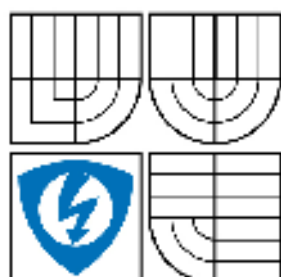


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

MONITOROVÁNÍ NAMÁHÁNÍ STOŽÁRŮ VN

MONITORING STRESS IN THE MAST

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

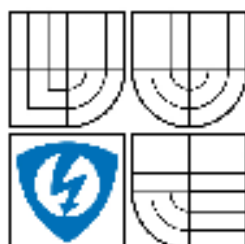
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ BEDNÁŘ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. LUDVÍK BEJČEK, CSc.

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Tomáš Bednář
Ročník: 3

ID: 97903
Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Monitorování namáhání stožárů vn

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s problematikou měření a vyhodnocování namáhání stožárů vn a vvn. Shromážděte podklady o stávajícím řešení (včetně výrobců a uživatelů). Srovnajte a vyhodnoťte tyto informace a navrhněte řešení, které bude odpovídat konkrétnímu zadání. Dbajte pokynů vedoucího a konzultanta!

Konzultant: Doc. Ing. L. Pospíchal, CSc. - Mega Brno

DOPORUČENÁ LITERATURA:

KREIDL, M.- ŠMÍD R.: Technická diagnostika - senzory, metody, analýza signálu. BEN 2006, ISBN / EAN 80-7300-158-6 / 9788073001582

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 1.6.2009

Vedoucí práce: doc. Ing. Ludvík Bejčák, CSc.

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

ABSTRAKT

Tématem této bakalářské práce je problematika měření a vyhodnocování namáhání stožárů vysokého a velmi vysokého napětí. Uvedeno je zde i řešení dané problematiky, včetně výrobce a uživatelů. Cílem je navržení snímačů pro dané měření a provedení praktického měření na konkrétním stožáru velmi vysokého napětí.

KLÍČOVÁ SLOVA

Anemometr, klimatické vlivy, mechanické napětí, plný můstek, stožár velmi vysokého napětí, tenzometr, teplota, vítr, vibrace.

ABSTRACT

The subject of this bachelor's thesis is an issue of measurement and monitoring stressing in the mast – high voltage and very high voltage. The solution of query, including the producer and the users, is also presented. The aim of this thesis is to propose sensors for this measurement and making practical measurement of the concrete very high voltage mast.

KEYWORDS

Anemometer, climatic effects, mechanical tension, full bridge, very high voltage mast, strain gauge, temperature, wind, vibration.

CITACE

BEDNÁŘ, T. *Monitorování namáhání stožárů vn.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 82 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Ludvík Bejček, CSc.

PROHLÁŠENÍ

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma *Monitorování namáhání stožárů vn* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne: **1. června 2009**

.....
podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Ludvíku Bejčkovi, CSc. a konzultantovi doc. Ing. Ladislavu Pospíchalovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: **1. června 2009**

.....
podpis autora

OBSAH

1.ÚVOD	13
1.1 CÍL PRÁCE	13
2. ROZBOR [19, 21]	15
2.1 MECHANIKA VENKOVNÍCH VEDENÍ [19, 20]	16
2.1.1 Ocelové stožáry [1, 11, 15, 16, 17]	17
2.1.2 Základy stožárů [11, 21]	21
2.1.3 Vodiče [11, 19, 20]	22
2.1.4 Izolátory [11]	23
2.2 KLIMATICKÉ VLIVY	24
2.2.1 Teplota [22]	24
2.2.2 Vlhkost [22]	25
2.2.3 Vítr [6]	25
2.2.4 Námraza [22]	26
2.3 HAVÁRIE [7]	28
2.4 MĚŘENÉ VELIČINY	29
2.4.1 Mechanické napětí [2, 3, 8]	30
2.4.2 Vibrace [5]	34
2.4.3 Teplota [2, 3]	39
2.4.4 Vítr	41
2.5 MONITOROVÁNÍ VENKOVNÍCH VEDENÍ V PRAXI	42
3. MĚŘENÍ	43
3.1 STOŽÁR	44
3.2 MONITOROVACÍ ZAŘÍZENÍ	45
3.2.1 Umístění monitorovacího zařízení	45
3.2.2 Vnitřní vybavení a zapojení monitorovacího zařízení	46
3.2.3 Umístění a popis snímačů	54

3.3	MĚŘENÍ SLEDOVANÝCH VELIČIN	59
3.3.1	Měření v ose vedení	60
3.3.2	Měření kolmo na vedení	65
3.3.3	Poruchy měření	68
3.4	MĚŘENÍ VIBRACÍ [13]	70
4.	NÁVRH ŘEŠENÍ A ZHODNOCENÍ MĚŘENÍ	75
4.1	MĚŘENÍ MECHANICKÉHO NAPĚTÍ	75
4.2	MĚŘENÍ VIBRACÍ	76
4.3	MĚŘENÍ TEPLoty	77
4.4	MĚŘENÍ VĚTRU	78
4.5	ZHODNOCENÍ MĚŘENÍ	78
5.	ZÁVĚR	80
6.	LITERATURA	81

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1 Venkovní vedení vvn.	15
Obrázek 2.2 Celková délka vedení vvn v letech 1957 až 2007. [21]	16
Obrázek 2.3 Stožár vvn typu soudek – nosný a kotevní. [21]	19
Obrázek 2.4 Části ocelového stožáru. [11]	20
Obrázek 2.5 Typy ocelových stožárů – konstrukce. [11]	20
Obrázek 2.6 Betonové základy stožáru vvn. [21]	21
Obrázek 2.7 Svazkové vodiče.	23
Obrázek 2.8 Způsob uchycení vodiče k izolátoru. [11]	24
Obrázek 2.9 Větrová mapa ČR. [22]	25
Obrázek 2.10 Podmínky vzniku námrazku. [22]	27
Obrázek 2.11 Ukázky poškození stožárů. [7]	29
Obrázek 2.12 Fóliové tenzometry firmy HBM. [10]	31
Obrázek 2.13 Zapojení plného můstku s pomocnými odpory. [3]	33
Obrázek 2.14 Měření ohybu na nosníku tenzometry. [3]	34
Obrázek 2.15 Model absolutního snímače vibrací. [5]	35
Obrázek 2.16 Amplitudová frekvenční charakteristika (a) a fázová frekvenční (b) charakteristika absolutního snímače. [5]	36
Obrázek 2.17 Piezoelektrický akcelerometr s tlakovým namáháním. [12]	38
Obrázek 2.18 Piezoelektrický akcelerometr se smykovým namáháním. [12]	38
Obrázek 2.19 Teplotní závislost odporových snímačů teploty. [3]	40
Obrázek 2.20 Základní zapojení odporových čidel do můstku. [9]	40
Obrázek 2.21 Miskový anemometr firmy J. Tlustýák Praha. [Příloha 3]	41
Obrázek 3.1 Poloha stožáru.	43
Obrázek 3.2 Monitorovaný stožár.	44
Obrázek 3.3 Stožár dvojité soudek nosný (vedení 2x 110 kV). [17]	45
Obrázek 3.4 Umístění skříně na stojce stožáru.	46
Obrázek 3.5 Rozmístění jednotlivých komponent ve skříně.	47
Obrázek 3.6 Zesilovač pro tenzometrický most. [4]	48
Obrázek 3.7 Teplotní převodník INPAL 75.	49

Obrázek 3.8 Převodník pro anemometr WD420.	49
Obrázek 3.9 Univerzální monitor MEg40.	50
Obrázek 3.10 Schéma zapojení napájecí části a Univerzálního monitoru MEg40.	51
Obrázek 3.11 Schéma zapojení Zesilovače pro tenzometrický most.	52
Obrázek 3.12 Schéma zapojení teplotního převodníku INPAL 75.	53
Obrázek 3.13 Schéma zapojení převodníku WD420 a anemometru W2t.	54
Obrázek 3.14 Umístění tenzometrů na úhelníku stojky.	55
Obrázek 3.15 Umístění tenzometrů na stojce stožáru.	55
Obrázek 3.16 Schéma zapojení plného můstku.	57
Obrázek 3.17 Umístění anemometru.	58
Obrázek 3.18 Upevnění anemometru.	59
Obrázek 3.19 Umístění zavlhklých tenzometrů.	68
Obrázek 3.20 Poškozený tenzometr.	69
Obrázek 3.21 MĚŘIČ VIBRACÍ MV-4.	70
Obrázek 3.22 Umístění snímače na jednotlivých stranách.	71

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1 Vlastnosti námrazku. [22]	28
Tabulka 2.2 Parametry slitin používaných pro kovové tenzometry. [2]	31
Tabulka 3.1 Naměřené hodnoty v ose vedení.	63
Tabulka 3.2 Vypočtené hodnoty v ose vedení.	64
Tabulka 3.3 Naměřené hodnoty kolmo na vedení.	66
Tabulka 3.4 Vypočtené hodnoty kolmo na vedení.	67
Tabulka 3.5 Hodnoty měření vibrací od 8 hod. do 9 hod. souběžně s vedením.	72
Tabulka 3.6 Hodnoty měření vibrací od 8 hod. do 9 hod. kolmo k vedení.	72
Tabulka 3.7 Hodnoty měření vibrací od 12 hod. do 13 hod. souběžně s vedením.	73
Tabulka 3.8 Hodnoty měření vibrací od 12 hod. do 13 hod. kolmo k vedení.	73
Tabulka 3.9 Hodnoty měření vibrací od 18 hod. do 19 hod. souběžně s vedením.	74
Tabulka 3.10 Hodnoty měření vibrací od 18 hod. do 19 hod. kolmo k vedení.	74

SEZNAM PŘÍLOH

- [1] Přenosová síť 400 a 220 kV České republiky.
- [2] Informační leták Stanice METEO.
- [3] Souprava pro měření směru a rychlosti větru.
- [4] Grafy s výsledky měření ze dne 15.4.2009 (od 17:30 do 23:59)
- [5] Grafy s výsledky měření ze dne 16.4.2009 (od 0:00 do 11:59)
- [6] Grafy s výsledky měření ze dne 16.4.2009 (od 12:00 do 23:59)
- [7] Grafy s výsledky měření ze dne 17.4.2009 (od 0:00 do 13:00)
- [8] Grafy s výsledky měření ze dne 22.4.2009 (od 11:30 do 23:59)
- [9] Grafy s výsledky měření ze dne 23.4.2009 (od 0:00 do 10:00)
- [10] Grafy s výsledky měření ze dne 24.4.2009 (od 15:45 do 23:59)
- [11] Grafy s výsledky měření ze dne 25.4.2009 (od 0:00 do 11:59)
- [12] Grafy s výsledky měření ze dne 25.4.2009 (od 12:00 do 23:59)
- [13] Grafy s výsledky měření ze dne 26.4.2009 (od 0:00 do 11:59)
- [14] Grafy s výsledky měření ze dne 26.4.2009 (od 14:10 do 23:59)
- [15] Kalibrační list akcelerometru SV 128

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

p	tlak plynu	[Pa]
V	objem plynu	[m ³]
R_p	univerzální plynová konstanta	[J.mol ⁻¹ .K ⁻¹]
T	absolutní teplota	[K]
R	nominální odpor tenzometru v základním nenamáhaném stavu ($F = 0$ N)	[Ω]
ΔR	změna odporu tenzometru	[Ω]
U_D	výstupní napětí z můstku	[V]
U	napájecí napětí	[V]
K_U	můstková konstanta	[–]
N	nelinearita	[–]
P	odpor přívodů od můstkového zdroje	[Ω]
K	součinitel deformační citlivosti	[–]
Ψ	normovaná frekvence	[Hz]
B	poměrné tlumení	[–]
σ	mechanické napětí v příslušném směru	[Pa]
E	modul pružnosti	[Pa]
ε	poměrná deformace (prodloužení)	[–]
ε_v	výsledná poměrná deformace	[–]
ε_i	indikovaná (měřená) poměrná deformace	[–]
ε_{iM}	indikovaná mechanická poměrná deformace jednoho tenzometru	[–]
I	elektrický proud	[A]

1. ÚVOD

Téma zvyšující se spotřeby elektrické energie je stále více aktuální, proto je důležité zajištění její bezproblémové a hlavně spolehlivé dodávky, které mohou být ohroženy haváriemi na přenosových sítích z důvodů mimořádných meteorologických podmínek, kam patří klimatické vlivy jako námraza, ledovka, vítr, prudké změny teplot, apod. a jejich kombinace.

Zejména pak větrné bouře, jako byly vichřice Kyrill (19.1.2007), Emma (1.3.2008) a Kirsten (26.6.2008), které v nedávné době způsobily na území České republiky rozsáhlé havárie venkovních vedení všech napěťových hladin a jejich následné velmi ekonomicky a technicky nákladné opravy, vyvolaly pozornost technické veřejnosti a zejména pak provozovatelů přenosových a distribučních sítí.

Z toho důvodu se zadavatel projektu firma MEgA - Měřicí Energetické Aparáty, s.r.o. rozhodla vytvořit monitorovací zařízení stožárů vysokého a velmi vysokého napětí. Firma MEgA - Měřicí Energetické Aparáty, s.r.o. se zabývá vývojem a výrobou měřicích zařízení pro energetiku a plynárenství včetně navazujících softwarových produktů.

Vytvořené monitorovací zařízení bude schopno detekovat, zaznamenávat a vyhodnocovat stavy stožárů a poté zasílat tyto informace provozovatelům sítí, kteří na jejich základě budou moci předcházet možným haváriím. Tyto informace poslouží rovněž k vyhodnocování neodvratitelných havárií způsobených extrémními klimatickými vlivy.

1.1 CÍL PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je seznámit se s problematikou měření a vyhodnocování namáhání stožárů přenosových sítí vysokého a velmi vysokého napětí (vn a vvn). Shromáždit podklady o stávajícím řešení a informace o výrobcích

a uživatelích, kteří se zabývají danou problematikou. Srovnat a vyhodnotit tyto informace. Navrhnout řešení daného problému a provést praktické měření.

2. ROZBOR [19, 21]

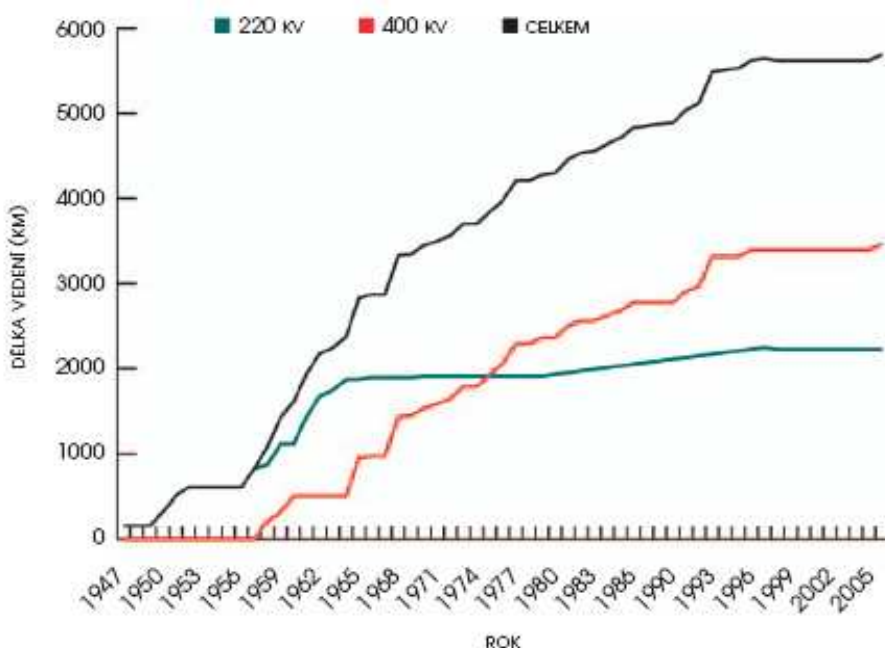
Venkovní vedení jsou technologická zařízení přenášející požadované elektrické výkony od primárních zdrojů (elektráren) nebo od sekundárních zdrojů (rozvoden, transformoven) na určitá místa (rozvodny nižší soustavy, spotřebitelé).



Obrázek 2.1 Venkovní vedení vvn.

Postupná koncentrace výroby elektrické energie do vysoce výkonných elektráren vyžaduje přenášet stále větší energii na větší vzdálenosti. Proto vedle distribučního systému nízkého napětí do 0,4 kV a vysokého napětí do 35 kV se postupně přecházelo k velmi vysokému napětí 110 kV v roce 1923 až po 400 kV v roce 1959. V 70. letech jsou ve světě realizovaná i vedení 750 kV.

Schéma přenosové soustavy České republiky (viz. Příloha 1).



Obrázek 2.2 Celková délka vedení vvn v letech 1957 až 2007. [21]

2.1 MECHANIKA VENKOVNÍCH VEDENÍ [19, 20]

Základní normou pro navrhování venkovních vedení s napětím nad AC 45 kV je norma ČSN EN 50 341 – Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 45 kV.

Základem pro mechanický návrh elektrického venkovního vedení je výpočet zavěšeného vodiče, který určuje rozmístění stožárů na trase a také dimenzování ostatních prvků vedení. Maximální vzdálenost mezi jednotlivými stožáry vedení je 600 m. Elektrická venkovní vedení se navrhují na životnost zhruba 50 let (životnost stožárů je asi 50 – 70 let, životnost vedení je asi 25 – 50 let).

Vedení musí být vhodně dimenzováno, aby všechny jeho části bezpečně vydržely mechanické a elektrické namáhání, jemuž jsou vystaveny. Mechanické síly, které mohou způsobit poškození stožárů nebo přetržení vodičů, mohou být za mimořádných meteorologických podmínek vyvolány klimatickými vlivy (např. námraza, ledovka, vítr, prudké změny teplot, apod. a jejich kombinací).

Z ekonomického hlediska musí být vedení navrženo tak, aby bylo dosaženo nejvýhodnějších provozních vlastností při nejnižších nákladech na výstavbu a údržbu. Při návrhu venkovního vedení je nutné uvažovat nejen současný stav, ale počítat i s potřebou do budoucna. Snižování nákladů na výstavbu vedení nesmí nikdy zhoršit mechanické vlastnosti vedení. Proto je nutné se při navrhování vedení zabývat mechanikou venkovních vedení.

Základním požadavkem při návrhu je volba správných materiálů jak pro stožáry (např. ocel Atmofix 15217), tak pro vlastní vedení (např. Cu, Al, Fe), a to jak z hlediska ekonomického, pevnostního, elektrického, tak s ohledem na umístění v terénu a nadmořskou výšku.

Skladba venkovního vedení:

- stožáry
- základy stožárů
- vodiče
- izolátory vodičů

2.1.1 Ocelové stožáry [1, 11, 15, 16, 17]

Důležitou částí celého rozvodného systému jsou stožáry. Hlavní funkcí stožáru je udržovat vodiče v potřebných vzdálenostech mezi sebou, od vlastní konstrukce, od země a jiných objektů. Musí přenášet veškeré zatížení působící na vodiče, stožár samotný a jeho příslušenství. Stožáry venkovního vedení se rozlišují především podle výšky napětí elektrického vedení (nn – nízké napětí, vn – vysoké napětí, vvn – velmi vysokého napětí, zvn – zvlášť vysokého napětí). Tvar a konstrukční řešení stožárů je ovlivňováno funkčními požadavky, stavební technikou, podmínkami staveniště, výroby a montáže (stožárů a vedení) a údržbou. Na stožárech mohou být umístěna i další zařízení nutná k provozu energetické sítě (např. úsekové vypínače, bleskojistky, pojistky, rozváděče).

Statický návrh se provádí pomocí metodiky uvedené v EUROKODECH, ve kterých dochází např. ke zvyšování úrovně materiálových koeficientů oproti dříve platným a používaným normám.

Ocelové konstrukce stožárů se velmi často navrhují z nízkolegovaných ocelí Atmofix 15 217, které byly vyvinuty pro konstrukce vystavené klimatickým vlivům s obtížnou povrchovou úpravou. Tato ocel má vzhledem ke svému chemickému složení (Cr-Ni-Cu-P), a zejména kvůli mědi (působením atmosférických vlivů dochází k vytvoření ochranné vrstvy na povrchu materiálu, která zabraňuje postupu koroze do hloubky), zaručit dostatečnou antikorozi ochranu i bez povrchové úpravy.

Antikorozi ochrana:

- nátěr barvou
- pozinkování
- oceli Atmofix

Namáhání stožárů je rozhodujícím způsobem podmiňováno klimatickými vlivy (např. vítr, námraza, teplotní rozdíly), tím je závislé na klimatických oblastech, kterými trasa vedení prochází, a na rozmístění stožárů v trase. Z funkce stožárů v trase vyplývá i jeho zatížení. Výška stožáru závisí na vzdálenosti nejspodnějšího vodiče od země, na průřezu, délce izolátorových závěsů a armatur, konfiguraci vodičů a zemnicích lan.

Ocelové stožáry:

- příhradové
- trubkové

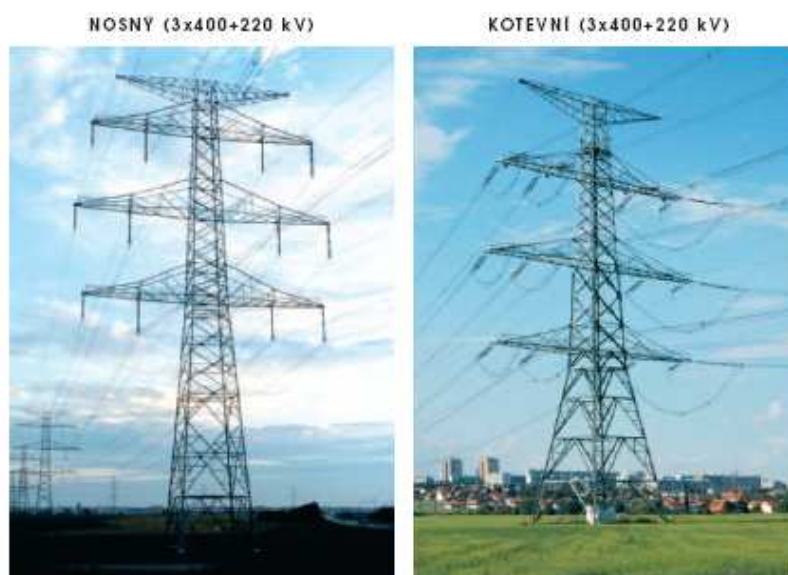
Častěji se používají příhradové stožáry, které mají konstrukci z rovnoramenných úhelníků. Průřez úhelníků je závislý na jmenovité vrcholové síle, kterou smí být stožár namáhán.

Provedení stožárů:

- celosvařované – vyroben jako jeden celek
- dělené – skládá se z několika dílů (smontován pomocí přílozek)
- šroubované – dodává se v rozloženém stavu

Rozdělení označení stožáru podle účelu:

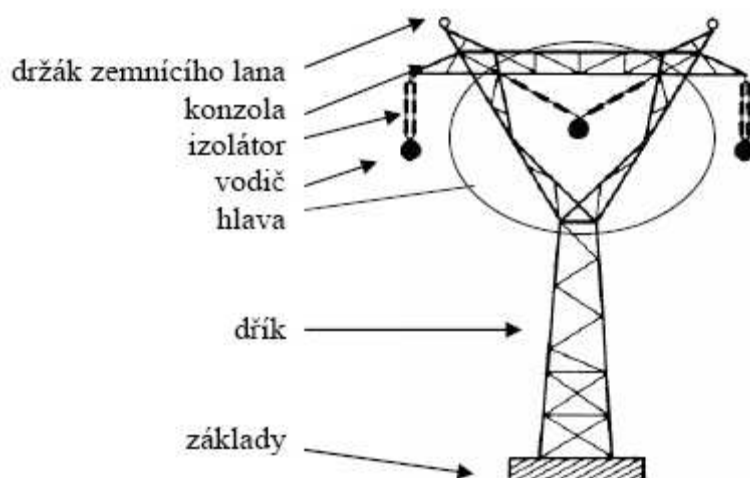
- N – nosný
- R – rohový
- V – výztužný
- O – odbočný
- K – křížovatkový
- Ko – koncový
- kombinace jednotlivých typů (např. RV, OV, KN, KV, KRV)



Obrázek 2.3 Stožár vvn typu soudek – nosný a kotevní. [21]

Části stožárů:

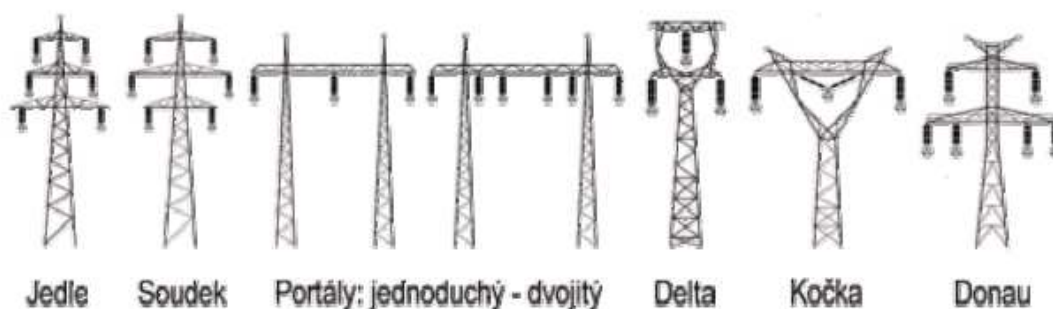
- dřík
- hlava
- konzoly
- držák zemnicího lana



Obrázek 2.4 Části ocelového stožáru. [11]

Typy stožárů:

- soudek
- stromek (jedle)
- donau
- portál (jednoduchý, dvojité)
- trojúhelník (normální, HFT)
- delta
- kočka



Obrázek 2.5 Typy ocelových stožárů – konstrukce. [11]

Typ stožáru je charakterizován především parametry vedení (výkon, napětí, systém, vodiče a zemnicí lana, izolátory, atd.), dále geometrií včetně uspořádání vodičů, zatížením závislým především na vodičích, funkci v trase, větrové

a námrazové oblasti, statické soustavě a na konstrukci prvků, použitém materiálu a na způsobu spojování.

2.1.2 Základy stožárů [11, 21]

Statický návrh se provádí pomocí metodiky uvedené v EUROKODECH, norma pro zkoušení základů je ČSN EN 61773 „Venkovní vedení – Zkoušení základů podpěrných bodů“.

Základy zajišťují stožár proti překlopení a proti překročení dovoleného namáhání půdy. U stožárů vyšších jak 13 m a u ocelových stožárů se používají betonové základy. Stožár má mít předepsanou stabilitu (stupeň bezpečnosti proti překlopení). Je to poměr momentu stabilizujícího k momentu klopnému a má být větší jak 1,5.

Základy betonové (blokové) – stabilita se zajišťuje svislým i postranním tlakem půdy, vahou betonu a třením betonu o půdu. Na základ působí stabilizační síly (svislé) a síly klopné (tahy na vrcholu stožáru). Používají se u stožárů vn a vvn.



Obrázek 2.6 Betonové základy stožáru vvn. [21]

2.1.3 Vodiče [11, 19, 20]

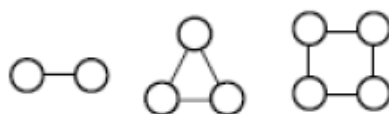
Pro vodiče platí normy:

- ČSN EN 50182 – Vodiče venkovního elektrického vedení – Lanované vodiče vinuté z koncentrických kruhových drátů
- ČSN EN 50 183 – Dráty ze slitiny Al-Mg-Si pro vodiče venkovních vedení
- ČSN EN 50189 – Pozinkované ocelové dráty pro vodiče venkovních vedení
- PNE 34 7509 – Holé vodiče pro venkovní vedení ze soustředně slaněných kruhových drátů

Na vodiče jsou kladeny požadavky:

- malá hmotnost z hlediska zatížení stožárů, ale velká hmotnost z hlediska vychylování větrem
- velký průměr z důvodu ztrát korózou a rušení, ale malý průměr vzhledem k námraze a tlaku větru
- velká mechanická pevnost
- odolnost proti vlivům prostředí
- odolnost proti kmitání
- malý odpor
- nízká cena

Pro vn venkovní vedení z holých vodičů se nejčastěji používají kombinovaná lana, která se skládají z nosné části (ocelové lano) a vodivé části (opletení z hliníkových lan), např. AlFe 180/31. Pro zvýšení přenosové schopnosti je přípustné u AlFe lan svazkování (souběh vodičů umístěných ve vrcholech rovnostranného n-úhelníku, které jsou spojeny po určitých vzdálenostech kovovými rozpěrkami) holých vodičů v jednotlivých fázích. Nejčastěji se používá dvousvazek pro napětí 220 kV, dvousvazek nebo trojsvazek pro napětí 400 kV a pro vyšší napětí se používá čtyřsvazek. Jako zemní vodič se používá kombinované zemní lano (KZL), které se umísťuje na vrchol stožáru.



Obrázek 2.7 Svazkové vodiče.

Venkovní vedení je vystaveno všem klimatickým vlivům, které není možné stanovit přesně. Při teplotních změnách, zatížení námrazou a větrem se v porovnání s montážním stavem mění poloha vodičů proti zemi a stožáru. Přiblížení k zemi nebo ke stožáru znamená smrtelné nebezpečí a může krátkým spojením přivodit zkrat. (může dojít k vypnutí nebo i havárii vedení). Minimální vzdálenost od země je závislá na výšce napětí a na zalidnění terénu (nad nepřístupnými místy je nižší než v hustě zalidněných oblastech a nad veřejnými komunikacemi). Vedení se musí dimenzovat tak, aby zůstalo neporušeno i v kritických situacích (působení síly větru, tíhové síly námrazku, kmitání vodičů).

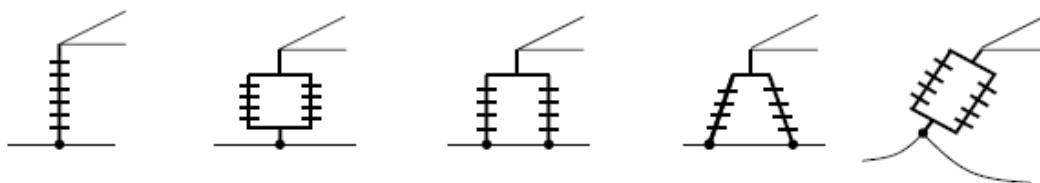
2.1.4 Izolátory [11]

Izolátory slouží k uchycení vodičů na stožáry a brání dotyku živých částí vedení na konstrukci stožáru. Výška izolátoru závisí na napětí vedení.

Normy pro izolátory:

- ČSN EN 60383 – Izolátory pro venkovní vedení se jmenovitým napětím nad 1 000 V
- ČSN EN 61466-1 – Kompozitní závěsné izolátory pro venkovní vedení se jmenovitým napětím vyšším než 1 kV
- ČSN EN 61466-2 – Kompozitní tyčové izolátory pro venkovní vedení se jmenovitým napětím nad 1 kV

Izolátory se dělí na podpěrné (do 35 kV), ty jsou většinou čapkové a závěsné (od 22 kV), které jsou talířové a tyčové. Materiál na výrobu jsou porcelán, sklo, plast a jejich kombinace.



Obrázek 2.8 Způsob uchycení vodiče k izolátoru. [11]

2.2 KLIMATICKÉ VLIVY

Mechanický návrh venkovního vedení je do značné míry ovlivněn klimatickými vlivy prostředí, pro které se dané vedení navrhuje.

Klimatické vlivy:

- teplota (minimální a maximální)
- vlhkost
- vítr
- námraza
- kombinace klimatických vlivů (např. bouřky)

2.2.1 Teplota [22]

Teplota je stavová veličina. Hodnota teploty se určuje srovnáním daného stavu s teplotní stupnicí. Teplotní stupnice vychází z některých fyzikálních zákonů zejména ze stavové rovnice ideálního plynu:

$$pV = R_p T \quad (2.1)$$

Velký vliv na mechanické namáhání venkovního vedení mají minimální a maximální teploty a prudké změny teplot.

2.2.2 Vlhkost [22]

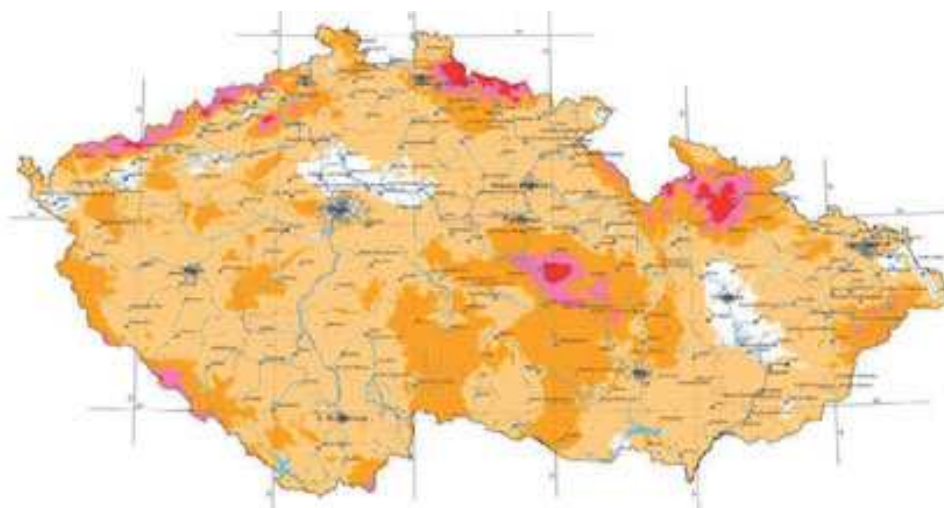
Vlhkost vzduchu je základní meteorologický prvek popisující množství vodní páry ve vzduchu.

