



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

KLOKNERŮV ÚSTAV
Šolínova 7, 166 08 Praha 6 - Dejvice

**Expertní zpráva č.
2000 J 355**

Datum vydání zprávy

30. duben 2021

Oddělení KÚ

Oddělení stavebních materiálů
tel. +420 224 353 537

Objednatel: Městský úřad Znojmo, odbor investic a technických služeb
Obroková 1/12
669 22, Znojmo

Expertní zpráva:

URČENÍ BAREVNOSTI A PEVNOSTI MĚDĚNÉ KRYTINY

Vypracoval:

Ing. Radka Pernicová, Ph.D.

Spolupráce:

Ing. Michal Křest'an

Odpovědný řešitel:

Ing. Radka Pernicová, Ph.D.

Vedoucí oddělení:

Ing. Lukáš Balík, Ph.D.

Ředitel KÚ:

Doc. Ing. Jiří Kolísko, Ph.D.

Výtisk číslo:

1

2

3

4

Rozdělovník:

Objednatel: 3x

Archiv KÚ: 1x

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
v Praze
Kloknerův ústav
166 08 Praha 6, Šolínova 7 (1)**

Zpráva může být reprodukována pouze jako celek. Části zprávy mohou být reprodukovány, publikovány nebo jinak použity pouze na základě písemného souhlasu ředitele Kloknerova ústavu.

ANOTACE

Tato zpráva obsahuje posouzení barvy stávající měděné krytiny na objektu věže ve Znojmě. Posudek je dále zaměřen na diagnostiku pevnosti měděného plechu, konkrétně v tahu a ohybem.

Zprávu zpracovali pracovníci ČVUT v Praze, Kloknerův ústav, který je zapsán v seznamu ústavů, kvalifikovaných pro znaleckou činnost, podle ustanovení §21 odst. 3, zákona č. 36/1967 Sb. a vyhlášky č. 37/1967 Sb., ve znění pozdějších předpisů, uveřejněném v Ústředním věstníku ČR, ročník 2004, částka 2, ze dne 14.10.2004, přílohy ke sdělení Ministerstva spravedlnosti ze dne 13.7.2004, č.j. 228/2003-Zn.

OBSAH:

1. PŘEDMĚT EXPERTNÍ ZPRÁVY	4
2. ÚVOD	4
3. POUŽITÉ METODY A POSTUPY	4
3.1. BAREVNOST	4
3.2. ZKOUŠKY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ	6
3.2.1. ZKOUŠKA OHYBEM	7
3.2.2. ZKOUŠKA V TAHU ZA POKOJOVÉ TEPLoty	9
4. ZÁVĚR	11

PODKLADY:

- [1] ČSN EN ISO 6892-1: Kovové materiály – zkouška tahem – část 1: Zkušební metoda za pokojové teploty. Praha, 18. 5. 2012
- [2] ČSN EN ISO 7438: Kovové materiály – zkouška ohybem. Praha ČNI, 2005
- [3] Expertní zpráva 12 0177 J: Hodnocení měděné krytiny na střeše královského letohrádku provedeného z původního historického plechu, Kloknerův Ústav ČVUT, 2012

1. PŘEDMĚT EXPERTNÍ ZPRÁVY

Tato expertní zpráva je vypracována na základě objednávky městského úřadu Znojmo, odboru investic a technických služeb panem Radimem Držmíškem ze dne 27. 10. 2020. Posudek je zaměřen na určení barevnosti střešní krytiny pomocí přístroje Colorcatcher, který snímá barvy povrchu v RGB stupnici a na diagnostiku pevnosti měděného plechu, konkrétně pevnost v tahu a ohybu.

V rámci objednávky bylo provedeno:

- Určení barevnosti měděného plechu (RGB kód barvy).
- Zkouška v tahu dle ČSN EN ISO 6892-1.
- Zkouška ohybem dle ČSN EN ISO 7438.

Účelem této zprávy je zhodnocení stávajícího stavu historické měděné krytiny.

2. ÚVOD

Posudek je zaměřen na diagnostiku historického měděného plechu z radniční věže ve Znojmě. Posudek je primárně zaměřen na grafickou analýzu povrchu měděné krytiny, tj. určení její stávající barvy vyjádřeno v jasně definovaném systému barev.

