

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta stavební

DIPLOMOVÁ PRÁCE

KATEDRÁLA V SOUČASNOSTI

Brno, 2020

Bc. Eva Nováková



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

FAKULTA STAVEBNÍ

INSTITUTE OF ARCHITECTURE

ÚSTAV ARCHITEKTURY

KATEDRÁLA V SOUČASNOSTI

DIPLOMA THESIS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

AUTHOR

AUTOR PRÁCE

Bc. Eva Nováková

SUPERVISOR

VEDOUCÍ PRÁCE

Ing. arch. MAREK ŠTĚPÁN

BRNO 2020



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

FAKULTA STAVEBNÍ

INSTITUTE OF ARCHITECTURE

ÚSTAV ARCHITEKTURY

KATEDRÁLA V SOUČASNOSTI

DIPLOMA THESIS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

AUTHOR

AUTOR PRÁCE

Bc. Eva Nováková

SUPERVISOR

VEDOUCÍ PRÁCE

Ing. arch. MAREK ŠTĚPÁN

BRNO 2020

PODKLADY A LITERATURA

Nový zákon - sv. Matouš, Marek, Lukáš, Jan a kol.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3504 Architektura a rozvoj sídel
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3501T014 Architektura a rozvoj sídel
Pracoviště	Ústav architektury

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Eva Nováková
Název	Katedrála v současnosti
Vedoucí práce	Ing. arch. Marek Štěpán
Datum zadání	30. 11. 2019
Datum odevzdání	29. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

doc. Ing. arch. Antonín Odvárka, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Nový zákon - sv. Matouš, Marek, Lukáš, Jan a kol.

O podstatě uměleckého díla - Romano Guardini (2009)

Slovník pojmů sakrálního výtvarného umění - Radko Chodura, Věra Klimešová, Alois Křišťan (2001)

Sacrosanctum Concilium /Konstituce o posvátné liturgii - Biskup Pavel, služebníků božích (1963)

Eucharistie v křesťanské antice - František Kunetka Teologické texty 2005/4)

Ticho a světlo - Louis Kahn (1999)

Bruno Zevi - Jak se dívat na architekturu

Polní cesta - Martin Heidegger

Má vypadat kostel jako kostel? - Marek Štěpán (ASB 10/2011)

Sakrální stavby dokážou veřejný prostor zakotvit v čase - Marek Štěpán (Artikl 5/2012)

Architekti CZ - Jaroslav Sládeček (2015)

Diplomní práce v Ateliery Marka Štěpána 2012, 2017

Náboženská víra obyvatel podle výsledků sčítání lidu v roce 2011

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Hlavním tématem zkoumání a tvorby atelieru (Laboratoře sakrálního prostoru) je současná katedrála a aktivity kolem ní a v ní v evropské duchovní krajině.

Práce bude založena na individuálních odpovědích na toto téma. Zkoumání Evropského kontextu, měřítko, a duchovní a sociální struktury vyústí v myšlenkovou syntézu. Výsledek bude návrh konkrétní stavby na konkrétním místě s konkrétní stavební technologií. Počet věřících za poslední desetiletí výrazně klesá, počet lidí věřících v posmrtný život obdobně výrazně stoupá. Duchovní rozměr bytí je prostě naší součástí. Jak s ním naložit v dnešní době?

Jak má tedy současná katedrála vypadat a jak má promlouvat k dnešnímu člověku?

Výkresová část bude zpracována s využitím ruční práce a CAD, textová část a případné tabulkové přílohy budou zpracovány v textovém a tabulkovém editoru PC. Ve stanoveném termínu bude výsledný elaborát odevzdán vedoucímu diplomové práce v úpravě a kompletaci podle jednotných pokynů Ústavu architektury FAST VUT v Brně. Při zpracování diplomového projektu je nezbytné řídit se směrnici děkana č. 19/2011 vč. příloh č.1: Úprava odevzdání a zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací (VŠKP) na FAST VUT.

Předepsané přílohy

Seznam složek:

A. DOKLADOVÁ ČÁST:

B. ARCHITEKTONICKÁ STUDIE:

- textová část A4 v předepsané podobě
- architektonická studie v úměrném měřítku
- řez fasádou od atiky až po základy v úměrném měřítku
- architektonický detail v úměrném měřítku

- úplný projekt ve formátu A3
- presentační plakát 700/1000mm na výšku

C. MODEL v úměrném měřítku

CD (nebo flash disk) s dokumentací celého projektu

Předepsané přílohy

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. arch. Marek Štěpán
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Hlavním tématem diplomové práce je komplexní návrh na záchranu katedrály Notre-Dame v Paříži. Práce se nejprve zabývá rekonstrukcí stavby včetně obnovení zřícených částí a zachování odkazu na ničivý požár z roku 2019. Stěžejní částí práce je návrh nových prostor zastřešení a jejich využití širokou veřejností.

Kvůli nejistotám ze statické stability stavby po zásahu požárem byl kladen zvláštní důraz na redukci hmotnosti nově zbudovaného zastřešení. Návrh se snaží být citlivý k duchovní funkci katedrály, a proto je střešní část provozně oddělena díky vlastnímu přístupu z nově zbudovaného podzemí, jež je rovněž součástí této práce.