Základní typy vlhkosti vzduchu:

- absolutní vlhkost [kg.m^{-3}] – udává hmotnost vodní páry obsažené v jednotce objemu vzduchu
- měrná vlhkost (specifická vlhkost) [kg.kg^{-1} s.v.] – udává hmotnost vodní páry obsažené v jednotce hmotnosti vlhkého vzduchu
- relativní vlhkost (poměrná vlhkost) [%] – je mírou nasycení vzduchu vodní parou, vyjadřuje v procentech udávající poměr mezi naměřeným množstvím vodních par ve vzduchu a množstvím par, které by měl vzduch při stejném tlaku a teplotě při plném nasycení

2.2.3 Vítr [6]

Zatížení konstrukcí větrem stanovuje ČSN EN 1991-1-4 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem.



Rychlost větru – do 22,5 m/s (bílá), do 25,0 m/s (oranžová), do 27,5 m/s (okrová), do 30 m/s (růžová), nad 30 m/s (červená).

Obrázek 2.9 Větrová mapa ČR. [22]

V normě je stanoveno pět oblastí (I – V) pro různé rychlosti větru a zavádí se pět kategorií terénu (0 až IV) definovaných různými hodnotami parametru drsnosti terénu.

Nebezpečné účinky větru na venkovní vedení:

- havárie vedení způsobí nárazy větru o vyšší rychlosti než se uvažovalo při návrhu
- havárie vedení způsobí nárazy větru o nižší rychlosti, ale s velkou variabilitou změny směru větru

Působení větru je velmi proměnlivé, nebezpečné jsou nárazy při vichřici, kdy může dojít k přetrhání vodičů a tím i ke zlomení stožárů. U velkých polí se projevuje i menší rychlost větrů (6 ms^{-1}). Na vedení vznikají stojaté vlny a vodiče kmitají. To se nepříznivě projevuje v ohybech vodičů.

Větrové bouře – vznik:

- přechody frontálních systémů (nebezpečnější, postihují velké území)
- lokální bouře z tepla

Výskyt větrných bouří se opakuje a za posledních 30 let se vyskytly v letech 1980 až 1982, 1984 až 1986, 1988 až 1990, 2000 až 2003 a roky 2007 a 2008.

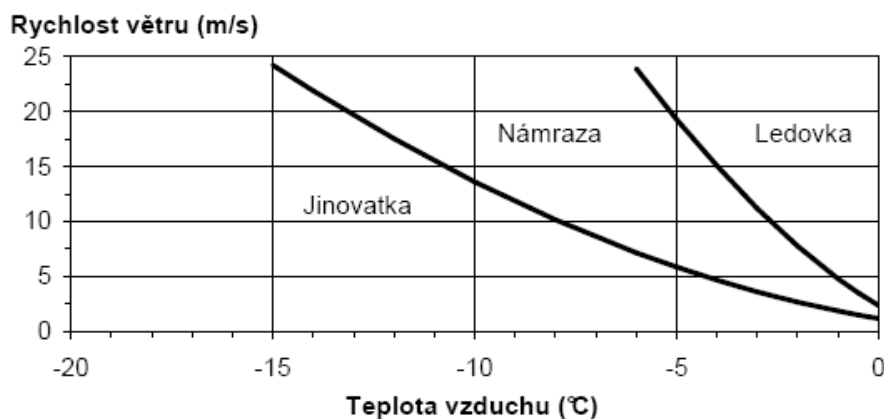
2.2.4 Námraza [22]

Námraza je atmosférický jev, který se projevuje vznikem ledových krystalů na povrchu objektů působením následující vlivů:

- mrznutím drobných kapének vzdušné vlhkosti (mraků, mlhy, apod.) při jejich styku s povrchem objektů o teplotě 0°C a nižší
- srážením (sublimací) vzdušné vlhkosti na dostatečně prochlazeném objektu, a to i bez přítomnosti mlhy nebo oblačnosti

Nejvyšší pravděpodobnost vzniku námrazy je při styku prochlazeného povrchu objektů o teplotě 0 až -4°C s vlhkým vzdušným prouděním. Při teplotách

pod $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ a nižších výrazně klesá možnost vzniku námrazy a při teplotách pod $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ námraza téměř nevzniká nebo je velice slabá. Narůstá převážně na návětrné straně předmětů.



Obrázek 2.10 Podmínky vzniku námrazku. [22]

Typy námraz podle teploty objektu:

- těžká (0 až $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$) – tzv. „průsvitná námraza“, s průsvitným a drsným povrchem, je velmi přilnavá a odolná vůči větru, těžce odstranitelná
- lehká (-2 až $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$) – tzv. „zrnitá námraza“ vznikající rychlým zmrznutím, vytváří bílé usazeniny v podobě bílých trsů vláknité struktury, je přilnavá, ale snadno oddělitelná od povrchu

Pro zatížení námrazou platí norma ČSN IEC 61 774 – Venkovní vedení – Meteorologická data pro stanovení klimatického zatížení, je zde námrazová mapa, ve které jsou uvedeny námrazové oblasti (N0, N1, N2, N3, N5, N8, N12, N18, NK), podle nichž se určuje velikost námrazku (závisí na nadmořské výšce i charakteru krajiny).

Tabulka 2.1 Vlastnosti námrazku. [22]

druh námrazku	hustota [kg/m ³]	přilnavost	vzhled	
			barva	tvar
ledovka	900	silná	průhledná	rovnoměrně rozložená, rampouchy
lepkavý sníh	300-600	slabá (vznikající) silná (zmrzlý)	bílá	rovnoměrně i nerovnoměrně rozložená
zrnitá námraza	600-900	silná	matná	nerovnoměrně rozložená, na návětrí
jinovatka	200-600	slabá až střední	bílá	nerovnoměrně rozložená, na návětrí

Vodiče pro venkovní vedení mohou být namáhány tíhou námrazku, který ulpívá na povrchu vodiče a zatěžuje vodič i armatury vedení přídavným svislým zatížením. Vodiče se tíhou jednostranných námrazků stáčí, až jsou celé obaleny námrazkem. Námraza bývá rozhodující u malých průřezů a velkých výpočtových pevností, např. u zemnicích lan. Námrazová kalamita postihla ČR naposledy v roce 1974.

2.3 HAVÁRIE [7]

Poškození venkovních vedení vnějšími vlivy, jako je vítr, námraza, pád stromů apod. nelze nikdy stoprocentně zabránit. Nelze prokázat přímou úměrnost mezi stářím zařízení a četností havárií. Při kalamitách – KYRILL i EMMA – došlo k poškození zařízení starých 40 i více let, průměrného stáří i vedení zcela nových. Výskyt větru je velmi nevyzpytatelný, rizika ohrožení jsou prakticky všude. Kromě síly větru je také důležitý jeho směr působení a dále větrné turbulence vznikající reliéfem krajiny.



Obrázek 2.11 Ukázky poškození stožárů. [7]

Z prezentovaných ukázek poškození stožárů je zřejmé, že nejslabším článkem celé konstrukce stožáru bývá dřík stožáru. Dojde-li k poškození dříku příhradového stožáru, je poškozena vždy střední část stožáru v místě, kde kónická část přechází v část svisle rovnoběžnou, případně v místě šroubovaného spoje.

2.4 MĚŘENÉ VELIČINY

Při monitorování příhradových ocelových stožárů jsme se po dohodě se zadavatelem projektu a na základě předchozího rozboru rozhodli měřit následující

fyzikální veličiny:

- mechanické napětí
- vibrace
- teplota
- vlhkost
- vítr
- námraza
- elektrické pole
- magnetické pole

V následujících kapitolách jsou popsány pouze snímače a metody, které byly použity při praktickém měření stožáru. Při našem prvním měření nebyly některé veličiny zatím měřeny, ty jsou vynechány úplně. Kompletní problematika z těchto kapitol byla popsána v semestrálním projektu (kapitol 2.4).

2.4.1 Mechanické napětí [2, 3, 8]

Přímé měření mechanického napětí není prakticky možné, využívá se proto nepřímého měření pomocí deformačních členů (tenzometry).

Působení vnějších sil na těleso může být různé. Stožár vvn je nejvíce namáhán v tahu, v tlaku, v ohybu a v krutu.

Typy snímačů:

- kapacitní tenzometry
- odporové tenzometry (kovové, polovodičové)
- rezonanční senzory (strunové tenzometry)
- senzory s metastabilními magnetickými slitinami

Tenzometr (odporový) byl poprvé sestaven v roce 1938, byl samozřejmě kovový drátkový a v roce 1952 vznikl fóliový.

Kovové tenzometry využívají závislosti změny odporu při mechanickém namáhání. Změny odporu jsou zde nejčastěji dány změnou parametru délky. Tenzometr je proto nejcitlivější na deformaci (natažení, prohnutí apod.) právě ve směru delší strany. Častěji se však udává koeficient K , tj. součinitel deformační citlivosti, pro který platí vztah:

$$K = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\varepsilon} \quad (2.2)$$

Tabulka 2.2 Parametry slitin používaných pro kovové tenzometry. [2]

Název materiálu	Složení	Hodnota K
Konstantan	57 % Cu, 43 % Ni	2
Karma	73 % Ni, 20 % Cr (příp. Fe+Al)	2,1
Nichrome V	80 % Ni, 20 % Cr	2,2
Platina - Wolfram	92 % Pt, 8 % W	4

Přední výrobci kovových tenzometrů jsou firmy HBM GmbH, Global Weighing (oba Německo), OMEGA Engineering, INC. (USA) a BCM Sensor Technologies (Belgie).



Obrázek 2.12 Fóliové tenzometry firmy HBM. [10]

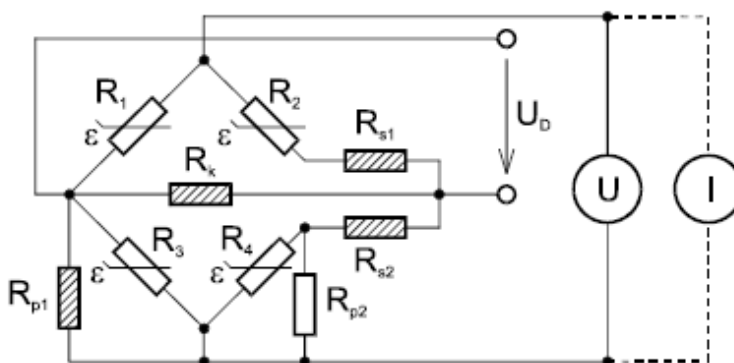
Vlastnosti kovových tenzometrů:

- lineární závislost deformace na změnu odporu
- dobré kopírování měřené deformace (ohebnost)
- dobrá připevnitelnost na měřený objekt
- mechanická odolnost
- malý vliv změn teplot
- životnost až 10 miliónů cyklů při deformacích až 3 mm/m
- měření deformací až do jednotek mm/m (např. 50 000 $\mu\text{m/m}$)
- velký výběr velikosti i tvarů
- citlivost kolem $K = 2$
- nominální odpor tenzometru obvykle 120, 350, 700 a 1000 Ω
- celková chyba vztažená ke jmenovité hodnotě zatížení menší než $10^{-2} \%$
- napájení až desítkami voltů
- zatížitelnost proudovou hustotou až 100 A/mm²
- pracovní teplotní rozsah -200 °C až 250 °C
- tloušťka fóliového meandru 3 až 6 μm
- tloušťka celého senzoru v řádu do 100 μm
- rozměry tenzometrů jednotky až stovky mm

Parazitní vlivy u odporových tenzometrů:

- příčná citlivost – lze eliminovat
- vliv teploty – mění elektrické a mechanické vlastnosti tenzometru, lze ji kompenzovat přidáním dalšího senzoru, použitím autokompenzačního tenzometru nebo korekcí naměřených výsledků
- termoelektrické napětí – lze eliminovat AC napájením
- vlhkost a izolační odpor
- hystereze a nelinearita

Stejnoseměrné můstkové obvody patří mezi nejrozšířenější ve standardních aplikacích, zejména při čtyřech aktivních tenzometrech (plný můstek), tenzometry by měly mít stejné jmenovité hodnoty odporu ($\pm 0,5\%$).



Obrázek 2.13 Zapojení plného můstku s pomocnými odpory. [3]

$$U_D = UK_U \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_4}{R_4} - \frac{\Delta R_3}{R_3} \right) \cdot (1 - N)P \quad (2.3)$$

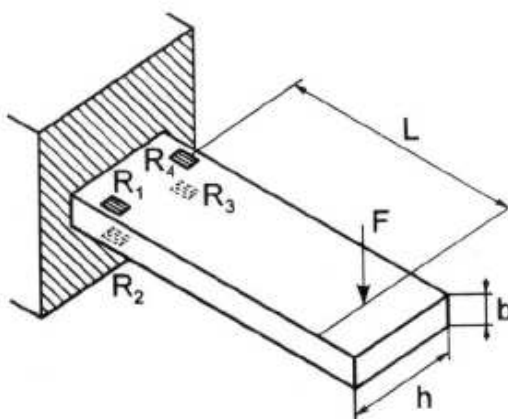
Výhody plného můstku:

- stejné odpory tenzometrů, zapojených do můstku tak, aby protilehlé senzory byly vystaveny deformaci stejného a sousedící opačného znaménka, anulující nelinearitu
- citlivost je čtyřnásobná ve srovnání se čtvrtmůstkem

$$U_D = U \frac{1}{4} \frac{\Delta R}{R} P = UK \epsilon P \quad (2.4)$$

- chyba vlivem teploty je nulová, pokud jsou všechny tenzometry stejné a na stejné teplotě
- chyby vlivem odporu přívodu k jednotlivým tenzometrům jsou zanedbatelné při minimální délce spojů mezi rameny mostu

- vliv odporů přívodů od zdroje k plnému můstku lze vyloučit napájením z proudového zdroje



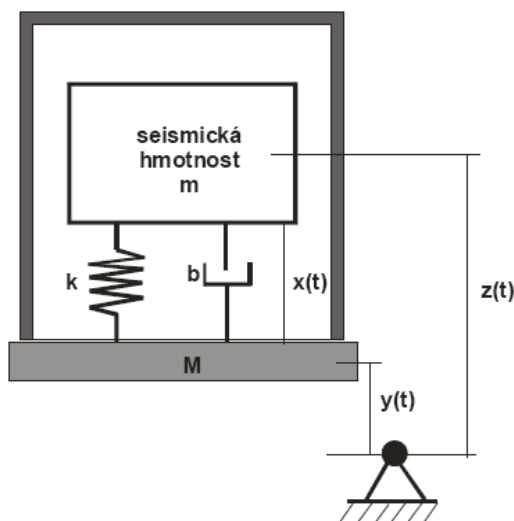
Obrázek 2.14 Měření ohybu na nosníku tenzometry. [3]

2.4.2 Vibrace [5]

Měření vibrací (chvění) je měření mechanického kmitavého pohybu. Kmitavým pohybem se rozumí změna polohy vybraného bodu na objektu vzhledem ke vztažnému (referenčnímu) bodu. U kmitavého pohybu se měří rychlost v , zrychlení a nebo amplitudu (výchylku) x pohybu. Kromě těchto určujících veličin je to dále spektrum, energie, charakter a doba trvání, příp. další. Obvyklý rozsah výchylky se pohybuje od 1 do $10^3 \mu\text{m}$ a ve frekvenčním spektru 10^0 až 10^3 Hz .

Podobně jako při měření rychlosti a zrychlení lze k přímému měření okamžitých hodnot chvění obecně použít senzorů polohy. Měření se provádí relativními snímači kmitavého pohybu, vzhledem k relativnímu určování polohy ke vztažnému (referenčnímu) bodu. Tyto snímače není možné použít u pohybujících se objektů, nebo pokud není možné stanovit pevný vztažný bod. V tomto případě používáme absolutní snímače, u nichž je vztažný bod vytvořen uvnitř snímače. Měří se tedy poloha vůči tomuto bodu relativním snímačem polohy uvnitř absolutního senzoru chvění.

Absolutní snímače:



Obrázek 2.15 Model absolutního snímače vibrací. [5]

Rovnováha sil je vztažena k bodu, vůči kterému se měří kmity objektu $y(t)$.
Platí pohybová rovnice:

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} + \frac{dx}{dt} + kx = 0 \quad (2.5)$$

Pro časově proměnné složky souřadnic platí:

$$z(t) = x(t) + y(t) \quad (2.6)$$

Amplitudová frekvenční charakteristika:

$$\left| \frac{X(j\omega)}{Y(j\omega)} \right| = \frac{\Psi^2}{\sqrt{(1 - \Psi^2) + (2B\Psi)^2}} \quad (2.7)$$

Fázová frekvenční charakteristika:

$$\varphi = \arctg \frac{-2B\Psi}{1-\Psi^2} \quad (2.8)$$

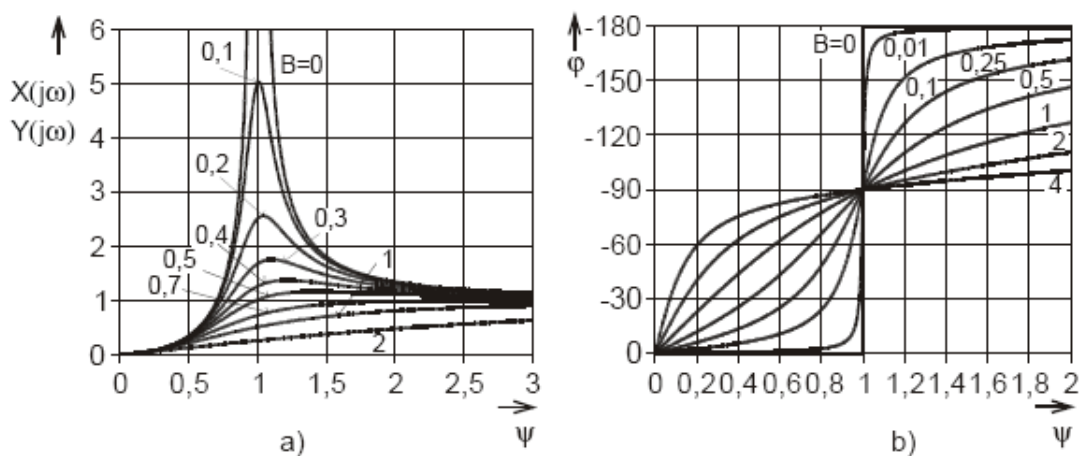
Pro měření parametrů kmitavého pohybu jsou důležité tyto zvláštní případy průběhu amplitudové a fázové frekvenční charakteristiky:

a) $\Psi \ll 1, B < 1$

Amplituda $|X(j\omega)|$ je přímo úměrná druhé derivaci $y(t)$ a senzor je v režimu měření zrychlení. Na tomto principu jsou založeny akcelerometry.

b) $\Psi \gg 1, B < 1$

V tomto režimu senzor měří amplitudu (dráhu) pohybu a s ohledem na fázi platí $x(t) = -y(t)$ a $z(t) = 0$. Hmotnost m je v klidu (označuje se jako seismická) a tvoří vztažný bod uvnitř senzoru. K určení pohybu $x(t)$ je pak možné použít jakéhokoliv snímače měřícího polohu mezi povrchem kmitajícího objektu (tj. krytem senzoru upevněným na objekt) a seismickou hmotností m .



Obrázek 2.16 Amplitudová frekvenční charakteristika (a) a fázová frekvenční (b) charakteristika absolutního snímače. [5]

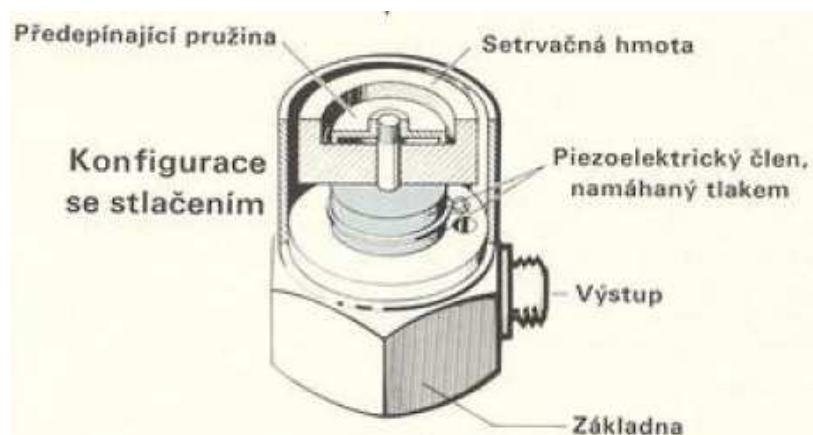
Nezkreslené měření amplitudy neharmonických kmitů vyžaduje správný průběh nejen amplitudové, ale i fázové charakteristiky. Fázová frekvenční charakteristika by měla být lineární funkcí kmitočtu. K tomuto ideálnímu průběhu lze v jistém pásmu kmitočtů použít volbu poměrného tlumení B (hodnoty B v rozmezí 0,47 až 0,7).

Typy snímačů vibrací:

- elektrodynamické
- akcelerometry (snímače zrychlení)
 - piezoelektrické
 - kapacitní
 - s vetknutým nosníčkem

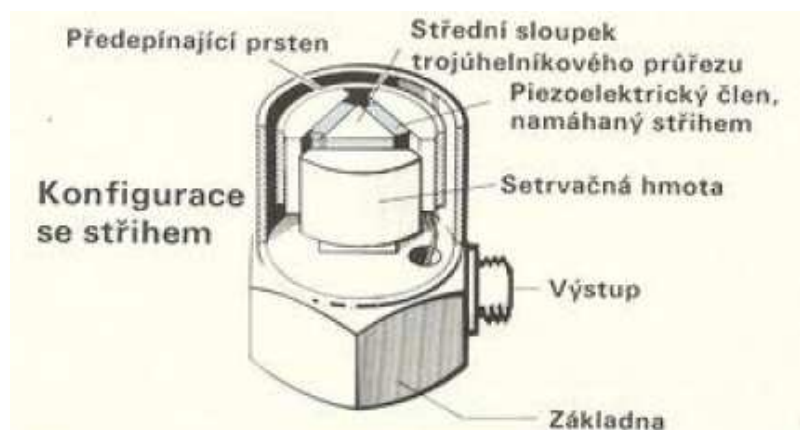
U akcelerometrů je základní podmínkou pro měření zrychlení kmitavého pohybu v širokém rozmezí kmitočtů velká vlastní rezonanční frekvence.

Nejvhodnější je piezoelektrické snímání polohy seismické hmotnosti vůči pouzdru senzoru, vzhledem k velké tuhosti a malé hmotnosti piezoelektrického materiálu. Tento typ lze použít až do zrychlení 20 000 g (převod $1 \text{ g} = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$) a rezonanční kmitočet až 30 kHz. Výrobci jsou např. firmy Bruel – Kjaer (Dánsko) nebo OMEGA Engineering, INC. (USA).



Obrázek 2.17 Piezoelektrický akcelerometr s tlakovým namáháním. [12]

Střihová deformace piezoelektrického elementu přináší podstatné výhody, hlavně pokud jde o zmenšení citlivosti na rušivé vlivy (deformace základny pouzdra, teplotní dilatace, akustické efekty). Nábojová citlivost při smykové deformaci je podstatně vyšší než při kompresi. Např. delta shear akcelerometr firmy Bruel – Kjaer (Dánsko).



Obrázek 2.18 Piezoelektrický akcelerometr se smykovým namáháním. [12]

2.4.3 Teplota [2, 3]

Rozdělení čidel teploty:

a) čidla pro dotykové měření

- elektrické (odporové kovové, odporové polovodičové, termoelektrické, krystalové)
- dilatační (kapalinové, plynové, parní a bimetalové)
- speciální (akustické, šumové, magnetické, tekuté krystaly)

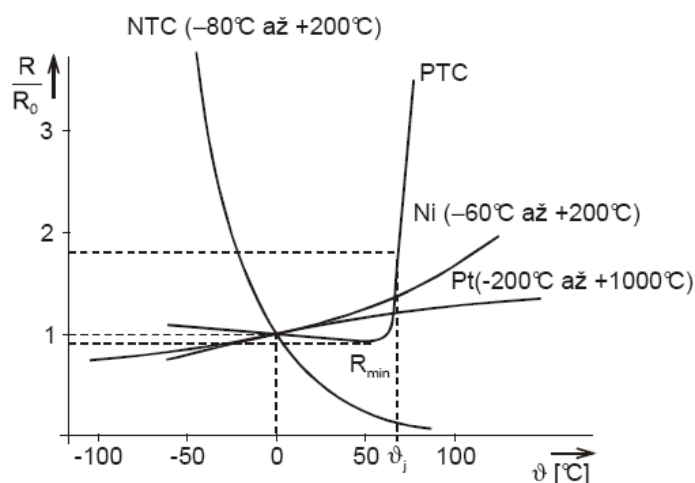
b) čidla pro bezdotykové měření

- tepelné
- kvantové
- akustické (ultrazvukové)

Odporová čidla teploty jsou založena na teplotní závislosti odporu. Základním požadavkem je, aby teplotní součinitel odporu byl co největší a stálý, teplotní závislost odporu byla lineární a jeho rezistivita co největší. Proud procházející čidlem má být co nejmenší, aby Joulovo teplo vznikající v čidle průchodem proudu způsobilo co nejmenší oteplení. Podle materiálu se dělí na kovová a polovodičová.

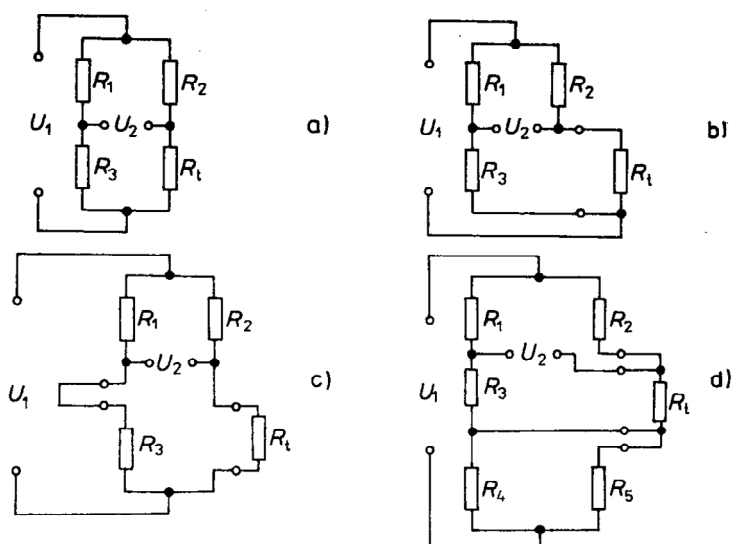
Kovové odporové senzory – používají se především čisté kovy, jako měď (-50 až 180 °C), nikl (-60 až 180 °C), platina (-200 až 850 °C). Nejčastěji používaným materiálem je platina. Její výhody jsou dlouhodobá stálost odporu, vysoká přesnost a reprodukovatelnost měření. Nevýhodami jsou velká citlivost na magnetické pole a vibrace.

Výrobci snímačů pro automatizaci jsou např. Siemens, Alhborn (oba Německo) nebo VAISALA (Finsko).



Obrázek 2.19 Teplotní závislost odporových snímačů teploty. [3]

Pro připojení odporových čidel se nejčastěji používá můstkových zapojení, u nichž tři větve můstku jsou tvořeny stabilními a teplotně nezávislými odpory. Základním požadavkem je, aby výstupní signál nebyl závislý na změnách elektrických parametrů přívodů k čidlu (vliv odporů přívodů). Podmínkou správné činnosti je stejný odpor všech vodičů a teplotní působení okolí. Platí zásady co nejkratší délky vedení a co nejmenšího odporu.



a) vhodné pouze pro vysokoodporová čidla b), c) potlačuje vliv přívodů připojením přídavných vodičů do protilehlé větve můstku k odporovému čidlu d) čtyřvodičové zapojení pro nejpřesnější měření

Obrázek 2.20 Základní zapojení odporových čidel do můstku. [9]

2.4.4 Vítr

Anemometr (větroměr) je přístroj pro měření rychlosti proudění anebo rychlosti a směru proudění větru. Rychlost větru se standardně měří v 10 metrech nad zemí. Vlastnosti větroměrných přístrojů (anemometrů) pramení z jejich konstrukcí. Ve své podstatě jde o čtyři základní principy měření rychlosti větru:

- dynamický
- lopatkový
- miskový
- ultrazvukový.

Miskové anemometry (Robinsonův kříž se směrovkou nebo bez ní) – čtyř nebo třiramenný horizontální věnec s polokulovými miskami axiálně uložený, převádějící točivý moment na tachodynamo, opět vyrábějící proud nebo napětí. Směr větru je snímán buď selsinem nebo optoelektronicky. V současnosti převažuje princip optickoelektronický. Tyto přístroje se vyrábějí buď jako celek (kříž se směrovkou) nebo odděleně. Nevýhodou je omezená možnost vyhřívání jako ochrany proti námraze vzhledem k vysychání maziva ložisek při použití vyšší teploty a jejich choulostivost. Rovněž linearita hodnot měření je při vyšších rychlostech znehodnocena vlastním odporem rotujících misek. Výrobci miskových anemometrů jsou např. VAISALA (Finsko), NRG Systems Inc. a R.M. Young Company (oba USA). Tuzemští výrobci anemometrů jsou firmy SÝKORA a J. Tlustáček Praha.



Obrázek 2.21 Miskový anemometr firmy J. Tlustáček Praha. [Příloha 3]

2.5 MONITOROVÁNÍ VENKOVNÍCH VEDENÍ V PRAXI

Na českém trhu je pouze jeden výrobce zařízení pro monitorování venkovních vedení a tou je firma EGÚ Brno, a.s. a její výrobek stanice METEO – automatická námrazová stanice. Kompletní popis stanice METEO je v informačním letáku (viz. Příloha 2).

Základní parametry stanice METEO [14]:

- měření teploty s přesností 0,1 °C
- měření hmotnosti námrazy do 20 kg s přesností 0,01kg
- hmotnost námrazy se měří na 0,5m dlouhé měrné tyči
- rozsah měření rychlosti větru od 0 do 10 m/s s přesností ± 3 m/s, rozsah od 10 do 40 m/s s přesností ± 2 m/s
- měření směru větru – úhel 0 až 355 st. po 5 stupních
- archivace dat do FLASH paměti se souborovým systémem FAT16
- minutové záznamy – rychlost a směr větru, desetiminutové – teplota a hmotnost námrazy

V současné době je v provozu celkem 14 stanic METEO. 12 stanic je umístěno na území firmy E.ON, všechny stanice jsou zapojeny v dispečerském systému. Další dvě stanice jsou na území firmy ČEZ, jedna stanice je zapojena do dispečerského systému, druhá je provozována autonomně. Jako první byla do provozu uvedena stanice na území firmy ČEZ (lokalita Cotkyně) v roce 1998, zbývajících 13 stanic bylo uvedeno do provozu postupně během podzimu 2001. [14]

Automatizované námrazoměrné stanice METEO jsou instalovány na sloupech vedení nn, vn, vvn, případně na vykrývacích zařízeních radiové sítě. Ke svému provozu využívají zdroj napětí nn (sít' nn, měřicí transformátory napětí). Z námrazoměrných stanic jsou data přenášena do dispečerského řídicího systému po radiové síti. [14]

3. MĚŘENÍ

Pro zkušební měření byl po dohodě se zástupcem firmy E.ON zvolen stožár vvn s dvojitým vedením 110 kV na kopci v průseku lesa nad rozvodnou v Čebíně. Hlavním důvodem byla možnost napájení ze sítě 230 V, které bylo navíc zálohováno proti výpadku. Z tohoto důvodu odpadla nutnost napájení monitorovacího zařízení z baterie, díky čemuž mohlo měření probíhat nepřetržitě delší dobu.



Obrázek 3.1 Poloha stožáru.

Se zadavatelem práce jsme se rozhodli, v prvním zkušebním měření, měřit pouze mechanické napětí, rychlost a směr větru a teplotu. Ostatní veličiny nebylo možno měřit z důvodů pouze čtyřkanálového dataloggeru a také ročního období u námrazy. Ještě byly změřeny vibrace, ale k tomu byl použit samostatný měřicí přístroj.

3.1 STOŽÁR

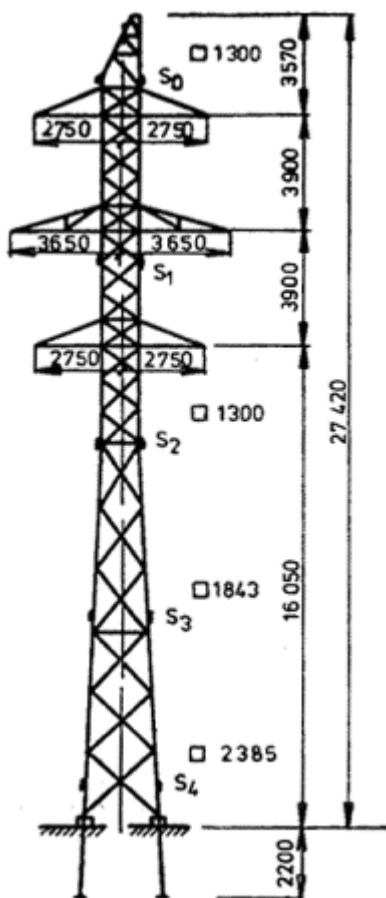
Stožár je podle větrové mapy z ČSN EN 1991-1-4 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem, umístěn v oblasti III s rychlostí větru do 27,5 m/s a v kategorii drsnosti terénu II.



Obrázek 3.2 Monitorovaný stožár.

Základní informace o stožáru:

- typ stožáru: dvojitý soudek nosný (vedení 2x 110 kV)
- konstrukce: ocelový příhradový z rovnoramenných úhelníků
- výstavba: 1985
- výška stožáru: 27,42 m
- vedení: V526 a V5597
- umístění: třetí p. b. před rozvodnou Čebín
- GPS souřadnice: 49°19'58.356"N, 16°27'45.271"E
- nadmořská výška: 365 m n.m.



