

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

katedra betonových a zděných konstrukcí

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Návrh zastřešení školní tělocvičny

Vypracoval:

Lukáš Koruňák

Studijní program – STAVEBNÍ INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor – Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí práce:

Ing. Martin Tipka, PhD.

Praha 2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Koruňák Jméno: Lukáš Osobní číslo: 477131

Zadávací katedra: K133 - Katedra betonových a zděných konstrukcí

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Návrh zastřešení školní tělocvičny

Název bakalářské práce anglicky: Design of the school gymnasium roof structure

Pokyny pro vypracování:

Střešní konstrukce sportovních hal menších rozponů - analýza konstrukčních možností, jejich výhody a nevýhody.

Betonové varianty konstrukčního uspořádání sportovních hal - problematika návrhu, technologie výstavby, ukázky a analýza reálných realizací.

Variantní návrh zastřešení vybrané školní tělocvičny.

Seznam doporučené literatury:

ČSN EN 1990, ČSN EN 1991, ČSN EN 1992

Kohoutková, Procházka, Šmejkal: Modelování a vyztužování betonových prvků. Lokální modely železobetonových konstrukcí. ČVUT 2013.

Procházka, Šmejkal: Betonové vícepodlažní a halové konstrukce. ČVUT 2018

Archiv časopisu Beton TKS

Další vhodná samostatně vyhledaná literatura

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Martin Tipka, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 12.2.2021

Termín odevzdání bakalářské práce: 16.5.2021

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské 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“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Martinovi Tipkovi, PhD. za ochotu, cenné rady, trpělivost a zdravou kritiku během konzultací.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Praze dne 16. května 2021

.....

Lukáš Koruňák

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá možnostmi řešení konstrukcí zastřešení sportovních hal a tělocvičen. První část se zaměřuje na nejčastější konstrukční systémy a materiálové možnosti nosných prvků a upozorňuje na hlavní výhody a nevýhody jednotlivých způsobů provedení. Následující část popisuje aplikaci konstrukčních systémů v železobetonovém provedení. Jsou představeny zajímavé případy již realizovaných betonových sportovních hal a tělocvičen a přibližuje způsob jejich návrhu.

V rámci konstrukční části práce jsou provedeny dva variantní návrhy zastřešení školní tělocvičny, která je součástí rozsáhlého komplexu budov.

Klíčová slova: sportovní hala, střešní konstrukce, železobeton, vazník, rám, oblouk

Abstract

This bachelor thesis introduces design possibilities of sports halls and gymnasiums. Firstly, it aims to show often designed structural types made of usual materials, their advantages and disadvantages. Then, it describes how to apply described structural types with the use of reinforced concrete. The thesis also shows already existing interesting constructions made of reinforced concrete and points out problems included in the design of such structures.

In the practical part are two particular roofing designs of chosen school gymnasium which is a part of a large complex of buildings.

Key words: sports hall, gymnasium, roof structure, reinforced concrete, truss, frame, arch

Obsah

1	Úvod	6
2	Konstrukční systémy hal	7
2.1	Ohýbané konstrukce	8
2.1.1	Bezvazníkové haly	9
2.1.2	Vazníkové haly	11
2.1.3	Rámové haly	14
2.2	Konstrukce tlačené – obloukové haly	15
3	Sportovní haly ze železobetonu	18
3.1	Statické modely	18
3.2	Monolitické haly	20
3.3	Montované haly	21
3.4	Styky prefabrikovaných dílů	22
4	Analýza vybraných realizací	25
4.1	Zimní stadion Škoda Icerink	25
4.2	Sportovní centrum Univerzity FHNW v Brugg	28
5	Konstrukční návrh zastřešení školní tělocvičny	32
5.1	Konstrukční řešení – Vazníky s dutinovými panely	32
5.1.1	Vazník	35
5.1.2	Sloup	36
5.2	Konstrukční řešení – Oblouková konstrukce	37
5.2.1	Oblouk	40
5.2.2	Sloupy	41
5.2.3	Vaznice	41
6	Závěr	42

1 ÚVOD

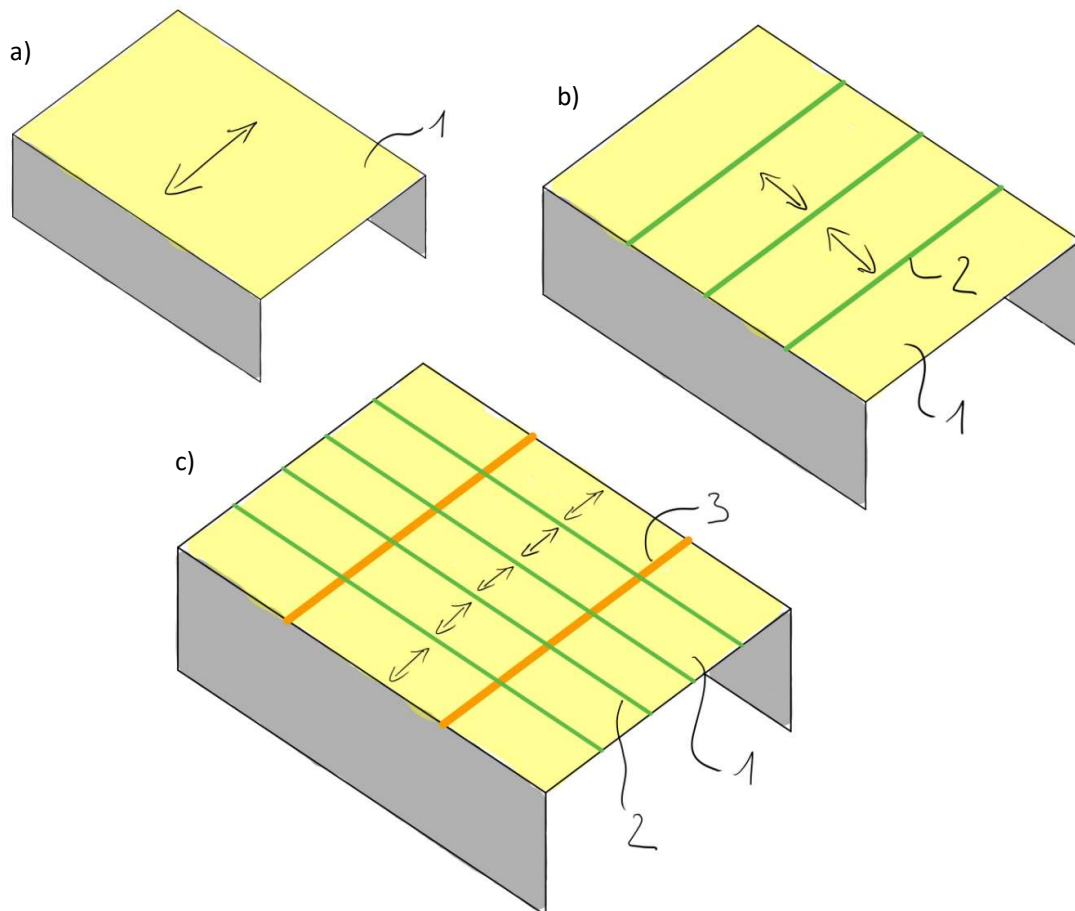
Halové konstrukce jsou charakteristické většími rozpny, než mají běžné pozemní stavby. Často slouží pro zvláštní účely, které vyžadují uvolnění dispozice, což znamená minimalizování počtu vnitřních svislých nosných konstrukcí. Haly mohou sloužit pro různé účely – průmysl (např. výrobní linky), kulturní události, jako jsou koncerty a divadelní představení, velké supermarkety nebo sportovní akce. Právě na sportovní haly se zaměřuje tato práce.

Požadavky na rozpon konstrukce a prostorové uspořádání sportovních hal bývají v první řadě definované sportem, ke kterému bude daná konstrukce sloužit. Je rozdíl, jestli bude hala stavěna pro tenisové kurty nebo fotbalové hřiště, a to jednak možností umístit přídavné svislé nosné prvky mimo obvod, jednak rozponem stropní či střešní konstrukce.

První fází návrhu sportovní haly nebo tělocvičny je volba vhodné kombinace materiálu a typu konstrukce. Návrh by měl splňovat svou statickou funkci, být ekonomicky rozumný, ale i estetický. Jako materiál pro haly se sportovním využitím se v naší republice většinou volí ocel a dřevo. Tyto materiály mají dobré mechanické vlastnosti, dobrý poměr pevnost/cena a lze z nich vyrobit prvky (téměř) libovolných tvarů. Konstrukce z těchto materiálů jsou převážně montované, takže jejich osazení na stavbě není příliš pracné a používají se jednoduché, ale efektivní spoje. Železobeton se pro sportovní haly a tělocvičny v České republice moc nepoužívá. Je to hlavně kvůli ceně, ve které se výrazně promítá větší pracnost oproti konstrukcím z dvou již zmíněných materiálů. V zahraničí se betonové sportovní haly staví více, převážně z důvodu většího rozšíření technologie prefabrikace betonových konstrukcí. Cílem této práce je ukázat, že železobetonové sportovní haly stavět jdou a mají v některých příkladech i svůj smysl.

2 KONSTRUKČNÍ SYSTÉMY HAL

Sportovní haly jsou typické požadavkem na co největší uvolnění prostoru. Z toho důvodu se většinou navrhují jednoduše se svislými podporami pouze po obvodu konstrukce. Dají se navrhovat jednostupňové, kde zatížený plošný vodorovný prvek zatěžuje přímo svislé nosné konstrukce, dvoustupňové, kdy plošný střešní prvek přenáší zatížení do vazníků a ty pak do svislých podpor, anebo třístupňové. U takového typu konstrukce je nosný deskový prvek podporován vaznicemi, přes které je zatížení vnášeno do vazníků a dále do svislých podpor. Schéma jednotlivých typů konstrukce lze přehledně vidět na Obrázku 1.

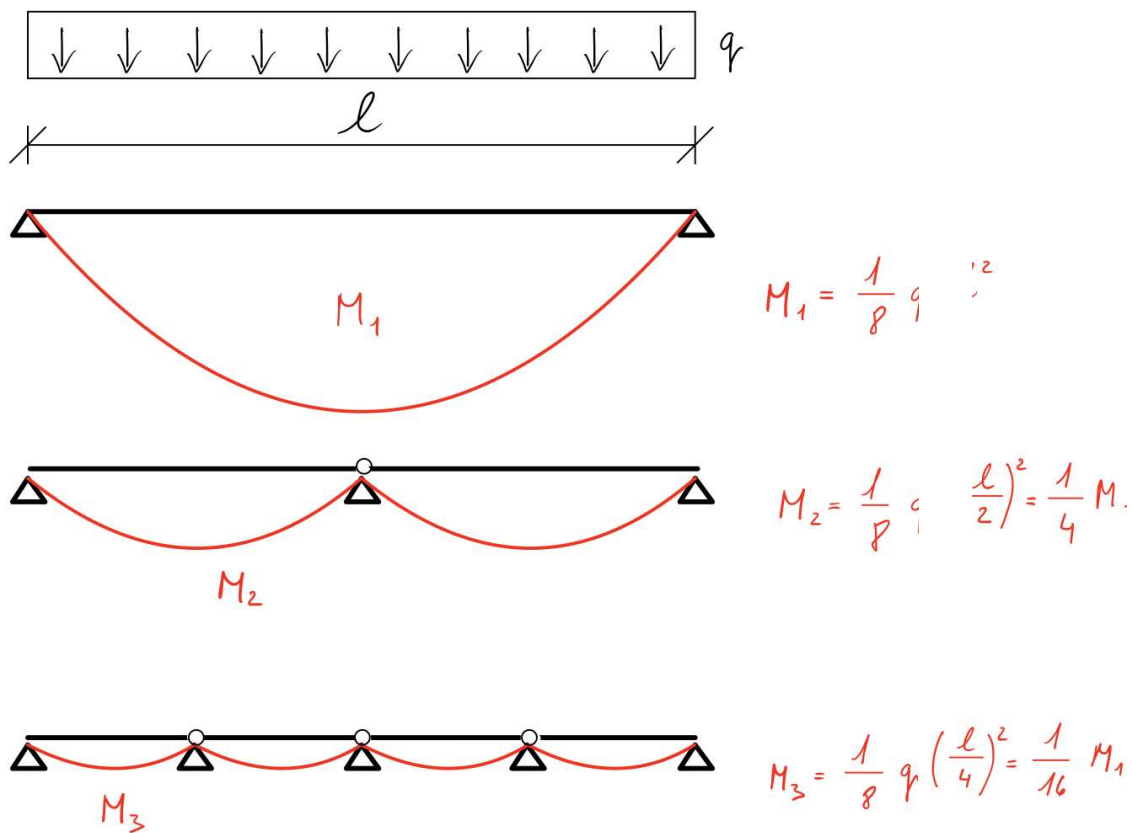


Obrázek 1 - Varianty uspořádání střešní konstrukce: a) jednostupňová konstrukce,
b) dvoustupňová konstrukce, c) třístupňová konstrukce

Platí pravidlo, že čím více má střešní konstrukce stupňů, na tím větší rozpětí může být efektivně použita. Pro tyto účely se převážně používají konstrukce ohýbané nebo tlačené.

2.1 OHÝBANÉ KONSTRUKCE

Jedná se o asi nejpoužívanější typ konstrukce pro haly. Tyto konstrukce jsou typické vodorovnými nosnými prvky namáhanými převážně ohybem. Pro přenesení momentového namáhání se používají desky nebo nosníky, které jsou schopny toto namáhání bezpečně přenést do svislých podpor a dále do základů. Ohýbané konstrukce jsou oproti všem ostatním typům konstrukcí (včetně konstrukcí s převážně tahovým namáháním) konstrukčně nejjednodušší, ale zároveň se dají využít pouze pro menší rozpory a potenciál materiálu není využit úplně na maximum. Vzhledem k tomu, že ohybový moment roste s druhou mocninou rozponu (Obr. 2), jsou pro přenesení namáhání při větších rozponech nutné velmi vysoké prvky. Právě výška nosného prvku má zásadní vliv na celkovou únosnost průřezu, a tedy i schopnost přenést namáhání od ohybu.



