9,34	2,73	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:28:18	21	9,75	3,49	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:28:19	16	10,86	2,99	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:28:20	20	10,18	3,48	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:28:21	37	10,24	6,16	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:28:22	36	10,40	6,11	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:28:23	34	9,92	5,55	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:28:24	32	10,04	5,32	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:28:25	30	10,26	5,13	-0,24	0,00	0,00	0,00
12:28:26	26	10,18	4,46	-0,24	0,00	0,00	0,00
12:28:27	26	8,33	3,65	-0,24	0,00	0,00	0,00
12:28:28	40	5,86	3,77	-0,24	0,00	0,00	0,00
12:28:29	31	7,07	3,64	-0,23	-0,01	0,01	0,04
12:28:30	31	8,97	4,62	-0,23	-0,01	0,01	0,04
12:28:31	22	9,85	3,69	-0,24	0,00	0,00	0,00
12:28:32	16	9,36	2,58	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:28:33	22	9,09	3,41	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:28:34	29	9,61	4,66	-0,27	-0,03	-0,03	-0,13
12:28:35	27	9,74	4,42	-0,28	-0,04	-0,04	-0,17
12:28:36	30	9,93	4,97	-0,28	-0,04	-0,04	-0,17
12:28:37	32	9,55	5,06	-0,28	-0,04	-0,04	-0,17
12:28:38	27	9,36	4,25	-0,27	-0,03	-0,03	-0,13
12:28:39	22	10,36	3,88	-0,27	-0,03	-0,03	-0,13
12:28:40	25	9,70	4,10	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:28:41	18	7,27	2,25	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:28:42	21	7,27	2,61	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:28:43	38	7,98	4,91	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:28:44	33	7,33	3,99	-0,27	-0,03	-0,03	-0,13
12:28:45	28	7,30	3,43	-0,27	-0,03	-0,03	-0,13
12:28:46	28	9,69	4,55	-0,27	-0,03	-0,03	-0,13
12:28:47	16	8,96	2,47	-0,27	-0,03	-0,03	-0,13
12:28:47	14	8,85	2,14	-0,28	-0,04	-0,04	-0,17
12:28:48	21	8,83	3,16	-0,30	-0,06	-0,06	-0,25
12:28:49	20	8,29	2,84	-0,31	-0,07	-0,07	-0,29
12:28:50	17	8,74	2,56	-0,22	0,02	0,02	0,08
12:28:51	19	7,93	2,58	-0,23	0,01	0,01	0,04
12:28:52	25	7,77	3,28	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:28:53	30	7,84	3,92	-0,27	-0,03	-0,03	-0,13
12:28:54	34	8,32	4,65	-0,29	-0,05	-0,05	-0,21
12:28:55	41	8,39	5,50	-0,29	-0,05	-0,05	-0,21
12:28:56	42	8,75	5,85	-0,29	-0,05	-0,05	-0,21
12:28:57	45	8,27	5,85	-0,28	-0,04	-0,04	-0,17
12:28:58	39	7,42	4,67	-0,27	-0,03	-0,03	-0,13
12:28:59	37	7,30	4,39	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:29:00	32	8,07	4,28	-0,27	-0,03	-0,03	-0,13
12:29:01	25	7,41	3,13	-0,27	-0,03	-0,03	-0,13
12:29:02	32	8,45	4,48	-0,28	-0,04	-0,04	-0,17
12:29:03	33	8,50	4,63	-0,28	-0,04	-0,04	-0,17
12:29:04	25	8,16	3,45	-0,28	-0,04	-0,04	-0,17
12:29:05	22	6,91	2,59	-0,28	-0,04	-0,04	-0,17
12:29:06	34	7,17	4,01	-0,27	-0,03	-0,03	-0,13
12:29:07	40	7,02	4,51	-0,27	-0,03	-0,03	-0,13
12:29:08	31	5,41	2,79	-0,27	-0,03	-0,03	-0,13
12:29:09	23	5,39	2,11	-0,27	-0,03	-0,03	-0,13
12:29:10	21	5,43	1,95	-0,27	-0,03	-0,03	-0,13
12:29:11	20	4,98	1,70	-0,27	-0,03	-0,03	-0,13
12:29:12	32	4,76	2,52	-0,27	-0,03	-0,03	-0,13
12:29:13	14	5,67	1,37	-0,29	-0,05	-0,05	-0,21
12:29:14	16	5,57	1,54	-0,29	-0,05	-0,05	-0,21
12:29:15	16	7,41	2,04	-0,29	-0,05	-0,05	-0,21
12:29:16	36	6,89	4,05	-0,28	-0,04	-0,04	-0,17
12:29:17	15	6,22	1,61	-0,28	-0,04	-0,04	-0,17
12:29:18	37	6,12	3,68	-0,28	-0,04	-0,04	-0,17
12:29:19	25	6,40	2,70	-0,27	-0,03	-0,03	-0,13
12:29:20	17	5,47	1,60	-0,29	-0,05	-0,05	-0,21
12:29:21	7	6,85	0,83	-0,30	-0,06	-0,06	-0,25
12:29:22	9	6,22	0,97	-0,32	-0,08	-0,08	-0,33
12:29:23	358	6,07	-0,21	-0,30	-0,06	-0,06	-0,25
12:29:24	14	5,25	1,27	-0,29	-0,05	-0,05	-0,21
12:29:25	20	3,92	1,34	-0,28	-0,04	-0,04	-0,17
12:29:26	33	4,67	2,54	-0,30	-0,06	-0,06	-0,25
12:29:27	32	6,46	3,42	-0,31	-0,07	-0,07	-0,29
12:29:28	32	6,96	3,69	-0,30	-0,06	-0,06	-0,25
12:29:29	30	7,40	3,70	-0,30	-0,06	-0,06	-0,25
12:29:30	36	7,00	4,11	-0,29	-0,05	-0,05	-0,21
12:29:31	46	7,66	5,51	-0,27	-0,03	-0,03	-0,13
12:29:32	50	7,32	5,61	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:29:33	52	7,36	5,80	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:29:34	52	4,79	3,77	-0,28	-0,04	-0,04	-0,17
12:29:35	35	5,88	3,37	-0,28	-0,04	-0,04	-0,17
12:29:36	23	5,84	2,28	-0,29	-0,05	-0,05	-0,21
12:29:37	13	5,57	1,25	-0,29	-0,05	-0,05	-0,21
12:29:38	32	5,91	3,13	-0,29	-0,05	-0,05	-0,21
12:29:39	37	5,94	3,57	-0,33	-0,09	-0,09	-0,38

Obr. A.1: Tabulka naměřených hodnot - část 1.

