



# Mechanické napětí v bezstykové koleji

# Obsah

---

- konstrukce koleje
- bezstyková kolej
- metody měření
- výzkum na DFJP
  - měření teploty v hlavě kolejnice
  - měření vlivu gradientu průměrné teploty kolejnice
- shrnutí

# Konstrukce koleje

Železniční svršek

# Železniční svršek

- část trati, která plní nosnou a vodící funkci pro jízdu drážního vozidla
- v klasické konstrukci tvořen:
  - kolejovým ložem
  - pražci
  - kolejnicemi
  - drobným kolejivem a upevňovacími

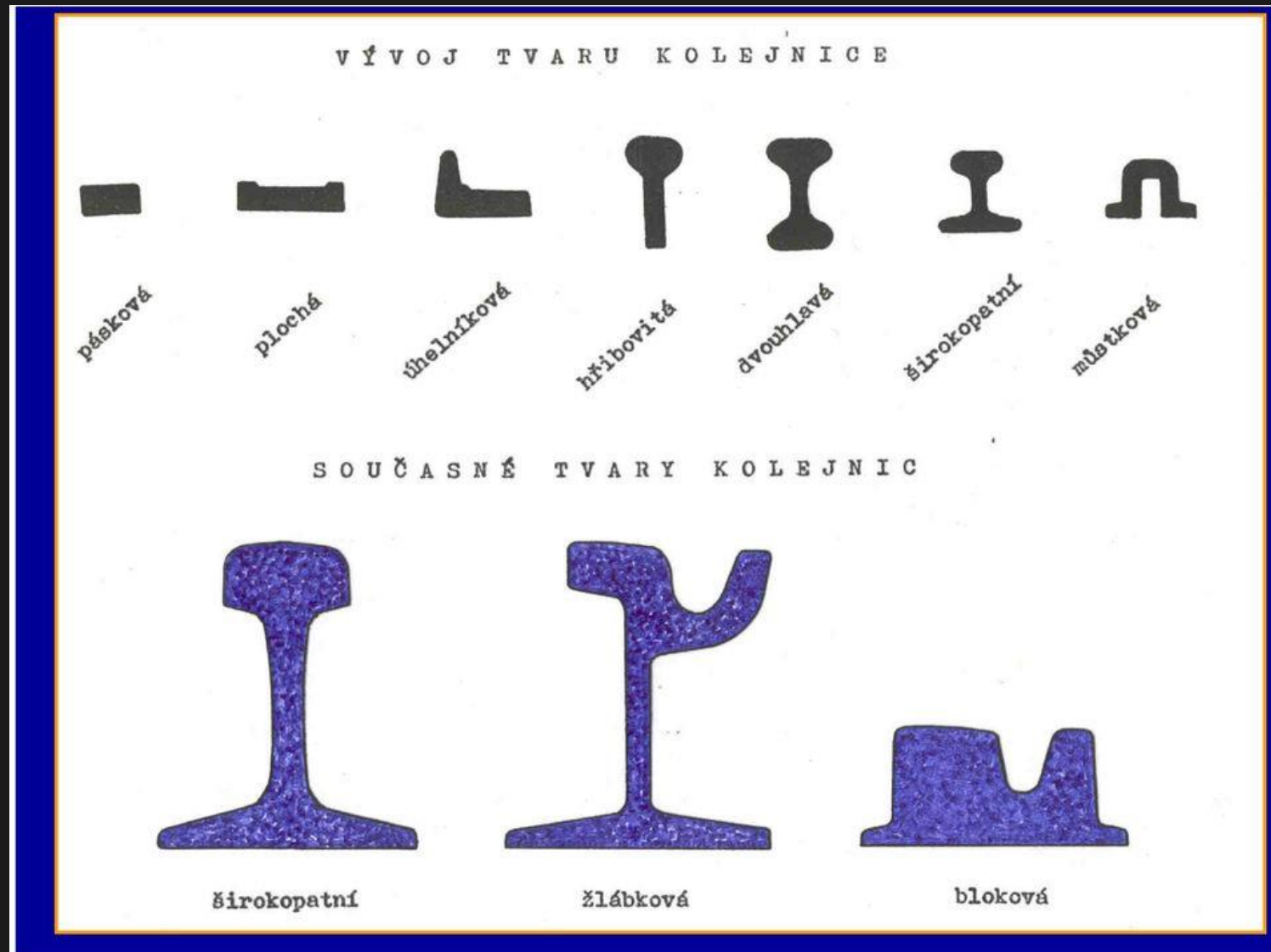
# Železniční svršek



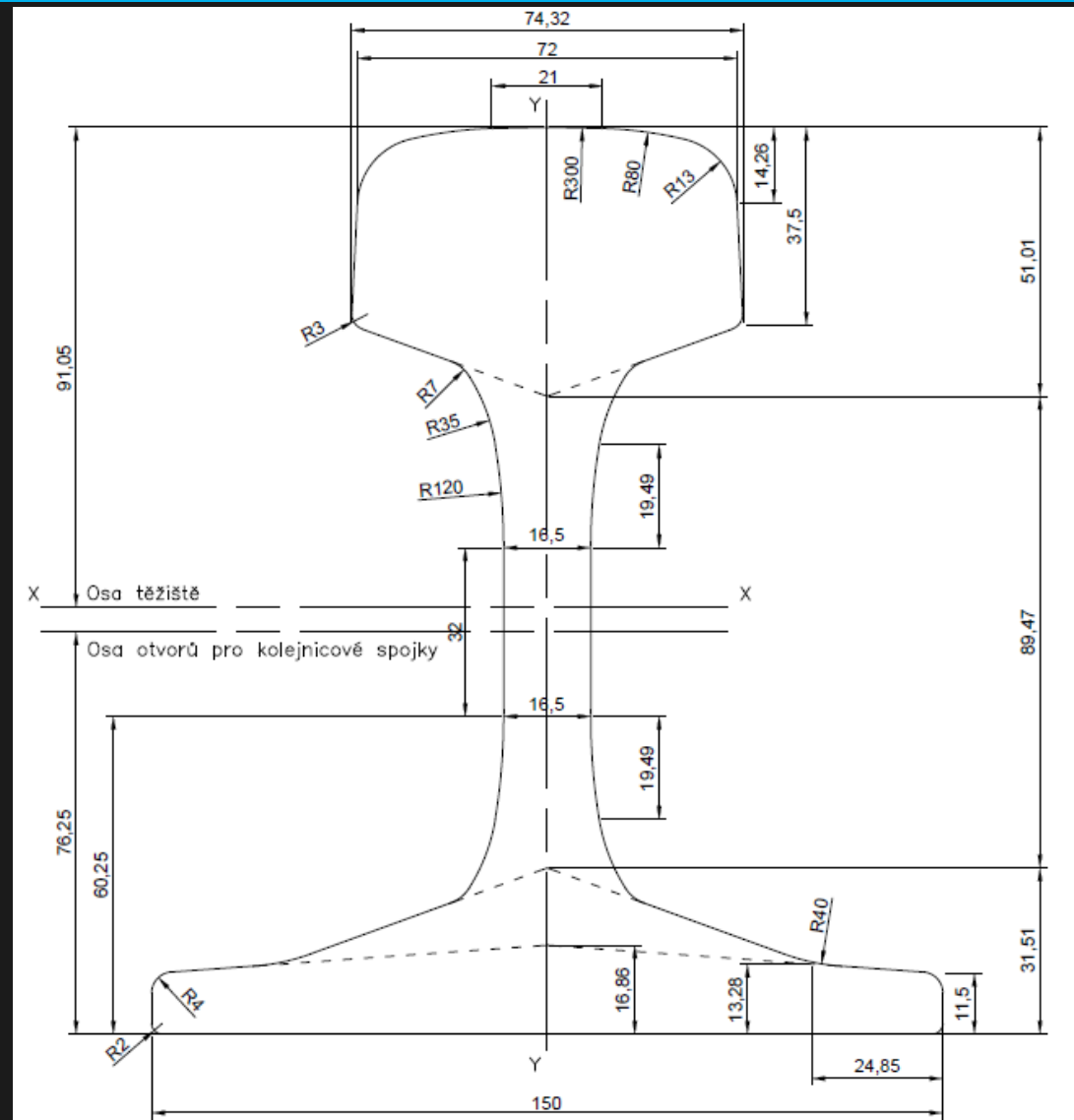
# Funkce kolejnic

- přejímá kolové síly a roznáší je na pražce
- vede dvojkolí v příčném směru, přejímá příčné síly a roznáší je na pražce
- tvoří hladkou jízdní dráhu a pomocí adheze přejímá brzdné a rozjezdové síly
- na elektrifikovaných tratích plní funkci zpětného vedení pro napájení
- je součástí kolejových obvodů pro zabezpečovací zařízení

# Tvary kolejnic



# Rozměry kolejnice





# Délky kolejnic

- 25 m – základní délka
- odlišné délky
  - u přejezdů
  - na mostech
  - v tunelech
  - v přípojných kolejových polích výhybkových konstrukcí
  - a další
- pro bezстыkovou kolej i kolejnice délky 36 a 75 m, pro koridory nevrtané

# Kolejnicové styky

---

- umožňují
  - spojení dvou kolejnic
  - plynulost pojížděné hrany kolejnic
  - dostatečnou únosnost kolejnicového pásu
  - dilataci kolejnic
  - spolehlivou elektrickou vodivost, nebo naopak izolaci

# Kolejnicové styky

elektrovodný styk



lepený izolovaný styk



# Bezstyková kolej

Kolej s vyloučením kolejnicových styků

# Bezstyková kolej

„Kolej s průběžně svařenými a při dovolené upínací teplotě upnutými kolejnicemi v kolejích i výhybkách. Za bezstykovou kolej se považuje kolej s kolejnicemi svařenými v délce 150 m a větší.“

– předpis SŽDC S 3/2



# Bezstyková kolej

## výhody

- odstranění styků – slabých míst v konstrukci kolejového roštu
- snížení hluku
- snížení dynamického namáhání koleje
- eliminace údržbových prací na kolejnicovém styku
  - podle některých zdrojů až 20 % snížení nákladů na údržbu trati