Obrázek 2 - závislost ohybového momentu na rozponu

Na druhou stranu, výhodou je efektivita zakrytí prostoru rovinným podhledem (pro některá jiná využití se hodí např. obloukový podhled) a zároveň se dá využít prostor nad ním, například pro užitný prostor na střeše haly.

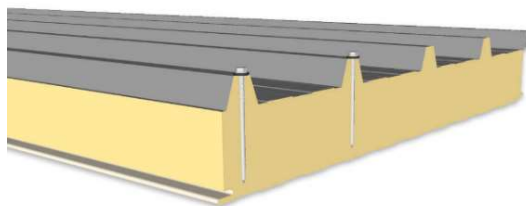
2.1.1 BEZVAZNÍKOVÉ HALY

Bezvazníkové haly představují jednostupňové konstrukce, u kterých je svislé zatížení přenášeno přímo do svislých nosných konstrukcí. Tyto konstrukce jsou nejčastěji tvořeny rovnými plnými deskami, příhradovými deskami nebo tzv. prizmatickými lomenicemi. U bezvazníkových konstrukcí je nejčastěji používaný materiál železobeton, popřípadě může být i předepnutý.

Deskové konstrukce jsou velice často používány pro haly s menšími rozpny do 12 m. V praxi se nejčastěji používají dutinové předepnuté prefabrikované panely (Obr. 3). Jejich tloušťka se pohybuje od 160 mm až do 400 mm. Dalším typem desky jsou sendvičové panely (Obr. 4), které jsou staticky velice účinné, protože dva nosné (většinou ocelové – např. trapézové) plechy jsou smykově spojeny velmi lehkým materiálem, který prvku dává větší rameno vnitřních sil, ale sám se do přenášení zatížení zapojuje jen málo. Tento materiál většinou bývá z tepelně izolačního materiálu a plní tak současně funkci tepelné izolace.

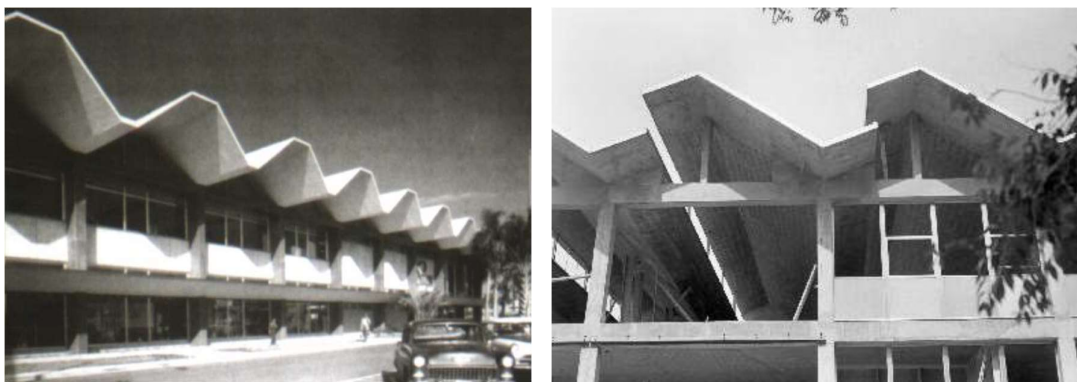


Obrázek 3 - dutinový panel [17]

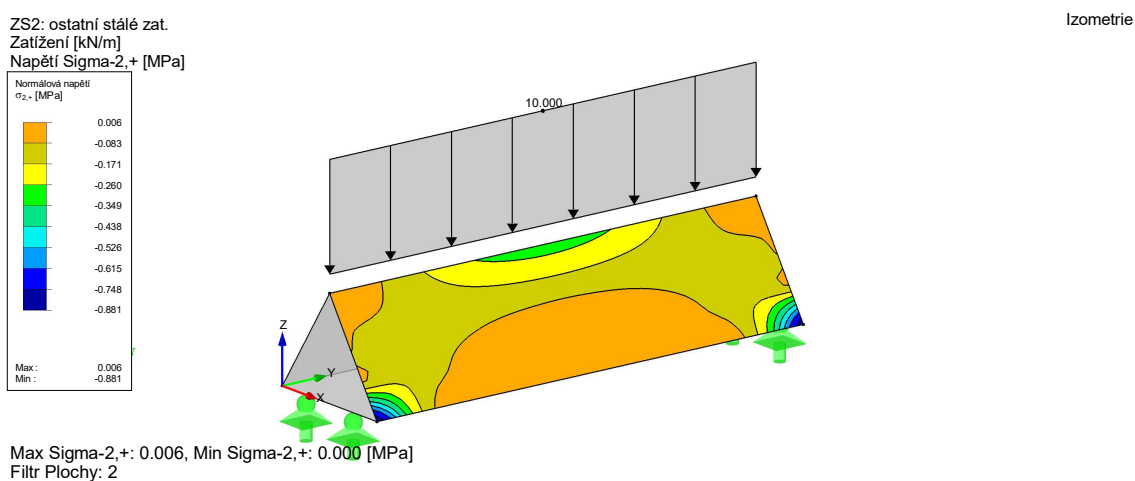


Obrázek 4 - sendvičový panel [18]

Prizmatické lomenice (Obr. 5) mají velikou výhodu oproti deskám ve svojí výšce (rameni vnitřních sil). Vzhledem ke tvaru jejich konstrukce se jejich výška může vyšplhat až do řádů několika metrů. Zároveň přímo svým tvarem zabraňují vybočení tlačенého pásu. Další výhodou této konstrukce je spojení vlastností desky a stěnového nosníku. Průběh napětí po výšce deskového segmentu lze vidět na Obrázku 6.



Obrázek 5 - prizmatická lomenice [19]



Obrázek 6 - průběh hlavního normálového napětí na prizmatické lomenici

Tato výhodná konstrukce má ale i své nevýhody. Jednou z nich je poměrně velká pracnost při výrobě a také fakt, že čelo lomenice musí být tvořeno roznášecím prahem nebo k tomu musí být vhodně přizpůsobené svislé podpory. Prizmatické lomenice se těšily velké oblibě hlavně na konci minulého století. Dnes se ale už příliš často nepoužívají.

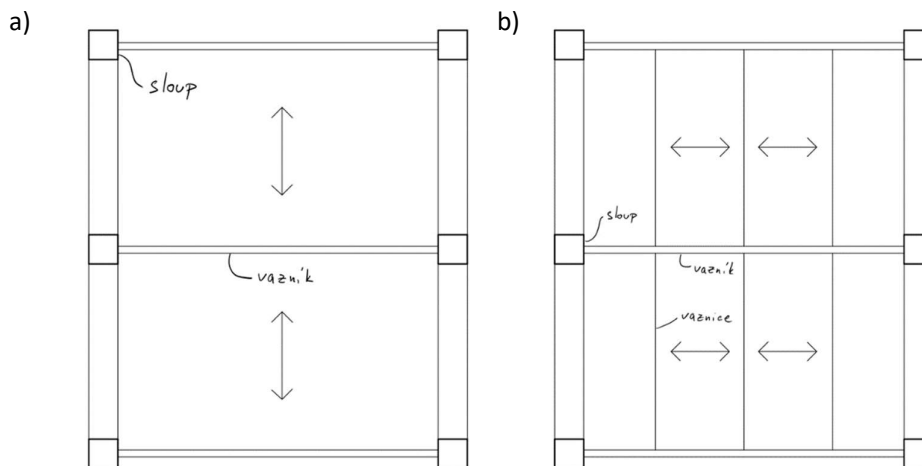
Posledním používaným druhem deskové konstrukce na větší rozpory jsou příhradové desky (Obr. 7). Jedná se většinou o ocelovou konstrukci, kdy dojde ke spojení jednotlivých příhradových vazníků v navzájem kolmých směrech a vytvoří se tak rošt. Příhradová deska se dá ve stejném provedení vyrobit i ze dřeva. Příhradová deska přenáší zatížení diskrétní formou v podobě vnitřních sil jednotlivých prutů, oproti spojitě desce, kde se zatížení přenáší formou napětí.



Obrázek 7 - příhradová deska [20]

2.1.2 VAZNÍKOVÉ HALY

Vazníkové konstrukce jsou typické svým kloubovým uložením střešního trámu – vazníku. Velkorozponové konstrukce, které využívají jako hlavního nosného prvku střechy vazník, se navrhují dvoustupňové nebo třístupňové. V případě dvoustupňové konstrukce nesou vazníky, které bývají příčně uspořádány nejčastěji na sloupech nebo na stěně, přímo stropní či střešní desku (Obr. 8–a). U třístupňového systému jsou mezi jednotlivé vazníky ještě umístěny menší prvky, tzv. vaznice (Obr. 8–b). Ty značně snižují rozpon střešní desky, a umožňují tak jednodušší použití lehkých střešních pláštíů. Třístupňová konstrukce zároveň umožňuje postavit halu na větší rozpory než konstrukce dvojstupňová. Kromě toho, že vaznice nesou střešní plášť, také stabilizují vazník v tlačných oblastech proti jeho vybočení z roviny vazníku, a tak přispívají k jeho efektivnějšímu využití – snížení vzpěrných délek oblastí, které jsou namáhány tlakem.



Obrázek 8 - půdorysné schéma dvoustupňové: a) a třístupňové konstrukce: b)

Střešní trámy (vazníky) se navrhují ve třech typech podle způsobu přenosu smykových sil. Prvním typ je tzv. plnostěnný vazník (Obr. 9 a 10). Ten přenáší smykové napětí, které v průřezu vzniká za ohybu, smykem v plné stojině profilu. Asi nejtypičtější provedení plnostěnného vazníku je I – profil. Ten je velice výhodný, protože největší část hmotnosti průřezu (pásnice) je situována v největší vzdálenosti od těžiště průřezu. Díky této vzdálenosti a poměrně vysoké hmotě soustředěné daleko od těžiště lze získat jednoduše velkou únosnost profilu za využití malého množství materiálu. I – profil se nejčastěji aplikuje v podobě ocelových IPE profilů (Obr. 10), ale užívají se i provedení ze železobetonu nebo ze dřeva. Pro železobeton se ale v praxi častěji uplatňuje varianta T – profilu (Obr. 9). V dolních tažených vláknech vazníku vzniká při prostém uložení tah, který způsobí trhliny a nosnou složkou průřezu je pouze výztuž, která se většinou vejde do samotné stojiny.



Obrázek 9 - železobetonový T vazník [21]



Obrázek 10 - ocelový IPE vazník [22]

Druhým typem vazníku je prolamovaný (Vierendeelův) nosník (Obr. 11 a 12). Tento typ vazníku se od plnostěnného liší v tom, že do stojiny jsou vytvořeny otvory a zůstávají pouze příčle, které spojují horní a dolní pásnici. Příčle ve stojině společně s pásnicemi tvoří rámy, které přenáší smykové namáhání pomocí momentů na příčlích. Prolamovaný vazník představuje poměrně oblíbenou konstrukci, protože je výrazně lehčí než konstrukce plnostěnná. Zároveň vylehčení střední části průřezu nesnižuje únosnost zásadním způsobem. Otvory se také dají velice prakticky využít pro vedení rozvodů TZB – například vzduchotechnických a jiných potrubí.

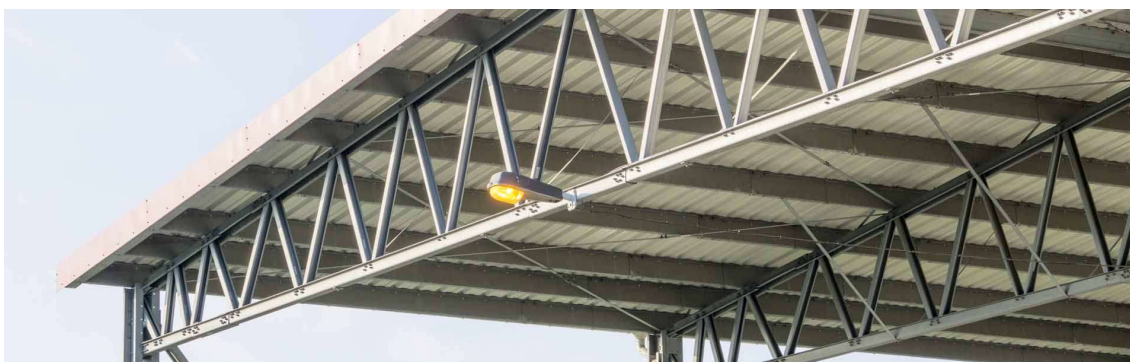


Obrázek 11 - ŽB Vierendeelův vazník [23]



Obrázek 12 - ocelový prolamovaný vazník [24]

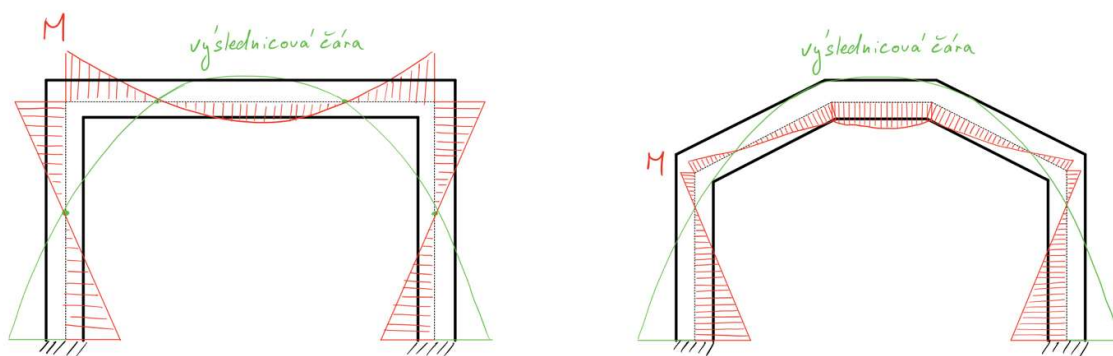
Posledním druhem vazníku je příhradový nosník (Obr. 13). Od prolamovaného vazníku se liší tím, že jeho příčle jsou ještě propojené diagonálami, které zapříčiní, že každý prvek příhradové konstrukce je namáhán pouze normálovými silami. Ohybové momenty, které vznikají ve spojích jednotlivých prutů, jsou zanedbatelné. Tato konstrukce je velice často vyráběna z oceli nebo ze dřeva, tedy z materiálů, které mají dobrou pevnost v tahu. Naopak železobetonové varianty příhradových vazníků nejsou příliš časté. Příhradové nosníky mají velice dobrý poměr únosnosti ku jejich hmotnosti. Zároveň na každý příhradový prut působí pouze normálová síla, takže lze každý prvek snadno optimálně nadimenzovat, a tím ušetřit množství materiálu i financí.