čas měření	směr větru [°]	rychlost větru [m/s]	rychlost větru ve směru odklonu [m/s]	hodnoty z PSD detektoru [V]	hodnoty k relativnímu středu -0,24V [V]	odchylka na PSD od rel. středu [mm]	skutečný odklon budovy [mm]
12:29:40	30	4,83	2,42	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:29:41	37	4,97	2,99	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:29:42	52	5,40	4,26	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:29:43	34	4,90	2,74	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:29:44	38	5,03	3,10	-0,19	0,05	0,06	0,21
12:29:45	36	6,01	3,53	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:29:46	27	5,93	2,69	-0,33	-0,09	-0,11	-0,38
12:29:47	17	5,36	1,57	-0,34	-0,10	-0,12	-0,42
12:29:48	42	5,01	3,35	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:29:49	45	4,55	3,22	-0,33	-0,09	-0,11	-0,38
12:29:50	24	3,51	1,43	-0,33	-0,09	-0,11	-0,38
12:29:50	35	5,65	3,24	-0,33	-0,09	-0,11	-0,38
12:29:51	31	6,01	3,10	-0,34	-0,10	-0,12	-0,42
12:29:52	36	5,46	3,21	-0,34	-0,10	-0,12	-0,42
12:29:53	47	3,97	2,90	-0,34	-0,10	-0,12	-0,42
12:29:54	47	2,76	2,02	-0,33	-0,09	-0,11	-0,38
12:29:55	27	4,90	2,22	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:29:56	28	6,22	2,92	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:29:57	21	6,16	2,21	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:29:58	34	6,19	3,46	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:29:59	35	5,79	3,32	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:30:00	35	4,90	2,81	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:30:01	26	4,56	2,00	-0,35	-0,11	-0,13	-0,46
12:30:02	34	4,72	2,64	-0,35	-0,11	-0,13	-0,46
12:30:03	15	6,18	1,60	-0,35	-0,11	-0,13	-0,46
12:30:04	27	6,62	3,01	-0,34	-0,10	-0,12	-0,42
12:30:05	37	6,52	3,92	-0,33	-0,09	-0,11	-0,38
12:30:06	38	6,88	4,24	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:30:07	34	7,57	4,23	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:30:08	32	6,75	3,58	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:30:09	26	6,21	2,72	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:30:10	19	5,73	1,87	-0,24	0,00	0,00	0,00
12:30:11	13	5,38	1,21	-0,23	0,01	0,01	0,04
12:30:12	1	5,60	0,10	-0,24	0,00	0,00	0,00
12:30:13	6	6,20	0,65	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:30:14	11	5,32	1,02	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:30:15	4	5,56	0,39	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:30:16	1	5,46	0,10	-0,35	-0,11	-0,13	-0,46
12:30:17	6	4,25	0,44	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:30:18	4	4,11	0,29	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:30:19	18	3,78	1,17	-0,23	0,01	0,01	0,04
12:30:20	26	3,76	1,65	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:30:21	36	3,55	2,09	-0,35	-0,11	-0,13	-0,46
12:30:22	37	4,92	2,96	-0,36	-0,12	-0,14	-0,50
12:30:23	46	4,93	3,55	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:30:24	38	3,95	2,43	-0,38	-0,14	-0,17	-0,59
12:30:25	34	4,00	2,24	-0,38	-0,14	-0,17	-0,59
12:30:26	22	3,37	1,26	-0,36	-0,12	-0,14	-0,50
12:30:27	28	5,63	2,64	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:30:28	44	5,60	3,89	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:30:29	46	5,21	3,75	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:30:30	27	5,34	2,42	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:30:31	35	4,70	2,70	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:30:32	42	5,14	3,44	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:30:33	58	4,95	4,20	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:30:34	44	4,90	3,40	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:30:35	23	4,71	1,84	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:30:36	41	5,68	3,73	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:30:37	42	6,31	4,22	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:30:38	39	7,28	4,58	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:30:39	45	8,23	5,82	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:30:40	48	8,50	6,32	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:30:41	41	7,84	5,14	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:30:42	25	7,55	3,19	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:30:43	19	6,98	2,27	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:30:44	1	7,33	0,13	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:30:45	14	6,59	1,59	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:30:46	14	5,97	1,44	-0,37	-0,13	-0,16	-0,54
12:30:47	15	6,48	1,68	-0,35	-0,11	-0,13	-0,46
12:30:48	36	6,80	4,00	-0,33	-0,09	-0,11	-0,38
12:30:49	37	7,92	4,77	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:30:50	43	7,14	4,87	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:30:51	46	6,22	4,47	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:30:52	41	5,14	3,37	-0,24	0,00	0,00	0,00
12:30:53	46	4,49	3,23	-0,24	0,00	0,00	0,00
12:30:53	37	4,49	2,70	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:30:54	33	5,32	2,90	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:30:55	30	5,09	2,55	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:30:56	21	5,04	1,81	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:30:57	22	5,05	1,89	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:30:58	21	5,79	2,07	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:30:59	35	6,90	3,96	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:31:00	27	7,36	3,34	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:31:01	34	6,44	3,60	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:31:02	28	6,01	2,82	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:31:03	33	7,27	3,96	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:31:04	39	6,73	4,24	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:31:05	40	6,39	4,11	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:31:06	35	6,59	3,78	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08

čas měření	směr větru [°]	rychlost větru [m/s]	rychlost větru ve směru odklonu [m/s]	hodnoty z PSD detektoru [V]	hodnoty k relativnímu středu -0,24V [V]	odchylka na PSD od rel. středu [mm]	skutečný odklon budovy [mm]
