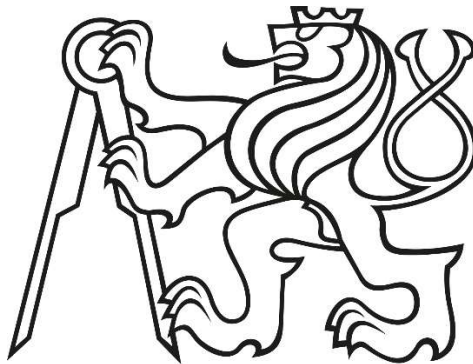


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta stavební**

**Katedra betonových a zděných konstrukcí**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Návrh železobetonové nosné konstrukce tribuny  
fotbalového stadionu**

Vedoucí práce: **Ing. Michaela Frantová, Ph.D.**

Student: **Bc. Marek Schwarz**

květen 2019





## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE


Příjmení: Schwarz	Jméno: Marek	Osobní číslo: 423751
Zadávací katedra: Katedra betonových a zděných konstrukcí		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Návrh železobetonové nosné konstrukce tribuny fotbalového stadionu	
Název diplomové práce anglicky: Design of reinforced concrete structure of football stadium tribune	
Pokyny pro vypracování: Konstrukce fotbalových stadionů. Návrh tvaru a skladby železobetonové nosné konstrukce tribuny. Návrh vybraných prvků na mezní stav únosnosti a použitelnosti. Dynamické posouzení části konstrukce.	
Seznam doporučené literatury: Foglar a kol.: Betonové konstrukce 3, ČVUT v Praze, Praha, 2011; Máca, Kruis, Krejčí: Dynamika stavebních konstrukcí Řešené příklady, ČVUT v Praze, Praha, 2018	
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Michaela Frantová, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 18.2.2019	Termín odevzdání diplomové práce: 19.5.2019 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

18.2.2019 Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)
------------------------------------	---

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Návrh železobetonové nosné konstrukce tribuny fotbalového stadionu zpracoval sám. Veškeré prameny a zdroje informací, které jsem použil k sepsání této práce, byly citovány nebo označeny odkazem v textu a jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne:

Podpis:

## Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucí mé diplomové práce **paní Ing. Michaele Frantové, Ph.D.** za všechnen čas, který mi věnovala a za všechny znalosti, které mi za dobu mého studia předala.

Stejně tak bych chtěl poděkovat **panu prof. Ing. Petru Štemberkovi, Ph.D., D.Eng.** a dalším lidem z jeho kolektivu za inspirativní poznámky a připomínky.

Hlavní díky patří mé **rodině a přítelkyni**, která mě od začátku mého studia plně podporuje a pomáhá mi i v těch nejhorších chvílích.

Všem těmto lidem bych rád vyjádřil své díky!



## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá problematikou návrhu konstrukcí tribun fotbalových stadionů. Hlavním tématem je návrh železobetonového prefabrikovaného lavicového nosníku, který je pro konstrukce tribun typický, a vhodný konstrukční detail jeho uložení. Lavicový nosník je navržen na různé případy namáhání statickým i dynamickým zatížením. V mezním stavu únosnosti byla na vypočítané vnitřní síly navržena výztuž a posouzena únavová únosnost. V mezním stavu použitelnosti je posouzen krátkodobý a dlouhodobý průhyb. Dále byla porovnána vypočítaná první vlastní frekvence lavicového nosníku s maximální diváky dosažitelnou frekvencí. Vypracován je také základní přehled konstrukcí fotbalových stadionů a jejich hlavních návrhových požadavků. V práci jsou také zmapovány fotbalové stadiony v ČR.

## **Klíčová slova**

Fotbalové stadiony, konstrukce tribuny, železobeton, prefabrikovaný, lavicový nosník, mezní stav únosnosti, mezní stav použitelnosti, statika, dynamika, zatížení, únosnost, průhyb, únava, vlastní frekvence

## **Abstract**

This diploma thesis deals with design problems of football stadium tribune structures. The main topic of the thesis is design of reinforced concrete bench beam (which is typical for tribune structures) and suitable design detail of its bearing. Bench beam is designed for different cases of stress with static and dynamic loads. In the limit state of load capacity the reinforcement for calculated internal forces was designed and fatigue capacity was assessed. In the limit state of usability the short and long term deflection was assessed. Further calculated 1st eigenfrequency was compared with maximum achievable frequency by spectators. Further, an overview of football stadium structures and their main design requirements are presented. Additimetly, football stadiums in the Czech Republic are in the thesis.

## **Key words**

Football stadiums, structure of tribune, reinforced concrete, prefabricated, bench beam, limit state of load capacity, limit state of usability, statics, dynamics, load, load capacity, deflection, fatigue, eigenfrequency

# Obsah

1. Úvod.....	9
2. Cíl práce.....	11
3. Fotbalové stadiony obecně.....	12
3.1 Hlavní návrhové požadavky.....	12
3.2 Dělení konstrukcí tribun.....	16
3.3 Příklady stadionů ve světě a ČR.....	18
3.4 Využití vnitřních prostor tribun .....	25
3.5 Výhled diváka a vliv atletické dráhy.....	26
4. Fotbalové stadiony v ČR.....	28
4.1 Základní přehled.....	28
4.2 Národní stadion .....	30
4.3 Nejnovější a plánované stadiony.....	31
4.4 Porovnání se Slovenskem .....	33
5. Návrh konstrukce tribuny fotbalového stadionu.....	35
5.1 Konstrukční systém a materiálové řešení.....	35
5.2 Rozměry hrací plochy .....	35
5.3 Kapacita tribuny .....	36
5.4 Sklon tribuny.....	36
5.5 Dilatační úseky.....	36
5.6 Ztužení konstrukce tribuny .....	36
5.7 Boxy pro VIP a novináře.....	36
5.8 Zastřešení .....	37
6. Návrh lavicového nosníku .....	38
6.1 Tvar, materiál a konstrukční detaily nosníku.....	38
6.2 Zatížení.....	44

6.3	Statický model.....	49
6.4	Zatěžovací stavy.....	50
6.5	Kombinace zatěžovacích stavů .....	52
6.6	Vnitřní síly .....	53
6.7	Mezní stav únosnosti.....	60
6.8	Mezní stav použitelnosti .....	66
6.9	Dynamika .....	68
7.	Závěr .....	76
	Literatura a odkazy .....	78
	Seznam příloh .....	81

# 1. Úvod

Fotbal je v dnešní době fenomén. Je to asi nejrozšířenější sport na světě a jeho hlavní kouzlo je v jednoduchosti. Hrát ho může téměř každý člověk na světě. Jediné, co doopravdy potřebujete, je míč a trochu místa. Vlastně ani ten míč nepotřebujete. Takovým dětem v Africe stačí třeba i balík čehokoliv svázaný čímkoliv do šišata. Skoro každý malý kluk, a já nebyl výjimkou, sní o tom, že si jednou zahraje velké zápasy za svůj oblíbený klub. Že zažije ten pocit euforie, co zažívají fotbalové hvězdy při vstřelení gólu nebo velkém vítězství před spoustou diváků na velkém stadionu.

Fotbal je v dnešní době také velký byznys. Kluby jsou ochotné za hráče utratit obrovské sumy. V tomto směru je zatím rekordem transfer mezi kluby FC Barcelona a Paris Saint-Germain. Francouzský klub v létě roku 2017 utratil za Brazilce Neymara neuvěřitelných 222 milionů eur, což je zhruba 5,6 miliardy Kč. Pro představu nejvyšší částkou, kterou kdy za hráče zaplatil český klub, bylo cca 3,75 milionu eur (96 milionu Kč). Tuto částku zaplatila pražská Sparta za Rumuna Stanciu v lednu 2018 a o rok později ho zase prodala za cca 8,5 milionu eur (220 milionu Kč), takže zrovna tento transfer se jí z tohoto pohledu na české poměry vyplatil.

Aby však kluby mohly investovat tyto obří sumy, musejí mít také velké příjmy. U nejbohatších klubů na světě tvoří největší část příjmů tržby z reklamy a vysílacích práv, které získávají díky obrovské fanouškovské základně po celém světě (Real Madrid, FC Barcelona,...) nebo je dotují jejich nekonečně bohatí majitelé z blízkého východu (zejména Paris Saint-Germain a Manchester City). Podstatnou část příjmů však tvoří také tržby ze vstupného na zápasy. Zde většinou funguje jednoduchá matematika. Čím větší stadion, tím víc diváků na něj může přijít a tím víc peněz mohou kluby vydělat. Kluby jako FC Barcelona a Real Madrid mají stadiony s kapacitou přes 80.000 diváků. Velký stadion však nemusí znamenat víc diváků. Klub hlavně musí najít způsob, jak ty diváky na stadion nalákat, což je pro některé kluby těžší a pro některé lehčí a na toto téma by se daly vést nekonečné debaty. Existuje zde příliš mnoho proměnných, které si musejí povolání lidé zvládnout vyhodnotit. Obecně však platí, že nový stadion má nebo o něm uvažuje velká část fotbalové elity. A pokud se nechystají na stavbu nového, tak plánují významnou rekonstrukci těch stávajících, která vede většinou ke zvýšení kapacity a celkové modernizaci. Hlavním důvodem pro kluby bývá to, že jejich dosavadní stadion stárne a přestává vyhovovat jejich požadavkům nebo standardům fotbalových asociací.

Ne vždy však platí to, že nově postavený stadion je větší než ten předchozí. V italském Juventus Turín si vyhodnotili, že místo starého stadionu Delle Alpi s kapacitou přes 67.000 diváků se jim vyplatí postavit nový a menší. V roce 2011 tak otevřeli nový Juventus Stadium s kapacitou 41.000 diváků. Větší stadiony mají také větší náklady na údržbu, a protože se Juventus nedařilo takový stadion naplnit, přiklonili se k tomuto řešení. Stavba nového stadionu nebo rekonstrukce stávajícího dělá určitě klub zajímavější i pro potenciální sponzory, což se opět pozitivně odrazí na klubových tržbách.

V České republice každý fanoušek ví, že české fotbalové prostředí je specifičtější. Přivést lidi na stadion je u nás obtížné a těch věrných fanoušků svých klubů, kteří chodí na každý zápas je jako šafránu. Větší zájem o lístky na fotbal bývá většinou v době, kdy se klubu či reprezentaci zrovna daří a hraje pohledný fotbal nebo hraje se soupeřem zvučnějšího jména. Když se nic z toho neděje, tak čeští fanoušci mají tendenci se od fotbalu odvracet a čekat, až se to otočí. Jen málokdo stojí za svým klubem či reprezentací i v období, kdy se nedaří. Jak odlišné, když si představíte, že v některých klubech jako například v FC Barceloně nebo Bayernu Mnichov se permanentní vstupenky dědí z generace na generaci. Prakticky tam není možné dostat se na zajímavější sedadla na stadionu. Je to možná jeden z důvodů, proč se u nás nové velké stadiony nestaví. Když už se někdy objeví plány na nové moderní arény, zůstává z různých důvodů jen u nich. Světlou výjimku tvoří jen nový stadion Slavie Praha z roku 2008 s kapacitou necelých 20.000 diváků.

Sám jsem měl svůj dětský sen, stát se fotbalovou hvězdou, který pomalu odcházel a přicházel nový - dospělácký. Tím bylo podílet se nějak významně na stavbě nového fotbalového stadionu, na kterém jsem chtěl jako malý hrát. Pro mě vždycky fotbalový stadion představoval vrchol stavařského umění a monument, který by si chtěl každý postavit. Zároveň mi připadá, že problematika návrhu fotbalového stadionu je minimálně u nás málo prozkoumaná a chtěl bych tak zároveň vypracovat alespoň základní průzkum konstrukcí našich stávajících stadionů.

Nevím, jestli se mi někdy naskytne příležitost účastnit se takového projektu, a tak jsem k tomu využil asi svou poslední možnost, která ještě k něčemu bude – diplomovou práci. Jsem si ovšem vědom, že takový projekt jeden člověk v poměrně krátkém čase sám nezvládne, proto jsem se zaměřil zejména na nosnou konstrukci.

## **2. Cíl práce**

Cílem této diplomové práce byl schématický návrh konstrukce tribuny fotbalového stadionu se zaměřením na hlavní specifický prvek tribuny – lavicový nosník. Návrh vhodného konstrukčního detailu uložení nosníku a posouzení na mezní stavy únosnosti a použitelnosti. Dále vypracování základní úvahy nad vlivem dynamického namáhání a jeho posouzení.

Dalším cílem práce bylo provést základní průzkum konstrukcí fotbalových stadionů a nalézt hlavní požadavky, na jejichž základě návrh vzniká. Vypracovat dělení podle základních konstrukčních vlastností. Dále pak zmapovat fotbalové stadiony v České republice a vytvořit jejich základní přehled s přihlédnutím k jejich materiálovému i tvarovému řešení konstrukce, kapacitě a dalšímu vývoji.

## 3. Fotbalové stadiony obecně

### 3.1 Hlavní návrhové požadavky

Fotbalové stadiony jsou bezpochyby monumentálními stavbami. Staly se dokonce i symboly některých měst stejně tak jako třeba katedrály či sídla panovníků. Bývají hojně navštěvované turisty, kteří se třeba o fotbal ani tolik nezajímají. Mnohé z nich mají za sebou bohatou historii nejen fotbalovou. Některé jsou i přes 100 let staré, i když už v průběhu času prošly řadou přestaveb. Jsou to místa velkých vítězství i porážek. Z těchto důvodů by se k jejich návrhu mělo přistupovat velice zodpovědně a zaměřit se na spoustu hledisek. Je vhodné si určit **hlavní návrhové požadavky**, na které by se měl klást důraz.

Některé stadiony stojí přímo v centru měst a mohou, tak tvořit jejich dominanty. To znamená, že by se měl klást velký důraz na **architektonický vzhled** a respektovat zavedený **urbanismus**. Stavba by se totiž mohla stát velkou, ne snadno odstranitelnou kaňkou na vzhledu města a mohla by být negativně vnímána společností. Jednoduše řečeno – v centru historického města by vzhled měl být asi decentnější než na jeho okraji nebo v centru moderního architektonicky rozmanitého města.

Dalším z hlavních požadavků by měla být jejich **trvanlivost**. Kvůli jejich velkému společenskému významu je důležité, aby měli také co největší životnost. Stavba stadionu je velkou finanční investicí a nejen jednorázovou. Provoz stadionu stojí kluby či města nemalé finanční prostředky. Šetřit se na stavbě jako takové by se nemuselo v budoucnu vyplácet. Snahou projektu by mělo být dokázat i **minimalizovat prostředky na údržbu** a stadion tak byl schopen přečkat i složitá období, kdy chybí prostředky na jeho údržbu. S tím souvisí snaha dbát na každý detail, ať už nosné či nenosné konstrukce. Lidé na nich prožívají velké emoce ať už pozitivní či negativní a dokáží si zde vylít svoji frustraci na všech věcech okolo sebe, což znamená, že i na zařízeních stadionu. Častým terčem útoků se tak stávají například sedadla nebo jakékoliv věci na sociálních zařízeních. Stavba by měla být dostatečně chráněná i před vnějšími vlivy jako déšť, sníh, mráz a proměnlivá teplota.

Kvůli tomu, že se na stadionech pohybuje velké množství lidí, je třeba klást velký důraz také na **bezpečnost**. Tady se lze poučit zejména z minulosti, ve které došlo hned k několika tragédiím.



V roce 1985 došlo při finále Poháru mistrů evropských zemí na stadionu v Bruselu k útoku radikálních fanoušků Liverpoolu na fanoušky Juventusu, kteří začali prchat, a pod jejich nápirem se zřítila jedna ze zdí. Pod troskami tehdy zahynulo 39 lidí. O čtyři roky později, v roce 1989 na stadionu v Hillsborough vypukla kvůli policii na přeplněné tribuně fanoušků Liverpoolu obrovská tlačenička. Jejím následkem bylo 96 lidí ušlapaných k smrti a přes 700 zraněných. Nejen vlivem těchto tragédií se na stadionech zpřísnila bezpečnostní pravidla, ale také se postupně rušila místa na stání. <sup>[1]</sup>

Při pohledu do minulosti stojí také za zmínku fakt, že původní hlavní tribunu spartánského stadionu v Praze na Letné zachvátil v roce 1934 požár a celá lehla popelem. Tribuna byla tehdy celá ze dřeva. Při požáru tehdy nejspíš nikdo nezemřel, ale shořely všechny cennosti, které Sparta do té doby nahromadila. Nově postavená tribuna byla již železobetonová. Trendem dnešních fanoušků je časté používání různé pyrotechniky během zápasu. Obzvláště se to týká takzvaných „kotlů“, což jsou sektory oficiálně určené pro vlajkonoše. Sem většinou chodí ty nejradikálnější fanoušci a používání různých světlic, dělobuchů či dýmovnic zde není výjimkou. Díky této pyrotechnice není k založení požáru daleko a často se stane, že se něco fanouškům podaří zapálit. Nejčastěji to bývají právě plastová sedadla. Konstrukce je tedy třeba navrhovat **požárně odolně**. <sup>[2]</sup>

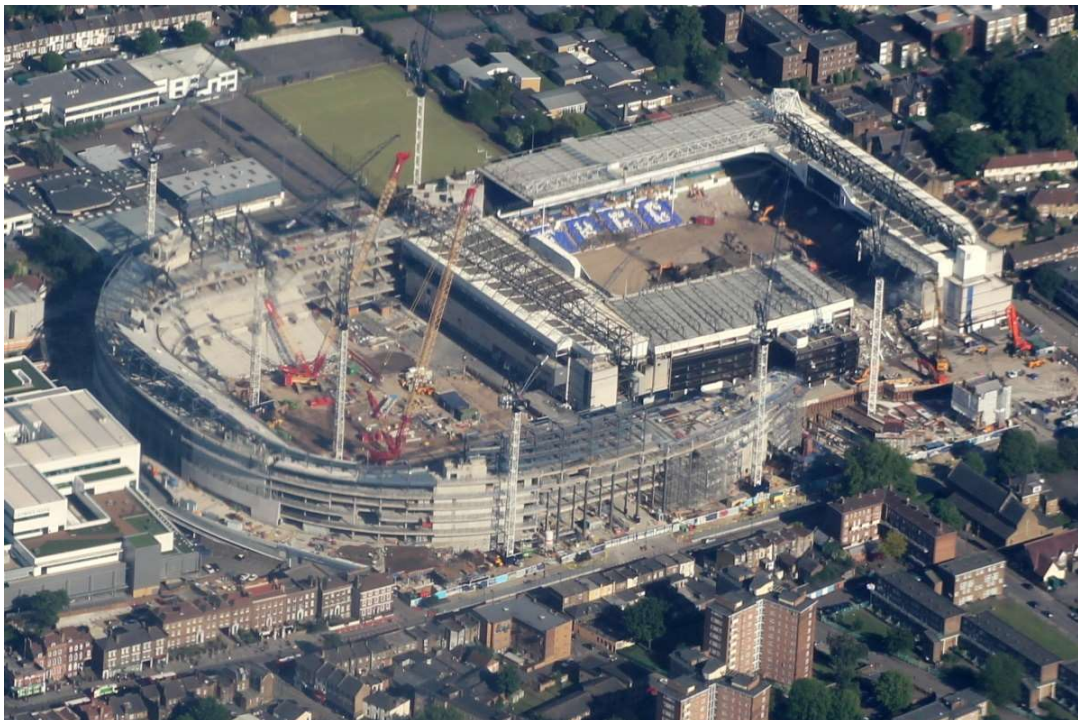
Další důležitou věcí je určit vhodnou **kapacitu** diváků. Ukazatelem, ze kterého lze vycházet je určitě průměrná návštěvnost z posledních sezón s přihlédnutím k těm nejvyšším. Efekt nového stadionu většinou zvedne průměrnou návštěvnost o významná procenta. Důležité je zvážit dlouhodobé cíle klubu a jeho potenciální možnosti.

Stadion by měl určitě splňovat standardy pro svou domácí soutěž, případně i vyšší. Dále také alespoň základní **standardy pro soutěže UEFA (Unie Evropských Fotbalových Asociací) či FIFA (Mezinárodní Federace Fotbalových Asociací)** v případě, že by měl klub či město ambice hrát evropské poháry či hostit reprezentační zápasy. Pokud by byla plánovaná výstavba stadionu součástí širší koncepce hostit v zemi evropský či dokonce světový šampionát budou nároky ještě vyšší.

V situaci, kdy klub významně rekonstruuje stadion nebo se rozhodl pro stavbu nového na místě současného, musí řešit jeden zásadní problém. Musí si najít náhradní místo, kde bude hrát své domácí zápasy. Pro klub tím většinou začíná řada dalších problémů. Ne vždy se přímo v blízkosti nachází stadion, který splňuje parametry soutěží, které klub hraje. Nebo takový je, ale využívá ho jiný klub a může zde vzniknout termínová kolize.

Stává se tak, že klub musí dojíždět velkou vzdálenost, a to platí i pro jeho fanoušky, které to odrazuje. Rostou tedy náklady za pronájem cizího stadionu a za dojíždění a zároveň se s úbytkem fanoušků snižují příjmy ze vstupného. Vyplývá z toho tedy požadavek na **rychlost výstavby**, aby klub trávil co nejkratší dobu v azylu. Příkladem tomu je situace Slavie Praha, která musela mnoho let hrát na náhradním dosluhujícím stadionu Evžena Rošického na Strahově několik sezón, protože se výstavba nového stadionu v Edenu z různých důvodů protahovala. Během té doby čelila velkému úbytku diváků.

Příkladem jak minimalizovat dobu, kdy klub nemůže hrát na svém stadionu je londýnský Tottenham Hotspur, který začal budovat stadion na místě toho současného a do poslední chvíle na něm hrál. Na přiložené fotografii (Obr. 3.1-1) je vidět, jak toho klub docílil.



Obr. 3.1-1 – Stavba nového stadionu londýnského Tottenhamu rostla vedle toho současného, který naopak ubýval (květen 2017) <sup>[32]</sup>

Před dokončením se nakonec stejně musel přestěhovat do nedalekého anglického národního stadionu Wembley. Tím však klub moc nestrádá, protože kapacita tohoto slavného stadionu je 90.000 diváků, což je skoro trojnásobně více než na původním White Hart Lane pro 36.284 diváků. Tottenham si zatím v probíhající sezóně (2018/2019) v azylu ve Wembley drží průměrnou návštěvnost přes 51.000. Kapacita nového stadionu,

který ponese jednoduché jméno Tottenham Hotspur Stadium, bude 62.062. Tím pádem by měl být v průměru zaplněn zhruba z 85 %, což svědčí o **dobře zvolené kapacitě** nového stadionu. [1], [21]

Z potřeby zajistit maximální **komfort pro diváky** a ochránit je před nepříznivými klimatickými podmínkami jako jsou déšť a sníh se přirozeně tribuny zastřešují. Kvůli tomu, aby byl pro diváky zajištěn ničím nerušený výhled na hrací plochu vyplývají na konstrukci střechy zvláštní **statické požadavky**. Diváci určitě nestojí o to, aby přišli o zajímavou situaci na hrací ploše z toho důvodu, že jim ve výhledu překáží sloup podpírající střechu. Její konstrukce se proto stává složitější, protože musí zastřešit velký prostor bez toho, aniž by měla jedinou podporu navíc. Bohužel se však najdou stadiony, na kterých se tyto rušivé elementy najdou.



Obr. 3.1-2 – Narušený výhled z hlavní tribuny stadionu AC Sparta Praha vystavěné v roce 1936. Brána se nachází přímo za sloupem. [0]

Stadiony jsou stavby, které jsou výjimečné i ve způsobu namáhání konstrukce. Kromě statických zatížení je zde nutné **zohlednit i zatížení dynamické**, které vytváří dav lidí a poskakující diváci. Toto namáhání je třeba zohlednit a zajistit, aby konstrukce

dokázala dynamickou odezvu přenést tak, aby se nepřiblížila vlastní frekvenci, v jejímž důsledku by mohl nastat stav rezonance. Kmitání konstrukce má negativní vliv, kromě spolehlivosti konstrukce, i na pohodu diváků.

Na fotbalových stadionech se kromě fotbalových zápasů často konají i jiné sportovní nebo **kulturní akce**. Proto je třeba stavbu i na tyto akce celkově přizpůsobit. To například znamená, že na hudební koncerty je nutno umožnit vjezd větší techniky, která musí do útrobu stadionu dovézt konstrukci pódia a taky ji sestavit.

## **3.2 Dělení konstrukcí tribun**

### **3.2.1 Dle tvaru tribun**

- **Obdélníkové**

Nejjednodušší tvar tribun. Ideálně kopírují hřiště. Bývají doplněny rohovými tribunami nebo rohovými věžemi.

- **Prstencové**

Plynule obepínají hrací plochu a tvoří jakýsi prstenec. V dnešní době asi nejčastěji vídané zejména na nejnovějších velkých stadionech.

- **Tvar kruhové úseče**

Tribuny tvaru kruhových výsečí jsou méně vídané, ale architektonicky zajímavé.

- **Rohové**

Nejčastěji jsou viděny jako doplňující tribuny k tribunám obdélníkovým.

- **Věžovitá**

Stavěné zejména v rozích v kombinaci s obdélníkovými tribunami. Často nejsou běžně přístupné divákům. Umisťuje se do nich různé zázemí jako například VIP prostory.

### **3.2.2 Podle počtu pater tribun**

- **Jednopatrové**

- **Vícepatrové**

### 3.2.3 Podle materiálu konstrukce tribun

- **Železobetonové**

Velice rozšířený materiál na konstrukce tribun. Používáný hlavně u velkých stadionů nebo tribun.

- **Ocelové**

Samotná ocel se jako materiál na konstrukce tribun příliš často nepoužívá. Nejčastěji lze takové konstrukce vidět u menších tribun. Deskové pochozí konstrukce jsou tvořeny pororošty.

- **Kombinace železobetonu a oceli**

Také velice často používaná varianta. Na ocelové nosníky se osazují železobetonové lavicové nosníky. Objevuje se i varianta, kde jsou spodní patra tribun železobetonová a horní ocelová. Na ocelovou konstrukci tribun dobře navazuje ocelová konstrukce střechy.

- **Dřevěné**

Materiál používaný zejména v minulosti. Dnes je vidět poměrně výjimečně spíše u menších stadionů v nižších soutěžích.

- **Tribuny zasazené v terénu**

Vídané hlavně na starších stadionech a tribunách. Do svahu se vybetonovaly betonové stupně, na které se osazovaly sedadla.

### 3.2.4 Podle zastřešení

- **Střecha staticky připojená**

Méně náročná na prostor kolem stadionu. Podepřená přímo tribunou. Nevýhodou je, že se dynamické účinky od větru přenáší i na konstrukci tribuny.

- **Střecha staticky oddělená**

Prostorově náročnější. Konstrukce může sama o sobě tvořit vnější obvodovou konstrukci celého stadionu. Dynamické účinky větru se nepřenáší na tribunu, a naopak dynamické účinky zatížení tribuny se nepřenáší na konstrukci střechy.

- **Stadiony bez konstrukce střechy**

Dnes se již běžně nestaví. Pravidla fotbalových asociací určují s ohledem na úroveň soutěže, jaká část stadionu musí být zastřešená. Pro diváky jsou nekomfortní. Ti tak nejsou chráněni před deštěm ani před oslněním. Samotná



konstrukce je také méně chráněná před klimatickými vlivy a snižuje se její životnost.

### 3.3 Příklady stadionů ve světě a ČR

- **Městský stadion v Ostravě-Vítkovicích – FC Baník Ostrava, MFK Vítkovice, ČR**

Výjimečný případ **prstencových tribun** v České Republice. Tribuna kopíruje atletickou dráhu, která je kolem fotbalového trávníku. Ochoz však není zcela uzavřený, ale napojuje se na původní hlavní tribunu. <sup>[1]</sup>



Obr. 3.3-1 – Městský stadion v Ostravě-Vítkovicích, Ostrava, ČR <sup>[33]</sup>

- **Stadion v Jiráskově ulici – FC Vysočina Jihlava, ČR**

Příkladem jednoduché **obdélníkové tribuny** je nová severní tribuna na stadionu v Jihlavě. Tento stadion je také jeden z mála v ČR, na kterém lze nalézt **rohové věže**.



Obr. 3.3-2 – Stadion v Jiráskově ulici, Jihlava, ČR [34]

Tribuna je z materiálového hlediska kombinací **železobetonu** použitého na lavicové nosníky a **oceli** použité na šikmé tribunové nosníky. Ocelová **konstrukce střechy** je staticky připojená k tribuně.



Obr. 3.3-3 – Stadion v Jiráskově ulici, Jihlava, ČR [35]



- **Andrův stadion – SK Sigma Olomouc, ČR**

Na Olomouckém stadionu se nachází dobrý příklad **tribuny ve tvaru kruhové úseče**.



Obr. 3.3-4 – Andrův stadion, Olomouc, ČR [36]

- **Sinobo Stadium – SK Slavia Praha, ČR**

Na stadionu pražské Slavie se k obdélníkovým tribunám plynule napojují **rohové**.



Obr. 3.3-5 – Sinobo Stadium, Praha, ČR [37]



Eden, jak se tomuto stadionu nejčastěji říká, má **železobetonovou**, převážně prefabrikovanou **konstrukci tribun**.



Obr. 3.3-6 – Sinobo Stadium, Praha, ČR <sup>[38]</sup>

- **Wanda Metropolitano – Club Atlético de Madrid, Španělsko**

Tribuny madridského stadionu tvoří **tři patra prstenců**. Otevřen byl v roce 2017. <sup>[1]</sup>

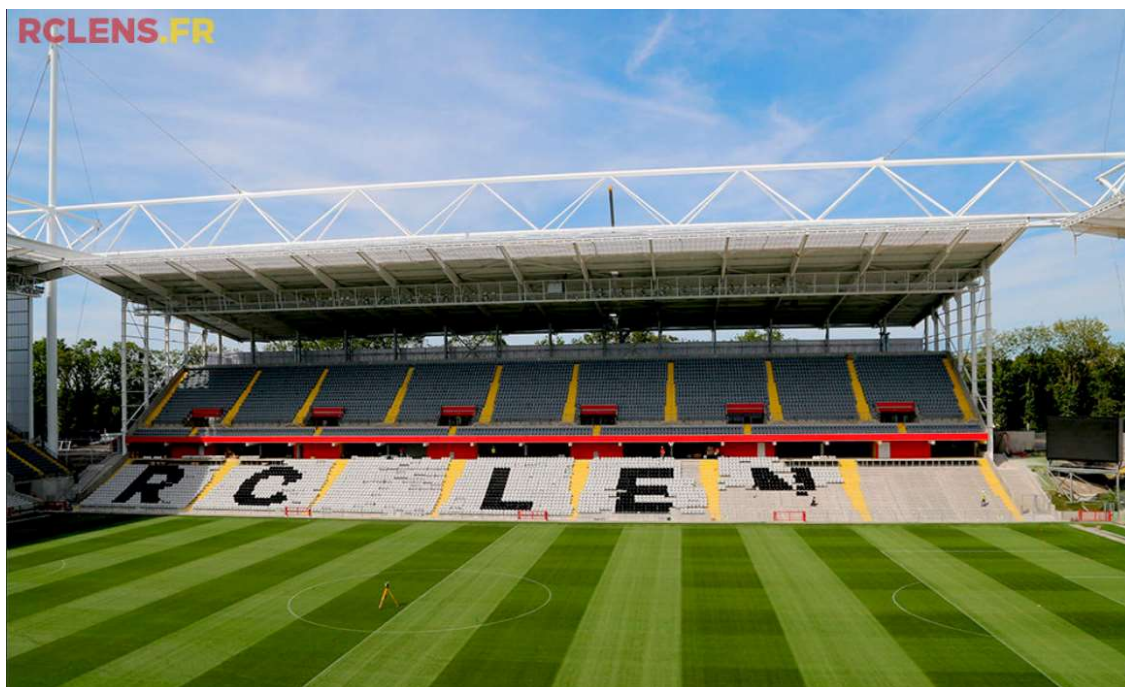


Obr. 3.3-7 – Wanda Metropolitano, Madrid, Španělsko <sup>[39]</sup>



- **Stade Bollaert-Delelis – RC Lens, Francie**

Stadion v Lens na kterém se hrálo ME v roce 2016 tvoří čtyři velké **obdélníkové tribuny**. Celková kapacita stadionu je 38.058 diváků. [1]



Obr. 3.3-8 – Stade Bollaert-Delelis, Lens, Francie [40]

- **Stade Vélodrome – Olympique de Marseille, Francie**

Jeden z největších francouzských stadionů s **tribunami ve tvaru kruhových úsečí**.



