

K4 a.s.
Mlýnská 326/13
602 00
Brno

**PAVILON „D“
v areálu spol. Veletrhy Brno, a.s.**

PODROBNÝ PRŮZKUM STÁVAJÍCÍ STŘECHY

BRNO, březen 2011

Spolupracovali:

Ing. Milan Šmak, Ph.D.
Ing. Jan Barnat, Ph.D.
Ing. Josef Holomek
Ing. Věra Heřmánková, PhD.
Ing. Ondřej Anton, PhD.
Ing. Petr Cikrle, PhD.

Zpracovali:

Ing. Bohuslav Zmek, CSc.
Ing. Jana Růžičková
Vladislav Mikuláščík
Ing. Libor Švaříček

Prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.

OBSAH

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1 | ÚVOD | 3 |
| 2 | PODKLADY | 3 |
| 3 | STRUČNÝ POPIS POSUZOVANÉ STŘEŠNÍ KONSTRUKCE | 4 |
| 4 | PRŮZKUM DOSTUPNÉ DOKUMENTACE..... | 6 |
| 4.1 | PODKLADY PRO PŘEPOČET ING. ŠMERKA - [2] | 6 |
| 4.2 | PŘEPOČET STŘECHY FIRMOU CHEMOPORJEKT – ING. RUSS – PODKLAD [3] | 7 |
| 4.3 | POSOUZENÍ STATICKÉHO VÝPOČTU STŘECHY – PROF. LEDERER - [4]..... | 7 |
| 4.4 | TECHNICKÁ ZPRÁVA Z PRŮBĚHU REALIZACE – ING. ŠMEREK [5] | 8 |
| 4.5 | TECHNICKÝ POSUDEK PLOCHÉ STŘECHY [6] | 9 |
| 4.6 | PŘEDCHOZÍ PRŮZKUM FY STAVEXIS [7] | 10 |
| 4.7 | ZNALECKÝ POSUDEK FY QUALIFORM – PODKLAD [8] | 10 |
| 4.8 | SKUTEČNOSTI ZJIŠTĚNÉ PŘEDCHOZÍM PRŮZKUMEM FY BESTEX – PODKLAD [9]..... | 10 |
| 4.9 | ZÁVĚRY Z DOSTUPNÝCH PODKLADŮ | 12 |
| 5 | PRŮZKUM OCELOVÝCH NOSNÝCH PRVKŮ STŘEŠNÍ KONSTRUKCE | 12 |
| 6 | SONDY DO SKLADBY STŘECHY..... | 15 |
| 7 | VLHKOST A PEVNOST DŘEVĚNÝCH PRVKŮ | 16 |
| 8 | NIVELACE (MĚŘENÍ DEFORMACÍ) STŘECHY | 17 |
| 9 | NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY TVRDOSTI OCELI | 19 |
| 9.1 | METODA POLDI..... | 20 |
| 9.1.1 | METODIKA ZKOUŠEK – POLDI Kladívko [2]..... | 20 |
| 9.1.2 | VÝSLEDKY ZKOUŠEK NA SROVNÁVACÍCH VZORCÍCH | 21 |
| 9.1.3 | VÝSLEDKY ZKOUŠEK NA KONSTRUKCI – METODA POLDI..... | 21 |
| 9.2 | METODA ERNST COMPUTEST | 22 |
| 9.2.1 | VÝSLEDKY ZKOUŠEK NA SROVNÁVACÍCH VZORCÍCH | 22 |
| 9.2.2 | VÝSLEDKY ZKOUŠEK NA KONSTRUKCI – ERNST COMPUTEST | 22 |
| 10 | ZÁVĚRY, DOPORUČENÍ..... | 23 |

Přílohy:

Příloha 1 Fotodokumentace

Příloha 2 Záznamy průzkumu

Příloha 3 Měření nivelace

Příloha 4 Zkoušky oceli

Příloha 5 Archivní podklady

Příloha 6 Dílčí zpráva o diagnostice dřevěných prvků pavilonu D

1 ÚVOD

Na základě smlouvy o dílo č. 837-03-13 byl v termínu od 8. 2. 2011 do 10. 3. 2011 proveden průzkum nosné ocelové konstrukce střechy. Výsledky realizovaného průzkumu jsou výchozím podkladem pro následné statické posouzení nosných konstrukcí střechy na účinky nového zatížení.

2 PODKLADY

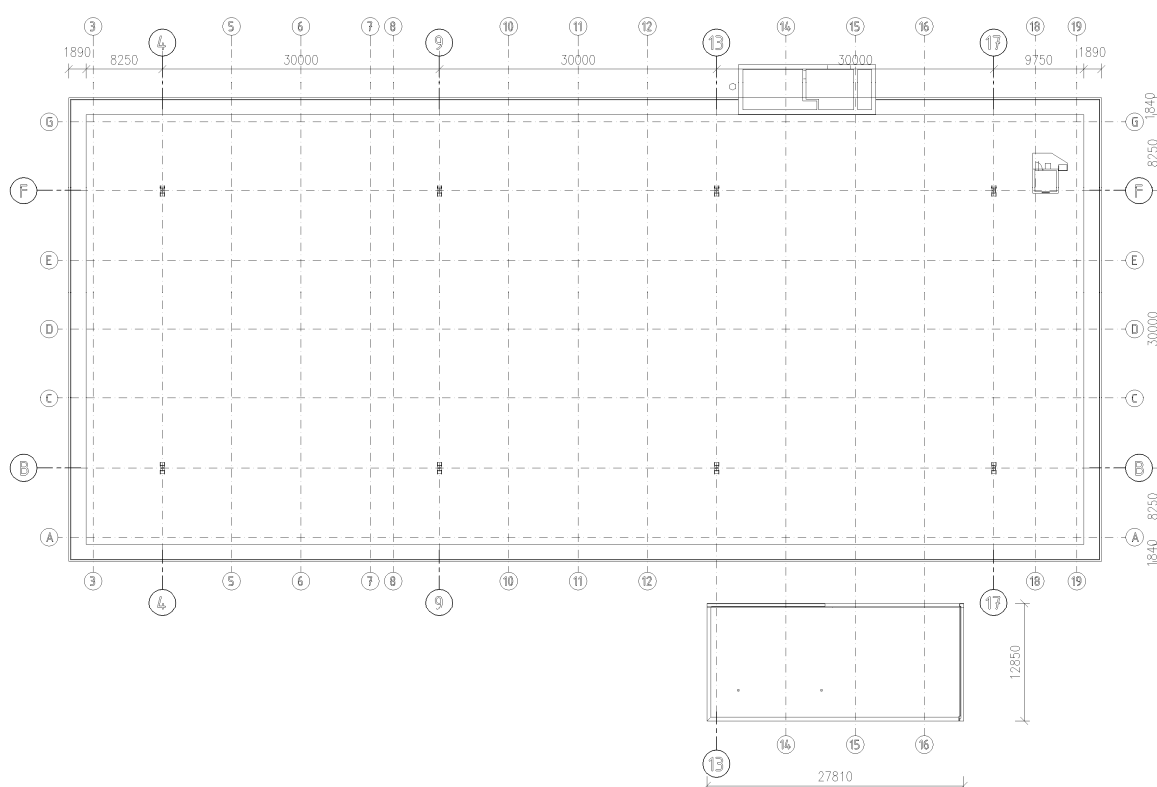
- [1] Dochovaná původní výkresová dokumentace, Pavilon S, Montážní schéma konstrukce střechy, projekční středisko BVV, Ing. arch. Denk, Ing. R. Russ, Ing. Šmerek, 03/1967
- [2] Podklady pro přepočet střešní konstrukce pavilonu „S“, Ing. Jaroslav Šmerek, 12/1968
- [3] Konečné projektové řešení, Přepočet pavilonu „S“, Statický výpočet ocelové konstrukce, Chemoprojekt - Ing. Radúz Russ CSc., 03/1969
- [4] Posouzení statického výpočtu ocelové konstrukce pavilonu S brněnského výstaviště – odborně vědecká expertiza, Prof. Ing. Dr. Ferdinand Lederer, Dr.Sc., 12/1969
- [5] Technická zpráva k dodatku OK II – vstupní objekt, Ing. Jaroslav Šmerek, 01/1972
- [6] Technický posudek ploché střechy, Pavilon „D“, Brněnské veletrhy a výstavy, Ing. Michal Milták, 04/1997
- [7] Stavebně technický průzkum pavilonu D v areálu BBV Brno; vypracoval: znalecký ústav Stavexis s. r. o., v Brně dne 4. 11. 2008
- [8] Znalecký posudek č. 28500 – 544/2009: Posouzení technického stavu pavilonu D v areálu Brněnského výstaviště; vypracoval: Qualiform a. s., v Brně dne 11. 12. 2009
- [9] Stavebně – technický průzkum objektu, pavilon „D“ v areálu Brněnského výstaviště, Bestex spol. s r. o., 12/2010
- [10] ČSN ISO 13 822: Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí
- [11] Cikrle, Ambrosová, Havlíková, Zkoušení stavebních materiálů. CERM Brno, 1997
- [12] Kuklík, P.: Dřevěné konstrukce; publikace ČKAIT, ISBN 80 86769-72-0
- [13] http://www.prolignum.cz/fileadmin/prolignum/media.cz/1_Dřevo_jako_stavebni_materiál_Petr_Kuklík.pdf
- [14] <http://www.kloiber.cz/pub.htm>
- [15] ČSN EN 13183-2: „Vlhkost vzorku řeziva - Část 2: Odhad elektrickou odporovou metodou“
- [16] ČSN 73 2824-1: „Třídění dřeva podle pevnosti - Část 1: Jehličnaté řezivo“
- [17] ČSN EN 338: “Konstrukční dřevo - Třídy pevnosti”
- [18] ČSN EN 335-1: „Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva – Definice tříd použití – Část 1: Všeobecné zásady“
- [19] ČSN EN 335-1: „Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva – Definice tříd použití – Část 1: Aplikace na rostlé dřevo“

3 STRUČNÝ POPIS POSUZOVANÉ STŘEŠNÍ KONSTRUKCE

Objekt má v části půdorysu až čtyři nadzemní podlaží, jeho půdorysné rozměry jsou cca 112 x 50 m, výška cca 16,6 m.