Posudek dále hodnotí pevnost dané krytiny. V rámci diagnostiky nebyly provedeny žádné prohlídky, neboť vzorek byl dodán objednatelem přímo na adresu Kloknerova Ústavu.

3. POUŽITÉ METODY A POSTUPY

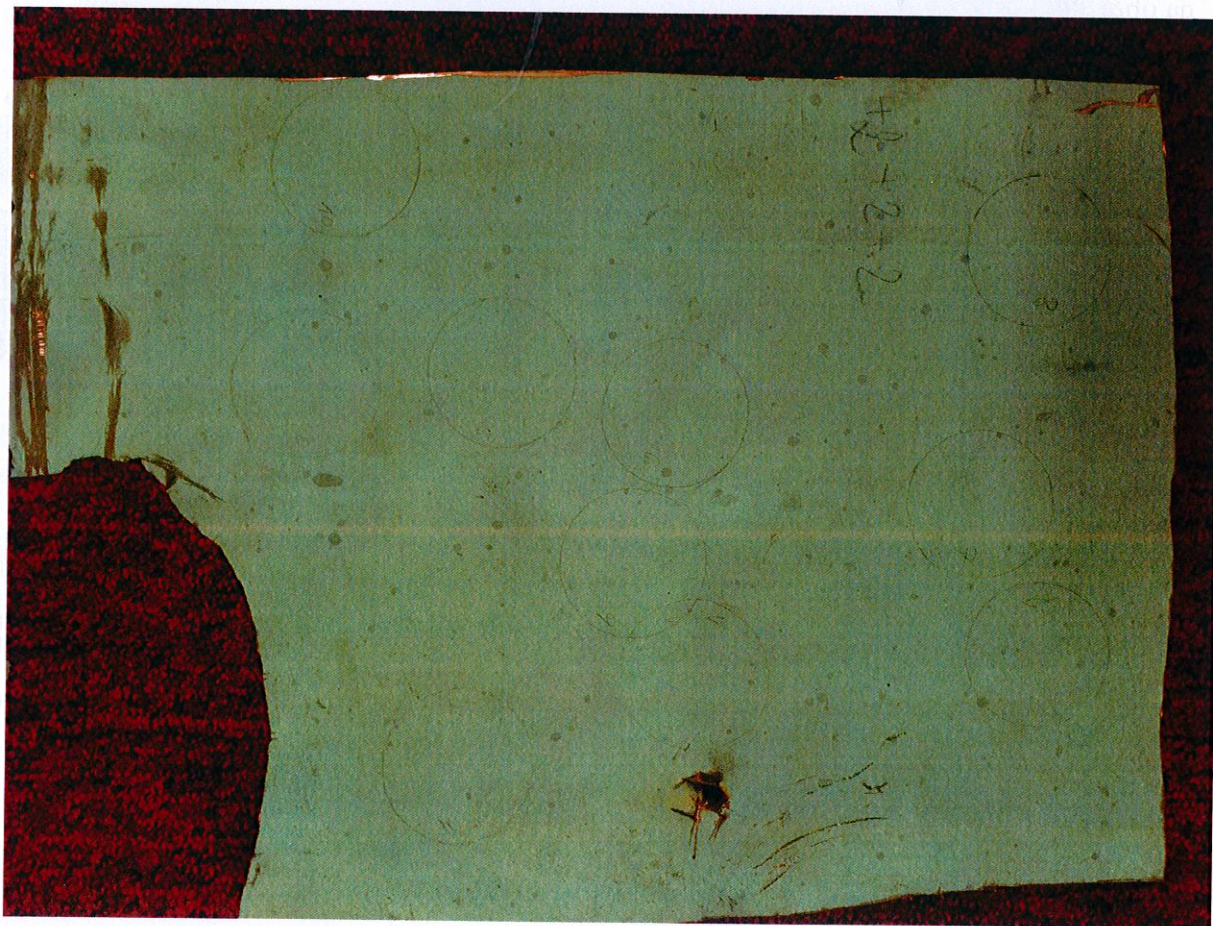
3.1. Barevnost

Intenzita barvy byla prováděna testerem Color-catch-nano, který indikuje a měří hodnoty RGB. Hodnota RGB je složený obraz tří základních barev: červená-zelená-modrá (z ang. Red-green-blue). Kombinace těchto tří barev vytvoří jednu jedinečnou barvu. Kolorimetr Colorcatch-Nano přesně měří barvu hladkých nebo texturovaných povrchů pomocí technologie, která umožňuje samostatně měřit 50 000 pixelů. Má vestavěnou interní kameru a světelný zdroj, takže výsledná data nejsou ovlivněna vnějšími světelnými podmínkami. Přístroj tak automaticky eliminuje všechny irelevantní barevné odstíny, stíny a nečistoty. Použitý Colorcatch- nano je uveden na Obr. č. 1.