Obr. 3.3-9 – Stade Vélodrome, Marseille, Francie [41]



- **Old Trafford – Manchester United F.C., Anglie**

**Rohová tribuna slavného anglického stadionu Old Trafford – North West Quadrant.**



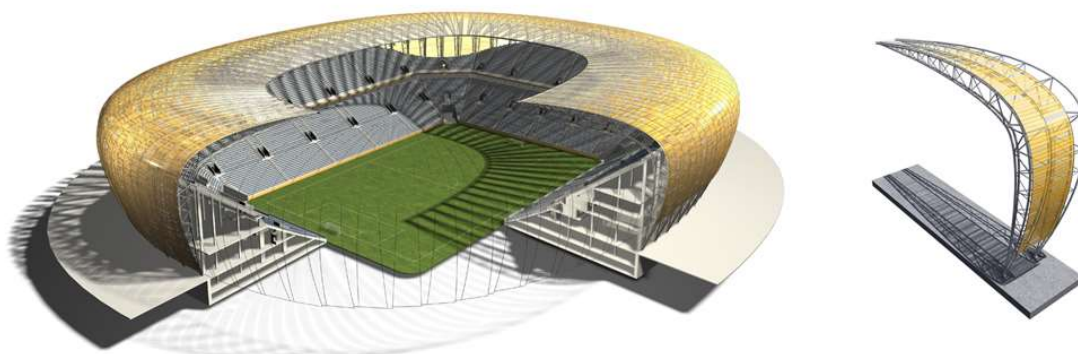
Obr. 3.3-10 – Old Trafford, Manchester, Anglie <sup>[42]</sup>

- **Stadion Energa Gdańsk – Lechia Gdańsk, Polsko**



Obr. 3.3-11 – Stadion Energa Gdańsk, Gdańsk, Polsko <sup>[43]</sup>

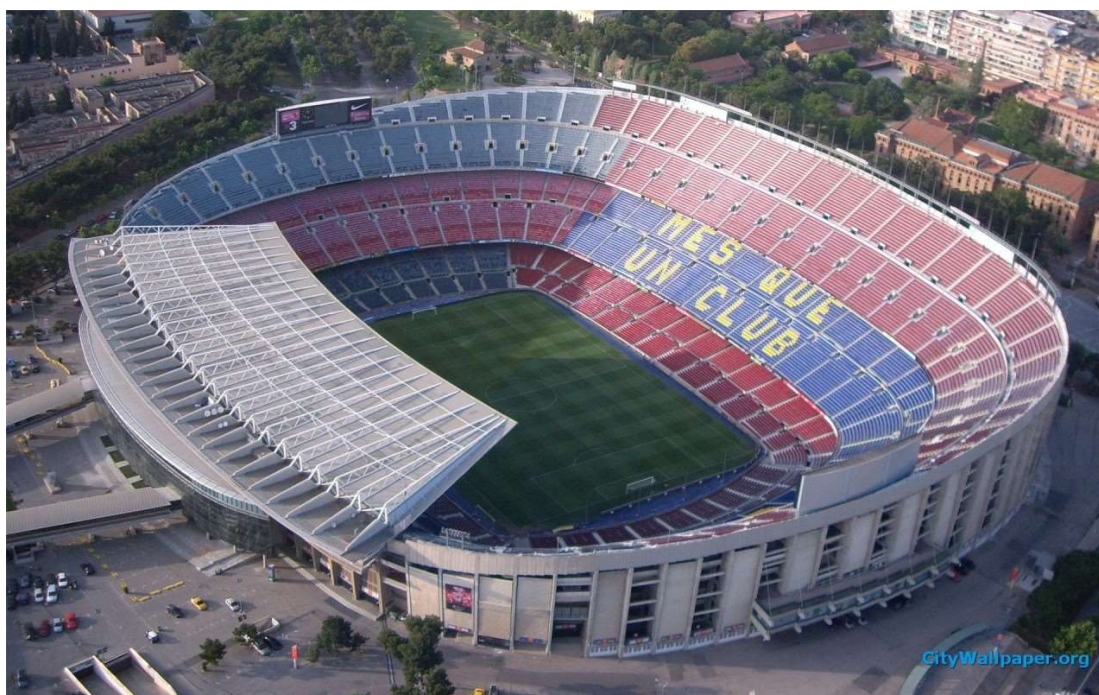
Tento stadion byl postaven na ME, konané v Polsku a na Ukrajině v roce 2012. Jeho ocelová střecha je zcela staticky oddělená od železobetonových konstrukcí tribun. [1]



Obr. 3.3-12 – Stadion Energa Gdańsk, Gdańsk, Polsko [44]

- **Camp Nou – FC Barcelona, Španělsko**

Jeden z největších fotbalových stadionů na světě s kapacitou 99.354 diváků má velkou nevýhodu v tom, že naprostá většina hlediště je **bez konstrukce zastřešení**. [1]



Obr. 3.3-13 – Camp Nou, Barcelona, Španělsko [45]



### 3.4 Využití vnitřních prostor tribun

Využívání vnitřních prostor tribun se u mnoha klubů zcela liší a záleží zejména na velikosti stadionu. U menších stadionů se vnitřní prostory tribun téměř nedají využívat a umisťují se sem pouze nezbytně nutné prostory a zařízení jako jsou kabiny pro hráče a rozhodčí, stánky s občerstvením a sociální zařízení pro diváky, případně technické zázemí pro údržbu stadionu a trávníku. Vnitřní prostor u vícepatrových tribun bývá také často využíván jen jako ochoz pro vstup do jednotlivých sektorů. Zde je příkladem větší část stadionu AC Sparta Praha. U větších stadionů případně jednotlivých tribun se vnitřní prostory využívají i na kompletní zázemí pro zaměstnance klubu jako jsou kancelářské prostory, dále pak sál na tiskové konference, VIP boxy, VIP zóna, zázemí pro novináře nebo posilovna se zázemím na regeneraci pro hráče. Dobře k tomu slouží i často vystavované rohové věže. Na stadionu v Jihlavě v jedné z nich sídlí i klubový internát pro mimoměstské hráče žákovských a dorosteneckých týmů nebo jiné členy klubové akademie. U největších stadionů v Evropě nelze opomenout příklad mnichovské Allianz Areny, která se stavěla na fotbalové mistrovství světa konané v Německu v roce 2006. Součástí útrob tohoto stadionu je i největší evropské parkoviště pro zhruba 10.500 aut a 350 autobusů. <sup>[1]</sup>

Vzhledem k tomu, že kluby své stadiony reálně využívají minimálně, tak se trend obsazení vnitřních prostor stadionu začíná měnit. Reálně klub stadion využívá na zápasy, které se hrají maximálně dva v týdnu, a to ještě většinou každý druhý týden (záleží na soutěži). Bývá většinou pravidlem, že před zápasem se na stadionu uskutečňuje i předzápasový trénink, a to i pro hostující tým. Kluby se tak snaží, co nejméně zatěžovat trávník, aby se udržoval v co nejlepším stavu a zpravidla trénují ve svých tréninkových centrech, kde mají třeba několik hracích ploch. Zde tedy tráví většinu času, a proto se k těmto centrům stěhuje i zázemí pro management klubu. Příkladem je italský klub Juventus Turín, který i přestože má nový stadion z roku 2011 do kterého by se bezpochyby takovéto prostory vešly, otevřel v roce 2017 nové sídlo klubu. <sup>[3]</sup>

Je to i tím, že se kluby snaží cílit zejména na turisty a své fanoušky. Stadiony se totiž stávají stále častěji jejich turistickým cílem. Proto sem umisťují zejména fanshopy, klubová muzea nebo síně slávy. Dnes lze na stadionech najít i restaurace nebo dokonce hotely. Pro kluby je to zajímavé zejména z ekonomického hlediska a získané finance za prodej suvenýrů nebo za pronájem svých vnitřních prostor s velkým komerčním potenciálem jsou jedním z významných zdrojů příjmů.

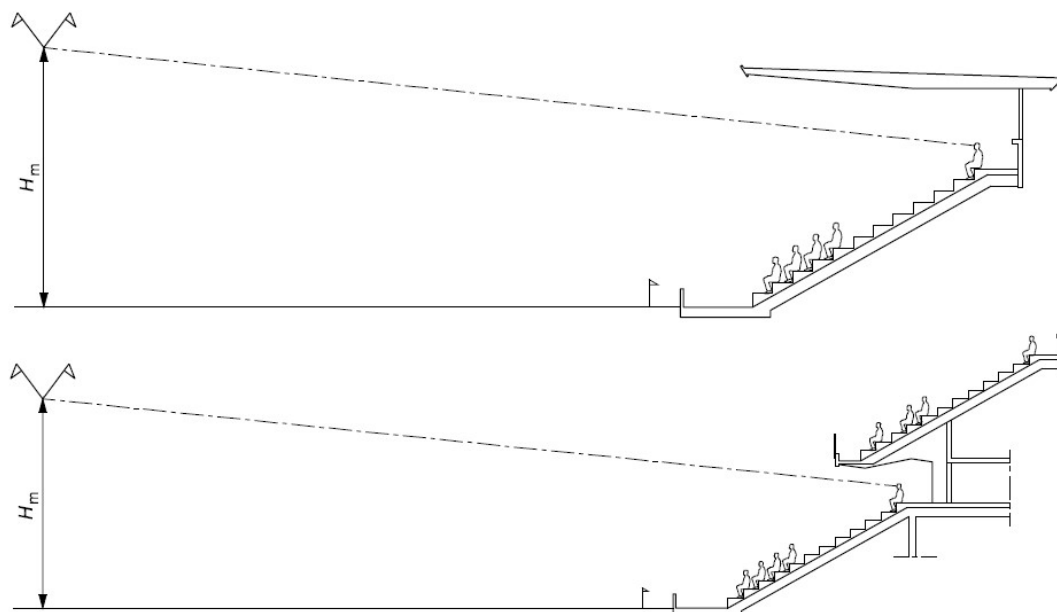
### 3.5 Výhled diváka a vliv atletické dráhy

Na některých fotbalových stadionech se nachází i atletické dráhy. Důvodů proč se zde nacházejí, může existovat hned několik. V České republice je většina fotbalových stadionů majetkem měst. Pro ta bývá výhodnější postavit takovýto víceúčelový stadion, na kterém se kromě fotbalových zápasů mohou pořádat i větší atletické závody. Atletické oddíly jsou totiž také velice závislé na městských financích. Měštům tak odpadá potřeba stavět dvě velká sportoviště, což výrazně ulehčuje jejich rozpočtům. Dalším důvodem, proč kolem fotbalových hřišť je možné vidět atletický ovál je ten, že kluby využívají stadiony, které byly vystavěny například pro olympijské hry. Na těch je fotbal ne příliš sledovaným sportem. V zahraničí lze takovéto příklady najít. Berlínská Hertha hraje na stadionu vystavěném pro Olympijské hry konané už v roce 1936. I když stadion prošel výraznou rekonstrukcí a hrálo se na něm třeba i fotbalové mistrovství světa v roce 2006, atletická dráha na něm stále je. Římské kluby AS a Lazio zase sdílejí stadion, který hostil Olympijské hry v roce 1960, mistrovství světa v atletice v roce 1987 i fotbalové mistrovství světa v roce 1990. [1]

Fotbalové stadiony s atletickou dráhou nebývají moc oblíbené mezi fotbalovými fanoušky. Prodlužuje se jim totiž pozorovací vzdálenost o mnoho metrů. Proto je vhodné upravit tvar konstrukce tribuny. Díky zvětšení sklonu tribuny lze zkrátit pozorovací vzdálenost a pomocí jejího vyvýšení zase zvětšit zorný úhel. Zkrátit vzdálenost diváka od dění na hřišti lze i pomocí předsazení vyšších pater tribun. Je však třeba dát pozor, aby nebyl omezen výhled diváků na nižších patrech. Dle ČSN EN 13200 by mělo být umožněno vidět bez překážky ze všech řad na tribuně na bod, který je nad středem sportovní plochy ve výšce stanovené pro fotbalové stadiony na 15 m.

Co se týká vzdálenosti od sledovaného bodu (za nejvzdálenější sledovaný bod na fotbalovém hřišti lze pravděpodobně považovat protější roh hrací plochy) k oku diváka, je stanovená doporučená hodnota na  $D_{dop} = 150 \text{ m}$  a maximální hodnota  $D_{max} = 190 \text{ m}$ .

[4]



Obr. 3.5-1 – Rozsah výhledu diváka na fotbalových stadionech  $H_m = 15\text{ m}$  [4]

## 4. Fotbalové stadiony v ČR

### 4.1 Základní přehled

Jako součást diplomové práce byl vytvořen přehled českých fotbalových stadionů, který je přiložen ve stejnojmenné **Příloze č. 1**. Do přehledu byly vybrány stadiony splňující alespoň 2 z následujících kritérií.

1. Na stadionu hraje prvoligový nebo druholigový tým
2. Minimální kapacita stadionu k sezení je 4.000 diváků
3. Stadion nebyl dostavěn déle než před deseti lety

Tuto podmínku splnilo celkem 22 stadionů. Stadiony jsou seřazeny podle kapacity sestupně. Jako kapacita byla uvažována pouze místa k sezení. Údaje o návštěvnosti jsou ze sezóny 2017/2018. Je to z toho důvodu, že v době psaní této diplomové práce aktuální sezóna 2018/2019 neskončila a údaje by mohly být zavádějící.

Z informací získaných během vypracovávání přehledu je patrné, že výstavba českých fotbalových stadionů podléhá značné etapizaci. To znamená, že jednotlivé tribuny byly vystavěny v rámci několika etap s mnohaletým odstupem. Negativně se to podepisuje zejména na vzhledu stadionu, protože takto stavěné tribuny bývají často vzhledově odlišné. Kluby se tento nedostatek snaží dohnat alespoň opticky – barvou sedadel nebo fasády. Vyloženě jednotný a ucelený vzhled nese pouze před 11 lety postavený stadion pražské Slavie. Ten je zároveň s kapacitou 19.370 diváků největším českým fotbalovým stadionem. <sup>[1]</sup>

Základ většiny stadionů tvoří nejstarší hlavní tribuna vystavěná na podélné straně hřiště. K té se později přistavěly ostatní tribuny. V případě plzeňského, ostravského nebo karvinského stadionu se to povedlo najednou. Na Andrově stadionu v Olomouci se jednotlivé tribuny přistavovaly k té hlavní s minimálně desetiletým odstupem. Zajímavé je, že všechny hlavní tribuny, které nejprve bývaly na stadionech jedinými, jsou umístěné na západních stranách hřišť. Výhled z nich je tedy východním směrem. Patrně je to z toho důvodu, aby diváky neoslňovalo slunce za předpokladu, že se dříve většina zápasů hrála v odpoledních hodinách. <sup>[1]</sup>

Na konstrukcích jednotlivých tribun je možné vidět dvě varianty materiálového řešení. Zejména na menších tribunách se objevuje kombinace oceli a železobetonu. Ocel tvoří rámovou konstrukci tribuny včetně šikmých tribunových nosníků. Železobeton je



použit na lavicové nosníky. Tribuny řešené čistě železobetonovou konstrukcí lze najít zejména na těch největších stadionech. Příkladem je slávistické Sinobo Stadium nebo třetí největší český stadion - Na Stínadlech v Teplicích. V rámci jednoho stadionu je možné nalézt v několika případech obě tyto varianty materiálového řešení konstrukcí tribun. To přímo souvisí se zmiňovanou etapizací, kdy je ve stáří tribun několikaletý rozdíl. Například na stadionu pražské Sparty – Generali Areně je původní hlavní a zároveň největší tribuna železobetonová, zatímco ostatní později přistavené jsou v kombinaci oceli a železobetonu. [1]

V minulosti se Fotbalová asociace České republiky (dále FAČR), dříve pojmenovaná jako Českomoravský fotbalový svaz (ČMFS), snažila vytvářet na kluby tlak z hlediska zvyšování úrovně stadionů, tak aby minimálně odpovídaly předpisům UEFA. V projektech Stadiony 2003 a Stadiony 2012 se předepisovaly požadavky, které jednotlivé stadiony musí pro určité národní ligy splňovat, aby kluby obdržely licenci, bez které nemohou do soutěže nastoupit. Týkalo se to zejména sjednocení rozměrů hrací plochy a dodržování minimálních doběhových vzdáleností za brankami nebo podél hřiště. Prvoligové stadiony dnes musejí disponovat umělým osvětlením nebo vyhřívaným trávníkem. Všechna místa na stadionech zase musejí být určena k sezení. Sedadla musejí být oddělená a mít opěradla. Předepsána byla i řada dalších požadavků. V poslední době se klade důraz zejména na bezpečnost. [5], [6]

Některé kluby měly s plněním licenčních podmínek několikrát problémy a hrozilo, že nebudou moci do soutěže nastoupit, protože nestihly požadavky zavčas splnit. Klubům, které postoupily do nejvyšší soutěže a dané požadavky nesplňovaly, byla většinou dána alespoň výjimka na jednu sezónu. Museli ovšem doložit záruky, že do té doby požadavky splní. Případně než je splnily, musely hrát na jiném stadionu. Příkladem je klub SFC Opava, který v minulé sezóně 2017/2018 postoupil do nejvyšší soutěže a protože nestihl dostavět vyhřívaný trávník, musel několik úvodních utkání odehrát na stadionu v Brně. Klub 1. SC Znojmo zase musel jako nováček první ligy odehrát v azylu v Brně celou sezónu 2013/2014, přestože měl původně v plánu alespoň jarní část sezony odehrát již na svém stadionu. Než město stihlo zrekonstruovat stadion, tak klub z nejvyšší soutěže sestoupil. V roce 2015 si postup do první ligy vybojoval FK Varnsdorf, avšak kvůli nevyhovujícímu stadionu a neschopnosti poměrně malého města zajistit potřebnou investici do stadionu se klub postupu musel vzdát. [1], [7]

## 4.2 Národní stadion

V minulosti se u nás několikrát objevila myšlenka výstavby národního stadionu. Často se stává, že o utkání české fotbalové reprezentace se zvučnějšími soupeři je zájem o lístky takový, že by se největší český stadion dokázal vyprodat čtyřikrát nebo dokonce pětkrát. Navíc se Česká republika nemůže kvůli chybějícímu stadionu s dostatečnou kapacitou ucházet ani o pořádání finálových zápasů Ligy mistrů nebo Evropské ligy. A o pořádání fotbalového mistrovství Evropy nebo dokonce světa už vůbec ne. Na tyto akce je totiž potřeba několik stadionů s dostatečně velkou kapacitou a úrovní. Nemůžeme se však bohužel ucházet ani o spolupřádání těchto turnajů s některou ze sousedních zemí, jak se v poslední době ve světě stává. Příkladem je mistrovství Evropy konané v roce 2008 zároveň ve Švýcarsku a Rakousku nebo mistrovství Evropy v roce 2012, které se hrálo zároveň v Polsku a na Ukrajině. Jedinou reálnou příležitostí, aby se u nás konal evropský šampionát, bylo to, že budeme hostit některý ze zápasů šampionátu konaného v roce 2020. UEFA totiž k jubilejnímu šedesátiletému výročí od konání prvního oficiálního mistrovství Evropy ve fotbale uspořádá šampionát, který se bude konat ve třinácti městech po celé Evropě. Fotbalová asociace se myšlenkou toho, že by Praha mohla být jedním z těchto třinácti měst, dokonce zabývala, avšak nedokázala garantovat výstavbu nebo rozšíření jediného stadionu, který by splňoval požadavky UEFA. Největšími fotbalovými akcemi, které se tak u nás mohou konat a v nedávně době konaly, jsou ME do 21 let (v roce 2015) a Superpohár UEFA, při kterém se u nás v roce 2013 představil úřadující vítěz Ligy mistrů Bayern Mnichov a londýnská Chelsea jako tehdejší vítěz Evropské ligy. <sup>[1]</sup>, <sup>[8]</sup>

V současné době se žádné plány na výstavbu národního fotbalového stadionu neobjevují. Dříve ale zaznívalo několik variant, jak a kde stadion postavit. Většinou se navrhovala varianta s kapacitou 30 až 40 tisíc diváků. Výjimečně i skoro 50 tisíc diváků. Časem se lišily i návrhy na to, kde by takový stadion mohl vůbec stát. Většinou se mělo jednat o Prahu. Existovali návrhy, že by stadion mohl vyrůst na Strahově jako náhrada za nevyužívaný stadion Evžena Rošického nebo ve Stodůlkách či Vysočanech. Byla zde byla i varianta, že by se postavil na místě současného stadionu Sparty Praha na Letné. Mluvílo se dokonce i o tom, že by se národním stadionem mohl stát plánovaný stadion v Brně s kapacitou kolem 30 tisíc diváků. Naposledy bylo toto téma aktuální po uzavření spolupráce mezi FAČR a jednou z čínských firem, která vlastní fotbalovou Slavii Praha.

Součástí jednání bylo i téma možného rozšíření stávajícího stadionu v Edenu přibližně o 10 tisíc míst, který by poté sloužil jako oficiální národní stadion. [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15]

Většinou plány na národní stadion ztroskotávají kvůli nedostatku financí. FAČR by sama tento projekt ufinancovat nedokázala a státní podpora nebo podpora města či kraje, ve kterém by stadion stál, je také nejistá. Nikomu se do projektu, který by stál možná několik miliard, pouštět nechce. Při spolufinancování několika subjekty by zase naopak mohl vzniknout spor o to, kdo stadion bude vlastnit a využívat. Pro soukromé investory je to zřejmě také nereálné téma, protože ti největší se na podpoře fotbalu zpravidla podílejí maximálně několika desítkami milionů ročně. Jednou z možností je i financování z evropských dotací nebo z dotací FIFA či UEFA, díky kterým si FAČR postavila v roce 2015 nové sídlo. [16]

Otázkou také je, kdo by tento stadion využíval, protože domácích reprezentačních zápasů se hraje jen pár do roka a je třeba, aby si stadion dokázal alespoň nějakým způsobem částečně zaplatit provozní výdaje a nebyl v provozu jen díky dotacím. V Praze navíc sídlí jen 2 větší kluby, které by ho několikrát do roka dokázaly vyprodat. Těmi jsou Sparta a Slavia, přičemž Slavia už nový stadion vlastní. Sparta hraje na poměrně zastaralém stadionu na Letné a sama již spřádá myšlenky na renovaci. Nicméně stadion je v jejím vlastnictví, a tak jí nic nežene do stavby nového. Navíc myšlenka, že by měla opustit Letnou, kde sídlí přes 100 let, by se jejím fanouškům určitě nezamlouvala.

### 4.3 Nejnovější a plánované stadiony

V České republice se v současné době plánuje výstavba dvou větších stadionů, avšak z různých důvodů už několik let vážne. Jedním je stadion v Hradci Králové, ke kterému je možná o něco blíže než k tomu druhému. Tím druhým plánovaným je stadion Za Lužánkami v Brně.

Nový stadion v **Brně** by měl dle plánů vyrůst na místě starého historického stadionu, na kterém se poslední zápas hrál 30.9.2001. Od té doby hraje brněnská Zbrojovka na městském stadionu v Srbské ulici. Starý stadion měl kapacitu až 50 tisíc diváků, z čehož bylo asi 43.500 míst určených ke stání. Hrávala zde zápasy i československá reprezentace. Může se také pyšnit tím, že zde byla zaznamenána historicky nejvyšší návštěva české fotbalové ligy, když sem v sezoně 1996/1997 na zápas mezi Brnem a Slavií Praha přišlo 44.120 diváků. V současné době je tento stadion ve zchátralém stavu a občas se zde pořádá nějaká kulturní akce. Na rozlučku s kariérou Petra Švancary,

bývalého hráče Zbrojovky Brno, sem přišlo v roce 2015 přibližně 35 tisíc diváků. I přesto, že část stadionu je ze statických důvodů zavřená. Tato akce mimo jiné zvedla zájem města na výstavbu nového stadionu na tomto místě. Plánovaná kapacita by měla být kolem 30 tisíc diváků. Počítá se i s tím, že se zde budou hrát reprezentační zápasy. Město má pravděpodobně již schválenou projektovou dokumentaci a chtělo začít stavět již v roce 2018. Stavbu ovšem komplikují složité majetkoprávní vztahy kvůli pozemkům, na kterých by stavba měla vyrůst a řešení je zatím v nedohlednu. [1], [17], [18]



Obr. 4.3-1 – Takto by měl vypadat nový fotbalový stadion v Brně [18]

**V Hradci Králové** se stavba nového stadionu chystá přibližně 15 let. V plánu je, že stadion bude stát na místě toho současného zastaralého. I přesto zde hradecký fotbalový klub stále hraje zápasy české druhé nejvyšší soutěže. Město mělo již projektovou dokumentaci zhotovenou, a dokonce i vypsanou soutěž o zakázku. V roce 2018 však nové vedení města odsouhlasilo to, že si nechá projektovou dokumentaci upravit a následně vypsat nové podmínky pro výběr stavební firmy, která bude stavbu realizovat. Vítěz soutěže by měl být znám v 1. čtvrtletí roku 2020. Stavba stadionu by měla stát maximálně 605 milionů Kč bez DPH a plánovaná kapacita je 10 tisíc diváků. [19], [20]



Obr. 4.3-2 – Vizualizace nového stadionu v Hradci Králové [20]

#### 4.4 Porovnání se Slovenskem

Při pohledu na české fotbalové stadiony se jako dobré srovnání jeví i stručné porovnání se situací na Slovensku. Ve fotbale jsme ještě jako Československo slavili společně naše největší fotbalové úspěchy, kterými byly dvě stříbrné medaile z mistrovství světa (1934 a 1962) a zlato z mistrovství Evropy z roku 1976. Po rozdělení se zhruba do roku 2010 dalo říct, že naše fotbalová reprezentace je úspěšnější. Na rozdíl od Slovenska jsme se zúčastnili všech ME a přidali jsme i jednu účast na MS v roce 2006. Navíc jsme z ME v roce 1996 v Anglii dovezli stříbrné medaile a o osm let později jsme se dělili s Nizozemskem o třetí místo z ME v Portugalsku. Od té doby lze říci, že větších úspěchů dosahuje reprezentace Slovenska. Hlavně díky postupu do osmifinále na MS v roce 2010 v Jihoafrické republice. Co se týká klubového fotbalu, tam jsou jednoznačně větší úspěchy na straně českých týmů. Slovenská liga má navíc výrazně menší návštěvnost než ta česká. V sezóně 2017/2018 činila průměrná návštěvnost na zápasech české nejvyšší fotbalové soutěže 5.546 diváků, zatímco na Slovensku to bylo jen 2.324 diváků. [1], [21]

Oproti Česku lze na Slovensku aktuálně zaznamenat výraznější progres, alespoň v modernizaci stadionů. Postupně se jim daří zastaralé stadiony rychleji obnovovat nebo dokonce stavět nové. V roce 2013 se na Slovensku začal realizovat projekt na obnovu a modernizaci fotbalových stadionů. Slovenská vláda na něj vyčlenila 45 milionů euro



(1,125 mld. Kč) na 10 let. Každý rok by tedy měla rozdělit mezi kluby 4,5 milionu eur po dobu deseti let. Slovenské stadiony díky tomu postupně procházejí významnou modernizací a několik jejich stadionů bezpochyby převyšuje jak kvalitou, tak i kapacitou ty naše. Zajímavé je, že na většině nových slovenských stadionů se významně podíleli i soukromí investoři, kteří se také stali majiteli. <sup>[1]</sup>

Příkladem je **trnavský stadion Antona Malatinského**, který se stavěl v letech 2013 až 2015 a má kapacitu 19.200 míst. Stadion slouží také jako hlavní domácí stadion výběru hráčů do 21 let a jako náhradní stadion slovenské reprezentace. <sup>[1]</sup>

Výraznou modernizací si také již prošel **Stadion pod Zoborom v Nitře**. Původní ochozy byly nahrazeny novými krytými tribunami a počet míst k sezení se tak zvýšil na 7.246. Otevření proběhlo v září roku 2018. <sup>[1]</sup>

Dalším velkým stadionem, který byl otevřen teprve v únoru 2019 je **MOL Aréna v Dunajské Středě**. Za přibližně 22 milionů eur (550 mil. Kč) zde vyrostl stadion s kapacitou 12.700 míst. <sup>[1]</sup>

Největším a také nejnovějším fotbalovým stadionem na Slovensku je **Národní fotbalový stadion v Bratislavě** s kapacitou 22.500 diváků. Jeho výstavba stála 70 milionů euro (1,75 mld. Kč). Kromě slovenské fotbalové reprezentace na stadionu hraje své domácí zápasy také nejslavnější slovenský fotbalový klub ŠK Slovan Bratislava. Tento stadion vznikl na místě bývalého legendárního stadionu zvaném Tehelné pole. <sup>[1]</sup>,  
<sup>[22]</sup>



Obr. 4.4-1– Nově postavený slovenský Národní fotbalový stadion v Bratislavě <sup>[22]</sup>

## 5. Návrh konstrukce tribuny fotbalového stadionu

### 5.1 Konstrukční systém a materiálové řešení

Pro konstrukci tribuny fotbalového stadionu byl jako nejvhodnější vybrán sloupový konstrukční systém, který zaručuje velkou variabilitu pro návrh vnitřních dispozic. Jako nejvhodnější materiál pro nosnou konstrukci tribuny se jevil prefabrikovaný železobeton. Jedním z důvodů, proč nebyla navržena často používaná kombinace oceli a železobetonu, ale pouze železobeton, je přihlídnutí k významnému dynamickému namáhání konstrukce. Pro takto namáhané konstrukce je vhodnější použít prvky s vyšší hmotností, které určitě dosáhneme v porovnání stejně únosné konstrukce z oceli a železobetonu. Dalším rozhodujícím faktorem může být vyšší požární odolnost železobetonových konstrukcí. Předmětem práce však nebylo stanovovat minimální požární odolnost. Lze však předpokládat, že u stavby, ze které je v případě požáru nutno evakuovat velké množství lidí bude požadovaná požární odolnost větší než třiceti minutová. A právě návrh ocelových konstrukcí na vyšší, než třicetiminutové požární odolnosti nemusí být vhodný. Řešením tohoto problému mohou být různá obložení nosných konstrukcí nebo obetonování, ale tím se opět ztrácí na rychlosti výstavby.

Po výběru železobetonu jako materiálu nosné konstrukce se nabízel otázka, zda konstrukci navrhnout jako monolitickou nebo prefabrikovanou. Zejména na základě jednoho z hlavních požadavků na rychlost výstavby je snaha konstrukci co nejvíce prefabrikovat a omezit monolitické část konstrukce, což potvrzují slova pana Ing. Miloslava Smutka, Ph.D., který se v odborném časopise Stavebnictví z roku 2008 vyjadřoval k nosné konstrukci nového fotbalového stadionu Slavie Praha: „*Když se na jaře 2006 začalo vážně hovořit o realizaci stadionu a termínu dokončení stavby, začalo být jasné, že je nutné konstrukci maximálně zjednodušit a prefabrikovat, aby se minimalizovala zejména doba montáže.*“ Hlavní výhodou prefabrikovaných konstrukcí je to, že vznikají téměř v laboratorních podmínkách, takže odpadá závislost na klimatických podmínkách. Odpadají také technologické pauzy k dosažení požadované únosnosti konstrukce, která umožňuje pokračování další etapy výstavby. <sup>[23]</sup>

### 5.2 Rozměry hrací plochy

Navržená hrací plocha má rozměry 105 × 68 metrů, což jsou standardní rozměry předepsané UEFA. Prostor kolem hrací plochy tvoří pásy o šířce 7,5 m podél kratších stran plochy a pásy o šířce 8 m podél delších stran plochy. Toto rozšíření je nutné kvůli

dodržení bezpečných doběhových vzdáleností. Tribuny tedy dohromady obepínají prostor o rozměrech 120 × 84 metrů. Viz. Schéma stadionu v **Příloze č. 2**.

### **5.3 Kapacita tribuny**

Kapacita navrženého úseku tribuny je zhruba **1.892 diváků**. Při použití takovýchto 10 úseků by měl stadion kapacitu kolem 18.920 diváků. S přidáním rohových tribun, které by mohly mít kapacitu zhruba 800 diváků, by celková kapacita stadionu byla odhadem 22.000 až 23.000 diváků, čímž by se stadion stal největším v České republice.

### **5.4 Sklon tribuny**

Navržená konstrukce tribuny má sklon přibližně **28°**. Tento sklon vychází zejména z navrženého tvaru lavicových nosníků. Poměr stran na sebe uložených nosníků je v poměru desková část ku stěnové části 7,5 ku 4.

### **5.5 Dilatační úseky**

Stavba stadionu byla rozdělena do celkem 14 dilatačních celků. Ty tvoří 10 opakujících se výseků konstrukce přímých tribun s maximální délkou 36 metrů a 4 čtvrtkruhové tribuny umístěné v každém rohu stadionu. Alternativou těchto rohových tribun jsou rohové věže, do kterých lze částečně umístit některé další zázemí. Dilatační spáry jsou navrženy dle požadavku ČSN EN 1992-1-1 na maximální délku nosné konstrukce skeletového typu se ztužením uprostřed dilatačního celku pro montovanou nechráněnou konstrukci 42 metrů. Dilatační spáry jsou navrženy kvůli přetvoření konstrukce vlivem délkové teplotní roztažnosti. Rozdíly v sedání dilatačních úseků vlivem různých základových poměrů nebo vlivem různých užitných zatížení konstrukce se nepředpokládá. Dilatace tak lze řešit posuvným uložením. <sup>[24]</sup>

### **5.6 Ztužení konstrukce tribuny**

Ztužení konstrukce tribuny je zajištěno obousměrně pnutými průvlaky. V každém dilatačním úseku jsou navíc symetricky umístěna dvě tuhá jádra z prefabrikovaných stěn pro vynesení mezipodest schodiště a pro výtahové šachty. Pomocí jejich symetrického umístění se eliminuje kroucení celého dilatačního celku v důsledku působení vodorovných zatížení.

### **5.7 Boxy pro VIP a novináře**

Pro lepší kvalitu zázemí pro VIP osoby a pro novináře se v dnešní době na stadionech navrhuje takzvané skyboxy. Což jsou jakési buňky v tribunách, které mohou přímo



navazovat na VIP zázemí. Bývají většinou odděleny prosklenými příčkami. V navrženém základním schématu tribuny tyto boxy nejsou, avšak modul tribuny je možné snadno upravit a skyboxy do něj zapracovat v úrovni ochozu tribuny.