Základní nosný systém objektu pavilonu D je železobetonová monolitická konstrukce, která je uvnitř kombinována s ocelovou vestavbou. Stropní konstrukce nad 1. NP jsou monolitické železobetonové stropy s různou výškovou úrovní, oddělené dilatací.

Hlavní objekt výstavního pavilonu (s půdorysnými rozměry cca 110 x 50 m) je zastřešen samostatně vynášenou střešní konstrukcí, která je řešena jako prostorová ocelová příhradovina se šroubovanými styčníky v celkem 3 výškových úrovních. Celková účinná výška ocelové konstrukce střechy (vzdálenost mezi rovinou spodních a horních pásů) je cca 2,4 m. Střecha je podporována celkem 8 ks ocelových sloupů založených plošně na základových patkách, do kterých jsou sloupy vetknuté. Nosné rozpětí mezi sloupy je 30 x 30 m s vykonzolováním cca 10 m směrem k obvodovému plášti – viz schéma na **Obr. 1**. Okraj střechy je řešen pomocí kyvných prutů uchycených ke střední styčnické rovině příhradoviny a k nosným sloupkům obvodového pláště – viz **Obr. 2**. Samotná nosná příhradovina je tvořena stavebnicovou soustavou z jednotlivých dílensky svařovaných jehlanů, které jsou tvořeny svařenými ocelovými trubkami různých dimenzí. Na místě stavby je potom konstrukce z těchto jehlanů sestavena za pomoci montážních šroubovaných styčníků. Dimenze nosných trubek je dle dostupné dokumentace cca následující:

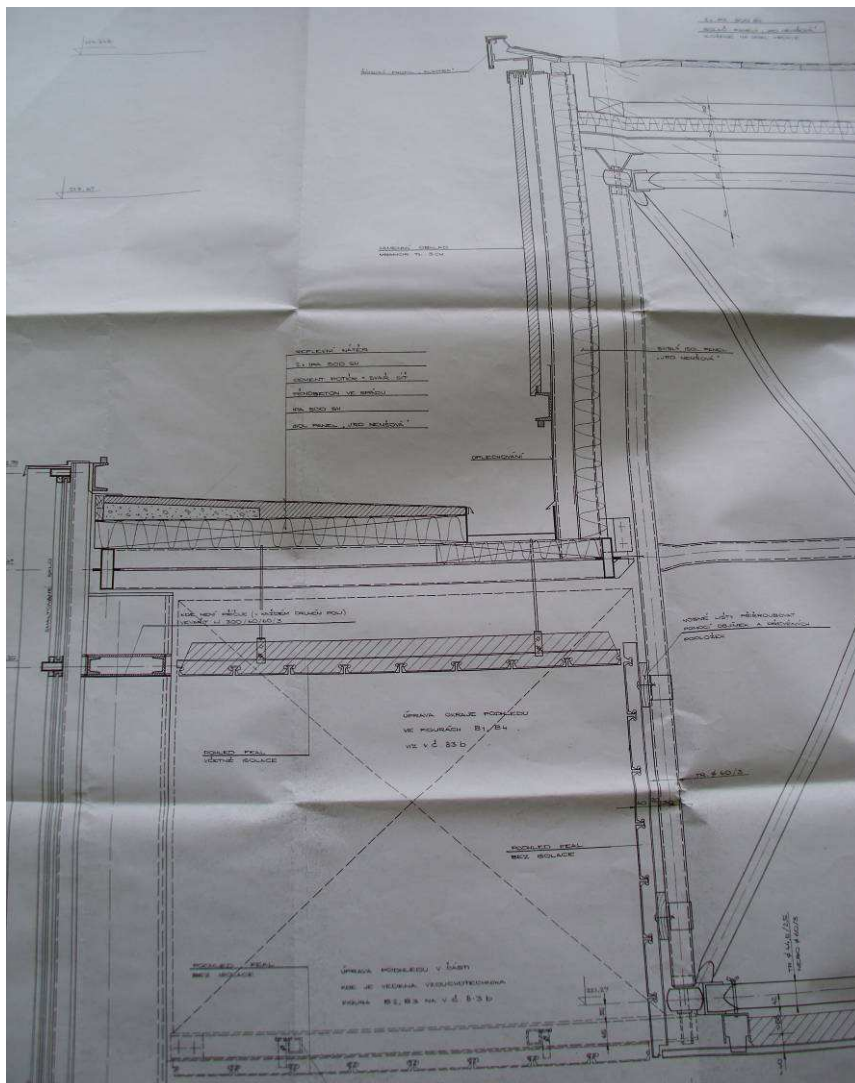


Obr. 1: Základní půdorys střešní konstrukce

Spodní a horní rovina příhradoviny – TR 44,5/2,5; TR 60/3; TR 60/5; TR 60/6,

Střední rovina příhradoviny – TR 32/2,5.

V okolí uložení střechy na nosné sloupy jsou realizovány svařované hlavice zesilující konstrukci montované stavebnicové ocelové střechy v uložení.

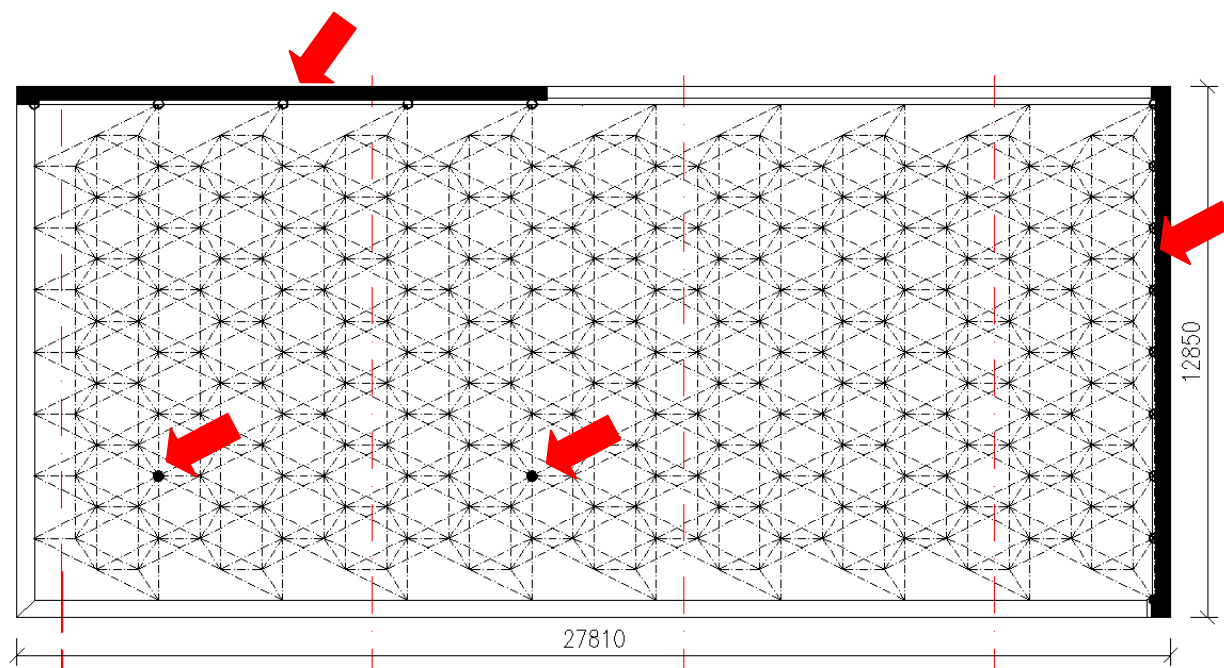


Obr. 2: Napojení kyvných prutů obvodového pláště

Vstupní objekt s půdorysnými rozměry cca 28 x 13 m je zastřešen rovněž stavebnicovou ocelovou prostorovou příhradovinou se dvěma řadami styčníků (spodním a horním pásem) s celkovou účinnou výškou cca 1,2 m.

Hlavní nosné prvky střechy jsou železobetonové štítové stěny a 2 ks vnitřních ocelových sloupů založených na základových patkách – viz **Obr. 3**.

Příhradovina je na těchto nosných konstrukcích uložena v místech horních styčníků. Nosné prvky tvořící konstrukci montovaných jehlanů jsou (dle dostupné dokumentace) následujících dimenzí: TR 44,5/2,5; TR 60/3; TR 60/5; TR 60/6.



Obr. 3: Vyznačení nosných prvků střechy vstupního objektu

4 PRŮZKUM DOSTUPNÉ DOKUMENTACE

Následná kapitola se věnuje výpisu důležitých skutečností z podkladů, dohledaných v archivu dosavadního vlastníka objektu – firmy Veletrhy Brno, a. s. Dále je jedna kapitola věnována všem dostupným předchozím průzkumům posuzovaného objektu pavilonu D.

Vypsány jsou jen skutečnosti týkající se hlavní střešní konstrukce – prostorové ocelové příhradoviny.

4.1 PODKLADY PRO PŘEPOČET ING. ŠMERKA - [2]

V citovaném podkladu je uvedena skladba uvažovaná při přepočtech střechy. Bohužel tato skladba nedopovídá skladbě realizované, zřejmě v pozdější době došlo k záměně skladby, v archivu se nepodařilo k této záměně dohledat podklady. Není např. jasné zda-li byla úprava konzultována se statiky apod.

V citovaném podkladu [2] je uvedeno toto uvažované zatížení dle ČSN 730005 – viz **Tab. 1.** Z podkladu rovněž plyne, že zatížení větrem bylo uvažováno s největší pravděpodobností jen ve vodorovném směru – ve směru roviny střechy.