## nevýhody

- vnesení značných osových sil od změny teploty do kolejnic

# Bezstyková kolej

---

- důsledky vnesení osových sil od změny teploty do kolejnic:
- poruchy koleje
  - lomy kolejnic v zimním období
  - vybočení koleje v letním období

# Bezstyková kolej

lom kolejnice



vybočení kolejnice

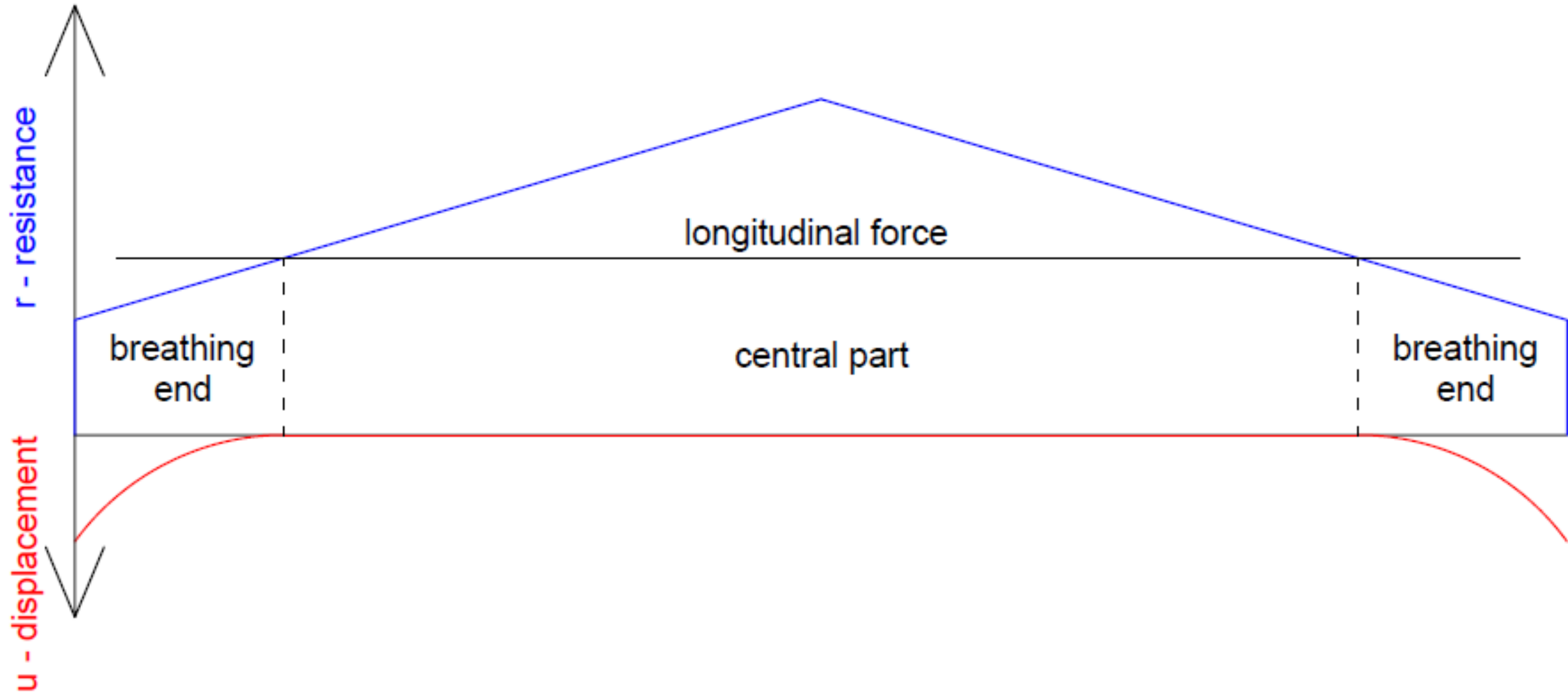




# Bezstyková kolej

- teorie bezstykové koleje
  - dovolená upínací teplota
    - 17 – 23°C – v České republice
  - výpočet osového napětí
    - $\sigma = -\alpha \cdot \Delta t \cdot E$
    - např. pro  $\Delta t = 53^\circ\text{C}$  vychází  $\sigma = 133,56 \text{ MPa}$
  - průběh osového napětí

# Bezstyková kolej



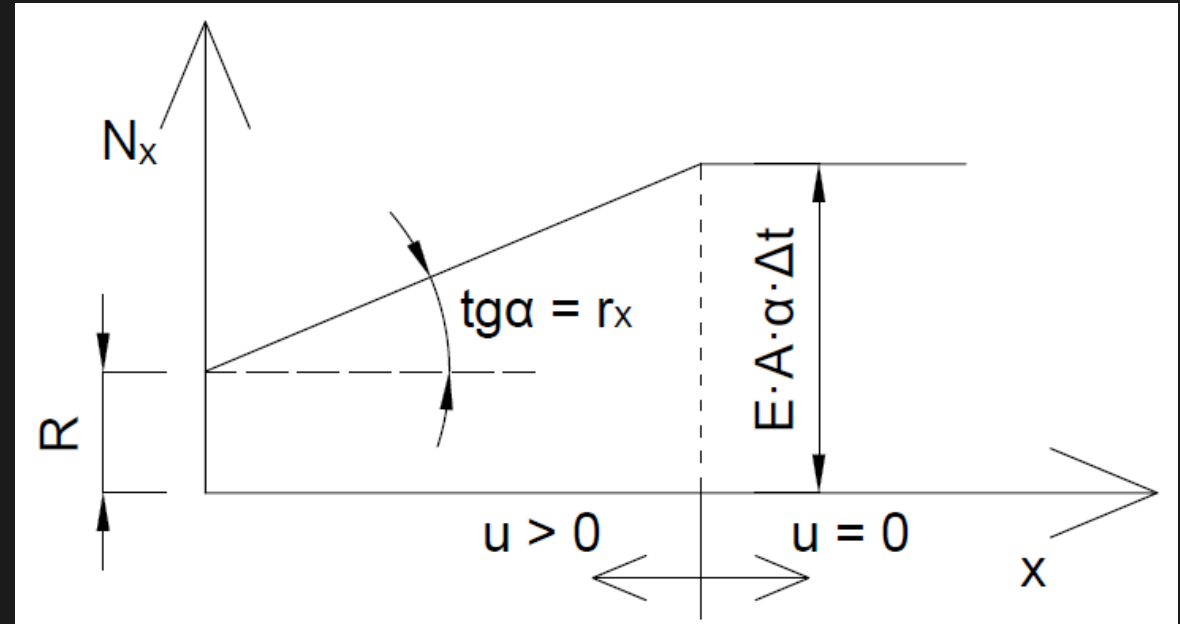
# Bezstyková kolej

$$N_x = R + r_x \cdot x$$

$$\frac{d^2 u}{dx^2} = \frac{r_x}{E \cdot A}$$

$$u = \iint \frac{r_x}{E \cdot A}$$

$$u = \left[ \frac{r_x}{2 \cdot E \cdot A} \cdot x^2 \right]_{l_{be}}^x = \frac{r_x}{2 \cdot E \cdot A} \cdot (x - l_{be})^2$$



# Bezstyková kolej

## upínací teplota

- teplota, při níž jsou v konstrukci koleje provedeny závěrné svary (bezstyková kolej je upnuta)
- v ČR 17 – 23°C
- v Německu 20 – 26°C
- ve Francii 20 – 30°C
- v USA 100 – 110°F (38 – 43°C)
- v Kanadě 90°F (32°C)

## neutrální teplota

- teplota při níž je v konstrukci koleje nulové osově napětí od teploty
- vzápětí po provedení závěrných svarů se rovná upínací teplotě, se vzrůstajícím časem se liší

# Bezstyková kolej

- faktory, které mohou ovlivňovat změnu neutrální teploty:
  - údržba
  - odstraňování závad
  - špatný stav upevnění
  - gradient průměrné teploty kolejnice
  - převažující nedostatek převýšení oblouku
  - použití pražcových kotev
  - převažující jednostranný směr tangenciálních sil na rozhraní kolo-kolejnice
  - a další

# Metody měření

Přehled nedestruktivních metod používaných v ČR i ve světě

# Metody měření

---

- destruktivní metody
  - rozřez kolejnice a uvolnění deformace
- nedestruktivní metody
  - deformační metody
  - metody založené na příčném posunu kolejnice
  - akustoelastické metody
  - magnetoelastické metody