12:31:07	33	6,11	3,33	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:31:08	30	5,97	2,99	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:31:09	30	6,23	3,12	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:31:10	28	5,91	2,77	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:31:11	32	6,02	3,19	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:31:12	28	5,65	2,65	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:31:13	25	7,03	2,97	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:31:14	23	7,10	2,77	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:31:15	20	6,82	2,33	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:31:16	22	6,71	2,51	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:31:17	19	7,54	2,45	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:31:18	23	7,63	2,98	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:31:19	27	7,32	3,32	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:31:20	25	7,04	2,98	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:31:21	18	7,05	2,18	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:31:22	21	6,89	2,47	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:31:23	25	7,09	3,00	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:31:24	39	6,54	4,12	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:31:25	38	7,06	4,35	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:31:26	29	7,13	3,46	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:31:27	19	6,59	2,15	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:31:28	16	6,96	1,92	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:31:29	8	6,94	0,97	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:31:30	358	7,35	-0,26	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:31:31	350	7,76	-1,35	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:31:32	350	7,78	-1,35	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:31:33	9	6,74	1,05	-0,37	-0,13	-0,16	-0,54
12:31:34	31	7,01	3,61	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:31:35	31	7,59	3,91	-0,24	0,00	0,00	0,00
12:31:36	28	7,29	3,42	-0,22	0,02	0,02	0,08
12:31:37	36	6,66	3,91	-0,20	0,04	0,05	0,17
12:31:38	44	6,67	4,63	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:31:39	46	8,62	6,20	-0,20	-0,06	-0,07	-0,25
12:31:40	47	10,16	7,43	-0,34	-0,10	-0,12	-0,42
12:31:41	45	8,95	6,33	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:31:42	45	7,95	5,62	-0,18	0,06	0,07	0,25
12:31:43	36	9,73	5,72	-0,41	-0,17	-0,20	-0,71
12:31:44	31	11,06	5,70	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:31:45	40	10,97	7,05	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:31:46	37	10,18	6,13	-0,44	-0,20	-0,24	-0,84
12:31:47	15	8,28	2,14	-0,42	-0,18	-0,22	-0,75
12:31:48	18	8,31	2,57	-0,41	-0,17	-0,20	-0,71
12:31:49	43	7,47	5,09	-0,41	-0,17	-0,20	-0,71
12:31:50	37	8,25	4,96	-0,40	-0,16	-0,19	-0,67
12:31:51	34	10,06	5,63	-0,48	-0,24	-0,29	-1,00
12:31:52	40	9,51	6,11	-0,20	0,04	0,05	0,17
12:31:53	44	9,13	6,34	-0,12	0,12	0,14	0,50
12:31:54	55	7,05	5,78	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:31:55	54	5,36	4,34	-0,48	-0,24	-0,29	-1,00
12:31:56	43	6,53	4,45	-0,51	-0,27	-0,32	-1,13
12:31:56	45	7,18	5,08	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:31:57	27	8,25	3,75	-0,35	-0,11	-0,13	-0,46
12:31:58	357	8,90	-0,47	-0,39	-0,15	-0,18	-0,63
12:31:59	32	9,26	4,91	-0,42	-0,18	-0,22	-0,75
12:32:00	39	9,88	6,22	-0,40	-0,16	-0,19	-0,67
12:32:01	42	8,24	5,51	-0,37	-0,13	-0,16	-0,54
12:32:02	43	7,69	5,24	-0,35	-0,11	-0,13	-0,46
12:32:03	38	6,83	4,20	-0,35	-0,11	-0,13	-0,46
12:32:04	29	6,21	3,01	-0,34	-0,10	-0,12	-0,42
12:32:05	25	8,32	3,52	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:32:06	23	9,52	3,72	-0,39	-0,15	-0,18	-0,63
12:32:07	21	8,74	3,13	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:32:08	31	8,12	4,18	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29

čas měření	směr větru [°]	rychlost větru [m/s]	rychlost větru ve směru odklonu [m/s]	hodnoty z PSD detektoru [V]	hodnoty k relativnímu středu -0,24V [V]	odchylka na PSD od rel. středu [mm]	skutečný odklon budovy [mm]
12:32:35	44	7,07	4,91	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:32:36	40	5,34	3,43	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:32:37	47	4,79	3,50	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:32:38	40	7,01	4,51	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:32:39	37	8,53	5,13	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:32:40	40	7,52	4,83	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:32:41	40	7,08	4,55	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:32:42	35	8,02	4,60	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:32:43	44	7,45	5,18	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:32:44	25	5,35	2,26	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:32:45	10	7,93	1,38	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:32:46	29	7,99	3,87	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:32:47	41	5,82	3,82	-0,21	0,03	0,04	0,13
12:32:48	40	8,26	5,31	-0,20	0,04	0,05	0,17
12:32:49	29	8,16	3,96	-0,14	0,10	0,12	0,42
12:32:50	31	7,48	3,85	-0,12	0,12	0,14	0,50
12:32:51	30	7,06	3,53	-0,13	0,11	0,13	0,46
12:32:52	25	7,33	3,10	-0,14	0,10	0,12	0,42
12:32:53	23	7,80	3,05	-0,22	0,02	0,02	0,08
12:32:54	24	8,34	3,39	-0,21	0,03	0,04	0,13
12:32:55	23	8,00	3,13	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:32:56	21	7,81	2,80	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:32:57	22	7,08	2,65	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:32:58	22	7,02	2,63	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:32:59	28	6,30	2,96	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:33:00	21	6,81	2,44	-0,24	0,00	0,00	0,00
12:33:00	14	6,52	1,58	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:33:01	13	6,22	1,40	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:33:02	21	6,03	2,16	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:33:03	25	6,12	2,59	-0,19	0,05	0,06	0,21
12:33:04	33	7,19	3,92	-0,23	0,01	0,01	0,04
12:33:05	31	6,95	3,58	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:33:06	29	6,57	3,19	-0,14	0,10	0,12	0,42
12:33:07	23	6,08	2,38	-0,14	0,10	0,12	0,42
12:33:08	14	5,68	1,37	-0,16	0,08	0,10	0,33
12:33:09	10	6,47	1,12	-0,18	0,06	0,07	0,25
12:33:10	29	8,91	4,32	-0,22	0,02	0,02	0,08
12:33:11	47	8,58	6,28	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:33:12	50	8,15	6,24	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:33:13	53	7,95	6,35	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:33:14	49	6,86	5,18	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:33:15	40	5,93	3,81	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:33:16	41	6,80	4,46	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:33:17	42	6,21	4,16	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:33:18	37	5,67	3,41	-0,22	0,02	0,02	0,08
12:33:19	37	6,16	3,71	-0,21	0,03	0,04	0,13
12:33:20	28	6,20	2,91	-0,15	0,09	0,11	0,38
12:33:21	6	7,41	0,77	-0,15	0,09	0,11	0,38
12:33:22	20	7,34	2,51	-0,18	0,06	0,07	0,25
12:33:23	16	6,16	1,70	-0,19	0,05	0,06	0,21
12:33:24	2	5,74	0,20	-0,20	0,04	0,05	0,17
12:33:25	3	6,19	0,32	-0,19	0,05	0,06	0,21
12:33:26	13	6,56	1,48	-0,17	0,07	0,08	0,29
