

Workshop projektu NAKI II, Brno, 20. 9. 2019

**Cihly v historických objektech a možnosti jejich náhrady,  
dosavadní výsledky probíhajícího výzkumu projektu NAKI II  
v oblasti materiálové analýzy historických cihel**

## **VÝSLEDKY MATERIÁLOVÝCH ANALÝZ SOUBORU HISTORICKÝCH CIHEL Z BOCHNEROVA PALÁCE**

**Doc. Ing. Petr Cikrle, Ph.D., doc. Mgr. Libor Topolář, Ph.D.**

Přednáška je realizována v rámci projektu Projekt NAKI II DG18P02OVV068

„Komplexní diagnostika pálených zdících prvků historických objektů z pohledu stáří, původu a fyzikálně-mechanických vlastností v závislosti na vlhkosti, a jejich náhrada v historických objektech“

## OSNOVA

Představení souboru cihel  
Rozdělení souboru  
Nedestruktivní zkoušky  
Zkoušky mrazuvzdornosti  
Východiska, závěr



## Soubor cihel – získán při bourání Vlněny



## Cihly z Bochnerova paláce (1864-67), „Cz“

Cz – Heinrich Czerwinka  
(po r. 1851), Údolní ulice



## Soubor 81 ks cihel „Cz“

Jeden výrobce - Czerwinka

Jasná datace 1865±1 rok

Jedna stavba



## Čištění cihel



## Třídění cihel



## Třídění cihel

### 1. Oranžová

- Světlá
- Střední
- Tmavá

### 2. Červená

- Světlá – 2 soubory
- Tmavá

### 3. Přepálená

- Pěkná
- Deformovaná  
(zkroucení, trhliny)