## 5.8 Zastřešení

Konstrukce zastřešení stadionu byla zvolena **staticky oddělená**. V diplomové práci však projekt zastřešení dále řešen nebude. Hlavní inspirací byl stadion v polském Gdaňsku viz. Obr.3.3-12. Ten se stavěl na fotbalové mistrovství Evropy, které se konalo v roce 2012 a hostilo jej Polsko společně s Ukrajinou. Konstrukci tvoří prostorové příhradové vazníky z uzavřených profilů, které jsou vně stadionu kloubově uloženy do samostatného základu. Uvnitř stadionu se opírají a společně tvoří tláčený ocelový prstenec. <sup>[1]</sup>

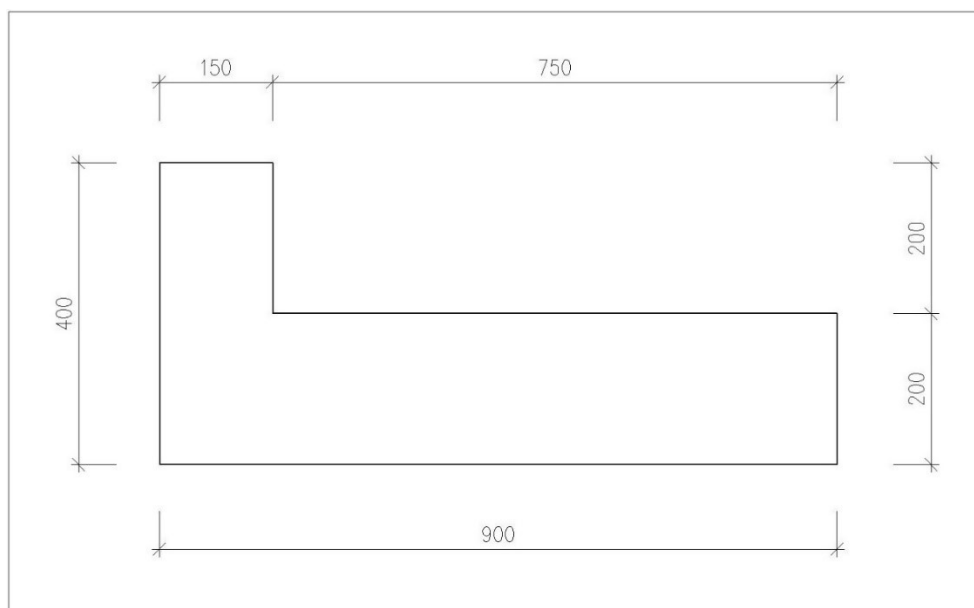
Volbou této varianty se lze snadno vyhnout i případu, kdy se dynamické účinky větru působící na poměrně lehkou ocelovou konstrukci střechy přenáší i na konstrukci tribuny. Další výhodou tohoto řešení je umožnění postupné výstavby stadionu. Kdy se nejprve postaví konstrukce tribun a až poté konstrukce střechy. A prakticky nezáleží na tom, v jakém časovém rozestupu. Výhodné to může být v případě, kdy se ví, že během stavby tribun docházejí finanční prostředky. Stavba střechy se tak může odložit. Navíc tento typ zastřešení lze použít i na některé stávající nezastřešené stadiony.

## 6. Návrh lavicového nosníku

### 6.1 Tvar, materiál a konstrukční detaily nosníku

#### 6.1.1 Tvar a materiál

Na základě zvoleného sklonu tribun byl navržen tvar lavicových nosníků **délky 6 m**. Průřez nosníků na Obr. 6.1.1-1. Materiál byl zvolen beton třídy **C30/37** s betonářskou výztuží **B500B**. Navržené rozměry jsou v souladu s ČSN EN 13200. [4]



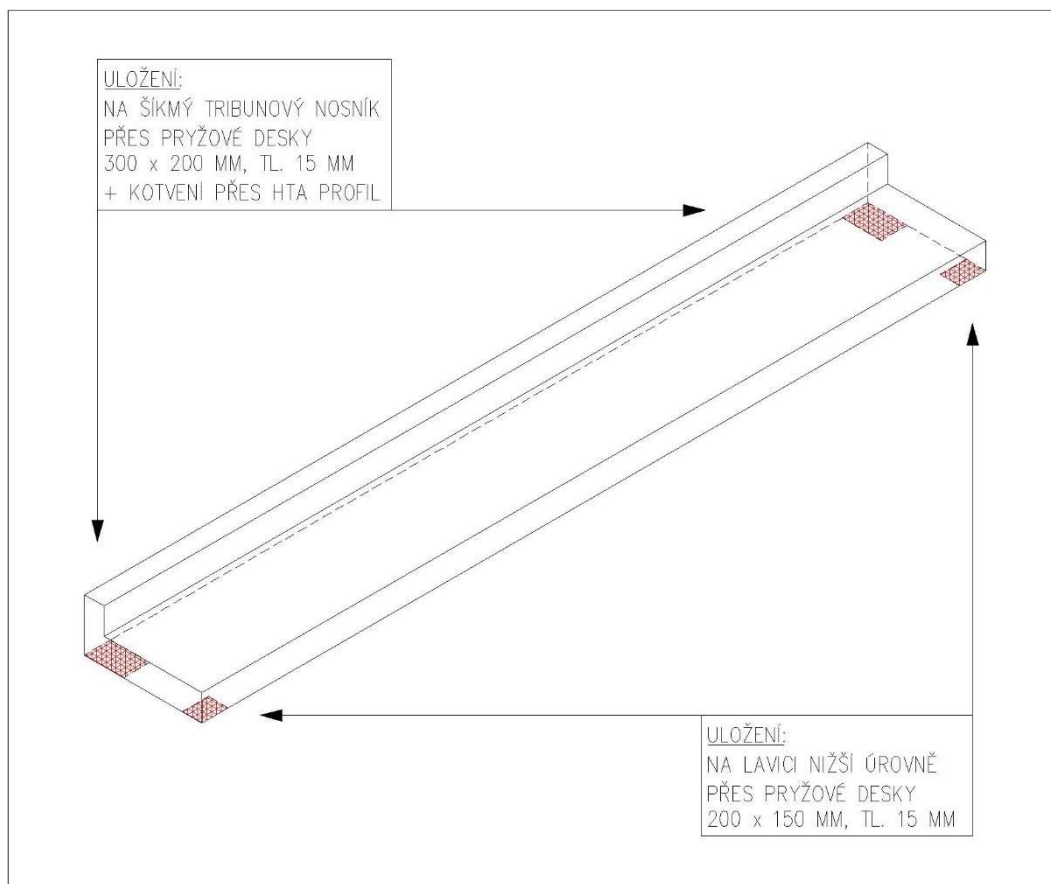
Obr. 6.1.1-1 – Tvar průřezu lavicového nosníku [0]

#### 6.1.2 Uložení nosníku a příslušné statické schéma

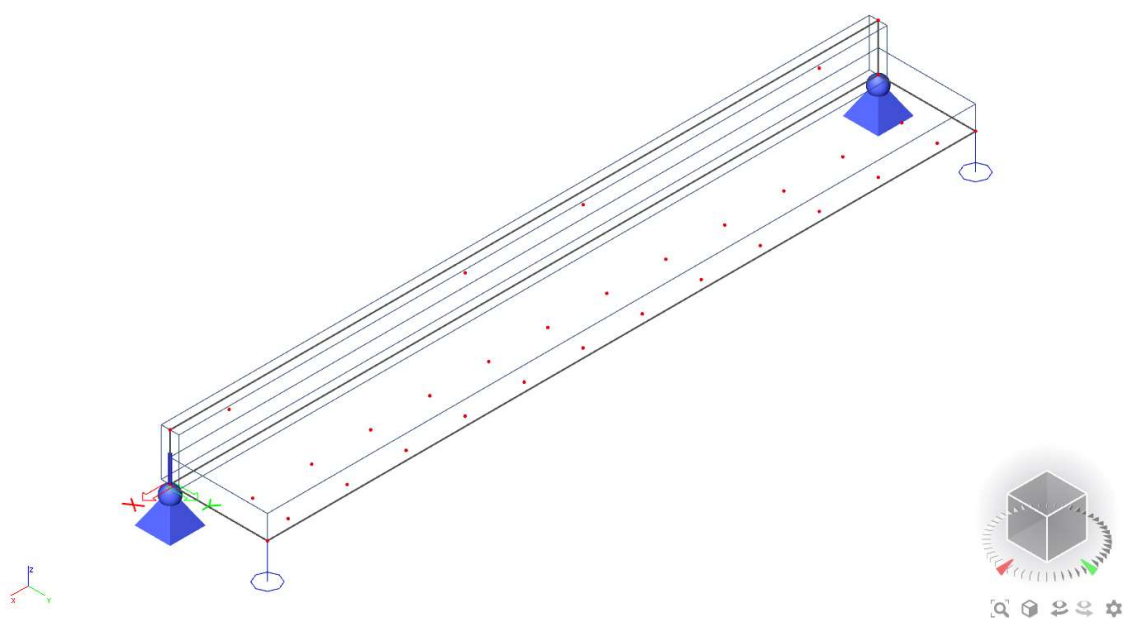
Uložení lavicových nosníků bylo navrženo na pryžové destičky osazené na ozuby šikmých tribunových nosníků a na pryžové pásy na lavicové nosníky nižší úrovně. Stejně uložení bylo použito i na fotbalovém stadionu Slavie Praha [23] a jihlavská prefa Rieder Beton, spol. s r.o. na základě svých zkušeností takovéto uložení přes pryžové desky tl. 5-10 mm doporučuje. A to pro osazení na ocelovou i na železobetonovou konstrukci. Tento typ uložení umožňuje vodorovný posun. Ze statického pohledu je uvažován jako posuvný kloub. [23], [25]

Lavicové nosníky jsou dále přikotveny k podporám na šikmých tribunových nosnících pomocí šroubovaných spojů a zabudovaných HTA profilů do prefabrikovaných prvků. Rovněž takovéto kotvení v praxi používá firma Rieder beton, spol. s r.o. a podobný typ kotvení byl použit i u lavicových nosníků největší české víceúčelové haly –

O<sub>2</sub> arény (dříve Sazka aréna), jak lze vidět na Obr. 6.1.2-3. Tento typ spoje dokáže částečně zabránit posunu a je možné jej považovat za pevný kloub. [25]



Obr. 6.1.2-1 – Schéma uložení lavicového nosníku [0]



Obr. 6.1.2-2 – Statické schéma lavicového nosníku z programu Scia Engineer 18.1 [46]



Obr. 6.1.2-3 – Kotvení lavicového nosníku v O<sub>2</sub> aréne [47]



Obr. 6.1.2-4 – HTA profil s kotvěnými trny do betonu [48]

### 6.1.3 Třída prostředí a minimální krycí vrstva

Třída prostředí byla uvažována jako XC4 (střídavě mokré a střídavě suché) pro korozi betonářské výztuže vyvolanou karbonatací a XF3 (zcela nasycené vodou bez rozmrazovacích prostředků) pro střídavé působení mrazu na betonovou konstrukci. Nicméně se i přesto doporučuje prefabrikáty chránit transparentním hydrofobizačním nátěrem, který by měl prvky chránit před nasycením vodou. Tribuna by měla být sice po většinu životnosti chráněna díky zastřešení před přímým deštěm, lze však předpokládat, že při současném dešti a působení větru bude srážková voda zanesena i na tribunu. [25]

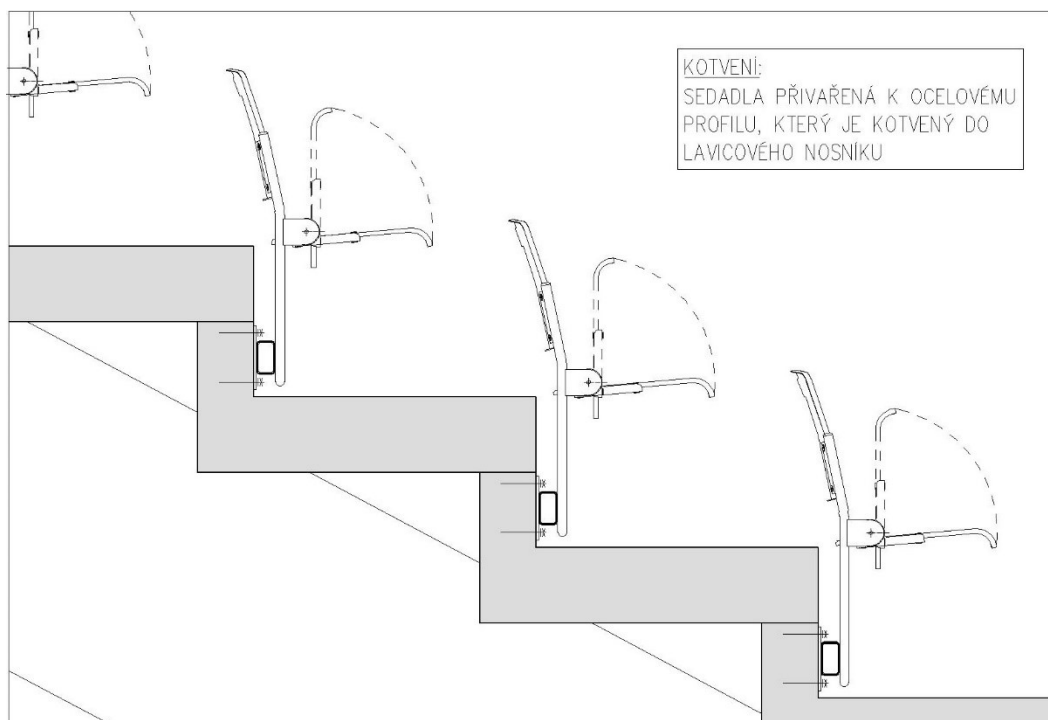
Na tuto třídu prostředí byla dle ČSN EN 1992-1-1 navržena pomocí programu FIN EC 2018 navržena krycí vrstva výztuže o tloušťce 25 mm. Požadavek na minimální třídu betonu C30/37 je rovněž splněn. Výstup z programu FIN EC 2018 v **Příloze č. 3**.

### 6.1.4 Detail uchycení sedadel

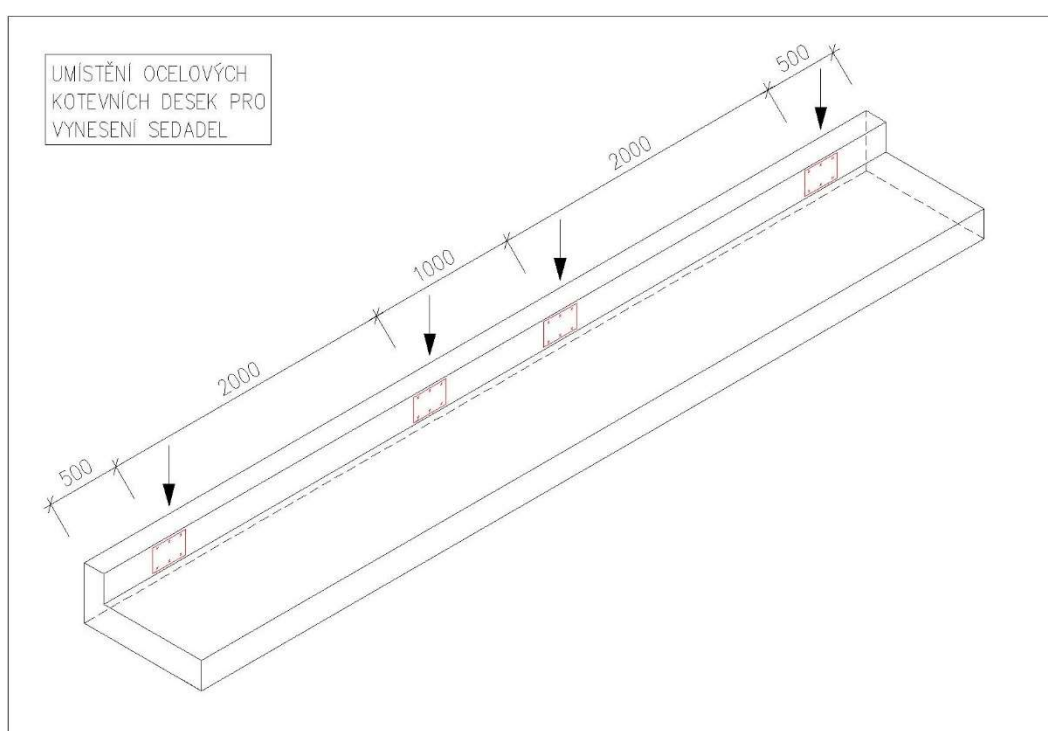
Pro uchycení sedadel existuje mnoho způsobů montáže k lavicovým nosníkům. Každá metoda má své pro a proti a je třeba posoudit individuálně vhodnost použití vzhledem k rychlosti montáže, cenové náročnosti a dlouhodobé odolnosti kotvení vůči zatížení a povětrnostním vlivům. Záleží také na typu samotných sedadel. Nejčastěji se používají sklápěcí, která jsou oproti pevným méně náročná na prostor.

Jako nejvhodnější varianta bylo zvoleno kotvení pomocí dvou skupin chemických kotev do stěny železobetonového lavicového nosníku, ve skupině po 6 kusech sklápěcích sedadel osazených na jednoduchou ocelovou konstrukci, viz schéma na obrázku 6.1.4-1.

Výhodou varianty kotvení po více kusech je menší zásah do železobetonové konstrukce nosníku. Při výrobě je však třeba dobře zkoordinovat polohu výztuže v nosníku s uvažovanou polohou chemických kotev. V praxi někteří výrobci prefabrikovaných dílců raději preferují osazování ocelových kotevních destiček do prefabrikátů, ke kterým se následně přivaří vnější ocelová konstrukce nebo profil. Problém by zde mohl nastat s odolností spoje ocelových prvků vůči korozi. Spolehlivější vůči lidskému faktoru je ochrana oceli pomocí pozinkování než antikorozního nátěru. Pozinkovaná ocel je však špatně svařitelná a při odstranění části pozinkování zase spoj ztrácí schopnost odolnosti vůči korozi. Proto se jako vhodnější jeví dodatečné použití chemických kotev do stěny prefabrikátů.



Obr. 6.1.4-1 – Schéma uchycení sedadel k lavicovému nosníku [0]



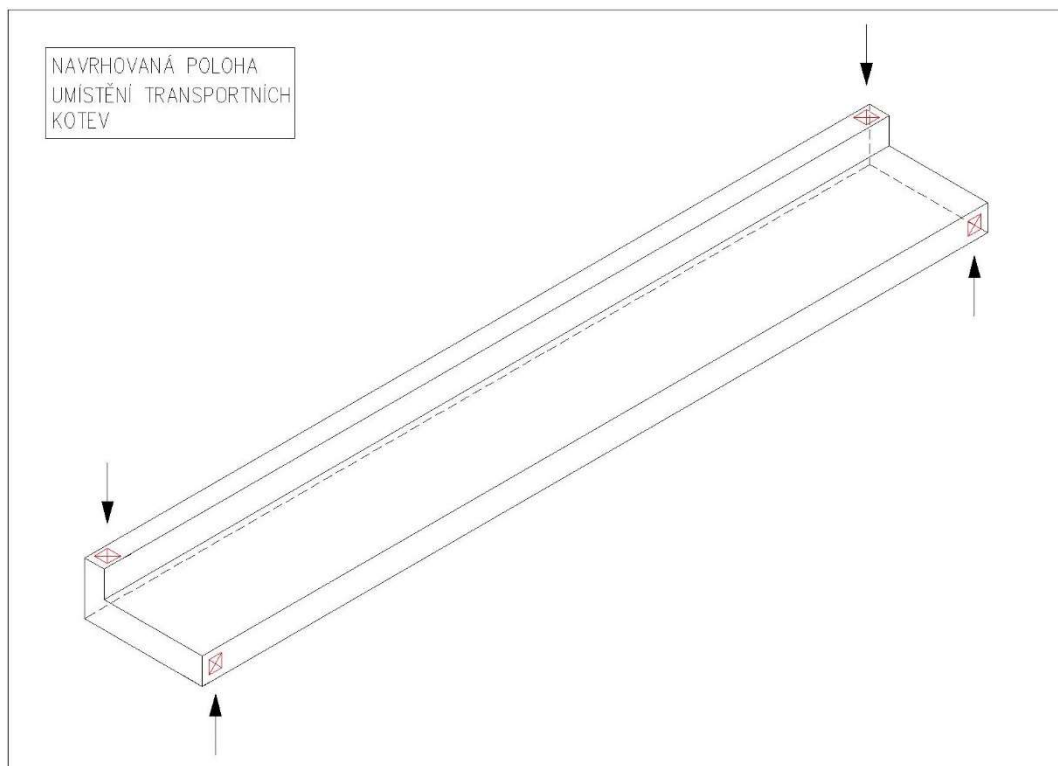
Obr. 6.1.4-2 – Schéma umístění kotevních desek ocelové konstrukce vynášející sedadla [0]

Místo takového kotvení do stěny prefabrikátu je možné kotvení i do jeho vodorovné desky, které se na stadionech často používá. Zde by však mohl nastat problém s větší náchylností se zatékáním vody do spáry spoje a jejím následným zmrznutím, které by

porušovalo soudržnost. Malou nevýhodou kotvení do stěny nosníku je jeho větší namáhání kroutícím momentem.

### 6.1.5 Transportní kotvy

V úvahu je však třeba vzít správné umístění transportních kotev pevně usazených v prefabrikátu. Aby bylo minimalizováno riziko zatékání vody do oblasti umístění transportní kotvy, je vhodné umístit kotvy do míst dle Obr. 6.1.5-1. Horní otvor s kotevním prvkem je zcela ukryt pod lavicí ve vyšší úrovni a boční je vhodné po osazení lavic překrýt maltou.



Obr. 6.1.5-1 – Schéma umístění transportních kotev <sup>[0]</sup>

## 6.2 Zatížení

### 6.2.1 Stálé

Jediné stálé zatížení, které působí na lavicový nosník je vlastní tíha konstrukce lavicového nosníku, která je automaticky vygenerována v použitém softwaru Scia Engineer 18.1. Zde je uvažována objemová tíha železobetonu  $25 \text{ kN/m}^3$ , což je v souladu s ČSN EN 1991-1. Dále pak konstrukce pro uchycení lavic, které jsou její součástí. Tíha této konstrukce je ve výpočtu zanedbána. <sup>[26]</sup>

### 6.2.2 Proměnné – užitné

Dle ČSN EN 1991-1-1 lze plochy včetně tribun na fotbalovém stadionu zařadit do kategorie užitných zatížení C5. Pro tu je dána charakteristická hodnota plošného užitného zatížení  $5,0 - 7,5 \text{ kN/m}^2$  a hodnota  $3,5 - 4,5 \text{ kN}$  pro charakteristické soustředěné užitné zatížení. <sup>[26]</sup>

Pro zatížení lavicového nosníku byla zvolena charakteristická hodnota soustředěného zatížení  $4,5 \text{ kN}$ , která reprezentuje každého jednoho diváka. Přičemž osová vzdálenost sedadel činí  $0,5 \text{ m}$ , což znamená, že na každý  $1 \text{ metr}$  lavicového nosníku jsou umístěny 2 síly o velikosti  $4,5 \text{ kN}$ . V přepočtu tedy i vzhledem k šířce deskové části lavicového nosníku přibližující se jednomu metru dostáváme zhruba  $9 \text{ kN/m}^2$ .

Během návrhu stadionu Slávie Praha byla pro statický výpočet původně uvažována reálnější hodnota  $1,6 \text{ kN/m}^2$ . Nicméně při posuzování konstrukce na dynamické zatížení od skákajícího davu byly odvozeny dynamické součinitele pro užitné zatížení hodnot  $2,6 - 4,3$ . Z toho tedy vyplývají konečné hodnoty plošného zatížení o velikosti  $4,16 - 6,88 \text{ kN/m}^2$ . <sup>[23]</sup>

Dalším důvodem, proč jsou tyto vysoké hodnoty proměnných užitných zatížení skutečně na místě, jsou nastalé situace během fotbalových zápasů. Například při euforii po vstřeleném gólu nebo při závěrečné „děkovačce“ s hráči se velký počet fanoušků nahromadí do dolních řad tribuny a doslova se tlačí, aby byli co nejbližší k hráčům a mohli s nimi navázat kontakt.





Obr. 6.2.2-1 – Tlačící se oslavující dav fanoušků k hráčům [49]

### 6.2.3 Proměnné – sníh a vítr

Klimatická zatížení od sněhu a větru byla pro návrh lavicových nosníků zanedbána. Umístění stadionu se nepředpokládá do oblastí s vyšší nadmořskou výškou, kde hrozí vysoké hodnoty klimatických zatížení, které by byly vyšší než uvažovaná užitná zatížení jako v případě zatížení sněhem. Nepředpokládá se ani natolik vysoké hodnoty sání, které by způsobily opačný průběh ohybových momentů respektive obrácený směr svislých reakcí.

### 6.2.4 Proměnné – teplota

Možné vzniklé zatížení teplotou nelze u lavicového nosníku hned opomenout. Nosník není nijak chráněný před působením venkovní teploty vzduchu. Nerozděluje však vnitřní prostředí stadionu od venkovního. Tudíž lze předpokládat jen rovnoměrně ohřívání respektive ochlazování. Zejména v případě když by navržené HTA profily na obou koncích působily jako pevné klouby, které by bránily volnému posunu v podélném směru. Viz statické schéma lavicového nosníku na Obr. 6.1.2-2. V nosníku by tak při ohřívání vzniklo další tlakové namáhání a při ochlazování naopak tahové namáhání. Při takovémto statickém schématu by naopak šlo dosáhnout menších hodnot ohybových momentů uprostřed nosníku vzniklých od stálých a užitných zatížení. Je tedy důležité určit nejnižší

a nejvyšší teplotu ovzduší, při které je možné, že bude konstrukce namontována. Případně určit přípustné rozmezí teploty ovzduší, kdy je možné lavicový nosník pevně připojit k šikmým tribunovým nosníkům. Možné působení HTA profilů jako pevných kloubů je nutno prověřit.

Z map v národní příloze ČSN EN 1991-1-5 vyplývá, že maximální teplota vzduchu ve stínu například pro Prahu, se kterou je nutné počítat je  $T_{max} = 40,0 \text{ } ^\circ\text{C}$  a minimální je  $T_{min} = -32 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Maximální rozdíl teplot pro ohřátí či ochlazení lavicového nosníku je teoreticky podle normy roven  $\Delta T = \pm 72 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Nicméně se může vyloučit, že by konstrukce byla montována v teplotách, které jsou určeny z dat ČHMÚ jako roční maxima. Překročeny jsou s pravděpodobností 0,02, což znamená, že se objevují zhruba jednou za 50 let. [27]

### Ochlazování konstrukce

Zjednodušeně je uvažováno, že v tahu působí pouze betonářská výztuž. U betonu se předpokládá dřívější porušení mikrotrhlinami. Reálná maximální teplota montáže zvolena jako  $T = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Rozdíl mezi maximální teplotou ovzduší z normy a teplotou montáže:

$$\Delta T = T - T_{min} = 30 - (-32) = \underline{62 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Tahové napětí v betonu označené jako  $\sigma_{s,k}$ , vzniklé ochlazením lavicového nosníku o 62  $^\circ\text{C}$ :

$$\sigma_{s,k} = E_s \times \alpha_s \times \Delta T = 200.000 \times 12 \times 10^{-6} \times 62 = \underline{148,80 \text{ MPa}}$$

kde:

$E_s = 200.000 \text{ MPa}$  Modul pružnosti betonářské oceli

$\alpha_s = 12 \times 10^{-6}$  Součinitel teplotní délkové roztažnosti betonářské oceli

### Ohřívání konstrukce

Zjednodušeně uvažováno, že v tlaku působí pouze beton. Reálná minimální teplota montáže zvolena jako  $T = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Rozdíl mezi maximální teplotou ovzduší z normy a teplotou montáže:

$$\Delta T = T_{max} - T = 40 - 5 = \underline{35 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Tlakové napětí v betonu označené jako  $\sigma_{c,k}$ , vzniklé ohřátím lavicového nosníku o 35 °C:

$$\sigma_{c,k} = -E_c \times \alpha_c \times \Delta T = -32.000 \times 12 \times 10^{-6} \times 35 = \underline{-13,44 \text{ MPa}}$$

kde:

$$E_c = 32.000 \text{ MPa}$$

Modul pružnosti betonu C30/37

$$\alpha_c = 12 \times 10^{-6}$$

Součinitel teplotní délkové roztažnosti betonu

Výsledná hodnota zatížení teplotou je ovšem pouze charakteristická. Pro posouzení na mezní stav únosnosti (dále MSÚ) je nutné vynásobit hodnotu dílčím součinitelem pro proměnná zatížení  $\gamma_Q = 1,5$ . Návrhové tlakové napětí  $\sigma_{c,d}$  je tedy rovno:

$$\sigma_{c,d} = \sigma_{c,k} \times \gamma_Q = -13,44 \times 1,5 = \underline{-20,16 \text{ MPa}}$$

K tomuto napětí by navíc bylo nutné přičíst další tlakové napětí od ohybu vzniklé působením vlastní tíhy nebo užitého zatížení. Návrhová hodnota únosnosti v tlaku pro beton C30/37 je rovna  $f_{cd} = 20 \text{ MPa}$ . Je tedy patrné, že zamezit volnému posunutí lavicového nosníku je nepřijatelné. V nosníku by při ohřátí o 35 °C vznikla při ploše průřezu  $A_c = 210.000 \text{ mm}^2$  normálová síla  $N_d$  se stejnou reakcí v podpoře o hodnotě:

$$N_d = A_c \times \sigma_{c,d} = 210.000 \times 20,16 = 4.233.600 \text{ N} \sim \underline{4,23 \text{ MN}}$$

Takto velkou reakci v podpoře by šroubovaný spoj do HTA profilu osazeného do prefa dílců neunesl. Únosnost šroubů ve stříhu obvykle činí pouze pár desítek až stovek kN. V praxi se k montování lavic obvykle používají 1 až 2 šrouby viz. Obr. 6.1.2-3. Při montáži je tedy nutné šrouby dotáhnout takovým způsobem, aby jim byl v podélném směru nosníku (rovina stříhu šroubu) umožněn posun a nedošlo v důsledku ohřívání nosníku k jejich porušení. Nicméně tabulková únosnost například předpjatých šroubů ve tření je obvykle nižší než ve stříhu. Šrouby by se tedy při ohřátí nosníku měly dříve samy posunout než porušit stříhem. [28]

Pro statický model tedy bude použito schéma s posuvným kloubem v podélném směru na jednom konci nosníku. Zatížení teplotou tedy nebude dále řešeno.

### 6.2.5 Proměnné – doprava a manipulace během montáže

Zatížení během dopravy a při manipulaci během montáže je třeba brát v úvahu. Únosnost posuzuje výrobce prefabrikátů při vypracovávání výrobní dokumentace prefabrikátů. Výrobce většinou sám zajišťuje i dopravu, osazení a montáž na stavenišťe.

Pokud ne, je nutné, aby si výrobce s ostatními dodavateli, kteří budou s dílci manipulovat, zkoordinoval možné takto vzniklé zatížení.

