

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
PROGRAM STAVEBNÍ INŽENÝRSTVÍ
SPECIALIZACE KONSTRUKCE A DOPRAVNÍ STAVBY



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Analýza skutečného teplotního namáhání konstrukce mostu během jeho výstavby
Assessment of temperature monitoring during construction phases

Vedoucí práce: doc. Ing. Marek Foglar, Ph.D.
Katedra betonových a zděných konstrukcí

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Šikola** Jméno: **Marek** Osobní číslo: **502319**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra betonových a zděných konstrukcí**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Specializace: **Konstrukce a dopravní stavby**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Analýza skutečného teplotního namáhání konstrukce mostu během jeho výstavby

Název bakalářské práce anglicky:

Assessment of temperature monitoring during construction phases

Pokyny pro vypracování:

- Rešerše na téma teplotní zatížení mostů během výstavby s důrazem na mosty vysouvané
- Vyhodnocení dvou rozhodujících teplotních období výstavby mostu Gottlebatalbrücke v německé Pirmě
- Kritická zpětná odezva směrem do platných ustanovení norem

Seznam doporučené literatury:

Projektová dokumentace mostu Gottlebatalbrücke
Data z měření mostu Gottlebatalbrücke během jeho výstavby
Stráský, J. (2001) Betonové mosty, ŠEL, Knižnice autorizovaného inženýra a technika, TK21, s.103

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Marek Foglar, Ph.D. katedra betonových a zděných konstrukcí FŠv

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **20.02.2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20.05.2024**

Platnost zadání bakalářské práce:

podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

21.2.2024
Datum převzetí zadání

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma „Analýza skutečného teplotního namáhání konstrukce mostu během jeho výstavby“ vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Marka Foglara, Ph.D. a veškeré využití zdroje jsou řádně ocitovány v kapitole Citace.

V Praze dne

Poděkování

Chtěl bych především poděkovat doc. Ing. Marku Foglarovi, Ph.D. za vedení bakalářské práce, cenné odborné rady a celkovou pomoc s vypracováním. Dále bych rád poděkoval Ing. Vladimíru Benešovi a Ing. Ondřeji Svobodovi, Ph.D. za cenné praktické rady, pomoc se zpracováním dat a prací v programu RFEM 6.

Velké díky také patří mé rodině, která mě ve všem podporuje.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou skutečného teplotního namáhání mostu Gottleubatalbrücke během jeho výstavby. V teoretické části se nachází seznámení se sledovaným mostem a je zde uveden přístup norem. V praktické části jsou pak zpracována změřená data o teplotě z výše zmíněného objektu a porovnána s předpoklady stanovenými dle normy. Následně byl v programu RFEM 6 vytvořen prutový model mostu, skládající se z ocelové nosné konstrukce, výsuvného nosu a spodní stavby. Na tento model byly naneseny zjištěné teploty z vybraných období a porovnány vodorovné deformace pilířů se skutečnými změřenými hodnotami odklonů.

Základním cílem práce bylo zjistit, zda změřené teploty odpovídají hodnotám stanoveným podle platné normy a celkové chování mostu od teplotního zatížení souhlasí s předpokladem.

Klíčová slova

Most Gottleubatalbrücke v Pirně, zatížení teplotou, přetvoření od teploty, analýza dat, zatížení mostů, ocelobetonový most, mosty pozemních komunikací

Abstract

This bachelor thesis deals with the analysis of the actual thermal stresses of the Gottleubatalbrücke bridge during its construction. In the theoretical part an introduction to the bridge under study is given and the approach of the standards is presented. In the practical part, the measured temperature data from the aforementioned object are then processed and compared with the assumptions set by the standard. Subsequently, a member model of the bridge was created in RFEM 6, consisting of the steel superstructure, the outrigger nose and the substructure. The observed temperatures from the selected periods were applied to this model and the horizontal deflections of the piers were compared with the actual measured deflection values.

The primary objective of the work was to determine if the measured temperatures matched the values specified by the applicable standard and the overall behavior of the bridge from the thermal load agreed with the assumption.

Keywords

Gottleubatalbrücke bridge in Pirna, temperature loading, deflection from temperature, data analysis, bridge loading, steel-concrete bridge, road bridges

Obsah

1 Úvod	9
2 Most Gottleubatalbrücke	10
3 Zatížení teplotou	12
3.1 Teplotní změny u mostů – nosné konstrukce	13
3.1.1 Rovnoměrná složka teploty	13
3.1.2 Rozdílové složky teploty	16
3.2 Teplotní změny u mostů – pilíře	18
4 Zatížení během výstavby	18
4.1 Významná zatížení působící na most v Pirně během výstavby.....	20
4.1.1 Zatížení nosných a nenosných prvků během manipulace.	20
4.1.2 Geotechnická zatížení.....	20
4.1.3 Zatížení teplotou	20
4.1.4 Zatížení větrem	21
4.1.5 Staveništní zatížení.....	21
4.1.6 Mimořádná zatížení.....	22
5 Výběr rozhodujících teplotních období.....	23
5.1 Vyhodnocení jarního dne.....	34
5.2 Vyhodnocení letního dne.....	35
5.3 Vyhodnocení zimního dne	36
5.4 Celkové vyhodnocení vybraných dnů	38
6 Odklony pilířů od teplotního zatížení	38
7 Prutový model mostu	40
7.1 Aplikace zatížení.....	42
7.2 Vypočítané hodnoty odklonů – jarní den	42
7.3 Vypočítané hodnoty odklonů – letní den	46
7.3.1 Analýza deformace pilíře po jeho délce	49
7.4 Porovnání ohybové tuhosti pilířů	50
7.5 Celkové vyhodnocení rozdílů mezi skutečnými a vypočítanými hodnotami odklonů pilířů	50
8 Závěr	51

Citace	52
Seznam obrázků.....	53
Seznam tabulek	54
Seznam grafů	55

1 Úvod

Předkládaná práce obsahuje analýzu dlouhodobého měření realizovaného na mostě Gottleubatalbrücke v německé Pirně během jeho výstavby. Na tomto mostě je od června roku 2022 monitorována teplota a současně i odklony pilířů. Práce je zaměřena na klimatickou teplotu její vliv na chování konstrukce.

Vliv klimatu je velmi významný a je proto nutné ho při návrhu konstrukce mostu i postupu jeho výstavby zahrnout. Na mostě dochází kvůli teplotě k neustálým změnám, a to jak v rámci ročních období, tak i během dne. Ocelová konstrukce je přes den významně oteplená a přes noc vychladne. Tím dochází k dilataci, která dosahuje kvůli délce ocelové nosné konstrukce poměrně vysokých hodnot. Kromě rovnoměrného oteplení či ochlazení konstrukce má podstatný vliv také nerovnoměrné rozdělení teplot v průřezu konstrukce, které vzniká jako důsledek oslunění některých částí konstrukce.

Existuje mnoho vlivů, které působí na mostní konstrukce. Cílem této práce je proto ověřit, zda současně platné normy pokrývají možné vlivy a jejich předpoklady odpovídají skutečnému teplotnímu namáhání.

V první části práci je stručně představen most Gottleubatalbrücke, ukázán přístup pro stanovení zatížení od teploty podle normy ČSN EN 1991-1-5 [1] a přístup normy ČSN EN 1991-1-6 [2] pro stanovení zatížení během provádění. Ve druhé části je pak samotná analýza skutečných teplot naměřených čidly na konstrukci a tyto zjištěné hodnoty jsou porovnány s předpoklady normy. Následuje analýza skutečného průběhu odklonů pilířů od teplotních změn na konstrukci. V poslední části je pak vytvořen prutový model celé mostní konstrukce, jsou na něj nanесeny skutečné změřené teploty a porovnány pohyby pilířů vypočtené z modelu s jejich skutečnými odklony.

2 Most Gottleubatalbrücke

Most Gottleubatalbrücke se nachází v německé Pirně a vede přes údolí Gottleuby. Zhotovitelem celé stavby je Metrostav a.s., Divize 4 ve sdružení s BeMo Tunnelling. [3] Výrobu ocelové konstrukce pak zajišťuje Metrostav a.s., Divize 3, tudíž byla celá vyrobena v Praze, Horních Počernicích.

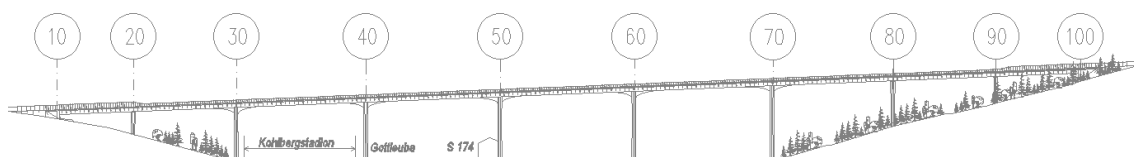
Návrh mostu vzešel z architektonické soutěže v roce 2006. Důraz je v něm kladen na štíhlost konstrukce, a to jak nosné ocelové, tak i spodní stavby. Most má devět polí o rozpětích 92+116+120+120+124+108+92+76m. Celková délka mostu je tak téměř 1 kilometr. Jeho spád činí 4% a je přímý. Spodní stavba je založena na vrtaných velkopřůměrových pilotách. Nosná konstrukce je řešena jako semi-integrovaná. Železobetonové pilíře mají ve směru rovnoběžném i kolmém na osu mostu proměnný průřez. Po vysunutí a spuštění ocelové komorové nosné konstrukce budou pilíře 30 až 70 s touto konstrukcí spojeny železobetonovými náběhy. Samotná ocelová nosná konstrukce pak bude spřažena s prefa-monolitickou železobetonovou mostovkou.

Výstavba mostu je řešena podélným výsuvem ocelové konstrukce od opěry 100. Za ní se nachází plocha, kde je konstrukce z jednotlivých dílců svařována. Výsuv probíhá ve spádu 4% a konstrukce je uložena na výsuvných stolicích 1,5m nad hlavami pilířů. Po ukončení výsuvů a vyrovnání deformací pilířů (vzniklými kvůli vysouvání) bude ocelová konstrukce spuštěna na hlavy pilířů a propojena s těmito pilíři. Poté bude následovat betonáž náběhů u pilířů 30 až 70, čímž vznikne semi-integrovaná konstrukce. Na tomto konečném statickém systému následně dojde k osazení většiny železobetonových prefabrikátů (některé byly na ocelovou konstrukci osazeny už před výsuvem) a betonáž mostovky. Na příčné ocelové konzoly budou vybetonovány římsy, následně dojde k položení vozovky a dokončovacím pracím.

Původně bylo plánováno ukončení výstavby už v roce 2021, kvůli několika komplikacím a spory mezi zhotovitelem a investorem však v současnosti stále výstavby probíhá. Poslední výsuv konstrukce a následné spuštění ocelové nosné konstrukce na pilíře by mělo být provedeno v druhé půlce roku 2024. [4]



Obr. 1 Vizualizace mostu. [5]



Obr. 2 Podélný řez mostu. [5]



Obr. 3 Fotografie z realizace – stav před nájездem konstrukce na pilíř 50. [5]

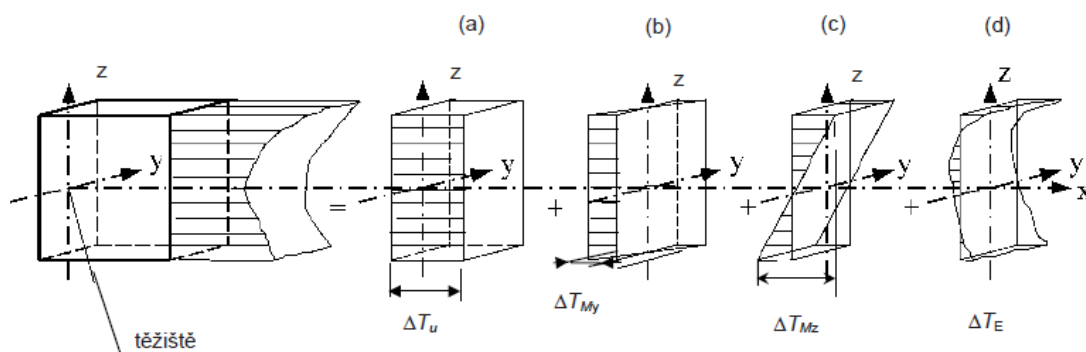
3 Zatížení teplotou

Dle ČSN EN 1991-1-5 [1] je zatížení teplotou klasifikováno jako proměnné a nepřímé zatížení. Pokud není uvedeno jinak, veškeré stanovené hodnoty zatížení dle této normy jsou charakteristické a jejich pravděpodobnost překročení činí 0,02.

Zatížení působí na konstrukci nebo nosný prvek a vzniká změnami teplotních polí. Při zvýšení teploty materiál zvyšuje svůj objem, tím vzniká deformace. Pokud je jí jakkoliv bráněno, vzniká tím v konstrukci či prvku napětí.

Různé změny teplot, dlouhodobé i krátkodobé, způsobují proměnný průběh teplot v prvcích konstrukce. Na účinky změn teplot má vliv více faktorů. Místní klimatické podmínky, orientace konstrukce (vzhledem ke směru slunečního záření), celková hmotnost, povrchová úprava konstrukce.

Teplotní průběh v daném prvku konstrukce lze rozčlenit na rovnoměrnou složku teploty ΔT_u (a), lineárně proměnnou rozdílovou složku teploty ΔT_{My} ve směru osy y (b), lineárně proměnnou rozdílovou složku teploty ΔT_{Mz} ve směru osy z (c) a nelineární rozdílovou složku teploty ΔT_E (d).



Obr. 4 Rozdílové složky teploty dle ČSN EN 1991-1-5 [1]

Vzniklé přetvoření i napětí od teploty závisí na geometrii, okrajových podmínkách prvku konstrukce a fyzikálních vlastnostech použitého materiálu. Ke stanovení teplotních účinků se používají součinitele teplotní délkové roztažnosti materiálů.

3.1 Teplotní změny u mostů – nosné konstrukce

Podle normy ČSN EN 1991-1-5 [1] se nosné konstrukce mostů se dělí na tři typy:

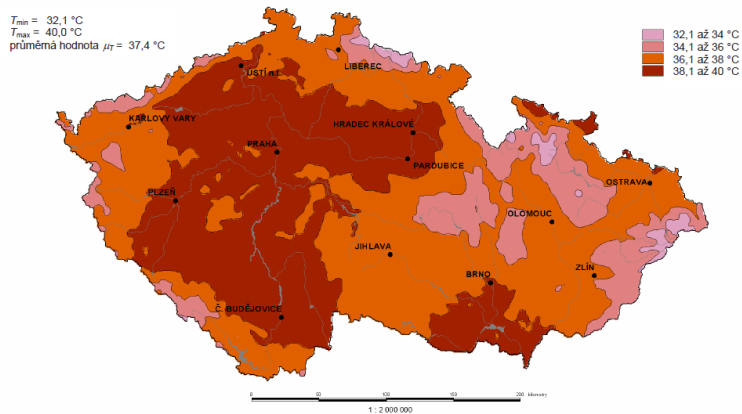
1. typ: ocelová nosná konstrukce
 - ocelový komorový nosník
 - ocelový příhradový nebo plnostěnný nosník
2. typ: ocelobetonová nosná konstrukce
3. typ: betonová nosná konstrukce
 - betonová deska
 - betonový nosník
 - betonový komorový nosník

3.1.1 Rovnoměrná složka teploty

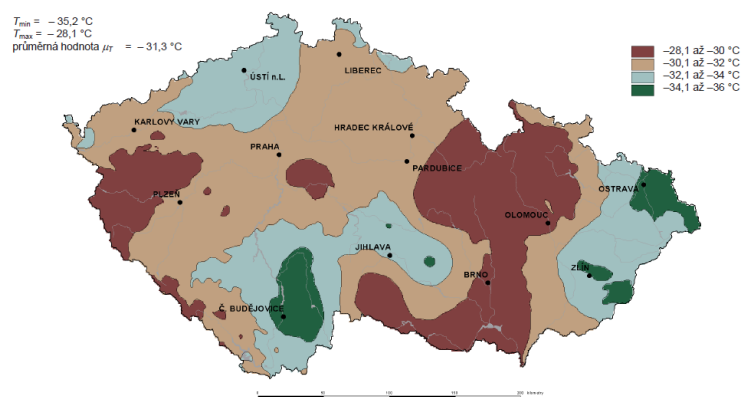
Rovnoměrná složka teploty ΔT_u závisí na minimální a maximální teplotě, které může most dosáhnout. Tato složka způsobuje délkové změny u prvků, pokud v konstrukci není bráněno jejich přetvoření. Nutné je zvážit vliv daného typu konstrukce, tření v ložiscích nebo nelineární geometrické účinky.

Charakteristická minimální (T_{\min}) a maximální (T_{\max}) teplota vzduchu ve stínu v daném místě se musí odvodit z národních map izoterm (pro ČR na obr. 5). Tyto hodnoty teplot jsou vztaženy k průměrné nadmořské výšce a jejich roční pravděpodobnost překročení činí 0,02. Norma dále určuje velikost minimální ($T_{e,\min}$) a maximální ($T_{e,\max}$) rovnoměrné složky teploty v závislosti na typu konstrukce a minimálních a maximálních hodnotách teploty vzduchu ve stínu. Tento vztah mezi T_{\min} (popř. T_{\max}) a $T_{e,\min}$ (popř. $T_{e,\max}$) ukazuje graf na obr. 6.

Hodnoty maximální teploty vzduchu ve stínu, která je překročena ročními maximy s pravděpodobností 0,02.

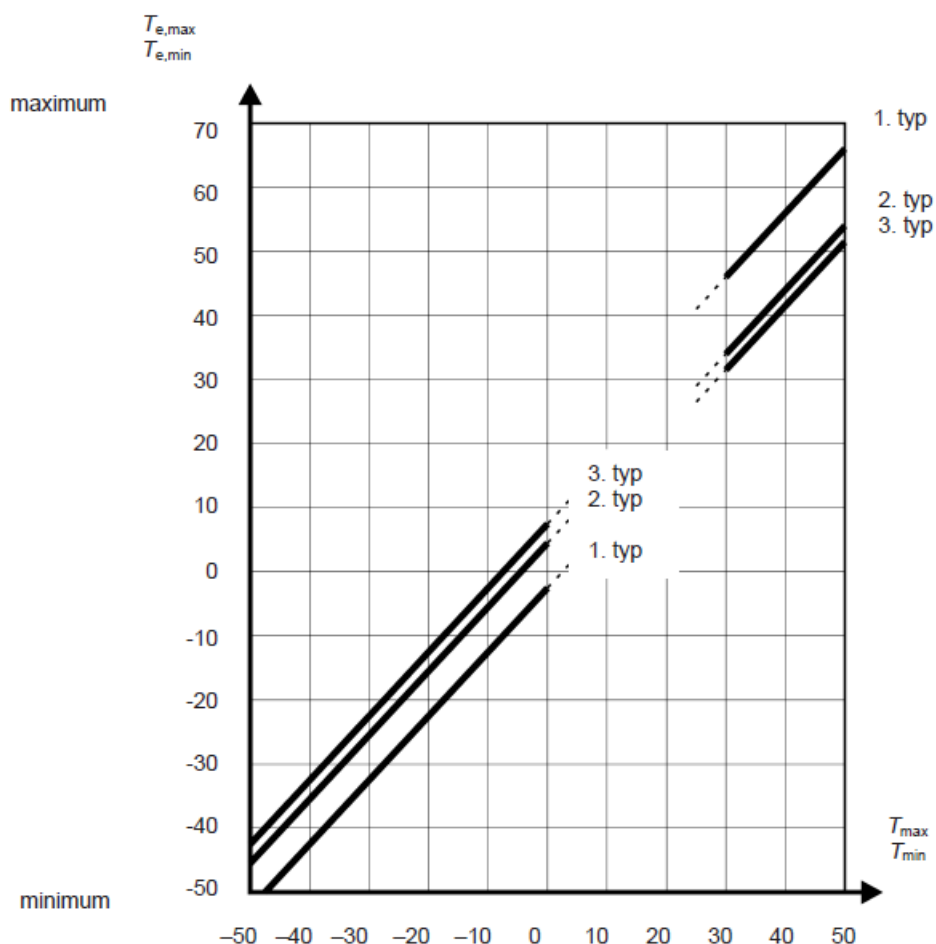


Hodnoty minimální teploty vzduchu ve stínu, která je překročena ročními minimy s pravděpodobností 0,02.



Obrázek NA.2 – Mapa minimálních teplot vzduchu ve stínu.

Obr. 5 Mapa izoterm maximálních a minimálních teplot vzduchu ve stínu. [1]



Obr. 6 Vztah mezi minimální/maximální teplotou vzduchu ve stínu (T_{min}/T_{max}) a min./max. rovnoměrnou složkou teploty mostu ($T_{e,min}/T_{e,max}$). [1]

Hodnoty na obrázku 3 vychází z denního rozsahu teplot 10°C , který se považuje jako přiměřený pro většinu území členských států EU i ČR.

V národní příloze normy ČSN EN 1991-1-5 [1] jsou uvedeny mapy izoterm pouze pro Českou republiku. Jelikož se most nachází v německé Pirně, která je relativně blízko hranicím s naší zemí, rozhodl jsem se uvažovat hodnoty pro nejbližší bod na území ČR, $T_{max} = 38^{\circ}\text{C}$ a $T_{min} = -34^{\circ}\text{C}$.

Konstrukce mostu je typu 2 – ocelobetonová nosná konstrukce. Vysouvána je však pouze ocelová nosná konstrukce, betonáž mostovky proběhne až po ukončení výsuvů. Během výstavby – vysouvání – je proto konstrukce považována za typ 1 – ocelová nosná konstrukce.

Velikost minimální ($T_{e,min}$) a maximální ($T_{e,max}$) rovnoměrné složky teploty se tak dle grafu na obrázku 6 rovná: $T_{e,min} = T_{min} - 3^{\circ}\text{C} = -39^{\circ}\text{C}$, $T_{e,max} = T_{max} + 16^{\circ}\text{C} = 54^{\circ}\text{C}$. Tyto hodnoty se používají pro stanovení velikosti vynucených sil. Celkový

rozsah rovnoměrné složky teploty mostu je pak $\Delta T_N = T_{\max} - T_{\min} = 54^\circ\text{C} - (-39^\circ\text{C}) = 93^\circ\text{C}$.