Obrázek 3.3 Stožár dvojité soudek nosný (vedení 2x 110 kV). [17]

3.2 MONITOROVACÍ ZAŘÍZENÍ

3.2.1 Umístění monitorovacího zařízení

Instalace zařízení proběhla dne 15.4. 2009, po jejím dokončení začalo měření. Monitorovací zařízení bylo umístěno na stojce stožáru číslo 1F0040 3 (nejbližší k napájecímu bodu) v plastové skříni SCHRACK Minipol MIP-43 (rozměry: výška 0,4 m x šířka 0,3 m x hloubka 0,2 m) s krytím IP 65, která byla zamykatelná. Na spodní venkovní části skříně, která byla chráněna před přímým slunečním zářením, byla umístěna plastová krabička MKD 45D (rozměry: výška 123 mm x šířka 113 mm x hloubka 59 mm) s krytím IP 65, ve které bylo umístěno čidlo pro měření teploty.

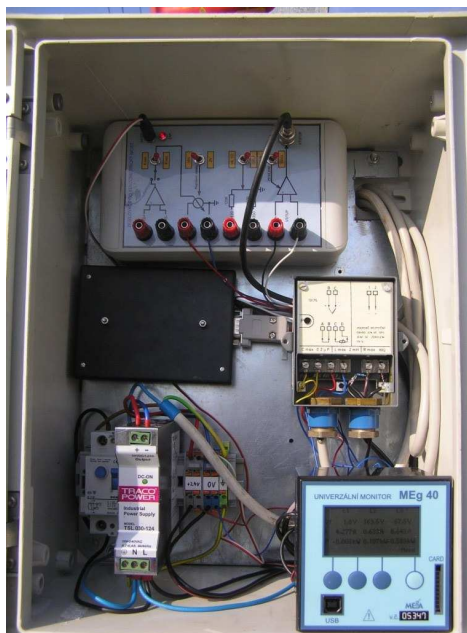


Obrázek 3.4 Umístění skříně na stojce stožáru.

Skříň monitorovacího zařízení byla uchycena pomocí systému BANDIMEX na stojce stožáru ve výšce asi 1,6 m (měřeno na spodní hranu skříně) od betonového základu.

3.2.2 Vnitřní vybavení a zapojení monitorovacího zařízení

Jednotlivé komponenty ve skříni byly přišroubovány na montážní plech (pojistkový odpínač, proudový chránič a svorky byly uchyceny na DIN lištu, která byla přinýtována k montážnímu plechu), ten se nasadil a přišrouboval na připravené fixační šrouby na dně skříně.

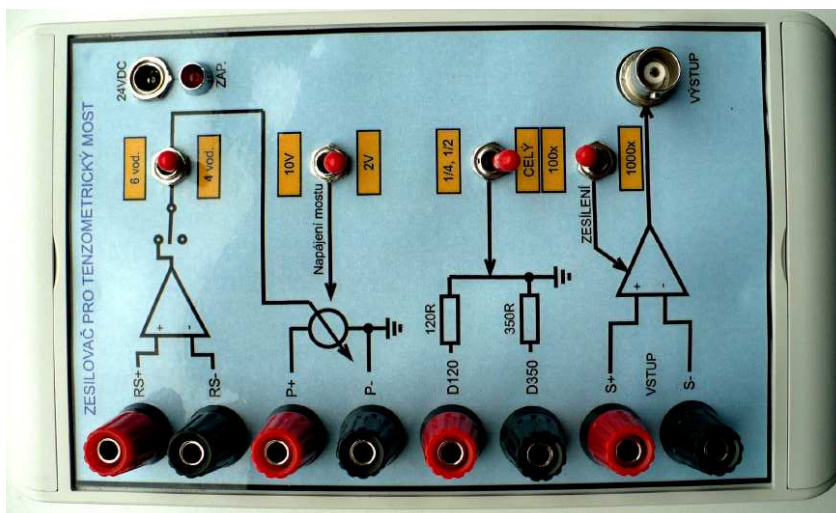


Obrázek 3.5 Rozmístění jednotlivých komponent ve skříni.

Vnitřní vybavení skříně:

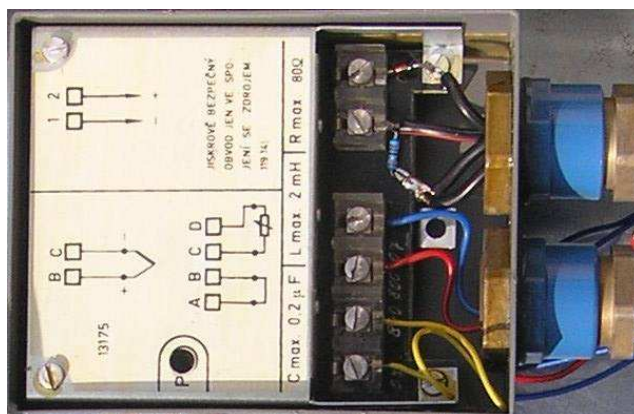
- svorkovnice
 - o výrobce: PHOENIX CONTACT
 - o svorky: šedá 2x, modrá 2x, zemnicí 1x
- pojistkový odpínač na trubičkovou pojistku (pojistka 1A)
- proudový chránič
 - o výrobce: SCHRACK
 - o typ: BD
 - o jmenovité napětí: 230 V AC, 2 póly, 50/60 Hz
 - o jmenovitý proud: 25 A
 - o jmenovitý vypínací proud: 0,03 A
- zdroj
 - o výrobce: TRACO POWER
 - o typ: TSL 030-124
 - o napájení: 100 – 240 V AC, 50/60 Hz, 0,4 – 0,7 A
 - o výstup: 24 V DC, 1,25 A

- zesilovač pro tenzometrický most [4]
 - o výrobce: Bc. Adam Kneblík
 - o typ: Zesilovač pro tenzometrický most s přístrojovým zesilovačem AD524
 - o datum výroby: 2008
 - o napájení: 24 V DC
 - o napájení tenzometrického mostu: 2 V DC nebo 10 V DC
 - o zesílení: 100x nebo 1000x
 - o frekvenční rozsah: do 4 kHz



Obrázek 3.6 Zesilovač pro tenzometrický most. [4]

- teplotní převodník INPAL 75
 - o výrobce: Závody průmyslové automatizace Trutnov k.p., závod Nová Paka
 - o typ: 405 131 756 434
 - o v. č.: 840 800 07
 - o datum výroby: 10.8.1986
 - o napájení: 20 V DC
 - o čidlo: Pt 100
 - o teplotní rozsah: 0 – 100 °C
 - o výstup: proudový 4 – 20 mA



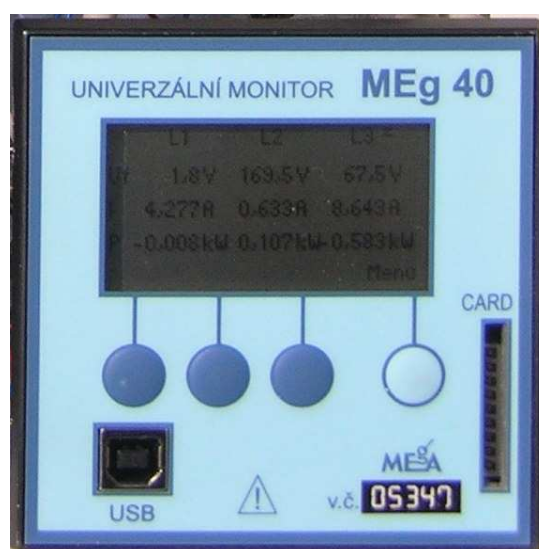
Obrázek 3.7 Teplotní převodník INPAL 75.

- převodník pro anemometr (kompletní informace viz. Příloha 3)
 - o výrobce: J. Tlustýák Praha
 - o typ: WD420
 - o napájení: 18 – 30 V DC
 - o čidlo: W2t
 - o rozsah měření rychlosti větru: 0 – 30 m/s
 - o rozsah měření směru větru: 0 – 360 °
 - o výstup: 2x proudový 4 – 20 mA



Obrázek 3.8 Převodník pro anemometr WD420.

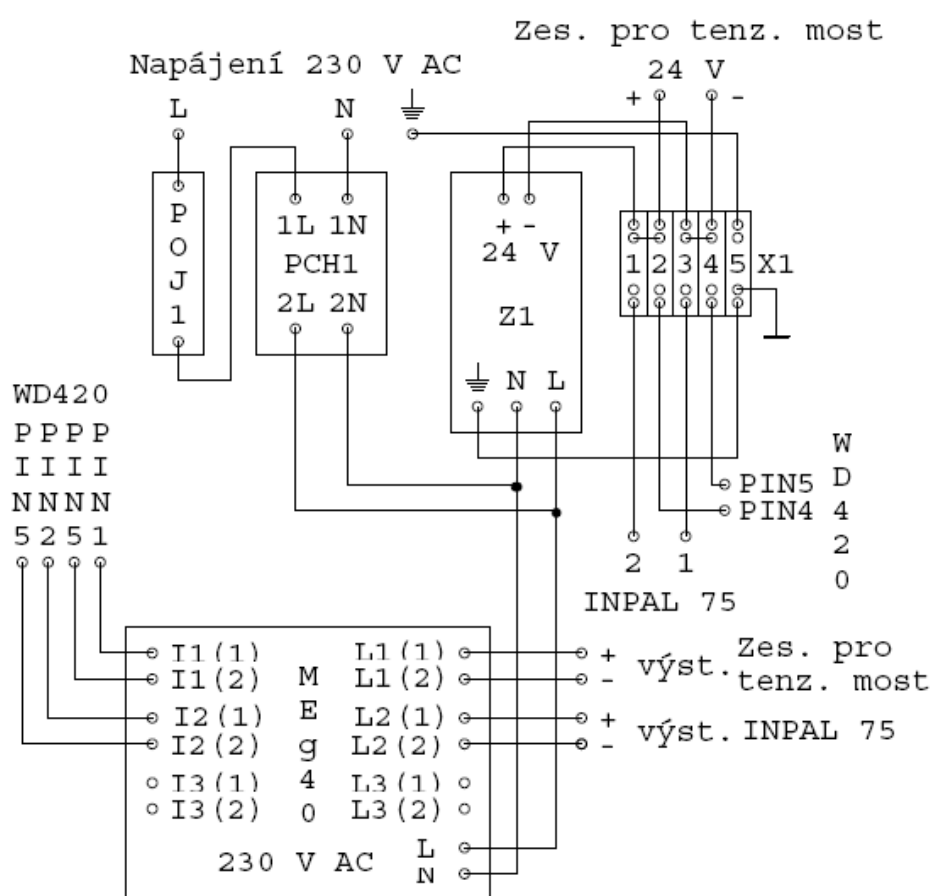
- univerzální monitor (kompletní informace viz. Příloha 4), pro toto měření byl přístroj upraven, respektive rozsahy jeho měřicích kanálů na viz. níže
 - o výrobce: MEgA
 - o typ: Meg 40 V4.05fc2
 - o v. č.: 05347
 - o datum výroby: 21.01.2008
 - o verze SW: 10
 - o počet kanálů: 6 (1x napěťový -10 až 10 V, 1x napěťový 0 – 10 V, 2x proudový 4 – 20 mA)



Obrázek 3.9 Univerzální monitor MEg40.

Pro napájení měřicího zařízení bylo použito zálohované napětí 230 V AC z obslužné stanice u vedení, které bylo jištěno 10 A jističem s vypínací charakteristikou B. Fázový vodič napájecího napětí byl přiveden na pojistkový odpínač POJ1, ve kterém byla skleněná trubičková pojistka o hodnotě 1 A. Pracovní vodič napájecího napětí byl připojen na vstupní svorku – 1N proudového chrániče PCH1 a ochranný vodič byl připojen na svorku X1.5 – zemnicí svorka. Z pojistkového odpínače POJ1 byl fázový vodič přiveden na vstupní svorku – 1L proudového chrániče PCH1. Výstupní svorky – 2L, 2N proudového chrániče PCH1,

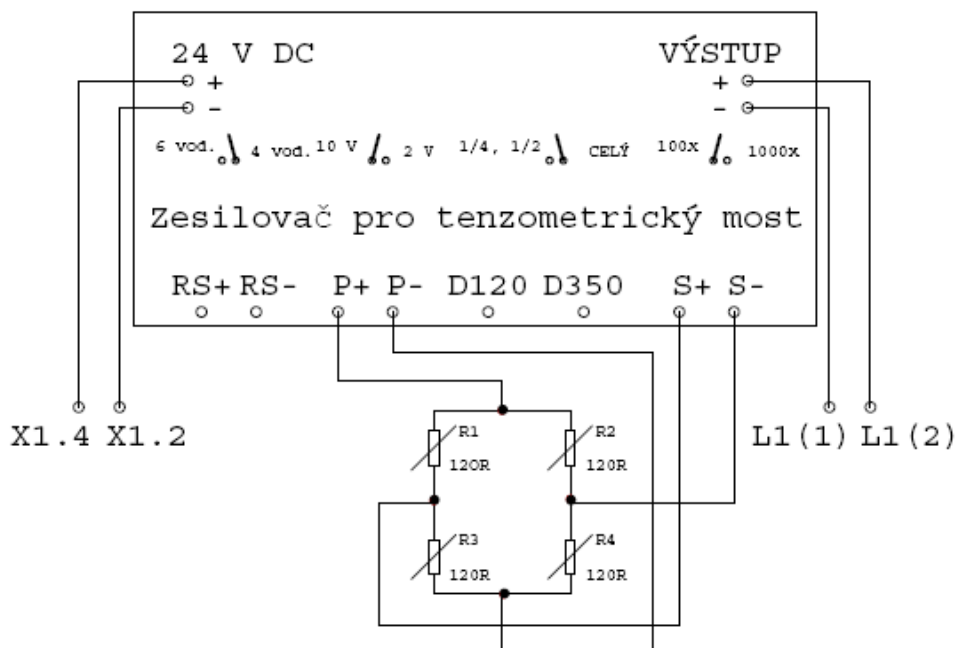
byly zapojeny na napájecí svorky – L, N zdroje (24 V DC) Z1. Zemnicí svorka zdroje Z1 byla připojena na svorku X1.5 – zemnicí svorka. Výstupní svorka (+) zdroje Z1 byla přivedena na svorku X1.1 – svorka + 24V, která byla propojena na svorku X1.2. Výstupní svorka (–) zdroje Z1 byla přivedena na svorku X1.3 – svorka 0 V, která byla propojena na svorku X1.4. Z napájecích svorek – L, N zdroje Z1 byl proveden propoj na napájecí svorky – L, N Univerzálního monitoru MEg 40.



Obrázek 3.10 Schéma zapojení napájecí části a Univerzálního monitoru MEG40.

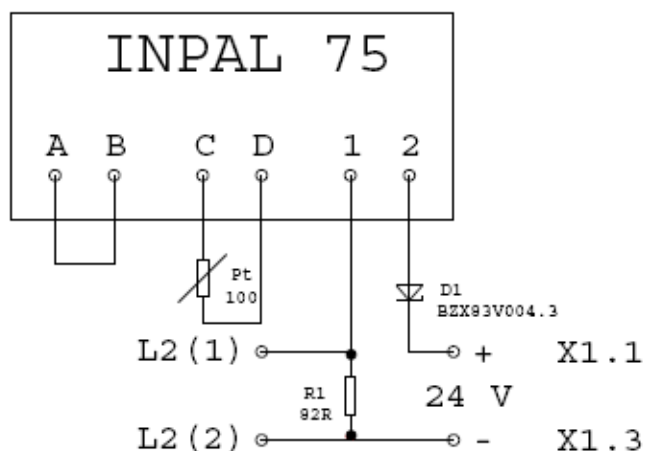
Napájení zesilovače pro tenzometrický most bylo provedeno z X1.2 – svorka +24 V a X1.4 – svorka 0 V přes konektor JACK 1,5. Napájení tenzometrického můstku bylo ze svorek P+, P- zesilovače pro tenzometrický most a výstupní signál z můstku byl přiveden na svorky S+ a S- zesilovače pro tenzometrický most. Výstupní signál ze zesilovače pro tenzometrický most byl přes BNC konektor

přiveden na svorky L1(1), L1(2) napěťového vstupu (-10 – +10 V) Univerzálního monitoru MEg 40.



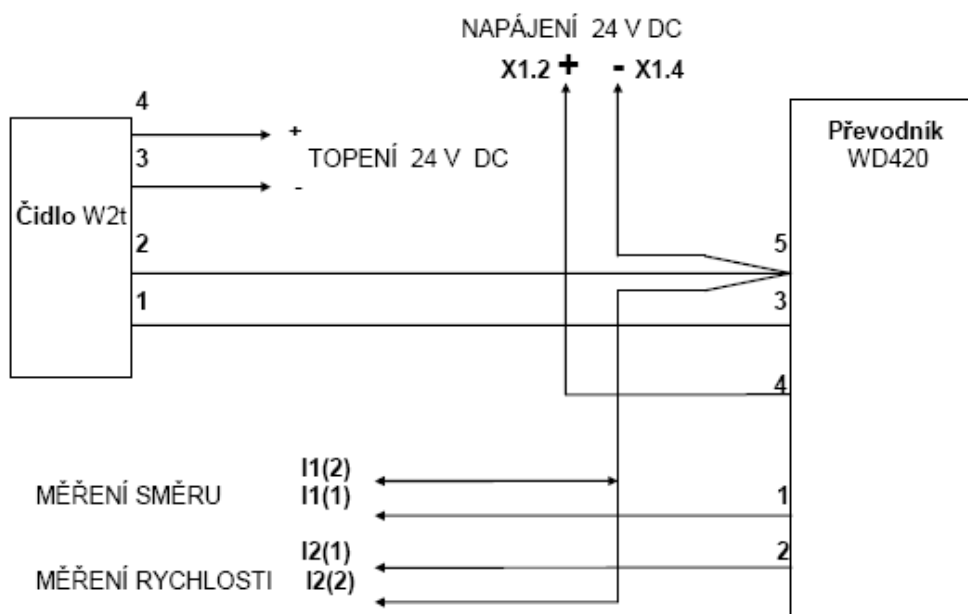
Obrázek 3.11 Schéma zapojení Zesilovače pro tenzometrický most.

Ze svorky X1.1 – svorka + 24V byl přes zenerovu diodu D1 (typ BZX83V004.3) napájen teplotní převodník – svorka 2, protože převodník měl napájení 20 V DC. Ze svorky X1.3 svorka – 0 V bylo přes odpor R1 (82 Ω) přivedeno 0 V na svorku 1 teplotního převodníku, protože bylo nutné zapojit převodník teploty (proudový výstup) na napěťový vstup Univerzálního monitoru MEg 40. Na odporu R1 se měřil úbytek napětí, který byl úměrný protékajícímu proudu přes odpor R1. Úbytek napětí byl přiváděn na svorky L2(1), L2(2) napěťového vstupu (0 -10 V) Univerzálního monitoru MEg 40. Čidlo teploty Pt 100 bylo připojeno na svorky C, D teplotního převodníku a svorky A, B se podle výrobce musely propojit.



Obrázek 3.12 Schéma zapojení teplotního převodníku INPAL 75.

Převodník pro anemometr (WD420) byl připojen přes konektor CANNON 9 PIN. Převodník byl napájen ze svorky X1.2 – svorka + 24V, která byla připojena na PIN 4 a svorka X1.4 svorka – 0 V připojena na PIN 5. Proudový výstup (4 – 20 mA) směru větru PIN 1 a 5 z převodníku byl přiveden na svorky I1(1), I1(2) proudového vstupu (4 – 20 mA) Univerzálního monitoru MEg 40. Proudový výstup (4 – 20 mA) rychlost větru PIN 2 a 5 z převodníku byl přiveden na svorky I2(1), I2(2) proudového vstupu (4 – 20 mA) Univerzálního monitoru MEg 40. Svorka anemometru (W2t) 1 byla připojena na PIN 3 a svorka 2 na PIN 5. Svorky 3, 4 vytápění anemometru nebyly zapojeny.



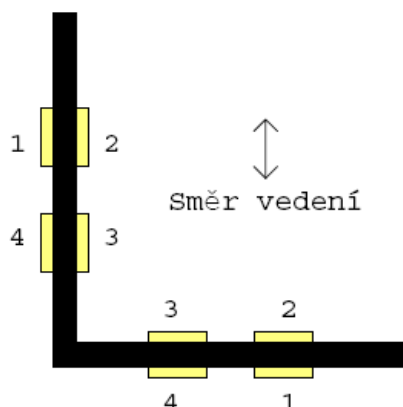
Obrázek 3.13 Schéma zapojení převodníku WD420 a anemometru W2t. [Příloha 3]

3.2.3 Umístění a popis snímačů

Snímače měřených veličin:

- mechanické napětí – tenzometr (tenzometrický můstek)
- teplota – Pt 100
- směr a rychlost větru – anemometr

Snímače mechanického napětí – tenzometry byly zapojeny do dvou plných můstků a nalepeny na stojku stožáru, na které byla umístěna i skříň s měřicím vybavením, a to z důvodu co možná nejkratších přívodů k můstku. Stojka stožáru měla profil rovnoramenného úhelníku o rozměrech 90 x 90 x 12 mm. Tenzometry byly nalepeny 5 mm od středu ramene (10 mm od sebe), ve výšce 1,4 m od betonového základu stožáru (na střed tenzometrů), a to na obě ramena úhelníku z vnitřní i vnější strany proti sobě (vetknutý nosník).



Obrázek 3.14 Umístění tenzometrů na úhelníku stojky.

Místo nalepení bylo zvoleno experimentálně a intuitivně s přihlédnutím k bezpečnosti a dobré dostupnosti. Umístění na stožáru bylo velice těžké dobře zvolit, protože se jednalo o první měření, a tím pádem o nedostatek dat k vyhodnocení. Stožár má složitou konstrukci, která je navíc ovlivňována svým okolím (např. vítr, teplota, námraza), a proto se dají síly na ni působící jen velice těžko vypočítat.



Obrázek 3.15 Umístění tenzometrů na stojce stožáru.

Lepení proběhlo 14.4.2009 den před začátkem měření. Pro toto první lepení byl použit rychleschnoucí dvousložkový epoxid Pattex Repair Universal s dobou slepení 30 minut a vytvrdnutím 24 hodin.

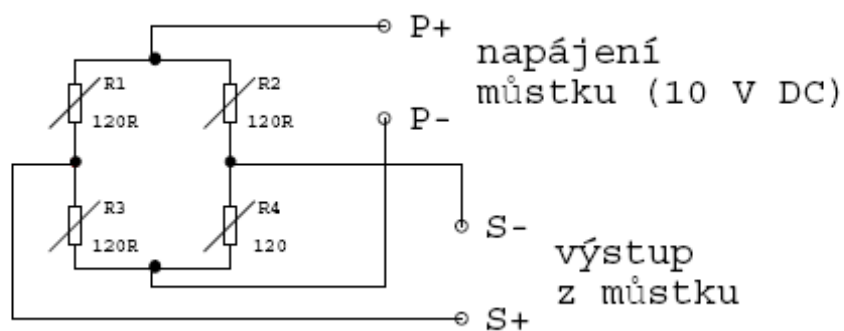
Postup instalace (lepení):

- nejprve byl mechanicky (smirkový papír P60, P280) a chemicky (technický benzín) očištěn povrch lepení,
- bylo nanášeno lepidlo na tenzometr, který byl překryt potravinářskou folií,
- tenzometr byl umístěn na požadované místo a přichycen přes gumový a plechový pásek modelářskou svěrkou ke stojce,
- po tenzometrech byly přilepeny izolační destičky přívodů a propojovací tištěné spoje, na které byly následující den napájeny propojovací vodiče můstku a vodiče od zdroje a do zesilovače (připojení bylo provedeno stíněným kabelem UNITRONIC LIYCY 10 X 0,34 LAPP KABEL STUTTGART v délce asi metr),
- lepidlo bylo necháno vytvrdnout,
- byla provedena kontrola hodnot odporů před (všechny hodnoty byly v toleranci udávané výrobcem) a po lepení (změny byly do 0,25 %, což je vyhovující),
- dále byl změřen izolační odpor jednotlivých tenzometrů vůči konstrukci (měřeno přístrojem INSTALTEST 61557 od firmy METREL, v.č.3459E-04 ,měřicí napětí 50V), změřené hodnoty byly u všech tenzometrů 1999 MΩ,
- po kompletním zapojení byly tenzometry zalakovány izolačním lakem PRF 202/220,
- nakonec byly tenzometry omotány potravinářskou folií.

Použité tenzometry:

- výrobce: Mikrotechna n.p.
- typ: PROUD A 120
- výrobní číslo: 5801EE-PP
- nominální odpor: $122 \Omega \pm 0,5\%$
- součinitel deformační citlivosti: $K = 2,05$
- rozměr: šířka 15 mm, délka 55 mm
- provedení: drátkový na papírové podložce

Tenzometry byly zapojeny do dvou plných můstků, každý na jednom rameni úhelníku. Bylo to z důvodu možnosti sledování mechanického namáhání jak v ose vedení, tak kolmo na ně. Přičemž k měření se používal vždy jen jeden můstek z důvodu pouze jednoho měřicího kanálu pro tenzometrický můstek na Univerzálním monitoru MEG40.



Obrázek 3.16 Schéma zapojení plného můstku.

Při napájení můstku 10 V bylo výstupní napětí z můstku 20 mV, takže citlivost můstku byla 2 mV/V. Výpočet podle vzorce (2.4). Odpor přívodů P byl zanedbán.

$$U_D = 10 \cdot 2,05 \cdot 10^{-3} \doteq 20 \text{ mV}$$

Jako umístění snímače pro měření teploty byla zvolena plastová krabička umístěná na spodu měřicí skříně (blíže popsáno v kapitole 3.2.1). Pro měření byl použit kovový odporový snímač Pt 100, který byl do teplotního převodníku připojen pomocí stíněného kabelu UNITRONIC LIYCY 10 X 0,34 LAPP KABEL STUTTGART v délce asi 0,8 m.

Snímač měření směru a rychlosti větru byl umístěn ve vzdálenosti asi tři metry vedle monitorovaného stožáru na anténním stožáru ve výšce pět metrů nad zemí.



Obrázek 3.17 Umístění anemometru.

Pomocí vyrobené konzoly, která byla dlouhá 0,5 m a do jejíž trubky o světlosti 25 mm byl snímač vsazen, a kterou zároveň prochází stíněný připojovací kabel UNITRONIC LIYCY 10 X 0,34 LAPP KABEL STUTTGART

v délce asi deset metrů. Snímač je v trubce zajištěn bočním šroubem M4 v poloze, kdy oblouk držáku snímače směřuje na sever. Konzola byla opět připevněna pomocí systému BANDIMEX.



Obrázek 3.18 Upevnění anemometru.

3.3 MĚŘENÍ SLEDOVANÝCH VELIČIN

Měření začalo dne 15.4. 2009, poté co byla dokončena instalace zařízení a pokračovalo s přestávkami zaviněnými poruchami do 26.4.2009.

Univerzální monitor MEg40 měl nastaven dvousekundový interval záznamu s kruhovým zápisem (zaznamenaná data se přepisují od nejstaršího) pro všechny kanály. Přístroj má 4 MB paměti, se kterou bylo možné provádět záznam asi 2 dny. Pro rozšíření paměti má přístroj i slot pro paměťovou kartu – nebyla využita.

Jako první byl na zesilovač pro tenzometrický most připojen můstek umístěný na stojce stožáru ve směru v ose vedení. Toto měření probíhalo od 15.4.2009 do 17.4.2009. Měření v kolmém směru k vedení probíhalo od 22.4.2009 do 23.4.2009, a poté ještě od 24.4.2009 do 26.4.2009. Na zesilovači bylo pomocí přepínačů nastaveno (toto nastavení platilo pro můstek v ose vedení i pro můstek kolmý k vedení):

- čtyřvodičové zapojení
- napájení můstku 10 V DC
- plný můstek
- zesílení 100x

3.3.1 Měření v ose vedení

Měření v ose vedení začalo v 17:30 hodin dne 15.4.2009 a trvalo do 17.4.2009 asi do 13:00, kdy ho přerušila porucha měření mechanického napětí.

Uvedené tabulky s měřenými a vypočtenými hodnotami (viz. níže) jsou pouze na ukázkou, kompletní výsledky měření mají tisíce stran a jsou uvedeny v elektronické podobě na přiloženém CD v bakalářské práci.

Pro výpočet mechanického napětí působícího v místě nalepení tenzometru byl použit Hookův zákon, který říká, že poměrná deformace ε je úměrná mechanickému napětí σ [8]:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (3.1)$$

V našem případě je modul pružnosti oceli $E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa a mez kluzu oceli je 500 MPa. [8]

Výpočet celkové poměrné deformace (celého můstku) ohýbaného nosníku [8]:

$$\varepsilon_v = \frac{2}{K} \varepsilon_i = 4 \cdot \varepsilon_{iM} \quad (3.2)$$

Ze vzorce (3.4) plyne, že poměrná deformace jednoho tenzometru je 4x menší než plného můstku a při součiniteli deformační citlivosti K asi 2 je $\varepsilon_v \doteq \varepsilon_i$. [8]

$$\varepsilon_i = \frac{K U_D}{4 U} \Rightarrow \varepsilon_i = 2 \frac{U_D}{U} \quad (3.3)$$

Z výše uvedených vzorců pro náš můstek vyplývá:

$$\frac{U_D}{U} = 2 \frac{mV}{V} = 2 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_i = 4000 \frac{\mu m}{m} = 4 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{iM} = 1000 \frac{\mu m}{m} = 10^{-3}$$

$$\sigma = 200 \text{ MPa}$$

Příklad výpočtu:

$$\frac{U_D}{U} = \frac{0,00152714012}{10} = 1,53 \cdot 10^{-4}$$

$$\varepsilon_i = 2 \frac{U_D}{U} = 2 \cdot 1,53 \cdot 10^{-4} = 3,06 \cdot 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{iM} = \frac{3,06 \cdot 10^{-4}}{4} = 7,63 \cdot 10^{-5}$$

$$\sigma = 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 7,63 \cdot 10^{-5} = 16,03 \text{ MPa}$$

Výpočet teploty byl proveden podle Ohmova zákona a úměry mezi proudem a teplotou (0 °C = 0,004 A = 0,0328 V, 100 °C = 0,02 A = 1,64 V).

$$R = \frac{U}{I} \Rightarrow I = \frac{U}{R} \quad (3.4)$$

Příklad výpočtu:

$$I = \frac{0,660725038}{82} \doteq 8,06 \text{ mA} \Rightarrow 23,64 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Výpočet směru a rychlosti větru byl proveden na základě vztahu udávaného výrobcem převodníku pro anemometr:

- $0 \text{ ms}^{-1} = 0,004 \text{ A}$ a $30 \text{ ms}^{-1} = 0,02 \text{ A}$
- $0^{\circ} = 0,004 \text{ A}$ a $350^{\circ} = 0,02 \text{ A}$

Průběhy naměřených a vypočtených hodnot jsou uvedeny v grafech v Příloze 4 až 7.

Tabulka 3.1 Naměřené hodnoty v ose vedení.

Datum	Čas	Mechanické napětí [V]	Teplota [V]	Směr větru [A]	Rychlost větru [A]
4/15/2009	17:30:05	0,061240412	0,660725038	0,011341744	0,005522393
4/15/2009	17:30:07	0,125582400	0,660876133	0,011340940	0,005556974
4/15/2009	17:30:09	0,152714012	0,660347432	0,010971802	0,005519176
4/15/2009	17:30:11	0,112403612	0,660725038	0,011344157	0,005478160
4/15/2009	17:30:13	0,093799200	0,660725038	0,011795325	0,005289972
4/15/2009	17:30:15	0,108528000	0,660649547	0,012105755	0,005268258
4/15/2009	17:30:17	0,077520000	0,660574018	0,012243278	0,005297210
4/15/2009	17:30:19	0,119380412	0,660574018	0,012247299	0,005287560
4/15/2009	17:30:21	0,083721600	0,660422923	0,012699271	0,005226439
4/15/2009	17:30:23	0,136435200	0,660347432	0,011976275	0,005301232
4/15/2009	17:30:25	0,094574012	0,660271903	0,011796130	0,005337422
4/15/2009	17:30:27	0,119380412	0,660271903	0,012245690	0,005247349
4/15/2009	17:30:29	0,110853600	0,660120846	0,012245690	0,005170143
4/15/2009	17:30:31	0,102326400	0,660045317	0,012247299	0,005150038
4/15/2009	17:30:33	0,142636800	0,659894222	0,012063131	0,005122694
4/15/2009	17:30:35	0,160466400	0,659063406	0,011797739	0,005054335
4/15/2009	17:30:37	0,148063200	0,659592145	0,010404826	0,004942548
4/15/2009	17:30:39	0,163566812	0,658685801	0,009402765	0,004833174
4/15/2009	17:30:41	0,164342400	0,658685801	0,009050515	0,004706107
4/15/2009	17:30:43	0,188373600	0,658081533	0,009049711	0,004589495
4/15/2009	17:30:45	0,152714012	0,658761329	0,009050515	0,004540437
4/15/2009	17:30:47	0,151163612	0,658685801	0,009049711	0,004520332
4/15/2009	17:30:49	0,175195200	0,657703927	0,008600151	0,004489771
4/15/2009	17:30:51	0,154264800	0,658308119	0,008144157	0,004479316
4/15/2009	17:30:53	0,171319200	0,657477304	0,008144961	0,004429455
4/15/2009	17:30:55	0,166668000	0,657552870	0,005371199	0,004389244
4/15/2009	17:30:57	0,165117212	0,657401813	0,005877055	0,004453581
4/15/2009	17:30:59	0,191474012	0,657024169	0,005423473	0,004511485
4/15/2009	17:31:01	0,193024800	0,656722017	0,005877859	0,004572606
4/15/2009	17:31:03	0,170543612	0,656797583	0,006647499	0,004653833
4/15/2009	17:31:05	0,175195200	0,656570997	0,005423473	0,004732646
4/15/2009	17:31:07	0,178296000	0,656495468	0,004973913	0,004724604
4/15/2009	17:31:09	0,191474012	0,656268882	0,006131189	0,004699673

Tabulka 3.2 Vypočtené hodnoty v ose vedení.