Tab. 1 Uvažované zatížení dle podkladu [2]

| | Zatížení [kp/m ²] | Součinitel zatížení | Zatížení [kp/m ²] |
|----------------------------------|-------------------------------|---------------------|-------------------------------|
| Krytina | | | |
| KOB 1004 tl. 0,8 mm | 2,5 | | |
| Rošt z latí | 5 | | |
| 1xIPA + nátěr RUBOL | 12,5 | 1,1 | 22 |
| Isolační panely tl. 5,5 cm | 30 | 1,3 | 39 |
| Vlastní váha konstrukce + krokví | | | 21 |
| Celkem stálé | | | 82 |
| Užitné zatížení – oblast I | 50 | 1,4 | 70 |
| Zatížení větrem | 65 | | |

4.2 PŘEPOČET STŘECHY FIRMOU CHEMOPORJEKT – ING. RUSS – PODKLAD [3]

Citovaný statický přepoččet byl vypracován dne 25. 3. 1969. Uvažované zatížení není podrobněji rozebráno, odkaz na dodané podklady jednotlivých tíh podle tzv. „konečného projektového řešení“. Zatížení bylo uvažováno jako břemena působící ve všech uzlech konstrukce. Průměrné uvažované výpočtové zatížení je:

$$q_{stř} = \frac{277\,605}{22,5 \cdot 55,5} = 222,3 \text{ kp} \cdot \text{m}^{-2},$$

příčemž:

svislé břemeno horního povrchu je $P_z = 351 \text{ kp}$, čemuž odpovídá zatížení $q_h = 156 \text{ kp} \cdot \text{m}^{-2}$,
svislé břemeno uzlů střednicové roviny je $P_z = 47 \text{ kp}$, čemuž odpovídá zatížení $q_s = 47 \text{ kp} \cdot \text{m}^{-2}$,
svislé břemeno uzlů dolního povrchu je $P_z = 45 \text{ kp}$, čemuž odpovídá zatížení $q_d = 19 \text{ kp} \cdot \text{m}^{-2}$.

V okrajových styčnicích horního povrchu působí zatížení $P_z = 2 \times 632 = 1264 \text{ kp}$ v každém druhém uzlu, čemuž odpovídá zatížení $q = 457 \text{ kp} \cdot \text{m}^{-1}$ okraje.

V dalších kapitolách citovaného podkladu je uvedeno:

- stanovení únosností prutů dle ČSN 731401,
- konstrukce je vyrobena z oceli 11523, svary jsou provedeny za nepřístupu vzduchu v atmosféře CO_2 , ve výpočtu uvažováno $\alpha_1 = 0,85$, $m = 0,8$, $R = 2900 \text{ kp} \cdot \text{cm}^{-2}$,
- ve výpočtu uvažován vzpěrnostní součinitel se zohledněním vzpěrných délek $l_{vz} = 0,8 \cdot l_{teor}$ pro stavebnicovou konstrukci a $l_{vz} = l_{teor}$ pro hlavice sloupů,
- do výpočtu byla konstrukce modelována pouze svojí $\frac{1}{4}$, na osách symetrie byl předpokládán nulový posun kolmo k rovině symetrie,
- výpočet byl proveden strojově maticovou analýzou (deformační metoda).

Mezi hlavní výstupy tohoto posouzení patří (citujeme):

- U 11 prutů, které byly ovlivněny úpravou konstrukce pro úvahu symetrie (prodloužením středního pole) došlo k překročení únosnosti o cca 1÷6%. Toto překročení je možno zanedbat.
- U prutu č. 6149 je překročena výpočtová síla o 23%, tento prut je nutno nahradit prutem s tuhostí č. 42.

Závěr posudku: „Přepoččet prokázal, že konstrukce vyznačená na v. č. 4.2, 4.3, 4.4 zak. č. BVV 60184 bezpečně přenese stálé i nahodilé zatížení při uspořádání dle konečného projektového řešení a s přihlédnutím k platným ČSN.“

4.3 POSOUZENÍ STATICKÉHO VÝPOČTU STŘECHY – PROF. LEDERER - [4]

Posouzení bylo provedeno k prosinci 1969. Prof. Lederer zvolil pro kontrolní přepoččet jinou metodu výpočtu – metodu analogie kontinua za zjednodušujících předpokladů hypotéz tenké desky – tedy bez uvažování účinku smyku na pořadnici průhybu. Řešení bylo realizováno rovněž za předpokladu dvouosé symetrie na čtvrtině soustavy.

Z pořadnic průhybu jsou vypočteny ohybové a kroutící momenty, z nichž dále ohybové momenty ve směrech pásů a z nich pak osově síly v pásech.

Z posouzení prof. Lederera vyplývá, že řada prutů dosahuje napjatosti za mezí kluzu oceli, většina však nepřesahuje mez pružnosti. Některé pruty (např. v uzlu 01 a v uzlu č. 51 – osa řešené symetrické soustavy napříč mezi vnitřními sloupy) však přesahují i mez pružnosti, což v posudku není nijak výrazně komentováno.

V závěrech posudku je potom uvedeno (dílčí citace):

- různé předpoklady obou výpočtů (strojní maticová analýza – viz [3] a analogie kontinua [4] vedly někdy k dosti odlišným výsledkům,
- největší rozdíly ve výsledcích se projevíly v osových silách prutů v oblasti středu celé soustavy, tedy v poli mezi čtyřmi středními sloupy,
- v této oblasti spodní pruty vyhovují, horní tlačené pruty svoji únosností vysoko převyšují působící účinky,
- autor posudku se zabývá případným důvodem v nesrovnalostech těchto dvou výpočtů, přičemž poukazuje na výzkumný úkol řešící obdobnou problematiku srovnání těchto výpočtových metod, která prokázala dobrou shodu obou výsledků – zamýšlí se nad případným vlivem v tuhých a kloubových styčnicích,
- dále je v textu konstatováno, že ocelová konstrukce je v době vyhotovení posudku téměř smontována,
- v místě uprostřed spojnice mezi středovými sloupy (uzel 51) je rovněž napjatost posuzovaných prutů za mezí pružnosti, přičemž šikmé pásy jsou téměř nenapjaty a skýtají při tak násobně tvarově přeuročité soustavě bezpečnou rezervu k přeskupení vnitřních sil v případě, že by se konstrukce chovala dle předpokladů expertizy,
- v okolí podpor jsou napjatosti zcela uspokojivé, ve směru příčných pásů s velkou rezervou únosnosti, ve směru šikmém s malým překročením výpočtového namáhání, avšak pod mezí pružnosti,
- diagonály zkoumány nebyly, v podporách jsou v nutném rozsahu posíleny podporovými různými velmi silně dimenzovanými, ostatní posouvající síly v poli jsou menší než síly pásové, zatímco pruty skladebných jehlanů jsou jak v pásech, tak v diagonálách dány z výrobních důvodů namnoze stejné,

Z konečného závěru autora expertizy prof. Lederera vyjímáme: „*reálná konstrukce podle předloženého globálního posouzení je s to přenést bezpečně uvažované zatížení. Rozhodnutí, která metoda výpočtu lépe vystihuje skutečnost v té které konstrukční úpravě, je věcí našeho dalšího zkoumání.*“

4.4 TECHNICKÁ ZPRÁVA Z PRŮBĚHU REALIZACE – ING. ŠMEREK [5]

Tato zpráva se týká malé střechy vstupního pavilonu a její datování i skutečnosti obsažené v textu odpovídají období realizace objektu. V textu zprávy je zkráceně uvedeno:

- před smontováním střešní konstrukce vstupního objektu chybí některé stavebnicové díly (jehlany), které již není možno dodatečně vyrobit,
- chybí celkem 11 jehlanů, 2 montážní diagonály a 2 vzpěry,
- předpoklad opravení 5 ks poškozených jehlanů a umístění do oblastí s menšími osovými silami,
- vznikne prázdná oblast 6 jehlanů, navrženo je vyplnění vevařením prutů a styčnickových plechů – doložen výkres úpravy č. 9.1B

- dále uvedeno: “vzhledem k tomu, že navržené pruty jsou mírně předimenzovány, je možno v případě obtížného zajištění profilů z materiálu 11523 použít materiál 11353“.

4.5 TECHNICKÝ POSUDEK PLOCHÉ STŘECHY [6]

Posudek byl vyhotoven na základě dvou místních šetření, bezprostředně navazujících na sebe. První šetření se konalo dne 4. 4. 1997 a navazující potom dne 11. 3. 1999. Ze závěrů posudku a provedených šetření vyjímáme následujícím rozhodující skutečnosti:

- horní hydroizolační vrstva vykazuje znaky progresivní degradace různých stupňů,
- úplné rozrušení horní hydroizolační vrstvy v ploše cca 25 – 30 %,
- v ploše střechy se vyskytují puchýře, svědčící o přítomnosti vody ve střešním plášti,
- četné opravy různými druhy materiálů, které však nespolutpůsobí při dilatační práci podkladu a původní trhliny se během ročního cyklu obnovují,
- nesprávné provedení detailů objektové dilatace – původní řešení v rovině střešního pláště plechovou dilatační lištou bylo překryto poslední vrstvou hydroizolace při poslední opravě – nová vrstva není schopna přenést od dilatační práce objektu a v tomto místě se nachází četné trhliny,
- nesprávné provedení detailů žlabů, atika a proniků konstrukcí střešním pláštěm, nejsou respektovány fyzikální vlastnosti použitých materiálů a dilatační práce nosných konstrukcí,
- provedeno 9 ks sond do střešního pláště, zjištěná skladba:
 - stěrková hydroizolace SAMARIT s nosnou tkanou vložkou,
 - 2x až 4x asfaltový pás typu IPA,
 - 1 x asfaltový pás typu A300/H,
 - dřevěné bednění s ochranným nátěrem,
- doporučení k opravě střechy formulované novějším posudkem z roku 1999 – tato doporučení jsou na objektu realizována:
 - střechu je možno opravit položením následné hydroizolační vrstvy,
 - vzhledem ke statickému řešení stavby doporučuji uvažovat s max. přetížením 2 kg/m^2 ,
 - doporučuji vyloučit technologie, které potřebují prohřívání pásů plamenem,
 - pro snížení prohřívání střešního pláště doporučuji požit pás se světlým povrchem, dojde i ke snížení síly od dilatační práce v rovině střešního pláště,
 - těsně před aplikací provést perforaci stávající hydroizolace (4 až 5 otvorů $25 \text{ mm} / \text{m}^2$),
 - osazení expanzních komínků pro uvolňování přítomné vlhkosti z hydroizolačního souvrství (1 ks komínku na 60 m^2).