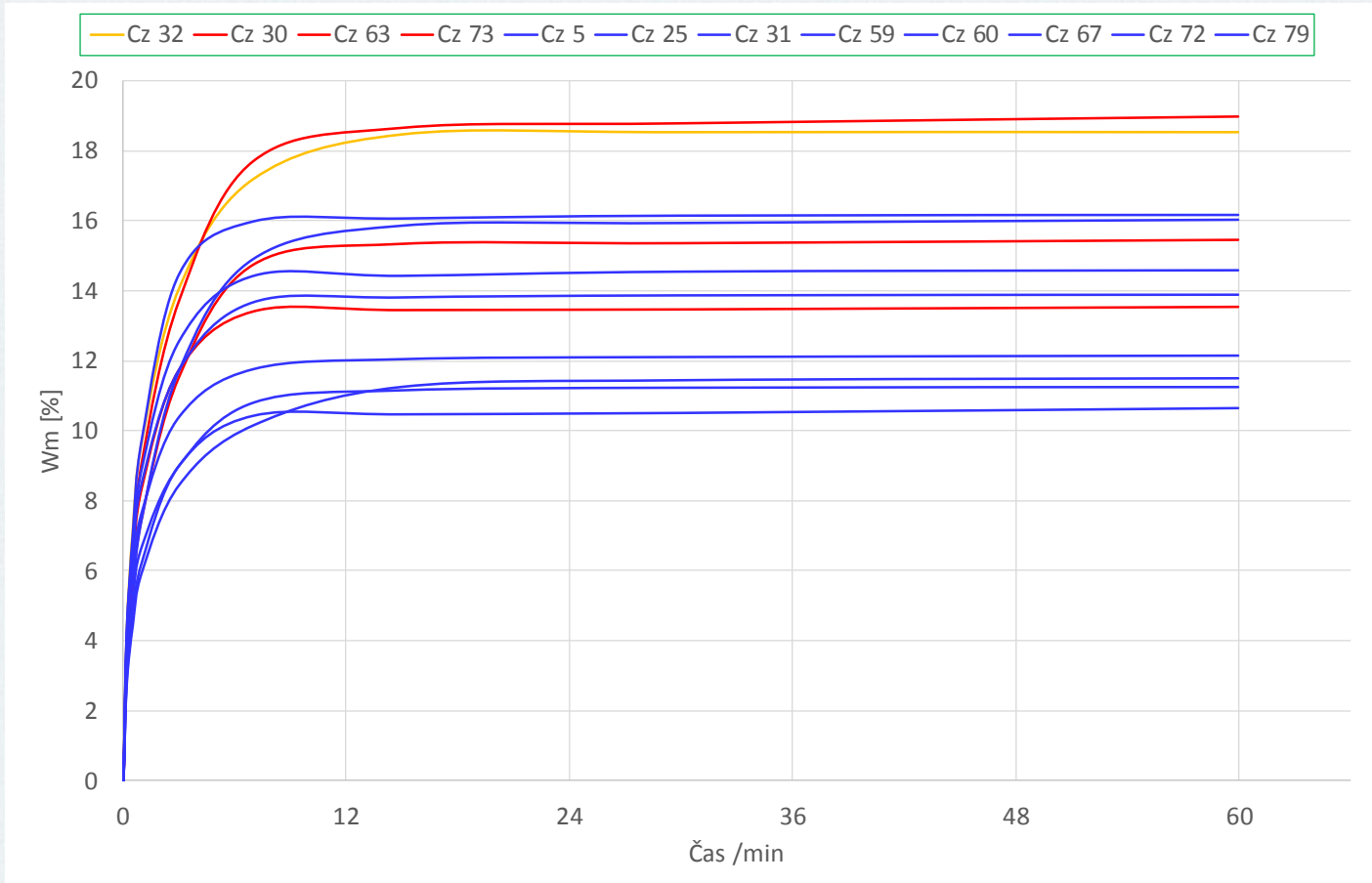
## Sušička – vysoušení cihel při 105 °C



## Nasákavost

- Počáteční nasákavost – průběh liší se podle výpalu, mikrostruktury
- Nasákavost za atmosférického tlaku – obvykle nad 