Datum	Čas	Mechanické napětí [MPa]	Teplota [°C]	Rychlost větru [ms ⁻¹]	Směr větru[°]
4/15/2009	17:30:05	6,43	23,64	2,85	165
4/15/2009	17:30:07	13,19	23,65	2,92	165
4/15/2009	17:30:09	16,03	23,63	2,85	157
4/15/2009	17:30:11	11,80	23,64	2,77	165
4/15/2009	17:30:13	9,85	23,64	2,42	175
4/15/2009	17:30:15	11,40	23,64	2,38	182
4/15/2009	17:30:17	8,14	23,64	2,43	185
4/15/2009	17:30:19	12,53	23,64	2,41	186
4/15/2009	17:30:21	8,79	23,63	2,30	196
4/15/2009	17:30:23	14,33	23,63	2,44	179
4/15/2009	17:30:25	9,93	23,63	2,51	175
4/15/2009	17:30:27	12,53	23,63	2,34	186
4/15/2009	17:30:29	11,64	23,62	2,19	186
4/15/2009	17:30:31	10,74	23,62	2,16	186
4/15/2009	17:30:33	14,98	23,61	2,11	181
4/15/2009	17:30:35	16,85	23,58	1,98	175
4/15/2009	17:30:37	15,55	23,60	1,77	144
4/15/2009	17:30:39	17,17	23,57	1,56	122
4/15/2009	17:30:41	17,26	23,57	1,32	114
4/15/2009	17:30:43	19,78	23,55	1,11	114
4/15/2009	17:30:45	16,03	23,57	1,01	114
4/15/2009	17:30:47	15,87	23,57	0,98	114
4/15/2009	17:30:49	18,40	23,54	0,92	104
4/15/2009	17:30:51	16,20	23,56	0,90	93
4/15/2009	17:30:53	17,99	23,53	0,81	93
4/15/2009	17:30:55	17,50	23,53	0,73	31
4/15/2009	17:30:57	17,34	23,52	0,85	42
4/15/2009	17:30:59	20,10	23,51	0,96	32
4/15/2009	17:31:01	20,27	23,50	1,07	42
4/15/2009	17:31:03	17,91	23,50	1,23	60
4/15/2009	17:31:05	18,40	23,49	1,37	32
4/15/2009	17:31:07	18,72	23,49	1,36	22
4/15/2009	17:31:09	20,10	23,48	1,31	48

3.3.2 Měření kolmo na vedení

Měření kolmo na vedení začalo v 11:30 hodin dne 22.4.2009 a trvalo do 23.4.2009 asi do 6:30, kdy ho přerušila porucha měření mechanického napětí. Po jejím odstranění probíhalo měření od 15:45 hodin 24.4.2009 do 26.4.2009 do 23:59.

Uvedené tabulky s měřeními a vypočtenými hodnotami (viz. níže) jsou pouze na ukázkou, kompletní výsledky měření mají tisíce stran a jsou uvedeny v elektronické podobě na přiloženém CD v bakalářské práci.

Výpočet teploty, směru a rychlosti větru byl proveden stejným způsobem, který je uveden v kapitole 3.3.1 Měření v ose vedení.

Průběhy naměřených a vypočtených hodnot jsou uvedeny v grafech v Příloze 8 až 14.

Tabulka 3.3 Naměřené hodnoty kolmo na vedení.

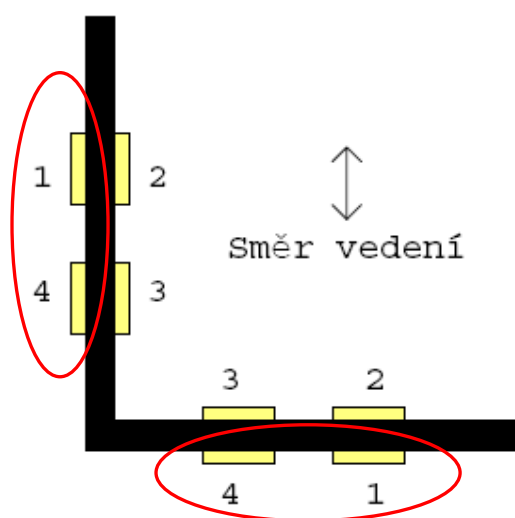
Datum	Čas	Mechanické napětí [V]	Teplota [V]	Směr větru [A]	Rychlost větru [A]
4/22/2009	11:32:47	-0,428950751	0,602190295	0,005428299	0,005268258
4/22/2009	11:32:49	-0,428950751	0,602114804	0,007237799	0,005265042
4/22/2009	11:32:51	-0,428950751	0,602114804	0,006789847	0,005123498
4/22/2009	11:32:53	-0,426434849	0,602190295	0,005877859	0,005003669
4/22/2009	11:32:55	-0,431466591	0,602190295	0,005883488	0,004899120
4/22/2009	11:32:57	-0,427692800	0,602114804	0,005878663	0,004774466
4/22/2009	11:32:59	-0,428950751	0,602114804	0,005885097	0,004767228
4/22/2009	11:33:01	-0,428950751	0,602114804	0,006329028	0,004692435
4/22/2009	11:33:03	-0,428950751	0,601963708	0,006789042	0,004630510
4/22/2009	11:33:05	-0,428950751	0,602114804	0,006793064	0,004580648
4/22/2009	11:33:07	-0,427692800	0,602190295	0,006786630	0,004575019
4/22/2009	11:33:09	-0,428950751	0,602114804	0,006786630	0,004557326
4/22/2009	11:33:11	-0,429579680	0,602190295	0,006340287	0,004579040
4/22/2009	11:33:13	-0,429579680	0,602114804	0,006793064	0,004650616
4/22/2009	11:33:15	-0,429579680	0,602190295	0,006785825	0,004772053
4/22/2009	11:33:17	-0,427063840	0,602190295	0,006329028	0,004805831
4/22/2009	11:33:19	-0,427692800	0,602190295	0,005428299	0,004982760
4/22/2009	11:33:21	-0,431466591	0,602190295	0,006330636	0,005470118
4/22/2009	11:33:23	-0,427692800	0,602190295	0,005605227	0,005726665
4/22/2009	11:33:25	-0,426434849	0,602190295	0,005428299	0,005664740
4/22/2009	11:33:27	-0,427692800	0,602265861	0,004981151	0,005484594
4/22/2009	11:33:29	-0,425176960	0,602114804	0,005428299	0,005252174
4/22/2009	11:33:31	-0,428950751	0,602114804	0,005429103	0,005026992
4/22/2009	11:33:33	-0,428950751	0,602114804	0,006329832	0,004846846
4/22/2009	11:33:35	-0,427692800	0,602190295	0,007234582	0,004716562
4/22/2009	11:33:37	-0,429579680	0,601963708	0,009960090	0,004668309
4/22/2009	11:33:39	-0,424548000	0,601963708	0,009808093	0,004645791
4/22/2009	11:33:41	-0,429579680	0,601963708	0,009115657	0,004683589
4/22/2009	11:33:43	-0,429579680	0,601888180	0,009740538	0,004673938
4/22/2009	11:33:45	-0,428950751	0,601888180	0,009053732	0,004679568
4/22/2009	11:33:47	-0,427692800	0,601812689	0,009508922	0,004591103
4/22/2009	11:33:49	-0,427063840	0,601812689	0,009959287	0,004579844

Tabulka 3.4 Vypočtené hodnoty kolmo na vedení.

Datum	Čas	Mechanické napětí [MPa]	Teplota [°C]	Rychlost větru [ms^{-1}]	Směr větru [°]
4/22/2009	11:32:47	-45,04	21,55	2,38	32
4/22/2009	11:32:49	-45,04	21,55	2,37	73
4/22/2009	11:32:51	-45,04	21,55	2,11	63
4/22/2009	11:32:53	-44,78	21,55	1,88	42
4/22/2009	11:32:55	-45,30	21,55	1,69	42
4/22/2009	11:32:57	-44,91	21,55	1,45	42
4/22/2009	11:32:59	-45,04	21,55	1,44	42
4/22/2009	11:33:01	-45,04	21,55	1,30	52
4/22/2009	11:33:03	-45,04	21,54	1,18	63
4/22/2009	11:33:05	-45,04	21,55	1,09	63
4/22/2009	11:33:07	-44,91	21,55	1,08	63
4/22/2009	11:33:09	-45,04	21,55	1,04	63
4/22/2009	11:33:11	-45,11	21,55	1,09	53
4/22/2009	11:33:13	-45,11	21,55	1,22	63
4/22/2009	11:33:15	-45,11	21,55	1,45	63
4/22/2009	11:33:17	-44,84	21,55	1,51	52
4/22/2009	11:33:19	-44,91	21,55	1,84	32
4/22/2009	11:33:21	-45,30	21,55	2,76	52
4/22/2009	11:33:23	-44,91	21,55	3,24	36
4/22/2009	11:33:25	-44,78	21,55	3,12	32
4/22/2009	11:33:27	-44,91	21,55	2,78	22
4/22/2009	11:33:29	-44,64	21,55	2,35	32
4/22/2009	11:33:31	-45,04	21,55	1,93	32
4/22/2009	11:33:33	-45,04	21,55	1,59	52
4/22/2009	11:33:35	-44,91	21,55	1,34	73
4/22/2009	11:33:37	-45,11	21,54	1,25	134
4/22/2009	11:33:39	-44,58	21,54	1,21	131
4/22/2009	11:33:41	-45,11	21,54	1,28	115
4/22/2009	11:33:43	-45,11	21,54	1,26	129
4/22/2009	11:33:45	-45,04	21,54	1,27	114
4/22/2009	11:33:47	-44,91	21,54	1,11	124
4/22/2009	11:33:49	-44,84	21,54	1,09	134

3.3.3 Poruchy měření

Poruchy při měření se vyskytly pouze na měřicím kanálu mechanického napětí a to vždy na tenzometrech. Jedenkrát (23.4. 2009) při měření v kolmém směru na vedení a dvakrát (17.4.2009 a 30.4.2009) při měření v ose vedení. Poruchy byly vždy způsobeny při dešti zavlhnutím tenzometrů, které byly nalepeny na venkovní straně stojky.

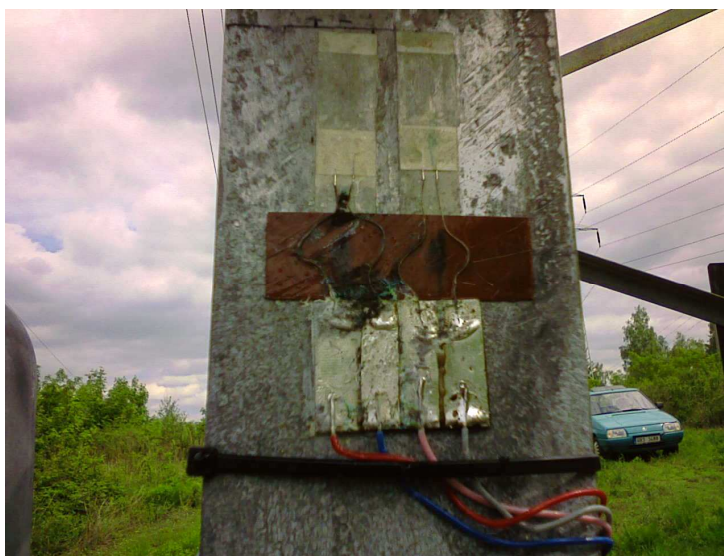


Obrázek 3.19 Umístění zavlhlých tenzometrů.

Při zavlhnutí tenzometru došlo k oxidaci jeho přívodů a drátku měrné mřížky. Změnil se jeho izolační odpor (z hodnoty 1999 MΩ na desítky kΩ) a nominální odpor z $122 \Omega \pm 0,5 \%$ na:

- 17.4.2009 – tenzometr č.1 = 366,6 Ω
- 23.4.2009 – tenzometr č.1 = 233,4 Ω
- 30.4.2009 – tenzometr č.4 = 480,2 Ω

Průběh napětí při zavlhnutí tenzometrů je zobrazen v Příloze 9 – Mechanické napětí 23.4.2009.



Obrázek 3.20 Poškozený tenzometr.

Tento problém se v podstatě nepodařilo během měření vyřešit, ale je zřejmé, že přelakování tenzometrů izolačním lakem a následné překrytí potravinářskou fólií není dostačující a ani vhodné, obzvláště u tenzometru na papírové podložce. Při následujícím dlouhodobějším měření se musí použít fólie a tmely k tomuto účelu určené. Např. permanentní plastický tmel AK22 nebo permanentní plastický tmel s hliníkovou fólií ABM 75 od firmy HBM (Německo).

3.4 MĚŘENÍ VIBRACÍ [13]

Měření vibrací proběhlo dne 13.5.2009 a to v časech od 8:00 hod. do 9:00 hod., od 12:00 hod. do 13:00 hod. a od 18:00 hod. do 19:00 hod.. Celý den bylo polojasno, teplota při měření byla asi 14 °C, 20 °C a 18 °C a pofukoval mírný vítr. Pro měření byl použit MĚŘIČ VIBRACÍ MV-4 od firmy AURA a.s., Milevsko, ČR. Přístroj měří efektivní hodnotu zrychlení a , rychlosti v a výchylky s . Jako snímač vibrací byl použit se soupravou standardně dodávaný akcelerometr SV 128 střížného typu, konstrukce DiscShear.

MĚŘIČ VIBRACÍ MV-4:

- výrobce: AURA a.s.
- přístroj typ: MV-4
- v.č.: MV4 999514
- datum výroby: 12.10.1999
- akcelerometr typ: SW128
- výrobní číslo: 1281120
- datum výroby: 9.9.1999

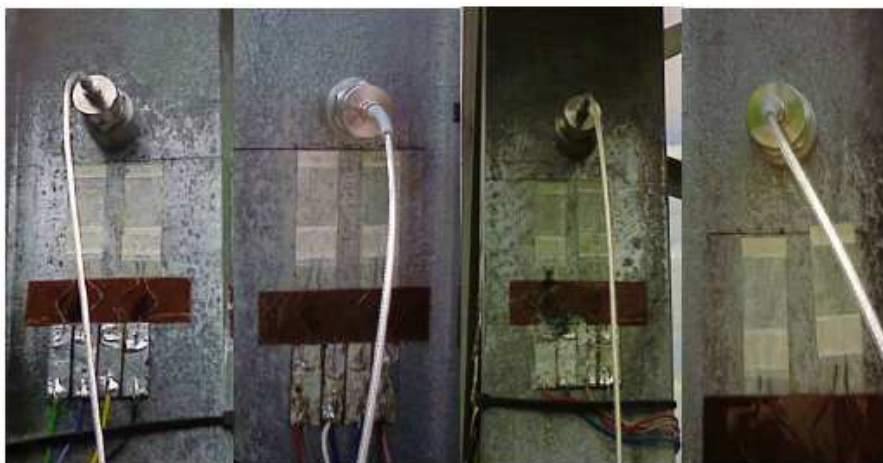


Obrázek 3.21 MĚŘIČ VIBRACÍ MV-4.

Pro správné měření je nezbytná kalibrace přístroje MV-4 na akcelerometr, v přístroji musí být nastavena správná nábojová citlivost [pC/ms^{-2}] používaného akcelerometru, kterou výrobce udává v kalibračním listu akcelerometru. V našem případě byla tato hodnota $2,83 \text{ pC/ms}^{-2}$. Kalibrační list snímače (viz. Příloha 15).

Před měřením byla v přístroji nastavena rozsahová automatika, která automaticky přepíná rozsahy podle velikosti měřené veličiny. Dále byly nastaveny filtry frekvencí – dolní filtr na minimum 1 Hz (pouze pro výchylku, při použití snímače s citlivostí menší jak 8 pC/ms^{-2} , musela být nastavena hodnota na 10 Hz) a horní filtr na maximum 10 kHz. Při měření se ukázalo, že nastavení filtrů na jakoukoli hodnotu výsledky měření nijak neovlivňovalo.

Měření bylo provedeno v těsné blízkosti nad tenzometry, a to na obou ramenech úhelníku, z vnitřní i z vnější strany. Umístění bylo vhodné kvůli ošetření povrchu z důvodu předchozího lepení tenzometrů. Snímač byl připevněn pomocí magnetické příchytky a byl připojen k přístroji MV-4 nízkošumovým kabelem v délce 1,5 m.



Obrázek 3.22 Umístění snímače na jednotlivých stranách.

Samotné měření proběhlo podle návodu přiloženého u přístroje MĚŘIČ VIBRACÍ MV-4. [13]

Tabulka 3.5 Hodnoty měření vibrací od 8 hod. do 9 hod. souběžně s vedením.

Venkovní strana stojky				Vnitřní strana stojky			
Čas	a [m.s^{-2}]	v [mm.s^{-1}]	s [μm]	Čas	a [m.s^{-2}]	v [mm.s^{-1}]	s [μm]
7:57	1,3	0,6	4	8:30	1,2	0,5	5
7:58	1,2	0,5	6	8:31	1,3	0,5	4
7:59	1,3	0,6	4	8:32	1,3	0,6	6
8:00	1,2	0,5	6	8:33	1,2	0,4	4
8:01	1,2	0,6	5	8:34	1,2	0,4	5
8:02	1,2	0,5	7	8:35	1,3	0,6	5
8:03	1,3	0,6	6	8:36	1,2	0,5	6
8:04	1,3	0,5	4	8:37	1,2	0,5	5
8:05	1,2	0,4	6	8:38	1,3	0,4	7
8:06	1,2	0,4	5	8:39	1,3	0,5	6
8:07	1,3	0,5	7	8:40	1,3	0,5	4
8:08	1,3	0,5	5	8:41	1,2	0,4	6
8:09	1,3	0,6	6	8:42	1,2	0,5	4
8:10	1,2	0,5	6	8:43	1,3	0,6	7
8:11	1,2	0,5	4	8:44	1,2	0,5	5

Tabulka 3.6 Hodnoty měření vibrací od 8 hod. do 9 hod. kolmo k vedení.

Venkovní strana stojky				Vnitřní strana stojky			
Čas	a [m.s^{-2}]	v [mm.s^{-1}]	s [μm]	Čas	a [m.s^{-2}]	v [mm.s^{-1}]	s [μm]
8:14	1,2	0,5	5	8:46	1,3	0,5	4
8:15	1,3	0,5	6	8:47	1,3	0,5	6
8:16	1,2	0,5	6	8:48	1,3	0,6	5
8:17	1,2	0,4	5	8:49	1,2	0,5	6
8:18	1,2	0,5	5	8:50	1,3	0,5	5
8:19	1,2	0,5	6	8:51	1,2	0,4	4
8:20	1,2	0,5	5	8:52	1,2	0,5	4
8:21	1,2	0,4	6	8:53	1,2	0,4	4
8:22	1,3	0,5	5	8:54	1,2	0,4	4
8:23	1,2	0,4	4	8:55	1,3	0,5	5
8:24	1,2	0,4	4	8:56	1,3	0,5	4
8:25	1,2	0,5	6	8:57	1,3	0,5	5
8:26	1,2	0,4	4	8:58	1,2	0,6	6
8:27	1,2	0,5	5	8:59	1,3	0,5	5
8:28	1,2	0,5	6	9:00	1,2	0,4	4

Tabulka 3.7 Hodnoty měření vibrací od 12 hod. do 13 hod. souběžně s vedením.

Venkovní strana stojky				Vnitřní strana stojky			
Čas	a [m.s^{-2}]	v [mm.s^{-1}]	s [μm]	Čas	a [m.s^{-2}]	v [mm.s^{-1}]	s [μm]
11:56	1,3	0,6	4	12:30	1,2	0,5	6
11:57	1,2	0,5	7	12:31	1,2	0,5	4
11:58	1,2	0,6	4	12:32	1,2	0,4	6
12:00	1,2	0,5	6	12:33	1,2	0,4	4
12:01	1,2	0,6	5	12:34	1,2	0,4	5
12:02	1,2	0,5	7	12:35	1,2	0,5	4
12:03	1,3	0,5	6	12:36	1,2	0,5	6
12:04	1,3	0,5	4	12:37	1,2	0,5	5
12:05	1,2	0,4	6	12:38	1,3	0,4	7
12:06	1,2	0,4	5	12:39	1,3	0,5	6
12:07	1,2	0,5	8	12:40	1,3	0,5	4
12:08	1,2	0,5	6	12:41	1,2	0,5	6
12:09	1,2	0,5	6	12:42	1,2	0,5	5
12:10	1,2	0,5	6	12:43	1,3	0,5	8
12:11	1,2	0,4	4	12:44	1,2	0,5	5

Tabulka 3.8 Hodnoty měření vibrací od 12 hod. do 13 hod. kolmo k vedení.

Venkovní strana stojky				Vnitřní strana stojky			
Čas	a [m.s^{-2}]	v [mm.s^{-1}]	s [μm]	Čas	a [m.s^{-2}]	v [mm.s^{-1}]	s [μm]
12:14	1,2	0,5	5	12:46	1,3	0,5	4
12:15	1,3	0,5	6	12:47	1,2	0,5	6
12:16	1,2	0,5	6	12:48	1,3	0,4	5
12:17	1,2	0,4	6	12:49	1,2	0,5	6
12:18	1,2	0,5	5	12:50	1,3	0,5	5
12:19	1,2	0,5	6	12:51	1,2	0,4	6
12:20	1,2	0,5	5	12:52	1,2	0,5	4
12:21	1,2	0,4	6	12:53	1,3	0,4	4
12:22	1,2	0,5	5	12:54	1,2	0,5	4
12:23	1,2	0,4	6	12:55	1,3	0,5	5
12:24	1,2	0,5	4	12:56	1,3	0,5	4
12:25	1,2	0,5	6	12:57	1,3	0,5	5
12:26	1,2	0,4	4	12:58	1,3	0,6	6
12:27	1,2	0,5	4	12:59	1,3	0,5	5
12:28	1,2	0,5	6	13:00	1,2	0,4	5

Tabulka 3.9 Hodnoty měření vibrací od 18 hod. do 19 hod. souběžně s vedením.

Venkovní strana stojky				Vnitřní strana stojky			
Čas	a [m.s^{-2}]	v [mm.s^{-1}]	s [μm]	Čas	a [m.s^{-2}]	v [mm.s^{-1}]	s [μm]
7:57	1,3	0,6	5	8:30	1,3	0,5	6
7:58	1,2	0,4	6	8:31	1,3	0,5	5
7:59	1,3	0,6	4	8:32	1,3	0,6	6
8:00	1,2	0,5	6	8:33	1,2	0,4	4
8:01	1,2	0,6	5	8:34	1,2	0,4	5
8:02	1,2	0,5	7	8:35	1,3	0,6	5
8:03	1,2	0,6	6	8:36	1,2	0,5	6
8:04	1,2	0,5	4	8:37	1,2	0,5	5
8:05	1,2	0,4	6	8:38	1,3	0,4	6
8:06	1,2	0,4	5	8:39	1,3	0,5	7
8:07	1,3	0,5	7	8:40	1,3	0,5	4
8:08	1,3	0,5	5	8:41	1,2	0,4	6
8:09	1,3	0,6	6	8:42	1,2	0,5	4
8:10	1,2	0,4	4	8:43	1,3	0,6	7
8:11	1,3	0,5	4	8:44	1,3	0,5	5

Tabulka 3.10 Hodnoty měření vibrací od 18 hod. do 19 hod. kolmo k vedení.

Venkovní strana stojky				Vnitřní strana stojky			
Čas	a [m.s^{-2}]	v [mm.s^{-1}]	s [μm]	Čas	a [m.s^{-2}]	v [mm.s^{-1}]	s [μm]
18:14	1,2	0,5	5	8:46	1,3	0,5	6
18:15	1,3	0,5	6	8:47	1,3	0,5	6
18:16	1,2	0,5	5	8:48	1,3	0,6	5
18:17	1,2	0,4	5	8:49	1,2	0,5	6
18:18	1,3	0,5	5	8:50	1,2	0,5	5
18:19	1,2	0,5	6	8:51	1,2	0,4	4
18:20	1,3	0,5	5	8:52	1,2	0,5	5
18:21	1,2	0,4	6	8:53	1,2	0,4	4
18:22	1,3	0,5	5	8:54	1,2	0,4	4
18:23	1,2	0,4	4	8:55	1,3	0,5	6
18:24	1,2	0,4	4	8:56	1,3	0,5	4
18:25	1,2	0,5	6	8:57	1,2	0,5	4
18:26	1,2	0,4	4	8:58	1,2	0,6	6
18:27	1,3	0,5	5	8:59	1,3	0,5	5
18:28	1,3	0,6	6	9:00	1,2	0,4	4

4. NÁVRH ŘEŠENÍ A ZHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Z důvodu umístění monitorovacího zařízení na stožárech vvn, a tedy horší dostupnosti (venkovní vedení mimo cesty), vyplývá požadavek na jeho bezúdržbovost a spolehlivost. Předpokládá se nemožnost napájení monitorovacího zařízení ze sítě 230 V (napájení se provede např. ze solárního panelu), a proto bude kladen hlavní požadavek na jeho energetickou úspornost. Hodnoty měřených veličin budou v určených intervalech zaznamenávány na datalogger, kde budou uloženy, a poté dále zpracovány.

Snímače použité v tomto prvním zkušebním měření byly pouze dočasné a provizorní, aby se ukázalo jestli jsou pro dané měření vhodné. Získala se první data, jak moc je stožár ovlivňován svým okolím, co na něho má větší vliv, a co naopak zanedbatelný.

4.1 MĚŘENÍ MECHANICKÉHO NAPĚTÍ

Na základě informací uvedených v kapitole 3.4.1 jsme se pro naši aplikaci měření mechanického napětí příhradových stožárů vvn rozhodli pro kovové odporové tenzometry. Tyto snímače mají lineární závislost odporu na mechanickém namáhání, malou teplotní závislost, mechanickou odolnost, měření deformace až jednotek mm/m, snadnou upevnitelnost pomocí lepení (odpadá nutnost vrtání děr pro uchycení a tím oslabování konstrukce a místo možné koroze) a velkého množství velikostí a tvarů. V našem případě byly použity tenzometry drátkové na papírové podložce. Tato varianta není vhodná z důvodu umístění měrné mřížky snímače na papírové podložce, která není odolná vůči vlhkosti. Při budoucí aplikaci na delší monitorovací dobu bude volen fóliový odporový tenzometr (podložka bývá nejčastěji z polyamidu) o rozměrech podobné velikosti, jako byly nyní použité tenzometry. Velikost se zdála vyhovující vůči rozměrům profilu stojky stožáru, při stožáru s jiným rozměrem profilu stojky se musí přizpůsobit i velikost tenzometru. Typ tenzometru může být např. série Y (1-LY11-10/120 nebo 1-LY11-10/350) od firmy HBM (Německo). Tenzometry budou připevněny ke konstrukci lepením, to musí být

provedeno pomocí speciálního lepidla na tenzometry, např. Z70 nebo X60 firmy HBM, protože přilepení stávajícím epoxidem bylo pouze krátkodobé provizorní řešení. Izolace musí být také provedena lépe než při tomto prvním měření, kdy se nedostatečná izolace tenzometrů opakovaně projevila jako zdroj poruch měření. Izolace se může provést např. pomocí hliníkové folie ABM 75 a tmelu AK22 od firmy HBM (Německo). Zapojení do plného stejnosměrného můstku (čtyři aktivní tenzometry) je vyhovující. Toto zapojení poskytuje výhody nulující činitel nelinearity, čtyřnásobné citlivosti, nulové chyby vlivem teploty i zanedbatelné chyby přívodů. Umístění tenzometrů se jeví ne příliš vhodné z důvodu měření pouze jedné stojky stožáru, kdy se měřil ohybový moment stojky. V dalším měření by se měly měřit všechny stojky stožáru, tím by měřila osová síla (namáhání) celého stožáru, která bude o několik řádů vyšší.

Jako případná náhrada za tenzometry by se naskytovalo použití Microcell senzoru firmy KISTLER – MORSE (USA), což je vysoce citlivý a teplotně stabilní polovodičový snímač pnutí, který se přímo našroubuje na nosnou konstrukci (může být nevýhoda z důvodu oslabení konstrukce a možnosti zvýšené koroze). Při změnách pnutí materiálu je napínán nebo stlačován Microcell senzor. To způsobí rozvážení dvou proměnných odporů (polovodičové křemíkové krystaly). Jejich propojení v polovičním Wheatstonově můstku dává signál až 20x větší než u klasických tenzometrů. Elektrický výstup je přímo úměrný síle na materiál působící.[12]

4.2 MĚŘENÍ VIBRACÍ

Pro měření vibrací jsme zvolili absolutní snímač vibrací proto, že není možné stanovit pevný vztažný bod (u absolutního snímače je vztažný bod vytvořen uvnitř snímače), a to piezoelektrický akcelerometr z důvodů širokých pracovních kmitočtů a dynamického rozsahu (definovaná linearita v těchto rozsazích), pevné a robustní konstrukce, vysoké spolehlivosti a dlouhodobé stability (nemají pohyblivé části citlivé k opotřebení), malé citlivosti na magnetické pole. Dalším argumentem je možnost připevnění snímače, aniž by bylo nutné vrtat otvory do konstrukce

stožáru (přilepení, magnet). Velkou výhodou těchto snímačů je, že jsou to aktivní měniče generující elektrický signál (nepotřebují napájecí zdroj). Elektrický výstupní signál úměrný zrychlení mechanického chvění lze integrovat pomocí elektronických zařízení a získat tak elektrické signály úměrné zrychlení, rychlosti a výchylce vibrací. Jako možnost snímače pro měření vibrací může být použit např. akcelerometr typ Disc shear SV 156 od tuzemské firmy Aura a.s. Milevsko.

Při našem měření byl použit přístroj MĚŘIČ VIBRACÍ MV-4, který je určen pro ruční měření vibrací točivých strojů a z těchto důvodů nebyl pro měření příliš vhodný. Nebyla možnost automatického měření a záznamu pro zjištění ovlivňování vibrací okolím. Navíc by bylo dobré měřit celé spektrum vibrací a ne jen jejich efektivní hodnotu, kterou měřil náš přístroj.

4.3 MĚŘENÍ TEPLOTY

Použitý kovový odporový platinový snímač (Pt 100), který je často používán (dnes jej často nahrazuje Pt1000, jejichž výhodou je větší základní odpor, a proto se ve výsledku měření méně uplatní odpor připojovacího vedení. Další výhodou je větší absolutní změna odporu při změnách teploty), se jevil jako vyhovující pro naše měření. Jeho výhodami jsou dlouhodobá stálost odporu, vysoká přesnost a reprodukovatelnost měření. Snímač byl připojen k teplotnímu převodníku, dnes bývá často umístěn přímo ve snímači, který potom má přímo unifikovaný proudový nebo napět'ový výstup např. NS 510 (4 – 20 mA) nebo NS 710 (0 – 10 V) od firmy SENSIT s.r.o.(ČR). Velice často je použito kombinace teploměr – vlhkoměr v jednom měřicím snímači.

Měření teploty mohlo být zatíženo chybou z důvodu teplotní závislosti odporu použitého odporu R1, na kterém byl měřen úbytek napětí, pro nutnost převést proudový výstup z teplotního převodníku INPAL 75 na napět'ový vstup Univerzálního monitoru MEG40. Z tohoto důvodu bude nutné v dalším měření použít teplotní převodník z unifikovaným napět'ovým výstupem, aby se tato chyba

vyloučila, nebo přímo teplotní snímač s integrovaným převodníkem a unifikovaným napětovým výstupem 0 – 10 V DC.

4.4 MĚŘENÍ VĚTRU

U našeho měření větru byla monitorována rychlost a směr větru, toto měření bylo vyhovující. Kvůli možnosti umístění anemometru na stožáru vvn, a tím horší přístupnosti, je důležitá jeho bezúdržbovost a spolehlivost. U našeho použitého čidla W2t (firmy J. Tlustýák Praha) je prováděno snímání otáček kříže a polohy směrovky optoelektronicky a k dalšímu zpracování předáno v digitální formě. Čidlo W2t je vytápěné, má zabudované topení (max 30 W) a regulátor teploty. Temperuje se horní část čidla tj. osa směrovky a spodní část – osa Robinsonova kříže. Při dosažení povrchové teploty nad asi 5 °C dojde samočinně k vypnutí topení a opět zapne při poklesu pod asi 1 °C. Čidlo bylo pro naše měření plně vyhovující a i přes otočné části má dostatečnou spolehlivost (snímání otáček optoelektronicky). Tím, že bylo pro měření směru a rychlosti větru použito profesionálního anemometru W2t a převodníku WD420, bylo měření velice přesné a spolehlivé. Výsledky mohly být zkresleny jedině tím, že místo standardní výšky měření 10 m (podle které je vytvořena i větrová mapa ČR), bylo měření prováděno ve výšce již uváděných pěti metrů. Toto bylo z důvodu uchycení anemometru na stožár pro antény (nemožnost uchycení anemometru na stožár vvn).

4.5 ZHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Při měření mechanického napětí stojky stožáru při jejím ohybu se ukázalo jako rozhodující, jestli měření probíhalo v ose vedení nebo kolmo na ně.