4.6 PŘEDCHOZÍ PRŮZKUM FY STAVEXIS [7]

Ze závěrů, týkajících se statické stránky střešních a navazujících konstrukcí, vyjímáme:

- střešní příhradová konstrukce nevykazuje odchylky v geometrii ani žádné defekty spojů, nekvalitně provedené svary, uvolněné šrouby apod.,
- kotvení sloupů obvodového pláště vykazuje hloubkovou korozi především na severní straně v místě průniku vlhkosti z terasy, je navrženo utěsnění styku s terasou, obnažení ukotvení, očištění a antikorozní úprava narušených částí,
- uchycení obvodového pláště je provedeno nasunutím na T profily navařené na nosný sloupek; byla zjištěna pouze lokální koroze, není snížena funkčnost ukotvení, ukončení hliníkových profilů nezaručuje zamezení průniku srážek do konstrukce pláště, totéž bylo zjištěno i po výšce obvodového pláště, u cca 20 % míst jsou netěsnosti až 20 mm, ocelové úchyty skleněných tabulí jsou cca z 50 % zcela zkorodované.

4.7 ZNALECKÝ POSUDEK FY QUALIFORM – podklad [8]

Znalecký posudek firmy Qualiform se věnuje celkovému stavebně – technickému zhodnocení objektu, jedním z citovaných podkladů je předchozí posudek firmy Stavexis (odvolávka na střechu, desku galerie apod.) – viz [7].

Posudek obsahuje historii objektu od uvedení do provozu v r. 1973 a všechny známé zásadnější opravy a modernizace:

1973 – uvedení do provozu, **1975** – chlazení pavilonu, **1991** – rekonstrukce osvětlení a odvětrání prostoru střechy, **1992** – úprava podhledů, oprava terasy, **1993** – oprava WC, **1999** – oprava ploché střechy, **2002** – tiskařské centrum, **2006** – oprava šachet, **2008** – výměna eskalátorů.

Dále vyjímáme bodově:

- stav střešní konstrukce v dobrém stavu - potvrzení závěrů posudku firmy Stavexis,
- kondenzace vody na jednoduchém zasklení u obvodového pláště, případně zatékání do obvodového pláště,
- do projektu opravy pavilonu je navrženo zahrnout výměnu obvodového pláště, opravu zavěšených hliníkových podhledů,

4.8 SKUTEČNOSTI ZJIŠTĚNÉ PŘEDCHOZÍM PRŮZKUMEM FY BESTEX – podklad [9]

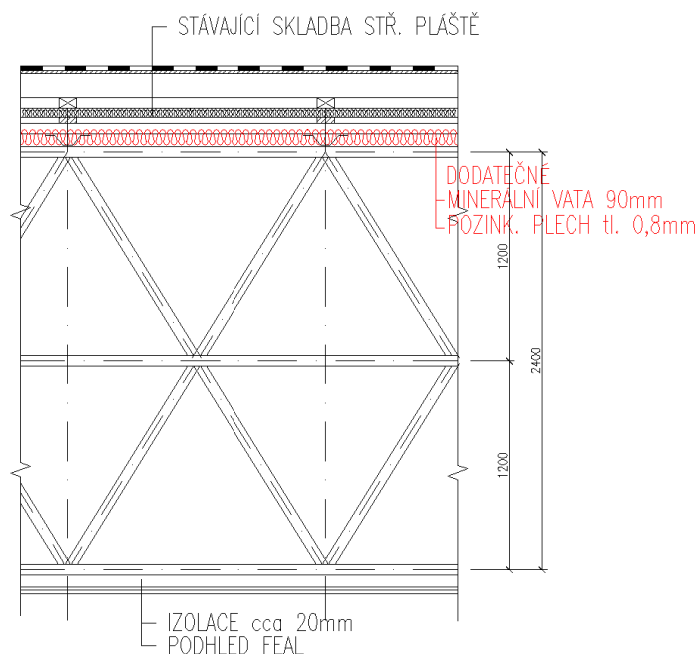
Zde je nutné konstatovat, že citovaná zpráva stavebně – technického průzkumu byla zpracována povšečně pro všechny základní nosné konstrukce objektu. Nosné konstrukce střechy se věnovala okrajově, pro účely ověření nebyly provedeny žádné sondy a podrobnější průzkum byl proto zaměřen na zajištění podkladů pro přepočty. Přesto pro úplnost uvádíme dílčí závěry tohoto průzkumu, které byly využity při navazujících pracích – podrobněji viz kap. 5.

Stávající skladba vychází z posudku firmy Icopal - [6], která pro účely posouzení stávající skladby provedla sondu a navrhla opatření na zajištění spolehlivé hydroizolace střechy. Podrobněji viz kap. 4.5.

Stávající skladba je následující:

- HYDROIZOLAČNÍ FÓLIE tl. 1,2 mm (max. 1,6 kg/m²)
- SEPARAČNÍ OCHRANNÁ VRSTVA Z POLYESTERU (max. 300 g/m²)
- SAMARIT S TKANOU VLOŽKOU
- 2x až 4x PÁS ASFALTOVÝ S HADROVOU VLOŽKOU TYPU IPA
- 1 x PÁS ASFALTOVÝ S HADROVOU VLOŽKOU TYPU A300/H
- DŘEVĚNÉ BEDNĚNÍ 20 mm

Dodatečně bylo (oproti původnímu projektu) provedeno zateplení pomocí minerální vaty tl. 90 mm a plechu tl. 0,8 mm – viz **Obr. 4**.



Obr. 4 Zjištěná aktuální skladba střechy

Do střechy jsou v její střednicové rovině pomocí kyvných stojek ve vodorovném směru připojeny nosné sloupky obvodového pláště. Uchycení kyvných stojek je tvořeno šrouby 4 x M10.

Střešní konstrukce byla prohlédnuta z obslužných lávek; vizuální kontrolou nebyly zjištěny poruchy; je však nutné konstatovat, že z lávek je možné prohlédnout pouze malé (zanedbatelné) procento plochy střechy, která má celkem cca 5500 m².

4.9 ZÁVĚRY Z DOSTUPNÝCH PODKLADŮ

Z archivované dokumentace rovněž vyplývá, že v průběhu realizace stavby byl proveden nezávislý kontrolní přepočet základních nosných prvků střešní konstrukce prof. Ledererem ze Stavební fakulty VUT v Brně. V tomto dokumentu se konstatuje, že konstrukce jako celek vyhoví s tím, že některé prvky mají překročenou únosnost v rozsahu, který prof. Lederer označil za přípustný. Je však nutné podotknout, že závěry prof. Lederera byly uskutečněny již v okamžiku, kdy byla střecha pavilonu téměř dostavěna.

Z původního statického výpočtu konstrukce Ing. Russe ani nezávislého přepočtu střešní konstrukce prof. Lederera nelze jednoznačně prokázat, jakým způsobem byly do výpočtu zahrnuty nepříznivé vlivy excentricity prutů ve styčnicích – tehdejší strojové výpočty toto umožňovaly pouze velmi obtížně. Jelikož se (kromě již zmiňovaných výsledků strojového výpočtu) nepodařilo dohledat žádné další statické výpočty prvků, resp. styčniců, lze usuzovat, že nepříznivé vlivy excentrického působení prutů ve styčnicích zohledněny nebyly.

Na základě výše uvedených skutečností lze konstatovat, že nosná ocelová konstrukce zastřešení pavilonu D byla navržena na hranici své únosnosti.

Provedeným doplňkovým stavebně – technickým průzkumem v červenci 2010 ([9]) bylo dále zjištěno, že v průběhu užívání stavby bylo provedeno (nad rámec původně uvažovaného zatížení) dodatečné zateplení střechy v horní rovině střešní tabule zespodu byla doplněna nová vrstva, což představuje přitížení celkem cca 0,15 – 0,20 kN/m² v charakteristických hodnotách.

5 PRŮZKUM OCELOVÝCH NOSNÝCH PRVKŮ STŘEŠNÍ KONSTRUKCE

Prohlídku střešní konstrukce postupně v termínech od 8. 2. 2011 do 10. 3. 2011 prováděli Milan Šmak, Jan Barnat, Josef Holomek, Libor Švaříček, Vladislav Mikuláščík, Jana Růžicková. Orientačních (kontrolních) prohlídek se dále zúčastnili Ing. Zmek, CSc. a prof. Štěpánek. Prohlídky se uskutečnily celkem ve 4 etapách (z toho 3 etapy se týkaly velké střechy hlavního pavilonu).

Prohlídky velké střechy byly realizovány z provizorních lávek tvořených dřevěnými podlážkami v kombinaci s osobními jistícími prostředky, určené úchyty byly v konstrukci příhradoviny a v natažených lanech podél provizorních lávek.