10%, běžně 10-20%, u přepálených méně
- Nasákavost varem – proti běžné nasákavosti pojme ještě o cca 0,1 l až 0,2 l vody více.

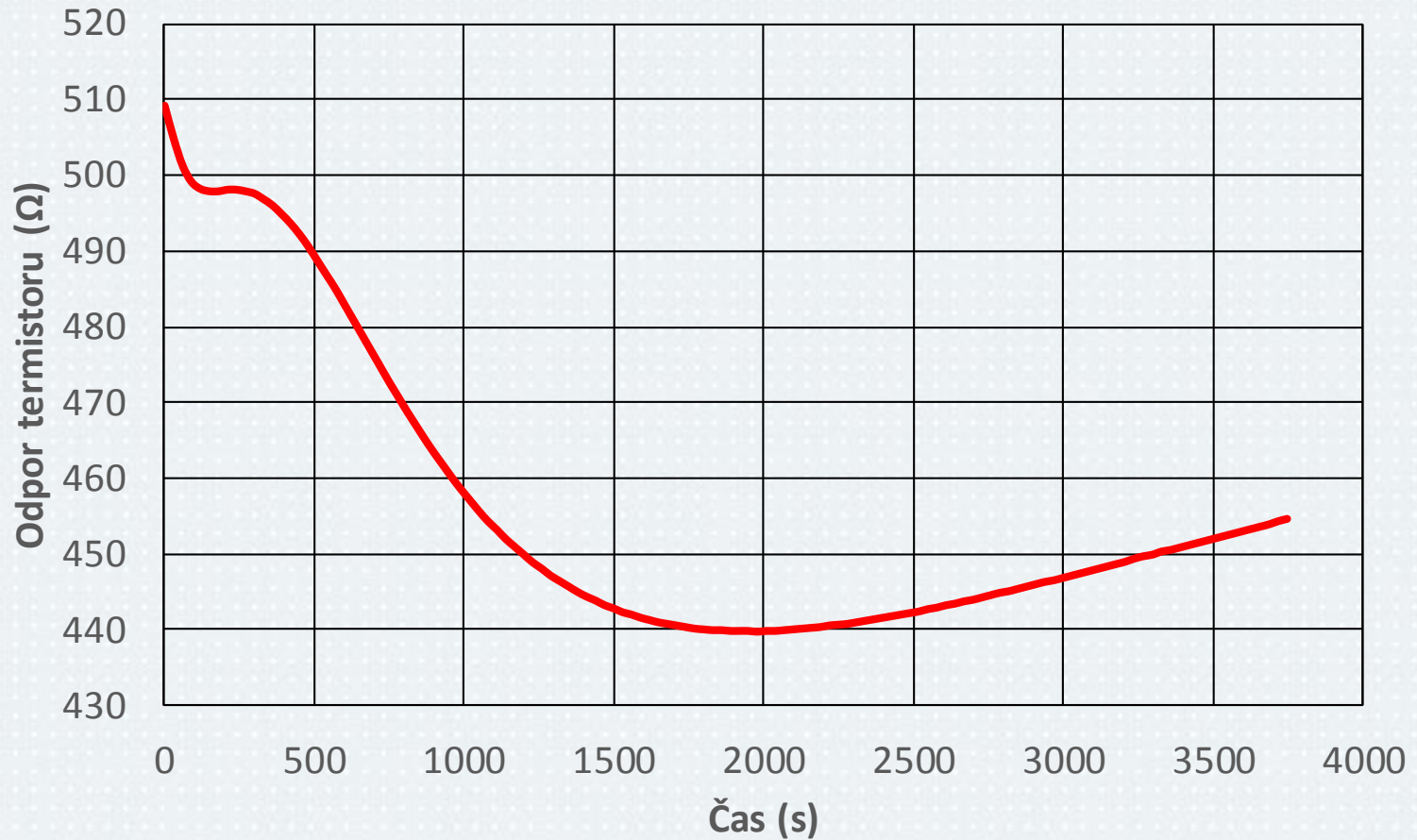
# Nasákavost – počáteční (postupné nasakování)



