



INTERPLAN - CZ, s.r.o.

Purkyňova 79a, 612 00 Brno

Czech Republic

E-mail: info@interplan.cz

tel.: +420 541 597 544

Stavebník: **Statutární město Brno, Magistrát města Brna, Dominikánské nám. 1, 601 67 Brno**
IČ: 44992785

Místo stavby: **Jakubské náměstí 127/5, 602 00 Brno,**
Moravské náměstí 127/3, 602 00 Brno

STATICKÉ POSOUZENÍ

Statické posouzení objektu č.p. 127 v obci Brno-Střed

Vypracoval: **Ing. Tomáš Focke**

Datum: **10 / 2023**

Počet stran: **69**

Arch. číslo: **232808/1-6-B001/0**

Název souboru: **231798_1_6_0_POSUDEK_OBJEKT_cp_127**

Obsah

Obsah	2
a) Technická zpráva.....	4
a.1) Předmět statického posudku	4
a.2) Obecný popis a historie objektu	4
b) Použité podklady.....	6
c) Použité normy a literatura	7
d) Použitý software	7
e) Výsledky prohlídky objektu projektantem.....	8
f) Stavebně-technický průzkum objektu	10
f.1) Výsledky stavebně-technického průzkumu - sál divadla Bolka Polívky	13
f.2) Výsledky stavebně-technického průzkumu - sál Kina Scala	13
f.3) Zjištěné poruchy - sál divadla Bolka Polívky.....	13
f.1) Zjištěné poruchy - sál Kina Scala	29
g) Monitoring objektu.....	40
h) Statický výpočet	45
h.1) Posouzení stropu nad Kinem Scala	45
• Použité materiály	45
• Zatížení.....	45
• Statický výpočet – stropní deska nad 1. PP.....	45
• Vstupní údaje	46
• Vnitřní síly - MSÚ.....	47
Lineární deformace – MSP charak.	50
• Posouzení ŽB průřezu desky	52
• Posouzení ŽB průřezu trámu.....	53
h.2) Posouzení konstrukce střechy nad divadlem Bolka Polívky.....	55
• Schéma konstrukce	55
• Použité materiály	55
• Zatížení.....	55
• Posouzení rámové konstrukce.....	56
Vstupní údaje	56
Vnitřní síly - MSÚ	56
• Posouzení ŽB průřezu desky	60
• dočasné statické zajištění poškozeného oblouku.....	62

Zatížení.....	62
Vstupní údaje	62
Vnitřní síly	62
• Posouzení na I. MS – Únosnost.....	63
Posouzení na II. MS – Použitelnost	63
• Reakce.....	63
i) Výsledky statického posouzení	65
i.1) Závěr a doporučení	65

a) Technická zpráva

a.1) Předmět statického posudku

Statické posouzení bylo vypracováno na základě objednávky stavebníka Statutárního města Brna. Předmětem posudku je zhodnocení stavebně technického stavu objektu, stanovení možnosti dalšího provozování či rekonstrukce stavby.

Pro možnost provedení posouzení objektu byl proveden stavebně technický průzkum objektu v době 02/2023 a 07-08/2023. Stavebně technické průzkumy zároveň navazují na dříve prováděné průzkumy v předmětném objektu

- 1) *Doplňkový stavebně technický průzkum (Průzkumy staveb, 02/2016)*
- 2) *Monitoring trhlin (Inset)*
- 3) *Měření hluku v Divadle Bolka Polívky (Enving, 03/2017)*
- 4) *Stavebně technický průzkum (AdMas, 08/2016)*

Potřeba provést stavebně technické průzkumy a statické posouzení objektu vznikla z důvodu neuspokojivého technického stavu objektu a indikovaných statických poruch konstrukce.

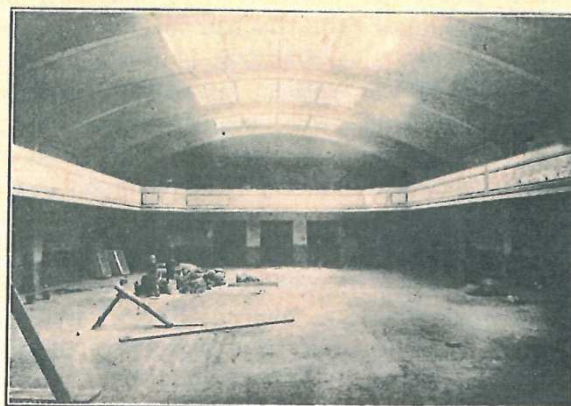
a.2) Obecný popis a historie objektu

- Vznik a historie objektu

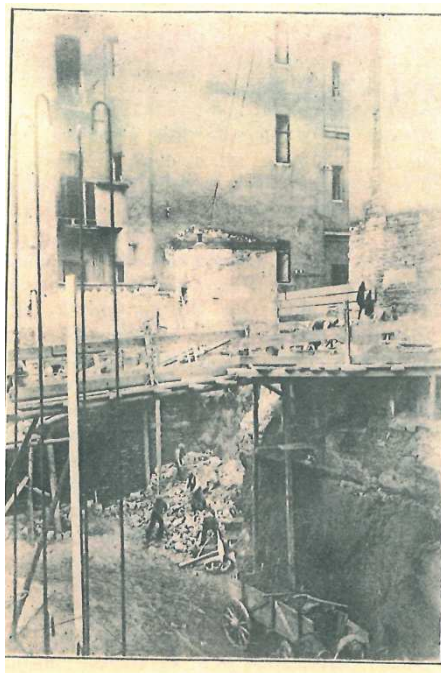
Divadlo Bolka Polívky a sál kina Scala jsou součástí komplexu budov č.p. 127 na Moravském nám. 3 a Jakubském nám.5. Objekt byl realizován v období 1927 a dokončen 1928 dle návrhu Ing. Dr. techn. Jaroslava Polívky. Objekt byl navržen jako dvě obchodní stavby ve dvorním prostoru uzavřeném bloky sousedních domů. Objekt byl prostorově navržen velmi účelně, kdy sál (víceúčelový sál kina Scala) je umístěn v přízemí pod divadelním sálem (Divadlo Bolka Polívky) a oba prostory jsou stavebně-konstrukčně propojeny a provozně se ovlivňují. Vzájemná provázanost prostoru Kina Scala a divadla DBP je dána stavebně-konstrukčním řešením, společnou dvouetážovou rámovou nosnou betonovou konstrukcí a těsným prostorovým sousedstvím obou sálů (podlaha divadla je stropem prostoru kina).



Bednění obloukové střechy nad slavnostním sálem.



Slavnostní sál v přízemí.



- Konstrukční uspořádání objektu

Konstrukce objektu sestává ze železobetonových patrových rámu, které obsahují příčně vynášející strop nad sálem kina Scala a v další úrovni železobetonovými oblouky, svíslé opory tvoří železobetonové sloupy obdélníkového půdorysu. Mezi oblouky jsou železobetonové obloukové desky, ve středních partiích prosklené skleněnými tvárnici (luxfery).

- Stavebně-technický stav objektu

Stavebně technický průzkum 2016:

Stavebně technický stav objektu je předmětem zkoumání již z předchozích let. Dle dostupných podkladů byl v roce 2016 proveden stavebně technický průzkum konstrukce stropu kina Scala / podlahy divadelního sálu viz „Zpráva o provedení doplňkového stavebně technického průzkumu objektů divadla Bolka Polívky a kina Scala v Brně“, zhotovený Průzkumy staveb s.r.o. . Předmětem a účelem průzkumu bylo zjištění možnosti provedení nového hlediště v divadelním sále. Průzkumem byl ověřován tvar konstrukce v dostupných místech, zjišťována byla pevnost betonu stávající konstrukce a její vyztužení. Posudek konstatuje provedení „ze staršího betonu, který nebývá moc kvalitní“, upozorňuje na zkoumané stropní desky, které jsou narušeny trhlinami, k možnosti přitěžování se vyjadřuje slovy „při přitěžování postupovat velice obezřetně“.

Výzkumná zpráva 2016:

K výše uvedenému stavu byl v roce 2016 proveden diagnostický průzkum vybraných konstrukčních prvků v prostoru kina Scala. Účelem diagnostického průzkumu byla pasportizace poruch a vad a posouzení celkového stavu stropní konstrukce kina Scala. Průzkum provedlo VUT v Brně, Fakulta stavební, středisko AdMaS, viz „Výzkumná zpráva č. HS 12657124“. Průzkum identifikuje vady a poruchy stavby, stavebně technický a statický stav hodnotí jako „uspokojivý, odpovídající stáří jednotlivých konstrukčních celků a časové ose realizace úprav, konstrukce v průběhu dlouhého časového období vykazuje způsobilost s ohledem na výskyt poškození, zatížení, degradace, přetvoření a kmitání“. Z uživatelského hlediska konstatuje „Úprava hlediště divadla je možná za předpokladu, že nová konstrukce nebude těžší, než je konstrukce stávající a nebude umožňovat výrazně větší počet usazených osob“.

Pro hodnocení objektu průzkum doporučil zejména následující konkrétní opatření:

Sledovat vlhkost vzduchu v objektu a vlhkost konstrukčních prvků stavby z důvodů rizika koroze vyztuže betonových prvků vzhledem ke stavu karbonatice betonu, relativní vlhkost dle průzkumu nemá překročit 50%.

Identifikované trhliny v konstrukci nutno dlouhodobě systematicky sledovat

Všeobecně nepřipouští jakékoliv investiční záměry vedoucí k významné změně z hlediska přetížení stávající konstrukce stropu kina / podlahy divadla.

Průzkum hodnotí stavbu dostavěnou v roce 1928 jako stavbu na tehdejší dobu velmi směle a ekonomicky postavenou, kdy tehdejší technologie míchání betonu znamenala možnost velmi různorodé kvality betonu.

Statický posudek 2022 a Stavebně technický průzkum 2023:

V rámci řešení záměru „Rekonstrukce č.p. 127 Divadla Bolka Polívky“ bylo ve fázi studie provedeno statické posouzení pro kvantifikaci možnosti provedení rekonstrukce prostoru divadla, zejména prostoru hlediště. S využitím materiálových charakteristik a údajů o stávající konstrukci z předchozích stavebně technických průzkumů bylo provedeno posouzení nosné konstrukce podlahy divadla / stropu kina Scala. Statický posudek zhotovil INTERPLAN-CZ, s.r.o. . Statický posudek konstatuje, že stávající konstrukce podlahy stropu nevyhovuje na posouzení dle současně platných ČSN EN již pro stávající způsob užívání, nesplňuje konstrukční zásady dle současných norem, kdy dle současně platné ČSN EN je při posouzení únosnosti na předepsané zatížení pro divadelní sály únosnost některých železobetonových průřezů překročena několikanásobně. Vzhledem ke zjištěným vadám a výsledku statického posudku konstatuje stávající konstrukci jako nevyhovující pro použití v záměru rekonstrukce prostor divadla a v rámci modernizace hlediště divadla stanovuje potřebu sanace stávající konstrukce a nutnost řešení nové duplicitní podlahové konstrukce pro modernizaci hlediště.

Vzhledem ke zjištěnému stavebně technickému a statickému stavu podlahy divadla, s ohledem na absenci materiálových a konstrukční informací o jeho horní – střešní konstrukci byl jako součást záměru rekonstrukce divadla proveden stavebně technický průzkum zaměřený na zjištění stavu nosné konstrukce prostoru divadla a to zejména střešní části. Dalším důvodem podrobného stavebně technického průzkumu byl uvažovaný záměr architektonické studie spočívající v provedení nástavby divadla a prověření možnosti přetížení stávající střešní konstrukce. Stavebně technický průzkum zhotovil Ústav zkušebnictví VUT v Brně v 01/2023.

Předmětem stavebně technického průzkumu byly zkoušky a odběry vzorků pro zjištění mechanických vlastností betonu a výztuže stávající střešní konstrukce nad hledištěm a jevištěm, zjištění způsobu vyztužení vybraných prvků, zjištění případných poruch a vad. Na základě zjištěných údajů o vyztužení a dosažených hodnotách pevností betonu ze zkoušek lze konstatovat, že stav a kvalita konstrukce je poplatná době svého vzniku, pevnostní třída betonu neodpovídá kvalitě konstrukčních betonů dle současných norem ČSN EN. Zjištěná karbonatace betonu neposkytuje dostatečnou ochranu proti korozi výztuže lokálně až do hloubky 110 mm.

b) Použité podklady

- [1] Dvě obchodní stavby, Ing. Dr. tech. Jaroslav Polívka
- [2] Zpráva o provedení doplňkového stavebně technického průzkumu objektů divadla Bolka Polívky kina Scala v Brně, Průzkumy staveb s.r.o., 02/2016
- [3] Výzkumná zpráva č. HS 12657124, stavebně technický průzkum, VUT v Brně, Fakulta stavební, AdMaS, 08/2016
- [4] Stavebně diagnostický průzkum střešní konstrukce budovy Divadla Bolka Polívky, Zpráva HS122354005, zpracovatel VUT v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, 01/2023
- [5] Sdělení Zn.:211763/D_2023_001, adresované Statutární město Brno, MMB, Odd. přípravy a realizace pozemních staveb, INTERPLAN-CZ, s.r.o., ze dne 10.2.2023
- [6] Zápis z jednání na VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví, ze dne 17.2.2023
- [7] Sdělení Zn.: 211763/D_2023_002, adresovaná Statutární město Brno, tajemník MMB, INTERPLAN-CZ, s.r.o., ze dne 20.2.2023
- [8] Zápis z jednání, „Objekt č.p. 127 v obci Brno-střed – kontrola opatření pro možnost dalšího užívání objektu“, datum konání jednání 24.2.2023 (v prostorech Divadla Bolka Polívky a kina Scala)
- [9] Stavebně-technický průzkum objektu Moravské náměstí 3 a Jakubské náměstí 5 v Brně, sál divadla Bolka Polívky, Zpráva HS122354081, zpracovatel VUT v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, 09/2023
- [10] Stavebně-technický průzkum objektu Moravské náměstí 3 a Jakubské náměstí 5 v Brně, sál kina Scala, Zpráva HS122354082, zpracovatel VUT v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, 09/2023

c) Použité normy a literatura

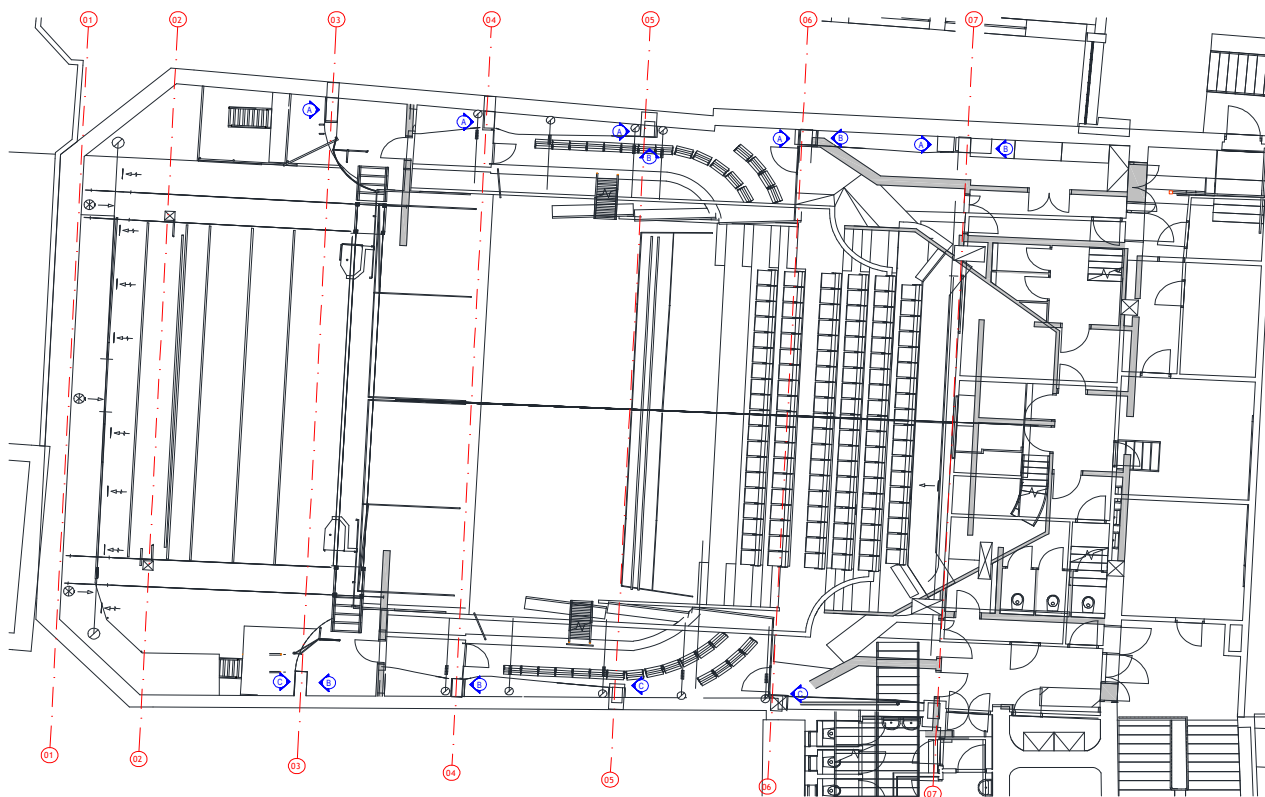
ČSN EN 1991-1-1	Eurokód 1: Zatížení konstrukcí
ČSN EN 1992-1-1	Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí (Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby)
ČSN 73 0038	Navrhování a posuzování stavebních konstrukcí při přestavbách
ČSN ISO 13822	Zásady navrhování konstrukcí - hodnocení existujících konstrukcí

d) Použitý software

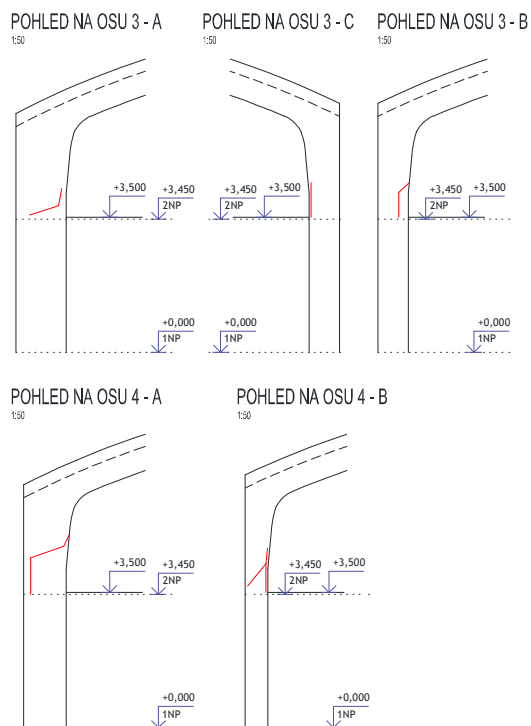
Scia Engineer 2013; Microsoft Office; FIN 2020

e) Výsledky prohlídky objektu projektantem

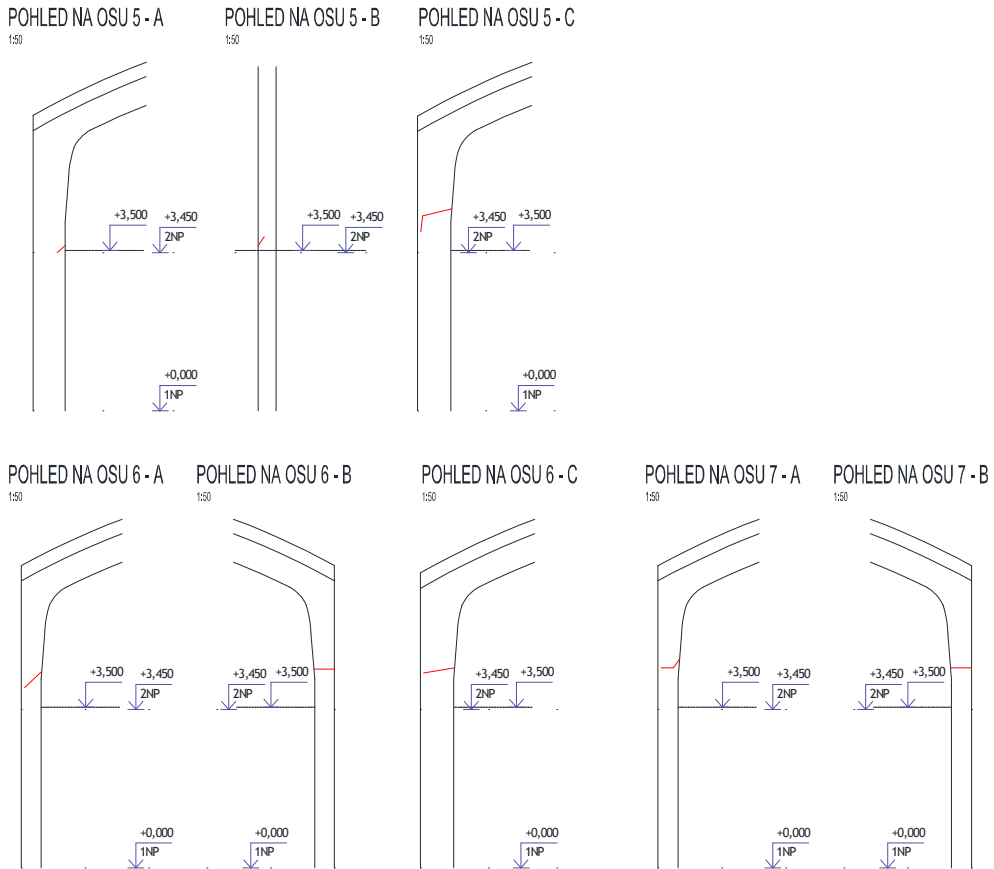
Dne 18.7.2023 (před vlastními průzkumnými pracemi) byla provedena prohlídka objektu projektantem-statikem za účelem záznamu indikovaných statických poruch na povrchu stavebních konstrukcí.