Pro výpočet zkrácení nebo prodloužení mostu jsou zavedeny hodnoty $\Delta T_{N,\text{con}}$ (charakteristická hodnota maximálního rozsahu rovnoměrné složky teploty pro výpočet zkrácení mostu) a $\Delta T_{N,\text{exp}}$ (charakteristická hodnota maximálního rozsahu rovnoměrné složky teploty pro výpočet prodloužení mostu). Tyto hodnoty se stanoví z velikosti minimální a maximální rovnoměrné složky teploty a výchozí teploty T_0 – teplota v čase zabudování konstrukce. Velikost výchozí teploty se obvykle uvažuje 10°C .

Vztahy pro výpočet:

$$\Delta T_{N,\text{con}} = T_0 - T_{e,\text{min}} = 10^\circ\text{C} - (-39^\circ\text{C}) = 49^\circ\text{C}$$

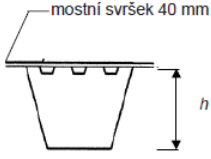
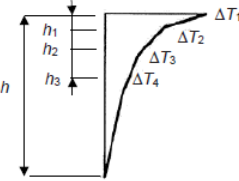
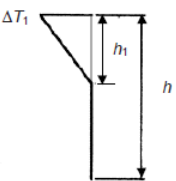
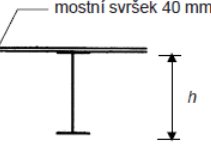
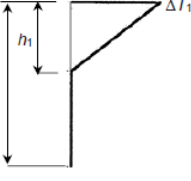
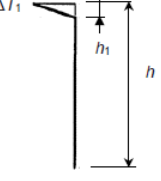
$$\Delta T_{N,\text{exp}} = T_{\max} - T_0 = 54^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C} = 44^\circ\text{C}$$

3.1.2 Rozdílové složky teploty

Oteplování a ochlazování horního povrchu nosné konstrukce v daném časovém rozsahu vyvoluje největší změny teplot. Při oteplení je horní povrch teplejší než dolní povrch (z důvodu působení slunečního záření). Naopak při ochlazení zůstává dolní povrch teplejší, zatímco horní povrch se rychleji ochladí (například situace, kdy se celá konstrukce přes den ohřeje, následně začne déšť, který horní povrch rychle ochladí). Svislé rozdíly teplot mohou v konstrukci vyvolat namáhání například vlivem omezení volného zakřivení (omezuje daný typ konstrukce – rám, spojitý nosník...).

Hodnoty výchozích rozdílů teplot se stanovují v závislosti na podmínkách výstavby nosné konstrukce konzolovým způsobem a umístění nosné konstrukce. Podle národní přílohy normy ČSN EN 1991-1-5 [1] se v ČR při stanovování svislých rozdílů teplot mají zahrnout nelineární rozdílové složky teploty.

Svislé rozdíly teplot pro ocelové nosné konstrukce ΔT jsou uvedeny na obrázku 7. Situace (a) oteplení ukazuje stav, kdy sluneční záření způsobí zvýšení teploty horního povrchu konstrukce a (b) ochlazení popisuje naopak snížení teploty horního povrchu konstrukce.

Typ konstrukce	Rozdíly teplot ΔT	
	(a) oteplení	(b) ochlazení
 <p>mostní svršek 40 mm</p> <p>h</p> <p>Typ 1.a: ocelová mostovka na ocelových komorových nosnících</p>	 <p>ΔT_1</p> <p>ΔT_2</p> <p>ΔT_3</p> <p>ΔT_4</p> <p>h_1</p> <p>h_2</p> <p>h_3</p> <p>h</p> <p>$\Delta T_1 = 24\text{ }^\circ\text{C}$</p> <p>$\Delta T_2 = 14\text{ }^\circ\text{C}$</p> <p>$\Delta T_3 = 8\text{ }^\circ\text{C}$</p> <p>$\Delta T_4 = 4\text{ }^\circ\text{C}$</p> <p>$h_1 = 0,1\text{ m}$</p> <p>$h_2 = 0,2\text{ m}$</p> <p>$h_3 = 0,3\text{ m}$</p>	 <p>ΔT_1</p> <p>h</p> <p>$\Delta T_1 = -6\text{ }^\circ\text{C}$</p> <p>$h_1 = 0,5\text{ m}$</p>
 <p>mostní svršek 40 mm</p> <p>h</p> <p>Typ 1.b: ocelová mostovka na ocelových příhradových nebo plnostěnných nosnících</p>	 <p>ΔT_1</p> <p>h</p> <p>h_1</p> <p>h</p> <p>$h_1 = 0,5\text{ m}$</p> <p>$\Delta T_1 = 21\text{ }^\circ\text{C}$</p>	 <p>ΔT_1</p> <p>h</p> <p>h_1</p> <p>$\Delta T_1 = -5\text{ }^\circ\text{C}$</p> <p>$h_1 = 0,1\text{ m}$</p>

Obr. 7 Rozdíly teplot pro ocelové nosné konstrukce. [1]

Typ konstrukce během výstavby nejvíce odpovídá typu 1a, tedy ocelový komorový nosník. Jelikož jsou však na obrázku 7 uvedeny hodnoty ΔT pro ocelovou konstrukci s mostním svrškem tloušťky 40mm a během vysouvání na mostu mostní svršek není, je třeba tyto hodnoty nahradit hodnotami podle tabulky na obrázku 8.

Tloušťka mostního svršku	Rozdíly teplot				
	oteplování				ochlazování
	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3	ΔT_4	ΔT_1
mm	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$
bez svršku	30	16	6	3	8
20	27	15	9	5	6
40	24	14	8	4	6

Obr. 8 Doporučené hodnoty ΔT pro ocelové nosné konstrukce. [1]

Hodnoty ΔT tedy uvažují pro oteplování: $\Delta T_1 = 30\text{ }^\circ\text{C}$, $\Delta T_2 = 16\text{ }^\circ\text{C}$, $\Delta T_3 = 6\text{ }^\circ\text{C}$ a $\Delta T_4 = 3\text{ }^\circ\text{C}$ a pro ochlazování $\Delta T_1 = -8\text{ }^\circ\text{C}$.

Vodorovné rozdíly teplot se uvažují obecně jen ve svislém směru, pokud je však například jedna strana mostu více vystavena slunečnímu záření, může být nutné

uvážit i vodorovnou rozdílovou složku teploty. Pokud nejsou k dispozici přesnější údaje, obecně se uvažuje lineární rozdíl teplot mezi vnějšími stranami mostu 5°C.

Pokud je nutné uvažovat rozdíl teplot $\Delta T_{M,heat}$ (nebo $\Delta T_{M,cool}$) a současně maximální rozsah rovnoměrné složky teploty mostu $\Delta T_{N,exp}$ (nebo $\Delta T_{N,con}$), používají se následující vztahy:

$$\Delta T_{M,heat} \text{ (nebo } \Delta T_{M,cool}) + \omega_N \cdot \Delta T_{N,exp} \text{ (nebo } \Delta T_{N,con})$$

$$\omega_M \cdot \Delta T_{M,heat} \text{ (nebo } \Delta T_{M,cool}) + \Delta T_{N,exp} \text{ (nebo } \Delta T_{N,con})$$

Doporučené hodnoty ω_N a ω_M jsou $\omega_N = 0,35$ a $\omega_M = 0,75$.

Z těchto dvou vztahů se vybere ten, který dává nejnepříznivější účinek.

Pro případ mostu v Pirně jsou hodnoty těchto stavů:

$$\Delta T_{M,heat} + \omega_N \cdot \Delta T_{N,exp} = 30^\circ\text{C} + 0,35 \cdot 44^\circ\text{C} = 45,4^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{M,cool} + \omega_N \cdot \Delta T_{N,con} = 8^\circ\text{C} + 0,35 \cdot 49^\circ\text{C} = 25,15^\circ\text{C}$$

$$\omega_M \cdot \Delta T_{M,heat} + \Delta T_{N,exp} = 0,75 \cdot 30^\circ\text{C} + 44^\circ\text{C} = \underline{66,5^\circ\text{C}}$$

$$\omega_M \cdot \Delta T_{M,cool} + \Delta T_{N,con} = 0,75 \cdot 8^\circ\text{C} + 49^\circ\text{C} = \underline{55^\circ\text{C}}$$

3.2 Teplotní změny u mostů – pilíře

Celkové účinky teplot na pilíře se dle ČSN EN 1991-1-5 [1] berou v úvahu, pokud mohou vést k vynuceným silám nebo posunům v přilehlých konstrukcích. Při návrhu betonových plných pilířů se uvažují lineární rozdíly teplot mezi protilehlými vnějšími povrchy, doporučená hodnota činí 5°C.

4 Zatížení během výstavby

Zásady a pravidla pro stanovování zatížení během výstavby mostů uvádí norma ČSN EN 1991-1-6 [2]. Zatížení během provádění zahrnují staveništní zatížení a zatížení jiná než staveništní. Na základě ČSN EN 1990 [6] se zatížení klasifikují podle jejich proměnlivosti v čase. Jsou tak rozdělena na stálá (G), proměnná (Q) a mimořádná (A).

Pro návrh způsobu provádění je nutné určit dočasné, mimořádné a seizmické návrhové situace. Návrhové situace musí odpovídat procesu výstavby, v každé se uvažuje s podmínkami platnými pro danou etapu. Jakoukoli změnu procesu výstavby je potřeba zahrnout do návrhových situací. Návrhové situace se volí pro konstrukci jako celek, nosné prvky, částečně zhotovenou konstrukci a pro pomocné stavební konstrukce a vybavení.

Každá dočasná návrhová situace je spojená s nominální dobou trvání. Tato doba musí být rovná nebo větší, než je předpokládaná doba trvání dané etapy výstavby. Na základě nominální doby trvání se uvažuje pravděpodobnost doby návratu proměnných zatížení. Podle této pravděpodobnosti je možné velikosti klimatických zatížení redukovat – pro zatížení teplotou uvádí postup stanovení minimálních a maximálních teplot norma ČSN EN 1993-1-5 [1] v příloze A. Doporučené doby návratu pro stanovení charakteristických hodnot klimatických zatížení uvádí tabulka na obrázku 9.

Trvání	Doba návratu (v letech)
≤ 3 dny	2 ^{a)}
≤ 3 měsíce (ale > 3 dny)	5 ^{b)}
≤ 1 rok (ale > 3 měsíce)	10
> 1 rok	50

^{a)} Nominální doba trvání v délce tří dnů, která se má zvolit pro krátké etapy provádění, odpovídá svým časovým rozsahem spolehlivým meteorologickým předpovědím pro místo staveniště. Jestliže se přijmou příslušná organizační opatření, lze tuto dobu zachovat i pro poněkud delší etapu provádění. Pro krátké doby trvání je koncepce průměrné doby návratu obvykle nevhodná.

^{b)} Pro nominální dobu trvání do tří měsíců se mohou zatížení stanovit na základě příslušných změn ročních období a krátkodobých meteorologických klimatických změn. Například velikost říčního proudu závisí na uvažovaném ročním období.

Obr. 9 Doporučené doby návratu pro stanovení charakteristických hodnot klimatických zatížení. [2]

Jelikož výstavba mostu v Pirně trvá déle než jeden rok, uvažuje se doba návratu 50 let, což představuje pravděpodobnost překročení 0,02. To je i výchozí pravděpodobnost, se kterou uvažuje norma pro zatížení teplotou, hodnoty, vztažené k celé době výstavby, proto není nutné obecně redukovat. Pro jednotlivé dočasné návrhové situace, trvající krátkou dobu (například různé fáze výsuvu) je však možné hodnoty upravit podle přílohy A normy ČSN EN 1993-1-5 [1].

Pokud pro etapu provádění existují předepsané omezující klimatické podmínky, mají se určit charakteristické hodnoty klimatických zatížení a uvážit následující faktory:

- Předpokládaná doba trvání etapy
- Spolehlivost meteorologických předpovědí
- Čas nutný pro zajištění ochranných opatření

Ve všech vybraných dočasných návrhových situacích, vyskytujících se během provádění, se musí ověřit mezní stavy únosnosti. Je nutné brát v úvahu geometrii

a odolnost částečně zhotovené konstrukce, odpovídající vybrané návrhové situaci.

V určených návrhových situacích během výstavby je nutné provést i ověření na mezní stavy použitelnosti. Požadavky pro MSP musí zohledňovat požadavky pro dokončenou konstrukci, stanovují se podle podmínek konkrétního projektu a nesmí nepříznivě ovlivnit konečný stav hotové konstrukce. Obecně je potřeba vyloučit stavební postupy, při kterých by došlo ke vzniku trhlin, které by v končeném stádiu nepříznivě ovlivnily trvanlivost, použitelnost nebo estetický vzhled.

V návrhu se uvažují účinky zatížení vlivem smršťování a teploty, které se mají vhodným konstrukčním opatřením minimalizovat. Kombinace zatížení se sestavují dle ČSN EN 1990:2002 [6], pro dočasné návrhové situace během provádění se obecně používá charakteristická a kvazistálá kombinace.

Charakteristické a další reprezentativní hodnoty zatížení se musí určit v souladu s ČSN EN 1990, ČSN EN 1991, ČSN EN 1997 a ČSN EN 1998. Pro určování stavebních zařízení je nutné uvažovat jejich výraznou časovou proměnnost. Dále je potřeba uvažovat účinky spolupůsobení mezi konstrukcemi a částmi konstrukcí během provádění, včetně pomocných stavebních konstrukcí.

4.1 Významná zatížení působící na most v Pirně během výstavby

4.1.1 Zatížení nosných a nenosných prvků během manipulace

Vlastní tíha prvků během manipulace se určuje dle ČSN EN 1991-1-1. Je třeba zahrnout i vliv podepření, setrvačných sil a dynamických účinků vlivem svislých i vodorovných zrychlení. Vzhledem k technologii výstavby mostu – vysouvání, je vliv těchto zatížení významný.

4.1.2 Geotechnická zatížení

Charakteristické hodnoty geotechnických parametrů, základové půdy, zemních tlaků a mezní hodnoty pro sedání základů se stanovují dle ČSN EN 1997. Tyto údaje se určují na základě výsledků geotechnického průzkumu.

4.1.3 Zatížení teplotou

V každé etapě výstavby – v tomto případě vysouvání – je nutné uvažovat účinky teploty. Zatížení klimatickými teplotami se stanovuje dle ČSN EN 1991-1-5 [1], viz. kapitola 2.

4.1.4 Zatížení větrem

Pro etapy provádění se musí stanovit, zda je potřeba uvažovat s dynamickou odezvou konstrukce a zvážit přitom stav dokončení a stabilitu konstrukce. Pokud není nutné uvažovat dynamickou odezvu, určují se charakteristické hodnoty statických sil od větru pro příslušné doby návratu dle ČSN EN 1991-1-4. Pro operace, ve kterých probíhá zvedání nebo přemísťování (například právě i vysouvání mostu) se pro konkrétní projekt stanovuje maximální přijatelná rychlost větru. Při překročení této rychlosti nemůže operace probíhat. Pokud již probíhá, musí být pozastavena a je nutné učinit předem připravené operace pro zajištění konstrukce. Dále se musí zahrnout i vliv kmitání vyvolaného větrem. Při určování sil od větru je potřeba uvažovat vliv zatížení nejen na plochy samotné konstrukce mostu, ale i na plochy zařízení, podpěrné a jiné pomocné stavební konstrukce.

4.1.5 Staveništní zatížení

Staveništní zatížení mohou být reprezentována buď jako nezávislá proměnná zatížení, nebo se mohou seskupovat a aplikovat jako jediné proměnné zatížení, pokud je to vhodné. Uvažuje se, že staveništní zatížení působí současně s dalšími druhy zatížení. Staveništní zatížení, která se mají uvažovat, jsou uvedena v tabulce na obrázku 10. Charakteristické hodnoty zatížení se stanovují dle technických požadavků na provádění prací a ČSN EN 1990. Vodorovná zatížení od staveništních zatížení se uvažují pro návrh částečně dokončené i hotové konstrukce, je také nutné uvážit dynamické účinky staveništního zatížení, pokud tyto účinky zatížení vyvolává.

Staveništní zatížení (Q_s)				
Typ	Symbol	Způsobeno	Popis	Poznámky
Osoby a ruční nářadí	Q_{ca}	Pracovníci, zaměstnanci a návštěvníci, s možným ručním nářadím nebo jiným malým staveništním vybavením.	Modelováno jako rovnoměrně rozdělené zatížení q_{ca} a působící tak, aby se získaly nejnepríznivější účinky.	POZNÁMKA 1 Charakteristickou hodnotu $q_{ca,k}$ rovnoměrně rozděleného zatížení lze stanovit v národní příloze nebo pro konkrétní projekt. POZNÁMKA 2 Doporučená hodnota je $1,0 \text{ kN/m}^2$. Viz také 4.11.2.
Přemístitelná skládka	Q_{cb}	Přemístitelná skládka, např.: – stavební a konstrukční materiály, prefabrikované prvky a vybavení.	Modelováno jako volné zatížení, má být příslušně reprezentováno jako: – rovnoměrně rozdělené zatížení q_{cb} ; – soustředěné zatížení F_{cb} .	POZNÁMKA 3: Charakteristické hodnoty rovnoměrně rozděleného zatížení a soustředěného zatížení lze stanovit v národní příloze nebo pro konkrétní projekt. Pro mosty se doporučují tyto minimální hodnoty: – $q_{cb,k} = 0,2 \text{ kN/m}^2$, $F_{cb,k} = 100 \text{ kN}$ kde pro podrobnější návrh lze $F_{cb,k}$ aplikovat na nominální ploše. Pro tíhu konstrukčních materiálů, viz EN 1991-1-1.
Dočasné vybavení	Q_{cc}	Dočasné vybavení v poloze pro použití během provádění, a to buď – statické (např. bednicí desky, lešení, podpěrné konstrukce, strojní vybavení, kontejnery) nebo – pohybující se (např. posuvné lešení, nosníky pro vysouvání a nástavec, protizávaží).	Modelováno jako volné zatížení, má být příslušně reprezentováno jako: – rovnoměrně rozdělené zatížení q_{cc}	POZNÁMKA 4 Tato zatížení lze určit pro konkrétní projekt s použitím údajů od dodavatele. Pokud není k dispozici přesnější informace, zatížení lze modelovat jako rovnoměrně rozdělené zatížení s doporučenou minimální charakteristickou hodnotou $q_{cc,k} = 0,5 \text{ kN/m}^2$. K dispozici je řada evropských norem pro navrhování, viz například EN 12811, a pro bednění a podpěrné konstrukce, viz EN 12812.
Přemístitelné těžké strojní zařízení a vybavení	Q_{cd}	Přemístitelné těžké strojní zařízení a vybavení, obvykle na kolech nebo na kolejnicích (např. jeřáby, výtahy, vozidla, vysokozdvizné vozíky, energetická zařízení, lisy, těžká zvedací zařízení).	Pokud není specifikované, modelováno na základě informací uvedených v příslušných částech EN 1991.	Pokud nejsou určena v projektové specifikaci, lze informace pro stanovení zatížení od vozidel nalézt v EN 1991-2. Informace pro stanovení zatížení od jeřábů, viz EN 1991-3.
Kumulace odpadních materiálů	Q_{ce}	Kumulace odpadních materiálů (např. přebytečných konstrukčních materiálů, vytěžené zeminy nebo vybouraných materiálů).	Uvažované prostřednictvím možných účinků hmot na vodorovné, šikmé a svislé prvky (jako jsou stěny).	POZNÁMKA 5 Tato zatížení mohou být v krátkých časových úsecích významně proměnná, závisí to například na typech materiálů, na klimatických podmínkách, na tempu výstavby a asanace.
Zatížení z částí konstrukce v dočasných situacích	Q_{cf}	Zatížení z částí konstrukce v dočasných situacích (v průběhu provádění), než účinky zatížení budou trvalé (např. zatížení vzniká během procesu zvedání).	Berou se v úvahu a modelují podle plánovaných etap výstavby včetně jejich následků (např. zatížení a účinky zatížení od jednotlivých procesů výstavby, jako je montáž).	Viz také 4.11.2 pro přídavná zatížení od čerstvého betonu.

Obr. 10 Popis staveništních zatížení. [2]

4.1.6 Mimořádná zatížení

Nutné je také uvažovat s mimořádnými zatíženími, jako je například náraz od staveništních vozidel, jeřábů, přepravovaných materiálů nebo lokální porušení podpěr, trvalých či dočasných. Dále je potřeba zvážit i dynamické účinky tohoto zatížení, jelikož by mohly vést ke kolapsu prvků konstrukce. Ve vybraných místech by mělo být stanoveno zatížení způsobené pádem vybavení na nebo z konstrukce, a to včetně dynamických účinků. Kde je to nutné, považuje se zatížení rázem osob za mimořádné zatížení vyjádřené svislou kvazistálou silou. Při každé změně se musí zohlednit mimořádná zatížení pro návrhové situace. Aby se zajistilo správné uplatnění návrhových kritérií, provádějí se s pokračujícími pracemi opravná opatření.

5 Výběr rozhodujících teplotních období

Teploty ocelové nosné konstrukce jsou během výstavby snímány od poloviny června roku 2022, data jsou dostupná na monitorovacím systému EZI Gottleubatalbrücke Monitoringsystem [7]. Nejdříve byly teploty měřeny pouze v jednom průřezu, vzdáleném 117m od začátku vysouvané nosné konstrukce, později začala být zaznamenávána i data z druhého průřezu, vzdáleného 336m od začátku vysouvané nosné konstrukce.