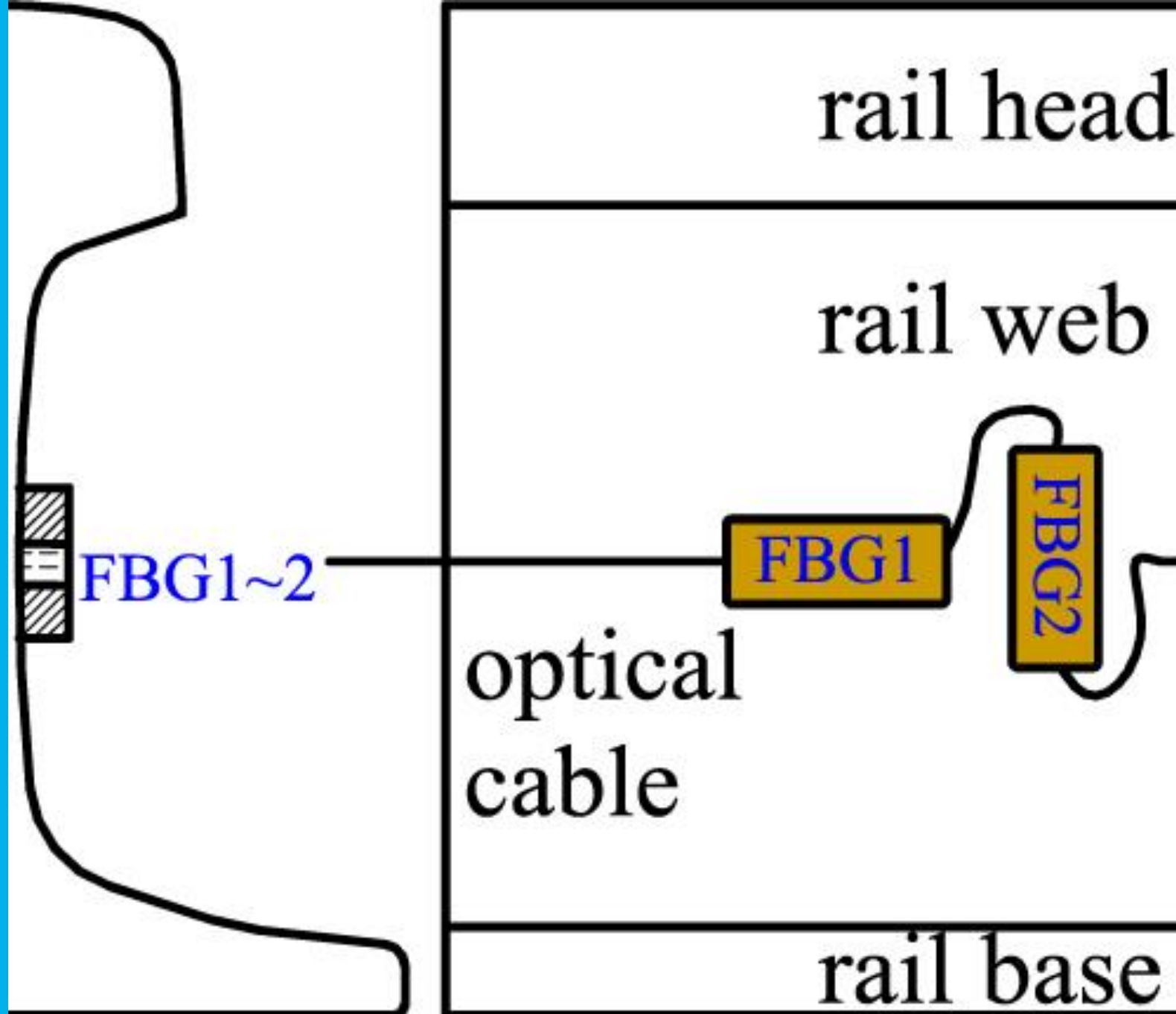
# Deformační metody

Extensometr



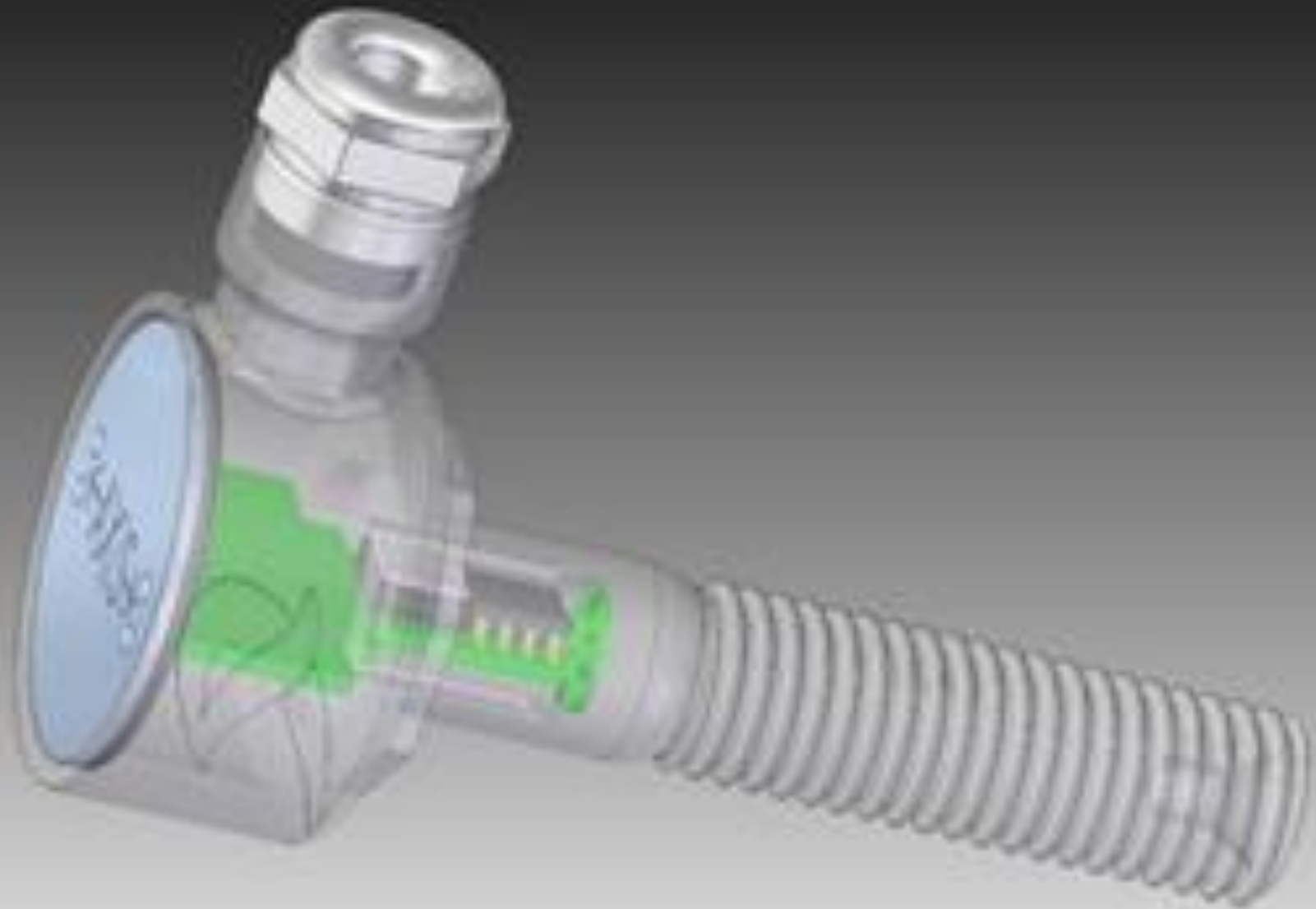


# Deformační metody



Dvousměrný FBG sensor

# Deformační metody



VORTOK Measure and Detect

Metody založené na  
příčném posunu  
kolejnice



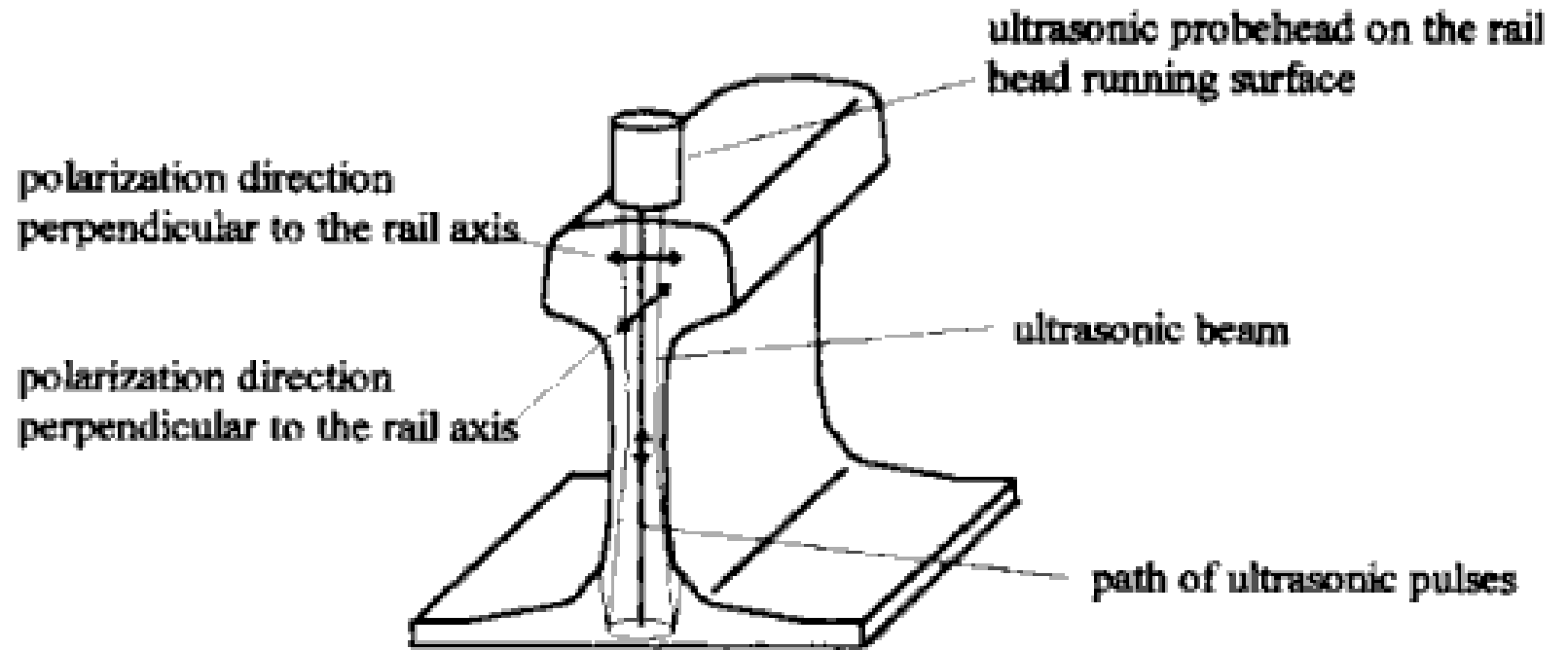
VERSE

# Metody založené na příčném posunu kolejnice

Použití automatické strojní  