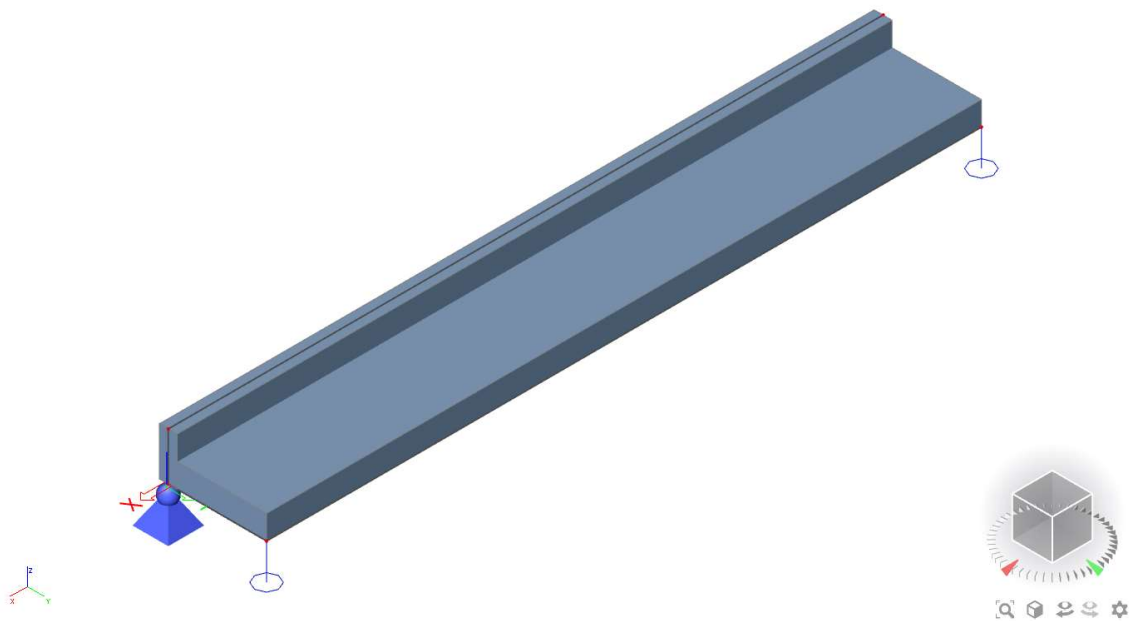
To se stanoví dle používané manipulační techniky a k ní příslušného dynamického součinitele, pomocí kterého se vynásobí zatížení vlastní tíhou (převod na kvazistatické zatížení). V případě, že při manipulaci s nosníkem bude dodrženo stejné statické schéma, které platí pro nosník uložený, lze maximální dynamický součinitel stanovit zjednodušeně. Zatížení lavicového nosníku vlastní tíhou je pro navržený tvar 5,25 kN/m a k tomu užité zatížení 9 kN/m, což je v součtu 14,25 kN/m. Nosník dimenzovaný na takové zatížení unese i zatížení vlastní tíhou vynásobené dynamickým součinitelem s maximální hodnotou, kterou lze vyjádřit takto:

$$5,25 \times \delta_{max} = 14,25 \Rightarrow \delta_{max} = 14,25 / 5,25 = \underline{2,71}$$

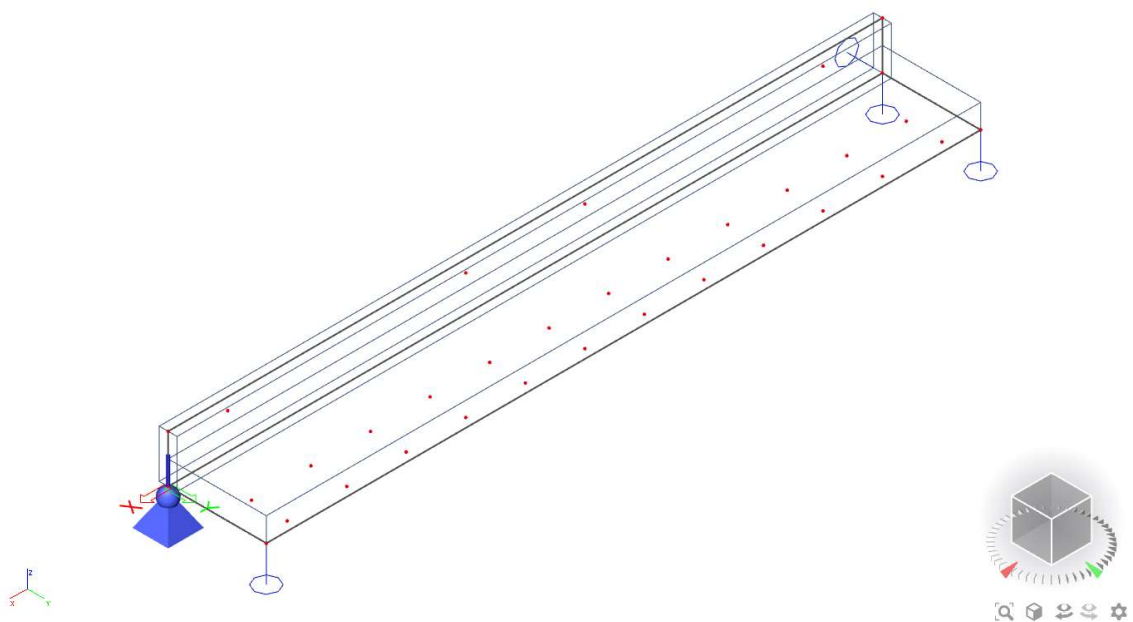
Maximální dynamický součinitel pro zatížení během dopravy a manipulace, pro který není třeba stanovit žádné opatření je roven  $\delta_{max} = 2,71$ . V případě, že by byla hodnota větší, je nutné zesílení prvku, úpravu rozmístění transportních kotev, kterým by se změnilo statické schéma nosníku nebo změnu manipulační techniky.

### 6.3 Statický model

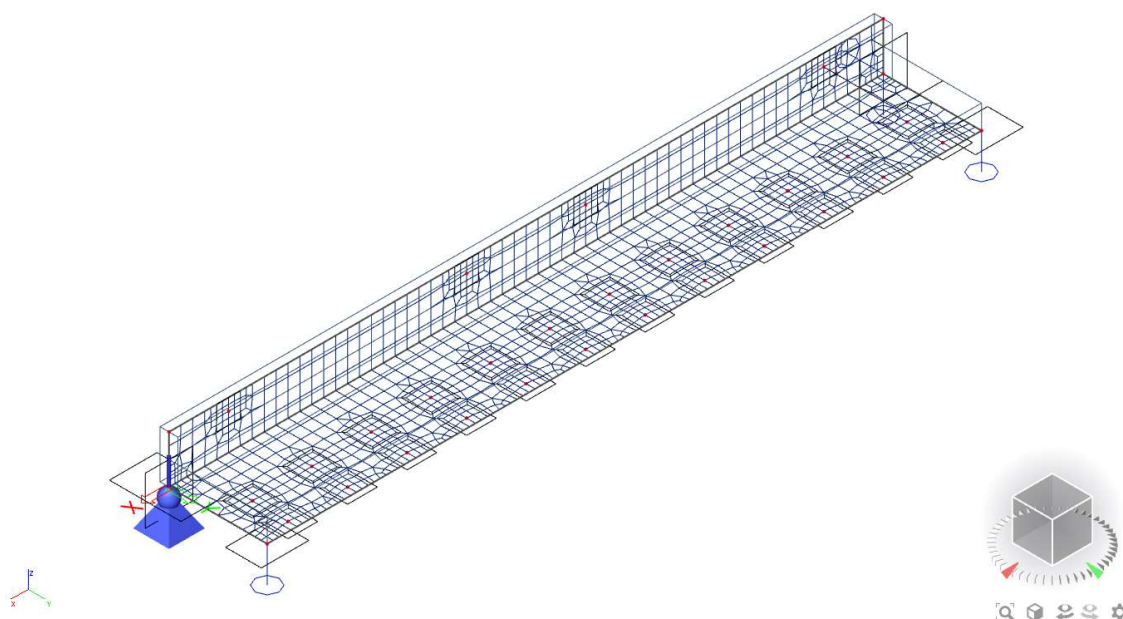
Statický model byl vytvořen v programu Scia Engineer 18.1. Lavicový nosník byl vymodelován ze dvou částí – z desky a stěny. V programu využívající metodu konečných prvků (dále MKP) byla nastavena hustota sítě o průměrné velikosti prvku 0,1 m. Nad podporami a pod místem působení zatížení byla síť zjemněna v poměru 0,5 s poloměrem 0,125 m. Pro redukci maximálních hodnot vnitřních sil a napětí nad podporami i v místě zatížení byly použity průměrovací pásy různých velikostí.



Obr. 6.3-1 – Rendrovaný model ve Scia Engineer 18.1 [46]



Obr. 6.3-2 – Statické schéma použité pro výpočet ve Scia Engineer 18.1 [46]



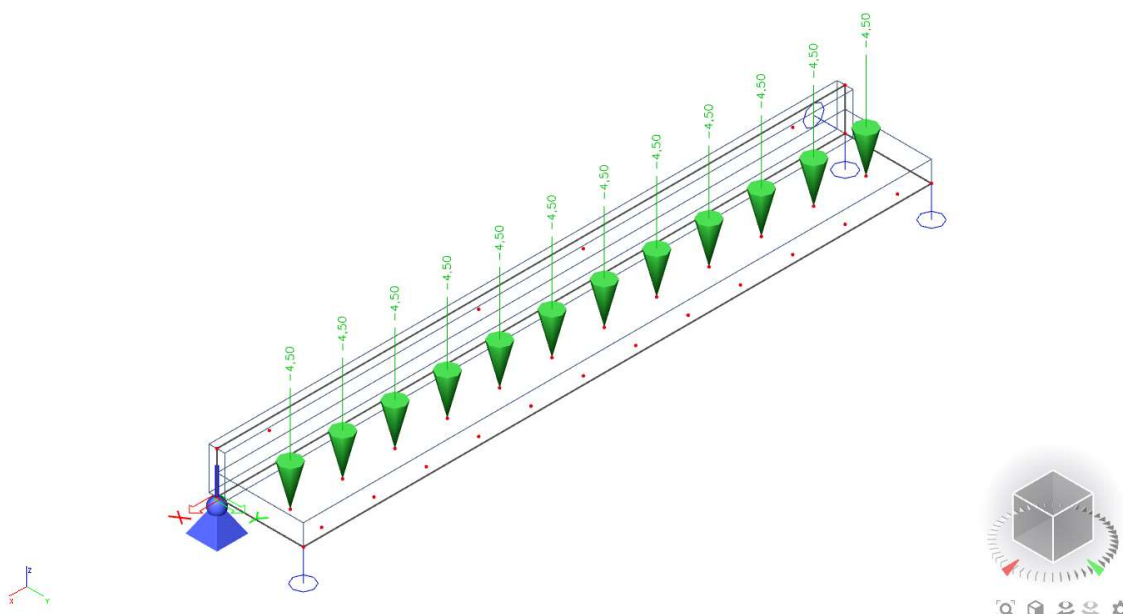
Obr. 6.3-3 – Vygenerovaná síť pro metodu MKP [46]

## 6.4 Zatěžovací stavy

### 6.4.1 ZS1 – Vlastní tíha

Zatížení vlastní tíhou lavicového nosníku program vygeneruje automaticky. Pro zvolenou třídu betonu C30/37 byla zadána objemová hmotnost  $25 \text{ kN/m}^3$ .

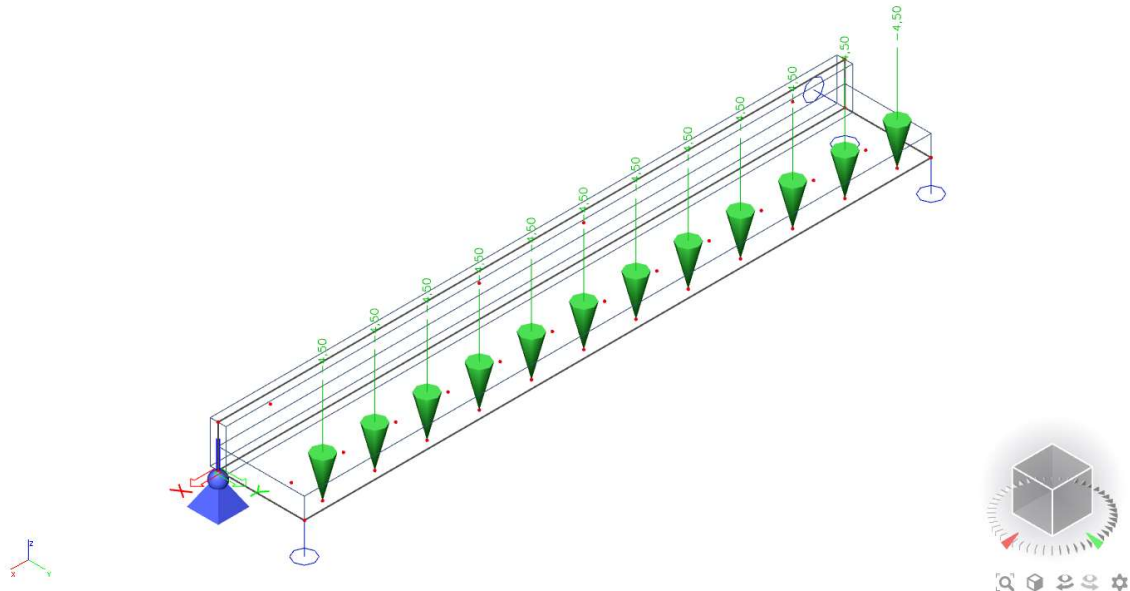
### 6.4.2 ZS2 – Diváci stojící



Obr. 6.4.2-1 – ZS2 – Diváci stojící [46]

Druhý zatěžovací stav reprezentuje diváky plně obsazený lavicový nosník, kteří stojí uprostřed nosníku.

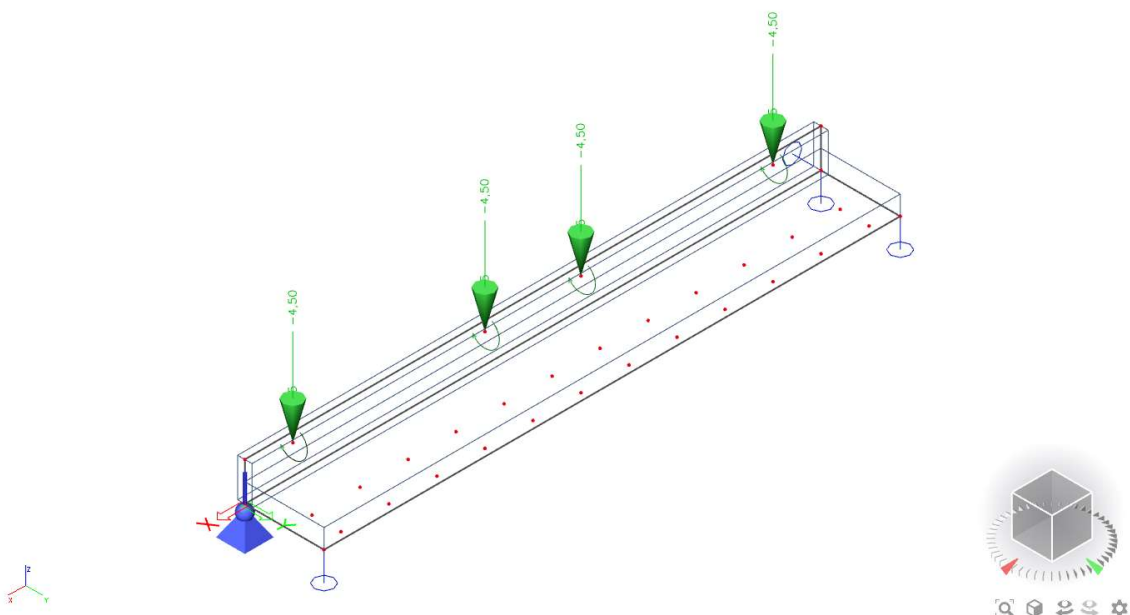
### 6.4.3 ZS3 – Diváci stojící na okraji



Obr. 6.4.3-1 – ZS3 – Diváci stojící na okraji nosníku [46]

Třetí zatěžovací stav by měl vystihovat diváky stojící na okraji lavicového nosníku. Předpokládá se, že tento zatěžovací stav vyvozuje maximální kroucení stěny nosníku.

### 6.4.4 ZS4 – Diváci sedící



Obr. 6.4.4-1 – ZS4 – Diváci sedící [46]



Poslední zatěžovací stav představuje nosník plně obsazený sedícími diváky. Pro tyto potřeby byla zmenšena hodnota osamělé síly reprezentující jednoho diváka z normové hodnoty 4,5 kN na 1,5 kN. Nepředpokládá se zde, že by diváci na sedadlech výrazně skákali a vyvolali tak nezanedbatelnou dynamickou odezvu. Zatížení je proto redukováno.

Jak již bylo popsáno v kapitole 6.1.4 – Detail uchycení sedadel, zatížení je přenášeno přes ocelovou konstrukci, nesoucí 6 sedadel (diváků), kotvenou ve dvou místech pomocí skupiny chemických kotev. Na každém lavicovém nosníku jsou dvě takovéto konstrukce. Reakce v místě kotvení byla vypočítána takto:

$$R = (6 \times F) / 2 = (6 \times 1,5) / 2 = \underline{4,5 \text{ kN}}$$

Sedadla jsou navíc částečně vykonzolována na rameni o velikosti 0,3 m. K osamělým silám jsou proto přidány i osamělé momenty o velikosti:

$$M = R \times 0,3 = 4,5 \times 0,3 = \underline{1,35 \text{ kNm}}$$

## 6.5 Kombinace zatěžovacích stavů

Všechny zadané hodnoty sil do zatěžovacích stavů byly charakteristické. Pro potřeby výpočtu bylo proto nutné zadat jednotlivé kombinace, kombinační součinitele a vybrané skupiny výsledků.

**Návrhová kombinace** na posouzení mezního stavu únosnosti. Skupina výsledků **RC1** z kombinací N – CO1, N – CO2 a N – CO3.

Kombinace	Zatěžovací stav	Dílčí součinitel - $\gamma_i$	Kombinační součinitel - $\psi_i$	Výsledný součinitel
N - CO1	ZS1	1,35	1,00	1,35
	ZS2	1,50	1,00	1,50
N - CO2	ZS1	1,35	1,00	1,35
	ZS3	1,50	1,00	1,50
N - CO3	ZS1	1,35	1,00	1,35
	ZS4	1,50	1,00	1,50

**Charakteristická kombinace** Skupina výsledků **RC2** z kombinací CH – CO1, CH – CO2 a CH – CO3.



Kombinace	Zatěžovací stav	Dílčí součinitel - $\gamma_i$	Kombinační součinitel - $\psi_i$	Výsledný součinitel
CH - CO1	ZS1	1,00	1,00	1,00
	ZS2	1,00	1,00	1,00
CH - CO2	ZS1	1,00	1,00	1,00
	ZS3	1,00	1,00	1,00
CH - CO3	ZS1	1,00	1,00	1,00
	ZS4	1,00	1,00	1,00

**Častá kombinace** na posouzení únavového namáhání na beton a betonářskou ocel. Skupina výsledků **RC3** z kombinací C – CO1, C – CO2 a C – CO3.

Kombinace	Zatěžovací stav	Dílčí součinitel - $\gamma_i$	Kombinační součinitel - $\psi_i$	Výsledný součinitel
C - CO1	ZS1	1,00	1,00	1,00
	ZS2	1,00	0,70	0,70
C - CO2	ZS1	1,00	1,00	1,00
	ZS3	1,00	0,70	0,70
C - CO3	ZS1	1,00	1,00	1,00
	ZS4	1,00	0,70	0,70

**Kvazi-stálá kombinace** na výpočet a posouzení krátkodobého a dlouhodobého průhybu. Skupina výsledků **RC4** z kombinací KS – CO1, KS – CO2 a KS – CO3.

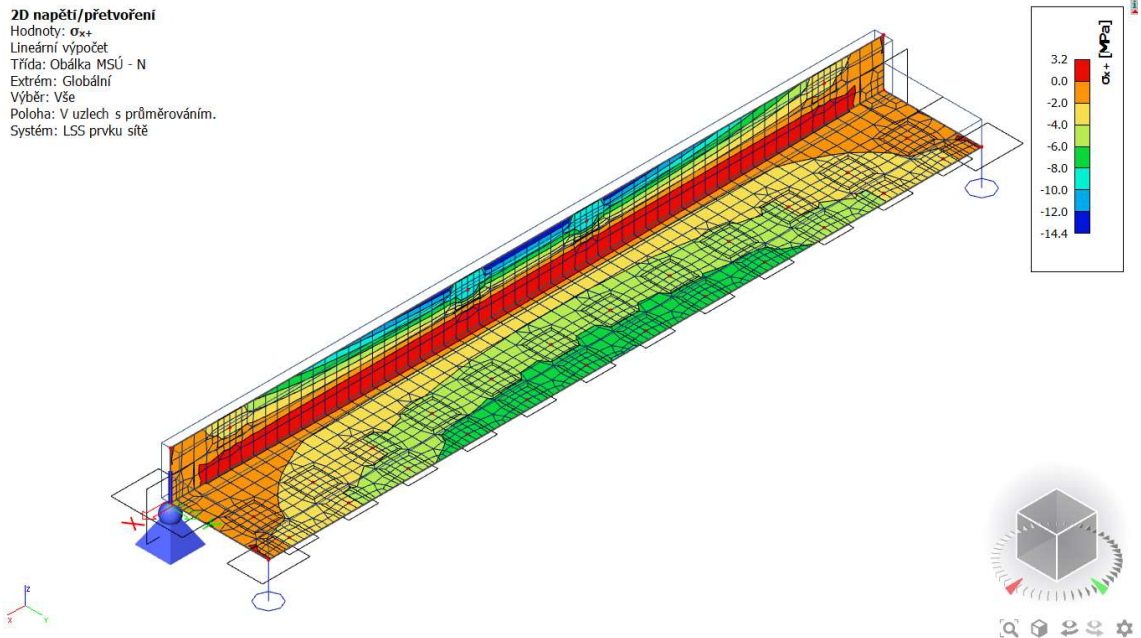
Kombinace	Zatěžovací stav	Dílčí součinitel - $\gamma_i$	Kombinační součinitel - $\psi_i$	Výsledný součinitel
KS - CO1	ZS1	1,00	1,00	1,00
	ZS2	1,00	0,60	0,60
KS - CO2	ZS1	1,00	1,00	1,00
	ZS3	1,00	0,60	0,60
KS - CO3	ZS1	1,00	1,00	1,00
	ZS4	1,00	0,60	0,60

## 6.6 Vnitřní síly

K ukázce byly vybrány pouze výsledky vnitřních sil a napětí v konstrukci, které se dále použily pro další výpočty a posudky. Jedná se zejména o normálová a smyková napětí a o dimenzační momenty, které již zahrnují vliv ohybových i kroutících momentů. U označení jednotlivých účinků zatížení lze rozlišit označení „+“ pro horní povrch a „-“

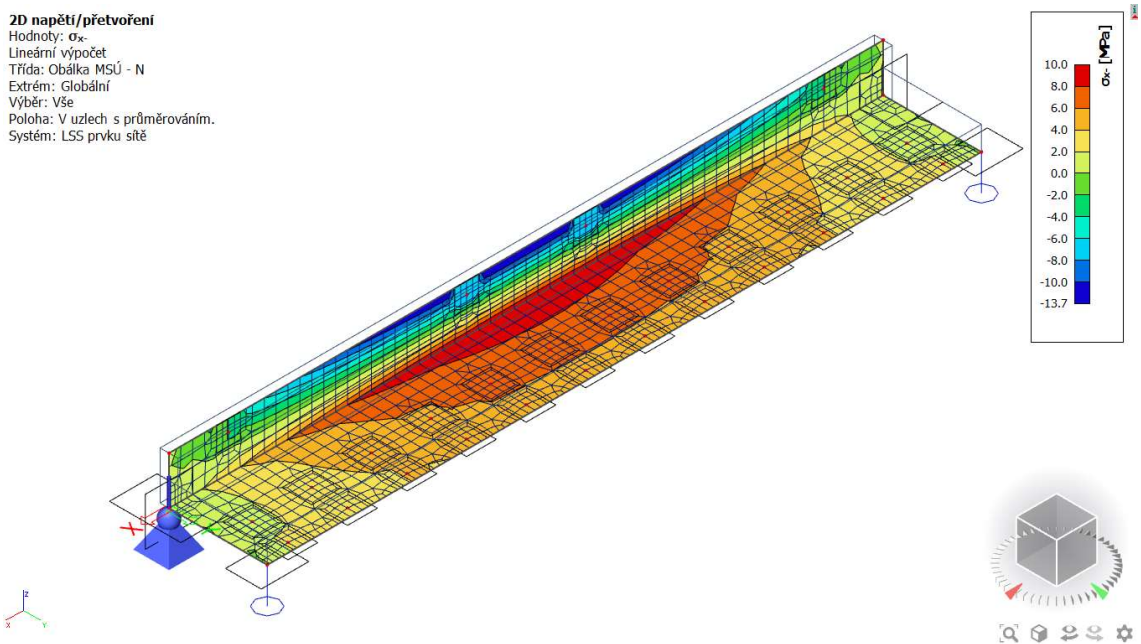
pro dolní povrch. Kladný horní povrch pro deskovou část konstrukce je ve směru kladné globální osy Z a kladný horní povrch pro stěnovou konstrukci je ve směru kladné globální osy Y.

### 6.6.1 RC1 – Normálové napětí ve směru osy X (horní povrch)



Obr. 6.6.1-1 – RC1 –  $\sigma_x^+$  [46]

### 6.6.2 RC1 – Normálové napětí ve směru osy X (dolní povrch)

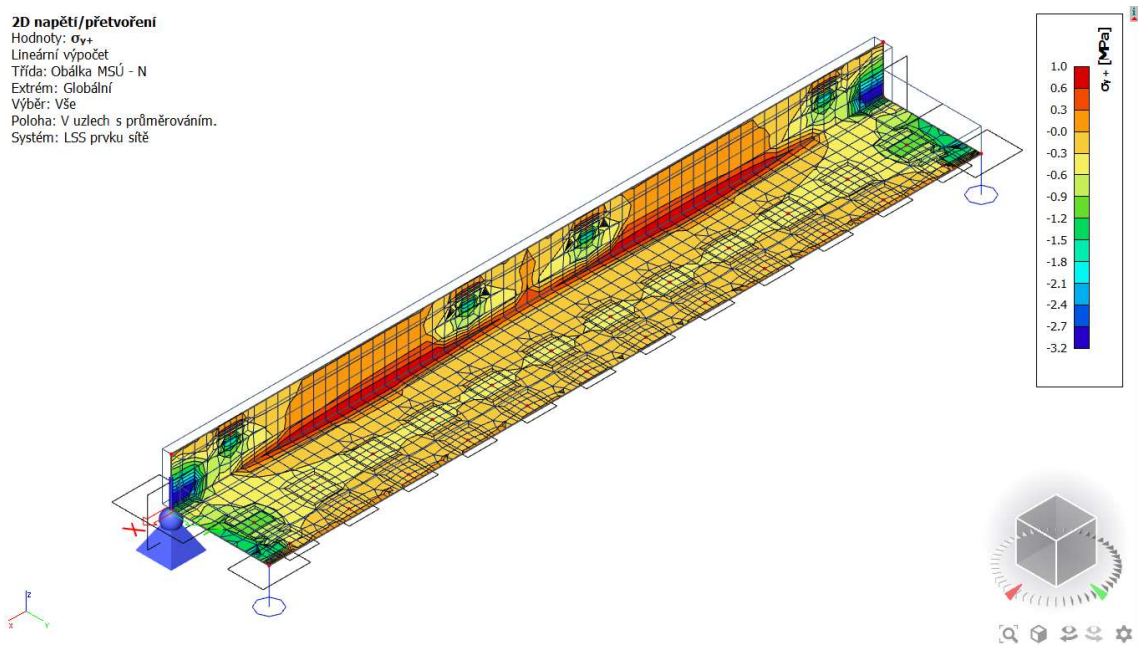


Obr. 6.6.2-1 – RC1 –  $\sigma_x^-$  [46]

### 6.6.3 RC1 – Normálové napětí ve směru osy Y (horní povrch)

#### 2D napětí/přetvoření

Hodnoty:  $\sigma_y^+$   
Lineární výpočet  
Třída: Obálka MSÚ - N  
Extrém: Globální  
Výběr: Vše  
Polooha: V uzlech s průměrováním.  
Systém: LSS prvku síť

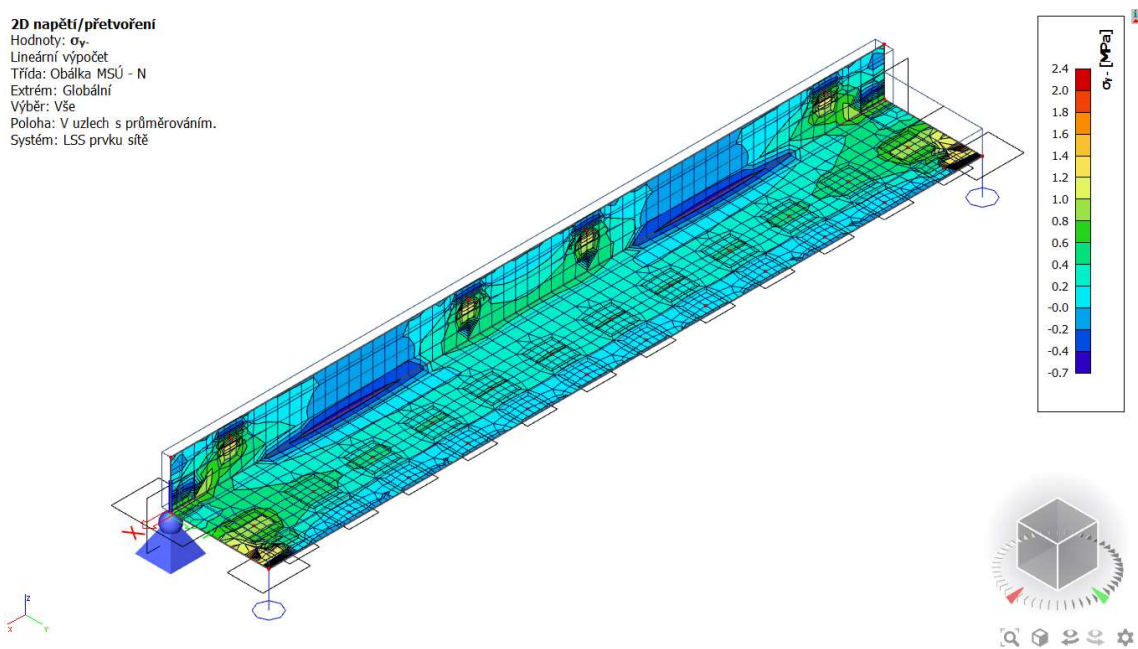


Obr. 6.6.3-1 – RC1 –  $\sigma_y^+$  [46]

### 6.6.4 RC1 – Normálové napětí ve směru osy Y (dolní povrch)

#### 2D napětí/přetvoření

Hodnoty:  $\sigma_y^-$   
Lineární výpočet  
Třída: Obálka MSÚ - N  
Extrém: Globální  
Výběr: Vše  
Polooha: V uzlech s průměrováním.  
Systém: LSS prvku síť

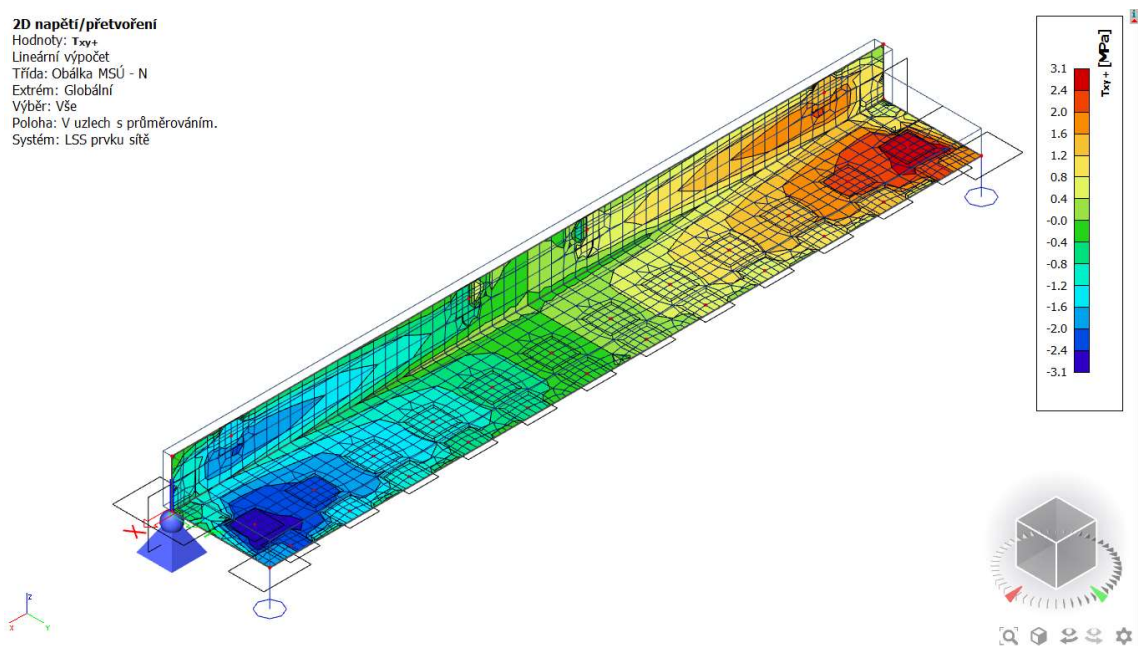


Obr. 6.6.4-1 – RC1 –  $\sigma_y^-$  [46]

## 6.6.5 RC1 – Smykové napětí v rovině osy XY (horní povrch)

### 2D napětí/přetvoření

Hodnoty:  $\tau_{xy}^+$   
Lineární výpočet  
Třída: Obálka MSÚ - N  
Extrém: Globální  
Výběr: Vše  
Poloha: V uzlech s průměrováním.  
Systém: LSS prvku síť

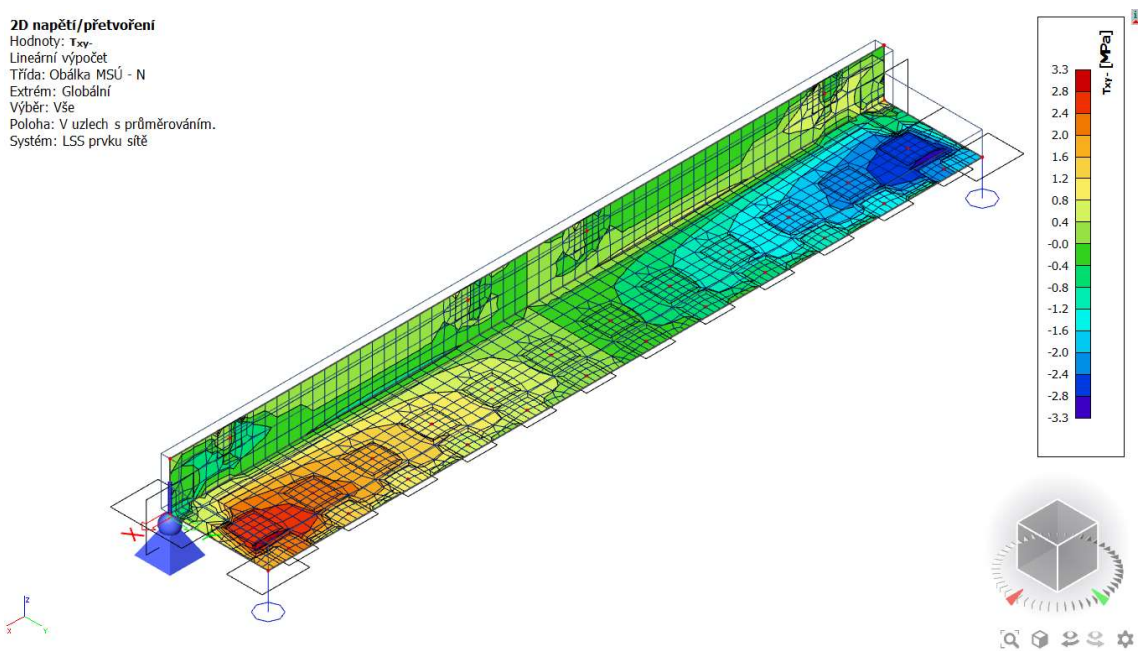


Obr. 6.6.5-1 – RC1 –  $\tau_{xy}^+$  [46]