Obr.1 : Půdorys Divadla Bolka Polívky s vyznačením dokumentovaných míst



Obr.2 : Zobrazení trhlin na povrchu konstrukčních prvků



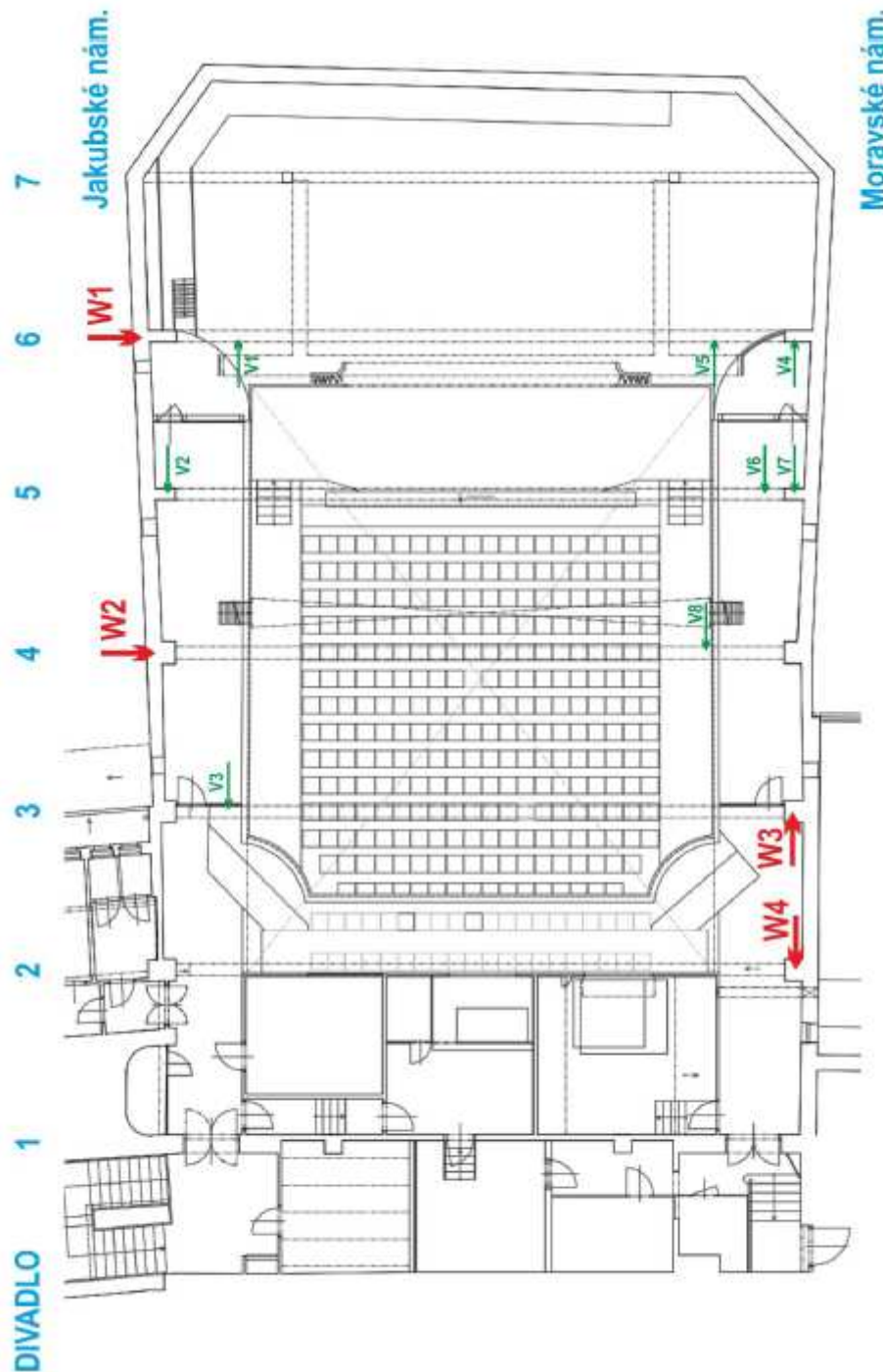
Obr.3 : Zobrazení trhlin na povrchu konstrukčních prvků

f) **Stavebně-technický průzkum objektu**

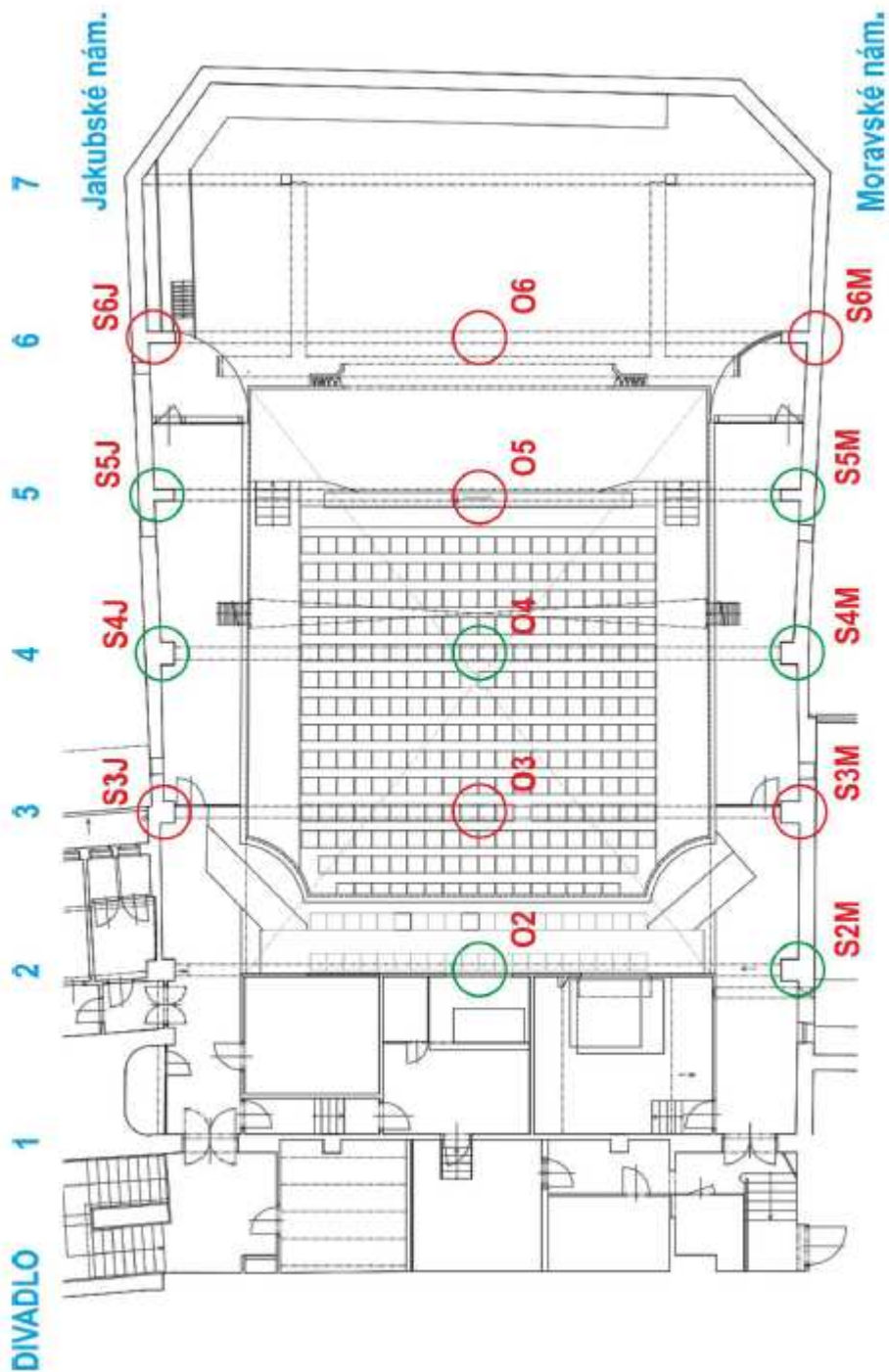
V období 07-08/2023 byl proveden stavebně-technický průzkum objektu (viz [9] a [10]).

Na základě požadavků objednatele bylo cílem průzkumu rozšíření předchozího, rozsahově omezeného stavebně technického průzkumu z ledna 2023 (HS122354005).

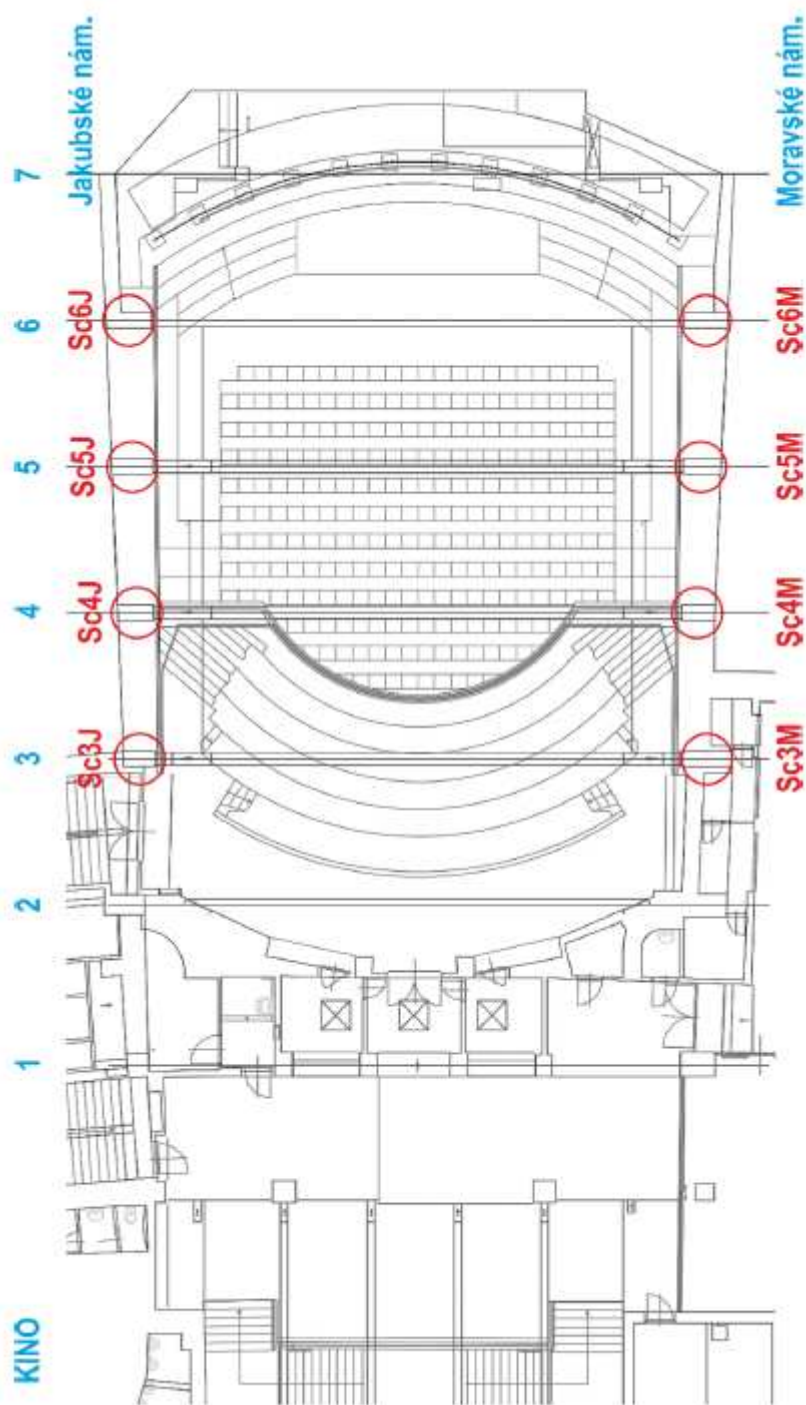
Cílem vlastního průzkumu bylo stanovení materiálových charakteristik betonu konstrukce, a zjištění vyztužení vybraných prvků konstrukce. To vše v souvislosti se zjištěnými poruchami konstrukce a plánováním dalších možností provozu divadla, respektive možné rekonstrukce.



Obr.4 : Schéma rozmístění jádrových vývrtů v rámových styčnicích (sondy W1 až W4), zeleně jsou vyznačeny sondy V1 až V8 z předchozího průzkumu v lednu 2023



Obr.5 : Schéma rozmístění sond pro stanovení vyztužení ve střešních obloucích (sondy O2 až O6) a rámových styčnicích (sondy S3J až S6J a S2M až S6M). Zeleně jsou vyznačeny sondy, kde bylo vyztužení, nebo část vyztužení stanoveno v rámci předchozího průzkumu v lednu 2023



Obr.6 : Schéma rozmístění sond pro stanovení vyztužení rámových styčnicích konstrukce objektu (sondy Sc3J až Sc6J a Sc3M až Sc6M)

f.1) Výsledky stavebně-technického průzkumu - sál divadla Bolka Polívky

Na 7 zkušebních tělesech vyrobených ze 4 jádrových vývrtů z betonu železobetonové konstrukce – oblouků a horních částí sloupů nad sálem Divadla Bolka Polívky – byly stanoveny vlastnosti betonu: objemová hmotnost betonu, hloubka karbonatace fenolftaleinovým testem, dále dynamický ultrazvukový modul pružnosti (z něho proveden výpočet odhad statického modulu pružnosti) a pevnost v tlaku betonu. Jednalo se o doplňkový průzkum k I. etapě z ledna 2023, v níž bylo vyzkoušeno 13 zkušebních těles z 8 jádrových vývrtů. Výsledky zkoušek v I. a II. etapě vyšly prakticky identické, celý soubor proto mohl být vyhodnocen společně.

Stěžejní vlastností je pevnost v tlaku in situ (pevnost na vývrtech přepočtená na štíhlostní poměr 2:1), která vyšla v průměru 17,0 MPa. Dále byla stanovena charakteristická válcová pevnost v tlaku v konstrukci $f_{ck, is} = 12,1$ MPa. Na základě dosažených výsledků zkoušek byla dle ČSN EN 13791 betonu přiřazena pevnostní třída **C 12/15**, bez rezervy. Zatřídění je stejné jako v I. etapě průzkumu.

Zjištěné hodnoty modulu pružnosti jsou velmi nízké (průměrná hodnota statického modulu pružnosti vyšla pouze 11,2 GPa) a neodpovídají dosažené pevnostní třídě betonu.

Karbonatace betonu dosáhla do značné hloubky, pohybovala se od 50 do 80 mm (v I. etapě od 20 do 110 mm).

Bylo zjištěno vyztužení obloukových nosníků ve vrcholu oblouku i v místech rámových styčnic, v rozsahu možném dosahem NDT přístrojů a sekaných sond, s ohledem na místy omezenou přístupnost částí konstrukce. Vyztužení stanovené v jednotlivých sondách je podrobně popsáno v [9]. Lze konstatovat, že vyztužení není z pohledu současnosti ideální, a vykazuje zásadní nedostatky, které se mimo jiné týkají absence trmíků v klíčových místech sloupů, nevhodná ukončení výztuží sloupů současně s pracovní spárou ve stejném místě a podobně.

Ve sloupech byly zjištěny hlavní výztuže pouze na čelních stranách z vnější i vnitřní strany rámu. Na bocích sloupů, pokud byly zpřístupněny, nebyla žádná svislá výztuž zjištěna. V případě rámu 2 a 3 bylo zjištěno, že hlavní výztuž sloupu z vnitřní strany rámu končí nad podlahou (ve výškách cca 700 až 1000 mm nad podlahou), a pokračují jen pruty tvořící výztuž oblouků. V místě ukončení výztuže sloupů se nachází vodorovné trhliny ve sloupu. V ostatních rámech byla z vnitřní strany rámu zjištěna jen výztuž jdoucí následně do oblouků, případná výztuž sloupů přetažená z nižšího podlaží je tedy patrně ukončena níže (v úrovni podlahy?). V klíčové partii mezi podlahou a patou oblouku se trmíky vyskytují sporadicky, nebo zcela chybí!

f.2) Výsledky stavebně-technického průzkumu - sál Kina Scala

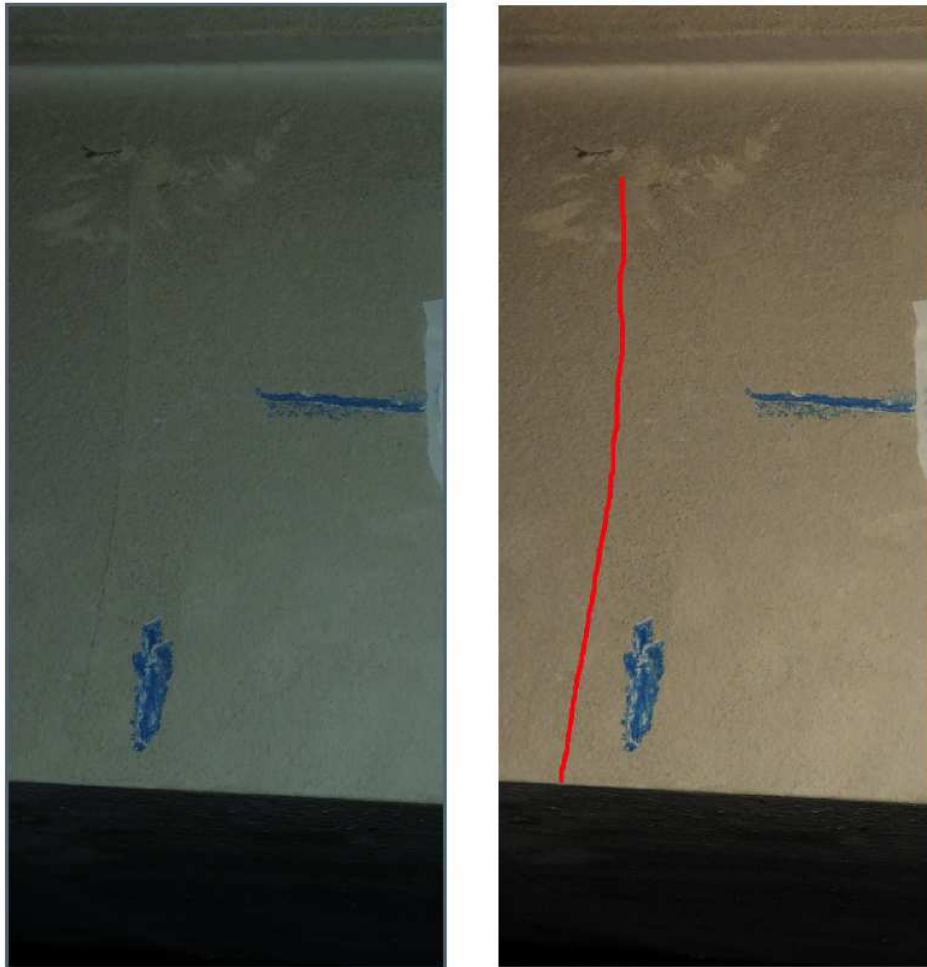
V místech rámových styčnic konstrukce bylo v požadovaných místech zjištěno vyztužení sloupů z čela v interiéru divadla, a v přístupných místech i protilehlého čela sloupu z exteriéru. Dále bylo stanoveno vyztužení u spodního líce průvlaků v místě vetknutí do sloupů, i způsob propojení vyztužení sloupů a průvlaků. Měření proběhlo v místech, kdy bylo možné zpřístupnit povrch konstrukce odstraněním obložení a podhledů.

f.3) Zjištěné poruchy - sál divadla Bolka Polívky

Při podrobné prohlídce konstrukce v místě prováděných sond, byly zjištěny zásadní poruchy v podobě trhlin.

