

ZPRÁVA

O DIAGNOSTICE DŘEVĚNÝCH PRVKŮ

PAVILONU D, VELETRHY BRNO



Objednatel: BESTEX, spol. s r.o.
Křenová 42, Brno 602 00

Vypracovali: Ing. Věra Heřmánková, PhD.,
Bešůvka 17, 641 00 Brno

Ing. Ondřej Anton, PhD.,
Lesnická 66, 613 00 Brno

V Brně dne 04. 03. 2011

Počet vyhotovení: 4
Vyhotovení číslo:

OBSAH:

1. SEZNAM POUŽITÝCH PODKLADŮ A NOREM	2
2. ÚVOD	2
3. VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK DŘEVA	5
4. ZÁVĚR	10
5. PŘÍLOHA I. - FOTODOKUMENTACE	12

1. SEZNAM POUŽITÝCH PODKLADŮ A NOREM

- [1] Kuklík, P.: *Dřevěné konstrukce*, publikace ČKAIT, ISBN 80 86769-72-0
- [2] http://www.prolignum.cz/fileadmin/prolignum/media.cz/1_Dřevo_jako_stavební_materiál_Petr_Kuklík.pdf
- [3] <http://www.kloiber.cz/pub.htm>
- [4] ČSN EN 13183-2 „Vlhkost vzorku řeziva - Část 2: Odhad elektrickou odporovou metodou“
- [5] ČSN 73 2824-1 „Třídění dřeva podle pevnosti - Část 1: Jehličnaté řezivo“
- [6] ČSN EN 338 “Konstrukční dřevo - Třídy pevnosti”
- [7] ČSN EN 335-1 „Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva – Definice tříd použití – Část 1: Všeobecné zásady“
- [8] ČSN EN 335-1 „Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva – Definice tříd použití – Část 1: Aplikace na rostlé dřevo“

2. ÚVOD

2.1. Předmět řešení

Na základě objednávky firmy BESTEX, spol. s r.o. provedli pracovníci Ústavu stavebního zkušebnictví Fakulty stavební VUT v Brně diagnostiku dřevěných prvků pavilonu D, Veletrhy Brno. Stanovení rozsahu zkoušek a otevření sond bylo provedeno objednatelem.

Požadavkem objednatele bylo provést v místech otevřených sond vizuální kontrolu záklopu z prken a fošen, tvořících nosnou konstrukci, dále na těchto dvou prvcích provést jednorázové měření vlhkosti a na fošnách stanovit nedestruktivně (pomocí přístroje Pilodyn) orientační hodnotu pevnosti v ohybu.

2.2. Metody řešení

Vizuální hodnocení prvků konstrukce

Používá se za účelem získání informací týkajících se vlastností a stavu materiálu. Lze provádět podle norem [5] a [7], [8]. Mezi hodnocení stavu prvků patří určování druhu použitého dřeva, vad dřeva (suky, trhliny, točivost vláken, odlupčivost, barevné skvrny) a odhalení povrchového biotického a abiotického poškození dřeva.

Spolehlivé určení druhu použitého dřeva je většinou možné pomocí anatomických znaků viditelných pouze pod mikroskopem. Bez mikroskopu lze poměrně dobře rozlišit jehličnaté dřevo od dřeva listnáčů – což pro správné zatřídění konstrukčního dřeva stačí.

Stanovení vlhkosti jednotlivých prvků konstrukce

Dřevo je ve vztahu k okolnímu prostředí hygroskopickým materiálem schopným přijímat nebo odevzdávat vodu, ať už ve skupenství kapalném nebo plynném, a má schopnost měnit svoji vlhkost podle vlhkosti okolního prostředí.

Zvýšená vlhkost dřeva ovlivňuje jak riziko biotické degradace dřeva způsobené dřevokaznými houbami a dřevokazným hmyzem, tak také ovlivňuje jeho mechanické vlastnosti.