Obrázek 13 - ocelový příhradový vazník [25]

2.1.3 RÁMOVÉ HALY

Rámové konstrukce se liší od vazníkových konstrukcí vytvořením tuhého styčnicku mezi vazníkem a svislými podporami, tzv. „rámového rohu“. Podle toho, jak tuhý se styčník provede, lze velice efektivně regulovat rozdělení momentového namáhání v poli a nad podporami. Pokud bude styk proveden měkce, bude průběh ohybového momentu na rámové příčli velice podobný jako v případě vazníkové konstrukce – velký kladný moment v poli a malé záporné momenty v místě podpor. Za tímto účelem se často výška průřezu v místě uložení snižuje, a naopak zvyšuje uprostřed rozpětí. Zároveň je možné tímto způsobem eliminovat ohybové namáhání svislých částí rámu (stojek). Naopak, pokud bude styk velice tuhý, dojde k přerozdělení ohybového momentu z pole nad podpory. K vytvoření tuhého rámového rohu se většinou používají tzv. náběhy, tedy rozšíření příčle a stojky v místě spoje (rámový roh). U rámových konstrukcí se kromě změny průřezu (náběhů) také velice projevuje vliv naklonění stojek a sedlový tvar příčle. Zalomením konstrukce tak, aby se co nejvíce podobala tvaru výslednicové čáry, docílíme toho, že konstrukce je namáhána převážně normálovými silami a vliv ohybového momentu se výrazně sníží (Obr. 14).



Obrázek 14 - vliv tvaru rámové konstrukce na ohybový moment

V železobetonovém provedení se rámové konstrukce používají především u hal monolitických. V případě prefabrikovaných rámových konstrukcí je problém hlavně v provedení tuhého rámového rohu. Nejčastější variantou je rámová stojka s konzolou, ke které se na stavbě připojí zbývající část příčle. Spoj bývá proveden v místě, kde se předpokládá nulový ohybový moment. Rámové konstrukce jsou velice často používány u hal ocelových (Obr. 15) nebo dřevěných (Obr. 16). Jejich výhoda spočívá v tom, že konstrukce je v rovině rámu značně tuhá. Styk mezi

sloupem a základovou patkou se nejčastěji volí kloubový kvůli technologické náročnosti jeho provedení. U hal ze železobetonu tento problém odpadá. Vetknutí v místě napojení sloupu na základovou patku je technologicky mnohem jednodušší zrealizovat. Rámová železobetonová konstrukce haly je tedy volena zřídka kvůli technologické náročnosti a bývá využita například u hal pro těžký provoz s jeřábovými drahami s velkou nosností.



Obrázek 15 - ocelová rámová hala [26]



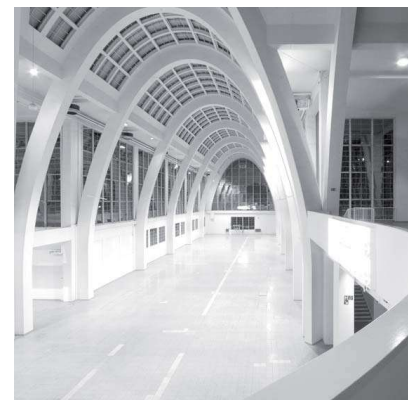
Obrázek 16 - dřevěná rámová hala [27]

2.2 KONSTRUKCE TLAČENÉ – OBLOUKOVÉ HALY

Tlačené konstrukce hal jsou takové, které přenášejí svislé zatížení, které na ně působí, převážně tlakovými normálovými silami. Aby byla tato podmínka splněna, musí tvar konstrukce co nejvíce odpovídat výslednicové čáře zatížení (Obr. 14). V případě, že tvar konstrukce odpovídá tvaru výslednicové čáry, ohybové momenty jsou po celé konstrukci nulové. Jedná se o velice efektivní konstrukci, díky které lze překlenout i relativně velké rozpory. Díky optimalizaci tvaru konstrukce a využitím hlavních materiálových vlastností (pevnosti v tlaku) lze tak dosáhnout poměrně velké úspory materiálu, a tedy i financí.

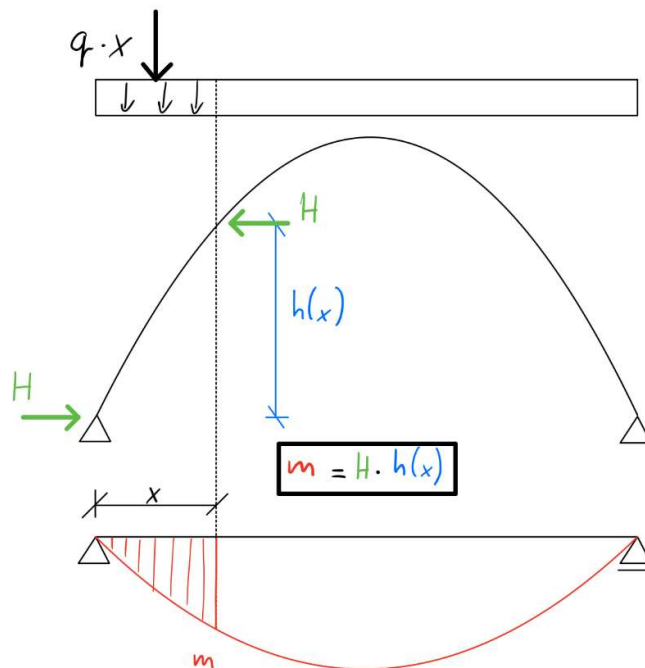


Obrázek 17 - ocelová oblouková hala [28]



Obrázek 18 – ŽB oblouková hala [29]

Konstrukce sportovní haly je zatížena zejména plošným konstantním zatížením. Výslednicová čára takového zatížení je parabola 2. stupně. Takovému tvaru by v případě, že chceme vytvořit převážně tlačenu konstrukci, měla odpovídat i samotná konstrukce. Vzniká tak konstrukce tvaru oblouku. Pro eliminaci ohybových momentů je ale nutné zajistit neposuvné uložení oblouku. Právě vodorovná reakce v uložení a vzepětí oblouku je příčinou eliminace ohybových momentů. Pokud dojde k posunu v místě uložení oblouku, konstrukce se začne chovat jako prostý nosník a ohybové momenty se do konstrukce vrátí v plném rozsahu. Kompletně se tedy přijde o hlavní výhodu tohoto typu konstrukčního systému. Na Obr. 19 je znázorněn vliv vodorovné reakce a vzepětí na snížení ohybového momentu obloukové konstrukce.



Obrázek 19 - vliv vodorovné reakce na ohybový moment

Obloukové konstrukce lze navrhovat ve variantě jednostupňové jako skořepiny, dvoustupňové, kde jsou použity obloukové nosníky, na které je připevněný plášť haly, nebo třístupňové, kde jsou jednotlivé obloukové nosníky vzájemně propojeny vaznicemi, na které je pak připevněný plášť.

Konstrukční systém obloukové konstrukce je zároveň velice výhodný z hlediska tuhosti v rovině hlavní vazby. Stejně jako rámová konstrukce je sám o sobě tuhý a není tedy potřeba jej v této rovině ztužovat. Ohybovou tuhost, kterou by potřeboval pro přenesení příčného

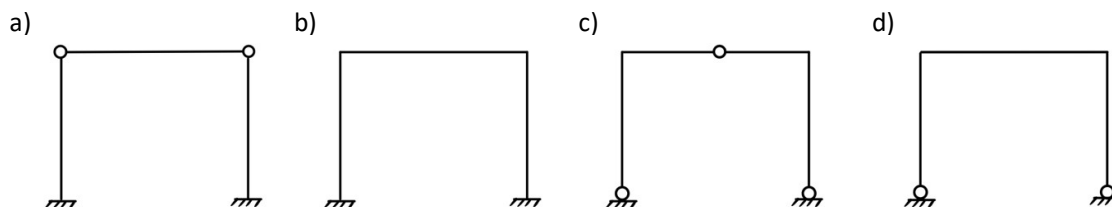
zatížení, je zpravidla již dostatečná. Oblouk potřebuje ohybovou tuhost pro zamezení vybočení vlivem tlakového namáhání od svislého zatížení. Průřez obloukového nosníku se většinou volí konstantní, ale lze navrhnout i proměnlivý po výšce oblouku. Tlakové napětí je totiž nejmenší ve vrcholu a směrem dolů se zvyšuje, není tedy potřeba zachovávat konstantní výšku průřezu po celém prvku. Při použití tohoto principu lze dosáhnout velice subtilní konstrukce, kde ve vrcholu oblouku je průřez vysoký pouze několik centimetrů, zejména u skořepin.

3 SPORTOVNÍ HALY ZE ŽELEZOBETONU

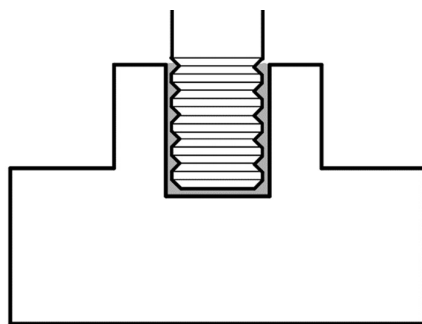
Haly ze železobetonu se projektují ve většině již zmíněných konstrukčních systémech, ale mají svá specifika. Velikým rozdílem oproti ocelovým nebo dřevěným halám je to, že železobeton velice špatně přenáší tahová namáhání, respektive ho přenáší pouze výztuž v něm. Po zhotovení dílu, v případě prefabrikace, se díl už velice špatně opracovává a upravuje. Je tedy nutné se vším počítat ve fázi návrhu a dbát na detaily a jednoduchost provedení na stavbě.

3.1 STATICKÉ MODELY

Nosný systém haly musí být dostatečně prostorově tuhý, aby dokázal bezpečně přenášet svislá a vodorovná zatížení do základu. Jeho hlavním konstrukčním prvkem je nejčastěji příčný rám. Jeho statické působení se může lišit, zejména v tuhosti provedení spojů. Nejběžněji navrhovaným konstrukčním systémem bývá vazníkový, tedy příčný rám s kloubově uloženým vazníkem (viz kapitola 2.1.2). Přehled často používaných řešení příčné vazby je názorně vidět na Obr. 20. Sloupy železobetonových konstrukcí se většinou navrhují vetknuté do základové patky. Technologicky je to nejjednodušší způsob provedení. U monolitických hal je vetknutí způsobeno přesahem výztuže z patky a výztuže sloupu. Záleží ale také na tuhosti podloží a masivnosti základu. U prefabrikovaných hal se běžně používají tzv. kalichové prefabrikované základové patky. Základová patka má v sobě kalich – prohlubeň – do které se osadí prefabrikovaný sloup, který je poté zalit betonem, a tak dojde ke zmonolitnění patky se sloupem. Sloup bývá v dolní části zdrsňen, aby spřažení obou dílů bylo co nejučinnější (Obr. 21).



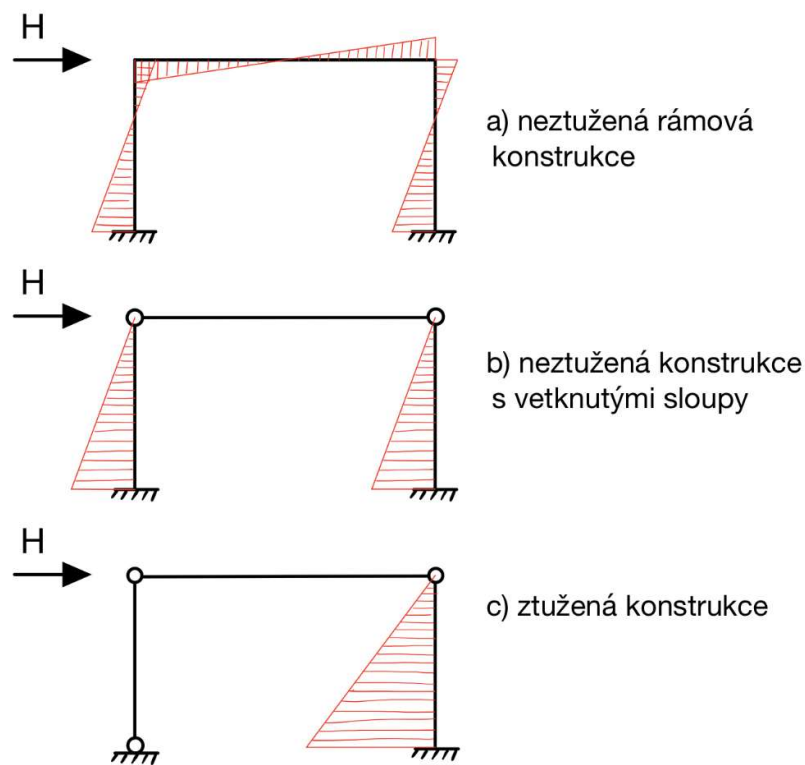
Obrázek 20 - používané statické modely příčné vazby



Obrázek 21 - kalichová prefabrikovaná patka

Tuhost v příčném směru haly je u železobetonových hal zajištěna příčnou vazbou. U většiny případů (Obr. 20–a) přenáší vodorovné namáhání sloup vetknutý do základové patky (díky neposuvnému uložení příčle se zapojuje i protější sloup). V případě b), c) a d) na Obr. 20 je toto namáhání přenášeno vlastní tuhostí rámové konstrukce. Pro zajištění přerozdělení lokálních účinků příčného zatížení (například náraz auta do jedné vazby) je zapotřebí zajistit spolupůsobení všech vazeb, aby nedošlo k přílišnému porušení nebo přímo kolapsu zatěžované vazby. K tomuto účelu se u železobetonových hal nejvíce využívá tuhá střešní konstrukce, která zajistí přenesení zatížení rovnoměrně do všech vazeb. Ztužení v rovině střešní konstrukce pomocí ocelových táhel se běžně nepoužívá z důvodu náročnosti spojů ocelových táhel a betonové konstrukce.