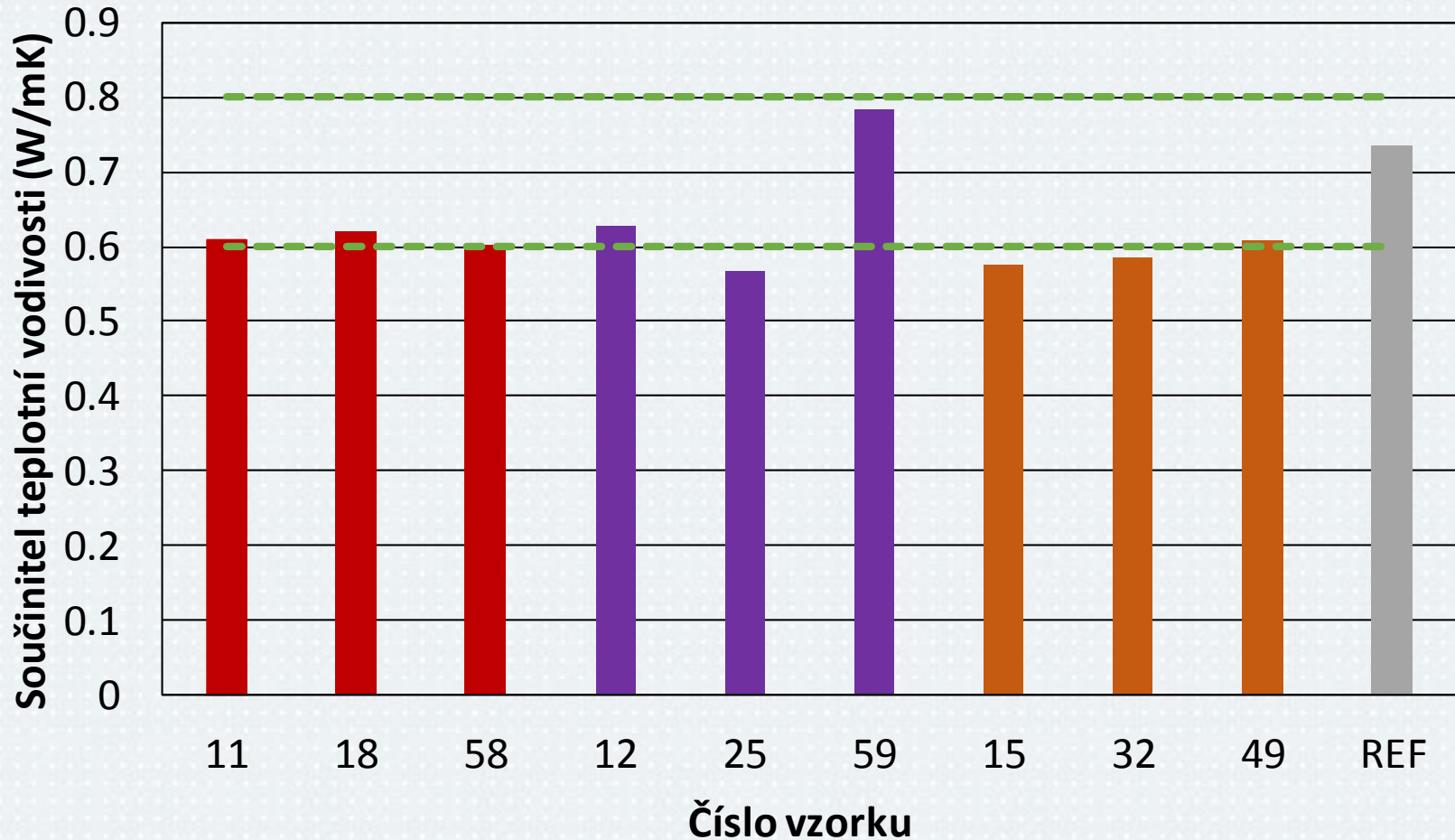
## Nasákavost varem



## Určení součinitele teplotní vodivosti



## Určení součinitele teplotní vodivosti



## Určení akustické (vzduchové) neprůzvučnosti při laboratorní vlhkosti

	<b>11</b>	<b>18</b>	<b>58</b>	<b>12</b>	<b>25</b>	<b>59</b>	<b>15</b>	<b>32</b>	<b>49</b>
125	<b>100.0%</b>	<b>-116.7%</b>	<b>-145.9%</b>	<b>-139.9%</b>	<b>-164.4%</b>	<b>-133.1%</b>	-70.5%	-56.3%	<b>-118.3%</b>
250	65.3%	31.8%	89.3%	76.1%	43.8%	<b>100.0%</b>	-30.5%	81.9%	63.0%
500	-5.0%	-14.4%	-22.2%	-4.6%	-4.9%	2.9%	-10.4%	-3.6%	-13.7%
1000	-22.2%	-22.3%	-19.6%	-23.8%	-20.7%	-13.8%	-0.5%	-22.7%	-27.4%
2000	-0.3%	4.3%	-1.8%	-2.5%	-0.3%	1.1%	2.5%	-9.1%	2.3%
4000	-2.8%	-0.6%	-5.6%	-0.5%	-3.6%	2.0%	0.9%	1.5%	-1.6%