V [8] je definován možný výskyt biologických činitelů v závislosti na vlhkosti rostlého dřeva. Obecně lze říci, že tam kde vlhkost rostlého dřeva příležitostně přesahuje 20% je umožněno napadení dřeva dřevokaznými houbami, a tam kde vlhkost rostlého dřeva trvale přesahuje 20% je dřevo náchylné k napadení dřevokaznými houbami a hmyzem.

Taktéž se zvyšováním vlhkosti dochází k poklesu hodnot pevnosti a tuhosti. Změny vlhkosti nad mezí nasycení vláken (cca 30 %) již nemají na mechanické vlastnosti vliv. Účinek změn vlhkosti na různé mechanické vlastnosti je rozdílný, pevnost v tlaku je více citlivá na vlhkost než pevnost v tahu.

Vlhkost dřeva byla měřena pomocí přístroje Hygrotest 6500 se záražecí sondou (Obr. 1.). Tento způsob měření upravuje norma ČSN EN 13183-2 „Vlhkost vzorku řeziva - Část 2: Odhad elektrickou odporovou metodou“ [4].



Obr. 1.: Přístroj na měření vlhkost dřeva Hygrotest 6500 se záražecí sondou.

Odporové zarážení trnu - PILODYN

Metoda odporového zarážení trnu pomocí přístroje Pilodyn 6J (Proceq) je alternativa pro rychlý a málo invazivní odhad hustoty dřeva. Měření pomocí přístroje Pilodyn lze zařadit mezi semidestruktivní testování. Poškození testovaného materiálu je velmi malé, téměř zanedbatelné.

Pro potřeby tohoto průzkumu byl použit model Pilodyn 6J (Obr. 2), jednoduché mechanické zařízení umožňující měřit hloubku zarážení trnu s průměrem 2,5 mm a délkou 40mm, vystřelovaného do dřeva při konstantní zarážecí síle 6 J. Pomocí dynamického nárazu kalibrovaného výstřelu, který je odpovědný za penetraci hrotu do povrchu materiálu, je možné měřit hloubku zarážení trnu. Maximální hloubka zarážení trnu je 40 mm.



Obr. 2.: Přístroj na měření hloubky zarážení trnu do dřeva Pilodyn 6J.

Při použití Pilodynu je nutné dodržení penetrace v čistě radiálním směru, a to z důvodu pravidelného střídání jarních a letních částí letokruhů. Pokud se Pilodyn používá v tangenciálním směru, může dojít k zarážení trnu jenom do jedné části letokruhu, potom jsou výsledky měření značně zkreslené. Při měření v radiálním směru a odklonu v rozmezí menším než 30°, se variabilita mění méně než o 10% [3].

Hustota je nejdůležitější fyzikální charakteristikou dřeva. Většina mechanických vlastností dřeva pozitivně koreluje s hustotou. Pro zjišťování hustoty konstrukčního dřeva na základě měření vlhkosti a hloubky vniku rázového trnu do dřeva lze použít tuto rovnici [2]:

$$\rho_{12} = 0,727987 - 0,027102 \cdot t_p \cdot [1 - 0,007 \cdot (w - 12)]$$

kde ρ_{12} - je hustota dřeva při vlhkosti 12 % [g/cm³];

t_p - hloubka vniku rázového trnu do dřeva o známé vlhkosti [mm];

w - vlhkost dřeva v době měření [%].

Z hustoty lze potom pomocí regresních závislostí stanovit pevnost v ohybu [1].