Na způsobu přenesení příčného zatížení ze zatěžovaného sloupu na druhý sloup v příčné vazbě má hlavní vliv způsob uložení vazníku. V případě, že je vazník uložen neposuvně, do přenášení tohoto zatížení se zapojí oba sloupy a přerozdělí si namáhání v poměru jejich tuhostí (většinou rovnoměrně). Pokud je ale vazník uložen posuvně, veškeré příčné namáhání přenáší pouze zatěžovaný sloup. Toto chování můžeme přehledně vidět na Obr. 22.



Obrázek 22 - Nosné schéma příčné vazby na vodorovné účinky zatížení

V podélném směru zajišťují tuhost ve většině případů opět vetknuté sloupy do základů. Pokud působí lokální podélné zatížení, lze zajistit spolupůsobení celé podélné řady sloupů pomocí podélných průvlaků nebo římsových nosníků. Jejich vlivem vzniknou v podélném směru spojité rámy, které mají podobné statické působení jako v příčném směru. Další možností zajištění spolupůsobení v podélném směru je využití již zmíněné horizontálně tuhé nebo dostatečně ztužené střešní konstrukce. Ta může být tvořena vylehčenou střešní deskou (například kazetovou a žebrovou) nebo předepjatými dutinovými panely, u kterých musí být zajištěna dostatečná tuhost pomocí zálivkové výztuže a správného zmonolitnění spár. Oba příklady tuhé střešní konstrukce se musí propojit s vazníky a průvlaky nebo římsovými nosníky. Mimo tyto typy střešních konstrukcí lze využít i lehkého střešního pláště, ale v tom případě nelze předpokládat, že střešní konstrukce bude přenášet vodorovná zatížení do všech vazeb a je potřeba navrhnout dodatečné ztužení pomocí diagonálních ztužidel. Pokud není zajištěno ztužení ve střešní rovině, je nutné posuzovat každý svislý nosný prvek samostatně na celý účinek vodorovného namáhání, který na něj může působit. Záleží také na umístění konkrétního prvku. Například rohový sloup může být namáhán jak v příčném, tak podélném směru. Naopak sloup uprostřed haly bude muset odolávat namáhání pouze v příčném směru.

3.2 MONOLITICKÉ HALY

V dnešní době se monolitické haly většinou neprojektují. Oproti montovaným konstrukcím mají sice výhodu, že mají větší tuhost, ale zároveň jsou mnohem pracnější na realizaci. Hlavně zhotovení rozsáhlého podpěrného bednění nosných prvků ve střešní konstrukci bývá největší problém, protože jsou často poměrně vysoko nad zemí a zhotovení konstrukce bednění ve výšce například 10 m nad zemí je zejména finančně nákladné a také velice pracné. Navíc betonáž na stavbě je mokrá proces a je nutná technologická pauza, která oproti konstrukcím montovaným s sebou nese velkou časovou ztrátu. Na druhou stranu je ale pomocí této technologie možné postavit téměř libovolně tvarovanou nosnou konstrukci (Obr. 23) a je možné se vyhnout problému s dopravou velikých dílců. I tak se ale monolitická technologie výstavby hal volí pouze u vybraných provozů typu těžkého průmyslu a konstrukcí, které musí odolávat maximálnímu zatížení, jako jsou výbuchy či pád letadla (např. mezisklad jaderného odpadu). U běžných halových konstrukcí se s nimi ale nesetkáme.



Obrázek 23 - tvarově náročná stropní monolitická konstrukce haly [30]

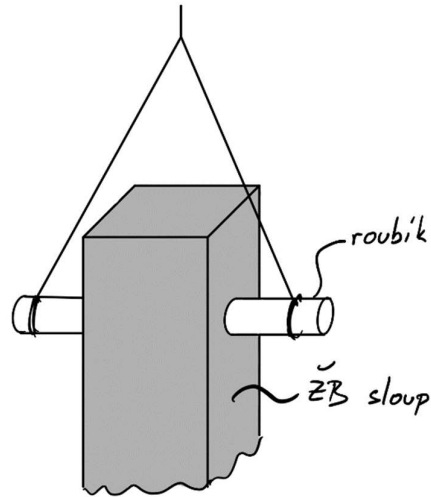
3.3 MONTOVANÉ HALY

Haly montované jsou naopak v současnosti velice navrhované. Proces montáže je oproti monolitickým konstrukcím velice rychlý, odpadá nutnost sezónní betonáže a konstrukce bývají i materiálově a finančně méně náročné.

U jednotlivých dílců se při jejich navrhování nejdříve musí navrhnout jednotlivé spoje k ostatním dílcům. Často se od nic totiž odvíjí další dimenzování.

Velkým specifíkem montovaných konstrukcí je návrh a dimenzování dílců. Každý dílec z celé konstrukce musí kromě namáhání, které na něj bude působit během užívání stavby, odolávat i všem krátkodobým návrhovým stavům, během kterých prochází (manipulaci s ním a vlivům, které na něj budou působit během výstavby). Je potřeba, aby každý prvek byl navržen s ohledem na manipulaci s ním během výroby, přepravy a montáže. Například u vazníku se musí počítat s tím, že na něj během výstavby bude působit vítr a vazník nebude stabilizovaný střešní konstrukcí. Dále je nutno zajistit, aby vazník neztratil stabilitu a během montáže nevybočila jeho horní tlačena pásnice. Dále je potřeba navrhnout manipulační úchyty, které často nejsou v místě, kde se očekávají podpory pro usazení prvku, a prvek je tak namáhán

jiným způsobem. Oproti tomu, sloupy jsou pak namáhány ohybem během zvedání z bednění při výrobě, manipulaci na stavbě nebo i tahem, pokud je jako manipulační úchyt zvolený tzv. roubík (Obr. 24 a 25). Po zabudování, většinou osazení do kalichové patky, musí sloup odolávat větru jako konzola, která není nijak stabilizována. Při osazování podélných průvlaků je sloup jednostranně zatěžován a tím vzniká ohyb, který bude vyrovnán až po osazení průvlaku z druhé strany.

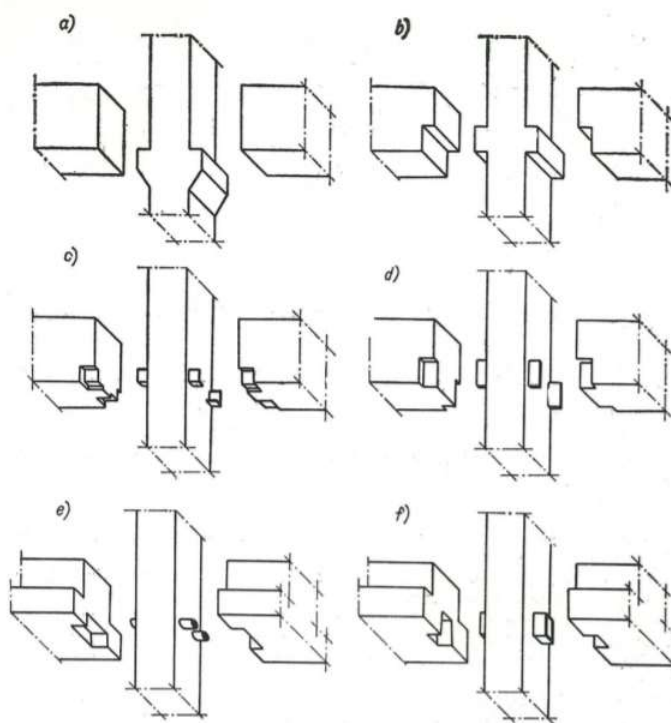


Obrázek 24 - manipulace ŽB sloupem pomocí roubíku [31] Obrázek 25 - schéma ŽB sloupu s roubíkem

3.4 STYKY PREFABRIKOVANÝCH DÍLŮ

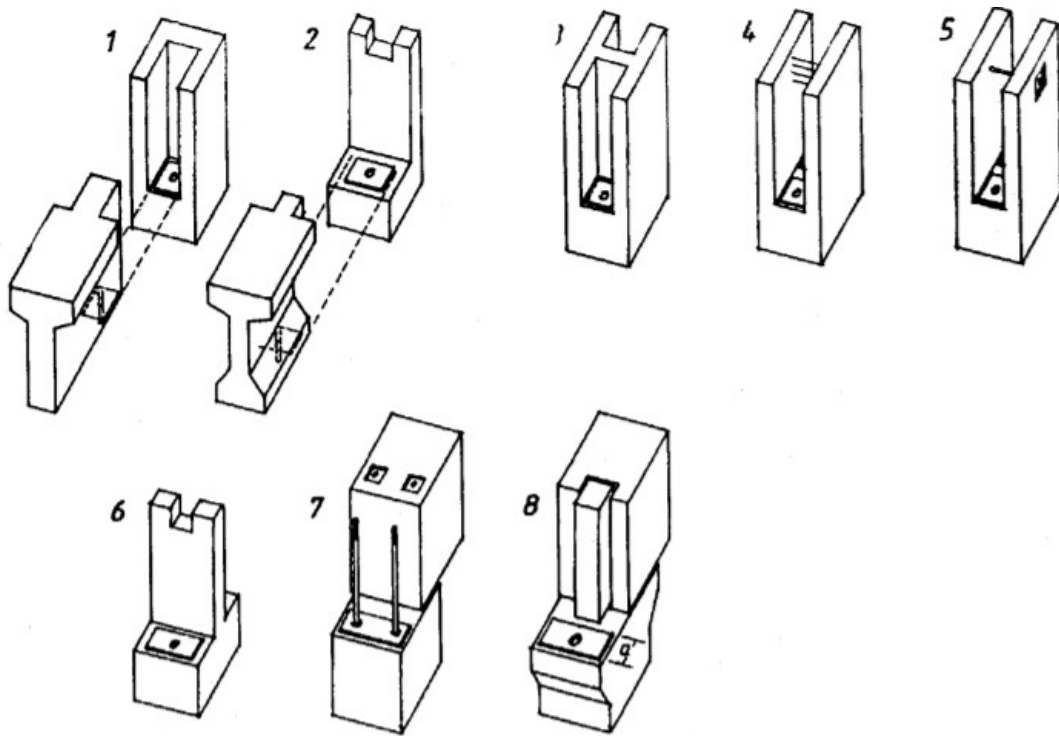
Hlavním konstrukčním problémem u prefabrikovaných konstrukcí jsou obecně styky jednotlivých dílců. Jednotlivé styky se navrhují v místech, kde je optimální namáhání, a to hlavně tlaku a ohybu. Pro halové konstrukce se jedná nejčastěji o styk průvlak (vazník)-sloup. Pro tento typ styku se nejčastěji používá osazení na konzolu (Obr. 26). Tato konzola může být různě dlouhá. Nejčastěji se volí pouze krátká, nutná pouze pro usazení vazníku bez zachování rámového rohu. Dají se ale navrhnout delší konzoly, kdy dílec sloupu rovnou obsahuje i část vazníku, který zasahuje do jedné šestiny až jedné třetiny rozponu vazníku, tedy do míst, kde je minimální nebo ideálně nulový ohybový moment. Taková dlouhá konzola může být vyrobena i včetně náběhů. Tímto způsobem lze zajistit i u prefabrikované příčné vazby rámové působení se zajištěním přenesení ohybového momentu nad podporou. Nevýhodou tohoto návrhu je větší pracnost při výrobě a větší rozměry takového dílce, což výrazně komplikuje dopravu na stavbu.

Z tohoto důvodu se nejčastěji pro stykování průvlastku se sloupem volí krátké konzoly. Bývají buď pravoúhlé (Obr. 26-b) nebo obsahují i náběhy (Obr. 26-a). Na takovou konzolu se může průvlastek osadit buď spodní hranou, nebo může být zakončen ozubem do poloviny výšky a tím zůstane zachována rovná spodní hrana průvlastku s konzolou. V případě velikých tlaků na konzolu je možné navrhnout konzolu ocelovou z úhelníku, který je do sloupu zabetonovaný již při výrobě (Obr. 26-c). Existují další varianty podobného typu, většinou různé ocelové profily, které se ukládají na jiné ocelové prvky na sloupu, a nakonec se styk svaří a zabetonuje, aby došlo ke zmonolitnění (Obr. 26-d,f).

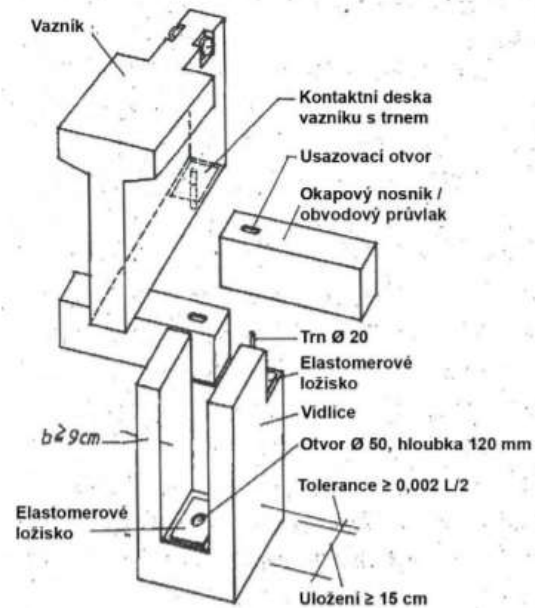


Obrázek 26 - uložení průvlastku na sloupy [14]

Velice používaným způsobem uložení vazníku na hlavu sloupu je uložení do betonové vidlice ve zhlaví sloupu (Obr. 27). Při ukládání průvlastku nebo vazníku na betonový podklad je styk opatřen elastomerovým ložiskem, aby se zabránilo obroušení a předčasnému porušení betonu v místě styku. Často bývá ve vazníku otvor přes celou výšku dílce, do kterého se zasune trn z betonářské výztuže umístěný na dně kapsy sloupu. Po uložení vazníku na sloup je pak tento otvor zainjektován injektážní maltou. Toto opatření zamezuje posunu vazníku v místě uložení. Provedení trnu je možné provést i naopak, tedy trn bude na dolní straně vazníku a otvor ve zhlaví sloupu (Obr. 28).