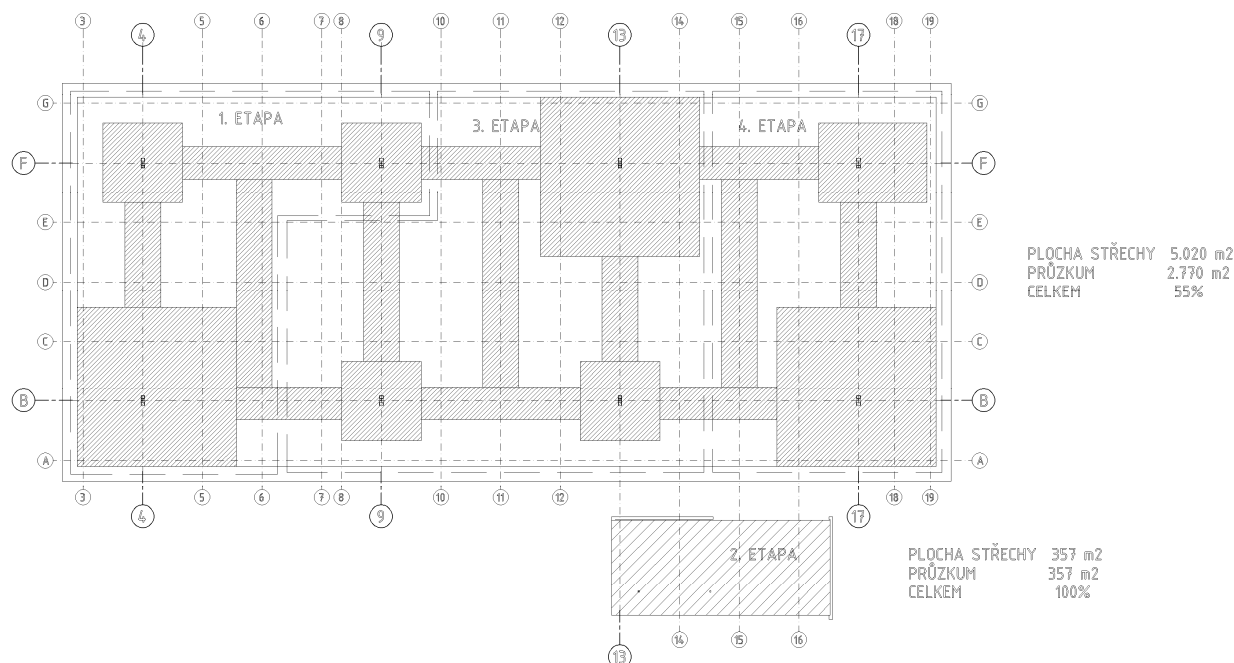
Malá střecha vstupního pavilonu byla zpřístupněna z lešení otvory v rozebraném podhledu. Za zpřístupnění střechy a realizaci opatření (jistění) byla zodpovědná externí firma zajištěná přímo objednatelem.

Celkově bylo prohlédnuto cca 2770 m² střechy hlavního pavilonu a cca 350 m² malé střechy – střechy vstupního pavilonu. Tyto plochy odpovídají cca 55% celkové plochy velké střechy a cca 100% plochy malé střechy. Při plánování prohlídek ocelové konstrukce, ověřování nosných ocelových profilů a zavádění zjištěných skutečností do výpočtů bylo využito symetrie ocelové konstrukce.

V průběhu prohlídek byly kromě vizuální kontroly uspořádání konstrukce a případných defektů ověřovány základní dimenze nosných prvků střešní konstrukce, a to za pomoci

měření vnějších průměrů posuvnými měřidly a měření tloušťek trubek za pomoci ultrazvukových tloušťkoměrů.

Dále bylo provedeno nedestruktivní měření pevnosti materiálu¹ – podrobnosti a výsledky jsou uvedeny v kap. 9.



Obr. 5 Kontrolované oblasti

Výsledky z průzkumu velké střechy nad hlavní výstavní plochou:

- Některé dílčí výsledky průzkumu nosných prutů konstrukce jsou uvedeny ve fotodokumentaci – viz Příloha 1,
- drobná povrchová koroze prutů,
- místně zjištěné excentrické připojení diagonálních prutů,
- v některých místech provedeno zesílení styčníků dovařením plochými spojkami,
- výrazné excentrické připojení diagonálních prutů u hlavního styčnicku u sloupu,
- střešní plášť po rekonstrukci, na hlavní střeše pavilonu použita fóliová izolace, na střeše výtahové a VZT šachty použity natavované asfaltové izolační pásy s pískovaným povrchem,
- na střešní krytině nalezeno min. 10 míst s mechanickým porušením fólie (zřejmě způsobeno mechanickým poškozením při odstraňování sněhu), místy mrazem rozpadené držáky hromosvodného vedení, v místech rozvodů žlabů nevhodné spádování, rovněž v místě napojení hřebene na štítovou stěnu nevhodné spádování – dlouhodobě stojí voda,

¹ Destruktivní zkoušky samozřejmě nebylo možno provést.

- u asfaltového střešního pláště přilehlé výtahové šachty je nevhodný detail napojení prostupů izolací (např. napojení na podstavce anténního stožáru) – izolace v napojeních odstává, dochází k zatékání.

Výsledky z průzkumu malé střechy vstupního pavilonu:

- Některé výsledky průzkumu jsou uvedeny ve fotodokumentaci – viz Příloha 1,
- drobná povrchová koroze prutů, rozsah větší než u velké střechy,
- nepřesná geometrie konstrukce vzniklá při montáži – především v oblasti okrajových styčníků,
- oblast s chybějícími originálními jehlany a montážní dovařování konstrukce z trubek tak, jak uvádí podklad [5] a kap. 4.4 nebyla průzkumem zjištěna,
- byla zjištěna oblast horních styčníků, kde chybějí originální styčnickové prvky, nahrazení bylo provedeno montážním vevařením styčnickových plechů – viz fotodokumentace (Příloha 1), případně vzorové foto na **Obr. 6**,
- lokálně bylo zjištěno špatné zhutnění betonu pod uložením horních styčníků na nosné štítové železobetonové stěny,
- střešní plášť po rekonstrukci: použity natavované asfaltové izolační pásy s pískovaným povrchem,
- nevhodné spádování střechy – na malé střeše chybí jedna střešní vpust', nevhodné detaily napojení – způsobují netěsnosti,
- v minulosti již byla dodatečně jedna střešní vpust' (cca uprostřed střechy) dodělávána, vyústění na nižší střechu krčku mezi hlavním a vstupním pavilonem,



Obr. 6 Spoj horního pásu bez originální styčnickové spojky

6 SONDY DO SKLADBY STŘECHY

Podrobně je každá sonda vykreslena v přílohové části posudku – viz Příloha 2. Do samotného hydroizolačního souvrství nad dřevěným bedněním nebyly sondy prováděny, bylo využito poměrně nedávných sond realizovaných v rámci posudku stavu střechy – viz podklad [6].

Celkem bylo provedeno 6 ks sond realizovaných ze spodního líce střechy až pod úroveň bednění nesoucího hydroizolační souvrství. Sondy č. 1 až 5 byly realizovány na hlavní střeše výstavního pavilonu, sonda č. 6 na vstupním objektu do pavilonu. Sondy byly zdokumentovány, překresleny – viz Příloha 2 a v sondách byly provedeny další průzkumy, týkající se vlhkosti a kvality dřeva – podrobněji viz kap. 7. Naměřené tloušťky a druhy zjištěných materiálů byly využity při sestavování podkladů pro přepočet střechy pro fázi stávajícího stavu – viz kap. **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..**

Za podrobnější zmínku stojí následující skutečnosti:

- izolační panel JRD Nemšová o celkové tl. 70 mm je tvořen kompozitním panelem sestaveným ze dvou panelů překližky tl. 4 mm vyplněných polystyrenem, prostor polystyrenu je ztužen výztužnou mříží ze svisle kladených žebér z překližky – viz **Obr. 7**,
- na panelu JRD Nemšová jsou osazeny dřevěné „kozlíky“ o různé výšce pro uložení dřevěných krokví spádované části horního pláště střechy s bedněním – viz **Obr. 8**; poloha těchto kozlíků souhlasí s polohou hlavních ocelových vaznic,
- rozměr a způsob osazení „kozlíků“ krokví neumožňuje případné odstranění panelů JRD Nemšová bez poškození uložení krokví a celého horního pláště střechy s bedněním.



Obr. 7 Detail sondy – otvor v izolačním panelu JRD Nemšová



Obr. 8 Detail horního střešního pláště – nosná dřevěná konstrukce bednění

7 VLHKOST A PEVNOST DŘEVĚNÝCH PRVKŮ

Pro průzkum vlhkostních a pevnostních parametrů horního pláště střechy bylo provedeno 6 ks sond do mezipláště – popis sond viz kap. 6. O provedeném šetření byla vyhotovena dílčí samostatná zpráva – viz Příloha 6. V textu této kapitoly jsou uvedeny pouze hlavní skutečnosti a závěry z tohoto šetření.

Kompletní znění posudku je součástí přílohové části. Ze závěrů kupletní zprávy vyjímáme:

Záklop z prken sond 1 až 5 (hlavní objekt)

- dřevo jehličnaté, byly nalezeny suky, smolníky, u jedné sondy výsušné trhliny,
- změna barvy dřeva vlivem záteků vody a asfaltu a příčné zakřivení způsobené zatékáním vody, nebylo nalezeno biotické poškození dřeva,
- záklop z prken zařazen podle ČSN 73 2824-1 do vizuální třídy **S 7**,
- průměrná vlhkost byla **10 - 13%**.

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

- dřevo jehličnaté, byly nalezeny suky, smolníky, výsušné trhliny,
- změna barvy dřeva vlivem záteků vody, ale nebylo nalezeno biotické poškození dřeva,
- z důvodu poškození konstrukce vlivem zatékání byly fošny v sondách 2 – 5 zařazen 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 byla **9 - 12%**,
- pevnost v ohybu dle [12] **47 – 42 N/mm²**.

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

- dřevo jehličnaté, byly nalezeny suky, smolníky a změna barvy dřeva vlivem záteků vody a asfaltu, ale nebylo nalezeno biotické poškození dřeva,
- 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 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):

- dřevo jako jehličnaté, byly nalezeny smolníky, a změna barvy dřeva vlivem záteků vody, ale nebylo nalezeno biotické poškození dřeva,
- z důvodu poškození konstrukce vlivem masivního zatékání vody byly fošny zařazené podle ČSN 73 2824-1 do vizuální třídy **S 10K**,
- vlhkost byla **17%**; při této vlhkosti již dřevo může být náchylné k napadení dřevokaznými houbami a hmyzem,
- dle [13] hustota dřeva 311 kg/m³ a pevnost v ohybu dle [12] **26 N/mm²**.