- **oblouky**

V železobetonovém oblouku v rámu 3 (sonda O3) se vyskytují vlasové trhliny o šířce cca 0,1 - 0,2 mm, ve vrcholu oblouku je průměrná vzdálenost trhlin cca 590 mm. V ostatních obloucích je výskyt trhlin spíše sporadický.



Obr.7 : Jedna z vlasových trhlin ve vrcholu oblouku v sondě O4 (v levé části snímku). Pro názornost v pravém obrázku trhlina zvýrazněna červeně.

- **rámové styčníky - rám 5, sondy S5M a S5J**

Zásadní poruchou jsou trhliny ve sloupech pod úrovní vetknutí oblouků. Bohužel jejich předchozí identifikace během posledního období provozu divadla byla obtížná, díky faktu, že v předchozím období byly trhliny maskovány zvýšenou vrstvou omítky, která se při progresi poruch odtrhla jako celek od povrchu betonu, a rozvoj trhlin do jisté míry kryla (například v místě sondy S5M byly trhliny v omítce rozevřeny opticky na cca 5 mm, ovšem po jejím odstranění je patrné, že v trhlínách v betonu je hlavní výztuž přicházející z oblouku vytržena posouvajícími silami z původní polohy až o cca 20 mm. Zde je zajímavé, že pod omítkou v sondě byl objeven přes trhlínu osazený sádrový terčík neznámého stáří, jehož porušení, a posun ve vodorovném směru dokumentuje pohyb trhliny od doby jeho vytvoření.

Provedení dalších sond a odstranění omítek vedlo ke zjištění, že tento typ poruchy (tedy trhliny způsobené posouvající silou ve vrcholové části sloupu mezi podlahou osvětlovací galerie a vetknutím oblouku) se systematicky opakuje prakticky ve všech sondách, liší se pouze detaily, ovlivněnými úrovní zakončení výztuže sloupů. Typické je, že právě v místech těchto poruch prakticky chybí ve sloupech třmínky, tento fakt umožnil vytržení hlavních výztuží z betonu sloupů v čele sloupů směrem do interiéru divadla. Tyto trhliny jsou rozevřeny řádově na jednotky milimetrů, v extrémních případech na desítky milimetrů.



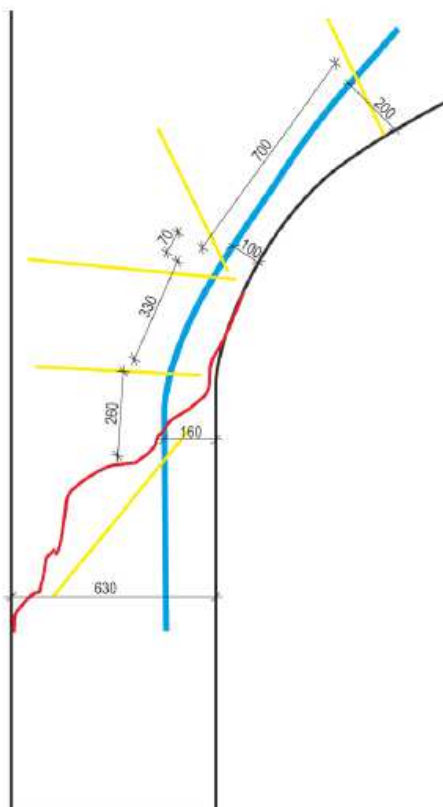
Obr.8 : Místo sondy S5M po odstranění části omítky v místě trhliny na boku sloupu, pod omítkou byla zachována sádrová destička neznámého stáří pro sledování trhliny. Je patrné její roztržení, a vodorovný posun v trhlíně. Pro názornost jsou v pravém obrázku trhliny zvýrazněny červeně.



Obr.9 : Po odstranění části uvolněného betonu v trhlíně v sondě S5M byla zjištěna hlavní výztuž z oblouku, vytržená z původní polohy.



Obr.10 : Detail vytržené výztuže z původní polohy v sondě S5M, původní otisk v cementové matici dobře patrný.



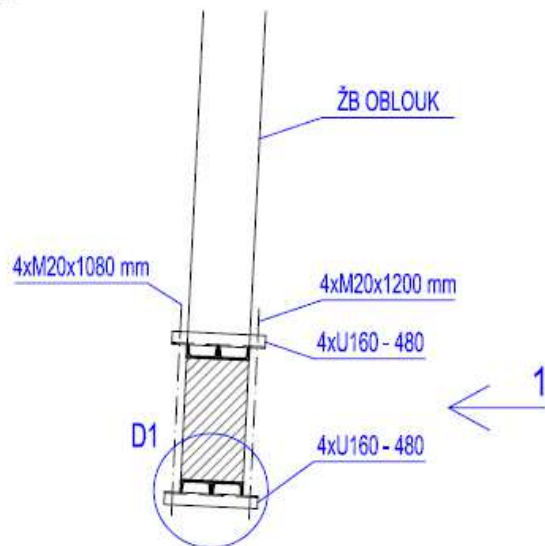
Obr.11 : Celkový pohled na místo sondy S5M spolu s vykreslením polohy trhlin a výztuže jasně ukazuje, že průběh trhliny souvisí se způsobem vyztužení, a velkou roli hraje poloha třmínek ve sloupu.



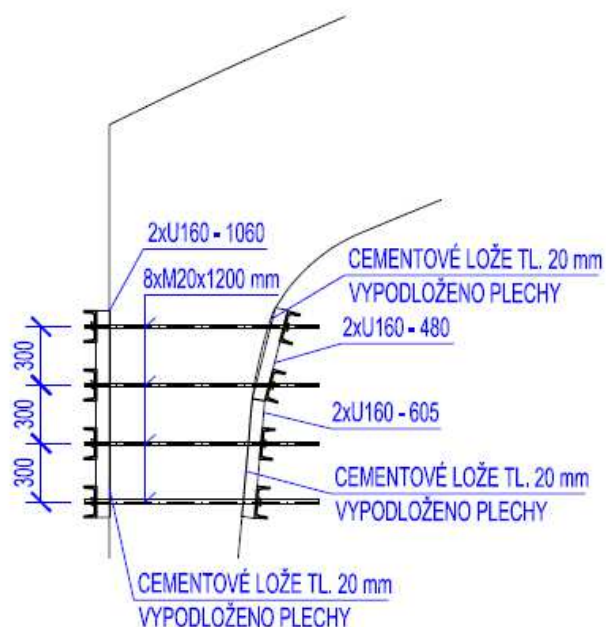
Obr.12-16 : Odstranění omítky v místě trhlin na sloupu S5M ukázalo jasnou existenci masivní trhliny, prakticky zcela od sebe oddělující beton sloupu nad a pod trhlinou se vzájemným vodorovným posunem jednotlivých segmentů

Tato masivní trhlina byla v průběhu února 2023 osazena měřiči deformace, pro přesné měření vzájemných pohybů částí konstrukce. V rámci druhého průřezu v letním období bylo na základě jejich údajů rozhodnuto o přerušení průřezu a neodkladném provizorním statickém zajištění sloupů v rámu 5.

PROVIZORNÍ ZAJIŠTĚNÍ PATY OBLOUKU CELKEM 2KS
PŮDORYS
1:25



POHLED 1
1:25



Obr.17 : Návrh provizorního statického zajištění sloupů v rámu 5



Obr.18-19 : Provizorní statické zajištění jednoho ze sloupů v rámu 5. ocelovými prvky spojenými závitovými tyčemi, s osazenými měřiči deformace.



Obr.22-25 : Po odstranění omítky se ukázal celý rozsah poškození sloupu v sondě S5J, kde hlavní výztuž v čele sloupu je i z částí betonu vytržena (vyboulena) směrem do prostoru divadla. Za zmínku stojí i nulové krytí výztuže, které souvisí s absencí třmínků. Je zcela odtržena čelní strana sloupu s výztuží až do výšky 1200 mm nad podlahou, z této strany se odděluje se dvojice vodorovných trhlin napříč sloupem ve výšce cca 750 mm nad podlahou.

- rámové styčníky - rám 2, sondy S2M



Obr.26-29 : Místo sondy S2M po odstranění části omítky, na bočním líci je patrná vodorovná trhlinka ve výšce cca 870 mm nad úrovní podlahy, na čelním trhliny ve výšce 170 a 890 mm nad podlahou a výše pracovní spára. Pro názornost jsou v pravých obrázcích trhliny zvýrazněny červeně.

- rámové styčníky - rám 3, sondy S3M a S3J

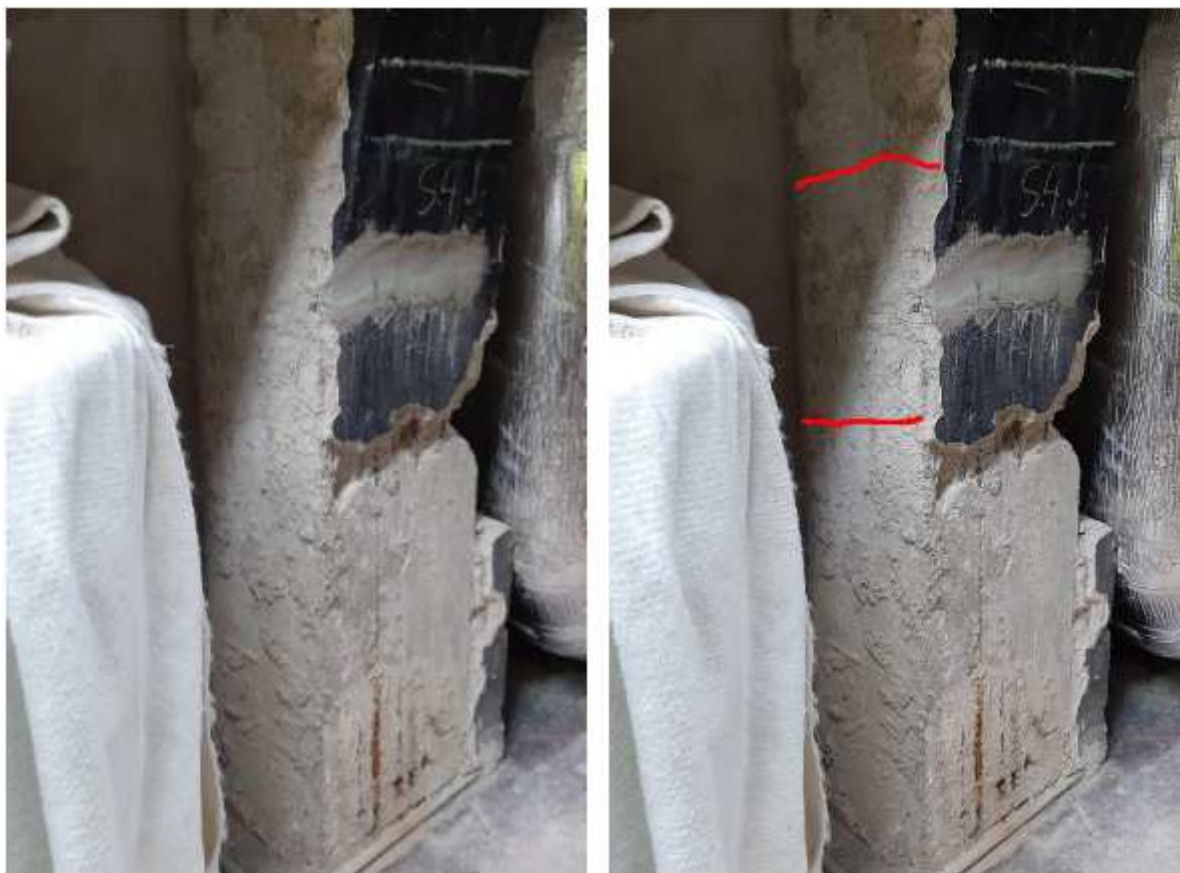


Obr.30-31 : Místo sondy S3J po odstranění části omítky, je patrná vodorovná trhlina ve výšce cca 750 mm nad úrovní podlahy. Pro názornost je v pravém obrázku trhlina zvýrazněna červeně.



Obr.32-33 : Místo sondy S3M po odstranění části omítky, jsou patrné vodorovné trhliny ve výšce cca 420 a 830 mm nad úrovní podlahy. Pro názornost jsou v pravém obrázku trhliny zvýrazněny červeně.

- rámové styčníky - rám 4, sondy S4M a S4J



Obr.34-35 : Místo sondy S4J po odstranění části omítky, jsou patrné vodorovné trhliny ve výšce cca 900 a 1320 mm nad úrovní podlahy. Pro názornost jsou v pravém obrázku trhliny zvýrazněny červeně.



Obr.36-40 : Místo sondy S4M po odstranění části omítky, jsou patrné šikmé a vodorovné trhliny. Pro názornost jsou v dolních obrázcích obrázku trhliny zvýrazněny červeně.

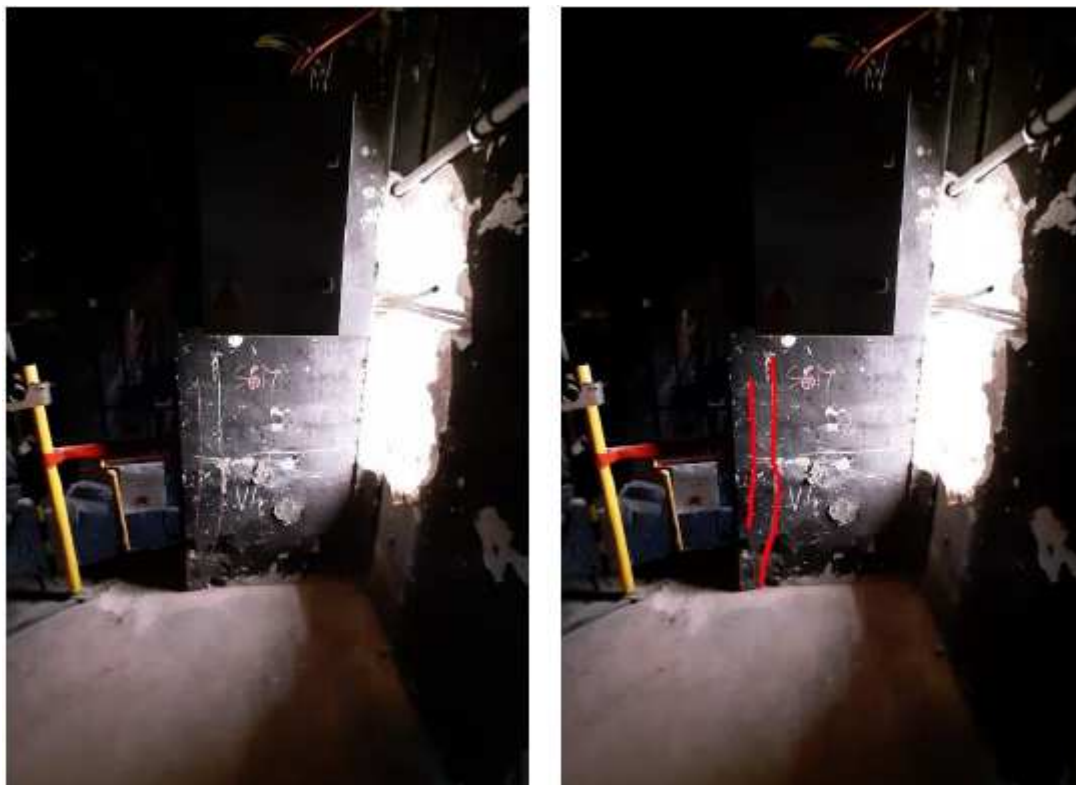
- rámové styčníky - rám 6, sondy S6M a S6J



Obr.41-42 : Místo sondy S6J po odstranění části omítky, je patrné především odtržené čelo sloupu do výšky cca 500 mm. Pro názornost jsou v pravém obrázku trhliny zvýrazněny červeně.



Obr.43-46 : Místo sondy S6J, detail odtrženého čela sloupu a trhliny na protilehlé straně sloupu. Pro názornost jsou v pravém obrázku trhliny zvýrazněny červeně.



Obr.47-48 : Místo sondy S6M, před odstraněním omítky byly patrné zejména svislé trhliny na bocích sloupu.



Obr.49 : Místo sondy S6M, po odstranění omítky se jasně ukázalo, že jedna z trhlín kopírovala odtržení čelní strany betonu i s výztuží (boulení, mimo jiné v důsledku absence třmínek).



Obr.50 : Místo sondy S6J v místě jádrového vrtání z exteriéru budovy. I zde došlo k odtržení povrchové vrstvy betonu boulením výztuže, stejně jako na straně v interiéru!

f.1) Zjištěné poruchy - sál Kina Scala

Při podrobné prohlídce konstrukce v místě prováděných sond, byly zjištěny systematicky se vyskytující poruchy, v podobě šikmých trhlin ve sloupech v místě vetknutí průvlaku o šířce cca 0,5 – 2,0 mm, dokumentované na následujících fotografiích.

Při obhlídce exteriéru konstrukce byla již nad rámec průzkumu zjištěna koroze vnějších výztuží ve sloupech na straně obrácené k Moravskému náměstí. Tato koroze výztuže způsobila odtržení krycí vrstvy betonu a boulení fasádní omítky v místě sloupů na úrovni cca 1 m nad terénem dvorku.



Obr.51-52: Typická trhlina ve sloupu, v místě rámového styčnicku, sonda Sc3J. Na spodním obrázku je pro názornost trhlina zvýrazněna červeně.



Obr.53-54: Typická trhлина ve sloupu, v místě rámového styčnicku, sonda Sc3M. Na spodním obrázku je pro názornost trhлина zvýrazněna červeně.



Obr.55-56: Typická trhlina ve sloupu, v místě rámového styčnicku, sonda Sc4J. Na spodním obrázku je pro názornost trhlina zvýrazněna červeně.



Obr.57-58: Typická trhлина ve sloupu, v místě rámového styčnicku, sonda Sc4M. Na spodním obrázku je pro názornost trhлина zvýrazněna červeně.



Obr.59-60: Typická trhlina ve sloupu, v místě rámového styčnicku, sonda Sc5M. Na spodním obrázku je pro názornost trhlina zvýrazněna červeně.



Obr.61-62: Typická trhлина ve sloupu, v místě rámového styčnicku, sonda Sc6J. Na spodním obrázku je pro názornost trhлина zvýrazněna červeně.



Obr.63-64: Typická trhлина ve sloupu, v místě rámového styčnicku, sonda Sc6M. Na spodním obrázku je pro názornost trhлина zvýrazněna červeně.



Obr.65: Pod sondou Sc4M v exteriéru objektu, v úrovni cca 1 m nad úrovní terénu ve dvorním traktu byly na novější fasádě patrné trhliny, a boulení omítky.



Obr.66: Po odstranění omítky bylo zjištěno odtržení krycí vrstvy betonu a masivní koroze hlavní výztuže sloupu.



Obr.67: Detail korodované výztuže z předchozího obrázku.