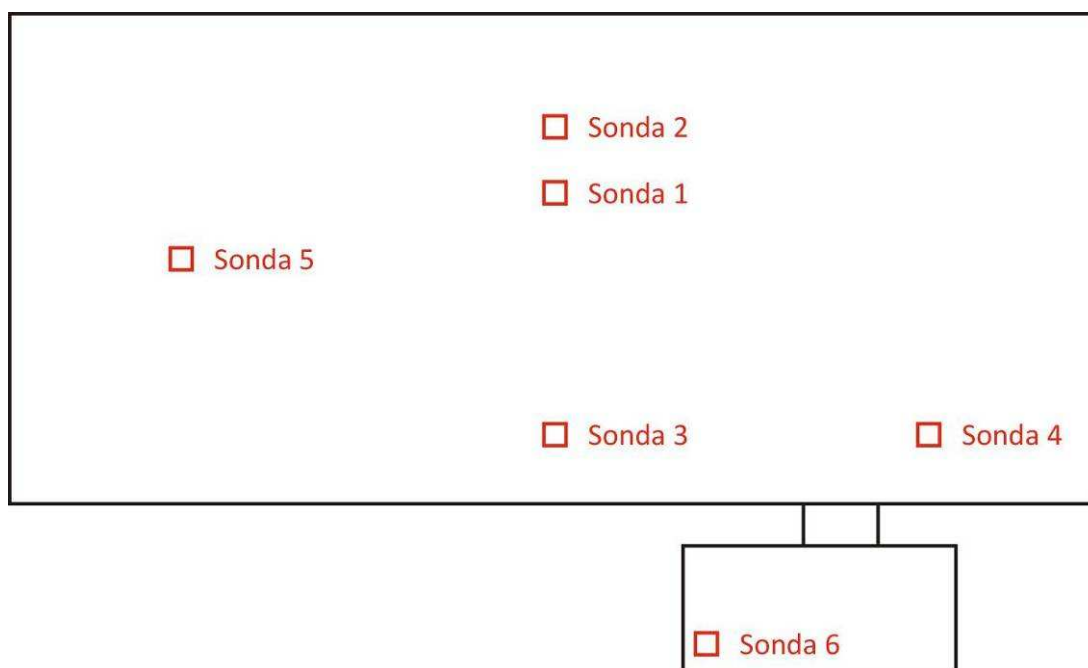
Výsledky nedestruktivního zkoušení vlastností dřeva jsou vždy jen orientační, pro jejich zpřesnění by měly být provedeny průkazné zkoušky. Průkazné zkoušky se provádějí podle ČSN EN 384 „Konstrukční dřevo - Stanovení charakteristických hodnot mechanických vlastností a hustoty“ a ČSN EN 408 „Dřevěné konstrukce - Konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo – Stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností“ a slouží k přímému stanovení některých fyzikálně-mechanických vlastností.

3. VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK DŘEVA

V podhledu konstrukce bylo pracovníky objednatele otevřeno celkem 6 sond, jedna ve vstupním objektu, pět nad hlavní halou pavilonu (Obr. 3.).

V místech otevřených sond byla provedena vizuální kontrola záklopu z prken, a fošen, tvořících nosnou konstrukci (byl zaznamenán druh dřeva, suky, trhliny, smolníky, stopy záteků vody, deformace prvků vlivem vlhkosti a podobně), dále na těchto dvou prvcích bylo provedeno jednorázové měření vlhkosti a na fošnách stanovena nedestruktivně (pomocí přístroje Pilodyn) orientační hodnota pevnosti v ohybu. Současně byla v místě sondy měřena teplota a relativní vlhkost vzduchu.

Je třeba poznamenat, že sondy 1 – 5 byly v době měření otevřeny již 5 dní, a tudíž mohlo dojít ke změně vlhkosti dřeva oproti běžným podmínkám v konstrukci. Sonda 6 byla otevřena 1 den před datem měření.



Obr. 3.: Schéma umístění otevřených sond pro zkoušky dřeva.

Výsledky vizuální prohlídky i měření jsou přehledně uvedeny v následujících tabulkách:

- v tabulce 1. pro prkna záklopu (vizuální prohlídka a podmínky v době měření),
- v tabulce 2. pro fošny nosné konstrukce (vizuální prohlídka a podmínky v době měření),
- v tabulce 3. vlhkosti obou typů prvků měřené přístrojem Hygrotest 6500,
- v tabulce 4. hloubky zaražení trnu přístroje Pilodyn 6J, jim odpovídající vypočtené hodnoty hustoty dřeva a pevnosti v ohybu.