## 6.6.6 RC1 – Smykové napětí v rovině osy XY (dolní povrch)

### 2D napětí/přetvoření

Hodnoty:  $\tau_{xy}^-$   
Lineární výpočet  
Třída: Obálka MSÚ - N  
Extrém: Globální  
Výběr: Vše  
Poloha: V uzlech s průměrováním.  
Systém: LSS prvku síť

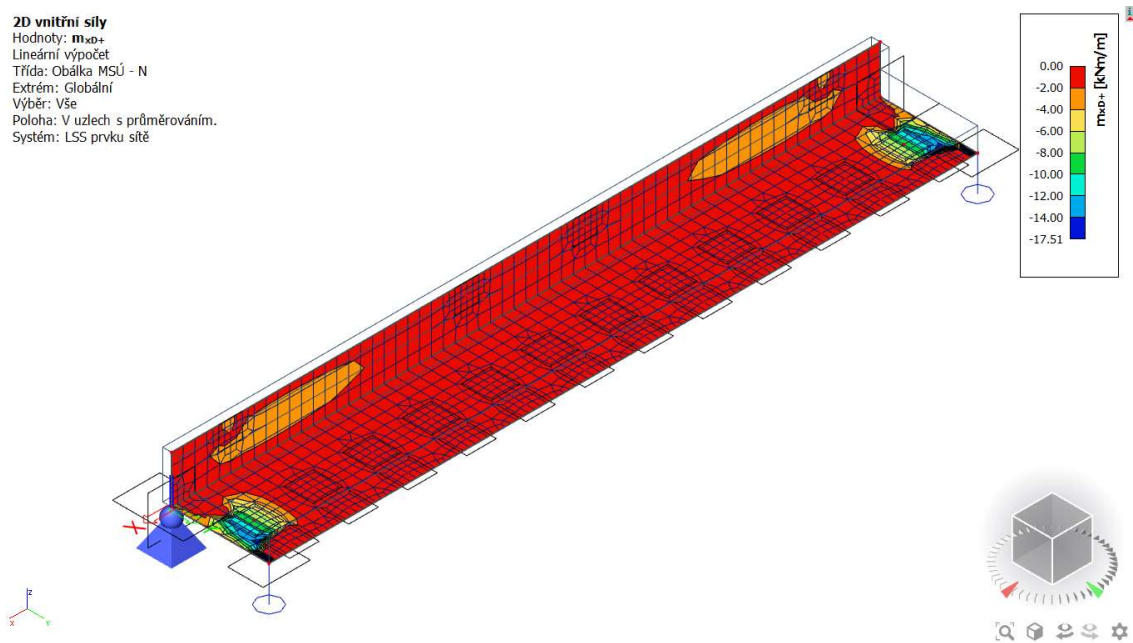


Obr. 6.6.6-1 – RC1 –  $\tau_{xy}^-$  [46]



### 6.6.7 RC1 – Dimenzační momenty ve směru osy X (horní povrch)

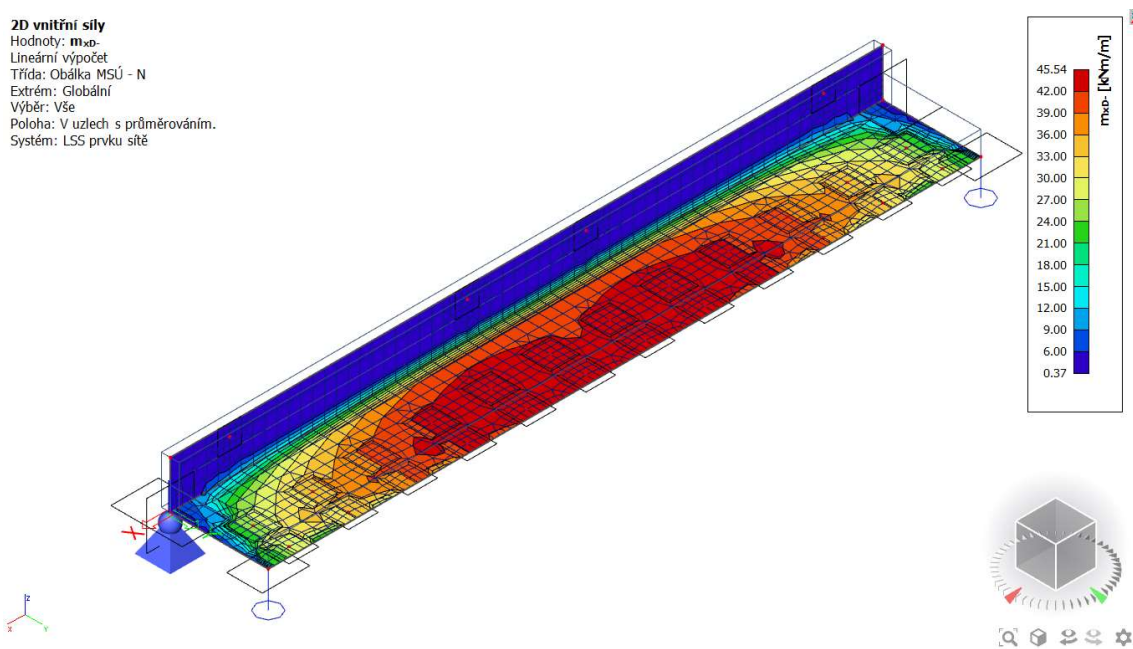
2D vnitřní síly  
Hodnoty:  $m_{x0}$   
Lineární výpočet  
Třída: Obálka MSÚ - N  
Extrém: Globální  
Výběr: Vše  
Poloha: V uzlech s průměrováním.  
Systém: LSS prvku síť



Obr. 6.6.7-1 – RC1 –  $m_{xd}^+$  [46]

### 6.6.8 RC1 – Dimenzační momenty ve směru osy X (dolní povrch)

2D vnitřní síly  
Hodnoty:  $m_{x0}$   
Lineární výpočet  
Třída: Obálka MSÚ - N  
Extrém: Globální  
Výběr: Vše  
Poloha: V uzlech s průměrováním.  
Systém: LSS prvku síť



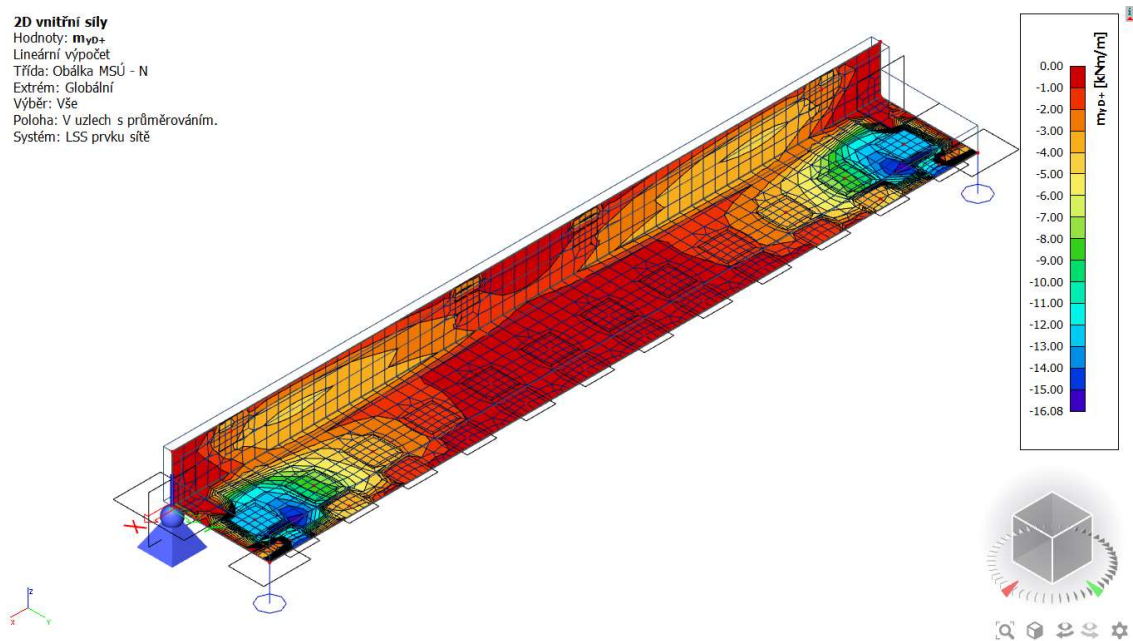
Obr. 6.6.8-1 – RC1 –  $m_{xd}^-$  [46]



## 6.6.9 RC1 – Dimenzační momenty ve směru osy Y (horní povrch)

### 2D vnitřní síly

Hodnoty:  $m_{yo}$   
Lineární výpočet  
Třída: Obálka MSÚ - N  
Extrém: Globální  
Výběr: Vše  
Poloha: V uzlech s průměrováním.  
Systém: LSS prvku síť

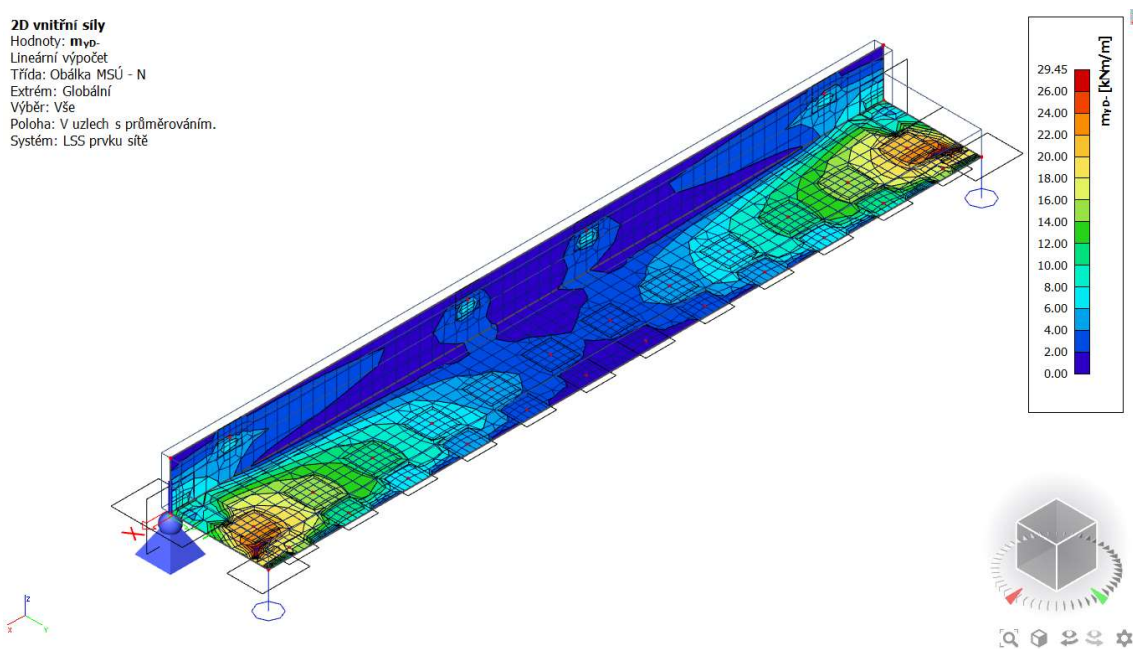


Obr. 6.6.9-1 – RC1 –  $m_{yd}^+$  [46]

## 6.6.10 RC1 – Dimenzační momenty ve směru osy Y (dolní povrch)

### 2D vnitřní síly

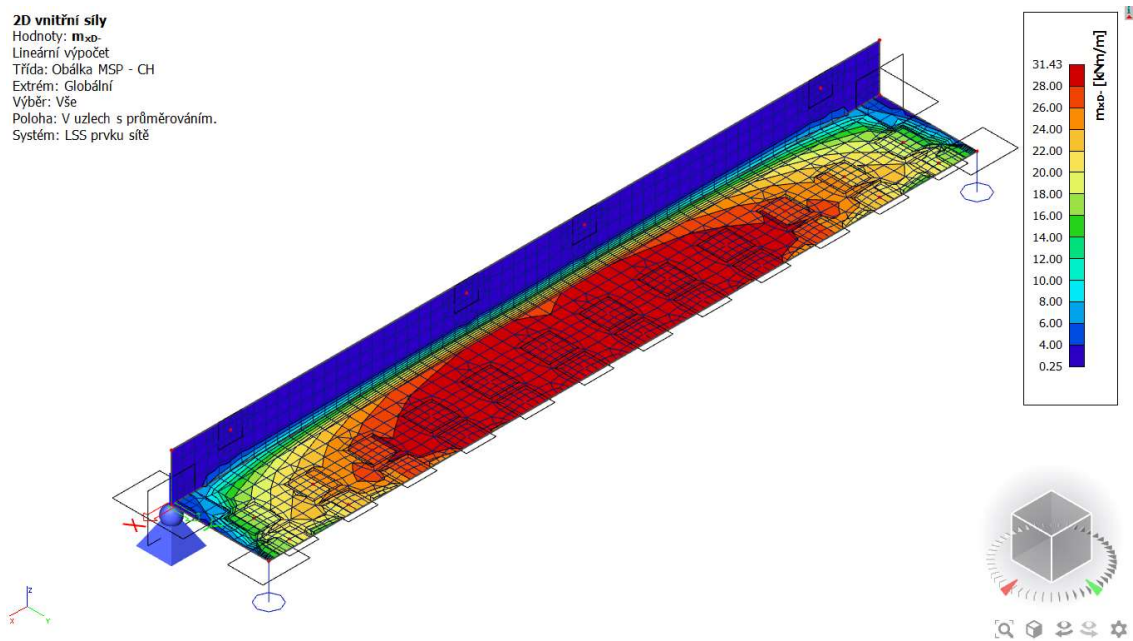
Hodnoty:  $m_{yo}$   
Lineární výpočet  
Třída: Obálka MSÚ - N  
Extrém: Globální  
Výběr: Vše  
Poloha: V uzlech s průměrováním.  
Systém: LSS prvku síť



Obr. 6.6.10-1 – RC1 –  $m_{yd}^-$  [46]

### 6.6.11 RC2 – Dimenzační momenty ve směru osy X (dolní povrch)

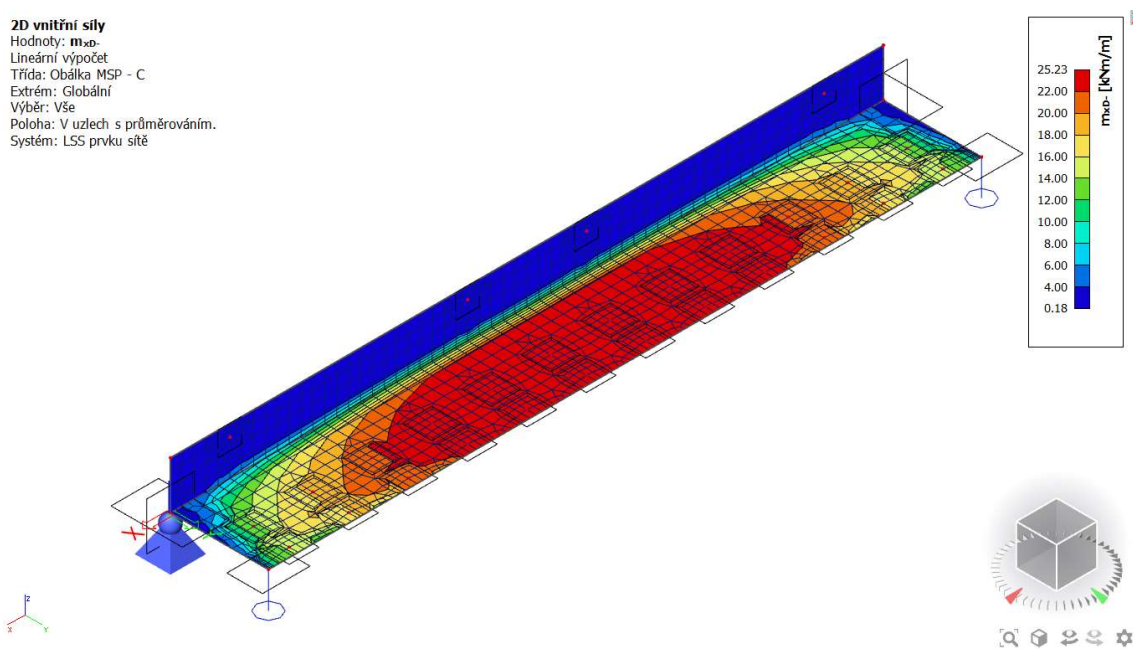
**2D vnitřní síly**  
Hodnoty:  $m_{xx}$   
Lineární výpočet  
Třída: Obálka MSP - CH  
Extrém: Globální  
Výběr: Vše  
Poloha: V uzlech s průměrováním.  
Systém: LSS prvku síť



Obr. 6.6.11-1 – RC2 –  $m_{xx}$  [46]

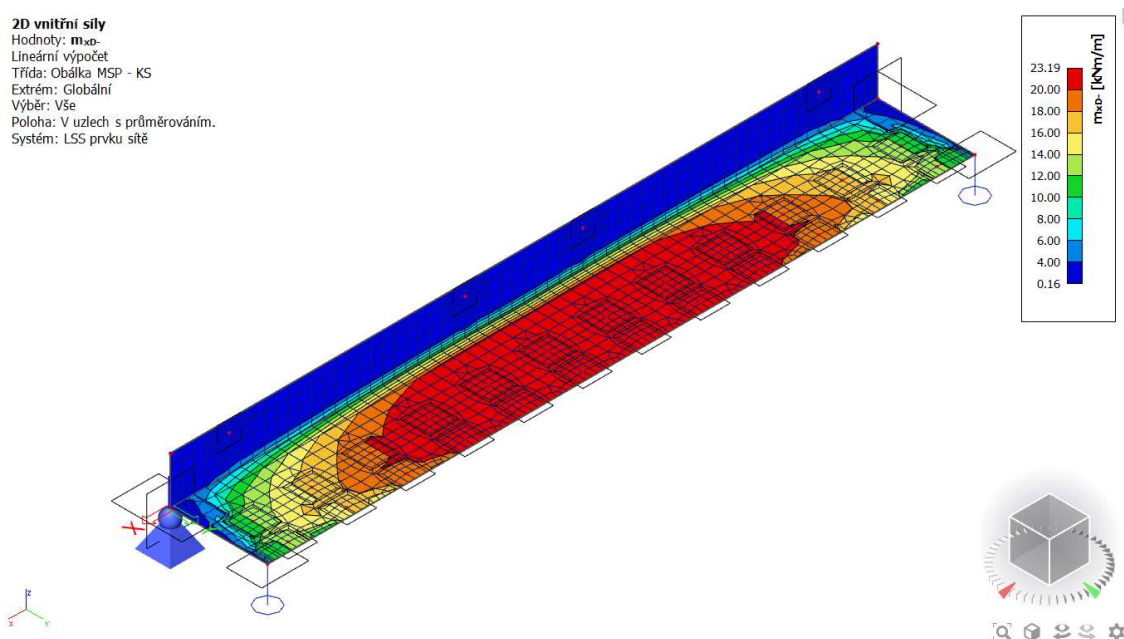
### 6.6.12 RC3 – Dimenzační momenty ve směru osy Y (dolní povrch)

**2D vnitřní síly**  
Hodnoty:  $m_{yy}$   
Lineární výpočet  
Třída: Obálka MSP - C  
Extrém: Globální  
Výběr: Vše  
Poloha: V uzlech s průměrováním.  
Systém: LSS prvku síť



Obr. 6.6.12-1 – RC3 –  $m_{yy}$  [46]

## 6.6.13 RC4 – Dimenzační momenty ve směru osy X (dolní povrch)



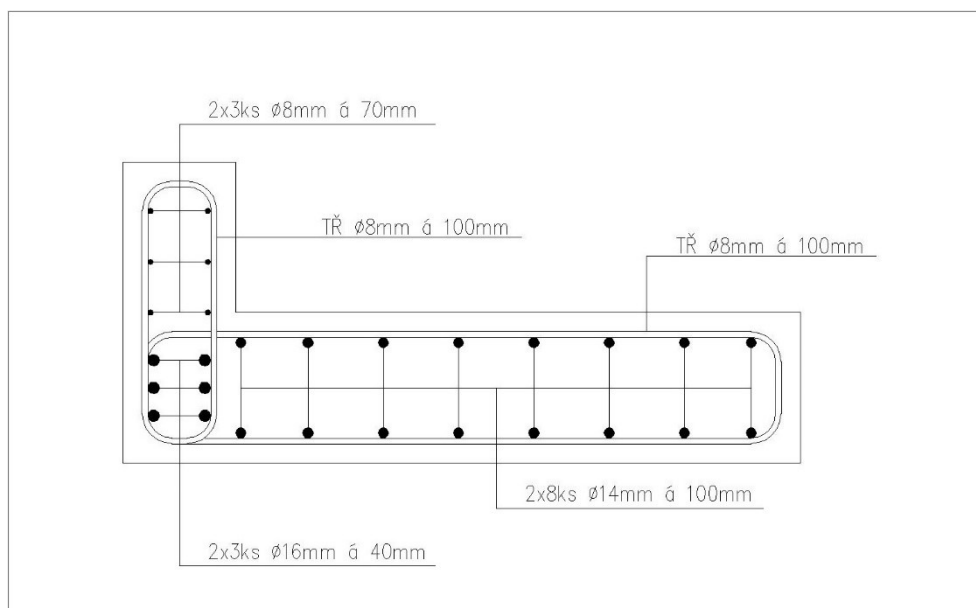
Obr. 6.6.13-1 – RC4 –  $m_{xd}$  [46]

## 6.7 Mezní stav únosnosti

### 6.7.1 Ohyb, smyk a kroucení

Na základě vypočítaných návrhových hodnot normálových a smykových napětí, respektive dimenzačních momentů z programu Scia Engineer 18.1 byla navržena výztuž lavicového nosníku. Návrh výztuže byl proveden v prostředí programu Excel. Podrobný výpočet je obsažen v **Příloze č. 4 – Návrh výztuže deskové části lavicového nosníku** a v **Příloze č. 5 – Návrh výztuže stěnové části lavicového nosníku**. Navržená výztuž je schématicky zakreslena na Obr. 6.7.1-1. Návrh výztuže je v souladu s normou ČSN EN 1991. [24]

Při návrhu výztuže ve směru osy Y (příčný směr) byla snaha průměr prutů minimalizovat. Je to z toho důvodu, že pro poměrně malé výšky desky (200 mm) a stěny (150 mm) by byl problém výztuž většího průměru správně naohýbat, tak aby ideálně obepnula výztuž podélnou a nedocházelo také k odštípení betonu v rozích. Kvůli menším profilům proto u příčné výztuže vycházejí poměrně malé rozestupy (po celém nosníku 100 mm). V oblasti podpory o tom rozhodovaly zejména vysoké ohybové momenty  $m_{yd}$ . V poli nosníku bylo naopak nutné sledovat to, aby poměrné přetvoření výztuže nepřekročilo limitní hodnotu, která je pro betonářskou výztuž B500B 5%.



Obr. 6.7.1-1 – Schéma výztuže lavicového nosníku [0]

## 6.7.2 Únava

Na fotbalových i jiných stadionech se významně střídají cykly napětí. Po většinu času se na stadionu nepořádá žádný zápas, koncert nebo jiná akce a na konstrukci působí pouze její vlastní tíha. Naopak v době konání některé ze zmiňovaných akcí zde výrazně narůstá napětí na konstrukci, a to poměrně na krátký čas. Dav diváků navíc může vytvářet určitý harmonický pohyb, například skákáním, při kterém se napětí v konstrukci mění ještě výrazněji a za krátkou dobu i v mnoha cyklech. Proto je určitě vhodné tuto výraznou změnu napětí nezanedbat a provést alespoň základní posudek. Přesná data do výpočtu jako je počet akcí na stadionu za rok, počet výskoků diváka za zápas a podobně, je ovšem těžké stanovit. Začít se tedy musí u základních posudků, které jsou na straně bezpečné a až poté dále vyhodnocovat výsledky a navrhnout náročnější, avšak přesnější řešení. Posouzení na únavu je v souladu s normou ČSN EN 1991. [24] [28], [29]

### Beton

Základní posudek pro únavu betonu z normy ČSN EN 1991-1-1 pro betony s charakteristickou pevností betonu v tlaku  $f_{ck} \leq 50$  MPa vypadá takto:

$$(\sigma_{c,max} / f_{cd,fat}) \leq 0,5 + 0,45 \times (\sigma_{c,min} / f_{cd,fat}) \leq 0,9$$

kde:

$\sigma_{c,max}$  je největší tlakové napětí v některém vláknu průřezu při časté kombinaci zatížení

$\sigma_{c,min}$  je nejmenší tlakové napětí ve stejném vláknu

$f_{cd,fat}$  je návrhová hodnota únavové pevnosti betonu

Návrhovou únavovou pevnost betonu v tlaku lze dle normy vypočítat takto:

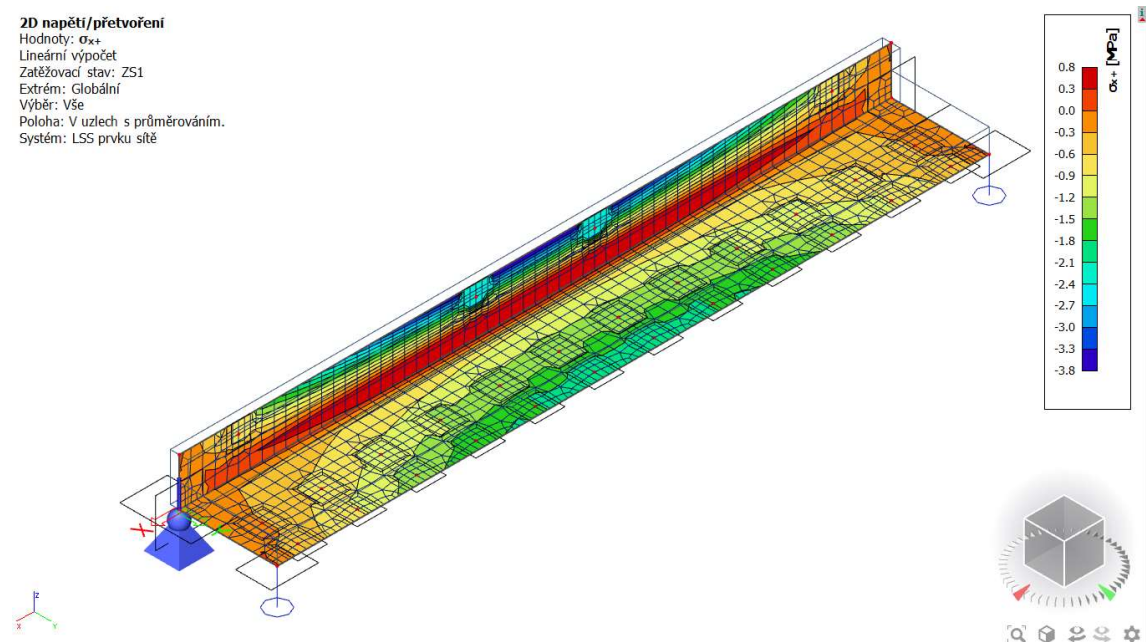
$$f_{cd,fat} = 0,85 \times \beta_{cc}(t_0) \times f_{cd} \times (1 - f_{ck} / 250)$$

$\beta_{cc}(t_0)$  je součinitel vyjadřující vliv stáří betonu při jeho prvním zatížení v čase  $t_0$

$f_{cd}$  je návrhová hodnota pevnosti betonu v tlaku

$f_{ck}$  je charakteristická hodnota pevnosti betonu v tlaku

Pro určení nejmenšího tlakového napětí  $\sigma_{c,min}$  byla použita hodnota vypočteného normálového napětí ve směru osy X na horním povrchu deskové části lavicového nosníku  $\sigma_x^+$  vzniklá od vlastní tíhy konstrukce.  $\sigma_{c,min} = 0,8 \text{ MPa}$



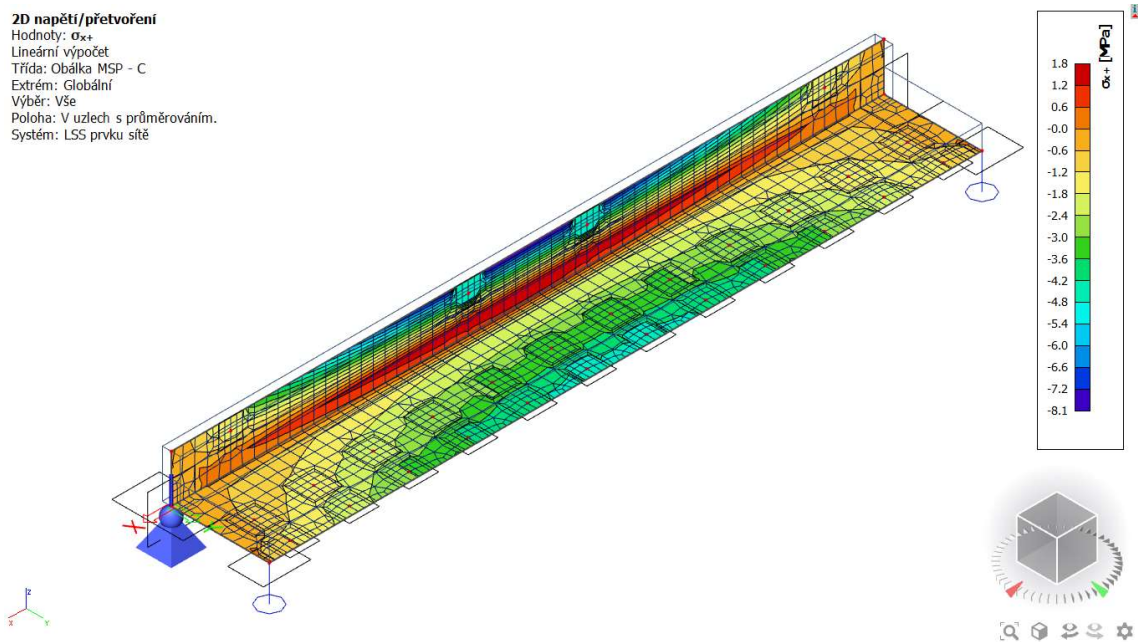
Obr. 6.7.2-1 –  $\sigma_x^+$  vzniklé při působení vlastní tíhy [46]

Pro určení největšího tlakového napětí  $\sigma_{c,max}$  byla použita hodnota vypočteného normálového napětí ve směru osy X na horním povrchu deskové části lavicového nosníku  $\sigma_x^+$  vzniklá při časté kombinaci zatížení.  $\sigma_{c,max} = 1,8 \text{ MPa}$



**2D napětí/přetvoření**

Hodnoty:  $\sigma_x$   
 Lineární výpočet  
 Třída: Obálka MSP - C  
 Extrém: Globální  
 Výběr: Vše  
 Poloha: V uzlech s průměrováním.  
 Systém: LSS prvku síť



Obr. 6.7.2-2 –  $\sigma_x^+$  od časté kombinace zatížení [46]

Pro beton C30/37 byly pro výpočet návrhové únavové pevnosti betonu v tlaku použity hodnoty návrhové pevnosti betonu v tlaku  $f_{cd} = 20 \text{ MPa}$  a charakteristické  $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ . Součinitel vyjadřující vliv stáří betonu při jeho prvním zatížení byl uvažován  $\beta_{cc}(t_0) = 1,0$ . Předpokládá se, že čas prvního cyklického zatížení bude již mít beton předepsanou pevnost.

Návrhová únavová pevnost v tlaku lavicového nosníku:

$$f_{cd,fat} = 0,85 \times \beta_{cc}(t_0) \times f_{cd} \times (1 - f_{ck} / 250)$$

$$f_{cd,fat} = 0,85 \times 1,0 \times 20 \times (1 - 30 / 250)$$

$$\underline{f_{cd,fat} = 14,96 \text{ MPa}}$$

Základní posouzení únavového namáhání betonu:

$$(\sigma_{c,max} / f_{cd,fat}) \leq 0,5 + 0,45 \times (\sigma_{c,min} / f_{cd,fat}) \leq 0,9$$

$$(1,8 / 14,96) \leq 0,5 + 0,45 \times (0,8 / 14,96) \leq 0,9$$

$$0,12 < 0,52 < 0,9$$

Beton v lavicovém nosníku na únavové namáhání **VYHOVUJE**.