Obrázek 27 - příklady různých možností uložení vazníku na sloup [14]



Obrázek 28 - detail uložení vazníku na sloup [14]

4 ANALÝZA VYBRANÝCH REALIZACÍ

Byť železobeton nepatří mezi nejčastěji volené materiály pro konstrukci sportovních hal, zvláště pak pro střešní konstrukce, najdou se ve světě i v ČR stavby, kde se jako konstrukční materiál využil. Některé takové stavby jsou představeny v této kapitole.

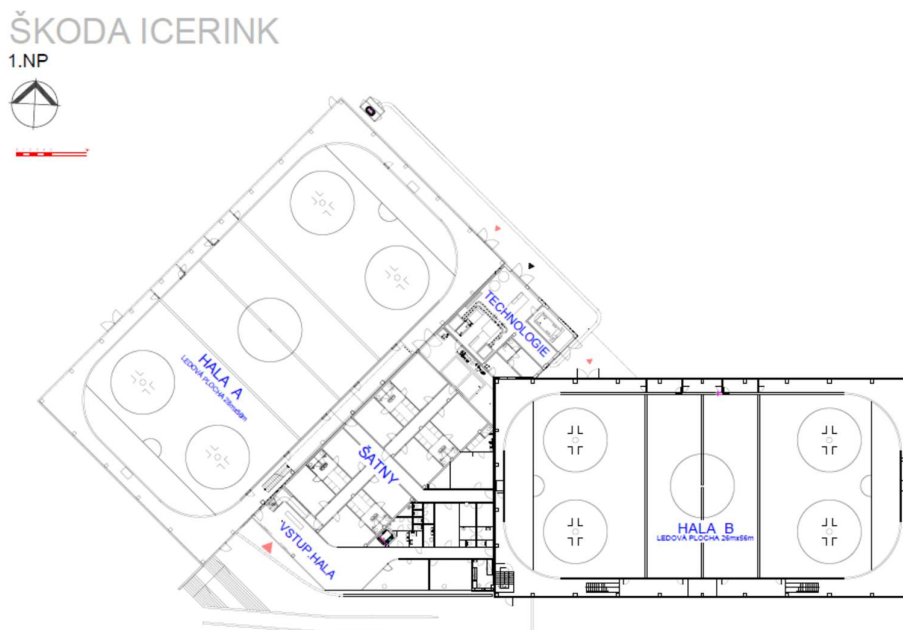
4.1 ZIMNÍ STADION ŠKODA ICERINK

Tato stavba byla otevřena pro veřejnost v lednu 2018 a nachází se ve Strašnicích v Praze. Jedná se o zimní stadion se dvěma bruslařskými plochami pro veřejnost a pro hokejové a krasobruslařské tréninky mládeže. Cílem projektu bylo postavit investičně i provozně nenáročný objekt. Zajímavostí je, že celý projekt byl uskutečněn ve velice krátké době – celý proces projektu a realizace trval pouhých 2,5 roku, z toho vlastní realizace jen 11 měsíců [15].



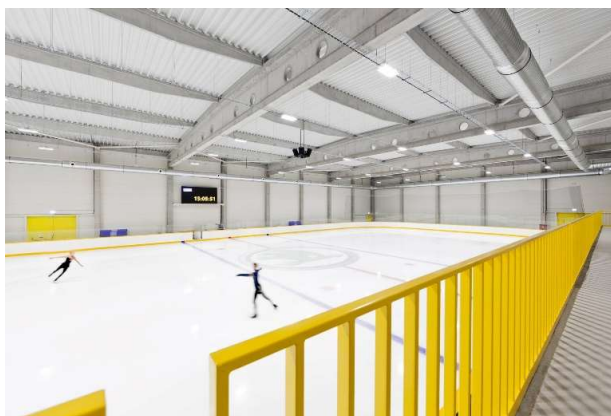
Obrázek 29 – Pohled na zimní stadion Škoda Icerink [32]

Dominantou objektu je prostřední dvojpodlažní vstupní hala, která je z exteriéru osazena nepravidelnou předsazenou fasádou, která má symbolizovat strukturu ledu pod mikroskopem (Obr. 29).



Obrázek 30 - půdorys 1.NP Škoda Icerink [33]

Konstrukční systém obou kluzišť i prostřední části je prefabrikovaný skelet ze železobetonových dílců. Svislé nosné konstrukce tvoří sloupy. Vzhledem k tomu, že z vnitřní strany není konstrukce nijak zakrytá, jsou všechny nosné prvky vyrobeny z pohledového betonu. Tato kombinace materiálu a povrchu byla zvolena vzhledem k poměrně nízkým investičním nákladům. Pohledový beton nepotřebuje další povrchovou úpravu, je bezúdržbový a například oproti oceli je sám o sobě požárně odolný bez nutnosti dalších patření.



Obrázek 31 Fáze výstavby Škoda Icerink [15] Obrázek 32 – střešní konstrukce nad kluzišťem [32]

Obě haly jsou řešeny jako jednodílní trojstupňové konstrukce, tedy sloupy–vazníky–vaznice. Pro zastřešení byla zvolena lehká ocelová konstrukce z trapézových plechů, tepelné izolace a hydroizolace. Vzhledem k netuhé střešní konstrukci bylo nutné navrhnout ocelová diagonální ztužidla (viz kapitola 3.1), která můžeme vidět na Obr. 32. Haly, které slouží jako kluzišť, mají rozpony 30 a 32 m a na délku mají 60 a 62 m. Světlá výška obou hal je 8 m ke spodní hraně vazníků. Vazníky jsou řešeny jako sedlové Vierendeelovy nosníky. Jsou kloubově uloženy v osové vzdálenosti 12 m. Sloupy jsou založeny na prefabrikovaných kalichových patkách, které byly propojeny prefabrikovanými základovými pásy. Pro obvodový plášť byly použity sendvičové panely.

Střední část také tvoří železobetonový prefabrikovaný skelet. Jednotlivé sloupy jsou spojeny průvlaky, na které jsou uloženy předepjaté dutinové panely. V nepravidelných částech byla místo předepjatých panelů použita filigránová prefamonolitická konstrukce. Obvodový plášť je vyzděný z keramických tvárnic. Na něj byl proveden kontaktní zateplovací systém se stěrkovou omítkou. Vnitřní příčky jsou až na výjimky zděné z betonových KB bloků. Kromě nátěru proti otěru nemají žádnou povrchovou úpravu.

Objekt byl oceněn jako Stavba roku 2018. Stavba byla postavena výhradně na náklady investora bez použití žádných veřejných dotací (celkové investiční náklady činily 170 mil. Kč).

4.2 SPORTOVNÍ CENTRUM UNIVERZITY FHNW V BRUGG

Tato hala se nachází ve Švýcarsku ve městě Brugg. Jedná se o sportovní centrum švýcarské Univerzity aplikovaných věd FHNW. O návrh tohoto objektu byla uspořádána mezinárodní soutěž. Podmínkami návrhu bylo, aby objekt obsahoval 2 velké tělocvičny, několik menších a zároveň i učebny a venkovní hřiště. Zároveň měl návrh respektovat okolní krajinu, která leží v rekreační oblasti u řeky Aare.

Celý objekt je postaven v mírném svahu, díky čemuž bylo možné některé z prostor, jako je vstupní foyer, umístit pod úroveň velkých tělocvičen. Umístění tělocvičny v patře tak poskytuje výhled do okolní krajiny.



Obrázek 33 - sportovní centrum univerzity FHNW v Brugg, pohled z boku [16]



Obrázek 34 - sportovní centrum univerzity FHNW v Brugg, pohled čelní [16]

Suterénní konstrukce, včetně stropních desek, jsou z monolitického betonu. Hlavní dominantou objektu je přiznaná konstrukce nadzemní části. Tvoří ji celkem 24 prefabrikovaných rámu z pohledového betonu ve tvaru lomenic. Všechny sloupy jsou z jednoho dílu, které mají

na jedné straně haly výšku 11,1 m o hmotnosti 35 t a na druhé straně 14,3 m vážících okolo 43 t. Střešní vazníky mají rozpon přes 50 m a jsou tvořeny 3 díly o jednotné délce 16,3 m a hmotnosti 50 t. Rozměry i dimenze byly takto navrženy s ohledem na dopravu z výroby na staveniště. Všechny prefabrikované díly jsou zmonolitněné betonovou zálivkou a dodatečně předepnuty, díky čemuž byla z jednotlivých dílů vytvořena konstrukce tuhého rámu. Jednotlivé hřebeny střešních vazníků jsou navzájem spojeny přivařenými ocelovými deskami a zality speciální zálivkovou maltou (Obr. 35). Všechny vazníky jsou tak tuze spojeny a tvoří dohromady jednu skořepinu. Rozměry průřezu vazníků jsou 2,59 x 2,93 m (Obr. 37). Střešní vazníky mají tloušťku stěny pouhých 160 mm. Navržena byla na minimum, pouze s ohledem na to, aby se do průřezu vešla předpínací výztuž. Jednotlivé lomené desky střešních nosníků zvětšují v blízkosti sloupů svoji tloušťku na 245 mm a plynule přechází ve sloup. V rohu rámu má průřez sloupů tvar písmene V (Obr. 37 - řez I-I a III-III), ale směrem dolů se sloup postupně zužuje a přechází v písmeno Y až do obdélníku o délce 360 mm v patě rámu (Obr.37 - řez IV-IV až V-V).

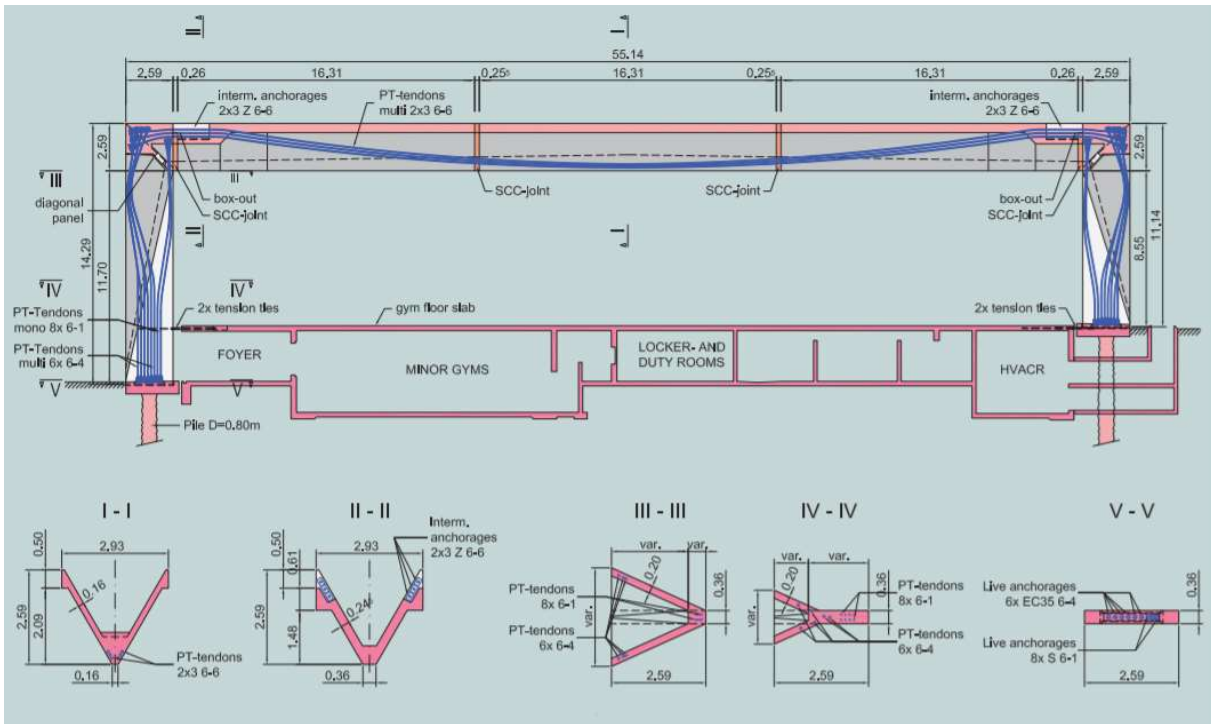


Obrázek 35 - spojení střešních vazníků [16]

Obrázek 36 - diagonální panel v rámovém rohu [16]

Stabilitu haly v příčném směru zajišťují samotné rámy. Do rohů jednotlivých rámových jednotek byly vloženy diagonální panely (Obr. 36), které jsou průběžné po celé délce haly a tvoří tak táhlo. Zároveň zajišťují stálou polohu jednotlivých lomenic, a navíc spojují hlavy sloupů, díky čemuž sloupy vytváří průběžný rám i podélně a zajišťují tak stabilitu i v tomto směru. Zachycení vodorovných reakcí od rámu je řešeno jako uzavřený systém. Sloupy jsou spojeny se stropní deskou velkých tělocvičen, která je také předepnutá a působí jako táhlo, které tyto reakce eliminuje. Každý sloup tak může být založen pouze na jedné betonové pilotě, která

přenáší pouze svislé zatížení. Všechny piloty mají průměr 0,8 m a jsou navzájem spojeny tuhým základovým pásem, aby bylo zamezeno nebezpečí rozdílného sedání. Monolitická konstrukce spodních podlaží je založena samostatně na základové desce. Stropy monolitických konstrukcí jsou spojeny se sloupy pomocí nerezových táhel, které mají zamezit možnému rozdílnému sedání monolitické a prefabrikované části (Obr. 37).