podbíječky

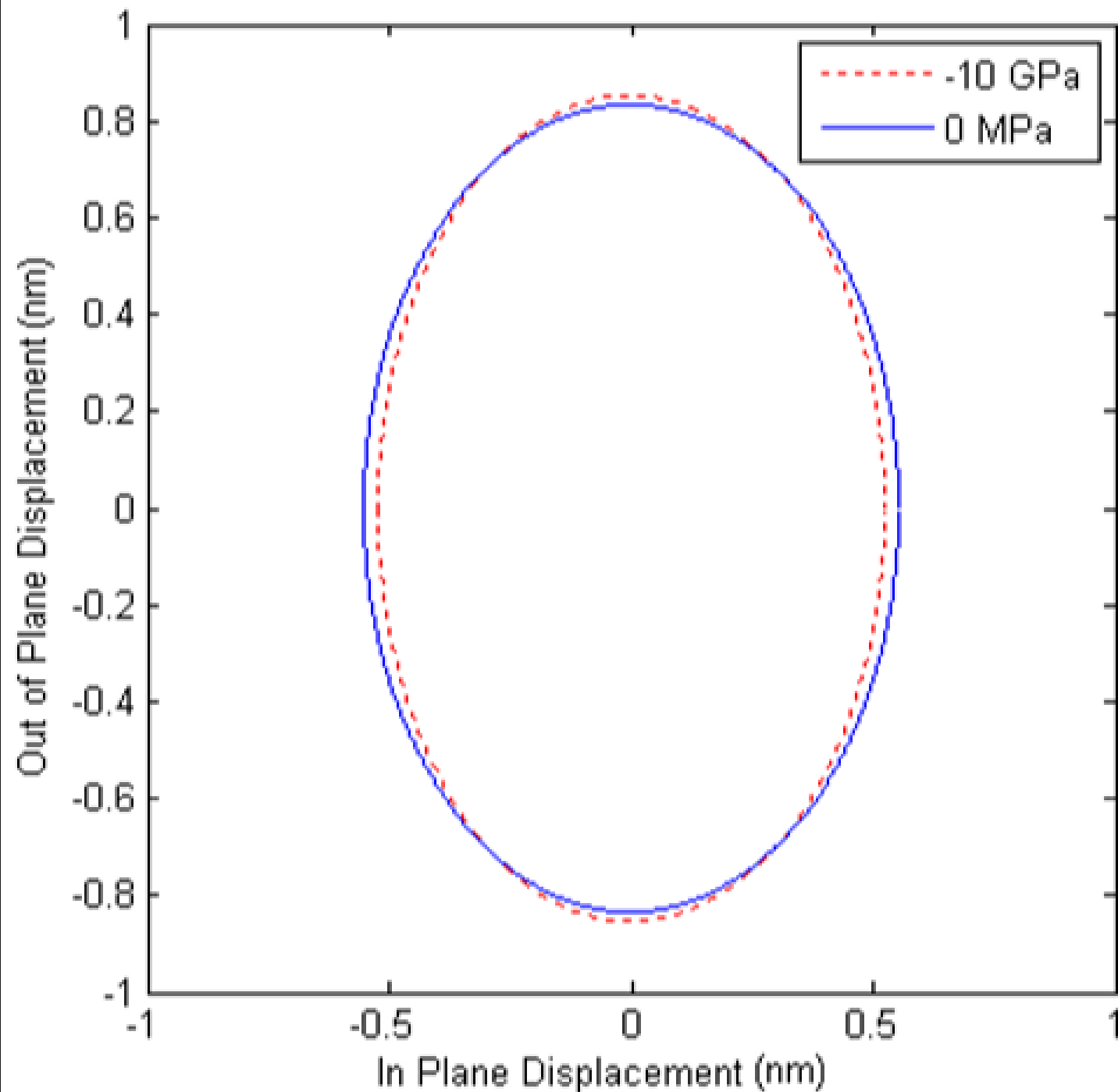


# Akustoelastické metody



# Akustoelastické metody

Měření polarizace Rayleighových povrchových vln



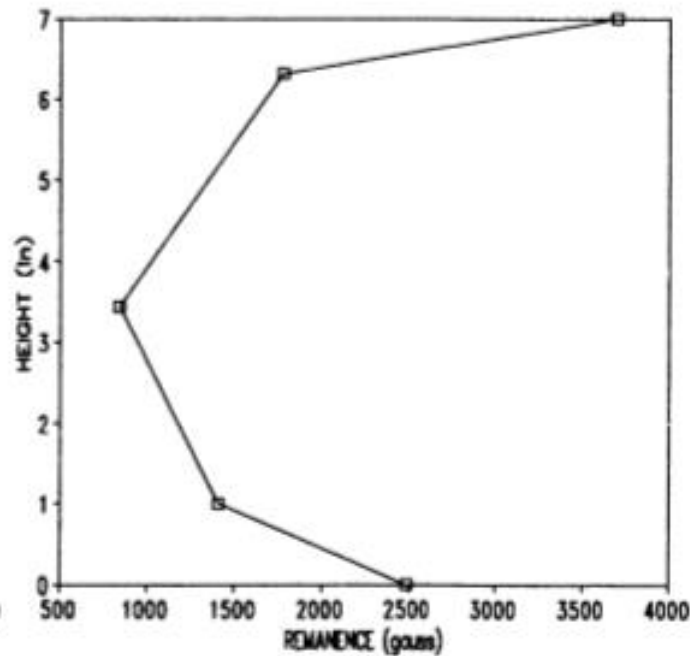
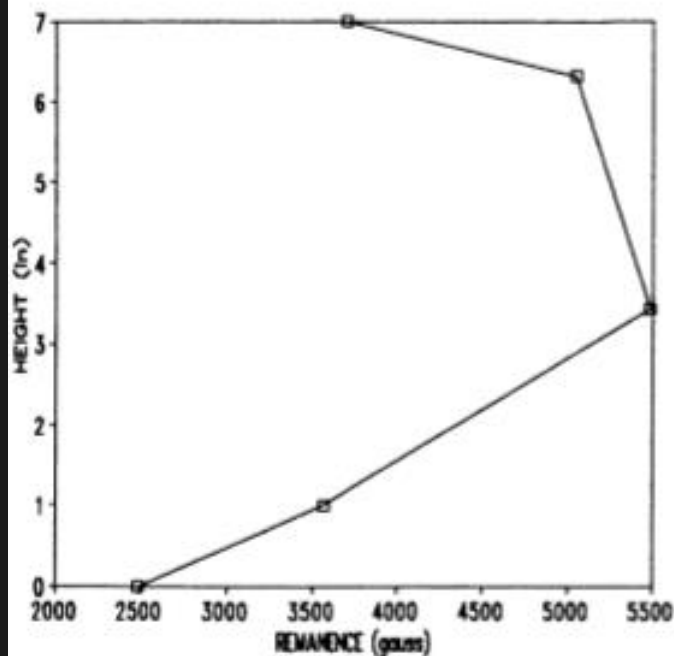
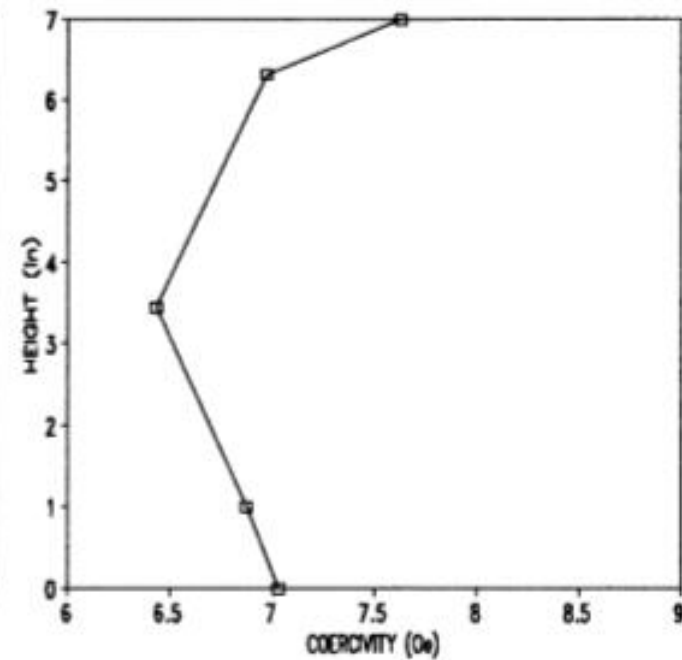
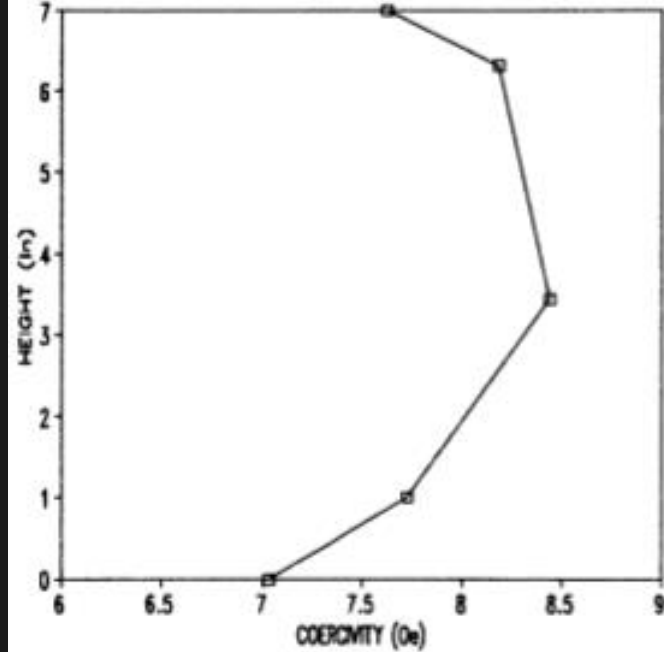
# Akustoelastické metody