Obr. 1: kolorimetr Colorcatch-nano

Pro objektivní vyhodnocení bylo určeno deset oblastí na jednom kusu měděného plechu. Tyto místa jsou znázorněna a popsána na Obr. č.2. Kružnicí je označen obvod celého přístroje, avšak samotná snímaná plocha je pouze uprostřed a přibližně o velikosti 1 cm^2 .













Obr. 2: Měděný plech s vyznačenými body sejmutí barvy.

Následná grafická analýza se skládá z fotografického záznamu povrchu sejmutého přístrojem a číselného vyjádření RGB pro danou plochu.

RGB: 144, 176, 153	RGB: 134, 161, 142	RGB: 143, 170, 148	RGB: 140, 170, 148	RGB: 141, 168, 146	RGB: 142, 172, 148	RGB: 142, 172, 151	RGB: 144, 173, 150	RGB: 139, 169, 148
								

Obr. 3: Sejmuté povrchy č. 1 až 10 (označeno z leva)

Na základě zjištěných RGB čísel byla u jednotlivých ploch vytvořena konkrétní barva, kde se již neprojevovali nepřesnosti skutečného povrchu. Z těchto deseti hodnot pak byla jednoduchým průměrem určena výsledná RGB hodnota, která reprezentuje barvu měděného plechu jako celek. **Finální RGB je 141,170,148.** Grafická analýza modelu RGB je uvedena na obrázku 4.

RGB: 144, 176, 153	RGB: 134, 161, 142	RGB: 143, 170, 148	RGB: 140, 170, 148	RGB: 141, 168, 146	RGB: 142, 172, 148	RGB: 142, 172, 151	RGB: 144, 173, 150	RGB: 139, 169, 148	PRŮMĚR RGB: 141, 170, 148
									

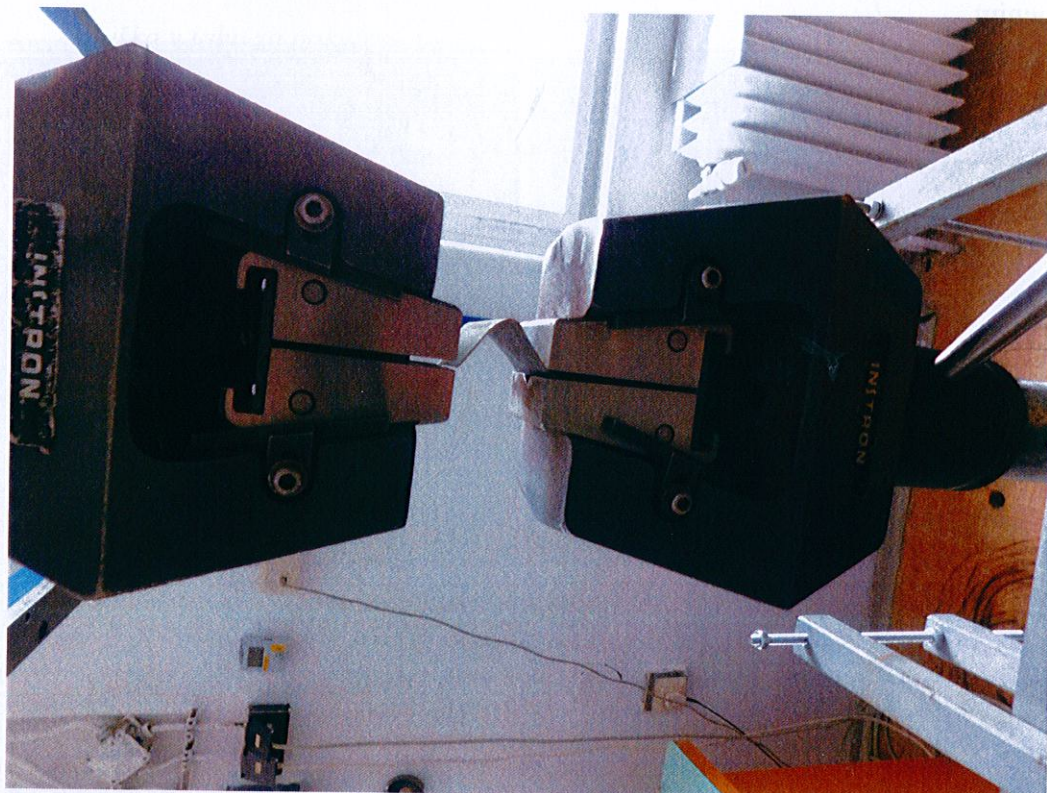
Obr. 4: Barva ploch č. 1 až 10 (označeno z leva). Finální barva je označena červeně.