V každém z monitorovaných průřezů je umístěno 6 čidel:

T1 – Spodní plech uprostřed (Měřící kanál Ap117(336)_T-M-U)

T2 – Boční plech na severní straně dole (Měřící kanál Ap117(336)_T-N-U)

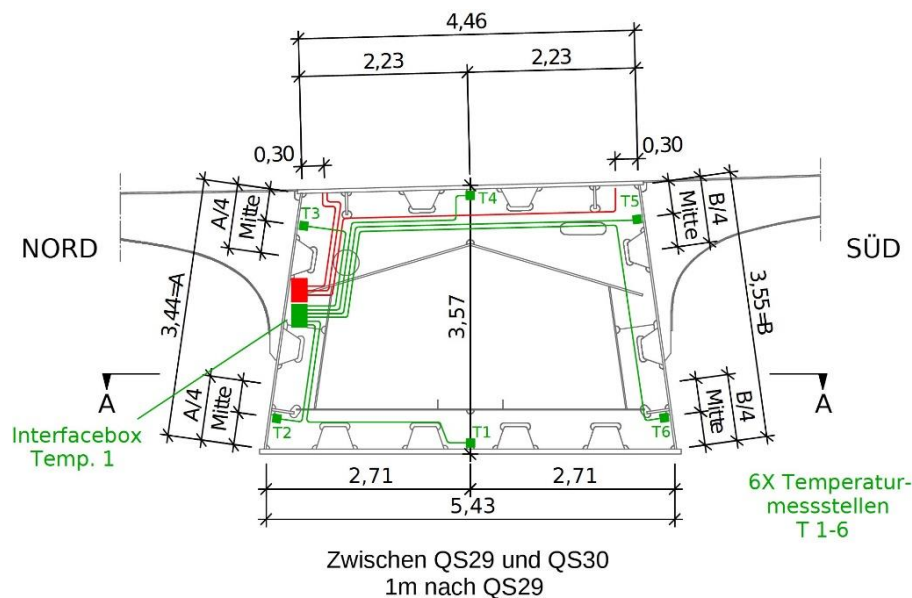
T3 – Boční plech na severní straně nahoře (Měřící kanál Ap117(336)_T-N-O)

T4 – Horní plech uprostřed (Měřící kanál Ap117(336)_T-M-O)

T5 – Boční plech na jižní straně nahoře (Měřící kanál Ap117(336)_T-S-O)

T6 – Boční plech na jižní straně dole (Měřící kanál Ap117(336)_T-S-U)

Rozmístění čidel ukazuje obrázek 12.



Obr. 11 Rozmístění čidel pro měření teploty na ocelové nosné konstrukci. [7]

Pro analýzu bylo nutné vybrat rozhodující období, tj. dny, kdy byly naměřeny největší rozdíly mezi nejvyšší a nejnižší změřenou teplotu v průřezu konstrukce. Nejdříve jsem ze systému EZI Gottleubatalbrücke Monitoringsystem [7] zjistil nejvyšší a nejnižší měsíční teploty naměřené na čidlech. Jejich přehled ukazuje

tabulka 1. Jak je z tabulky patrné, nejvyšší naměřená teplota činí 57,43°C, naopak nejnižší je -15,15°C.

Nejnižší naměřená teplota nepřekračuje stanovenou minimální hodnotu rovnoměrné složky teploty. Není tak nutné ověřovat skutečnou nejnižší naměřenou rovnoměrnou složku teploty, jelikož s jistotou nebyla překročena hodnota stanovená normou. Naopak nejvyšší naměřená teplota je vyšší než určená maximální rovnoměrná složka teploty. Proto je nutné zjistit, jaká byla nejvyšší rovnoměrná složka teploty na konstrukci.

Z měsíčních minimálních a maximálních teplot jsem určil měsíce, při kterých byly zaznamenány největší rozdíly mezi nevyšší a nejnižší teplotou v daném průřezu. Přehled zjištěných rozdílů uvádí tabulka 2.

Období	Měřicí kanál	Min	Max	Období	Měřicí kanál	Min	Max
Červen 2022	AP117_T-M-U	11.52	42.37	Leden 2023	AP117_T-M-U	-6.3	18.24
	AP117_T-N-U	9.70	48.58		AP117_T-N-U	-7.14	18.34
	AP117_T-N-O	12.06	44.29		AP117_T-N-O	-3.57	16.75
	AP117_T-M-O	9.82	53.16		AP117_T-M-O	-6.62	32.98
	AP117_T-S-O	11.64	48.15		AP117_T-S-O	-6.33	30.82
	AP117_T-S-U	13.15	39.20		AP117_T-S-U	-4.26	17.60
Červenec 2022	AP117_T-M-U	12.92	38.61	Únor 2023	AP117_T-M-U	-9.51	15.61
	AP117_T-N-U	12.73	44.33		AP117_T-N-U	-10.51	17.07
	AP117_T-N-O	12.50	39.00		AP117_T-N-O	-9.30	14.37
	AP117_T-M-O	13.05	49.68		AP117_T-M-O	-10.29	33.70
	AP117_T-S-O	13.98	44.35		AP117_T-S-O	-9.65	30.80
	AP117_T-S-U	13.13	35.44		AP117_T-S-U	-7.64	13.99
Srpen 2022	AP117_T-M-U	12.14	37.47	Březen 2023	AP117_T-M-U	-6.77	21.42
	AP117_T-N-U	11.33	40.72		AP117_T-N-U	-7.88	22.78
	AP117_T-N-O	14.38	38.97		AP117_T-N-O	-3.67	21.43
	AP117_T-M-O	11.23	51.42		AP117_T-M-O	-7.72	40.05
	AP117_T-S-O	11.89	47.50		AP117_T-S-O	-6.89	37.92
	AP117_T-S-U	13.24	36.55		AP117_T-S-U	-5.00	20.61
Září 2022	AP117_T-M-U	4.00	30.61	Duben 2023	AP117_T-M-U	-1.56	22.59
	AP117_T-N-U	3.35	34.06		AP117_T-N-U	-2.51	26.28
	AP117_T-N-O	4.81	31.54		AP117_T-N-O	0.44	24.63
	AP117_T-M-O	3.47	49.37		AP117_T-M-O	-2.42	40.89
	AP117_T-S-O	3.77	45.83		AP117_T-S-O	-1.84	36.46
	AP117_T-S-U	5.16	28.49		AP117_T-S-U	-0.08	20.30
Říjen 2022	AP117_T-M-U	2.84	22.77	Květen 2023	AP117_T-M-U	3.23	36.14
	AP117_T-N-U	2.08	24.58		AP117_T-N-U	2.50	40.52
	AP117_T-N-O	4.06	22.90		AP117_T-N-O	6.25	36.68
	AP117_T-M-O	2.23	45.87		AP117_T-M-O	2.31	46.99
	AP117_T-S-O	2.75	42.25		AP117_T-S-O	3.17	42.72
	AP117_T-S-U	4.13	21.87		AP117_T-S-U	4.75	31.88
Listopad 2022	AP117_T-M-U	0.00	16.53		AP336_T-M-U	4.88	30.56
	AP117_T-N-U	0.00	16.97		AP336_T-N-U	2.67	35.53
	AP117_T-N-O	0.00	16.47		AP336_T-N-O	5.81	31.19
	AP117_T-M-O	0.00	38.04		AP336_T-M-O	2.53	43.38
	AP117_T-S-O	0.00	35.69		AP336_T-S-O	4.51	34.36
	AP117_T-S-U	0.00	16.16		AP336_T-S-U	5.78	25.49
Prosinec 2022	AP117_T-M-U	-9.34	18.15	Červen 2023	AP117_T-M-U	6.63	37.97
	AP117_T-N-U	-9.68	18.29		AP117_T-N-U	5.75	42.87
	AP117_T-N-O	-6.77	16.09		AP117_T-N-O	9.52	37.33
	AP117_T-M-O	-9.51	36.30		AP117_T-M-O	5.50	48.10
	AP117_T-S-O	-9.56	34.60		AP117_T-S-O	6.22	43.75
	AP117_T-S-U	-8.16	17.68		AP117_T-S-U	7.61	33.48
Červenec 2023	AP117_T-M-U	12.30	38.94	AP117_T-M-U	12.30	38.94	
	AP117_T-N-U	11.39	43.44	AP117_T-N-U	11.39	43.44	
	AP117_T-N-O	13.14	39.89	AP117_T-N-O	13.14	39.89	
	AP117_T-M-O	11.48	49.65	AP117_T-M-O	11.48	49.65	
	AP117_T-S-O	12.01	46.82	AP117_T-S-O	12.01	46.82	
	AP117_T-S-U	13.08	35.94	AP117_T-S-U	13.08	35.94	

Období	Měřicí kanál	Min	Max	Období	Měřicí kanál	Min	Max
Srpen 2023	AP117_T-M-U	9.95	38.03	Prosinec 2023	AP117_T-M-U	-3.9	13.86
	AP117_T-N-U	9.23	42.52		AP117_T-N-U	-4.26	13.74
	AP117_T-N-O	11.86	40.15		AP117_T-N-O	-3.68	12.27
	AP117_T-M-O	9.29	55.86		AP117_T-M-O	-4.48	38.51
	AP117_T-S-O	9.92	52.50		AP117_T-S-O	-4.20	34.22
	AP117_T-S-U	11.01	36.87		AP117_T-S-U	-3.36	12.99
	AP336_T-M-U	9.70	37.22		AP336_T-M-U	-3.93	13.83
	AP336_T-N-U	9.07	40.66		AP336_T-N-U	-4.15	13.55
	AP336_T-N-O	11.49	38.56		AP336_T-N-O	-3.75	12.23
	AP336_T-M-O	9.20	52.66		AP336_T-M-O	-4.29	39.83
	AP336_T-S-O	9.48	50.19		AP336_T-S-O	-4.46	36.02
	AP336_T-S-U	10.52	36.14		AP336_T-S-U	-3.67	12.80
	Září 2023	AP117_T-M-U	6.66		33.86	Leden 2024	AP117_T-M-U
AP117_T-N-U		5.78	37.02	AP117_T-N-U	-15.15		13.34
AP117_T-N-O		8.38	37.53	AP117_T-N-O	-14.48		10.95
AP117_T-M-O		5.81	57.43	AP117_T-M-O	-14.93		34.21
AP117_T-S-O		6.57	53.11	AP117_T-S-O	-14.38		32.35
AP117_T-S-U		7.83	34.44	AP117_T-S-U	-12.28		12.39
AP336_T-M-U		6.72	34.00	AP336_T-M-U	-14.34		13.49
AP336_T-N-U		5.97	37.18	AP336_T-N-U	-14.96		13.36
AP336_T-N-O		8.11	36.99	AP336_T-N-O	-14.13		10.98
AP336_T-M-O		5.95	57.36	AP336_T-M-O	-14.85		37.27
AP336_T-S-O		6.28	53.08	AP336_T-S-O	-14.79		34.21
AP336_T-S-U		7.66	34.50	AP336_T-S-U	-12.38		12.49
Říjen 2023		AP117_T-M-U	0.22	29.18	Únor 2024		AP117_T-M-U
	AP117_T-N-U	-0.45	30.34	AP117_T-N-U		-3.12	15.84
	AP117_T-N-O	1.47	29.08	AP117_T-N-O		-0.95	13.27
	AP117_T-M-O	-0.11	47.39	AP117_T-M-O		-2.93	35.95
	AP117_T-S-O	0.20	44.27	AP117_T-S-O		-2.87	35.01
	AP117_T-S-U	1.54	27.87	AP117_T-S-U		-1.51	13.70
	AP336_T-M-U	0.34	29.01	AP336_T-M-U		-2.65	15.09
	AP336_T-N-U	-0.03	30.06	AP336_T-N-U		-2.98	15.46
	AP336_T-N-O	1.66	28.83	AP336_T-N-O		-1.73	12.91
	AP336_T-M-O	0.64	47.67	AP336_T-M-O		-2.79	35.33
	AP336_T-S-O	0.44	46.01	AP336_T-S-O		-3.09	36.23
	AP336_T-S-U	1.53	28.20	AP336_T-S-U		-1.92	13.36
	Listopad 2023	AP117_T-M-U	-4.85	15.37			
AP117_T-N-U		-5.04	15.31				
AP117_T-N-O		-2.34	14.42				
AP117_T-M-O		-5.04	30.87				
AP117_T-S-O		-4.99	31.80				
AP117_T-S-U		-3.68	14.70				
AP336_T-M-U		-4.96	15.28				
AP336_T-N-U		-5.07	14.90				
AP336_T-N-O		-3.09	14.40				
AP336_T-M-O		-4.87	31.50				
AP336_T-S-O		-5.29	32.85				
AP336_T-S-U		-3.86	14.90				

Tab. 1 Přehled nejvyšších a nejnižších naměřených měsíčních teplot.

Červen 2022	43.46
Červenec 2022	37.18
Srpen 2022	40.19
Září 2022	46.02
Říjen 2022	43.79
Listopad 2022	38.04
Prosinec 2022	45.98
Leden 2023	40.12
Únor 2023	44.21
Březen 2023	47.93
Duben 2023	43.40
Květen 2023	44.68
Červen 2023	42.60
Červenec 2023	38.26
Srpen 2023	46.63
Září 2023	51.65
Říjen 2023	47.84
Listopad 2023	38.14
Prosinec 2023	44.29
Leden 2024	52.23
Únor 2024	39.32

Tab. 2 Rozdíly mezi nejvyšší a nejnižší naměřenou měsíční teplotou.

Na základě těchto rozdílů jsem podrobněji prozkoumal 5 měsíců – březen, srpen, září a říjen v roce 2023 a leden v roce 2024. U těchto měsíců jsem zjistil naměřené nejvyšší a nejnižší denní teploty na čidlech, z toho jsem určil denní minima a maxima v průřezu, následně i rozdíl těchto hodnot. Všechny tyto hodnoty jsou v tabulkách 3-7. Průběhy rozdílů mezi nejvyšší a nejnižší změřenou teplotou v daném dni a průřezu ve vybraných měsících ukazují grafy 1-5. Shrnutí největšího naměřeného denního rozdílu teplotu pro daný měsíc ukazuje pak v tabulka 8.

Minimální teploty																															
Měřicí kanál	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3	9.3	10.3	11.3	12.3	13.3	14.3	15.3	16.3	17.3	18.3	19.3	20.3	21.3	22.3	23.3	24.3	25.3	26.3	27.3	28.3	29.3	30.3	31.3
AP117_T-M-U	-6.8	-4.9	-1.4	-0.1	0.9	0.4	0.7	0.1	2.5	6.1	-2.7	-3.5	7.4	1.5	-0.9	-3.1	3.0	-	9.0	8.9	8.6	8.6	13.1	10.1	8.4	6.5	0.6	1.2	-	10.4	10.0
AP117_T-N-U	-7.9	-6.0	-1.7	-0.2	0.4	-0.2	0.1	-0.2	2.3	5.5	-3.7	-4.2	7.4	0.9	-1.7	-4.2	2.5	-	8.6	8.6	7.9	12.6	9.5	7.9	6.1	0.0	0.8	-	9.7	9.6	
AP117_T-N-O	-3.7	-2.3	-0.4	0.0	1.2	0.3	0.7	0.8	2.6	6.2	-0.5	-2.5	6.0	4.6	0.3	-1.2	3.0	-	10.5	8.1	9.7	13.1	10.9	9.3	7.2	2.4	1.8	-	7.7	9.8	
AP117_T-M-O	-7.7	-5.8	-1.5	-0.3	0.5	0.0	0.3	-0.2	2.3	5.3	-3.5	-4.7	7.5	0.9	-1.5	-3.8	2.9	-	8.8	8.8	8.2	12.1	9.6	6.2	0.1	0.6	-	9.8	9.8		
AP117_T-S-O	-6.9	-5.0	-1.5	-0.3	0.6	0.1	0.5	-0.2	2.2	5.7	-2.9	-4.0	7.3	1.3	-0.9	-3.2	2.9	-	8.8	8.7	8.5	12.6	9.9	8.0	6.3	0.4	0.8	-	10.1	9.9	
AP117_T-S-U	-5.0	-3.3	-1.3	-0.1	1.3	1.1	1.4	0.5	2.5	7.3	-0.8	-2.0	7.3	3.1	0.8	-1.6	3.7	-	9.8	8.1	9.6	13.5	11.0	8.8	7.2	1.8	1.7	-	9.5	10.5	

Maximální teploty																															
Měřicí kanál	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3	9.3	10.3	11.3	12.3	13.3	14.3	15.3	16.3	17.3	18.3	19.3	20.3	21.3	22.3	23.3	24.3	25.3	26.3	27.3	28.3	29.3	30.3	31.3
AP117_T-M-U	7.0	9.2	1.5	6.1	4.1	6.7	9.5	4.8	7.6	17.0	6.0	8.8	15.7	14.9	6.7	10.2	13.2	-	11.4	17.5	21.4	18.4	19.0	15.6	15.3	8.5	1.4	-	17.7	14.6	
AP117_T-N-U	9.0	10.6	1.6	6.2	4.2	6.8	9.8	5.3	7.4	17.9	5.2	10.5	16.1	15.0	7.1	12.6	14.6	-	10.9	19.5	22.8	18.4	19.2	15.9	16.7	8.8	1.1	-	18.2	15.3	
AP117_T-N-O	7.2	9.8	4.2	4.8	3.4	5.1	7.5	4.3	6.4	14.9	8.8	6.0	13.6	13.4	6.0	11.8	11.1	-	13.5	17.2	21.4	16.6	16.6	14.4	14.0	8.5	2.3	-	14.3	13.4	
AP117_T-M-O	37.0	40.1	2.1	6.6	6.2	8.2	12.4	4.6	7.8	26.5	5.2	25.0	17.6	19.7	14.2	37.7	32.8	-	11.4	23.5	35.4	19.8	19.7	24.6	25.8	22.0	0.9	-	19.5	17.4	
AP117_T-S-O	32.5	37.9	1.6	6.2	5.9	7.8	11.3	4.3	7.6	25.1	5.6	22.6	17.0	18.5	20.5	33.8	30.2	-	11.3	21.1	33.5	19.1	19.3	24.0	23.3	18.4	1.1	-	18.1	16.2	
AP117_T-S-U	8.4	10.9	2.3	5.1	3.1	4.6	7.7	3.6	8.0	15.0	7.2	7.3	14.5	14.0	5.6	10.9	12.6	-	11.7	15.1	20.6	16.8	17.0	14.1	13.0	7.6	1.8	-	15.7	13.3	

Minimální/maximální teploty v průřezu																															
Průřez	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3	9.3	10.3	11.3	12.3	13.3	14.3	15.3	16.3	17.3	18.3	19.3	20.3	21.3	22.3	23.3	24.3	25.3	26.3	27.3	28.3	29.3	30.3	31.3
AP117 - MIN	-7.9	-6.0	-1.7	-0.3	0.4	-0.2	0.1	-0.2	2.2	5.3	-3.7	-4.7	6.0	0.9	-1.7	-4.2	2.5	-	8.6	8.1	7.9	12.1	9.5	7.9	6.1	0.0	0.6	-	7.7	9.6	
AP117 - MAX	8.4	40.1	4.2	6.6	6.2	8.2	12.4	5.3	8.0	26.5	8.8	25.0	17.6	19.7	20.5	37.7	32.8	-	13.5	23.5	35.4	19.8	19.7	24.6	25.8	22.0	2.3	-	19.5	17.4	

Maximální rozdíly teplot v průřezu																															
Průřez	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3	9.3	10.3	11.3	12.3	13.3	14.3	15.3	16.3	17.3	18.3	19.3	20.3	21.3	22.3	23.3	24.3	25.3	26.3	27.3	28.3	29.3	30.3	31.3
AP117	16.3	46.1	5.9	6.9	5.8	8.4	12.3	5.5	5.8	21.2	12.5	29.7	11.6	18.8	22.2	41.9	30.3	-	4.9	15.4	27.5	7.7	10.2	16.7	19.7	22.0	1.7	-	11.8	7.8	

Tab. 3 Minimální a maximální denní teploty v březnu 2023. rozdíl těchto teplot.

Ve dnech, u kterých nejsou vyplněny číselné hodnoty, došlo pravděpodobně k poruše systému, a tak nebyly teploty změřeny.