12:33:27	6	6,15	0,64	-0,16	0,08	0,10	0,33
12:33:28	335	6,16	-2,60	-0,15	0,09	0,11	0,38
12:33:29	305	3,68	-3,01	-0,18	0,06	0,07	0,25
12:33:30	326	3,37	-1,88	-0,15	0,09	0,11	0,38
12:33:31	347	2,47	-0,56	-0,17	0,07	0,08	0,29
12:33:32	22	3,75	1,40	-0,16	0,08	0,10	0,33
12:33:33	23	5,34	2,09	-0,17	0,07	0,08	0,29
12:33:34	30	6,88	3,44	-0,14	0,10	0,12	0,42
12:33:35	31	7,22	3,72	-0,16	0,08	0,10	0,33
12:33:36	29	8,35	4,05	-0,16	0,08	0,10	0,33
12:33:37	30	7,95	3,98	-0,17	0,07	0,08	0,29
12:33:38	21	8,76	3,14	-0,15	0,09	0,11	0,38
12:33:39	36	10,17	5,98	-0,15	0,09	0,11	0,38
12:33:40	28	9,52	4,47	-0,11	0,13	0,16	0,54
12:33:41	15	7,70	1,99	-0,12	0,12	0,14	0,50
12:33:42	25	9,59	4,05	-0,12	0,12	0,14	0,50
12:33:43	26	9,65	4,23	-0,13	0,11	0,13	0,46
12:33:44	24	8,68	3,53	-0,17	0,07	0,08	0,29
12:33:45	30	8,02	4,01	-0,18	0,06	0,07	0,25
12:33:46	20	8,66	2,96	-0,21	0,03	0,04	0,13
12:33:47	27	8,29	3,76	-0,21	0,03	0,04	0,13
12:33:48	25	7,80	3,30	-0,22	0,02	0,02	0,08
12:33:49	28	8,18	3,84	-0,22	0,02	0,02	0,08
12:33:50	23	7,93	3,10	-0,22	0,02	0,02	0,08
12:33:51	32	6,96	3,69	-0,23	0,01	0,01	0,04
12:33:52	37	5,90	3,55	-0,23	0,01	0,01	0,04
12:33:53	40	6,92	4,45	-0,21	0,03	0,04	0,13
12:33:54	39	6,64	4,18	-0,20	0,04	0,05	0,17
12:33:55	35	6,71	3,85	-0,21	0,03	0,04	0,13
12:33:56	10	6,28	1,09	-0,18	0,06	0,07	0,25
12:33:57	356	4,85	-0,34	-0,18	0,06	0,07	0,25
12:33:58	354	5,18	-0,54	-0,19	0,05	0,06	0,21
12:33:59	359	7,81	-0,14	-0,17	0,07	0,08	0,29
12:34:00	3	7,01	0,37	-0,17	0,07	0,08	0,29
12:34:01	12	6,93	1,44	-0,18	0,06	0,07	0,25
12:34:02	35	6,59	3,78	-0,17	0,07	0,08	0,29

čas měření	směr větru [°]	rychlost větru [m/s]	rychlost větru ve směru odklonu [m/s]	hodnoty z PSD detektoru [V]	hodnoty k relativnímu středu -0,24V [V]	odchylka na PSD od rel. středu [mm]	skutečný odklon budovy [mm]
12:34:02	18	7,12	2,20	-0,17	0,07	0,08	0,29
12:34:03	9	6,76	1,06	-0,17	0,07	0,08	0,29
12:34:04	2	7,25	0,25	-0,17	0,07	0,08	0,29
12:34:05	4	6,80	0,47	-0,17	0,07	0,08	0,29
12:34:06	13	5,49	1,23	-0,20	0,04	0,05	0,17
12:34:07	15	4,23	1,09	-0,21	0,03	0,04	0,13
12:34:08	15	5,94	1,54	-0,21	0,03	0,04	0,13
12:34:09	10	5,83	1,01	-0,23	0,01	-0,01	-0,04
12:34:10	25	5,41	2,29	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:34:11	20	6,38	2,18	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:34:12	23	5,78	2,26	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:34:13	25	5,96	2,52	-0,22	0,02	0,02	0,08
12:34:14	33	6,63	3,61	-0,21	0,03	0,04	0,13
12:34:15	24	7,09	2,88	-0,19	0,05	0,06	0,21
12:34:16	26	6,30	2,76	-0,18	0,06	0,07	0,25
12:34:17	30	4,04	2,02	-0,17	0,07	0,08	0,29
12:34:18	2	5,86	0,20	-0,16	0,08	0,10	0,33
12:34:19	19	7,02	2,29	-0,15	0,09	0,11	0,38
12:34:20	31	6,78	3,49	-0,15	0,09	0,11	0,38
12:34:21	19	5,49	1,79	-0,16	0,08	0,10	0,33
12:34:22	21	5,34	1,91	-0,15	0,09	0,11	0,38
12:34:23	24	6,33	2,57	-0,16	0,08	0,10	0,33
12:34:24	33	6,59	3,59	-0,15	0,09	0,11	0,38
12:34:25	35	6,93	3,97	-0,16	0,08	0,10	0,33
12:34:26	26	6,66	2,92	-0,14	0,10	0,12	0,42
12:34:27	26	7,21	3,16	-0,14	0,10	0,12	0,42
12:34:28	23	6,68	2,61	-0,14	0,10	0,12	0,42
12:34:29	29	6,00	2,91	-0,13	0,11	0,13	0,46
12:34:30	38	6,52	4,01	-0,15	0,09	0,11	0,38
12:34:31	25	4,68	1,98	-0,18	0,06	0,07	0,25
12:34:32	22	5,81	2,18	-0,20	0,04	0,05	0,17
12:34:33	5	4,47	0,39	-0,20	0,04	0,05	0,17
12:34:34	21	6,14	2,20	-0,19	0,05	0,06	0,21
12:34:35	32	7,83	4,15	-0,20	0,04	0,05	0,17
12:34:36	34	7,32	4,09	-0,20	0,04	0,05	0,17
12:34:37	26	6,28	2,75	-0,24	0,00	0,00	0,00
12:34:38	24	6,02	2,45	-0,24	0,00	0,00	0,00
12:34:39	23	7,28	2,84	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:34:40	31	6,74	3,47	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:34:41	20	7,43	2,54	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:34:42	15	7,21	1,87	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:34:43	17	7,26	2,12	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:34:44	19	6,35	2,07	-0,24	0,00	0,00	0,00
12:34:45	34	7,44	4,16	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:34:46	44	7,46	5,18	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:34:47	50	7,73	5,92	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:34:48	40	7,40	4,76	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:34:49	39	7,34	4,62	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:34:50	37	6,15	3,70	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:34:51	25	5,49	2,32	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:34:52	24	5,11	2,08	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:34:53	29	5,37	2,60	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:34:54	28	5,84	2,74	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:34:55	32	6,17	3,27	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:34:56	45	6,62	4,68	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:34:57	38	7,41	4,56	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:34:58	32	6,73	3,57	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:34:59	38	6,89	4,24	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:35:00	39	7,69	4,84	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:35:01	36	7,31	4,30	-0,22	0,02	0,02	0,08
12:35:02	38	6,67	4,11	-0,20	0,04	0,05	0,17
12:35:03	15	6,08	1,57	-0,16	0,08	0,10	0,33
12:35:04	14	6,42	1,55	-0,20	0,04	0,05	0,17
12							

čas měření	směr větru [°]	rychlost větru [m/s]	rychlost větru ve směru odklonu [m/s]	hodnoty z PSD detektoru [V]	hodnoty k relativnímu středu -0,24V [V]	odchylka na PSD od rel. středu [mm]	skutečný odklon budovy [mm]
12:35:30	43	6,75	4,60	-0,09	0,15	0,18	0,63
12:35:31	18	6,23	1,93	-0,08	0,16	0,19	0,67
12:35:32	7	5,77	0,70	-0,09	0,15	0,18	0,63
12:35:33	46	5,69	4,09	-0,10	0,14	0,17	0,59
12:35:34	40	5,88	3,78	-0,10	0,14	0,17	0,59
12:35:35	34	6,47	3,62	-0,11	0,13	0,16	0,54
12:35:36	37	7,53	4,53	-0,03	0,21	0,25	0,88
12:35:37	25	7,59	3,21	-0,05	0,19	0,23	0,80
12:35:38	11	8,37	1,60	-0,09	0,15	0,18	0,63
12:35:39	14	6,51	1,57	-0,14	0,10	0,12	0,42
12:35:40	32	8,24	4,37	-0,17	0,07	0,08	0,29
12:35:41	52	8,53	6,72	-0,19	0,05	0,06	0,21
12:35:42	46	7,35	5,29	-0,21	0,03	0,04	0,13
12:35:43	59	5,96	5,11	-0,21	0,03	0,04	0,13
12:35:44	24	5,92	2,41	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:35:45	30	6,77	3,39	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:35:46	43	8,09	5,52	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:35:47	38	7,80	4,80	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:35:48	38	7,11	4,38	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:35:49	40	5,88	3,78	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:35:50	26	6,74	2,95	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:35:51	32	7,11	3,77	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:35:52	21	7,42	2,66	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:35:53	12	6,91	1,44	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:35:54	32	6,79	3,60	-0,23	0,01	0,01	0,04