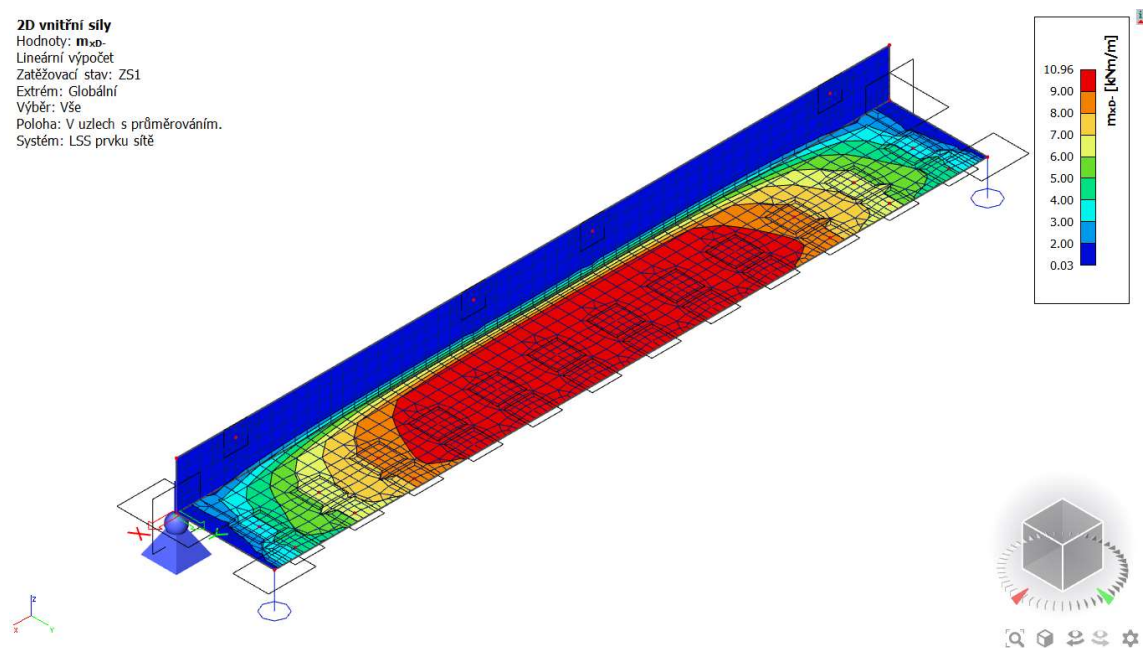
## Betonářská výztuž

Základní posouzení betonářské výztuže na únavu je metoda maximálního rozkmitu napětí ve výztuži. Do jednoduchého posouzení se uvažuje rozdíl napětí ve výztuži  $\Delta\sigma_s$  mezi základní a častou kombinací cyklického proměnného zatížení. Za základní kombinaci lze pro tento případ uvažovat zatížení vlastní tíhou.

U nesvařovaných prutů výztuže se předpokládá odpovídající únosnost v tahu, pokud zmíněný rozdíl napětí ve výztuži splňuje jednoduchou podmínku.

$$\Delta\sigma_s \leq 70 \text{ MPa}$$

Účinky zatížení od vlastní tíhy potřebné pro výpočet byly odečteny z hodnot dimenzačních momentů ve směru osy X, při dolním povrchu označené  $m_{xd}$  pro zatěžovací stav ZS1 – vlastní tíha.  $m_{xd,ZS1} = 10,96 \text{ kNm}$



Obr. 6.7.2-3 –  $m_{xd}$  vzniklý působením vlastní tíhy [46]

Potřebná hodnota dimenzačního momentu ve směru osy X při dolním povrchu  $m_{xd}$  lze odečíst z Obr. 6.6.12-1 v předchozí podkapitole 6.6 – Vnitřní síly.  $m_{xd,c} = 25,23 \text{ kNm}$

Pro výpočet napětí ve výztuži při těchto kombinacích zatížení byla použita hodnota momentu setrvačnosti ideálního průřezu s trhlinou vztaženou k jeho těžišti při krátkodobém působení  $I_{y,2,st} = 1,25 \times 10^8 \text{ mm}^4$  a výška tlačené oblasti ideálního průřezu s trhlinou při krátkodobém působení  $x_{i,2,st} = 47 \text{ mm}$ . Dále pak poměr modulů pružnosti betonářské oceli a betonu při krátkodobém působení  $\alpha_{e,st} = 6,25$ . Ty je možné nalézt

v Příloze č. 8 – Výpočet krátkodobého a dlouhodobého průhybu lavicového nosníku.

Výška deskové části lavicového nosníku je  $h_d = 200 \text{ mm}$ .

Napětí ve výztuži pro základní kombinaci:

$$\sigma_{s,zs1} = (m_{xd,zs1} / I_{y,2,st}) \times (h_d - x_{i,2,st}) \times \alpha_{e,st}$$

$$\sigma_{s,zs1} = ((10,96 \times 10^6) / (1,25 \times 10^8)) \times (200 - 47) \times 6,25$$

$$\underline{\sigma_{s,zs1} = 83,84 \text{ MPa}}$$

Napětí ve výztuži pro častou kombinaci:

$$\sigma_{s,c} = (m_{xd,c} / I_{y,2,st}) \times (h_d - x_{i,2,st}) \times \alpha_{e,st}$$

$$\sigma_{s,c} = ((25,23 \times 10^6) / (1,25 \times 10^8)) \times (200 - 47) \times 6,25$$

$$\underline{\sigma_{s,c} = 143,01 \text{ MPa}}$$

Rozdíl napětí ve výztuž mezi základní a častou kombinací zatížení.

$$\Delta\sigma_s = \sigma_{s,c} - \sigma_{s,zs1} = 143,01 - 83,84 = \underline{59,17 \text{ MPa}}$$

Základní posouzení únavového namáhání betonářské výztuže:

$$\Delta\sigma_s \leq 70 \text{ MPa}$$

$$59,17 < 70 \text{ MPa}$$

Betonářská výztuž v lavicovém nosníku na únavové namáhání **VYHOVUJE**.

## 6.8 Mezní stav použitelnosti

Výpočet dlouhodobého a krátkodobého průhybu byl zjednodušeně omezen na deskovou část lavicového nosníku. Tato část nosníku má nižší tuhost a předpokládá se zde náchylnost k většímu průhybu.

### 6.8.1 Krátkodobý průhyb

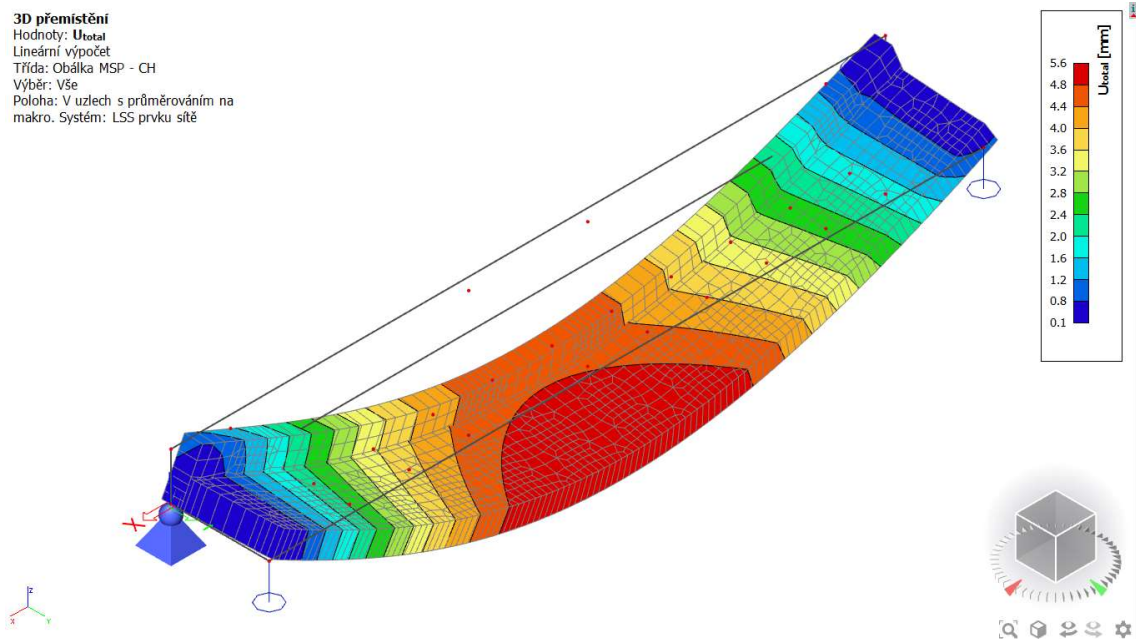
Lavicový nosník nevyhověl požadavkům na ohybovou štíhlost (viz. **Příloha č. 6 – Posouzení ohybové štíhlosti lavicového nosníku**), proto byl nutný podrobný výpočet průhybu. Pro hodnotu dimenzačního ohybového momentu ve směru osy X při kvazi-stálé kombinaci 23,19 kNm (viz. Obr. 6.6.13-1) byl vypočten krátkodobý průhyb **13,6 mm**. Požadovaný limitní průhyb určený jako 1/250 rozpětí (24 mm) byl dodržen. Hodnota ohybového momentu, při které vznikají trhliny v betonu v důsledku vyčerpání jeho pevnosti v tahu byla stanovena jako 16,11 kNm. K rozvoji těchto trhlin tedy dojde dříve, než je dosaženo kvazi-stálé kombinace zatížení. Výpočet krátkodobého průhybu a jeho limitní hodnoty je v souladu s normou ČSN EN 1991. <sup>[24], [30]</sup>

Krátkodobý průhyb byl vypočítán v programu Excel. Celý výpočet je obsažen v **Příloha č. 8 – Výpočet krátkodobého a dlouhodobého průhybu lavicového nosníku**.

### 6.8.2 Dlouhodobý průhyb

Při posuzování dlouhodobých účinků zatížení na nosník byly uvažovány běžné výrobní podmínky. První zatížení bude vneseno po 3 dnech od vybetonování. Tím je myšleno, že prvek bude odstraněn z bednění po 3 dnech tvrdnutí betonu a bude s ním nějakým způsobem manipulováno. Pro tento příklad byl určen součinitel dotvarování o velikosti  $\phi = 3$ . Postup k získání součinitele v **Příloze č. 7 – Určení součinitele dotvarování**. Uvažovaná třída cementu byla R – cement s rychlým vývojem počáteční pevnosti. V tomto případě se efektivní modul pružnosti betonu v čase 4x zmenší z hodnoty 32.000 MPa na 8.000 MPa.

Průřez oslabený trhlinou a s nižším modulem pružnosti betonu má menší tuhost a průhyb se proto z dlouhodobého hlediska zvětší na hodnotu **23,9 mm**. Limitní hodnota průhybu 24 mm (1/250 rozpětí) je splněna. Aby byla tato podmínka splněna bylo potřeba maximálně omezit průhyb od smršťování. Proto byla v deskové části lavicového nosníku navržena i horní výztuž ve stejném množství jako dolní. Výpočet dlouhodobého průhybu, jeho limitní hodnoty a určení součinitele dotvarování je v souladu s normou ČSN EN 1991. [24], [30]



Obr. 6.8.2-1 – Tvar pružné deformace lavicového nosníku [46]

## 6.9 Dynamika

### 6.9.1 Dynamika na stadionech

Dynamické zatížení je jedna z věcí, která stavby stadionu výrazně odlišuje od běžných staveb. Působení davu lidí a jeho účinků na konstrukci by se určitě měla věnovat zvýšená pozornost. Velká skupina lidí může vytvářet téměř harmonický pohyb, který může mít fatální odezvu na konstrukci. Zejména při skupinovém fandění během zápasu nebo po vstřelené brance lidé poskakují a dost často všichni zároveň. Obzvlášť velké riziko hrozí i na hudebních koncertech pravidelně pořádaných na fotbalových stadionech. Během nich se lidé nejčastěji pohybují v rytmu hudby a v průběhu koncertu se může vystřídat hned několik skladeb s různým rytmem hudby. Frekvence těchto zatížení se mohou nebezpečně přibližovat zejména první vlastní frekvenci. Kromě toho kmitání konstrukce může mít mimo jiné nepříznivé účinky na pohodu diváků i funkce jiných částí konstrukce či zařízení na stadionu. Zásadní úlohou tedy je určit první vlastní frekvenci a její příslušný první vlastní tvar. Při návrhu a posuzování nového stadionu Slavie Praha byla věnována pozornost právě první vlastní frekvenci lavicových a šikmých tribunových. Jako limitní byla nakonec stanovena frekvence 6 Hz. Kvůli tomu, že tato problematika u nás nebyla dostatečně zpracována, byl pro posouzení vlivu dynamického namáhání použit materiál z britského Institutu stavebních inženýrů. [23]

### 6.9.2 Limitní 1. vlastní frekvence

Nabízí se tedy převzít 6 Hz jako nejnižší limitní hodnotu první vlastní frekvence. Z hlediska pohybu člověka se to rovná šesti výskokům za vteřinu. Na základě vlastního pokusu byly ve třech měřeních naměřeny postupně hodnoty:

#### Měření:

1)  $22 \text{ skoků za } 11,4 \text{ sekund} = 22/11,4 = \underline{1,93 \text{ Hz}}$

2)  $27 \text{ skoků za } 12,3 \text{ sekund} = 27/12,3 = \underline{2,20 \text{ Hz}}$

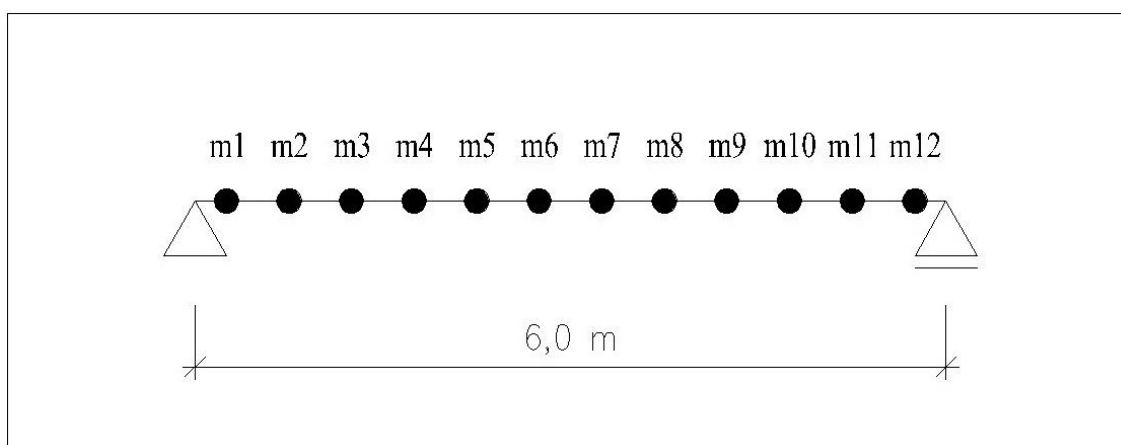
3)  $30 \text{ skoků za } 13,5 \text{ sekund} = 30/13,5 = \underline{2,22 \text{ Hz}}$

Maximální naměřená frekvence skoků byla **2,22 Hz**. Bezpečnější by tedy bylo převzít 6 Hz tolerované povolené minimum. Při pokusu byly počítány skoky „na boso“ na železobetonovém stropě s jedinou povrchovou úpravou, kterou bylo PVC s tloušťkou 2,5 mm.



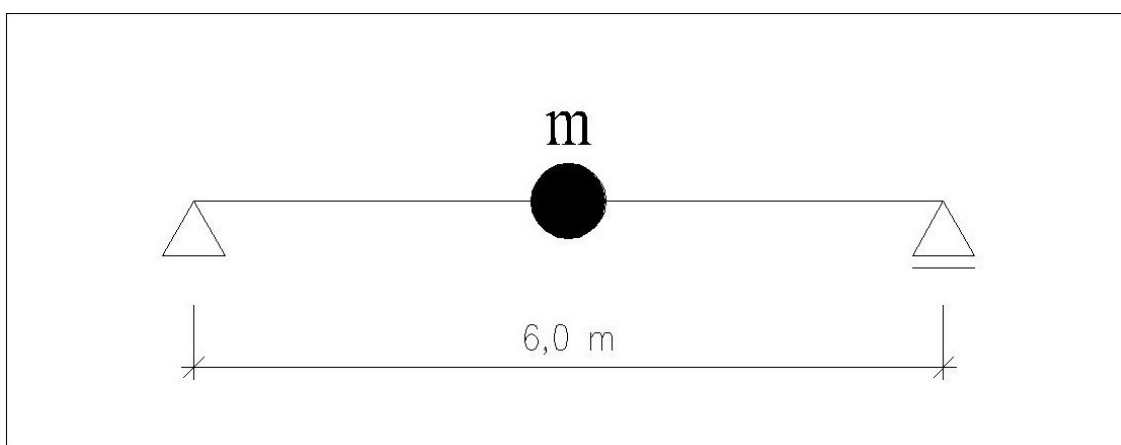
### 6.9.3 Dynamický model

Na navrženém lavicovém nosníku je reálně místo pro celkem 12 diváků. K vytvoření dynamického modelu nosníku lze každého jednoho diváka považovat za jeden hmotný bod. Konstrukce by tak měla 12 stupňů volnosti. V tomto případě by mohlo být řešení poměrně náročné na výpočet. Matice tuhosti, hmotnosti a vlastních tvarů by byly o velikosti  $12 \times 12$ . Nosník by tak mohl mít až 12 vlastních frekvencí a k nim 12 vlastních tvarů.



Obr. 6.9.3-1 – Model s 12 stupni volnosti <sup>[0]</sup>

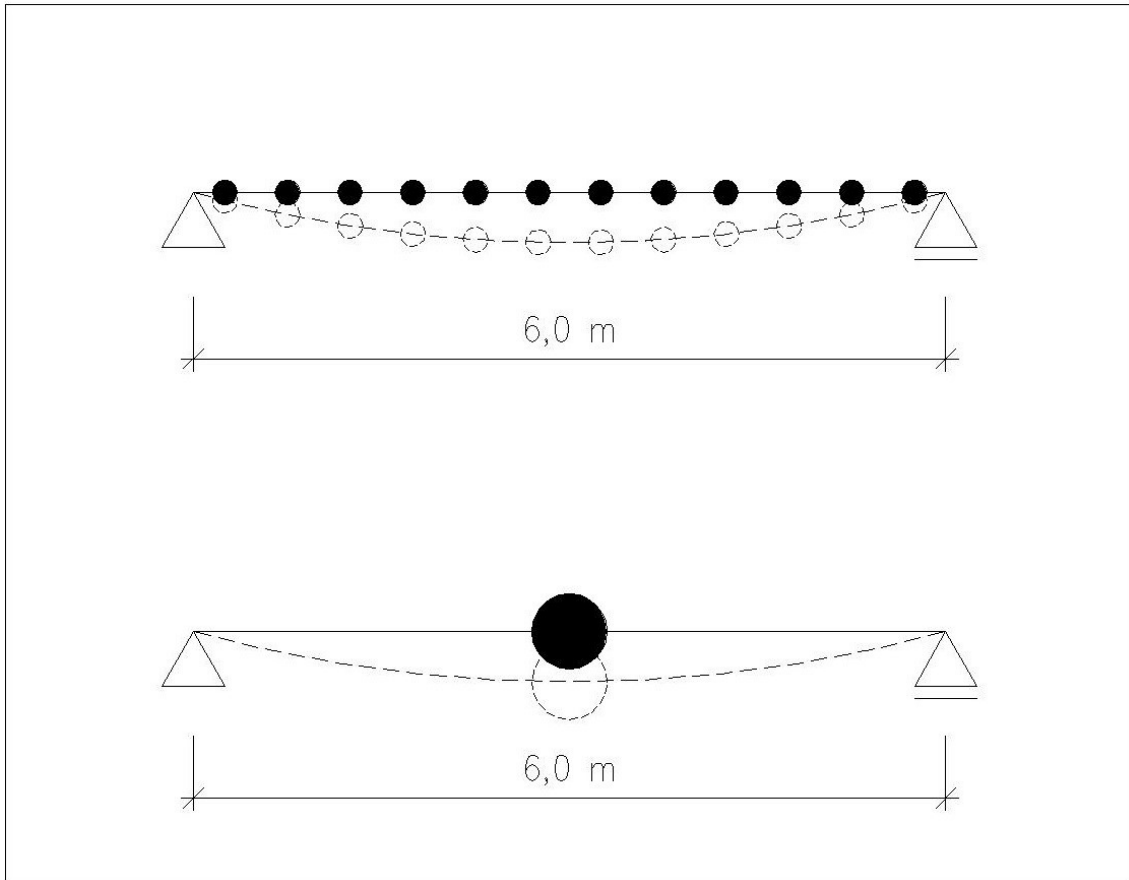
Z 12 takto vypočítaných různých frekvencí je nejdůležitější ta první (nejmenší), připadá v úvahu dynamické schéma konstrukce zjednodušit na nosník s jedním hmotným bodem – s jedním stupněm volnosti.



Obr. 6.9.3-2 – Model s 1 stupněm volnosti <sup>[0]</sup>

Při výpočtu lze předpokládat, že tvar prvního vlastního tvaru pro příslušnou první vlastní frekvenci bude velice podobný pro stejnou konstrukci s jedním nebo s 12 stupni

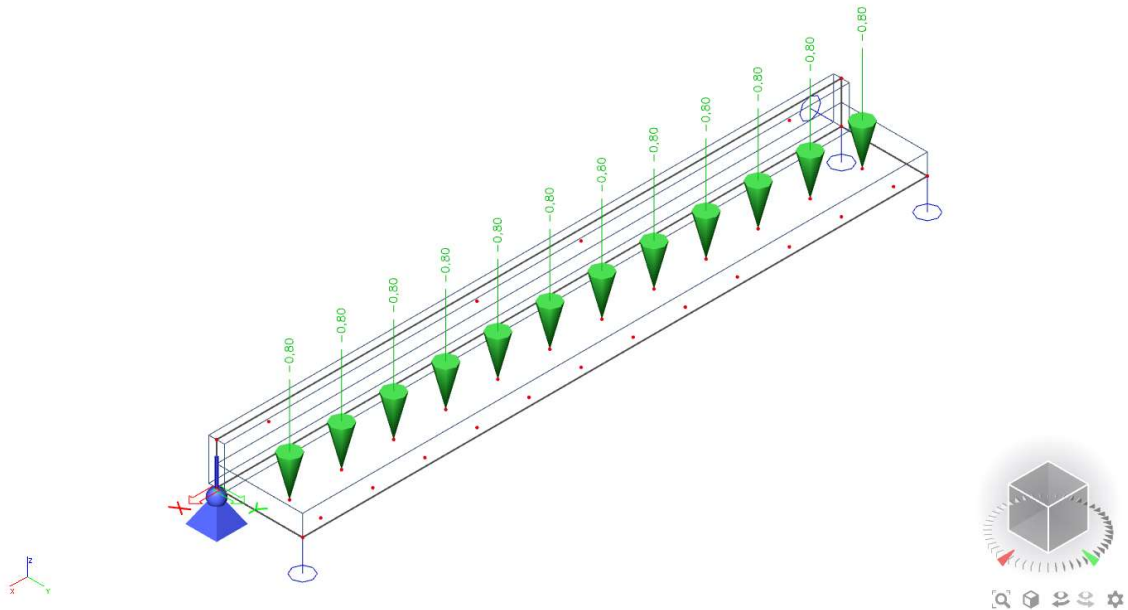
volnosti. Tento vlastní tvar by měl vzniknout ve chvíli, kdy všichni diváci skáčou stejnou frekvencí (nejmenší vlastní) a dopadají přitom na nosník vždy ve stejnou chvíli.



Obr. 6.9.3-3 – První vlastní tvary pro nosníky s různými stupni volnosti <sup>[0]</sup>

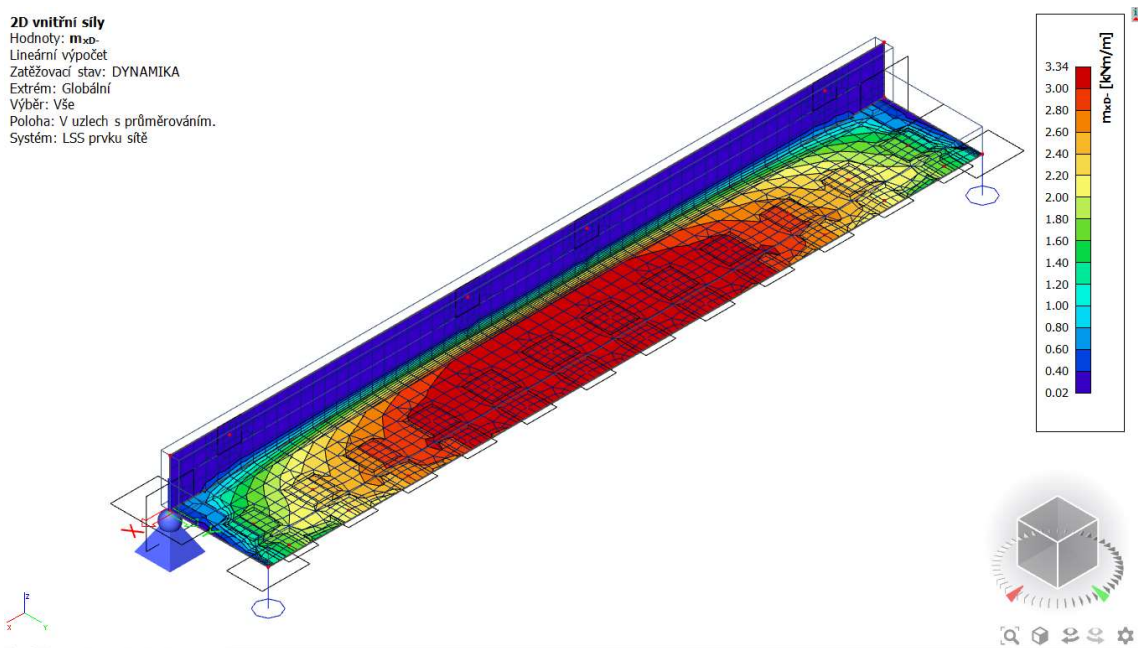
#### 6.9.4 Dynamické zatížení

Hmotnost hmotného bodu byla zvolena, tak aby vyvolával stejný ohybový moment jako 12 sil rozmístěných na nosníku reprezentujících 12 diváků. Velikost každé do výpočtu zavedené síly byla  $F_{ZSD} = 0,8 \text{ kN}$ . Tato velikost síly odpovídá zhruba průměrné váze muže. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole 6.2. – Zatížení, pro výpočty fotbalového stadionu Slavia Praha bylo použito spojitě zatížení  $1,6 \text{ kN/m}^2$ . Na lavičový nosník navržený v této práci se na každý jeden metr čtvereční vejdu 2 diváci, což odpovídá této hodnotě. <sup>[23]</sup>



Obr. 6.9.3-4 – Nosník zatížený 12 silami o velikosti 0,8 kN za každého diváka [0]

Na Obr. 6.9.3-5 jsou vidět dimenzační momenty vypočítané v programu Scia Engineer 18.1, které vznikají při tomto zatěžovacím stavu. Maximální vyvozený dimenzační moment  $M_D = 3,34 \text{ kNm}$ .



Obr. 6.9.3-5 – Dimenzační momenty pro zatěžovací stav – dynamika [0]

Výpočet náhradního zatížení diváky na prostý nosník o délce  $L = 6 \text{ m}$ :

$$M_D = (1/4) \times F_D \times L \quad \Rightarrow \quad F_D = 4M_D / L$$

$$F_D = (4 \times 3,34) / 6 = \underline{2,23 \text{ kN}}$$

Náhradní hmotnost byla dále zvětšena o hodnotu  $F_{VT} = 7,31 \text{ kN}$ , kterou představuje síla vyvolávající stejný ohybový moment jako vlastní tíha. Velikost ohybového momentu od vlastní tíhy  $M_{VT} = 10,96 \text{ kNm}$  byla již použita v přechozí kapitole 6.7.2 – Únava.

Výpočet náhradního zatížení diváky na prostý nosník o délce  $L = 6 \text{ m}$ :

$$M_{VT} = (1/4) \times F_{VT} \times L \quad \Rightarrow \quad F_{VT} = 4M_{VT} / L$$

$$F_{VT} = (4 \times 10,96) / 6 = \underline{7,31 \text{ kN}}$$

Celková hmotnost náhradního zatížení v tunách činí:

$$m = (F_D + F_{VT}) / 10 = (2,23 + 7,31) / 10 = \underline{0,954 \text{ t}}$$

### 6.9.5 Výpočet 1. vlastní frekvence

Výpočet 1. vlastní frekvence tohoto nosníku by šlo považovat za vlastní tlumené kmitání. Diferenciální rovnice tlumeného kmitání by vypadala takto: <sup>[31]</sup>

$$kw + cw' + mw'' = 0$$

kde:

$k$  – tuhost nosníku v  $\text{kN.m}^{-1}$

$w$  – výchylka (průhyb) v m

$c$  – součinitel viskózního tlumení v  $\text{kg.s}^{-1}$

$w'$  – první derivace výchylky = rychlost v  $\text{m.s}^{-1}$

$m$  – hmotnost v t (tunách)

$w''$  – druhá derivace výchylky = zrychlení v  $\text{m.s}^{-2}$

V praxi se ale vliv útlumu u běžných stavebních konstrukcí většinou zanedbává. Dle prof. Ing. Petra Štemberka, Ph.D. z Katedry betonových a zděných konstrukcí na Fakultě stavební ČVUT v Praze je často menší než 10 %. Proto je ve výpočtu zanedbán.

Diferenciální rovnice pro netlumené kmitání vypadá takto:

$$k w + m w'' = 0$$

Pro výpočet vlastního netlumeného kmitání se rovnice upravuje:

$$k \phi - \omega_0 m \phi = 0$$

$$(k - \omega_0^2 m) \phi = 0$$

kde:

$\phi$  – nenormovaná výchylka vlastního tvaru (průhyb) v m

$\omega_0$  – vlastní kruhová frekvence v  $s^{-1}$  (sekunda na mínus prvou)

Dále se hledá řešení ve tvaru:

$$\det(k - \omega_0^2 m) = 0$$

Pro konstrukci s jedním stupněm volnosti vychází matice typu (1×1) jejíž determinant je roven:

$$k - \omega_0^2 m = 0$$

$$\omega_0 = (k / m)^{1/2}$$

## Výpočet tuhosti

Tuhost prostého nosníku je rovna

$$k = (48 \times E \times I) / L^3$$

kde:

$E$  – modul pružnosti nosníku v kPa

$I$  – moment setrvačnosti průřezu nosníku v  $m^4$

$L$  – délka nosníku v m

Pro výpočet tuhosti lavicového nosníku  $k$ , byl použit efektivní modul pružnosti betonu pro krátkodobé působení  $E_{c,eff,st} = 32.000 \text{ MPa}$ , moment setrvačnosti ideálního průřezu s trhlinou vztaženou k jeho těžišti při dlouhodobém působení  $I_{y,2,st} = 1,25 \times 10^8 \text{ mm}^4$ .

Které lze nalézt v **Příloze č. 8 – Výpočet krátkodobého a dlouhodobého průhybu lavicového nosníku**. Délka lavicového nosníku byla navržena  $L = 6 \text{ m}$ .

Tuhost lavicového nosníku:

$$k = (48 \times E \times I) / L^3 = (48 \times 32.000 \times 10^3 \times 1,25 \times 10^8 \times 10^{-12}) / 6^3 = \underline{888,89 \text{ kN/m}}$$

**Výpočet 1. vlastní frekvence:**

$$\omega_{0,1} = (k/m)^{1/2} = (888,89 / 0,954)^{1/2} = \underline{30,52 \text{ s}^{-1}}$$

Vypočítanou 1. vlastní kruhovou frekvenci  $\omega_0$  je dále nutné převést na 1. vlastní frekvenci  $f_1$ :<sup>[31]</sup>

$$\omega_0 = 2 \times \pi \times f \quad \Rightarrow \quad f = \omega_0 / (2 \times \pi)$$

$$f_1 = \omega_{0,1} / (2 \times \pi) = 30,52 / (2 \times \pi) = \underline{4,85 \text{ Hz}}$$

Vypočítaná 1. vlastní je nižší než 6 Hz, které byly určeny jako limitní hodnota při návrhu stadionu Slavie Praha. Nicméně podle dat získaných z vlastního měření, při kterém byla naměřena maximální hodnota 2,22 Hz, lze téměř vyloučit, že by bylo možné dosáhnout takovéto frekvence 6 Hz. To odpovídá těžko představitelným šesti skokům za sekundu. Proto tedy lze za bezpečnou limitní hodnotu považovat frekvenci  $f_{lim} = 3 \text{ Hz}$ .