Minimální teploty																																		
Měřicí kanál	1.8	2.8	3.8	4.8	5.8	6.8	7.8	8.8	9.8	10.8	11.8	12.8	13.8	14.8	15.8	16.8	17.8	18.8	19.8	20.8	21.8	22.8	23.8	24.8	25.8	26.8	27.8	28.8	29.8	30.8	31.8			
AP117 T-M-U	17.8	17.6	18.0	17.9	15.8	14.5	13.3	11.6	12.5	9.9	15.1	17.8	21.2	20.7	21.3	22.1	19.3	18.4	19.1	22.7	21.2	20.2	18.9	15.5	21.8	26.8	27.7	15.2	11.9	12.0	12.9	13.1		
AP117 T-N-U	17.4	17.3	17.4	17.8	15.3	14.0	13.0	11.0	12.1	9.2	14.8	17.4	20.8	20.5	20.7	21.9	18.9	18.6	18.6	22.5	21.0	19.8	18.4	14.9	21.3	16.9	14.7	11.6	11.7	12.6	12.5	12.5		
AP117 T-M-O	16.0	17.6	16.8	19.2	17.6	15.5	14.1	11.9	12.9	12.0	17.2	19.5	22.4	22.9	23.2	24.0	21.1	21.8	21.4	24.9	23.7	22.6	21.2	18.2	23.5	20.9	16.2	13.0	12.2	13.0	14.4	14.4		
AP117 T-S-O	16.4	17.1	17.6	17.8	15.5	14.3	13.1	11.4	12.4	9.9	14.9	17.4	20.8	20.6	21.1	22.0	19.0	19.1	18.9	22.5	21.1	20.1	18.8	15.4	21.6	17.7	14.9	11.7	11.7	12.6	12.5	12.9		
AP336 T-M-U	-	17.5	17.8	19.1	16.1	14.6	13.4	11.5	12.7	9.7	15.2	17.2	21.1	21.0	21.1	-	-	-	-	22.4	19.9	20.0	19.6	23.1	21.8	20.9	19.6	16.4	22.6	19.5	15.9	12.3	13.1	14.1
AP336 T-N-U	-	17.1	17.2	18.1	15.4	14.0	13.0	11.2	12.2	9.1	14.7	16.7	20.7	20.6	20.5	-	-	-	-	23.8	21.0	16.4	14.7	11.5	11.6	12.4	14.7	11.5	11.6	12.4	12.1	12.1	12.1	12.1
AP336 T-M-O	-	17.0	17.5	17.8	15.3	14.0	13.1	11.3	12.1	9.2	14.6	17.1	20.6	20.6	20.4	-	-	-	-	22.8	20.8	16.7	14.8	11.5	11.5	12.5	12.1	14.8	11.5	11.5	12.5	12.3	12.0	12.0
AP336 T-S-O	-	18.2	18.3	18.6	17.4	15.3	13.7	12.2	12.9	10.5	15.7	17.4	21.1	21.1	21.4	-	-	-	-	24.4	22.6	18.6	15.6	12.0	11.9	12.0	11.9	12.0	11.9	12.8	13.8	13.8	13.8	13.8

Maximální teploty																																		
Měřicí kanál	1.8	2.8	3.8	4.8	5.8	6.8	7.8	8.8	9.8	10.8	11.8	12.8	13.8	14.8	15.8	16.8	17.8	18.8	19.8	20.8	21.8	22.8	23.8	24.8	25.8	26.8	27.8	28.8	29.8	30.8	31.8			
AP117 T-M-U	26.9	27.0	22.2	26.6	24.6	21.8	22.3	23.2	27.4	30.0	34.8	34.8	35.5	35.6	37.4	31.9	34.8	34.4	38.0	36.0	34.4	35.0	33.7	33.6	34.5	31.6	23.9	17.4	15.4	24.4	22.5	22.5		
AP117 T-N-U	27.2	26.4	22.3	27.9	25.3	22.2	22.2	23.7	29.6	33.4	39.5	37.1	37.9	39.6	40.6	34.6	37.7	38.0	42.5	39.2	35.6	35.9	37.6	36.7	36.1	33.1	24.8	17.5	15.4	26.2	23.6	23.6		
AP117 T-M-O	23.4	23.8	18.5	26.3	23.6	20.0	20.4	20.4	26.5	31.2	36.6	33.8	37.3	38.1	39.3	31.5	38.3	36.1	40.1	39.1	37.3	36.1	37.6	34.5	35.6	31.4	21.8	16.2	14.6	24.4	23.0	23.0		
AP117 T-M-O	30.0	33.6	22.6	34.9	26.5	23.4	27.6	28.7	39.4	46.5	51.2	45.3	48.7	49.2	52.0	36.2	52.5	54.3	56.9	52.2	53.5	50.0	55.0	48.4	54.0	47.5	24.6	17.1	16.2	36.7	36.2	36.2		
AP117 T-S-U	23.6	23.6	20.7	23.5	21.8	19.5	20.3	21.0	24.1	28.0	32.6	32.2	33.1	33.1	36.9	29.2	35.1	32.7	36.5	35.5	33.7	33.7	33.3	32.1	33.2	30.4	21.3	15.9	14.6	22.7	21.8	21.8		
AP336 T-M-U	-	27.5	21.2	25.4	23.7	20.3	21.5	22.7	27.1	30.2	35.0	34.4	35.2	35.7	37.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33.7	34.0	31.5	23.8	17.5	15.2	24.3	22.0	
AP336 T-N-U	-	27.1	21.8	28.1	25.5	21.8	21.1	22.9	29.7	34.2	40.7	36.6	37.9	40.3	39.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34.4	32.6	24.4	17.3	14.7	25.6	23.2	23.2	
AP336 T-M-O	-	28.6	18.5	26.2	23.6	19.4	19.1	19.7	24.2	29.7	35.4	33.4	36.4	34.8	38.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33.7	30.6	20.4	15.6	14.3	23.3	21.5	21.5	
AP336 T-S-O	-	27.2	21.3	27.6	23.4	20.1	25.0	28.4	36.0	42.2	46.4	43.0	43.9	45.0	50.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50.0	45.0	23.7	16.8	15.2	34.9	33.1	33.1	
AP336 T-S-U	-	29.5	20.0	21.9	20.5	17.8	19.2	20.4	23.2	27.4	31.8	31.5	32.6	32.7	36.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31.8	32.4	30.0	20.9	15.6	14.1	22.1	21.0	21.0

Minimální/maximální teploty v průřezu																																	
Průřez	1.8	2.8	3.8	4.8	5.8	6.8	7.8	8.8	9.8	10.8	11.8	12.8	13.8	14.8	15.8	16.8	17.8	18.8	19.8	20.8	21.8	22.8	23.8	24.8	25.8	26.8	27.8	28.8	29.8	30.8	31.8		
AP117 - MIN	16.2	17.0	16.8	17.5	15.3	14.0	13.0	11.0	12.0	9.2	14.6	17.3	20.7	20.3	20.6	21.7	18.6	18.6	18.4	22.3	20.6	19.6	18.2	14.7	21.2	16.9	14.7	11.6	11.7	12.6	12.5	12.5	
AP117 - MAX	30.0	33.6	22.8	34.9	26.5	23.4	27.6	28.7	39.4	46.5	51.2	45.3	48.7	49.2	52.0	36.2	52.5	54.3	55.9	52.2	53.5	50.0	55.0	48.4	54.0	47.5	24.8	17.5	16.2	36.7	36.2	36.2	
AP336 - MIN	0.0	17.0	16.8	17.8	15.3	14.0	13.0	11.1	12.1	9.1	14.6	16.7	20.6	20.6	20.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20.8	16.4	14.7	11.4	11.4	12.3	12.0	12.0
AP336 - MAX	0.0	31.0	22.3	35.1	26.9	23.1	25.3	29.2	38.4	45.5	50.8	43.0	46.8	47.6	52.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	51.9	47.8	24.4	17.5	15.6	37.7	33.3	33.3

Maximální rozdíly teplot v průřezu																																
Průřez	1.8	2.8	3.8	4.8	5.8	6.8	7.8	8.8	9.8	10.8	11.8	12.8	13.8	14.8	15.8	16.8	17.8	18.8	19.8	20.8	21.8	22.8	23.8	24.8	25.8	26.8	27.8	28.8	29.8	30.8	31.8	
AP117	13.8	16.6	6.0	17.4	11.2	9.4	14.6	17.7	27.4	37.3	36.6	28.0	28.0	28.9	31.4	14.5	33.9	35.7	37.5	29.9	32.9	30.4	36.8	33.7	32.8	30.6	10.1	5.9	4.5	24.1	23.7	23.7
AP336	0.0	14.0	5.5	17.3	11.6	9.1	12.3	18.1	26.3	36.4	36.2	26.3	26.2	27.0	32.3	-	-	-	-	-	-	-	-	23.2	31.1	31.4	9.7	6.1	4.2	25.4	21.3	21.3

Tab. 4 Minimální a maximální denní teploty v srpnu 2023, rozdíly těchto teplot.

Minimální teploty																															
Měřicí kanál	1.9	2.9	3.9	4.9	5.9	6.9	7.9	8.9	9.9	10.9	11.9	12.9	13.9	14.9	15.9	16.9	17.9	18.9	19.9	20.9	21.9	22.9	23.9	24.9	25.9	26.9	27.9	28.9	29.9	30.9	
AP117 T-M-U	11.1	15.4	13.5	10.9	16.9	13.7	14.1	14.7	14.9	15.8	15.5	16.8	18.2	11.1	8.0	11.1	14.7	14.7	16.9	15.7	14.5	15.4	15.2	11.8	8.3	6.7	11.4	14.0	14.8	13.9	10.7
AP117 T-N-U	10.3	14.9	12.9	10.3	16.6	13.0	13.5	14.1	14.3	15.0	14.9	16.2	17.7	10.5	7.2	11.1	14.2	16.2	15.0	13.9	15.0	14.8	11.3	7.6	5.8	10.9	13.4	14.2	13.2	10.1	
AP117 T-N-O	12.2	16.0	14.7	12.4	16.8	15.5	16.4	17.1	17.2	17.9	18.1	19.4	20.3	14.8	9.6	13.6	16.6	19.1	16.0	15.3	16.5	16.1	12.8	10.0	8.4	13.1	15.6	15.9	15.4	15.3	
AP117 T-M-O	10.4	14.8	12.8	10.2	16.2	13.1	13.5	14.1	14.4	15.0	14.8	16.0	18.0	10.3	7.2	11.1	14.3	16.2	15.2	14.2	15.2	14.7	11.3	7.8	5.8	10.9	13.5	14.5	13.3	10.0	
AP117 T-S-O	10.9	15.1	13.2	10.8	16.7	13.4	14.1	14.5	14.6	15.5	15.4	16.6	18.1	11.0	7.9	11.7	14.5	16.7	15.4	14.4	15.2	14.8	11.8	8.2	6.6	11.3	13.8	14.7	13.4	10.6	
AP336 T-M-U	11.0	15.1	13.4	11.2	16.9	13.7	14.4	15.1	15.0	15.6	15.6	17.1	17.9	11.2	7.9	12.0	14.8	16.9	15.8	15.0	15.5	15.1	12.0	8.7	6.7	11.8	14.5	14.8	13.6	11.1	
AP336 T-N-U	10.5	14.8	12.9	10.4	16.3	13.1	13.8	14.4	14.5	14.9	14.9	16.3	17.2	10.5	7.2	11.4	14.3	16.3	15.2	14.5	15.1	14.7	11.3	8.0	6.0	11.3	14.1	14.4	13.2	10.5	
AP336 T-N-O	11.9	15.6	14.5	12.6	16.5	15.2	16.7	17.2	17.1	17.4	18.0	19.3	19.6	14.3	9.3	13.5	16.4	18.3	15.8	15.7	16.4	15.8	12.8	10.0	8.1	13.3	15.8	16.0	14.8	14.7	
AP336 T-M-O	10.6	14.8	12.8	10.4	16.2	13.2	13.9	14.4	14.7	15.0	14.8	16.3	17.6	10.3	7.3	11.4	14.4	16.4	15.4	14.8	15.3	14.8	11.4	8.3	5.9	11.4	14.2	14.8	13.7	10.4	
AP336 T-S-O	10.7	14.8	13.0	10.8	16.4	13.3	14.0	14.7	14.7	15.1	15.2	16.7	17.6	10.8	7.5	11.6	14.6	16.5	15.3	14.6	15.2	14.6	11.6	8.4	6.3	11.4	14.2	14.9	13.6	10.8	
AP336 T-S-U	11.8	15.3	13.8	11.8	17.1	14.2	15.0	15.8	15.8	16.1	16.2	17.7	18.1	12.7	8.8	12.7	15.2	17.8	16.2	15.6	15.9	15.4	12.8	9.8	7.7	12.3	14.9	15.4	14.1	12.5	

Maximální teploty																														
Měřicí kanál	1.9	2.9	3.9	4.9	5.9	6.9	7.9	8.9	9.9	10.9	11.9	12.9	13.9	14.9	15.9	16.9	17.9	18.9	19.9	20.9	21.9	22.9	23.9	24.9	25.9	26.9	27.9	28.9	29.9	30.9
AP117 T-M-U	25.6	26.3	25.4	27.7	28.2	30.8	31.3	31.1	31.2	33.1	33.9	33.7	27.8	22.9	25.5	27.8	30.8	30.0	26.4	28.3	26.5	20.1	20.4	21.4	23.9	26.7	28.5	28.8	29.1	21.9
AP117 T-N-U	27.6	27.3	25.9	31.8	31.9	34.5	34.7	34.1	34.2	36.5	37.0	35.9	28.6	24.0	27.8	30.2	33.0	31.7	27.0	30.3	28.2	20.1	20.7	22.7	25.8	28.4	30.2	31.0	31.0	22.3
AP117 T-N-O	24.7	25.5	24.7	32.4	30.6	33.6	33.9	33.3	33.6	37.2	37.5	37.2	28.2	21.9	26.9	30.0	32.6	29.9	25.9	29.1	27.9	21.9	20.2	22.3	24.7	27.9	29.7	30.6	28.0	24.5
AP117 T-M-O	42.1	34.5	36.4	51.1	47.9	50.8	51.2	50.2	50.9	56.7	57.4	56.6	44.3	30.3	46.0	48.6	50.1	43.7	40.8	48.6	46.4	20.2	27.5	41.1	43.3	46.9	49.0	50.4	46.4	41.9
AP117 T-S-O	36.2	31.7	33.8	46.7	45.6	48.1	48.6	48.1	48.6	52.2	53.1	52.1	41.2	27.4	43.5	46.0	47.6	42.2	39.9	46.0	44.5	19.7	26.5	37.9	40.3	44.7	46.6	47.3	44.3	39.0
AP336 T-M-U	25.0	23.4	23.5	28.8	28.9	31.6	32.0	31.9	32.0	34.1	34.4	33.9	26.2	20.4	25.2	28.3	30.8	28.7	25.6	27.8	26.7	20.4	19.4	20.6	23.3	26.7	28.8	29.0	27.2	22.3
AP336 T-N-U	25.5	26.1	25.1	28.2	28.3	31.0	32.0	31.4	31.2	33.3	34.0	33.8	27.4	22.7	25.7	28.1	31.3	30.3	26.0	28.3	26.7	19.8	20.1	21.6	24.5	26.8	28.7	28.9	29.0	21.9
AP336 T-N-O	26.5	26.5	25.0	32.7	32.6	35.3	36.4	35.2	34.6	37.1	37.2	35.8	27.1	22.9	27.7	30.6	33.4	31.4	25.8	29.5	27.9	19.7	19.9	22.4	26.4	28.0	29.8	30.4	30.4	21.8
AP336 T-M-O	24.1	24.5	23.8	31.4	30.6	33.4	34.3	33.4	33.0	36.7	37.0	36.8	27.4	21.4	26.7	29.6	32.8	29.5	25.2	28.8	27.7	20.9	19.7	22.1	25.1	27.5	29.4	30.1	27.6	23.6
AP336 T-S-O	29.2	34.2	36.3	51.6	48.4	51.3	52.1	51.3	50.4	57.1	57.4	56.7	43.5	29.6	45.0	49.4	51.6	43.3	40.0	48.3	46.7	20.0	28.0	42.2	45.8	47.4	50.0	51.2	47.1	42.7
AP336 T-S-U	39.3	32.1	34.7	46.8	45.9	48.4	48.5	48.6	48.4	52.9	53.1	52.9	40.8	26.8	42.8	46.6	48.8	42.5	40.0	46.5	44.8	19.4	26.9	39.2	41.7	45.2	47.2	47.9	44.5	40.2
AP336 T-S-U	22.2	22.9	22.9	28.6	28.7	31.6	32.6	31.9	31.7	34.1	34.5	33.9	25.5	20.0	25.6	28.4	31.5	28.5	24.8	27.5	26.6	19.7	19.0	20.7	24.1	26.8	28.8	29.1	27.1	22.1

Minimální/maximální teploty v průřezu																														
Průřez	1.9	2.9	3.9	4.9	5.9	6.9	7.9	8.9	9.9	10.9	11.9	12.9	13.9	14.9	15.9	16.9	17.9	18.9	19.9	20.9	21.9	22.9	23.9	24.9	25.9	26.9	27.9	28.9	29.9	30.9
AP117 - MIN	10.3	14.8	12.8	10.2	16.2	13.0	13.5	14.1	14.3	15.0	14.8	16.0	17.7	10.3	7.2	11.1	14.2	16.2	15.0	13.9	15.0	14.7	11.3	7.6	5.8	10.9	13.4	14.2	13.2	10.0
AP117 - MAX	42.1	34.5	36.4	51.1	47.9	50.8	51.2	50.2	50.9	56.7	57.4	56.6	44.3	30.3	46.0	48.6	50.1	43.7	40.8	48.6	46.4	21.9	27.5	41.1	43.3	46.9	49.0	50.4	46.4	41.9
AP336 - MIN	10.5	14.8	12.8	10.4	16.2	13.1	13.8	14.4	14.5	14.9	14.8	16.3	17.2	10.3	7.2	11.4	14.3	16.3	15.2	14.5	15.1	14.6	11.3	8.0	5.9	11.3	14.1	14.4	13.2	10.4
AP336 - MAX	39.3	34.2	36.3	51.6	48.4	51.3	52.1	51.3	50.4	57.1	57.4	56.7	43.5	29.6	45.0	49.4	51.6	43.3	40.0	48.3	46.7	20.9	28.0	42.2	45.8	47.4	50.0	51.2	47.1	42.7

Maximální rozdíly teplot v průřezu																														
Průřez	1.9	2.9	3.9	4.9	5.9	6.9	7.9	8.9	9.9	10.9	11.9	12.9	13.9	14.9	15.9	16.9	17.9	18.9	19.9	20.9	21.9	22.9	23.9	24.9	25.9	26.9	27.9	28.9	29.9	30.9
AP117	31.8	19.7	23.6	40.9	31.7	37.8	37.7	36.1	36.6	41.7	42.6	40.6	26.6	20.0	38.8	37.5	35.9	27.5	25.8	34.7	31.4	7.2	16.2	33.5	37.5	36.0	35.6	36.2	33.2	31.9
AP336	28.8	19.4	23.5	41.2	32.2	38.2	38.2	36.9	35.9	42.2	42.6	40.4	26.3	19.3	37.8	38.0	37.3	27.0	24.8	33.8	31.6	6.3	16.7	34.2	39.9	36.1	35.9	36.8	33.9	32.3

Tab. 5 Minimální a maximální denní teploty v září 2023, rozdíly těchto teplot.

		Minimální teploty																														
Měřicí kanál		1.10	2.10	3.10	4.10	5.10	6.10	7.10	8.10	9.10	10.10	11.10	12.10	13.10	14.10	15.10	16.10	17.10	18.10	19.10	20.10	21.10	22.10	23.10	24.10	25.10	26.10	27.10	28.10	29.10	30.10	31.10
AP117 T-M-U	9.1	11.4	13.0	10.9	10.4	13.3	15.1	9.8	10.4	14.3	12.8	15.4	15.4	9.6	4.5	2.7	2.8	0.2	6.5	9.7	11.0	11.4	11.4	11.7	11.4	11.5	10.1	9.2	8.5	11.0	12.1	12.1
AP117 T-N-U	8.6	10.8	12.3	10.4	9.7	12.9	14.8	9.2	10.2	14.0	12.3	15.1	15.1	9.0	3.9	2.0	1.9	-0.5	6.2	9.4	10.5	11.2	11.5	10.8	11.2	11.2	9.8	8.9	8.0	10.4	11.6	11.8
AP117 T-N-O	10.4	13.2	15.7	11.3	10.5	14.0	15.1	11.8	10.5	14.1	13.4	15.8	15.4	11.2	6.3	3.0	5.1	1.5	6.8	9.2	10.9	12.2	12.4	11.4	11.1	11.6	10.7	9.7	8.7	10.8	12.1	12.6
AP117 T-M-O	8.4	10.8	12.4	10.5	10.0	13.1	15.0	9.9	9.8	14.0	12.5	15.0	15.1	9.0	4.0	1.8	1.9	-0.1	6.0	9.4	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1	9.8	8.9	8.4	10.6	11.9	11.7
AP117 T-S-O	8.8	11.2	12.9	10.8	10.3	13.2	15.0	9.9	9.9	14.0	12.7	15.1	15.1	9.4	4.4	2.3	2.6	0.2	6.1	9.4	11.1	11.2	11.3	11.2	11.2	10.9	9.9	8.6	10.8	11.9	11.8	11.8
AP336 T-M-U	9.1	11.6	12.8	10.9	10.5	13.3	15.4	9.9	10.0	14.2	12.9	15.7	15.7	9.5	4.4	2.7	2.7	0.3	6.6	9.3	11.3	11.4	11.1	10.8	11.4	10.1	9.3	8.6	11.1	12.5	12.2	12.2
AP336 T-N-U	8.5	11.0	12.1	10.5	10.2	13.0	15.3	9.2	9.7	13.9	12.6	15.4	15.4	9.1	4.1	2.3	1.9	0.0	6.3	9.0	11.0	11.1	10.8	10.4	10.8	9.8	8.9	8.3	10.7	12.1	12.5	-
AP336 T-M-O	10.2	13.1	14.0	10.8	10.7	13.7	15.5	11.3	10.0	14.0	13.3	16.0	15.8	10.4	5.6	3.1	5.2	1.7	6.6	8.9	11.1	12.0	12.2	10.8	11.4	10.5	9.5	8.7	10.8	12.3	12.3	12.3
AP336 T-S-O	8.6	11.2	12.1	10.6	10.4	13.0	15.3	9.6	9.5	13.8	12.9	15.2	15.4	9.1	4.1	2.1	1.9	0.6	6.0	9.0	11.6	11.1	10.8	10.7	10.6	9.8	9.0	8.8	11.0	12.0	12.3	-
AP336 T-S-U	9.4	12.1	13.5	11.8	11.5	13.6	15.8	10.5	10.0	14.1	13.3	15.8	15.7	10.4	5.7	3.9	4.5	1.5	6.8	9.0	11.5	11.7	11.4	11.1	11.3	10.2	9.6	9.7	11.4	12.9	12.9	12.7

		Maximální teploty																														
Měřicí kanál		1.10	2.10	3.10	4.10	5.10	6.10	7.10	8.10	9.10	10.10	11.10	12.10	13.10	14.10	15.10	16.10	17.10	18.10	19.10	20.10	21.10	22.10	23.10	24.10	25.10	26.10	27.10	28.10	29.10	30.10	31.10
AP117 T-M-U	24.3	28.5	29.2	19.6	20.4	22.9	20.7	18.9	14.6	21.9	28.0	20.9	23.4	21.7	13.7	11.3	13.3	13.6	11.5	12.1	22.0	19.2	19.8	17.1	18.7	18.7	15.0	12.1	15.8	15.4	19.6	14.4
AP117 T-N-U	25.6	30.3	30.1	19.9	21.0	24.2	20.7	18.7	14.5	22.6	29.1	20.6	23.5	21.5	14.3	11.6	14.3	14.5	11.7	11.9	23.1	20.1	21.4	17.5	20.0	15.0	12.1	16.0	15.5	20.3	14.1	14.1
AP117 T-N-O	24.1	29.1	28.0	18.4	19.6	22.6	19.6	18.7	14.1	20.3	26.3	21.2	21.5	20.5	13.0	9.9	12.4	12.7	9.7	11.0	22.7	19.5	21.5	15.5	19.2	13.3	11.6	14.1	14.0	18.3	14.9	14.9
AP117 T-M-O	41.5	44.9	39.5	26.0	32.4	40.1	22.1	29.3	14.4	28.1	46.3	20.8	26.9	26.9	26.7	32.9	13.7	24.5	32.0	12.6	12.3	45.5	39.9	47.4	22.5	41.1	17.7	12.4	26.3	16.3	34.1	14.2
AP117 T-S-O	39.2	42.6	39.3	25.1	31.6	38.8	23.8	28.1	14.5	26.0	43.2	20.8	25.4	26.0	33.7	18.6	23.4	30.6	12.1	12.1	44.3	40.0	44.2	22.7	36.2	17.1	11.9	25.6	16.1	33.2	14.2	14.2
AP336 T-M-U	24.2	28.7	29.0	19.4	20.2	22.9	20.6	19.0	14.6	21.8	28.1	21.2	23.5	21.8	13.4	11.2	13.5	14.1	11.5	11.8	22.1	19.1	20.0	17.2	18.8	14.8	11.9	15.8	15.4	19.7	14.2	14.2
AP336 T-N-U	24.5	30.1	29.3	19.1	19.9	23.1	20.3	18.8	14.5	22.0	28.5	21.0	23.6	21.6	13.2	11.1	14.2	14.8	11.6	11.7	22.5	19.3	21.1	17.4	19.7	14.6	11.7	15.6	15.5	20.1	-	-
AP336 T-N-O	23.6	28.8	27.7	17.8	19.3	22.4	19.6	18.9	14.3	19.7	26.1	21.2	21.9	21.2	12.2	9.8	12.4	13.3	9.5	11.2	22.5	18.8	21.3	15.3	18.9	13.0	11.1	14.1	14.0	18.2	14.6	14.6
AP336 T-M-O	41.1	44.9	38.4	25.5	31.1	39.0	21.4	28.2	14.5	27.8	46.3	21.2	27.5	26.8	28.9	13.5	25.6	32.4	12.9	12.1	45.0	39.9	47.7	22.1	42.6	17.7	11.7	27.2	16.4	33.6	-	-
AP336 T-S-O	39.9	42.4	40.7	25.0	30.7	38.8	23.8	26.2	14.2	25.7	44.9	20.8	25.6	26.3	34.0	19.9	24.3	31.6	12.0	11.7	45.6	40.9	46.0	23.1	40.1	17.0	11.5	25.3	16.0	34.1	13.8	13.8
AP336 T-S-U	22.3	28.2	27.4	18.4	18.8	21.2	19.5	18.9	14.4	19.4	27.5	21.6	22.6	22.0	12.0	9.8	11.7	13.5	9.9	11.5	22.4	18.6	19.7	15.1	18.2	13.2	11.1	14.6	14.9	18.4	14.3	14.3