Měření vibrací



# Magnetoelastické metody

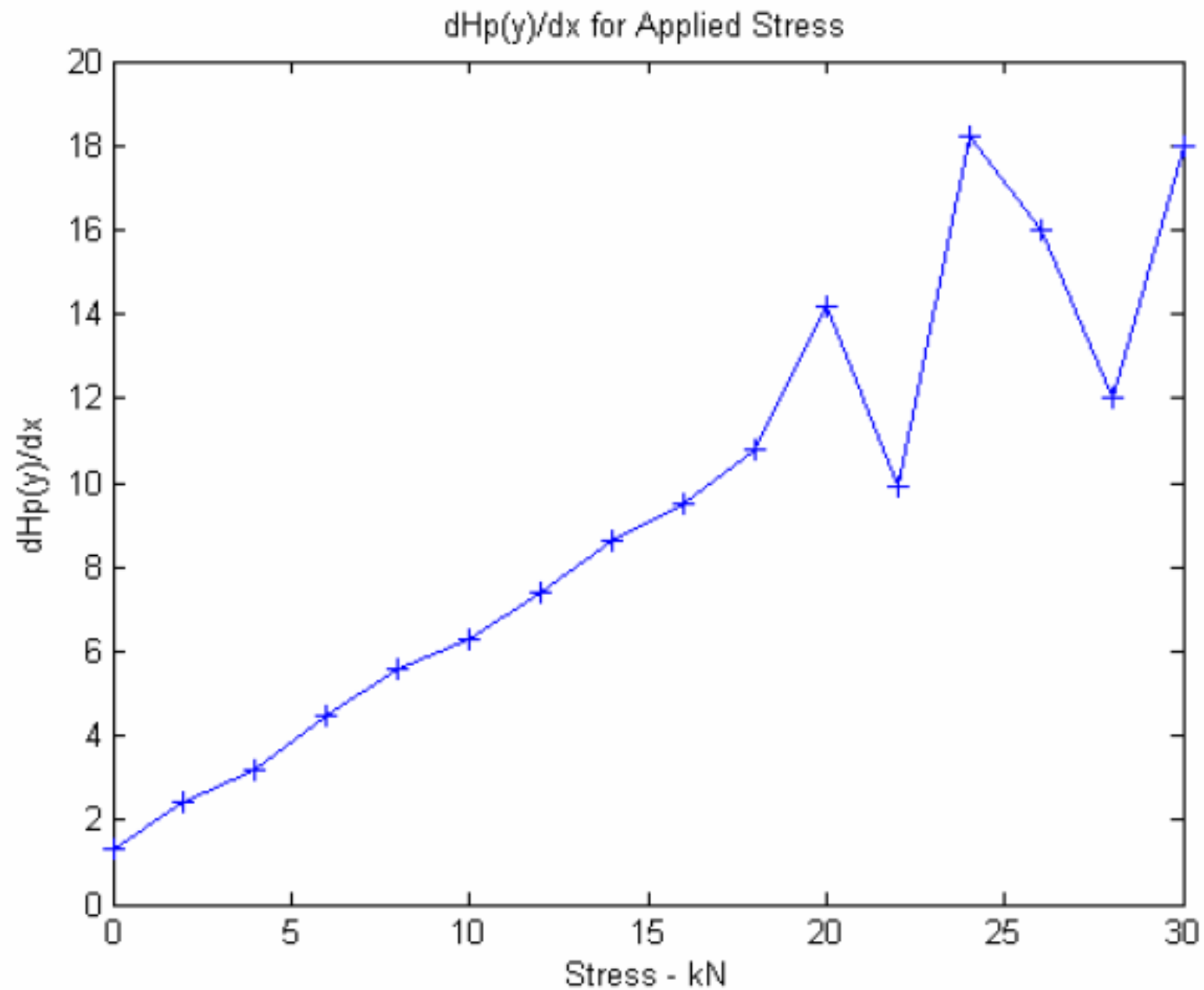
Měření magnetické hysterese





# Magnetoelastické metody

Metal Magnetic Memory



# Výzkum na DFJP

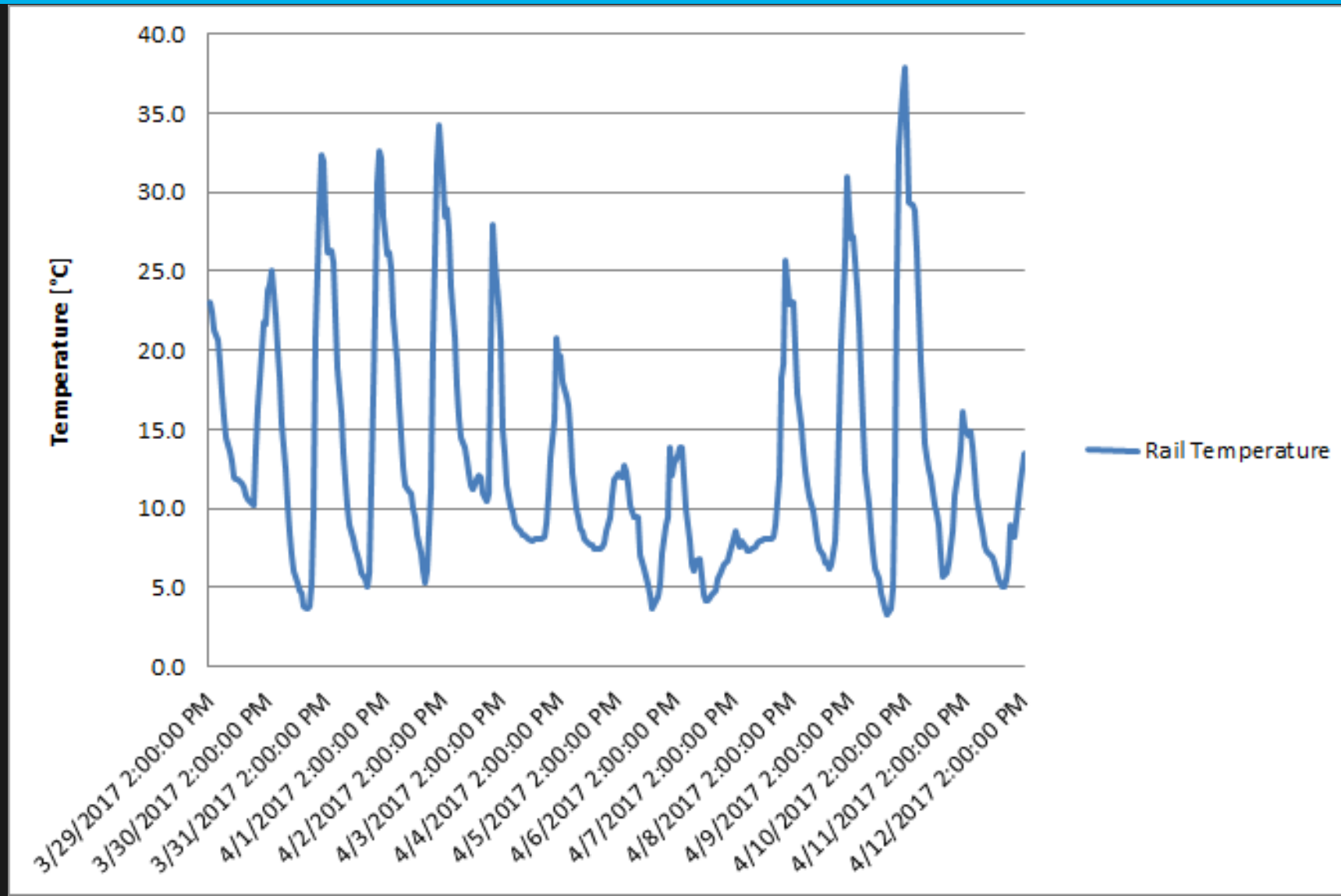
Měření teploty v hlavě kolejnice a vliv gradientu průměrné teploty kolejnice

# Měření teploty v hlavě kolejnice

- pořízen vzorek kolejnice 60E2, délky 1,2 m
- do středu hlavy kolejnice vyvrtán otvor o hloubce 0,4 m
- do otvoru zavedena sonda Pt1000
- sonda připojena na data-logger Comet Systém S0121
- záznam dat 1x za hodinu od 29. března 2017