12:35:55	43	6,60	4,50	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:35:56	53	5,14	4,10	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:35:57	56	4,53	3,76	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:35:58	62	4,85	4,28	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:35:59	68	5,68	5,27	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:36:00	87	4,46	4,45	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:36:01	53	0,99	0,79	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:36:02	25	6,07	2,57	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:36:03	22	7,06	2,64	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:36:04	28	6,84	3,21	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:36:05	25	6,22	2,63	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:36:06	30	5,49	2,75	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:36:07	49	5,86	4,42	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:36:08	31	5,95	3,06	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:36:08	24	7,09	2,88	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:36:09	20	5,70	1,95	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:36:10	30	5,08	2,54	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:36:11	21	6,31	2,26	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:36:12	27	6,56	2,98	-0,33	-0,09	-0,11	-0,38
12:36:13	18	6,90	2,13	-0,34	-0,10	-0,12	-0,42
12:36:14	23	7,54	2,95	-0,34	-0,10	-0,12	-0,42
12:36:15	35	7,32	4,20	-0,33	-0,09	-0,11	-0,38
12:36:16	35	6,41	3,68	-0,34	-0,10	-0,12	-0,42
12:36:17	34	7,14	3,99	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:36:18	45	8,00	5,66	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:36:19	45	7,13	5,04	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:36:20	52	7,46	5,88	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:36:21	49	6,39	4,82	-0,45	-0,21	-0,25	-0,88
12:36:22	35	7,61	4,36	-0,45	-0,21	-0,25	-0,88
12:36:23	22	8,27	3,10	-0,37	-0,13	-0,16	-0,54
12:36:24	27	7,55	3,43	-0,36	-0,12	-0,14	-0,50
12:36:25	40	7,21	4,63	-0,09	0,15	0,18	0,63
12:36:26	30	7,52	3,76	-0,09	0,15	0,18	0,63
12:36:27	31	7,13	3,67	-0,18	0,06	0,07	0,25
12:36:28	30	6,67	3,34	-0,18	0,06	0,07	0,25
12:36:29	27	6,21	2,82	-0,22	0,02	0,02	0,08
12:36:30	41	6,67	4,38	-0,22	0,02	0,02	0,08
12:36:31	51	6,24	4,85	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:36:32	55	6,29	5,15	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:36:33	45	6,85	4,84	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:36:34	0	6,17	0,00	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:36:35	8	5,50	0,77	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:36:36	0	5,08	0,00	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:36:37	11	5,95	1,14	-0,33	-0,09	-0,11	-0,38
12:36:38	28	5,97	2,80	-0,35	-0,11	-0,13	-0,46
12:36:39	32	5,48	2,90	-0,35	-0,11	-0,13	-0,46
12:36:40	30	4,35	2,18	-0,38	-0,14	-0,17	-0,59
12:36:41	36	4,22	2,48	-0,37	-0,13	-0,16	-0,54
12:36:42	38	4,73	2,91	-0,38	-0,14	-0,17	-0,59
12:36:43	48	4,65	3,46	-0,36	-0,12	-0,14	-0,50
12:36:44	44	3,45	2,40	-0,37	-0,13	-0,16	-0,54
12:36:45	31	5,10	2,63	-0,34	-0,10	-0,12	-0,42
12:36:46	28	6,80	3,19	-0,43	-0,19	-0,23	-0,80
12:36:47	22	6,57	2,46	-0,41	-0,17	-0,20	-0,71
12:36:48	18	7,11	2,20	-0,40	-0,16	-0,19	-0,67
12:36:49	12	7,00	1,46	-0,48	-0,24	-0,29	-1,00
12:36:50	24	5,75	2,34	-0,46	-0,22	-0,26	-0,92
12:36:51	28	8,24	3,87	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:36:52	36	9,25	5,44	-0,33	-0,09	-0,11	-0,38
12:36:53	37	8,58	5,16	-0,35	-0,11	-0,13	-0,46
12:36:54	47	7,87	5,76	-0,35	-0,11	-0,13	-0,46
12:36:55	40	5,74	3,69	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:36:56	19	4,68	1,52	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:36:57	11	5,48	1,05	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08

čas měření	směr větru [°]	rychlost větru [m/s]	rychlost větru ve směru odklonu [m/s]	hodnoty z PSD detektoru [V]	hodnoty k relativnímu středu -0,24V [V]	odchylka na PSD od rel. středu [mm]	skutečný odklon budovy [mm]
12:36:58	25	5,67	2,40	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:36:59	26	5,47	2,40	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:37:00	40	4,50	2,89	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:37:01	44	4,41	3,06	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:37:02	40	5,51	3,54	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:37:03	43	5,88	4,01	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:37:04	46	7,16	5,15	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:37:05	40	7,39	4,75	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:37:06	40	6,72	4,32	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:37:07	37	5,86	3,53	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:37:08	26	6,10	2,67	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:37:09	21	5,69	2,04	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:37:10	35	6,52	3,74	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:37:11	51	7,96	6,19	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:37:12	46	7,87	5,66	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:37:13	39	7,72	4,86	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:37:14	22	6,85	2,57	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:37:15	23	7,63	2,98	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:37:16	32	8,16	4,32	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:37:17	29	8,37	4,06	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:37:18	17	7,45	2,18	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:37:19	12	8,04	1,67	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:37:20	8	7,70	1,07	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:37:21	7	7,29	0,89	-0,14	0,10	0,12	0,42
12:37:22	28	6,74	3,16	-0,17	0,07	0,08	0,29
12:37:23	18	7,02	2,17	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:37:24	30	6,81	3,41	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:37:25	27	7,58	3,44	-0,33	-0,09	-0,11	-0,38
12:37:26	22	7,95	2,98	-0,34	-0,10	-0,12	-0,42
12:37:26	29	8,83	4,28	-0,33	-0,09	-0,11	-0,38
12:37:27	36	8,56	5,03	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:37:28	17	9,30	2,72	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:37:29	21	9,50	3,40	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:37:30	26	9,19	4,03	-0,40	-0,16	-0,19	-0,67
12:37:31	24	8,58	3,49	-0,35	-0,11	-0,13	-0,46