V tabulce 5. je následně zpracováno celkové vyhodnocení prvků včetně zařazení do příslušných normativních tříd.

Tabulka 1.: Podmínky v době měření a vizuální prohlídka pro prkna záklopu.

Sonda č.	Teplota vzduchu	Relativní vlhkost vzduchu	Stáří sondy	Záklop z prken						
				Vlhkost	Druh dřeva	Vady dřeva			Biotické poškození dřeva	
	[°C]	[%]	[dny]	[%]		Suky	Trhliny	Jiné / jaké	dřevo- kazné houby	dřevo- kazný hmyz
Pavilon D - zastřešení nad hlavní objektem										
1	10	24	5	10	jehličnaté	jednotlivé, do 1/5	NE	změna barvy dřeva vlivem záteků vody; příčné zakřivení	NE	NE
2	10	23	5	11	jehličnaté	skupinové, do 1/2	výsušné	změna barvy dřeva vlivem záteků vody a asfaltu; smolníky; příčné zakřivení	NE	NE
3	11	23	5	11	jehličnaté	jednotlivé, do 1/5	NE	změna barvy dřeva vlivem záteků vody a asfaltu; smolníky; příčné zakřivení	NE	NE
4	7	24	5	13	jehličnaté	jednotlivé, do 1/5	NE	místy změna barvy dřeva vlivem záteků vody a asfaltu; příčné zakřivení	NE	NE
5	10	23	5	11	jehličnaté	skupinové, do 2/3	NE	změna barvy dřeva vlivem záteků vody; smolníky; příčné zakřivení	NE	NE
Pavilon D - zastřešení nad vstupním objektem										
6	5	25	1	19	jehličnaté	jednotlivé, do 1/5	NE	změna barvy dřeva vlivem záteků vody a asfaltu; smolníky	NE	NE

Tabulka 2.: Podmínky v době měření a vizuální prohlídka pro fošny nosné konstrukce.

Sonda č.	Teplota vzduchu	Relativní vlhkost vzduchu	Stáří sondy	Fošny namáhané na ohyb v poloze na stojato						
	[°C]	[%]	[dny]	Vlhkost	Druh dřeva	Vady dřeva			Biotické poškození dřeva	
				[%]		Suky	Trhliny	Jiné / jaké	dřevo- kazné houby	dřevo- kazný hmyz
Pavilon D - zastřešení nad hlavní objektem										
1	10	24	5	9	jehličnaté	přes více než 1/2	výsušné	místy změna barvy dřeva vlivem záteků vody	NE	NE
2	10	23	5	11	jehličnaté	do 1/5	NE	změna barvy dřeva vlivem záteků vody; smolníky	NE	NE
3	11	23	5	12	jehličnaté	do 1/5	NE	změna barvy dřeva vlivem záteků vody; smolníky	NE	NE
4	7	24	5	11	jehličnaté	NE	výsušné	změna barvy dřeva vlivem záteků vody; smolníky	NE	NE
5	10	23	5	9	jehličnaté	do 1/5	NE	místy změna barvy dřeva vlivem záteků vody	NE	NE
Pavilon D - zastřešení nad vstupním objektem										
6	5	25	1	17	jehličnaté	NE	NE	změna barvy dřeva vlivem záteků vody; smolníky	NE	NE

Tabulka 3.: Výsledky měření vlhkosti přístrojem Hygrotest 6500 obou typů prvků.