3.2. Zkoušky mechanických vlastností

Odběr vzorků pro mechanické vlastnosti byl proveden ze vzorku historické krytiny po proběhlé zkoušce barevnosti. Navrhnuté mechanické zkoušky historické měděné krytiny vycházeli z expertní zprávy [3], která pojednávala o diagnostice původní měděné krytině na Letohrádku Královny Anny v Praze.

3.2.2. Zkouška ohybem

Zkouška ohybem byla provedena v laboratoři při teplotě 23 °C a při vlhkosti 50-55%. Zkouška byla provedena za zkušebním stroji INSTRON. Zkouška byla provedena podle ČSN EN ISO 7438 [2]. Tři zkušební tělesa o rozměru 5 x 5 cm byla vystříhnuta z většího vzorku. Před zahájením samotné zkoušky byly zaznamenány reálné rozměry zkušebních těles. Při zkoušce ohybem byla zkušební tělesa ohnuta zatížením vyvolaným zkušebním strojem až do okamžiku dosažení přímého kontaktu mezi rameny. Rychlost zatěžování byla 1 mm/s. Na Obr. 5 je znázorněn průběh zkoušky ohybem.



Obr. 5: Průběh zkoušky ohybem

Během zatěžovací zkoušky ohybem byl zaznamenán počet cyklů (1 cyklus = ohnutí zkušební tělesa do okamžiku přímého kontaktu a vrácení do původního stavu) než došlo ke vzniku trhlin a počet cyklů do destrukce zkušební tělesa.

Tabulka 1: Zkouška ohybem dle ČSN EN ISO 7438

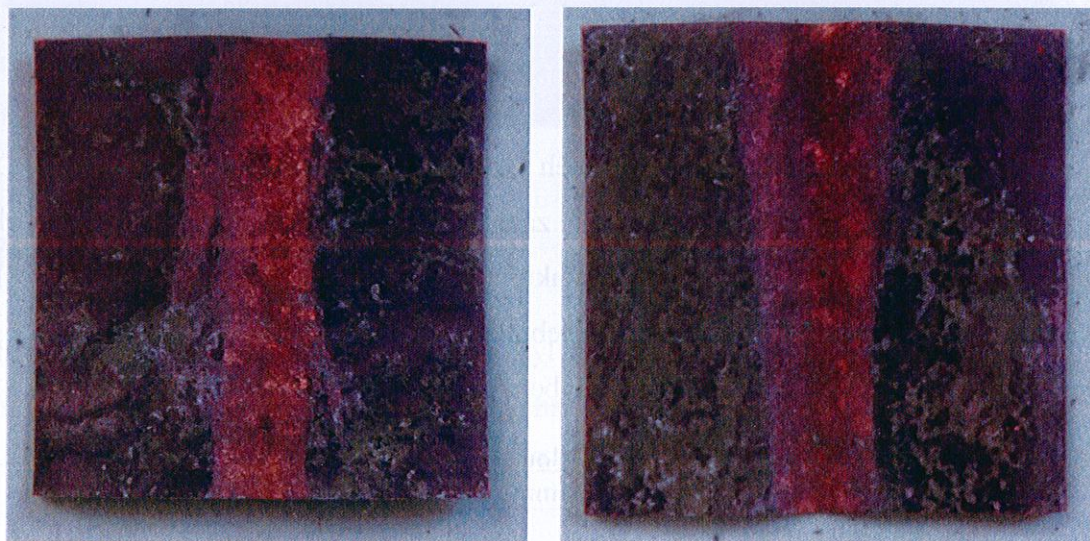
vzorek	Rozměr a [mm]	Rozměr b [mm]	tloušťka [mm]	Počet cyklů do úplného rozlomení	poznámka
1	50,05	50,37	0,75	1 a 2	bez porušení
				3	1 prasklina
				4	destrukce

2	50,23	50,03	0,75	1 až 3	bez porušení
				4	1 prasklina
				5	destrukce
3	50,15	50,1	0,74	1 a 2	bez porušení
				3	1 prasklina
				4	destrukce

Na následujících Obr. 6 a 7. jsou uvedeny vzorky po provedených cyklech před celkovým rozlomením.