Při měření v ose vedení se projevoval spíše vliv teploty, která ovlivňovala roztažnost konstrukce a hlavně roztažnost zavěšených vodičů. Vodiče ovšem mohly být zahřívány nejen teplotou z okolí a dopadajícím slunečním zářením (hlavně při jasných dnech), ale i zahříváním vodičů procházejícím proudem. Všechny tyto vlivy mohly být eliminovány v noci, kdy byla nižší teplota a i procházející proud vedením by měl být menší. I přesto se během nočního měření objevovaly zákmity

na průběhu mechanického napětí. Ty mohly být způsobeny zašuměním signálu z tenzometrického můstku (vliv lepení, nesouběh tenzometrů, rušení od vvn pole apod.). V ose vedení se rychlost a směr větru prakticky neprojevovaly, což je dáno tím, že v ose vedení působí na stožár pouze tlak větru (vítr byl během toho měření slabý). Při tomto měření bylo mechanické napětí většinou okolo 10 % (20 MPa) z maximálního zatížení, až na 16.4.2009 kdy se kolem 8:24 hod. projevil jeho prudký nárůst (Příloha 5), který byl zřejmě způsoben pršením, a tím prudkým ochlazením konstrukce nebo mírným rozvážením můstku vlivem vlhkosti. Proto by bylo dobré v příštím měření měřit i teplotu konstrukce stožáru. Další zapršení dne 17.4.2009 mělo už za následek poruchu měření mechanického napětí (Příloha 7).

Při měření v ose vedení se teplota neprojevovala. Rychlost a směr větru se projevují hlavně na vedení, a aby se vítr projevil musí mít rychlost alespoň 6 ms^{-1} (na vedení mohou začít vznikat stojaté vlny), pod touto rychlostí větru se nijak neprojevuje ani jeho proměnlivost. Z výsledných grafů rychlosti a směru větru (např. Příloha 14) je zřejmé, že při zvyšující se rychlosti větru se naopak zmenšovala jeho proměnlivost (změny směru). V našem případě od rychlosti asi 6 ms^{-1} se vítr ustálil ve směru 200° (jiho-jihozápad). To mohlo být způsobeno tím, že stožár stojí na kopci v průseku lesa. I při rychlostech větru nad 6 ms^{-1} (maximálně však 14 ms^{-1}) se mechanické napětí nezvyšovalo nad 60 MPa, což je asi čtvrtina maximálního zatížení. To odpovídá jeho konstrukci, která byla navrhována na rychlosti větru okolo 35 ms^{-1} dnes nad 50 ms^{-1} . Opět zákmity na průběhu mechanického napětí mohly být způsobeny zašuměním signálu z tenzometrického můstku (vliv lepení, nesouběh tenzometrů, rušení od vvn pole apod.). Nepodařily se ovšem vysvětlit kmity dne 22.4.2009 kolem 22:16 až 23:14 (Příloha 8), kdy žádná z měřených veličin nevykazovala prudké změny. I u tohoto měření se projevila vlhkost, kdy po dešti zavlhl tenzometr a došlo k rozvážení můstku (hodnota mimo měřicí rozsah) (Příloha 9).

5. ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývala problematikou měření a vyhodnocování mechanického namáhání stožárů přenosových sítí velmi vysokého napětí a monitorováním klimatických vlivů, které mají vliv na mechanické namáhání vvn stožárů.

Pro získání uceleného přehledu o daném tématu jsou v projektu popsány základní pojmy a normy týkající se problematiky venkovních vedení vvn. Představeny jsou i základní klimatické vlivy ovlivňující mechanické namáhání stožárů, které mohou způsobovat jejich havárie. Jsou zde i ukázky havarovaných stožárů vlivem extrémních klimatických podmínek a stručný popis vzniku havárií.

V části zabývající se způsobem měření sledovaných veličin, které jsme měřili, jsou popsány použité metody jejich měření a uvedeni výrobci ke každé měřicí metodě (snímači).

Z části zabývající se problematikou monitorování stožárů je zřejmé, že na našem trhu existuje pouze jediný tuzemský výrobce podobného zařízení používaného v české distribuční síti, který ovšem měří pouze klimatické vlivy v okolí venkovního vedení, jak je zřejmé z Přílohy 2, a nezabývá se monitorováním samotného stožáru. Kdežto vyvíjené monitorovací zařízení bude přímo měřit mechanické namáhání stožáru za klimatických podmínek v jeho okolí, které budou také měřeny (teplota, relativní vlhkost, vítr a námraza).

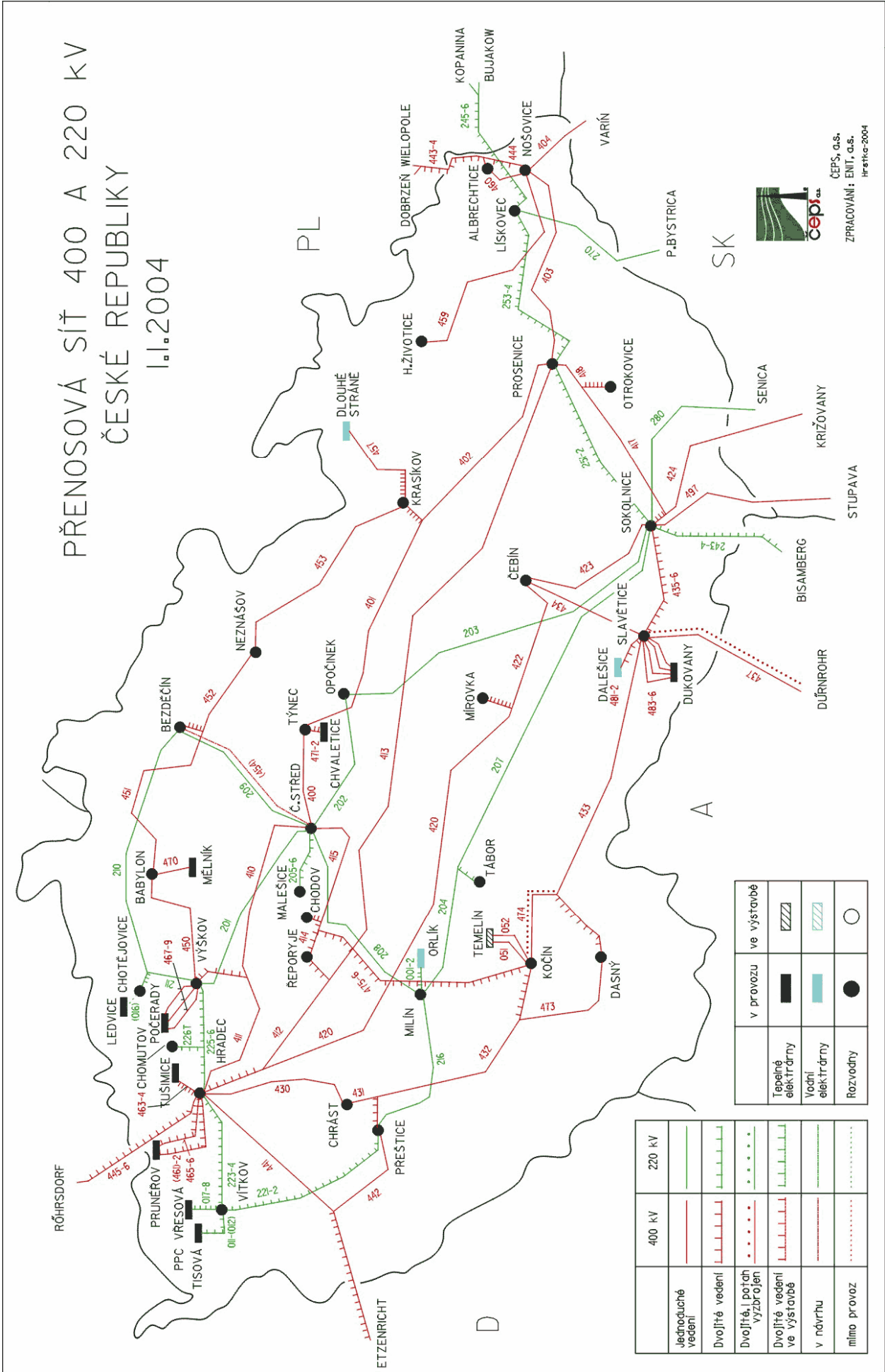
V kapitole o měření je popsána instalace a samotné měření sledovaných veličin s ukázkami naměřených výsledků a grafy průběhů měřených veličin.

V předposlední kapitole je uveden návrh řešení budoucího měření a použitých snímačů. Jsou zde také uvedeny závěry z výsledků tohoto prvního zkušebního měření.

6. LITERATURA

- [1] BAXANT, P. *Projektování v elektroenergetice*. Brno: VUT, 2002
- [2] BEJČEK, L. *Měření neelektrických veličin*. Brno: VUT, 2005
- [3] ĎAĎO, S., KREIDL, M. *Senzory a měřicí obvody*. Praha: ČVUT, 1999
- [4] KNEBLÍK, A. *Zesilovač pro tenzometry*. Brno: VUT, 2008
- [5] KREIDL, M., ŠMÍD, R. *Technická diagnostika*. Praha: BEN, 2006
- [6] LEHKÝ, P. *Konference ČK CIRED 2008. Účinky větrných bouří na venkovní vedení a změny v mechanické odolnosti při aplikaci nových norem* [CD-ROM]. Tábor: 2008
- [7] VAJNAR, V. *Konference ČK CIRED 2008. Poznatky z vlivu povětrnostní kalamity na distribuční soustavu* [CD-ROM]. Tábor: 2008
- [8] VLK, M. *Experimentální mechanika*. Brno: VUT, 2003
- [9] ZEHNULA, K. *Snímače neelektrických veličin*. Praha: SNTL, 1986
- [10] *Kompletní katalog tenzometrů a příslušenství pro aplikaci*. URL: <<http://www.hbm.cz>>
- [11] *Mechanika venkovních vedení*. URL: <http://www.outechhavirov.cz/skola/files/knihovna_eltech/eti/mech_v_v.pdf> [cit. 2003-11-23].
- [12] *Měření chvění*. URL: <http://www.spectris.cz/sv/download/literatura/Mereni_chveni.pdf> [cit. 2003-11-23].
- [13] *MĚŘIČ VIBRACÍ MV-4 popis a návod k použití*. Milevsko: AURA a.s., 1999
- [14] *Stanice METEO*. URL: <<http://www.egubrnno.cz>>
- [15] *Stožáry VVN (I)*. URL: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4170>>. [cit. 2007-6-4].
- [16] *Stožáry VVN (II)*. URL: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4183>> [cit. 2007-6-11].
- [17] *Stožáry VVN (III)*. URL: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4192>> [cit. 2007-6-18].
- [18] *Vážicí systémy a měření hladin na principu BOLT-ON MICROCELL*. URL: <<http://www.rmt.cz/katalog06/km/microcell.htm>>. [cit. 1998-3-24].

- [19] *Venkovní vedení VVN (I)*. URL: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4142>>.
[cit. 2007-5-21].
- [20] *Venkovní vedení VVN (II)*. URL: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4151>>
[cit. 2007-5-28].
- [21] *Výstavba přenosové soustavy*. Praha: ČEPS,a.s., 2007
- [22] URL: <<http://www.ufa.cas.cz>>



Příloha 2

METEO

automatická námrazová stanice



EGÚ Brno, a. s.

018 332 192 0234
008 332 192 0234

341
342

018 332 192 0234
008 332 192 0234

Charakteristika

Stanice METEO je kompaktní zařízení pro monitorování a zpracování meteorologických dat se zaměřením na účinky hlavních klimatických veličin ovlivňujících spolehlivost provozu venkovních sítí.

Stanice METEO měří teplotu, hmotnost námrazy, rychlost a směr větru. Tyto naměřené údaje zpracovává, vyhodnocuje, ukládá do archivu a podle požadavků poskytuje nadřazenému systému.

V případě potřeby je schopna vysílat alarmující zprávy při překročení nastavené úrovně zvolených parametrů jako je:

- příliš rychlý nárůst námrazy,
- vysoká rychlost větru,
- překročení hmotnosti námrazy nad stanovenou mez.

Zařízení je vybaveno komunikační linkou pro spojení s nadřazeným SW nebo systémem. K zařízení je dodáván základní SW pro ověření funkčnosti, kalibraci měřících čidel, nastavování alarmů, čtení a stahování archivovaných dat.

Celá stanice je vyrobena z nerezové oceli a nevyžaduje další antikorozi ochranu.

Stanice neobsahuje žádné součásti vyžadující pravidelnou údržbu.

Vlastnosti

- Snadná montáž (na konzolu jediným šroubem)
- Možnost integrace do libovolných systémů sběru dat
- Komunikační linka RS485 9600 Bd
- Měření teploty s přesností 0,1 stupně Celsia
- Měření hmotnosti námrazy do 20 kg s přesností 0,01 kg
- Rozsah měření rychlosti větru od 0 do 10 m/s s přesností ± 3 m/s, rozsah od 10 do 40 m/s s přesností ± 2 m/s
- Měření směru větru - úhel 0 až 355 st. po pěti stupních
- Archivace dat do FLASH paměti se souborovým systémem FAT16. Minutové záznamy - rychlost a směr větru, desetiminutové - teplota a hmotnost námrazy
- Možnost nastavení parametrů pro vyhodnocení krizových situací a zaslání alarmů
- Korekce vlivu nepřesností montáže na měření rychlosti větru
- Aktivace topení (podle konfigurace v závislosti na teplotě a hmotnosti námrazy) pro zamezení srůstu námrazy na měrné tyči s tělem stanice METEO
- Akustická signalizace základních provozních stavů stanice
- Automatické přepisování nejstarších dat při přeplnění paměti
- Dálkový přenos dat lze podle požadavku uživatele realizovat libovolnou technologií (pevná linka, GSM, radiová síť, optické kabely)

Technické parametry

Napájecí napětí: 9 - 18 V

Napájecí proud: 500 mA

Pracovní teplota: od -30 do +70°C

Rozměry: 240 (š) × 820 (v) × 240 (h) mm

EGÚ Brno, a. s.
Hudcova 487/76a
612 48 Brno - Medlánky

tel: +420 541 511 540
fax: +420 541 511 550
www.egubrno.cz

Příloha 3

Souprava pro měření směru a rychlosti větru

Souprava se skládá z čidla W2 případně W2t , převodníku s proudovými výstupy WD420 případně napěťovými výstupy na př. WU010. K čidlu může být rovněž připojen indikátor WU2 pro přímý digitální odečet směru a rychlosti větru. K jednomu čidlu může být připojen jak převodník tak i indikátor současně.

Čidla W2 používají pro měření rychlosti větru rotační lopatkový kříž a pro měření směru otočnou lopatkovou směrovku. Snímání otáček kříže a polohy směrovky je prováděno optoelektronicky a k dalšímu zpracování předáno v digitální formě. Čidla jsou přímo napájena z převodníku nebo indikátoru. Vytápěné čidlo W2t má zabudované topení a regulátor teploty . Temperuje se horní část čidla tj. osa směrovky a spodní část – osa Robinsonova kříže. Při dosažení povrchové teploty nad cca +5°C dojde samočinně k vypnutí topení a opět zapne při poklesu pod cca +1°C. Nevytápěné čidlo je možno připojit k převodníku nebo indikátoru dvou vodičovým kabelem - nejlépe stíněným. Vytápěné čidlo připojujeme čtyř žilovým kabelem.

Technické parametry čidla

Rozsah měření rychlosti větru	30 m/s
směru větru	0 - 360°
Mez citlivosti měření rychlosti a směru větru	cca 0,7 m/s
Rozlišení měření směru větru.....	10°
Rozsah pracovních teplot	-40°C - +60°C
Napájecí napětí topení (u čidla W2t).....	24V DC 30W max.
Hmotnost čidla	cca 175g
Stupeň krytí.....	IP 53

Převodník WD 420 pracuje ve spolupráci s čidlem W2 nebo W2t

Z desky jsou vyvedeny proudové výstupy pro měření rychlosti a směru větru.

Zařízení je vhodné pro měřicí, regulační a zabezpečovací pracoviště.

Technické parametry:

Napájecí napětí	18 - 30V DC
Rozsah měření rychlosti větru	0 ÷ 30 m/s
směru větru.....	0÷360° s rozlišením 10°
Pracovní teplota	-25° C ÷ + 60° C
Výstupní proud	4 ÷ 20mA
	0 m/s = 4mA 30 m/s = 20mA
	0° = 4mA 350° = 20mA

Max. impedance zátěže výstupu500 R

Max. délka spojovacího vedení od čidla100 m

Doporučený typ spojovacího kabelu ...MK min 4x0,35

v případě nevytápěného čidla ...MK min 3x0,35

V případě delšího vedení s možností rušení je nutno na jednom konci spojit stínění kabelu s - pólem napájení čidla (sv. 2)

Doporučuje se zařízení 1x za rok nastavit .

Montáž čidla

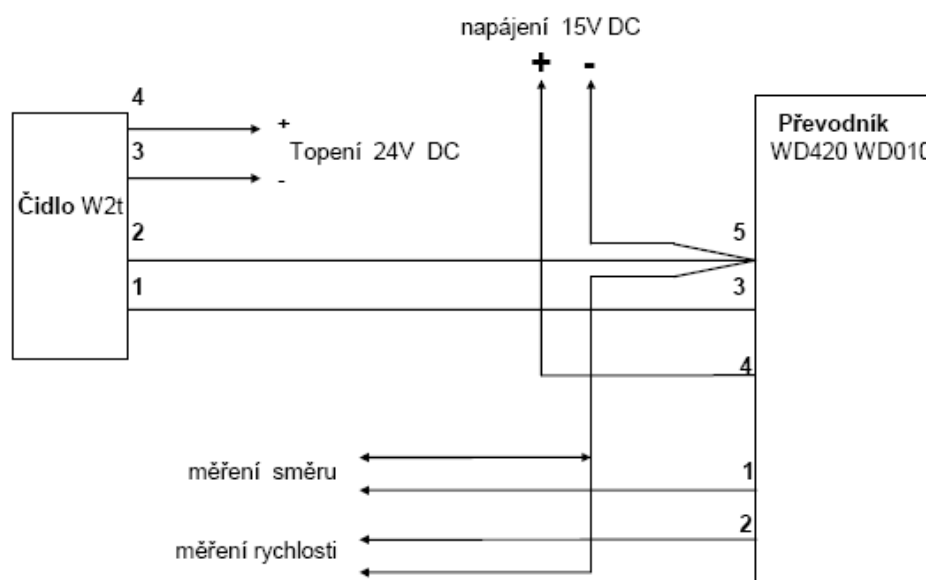
Čidlo se montuje do trubky o světlosti 25 mm kterou zároveň prochází připojovací kabel.

Držák čidla je zajištěn bočním šroubem M4 v poloze , kdy oblok držáku čidla směřuje na sever.

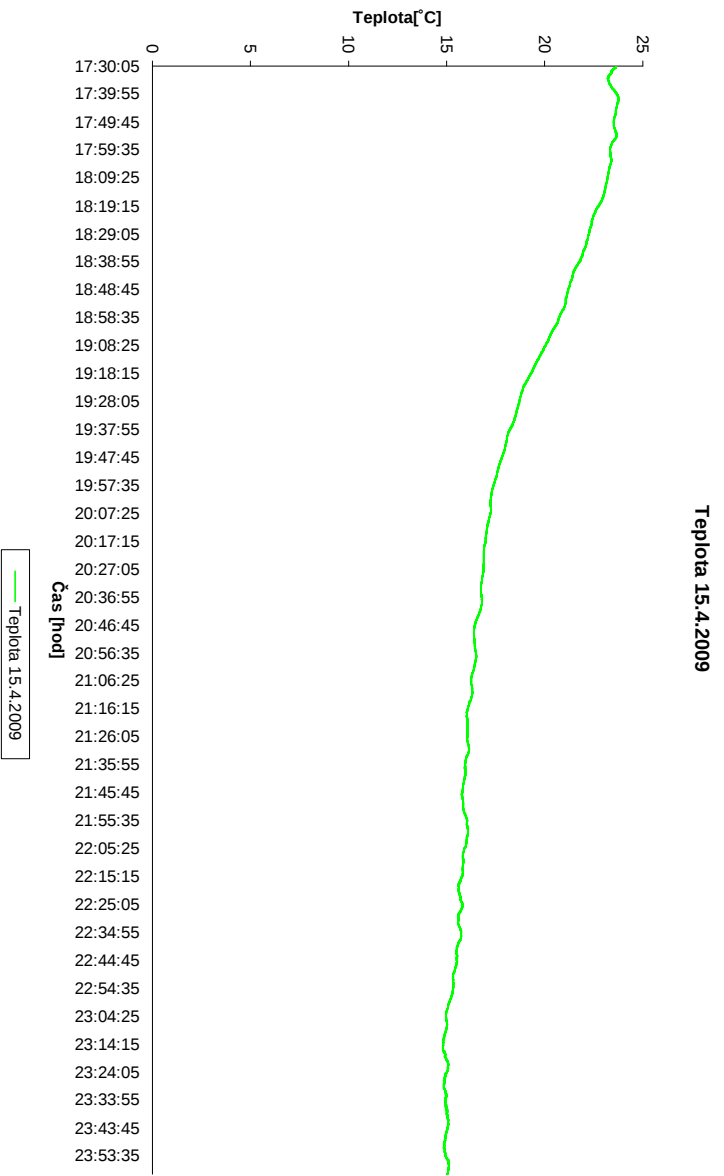
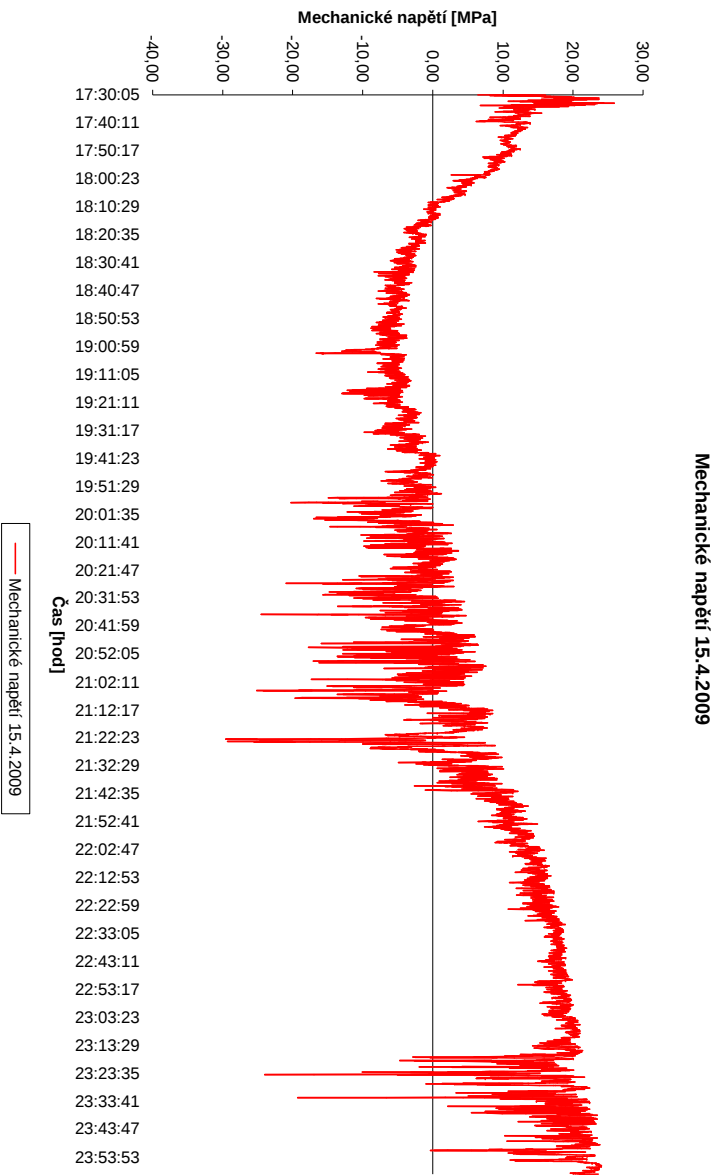
Rozměry převodníku 130 x 95 x 25

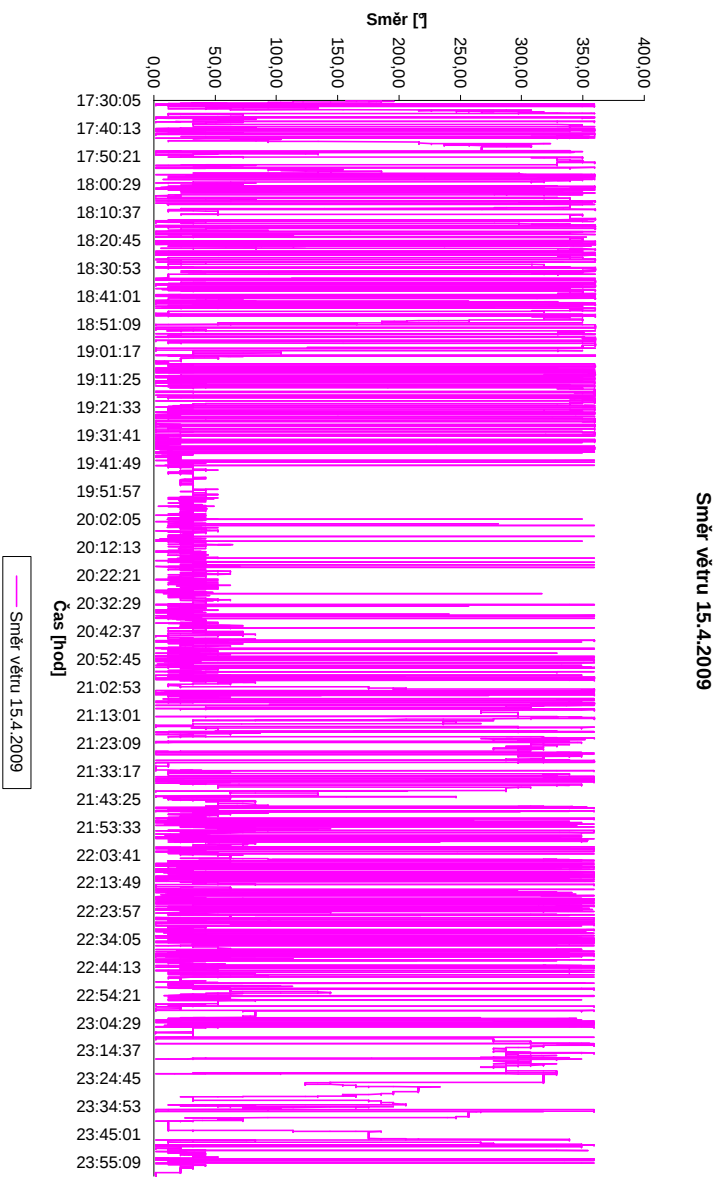
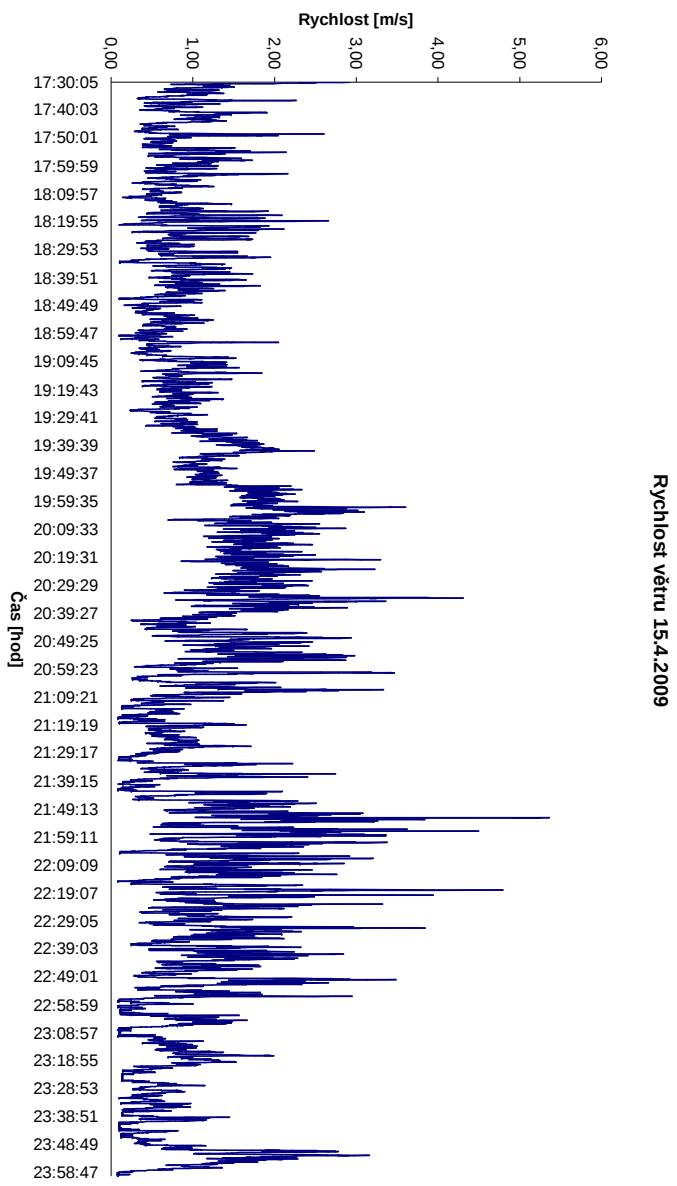


Schéma zapojení W2t + WD420 WD010

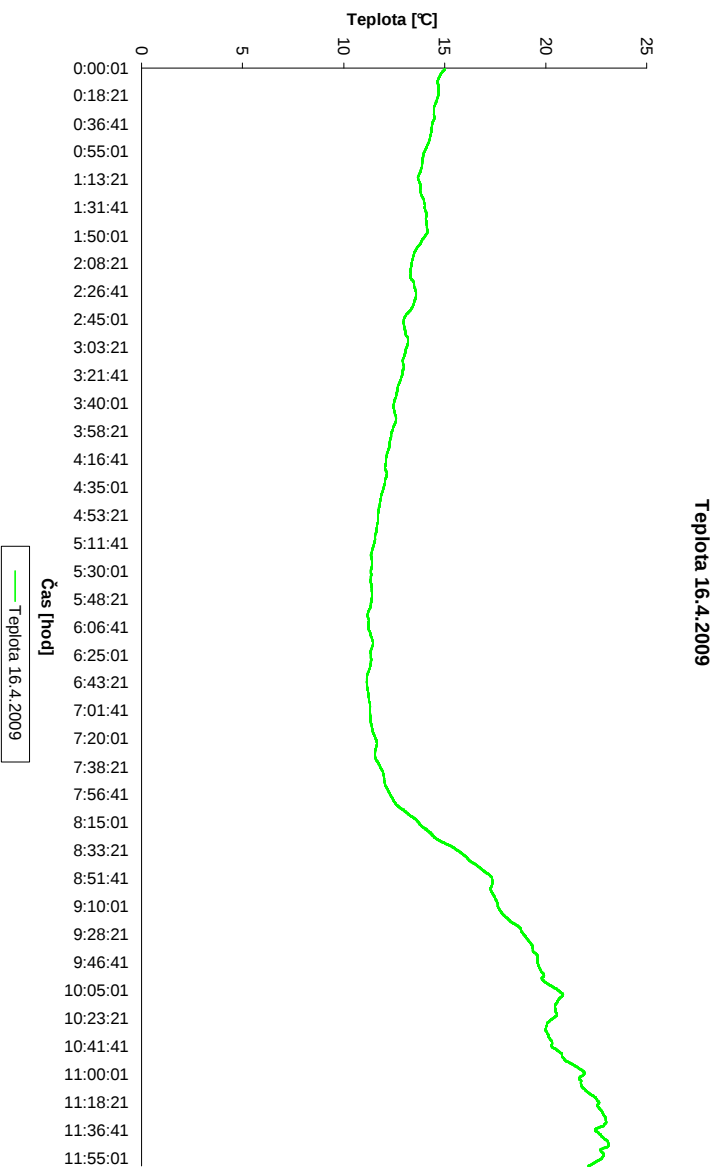
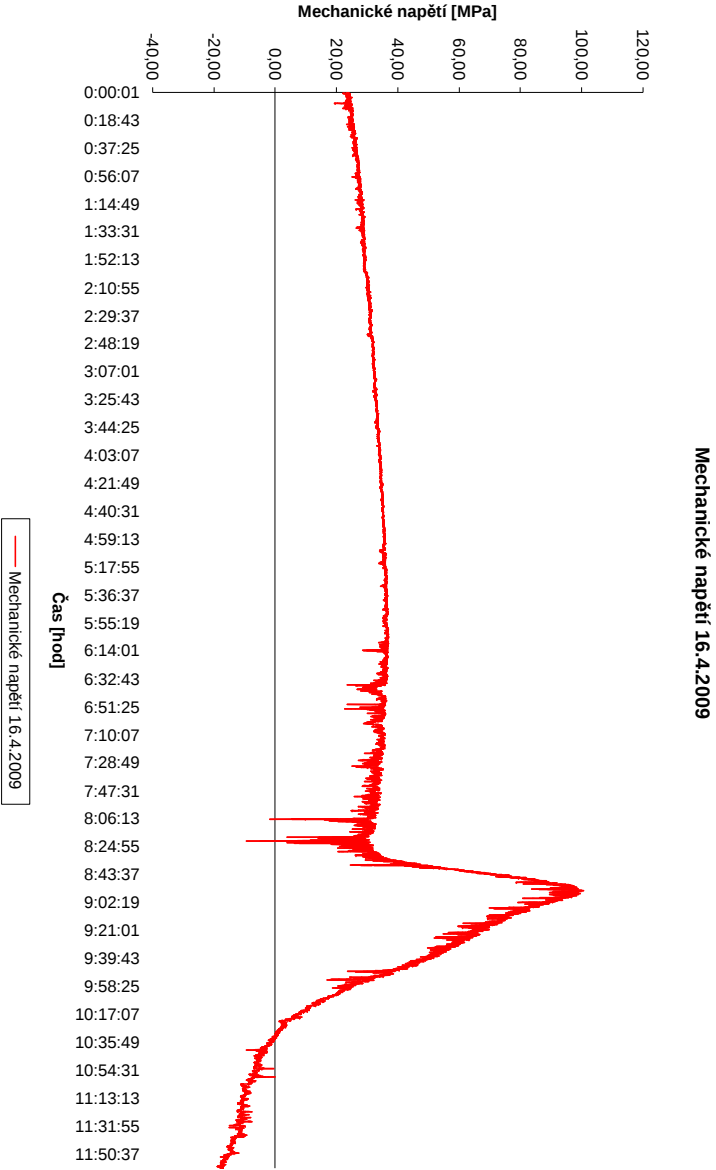