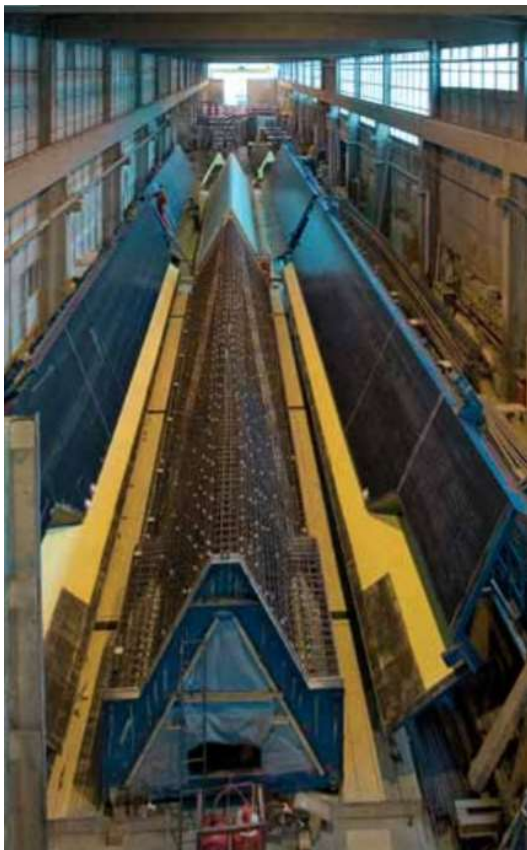


Obrázek 37 - schéma nosné konstrukce příčné vazby [16]

Sloupy prefabrikované části byly předepnuty již v panelárně. Pasivní kotvy předpínacích lan se nachází v hlavě sloupu a předpínány byly v patě, kde se nachází kotvy aktivní. Díky tomu se ušetřilo místo v rámovém rohu kvůli menšímu rozměru pasivních kotev. Naopak střešní nosníky byly předepnuty až na stavbě po sestavení celé konstrukce a po zabetonování všech styčníků. Do předpínacích lan bylo vnášeno napětí postupně pomocí mezilehlých kotev umístěných ve hřebeni nosníků v kapsách. Kapsy poté byly zalité betonem a po zatuhnutí nejsou vidět. Díky tomuto návrhu dodatečně předpínané prefabrikované konstrukce jsou prvky v konečném stádiu působení plně tlačené, průměrné tlakové napětí v betonu je -4,6 MPa [16].

Zateplení celého objektu je řešeno pomocí zavěšených konstrukcí s tepelnou izolací na střešních vaznicích. Tvar střešní lomené skořepiny přirozeně odvádí dešťovou vodu k okrajům, kde se vlévá do zalomení sloupů, které takto fungují jako odvodňovací žlaby,

až na zem. Sloupy také svým tvarem stíní prosklenou fasádu na podélných stranách haly. Betonové prvky, které jsou v přímém kontaktu s dešťovou vodou, byly opatřeny hydrofobní impregnací a dodatečným transparentním nátěrem. Střešní vazníky jsou navíc chráněny vodotěsným polyuretanovým nátěrem, který je odolný vůči UV záření. Beton použitý na výrobu prefabrikátu je samozhutitelný s maximálním zrnem kameniva 8 mm, pevnostní třídy C50/60. Jednotlivé prvky byly betonovány ve vertikálně obrácené poloze (Obr. 38), aby během betonáže nedošlo k vadám na povrchu pohledového betonu.



Obrázek 38 - betonáž střešního vazníku [16]



Obrázek 39 – interiér sportovního centra [16]

Práce začaly realizací pilot v říjnu 2008 a osazování prefabrikovaných prvků skončilo v dubnu 2009. Pro realizaci bylo nutné vyrobit speciální ocelovou hydraulickou konstrukci, která podírala prefabrikáty až do vnesení předpětí, kdy byla odstraněna. Osazování dílců bylo zajištěno pomocí pojízdného 500 t jeřábu. Celé sestavení prefabrikované konstrukce trvalo pouhé 4 měsíce. Náklady na celou stavbu včetně vybavení a terénních úprav čítaly v přepočtu přibližně 700 mil. Kč.

5 KONSTRUKČNÍ NÁVRH ZASTŘEŠENÍ ŠKOLNÍ TĚLOCVIČNY

Předmětem konstrukční části práce je návrh zastřešení školní tělocvičny v návaznosti na svislé nosné konstrukce. Tělocvična je součástí většího dilatačního celku objektu MŠ a ZŠ U Elektry v Praze ve Vysočanech. V 1. PP se nachází sociální zázemí, šatny a posilovna, v 1. NP část školní jídelny a na střeše venkovní hřiště. Dilatační celek je založen částečně na základové desce a částečně na základových patkách, které jsou propojeny pod suterénními stěnami základovými pásy.

V rámci této práce je pozornost zaměřena na návrh a posouzení nosných prvků zastřešení tělocvičny, který je zpracován ve 2 variantách:

- Vazníkový systém s dutinovými panely
- Oblouková konstrukce

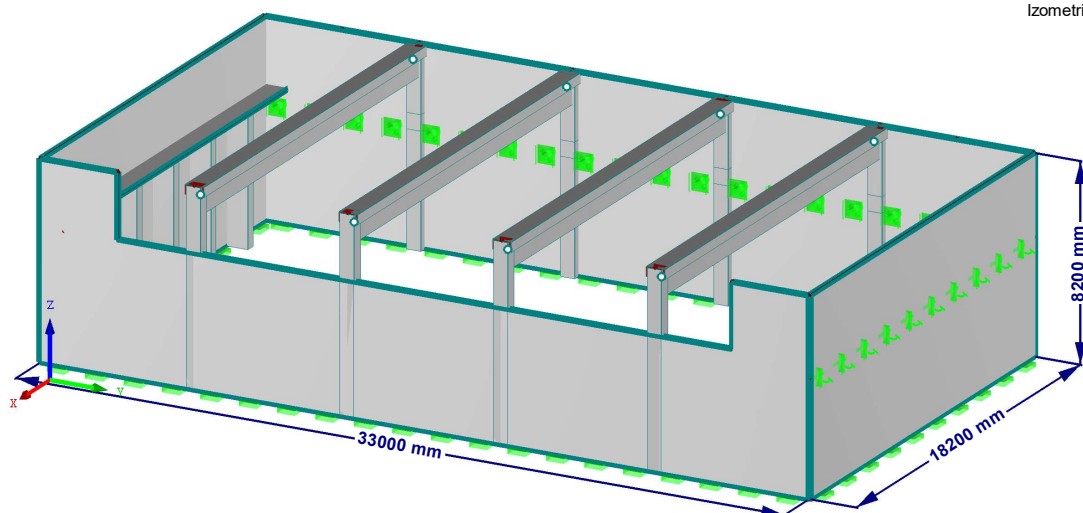
Druhá varianta neodpovídá původnímu architektonickému návrhu: je zrušeno venkovní hřiště na střeše a tělocvična je řešena jako samostatný objekt na terénu.

Uspořádání a řešení okolních konstrukcí je převzato, a proto se jím nebudu dále zabývat.

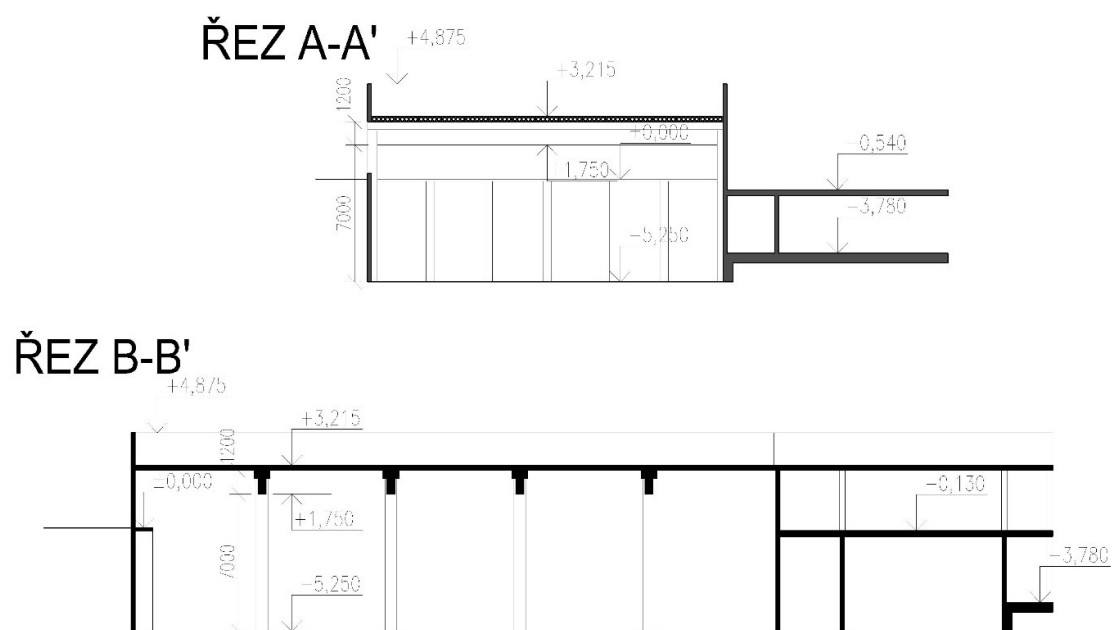
5.1 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ – VAZNÍKY S DUTINOVÝMI PANELY

Velká tělocvična má půdorysné rozměry 33,2 x 18,4 m s výškou 8,2 m. Toto konstrukční řešení počítá s monolitickými železobetonovými sloupy, které budou betonovány společně se suterénními stěnami jako pilastry. V nadzemní části pak budou stěny ukončeny a dále budou pokračovat samostatné sloupy. Vazníky budou uloženy do kapes v těchto sloupech. Na vazníky dále budou položeny dutinové předepjaté panely Spiroll, které budou dále pomoci stykovací výztuže a zálivky zmonolitněny a budou tvořit tuhou stropní tabuli. Na tyto panely bude provedeno souvrství střešního pláště, které je detailně popsáno ve statickém výpočtu. Tato skladba slouží jako povrch pro venkovní hřiště.

Pro návrh střešních vazníků je zanedbán vliv větru s ohledem na jeho příznivé působení (sání). Při výpočtu svislých konstrukcí s působením větru počítám, byť jeho vliv je téměř zanedbatelný vzhledem k malé výšce objektu nad terénem. Zemní talky na suterénní stěny předpokládám v klidu. Uvažuji s přitížením na terénu 5 kN/m².



Obrázek 40 - Model haly – varianta č. 1

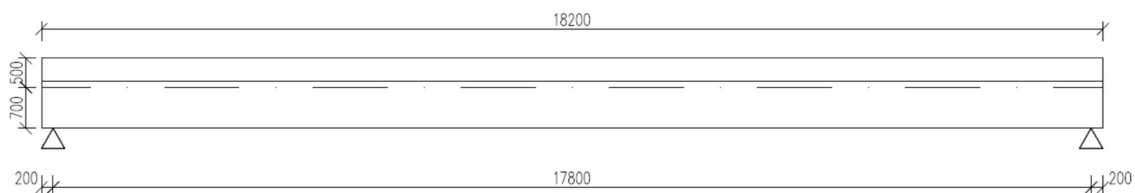


Obrázek 41 - schematické řezy A-A' a B-B' var. 1

5.1.1 VAZNÍK

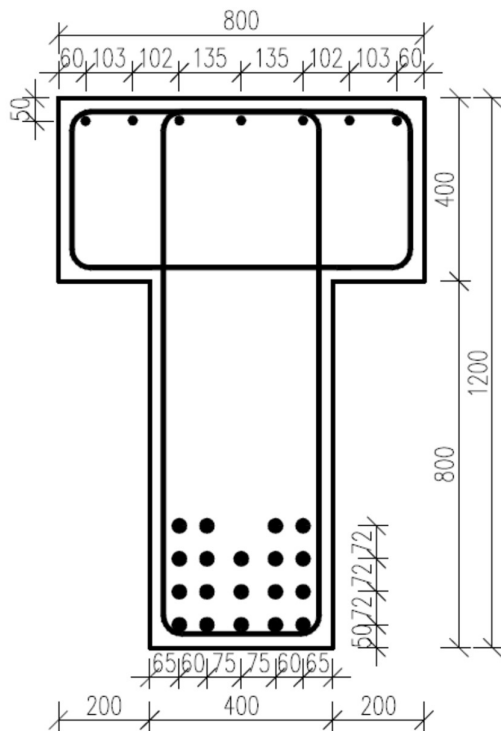
Vazník byl navržen jako prefabrikovaný železobetonový dílec s konstantním T průřezem po celé jeho délce. Vazníky jsou uloženy na monolitické sloupy do kapes na pryžové ložisko a na tm.

Zatížení bylo uvažováno: vlastní tíha vazníku, vlastní tíha dutinových panelů, vlastní tíha střešního pláště a užité zatížení střechy venkovního hřiště. Pro návrh byly zohledněny 3 stavy vazníku: manipulace při usazování, uložení na sloupy bez stabilizace dutinovými panely a provozní stav (podrobněji viz statický výpočet).