Obr. 6: Zkušební vzorek 1 - oboustranný pohled



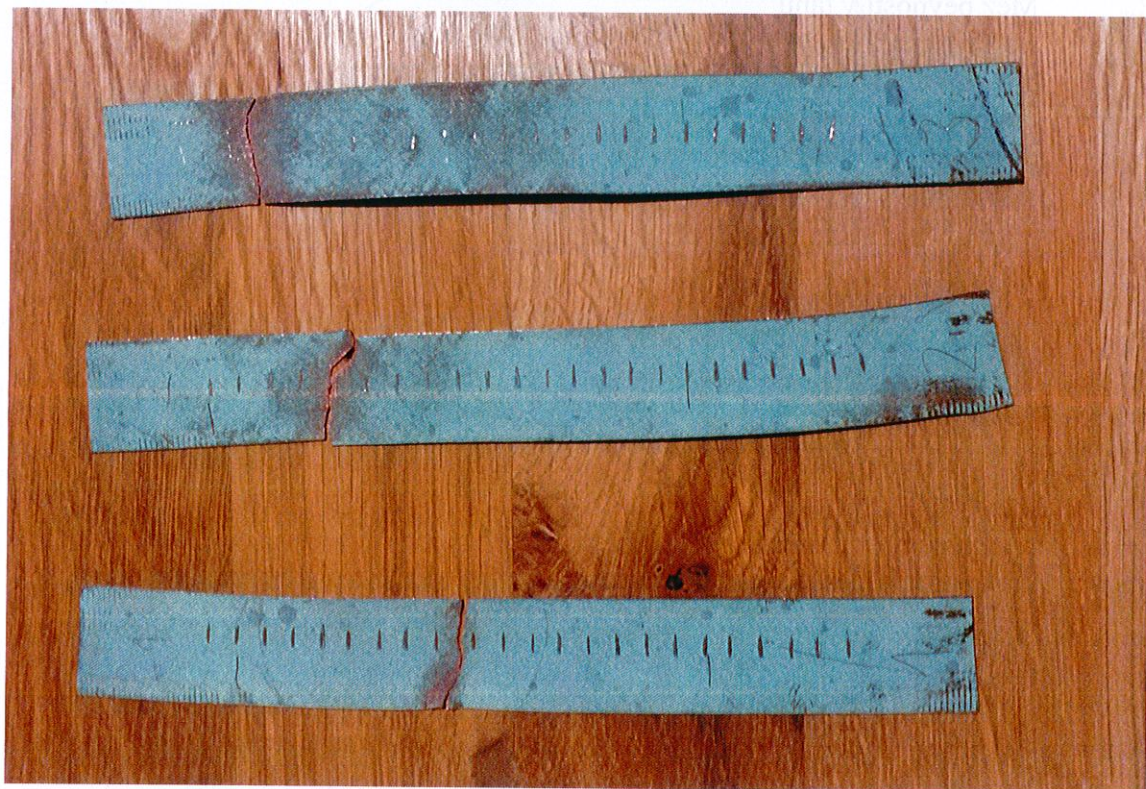
Obr. 7: Zkušební vzorek 2 (vlevo) a vzorek 3 (vpravo)



Obr. 8: Zkušební vzorky po destrukci (1,2 a 3 značeno z leva)

3.2.2. Zkouška v tahu za pokojové teploty

Zkouška ohybem byla provedena v laboratoři při teplotě 23 °C a při vlhkosti 50-55%. Zkouška byla provedena na zkušebním stroji Tira Test 2300. Zkouška byla provedena podle ČSN EN ISO 6892-1 [1]. Zkušební tělesa byla vyrobena ve tvaru pásků o šířce 20 mm a délce 200mm. Před zahájením samotné zkoušky byly zaznamenány reálné rozměry zkušebních těles. Zatěžování měděných zkušebních těles při zkoušce v tahu za pokojové teploty probíhalo kontinuálně až do jejich porušení. Během zkoušky byly zaznamenány hodnoty zatěžovací síly a posun.