## Určení akustické (vzduchové) neprůzvučnosti v nasyceném stavu

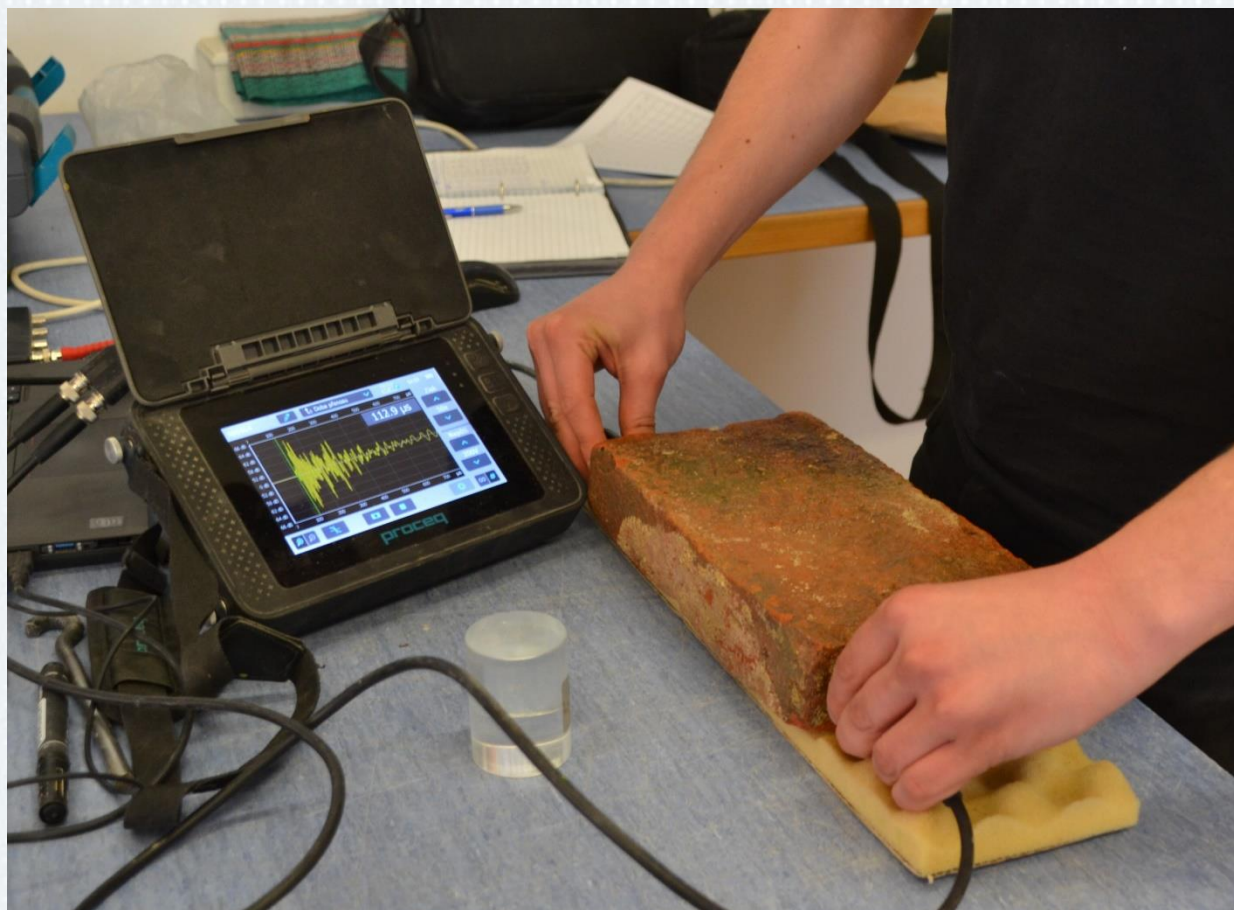
	<b>11</b>	<b>18</b>	<b>58</b>	<b>12</b>	<b>25</b>	<b>59</b>	<b>15</b>	<b>32</b>	<b>49</b>
125	-17.6%	-17.5%	-4.1%	6.0%	-15.1%	-16.5%	-24.5%	-25.0%	-22.0%
250	42.8%	78.5%	72.8%	89.7%	67.1%	58.3%	60.9%	57.8%	24.6%
500	-13.5%	-10.6%	-11.8%	-10.2%	-12.5%	-6.0%	2.9%	-15.2%	-21.3%
1000	-6.4%	-11.9%	6.9%	-11.5%	-9.6%	1.2%	-7.7%	-6.3%	-7.2%
2000	-5.6%	-5.2%	-17.3%	-10.7%	-11.2%	-12.0%	-8.3%	-12.3%	-15.0%
4000	-2.7%	-3.3%	-0.4%	2.6%	0.3%	5.0%	6.9%	0.0%	-2.9%