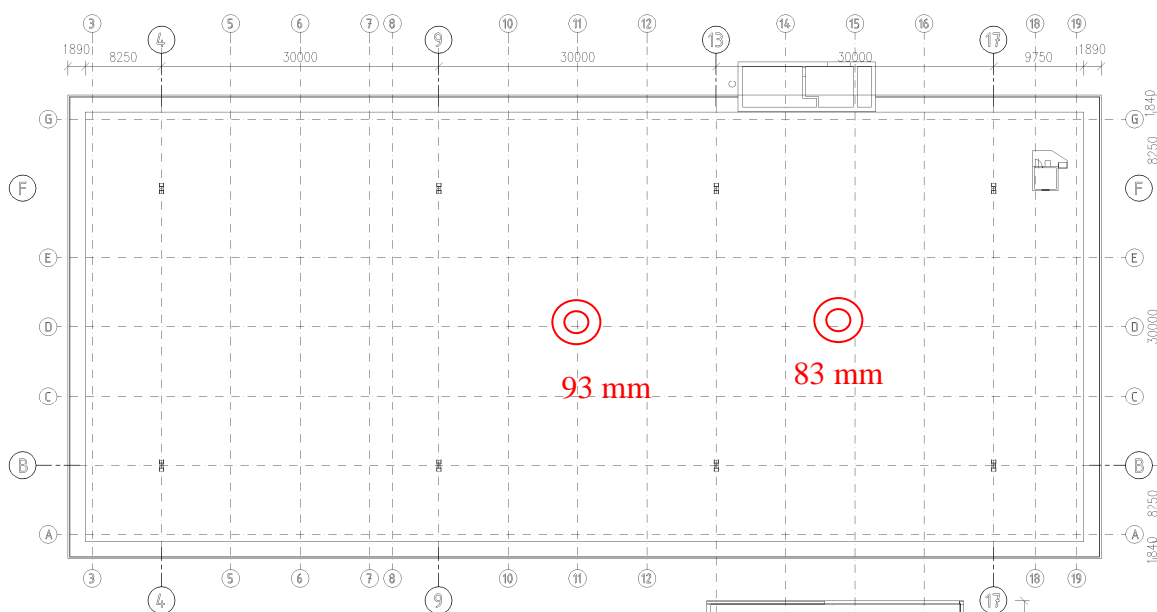
Doporučení pro postup při rekonstrukci:

- při rekonstrukci konstrukce je nutné vyřešit příčiny záteků,
- doporučujeme důkladnou prohlídku krytiny a všech kritických míst, kde může dojít k zatékání do konstrukce,
- dále je potřeba ze stejných důvodů zajistit trvalé přirozené větrání dřevěné konstrukce.

8 NIVELACE (MĚŘENÍ DEFORMACÍ) STŘECHY

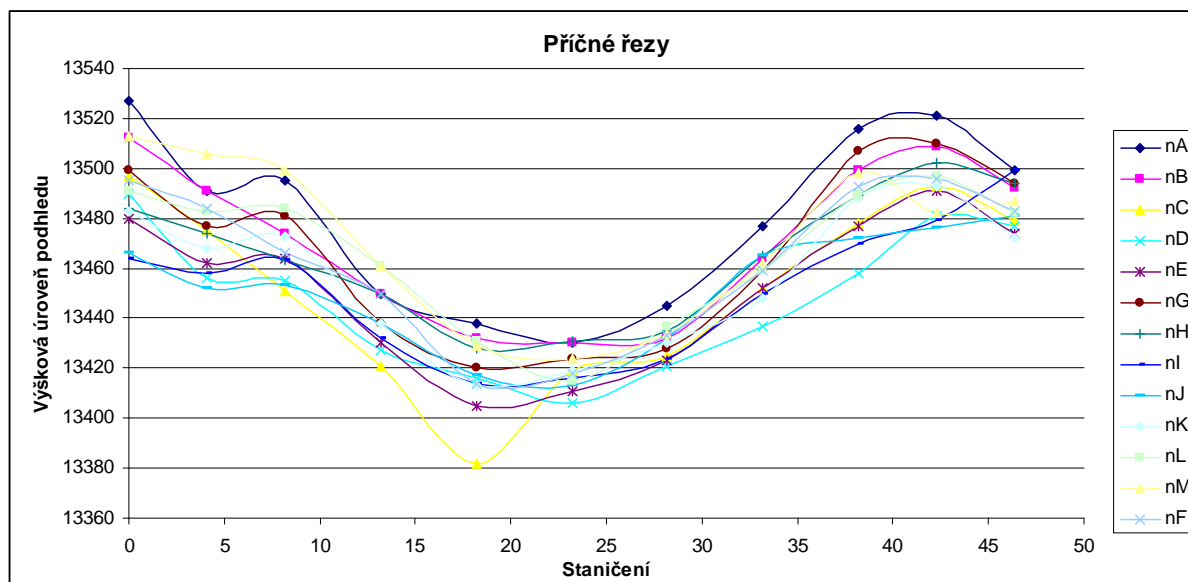
Pro kalibraci a ověření předpokladů statického výpočtu byla prováděna informativní nivelace spodní roviny podhledu FEAL, který je zavěšen na spodní rovině trubek příhradové konstrukce. Oblast kontroly nivelací odpovídá prostoru nad hlavní výstavní plochou – hlavní výsledek viz **Obr. 9**. Záznamy a výsledky – viz Příloha 3. Grafické zobrazení příčných řezů zjištěných deformací - viz **Obr. 10**. Pro grafické zobrazení nutno podotknout, že drobné nesrovnalosti v plynulosti křivek mohou být způsobeny nepřesnostmi měření.

Vzhledem k tomu, že nebylo možné zaměřovat přímo ocelovou konstrukci (např. styčníky), je nutné tyto údaje považovat skutečně jen za informativní. Bylo pouze ověřeno na několika místech, že stávající podhled FEAL je podvěšen pod osami spodní roviny příhradoviny o cca 140 – 150 mm (měřeno na cca 10 místech). Očekávaná chyba v měření tedy může být cca 10 – 15 mm.



Obr. 9: Maximální orientačně naměřené průhyby

Obecně lze konstatovat, že maximální změřený průhyb střechy je v krajním poli cca **83 mm** a ve středním poli cca **93 mm**, a to cca uprostřed rozpětí mezi sloupy. V době měření průhybu byla konstrukce zatížena pouze stávajícím stálým zatížením. Z hlediska interpretace změřené deformace a srovnání se statickým výpočtem se jedná o deformace od stálých zatížení stávajícího stavu.



Obr. 10: Grafické vyhodnocení změřených deformací pro jednotlivé příčné řezy – podrobněji viz Příloha 3

9 NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY TVRDOSTI OCELI

V rámci ověření relevantních předpokladů výpočtu byly provedeny nedestruktivní zkoušky pevnosti oceli. Toto nabývá významu především v situaci, kdy průzkumem archivní dokumentace bylo zjištěno, že v průběhu stavby bylo připuštěno (v případě malé střechy vstupního pavilonu) nahrazení původních prvků navržených z oceli 11523 novými prvky z oceli řady 11353, která má výrazně nižší pevnosti, než původně uvažovaná ocel – viz podklad [5].

Ověření jsme provedli postupně za využití dvou metod. V první fázi metodou POLDI, vzhledem k nepříznivému výsledku (velký rozptyl získaných výsledků) jsme použili sofistikovanější metodu (Rockwell – digitální měřič), kterým bylo možné rozšířit sledovaný vzorek a získat relevantnější statistický soubor.

Vzhledem k nedestruktivní povaze těchto metod se jedná o nepřímé zjišťování pevnosti oceli – tedy zjištění tvrdosti použitého materiálu a za pomoci kalibračních vztahů potom dovození tahové pevnosti oceli. Pro prověření přesnosti a relevantnosti těchto metod jsme použili srovnávací měření na tzv. referenčních vzorcích o známé pevnosti v tahu – viz výsledky laboratorních tahových zkoušek přiložených v příloze - Příloha 4.

V případě referenčních vzorků se jedná o vzorky odebrané z obdobné konstrukce zastřešení, u které došlo k havárii a bylo možné destruktivně ověřit pevnosti v tahu. Tyto vzorky jsou označeny písmenem „A“, na kterých byla ověřena tahovou zkouškou pevnost cca 560 MPa a tuto ocel je možné zařadit do pevnostní třídy S355 (Fe 510) s normovou mezí kluzu $f_y = 355$ MPa a mezí pevnosti $f_u = 510$ MPa. Dále byly provedeny zkoušky na referenčních vzorcích označených písmenem „B“ s průměrnou pevností tahu cca 380 MPa; tyto vzorky lze zařadit do pevnostní třídy S235 (Fe 360) s normovou mezí kluzu $f_y = 235$ MPa a mezí pevnosti $f_u = 360$ MPa. Výsledky tahových zkoušek referenčních vzorků - viz Příloha 4 a Tab. 2.