		Minimální/maximální teploty v průřezu																														
Průřez		1.10	2.10	3.10	4.10	5.10	6.10	7.10	8.10	9.10	10.10	11.10	12.10	13.10	14.10	15.10	16.10	17.10	18.10	19.10	20.10	21.10	22.10	23.10	24.10	25.10	26.10	27.10	28.10	29.10	30.10	31.10
AP117 - MIN	8.4	10.8	12.3	10.4	9.7	12.9	14.8	9.2	9.8	14.0	12.3	15.0	15.1	9.0	3.9	1.8	1.9	-0.5	6.0	9.2	10.5	11.1	11.1	10.8	10.5	9.8	8.9	8.0	10.4	11.6	11.7	11.7
AP117 - MAX	41.5	44.9	39.5	26.0	32.4	40.1	23.8	29.3	14.6	28.1	46.3	21.2	26.9	26.7	33.7	18.6	24.5	32.0	12.6	12.3	45.5	40.0	47.4	22.7	41.1	17.7	12.4	26.3	16.3	34.1	14.9	14.9
AP336 - MIN	8.5	11.0	12.1	10.5	10.1	13.0	15.1	9.2	9.3	13.7	12.6	15.2	15.2	9.1	4.1	2.1	1.9	0.0	5.9	8.7	11.0	11.0	10.2	10.2	10.4	9.7	8.8	8.3	10.7	12.0	11.7	11.7
AP336 - MAX	41.1	44.9	40.7	25.5	31.1	39.0	23.8	28.2	14.6	27.8	46.3	21.6	27.5	26.8	34.0	19.9	25.6	32.4	12.9	12.1	45.6	40.9	47.7	23.1	42.6	17.7	11.9	27.2	16.4	34.1	14.6	14.6

		Maximální rozdíly teplot v průřezu																														
Průřez		1.10	2.10	3.10	4.10	5.10	6.10	7.10	8.10	9.10	10.10	11.10	12.10	13.10	14.10	15.10	16.10	17.10	18.10	19.10	20.10	21.10	22.10	23.10	24.10	25.10	26.10	27.10	28.10	29.10	30.10	31.10
AP117	33.1	34.1	27.2	15.6	22.7	27.2	9.0	20.1	4.8	14.1	34.0	6.2	11.8	17.7	29.8	16.8	22.6	32.5	6.6	3.1	35.0	28.9	36.3	11.9	30.6	7.9	3.5	18.3	5.9	22.5	3.2	3.2
AP336	32.6	33.9	28.6	15.0	21.0	26.0	8.7	19.0	5.3	14.1	33.7	6.4	12.3	17.7	29.9	17.8	22.7	32.4	7.0	3.4	34.6	29.9	37.5	12.9	32.2	8.0	3.1	18.9	5.7	22.1	2.9	2.9

Tab. 6 Minimální a maximální denní teploty v říjnu 2023, rozdíly těchto teplot.

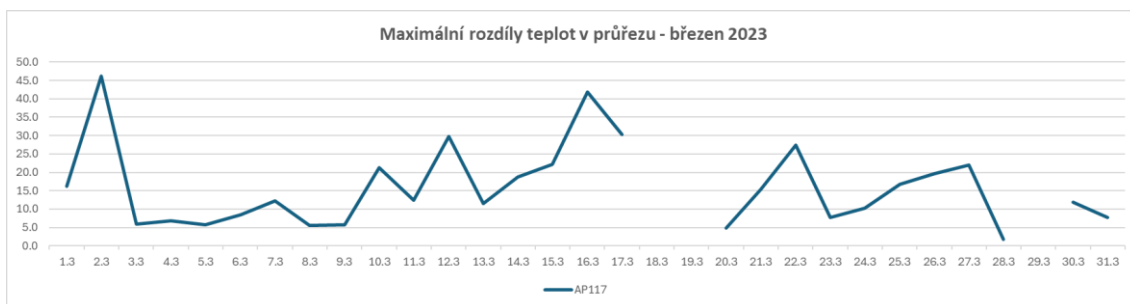
		Minimální teploty																													
Měřicí kanál	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.1	10.1	11.1	12.1	13.1	14.1	15.1	16.1	17.1	18.1	19.1	20.1	21.1	22.1	23.1	24.1	25.1	26.1	27.1	28.1	29.1	30.1	31.1
AP117 T-M-U	4.3	3.8	7.4	2.5	0.8	0.0	-3.7	-11.1	-14.1	-13.8	-10.1	-3.0	-0.2	1.6	-0.1	-0.5	-4.8	-2.2	-6.6	-5.1	-7.4	-0.5	3.6	4.7	5.6	2.6	0.6	-3.0	1.1	0.6	0.6
AP117 T-N-U	3.8	3.4	7.3	2.2	0.3	-0.3	-4.0	-11.9	-15.2	-14.7	-10.8	-3.2	-0.3	1.3	-0.4	-0.7	-5.3	-2.2	-6.3	-5.4	-7.9	-0.9	3.1	4.3	5.4	2.2	-0.1	-3.6	0.5	0.3	0.0
AP117 T-N-O	4.2	3.8	6.1	4.1	1.7	1.3	-3.0	-10.0	-14.5	-14.1	-9.9	-3.6	-0.8	0.6	0.1	-0.2	-3.4	-0.9	-3.6	-3.5	-5.1	-1.4	3.9	3.9	6.3	3.2	2.8	-0.8	1.2	0.3	0.2
AP117 T-M-O	4.1	3.4	7.4	2.1	0.6	-0.1	-4.0	-12.1	-14.9	-14.4	-10.8	-3.3	1.3	-0.6	-0.8	-0.4	-2.5	-6.4	-5.7	-7.7	-0.4	3.3	4.6	5.3	2.2	0.0	-3.2	1.0	0.3	0.2	
AP117 T-S-O	4.2	3.4	7.3	2.2	0.7	-0.1	-4.0	-11.2	-14.4	-13.9	-10.3	-3.2	-0.4	1.3	-0.4	-0.8	-2.0	-2.5	-6.6	-5.5	-7.6	-0.6	3.6	4.6	5.4	2.4	0.6	-3.0	1.1	0.3	0.4
AP336 T-M-U	4.3	3.8	7.5	2.3	0.8	0.0	-3.8	-11.4	-14.3	-13.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.7	4.9	5.5	2.6	0.5	-2.9	0.8	0.3	0.4	
AP336 T-N-U	4.0	3.5	7.5	1.9	0.5	-0.4	-4.2	-11.8	-15.0	-14.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.3	4.7	5.3	2.2	0.0	-3.3	0.6	-0.1	0.1	
AP336 T-N-O	4.6	3.8	6.3	3.2	1.5	1.2	-3.7	-9.8	-14.1	-13.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.1	4.2	4.2	5.9	3.1	2.5	-1.5	1.3	0.7	0.5
AP336 T-M-O	4.4	3.4	7.6	1.8	0.8	-0.2	-4.2	-12.1	-14.8	-13.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.5	4.8	5.2	2.3	0.2	-2.9	1.2	0.0	0.3	
AP336 T-S-O	4.1	3.3	7.2	1.8	0.6	-0.3	-4.3	-11.8	-14.8	-14.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.4	4.5	5.1	2.3	0.2	-3.1	0.8	-0.1	0.1	
AP336 T-S-U	4.8	4.2	7.7	2.6	1.6	-0.1	-3.8	-9.3	-12.4	-12.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.4	4.9	5.5	2.8	1.9	-1.8	1.6	0.2	0.3	

		Maximální teploty																															
Měřicí kanál	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.1	10.1	11.1	12.1	13.1	14.1	15.1	16.1	17.1	18.1	19.1	20.1	21.1	22.1	23.1	24.1	25.1	26.1	27.1	28.1	29.1	30.1	31.1		
AP117 T-M-U	10.0	7.4	12.8	10.3	7.2	4.8	0.1	-3.7	-6.4	-0.4	-2.2	-0.1	1.8	3.6	4.0	3.5	0.6	0.6	3.6	4.0	3.2	7.9	7.9	13.4	9.1	9.3	7.5	8.1	8.5	6.7	5.0		
AP117 T-N-U	10.2	7.3	12.8	10.1	7.2	4.9	-0.3	-4.0	-6.2	-0.2	-1.8	-0.8	1.7	3.6	3.8	2.5	0.5	0.2	2.8	3.0	2.9	7.7	7.7	13.3	9.0	9.4	7.4	8.7	8.9	6.9	5.2		
AP117 T-N-O	8.3	6.1	10.7	9.1	5.7	4.4	1.7	-3.0	-6.8	-2.4	-3.6	-0.8	0.7	1.9	2.4	0.6	-0.5	-0.1	1.5	2.4	-0.2	5.5	6.4	10.9	8.0	7.7	6.8	6.7	7.5	5.8	4.1		
AP117 T-M-O	23.2	7.4	18.8	21.6	15.4	5.4	-0.1	15.0	22.2	23.8	11.2	-0.3	1.7	3.8	12.5	8.4	3.7	0.0	30.5	31.5	7.3	8.3	13.7	22.0	12.6	9.7	24.2	34.2	29.9	19.7	5.2		
AP117 T-S-O	9.3	7.5	11.9	9.5	6.6	4.4	0.1	-3.6	-5.3	0.3	-2.2	-0.2	1.7	2.7	3.1	3.2	0.2	0.5	4.9	5.6	2.5	7.7	7.2	12.4	8.4	8.9	7.6	8.7	8.5	5.6	4.3		
AP336 T-M-U	10.2	7.5	12.9	10.2	7.4	4.9	0.0	-3.8	-5.8	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	3.9	4.3	3.1	8.3	8.0	13.5	9.0	9.5	7.3	8.7	8.8	7.0	5.2	
AP336 T-N-U	8.9	6.4	10.8	9.0	6.0	4.7	1.2	-3.7	-5.8	-3.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	0.1	1.3	3.0	0.0	6.9	6.6	11.0	7.8	7.9	8.2	8.4	5.8	4.3
AP336 T-M-O	24.2	7.6	19.4	21.6	15.3	5.5	-0.2	17.8	24.8	24.7	-	-	-	-	-	-	-	-	3.0	0.1	29.5	32.7	6.5	8.6	14.6	21.1	12.3	10.0	24.6	37.3	31.5	19.6	5.3
AP336 T-S-O	24.0	7.1	18.6	21.6	15.8	5.0	-0.3	13.6	20.2	21.6	-	-	-	-	-	-	-	-	5.3	-0.2	28.3	31.2	8.3	8.0	13.6	23.1	11.8	9.3	21.8	34.2	30.4	21.6	4.8
AP336 T-S-U	9.3	7.7	11.7	9.3	6.6	4.4	-0.1	-3.8	-5.4	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	0.1	4.1	5.0	2.2	7.9	7.1	12.5	8.1	7.2	8.9	8.4	5.6	4.3	

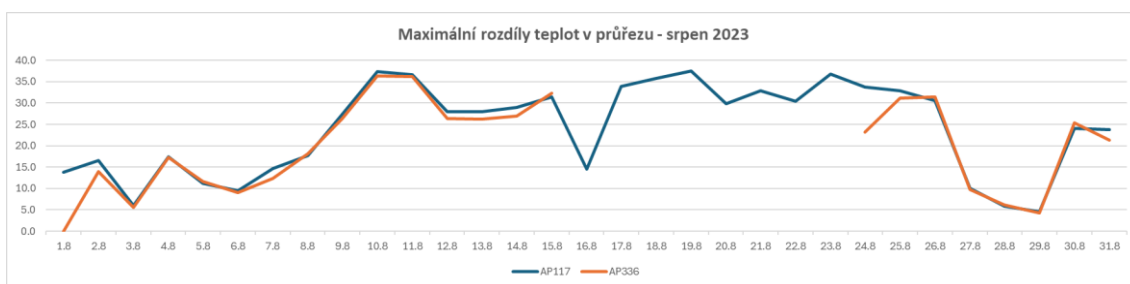
		Minimální/maximální teploty v průřezu																															
Průřez	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.1	10.1	11.1	12.1	13.1	14.1	15.1	16.1	17.1	18.1	19.1	20.1	21.1	22.1	23.1	24.1	25.1	26.1	27.1	28.1	29.1	30.1	31.1		
AP117 - MIN	3.8	3.4	6.1	2.1	0.3	-0.3	-4.0	-12.1	-15.2	-14.7	-10.8	-3.6	-0.8	0.6	-0.6	-0.8	-5.3	-2.5	-6.6	-5.7	-7.9	-1.4	3.1	3.9	5.3	2.2	-0.1	-3.6	0.5	0.3	0.0		
AP117 - MAX	23.2	7.5	18.8	21.6	15.4	5.4	1.7	15.0	22.2	23.8	11.2	-0.1	1.8	3.8	12.9	8.4	3.7	0.0	30.5	31.5	8.2	8.3	13.7	22.7	12.6	9.7	24.2	34.2	29.9	20.6	5.2		
AP336 - MIN	4.0	3.3	6.3	1.8	0.5	-0.4	-4.3	-12.1	-15.0	-14.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.3	4.2	5.1	2.2	0.0	-3.3	0.6	-0.1	0.1		
AP336 - MAX	24.2	7.7	19.4	21.6	15.8	5.5	1.2	17.8	24.8	24.7	-	-	-	-	-	-	-	-	5.3	0.4	29.5	32.7	8.3	8.6	14.6	23.1	12.3	10.0	24.6	37.3	31.5	21.6	5.3

		Maximální rozdíly teplot v průřezu																													
Průřez	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.1	10.1	11.1	12.1	13.1	14.1	15.1	16.1	17.1	18.1	19.1	20.1	21.1	22.1	23.1	24.1	25.1	26.1	27.1	28.1	29.1	30.1	31.1
AP117	19.4	4.1	12.7	19.5	15.1	5.7	5.7	27.1	37.4	38.5	22.0	3.5	2.6	3.2	13.5	9.2	9.9	3.1	37.1	37.2	16.1	9.7	10.6	18.8	7.3	7.5	24.3	37.8	29.4	20.3	5.2
AP336	20.2	4.4	13.1	19.8	15.3	5.9	5.5	29.9	39.8	39.9	-	-	-	-	-	-	9.9	3.3	36.3	38.3	16.0	9.7	11.3	18.9	7.2	7.8	24.6	40.6	30.9	21.7	5.2

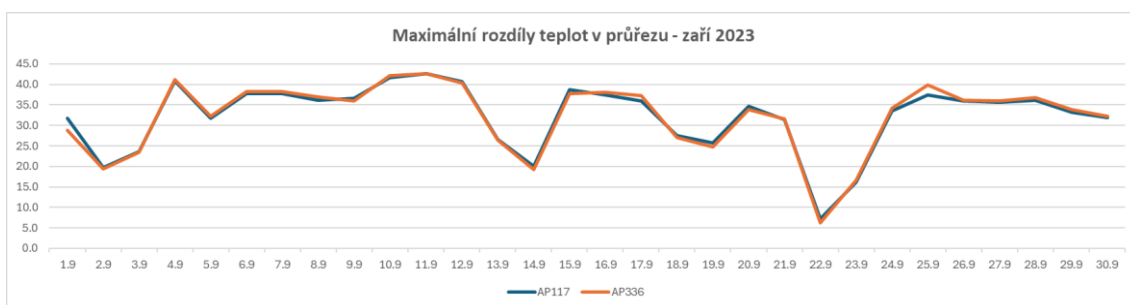
Tab. 7 Minimální a maximální denní teploty v lednu 2024, rozdíly těchto teplot.



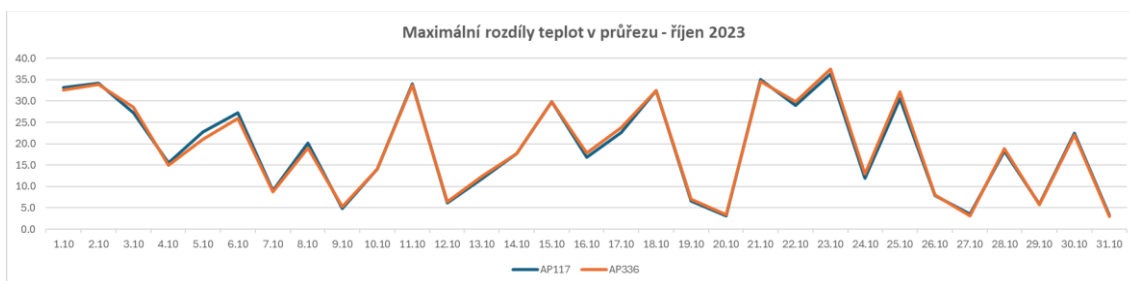
Graf 1 Rozdíly mezi nejvyšší a nejnižší změřenou denní teplotou – březen 2023. U některých dnů hodnoty chybí, došlo pravděpodobně k poruše systému, a tak nebyly teploty změřeny.



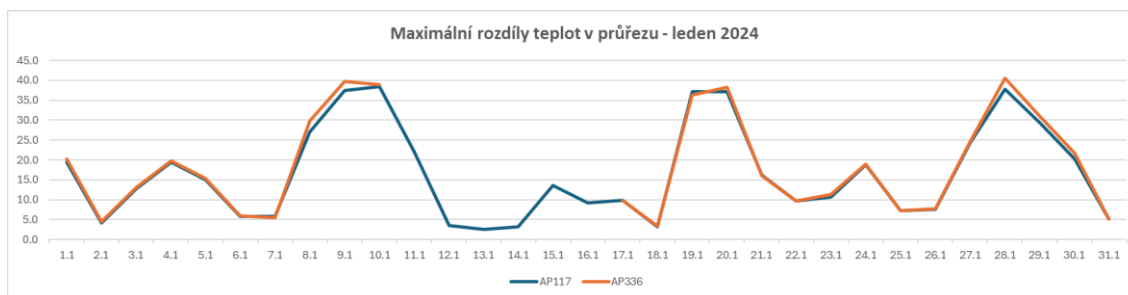
Graf 2 Rozdíly mezi nejvyšší a nejnižší změřenou denní teplotou – srpen 2023.



Graf 3 Rozdíly mezi nejvyšší a nejnižší změřenou denní teplotou – srpen 2023.



Graf 4 Rozdíly mezi nejvyšší a nejnižší změřenou denní teplotou – říjen 2023.



Graf 5 Rozdíly mezi nejvyšší a nejnižší změřenou denní teplotou – leden 2024.

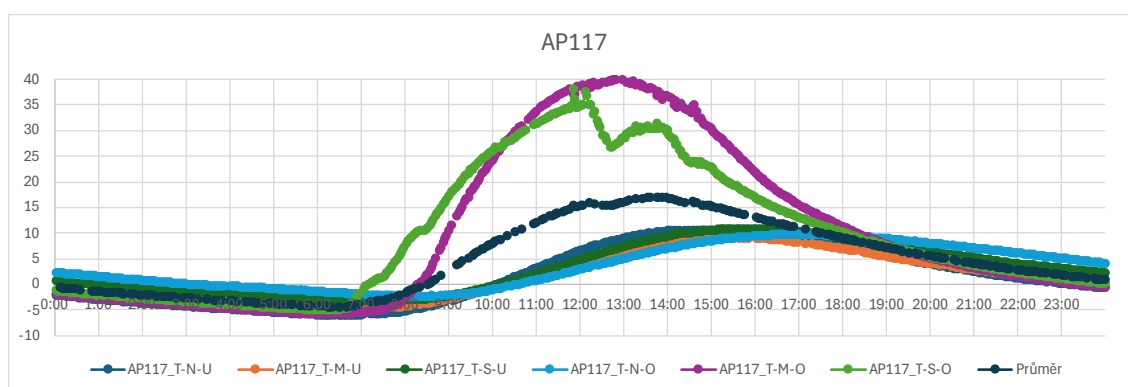
Březen 2023	Srpen 2023	Září 2023	Říjen 2023	Leden 2024
46.1	37.5	42.6	37.5	40.6

Tab. 8 Přehled největších denních rozdílů teplot v měsíci.

Tři největší rozdíly mezi denní nejvyšší a nejnižší teplotou byly naměřeny v březnu 2023, září 2023 a lednu 2024, konkrétně se jedná o 2. března 2023, 11. září 2023 a 28.ledna 2024. Pro podrobnější analýzu konstrukce byly proto vybrány tyto tři dny, reprezentující tři roční období, jaro, léto a zimu. Předpokládá se, že na podzim bude průběh teplot podobný jako na jaře, a proto není nutné vybírat i podzimní den. 11. září 2023 byla zaznamenána i zatím nejvyšší neměřená teplota na konstrukci, proto je tento den ideální k posouzení nejvyšší rovnoměrné složky teploty.