Obrázek 43 - schéma vazníku var. 1

Uspořádání podélné výztuže

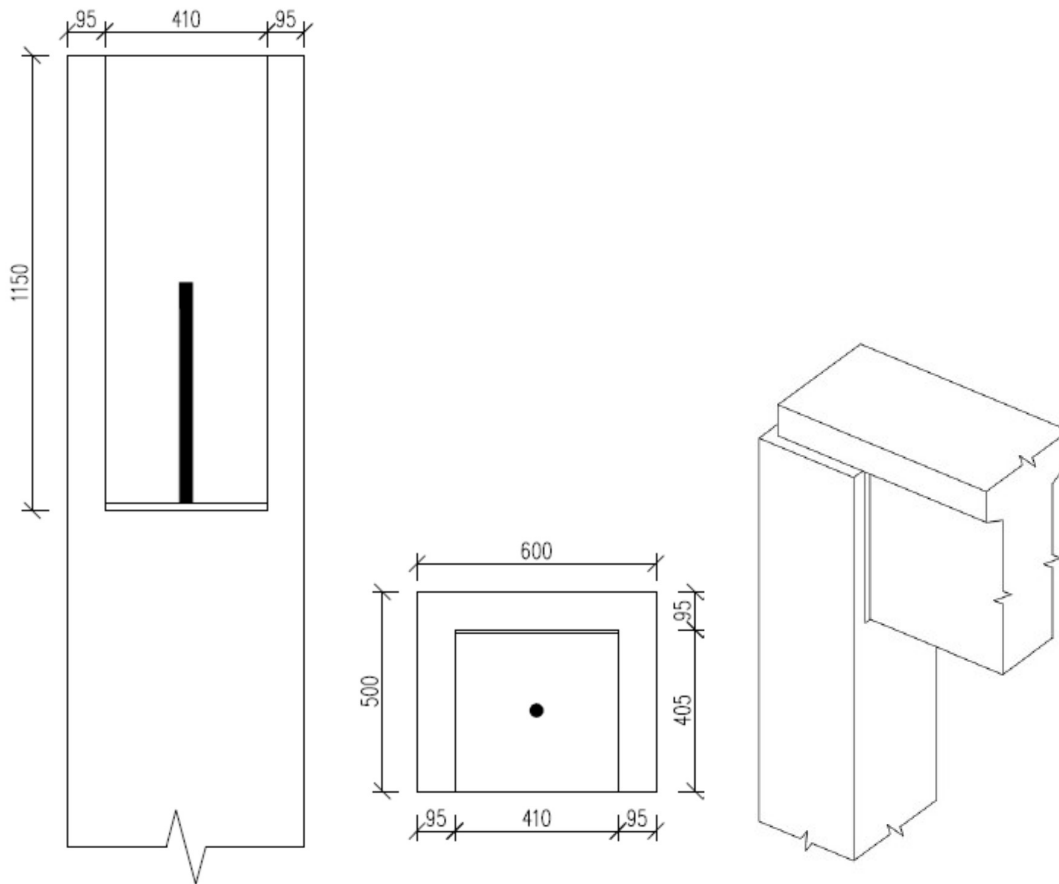


Obrázek 44 - schéma nosné výztuže var. 1

5.1.2 SLOUP

Sloup je vysoký 8,2 m. V jeho zhlaví je kapsa (vidlice) o rozměrech 410 x 405 mm pro uložení vazníku. V kapse je vloženo pryžové ložisko 400 x 410 mm, na které bude uložen vazník. Skrz ložisko vede trn, který slouží k neposuvnému uložení vazníku.

Při dimenzování sloupu jsem uvažoval s vlivem bočního větru na nadzemní část sloupů, zemními tlaky na suterénní stěnu, zatížením od vodorovných nosných konstrukcí i excentricitou uložení vazníku. Zvlášť byla posouzena vidlice, do které se vazník ukládá a dále byla navržena i výztuž navazujících stěn.



Obrázek 45 - schéma sloupu var. 1

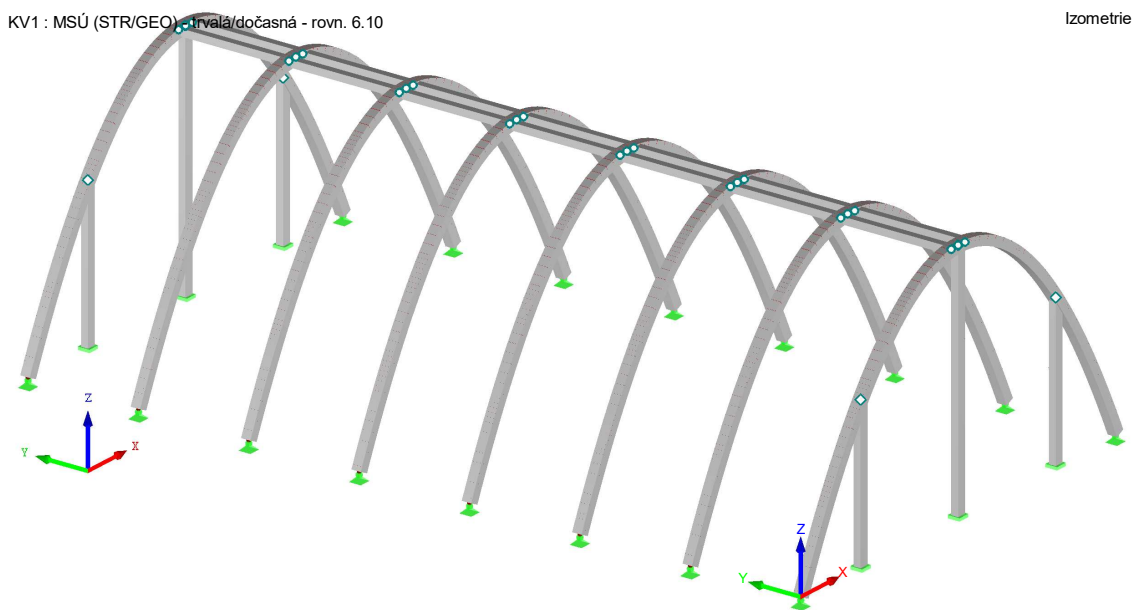
5.2 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ – OBLOUKOVÁ KONSTRUKCE

Toto řešení neodpovídá původnímu architektonickému řešení. Kvůli tomu, že v původním návrhu tělocvična navazuje na další prostory školy, nedává jiné řešení než pravoúhlý systém smysl.

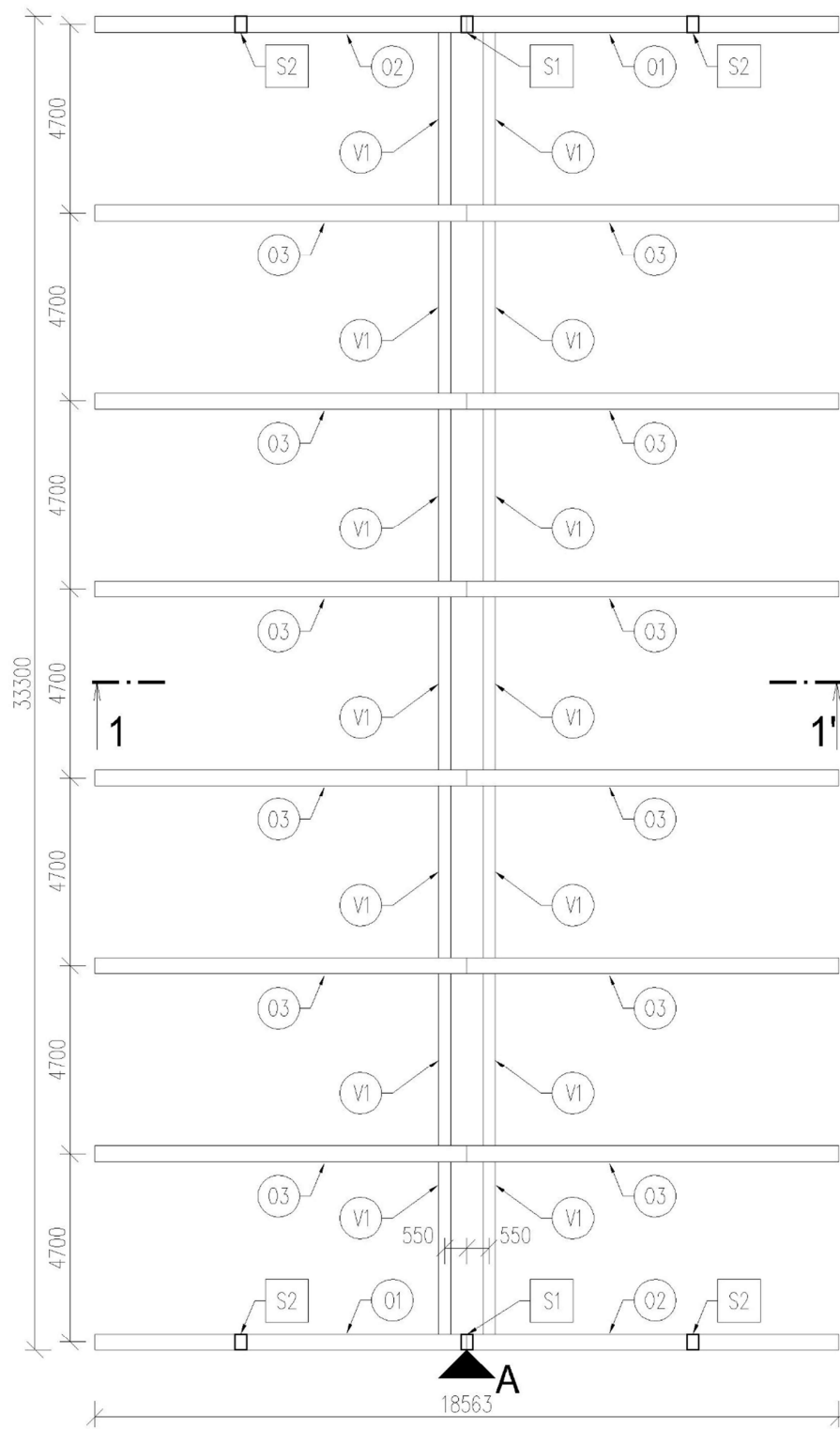
Tělocvična je navržena jako samostatný dilatační celek bez venkovního hřiště na střeše a s podlahu na úrovni terénu. Nosnou konstrukci tvoří oblouková žebra, která jsou řešena jako prefabrikát ze 2 dílů připojených k sobě. Celkovou tuhost konstrukce zajišťují štítové sloupy a jednotlivé oblouky jsou navzájem propojeny vaznicemi blízko vrcholu oblouků.

Tělocvična má půdorysné rozměry 33,3 x 18,56 m a vzezpetí oblouku je 10 m. Plášť je tvořen sendvičovými panely KS1000 TOP-DEK, které jsou speciálně určeny pro obloukové střechy. Oblouky jsou založeny na roznášecím základovém pásu v podélném směru, který zabrání případnému nerovnoměrnému sedání. Ten ale nebyl součástí návrhu.

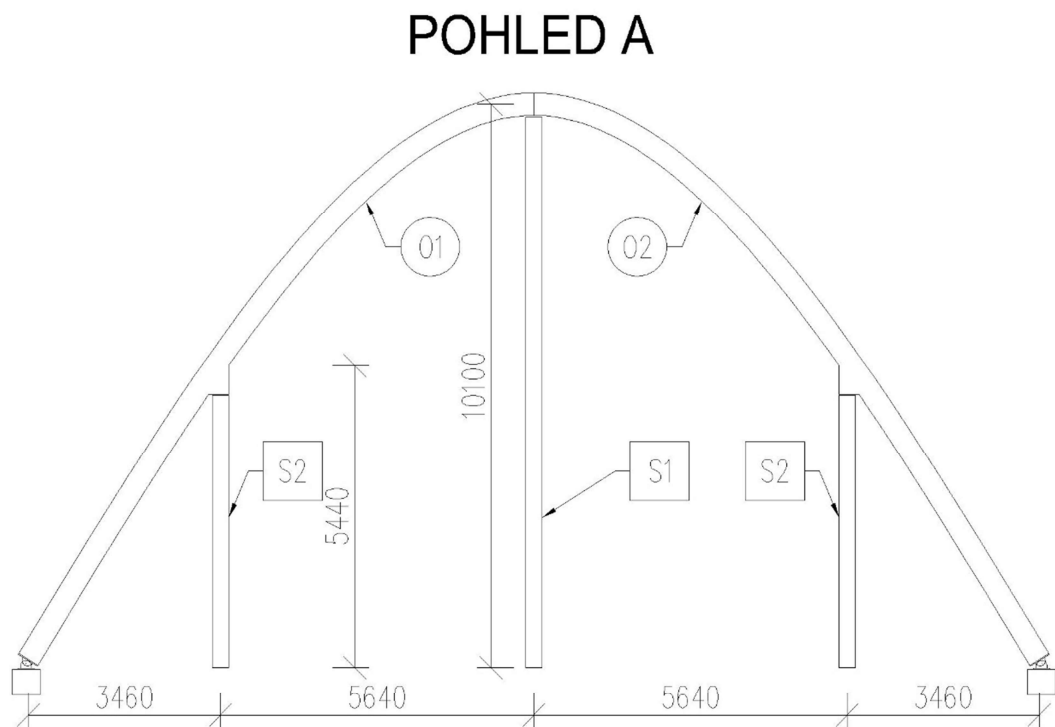
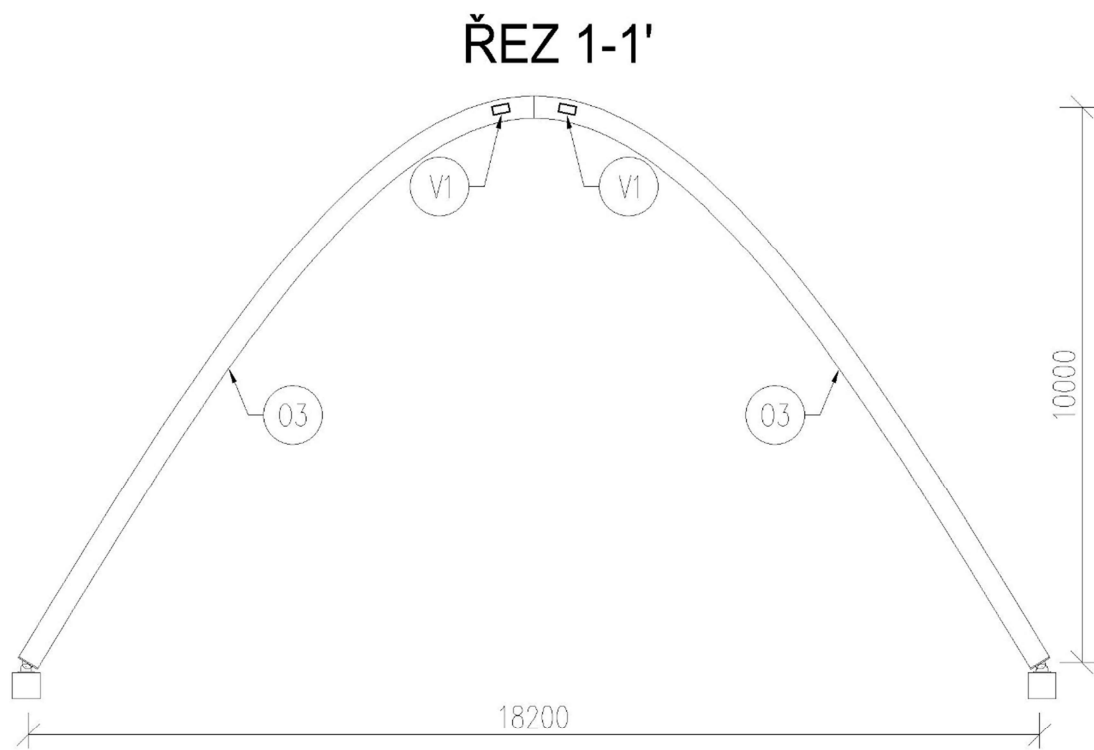
Pro výpočet byl zvolen statický model trojkloubového oblouku.