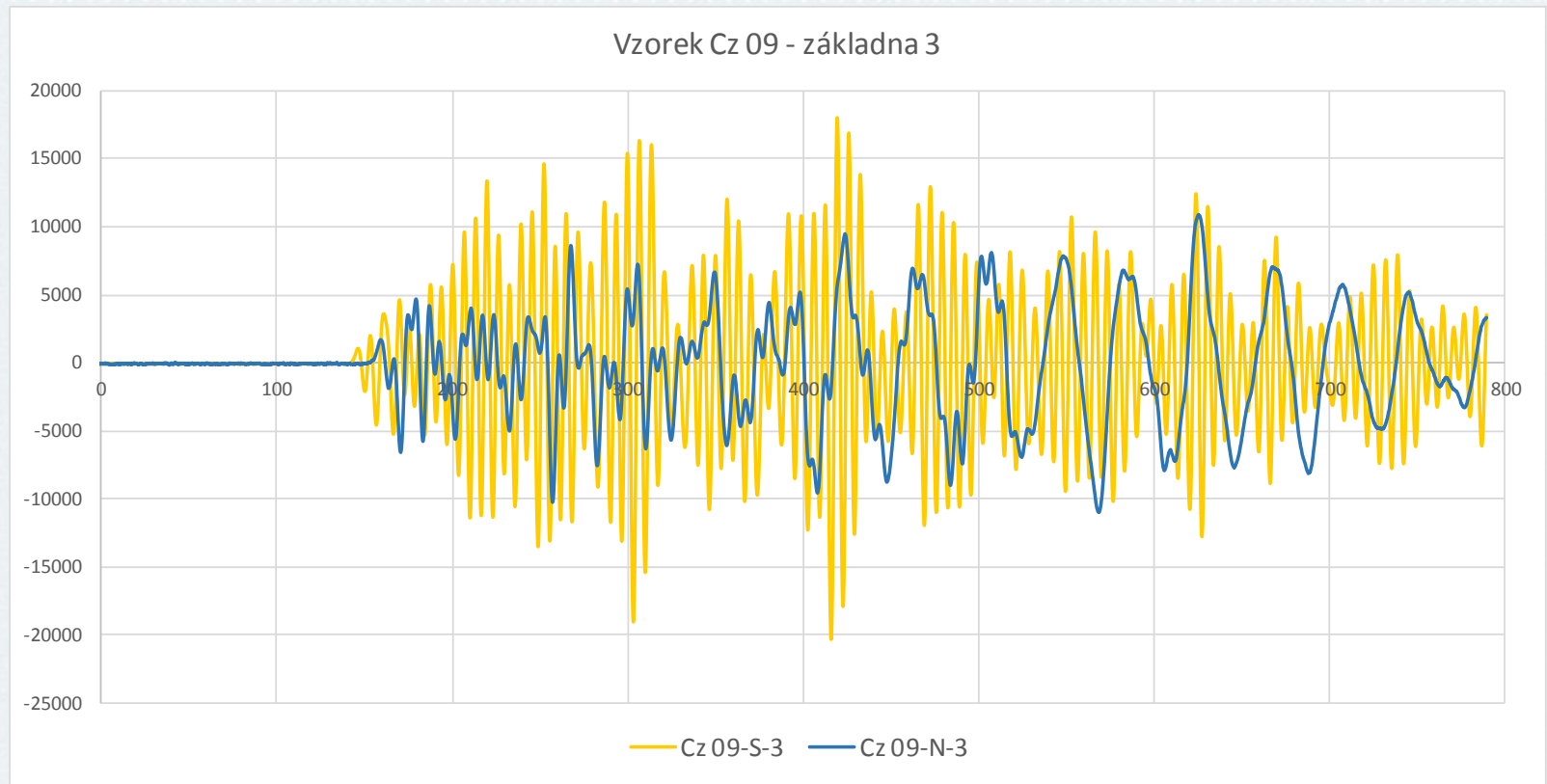
## Určení akustické (vzduchové) neprůzvučnosti v nasyceném stavu

	<b>11</b>	<b>18</b>	<b>58</b>	<b>12</b>	<b>25</b>	<b>59</b>	<b>15</b>	<b>32</b>	<b>49</b>
125	-17.6%	-17.5%	-4.1%	6.0%	-15.1%	-16.5%	-24.5%	-25.0%	-22.0%
250	42.8%	78.5%	72.8%	89.7%	67.1%	58.3%	60.9%	57.8%	24.6%
500	-13.5%	-10.6%	-11.8%	-10.2%	-12.5%	-6.0%	2.9%	-15.2%	-21.3%
1000	-6.4%	-11.9%	6.9%	-11.5%	-9.6%	1.2%	-7.7%	-6.3%	-7.2%
2000	-5.6%	-5.2%	-17.3%	-10.7%	-11.2%	-12.0%	-8.3%	-12.3%	-15.0%
4000	-2.7%	-3.3%	-0.4%	2.6%	0.3%	5.0%	6.9%	0.0%	-2.9%