12:37:32	29	9,50	4,61	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:37:33	30	9,91	4,96	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:37:34	33	9,57	5,21	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:37:35	40	8,95	5,75	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:37:36	40	8,24	5,30	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:37:37	39	8,36	5,26	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:37:38	29	8,97	4,35	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:37:39	22	8,84	3,31	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:37:40	33	7,74	4,22	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:37:41	32	6,75	3,58	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:37:42	25	7,47	3,16	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:37:43	31	7,03	3,62	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:37:44	42	6,30	4,22	-0,24	0,00	0,00	0,00
12:37:45	45	6,05	4,28	-0,23	0,01	0,01	0,04
12:37:46	48	5,98	4,44	-0,23	0,01	0,01	0,04
12:37:47	55	6,37	5,22	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:37:48	52	5,69	4,48	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:37:49	42	6,44	4,31	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:37:50	36	7,53	4,43	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:37:51	3	6,46	0,34	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:37:52	0	5,49	0,00	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:37:53	37	5,22	3,14	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:37:54	26	4,36	1,91	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:37:55	34	5,62	3,14	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:37:56	39	6,85	4,31	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:37:57	35	7,44	4,27	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:37:58	37	6,90	4,15	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:37:59	32	6,38	3,38	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:38:00							

čas měření	směr větru [°]	rychlost větru [m/s]	rychlost větru ve směru odklonu [m/s]	hodnoty z PSD detektoru [V]	hodnoty k relativnímu středu -0,24V [V]	odchylna na PSD od rel. středu [mm]	skutečný odklon budovy [mm]
12:38:26	32	3,65	1,93	-0,19	0,05	0,06	0,21
12:38:27	63	2,37	2,11	-0,20	0,04	0,05	0,17
12:38:28	44	3,83	2,66	-0,19	0,05	0,06	0,21
12:38:29	51	4,64	3,61	-0,17	0,07	0,08	0,29
12:38:29	40	2,62	1,68	-0,18	0,06	0,07	0,25
12:38:30	21	3,26	1,17	-0,15	0,09	0,11	0,38
12:38:31	14	2,18	0,53	-0,16	0,08	0,10	0,33
12:38:32	34	1,26	0,70	-0,15	0,09	0,11	0,38
12:38:33	46	2,87	2,06	-0,15	0,09	0,11	0,38
12:38:34	50	6,53	5,00	-0,16	0,08	0,10	0,33
12:38:35	25	5,59	2,36	-0,19	0,05	0,06	0,21
12:38:36	10	5,45	0,95	-0,24	0,00	0,00	0,00
12:38:37	10	6,36	1,10	-0,23	0,01	0,01	0,04
12:38:38	35	5,50	3,15	-0,24	0,00	0,00	0,00
12:38:39	34	5,96	3,33	-0,20	0,04	0,05	0,17
12:38:40	20	6,06	2,07	-0,22	0,02	0,02	0,08
12:38:41	23	6,37	2,49	-0,21	0,03	0,04	0,13
12:38:42	35	5,00	2,87	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:38:43	39	4,78	3,01	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:38:44	35	4,85	2,78	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:38:45	29	5,31	2,57	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:38:46	26	4,94	2,17	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:38:47	8	4,33	0,60	-0,20	0,04	0,05	0,17
12:38:48	14	3,39	0,82	-0,22	0,02	0,02	0,08
12:38:49	18	4,65	1,44	-0,23	0,01	0,01	0,04
12:38:50	6	4,59	0,48	-0,23	0,01	0,01	0,04
12:38:51	25	4,94	2,09	-0,22	0,02	0,02	0,08
12:38:52	24	4,75	1,93	-0,21	0,03	0,04	0,13
12:38:53	18	4,35	1,34	-0,21	0,03	0,04	0,13
12:38:54	3	3,55	0,19	-0,17	0,07	0,08	0,29
12:38:55	13	3,82	0,86	-0,05	0,19	0,23	0,80
12:38:56	356	3,30	-0,23	-0,08	0,16	0,19	0,67
12:38:57	309	4,18	-3,25	-0,09	0,15	0,18	0,63
12:38:58	325	1,94	-1,11	-0,05	0,19	0,23	0,80
12:38:59	340	2,30	-0,79	-0,05	0,19	0,23	0,80
12:39:00	328	2,37	-1,26	-0,08	0,16	0,19	0,67
12:39:01	314	1,81	-1,30	-0,07	0,17	0,20	0,71
12:39:02	318	1,97	-1,32	-0,09	0,15	0,18	0,63
12:39:03	347	3,32	-0,75	-0,09	0,15	0,18	0,63
12:39:04	331	3,46	-1,68	-0,09	0,15	0,18	0,63
12:39:05	345	2,38	-0,62	-0,09	0,15	0,18	0,63
12:39:06	53	2,74	2,19	-0,09	0,15	0,18	0,63
12:39:07	50	3,70	2,83	-0,10	0,14	0,17	0,59
12:39:08	56	5,90	4,89	-0,09	0,15	0,18	0,63
12:39:09	40	6,99	4,49	-0,11	0,13	0,16	0,54
12:39:10	37	6,84	4,12	-0,10	0,14	0,17	0,59
12:39:11	33	6,22	3,39	-0,13	0,11	0,13	0,46
12:39:12	38	5,04	3,10	-0,13	0,11	0,13	0,46
12:39:13	36	5,17	3,04	-0,13	0,11	0,13	0,46
12:39:14	19	5,70	1,86	-0,13	0,11	0,13	0,46
12:39:15	24	5,93	2,41	-0,13	0,11	0,13	0,46
12:39:16	26	5,48	2,40	-0,10	0,14	0,17	0,59
12:39:17	20	5,03	1,72	-0,10	0,14	0,17	0,59
12:39:18	13	5,02	1,13	-0,09	0,15	0,18	0,63
12:39:19	22	7,03	2,63	-0,09	0,15	0,18	0,63
12:39:20	29	7,71	3,74	-0,09	0,15	0,18	0,63
12:39:21	34	7,97	4,46	-0,10	0,14	0,17	0,59
12:39:22	40	7,02	4,51	-0,10	0,14	0,17	0,59
12:39:23	38	7,26	4,47	-0,11	0,13	0,16	0,54
12:39:24	43	7,05	4,81	-0,09	0,15	0,18	0,63
12:39:25	39	6,83	4,30	-0,10	0,14	0,17	0,59
12:39:26	33	6,81	3,71	-0,09	0,15	0,18	0,63
12:39:27	26	6,40	2,81	-0,08	0,16	0,19	0,67
12:39:28	26	6,97	3,06	-0,09	0,15	0,18	0,63
12:39:29	22	5,83	2,18	-0,09	0,15	0,18	0,63
12:39:30	28	5,79	2,72	-0,10	0,14	0,17	0,59
12:39:31	29	5,37	2,60	-0,11	0,13	0,16	0,54
12:39:32	34	4,95	2,77	-0,10	0,14	0,17	0,59
12:39:33	33	4,44	2,42	-0,11	0,13	0,16	0,54
12:39:34	32	4,92	2,61	-0,13	0,11	0,13	0,46
12:39:35	35	5,91	3,39	-0,08	0,16	0,19	0,67
12:39:36	37	6,10	3,67	-0,05	0,19	0,23	0,80
12:39:37	47	5,92	4,33	-0,07	0,17	0,20	0,71
12:39:38	45	4,99	3,53	-0,09	0,15	0,18	0,63
12:39:39	35	4,26	2,44	-0,14	0,10	0,12	0,42
12:39:40	16	4,25	1,17	-0,17	0,07	0,08	0,29
12:39:41	11	3,66	0,70	-0,17	0,07	0,08	0,29
12:39:42	9	3,66	0,57	-0,19	0,05	0,06	0,21
12:39:43	19	3,88	1,26	-0,21	0,03	0,04	0,13
12:39:44	31	2,82	1,45	-0,21	0,03	0,04	0,13
12:39:45	33	2,08	1,13	-0,21	0,03	0,04	0,13
12:39:46	352	2,89	-0,40	-0,24	0,00	0,00	0,00
12:39:47	1	3,50	0,06	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:39:48	4	3,44	0,24	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:39:49	336	2,58	-1,05	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:39:50	54	2,29	1,85	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:39:51	49	2,29	1,73	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:39:52	44	3,90	2,71	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:39:53	43	4,41	3,01	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04

čas měření	směr větru [°]	rychlost větru [m/s]	rychlost větru ve směru odklonu [m/s]	hodnoty z PSD detektoru [V]	hodnoty k relativnímu středu -0,24V [V]	odchylna na PSD od rel. středu [mm]	skutečný odklon budovy [mm]