Obr.68: Pod sondou Sc5M v exteriéru objektu, v úrovni cca 1 m nad úrovní terénu ve dvorním traktu byly na novější fasádě patrné stejné projevy koroze výztuže, což potvrdila sekaná sonda



Obr.69: Detail koroze výztuže ve sloupu pod sondou Sc5M



Obr.70: Prakticky stejná situace je patrná v místě pod sondou Sc6M.



Obr.71: Detail koroze výztuže ve sloupu pod sondou Sc6M, v úrovni cca 1 m nad terénem dvorku.

g) Monitoring objektu

Vzhledem k havarijnímu stavu objektu z 02/2023 a následnému opatření pro možnost dalšího dočasného užívání objektu (02-06/2023) byl zahájen monitoring, který byl jednou z podmínek možnosti dočasného užívání.

Monitoring zajišťuje firma INSET a trvá dosud.

Průběh monitoringu:

21.2.2023 – Instalace měřicího systému

Za účelem monitoringu trhlin v divadle nainstalovány deformometry.

Jedná se o systém snímačů IOT LV + snímač DH15.

Instalováno celkem 8 snímačů DH15. Celkem 4 měřicí místa, na každém místě dvojice snímačů (svislý + vodorovný/šikmý). Data ze 4 snímačů DH15 vždy sdružena do jednoho dataloggeru IOT LV. U každého snímače IOT LV pak instalován teploměr pro sledování teploty.

Na kritickém sloupu dále instalovány 2 náklonoměry IOTIN (nad a pod trhlinou).

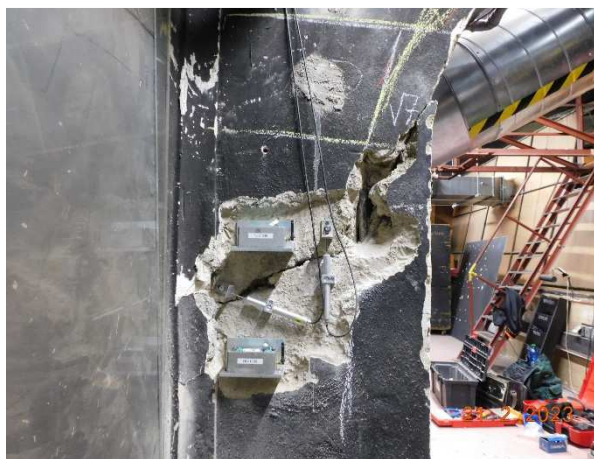


Foto z instalace 21.2.2023. 2x snímače DH15 + 2x náklonoměr IOTIN.



Foto z instalace 21.2.2023, detail snímače DH15



Foto z instalace 21.2.2023. Snímač IOT LV – ukládá data ze 4 snímačů DH15, ukládá data z měření teploty, bezdrátově odesílá data



Foto z instalace 21.2.2023, router – přijímá data ze snímačů IOT a odesílá data přes datovou síť od systému Miner

Červen 2023

Prudký nárůst deformací v důsledku vysokých teplot, překročení původně definovaných varovných stavů (0,1 mm), denní sledování výsledků.

Dne 30.6.2023 – ukončení provozu v budově, zrušení varovných stavů

Červenec 2023

Dne 23.7.2023 dosažena maximální hodnota deformace 0,823 mm (vodorovný snímač na kritickém sloupu)

Srpen 2023 – rozšíření monitoringu

Cílem rozšířeného monitoringu je sledování napětí ve svornících statického zajištění kritického sloupu. Dále monitoring trhliny ve stropním vazníku a na třetím sloupu od jeviště vpravo.

1.8.2023

Balkon vpravo: Kvůli plánované instalaci systému Dynamag demontovány oba deformy a oba náklony ze 2. sloupu od jeviště. Na 1. sloupu deformy ponechány.

Balkon vlevo: trvale demontovány snímače DH15 z 1. sloupu u jeviště na balkoně vlevo. Z druhého pilíře vlevo dále demontován 2x DH 15 - příprava pro osazení systému Dynamag.

Stropní průvlak 3. sloupu - instalován deform DH15 a snímač IOT LV.

2.8.2023

Instalovány snímače Dynamag (DYN1H, DYN1D) na 2. sloup pravého balkonu. Dále vrácen na původní místo horní náklon nad trhlinou. Dva snímače DH 15. Na třetí pilíř vpravo od jeviště jsme v trhlíně nad podlahou instalovali nový DH15

4.8.2023

Instalace dalších 2 snímačů Dynamag (DYN2H, DYN2D) na 2. sloup na levém balkoně.

Spuštěn systém Dynamag – zkušební provoz. Kontinuální monitoring, dálkový přenos dat, data ukládána na portálu Sahure. Nastaveny hodnoty varovných stavů (5 kN)

11.8.2023

Výměna měřicí jednotky Dynamag – spuštění měření



Snímače Dynamag nainstalované na svornících kritického sloupu (2. sloup od jeviště na balkoně vpravo)



Snímač DSCS systému Dynamag – detail



Instalace snímače DH15 ve stropním vazníku

15.8.2023

V době provádění sekané sondy u 1. sloupu, balkon vpravo, skokový nárůst deformace u snímače poblíž. Nárůst o cca 1,5 mm.

17.10.2023

Navýšení varovného stavu u systému Dynamag na 6kN.

Výsledky měření:

21.2. – 15.6.2023 – hodnoty deformací u všech snímačů do 0,1 mm – nepřekročen varovný stav

15.6–31.7. 2023– U vodorovného deformu na kritickém sloupu postupný nárůst deformace až na 0,823 mm. Zcela evidentní souvislost s vysokými teplotami – v horkých dnech skokové nárůsty deformací (řádově desítky mm). Deformace nevratné. V reakci na tento vývoj provedeno začátkem srpna statické zajištění kritického sloupu. U zbývajících snímačů deformace do 0,15 mm.

Srpen 2023–v souvislosti se statickým zajištěním provedena reinstalace měřicího systému

Srpen–říjen 2023

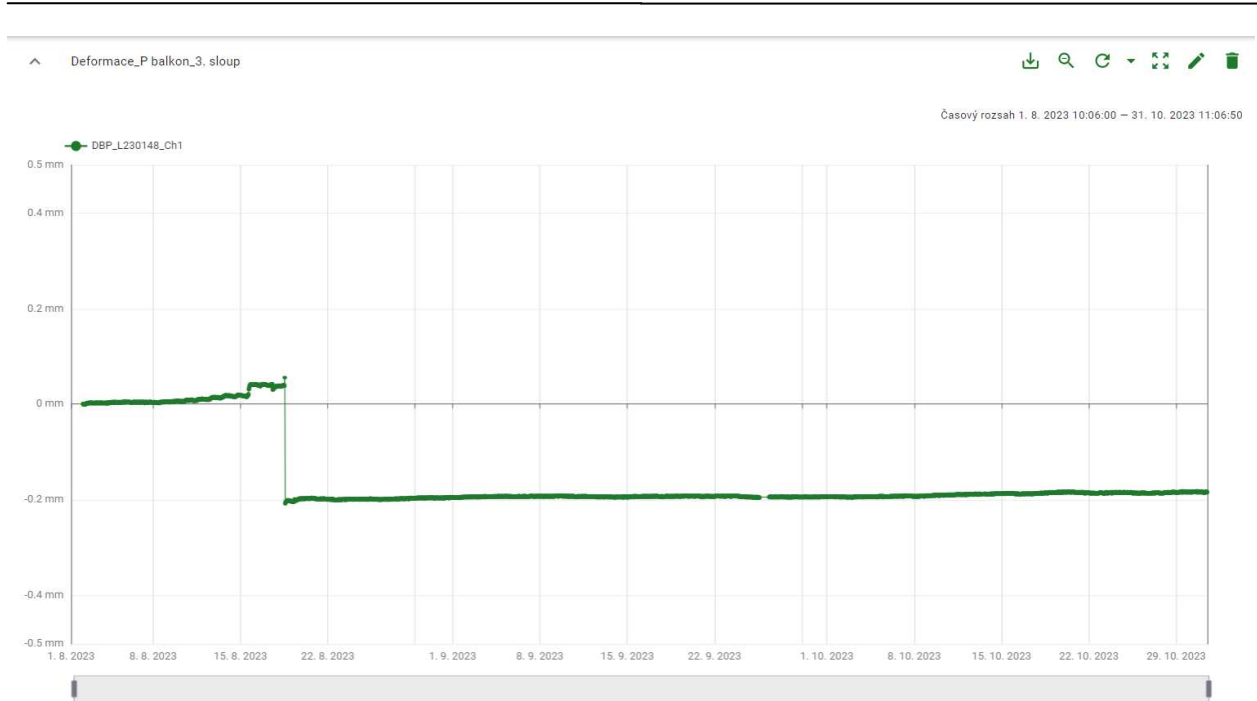
- **Stropní vazník** – max. deformace 0,034 mm, průběh prakticky konstantní, pouze mírné kolísání v souladu s teplotními změnami
- **Pravý balkon, 1. sloup** od jeviště – dne 15.8.2023 skoková změna o cca 1,5 mm u vodorovného snímače. Jinak průběh prakticky konstantní. U svislého snímače max. deformace 0,158 mm
- **Pravý balkon – 2. sloup** od jeviště – max. deformace 0,025 mm, průběh prakticky konstantní (sloup staticky zajištěn)
- **Pravý balkon, 3. sloup** od jeviště – dne 18.8.2023 skoková změna o 0,2 mm, jinak průběh prakticky konstantní, od té doby změna o 0,017 mm
- **Levý balkon, 2. sloup** od jeviště – max deformace 0,011 mm, průběh prakticky konstantní (sloup staticky zajištěn)
- **Snímače systému Dynamag** – pozorován pouze mírný nárůst napětí v souvislosti s poklesem teploty. Změny se blíží přesnosti měření (cca +-1 kN)



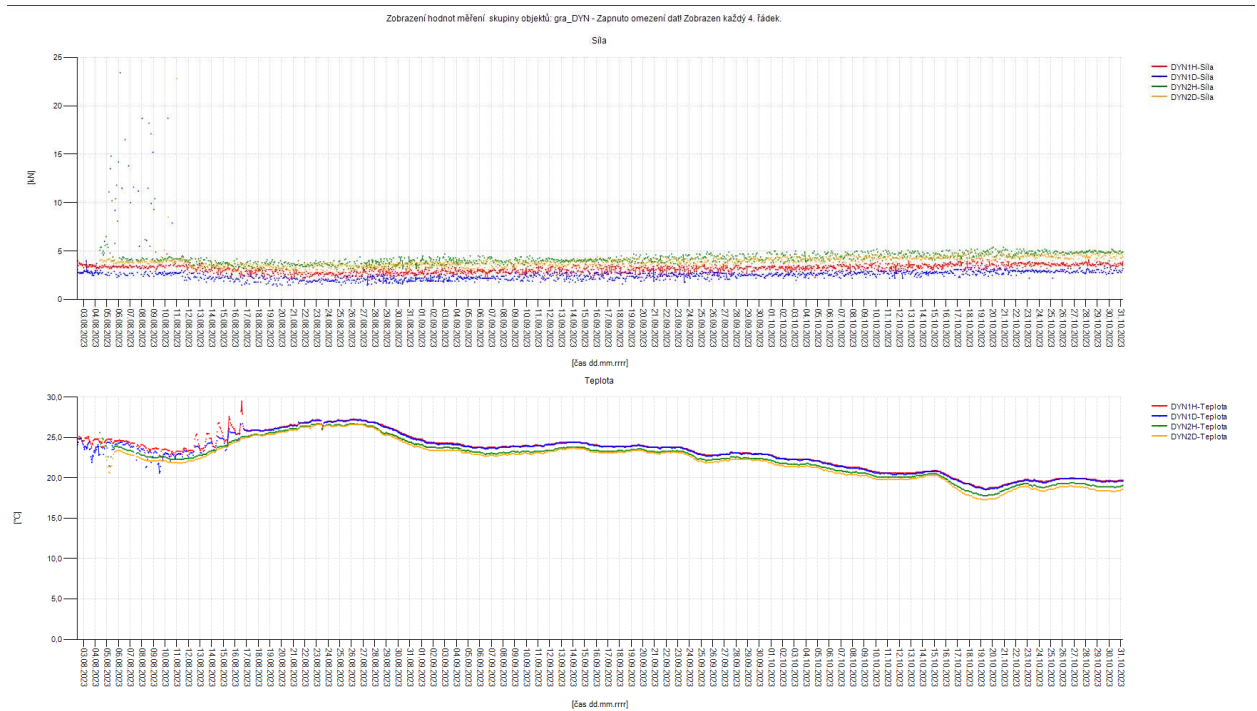
Obr.72: Záznam ze snímačů osazených na nejvíc poškozeném sloupu



Obr.73: Záznam ze snímače osazeného na straně do Jakubského náměstí



Obr.74: Záznam ze snímače osazeného na straně do Moravského náměstí



Obr.75: Záznam ze snímačů Dynamag (na šroubovicích statického zajištění sloupů)

h) Statický výpočet

h.1) Posouzení stropu nad Kinem Scala

Ze stavebně technického průřezu [3] byla zjištěna poloha, profil výztuže a třída pevnosti betonu. Zároveň jsou zde uvedeny a popsány vady konstrukce (trhliny ve stropní desce a v rámovém rohu, nedostatečné krytí výztuže).

Stropní deska má tloušťku v poli 110 mm a u podepření trámem 200 mm. Dle stavebně technického průřezu byla zjištěna výztuž pouze ve směru pnutí desky mezi trámy. Ohybová spodní výztuž desky je tvořena $\varnothing 8$ á 90 mm s krytím výztuže 10 mm. Tato výztuž byla zjištěna v poli. Nad podporou není známo vyztužení.

Trám je obdélníkového průřezu s výškou 1035 mm a šířkou 420 mm. Délka trámů se pohybuje od 10,842 m do 17,57 m. Světlá vzdálenost mezi trámy je v rozmezí 4,25 m až 4,32 m. Dle stavebně technického průřezu byla zjištěna ohybová výztuž $4 \times \varnothing 32$ při spodním povrchu s krytím výztuže 20 mm a smyková výztuž $\varnothing 8$ á 291 mm (krytí 10 mm).

• Použité materiály

ŽB stropní deska, trámy: BETON: C12/15

OCEL: C34 (určená dle dostavby objektu podle CSN ISO 13822)

ŽB sloupy: BETON: C8/10

OCEL: C34 (určená dle dostavby objektu podle CSN ISO 13822)

• Zatížení

LC1:	VLASTNÍ TÍHA NOSNÉ KONSTRUKCE	ρ_k [kg/m ³]	$\gamma_f = 1,35$ -
	Stropní deska, průvlak	2140,00 ... dle stavebně technického průřezu	
	Sloup	2100,00 ... dle stavebně technického průřezu	
	Generuje software		

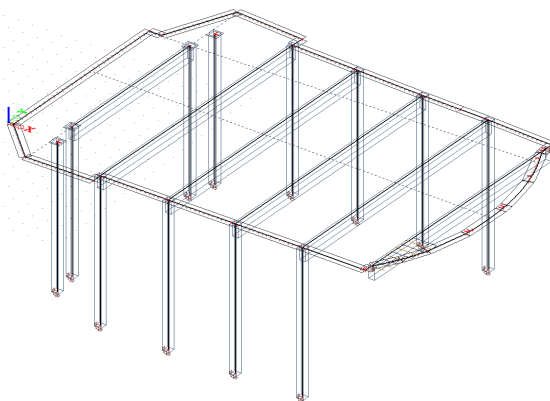
LC2: OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ

Sonda P1	ρ_k [kg/m ³]	t [m]	g_k [kN/m ²]	$\gamma_f = 1,35$ -
Koberec	1200	0,005	0,06	
Vlysová podlaha	750	0,020	0,15	
Prkna	700	0,048	0,336	
Křemelinové desky	750	0,050	0,375	
Celkem		0,123	0,921	

LC3:	UŽITNÉ ZATÍŽENÍ - KAT. C2	g_k [kN/m ²]	$\gamma_f = 1,5$ -
		4,00	

• Statický výpočet – stropní deska nad 1. PP

Výpočetní model konstrukce:



• Vstupní údaje

Zatěžovací stavy

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení	Typ zatížení	Směr
LC1	Vlastní tíha	Stálé	LG1	Vlastní tíha	-Z
LC2	Ostatní stálé zatížení	Stálé	LG1	Standard	
LC3	Užitné zatížení kategorie C2	Stálé	LG1	Standard	

Skupiny zatížení

Jméno	Zatížení	Vztah	Typ
LG1	Stálé		
LG2	Stálé		
LG3	Nahodilé	Standard	Kat C : shromáždění

Kombinace

Jméno	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
MSÚ_EN	EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	LC1 - Vlastní tíha	1,00
		LC2 - Ostatní stálé zatížení	1,00
		LC3 - Užitné zatížení kategorie C2	1,00
MSP_charak_EN	EN-MSP charakteristická	LC1 - Vlastní tíha	1,00
		LC2 - Ostatní stálé zatížení	1,00
		LC3 - Užitné zatížení kategorie C2	1,00
MSP_kvazi_EN	EN-MSP kvazistálá	LC1 - Vlastní tíha	1,00
		LC2 - Ostatní stálé zatížení	1,00
		LC3 - Užitné zatížení kategorie C2	1,00
MSÚ	Obálka - únosnost	LC1 - Vlastní tíha	1,10
		LC2 - Ostatní stálé zatížení	1,10
		LC3 - Užitné zatížení kategorie C2	1,30
MSP	Obálka - použitelnost	LC1 - Vlastní tíha	1,00
		LC2 - Ostatní stálé zatížení	1,00
		LC3 - Užitné zatížení kategorie C2	1,00