5.1 Vyhodnocení jarního dne

2. března 2023 byly teploty měřeny pouze v jednom průřezu konstrukce na kanálech AP117. Průběh teplot změřených na jednotlivých čidlech a průměrnou teplotou na ocelové nosné konstrukci (rovnoměrnou složku teploty) ukazuje graf 6.



Graf 6 Průběh teplot změřených na čidlech AP117 – 2.3.2023.

Největší rozdíl teplot mezi horním a dolním povrchem konstrukce byl naměřen ve 12:04, kdy byla zaznamenána na dolním okraji konstrukce uprostřed teplota 4,59°C a na horním okraji uprostřed 38,99°C. Rozdíl těchto teplot činí 34,40°C, a

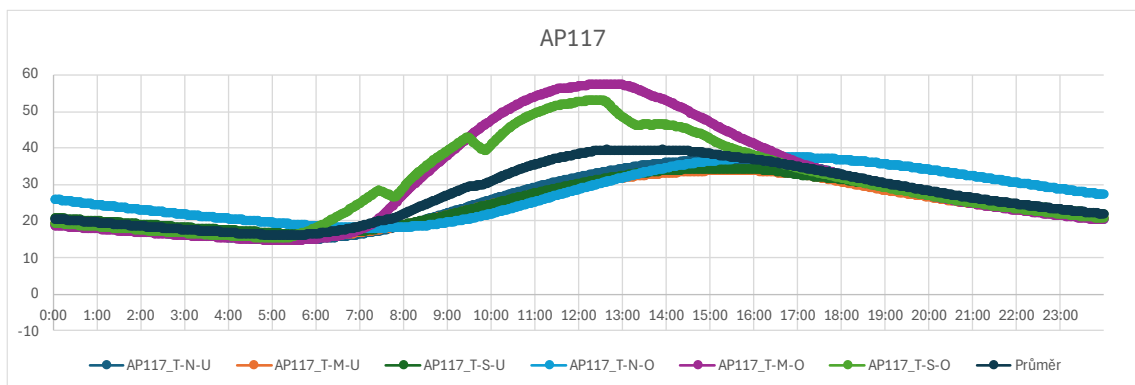
tudíž o 4,40°C překračuje hodnotu svislé rozdílové složky teploty určenou dle normy ČSN-EN 1993-1-5 [1].

Absolutní největší rozdíl teplot naměřených na konstrukci ve stejný okamžik byl zaznamenán ve stejném čase mezi čidly AP117_T-N-O (3,12°C) a AP117_T-M-O (38,99°C) a činí 35,87°C. Z toho vyplývá významná vodorovná rozdílová složka, která je způsobena orientací nosné ocelové konstrukce. Jižní strana je vystavena slunečnímu záření, zatímco severní je ve stínu. Navíc v tento den foukal severní vítr, který severní stranu mostní konstrukce ochlazoval.

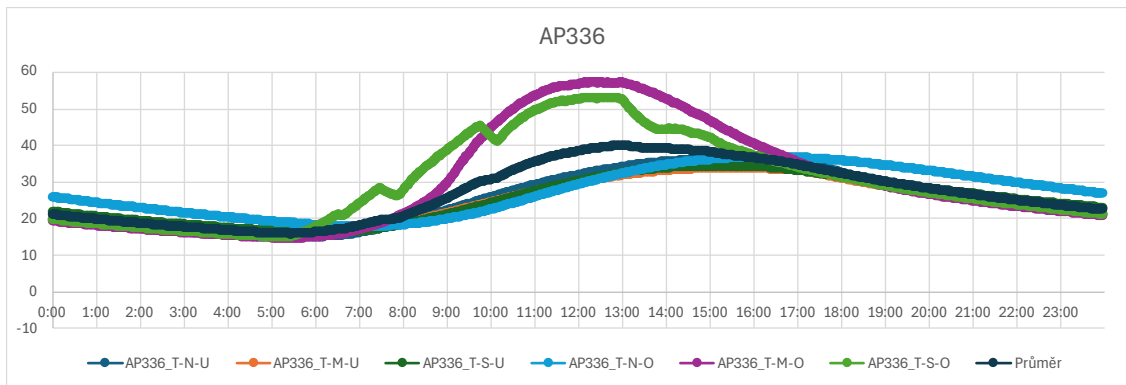
Rovnoměrnou složku teploty uvažují jako průměr změřených teplot na všech šesti čidlech v průřezu. Nejvyšší průměrná teplota v čidlech činí 17,08°C a byla zaznamenána ve 13:45. Naopak nejnižší byla zjištěna v 6:17 a činí -4,35°C. Tyto hodnoty jsou v rozsahu normou stanovené minimální a maximální rovnoměrné složky teploty na konstrukci.

5.2 Vyhodnocení letního dne

11. září 2023 byly teploty měřeny ve dvou průřezích konstrukce na kanálech AP117 a AP336. Průběh teplot změřených na jednotlivých čidlech a průměrné teploty na ocelové nosné konstrukci (rovnoměrnou složku teploty) na kanálech AP117 ukazuje graf 7, na kanálech AP336 pak graf 8.



Graf 7 Průběh teplot změřených na čidlech AP117 – 11.9.2023.



Graf 8 Průběh teplot změřených na čidlech AP336 – 11.9.2023.

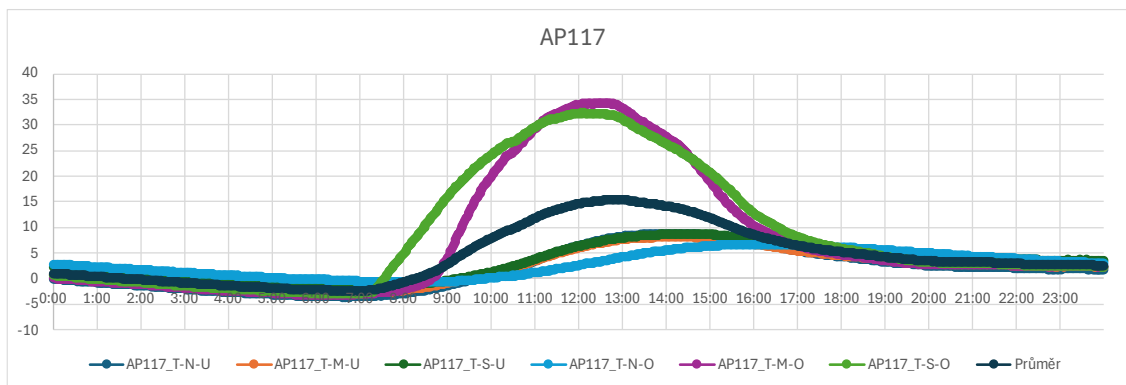
Největší rozdíl teplot mezi horním a dolním povrchem konstrukce byl naměřen na čidlech AP117 v 11:30, kdy byla zaznamenána na dolním okraji konstrukce uprostřed teplota 28,73°C a na horním okraji uprostřed 56,19°C. Rozdíl těchto teplot činí 27,46°C, a tudíž nepřekračuje hodnotu svislé rozdílové složky teploty určenou dle normy ČSN-EN 1993-1-5 [1].

Absolutní největší rozdíl teplot naměřených na konstrukci ve stejný okamžik byl zaznamenán ve stejném čase mezi čidlem AP117_T-N-O (27,16°C) a AP117_T-M-O (56,19°C) a činí 29,03°C. Stejně jako ve vyhodnocovaném jarním dni je zde významná vodorovná rozdílová složka způsobena orientací nosné ocelové konstrukce. Jižní strana je výrazně ohřátá od slunečního záření a severní je naopak ochlazována severním větrem, který tento den foukal.

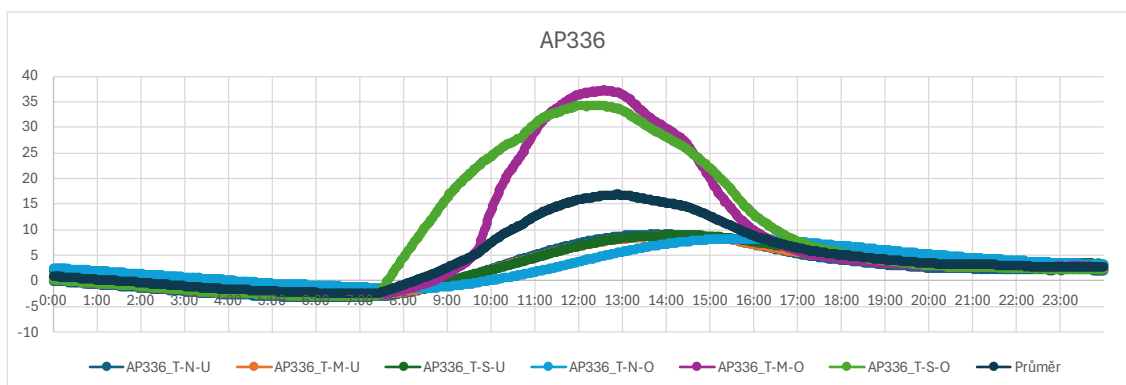
Rovnoměrnou složku teploty uvažují jako průměr změřených teplot na všech šesti čidlech v průřezu. Nejvyšší průměrná teplota byla zaznamenána v čidlech AP336 ve 12:59 a činí 40,20°C. Nejnižší byla zjištěna opět na čidlech AP336 v 5:26 a činí 15,99°C. Tyto hodnoty jsou v rozsahu normou stanovené minimální a maximální rovnoměrné složky teploty na konstrukci.

5.3 Vyhodnocení zimního dne

28. ledna 2024 byly teploty měřeny ve dvou průřezích konstrukce na kanálech AP117 a AP336. Průběh teplot změřených na jednotlivých čidlech a průměrné teploty na ocelové nosné konstrukci (rovnoměrnou složku teploty) na kanálech AP117 ukazuje graf 9, na kanálech AP336 pak graf 10.



Graf 9 Průběh teplot změřených na čidlech AP117 – 28.1.2024.



Graf 10 Průběh teplot změřených na čidlech AP336 – 28.1.2024.

Největší rozdíl teplot mezi horním a dolním povrchem konstrukce byl naměřen na čidlech AP336 v 12:08, kdy byla zaznamenána na dolním okraji konstrukce uprostřed teplota 7,00°C a na horním okraji uprostřed 36,77°C. Rozdíl těchto teplot činí 29,77°C, a tudíž nepřekračuje hodnotu svislé rozdílové složky teploty určenou dle normy ČSN-EN 1993-1-5 [1].

Absolutní největší rozdíl teplot naměřených na konstrukci ve stejný okamžik byl zaznamenán ve v 12:04 mezi čidlem AP336_T-N-O (3,81°C) a AP336_T-M-O (36,62°C) a činí 32,81°C. Stejně jako ve přechozích vyhotovovaných dnech je zde významná vodorovná rozdílová složka způsobena orientací nosné ocelové konstrukce. Jižní strana je výrazně ohřátá od slunečního záření, zatímco severní zůstává chladná.

Rovnoměrnou složku teploty uvažuji jako průměr změřených teplot na všech šesti čidlech v průřezu. Nejvyšší průměrná teplota byla zaznamenána v čidlech AP336 ve 12:53 a činí 16,82°C. Nejnižší byla zjištěna opět na čidlech AP336 v 6:47 a činí -2,51°C. Tyto hodnoty jsou v rozsahu normou stanovené minimální a maximální rovnoměrné složky teploty na konstrukci.

5.4 Celkové vyhodnocení vybraných dnů

Zjištěné minimální a maximální hodnoty rovnoměrné složky teploty nebyly v žádném dni překročeny, norma tedy s rezervou pokrývá zjištěnou teplotu.

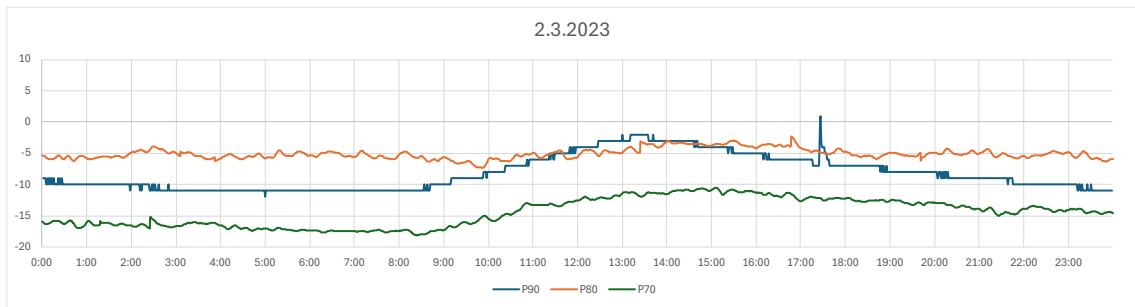
Největší zjištěné rozdílové složky teploty norma ČSN-EN 1991-1-5 [1] v některých případech nepokrývá. Ve skutečnosti jsou na konstrukci zaznamenány větší rozdíly teplot. Plochy, na které svítí slunce, se ohřejí o více stupňů, než předpokládá norma. To je způsobeno tmavou barvou ocelové konstrukce, která není z hlediska teplotního namáhání vhodná. Pokud by byla barva konstrukce světlejší, lze předpokládat, že by předpoklady normy více odpovídaly realitě. Velké rozdíly teplot byly také zjištěny ve vodorovném směru kolmém na osu mostu. Takto velké rozdíly norma nepředpokládá. V některých zkoumaných dnech navíc foukal ze severní strany vítr, který tuto stranu ochlazoval a zvyšoval tak teplotní rozdíl.

6 Odklony pilířů od teplotního zatížení

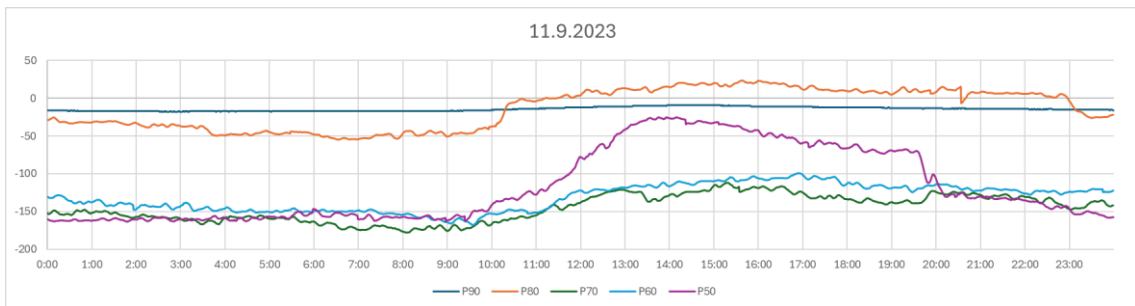
Ocelová konstrukce je během vysouvání položena na výsuvných stolicích. Mezi horním nerezovým povrchem výsuvné stolice a ocelovou nosnou konstrukcí mostu jsou kluzné teflonové desky, které jsou namazané mazacím přípravkem. Na těchto deskách tak ocelová nosná konstrukce může od teploty dilatovat. Mezi nimi a nerezovým povrchem výsuvné stolice je velmi malé tření.

Pilíře nejsou absolutně tuhé, a tak se mohou odklánět z důvodu tření mezi kluznými deskami a nerezovou plochou na výsuvné stolici. Na ocelové konstrukci bočního vedení, umístěné na pilíři, se nachází inklinometry, měřící odklon ve vrcholu pilíře. Hodnoty odklonů jsou k dispozici online na dohledovém centru společnosti Alimex [8]. Změřené odklony pilířů ve dnech 2.3.2023, 11.9.2023 a 27.1.2024 ukazují grafy 11-13. Data ke dni 28.1.2024 bohužel chybí, pravděpodobně kvůli poruše systému. Proto je pro představu o chování pilíře v zimním období uveden den předchozí, ke kterému jsou data k dispozici.

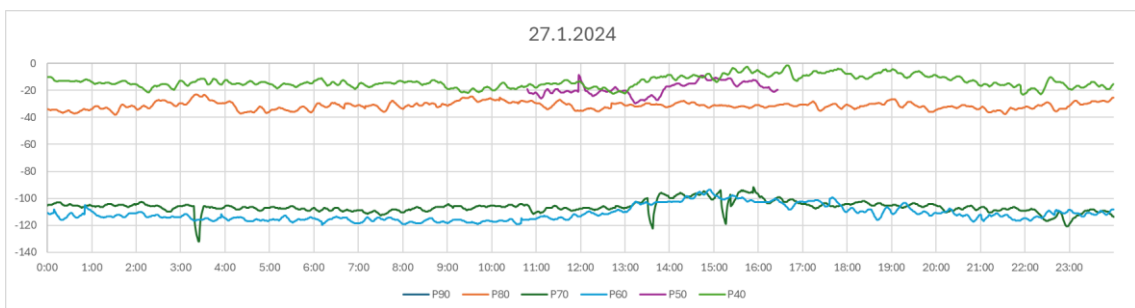
Kladné hodnoty odklonů odpovídají vychýlení ve směru vysouvání mostu, záporné naopak proti směru vysouvání.



Graf 11 Odklony pilířů 2.3.2023.



Graf 12 Odklony pilířů 11.9.2023.



Graf 13 Odklony pilířů 27.1.2024.

Téměř všechny hodnoty odklonů pilířů jsou v záporných hodnotách. Hodnota nulového odklonu je stanovena před výsuvem konstrukce na daný pilíř. Není přesně zaměřeno, že je v tomto okamžiku pilíř absolutně rovný a není ohýbán působícím zatížením. Dále je po nájezdu ocelové konstrukce na výsuvnou stolicí pilíř vychýlen do nové polohy. Proto skutečný stav pilíře, kdy není odkloněn teplotním namáháním, nemusí odpovídat stavu, kdy je zaznamenán inklinometrech nulový odklon.

Na grafu ze dne 2.3.2024 je jasně vidět jiný tvar průběhu odklonů u pilíře 90. Tento rozdíl je způsoben jinou technologií měření odklonů. Na 90 nejsou odklony měřeny inklinometrem, ale pomocí dálkoměrů, které mají nižší přesnost než inklinometry.

U některých průběhů je vidět náhlá změna hodnoty odklonu pilíře, která se však rychle vrátí na předchozí hodnotu – například na grafu 11 u pilíře 90 okolo 17:30.

Tyto změny mohou být způsobeny například nárazem větru nebo jiným náhlým výkyvem. Z hlediska analýzy teplotního namáhání nejsou tyto změny hodnot „tam a zpět“ podstatné.

Z grafů je patrné, jak se měnily hodnoty odklonů. Během dne se ocelová konstrukce oteplovala a prodlužovala. Proto byly díky tření pilíře ohýbány, hodnoty odklonů se přibližovaly k nulové hodnotě. Zároveň jsou na grafech vidět skoky hodnot. Pilíř byl nejdříve z důvodu tření posouván spolu s konstrukcí, následně došlo k prokluzu a pilíř se vrátil do své předchozí polohy. Z grafů je také dobře vidět (zejména 11.9.2023), že nejvíce je odkláněn pilíř s nejnižším číslem. To je pilíř, na kterém je uložena nosná konstrukce a v daném okamžiku je nejvíce vzdálen od opěry 100, odkud je most vysouván a kde je pevně uložen. Proto jsou v tomto bodě důsledky dilatace nejvyšší. Zároveň jsou také patrné nejmenší změny odklonů u pilíře 90. To je způsobeno tím, že je tento pilíř nejbližší k bodu pevného uložení, a zároveň je tento pilíř nejnižší, a tudíž i nejtuzší.

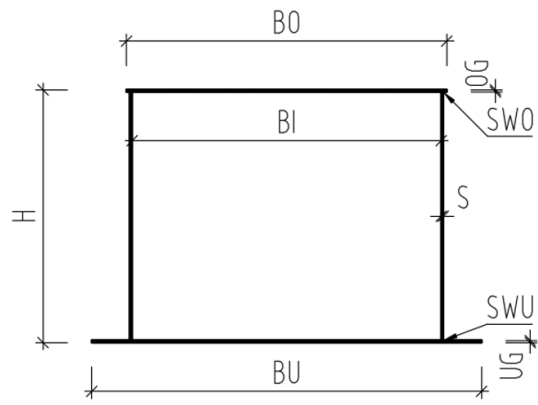
Veškeré odklony jsou ve stanovených limitech a skoky nejsou příliš velké, což vypovídá o nízkém tření mezi kluznými deskami a výsuvnou stolicí.

7 Prutový model mostu

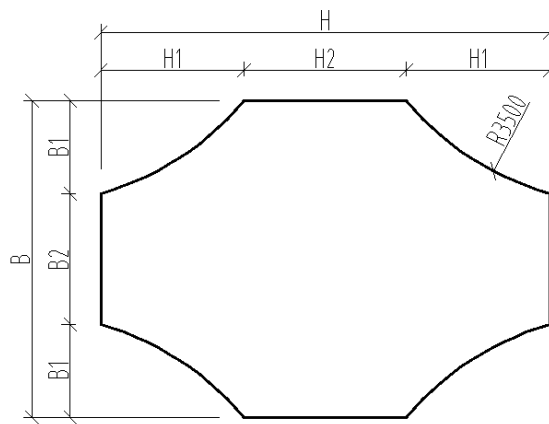
V rámci vyhodnocení skutečného chování mostu od teplotního namáhání byl v programu RFEM 6 vymodelován prutový model celé konstrukce mostu. Ocelová nosná konstrukce byla vytvořena pomocí prutů s proměnnými průřezy z oceli S355-NL. Průřezy byly zjednodušeny, aby průřezové charakteristiky odpovídaly skutečnému tvaru konstrukce, viz. obrázek níže. Vymodelována je ve spádu 4%. Zároveň je na modelu zohledněno i nadvýšení. Na konstrukci je připevněn výsuvný most, který je vymodelován ze soustavy prutů a jeho tvar i průřezy prutů odpovídají skutečnému výsuvnému nosu.

Pilíře jsou vymodelovány pomocí prutů s proměnnou velikostí průřezů z betonu C30/37. Jejich tvar tak souhlasí se skutečným tvarem pilířů. Pilíře jsou v dolní části vetknuty, v horní jsou k ocelové konstrukci připojeny pomocí pevných kloubů. Opěra 100 je vymodelována pouze jako pevný kloub.