12:39:54	35	4,88	2,80	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:39:55	32	5,29	2,80	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:39:56	33	5,37	2,92	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:39:56	46	5,68	4,09	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:39:57	43	6,06	4,13	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:39:58	44	5,49	3,81	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:39:59	35	4,80	2,75	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:40:00	32	4,66	2,47	-0,24	0,00	0,00	0,00
12:40:01	34	4,49	2,51	-0,23	0,01	0,01	0,04
12:40:02	31	3,94	2,03	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:40:03	22	3,39	1,27	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:40:04	18	3,53	1,09	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:40:05	34	3,73	2,09	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:40:06	27	4,01	1,82	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:40:07	30	5,04	2,52	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:40:08	30	4,26	2,13	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:40:09	32	4,55	2,41	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:40:10	33	6,76	3,68	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:40:11	35	7,83	4,49	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:40:12	28	7,89	3,70	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:40:13	19	8,68	2,83	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:40:14	15	8,69	2,25	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:40:15	17	7,87	2,30	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:40:16	7	8,61	1,05	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:40:17	3	8,26	0,43	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:40:18	20	4,65	1,59	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:40:19	3	4,44	0,23	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:40:20	11	4,92	0,94	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:40:21	11	5,08	0,97	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:40:22	18	3,58	1,11	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:40:23	25	9,48	4,01	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:40:24	15	9,90	2,56	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:40:25	24	9,41	3,83	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:40:26	31	9,33	4,81	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:40:27	31	8,87	4,57	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:40:28	27	9,06	4,11	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:40:29	35	9,01	5,17	-0,33	-0,09	-0,11	-0,38
12:40:30	39	9,04	5,69	-0,33	-0,09	-0,11	-0,38
12:40:31	29	8,58	4,16	-0,34	-0,10	-0,12	-0,42
12:40:32	26	8,68	3,81	-0,34	-0,10	-0,12	-0,42
12:40:33	25	8,02	3,39	-0,34	-0,10	-0,12	-0,42
12:40:34	22	7,88	2,95	-0,33	-0,09	-0,11	-0,38
12:40:35	34	7,64	4,27	-0,34	-0,10	-0,12	-0,42
12:40:36	28	7,71	3,62	-0,33	-0,09	-0,11	-0,38
12:40:37	29	7,27	3,52	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:40:38	26	7,57	3,32	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:40:39	32	6,59	3,49	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:40:40	30	7,57	3,79	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:40:41	35	7,43	4,26	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:40:42	32	7,56	4,01	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:40:43	34	7,49	4,19	-0,45	-0,21	-0,25	-0,88
12:40:44	29	7,66	3,71	-0,45	-0,21	-0,25	-0,88
12:40:45	32	7,11	3,77	-0,40	-0,16	-0,19	-0,67
12:40:46	39	6,48	4,08	-0,37	-0,13	-0,16	-0,54
12:40:47	43	6,55	4,47	-0,36	-0,12	-0,14	-0,50
12:40:48	42	8,40	5,62	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:40:49	37	7,47	4,50	-0,09	0,15	0,18	0,63
12:40:50	33	7,79	4,24	-0,09	0,15	0,18	0,63
12:40:51	38	7,10	4,37	-0,13	0,11	0,13	0,46
12:40:52	35	8,27	4,74	-0,18	0,06	0,07	0,25
12:40:53	33	8,17	4,45	-0,18	0,06	0,07	0,25
12:40:54	24	6,93	2,82	-0,19	0,05	0,06	0,21
12:40:55	26	6,97	3,06	-0,22	0,02	0,02	0,08

čas měření	směr větru [°]	rychlost větru [m/s]	rychlost větru ve směru odklonu [m/s]	hodnoty z PSD detektoru [V]	hodnoty k relativnímu středu -0,24V [V]	odchylka na PSD od rel. středu [mm]	skutečný odklon budovy [mm]
12:41:21	59	4,61	3,95	-0,41	-0,17	-0,20	-0,71
12:41:22	81	5,36	5,29	-0,40	-0,16	-0,19	-0,67
12:41:23	60	1,98	1,71	-0,55	-0,31	-0,37	-1,30
12:41:24	27	5,98	2,71	-0,48	-0,24	-0,29	-1,00
12:41:25	18	6,61	2,04	-0,46	-0,22	-0,26	-0,92
12:41:26	29	7,30	3,54	-0,39	-0,15	-0,18	-0,63
12:41:27	31	8,04	4,14	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:41:28	20	7,07	2,42	-0,33	-0,09	-0,11	-0,38
12:41:29	21	7,19	2,58	-0,34	-0,10	-0,12	-0,42
12:41:30	19	7,31	2,38	-0,35	-0,11	-0,13	-0,46
12:41:31	17	6,53	1,91	-0,35	-0,11	-0,13	-0,46
12:41:32	24	6,02	2,45	-0,33	-0,09	-0,11	-0,38
12:41:33	19	6,64	2,16	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:41:34	32	7,91	4,19	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:41:35	41	6,16	4,04	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:41:36	36	4,62	2,72	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:41:37	15	4,31	1,12	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:41:38	0	3,75	0,00	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:41:39	17	3,88	1,13	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:41:40	33	6,49	3,53	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:41:41	33	9,13	4,97	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:41:42	31	8,51	4,38	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:41:43	37	9,52	5,73	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:41:44	33	8,46	4,61	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:41:45	24	9,90	4,03	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:41:46	10	10,34	1,80	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:41:47	7	8,25	1,01	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:41:48	20	5,89	2,01	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:41:49	18	4,04	1,25	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:41:50	43	8,01	5,46	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:41:51	44	11,10	7,71	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:41:52	27	9,15	4,15	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:41:53	26	8,57	3,76	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:41:54	30	8,87	4,44	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:41:55	37	9,02	5,43	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:41:56	41	10,35	6,79	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:41:57	42	9,57	6,40	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:41:58	37	9,59	5,77	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:41:59	17	11,02	3,22	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:42:00	13	9,99	2,25	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:42:01	25	8,48	3,58	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:42:02	28	8,53	4,00	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:42:03	23	7,79	3,04	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:42:04	9	7,98	1,25	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:42:05	1	9,09	0,16	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:42:06	357	9,91	-0,52	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:42:07	345	10,36	-2,68	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:42:08	2	9,49	0,33	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:42:09	31	8,99	4,63	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:42:10	31	7,79	4,01	-0,10	0,14	0,17	0,59