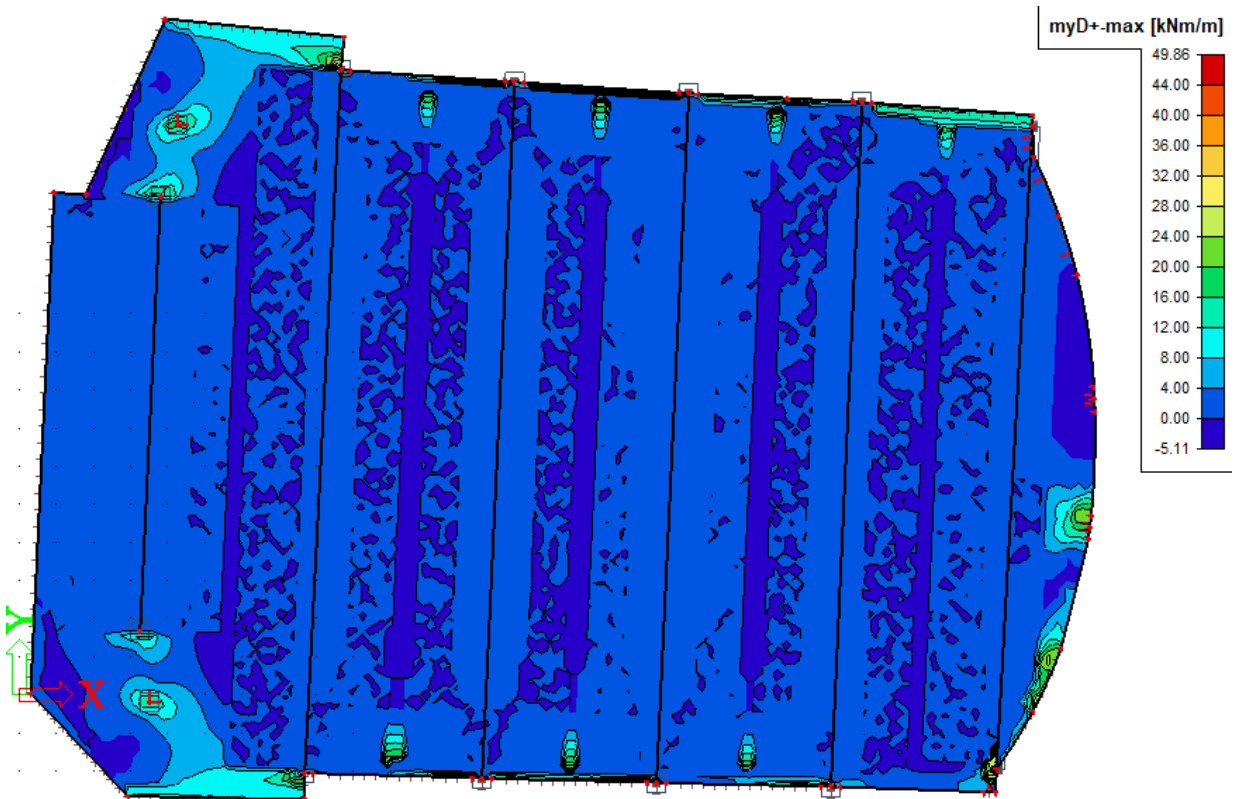
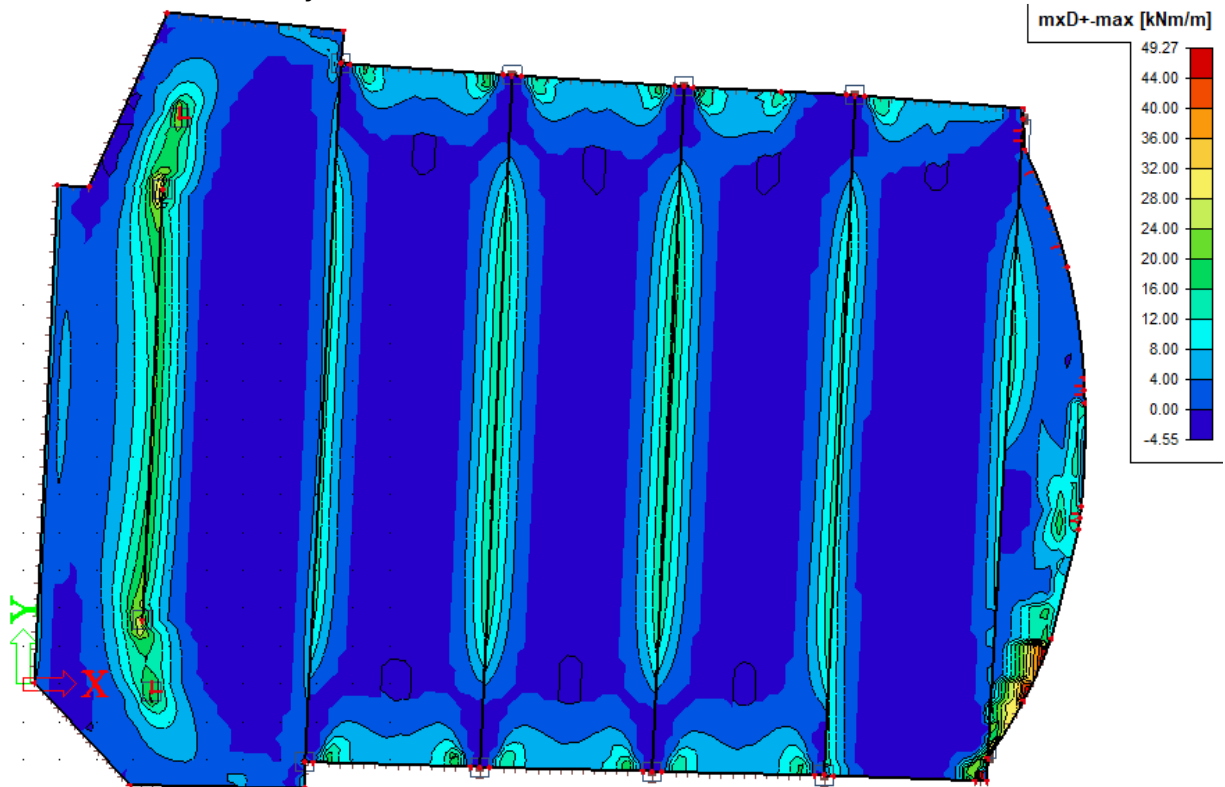
Skupiny výsledků

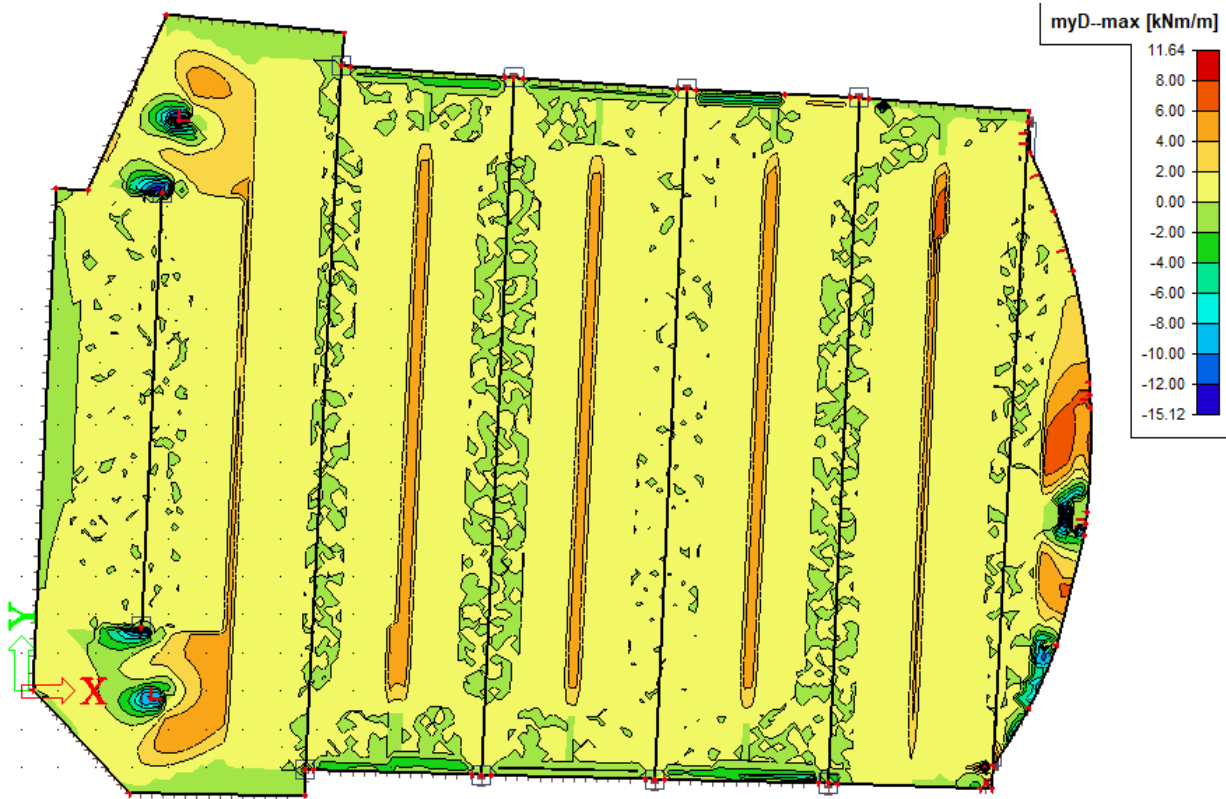
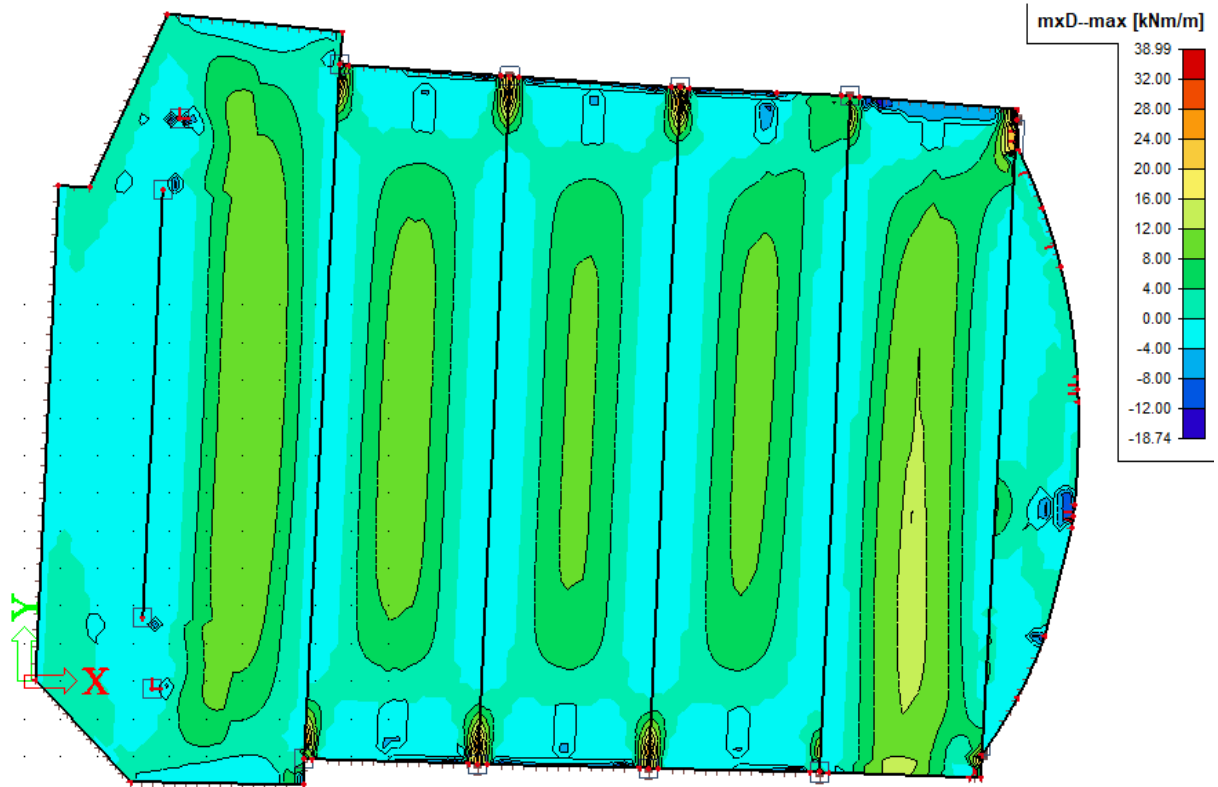
Jméno	Výpis
Všechny MSÚ	MSÚ_EN - EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B MSÚ - Obálka - únosnost
Všechny MSP	MSP_charak_EN - EN-MSP charakteristická MSP_kvazi_EN - EN-MSP kvazistálá MSP - Obálka - použitelnost
Vše MSÚ+MSP	MSÚ_EN - EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B MSÚ - Obálka - únosnost MSP_charak_EN - EN-MSP charakteristická MSP_kvazi_EN - EN-MSP kvazistálá MSP - Obálka - použitelnost

Materiály

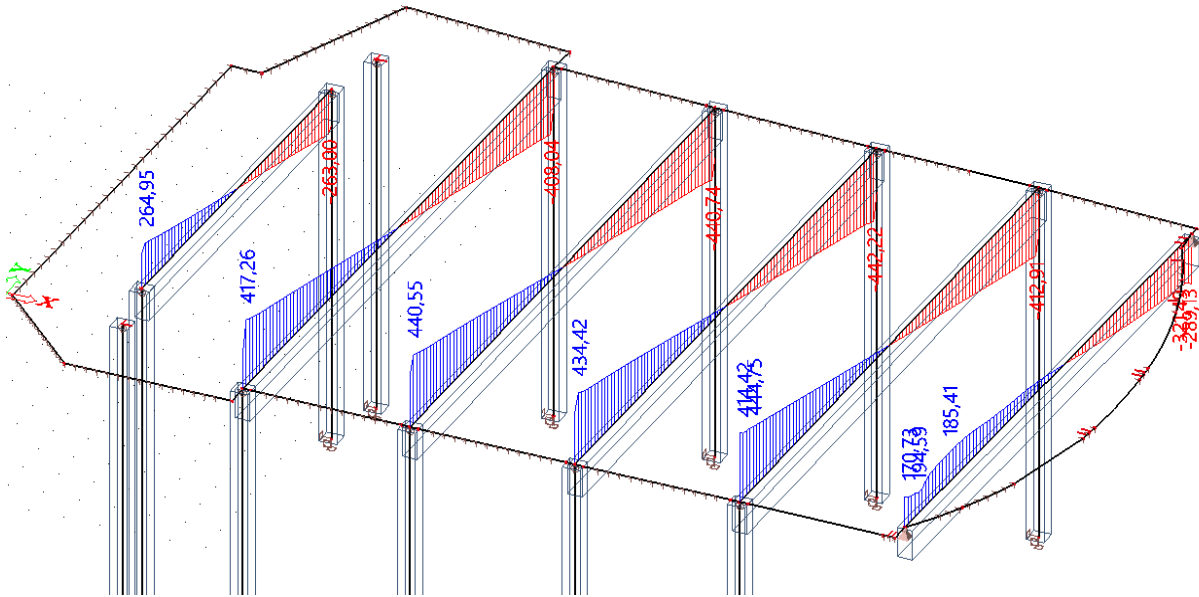
Jméno	Typ	Jednotková hmotnost [kg/m ³]	E [MPa]	Poisson - nu	Tep.roztaž. [m/mK]	Charakteristická válcová pevnost v tlaku f _{ck} (28) [MPa]
C12/15	Beton	2140,0	2,7100e+04	0.2	0,00	12,00
C8/10	Beton	2100,0	2,5300e+04	0.2	0,00	8,00

• Vnitřní síly - MSÚ

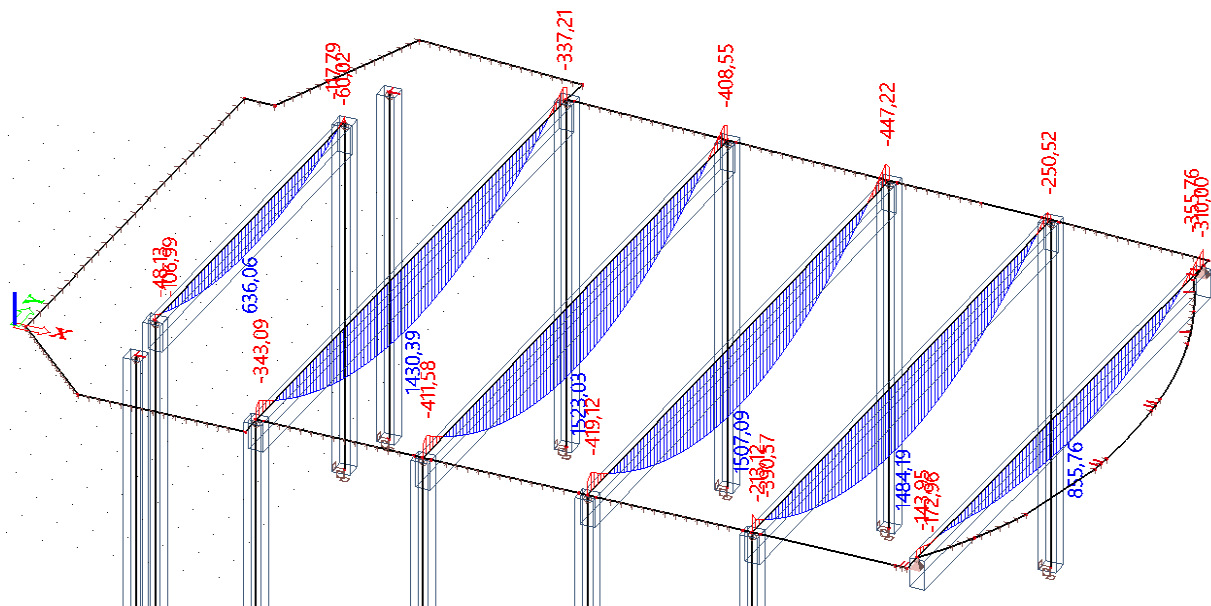




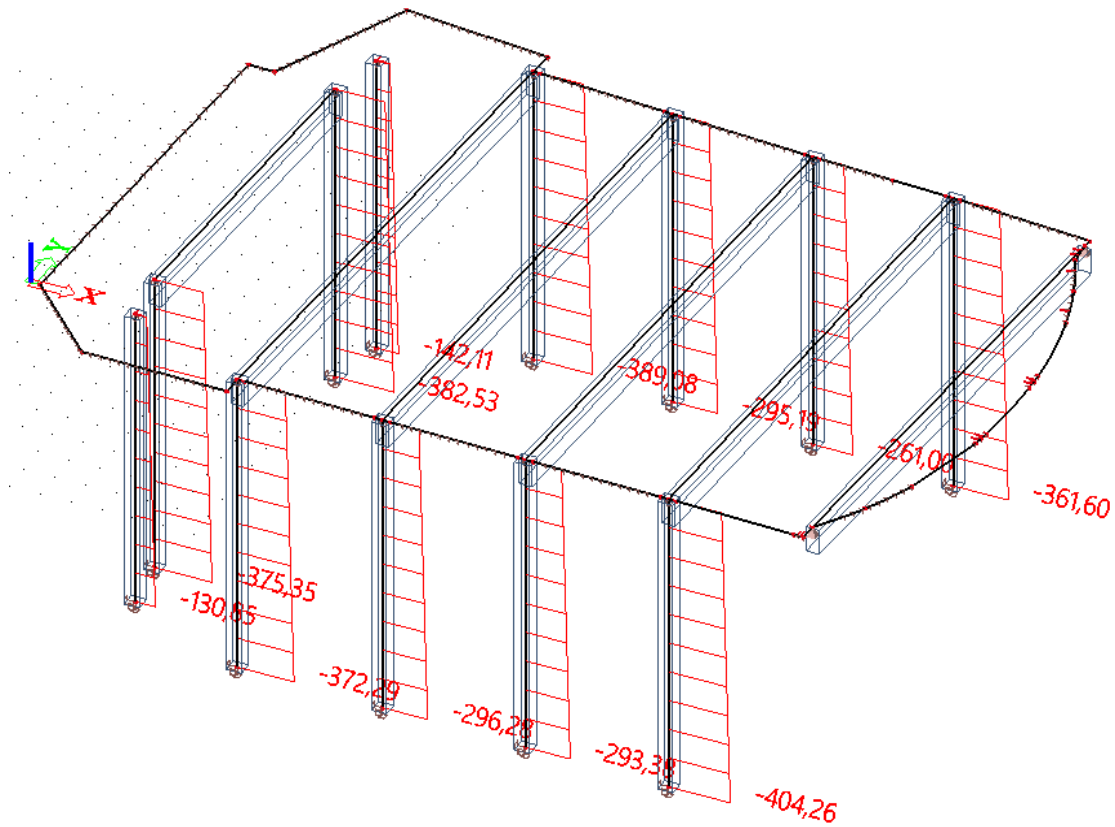
Průběh Vz na trámu:



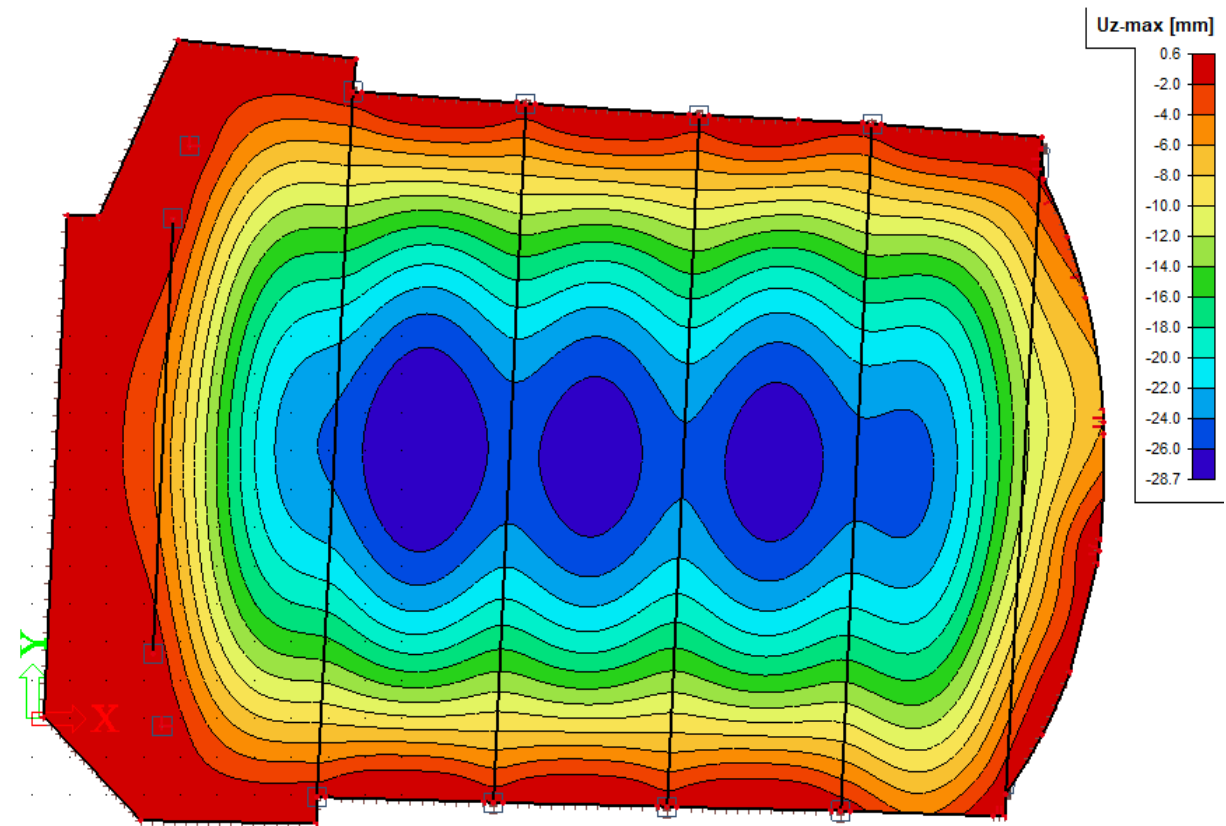
Průběh My na trámu:



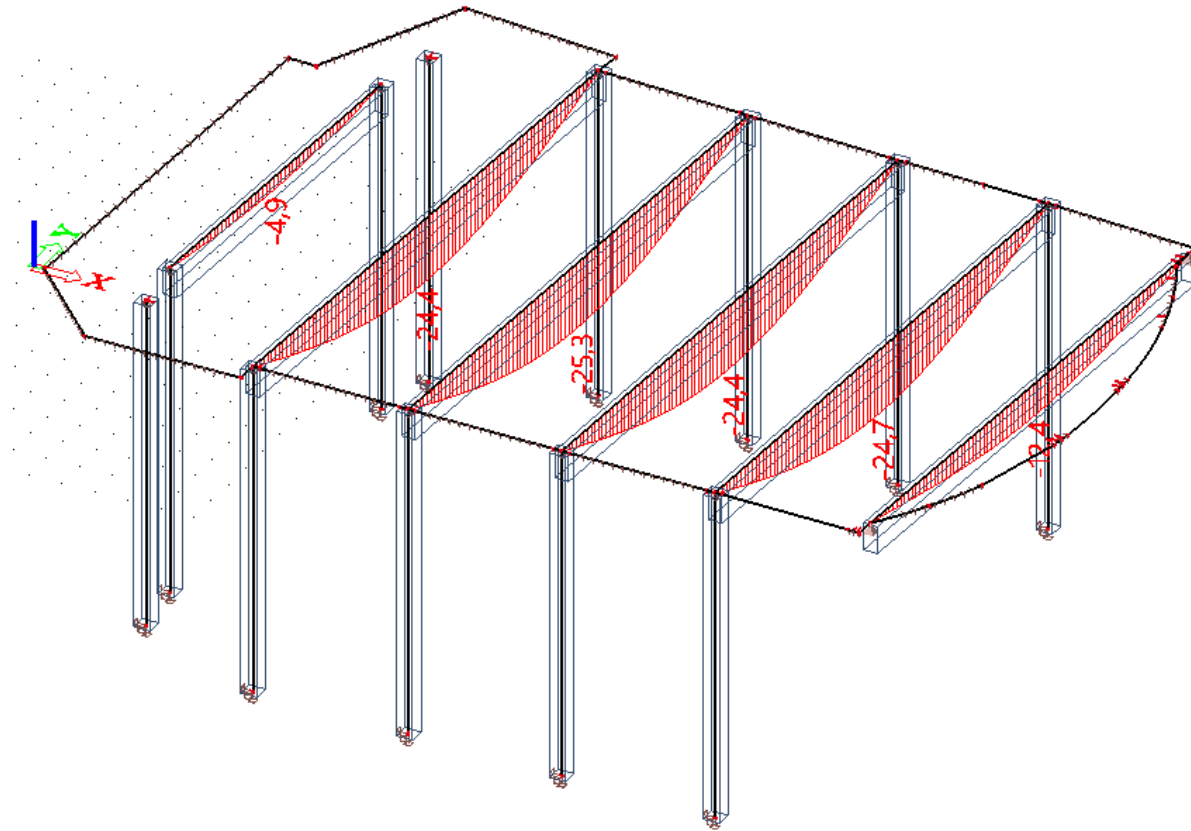
Průběh N na sloupech:



Lineární deformace – MSP charak.



Průběh deformace na trámu:



• Posouzení ŽB průřezu desky

Posouzení ŽB stropní desky v poli:

NÁVRH DESKOVÉHO PRŮŘEZU

STROPNÍ DESKA - C12/15

MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY:

BETON:

$f_{ck,elyt}$	= 12	[MPa]	... charak. válcová pevnost betonu v tlaku
f_{cm}	= 20	[MPa]	... střední pevnost v tlaku
E_c	= 27,1	[GPa]	... modul pružnosti betonu
f_{ctm}	= 1,57	[MPa]	... střední pevnost v tahu ... platí vzorec pro sC50/60
γ_c	= 1,50	[-]	... součinitel materiálu - beton
f_{td}	= 8	[MPa]	... návrhová pevnost betonu v tlaku
λ	= 0,8	[-]	... součinitel definující účinnou výšku tlačené oblasti
η	= 1,0	[-]	... součinitel definující účinnou pevnost betonu

BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ:

f_{yd}	= 180	[MPa]	... návrhová pevnost oceli dle ČSN ISO 13822
ϕ_s	= 8	[mm]	... tahová ohybová výztuž
ϕ_{ov}	= 0	[mm]	... profil třmínku
$A_{s,1}$	= 50,27	[mm ²]	... plocha jednoho kusu tažené výztuže

GEOMETRIE PRŮŘEZU:

h	= 110	[mm]	... výška průřezu
b	= 1000	[mm]	... šířka průřezu
c	= 10	[mm]	... krytí ke třmínku
d	= 96	[mm]	... účinná výška průřezu
A_c	= 110000	[mm ²]	... plocha betonu

OKRAJOVÉ PODMÍNKY PRO NÁVRH:

M_{Ed}	= 10,98	[kNm]	... návrhový ohybový moment
----------	---------	-------	-----------------------------

OVĚŘENÍ ÚNOSNOSTI V OHYBU:

$A_{s,req}$	= 691,44	[mm ²]	... požadovaná plocha výztuže
n	= 13,75	[-]	... minimální počet prutů
n_s	= 11,11	[-]	... navržených počet prutů
$A_{s,prov}$	= 558,56	[mm ²]	... navrhovaná plocha výztuže
x	= 15,71	[mm]	... poloha neutrální osy za předpokladu plného využití výztuže
s	= 89,72	[mm]	... rameno vnitřních sil
M_{Rd}	= 9,02	[kNm]	... moment únosnosti průřezu

Posouzení:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = 1,2173 \quad [-] \quad \text{Nevyhovuje}$$

Využití průřezu: 121,73 % Φ8 á 90 mm

$$\zeta = 0,16 \quad [-] \quad \text{... poměrná výška tlačené oblasti}$$

Posouzení:

$$\zeta \leq \zeta_{max} = 0,45 \quad [-] \quad \text{Vyhovuje}$$

* Chybí posouzení ŽB stropní desky nad podporou trámu (chybí informace o horní výztuži desky).

- Posouzení ŽB průřezu trámu

NÁVRH DESKOVÉHO PRŮŘEZU SE SPOLUPŮSOBÍCÍ ŠÍŘKOU DESKY

TRÁM C12/15

MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY:

BETON:

$f_{ck,elyt} =$	12	[MPa]	... charak. válcová pevnost betonu v tlaku
$f_{cm} =$	20	[MPa]	... střední pevnost v tlaku
$E_c =$	27,1	[GPa]	... modul pružnosti betonu
$f_{ctm} =$	1,57	[MPa]	... střední pevnost v tahu ... platí vzorec pro sCSO/60
$\gamma_c =$	1,50	[-]	... součinitel materiálu - beton
$f_{cd} =$	8	[MPa]	... návrhová pevnost betonu v tlaku
$\lambda =$	0,8	[-]	... součinitel definující účinnou výšku tlačené oblasti
$\eta =$	1,0	[-]	... součinitel definující účinnou pevnost betonu

BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ:

$f_{yd} =$	180	[MPa]	... návrhová pevnost oceli dle ČSN ISO 13822
$\phi_s =$	32	[mm]	... tahová ohybová výztuž
$\phi_{ov} =$	8	[mm]	... profil trmínku
$A_{s,1} =$	804,25	[mm ²]	... plocha jednoho kusu tažené výztuže

GEOMETRIE PRŮŘEZU:

$h_d =$	200	[mm]	... tloušťka desky
$h =$	835	[mm]	... výška průřezu
$b_{eff} =$	4740	[mm]	... spolupůsobící šířka desky
$b =$	420	[mm]	... šířka průřezu
$c =$	20	[mm]	... krytí ke trmínku
$d =$	791	[mm]	... účinná výška průřezu
$A_c =$	350700	[mm ²]	... plocha betonu

OKRAJOVÉ PODMÍNKY PRO NÁVRH:

$M_{Ed} =$	1954,31	[kNm]	... návrhový ohybový moment
------------	---------	-------	-----------------------------

OVĚŘENÍ ÚNOSNOSTI V OHYBU:

$A_{s,req} =$	14343,32	[mm ²]	... požadovaná plocha výztuže
$n =$	17,83	[-]	... minimální počet prutů
$n_s =$	4	[-]	... navržených počet prutů
$A_{s,prov} =$	3217	[mm ²]	... navrhovaná plocha výztuže
$x =$	19,09	[mm]	... poloha neutrální osy za předpokladu plného využití výztuže
$z =$	783,36	[mm]	... rameno vnitřních sil
$M_{Rd} =$	453,61	[kNm]	... moment únosnosti průřezu

Posouzení:

Ověření tlačené zóny v desce:

$$19,09 \leq 200 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení únosnosti:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = 4,3083 \quad [-] \quad \text{Nevyhovuje}$$

Využití průřezu: 430,83 %

$$\zeta = 0,02 \quad [-] \quad \text{... poměrná výška tlačené oblasti}$$

Posouzení:

$$\zeta \leq \zeta_{max} = 0,45 \quad [-] \quad \text{Vyhovuje}$$

NÁVRH PRŮVLAKU - U PODPORY

TRÁM C12/15

MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY:

BETON:

$f_{ck,cyl}$	= 12	[MPa]	... charak. válcová pevnost betonu v tlaku
f_{cm}	= 20	[MPa]	... střední pevnost v tlaku
E_c	= 27,1	[GPa]	... modul pružnosti betonu
f_{ctm}	= 1,57	[MPa]	... střední pevnost v tahu ... platí vzorec pro sC50/60
γ_c	= 1,50	[-]	... součinitel materiálu - beton
f_{cd}	= 8	[MPa]	... návrhová pevnost betonu v tlaku
λ	= 0,8	[-]	... součinitel definující účinnou výšku tlačené oblasti
η	= 1,0	[-]	... součinitel definující účinnou pevnost betonu

BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ:

f_{yd}	= 180	[MPa]	... návrhová pevnost oceli dle ČSN ISO 13822
ϕ_s	= 0	[mm]	... tahová ohybová výztuž
ϕ_{sv}	= 8	[mm]	... profil třmínku
$A_{s,1}$	= 0	[mm ²]	... plocha jednoho kusu tažené výztuže

GEOMETRIE PRŮŘEZU:

h	= 1035	[mm]	... výška průřezu
b	= 420	[mm]	... šířka průřezu
c	= 10	[mm]	... krytí ke třmínku
d	= 1017	[mm]	... účinná výška průřezu
A_c	= 434700	[mm ²]	... plocha betonu

OKRAJOVÉ PODMÍNKY PRO NÁVRH:

V_{Ed}	= 442,22	[kN]	... návrhová smyková síla
----------	----------	------	---------------------------

OVĚŘENÍ ÚNOSNOSTI TLAČENÉ DIAGONÁLY:

podmínka: $1,0 \leq \cot \theta \leq 2,5$

$$45^\circ \geq \theta \geq 21,8^\circ$$

θ	= 21,9	°	... sklon tlačené diagonály
$\cot g \theta$	= 2,49	[-]	
v	= 0,5712	[-]	... součinitel zohledňující smykové napětí
$V_{Rd,max}$	= 675,01	[kN]	... únosnost tlačené diagonály

Posouzení:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max} \quad \text{vyhovuje}$$

NÁVRH SMYKOVÉ VÝZTUŽE:

A_{sv}	= 100,53	[mm ²]	
n	= 2	[-]	
Návrh osové vzdálenosti třmínků:	103,6226	[mm]	
Podmínka konstrukčních zásad:	400	[mm]	Návrh: $s = 291$ [mm]
$V_{Rd,s}$	= 157,47	[kN]	Nevyhovuje

Stupeň vyztužení:

$$0,001338783 \leq \rho \leq 0,00823 \leq 0,012693 \quad \text{Nevyhovuje}$$

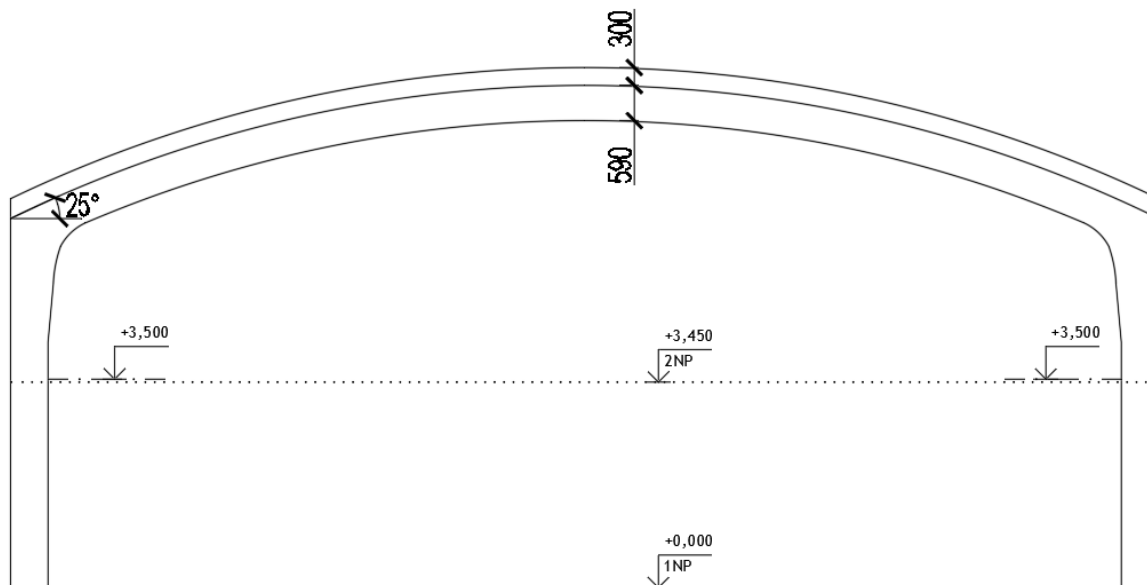
ÚNOSNOST BEZ SMYKOVÉ VÝZTUŽE:

$$V_{Rd,c} = 89,81 \text{ [kN]} \quad \text{Nevyhovuje. Je potřeba navrhnout smykovou výztuž.}$$

Do podpory bude zataženo 0 pruty profilu 0

h.2) Posouzení konstrukce střechy nad divadlem Bolka Polívky

- Schéma konstrukce



- Použité materiály

ŽB oblouky: BETON: C12/15
 ; OCEL: 10 216 (podle CSN ISO 13822)

- Zatížení

SYLABUS ZATÍŽENÍ - STŘEŠNÍ KONSTRUKCE

Vypracován dle ČSN EN 1990 - Zásady navrhování konstrukcí
 Stálé zatížení a proměnná užitná zatížení dle ČSN EN 1991-1-1 - Zatížení konstrukcí
 Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení

LC1:	VLASNÍ TÍHA NOSNÉ KONSTRUKCE				$\gamma_f = 1,35$	-
	Generuje software					
LC2:	OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ				$\gamma_f = 1,35$	-
		ρ_k [kg/m ²]	g_k [kN/m ²]	L [m]	g_k [kN/m]	
		636	6,36	5	31,8	
LC3:	ZATÍŽENÍ SNĚHEM				$\gamma_f = 1,5$	-
			g_k [kN/m ²]	L [m]	g_k [kN/m]	
			0,80	5	4	

• Posouzení rámové konstrukce

Vstupní údaje

Zatěžovací stavy

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení	Směr	Působení	Rídící zat. stav
	Spec	Typ zatížení				
ZS1	Vlastní tíha	Stálé Vlastní tíha	SZ1	-Z		
ZS2	Ostatní stálé zatížení	Stálé Standard	SZ2			
ZS3.1	Sníh Standard	Proměnné Statické	SZ3		Krátkodobé	Žádný
ZS3.2	Sníh Standard	Proměnné Statické	SZ3		Krátkodobé	Žádný

Kombinace

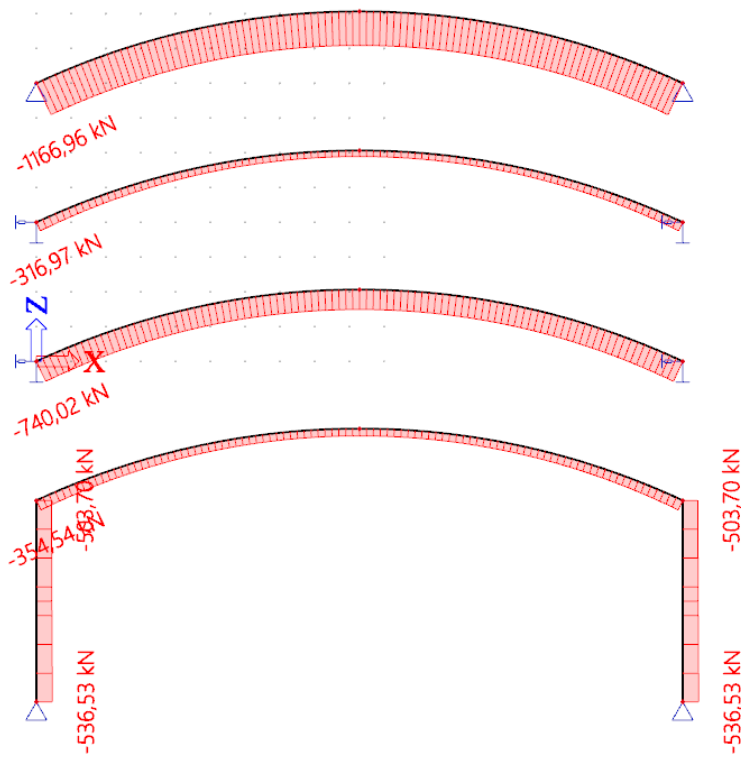
Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
MSÚ-Sada B (auto)		EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Ostatní stálé zatížení ZS3.1 - Sníh ZS3.2 - Sníh	1,000 1,000 1,000 1,000
MSP-Char (auto)		EN-MSP charakteristická	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Ostatní stálé zatížení ZS3.1 - Sníh ZS3.2 - Sníh	1,000 1,000 1,000 1,000
MSP-Kvazi (auto)		EN-MSP kvazistálá	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Ostatní stálé zatížení ZS3.1 - Sníh ZS3.2 - Sníh	1,000 1,000 1,000 1,000