Obr. 9: Způsob porušení u zkušebních těles

Tabulka 2: Rozměry zkušebních těles

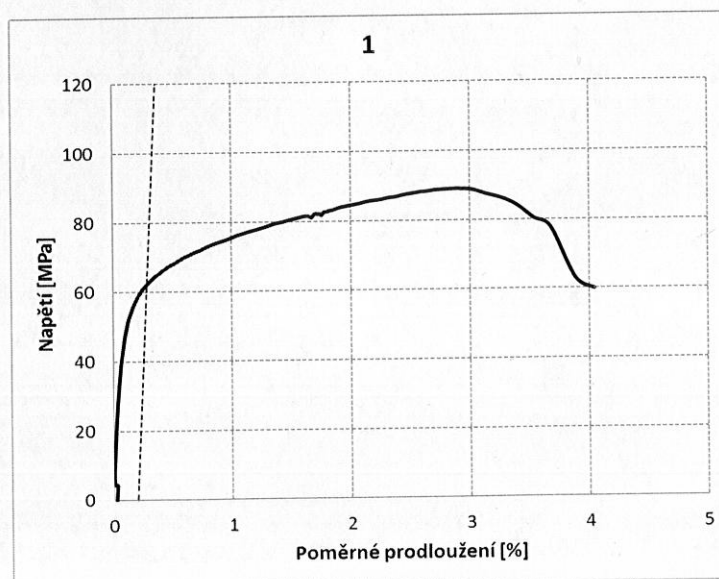
Označení vzorku	a [mm]	b [mm]	S_0 [mm ²]	l_0 [mm]	l_u [mm]	S_u [mm ²]
1	19,99	0,77	15,39	80,00	83,29	9,06
2	19,95	0,77	15,36	80,00	85,57	9,65
3	20,05	0,79	15,84	80,00	85,77	10,54

- a Šířka zkušebního tělesa
 b Tloušťka zkušebního tělesa
 S_0 Průřezová plocha
 l_0 Odměrná délka zkušebního tělesa
 l_u Odměrná délka zkušebního tělesa po porušení
 S_u Plocha průřezu po porušení

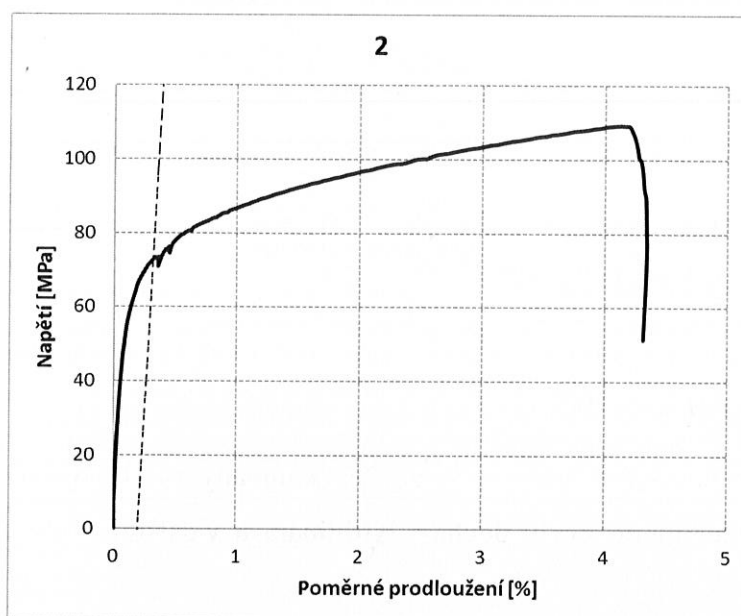
Tabulka 3: Výsledné hodnoty zkoušky v tahu

Označení vzorku	F_{\max} [kN]	R_m [MPa]	R_p [MPa]	F_p [kN]	A [%]	A_{gt} [%]	Z [%]
1	1,37	88,96	61,99	0,95	4,11	2,91	41,1
2	1,68	109,40	72,88	1,12	6,96	4,22	37,2
3	1,80	113,41	74,98	1,19	7,21	5,88	33,5
průměr		103,9	70,0		6,1	4,3	37,3