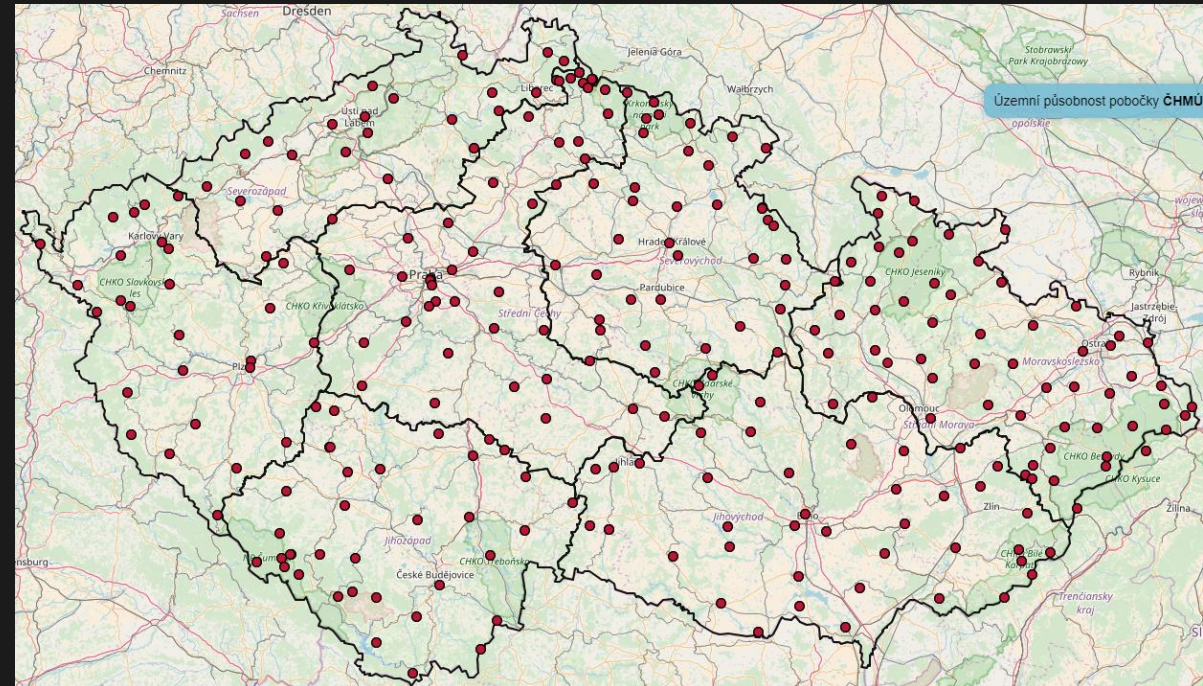


# Měření teploty v hlavě kolejnice



# Měření teploty v hlavě kolejnice

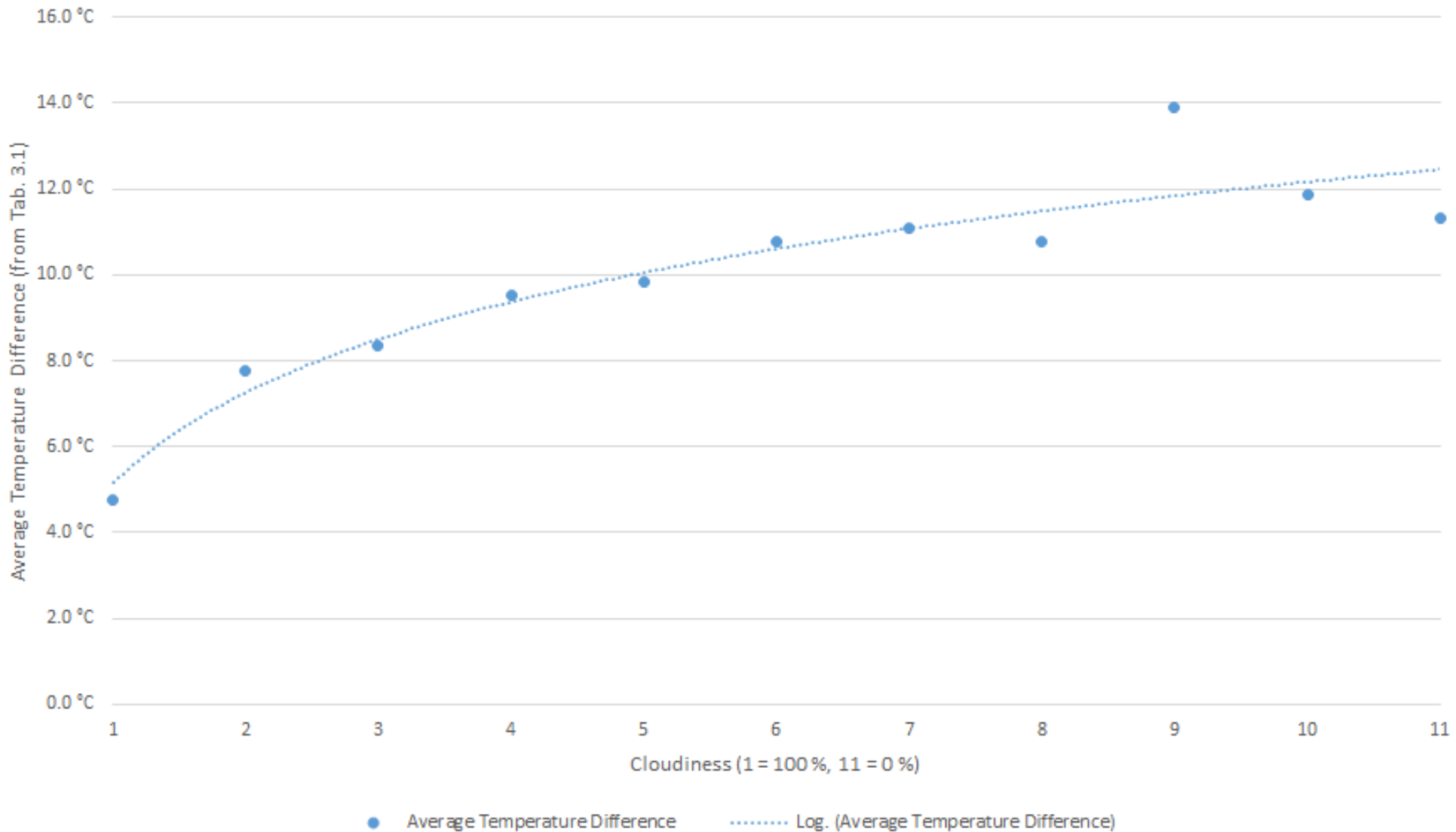
- získána data z ČHMÚ
  - teplota vzduchu z měřicí stanice H3PARD01 v hodinových intervalech od 1. dubna 2017 do 31. března 2018
  - desetiny oblačnosti ve standardních meteorologických termínech 7, 14 a 21 h



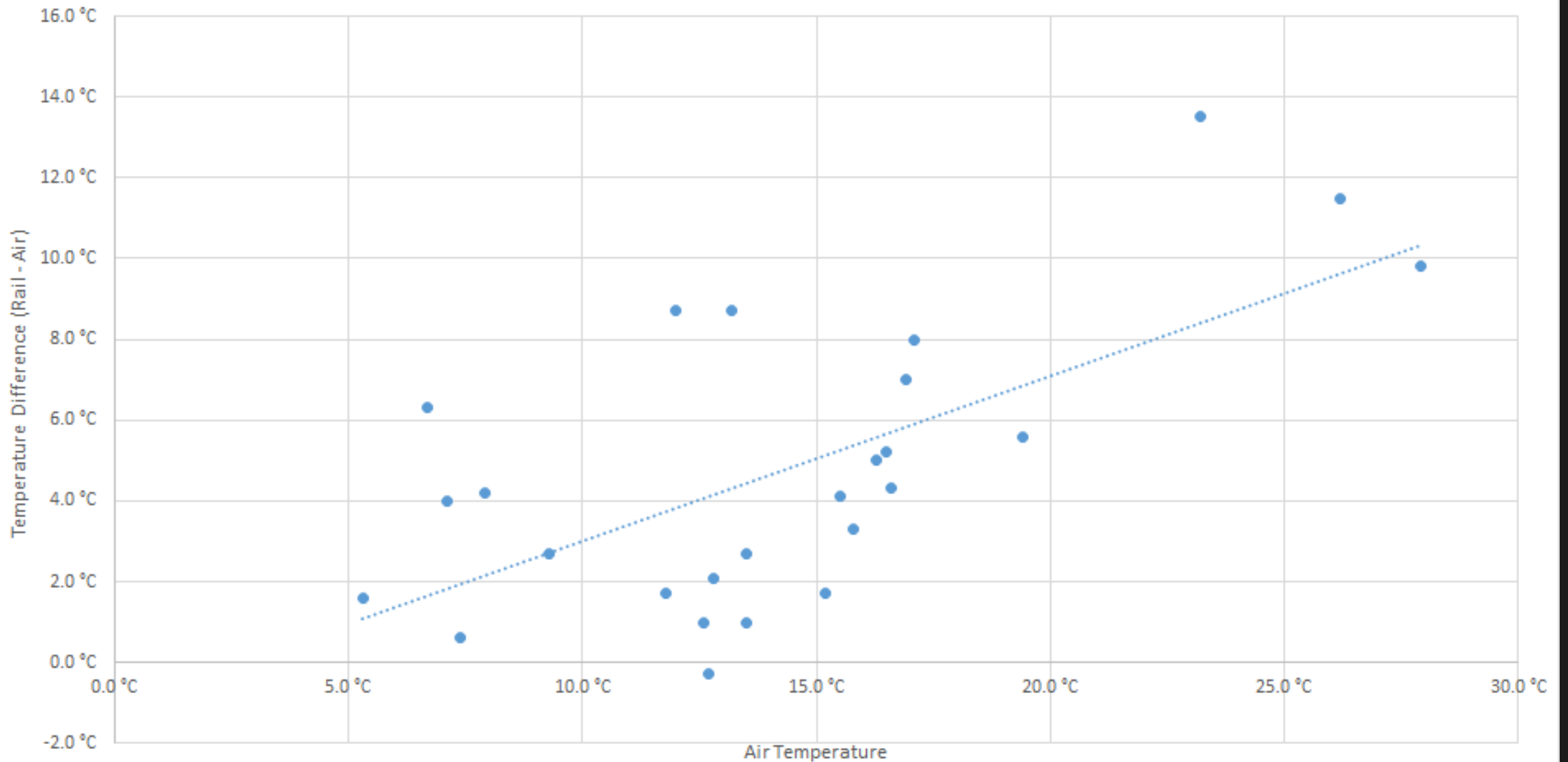
# Měření teploty v hlavě kolejnice

oblačnost	průměrný teplotní rozdíl [°C]
100 %	4,769
90 %	7,769
80 %	8,357
70 %	9,533
60 %	9,838
50 %	10,769
40 %	11,082
30 %	10,767
20 %	13,900
10 %	11,860
0 %	11,325