Vzorek A

| Výsledky tah podélný výřez trubky střešní konstrukce, 19.1.2011 | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|--------------|-----|-------|-------|-----|-----|-------|--------|------|------|------|------|-------|------|
| Zkouška | Datum testu | Číslo vzorku | ReH | Rp0.2 | Fmax | t | Rm | Fb | v | A5 | A50 | Ainx | a | S0 | Lu |
| | | | MPa | MPa | N | sec | MPa | N | mm/min | % | % | | mm | mm2 | mm |
| 1 | 19.1.2011 | Tr 60*6,5 | 431 | 414 | 46504 | 384 | 574 | 33285 | 4,03 | 34,4 | | 5 | 5,04 | 80,99 | 67,2 |
| 2 | 19.1.2011 | Tr 38,5*2,4 | | 423 | 16811 | 294 | 549 | 12903 | 4,01 | | 22,6 | 50 | 2,4 | 30,64 | 61,3 |
| 3 | 19.1.2011 | Tr 38,5*2,4 | | 397 | 17594 | 298 | 560 | 13577 | 3,98 | | 23,2 | 50 | 2,45 | 31,41 | 61,6 |

Vzorek B

| Výsledky tah podélného segmentu trubky, Bestex, Libor Švaříček, 16.3.2011 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------------------|------|-------|-----|-------|-------|-----|-----|--------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Zkouška | Datum testu | Číslo vzorku | Ainx | Fb | ReH | Rp0.2 | Fmax | t | Rm | v | A5 | A50 | a | S0 | b | Lu |
| | | | | N | MPa | MPa | N | sec | MPa | mm/min | % | % | mm | mm2 | mm | mm |
| 1 | 16.3.2011 | Tr 62*6 (B60/2) | 5 | 19207 | 277 | 276 | 26305 | 459 | 377 | 4 | 40,4 | | 4,27 | 69,86 | 16,36 | 63,16 |
| 2 | 16.3.2011 | Tr 38*1.7 (B36/2) | 50 | 6796 | | 347 | 8481 | 386 | 395 | 4 | | 24,2 | 1,7 | 21,5 | 12,39 | 62,12 |

Tab. 2 Výsledky tahových zkoušek referenčních vzorků

Přímo na nosné konstrukci potom byly provedeny nedestruktivní zkoušky² dvěma metodami. Obě patří do statických metod, které jsou pro danou aplikaci, kdy střešní konstrukce svařovaná z trubek nevykazuje dostatečnou tuhost např. pro dynamické metody, jedinou přijatelnou metodu pro nepřímé (bez odběru vzorků) vyhodnocení nedestruktivní pevnosti oceli.

- 1) Za pomoci ručního přenosného tvrdoměru **Poldi**
- 2) Za pomoci **digitálního tvrdoměru „ERNST Computest“**.

² Destruktivní zkoušky nebylo možno provést.

Metodou dle bodu 1) bylo na konstrukci provedeno na celkem 15 měřících místech, metodou dle bodu 2) bylo (vzhledem k rychlosti vyhodnocení) celkem na 46 měřících místech. Podrobnější vyhodnocení nedestruktivně zjišťované pevnosti oceli - viz kap. 9.1 a 9.2, rovněž Příloha 4.

Na základě výsledků a zohlednění kombinací obou metod (osvědčené POLDI) a moderní metody přístrojem ERNST Computest lze vyhodnotit základní materiál, ze kterého je ocelová konstrukce vyrobena, jako:

| Metoda | Průměrná pevnost v tahu [MPa] | Charakteristická pevnost v tahu [MPa] |
|-----------|-------------------------------|---------------------------------------|
| POLDI | 512 | - (nízký počet vzorků) |
| COMPUTEST | 545 | 474 |

Tab. 3 Výsledky vyhodnocení nedestruktivní pevnosti tahu

9.1 METODA POLDI

Pro hodnocení existujících kovových konstrukcí lze využít normu ČSN ISO 13822 „Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí“ [1]. Je to náhrada za původní ČSN 73 0038 „Navrhování a posuzování stavebních konstrukcí při přestavbách“.

O hodnocení existujících ocelových, litinových a spřažených ocelobetonových konstrukcí hovoří Národní příloha ND na str. 59 a dalších stranách. Podle této přílohy by se měla mez kluzu ověřit zkouškou na vzorcích. Pro orientační stanovení pevnosti oceli lze použít vhodnou tvrdoměrnou metodu, např. pomocí kladívka Poldi (doporučeno v ČSN ISO 13822).

9.1.1 METODIKA ZKOUŠEK – POLDI KLADÍVKO [2]

Metoda Poldi není normována, je však vhodná k rychlému posouzení jakosti zejména zabudovaných kovových materiálů v konstrukcích, protože zkušební přístroj je snadno přenosný. Při zkoušce porovnáváme průměr vtisku na srovnávací tyčince o známé tvrdosti s průměrem vtisku v materiálu o neznámé tvrdosti. Aby byly oba vtisky srovnatelné, vytvoříme je jedním rázem kladiva, kterým zatlačíme ocelovou kalenou kuličku současně do tyčinky i zkoumaného materiálu.)

Poznámka: Právě v provedení vtisku jediným úderem spočívá značná výhoda metody Poldi. Pokud totiž dojde k utlumení úderu, např. vlivem pružení nebo tenkostěnného materiálu, projeví se tento útlum stejnou měrou jak na zkoušeném materiálu, tak i na porovnávací tyčince o známé tvrdosti. Metoda je tedy autokompenzační.

Přístroj se zasunutou tyčinkou postavíme kolmo na povrch očištěného zkušebního předmětu nebo části konstrukce. Zkoušený materiál musí být pevně podepřen nebo uchycen. Ocelovou paličkou krátce uhodíme na razidlo.

Průměr vtisku ve srovnávací tyčince (d_1) a v materiálu (d_2) změříme ve dvou navzájem kolmých směrech čtecí lupou s přesností $\pm 0,05$ mm. Před každým dalším úhodem posuneme tyčinku v přístroji minimálně o 10 mm.

Tvrdość kovu HB (u ocelových výrobků též pevnost v tahu R_m) vyhledáme na základě změřených průměrů vtisků d_1 a d_2 v tabulkách, které ke každému přístroji dodává výrobce. Tabulky jsou zpracovány pro každý kov a jeho slitinu zvlášť. Skutečnou hodnotu tvrdosti získáme vynásobením tabulkové hodnoty součinitelem γ vyznačeným na tyčince, který vyjadřuje odchylku skutečné tvrdosti srovnávací tyčinky od tvrdosti jmenovité (HB = 197). Označení tvrdosti HB znamená, že zjištěná tvrdost odpovídá Brinellovu číslu tvrdosti.



Obr. 11 Srovnávací vzorky „A“ a „B“ pro tvrdoměrná měření na ocelových trubkách.



Obr. 12 Vzorky „A“ z oceli vyšší pevnostní třídy s vtisky po zkoušce Poldi.

9.1.2 VÝSLEDKY ZKOUŠEK NA SROVNÁVACÍCH VZORCÍCH

Před vlastním měřením na konstrukci byly oběma výše popsanými metodami odzkoušeny srovnávací vzorky trubek o průměru přibližně 36 mm a 60 mm ze dvou různých materiálů. Vzorek „A“ měl podle tahových zkoušek výrazně vyšší pevnost v tahu než vzorek „B“. Vzorky „A“ i „B“ jsou dokumentovány na **Obr. 11 a Obr. 12**. Výsledky zkoušek srovnávacích vzorků metodou Poldi včetně rozměrových parametrů trubek jsou uvedeny v příloze, kde jsou uvedeny veškeré výsledky měření – viz Příloha 4.

Výsledky zkoušek na srovnávacích tělesech potvrdily, že vzorek „B“ má opravdu výrazně nižší pevnost v tahu než vzorek „A“. Dále se potvrdilo, že výsledky dosažené pomocí metody Poldi prakticky nejsou ovlivněny tloušťkou stěny trubky (díky přímému porovnání materiálu se srovnávací tyčinkou, bez ohledu na sílu úderu a ztrátu energie).

9.1.3 VÝSLEDKY ZKOUŠEK NA KONSTRUKCI – METODA POLDI

Přímo na konstrukci byly zkoušky provedeny ve dvou etapách. Výsledky zkoušek jsou uvedeny v tabulkách, které jsou součástí přílohové části posudku - viz Příloha 4.

Z hodnot pevností v tahu na 15 zkušebních místech byly vypočteny: průměrná hodnota, směrodatná odchylka a charakteristická pevnost podle ČSN ISO 13822. Vzhledem k nízkému počtu zkoušených vzorků a velkému rozptylu hodnot je pro závěrečné vyhodnocení prezentována jen průměrná hodnota pevnosti. Co se týče statistického vyhodnocení, byla na referenčních vzorcích kalibrována a ověřena jiná metoda za pomoci digitálního přístroje, kterou je možné získat větší soubor vzorků – viz kap. 9.2.

Průměrná hodnota pevnosti m_x :

512 MPa.

9.2 METODA ERNST COMPUTEST

Měření bylo realizováno za pomoci digitálního tvrdoměru „ERNST Computest“ založeného na měření tvrdosti tzv. modifikovaným Rockwellovým principem. Metoda spočívá v měření hloubky vtisku hrotu do zkoušeného materiálu při působení předem definované tlačné síly (v daném případě 49 N s předzatížením 12 N). Modifikace metody spočívá v tom, že přístroj sám kontroluje deformace povrchu materiálu, ke kterým dochází u méně tuhých zkoušených prvků (např. trubek, z nichž je zkoušená konstrukce provedena). O tuto deformaci povrchu jsou následně naměřené výsledky upraveny. Změřené hodnoty tvrdosti dle Rockwella jsou následně převedeny kalibračními vztahy na hodnoty pevností v MPa.