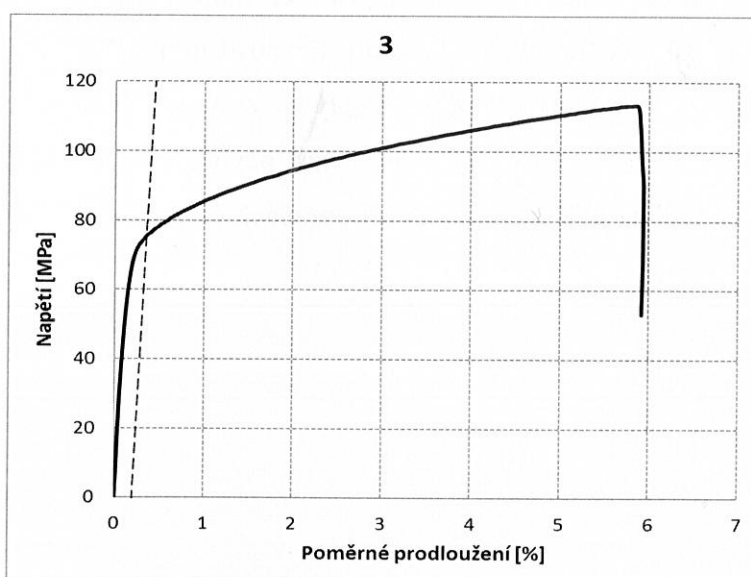
- F_{\max} Maximální dosažená síla
 R_m Mez pevnosti v tahu
 R_p Smluvní mez kluzu
 F_p Síla na smluvní mezi kluzu
 A Tažnost stanovená na odměrné délce 80mm
 A_{gt} Poměrné prodloužení odpovídající mezi pevnosti v tahu
 Z Kontrakce průřezu zkušebního tělesa



Obr. 10: Pracovní diagram tahové zkoušky zkušebního tělesa č. 1



Obr. 11: Pracovní diagram tahové zkoušky zkušebního tělesa č. 2



Obr. 12: Pracovní diagram tahové zkoušky zkušebního tělesa č. 3

4. ZÁVĚR

Tato expertní zpráva byla vypracována na základě objednávky městského úřadu Znojmo, odboru investic a technických služeb zastoupené p. Radimem Držmíškem. Účelem této zprávy je zhodnocení stávajícího stavu měděné krytiny. Posudek je zaměřen na diagnostiku pevnosti měděného plechu, konkrétně pevnosti v tahu a za ohybu. Tato zpráva dále obsahuje i posouzení barvy stávající měděné krytiny na objektu věže ve Znojmě.

Na základě výsledků provedených zkoušek lze konstatovat:

- Metodou snímání barev v RGB škále byla určena barva stávající historické krytiny. Průměrem 10 měření byla určena výsledná **hodnota RGB barvy** a to **141,170,148**.
- **Výsledná hodnota pevnosti byla 103,9 MPa** a mez kluzu, tj. napětí na hranici využitelného namáhání, je 70 MPa.
- **Tažnost**, tj. plasticky se přetvářet a deformovat před přetržením, stanovená na odměrné délce 80mm **je pouze 6,1 %**.
- Při ohybových zkouškách bylo zjištěno, že zkoumaný plech vydrží 2 až 3 cykly bez porušení. V následujícím cyklu dochází k trhlinám a v dalším cyklu dojde již k plnému prasknutí.

Výše uvedené výsledky jsou poměrně nepříznivé z hlediska mechanických vlastností. V současné době měkké měděné plechy dosahují pevnosti min 220MPa a tažnosti cca 33%. Ze srovnání běžných a naměřených hodnot vyplývá, že původní historický měděný plech těchto hodnot nedosahuje a jsou výrazně nižší. Nižší pevnost je předzvěstí zvýšeného rizika vzniku poruch a trhlin ať už je ji manipulací při opravách či rekonstrukcích nebo působením vnějších podmínek (zejména vlivem větru a teploty).

Posudek byl formulován na základě výsledků místního šetření, laboratorních zkoušek, numerických analýz a na základě projektové dokumentace, podkladů a informací poskytnutých objednatelem. Zpracovatel si vyhrazuje právo na korekce a doplnění posudku, pokud budou zjištěny další podstatné skutečnosti, které mu v době zpracování posudku nebyly známy nebo mu nebyly poskytnuty nebo mu byly nepravdivě sděleny či mu byly zamlčeny.