Příloha 4

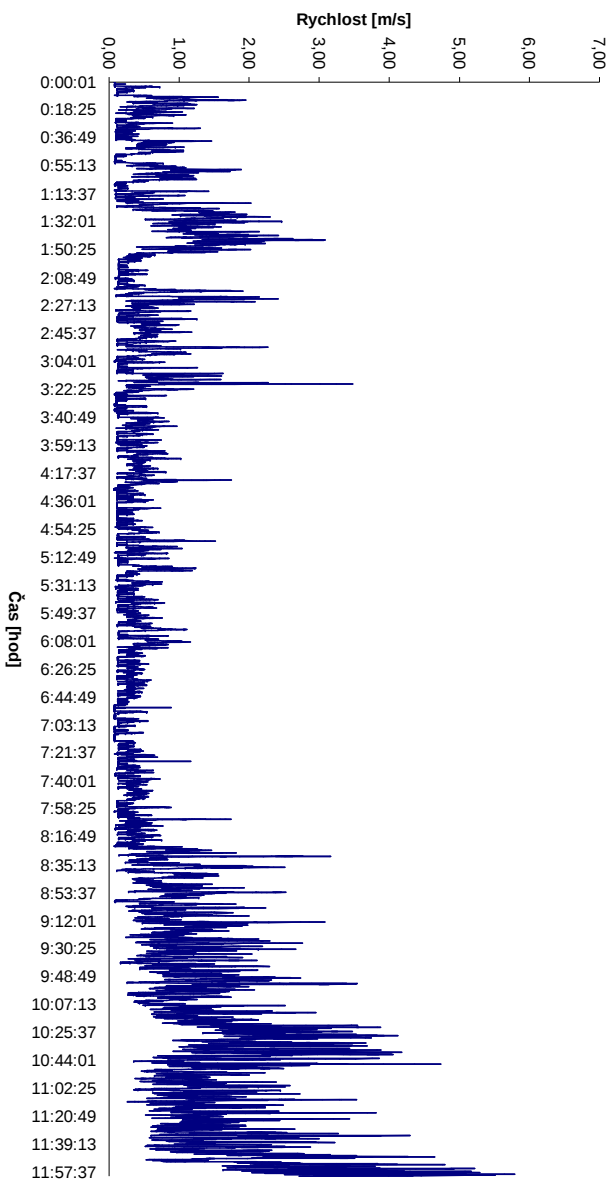




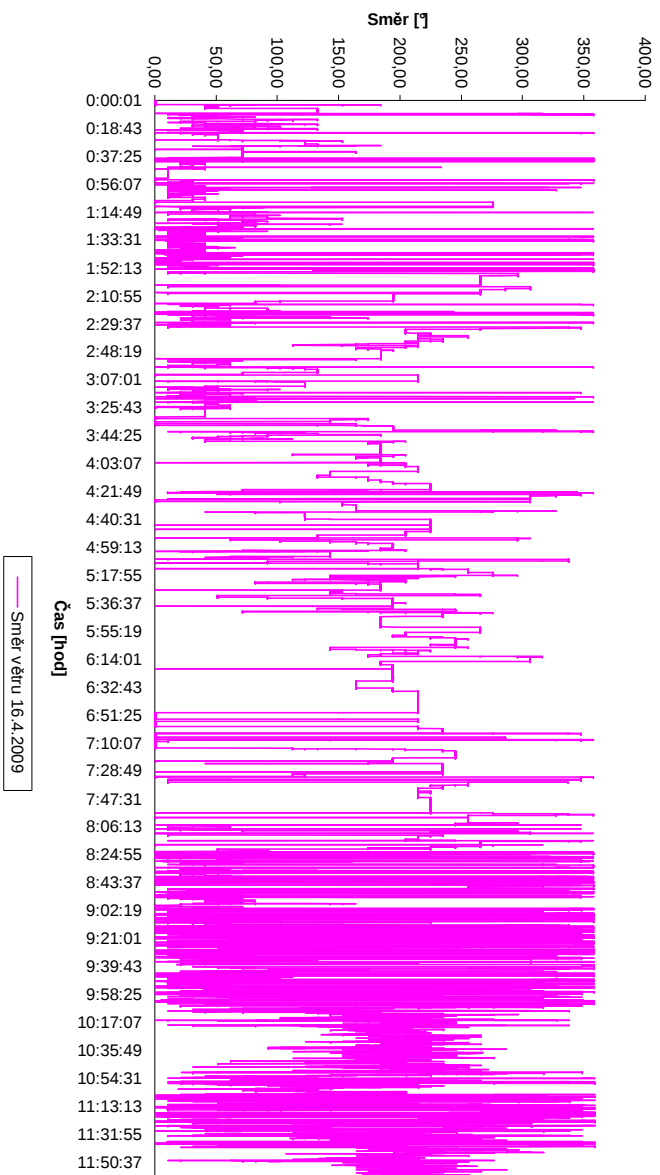
Příloha 5



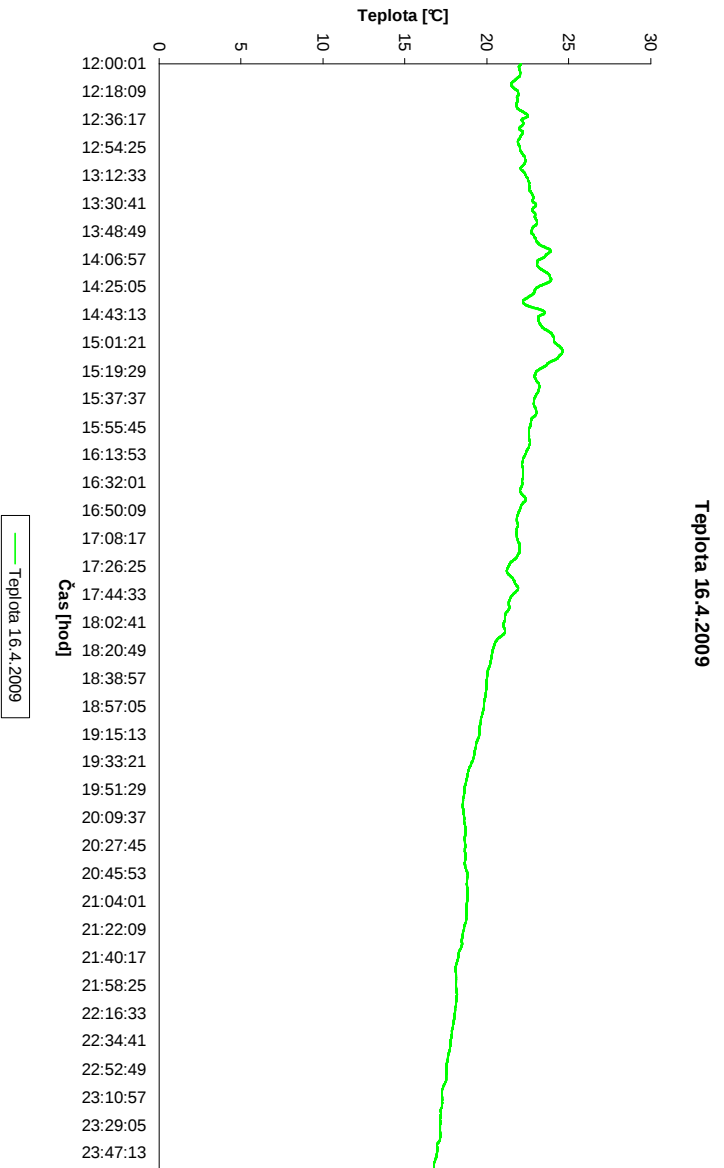
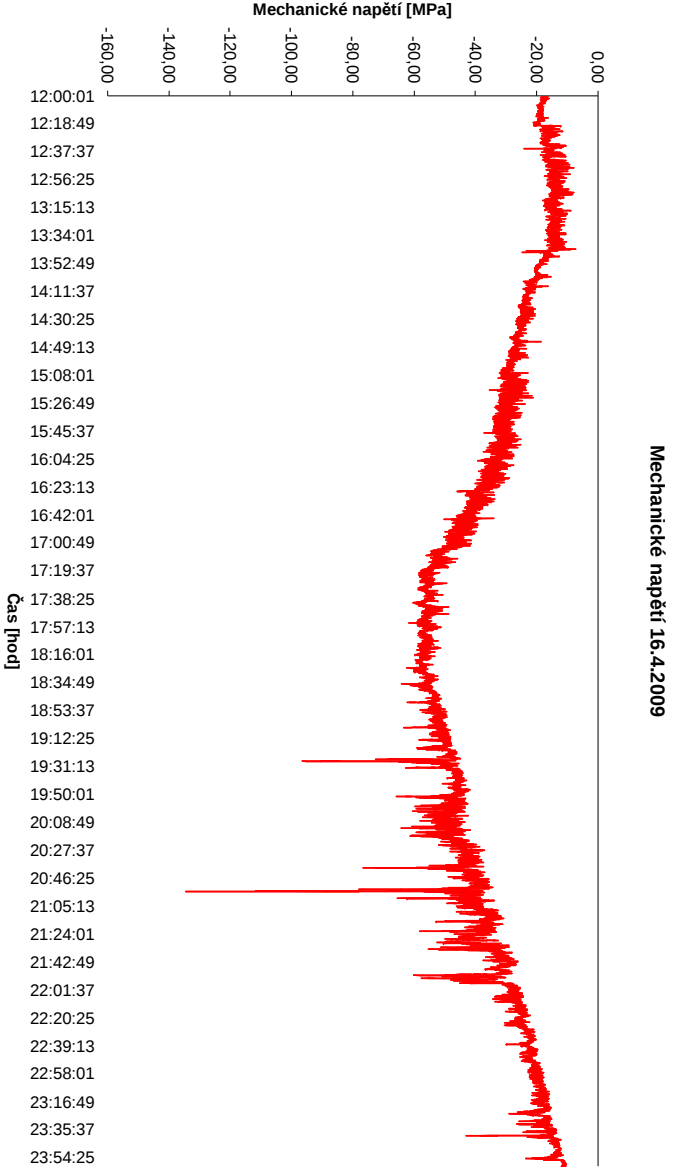
Rychlost větru 16.4.2009

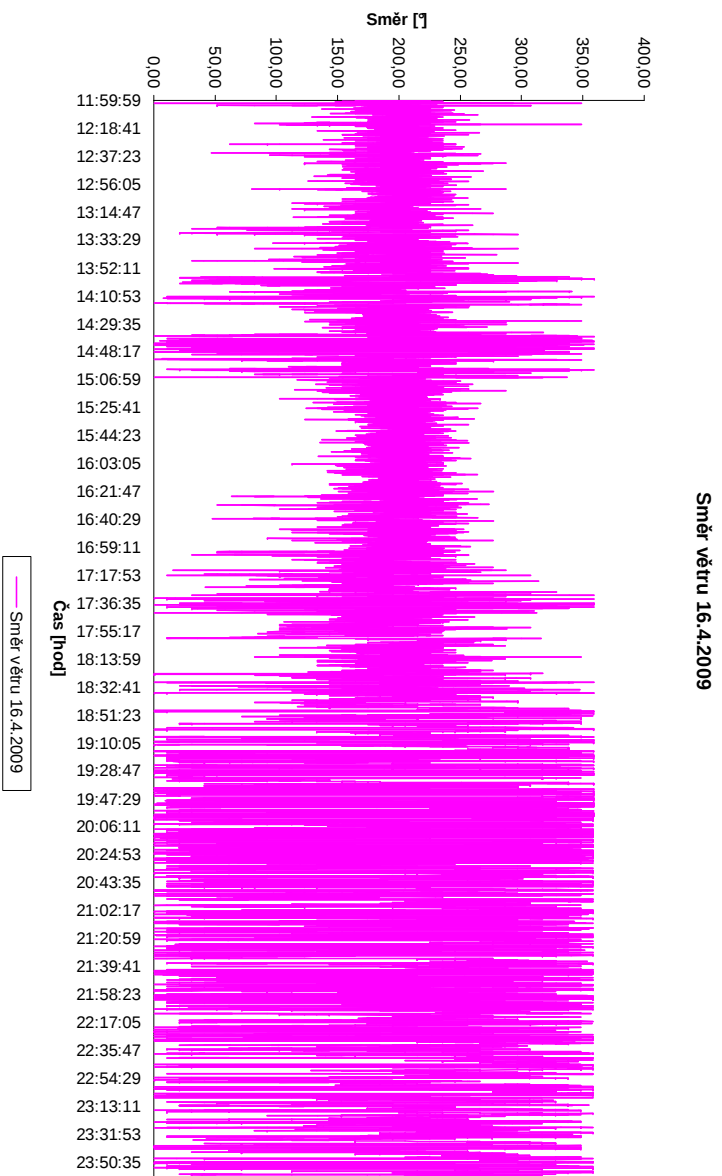
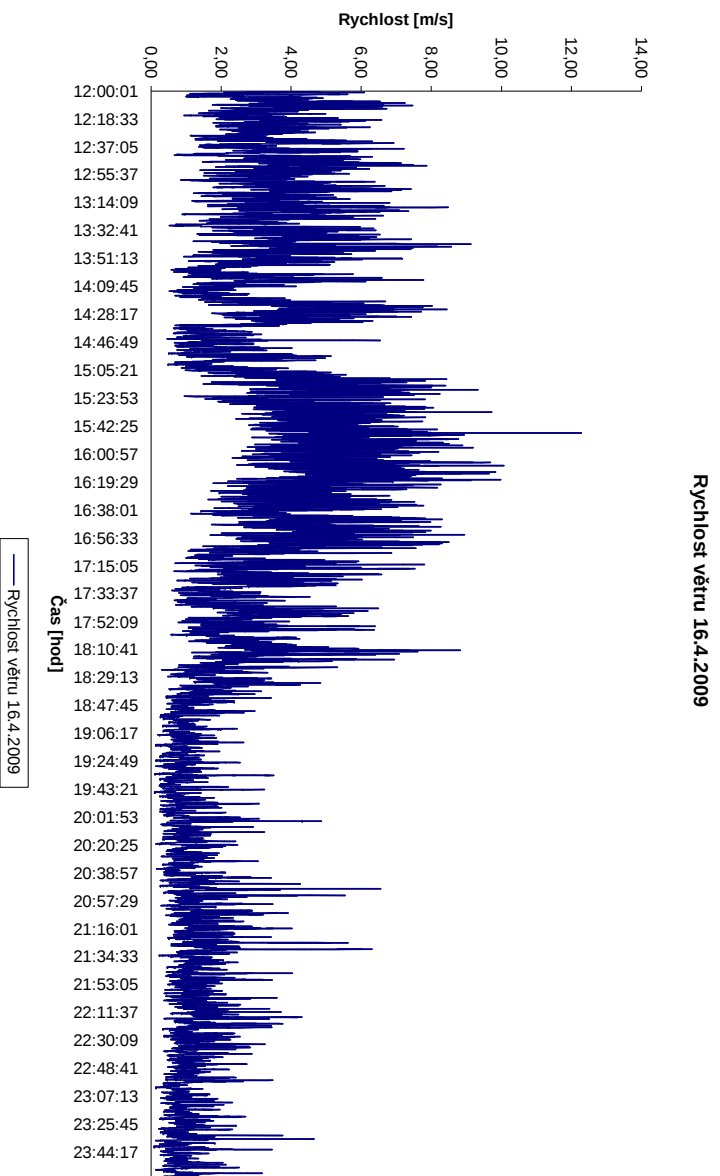


Směr větru 16.4.2009

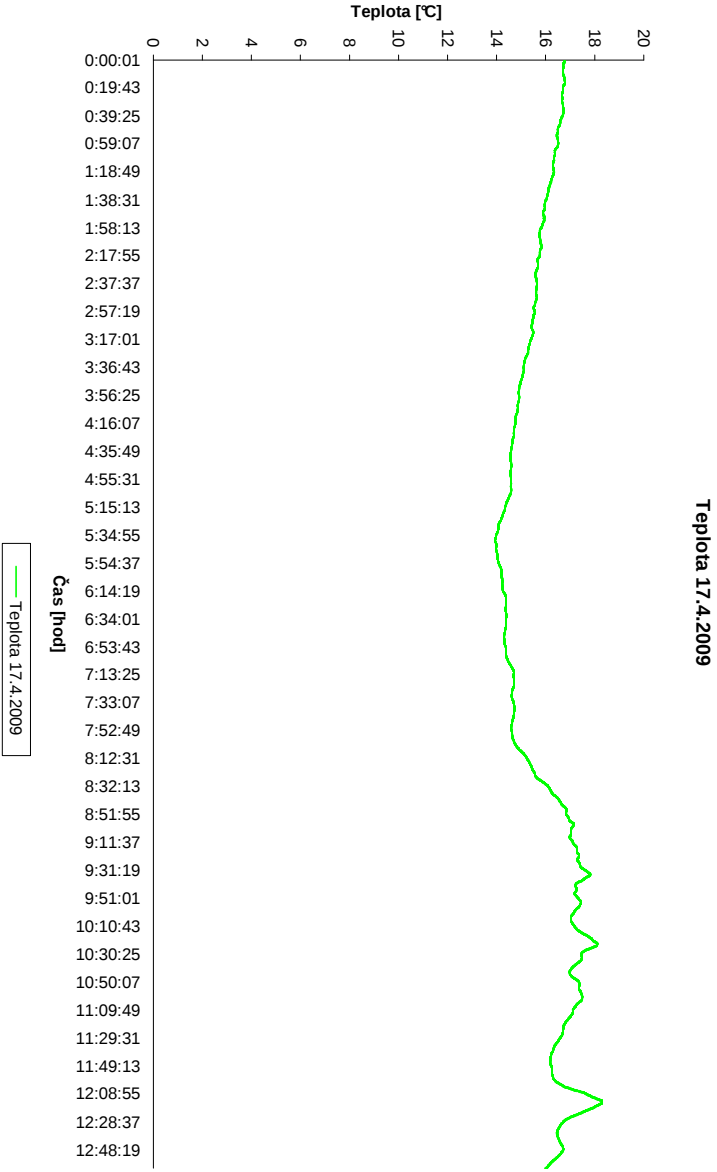
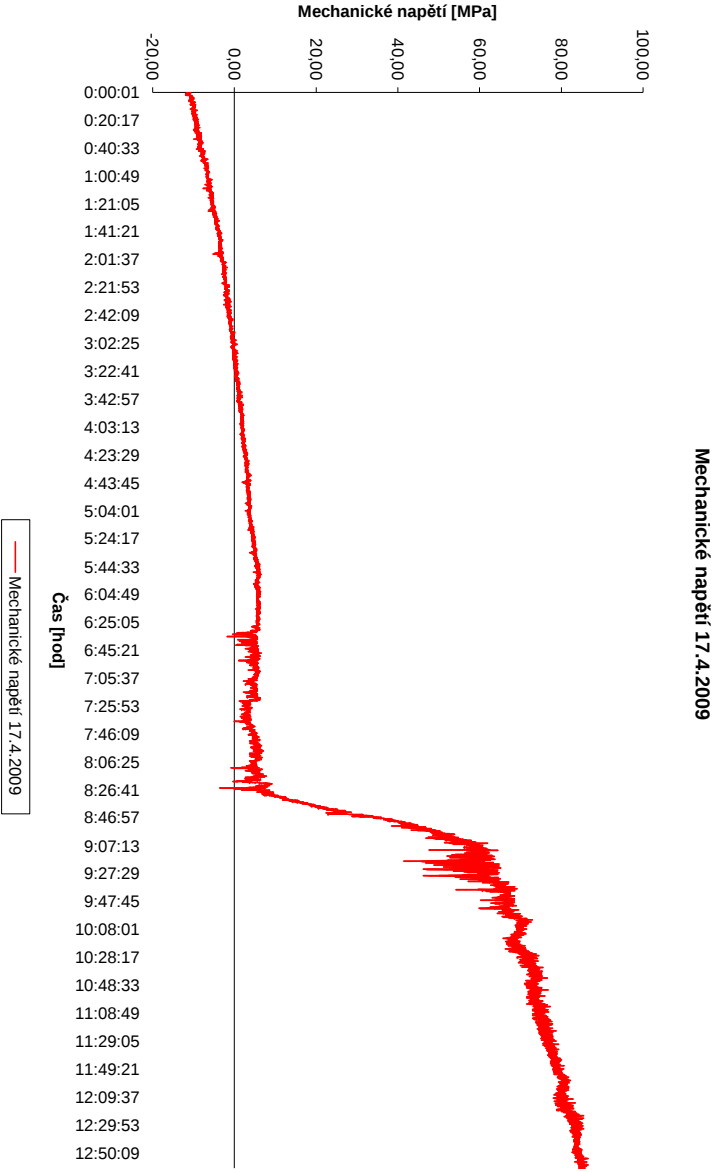


Příloha 6

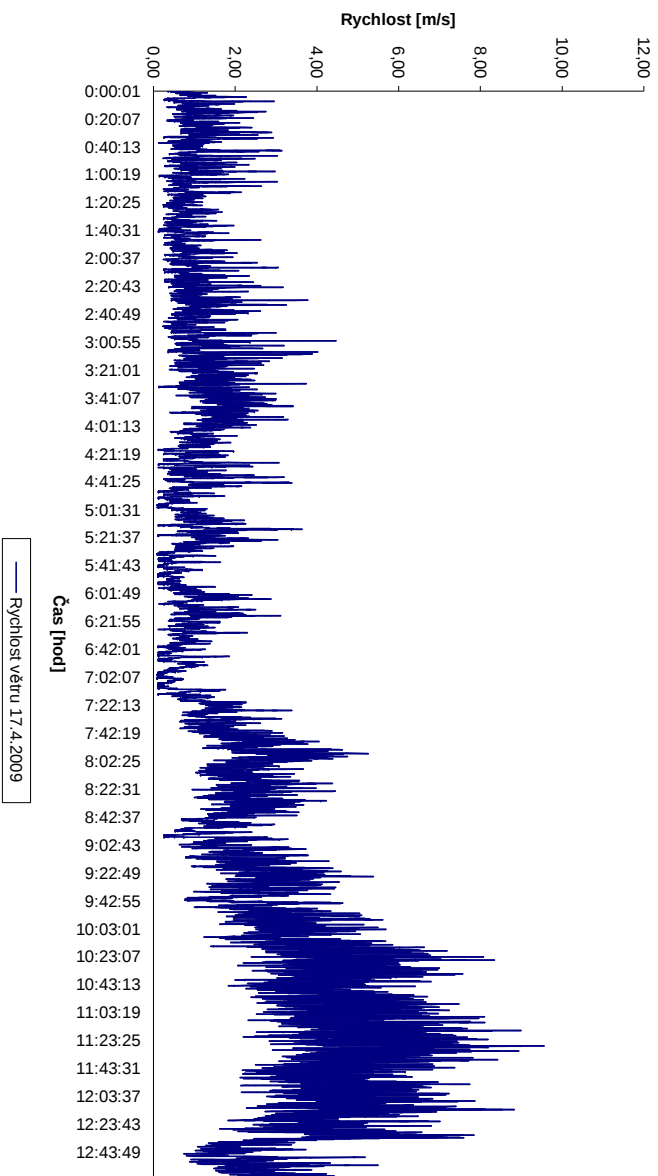




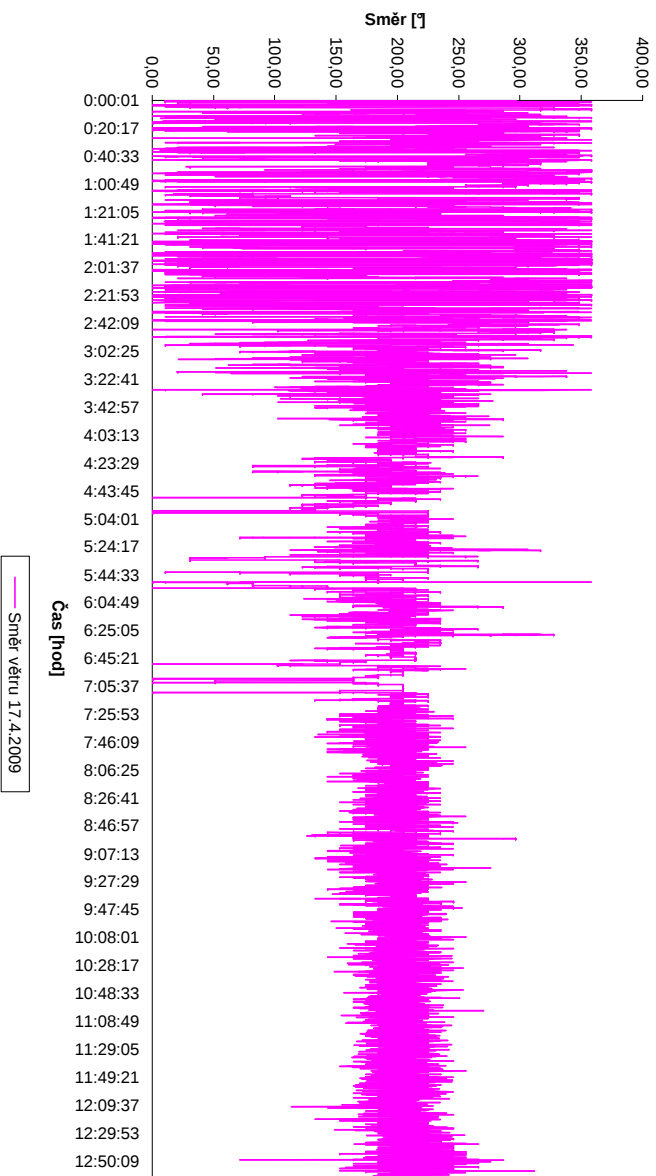
Příloha 7



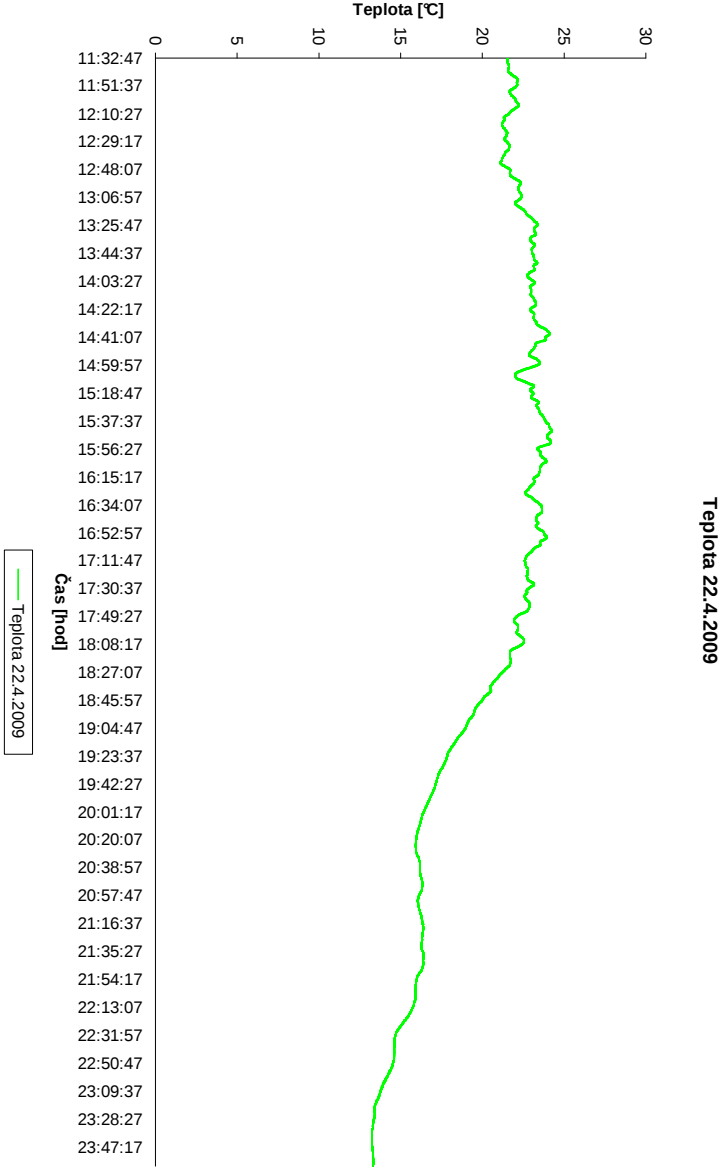
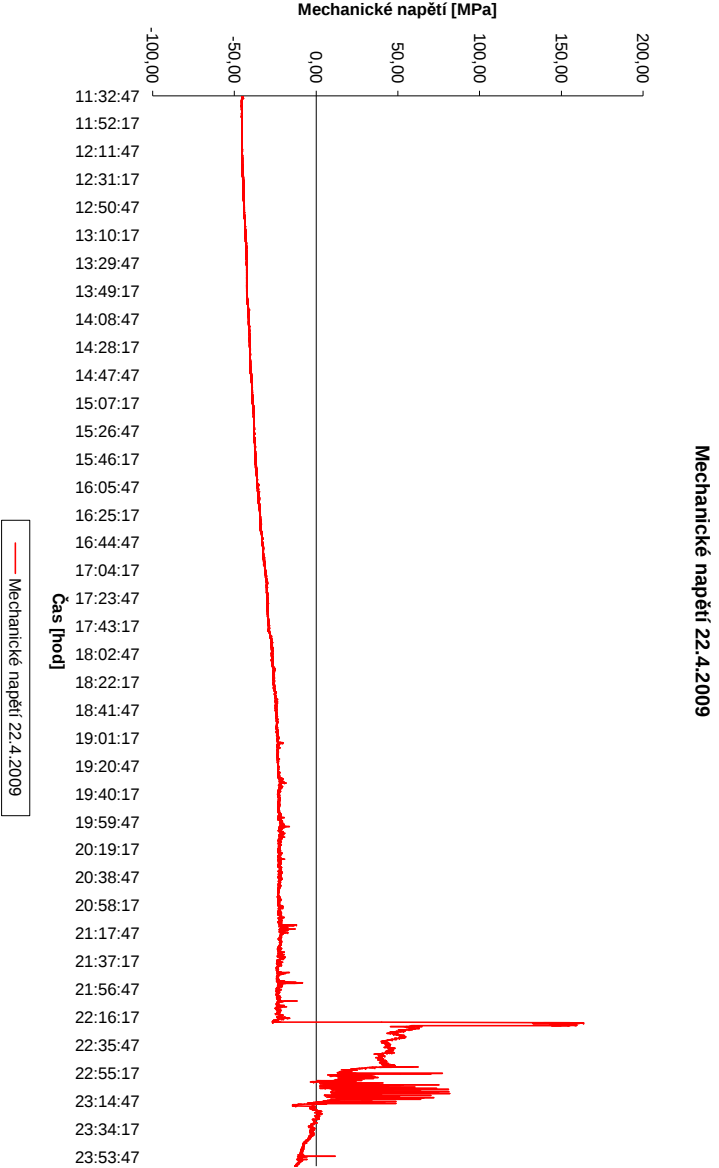
Rychlost větru 17.4.2009