9.2.1 VÝSLEDKY ZKOUŠEK NA SROVNÁVACÍCH VZORCÍCH

Výsledky na referenčních vzorcích jsou prezentovány v **Tab. 4**. Z výsledků plyne velice dobrá shoda zjištěné nedestruktivní pevnosti a tahové pevnosti referenčních vzorků zjištěných laboratorně. Např. pro vzorky z oceli S355 – laboratorní pevnost v tahu 556 MPa, zjištěná nedestruktivní pevnost 539 a 574 MPa.

| Předpokládaná ocel | Označení vzorku | Rozměr trubky | Tahová pevnost MPa | Změřená tahová pevnost MPa | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------------|---------------|--------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| S355 | A/36/1 | TR 38/2,4 | 556 | 539 | 570 | 511 | 533 | 489 | 535 | 530 | 488 | 481 | 612 | 642 |
| | A/60/1 | TR 60/6,5 | | 574 | 561 | 594 | 582 | 684 | 625 | 532 | 570 | 552 | 556 | 482 |
| S235 | B/36/1 | TR 38/2,0 | 402 | 395 | 403 | 493 | 428 | 468 | 447 | 318 | 341 | 336 | 344 | 367 |
| | B/60/1 | TR 62/6 | | 409 | 395 | 383 | 403 | 468 | 469 | 395 | 285 | 372 | 494 | 424 |

Tab. 4 Výsledky nedestruktivních zkoušek referenčních vzorků přístrojem ERNST Computest

9.2.2 VÝSLEDKY ZKOUŠEK NA KONSTRUKCI – ERNST COMPUTEST

Výsledky měření a jejich statistické vyhodnocení je tabulárně zpracováno v samostatné příloze posudku – viz Příloha 4. při vyhodnocení bylo využito vyloučení vzorků s odlišnostmi vyššími než 10 % od základního průměru. Z vyhodnocení v příloze vyplývají následující výsledky:

| | | |
|---|------------|--------------------------------|
| Průměrná hodnota pevnosti m_x : | 546 | MPa |
| Minimální hodnota pevnosti v tahu: | 492 | MPa |
| Směrodatná odchylka s_x : | 32,0 | MPa |
| Součinitel odhadu 5% kvantilu k_n : | 1,64 | (pro $n = 36$ a V_x neznámý) |
| Charakteristická hodnota pevnosti v tahu: | 494 | MPa |

Z upřesněných závěrů vyplývá, že vyhodnocená ocel sice nedosahuje úplně kvality oceli S355, která má charakterickou mez pevnosti 510 MPa, nicméně vyhodnocená charakteristická pevnost se této materiálovému parametru velmi blíží. Lze tedy konstatovat, že podezření na výskyt ocelových prvků z nižší pevnosti oceli (viz podklad [5] - třída S235) se nepotvrdil, tato ocel má mez pevnosti 360 MPa, což je hodnota výrazně vzdálená od vyhodnocené charakteristické pevnosti i od jednotlivých naměřených údajů. Disproporce lze přičíst nepřesnostem při měření apod. a relativně malému statistickému souboru měřených hodnot.

10 ZÁVĚRY, DOPORUČENÍ

Pro přepočet střešní konstrukce doporučujeme následující zásadní skutečnosti:

- I přes počáteční nepříznivá zjištění při šetření skutečné pevnosti oceli (kap. 9.1) a po nalezení archivního dokumentu ([5]), který připouští použití nižší pevnosti oceli, lze po globálním uvážení všech zjištěných skutečností – zejména neporušenost konstrukce a upřesnění zkoušek metodou – viz kap. 9.2 konstatovat, že stávající střešní konstrukce je realizována v souladu s původním projektem, tzn. z oceli 11 523.
- V případě přepočtu malé střechy vstupního objektu pavilonu „D“ je nutné přihlédnout k závažnému zjištění, že pro horní styčníky nebyly v definované oblasti (viz výkres Příloha 2) použity originální styčnickové spojky – viz **Obr. 6**.
- Pro kalibraci modelu doporučujeme využít naměřené hodnoty deformací – viz kap. 8. Z hlediska výpočtu střešní nosné konstrukce se jedná o deformaci střechy od stálého stávajícího zatížení.
- V případě přepočtu stávajícího stavu uvažovat zatížení střešním pláštěm v souladu se zjištěnými sondami – z hlediska zatížení viz zpracovaná **Tab. 5**.

Zatížení od střešního pláště

| zatížení | | výpočet | | | | normové [kN/m2] | γ_n | provozní [kN/m2] |
|----------------------------|------------------------------|---------------------------------------|------------|----------|----------|--------------------|------------|---------------------|
| | | zákl. tíha [kN/m ³ (2)] | tł. [m] | L [m] | B [m] | | | |
| stálé | | | | | | | | |
| Střešní plášť | Vaeplan tl. 1,2mm | 12,50 | 0,0012 | 1 | 1 | 0,015 | 1,0 | 0,015 |
| | Samarit | 0,025 | 1,000 | 1 | 1 | 0,025 | 1,0 | 0,025 |
| | 4 x IPA | 0,045 | 4,000 | 1 | 1 | 0,180 | 1,0 | 0,180 |
| | 1 x A 330/H | 0,005 | 1 | 1 | 1 | 0,005 | 1,0 | 0,005 |
| | Záklop | 6,000 | 0,02 | 1 | 1 | 0,120 | 1,0 | 0,120 |
| | Dřevěné krokve | 6 | 0,006 | 1 | 1,33 | 0,045 | 1,0 | 0,045 |
| Izolační panel JRD Nemšová | Asfaltový pás | 0,045 | 1 | 1 | 1 | 0,045 | 1,0 | 0,045 |
| | Překlička tl. 4mm | 7 | 0,004 | 1 | 1 | 0,028 | 1,0 | 0,028 |
| | Polystyren tl. 60 mm | 0,4 | 0,06 | 1 | 1 | 0,024 | 1,0 | 0,024 |
| | Výztuhy z překližky | 7 | 0,004 | 0,024 | 44,4 | 0,030 | 1,0 | 0,030 |
| | Překlička tl. 4 mm | 7 | 0,004 | 1 | 1 | 0,028 | 1,0 | 0,028 |
| | Obvodové dřevěné trámký | 6 | 0,0072 | 1 | 0,67 | 0,029 | 1,0 | 0,029 |
| Ocelová tenkostěná vaznice | Ocel tl. 2,5 mm | 78,5 | 0,0025 | 0,24 | 0,67 | 0,031 | 1,0 | 0,031 |
| Dodatečné zateplení | Minerální vata 80 - 90 mm | 1,5 | 0,09 | 1 | 1 | 0,135 | 1,0 | 0,135 |
| | Pozinkovaný plech tl. 1,0 mm | 78,5 | 0,001 | 1 | 1 | 0,079 | 1,0 | 0,079 |
| Podhled | Minerální vata tl. 20 mm | 1,5 | 0,02 | 1 | 1 | 0,030 | 1,0 | 0,030 |
| | FEAL | 0,05 | 1 | 1 | 1 | 0,050 | 1,0 | 0,050 |
| | | | | | | | Σ | 0,90 |

Tab. 5 Zjištěné zatížení stávajícím střešním pláštěm

Další formulované závěry z průzkumu velké střechy hlavního výstavního pavilonu:

- V rámci průzkumu prohlédnuto cca 55 % plochy celé střechy, byly zjištěny cca 3 defekty – deformované trubky, styčníky bez poruch, místně zesilované, v převážné většině dimenze nosných profilů odpovídají projektu.
- Lokálně zjištěny excentricity prutů v připojení do styčníků.
- Nedestruktivně zjišťována pevnost oceli – ocel odpovídá projektovým předpokladům.
- Střešní plášť – krytina na velké střeše fólie, oprava krytiny cca před 8 lety, nalezeno min. 10 míst s mechanickým porušením fólie (zřejmě způsobeno odstraňováním sněhu). Místy rozpadené držáky hromosvodného vedení. V místech rozvodů žlabů nevhodné

spádování, rovněž v místě napojení hřebene na štítovou stěnu nevhodné spádování – dlouhodobě stojí voda.

- Střešní plášť nad výtahem velké haly – živičné pásy (po rekonstrukci). Nevhodné detaily napojení, např. napojení hydroizolace na patky stožáru apod. – detaily způsobují netěsnosti.
- Sondy do střešního pláště z interiéru – celkem 5 sond na velké střeše: zjištěny stopy po zatékání zřejmě v minulosti. Dřevo v dobrém stavu, max. vlhkost dřeva 13 %, žádné napadení škůdci zatím nebylo zjištěno – vizuální třída S10K. Dřevo však není impregnační proti těmto vlivům chráněno. V případě zachování stávajícího stavu bude vhodné doplnit ochranné nátěry proti biotickým škůdcům.
- Naměřená pevnost v ohybu dřeva nosných krokví 47- 42 MPa (uspokojivá), dále měřena vlhkost dřeva, která je v případě velké střechy uspokojivá. To nasvědčuje funkční opravě izolace fólií a řádné odvětrání komínky.

Závěry z průzkumu malé střechy vstupního objektu:

- Při průzkumu byla prohlédnuta střecha v celém rozsahu (100 % plochy): dimenze - vzhledem k chybějící dokumentaci - zaměřeny téměř u všech prutů.
- Zjištěna změna způsobu stykání v rámci montáže, nahrazení původních styčnicků přivařenými plechy – jednoznačně se jedná o improvizovanou náhradu zřejmě chybějících originálních styčnickových spojek.
- Provedena jedna sonda do střešního pláště: byly zjištěny stopy po zatékání, dřevo prozatím v dobrém stavu, žádné napadení škůdci zatím nebylo zjištěno – vizuální třída S10K. Dřevo však není impregnační proti těmto vlivům ochráněno a v případě ponechání bude vhodné doplnit tuto dodatečnou ochranu.
- Pevnost dřeva nosných krokví je nižší (26 MPa), avšak dostatečná. Vlhkost stávajícího dřeva až 19 % a nelze vyloučit aktivní zatékání, popřípadě kondenzaci, nefunkční odvětrání střešního pláště.
- O zvýšené vlhkosti této střechy rovněž svědčí vyšší stupeň povrchové koroze ocelové konstrukce (oproti velké střeše nad hlavní výstavní plochou).
- Střešní plášť – krytina na malé střeše vstupního objektu – živičné pásy (po rekonstrukci). Nevhodné spádování na malé střeše, dle charakteru neodtékající vody chybí jedna střešní vpust'. Zjevně tyto problémy jsou od uvedení do provozu – původně projektovaná jedna střešní vpust' byla již v minulosti dodatečně doplněna další střešní vpustí s vývodem srážkové vody průrazem na střechu krčku mezi hlavní halou a vstupním objektem.
- Naměřená pevnost dřeva nosných krokví (uspokojivá), dále měřena vlhkost dřeva, která je v případě velké střechy uspokojivá. To nasvědčuje funkční opravě izolace fólií a řádné odvětrání komínky. V případě malé střechy vstupního objektu však byla zjištěna vysoká vlhkost dřeva – cca až 19% (nelze vyloučit aktivní zatékání, popřípadě kondenzaci, nefunkční odvětrání střešního pláště).