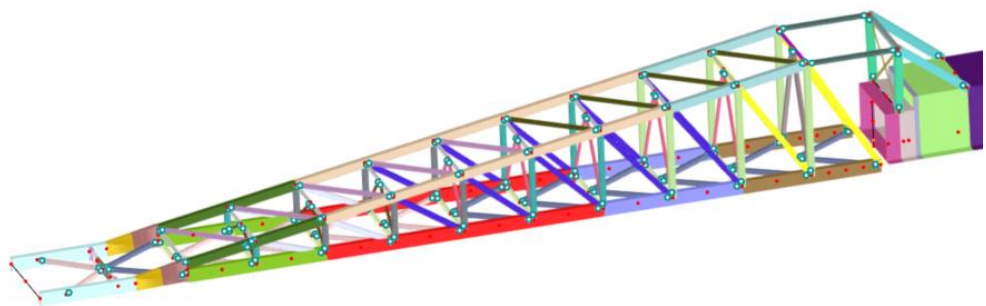
Vymodelován byl nejdříve celý most a následně i modely pro montážní stavy, ve kterých se konstrukce nacházela ve zkoumaných obdobích.



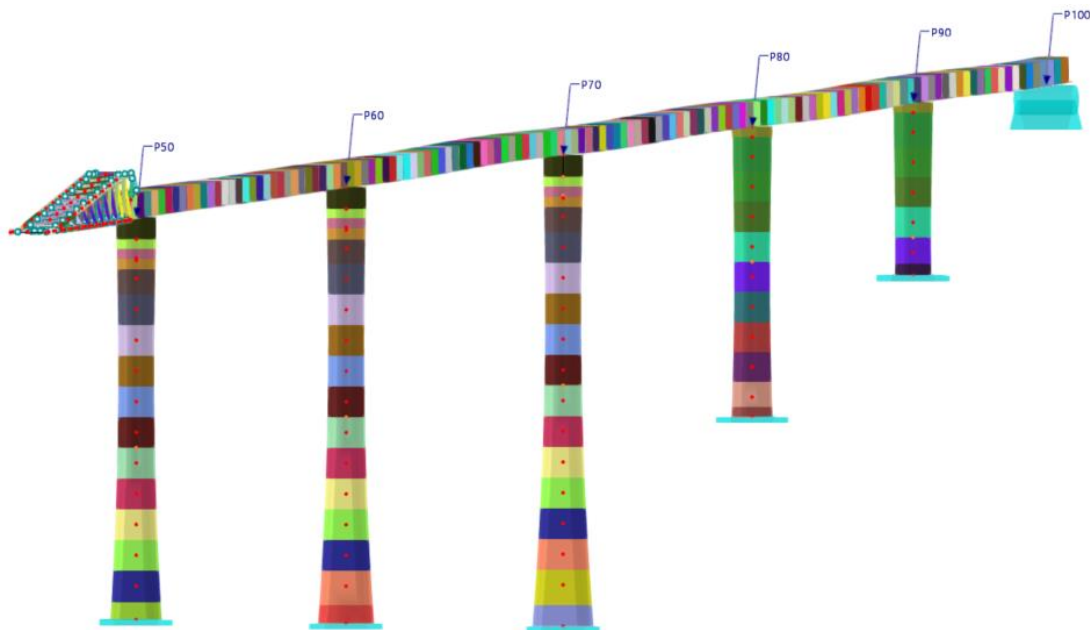
Obr. 12 Zjednodušený průřez ocelové konstrukce.



Obr. 13 Průřez pilíře.



Obr. 14 Vymodelovaný výsuvný nos.



Obr. 15 Model celé konstrukce ve stavu v září 2023 – výsuvný nos je za pilířem 50.

7.1 Aplikace zatížení

Pro výpočet posunů pilířů v jejich horní části byla na konstrukci aplikována zatížení stálá (vlastní tíha, dopočet vlastní tíhy (průřezy ocelové nosné konstrukce jsou zjednodušeny a jejich váha tak neodpovídá váze skutečného tvaru) a ostatní stálé zatížení) a proměnné zatížení od teploty. V tomto zatěžovacím stavu je zahrnuta

jak rovnoměrná, tak i nerovnoměrná složka. Bylo vytvořeno více zatěžovacích stavů, které popisují stav namáhání konstrukce v průběhu daného dne. Ze změřených hodnot teplot jsem vybral hodnoty teplot, kdy došlo ke změně velikosti rovnoměrné složky teploty 2°C od předchozí vybrané hodnoty. K těmto hodnotám jsem přiřadil čas jejich změření. V každém ze zkoumaných dnů tak vzniklo více než 20 zatěžovacích stavů od teploty. Následně jsem vytvořil kombinace zatížení, ve kterých jsou stálá zatížení v charakteristických hodnotách, a právě jednotlivé zatěžovací stavy od teploty.

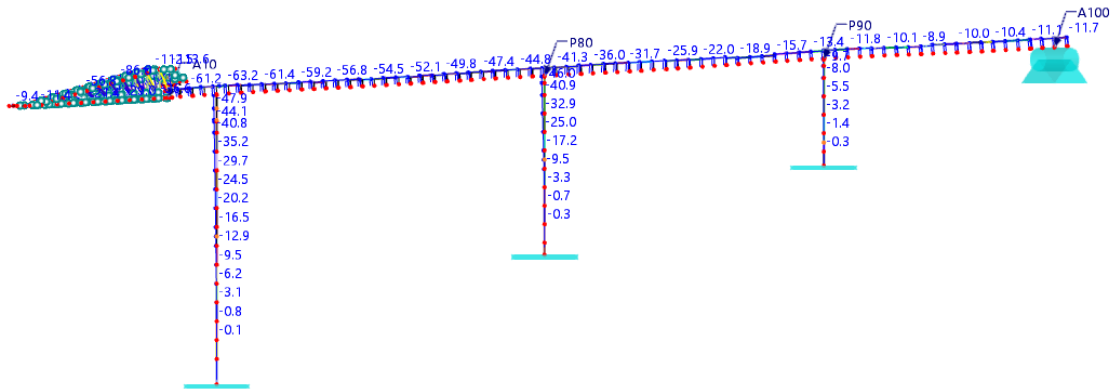
Pro výpočet byl vybrán jarní a letní den. K vybranému zimnímu dni chybí data o odklonu pilířů. Jelikož jsou v tomto dni průběhy teplot na čidlech podobné jarnímu dni, lze předpokládat podobné chování konstrukce.

7.2 Vypočítané hodnoty odklonů – jarní den

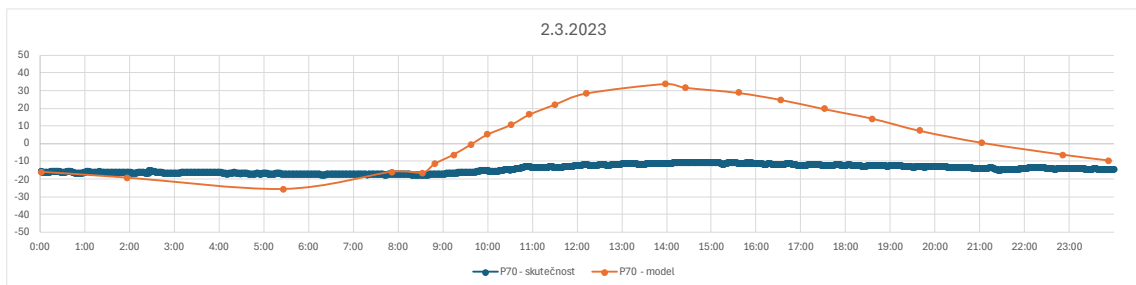
Od všech stanovených kombinací zatížení program vypočítal hodnoty odklonů pilířů – vodorovných posunů hlavy pilíře. Ty jsem následně přiřadil k časům a vytvořil grafy změny odklonů pilířů v průběhu dne vypočtené programem

a porovnal tyto průběhy se skutečnými průběhy. Počáteční hodnotu posuvu jsem nastavil shodně s počáteční hodnotou odklonu pilíře změřenou inklinometry.

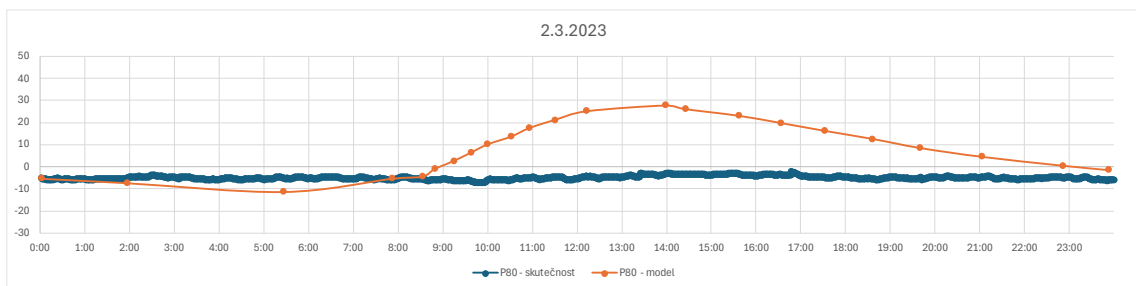
Příklad výstupu z programu ukazuje obrázek níže. Konstrukce je namodelována ve stavu, v jakém se nacházela 2.3.2023, tudíž je výsuvný nos za pilířem 70.



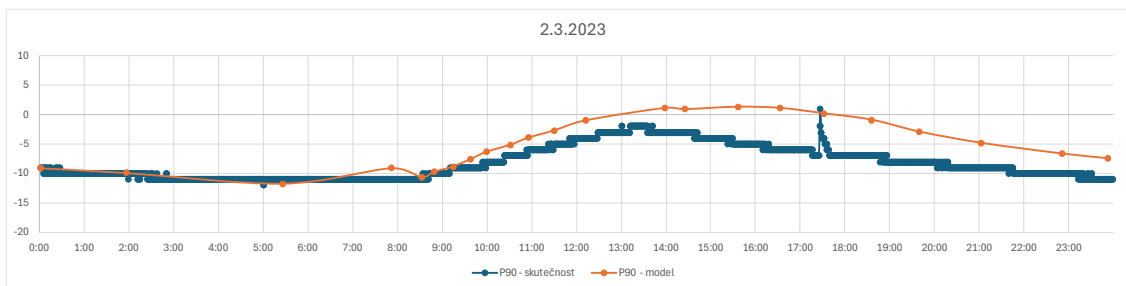
Obr. 16 Vypočtené hodnoty vodorovných posuvů od teplotního zatížení v čase 12:12.



Graf 14 Odklon pilíře 70 2.3.2023 – porovnání skutečně změřených odklonů a odklonů vypočítaných na modelu.

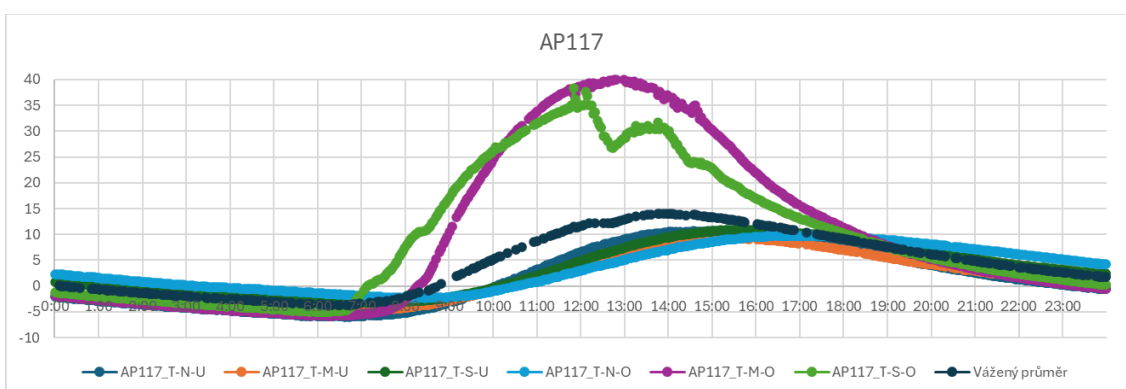


Graf 15 Odklon pilíře 80 2.3.2023 – porovnání skutečně změřených odklonů a odklonů vypočítaných na modelu.



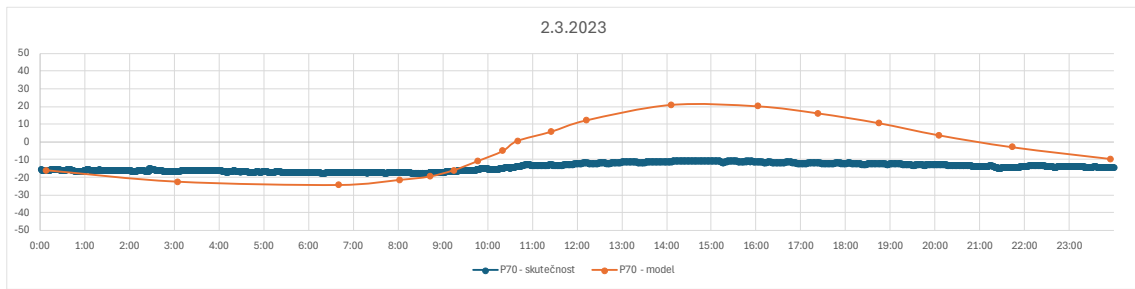
Graf 16 Odklon pilíře 90 2.3.2023 – porovnání skutečně změřených odklonů a odklonů vypočítaných na modelu.

Největší rozdíl mezi předpokladem chování a skutečným chováním v průběhu dne je patrný u pilíře 80, kdy je maximální rozdíl mezi hodnotami přibližně 44mm. V ranních a večerních hodinách se hodnoty přibližují nejvíce, naopak přes den, kdy byla konstrukce nejvíce ohřátá, je rozdíl největší. Tento rozdíl může být způsoben jinou velikostí skutečné rovnoměrné složky teploty, než jaká byla stanovena průměrem změřených hodnot na všech čidlech v daném okamžiku. Z grafu „Průběh teplot změřených na čidlech AP117 – 2.3.2023“ je patrný velký rozdíl teplot mezi čidly. Na čidlech Ap117_T-M-O a Ap117_T-S-O byla změřena výrazně vyšší teplota než na ostatních čidlech. Lze proto předpokládat, že skutečná velikost rovnoměrné složky teploty byla nižší, než jaký je průměr změřených hodnot. Ohřáté byly pouze plochy, na které přímo svítilo slunce, jinak však byla celá konstrukce chladnější, a proto se tolik neprotáhla. Proto jsem stanovil rovnoměrnou složku teploty jako vážený průměr – zohlednil jsem polohu čidel a velikost ploch o jejichž teplotách čidla informují. Průběh takto stanovené rovnoměrné složky ukazuje graf 17.

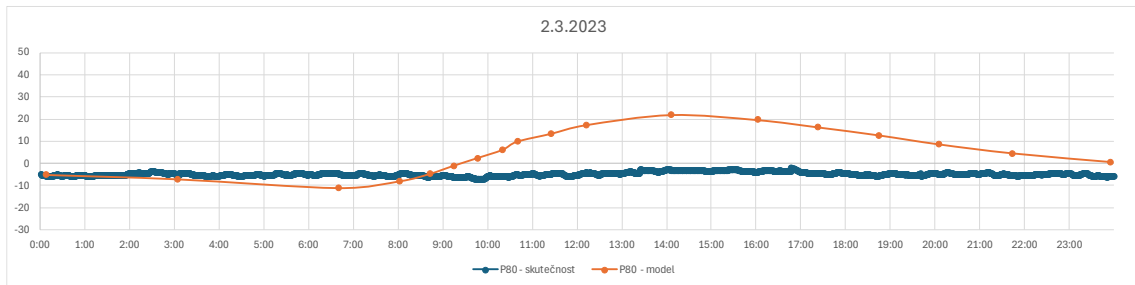


Graf 17 Průběh teplot změřených na čidlech AP117 + rovnoměrná složka stanovená jako vážený průměr – 2.3.2023.

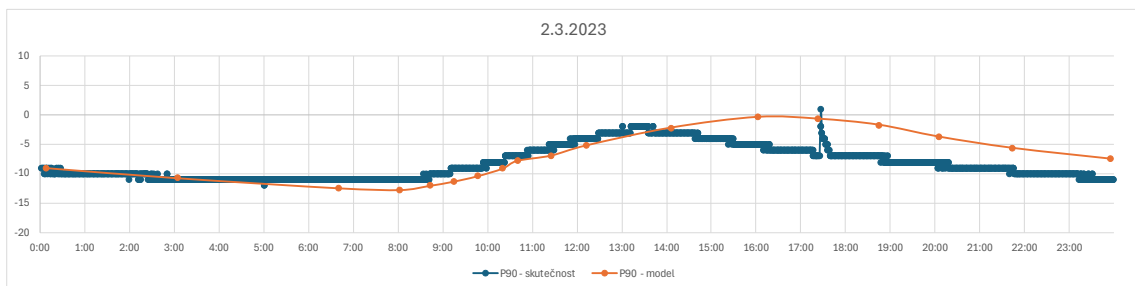
Model mostu jsem dále stejným postupem, jako v předchozím kroku, zatížil takto stanovenou rovnoměrnou i nerovnoměrnou složkou teploty. Vypočtené hodnoty odklonů pilířů v porovnání se skutečnými změřenými odklony ukazují grafy 18-20.



Graf 18 Odklon pilíře 70 2.3.2023 – porovnání skutečně změřených odklonů a odklonů vypočítaných na modelu – rovnoměrná složka teploty stanovena jako vážený průměr.



Graf 19 Odklon pilíře 80 2.3.2023 – porovnání skutečně změřených odklonů a odklonů vypočítaných na modelu – rovnoměrná složka teploty stanovena jako vážený průměr.



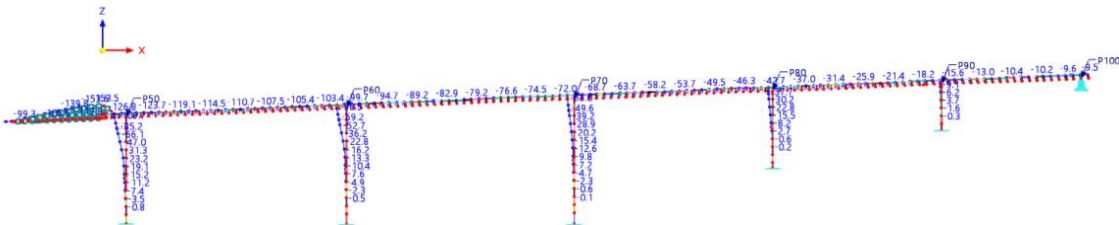
Graf 20 Odklon pilíře 90 2.3.2023 – porovnání skutečně změřených odklonů a odklonů vypočítaných na modelu – rovnoměrná složka teploty stanovena jako vážený průměr.

Z porovnání těchto grafů s předchozími je patrné, že při uvažování rovnoměrné složky teploty jako vážený průměr je shoda předpokladu modelu s realitou větší. Maximální rozdíl mezi modelem a realitou činí přibližně 30mm. Tento rozdíl je způsoben tím, že je v modelu pilíř s ocelovou konstrukcí spojen pevným kloubem. Pilíř je proto odkláněn o stejnou hodnotu, jako se posune ocelová konstrukce. Ve skutečnosti může však konstrukce po kluzných deskách na výsuvných stolicích dilatovat. Také je možné, že se ocelová konstrukce rovnoměrně o tolik neohýbala, a tudíž ani neprotáhla. Data o teplotě byla snímána pouze v jednom průřezu, nelze tak zpětně prokazatelně určit, zda byla stanovena rovnoměrná složka v celé délce stejná.

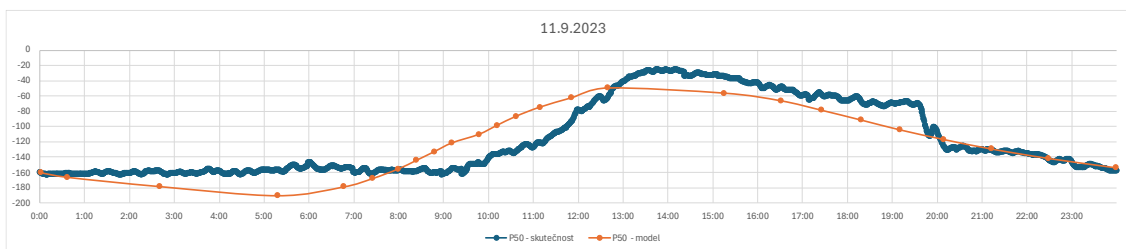
7.3 Vypočítané hodnoty odklonů – letní den

Postup stanovení velikosti odklonů pilířů v průběhu dne i vytvoření srovnávacích grafů jsem provedl stejně, jako při vyhodnocování jarního dne.

Příklad výstupu z programu ukazuje obrázek níže. Konstrukce je namodelována ve stavu, v jakém se nacházela 11.9.2023, tudíž je výsuvný nos za pilířem 50.

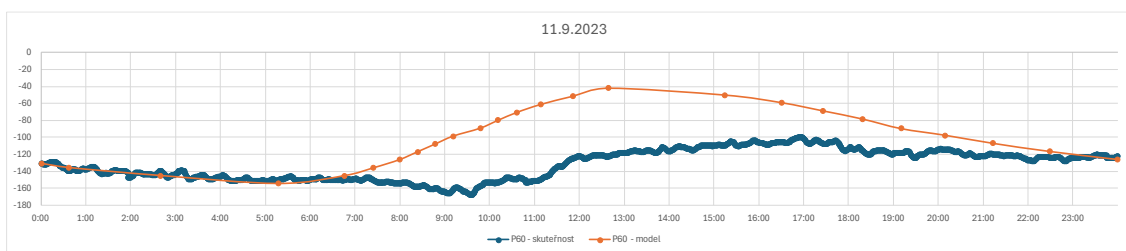


Obr.17 Vypočtené hodnoty vodorovných posuvů od teplotního zatížení v čase 10:10.



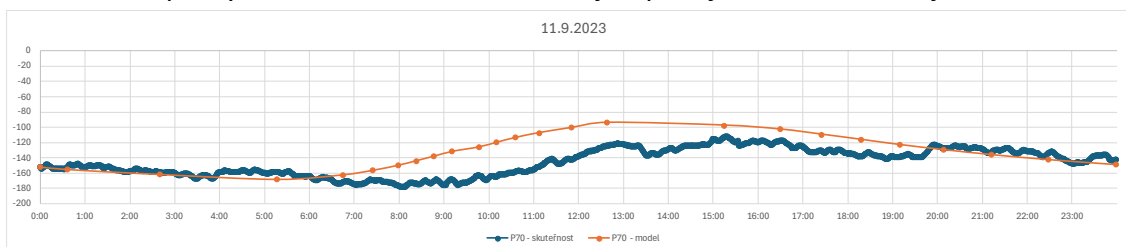
Graf 21 Odklon pilíře 50 11.9.2023 – porovnání skutečně změřených odklonů a odklonů vypočítaných na modelu.