Skupiny výsledků

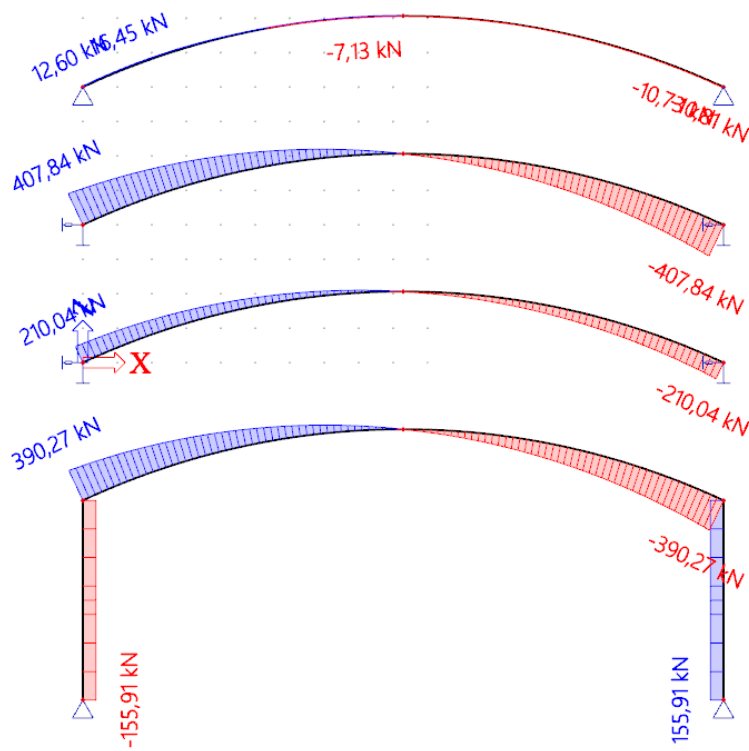
Jméno	Výpis
Všechny MSÚ	MSÚ-Sada B (auto) - EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B
Všechny MSP	MSP-Char (auto) - EN-MSP charakteristická MSP-Kvazi (auto) - EN-MSP kvazistálá
Vše MSÚ+MSP	MSÚ-Sada B (auto) - EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B MSP-Char (auto) - EN-MSP charakteristická MSP-Kvazi (auto) - EN-MSP kvazistálá

Vnitřní síly - MSÚ

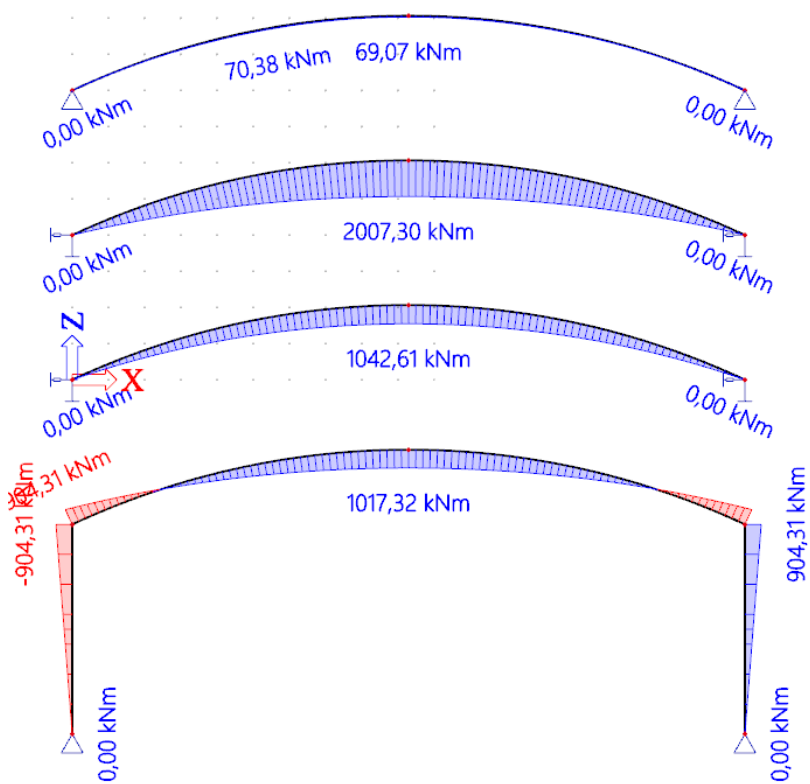
Průběh N:



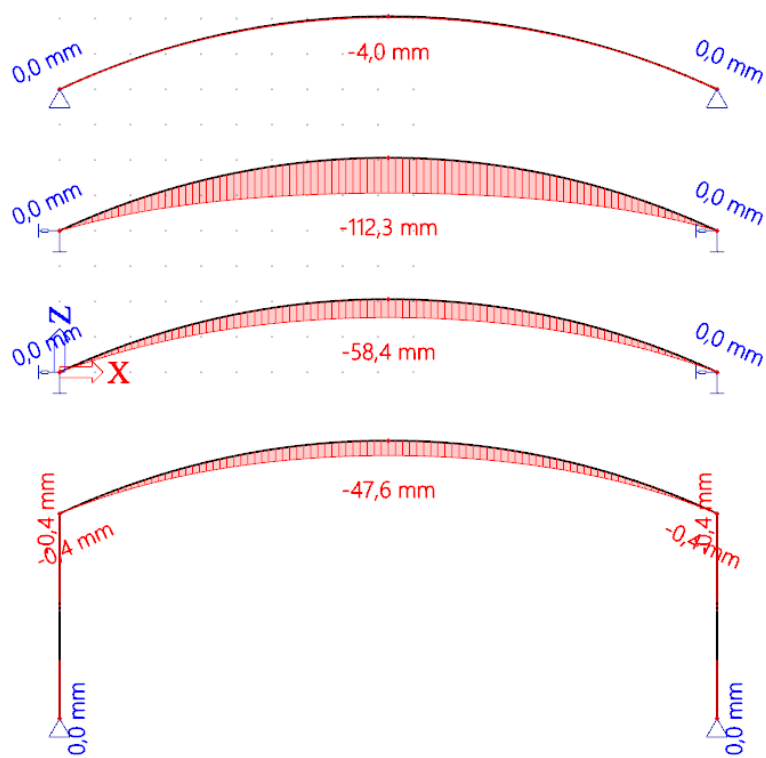
Průběh Vz:



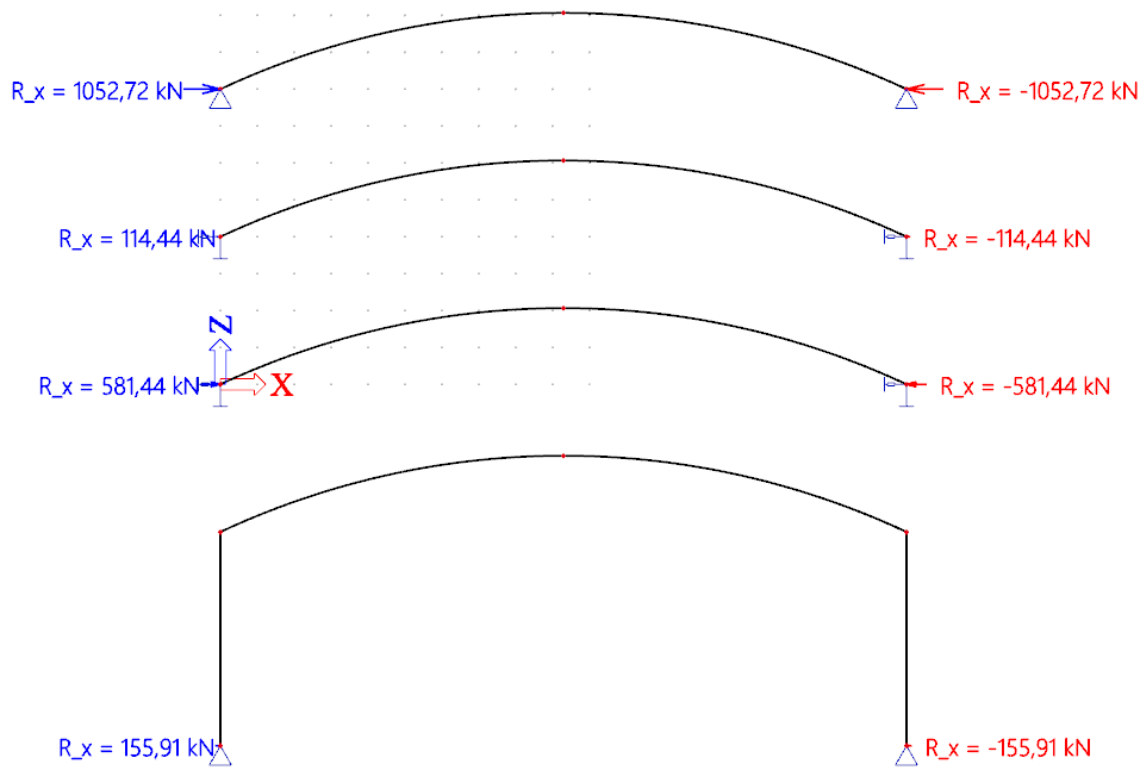
Průběh My:



Průběh uz:



Průběh R_x :



• Posouzení ŽB průřezu desky

Posouzení stýčniku:

MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY:

BETON:

$f_{ck,xyt}$	= 12	[MPa]	... charak. válcová pevnost betonu v tlaku
f_{ctm}	= 20	[MPa]	... střední pevnost v tlaku
E_c	= 27,1	[GPa]	... modul pružnosti betonu
f_{ctm}	= 1,57	[MPa]	... střední pevnost v tahu ... platí vzorec pro sC50/60
γ_c	= 1,50	[-]	... součinitel materiálu - beton
f_{ctd}	= 8	[MPa]	... návrhová pevnost betonu v tlaku
D_{max}	= 16	[mm]	... maximální velikost zrna kameniva
λ	= 0,8	[-]	... součinitel definující účinnou výšku tlačené oblasti
η	= 1,0	[-]	... součinitel definující účinnou pevnost betonu

BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ:

f_{yk}	= 218,5	[MPa]	... charakteristická mez kluzu
γ_s	= 1,15	[-]	... součinitel materiálu - betonářská výztuž
f_{yk}	= 190	[MPa]	... návrhová mez kluzu
ϕ_s	= 22	[mm]	... tahová ohybová výztuž
ϕ_{sv}	= 6	[mm]	... profil třmínku
$A_{s,1}$	= 380,13	[mm ²]	... plocha jednoho kusu tažené výztuže
ϕ_{sv}	= 0	[mm]	... profil spony
ϕ_s	= 20	[mm]	... tahová ohybová výztuž
$A_{s,1}$	= 314,16	[mm ²]	... plocha jednoho kusu tažené výztuže
n	= 4	[-]	... navržený počet prutů

GEOMETRIE PRŮŘEZU:

h	= 890	[mm]	... výška průřezu
b	= 300	[mm]	... šířka průřezu
c	= 20	[mm]	... krytí ke třmínku
d	= 853	[mm]	... účinná výška průřezu
A_c	= 267000	[mm ²]	... plocha betonu

OKRAJOVÉ PODMÍNKY PRO NÁVRH:

V_{Ed}	= 390,72	[kN]	... návrhová smykavá síla
M_{Ed}	= 904,31	[kNm]	... návrhový ohybový moment

OVĚŘENÍ ÚNOSNOSTI V OHYBU:

n_s	= 2	[-]	... navržených počet prutů
$A_{s,prov}$	= 2016,9	[mm ²]	... navrhovaná plocha výztuže
x	= 199,59	[mm]	... poloha neutrální osy za předpokladu plného využití výztuže
z	= 773,16	[mm]	... rameno vnitřních sil
M_{Ed}	= 296,28	[kNm]	... moment únosnosti průřezu

Posouzení:

$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = 3,0522$ [-] Nevyhovuje

Využití průřezu: 305,22 %

$\zeta = 0,23$ [-] ... poměrná výška tlačené oblasti

Posouzení:

$\zeta \leq \zeta_{max} = 0,45$ [-] Vyhovuje

OVĚŘENÍ ÚNOSNOSTI TLAČENÉ DIAGONÁLY:

podmínka: $1.0 \leq \cot \theta \leq 2.5$

$45^\circ \geq \theta \geq 21,8^\circ$

$\theta = 30^\circ$... sklon tlačené diagonály

$\cot \theta = 1,73$ [-]

$\nu = 0,5712$ [-] ... součinitel zohledňující smykavé napětí

$V_{Ed,max} = 459,23$ [kN] ... únosnost tlačené diagonály

Posouzení:

$V_{Ed} \leq V_{Ed,max}$ Vyhovuje

NÁVRH SMYKOVÉ VÝZTUŽE:

Plocha třmínků:	$A_{sv} = 56,55$ [mm ²]	Maximální příčná vzdálenost třmínků:	$s_{l,max} = 600$ [mm]
Střížnost třmínku:	$n = 2$ [-]	$s = 254,00$ [mm]	
Plocha spon:	$A_{sv} = 0,00$ [mm ²]	$s_{l,max} = 400$ [mm]	Návrh: $s = 335$ [mm] Vyhovuje
Maximální podélná vzdálenost třmínků:	$s_{l,max} = 400$ [mm]	$V_{Rd,s} = 42,90$ [kN]	Nevyhovuje
Střížnost spon:	$n = 0$ [-]	Návrh: $s = 0$ [mm] Vyhovuje	
Stupeň vyztužení:	$0,001268 \leq 0,000563 \leq 0,01203$	Nevyhovuje. Je potřeba navrhnout smykavou výztuž	

ÚNOSNOST BEZ SMYKOVÉ VÝZTUŽE:

$V_{Rd,c} = 79,70$ [kN] Nevyhovuje. Je potřeba navrhnout smykavou výztuž

Do podpory bude zataženy 3 pruty profil 22

Posouzení oblouku v poli:

MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY:

BETON:

$f_{ck, cyl}$ =	12	[MPa]	... charak. válcová pevnost betonu v tlaku
f_{cm} =	20	[MPa]	... střední pevnost v tlaku
E_c =	27,1	[GPa]	... modul pružnosti betonu
f_{ctm} =	1,57	[MPa]	... střední pevnost v tahu ... platí vzorec pro sC50/60
γ_c =	1,50	[-]	... součinitel materiálu - beton
f_{cd} =	8	[MPa]	... návrhová pevnost betonu v tlaku
λ =	0,8	[-]	... součinitel definující účinnou výšku tlačené oblasti
η =	1,0	[-]	... součinitel definující účinnou pevnost betonu

BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ:

f_{yd} =	190	[MPa]	... návrhová pevnost oceli dle ČSN ISO 13822	ϕ_s =	20	[mm]	... tahová ohybová výztuž
ϕ_s =	22	[mm]	... tahová ohybová výztuž	$A_{s,1}$ =	314,16	[mm ²]	... plocha jednoho kusu tažené výztuže
ϕ_{sv} =	6	[mm]	... profil třmínku	n =	4	[-]	... navržených počet prutů
$A_{s,1}$ =	380,13	[mm ²]	... plocha jednoho kusu tažené výztuže				

GEOMETRIE PRŮŘEZU:

h_d =	300	[mm]	... tloušťka desky
h =	890	[mm]	... výška průřezu
b_{eff} =	4000	[mm]	... spolupůsobící šířka desky
b =	300	[mm]	... šířka průřezu
c =	20	[mm]	... krytí ke třmínku
d =	853	[mm]	... účinná výška průřezu
A_c =	267000	[mm ²]	... plocha betonu

OKRAJOVÉ PODMÍNKY PRO NÁVRH:

M_{Ed} =	1017,32	[kNm]	... návrhový ohybový moment
------------	---------	-------	-----------------------------

OVĚŘENÍ ÚNOSNOSTI V OHYBU:

$A_{s, req}$ =	6420,51	[mm ²]	... požadovaná plocha výztuže
n =	16,89	[-]	... minimální počet prutů
n_s =	3	[-]	... navržených počet prutů
$A_{s, prov}$ =	2397,03	[mm ²]	... navrhovaná plocha výztuže
x =	17,79	[mm]	... poloha neutrální osy za předpokladu plného využití výztuže
z =	845,88	[mm]	... rameno vnitřních sil
M_{Rd} =	385,24	[kNm]	... moment únosnosti průřezu

Posouzení:

Ověření tlačené zóny v desce:

17,79	≤	300	mm	Vyhovuje
-------	---	-----	----	----------

Posouzení únosnosti:

$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}$ =	2,6407	[-]	Nevyhovuje
---------------------------	--------	-----	------------

Využití průřezu: 264,07 %

ζ =	0,02	[-]	... poměrná výška tlačené oblasti
-----------	------	-----	-----------------------------------

Posouzení:

$\zeta \leq \zeta_{max}$ =	0,45	[-]	Vyhovuje
----------------------------	------	-----	----------

- dočasné statické zajištění poškozeného oblouku

Zatížení

Převzaty reakce z kapitoly 8.

Vstupní údaje

Průřezy

Jméno	Typ	Materiál	Výroba	A [mm ²]	I _y [mm ⁴]
NOS1	U160	S 235	válcovaný	2,4000e+03	9,2500e+06

Zatěžovací stavy

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení	Typ zatížení
ZS1	Vlastní tíha	Stálé	LG1	Vlastní tíha
ZS2	Hek	Stálé	LG2	Standard
ZS3	Hed	Stálé	LG3	Standard

Skupiny zatížení

Jméno	Zatížení
LG1	Stálé
LG2	Stálé
LG3	Stálé

Kombinace

Jméno	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
MSÚ	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,35
		ZS3 - Hed	1,00
MSP	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
		ZS2 - Hek	1,00

Skupiny výsledků

Jméno	Výpis
Všechny MSU	MSÚ - Lineární - únosnost
	MSP - Lineární - únosnost
Všechny MSP	

Vnitřní síly

NOS1

Lineární výpočet

Kombinace: MSP

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

Filtr: Průřez = NOS1 - U160

Jméno	dx [mm]	Stav	Průřez	N [kN]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
B1	0,000	MSP/1	NOS1 - U160	0,00	-56,32	0,00	0,00	0,00	2,25
B1	80,000	MSP/1	NOS1 - U160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

NOS1

Lineární výpočet

Kombinace: MSÚ

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Globální

Výběr: Vše

Filtr: Průřez = NOS1 - U160

Jméno	dx [mm]	Stav	Průřez	N [kN]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
B1	0,000	MSÚ/1	NOS1 - U160	0,00	-72,70	0,00	0,00	0,00	2,91
B1	80,000	MSÚ/1	NOS1 - U160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

• Posouzení na I. MS – Únosnost

Posudek ocelových prvků na MSÚ EC-EN 1993

Lineární výpočet
 Kombinace: MSÚ
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Průřez
 Výběr: Vše

Celkový posudek

Jméno	dx [mm]	Stav	Průřez	Materiál	UC _{Celkový} [-]	UC _{Průřez} [-]	UC _{Stabilita} [-]
B1	0,000	MSÚ/1	NOS1 - U160	S 235	0,73	0,73	0,00
H _{Ek} =	450,51	kN					
H _{Ed} =	581,44	kN					
n=	8	-					
H _{Ek} =	56,31	kN					
H _{Ed} =	72,68	kN					
∅=	20	mm					
A=	314,16	mm ²					
f _y =	640	MPa	... tyč 8.8				
H _{Ed} =	72,68	kN	≤ N _{pl,Rd} =	201,06 kN			Vyhovuje.
b=	160	mm					
l=	160	mm					
A=	25600,00	mm ²					
f _{ck} =	12	MPa					
γ _c =	1,5	-					
f _{cd} =	8	MPa					
H _{Ed} /A=	2,84	MPa	≤ f _{cd} =	8,00 MPa			Vyhovuje.

Posouzení na II. MS – Použitelnost

NOS1

Lineární výpočet
 Kombinace: MSP
 Souřadný systém: Globální
 Extrém 1D: Globální
 Výběr: Vše
 Filtr: Průřez = NOS1 - U160

Deformace

Jméno	dx [mm]	Stav	Průřez	u _x [mm]	u _y [mm]	u _z [mm]
B1	0,000	MSP/1	NOS1 - U160	0,0	0,0	0,0
B1	80,000	MSP/1	NOS1 - U160	0,0	0,0	0,0

≤ 2*L/250 = 160/250 = 0,64 mm

• Reakce

Reakce - MSP_char.