## Metoda ultrazvuková impulzní



# Metoda ultrazvuková impulzní



## Metoda impact-echo (rezonanční metoda)



## Metoda impact-echo (rezonanční metoda)



## Metoda tvrdoměrná - Schmidt LB



## Pevnost tahu ohybem

**Tab.** Pevnost v tahu ohybem a v tlaku zděicích prvků "S" srovnávacích

Vzorek č.	Šířka v místě lomu $w_f$	Výška v lomu $h_f$	Maximální síla $F_f$	Pevnost v tahu ohybem $f_{b,f}$
	[mm]	[mm]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Cz 16	150,1	70,5	2,63	1,27
Cz 34	154,6	71,2	4,95	2,27
Cz 54	155,7	68,2	4,34	2,16
Cz 49	154,2	69,5	5,72	2,76
Cz 30	146,2	75,7	4,50	1,93
Cz 58	151,9	72,6	8,12	3,65
Cz 63	149,2	72,6	4,85	2,22
Cz 74	153,6	75,2	9,37	3,88
Cz 5	147,9	71,4	11,15	5,32
Cz 79	149,8	69,6	7,40	3,67
<b>Průměr</b>				<b>2,90</b>



## Pevnost v tlaku

**Tab .** Pevnost v tlaku zděných prvků srovnávacích "S"

Vzorek č.	Šířka $w_c$	Délka $l_c$	Maximální síla $F_c$	Pevnost v tlaku $f_b$
	[mm]	[mm]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Cz 16	142,2	120,9	132,9	7,7
Cz 34	150,4	122,1	274,5	14,9
Cz 54	149,6	135,7	251,1	12,4
Cz 49	145,6	138,6	337,9	16,7
Cz 30	140,9	143,5	401,6	19,9
Cz 58	150,0	150,6	388,6	17,2
Cz 63	145,7	134,3	354,1	18,1
Cz 74	149,5	141,6	392,6	18,6
Cz 5	142,1	134,3	418,3	21,9
Cz 79	148,0	158,9	381,0	16,2
<b>Průměr</b>				<b>18,4</b>





## Mrazuvzdornost

ČSN 72 2609 – Zkušební metody pro zdící prvky –  
Specifické vlastnosti pálených zdících prvků

**Princip:** Vzorky nasycené varem se střídavě  
zmrazují a rozmrazují na 15, 25 nebo 50 cyklů.

**Výsledek:** Buď výrazná změna stavu, anebo  
pokles pevnosti v tlaku (deklarované) o 15%

**Kontroverze:** Pro starší cihly problematické  
vyhodnocení (deklarovaná pevnost?)

## Mrazuvzdornost na 25 cyklů



## Mrazuvzdornost na 25 cyklů

### Předpoklad:

- Cihly vydrží různě podle vizuálního vzhledu, nasákavosti, výsledků NDT měření

### Skutečnost:

- Po 1. cyklu výrazně poškozena  $\frac{1}{2}$  cihel, bez ohledu na druh
- Po 2. cyklu další  $\frac{1}{4}$  cihel
- Žádná cihla nevydržela 25 cyklů



## Mrazuvzdornost na 25 cyklů

Důvod: Technologie výroby, nespojitosti uvnitř struktury



1865: Velký stavební boom v Brně, Okružní třída;  
Zřejmě urychlení výroby cihel, špatné mísení

## Závěr

- Velký soubor 81 cihel od stejného výrobce, ze stejné stavby, stejného roku.
- Celá škála vlastností od vzhledu po pevnost.
- Špatná mrazuvzdornost bez ohledu na druh.

### **Východiska pro trvanlivost cihel:**

- Nerozhoduje pouze surovina a teplota výpalu, důležitá je textura a vnitřní nehomogenity.
- Jiné chování vysušené a nasycené cihly.
- O trvanlivosti napoví již **1. zmrazovací cyklus!**
- Vždy se pídít po historii použití cihel.