**Vypočítaná 1. vlastní frekvence lavicového nosníku  $f_1 = 4,85 \text{ Hz}$  je VYHOVUJÍCÍ.**

### 6.9.6 Výpočet dynamického součinitele

Pro vypočítanou 1. vlastní frekvenci lavicového nosníku  $f_1 = 4,85 \text{ Hz}$  a limitní frekvenci a určenou limitní hodnotu vlastní frekvence  $f_{lim} = 3 \text{ Hz}$  lze dále pro porovnání účinků zatížení vypočítat dynamický součinitel  $\delta_D$ .

$$\delta = 1 / (1 - (\omega_{lim} / \omega_{0,1})^2)$$

Pro výpočet je nutné převést limitní frekvenci  $f_{lim}$  na kruhovou limitní frekvenci  $\omega_{lim}$ .

$$\omega_{lim} = 2 \times \pi \times f_{lim} = 2 \times \pi \times 3 = \underline{18,85 \text{ s}^{-1}}$$



### Výpočet dynamického součinitele:

$$\delta_D = 1/(1-(\omega_{lim} / \omega_{0,1})^2) = 1/(1-(18,85 / 30,52)^2) = \underline{1,62}$$

### Zjednodušené posouzení dynamických účinnů zatížení:

Pro zjištění dynamických účinnů zatížení byly uvažovány síly o velikosti  $F_{ZSD} = 0,8$  kN na každého jednoho diváka. Pokud tuto sílu vynásobíme dynamickým součinitelem  $\delta_D$ , dostaneme hodnotu náhradní síly, která zahrnuje vliv statických i dynamických účinnů zatížení pro tento zatěžovací stav.

$$F_{D+S} = F \times \delta_D = 0,8 \times 1,62 = \underline{1,296 \text{ kN}} \quad < \quad F_{CH} = 4,5 \text{ kN}$$

Toto zatížení je výrazně menší než zatížení, které bylo použito pro statické posudky. Lavicový nosník není tedy nutné dále přeposuzovat. Ve statických posudcích se počítalo s charakteristickými hodnotami sil o velikosti  $F_{CH} = 4,5$  kN za každého jednoho diváka, které se nacházejí v normě ČSN EN 1991-1-1. Z toho lze odvodit, že ve velikosti těchto sil může být již pro základní návrh dynamický součinitel s dostatečnou rezervou zahrnutý. Je však vhodné účinky dynamického zatížení ověřit.

## 7. Závěr

Velkým zdrojem inspirace pro tuto práci byly informace a zkušenosti od lidí, kteří se podíleli na návrhu našeho největšího a nejmodernějšího stadionu v Edenu. Tyto informace byly získány z různých odborných časopisů, zejména z časopisu Stavebnictví.

V úvodu práce byl vypracován přehled hlavních návrhových požadavků na stadiony a jejich konstrukce. Dále pak rozdělení konstrukcí tribun podle tvaru, materiálu a způsobu jejich zastřešení. Proveden byl průzkum českých fotbalových stadionů a jejich porovnání se slovenskými.

Schématicky byl navržen základní tvar univerzálního výseku tribuny, ze kterého je možno celý stadion poskládat, včetně jeho ztužení a možného zastřešení.

Hlavní náplní práce byl návrh lavicového nosníku z prefabrikovaného železobetonu, který je pro konstrukce tribun fotbalových i jiných stadionů typický. V práci se podrobně zkoumala různá zatížení nosníku, na které byl poté nadimenzován.

Postupně byl posouzen mezní stav únosnosti, v rámci kterého byla posouzena navržená výztuž na účinky normálových a smykových napětí, respektive dimenzačních momentů s vlivem kroucení. V rámci tohoto mezního stavu byla pozornost věnována také namáhání nosníku na únavu. Pro tento případ namáhání nosník vyhověl na základní požadavky uvedené v normě a nebylo třeba využít složitější metody.

V mezním stavu použitelnosti byl posouzen průhyb nosníku. Kromě krátkodobého i ten dlouhodobý, pro jehož výpočet se uvažoval vliv vzniku trhlin, dotvarování i smršťování. Dlouhodobý průhyb vyšel pro běžné výrobní podmínky 23,9 mm a jen těsně vyhověl limitní hodnotě 24 mm. Aby vyhověl, bylo nutné navrhnout horní výztuž v deskové části nosníku ve stejném množství jako dolní. Díky tomu se podařilo eliminovat průhyb od smršťování.

Nakonec byl nosník posouzen na dynamické zatížení se zaměřením na hledání první vlastní frekvence, která může být rozhodující pro bezpečnost konstrukce i pohodlí diváků. Vypočítaná vlastní frekvence (4,85 Hz) vyšla dostatečně vyšší než frekvence, která byla uvažována jako maximální přípustná. K získání limitní hodnoty bylo třeba provést vlastní pokus, který spočíval v měření počtu skoků za časový úsek. Z tohoto měření byla následně limitní hodnota 3 Hz odvozena.

Pro velký rozsah práce nebyly již jiné dílce podrobněji posuzovány.

Hlavním výsledkem práce je komplexní návrh lavicového nosníku. Získané cenné zkušenosti a znalosti s jeho návrhem lze v budoucnu určitě aplikovat v praxi. I když se stavby velkých fotbalových stadionů nestaví příliš často, menší tribuny nebo hlediště, kde se také používají lavicové nosníky, jsou mnohem běžnější a existuje větší šance se s jejich návrhem setkat.

## Literatura a odkazy

- [0] vlastní
- [1] <https://www.cs.wikipedia.org>
- Pojmy: Stadion krále Badouina; Hillsborough Stadium; Wembley Stadium; White Hart Lane; Městský stadion v Ostravě-Vítkovicích; Wanda Metropolitano; Stade Bollaert-Delelis; PGE Arena; Camp Nou; Allianz Arena; Olympiastadion Berlín; Stadio Olimpico; Sinobo stadium; Andrův stadion; Stadion Na Stínadlech; Stadion Sparty na Letné; 1. SC Znojmo FK; FK Varnsdorf; Mistrovství Evropy ve fotbale hráčů do 21 let 2015; Superpohár UEFA 2013; Fotbalový stadion Za Lužánkami; Československá fotbalová reprezentace; Česká fotbalová reprezentace; Slovenská fotbalová reprezentace; Štadión pod Čebraťom; City Arena Trnava; Štadión pod Zoborom; MOL Aréna; Národný futbalový štadión; PGE Arena
- [2] [https://www.idnes.cz/fotbal/prvni-liga/na-sparte-se-v-roce-1962-povolila-fotbalova-branka.A131113\\_222555\\_fotbal\\_ot](https://www.idnes.cz/fotbal/prvni-liga/na-sparte-se-v-roce-1962-povolila-fotbalova-branka.A131113_222555_fotbal_ot)
- [3] <https://www.sport.cz/fotbal/serie-a/clanek/901208-tohle-je-krok-do-budoucnosti-chlubi-se-juventus-tesit-se-muze-i-nedved.html>
- [4] ČSN EN 13200-1 Zařízení pro diváky – Část 1: Obecné charakteristiky prostorů pro diváky
- [5] [https://www.idnes.cz/zpravy/domaci/rok-2003-zmeni-tvar-fotbalu-v-praze.A011114\\_095923\\_praha\\_sport\\_ton](https://www.idnes.cz/zpravy/domaci/rok-2003-zmeni-tvar-fotbalu-v-praze.A011114_095923_praha_sport_ton)
- [6] <https://www.denik.cz/fotbal/o-vyjimku-v-projektu-stadiony--zadaji-ctyri-kluby.html>
- [7] <https://www.sport.cz/fotbal/synot-liga/clanek/997213-potvrzeno-opava-se-do-prvni-ligy-vrati-v-brnenskem-azylu.html>
- [8] <https://www.eurofotbal.cz/clanky/premieri-cr-a-sr-poradani-euro-2020-podporime-39315/>
- [9] <https://sport.aktualne.cz/fotbal/narodni-stadion-nebude-pelta-strahov-proda-kupci-by-byli-ale/r~c2a4ec081e2711e7afda0025900fea04/?redirected=1558173759>
- [10] [https://www.idnes.cz/fotbal/reprezentace/bude-narodni-stadion-stat-ve-stodulkach.A051128\\_184547\\_fot\\_reprez\\_mn](https://www.idnes.cz/fotbal/reprezentace/bude-narodni-stadion-stat-ve-stodulkach.A051128_184547_fot_reprez_mn)
- [11] [https://www.idnes.cz/fotbal/reprezentace/narodni-stadion-by-mohl-stat-ve-vysocanech.A060407\\_170139\\_fot\\_reprez\\_min](https://www.idnes.cz/fotbal/reprezentace/narodni-stadion-by-mohl-stat-ve-vysocanech.A060407_170139_fot_reprez_min)
- [12] [https://www.idnes.cz/fotbal/reprezentace/narodni-fotbalovy-stadion-bude-na-letne.A060517\\_125408\\_fot\\_reprez\\_ber](https://www.idnes.cz/fotbal/reprezentace/narodni-fotbalovy-stadion-bude-na-letne.A060517_125408_fot_reprez_ber)
- [13] [https://www.idnes.cz/brno/zpravy/narodni-stadion-v-brne-prestavba-luzanek-je-hra-o-dve-miliardy.A120331\\_1757054\\_brno-zpravy\\_bor](https://www.idnes.cz/brno/zpravy/narodni-stadion-v-brne-prestavba-luzanek-je-hra-o-dve-miliardy.A120331_1757054_brno-zpravy_bor)

- [14] [https://www.idnes.cz/fotbal/prvni-liga/cefc-ziska-stadion-v-edenu-pocita-s-jeho-rekonstrukci.A160330\\_162423\\_fotbal\\_pes](https://www.idnes.cz/fotbal/prvni-liga/cefc-ziska-stadion-v-edenu-pocita-s-jeho-rekonstrukci.A160330_162423_fotbal_pes)
- [15] <http://www.gol.cz/clanky/priority-cesko-cinske-fotbalove-spoluprace>
- [16] [https://www.irozhlas.cz/sport\\_fotbal/predseda-uefa-michel-platini-otevrel-nove-sidlo-facr-ma-sin-slavy\\_201506301959\\_phasek](https://www.irozhlas.cz/sport_fotbal/predseda-uefa-michel-platini-otevrel-nove-sidlo-facr-ma-sin-slavy_201506301959_phasek)
- [17] [https://brnensky.denik.cz/fotbal\\_region/veril-jsem-ted-se-bojim-ze-stadion-za-luzankami-nikdy-nebude-mrzi-svancar-20190114.html](https://brnensky.denik.cz/fotbal_region/veril-jsem-ted-se-bojim-ze-stadion-za-luzankami-nikdy-nebude-mrzi-svancar-20190114.html)
- [18] <https://www.brnenskadrba.cz/zpravy/spolecnost/8912-novy-stadion-za-luzankami-ziskal-eia-stavet-se-ma-pristi-rok.html>
- [19] <https://ct24.ceskatelevize.cz/regiony/2660504-tendr-na-fotbalovy-stadion-je-rizikovy-boji-se-nove-vedeni-hradce-kralove-a-chce-ho>
- [20] <https://zpravy.hrdeckralove.cz/vedeni-hradce-vypise-nove-vyberove-rizeni-na-stavbu-fotbaloveho-stadionu-42096/>
- [21] <http://www.european-football-statistics.co.uk/attn.htm>
- [22] <https://profutbal.sk/clanok/230820-permanentky-na-tehelne-pole-su-uz-dostupne-pre-vsetkych>
- [23] Časopis stavebnictví; 06-07/08
- [24] ČSN EN 1992-1-1 ed. 2 – Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [25] <http://www.rieder.cz/produkty/atypicke-prefabrikovane-prvky/prvky-tribuny.php>
- [26] ČSN EN 1991-1-1 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb.
- [27] ČSN EN 1991-1-5 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou
- [28] Ocelové konstrukce, Tabulky; Sokol, Wald; ČVUT v Praze; Praha; 2019
- [29] Úvod do problematiky dynamiky betonových konstrukcí; Bílý, Tipka; ČVUT v Praze; Praha; 2012
- [30] Betonové konstrukce 3, Navrhování betonových konstrukcí na MSP, úvod do předpjatého betonu; ČVUT; Foglar, Frantová, Jiříček; ČVUT v Praze; Praha; 2011
- [31] Dynamika stavebních konstrukcí, Řešené příklady; ČVUT v Praze; Praha; 2018
- [32] [https://en.wikipedia.org/wiki/Tottenham\\_Hotspur\\_Stadium#/media/File:New\\_White\\_Hart\\_Lane\\_from\\_above\\_2017-05.\\_trimmed\\_2.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Tottenham_Hotspur_Stadium#/media/File:New_White_Hart_Lane_from_above_2017-05._trimmed_2.jpg)
- [33] <http://www.fotbalovestadiony.cz/mestsky-stadion-vitkovice>

- [34] <https://assets.master-builders-solutions.basf.com/sk-sk/stadion-fc-vysocina-jihlava-teaser.jpg>
- [35] <http://www.psj.cz/stadion-fc-vysocina-jihlava-i-etapa-vystavby.html>
- [36] <http://www.fotbalovestadiony.cz/andruv-stadion>
- [37] <http://www.hochtief.cz/galerie/praha-eden-arena-stadion-sk-slavia-praha>
- [38] [https://www.idnes.cz/technet/reportaze/unikatni-fotoreportaz-jak-se-stavi-novy-fotbalovy-stadion-slavie.A071117\\_180521\\_tec\\_cteni\\_rja/foto/nejprohlizenejsi](https://www.idnes.cz/technet/reportaze/unikatni-fotoreportaz-jak-se-stavi-novy-fotbalovy-stadion-slavie.A071117_180521_tec_cteni_rja/foto/nejprohlizenejsi)
- [39] [https://as01.epimg.net/futbol/imagenes/2018/02/20/portada/1519135317\\_219577\\_1519135696\\_noticia\\_normal.jpg](https://as01.epimg.net/futbol/imagenes/2018/02/20/portada/1519135317_219577_1519135696_noticia_normal.jpg)
- [40] [http://stadiumdb.com/stadiums/fra/stade\\_felix\\_bollaert](http://stadiumdb.com/stadiums/fra/stade_felix_bollaert)
- [41] <https://www.om.net/en/news/206275/velodrome-best-stadium-france>
- [42] <https://www.i24news.tv/fr/actu/sport/113399-160515-angleterre-manchester-united-bournemouth-annule-un-colis-suspect-decouvert>
- [43] [https://en.wikipedia.org/wiki/Stadion\\_Energa\\_Gda%C5%84sk#/media/File:PGE\\_Arena\\_outside.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Stadion_Energa_Gda%C5%84sk#/media/File:PGE_Arena_outside.jpg)
- [44] <https://www.detail-online.com/article/floating-amber-pge-arena-gdansk-16625/>
- [45] <https://www.thedrum.com/news/2015/12/01/barcelonas-camp-nou-sponsorship-deal-moves-forward-van-wagner-partnership>
- [46] výstupy z programu Scia Engineer 18.1
- [47] Úvodní přednáška k prefabrikovaným konstrukcím; Witzany, Čejka; ZS 2016/2017
- [48] <https://www.halfen.com/~mi/135/48/hta-ce-52-34-a4-kennz.jpg>
- [49] <https://i2-prod.mirror.co.uk/incoming/article8720265.ece/ALTERNATES/s1227b/Hull-City-v-Manchester-United.jpg>

Všechny použité normy a internetové odkazy jsou aktuální k datu 19.5.2019.



## **Seznam příloh**

**Příloha č. 1 – Přehled českých fotbalových stadionů**

**Příloha č. 2 – Schématické výkresy**

**Příloha č. 3 – Návrh třídy prostředí a minimální krycí vrstvy lavicového nosníku**

**Příloha č. 4 – Návrh výztuže deskové části lavicového nosníku**

**Příloha č. 5 – Návrh výztuže stěnové části lavicového nosníku**

**Příloha č. 6 – Posouzení ohybové štíhlosti lavicového nosníku**

**Příloha č. 7 – Určení součinitele dotvarování**

**Příloha č. 8 – Výpočet krátkodobého a dlouhodobého průhybu lavicového nosníku**

## Příloha č. 1 - Přehled českých fotbalových stadionů

Pořadí	Název	Město	Klub	Liga <sup>1)</sup>	Kapacita <sup>2)</sup>	Průměrná návštěvnost v soutěži <sup>3)</sup>	Využití kapacity	Rok výstavby	Poslední přístavba / rekonstrukce tribun	Materiál tribun	Atletická dráha	Výstavba
1	Sinobo Stadium (Eden)	Praha	SK Slavia Praha	1	19370	12431	0,64	2008	-	ŽB	NE	
2	Generali Arena (Letná)	Praha	AC Sparta Praha	1	18887	11392	0,60	1936	1994	ŽB / ŽB + O	NE	HT 1936; S, V a J - 1969; kompletní rekonstrukce - 1994
3	Na Stínadlech	Teplice	FK Teplice	1	18221	4437	0,24	1973	-	ŽB	NE	
4	Městský stadion v Ostravě-Vítkovicích	Ostrava	FC Baník Ostrava MFK Vítkovice	1 / 2	15123	7889 / ????	0,52 / ???	1938	2012	ŽB + O	ANO	HT - 1938; S, V a J - 2012
5	Andrův stadion	Olomouc	SK Sigma Olomouc	1	12464	5337	0,43	1977	2010	ŽB	NE	HT - 1977; V - 1985; S - 2000; J - 2010
6	Doosan Arena (Stadion ve Štruncových sadech)	Plzeň	FC Viktoria Plzeň	1	11700	9576	0,82	1955	2013	ŽB	NE	HT - 1955; S, V a J - 2013; Věže - 2016
7	Městský fotbalový stadion Srbská	Brno	FC Zbrojovka Brno	2 (1)	10200	4335	0,43	1949	2001	ŽB?	NE	kompletní rekonstrukce - 2001
8	U Nisy	Liberec	FC Slovan Liberec	1	9900	4993	0,50	1933	2001	ŽB + O	NE	HT rozšířena - 1995; V a Z - 1998; S - 2001
9	Na Litavce (Energon Aréna)	Příbram	1. FK Příbram	1 (2)	9100	????	???	1955	2003	ŽB + O	NE	nová Z a V - 1980; S - 2003
10	Juliska	Praha	FK Dukla Praha	1	8150	2813	0,35	1960	2012	ŽB	ANO	přestavba HT - 1975; kompletní rekonstrukce HT - 2012
11	Městský fotbalový stadion Miroslava Valenty	Uherské Hradiště	1. FC Slovácko	1	8000	4495	0,56	1980	2003	ŽB / ŽB + O	NE	nová HT - 1980; S, V a J - 2003
12	Městský stadion Opava	Opava	SFC Opava	1 (2)	7550	????	???	1973	-	ŽB + O	NE	
13	Všesportovní stadion	Hradec Králové	FC Hradec Králové	2	7000	????	???	1960	-	ŽB v terénu	NE	
14	Fotbalový stadion Střelecký ostrov	České Budějovice	SK Dynamo České Budějovice	2	6681	????	???	1940	2006	ŽB / ŽB + O	NE	HT - 1972; rekonstrukce HT - 2003; V a J - 2003; S - 2006
15	Letná	Zlín	FC Fastav Zlín	1	6375	4185	0,66	????	????	ŽB / ŽB + O	NE	
16	Střelnice	Jablonec nad Nisou	FK Jablonec	1	6108	3230	0,53	1955	2006	ŽB / ŽB + O	NE	HT - 1955; přestavba HT - 2006; S - 1965; rekonstrukce S - 2003; J - 2004
17	Stadion FK Viktoria Žižkov	Praha	FK Viktoria Žižkov	2	5334	????	???	1952	2007	ŽB / ŽB + O	NE	V - 2007
18	Městský stadion Mladá Boleslav	Mladá Boleslav	FK Mladá Boleslav	1	5000	2884	0,58	1965	2002	ŽB + O	NE	Z, J a V - 2002
19	Ďolíček	Praha	Bohemian Praha 1905	1	5000	4117	0,82	1932	2007	ŽB / ŽB + O	NE	HT - 1932; nová HT - 1970; rekonstrukce HT - 2007; S - 1940
20	Městský stadion Karviná	Karviná	MFK Karviná	1	4833	3554	0,74	1969	2016	ŽB / ŽB + O	NE	HT - 1969; S, V a J - 2016
21	Letní stadion	Chomutov	FC Chomutov	4	4800	????	???	2012	-	ŽB + O	NE	
22	Stadion v Jiráskově ulici	Jihlava	FC Vysočina Jihlava	2 (1)	4500	3066	0,68	1955	2006	ŽB + O	NE	HT - 1975; S - 2006

HT - Hlavní tribuna, S - severní tribuna, V - východní tribuna, J - jižní tribuna, Z - západní tribuna

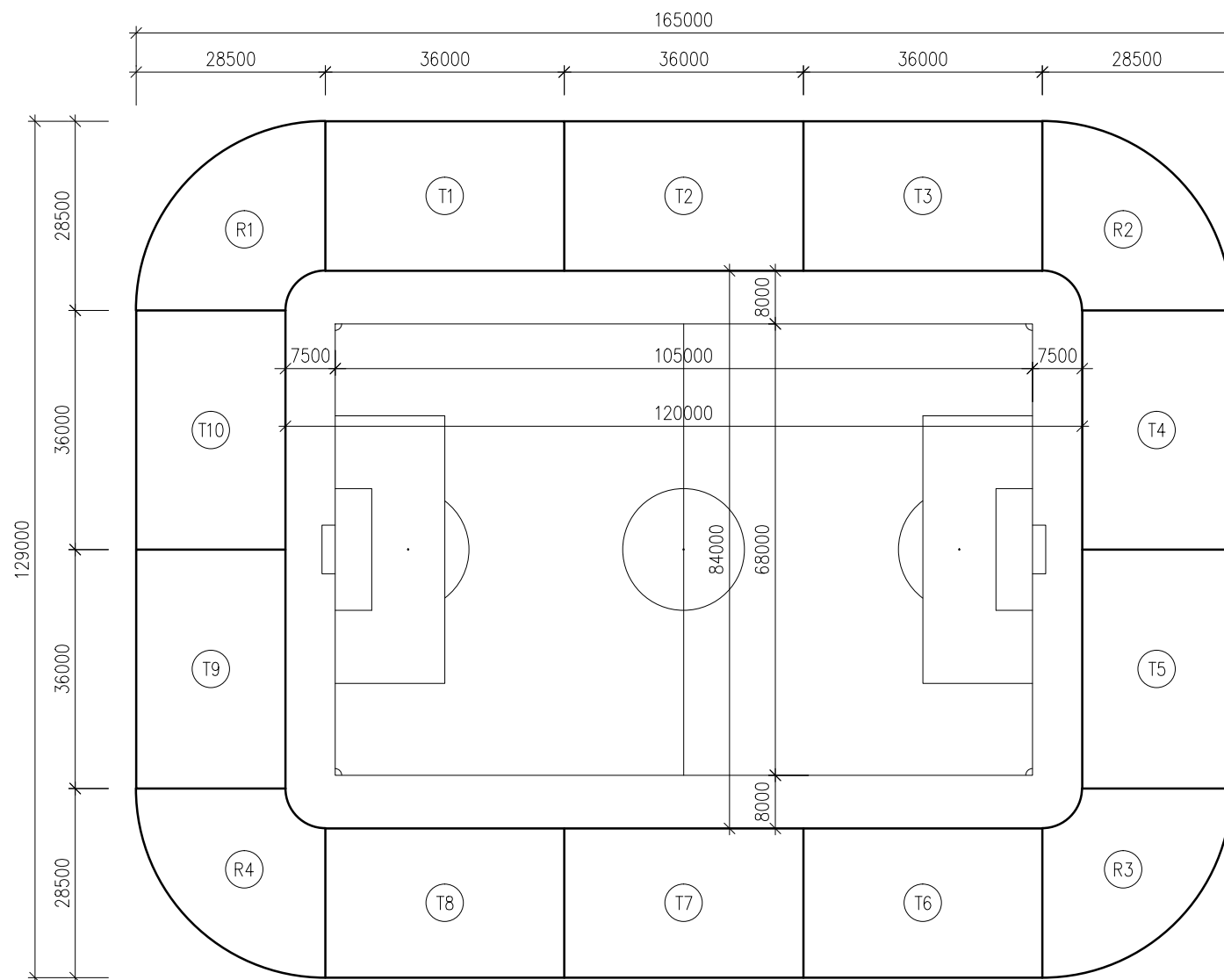
<sup>1)</sup> První číslo znamená ligu, kterou klub hraje v aktuální sezóně 2018/2019. Číslo v závorce znamená ligu, kterou klub hrál v předchozí sezóně 2017/2018.

<sup>2)</sup> Kapacitou se myslí pouze místa na stadionu určená k sezení

<sup>3)</sup> Průměrná návštěvnost z předchozí sezóny 2017/2018. Aktuální sezóna 2018/2019 zatím nebyla dokončena a údaje by tak mohly být zkrácené.

Pozn. Pro 2. nejvyšší soutěž se oficiální statistiky návštěvnosti nevedou

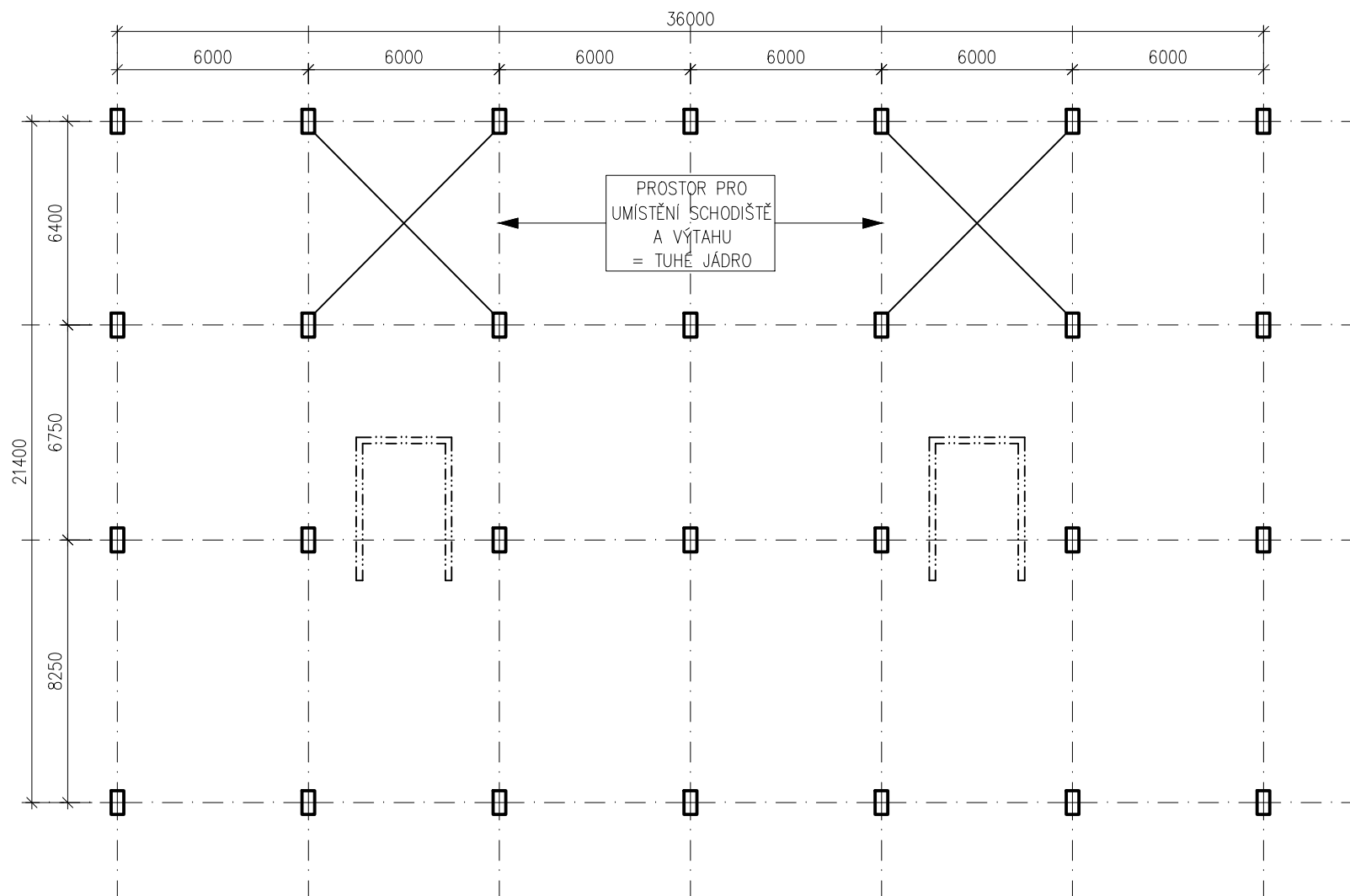
Příloha č. 2 - Schématické výkresy  
Schéma stadionu, M1:1000



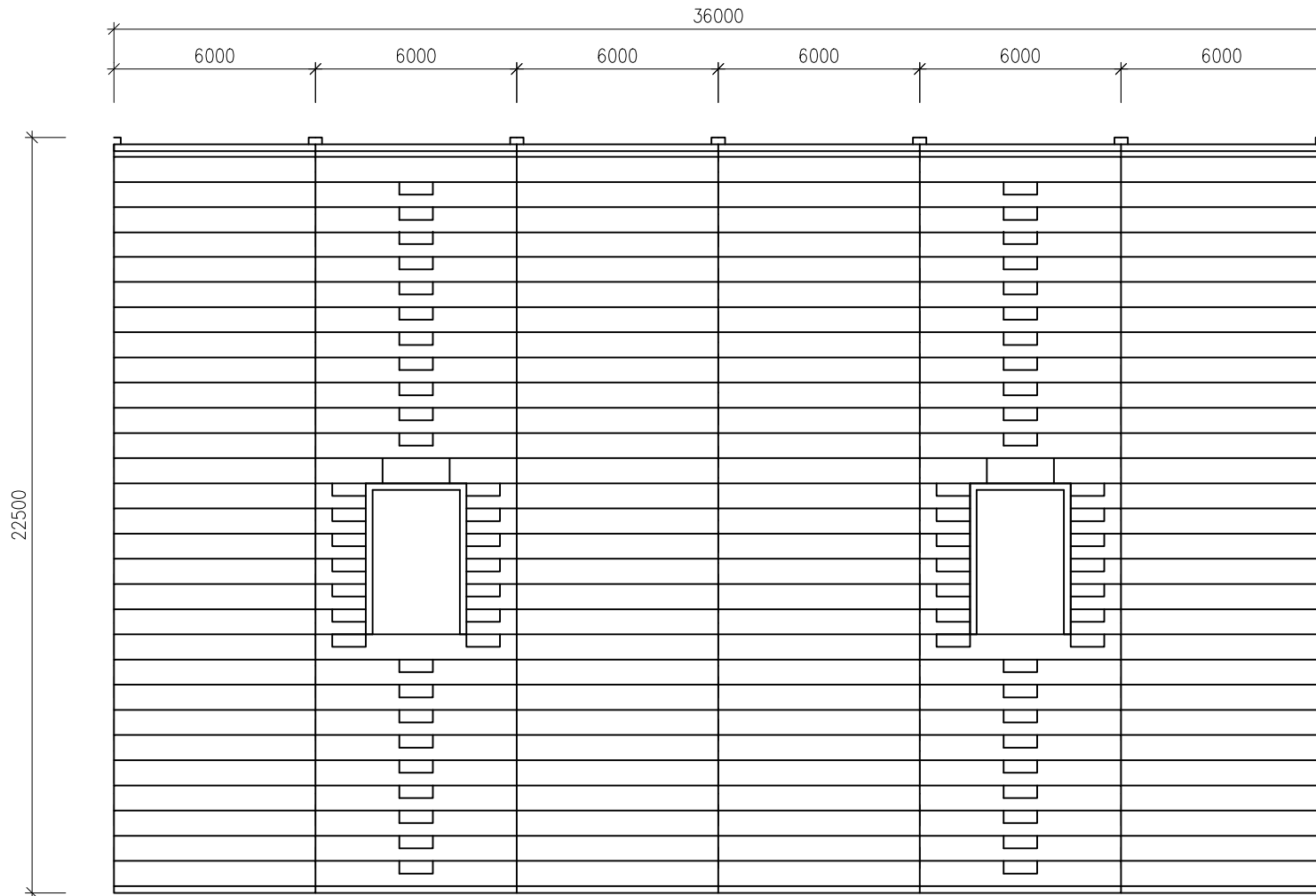
### LEGENDA TRIBUN

- ⊙ T NAVRŽENÝ ÚSEK TRIBUNY
- ⊙ R ROHOVÁ TRIBUNA / VĚŽ

Příloha č. 2 - Schématické výkresy  
Schéma rastru dilatačního celku, M1:200



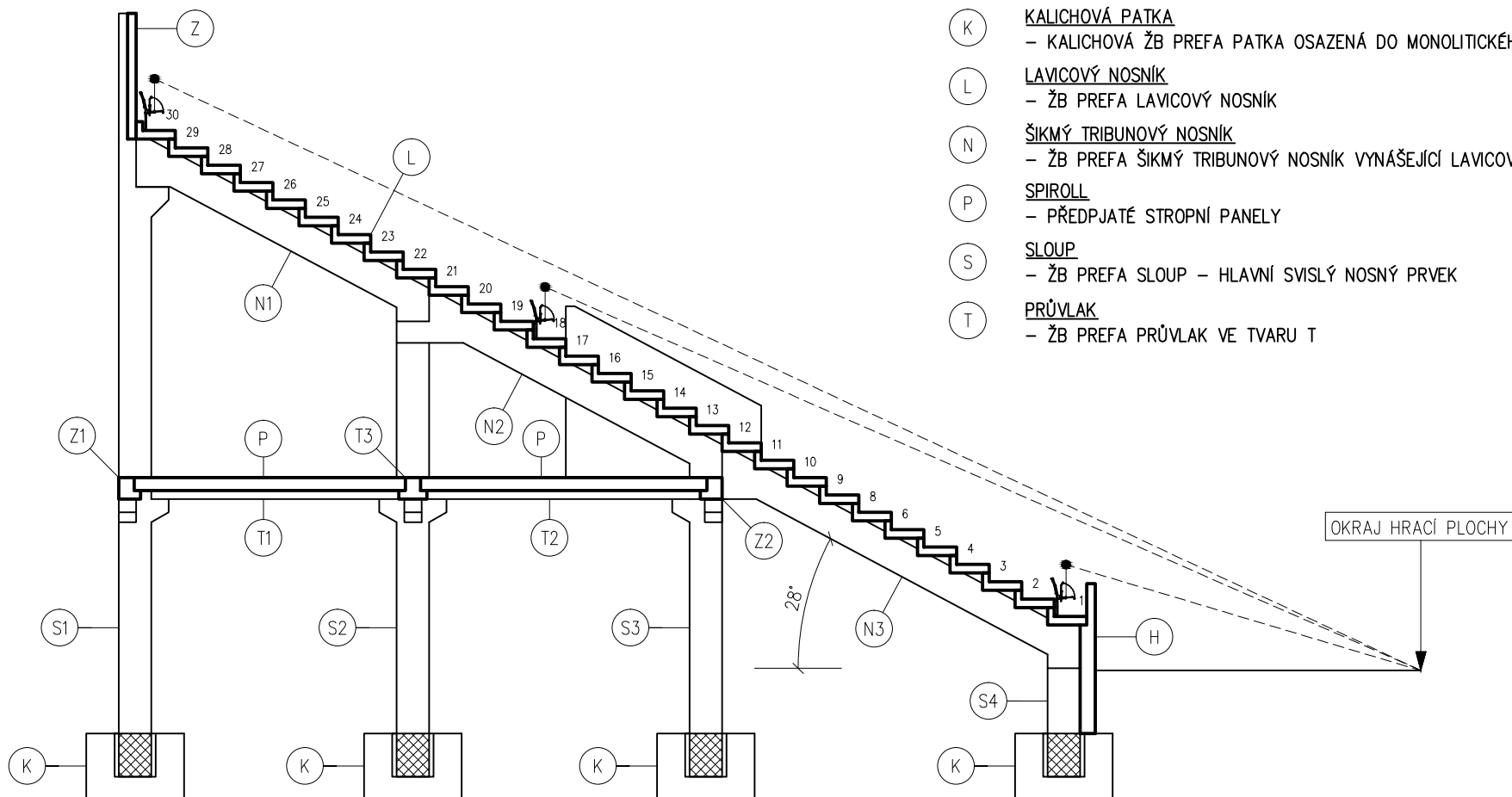
Příloha č. 2 - Schématické výkresy  
Půdorysné schéma navrženého úseku tribuny, M1:200