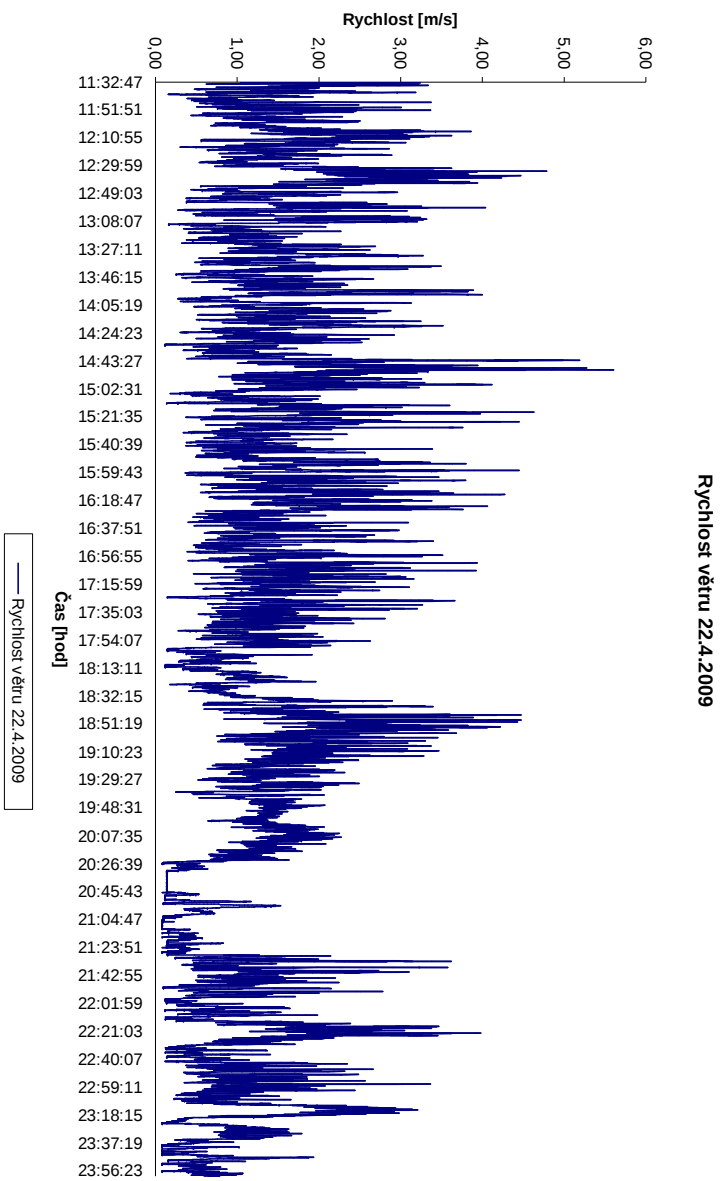
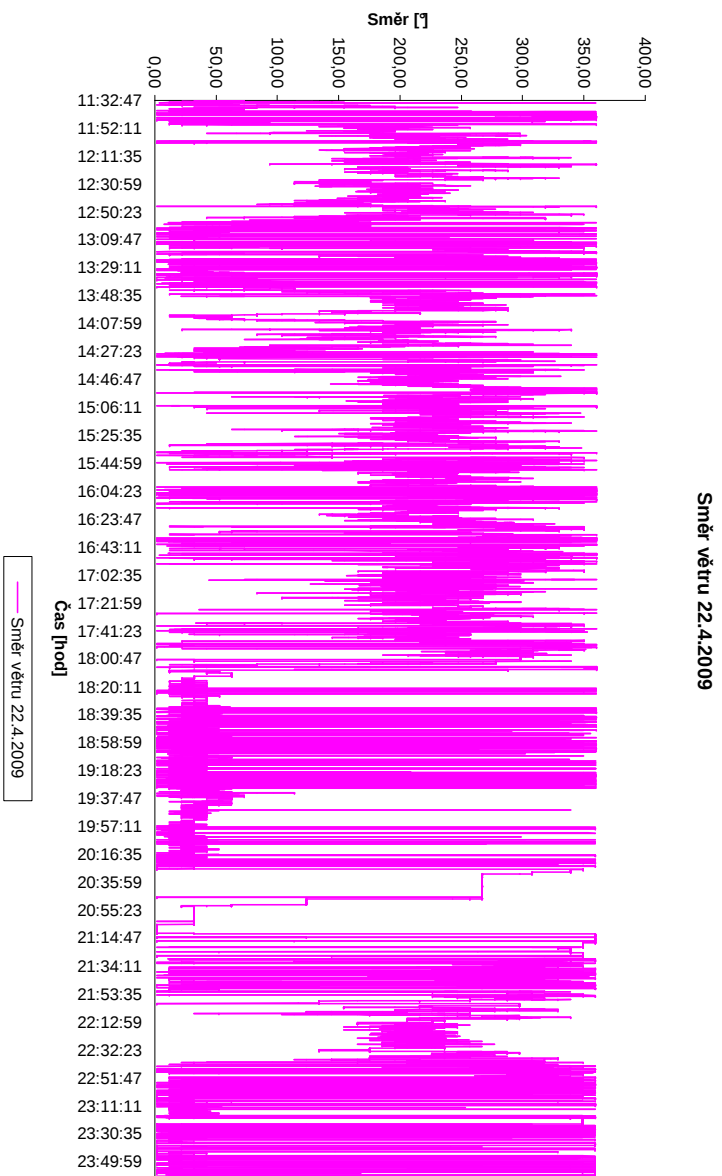


Směr větru 17.4.2009



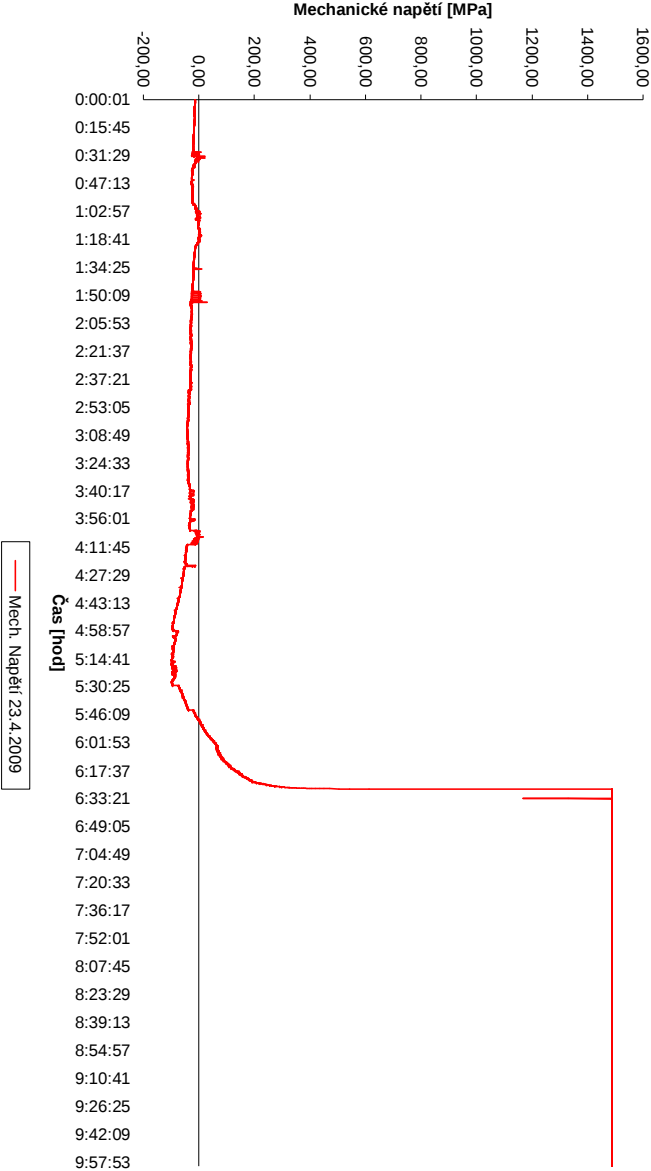
Příloha 8



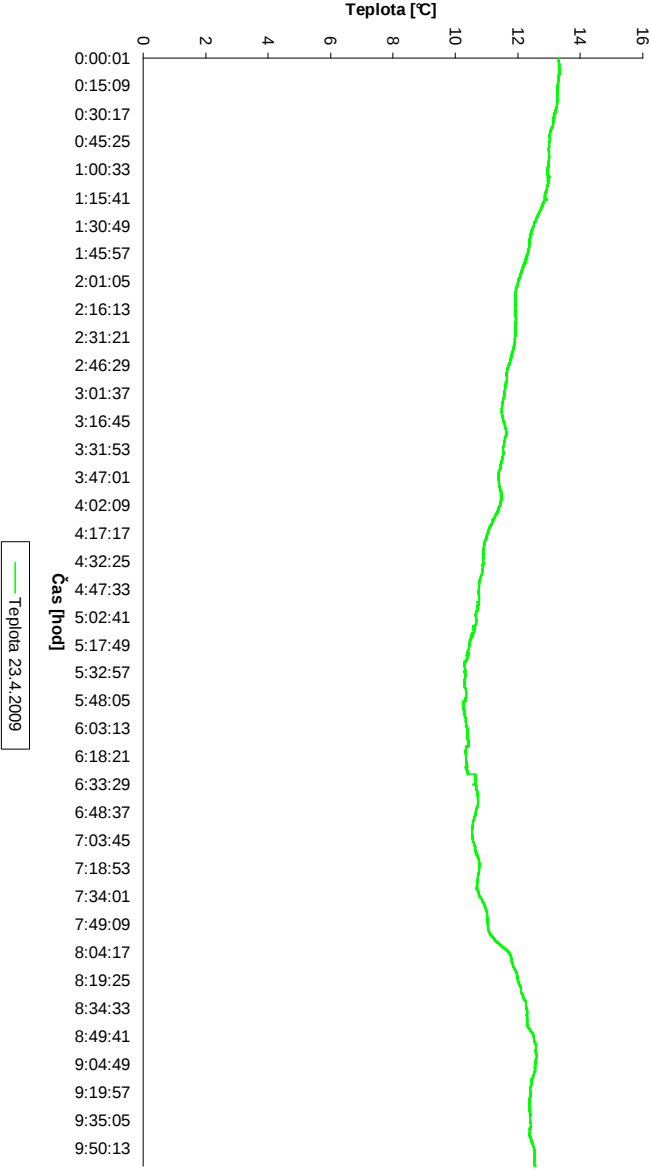


Příloha 9

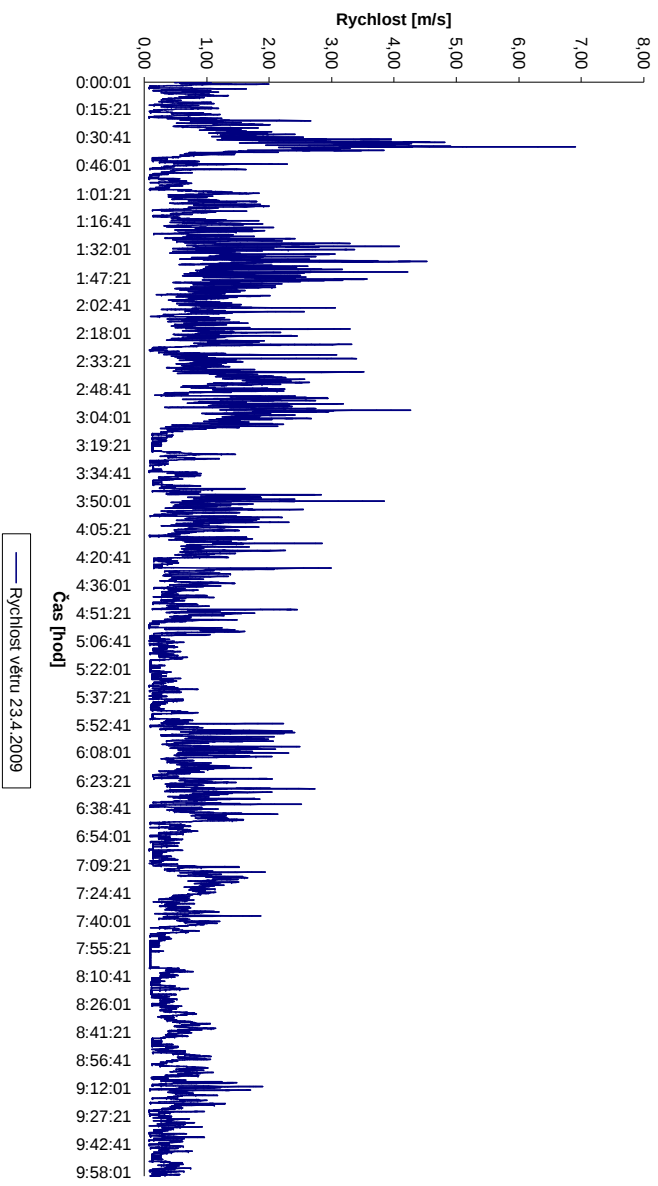
Mechanické napětí 23.4.2009



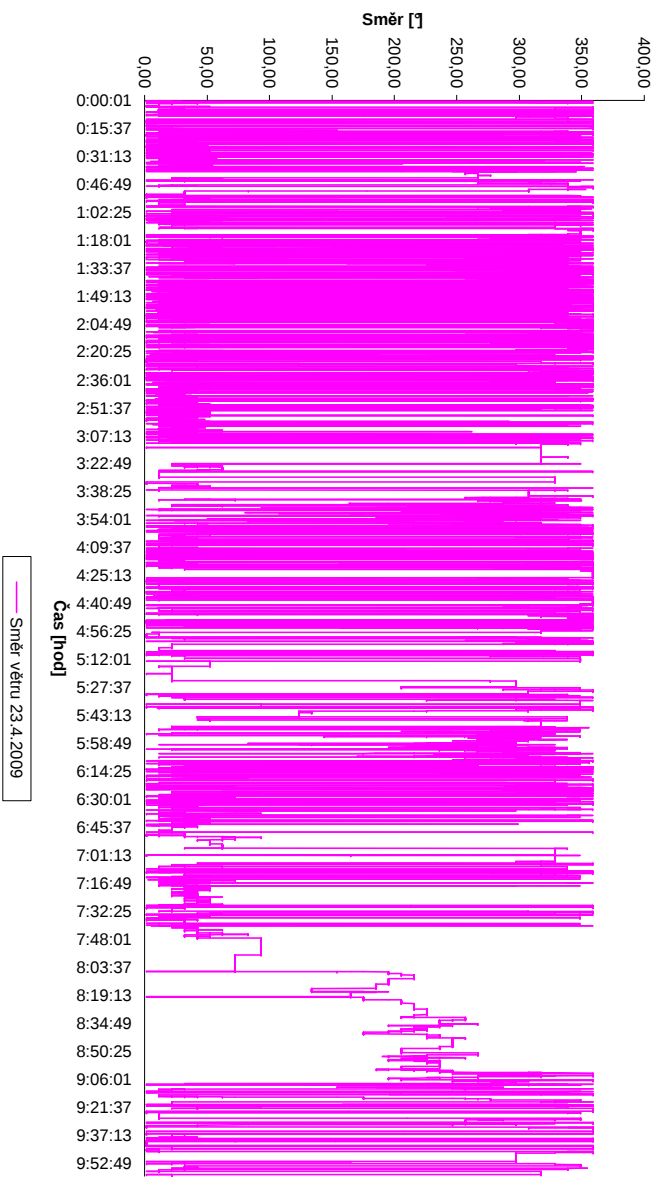
Teplota 23.4.2009



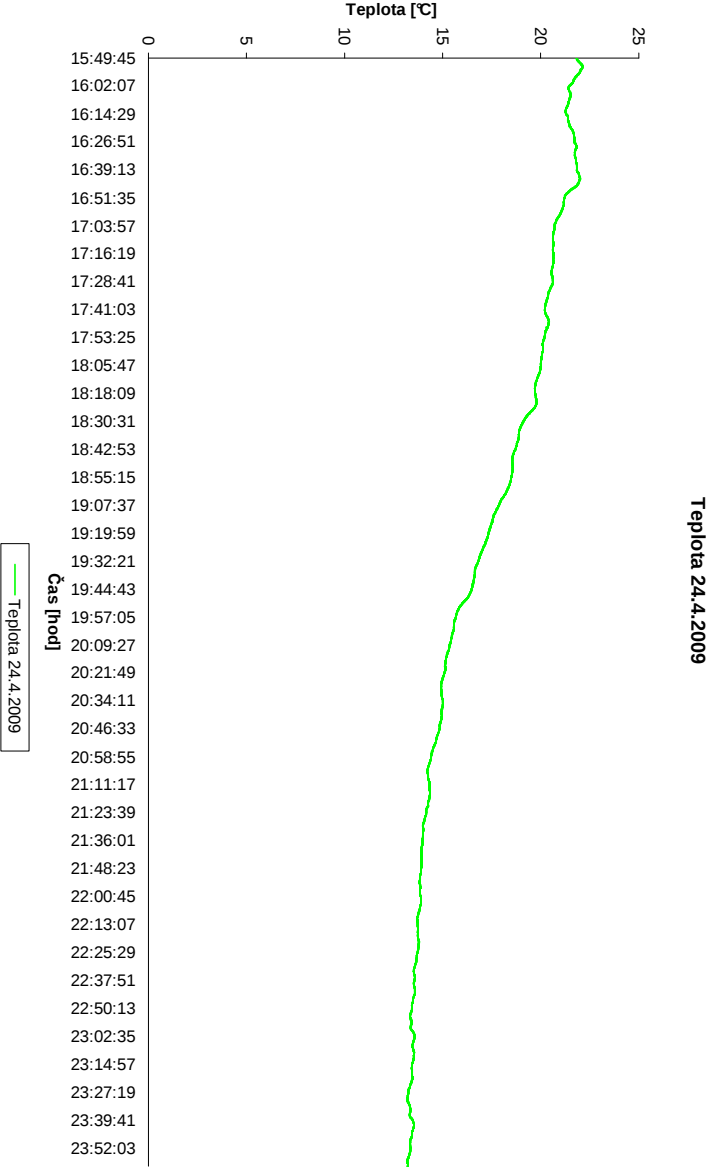
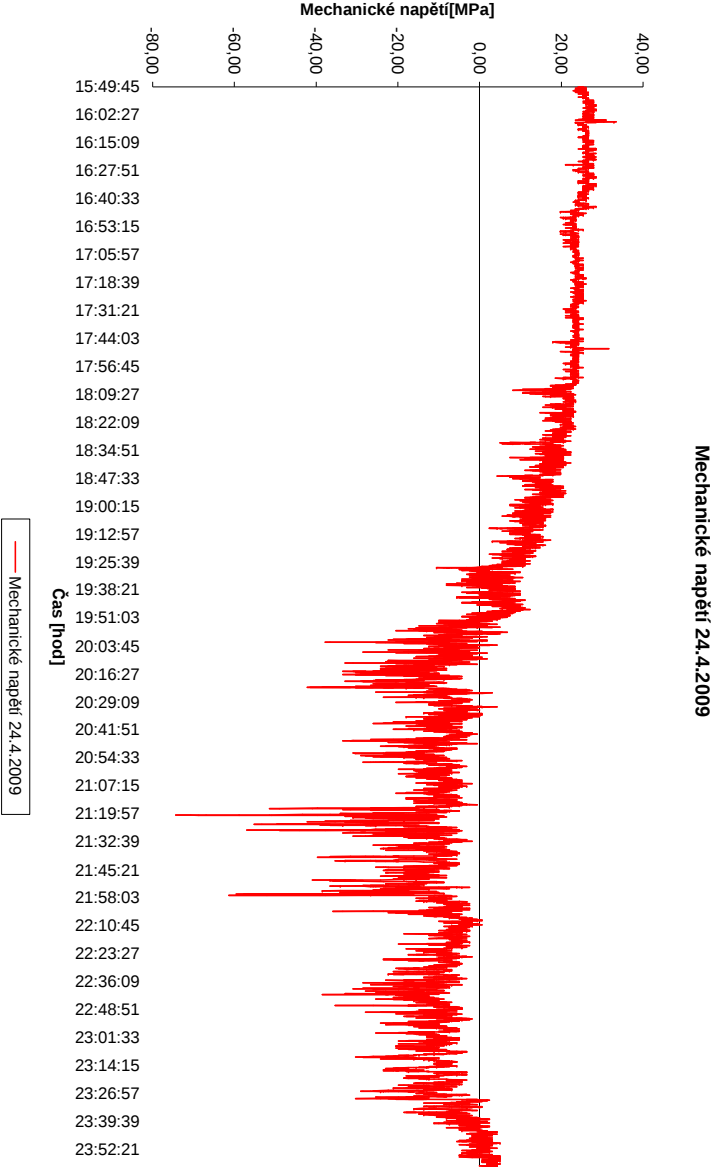
Rychlost větru 23.4.2009

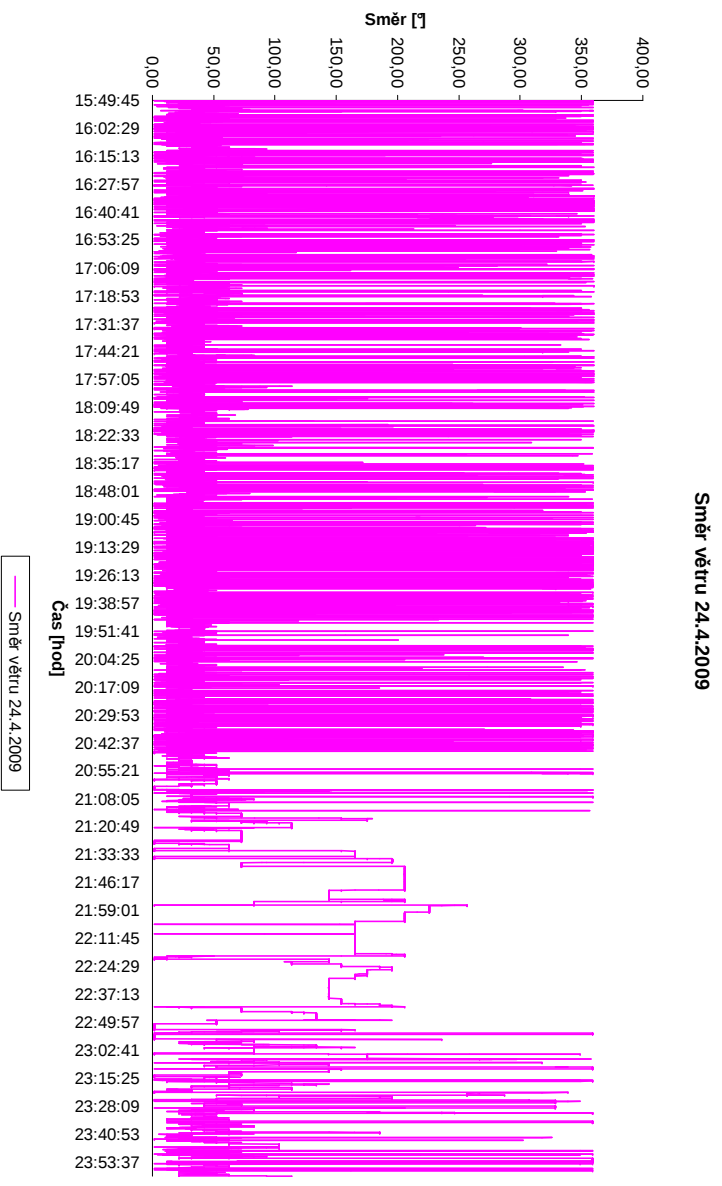
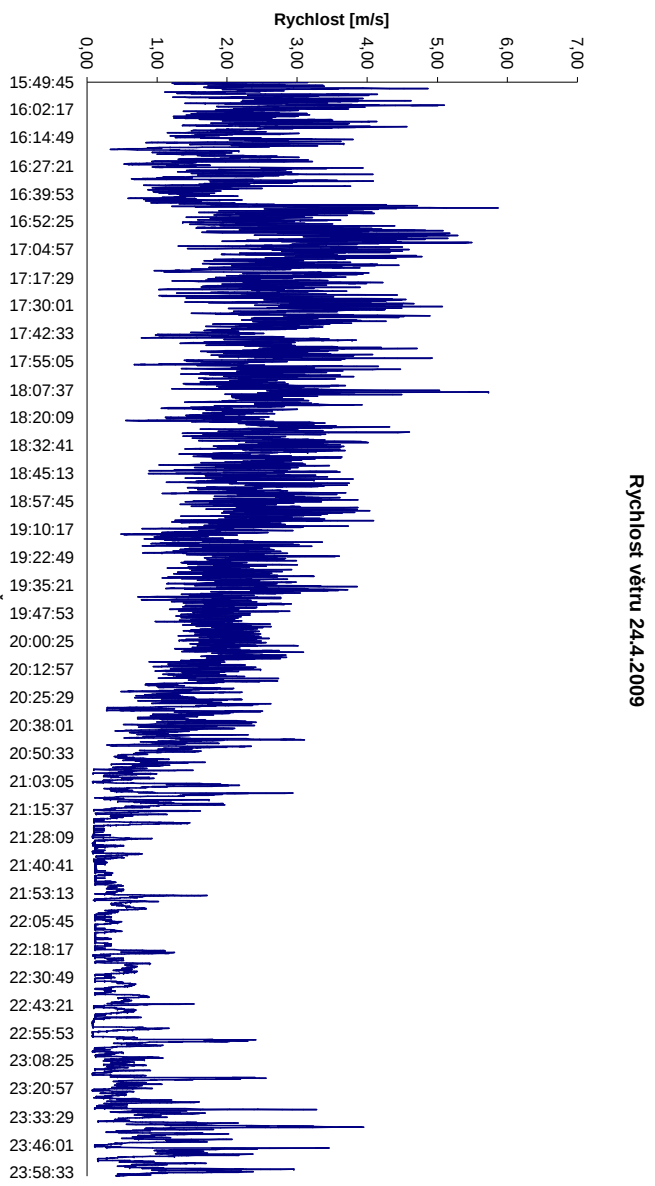


Směr větru 23.4.2009

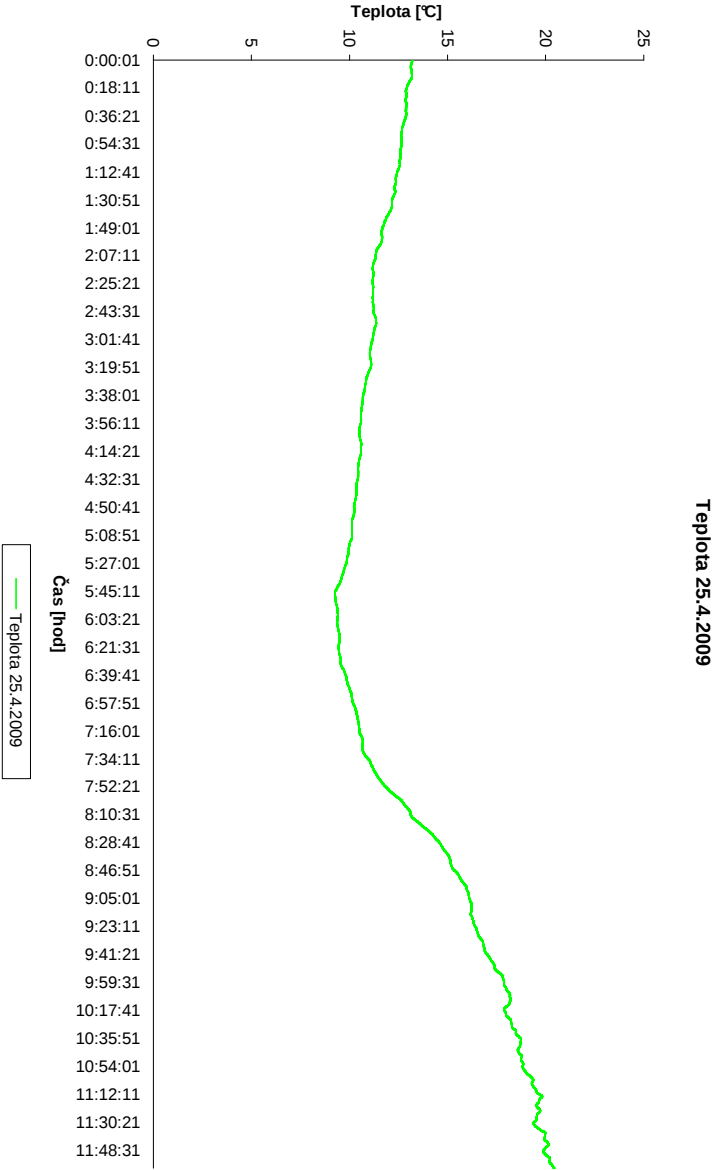
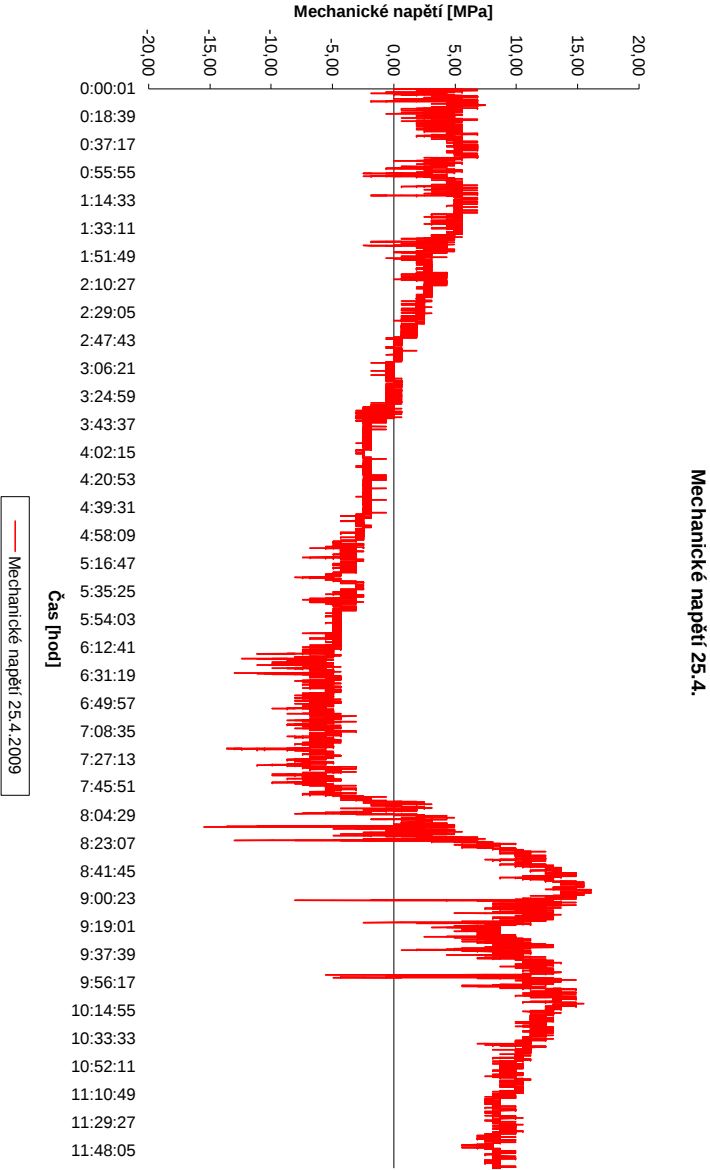