Z grafu odklonů pilíře 50 je patrné, že jeho skutečné chování přibližně odpovídá předpokladu z modelu. Spojení pilíře a nosné konstrukce se chová po většinu dne podobně jako pevný kloub. Z průběhů lze také usoudit, že stanovené velikosti rovnoměrné složky teploty souhlasí se skutečnými velikostmi. Ve skutečnosti však narůstala velikost této složky pomaleji – delší dobu trvalo, než se celá konstrukce prohýala. Tato skutečnost je vidět i na všech ostatních grafech níže. Na grafu je také u skutečného průběhu odklonů patrná prudší změna hodnoty odklonu okolo 19:30. Tato změna ukazuje na to, že mezi ocelovou konstrukcí a pilířem došlo k prokluzu bylo překonáno tření mezi nerezovým plechem na výsuvné stoličce a kluznými deskami.



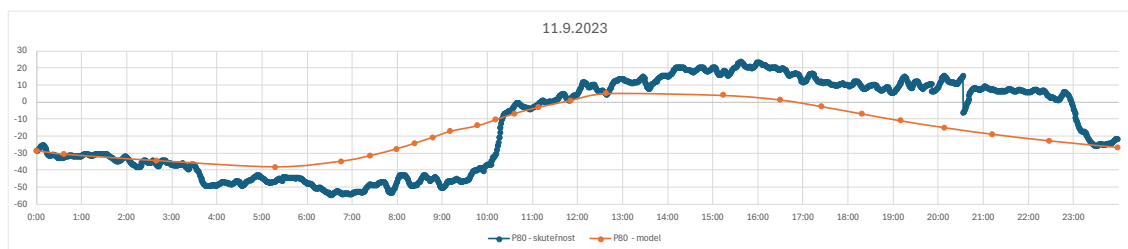
Graf 22 Odklon pilíře 60 11.9.2023 – porovnání skutečně změřených odklonů a odklonů vypočítaných na modelu.

Na grafu odklonů pilíře 60 je vidět téměř shodné chování předpokladu a skutečnosti v ranních hodinách. Následně se však pilíř neodklonil o tolik, jak předpokládá model. Z toho lze usuzovat, že nosná konstrukce po výsuvné stolici dilatovala – na rozdíl od předchozího grafu pilíře 50. Oproti němu zde tudíž bylo nižší tření. Neustálým pohybem kluzných desek po výsuvné stolici se mazivo vytlačuje pryč, a tak postupem času roste tření. Jelikož je pilíř 50 více vzdálen od pevného uložení konstrukce, dochází na něm k větším pohybům ocelové konstrukce než na pilíři 60. Proto lze předpokládat, že na pilíři 50 je mazivo dříve vytlačeno, a proto se pilíř pohybuje spolu s ocelovou konstrukcí, zatímco na 60 konstrukce po výsuvné stolici klouže volněji a pilíř je tak odkláněn jen částečně.



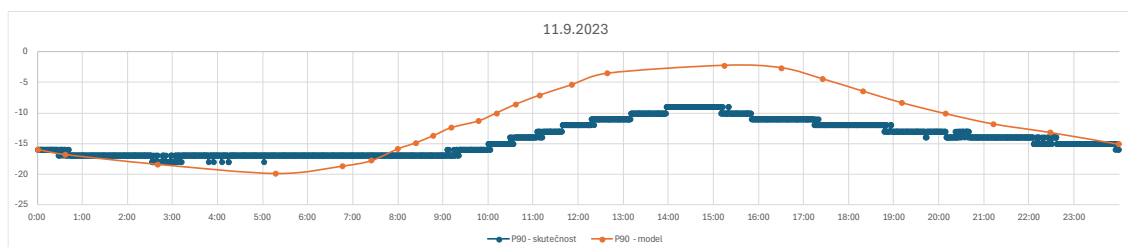
Graf 23 Odklon pilíře 70 11.9.2023 – porovnání skutečně změřených odklonů a odklonů vypočítaných na modelu.

Podobný průběh předpokládaného a skutečného chování pilířů je vidět i u pilíře 70. V ranních a večerních hodinách je průběh téměř shodný. Přes den se ve skutečnosti pilíř neodchýlil o tolik, jak by se odchýlil, kdyby byl k nosné konstrukci připevněn pevným kloubem, což je způsobené poměrně nízkým třením. Chování je tedy podobné jako u předchozího pilíře 60.



Graf 24 Odklon pilíře 80 11.9.2023 – porovnání skutečně změřených odklonů a odklonů vypočítaných na modelu.

U grafu odklonů na pilíři 80 je patrná podobnost chování předpokladu a ve skutečnosti. Jsou zde ale vidět prudší změny hodnot, mezi 10:00 a 10:30 a pak v noci mezi 23:00 a 23:30. Ty jsou způsobeny prokluzy – bylo překonáno tření mezi nerezovým plechem na výsuvné stoličce a kluznými deskami. U ostatních pilířů tyto prokluzy nejsou patrné. To je pravděpodobně způsobené větším součinitelem tření u tohoto pilíře, pilíř se nejprve odklání spolu s posouvající se ocelovou konstrukcí, následně dojde k jeho maximálnímu odklonu, nebo přijde vnější impuls (například od větru) a pilíř proklouzne. Toto vyšší tření může být způsobené například vytlačení maziva případně poškozením některé z kluzných desek.

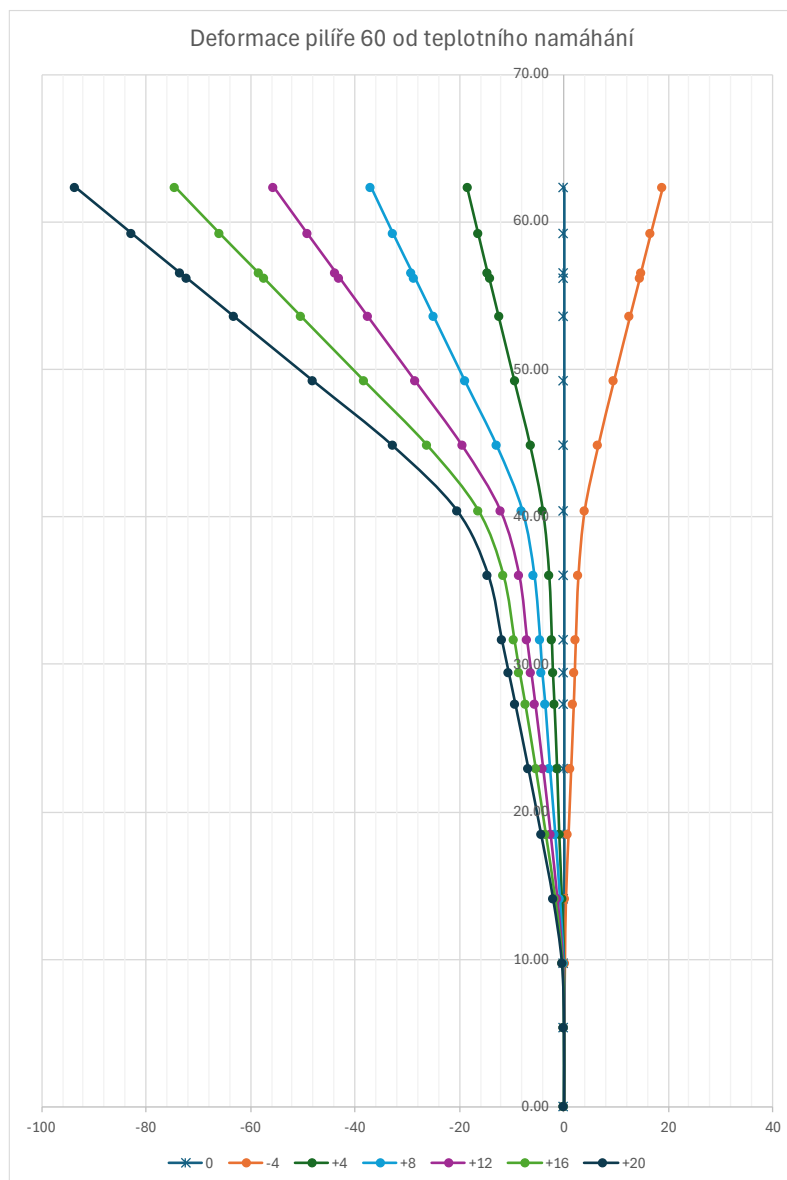


Graf 25 Odklon pilíře 90 11.9.2023 – porovnání skutečně změřených odklonů a odklonů vypočítaných na modelu.

Podobný průběh předpokládaného a skutečného chování pilířů je i u pilíře 90. V ranních a večerních hodinách jsou hodnoty odklonů téměř shodné. Přes den se ve skutečnosti pilíř neodchýlil o tolik, jak by se odchýlil, kdyby byl k nosné konstrukci připevněn pevným kloubem, což je způsobené tuhostí pilíře a nízkým třením. Pilíř 90 je nejnižší, a proto také nejtužší.

7.3.1 Analýza deformace pilíře po jeho délce

Na pilíři 60 jsem detailněji prozkoumal jeho deformaci od teplotního namáhání. Vývoj jeho deformace ukazuje graf níže.



Graf 26 Deformace pilíře 60 v celé jeho výšce od teplotního namáhání.

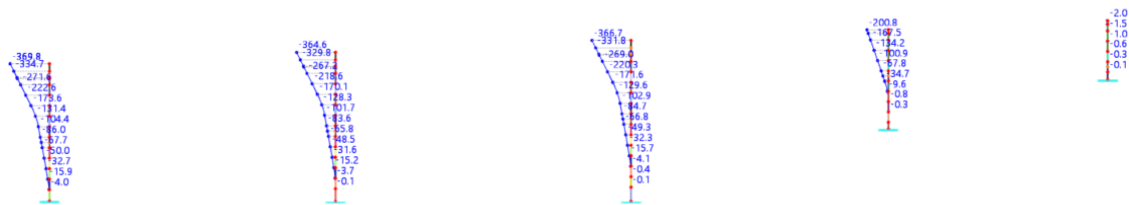
Na svislé ose je výška pilíře v metrech, na vodorovné pak deformace pilíře ve směru osy X v milimetrech. Vykreslené průběhy odklonu střednice pilíře odpovídají změně rovnoměrné složky teploty, působící na ocelovou nosnou konstrukci, o 4°C.

Z grafu je patrná výrazná změna směrnice deformované střednice pilíře ve vzdálenosti přibližně 20m od hlavy pilíře. Tato vzdálenost odpovídá

oblasti, kde je průřez pilíře nejužší. V tomto místě je tudíž také nejnáchylnější k ohýbání. Stejně se chovají i ostatní vysoké pilíře.

7.4 Porovnání ohybové tuhosti pilířů

Na pilíře 50-90 byly nanесeny stejné vodorovné i svislé síly (v obou směrech 100kN) a program vypočítal odklon jejich střednice. Výstup z programu na obrázku níže potvrzuje původní předpoklad, že pilíř 90 je výrazně tužší než ostatní pilíře. Velmi podobná je ohybová tuhost u pilířů 50-70. O něco vyšší je u pilíře 80, ale i zde je výrazně nižší než u pilíře 90. To potvrzuje, že po pilíři 90 ocelová konstrukce klouže a její pohyby ho neohýbají tolik, jako jiné pilíře.



Obr. 18 Vypočtené odklony pilířů od stejného zatížení.

7.5 Celkové vyhodnocení rozdílů mezi skutečnými a vypočítanými hodnotami odklonů pilířů

Celkově lze považovat předpoklad připojení ocelové konstrukce k pilířům pomocí pevných kloubů jako odpovídající pro představu, jak budou pilíře od teplotních změn namáhány, a tudíž odkláněny. Rozdíly mezi skutečným a vypočtenými hodnotami odklonů jsou v brzkých ranních a pozdních večerních hodinách velmi malé, přes den se pak liší podle konkrétního pilíře. Záleží na jeho tuhosti, stavu kluzných desek a maziva nebo jaký je průběh nadvýšení ocelové konstrukce v místě uložení. Samotné pilíře jsou pak také nerovnoměrně ohřívány a mohou se proto odklánět.

Jelikož jsou mezi výsuvnou stolicí a ocelovou nosnou konstrukcí umístěny kluzné desky s velmi malým třením, nedochází k příliš velkým a prudkým prokluzům. Skutečné změřené hodnoty odklonů jsou v porovnání s vypočítanými hodnotami z modelu většinou nižší, nebo stejné. Pouze v ojedinělých případech je skutečný odklon vyšší. Tento rozdíl činí maximálně 40mm a je způsoben pravděpodobně tím, že skutečný průběh rovnoměrné složky teploty byl jiný než předpoklad – konstrukce zůstala ohřátá delší dobu díky tepelné setrvačnosti.

Na skutečné průběhy odklonů pilířů má vliv mnoho faktorů. Samotné pilíře jsou nerovnoměrně ohřívány, kluzné elementy mají různé součinitele tření dle množství maziva a stavu desek. Dále odklony ovlivňuje i průběh nadvýšení ocelové konstrukce nebo vítr. Proto není možné s dostupnými daty vytvořit výpočtový model, který by přesně kopíroval vlastnosti skutečného mostu.

Prutový model, vytvořený v rámci bakalářské práce, však podává dostatečně přesné informace pro zjištění namáhání a deformací konstrukce vlivem teplotního zatížení.

8 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo analyzovat změřená data o skutečném teplotním namáhání mostu Gottleubatalbrücke během jeho výstavby a porovnat tato data s hodnotami stanovenými podle platných norem. První část práce se zabývá seznámením se sledovaným mostem a přístupem norem, stanovením hodnot teplotního namáhání podle nich. Tato část se nachází v kapitolách 2-4. V následující kapitole se nachází analýza změřených teplot na ocelové nosné konstrukci mostu a je zde vyhodnoceno, zda tyto teploty odpovídají předpokladům normy. Kapitola 6 se zabývá chováním železobetonových pilířů od zatížení teplotou ve vybraných dnech. V 7 kapitole je pak popsána tvorba prutového modelu mostu v programu RFEM 6 a porovnání chování konstrukce od teplotního namáhání se skutečně změřenými hodnotami.

Z výsledků analýzy teplot, které během výstavby působily na sledovaný most, je patrné, že hodnoty stanovené dle normy ČSN EN 1991-1-5 [1] nepodchycují všechny případy, které na konstrukci nastaly. Hodnoty, které převyšují předpoklad stanovený normou, vznikají při oslunění části ocelového komorového nosníku, což způsobí velkou nerovnoměrnou složku teploty ve svislém i vodorovném směru. Vysoká hodnota této složky je způsobena tmavou barvou nosné konstrukce.

Z porovnání chování konstrukce mostu od teplotního namáhání ve skutečnosti a ve vytvořeném modelu je patrná podobnost v průběhu odklonů pilířů. Na reálné chování konstrukce má vliv mnoho faktorů, které statický model nedokáže přesně podchytit. I tak ale podává dostatečné informace o možném namáhání konstrukce od teplotního zatížení.

Citace

- [1] ČSN EN 1991-1-5 (73 0035): *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou*, Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [2] ČSN EN 1991-1-6 (73 0035): *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-6: Obecná zatížení – Zatížení během provádění*, Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [3] P. doc. Ing. Marek Foglar, „Případová studie - Postup výstavby mostu Gottleubatalbrücke (B172n Pirna, SRN),“ 2020. [Online]. Available: https://concrete.fsv.cvut.cz/projekty/pdf/2020/133BK02_pripadova_studie-postup_vystavby_mostu.pdf.
- [4] P. doc. Ing. Marek Foglar, „WINNING BY A NOSE,“ *Bridge Design&Engineering*, č. 112, pp. 46-47, 2023.
- [5] B. T. GmbH, „BEMO Tunnelling GmbH - Gottleubatalbrücke,“ [Online]. Available: <https://www.bemo.net/projekte/gottleubatalbruecke>.
- [6] ČSN EN 1990 ed. 2 (73 0002): *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí.*, Praha: Český normalizační institut, 2021.
- [7] E.-I. GmbH, „EZI Gottleubatalbrücke Monitoringsystem,“ [Online]. Available: <http://ezi-monitoring.dyndns.org:9609/uebersicht.php>.
- [8] „Dohledové centrum,“ [Online]. Available: <https://portal.alimex.cz/>.

Seznam obrázků

Obr. 1 Vizualizace mostu. [5]	11
Obr. 2 Podélný řez mostu. [5].....	11
Obr. 3 Fotografie z realizace – stav před nájezdem konstrukce na pilíř 50. [5]....	11
Obr. 4 Rozdílové složky teploty dle ČSN EN 1991-1-5 [1]	12
Obr. 5 Mapa izoterm maximálních a minimálních teplot vzduchu ve stínu. [1] ...	14
Obr. 6 Vztah mezi minimální/maximální teplotou vzduchu ve stínu (T_{\min}/T_{\max}) a min./max. rovnoměrnou složkou teploty mostu ($T_{e,\min}/T_{e,\max}$). [1]	15
Obr. 7 Rozdíly teplot pro ocelové nosné konstrukce. [1]	17
Obr. 8 Doporučené hodnoty ΔT pro ocelové nosné konstrukce. [1].....	17
Obr. 9 Doporučené doby návratu pro stanovení charakteristických hodnot klimatických zatížení. [2]	19
Obr. 10 Popis staveništních zatížení. [2]	22
Obr. 11 Rozmístění čidel pro měření teploty na ocelové nosné konstrukci. [7] ...	23
Obr. 12 Zjednodušený průřez ocelové konstrukce.	41
Obr. 13 Průřez pilíře.....	41
Obr. 14 Vymodelovaný výsuvný nos.	41
Obr. 15 Model celé konstrukce ve stavu v září 2023 – výsuvný nos je za pilířem 50.....	42
Obr. 16 Vypočtené hodnoty vodorovných posuvů od teplotního zatížení v čase 12:12.....	43
Obr.17 Vypočtené hodnoty vodorovných posuvů od teplotního zatížení v čase 10:10.....	46
Obr. 18 Vypočtené odklony pilířů od stejného zatížení.	50

Seznam tabulek

Tab. 1 Přehled nejvyšších a nejnižších naměřených měsíčních teplot.	26
Tab. 2 Rozdíly mezi nejvyšší a nejnižší naměřenou měsíční teplotou.	27
Tab. 3 Minimální a maximální denní teploty v březnu 2023, rozdíly těchto teplot.	28
Tab. 4 Minimální a maximální denní teploty v srpnu 2023, rozdíly těchto teplot.	29
Tab. 5 Minimální a maximální denní teploty v září 2023, rozdíly těchto teplot. .	30
Tab. 6 Minimální a maximální denní teploty v říjnu 2023, rozdíly těchto teplot.	31
Tab. 7 Minimální a maximální denní teploty v lednu 2024, rozdíly těchto teplot.	32
Tab. 8 Přehled největších denních rozdílů teplot v měsíci.	34

Seznam grafů

Graf 1 Rozdíly mezi nejvyšší a nejnižší změřenou denní teplotou – březen 2023. U některých dnů hodnoty chybí, došlo pravděpodobně k poruše systému, a tak nebyly teploty změřeny.	33
Graf 2 Rozdíly mezi nejvyšší a nejnižší změřenou denní teplotou – srpen 2023..	33
Graf 3 Rozdíly mezi nejvyšší a nejnižší změřenou denní teplotou – srpen 2023..	33
Graf 4 Rozdíly mezi nejvyšší a nejnižší změřenou denní teplotou – říjen 2023. ..	33
Graf 5 Rozdíly mezi nejvyšší a nejnižší změřenou denní teplotou – leden 2024..	34
Graf 6 Průběh teplot změřených na čidlech AP117 – 2.3.2023.....	34
Graf 7 Průběh teplot změřených na čidlech AP117 – 11.9.2023.....	35
Graf 8 Průběh teplot změřených na čidlech AP336 – 11.9.2023.....	36
Graf 9 Průběh teplot změřených na čidlech AP117 – 28.1.2024.....	37
Graf 10 Průběh teplot změřených na čidlech AP336 – 28.1.2024.....	37
Graf 11 Odklony pilířů 2.3.2023.	39
Graf 12 Odklony pilířů 11.9.2023.	39
Graf 13 Odklony pilířů 27.1.2024.	39
Graf 14 Odklon pilíře 70 2.3.2023 – porovnání skutečně změřených odklonů a odklonů vypočítaných na modelu.	43
Graf 15 Odklon pilíře 80 2.3.2023 – porovnání skutečně změřených odklonů a odklonů vypočítaných na modelu.	43
Graf 16 Odklon pilíře 90 2.3.2023 – porovnání skutečně změřených odklonů a odklonů vypočítaných na modelu.	44
Graf 17 Průběh teplot změřených na čidlech AP117 + rovnoměrná složka stanovená jako vážený průměr – 2.3.2023.	44
Graf 18 Odklon pilíře 70 2.3.2023 – porovnání skutečně změřených odklonů a odklonů vypočítaných na modelu – rovnoměrná složka teploty stanovena jako vážený průměr.....	45
Graf 19 Odklon pilíře 80 2.3.2023 – porovnání skutečně změřených odklonů a odklonů vypočítaných na modelu – rovnoměrná složka teploty stanovena jako vážený průměr.....	45

Graf 20 Odklon pilíře 90 2.3.2023 – porovnání skutečně změřených odklonů a odklonů vypočítaných na modelu – rovnoměrná složka teploty stanovena jako vážený průměr.	45
Graf 21 Odklon pilíře 50 11.9.2023 – porovnání skutečně změřených odklonů a odklonů vypočítaných na modelu.....	46
Graf 22 Odklon pilíře 60 11.9.2023 – porovnání skutečně změřených odklonů a odklonů vypočítaných na modelu.....	47
Graf 23 Odklon pilíře 70 11.9.2023 – porovnání skutečně změřených odklonů a odklonů vypočítaných na modelu.....	47
Graf 24 Odklon pilíře 80 11.9.2023 – porovnání skutečně změřených odklonů a odklonů vypočítaných na modelu.....	48
Graf 25 Odklon pilíře 90 11.9.2023 – porovnání skutečně změřených odklonů a odklonů vypočítaných na modelu.....	48
Graf 26 Deformace pilíře 60 v celé jeho výšce od teplotního namáhání.	49