Příloha č. 2 - Schématické výkresy  
Schématický řez, M 1:150

### LEGENDA PRVKŮ

- (H) STĚNA  
- ŽB PREFA STĚNA ODDĚLUJÍCÍ HLEDIŠTĚ OD PROSTORU HRŠTĚ
- (K) KALICOVÁ PATKA  
- KALICOVÁ ŽB PREFA PATKA OSAZENÁ DO MONOLITICKÉHO ZÁKLADU
- (L) LAVICOVÝ NOSNÍK  
- ŽB PREFA LAVICOVÝ NOSNÍK
- (N) ŠIKMÝ TRIBUNOVÝ NOSNÍK  
- ŽB PREFA ŠIKMÝ TRIBUNOVÝ NOSNÍK VYNÁŠEJÍCÍ LAVICOVÉ NOSNÍKY
- (P) SPIROLL  
- PŘEDPJATÉ STROPNÍ PANELE
- (S) SLOUP  
- ŽB PREFA SLOUP – HLAVNÍ SVISLÝ NOSNÝ PRVEK
- (T) PRŮVLAK  
- ŽB PREFA PRŮVLAK VE TVARU T





**Příloha č. 3 - Návrh třídy prostředí a minimální krycí vrstvy lavicového nosníku****NORMA****EUROKÓD 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby****SOFTWARE****FINE EC 2018****ČÁST****DESKOVÁ ČÁST****TŘÍDA PROSTŘEDÍ**

Prostředí

— Vliv prostředí na výztuž —

Koroze vvolaná karbonatáci:  
XC4 - střídavě mokré a suché

Povrchy betonu ve styku s voudou, které nejsou zahrnuty ve stupni vlivu prostředí XC2

Koroze vvolaná chloridv:  
X0 - bez nebezpečí koroze nebo napadení

Beton uvnitř budov s velmi nízkou vlhkostí vzduchu

Koroze vvolaná chloridv z mořské vodv:  
X0 - bez nebezpečí koroze nebo napadení

Beton uvnitř budov s velmi nízkou vlhkostí vzduchu

— Vliv prostředí na beton —

Střídavé působení mrazu a rozmrazování (mrazové cvkly):  
XF3 - zcela nasycené vodou bez rozmrazovacích prostředků

Vodorovné betonové povrchy vystavené dešti a mrazu

Chemické působení:  
X0 - bez nebezpečí koroze nebo napadení

Beton uvnitř budov s velmi nízkou vlhkostí vzduchu

OK Storno

**KRYCÍ VRSTVA**

**Krytí výztuže** ✕

---

**Prostředí**

Prostředí: XC4, XF3 ← Upravit

Indikativní pevnostní třída C30/37 ⇒ třída betonu vyhovuje ( EN 1992-1-1 )  
 C25/30 ⇒ třída betonu vyhovuje ( EN 206-1/Z4 )

---

**Třída konstrukce**

Třída : S4 ▼

Budovy bytové, občanské a další běžné stavby, budovy pro výrobu a služby, pro těžbu paliv a rud, vodojemy a zásobníky, vodní hospodářství

Životnost > 80 let  Životnost > 100 let  
 Desková konstrukce  Speciální kontrola kvality

Výsledná třída konstrukce: **S2**

---

**Ostatní vlivy**

Třída obrusu : Bez obrusu ▼

Jmenovitý průměr kameniva větší než 32mm  
 Nerovný povrch 0,0 [mm]  
 Přídavná bezp. složka krytí ΔC<sub>dur,γ</sub> 0,0 [mm]  
 Korozivzdorná výztuž ΔC<sub>dur,st</sub> 0,0 [mm]  
 Přídavná ochrana výztuže ΔC<sub>dur,add</sub> 0,0 [mm]  
 Přídavek pro návrh. odch. ΔC<sub>dev</sub> 5,0 [mm]  
 Betonáž na:  upravené podloží  zeminu

---

**Minimální krytí**

$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}; 10) = \max(0; 20; 10) = 20 \text{ mm}$   
 **$c_{nom} = c_{min} + \Delta C_{dev} = 20 + 5 = 25 \text{ mm}$**

✔ OK
✘ Storno

## STĚNOVÁ ČÁST

### TŘÍDA PROSTŘEDÍ

Prostředí ✕

---

— Vliv prostředí na výztuž —

Koroze vvolaná karbonatací:

XC4 - střídavě mokré a suché ▼

Povrchy betonu ve styku s voudou, které nejsou zahrnuty ve stupni vlivu prostředí XC2

Koroze vvolaná chloridv:

X0 - bez nebezpečí koroze nebo napadení ▼

Beton uvnitř budov s velmi nízkou vlhkostí vzduchu

Koroze vvolaná chloridv z mořské vodv:

X0 - bez nebezpečí koroze nebo napadení ▼

Beton uvnitř budov s velmi nízkou vlhkostí vzduchu

---

— Vliv prostředí na beton —

Střídavé působení mrazu a rozmrazování (mrazové cvkly):

XF1 - středně nasycené vodou bez rozmrazovacích prostředků ▼

Svislé betonové povrchy vystavené dešti a mrazu

Chemické působení:

X0 - bez nebezpečí koroze nebo napadení ▼

Beton uvnitř budov s velmi nízkou vlhkostí vzduchu

✔ OK
✕ Storno

**KRYCÍ VRSTVA**

**Krytí výztuže** ✕

— **Prostředí** —

Prostředí: XC4, XF1 ← Upravit

Indikativní pevnostní třída C30/37 ⇒ třída betonu vyhovuje ( EN 1992-1-1 )  
 C25/30 ⇒ třída betonu vyhovuje ( EN 206-1/Z4 )

— **Třída konstrukce** —

Třída : S4 ▼

Budovy bytové, občanské a další běžné stavby, budovy pro výrobu a služby, pro těžbu paliv a rud, vodojemy a zásobníky, vodní hospodářství

Životnost > 80 let                       Životnost > 100 let  
 Desková konstrukce                       Speciální kontrola kvality

Výsledná třída konstrukce: **S2**

— **Ostání vlivy** —

Třída ohrusu : Bez ohrusu ▼

Jmenovitý průměr kameniva větší než 32mm  
 Nerovný povrch 0,0 [mm]  
 Přídavná bezp. složka krytí ΔC<sub>dur,γ</sub> 0,0 [mm]  
 Korozivzdorná výztuž ΔC<sub>dur,st</sub> 0,0 [mm]  
 Přídavná ochrana výztuže ΔC<sub>dur,add</sub> 0,0 [mm]  
 Přídavek pro návrh. odch. ΔC<sub>dev</sub> 5,0 [mm]  
 Betonáž na:  upravené podloží                       zeminu

— **Minimální krytí** —

C<sub>min</sub> = max(C<sub>min,b</sub>; C<sub>min,dur</sub>; 10) = max(0; 20; 10) = 20 mm  
**C<sub>nom</sub> = C<sub>min</sub> + ΔC<sub>dev</sub> = 20 + 5 = 25 mm**

✔ OK    ✕ Storno

## Příloha č. 4 - Návrh výztuže deskové části lavicového nosníku

### GEOMETRIE DESKY

Šířka pásu ve směru x	$b_{p,x} =$	750 mm
Šířka pásu ve směru y	$b_{p,y} =$	1000 mm
Tloušťka desky	$h_d =$	200 mm
Krycí vrstva	$c =$	25 mm
Plocha průřezu ve směru x	$A_c =$	150000 mm <sup>2</sup>
Plocha průřezu ve směru y	$A_c =$	200000 mm <sup>2</sup>

### BETON

Charakter. pevnost v tlaku	$f_{ck} =$	30 MPa
Charakter. pevnost v tahu	$f_{ctm} =$	2 MPa
Dílčí součinitel $\gamma_c$	$\gamma_c =$	1,5 -
Návrhová pevnost v tlaku	$f_{cd} =$	20 MPa
Maximální velikost zrna	$D_{max} =$	16 mm
Mezní poměrné přetvoření	$\epsilon_{cu} =$	0,0035 -

### VÝZTUŽ

Charakter. hodnota meze kluzu	$f_{yk} =$	500 MPa
Dílčí součinitel $\gamma_s$	$\gamma_s =$	1,15 -
Návrhová hodnota meze kluzu	$f_{yd} =$	435 MPa
Maximální poměrné přetvoření	$\epsilon_{ud} =$	0,0500 -

Vyšetřované místo			Výztuž					Plocha výztuže				Vzdálenost výztuže				Únosnost					Mezní přetvoření				NAVRHUJI	
Oblast	Povrch	Směr	$m_{dim}$	$\phi_s$	odsaz.	počet	d	$A_{s,req}$	$A_{s,min}$	$A_{s,max}$	$A_{s,prov}$	Vyhoví?	$s_{min}$	$s_{max}$	s	Vyhoví?	x	z	$m_{Rd}$	$m_{dim}/m_{Rd}$	Posouzení	$\xi$	$\xi < 0,45$	$\epsilon_s$		$\epsilon_s < \epsilon_{ud}$
			[kNm]	[mm]	[mm]	[ks]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]		[mm]	[mm]	[mm]		[mm]	[mm]	[kNm]	[-]		[-]	[-]		[-]
1	D	x	46,0	14	8	8	160	735	156	6000	1155	ANO	35	300	100	ANO	42	143	71,92	0,64	VYHOVUJE	0,261	ANO	0,010	ANO	ø14mm á 100mm
	D	y	8,0	8	0	10	171	120	222	8000	503	ANO	29	300	100	ANO	14	166	36,18	0,22	VYHOVUJE	0,080	ANO	0,040	ANO	ø8mm á 100mm
2	D	x	39,0	14	8	8	160	623	156	6000	1155	ANO	35	300	100	ANO	42	143	71,92	0,54	VYHOVUJE	0,261	ANO	0,010	ANO	ø14mm á 100mm
	D	y	30,0	8	0	10	171	448	222	8000	503	ANO	29	300	100	ANO	14	166	36,18	0,83	VYHOVUJE	0,080	ANO	0,040	ANO	ø8mm á 100mm
1	H	x	0,0	14	8	8	160	0	156	6000	1155	ANO	35	300	100	ANO	42	143	71,92	0,00	VYHOVUJE	0,261	ANO	0,010	ANO	ø14mm á 100mm
	H	y	0,0	8	0	10	171	0	222	8000	503	ANO	29	300	100	ANO	14	166	36,18	0,00	VYHOVUJE	0,080	ANO	0,040	ANO	ø8mm á 100mm
2	H	x	0,0	14	8	8	160	0	156	6000	1155	ANO	35	300	100	ANO	42	143	71,92	0,00	VYHOVUJE	0,261	ANO	0,010	ANO	ø14mm á 100mm
	H	y	0,0	8	0	10	171	0	222	8000	503	ANO	29	300	100	ANO	14	166	36,18	0,00	VYHOVUJE	0,080	ANO	0,040	ANO	ø8mm á 100mm

### OBLASTI

- 1 - Oblast v poli lavicového nosníku
- 2 - Oblast nad podporou lavicového nosníku

## Příloha č. 5 - Návrh výztuže stěnové části lavicového nosníku

### GEOMETRIE STĚNY

Šířka pásu $b_p$	200 mm
Tloušťka stěny $t_s$	150 mm
Krycí vrstva $c$	25 mm
Plocha průřezu $A_c$	30000 mm <sup>2</sup>

### BETON

Char. pevnost v tlaku $f_{ck}$	30 MPa
Char. pevnost v tahu $f_{ctm}$	2,9 MPa
Dílčí součinitel $\gamma_c$	1,5 -
Návrh. pevnost v tlaku $f_{cd}$	20 MPa
Max. velikost zrna $D_{max}$	16 mm

### VÝZTUŽ

Charakter. mez kluzu $f_{yk}$	500 MPa
Dílčí součinitel $\gamma_s$	1,15 -
Návrh. mez kluzu $f_{y,d}$	435 MPa

Řešené místo		Napětí				Výztuž		Plocha výztuže				Vzdálenost výztuže				Únosnost			NAVRHUJI	
Oblast	Směr	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\tau_{xy}$	$f_{td}$	$\phi_s$	počet	$A_{s,req}$	$A_{s,min}$	$A_{s,max}$	$A_{s,prov}$	Vyhoví?	$s_{min}$	$s_{max}$	$s$	Vyhoví?	$f_{tRd}$	$f_{td}/f_{tRd}$		Posouzení
		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]			[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]		[mm]	[mm]	[mm]		[kNm]	[-]		
1	x	10,0	1,0	1,2	11,2	16	3	386	30	600	603	NE	37	300	40	ANO	17,48	0,64	VYHOVUJE	ø16mm á 40mm
	y	10,0	1,0	1,2	2,2	8	2	76	30	600	101	ANO	29	300	100	ANO	2,91	0,75	VYHOVUJE	ø8mm á 100mm
2	x	6,0	0,6	2,1	8,1	16	3	279	30	600	603	NE	37	300	40	ANO	17,48	0,46	VYHOVUJE	ø16mm á 40mm
	y	6,0	0,6	2,1	2,7	8	2	93	30	600	101	ANO	29	300	100	ANO	2,91	0,93	VYHOVUJE	ø8mm á 100mm
3	x	0,0	1,4	1,0	1,0	8	3	35	30	600	151	ANO	29	300	75	ANO	4,37	0,23	VYHOVUJE	ø8mm á 75mm
	y	0,0	1,4	1,0	2,4	8	2	83	30	600	101	ANO	29	300	100	ANO	2,91	0,82	VYHOVUJE	ø8mm á 100mm

*Pozn.* Výpočet výztuže je vztažen k jednomu povrchu. U druhého se předpokládá stejné množství.

### OBLASTI

- 1 - Oblast v poli lavicového nosníku
- 2 - Oblast nad podporou lavicového nosníku
- 3 - Oblast u kotvení ocelové konstrukce vynášející sedadla



## Příloha č. 6 - Posouzení ohybové štíhlosti lavicového nosníku

### NORMA

**EUROKÓD 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby**

### MATERIÁL

#### BETON

Charakteristická pevnost v tlaku  $f_{ck} = 30$  MPa

#### BETONÁŘSKÁ OCEL

Charakteristická hodnota meze kluzu  $f_{yk} = 500$  MPa

### OHYBOVÁ ŠTÍHLOST

Rozpětí prvku  $l = 6,000$  m

Statically účinná výška průřezu  $d = 0,160$  m

Ohybová štíhlost  $\lambda = 37,50$

### VLIV TVARU PRŮŘEZU

Pro T-průřezy s poměrem šířky příruby (desky) k šířce žebra větší než 3 je soušinitel  $\kappa_{c1} = 0,8$ , v ostatních případech 1,0

$\kappa_{c1} = 1,00$

### VLIV ROZPĚTÍ

Pro nosníky a desky (s výjimkou lokálně podepřených) je rozhodující vzdálenost 7 m, pro lokálně podepřené desky je rovna 8,5 m

$\kappa_{c2} = 1,00$

### VLIV STUPNĚ VYZTUŽENÍ

Navržená plocha výztuže  $A_{s,prov} = 1155$  mm<sup>2</sup>

Požadovaná plocha výztuže  $A_{s,req} = 735$  mm<sup>2</sup>

$\kappa_{c3} = 1,57$

### VLIV TVARU KONSTRUKCE

Plocha průřezu  $A_c = 150000$  mm<sup>2</sup>

Požadovaný stupeň vyztužení tahovou výztuží  $\rho = 0,0049$

Referenční stupeň vyztužení  $\rho_0 = 0,00548$

**Pozn.** *Nepředpokládá se požadavek na návrh tlačené výztuže*

**Součinitel, kterým se zohledňují různé nosné systémy**

$\kappa = 1,0$

Nosná soustava	$K$
prostě podepřený nosník, prostě podepřená deska nosná v jednom nebo ve dvou směrech	1
krajní pole spojitého nosníku nebo spojitě desky nosné v jednom směru nebo desky nosné ve dvou směrech spojitě v delší straně	1,3
vnitřní pole nosníku nebo desky nosné v jednom směru nebo desky nosné ve dvou směrech	1,5
deska lokálně podepřená (rozhoduje delší rozpětí)	1,2
konzola	0,4

$\lambda_{d,tab} = 20,89$

**LIMITNÍ OHYBOVÁ ŠTÍHLOST**

Limitní ohybová štíhlost

$\lambda_d = 32,83$

**POSOUZENÍ OHYBOVÉ ŠTÍHLOSTI**

$\lambda \leq \lambda_d$   
 37,50 ≤ 32,83    **NEVYHOVUJE**

## Příloha č. 7 - Určení součinitele dotvarování

Pozn. Následující výpočet platí jen pro nosníky **obdélníkového tvaru**

### NORMA

**EUROKÓD 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby**

### VSTUPNÍ HODNOTY

#### Průřezové charakteristiky

Výška	$h =$ 200 mm
Šířka	$b =$ 700 mm
Plocha	$A =$ 140000 mm <sup>2</sup>
Obvod	$u =$ 1800 mm

#### Jmenovitý rozměr

$h_0 =$  156 mm

#### Třída betonu

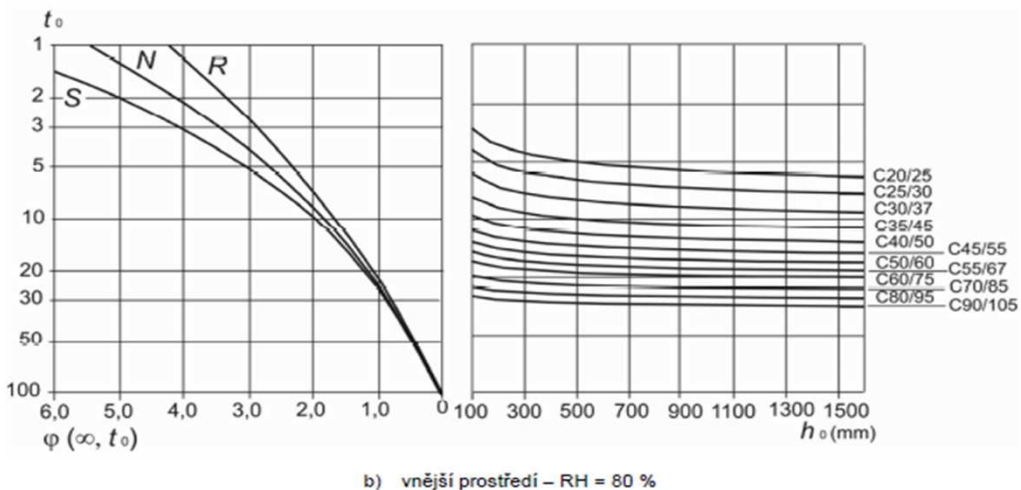
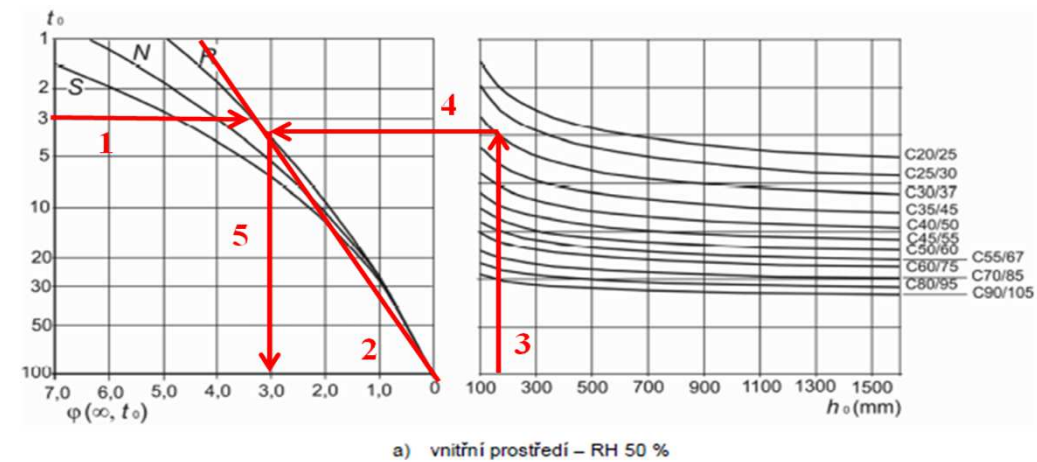
**C30/37**

#### Třída cementu

**R**

#### Čas prvního zatížení / uvedení do provozu

$t_0 =$  3 dny



#### SOUČINTEL DOTVAROVÁNÍ

$\phi =$  3,0

**Příloha č. 8 - Výpočet krátkodobého a dlouhodobého průhybu lavicového nosníku****NORMA****EUROKÓD 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby****MATERIÁL****BETON**

Charakteristická pevnost v tlaku	$f_{ck} =$	30,00	MPa
Dílčí součinitel pro beton	$\gamma_c =$	1,50	
Návrhová pevnost v tlaku	$f_{cd} =$	20,00	MPa
Charakteristická pevnost v tahu	$f_{ctm} =$	2,9	MPa
Modul pružnosti	$E_c =$	32	GPa
Mezní poměrné přetvoření	$\epsilon_{cu} =$	0,0032	
	$\eta =$	1,00	
	$\lambda =$	0,80	
Maximální velikost zrna	$D_{max} =$	16	mm

**BETONÁŘSKÁ OCEL**

Charakteristická hodnota meze kluzu	$f_{yk} =$	500	MPa
Dílčí součinitel pro betonářskou ocel	$\gamma_s =$	1,15	
Návrhová hodnota meze kluzu	$f_{yd} =$	435	MPa
Modul pružnosti	$E_s =$	200	GPa
Třída tažnosti (A, B nebo C)		B	
Maximální poměrné přetvoření	$\epsilon_{ud} =$	0,0500	
Návrhová hodnota poměrného přetvoření na mezi kluzu	$\epsilon_{yd} =$	0,0022	

**GEOMETRIE**

Výška	$h = 200$ mm
Šířka	$b = 750$ mm
Plocha	$A = 150000$ mm <sup>2</sup>
Krycí vrstva	$c = 25$ mm
Délka nosníku	$l = 6,00$ m

**VÝZTUŽ - HORNÍ POVRCH (tlačená)**

<b>Průměr</b>	$\phi_s = 14$ mm
Plocha jednoho prutu	$A_{s,1} = 154$ mm <sup>2</sup>
Průměr třmíneků	$\phi_{sw} = 8$ mm
Počet řad prutů	1
Počet prutů v řadě	8
<b>Celkový počet prutů</b>	$n = 8$
<b>Celková navržená plocha výztuže</b>	$A_{SC} = 1232$ mm <sup>2</sup>
Světlá vzdálenost prutů	$s_c = 82$ mm
Světlá vzdálenost řad	$s_r = -$ mm
<b>Statically účinná výška průřezu k horní výztuži</b>	$d_c = 160$ mm

**VÝZTUŽ - DOLNÍ POVRCH (tažená)**

<b>Průměr</b>	$\phi_s = 14$ mm
Plocha jednoho prutu	$A_{s,1} = 154$ mm <sup>2</sup>
Průměr třmíneků	$\phi_{sw} = 8$ mm
Počet řad prutů	1
Počet prutů v řadě	8
<b>Celkový počet prutů</b>	$n = 8$
<b>Celková navržená plocha výztuže</b>	$A_{ST} = 1232$ mm <sup>2</sup>
Světlá vzdálenost prutů	$s_c = 82$ mm
Světlá vzdálenost řad	$s_r = -$ mm
<b>Statically účinná výška průřezu k dolní výztuži</b>	$d_s = 160$ mm

## KRÁTKODOBÉ ÚČINKY ZATÍŽENÍ NA PRŮŘEZ

Součinitel dotvarování

$$\varphi = 0$$

*Pozn. Při krátkodobém působení uvažován  $\varphi = 0$*

Efektivní modul pružnosti betonu

$$E_{c,eff,st} = 32000 \text{ MPa}$$

Poměr modulů pružnosti výztuže a betonu

$$\alpha_{e,st} = 6,25$$

### IDEÁLNÍ PRŮŘEZ BEZ TRHLIN

Výška tlačené části ideál. průřezu bez trhlin

$$x_{i,1,st} = 100 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti ideálního průřezu bez trhlin k jeho těžišti

$$I_{y,1,st} = 5,55E+08 \text{ mm}^4$$

Ohybová poddajnost na mezi vzniku trhlin

$$C_{1,st} = 5,63E-14 \text{ N}^{-1}\text{mm}^2$$

**Ohybový moment na mezi vzniku trhlin**

$$M_{cr,st} = 16,11 \text{ kNm}$$

### IDEÁLNÍ PRŮŘEZ S TRHLINAMI

Výpočet výšky tlačené části ideálního průřezu s trhlinami z kvadratické rovnice vyjádřené z rovnosti statických momentů  $S_{CC} + S_{SC} = S_{ST}$

$$375,0 x^2 + 15393,8 x + -1539380 = 0$$

$$x_1 = -88 \text{ mm}$$

$$x_2 = 47 \text{ mm}$$

Výška tlačené části ideál. průřezu s trhlinami

$$x_{i,2,st} = 47 \text{ mm}$$

*Pozn. Nutná kontrola, zda je  $x$  reálné*

Moment setrvačnosti ideálního průřezu s trhlinami k jeho těžišti

$$I_{y,2,st} = 1,25E+08 \text{ mm}^4$$

Ohybová poddajnost průřezu s trhlinami

$$C_{2,st} = 2,51E-13 \text{ N}^{-1}\text{mm}^2$$

### PŘETVOŘENÍ OD ZATÍŽENÍ

Součinitel zohledňující dobu trvání zatížení

$$\beta = 1,0$$

*Pozn. Pro krátkodobé  $\beta = 1$ , pro dlouhodobé nebo mnohonásobně opakované  $\beta = 0,5$*

**Ohybový moment od řešené kombinace zatížení**

$$M_{i,ks} = 23,19 \text{ kNm}$$

*Pozn. V normě je předepsaná kvazi-stálá*

Součinitel vyjadřující tahové zpevnění

$$\zeta_{i,st} = 0,518$$

Křivost k příslušné kombinaci zatížení

$$(1/r_m)_{ks,st} = 3,64E-06 \text{ mm}^{-1}$$

Součinitel nosného systému

$$k = 0,104$$

*Pozn. Pro prostý nosník zatížený rovnoměrným zatížením  $k = 5/48$ , viz. tabulka nosných systémů (list 2)*

**Krátkodobý průhyb od zatížení**

$$w_{ks,st} = 13,6 \text{ mm}$$



## DLOUHODOBÉ ÚČINKY ZATÍŽENÍ NA PRŮŘEZ

Součinitel dotvarování  $\varphi = 3,0$   
*Pozn. Součinitel dotvarování určen z ...*

Efektivní modul pružnosti betonu  $E_{c,eff,lt} = 8000 \text{ MPa}$   
 Poměr modulů pružnosti výztuže a betonu  $\alpha_{e,lt} = 25,00$

### IDEÁLNÍ PRŮŘEZ BEZ TRHLIN

Výška tlačené části ideál. průřezu bez trhlin  $x_{i,1,lt} = 100 \text{ mm}$

Moment setrvačnosti ideálního průřezu bez trhlin k jeho těžišti  $I_{y,1,lt} = 7,22E+08 \text{ mm}^4$

Ohybová poddajnost na mezi vzniku trhlin  $C_{1,lt} = 1,73E-13 \text{ N}^{-1}\text{mm}^2$

**Ohybový moment na mezi vzniku trhlin  $M_{cr,lt} = 20,93 \text{ kNm}$**

### IDEÁLNÍ PRŮŘEZ S TRHLINAMI

Výpočet výšky tlačené části ideálního průřezu s trhlinami z kvadratické rovnice vyjádřené z rovnosti statických momentů  $S_{cc} + S_{sc} = S_{st}$

$$375,0 x^2 + 61575,2 x + -6157522 = 0$$

$$x_1 = -234 \text{ mm}$$

$$x_2 = 70 \text{ mm}$$

Výška tlačené části ideál. průřezu s trhlinami  $x_{i,2,lt} = 70 \text{ mm}$   
*Pozn. Nutná kontrola, zda je x reálné*

Moment setrvačnosti ideálního průřezu s trhlinami k jeho těžišti  $I_{y,2,lt} = 3,63E+08 \text{ mm}^4$

Ohybová poddajnost průřezu s trhlinami  $C_{2,lt} = 3,45E-13 \text{ N}^{-1}\text{mm}^2$

### PŘETVOŘENÍ OD ZATÍŽENÍ

Součinitel zohledňující dobu trvání zatížení  $\beta = 0,5$   
*Pozn. Pro krátkodobé  $\beta = 1$ , pro dlouhodobé nebo mnohonásobně opakované  $\beta = 0,5$*

**Ohybový moment od řešené kombinace zatížení  $M_{i,ks} = 23,19 \text{ kNm}$**   
*Pozn. V normě je předepsaná kvazi-stálá*

Součinitel vyjadřující tahové zpevnění  $\zeta_{i,lt} = 0,593$

Křivost k příslušné kombinaci zatížení  $(1/r_m)_{ks,lt} = 6,37E-06 \text{ mm}^{-1}$

Součinitel nosného systému  $k = 0,104$

*Pozn. Pro prostý nosník zatížený rovnoměrným zatížením  $k = 5/48$ , viz. tabulka nosných systémů (list 2)*

**Dlouhodobý průhyb od zatížení  $w_{ks,lt} = 23,9 \text{ mm}$**

**PŘETVOŘENÍ OD SMRŠŤOVÁNÍ**

Statický moment horní (tlačené) výztuže k těžišti betonového průřezu  $S_{s,c} = 73890,3 \text{ mm}^3$

Statický moment dolní (tažené) výztuže k těžišti betonového průřezu  $S_{s,t} = 73890,3 \text{ mm}^3$

Celkový statický moment výztuže  $S_s = 0 \text{ mm}^3$

Celkové poměrné přetvoření od smršťování  $\epsilon_{cs} = 0,0004$

*Pozn. Empiricky určená hodnota*

Moment setrvačnosti betonového průřezu  $I_c = 5,00E+08 \text{ mm}^4$

**Průhyb od smršťování  $w_{cs,lt} = 0,0 \text{ mm}$**

**POSOUZENÍ**

**KRÁTKODOBÉ ÚČINKY ZATÍŽENÍ NA PRŮŘEZ**

Krátkodobý průhyb od zatížení  $w_{ks,st} = 13,6 \text{ mm}$

Limitní hodnota (1/250 rozpětí)  $w_{st,lim} = 24,0 \text{ mm}$

**POSOUZENÍ KRÁTKODOBÉHO PRŮHYBU**  
 $w_{ks,st} \leq w_{st,lim}$   
**13,6 ≤ 24,0**

**VYHOVUJE**  
**56,9%**

**DLOUHODOBÉ ÚČINKY ZATÍŽENÍ NA PRŮŘEZ**

Dlouhodobý průhyb od zatížení  $w_{ks,lt} = 23,9 \text{ mm}$

Průhyb od smršťování  $w_{cs,lt} = 0,0 \text{ mm}$

Celkový dlouhodobý průhyb  $w_{fin,lt} = 23,9 \text{ mm}$

Limitní hodnota (1/250 rozpětí)  $w_{st,lim} = 24,0 \text{ mm}$

**POSOUZENÍ DLOUHODOBÉHO PRŮHYBU**  
 $w_{ks,lt} \leq w_{lt,lim}$   
**23,9 ≤ 24,0**

**VYHOVUJE**  
**99,6%**