Sonda č.	Teplota vzduchu	Relativní vlhkost vzduchu	Stáří sondy	Vlhkost záklopu z prken				Vlhkost fošen namáhaných na ohyb v poloze na stojato			
				1. měř .	2. měř .	3. měř .	∅	1. měř .	2. měř .	3. měř .	∅
	[°C]	[%]	[dny]	[%]				[%]			
Pavilon D - zastřešení nad hlavní objektem											
1	10	24	5	9	11	10	10	9	9	9	9
2	10	23	5	10	11	11	11	11	11	10	11
3	11	23	5	10	10	12	11	12	12	12	12
4	7	24	5	12	14	13	13	12	10	11	11
5	10	23	5	11	11	11	11	9	10	9	9
∅	10	23	5				11				10
Pavilon D - zastřešení nad vstupním objektem											
6	5	25	1	20	18	18	19	21	15	16	17

Tabulka 4.: Výsledky měření hloubky zaražení trnu přístrojem Pilodyn 6J a jim odpovídající vypočtené hodnoty hustoty dřeva a pevnosti v ohybu.

Sonda č.	Hloubka zaražení trnu na fošnách namáhaných na ohyb v poloze na stojato				Hustota dle [2]	Pevnost v ohybu dle [1]
	1. měření	2. měření	3. měření	Ø	[kg/m³]	[N/mm²]
	[mm]					
Pavilon D - zastřešení nad hlavní objektem						
1	12	10	10	11	432	45
2	10	12	10	11	436	46
3	9	12	10	10	448	47
4	13	10	12	12	410	42
5	12	10	10	11	434	45
Ø				11	432	45
Pavilon D - zastřešení nad vstupním objektem						
6	17	16	15	16	311	26

Tabulka 5.: Celkové vyhodnocení prvků a zařazení do příslušných normativních tříd.

Sonda č.	Záklop z prken		Fošny namáhané na ohyb v poloze na stojato		
	Vizuální třída podle ČSN 73 2824-1	Třída podle nahrazené ČSN 49 1531-1: 1998	Vizuální třída podle ČSN 73 2824-1	Třída podle nahrazené ČSN 49 1531-1: 1998	Pevnost v ohybu [N/mm ²]
Pavilon D - zastřešení nad hlavní objektem					
1 - 5	S 7	SII	V sondě 1: S 7K, ostatní: S 10K	V sondě 1: SII, ostatní: SI	42 - 47
Pavilon D - zastřešení nad vstupním objektem					
6	S 7	SII	S 10K	SI	26

4. ZÁVĚR

Výsledky diagnostiky dřevěných prvků pavilonu D, Veletrhy Brno můžeme rozdělit na čtyři části a to diagnostiku záklopu z prken sond 1 až 5 (hlavní objekt), diagnostiku záklopu z prken sondy 6 (vstupní objekt), diagnostiku fošen namáhaných na ohyb v poloze na stojato sond 1 až 5 a diagnostiku fošny namáhané na ohyb v poloze na stojato sondy 6. Na záklopech z prken byla provedena vizuální prohlídka a měření vlhkosti přístrojem Hygrotest 6500. Na fošnách byla provedena vizuální prohlídka, měření vlhkosti přístrojem Hygrotest 6500, měření hloubky zaražení trnu přístrojem Pilodyn 6J a jim odpovídající vypočtené hodnoty hustoty dřeva a pevnosti v ohybu.

Výsledky diagnostiky záklopu z prken sond 1 až 5 (hlavní objekt) jsou následující:

- Teplota vzduchu byla 7 - 11°C, relativní vlhkost vzduchu byla 23 - 24% , stáří otevření sond bylo 5 dní.
- Při vizuální prohlídce (podrobné výsledky viz tabulka 1) bylo stanoveno dřevo jako jehličnaté, byly nalezeny suky, smolníky, u jedné sondy výsušné trhliny, změna barvy dřeva vlivem záteků vody a asfaltu a příčné zakřivení způsobené zatékáním vody, ale nebylo nalezeno biotické poškození dřeva. Zejména z důvodu poškození konstrukce vlivem zatékání byl záklop z prken zařazen podle ČSN 73 2824-1 do vizuální třídy **S 7**.
- Průměrná vlhkost změřená přístrojem Hygrotest 6500 (podrobné výsledky viz tabulka 3) byla **10 - 13%**. Je nutno zdůraznit, že sonda byla otevřená 5 dní před vlastní zkouškou a tudíž naměřená vlhkost nemusí odpovídat skutečné vlhkosti konstrukce, před otevřením sondy.