12:42:11	10	7,18	1,25	-0,14	0,10	0,12	0,42
12:42:12	14	7,67	1,86	-0,17	0,07	0,08	0,29
12:42:13	15	7,51	1,94	-0,20	0,04	0,05	0,17
12:42:14	12	7,79	1,62	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:42:15	7	6,58	0,80	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:42:16	13	5,37	1,21	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:42:17	1	9,57	0,17	-0,33	-0,09	-0,11	-0,38
12:42:17	7	9,25	1,13	-0,34	-0,10	-0,12	-0,42
12:42:18	0	8,14	0,00	-0,35	-0,11	-0,13	-0,46
12:42:19	11	7,48	1,43	-0,33	-0,09	-0,11	-0,38
12:42:20	7	7,78	0,95	-0,32	-0,08	-0,10	-0,33
12:42:21	12	8,94	1,86	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:42:22	20	9,79	3,35	-0,31	-0,07	-0,08	-0,29
12:42:23	31	10,15	5,23	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:42:24	31	9,61	4,95	-0,41	-0,17	-0,20	-0,71
12:42:25	22	9,35	3,50	-0,40	-0,16	-0,19	-0,67
12:42:26	14	10,75	2,60	-0,35	-0,11	-0,13	-0,46
12:42:27	18	10,31	3,19	-0,33	-0,09	-0,11	-0,38
12:42:28	34	9,79	5,47	-0,30	-0,06	-0,07	-0,25
12:42:29	23	10,88	4,25	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:42:30	28	10,55	4,95	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:42:31	18	10,26	3,17	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:42:32	14	9,83	2,38	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:42:33	1	8,80	0,15	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:42:34	355	8,17	-0,71	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:42:35	41	6,76	4,43	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:42:36	42	5,33	3,57	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:42:37	38	7,52	4,63	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:42:38	37	8,56	5,15	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:42:39	26	7,00	3,07	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:42:40	31	8,10	4,17	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:42:41	0	6,78	0,00	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:42:42	33	6,28	3,42	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:42:43	35	6,35	3,64	-0,24	0,00	0,00	0,00
12:42:44	31	6,67	3,44	-0,24	0,00	0,00	0,00
12:42:45	41	7,20	4,72	-0,23	0,01	0,01	0,04
12:42:46	40	6,18	3,97	-0,24	0,00	0,00	0,00
12:42:47	35	5,32	3,05	-0,23	0,01	0,01	0,04
12:42:48	36	5,28	3,10	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04

čas měření	směr větru [°]	rychlost větru [m/s]	rychlost větru ve směru odklonu [m/s]	hodnoty z PSD detektoru [V]	hodnoty k relativnímu středu -0,24V [V]	odchylka na PSD od rel. středu [mm]	skutečný odklon budovy [mm]
12:42:49	33	5,81	3,16	-0,24	0,00	0,00	0,00
12:42:50	32	7,73	4,10	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:42:51	34	8,57	4,79	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:42:52	37	7,62	4,59	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:42:53	38	6,82	4,20	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:42:54	38	6,00	3,69	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:42:55	39	5,12	3,22	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:42:56	31	5,56	2,86	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:42:57	15	4,94	1,28	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:42:58	346	2,90	-0,70	-0,24	0,00	0,00	0,00
12:42:59	262	1,90	-1,88	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:43:00	286	2,35	-2,26	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:49:12	314	3,10	-2,23	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:49:13	336	4,23	-1,72	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:49:14	53	4,96	3,96	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:49:15	27	5,28	2,40	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:49:16	27	5,99	2,72	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:49:17	31	7,23	3,72	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:49:18	7	5,30	0,65	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:49:19	1	4,03	0,07	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:49:20	358	4,11	-0,14	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:49:21	359	4,07	-0,07	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:49:22	7	3,55	0,43	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:49:23	19	3,21	1,05	-0,27	-0,03	-0,04	-0,13
12:49:24	45	3,44	2,43	-0,28	-0,04	-0,05	-0,17
12:49:25	58	3,93	3,33	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:49:26	35	4,35	2,50	-0,29	-0,05	-0,06	-0,21
12:49:27	3	3,98	0,21	-0,12	0,12	0,14	0,50
12:49:28	30	5,07	2,54	-0,13	0,11	0,13	0,46
12:49:29	19	4,23	1,38	-0,16	0,08	0,10	0,33
12:49:30	25	4,92	2,08	-0,20	0,04	0,05	0,17
12:49:31	36	5,47	3,22	-0,24	0,00	0,00	0,00
12:49:32	32	5,76	3,05	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:49:33	35	4,99	2,86	-0,26	-0,02	-0,02	-0,08
12:49:34	12	3,22	0,67	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:49:35	24	6,04	2,46	-0,25	-0,01	-0,01	-0,04
12:49:36	33	6,65	3,62	-0,22	0,02	0,02	0,08
12:49:37	48	6,98	5,19	-0,23	0,01	0,01	0,04
12:49:38	34	3,56	1,99	-0,22	0,02	0,02	0,08
12:49:39	29	7,98	3,87	-0,21	0,03	0,04	0,13
12:49:40	14	8,04	1,95	-0,21	0,03	0,04	0,13
12:49:41	5	7,62	0,66	-0,22	0,02	0,02	0,08
12:49:42	352	6,46	-0,90	-0,21	0,03	0,04	0,13
12:49:43	341	6,62	-2,16	-0,20	0,04	0,05	0,17
12:49:44	335	4,57	-1,93	-0,19	0,05	0,06	0,21
12:49:44	4	4,71	0,33	-0,19	0,05	0,06	0,21
12:49:45	10	5,44	0,94	-0,18	0,06	0,07	0,25
12:49:46	10	6,49	1,13	-0,18	0,06	0,07	0,25
12:49:47	22	7,05	2,64	-0,19	0,05	0,06	0,21
12:49:48	8	5,14	0,72	-0,19	0,05	0,06	0,21
12:49:49	351	4,82	-0,75	-0,20	0,04	0,05	0,17
12:49:50	346	5,24	-1,27	-0,20	0,04	0,05	0,17
12:49:51	349	5,36	-1,02	-0,20	0,04	0,05	0,17
12:49:52	355	6,67	-0,58	-0,21	0,03	0,04	0,13
12:49:53	7	5,98	0,73	-0,20	0,04	0,05	0,17
12:49:54	20	4,65	1,59	-0,19	0,05	0,06	0,21
12:49:55	22	4,43	1,66	-0,19	0,05	0,06	0,21
12:49:56	38	4,20	2,59	-0,20	0,04	0,05	0,17
12:49:57	55	3,86	3,16	-0,17	0,07	0,08	0,29
12:49:58	31	1,78	0,92	-0,19	0,05	0,06	0,21
12:49:59	40	4,40	2,83	-0,17	0,07	0,08	0,29
12:50:00	46	6,71	4,83	-0,17	0,07	0,08	0,29
12:50:01	47	7,74	5,66	-0,18	0,06	0,07	0,25