Příloha 10

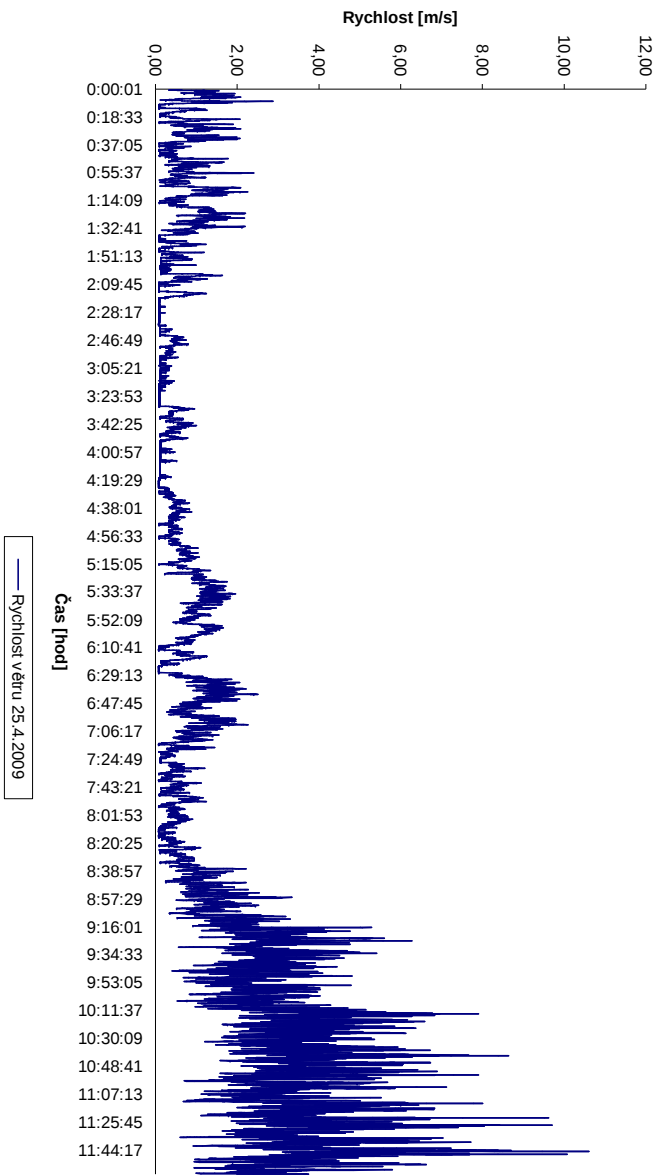




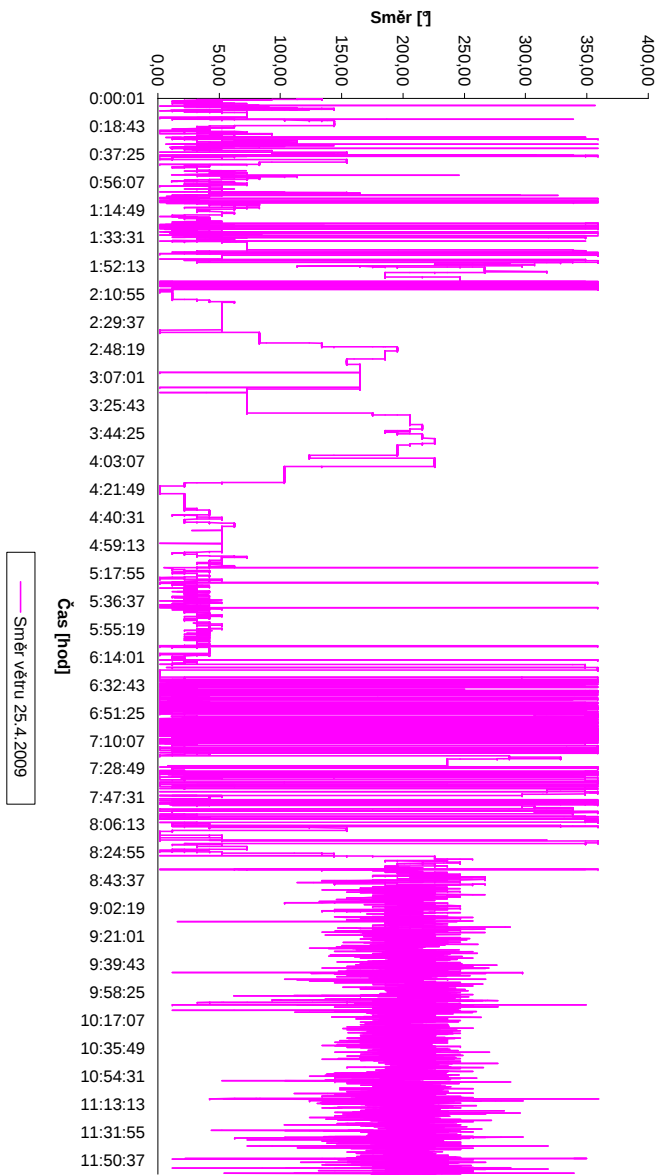
Příloha 11



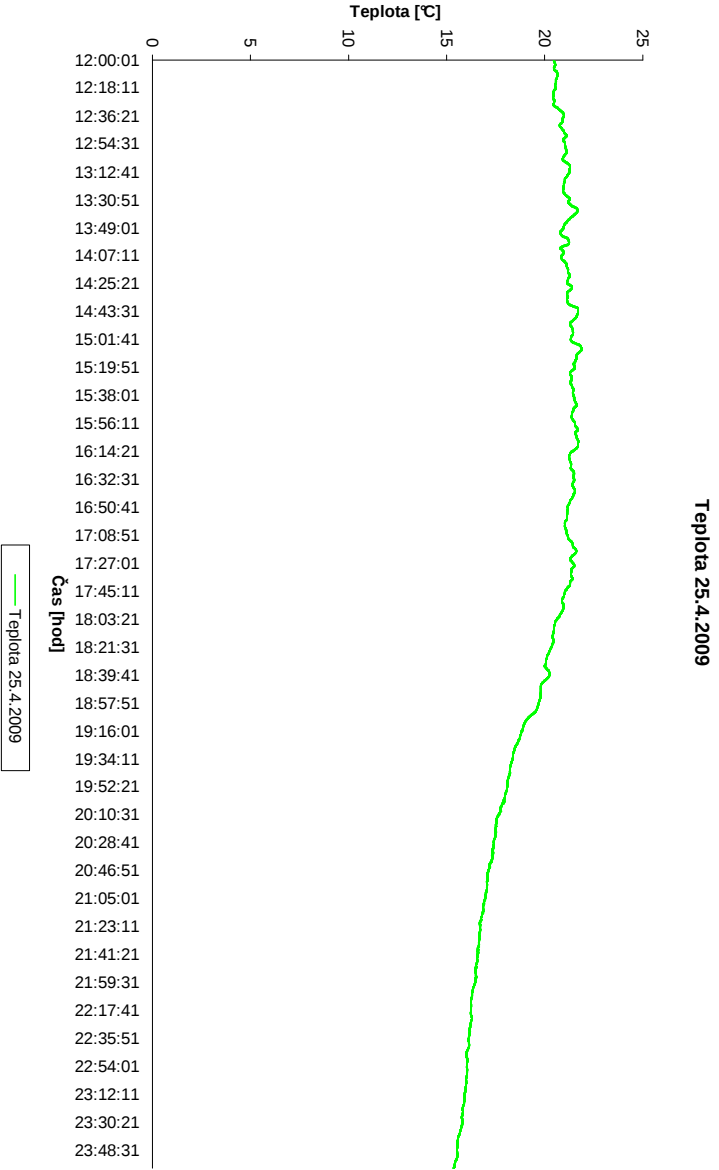
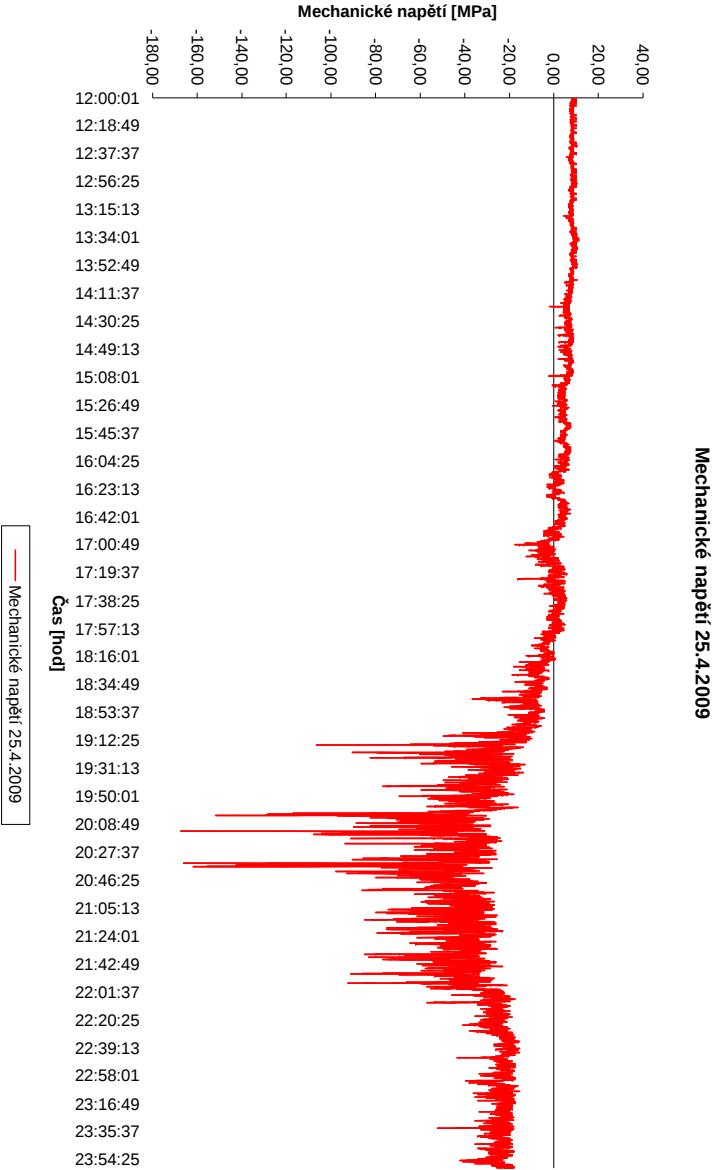
Rychlost větru 25.4.2009

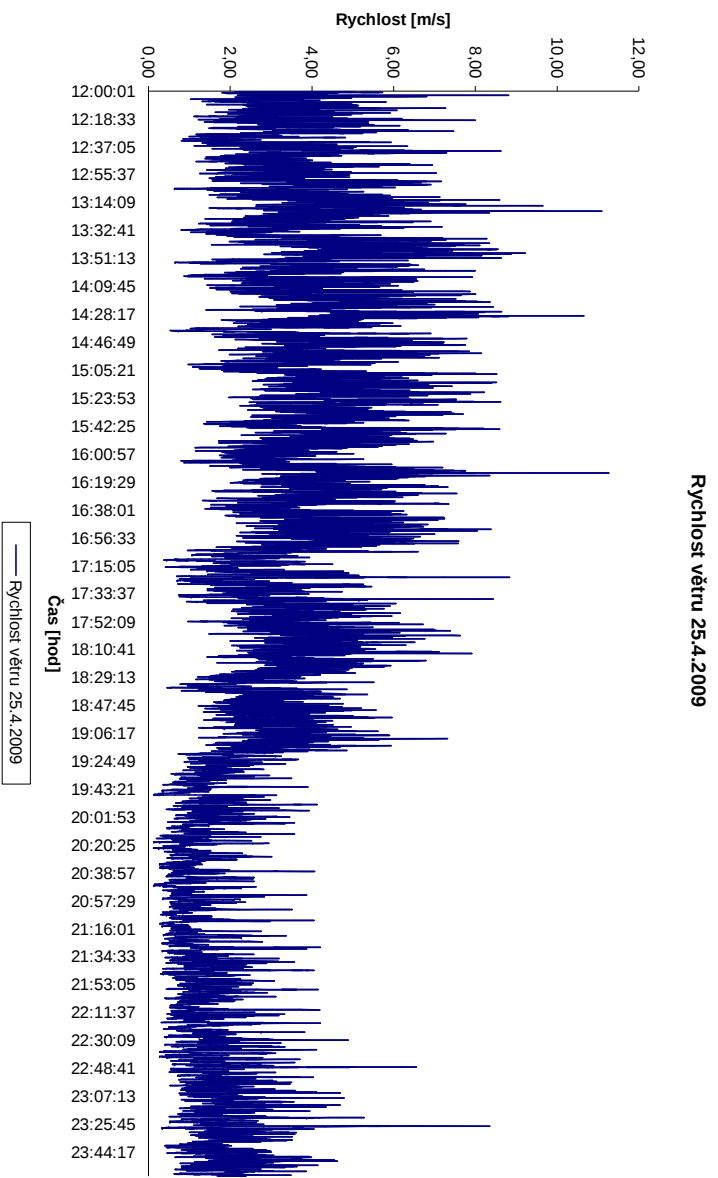
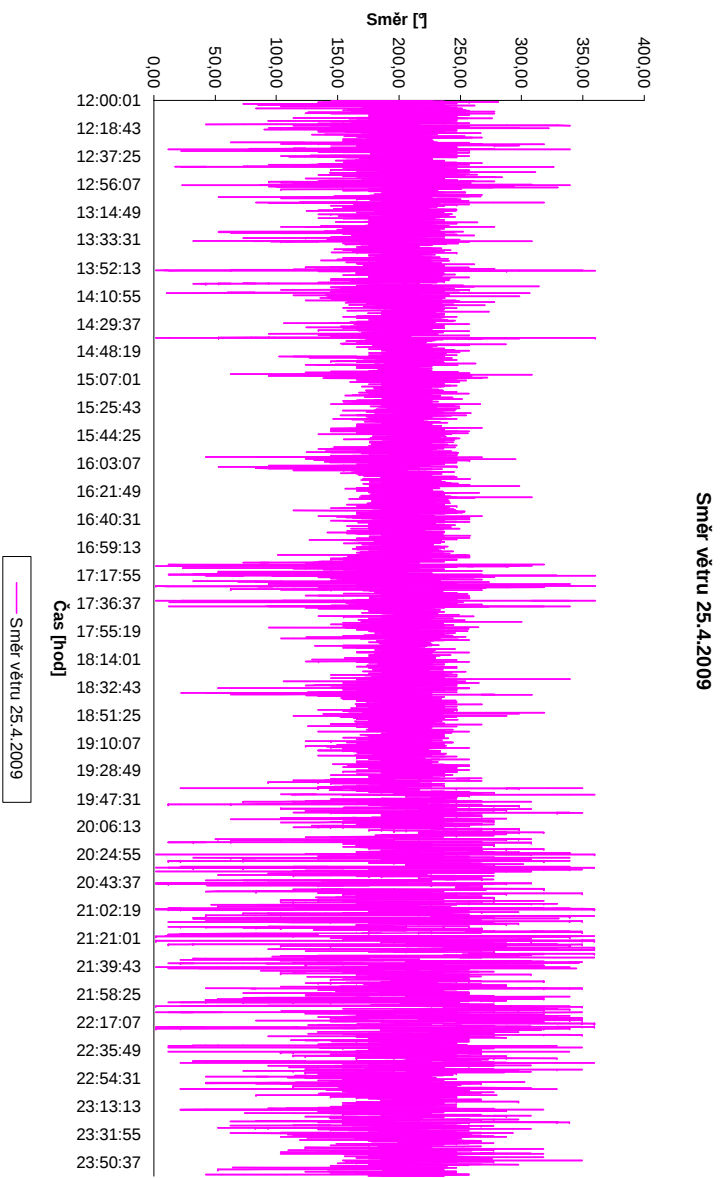


Směr větru 25.4.2009

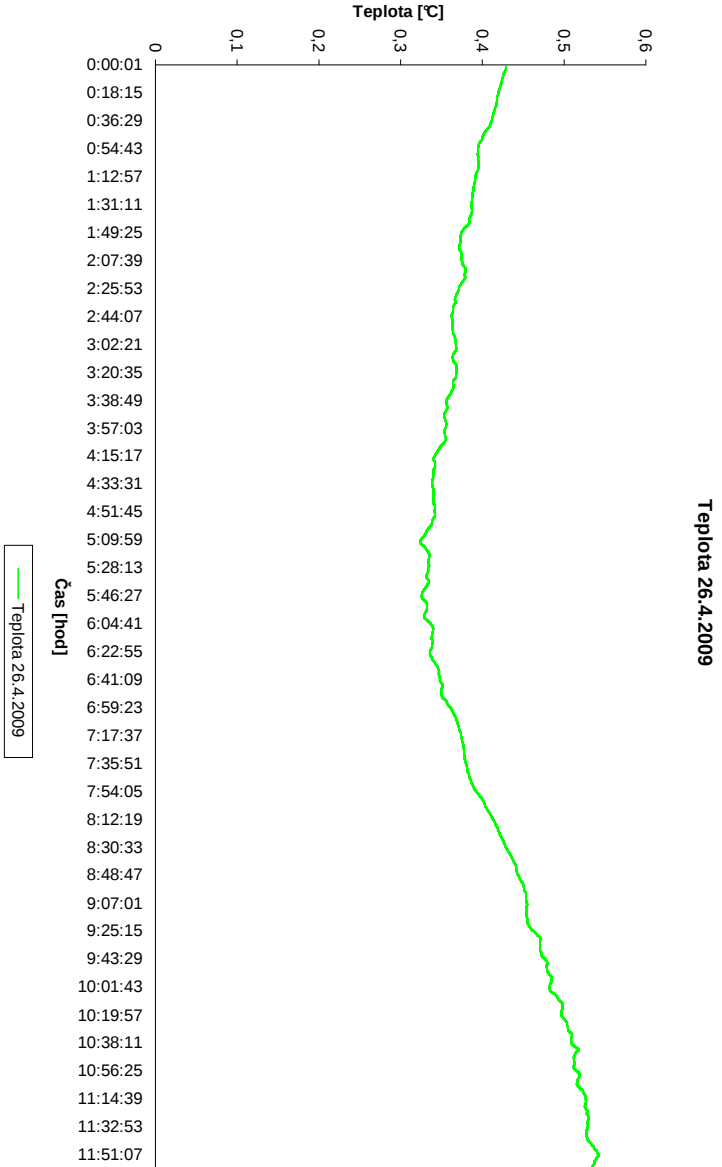
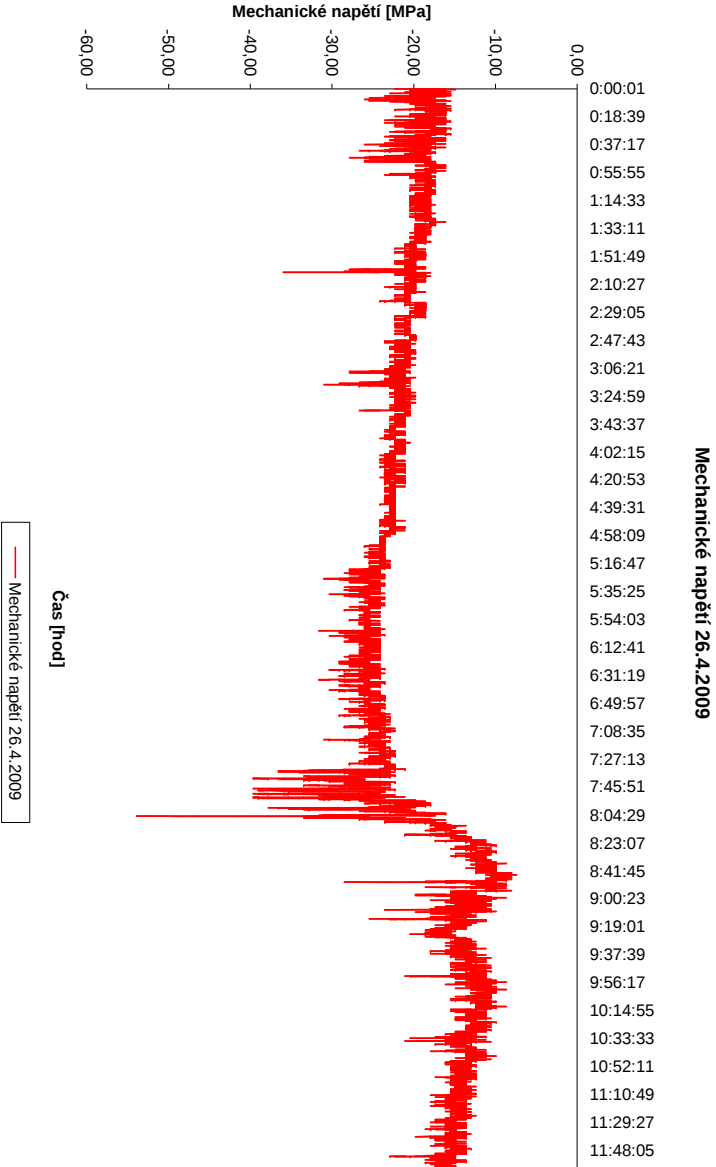


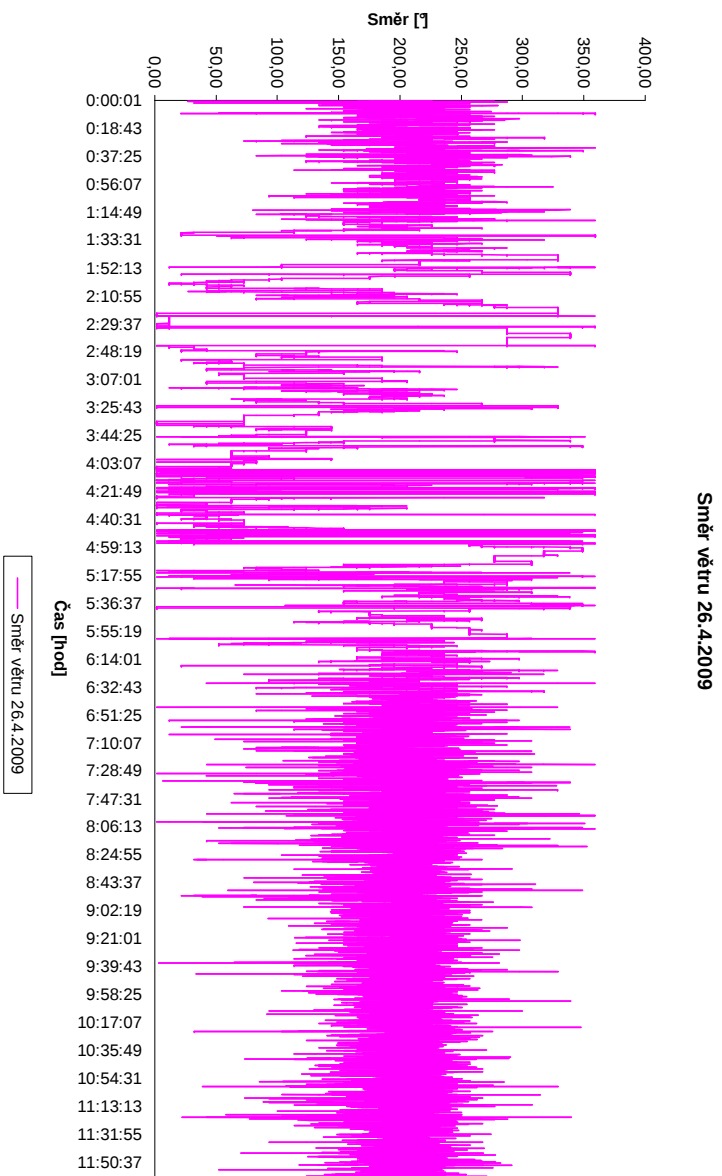
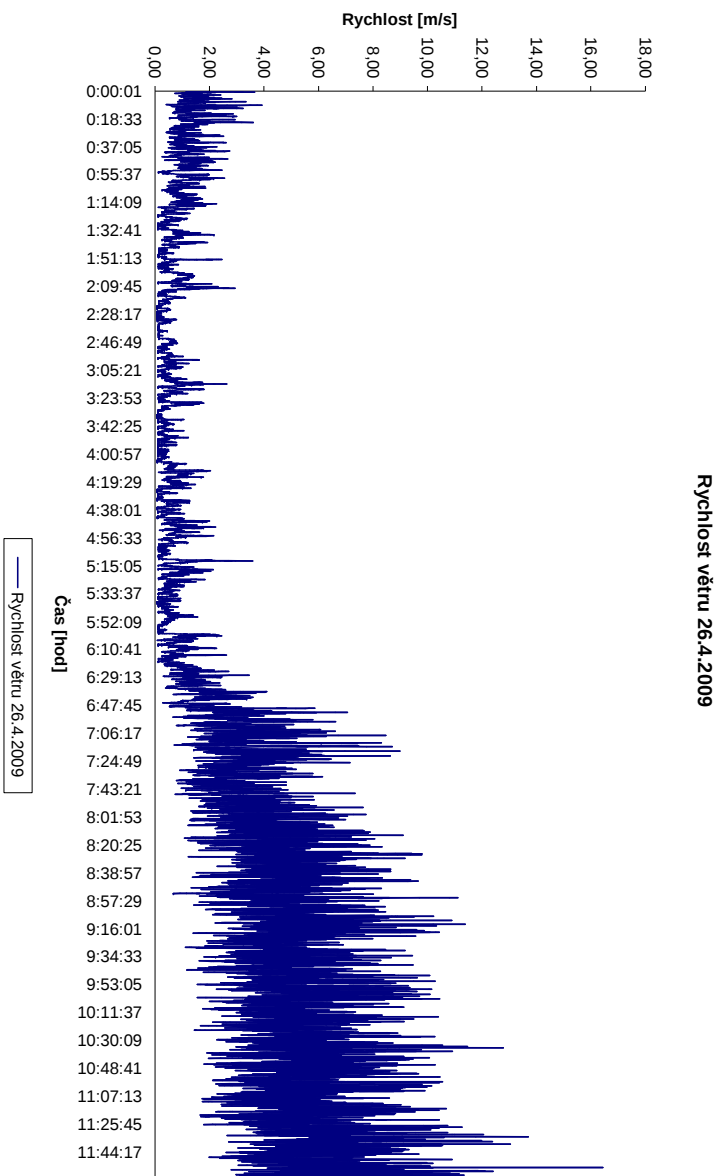
Příloha 12



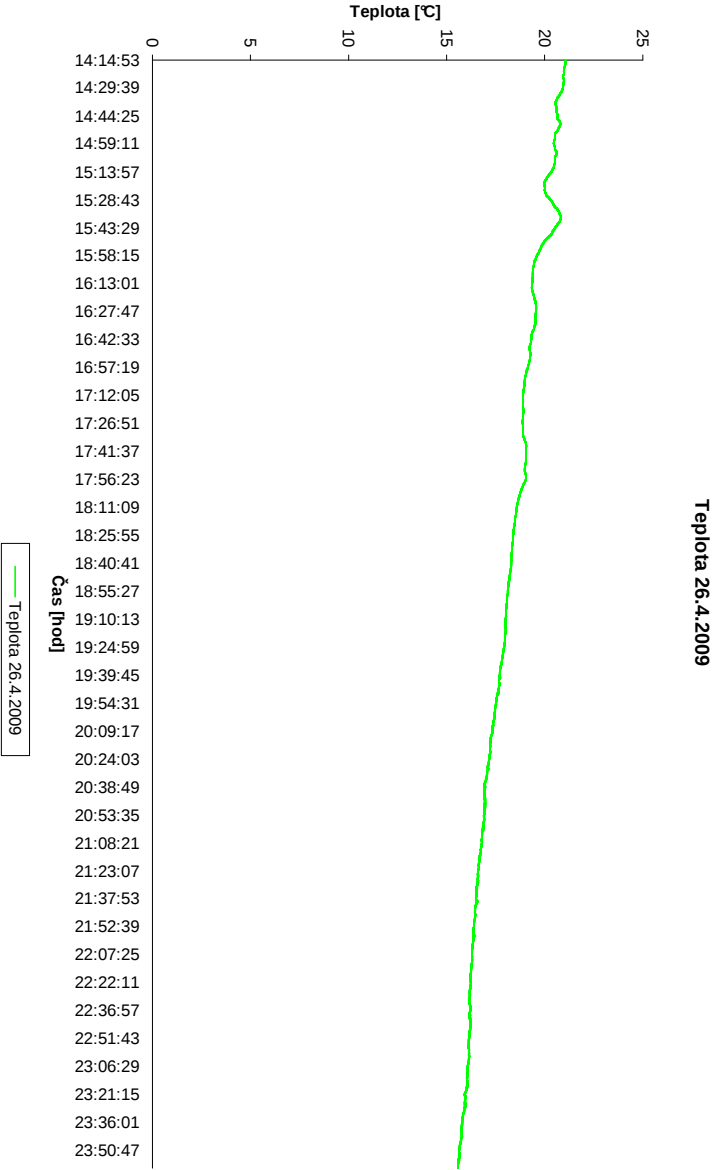
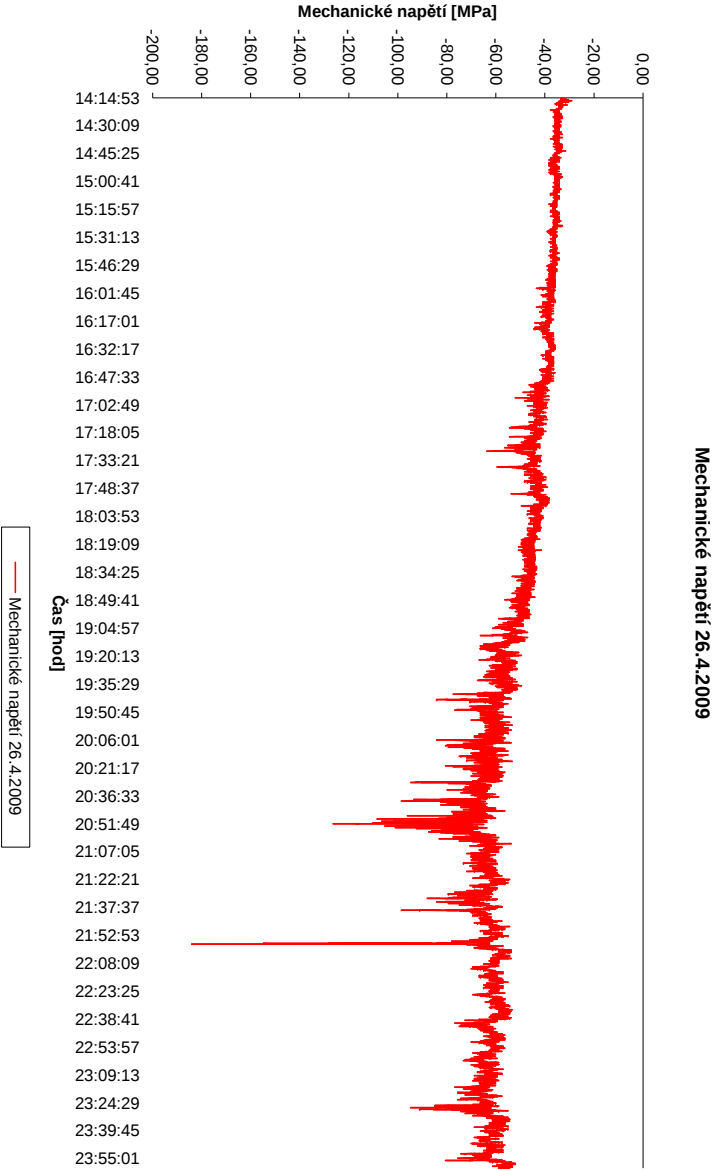


Příloha 13

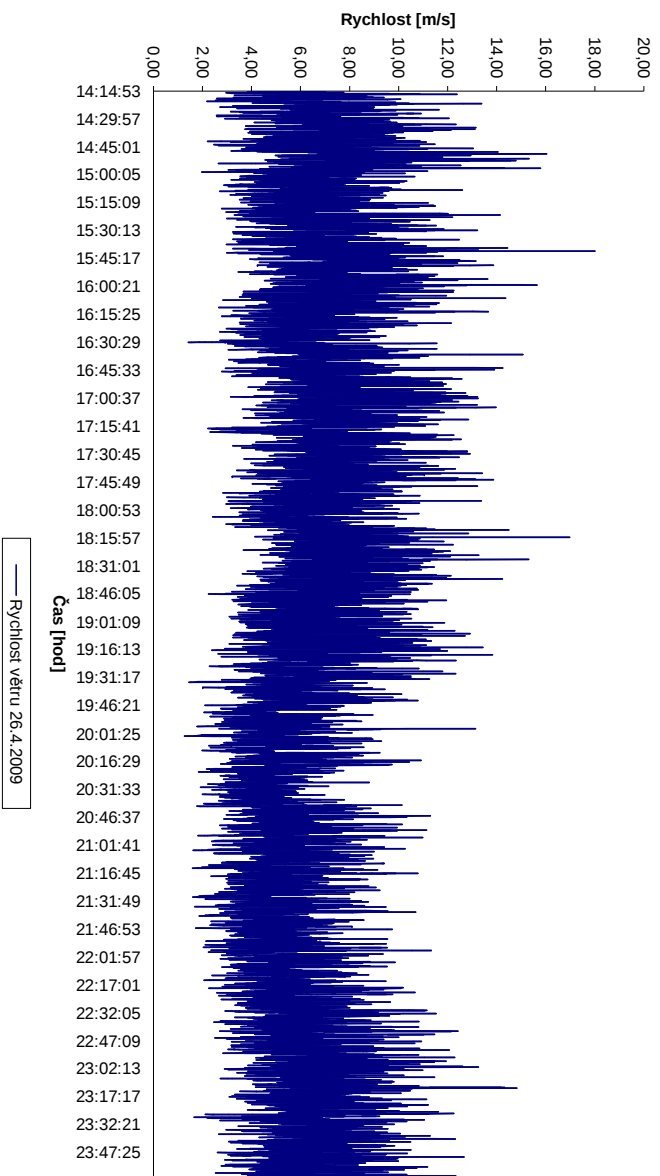




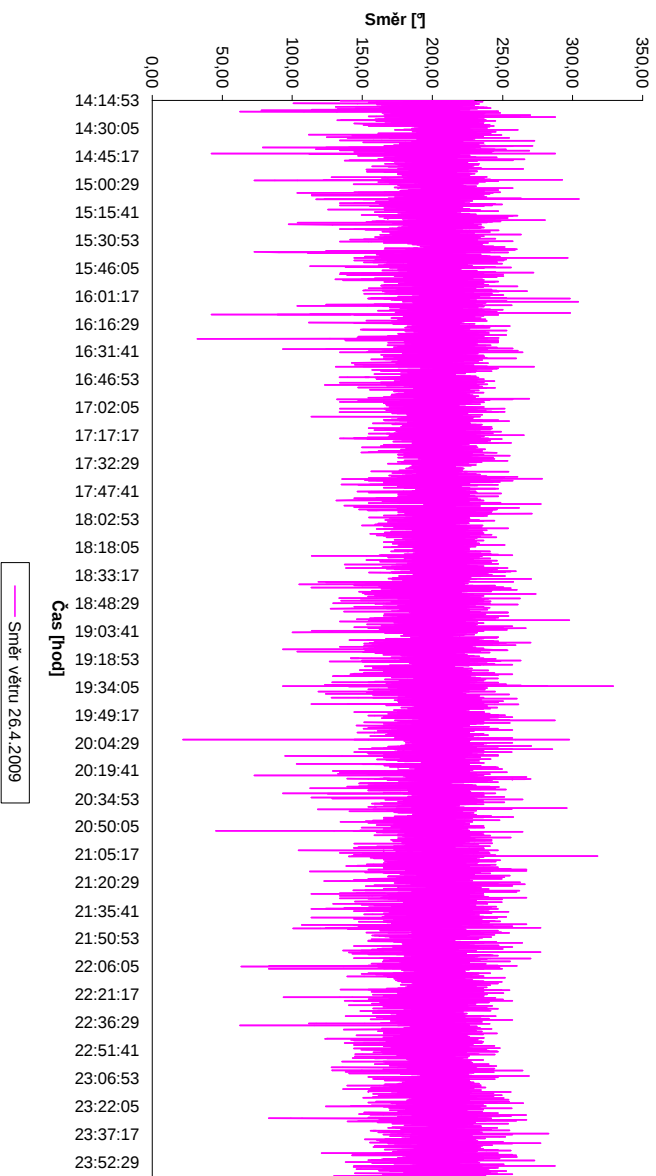
Příloha 14



Rychlost větru 26.4.2009



Směr větru 26.4.2009





Calibration Chart for Accelerometer Type SV 128

Specifications obtained in accordance with ISO 8047
Reference sensitivity at 80 Hz, 10 ms⁻² and temperature 25°C

Serial No. 1281120
Charge sensitivity: 2,83 pC/ms⁻²
Capacitance: 406 pF
Maximum transverse sensitivity: 0,6 %
(at 80 Hz, 10 ms⁻²)

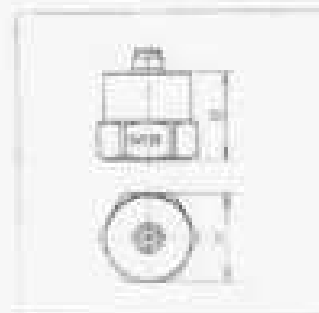
Mounted Resonance Frequency:
(mounted mass = 100 g)

Frequency limit: 25,1 kHz
(10%) 8,2 kHz

Resistance: minimum 10 GΩ at room temperature.

Environmental:

Humidity: sealed,
Temperature Range: -40--240 °C,
Max. Shock Acceleration: 10 kms⁻² peak,
Typical Magnetic Sensitivity:
2ms-2/T (50 Hz, 0,001 T)
Typical Temperature Transient
Sensitivity: 0,2 ms-2/°C (1 Hz LFF)
Electrical Connector: Coaxial, 10-32 UNF
Material: stainless steel
Sensing Element: piezoelectric, Pz 23
Weight: 21 gram
Construction: Disc Shear
Mounting Thread: M5
Mounting Stud: M5x10mm
Mounting Torque: 1,8 Nm, min. 0,5, max.3,5



Mounting Surface Flatness: 3 µm
Seismic Mass: 10 gram
Centre of Gravity of Seismic Mass: 8,5 mm from mounting surface on central axis.

Date: 9.9.1999

000590

Signature: *Vachon*