Výsledky diagnostiky fošen namáhaných na ohyb v poloze na stojato sond 1 až 5 (hlavní objekt) jsou následující:

- Teplota vzduchu byla 7 - 11°C, relativní vlhkost vzduchu byla 23 - 24% , stáří otevření sond bylo 5 dní.
- Při vizuální prohlídce (podrobné výsledky viz tabulka 2) bylo stanoveno dřevo jako jehličnaté, byly nalezeny suky, smolníky, výsušné trhliny, změna barvy dřeva vlivem záteků vody, ale nebylo nalezeno biotické poškození dřeva. Zejména z důvodu poškození konstrukce vlivem zatékání byly fošny v sondách 2 – 5 zařazené podle ČSN 73 2824-1 do vizuální třídy **S 10K**. V sondě 1 byl nalezen suk přes celou výšku fošny (Obr. 5) z tohoto důvodu byla fošna zařazena podle ČSN 73 2824-1 do vizuální třídy **S 7K**.
- Průměrná vlhkost změřená přístrojem Hygrotest 6500 (podrobné výsledky viz tabulka 3) byla **9 - 12%**. Je nutno zdůraznit, že sonda byla otevřená 5 dní před vlastní zkouškou a tudíž naměřená vlhkost nemusí odpovídat skutečné vlhkosti konstrukce, před otevřením sondy.
- Průměrná hloubka zaražení trnu přístrojem Pilodyn 6J (podrobné výsledky viz tabulka 4) byla 10 – 12 mm, tomu odpovídá dle [2] hustota dřeva 448 – 410 kg/m³ a pevnost v ohybu dle [1] **47 – 42 N/mm²**. Výsledky nedestruktivního zkoušení vlastností dřeva přístrojem Pilodyn 6J jsou orientační, pro jejich zpřesnění musí být provedeny průkazné zkoušky.

Výsledky diagnostiky záklopu z prken sondy 6 (vstupní objekt) jsou následující:

- Teplota vzduchu byla 5°C, relativní vlhkost vzduchu byla 25%, stáří otevření sondy bylo 1 den.
- Při vizuální prohlídce (podrobné výsledky viz tabulka 1) bylo stanoveno dřevo jako jehličnaté, byly nalezeny suky, smolníky a změna barvy dřeva vlivem záteků vody a asfaltu, ale nebylo nalezeno biotické poškození dřeva. Zejména z důvodu poškození konstrukce vlivem masivního zatékání vody byl záklop z prken zařazen podle ČSN 73 2824-1 do vizuální třídy **S 7**.
- Průměrná vlhkost změřená přístrojem Hygrotest 6500 (podrobné výsledky viz tabulka 3) byla **19%**. Při této vlhkosti již dřevo může být náchylné k napadení dřevokaznými houbami a hmyzem.

Výsledky diagnostiky fošen namáhaných na ohyb v poloze na stojato sondy 6 (vstupní objekt) jsou následující:

- Teplota vzduchu byla 5°C, relativní vlhkost vzduchu byla 25%, stáří otevření sondy bylo 1 den.
- Při vizuální prohlídce (podrobné výsledky viz tabulka 2) bylo stanoveno dřevo jako jehličnaté, byly nalezeny smolníky, a změna barvy dřeva vlivem záteků vody, ale nebylo nalezeno biotické poškození dřeva. Zejména z důvodu poškození konstrukce vlivem masivního zatékání vody byly fošny zařazeny podle ČSN 73 2824-1 do vizuální třídy **S 10K**.
- Průměrná vlhkost změřená přístrojem Hygrotest 6500 (podrobné výsledky viz tabulka 3) byla **17%**. Při této vlhkosti již dřevo může být náchylné k napadení dřevokaznými houbami a hmyzem.
- Průměrná hloubka zaražení trnu přístrojem Pilodyn 6J (podrobné výsledky viz tabulka 4) byla 16 mm, tomu odpovídá dle [2] hustota dřeva 311 kg/m³ a pevnost v ohybu dle [1] **26 N/mm²**. Výsledky nedestruktivního zkoušení vlastností dřeva přístrojem Pilodyn 6J jsou orientační, pro jejich zpřesnění musí být provedeny průkazné zkoušky.