# Měření teploty v hlavě kolejnice



# Měření teploty v hlavě kolejnice

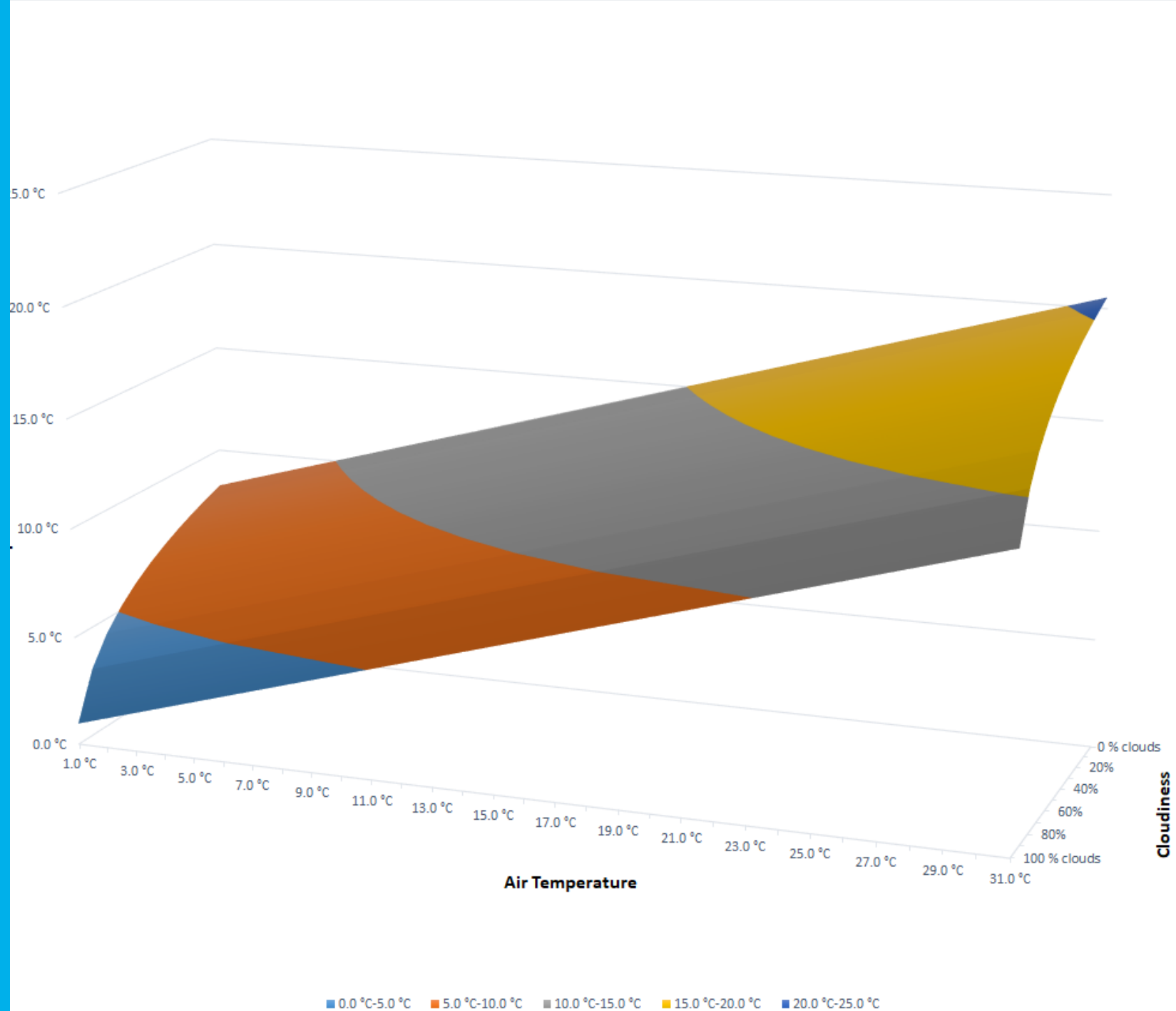




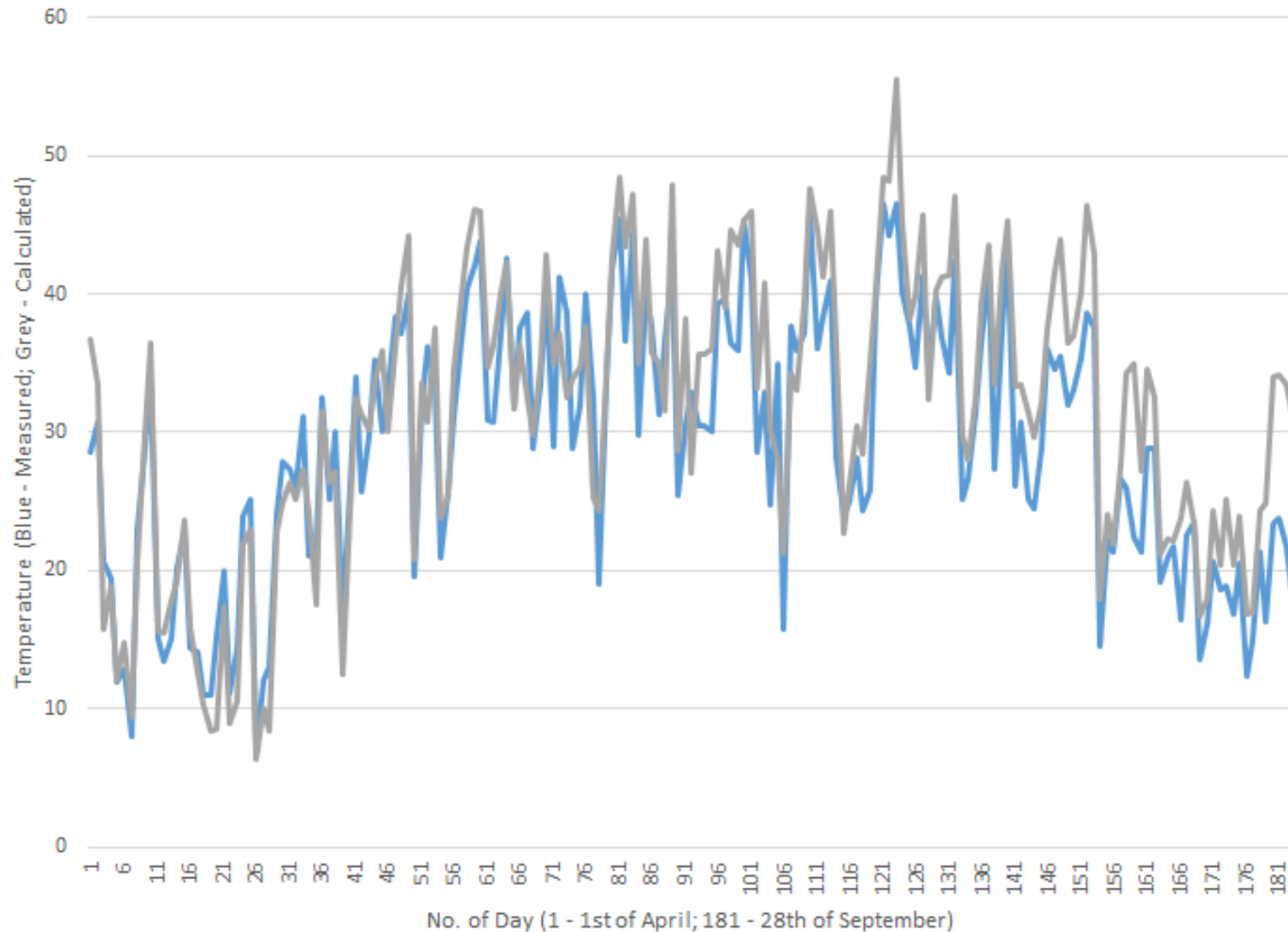
# Měření teploty v hlavě kolejnice

- $$y = 1,4078 \cdot t + 3,0433 \cdot \ln\left(11 - \frac{x}{100\%}\right) - 1,072$$

vliv oblačnosti a teploty vzduchu na rozdíl  
teploty kolejnice a vzduchu



# Měření teploty v hlavě kolejnice



# Měření vlivu gradientu průměrné teploty kolejnice

- vybrán traťový úsek Hanušovice – Podlesí na trati 025 (u zastávky Vlaské)
  - přechod prostředí z málo osvětleného (tunel) do velmi osvětleného (otevřená louka)
  - nízký železniční provoz
  - blízkost Pardubic