Lineární výpočet
 Kombinace: MSP
 System: Globální
 Extrém: Globální
 Výběr: Vše

Uzlové reakce

Jméno	Stav	R _x [kN]	R _y [kN]	R _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
-------	------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	----------------------	----------------------

Jméno	Stav	R _x [kN]	R _y [kN]	R _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
Sn1/N1	MSP/1	0,00	0,00	56,32	0,00	-2,25	0,00

Reakce - MSÚ

Lineární výpočet
 Kombinace: MSÚ
 Systém: Globální
 Extrém: Globální
 Výběr: Vše

Uzlové reakce

Jméno	Stav	R _x [kN]	R _y [kN]	R _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
Sn1/N1	MSÚ/1	0,00	0,00	72,70	0,00	-2,91	0,00

i) Výsledky statického posouzení

i.1) Závěr a doporučení

Nosná konstrukce budovy pochází z 30-tých minulého století a v průběhu existence byla dotčena stavební činností a stavebními zásahy v 70-tých letech 20. století. Z hlediska využitelnosti a funkce dosahuje délky udávané životnosti pro tento druh staveb to je 80 až 100 let. Vlastní betonová konstrukce byla navržena a prováděna dle zvyklostí poplatné době svého vzniku, to je z konstrukčních materiálů nižších pevnostních vlastností, než je současný standard a možností tehdejší technologie provádění. Dle hodnocení předchozích průzkumů byla provedena navíc velmi úsporně i v době svého vzniku, statický výpočet byl zřejmě proveden dle původních norem „Navrhování dle stupně bezpečnosti“.

Ze stavebně technických průzkumů [3], [9], [10] vyplývá následující:

- Na základě dosažených výsledků zkoušek byla dle ČSN EN 13791 betonu přiřazena **pevnostní třída C 12/15**, bez rezervy. Zatřídění je stejné jako v I. etapě průzkumu. Zjištěné hodnoty modulu pružnosti jsou velmi nízké (průměrná hodnota statického modulu pružnosti vyšla pouze 11,2 GPa) a neodpovídají dosažené pevnostní třídě betonu.
- Karbonatace betonu dosáhla do značné hloubky, pohybovala se od 50 do 80 mm (v I. etapě od 20 do 110 mm).
- Bylo zjištěno vyztužení obloukových nosníků ve vrcholu oblouku i v místech rámových styčniců, v rozsahu možném dosahem NDT přístrojů a sekanych sond, s ohledem na místy omezenou přístupnost částí konstrukce. Vyztužení stanovené v jednotlivých sondách je podrobně popsáno v části 7 této zprávy. Lze konstatovat, že vyztužení není z pohledu současnosti ideální, a vykazuje zásadní nedostatky, které se mimo jiné týkají absence třmínků v klíčových místech sloupů, nevhodná ukončení výztuží sloupů současně s pracovní spárou ve stejném místě a podobně.
- Ve sloupech byly zjištěny hlavní výztuže pouze na čelních stranách z vnější i vnitřní strany rámu. Na bocích sloupů, pokud byly zpřístupněny, nebyla žádná svislá výztuž zjištěna. V případě rámu 2 a 3 bylo zjištěno, že hlavní výztuž sloupu z vnitřní strany rámu končí nad podlahou (ve výškách cca 700 až 1000 mm nad podlahou), a pokračují jen pruty tvořící výztuž oblouků. V místě ukončení výztuže sloupů se nachází vodorovné trhliny ve sloupu. V ostatních rámech byla z vnitřní strany rámu zjištěna jen výztuž jdoucí následně do oblouků, případná výztuž sloupů přetažená z nižšího podlaží je tedy patrně ukončena níže (v úrovni podlahy?). V klíčové partii mezi podlahou a patou oblouku se třmínky vyskytují sporadicky, nebo zcela chybí!
- Při obhlídce exteriéru konstrukce byla již nad rámeček tohoto průzkumu zjištěna masivní koroze vnějších výztuží ve sloupech na straně obrácené k Moravskému náměstí. Tato koroze výztuže spolu s velkými roztečemi třmínků způsobila odtržení krycí vrstvy betonu a boulení fasádní omítky v místě sloupů na úrovni cca 1 m nad terénem dvorku.

Z výsledků statického výpočtu vyplývá následující:

- Stávající železobetonová nosná konstrukce nevyhovuje na účinky zatížení dle platných stavebních předpisů.
- Poškození konstrukce vyvolává nutnost změny statického schématu (okrajových podmínek)

Celkové hodnocení:

- Dle provedených stavebně technických průzkumů bylo zjištěno, že železobetonová nosná konstrukce objektu má z dnešního úhlu pohledu a míry poznání v oboru nedostatečné a chybně provedené vyztužení. Toto vyztužení není schopno zabránit vzniku a rozvoji sledovaných statických poruch konstrukce a snižuje jeho schopnost mechanické odolnosti a podmínek stability

vyžadovanými aktuálně platnými stavebními předpisy.

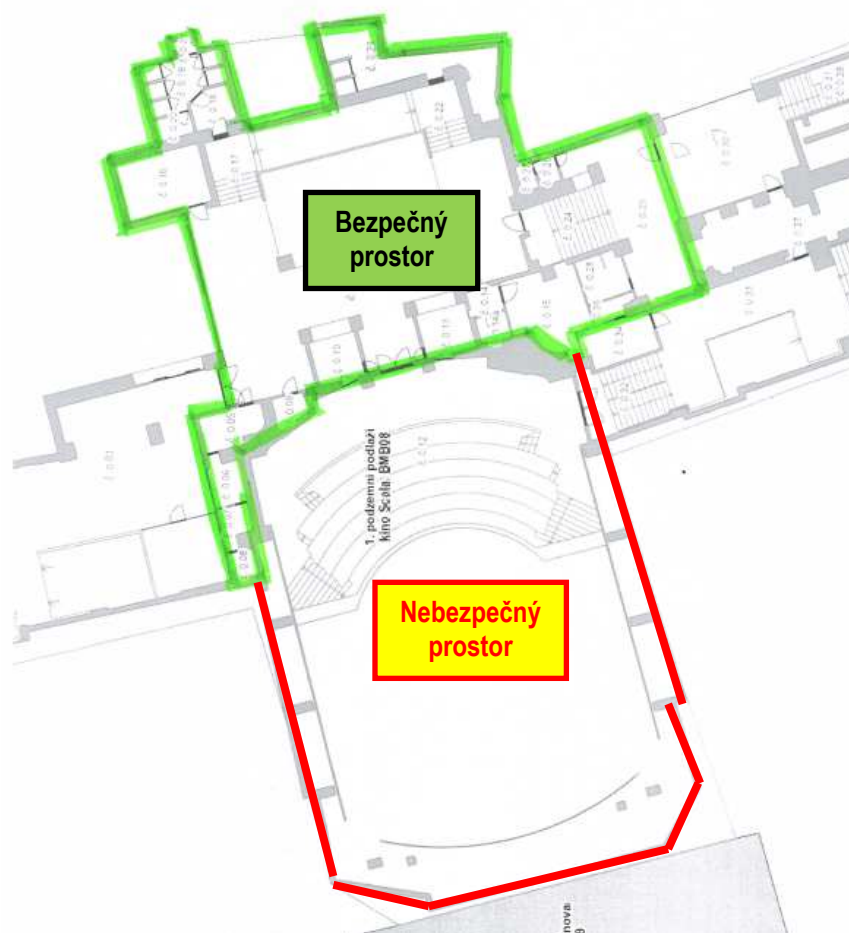
- Dle záznamu monitoringu je patrné, že zejména v letním období vlivem vysokých teplot došlo k dilatačnímu pohybu konstrukce, který v místě narušení způsobil posun. Tento posun je ovšem dle záznamu měření trvalý, bez pohybu zpět vlivem ochlazení. Tzn. že i v následujících období bude tato deformace dále narůstat a tím se konstrukce může dostat na kritickou mez kde bude hrozit její zřícení.
- Konstrukce má rovněž v kritických místech výztuž silně narušenou korozí. Zároveň zjištěná narušení konstrukce (masivní trhliny ve střešních obloucích) způsobují změnu statického schématu (působení) konstrukce čímž dále více negativně namáhá již tak nedostatečné vyztužení konstrukce.

Na základě výše uvedených skutečností je nutno konstatovat, že konstrukce objektu již nesplňuje podmínky na mechanickou odolnost a stabilitu dle ČSN a zákonných předpisů.

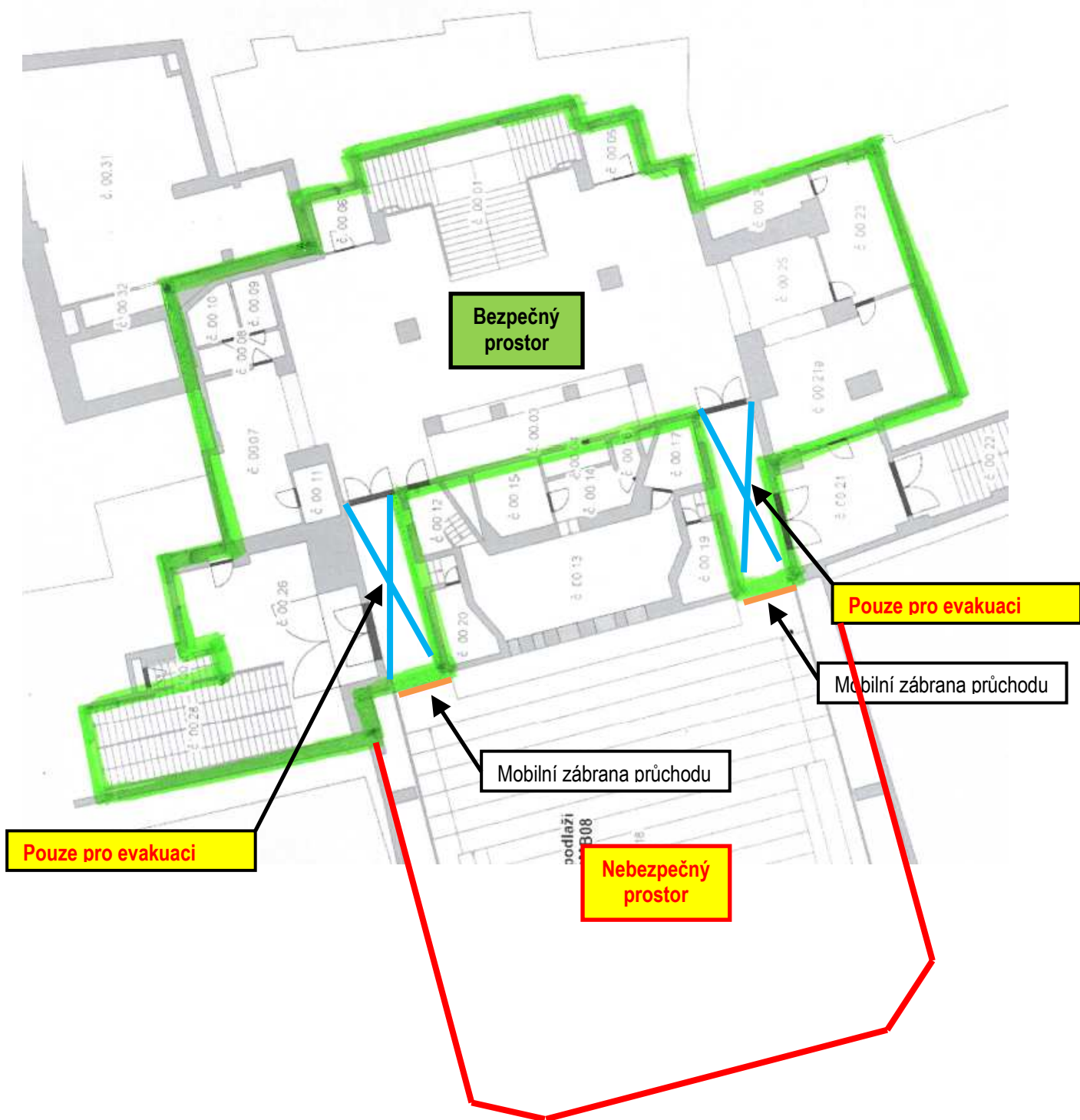
Objekt v tomto stavebně technickém stavu již není možno provozně využívat s platností od data 16.8.2023 (viz Vyjádření projektanta-statika, Zn.: 231798 / D 2023 031). Neprovozuschopné části jsou části objektu ohrožené poškozenou konstrukcí tj. sál Divadla Bolka Polívky a sál kina Scala.

Vyznačení bezpečných a nebezpečných prostor objektu:

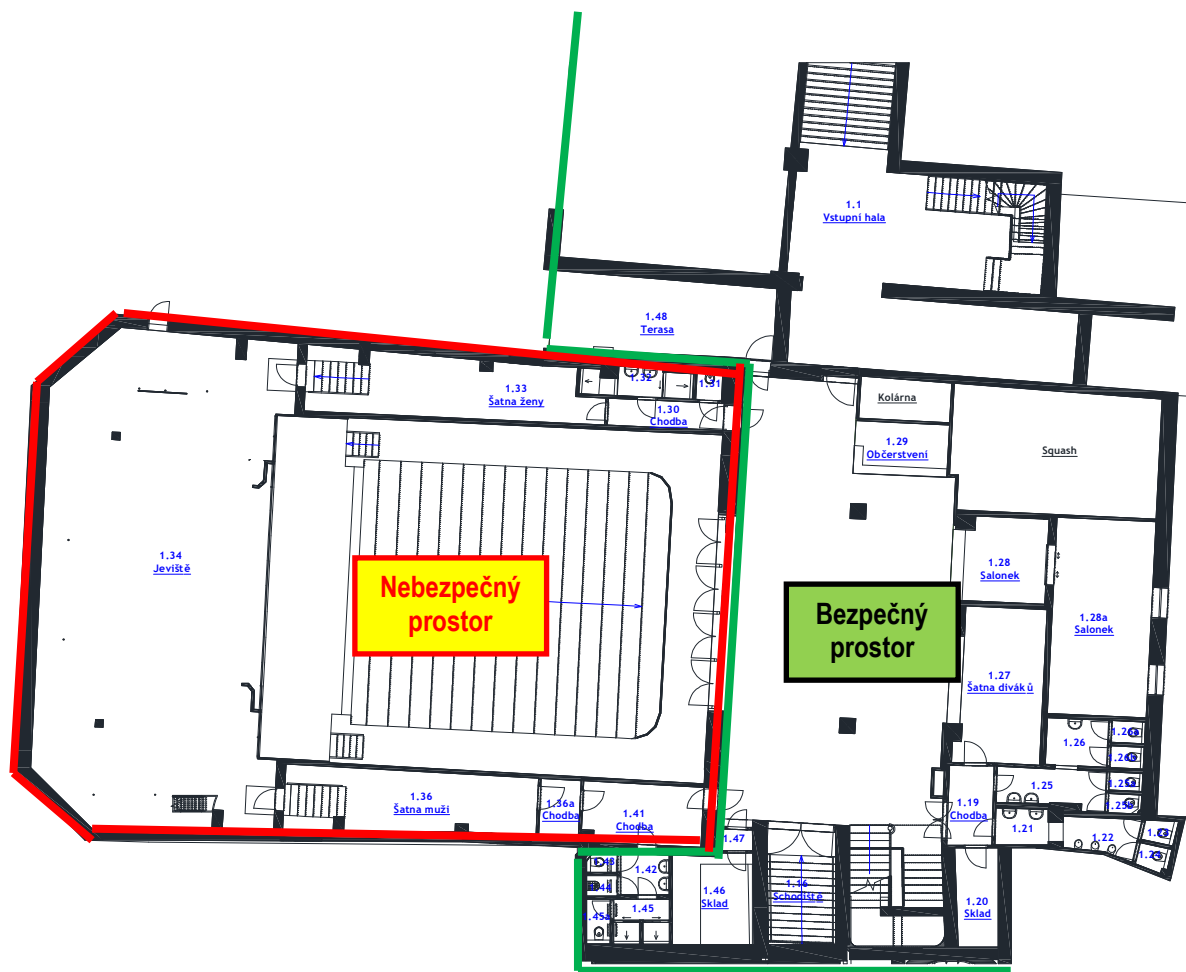
Kino Scala 1.PP:



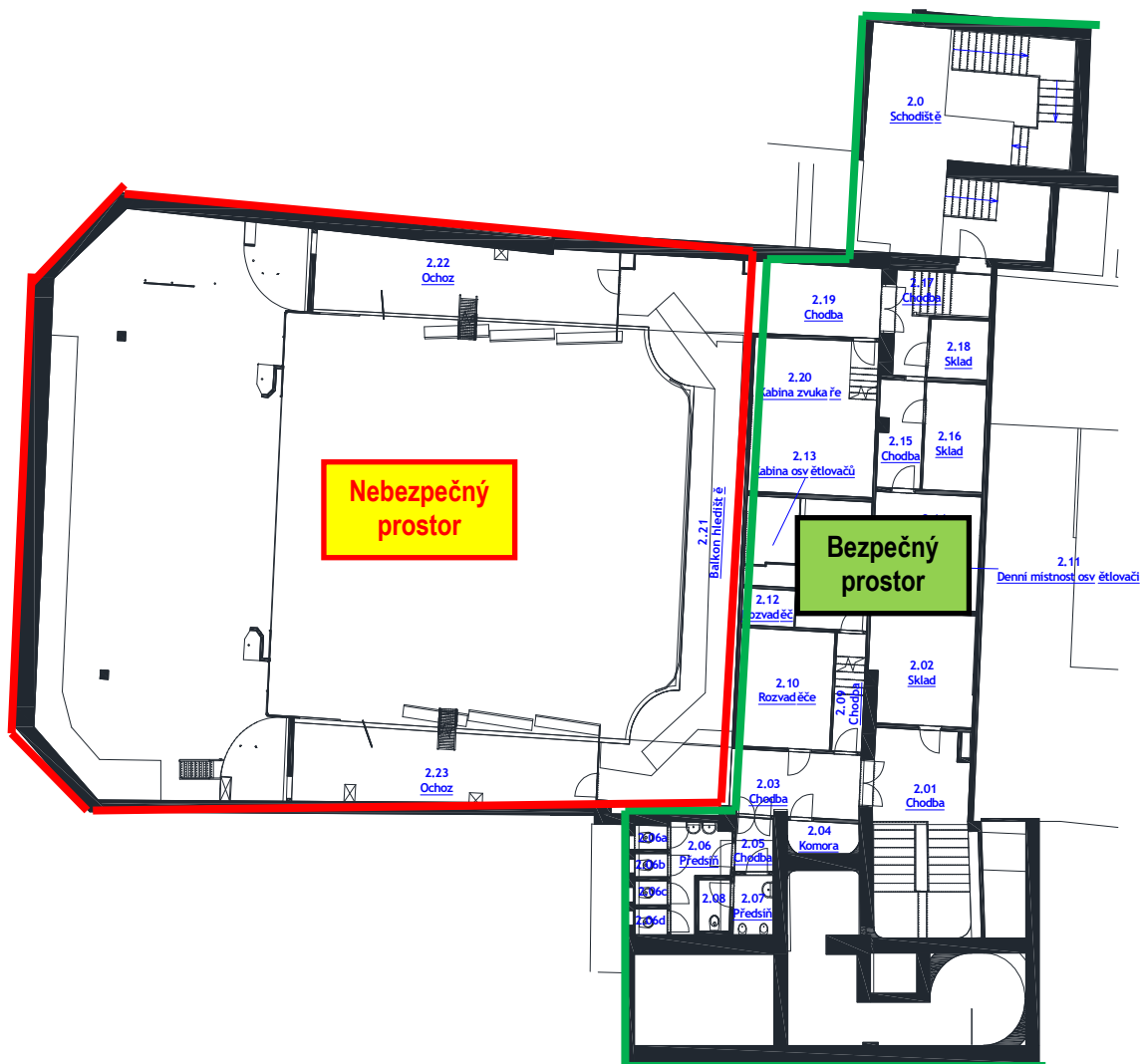
Kino Scala 2.PP:



Divadlo Bolka Polívky 1.NP:



Divadlo Bolka Polívky 2.NP:



Pro zhodnocení objektu jako celku je nutno provést druhou fázi stavebně-technického průzkumu tj. zjištění třídy betonu a vyztužení sloupů v prostoru Kina Scala a provést kopané sondy k základům včetně zhodnocení podloží.

V Brně 31/10/2023

.....
 Ing. Tomáš Focke
 INTERPLAN-CZ, s.r.o.