Doporučení pro postup při rekonstrukci:

- Při rekonstrukci konstrukce je nutné vyřešit příčiny záteků. Proto doporučujeme důkladnou prohlídku krytiny a všech kritických míst, kde může dojít k zatékání do konstrukce. Při trvalém zatékání do konstrukce hrozí zvýšená vlhkost dřeva, která ovlivňuje jak riziko biotické degradace dřeva způsobené dřevokaznými houbami a dřevokazným hmyzem, tak také ovlivňuje jeho mechanické vlastnosti.
- Dále je potřeba ze stejných důvodů zajistit trvalé přirozené větrání dřevěné konstrukce.

5. PŘÍLOHA I. - FOTODOKUMENTACE



Obr. 4.: Sonda 1 otevřená ve stropu nad halou pavilonu.



Obr. 5.: Sonda 1 - nosné fošny a záklop, na fošně je vidět suk přes celou výšku fošny a vodorovná trhlinka.



Obr. 6.: Sonda 2 otevřená ve stropu nad halou pavilonu.



Obr. 7.: Sonda 2 - detail nosné fošny a záklopu.



Obr. 8.: Sonda 3 otevřená ve stropu nad halou pavilonu.



Obr. 9.: Sonda 3 - stopy na fošně naznačují občasnou kondenzaci vlhkosti na jejím povrchu.



Obr. 10.: Sonda 3 - prvky podepření konstrukce pro vytvoření sklonu.



Obr. 11.: Sonda 4 otevřená ve stropu nad halou pavilonu.



Obr. 12.: Sonda 4 - na fošně patrné jak záteky, tak stopy kondenzace.



Obr. 13.: Sonda 5 otevřená ve stropu nad halou pavilonu.



Obr. 14.: Sonda 5 - masivní stopy záteků i kondenzátu po celé ploše konstrukce.



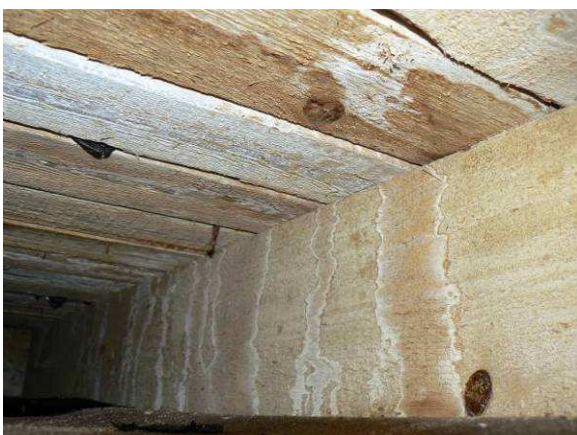
Obr. 15.: Sonda 5 - masivní stopy záteků i kondenzátu po celé ploše konstrukce.



Obr. 16.: Sonda 6 otevřená ve stropu nad vstupním objektem.



Obr. 17.: Sonda 6 otevřená ve stropu nad vstupním objektem – detail.



Obr. 18.: Sonda 6 - na fošně patrné stopy zatékání srážkové vody mezi záklopovými prkny, zatékání patrné i na ploše záklopu.



Obr. 19.: Sonda 6 - stopy zatékání srážkové vody jasně viditelné i na vzdálenějších prvcích konstrukce.