# Měření vlivu gradientu průměrné teploty kolejnice

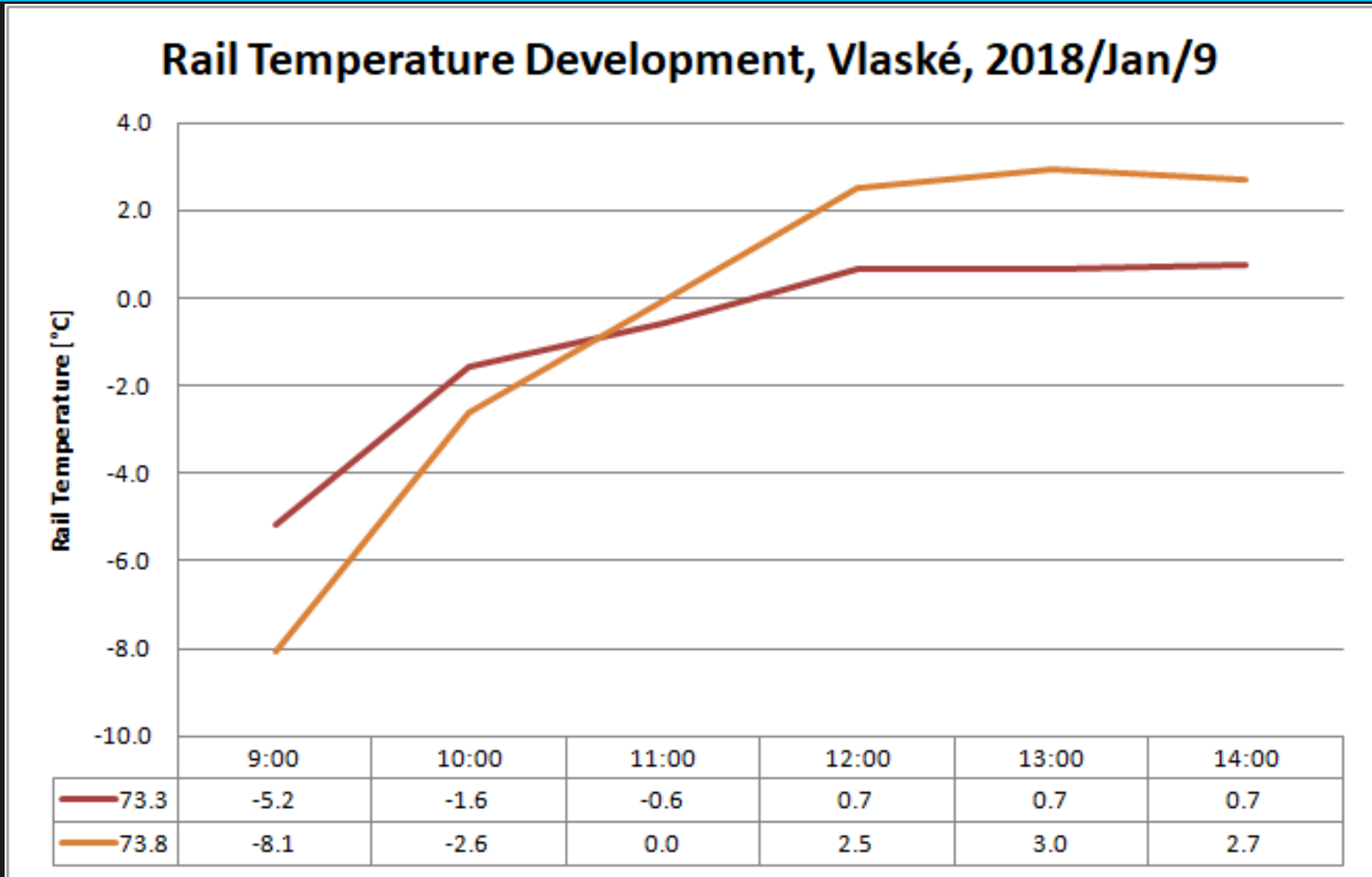
tunel Vlaské



staničení 73,8 km



# Měření vlivu gradientu průměrné teploty kolejnice



# Shrnutí

- bezстыková kolej umožňuje průjezd vlaku po nepřerušené kolejnicové hraně, snižuje náklady na údržbu a zvyšuje komfort jízdy, také ovšem vnáší do koleje osovou sílu
- nedestruktivní metody zatím nejsou dostatečné pro rychlé, přesné a spolehlivé měření aktuálního mechanického napětí v kolejnici
- existuje možnost parametrizace vlivů posunu neutrální teploty a její predikce výpočtem s určitou mírou pravděpodobnosti
- znalost aktuálního mechanického napětí v kolejnici je důležitá pro správu tratí a případné přijímání provozních opatření k mitigaci možných lomů kolejnic a vybočení koleje

# Bibliografie

- PLÁŠEK, Otto. *Železniční stavby: železniční spodek a svršek*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2621-7.
- SŽDC. *Běžná kolej (obrazová příloha)* [online]. červen 2009 [cit. 2018-11-30]. Dostupné z: <https://www.szdc.cz/o-nas/zeleznice-cr/historie-zeleznice/zeleznicni-svrsek/bezna-kolej-6.html>
- LIDMILA, Martin. *Konstrukce železniční tratě* [online]. , 18 [cit. 2018-11-30]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/23496985-Katedra-zeleznicnich-staveb-ing-martin-lidmila-ph-d-b-617.html>
- *Broken rail* [online]. In: . [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: [ogrforum.ogaugerr.com](http://ogrforum.ogaugerr.com)
- Thermal Buckling — Center for Railway Research. In: *Texas A&M Transportation Institute - Texas A&M University* [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://groups.tti.tamu.edu/crr/current-research/thermal-buckling/>
- Universal tamping machine 09-32 4SY. In: *Wiebe* [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: [https://www.wiebe.de/wp-content/uploads/2017/03/09-32-4SY\\_1.jpg](https://www.wiebe.de/wp-content/uploads/2017/03/09-32-4SY_1.jpg)

# Bibliografie

- Wladyslaw Koc, et. al. Okreslanie wartosci sil podluznych w szynach toru bezстыkowego. Problemy Kolejnictwa, 163, 2014. [http://www.problemykolejnictwa.pl/images/PDF/163\\_3.pdf](http://www.problemykolejnictwa.pl/images/PDF/163_3.pdf).
- Ping Wang, et. al. Longitudinal force measurement in continuous welded rail with bi-directional FBG strain sensors. Smart Materials and Structures, 25, 2015. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0964-1726/25/1/015019>.
- Vortok, Ltd. Vortok measure and detect, 2012. Vortok, [2016-06-07], <http://www.vortok.com/rail-stress-management/vortok-measure-and-detect-2>.
- Vortok, Ltd. VERSE, 2012. Vortok, [2016-05-31], <http://www.vortok.com/rail-stress-management/verse>.
- Jacek Szelazek. Monitoring of thermal stresses in continuously welded rails with ultrasonic technique, June 1998. NDTnet, 1. June 1998, [2016-05-30], <http://www.ndt.net/article/dresd97/szelazek/szelazek.htm>.
- Stefan Hurlebaus. Determination of longitudinal stress in rails, 2011. College Station, Texas, Transportation Research Board of the National Academies, <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/IDEA/FinalReports/Safety/S15Report.pdf>.
- Michael J. Koob. The development of a vibration technique for estimation of neutral temperature in continuously welded railroad rail, 2005. Champaign, Illinois, University of Illinois at Urbana-Champaign, [http://railtec.illinois.edu/CEE/images/pdf/Thesis/Koob%20MS%20thesis%20\(final\).pdf](http://railtec.illinois.edu/CEE/images/pdf/Thesis/Koob%20MS%20thesis%20(final).pdf).



# Bibliografie

- D. Utrata, A. Strom, and M. Negley. Stress measurement in railroad rail using ultrasonic and magnetic technique. *Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation*, 14, 1995. <http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2577&context=qnde>.
- Ping Wang, et. al. Stress measurement using magnetic Barkhausen noise and metal magnetic memory testing. 17th World Conference on Nondestructive Testing, 2008. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0957-0233/21/5/055703>.
- Liu Xing-Han. The "Calibrated length of rail" method for measuring rail temperature stress. AREMA Proceedings of the 2000 Annual Conference, 2000. [https://www.arena.org/files/library/2000\\_Conference\\_Proceedings/00006.pdf](https://www.arena.org/files/library/2000_Conference_Proceedings/00006.pdf).
- Andrew Kish and Gopal Samavedam. Continuous welded rail track buckling safety assurance through eld measurements of track resistance and rail force. *Transportation Research Record*, 1991. 1289, <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1991/1289/1289-004.pdf>.
- Wladyslaw Koc and Andrzej Wilk. Investigations of methods to measure longitudinal forces in continuous welded rail tracks using the tamping machine. *Journal of Rail and Rapid Transit*, 223(1), 2009. <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1243/09544097JRRT204>.
- Dario Vangi and Antonio Virga. A practical application of ultrasonic thermal stress monitoring in continuous welded rail. *Experimental Mechanics*, 47, 2007. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11340-006-9016-6>.
- Michael Dominic Alexander Junge. Measurement of applied stresses using the polarization of Rayleigh surface waves, 2003. Atlanta, Georgia, School of Civil and Environmental Engineering, Institute of Technology, [https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/5337/junge\\_michael\\_d\\_a\\_200312\\_ms.pdf](https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/5337/junge_michael_d_a_200312_ms.pdf).

# Bibliografie

- Richard Weaver. Vibration measurement of rail stress, 2006. Champaign, Illinois, Transportation Research Board of the National Academies, [http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/studies/idea/finalreports/highspeedrail/hsr-48final\\_report.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/studies/idea/finalreports/highspeedrail/hsr-48final_report.pdf).
- Jozef Parchanski. Pomiary naprezenia osiowego w szynach kolejowych metoda analizy czestotliwosci drgan swobodnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Slaskiej, 144, 1995. Seria: Elektryka, [http://delibra.bg.polsl.pl/Content/40990/BCPS\\_45013\\_1995\\_Pomiary-naprezenia-o.pdf](http://delibra.bg.polsl.pl/Content/40990/BCPS_45013_1995_Pomiary-naprezenia-o.pdf).
- Vesna Damljanovic and Richard L. Weaver. Laser vibrometry technique for measurement of contained stress in railroad rail. Journal of Sound and Vibration, 282(1):341 { 366, 2005. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022460X04003189>.
- Y. Tsuchida, M. Enokinozo. Stress evaluation by chaotic characteristics of barkhausen noise. Review of Quantitative Nondestructive Evaluation, 22, 2003. [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwifr42345rVAhVDAVAKHT2WBoEQFggmMAA&url=http%3A%2F%2Fextras.springer.com%2F2003%2F978-0-7354-0117-4%2Fcdr\\_pdfs%2Findexed%2F1545\\_1.pdf&usg=AFQjCNFI2XRnDApfiTBzi0ztK69mW1dzyg](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwifr42345rVAhVDAVAKHT2WBoEQFggmMAA&url=http%3A%2F%2Fextras.springer.com%2F2003%2F978-0-7354-0117-4%2Fcdr_pdfs%2Findexed%2F1545_1.pdf&usg=AFQjCNFI2XRnDApfiTBzi0ztK69mW1dzyg).
- Alfred Wegner. Stress-free temperature monitoring using different measuring technologies – experiences and assessment. Proceedings of 10th International Heavy Haul Association Conference, 2013. [http://www.mavthermit.hu/fileadmin/downloads/4.1/Paper\\_IHHC\\_2013\\_SFT\\_Wegner.pdf](http://www.mavthermit.hu/fileadmin/downloads/4.1/Paper_IHHC_2013_SFT_Wegner.pdf).
- Michal Siroky and Jaroslav Voltner. Mereni upinaci teploty pristrojem RailScan. Nova zeleznicni technika, 1, 2002.
- F. Navai Effects of tensile and compressive stresses on the passive layers formed on a type 302 stainless steel in a normal sulphuric acid bath. Journal of Materials Science, 30, 1995. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00356115>.

# Děkuji za pozornost

Ing. Petr Vnenk

Výzkumné a výukové centrum v dopravě | Katedra dopravního stavitelství  
Dopravní fakulta Jana Pernera

© Univerzita Pardubice, 2018