Obrázek 46 - model haly – varianta č. 2



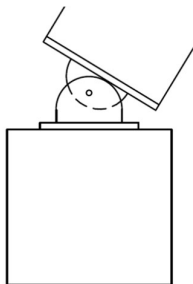
Obrázek 47 - varianta č. 2 - kladečský plán



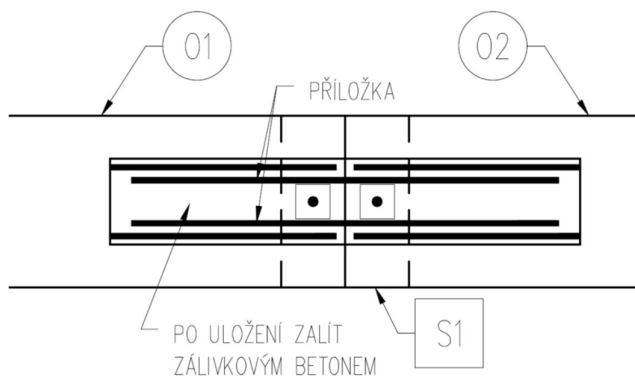
Obrázek 48 - varianta č. 2 – řez a pohled

5.2.1 OBLOUK

Oblouk je řešen jako trojkloubový parabolický oblouk ze 2 prefabrikátů o konstantním průřezu 400 x 400 mm. K základům je připojen pomocí ocelové patky (Obr. 49). Horní část patky, je přímo zabetonovaná do dílce. Dolní část se vyrobí a dodatečně připojí k základovému pasu pomocí chemických kotev. Ve vrcholu se oba díly oblouku o sebe opřou a nasunou na trny ve středovém štítové sloupu. Poté se do nevybetonovaných kapes u horní výztuže oblouků přidají příložky. Pak se styk zalije záливkovým betonem (Obr. 50).



Obrázek 49 - Varianta 2 - schéma ocelové patky



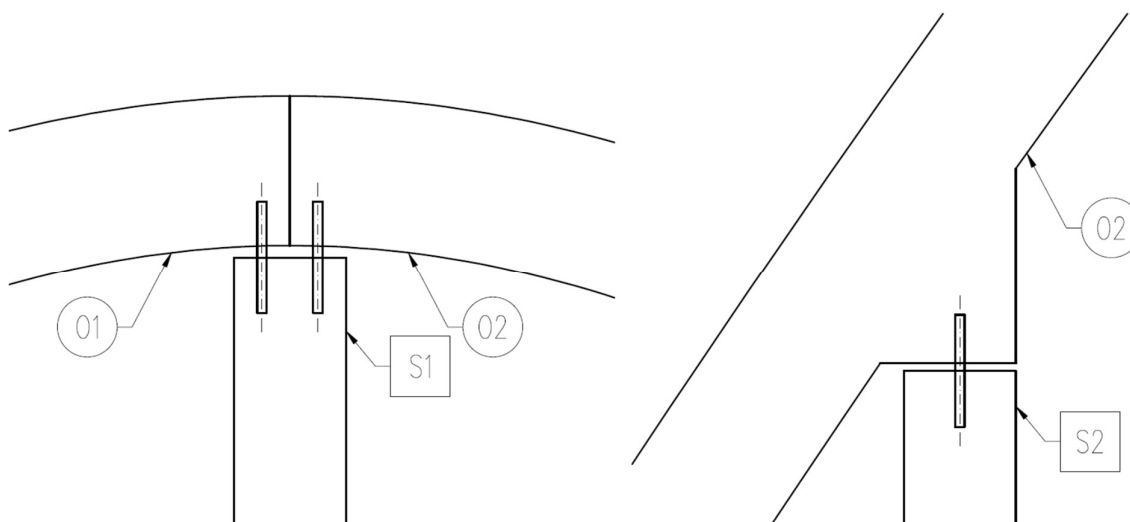
Obrázek 50 - Varianta 2 - schéma styku oblouků

Ve výpočtu je zohledněno působení větru ve směru podélném i příčném. Zatížené sněhem bylo uvažováno jako rovnoměrné svislé zatížení na průmět délky oblouku do vodorovné roviny. Užité zatížení na neužitnou plochu bylo menší než zatížení sněhem, z tohoto důvodu jsem s ním neuvažoval. Dále byla zohledněna vlastní tíha střešního pláště a vlastní tíha všech konstrukcí.

Ocelová patka i všechny ostatní styky byly zvlášť posouzeny ve statickém výpočtu. Při použití systémových výrobků byl výpočet proveden podle postupu výrobce, v ostatních případech dle platné normy.

5.2.2 SLOUPY

Sloupy jsou prefabrikáty o rozměrech 300 x 400 mm, které budou založeny do kalichové patky. Spodní část sloupů je zdrsněna kvůli lepší přilnavosti se zálivkovým betonem. Ve zhlaví sloupů jsou zabetonovány smykové trny, na které se zasunou smyková pouzdra zabetonovaná do obou částí oblouku (Obr. 51).



Obrázek 51 - Varianta 2 - schéma styků sloupů a oblouku

Se sloupy bude manipulováno pomocí manipulačního „roubíku“ (Obr. 25), který se zasune do otvoru ve sloupech.

Sloup byl posouzen na montážní stav, kdy na něj působí tah způsobený vlastní tíhou, a stav provozní. Styk s obloukem umožňuje svislé deformace oblouku, ale ve vodorovném směru sloup halu ztužuje.

5.2.3 VAZNICE

Vaznice tvoří pouze ztužující funkci. Jejich rozměry jsou 300 x 300 mm. Na oblouky jsou připojeny pomocí ozubu na obou koncích, které se usadí na konzolky na obloucích. Na konzolkách oblouku jsou trny, které se nasunou na otvor v konzole. Styk se dále zabetonuje, aby došlo ke zmonolitnění. Pro výpočet byla uvažována pouze vlastní tíha vaznice a normálové síly způsobené větrem.

6 ZÁVĚR

Sportovní haly jsou odlišné od ostatních typů halových konstrukcí zejména tím, že zpravidla není možno umístit svislé nosné konstrukce jinam než po obvodu objektu. Práce představila základní principy jejich řešení a bylo vysvětleno, jak aplikovat principy návrhu na konstrukce ze železobetonu. Ukázalo se, že technologie prefabrikace má u těchto konstrukcí velké výhody oproti monoliticky prováděným halám a byla vysvětlena problematika související s oběma možnostmi technologického provedení.

V konstrukční části byly navrženy 2 varianty konstrukčního řešení školní tělocvičny.

První varianta respektuje architektonický návrh objektu, kdy je většina tělocvičny umístěna v suterénu, navazují na ni ostatní části dilatačního celku a na střeše tělocvičny je venkovní hřiště. Tato varianta má velkou výhodu, že prostor je maximálně využit. Pravoúhlý systém nezměňuje užžitnou plochu prostoru a pravidelné rovné prvky jsou jednoduché na bednění a výrobu, ale je velká spotřeba betonářské výztuže.

Jako druhá varianta byla zvolena oblouková konstrukce. Účelem návrhu bylo poukázat na rozdíly mezi oběma způsoby řešení nosné konstrukce. Oblouková konstrukce je ideální tvar pro přenášení svislých zatížení. Při správném návrhu je prvek namáhán ohybovým momentem pouze od proměnného zatížení, například od větru. V porovnání s první variantou je oblouk výrazně méně vyztužen a může být subtilnější. Přímou montáž kompletního prefabrikovaného skeletu je také daleko méně pracnější než monolitická konstrukce, která je ještě z větší části pod úrovní terénu. Naopak výroba parabolických dílů bude mnohem pracnější než rovné vazníky. Další nevýhodou obloukové konstrukce je, že nelze plně využít celkovou vnitřní podlahovou plochu kvůli šikmé stěně. Oblouk neumožňuje využití střechy k užžitným účelům jako v první variantě.

Návrh hal představuje komplexní úlohu, u které je potřeba zvolit konstrukční systém s ohledem na požadované využívání. Pokud je potřeba postavit objekt pouze s plošným využíváním prostoru v jednom patře, vyplatí se jednoduchá efektivní konstrukce, která bude sloužit pouze jako zastřešení prostoru. Naopak, pokud je potřeba využít větší prostor ještě v několika podlažích, je potřeba zvolit takový konstrukční systém, který toto využívání umožní, byť není staticky zcela ideální. Dále je důležité volit technologii výroby, která bude nejpraktičtější a bude minimalizovat kombinaci různých technologických postupů.

Seznam použité literatury

- [1] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- [2] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [3] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- [4] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- [5] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [6] ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků
- [7] PROCHÁZKA, Jaroslav, Jiří ŠMEJKAL a České vysoké učení technické v Praze. Stavební fakulta. *Betonové vícepodlažní a halové konstrukce*. 1. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2018. ISBN 8001065189; 9788001065181;.
- [8] BILL, Zdeněk a České vysoké učení technické v Praze. Stavební fakulta. *Konstrukce pozemních staveb: halové stavby*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1980.
- [9] KOHOUTKOVÁ, Alena et al. *Modelování a vyztužování betonových prvků: lokální modely železobetonových konstrukcí*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 8001053296; 9788001053294;.
- [10] HANZLOVÁ, Hana, 1965, Jiří ŠMEJKAL a České vysoké učení technické v Praze Stavební fakulta. *Betonové a zděné konstrukce 1: základy navrhování betonových konstrukcí*. Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2013. ISBN 9788-0010.
- [11] WITZANY, Jiří a České vysoké učení technické v Praze. Stavební fakulta. *Konstrukce pozemních staveb 70 : prefabrikované konstrukční systémy a části staveb*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2003.
- [12] BAZGIER, Vojtěch, *Styčníky prefabrikovaných betonových konstrukcí*. Bakalářská práce pod vedením doc. Ing. J. Vodičky, CSc, FSv ČVUT Praha, 2017

- [13] Ing. Vladimír Jirka, Ph.D. – Pozemní stavitelství – přednášky *Konstrukční systémy halových staveb* [online]. Dostupné z:
https://www.fa.cvut.cz/studium/predmety/pozemni-stavitelstvi-ii/prednasky/ps2_1920_haly-vseobecne.pdf
- [14] SLABÝ, Ondřej a kolektiv – Vyztužování poruchových oblastí železobetonové konstrukce: Železobetonový prefabrikovaný sloup – návrh uložení střešních vazníků na hlavu sloupu. [online], cit. 16.5.2021. Dostupné z:
<https://concrete.fsv.cvut.cz/projekty/pdf/2017/>
- [15] SEDLÁŘOVÁ, Barbora a ŠIMČKOVÁ, Lucie. Zimní stadion Škoda Icerink. *Beton TKS* [online]. Ročník 2019, vydání 1. Cit. 16.5.2021. ISSN: 1213-3116. Dostupné z: <https://www.betontks.cz/>
- [16] Redakce. Velkorozponová konstrukce sportovní haly z prefabrikovaných betonových lomenic. *Beton TKS* [online]. Ročník 2012, vydání 5. Cit. 16.5.2021. ISSN: 1213-3116. Dostupné z: <https://www.betontks.cz/>
- [17] <http://www.levnystrop.cz/>
- [18] <https://www.panelshop.cz/>
- [19] ŽDÁRA, Vladimír. Prizmatické lomenice. *Konstrukce s převažujícím ohybovým namáháním*. [online], cit. 16.5.2021. Dostupné z: <https://docplayer.cz/105271859-Konstrukce-s-prevazujicim-ohybovym-namahanim.html>
- [20] <http://www.caok.cz/aktualne/ocelove-konstrukce-obchodniho-centra-cerny-most>
- [21] <http://www.vces-prefa.cz/reka-metuje-bude-zase-o-neco-cistejsi>
- [22] <https://www.unihal.cz/montovane-haly/skladba-montovane-haly>
- [23] <https://docplayer.cz/111050075-BI-04-vodohospodarske-betonove-konstrukce-monotovane-konstrukce.html>
- [24] <https://www.dlupal.com/cs/akce-a-novinky/novinky/archiv-newsletteru>
- [25] <https://www.prihradovevazniky.cz/>
- [26] <https://www.unihal.cz/ocelove-konstrukce>
- [27] <https://docplayer.cz/108064191-Ramove-konstrukce-tlacene-a-ramove-konstrukce-vladimir-zdara-fsv-cvut-praha-2016.html>

- [28] <http://www.haly-morkus.cz/montovane-haly/obloukove-haly>
- [29] <https://docplayer.cz/166497-Veletrhy-brno-a-s-vystaviste-1-647-00-brno-ceska-republika-tel-420-541-152-862-rent-bvv-cz-vas-prostor.html>
- [30] <http://www.stavbaroku.cz/printDetail.do?Dispatch=ShowDetail&siid=1098>
- [31] <http://www.rieder.cz/produkty/prefabrikovane-haly/sloupy.php>
- [32] <https://www.icerink.cz/>
- [33] <http://www.stavbaroku.cz/printDetail.do?Dispatch=ShowDetail&siid=1700>
- [34] *Prefa Praha a.s.*, 2021 [online]. Cit. 16.5.2021. Dostupné z: <https://www.prefa-praha.cz/kontakt/>
- [35] *Kingspan a.s.*, 2021 [online]. Cit. 16.5.2021 Dostupné z: <https://www.kingspan.com/cz/cs-cz>
- [36] *JORDAHL & PFEIFER Stavební technika, s.r.o.*, 2021 [online]. Cit. 16.5.2021. Dostupné z: <https://jpcz.cz/>