KLÍČOVÁ SLOVA

katedrála, boží světlo, nová doba, záchrana, Paříž, ETFE, fotovoltaika, Notre-Dame

ABSTRACT

The main topic of the Diploma thesis is a complex design to rescue cathedral Notre-Dame in Paris. The work is firstly focused on the reconstruction of the structure including its collapsed parts and preserving a link to the destructive fire in 2019. The mainstay of the thesis is a design of new roof space and its use by broad public.

Due to uncertainties about the structure stability disrupted by the fire a great emphasis has been put on the weight reduction of the newly built roof structure. The design makes a genuine attempt to be sensitive with respect to the spiritual function of the cathedral, thus the public roof access is separated from the cathedral itself thanks to a newly built underground spaces that are also included in the design.

KEYWORDS

cathedral, divine light, new age, rescue, Paris, ETFE, photovoltaics, Notre-Dame

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Eva Nováková *Katedrála v současnosti*. Brno, 2020. 31 s., 55 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav architektury. Vedoucí práce Ing. arch. Marek Štěpán

BIBLIOGRAPHIC CITATION

Bc. Eva Nováková *Katedrála v současnosti*. Brno, 2020. 31 pp., 55 pp. of appendices Master's Thesis. Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Institute of Architecture. Supervisor Ing. arch. Marek Štěpán

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Katedrála v současnosti* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 29. 5. 2020

Bc. Eva Nováková
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Katedrála v současnosti* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 29. 5. 2020

Bc. Eva Nováková
autor práce

DECLARATION OF CONFORMITY OF THE PRINTED AND ELECTRONIC FORM OF THE FINAL THESIS

I declare that the electronic form of the submitted master's thesis titled *Katedrála v současnosti* is identical to the submitted printed form.

Brno, 29. 5. 2020

Bc. Eva Nováková
author

DECLARATION OF AUTHORSHIP OF THE FINAL THESIS

I, Bc. Eva Nováková declare that this master's thesis titled *Katedrála v současnosti* is my own work and the result of my own original research. I have clearly indicated the presence of quoted or paraphrased material and provided references for all sources.

Brno, 29. 5. 2020

Bc. Eva Nováková
author

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji mému vedoucímu práce Ing. arch. Marku Štěpánovi za věcné připomínky k mému návrhu. Dále velice děkuji Ing. Ivě Kárníkové za ochotu a pomoc při řešení požární bezpečnosti staveb, Ing. Pavlu Magdálkovi za tisk 3D modelu a Ing. Dušanu Medlovi za rozsáhlou konzultaci statiky. Nakonec děkuji své rodině a přátelům za podporu v době studia.

Obsah

KATEDRÁLA V SOUČASNOSTI

Základní údaje	16
Úvod.....	17
1. Urbanistické řešení	18
1.1 Zasazení do území.....	18
1.2 Přístupy do katedrály	18
2. Architektonicko-stavební řešení	19
2.1 Koncept.....	19
3. Funkční řešení.....	20
3.1 Podzemí	20
3.2 Lávka a střecha.....	20
4. Architektonický detail	22
4.1 Zábradlí.....	22
4.2 Podlaha	22
4.3 Osvětlení.....	22
4.4 Symbolika.....	22
5. Konstruktivně stavební řešení	23
5.1 Řešení podzemí	23
5.2 Zajištění stávající konstrukce poničené požárem.....	23
5.3 Řešení zastřešení.....	23
6. Technologie	25
6.1 Podzemí	25
6.2 Katedrála.....	25
Závěr	26
Seznam zdrojů.....	28
Seznam příloh.....	31

KATEDRÁLA V SOUČASNOSTI

PRŮVODNÍ ZPRÁVA

Brno, 2020

Bc. Eva Nováková

Základní údaje

PROJEKT: Katedrála Notre-Dame
NÁZEV PRÁCE: Katedrála v současnosti
MÍSTO: Paříž, Francie
AUTOR: Bc. Eva Nováková
VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. arch. Marek Štěpán

Zastavěná plocha: 6 144 m²
Plocha střechy: 2 070 m²
Obestavěný prostor střechy: 8 280 m³

Zastavěná plocha podzemí: 980 m²
Obestavěný prostor střechy: 3 920 m³

Úvod

Tématem diplomové práce je komplexní návrh na záchranu katedrály Notre-Dame v Paříži. Nejdříve bylo třeba učinit opatření, která stabilizují stavbu a umožní umístění nových konstrukcí na požárem poničenou katedrálu.

Samotný návrh obsahuje projekt nové střechy, sanktusník a podzemí. Navrhované podzemní prostory přímo sousedí s katedrálou a zajišťují přístup do úrovně krovu pomocí napojení na schodiště v jižní věži a dostavěného výtahu. Tento prostor je tak provozně oddělen od vlastního chodu katedrály a působí jako samostatný funkční celek.

Zvolený typ zastřešení vychází ze snahy o redukci hmotnosti a zachování odkazu na původní konstrukci v moderním provedení. Částečná průsvitnost střešního pláště je zajištěna pokročilým materiálem membránové konstrukce ETFE.

Interiér zastřešení je laděn do světlých tónů. Obsahuje pochozí lávky, které se vznášejí nad klenbami. Dominantním prvkem interiéru jsou zřícené klenby, které umožnily vpustit do katedrály „boží světlo“ a současně nabízí unikátní pohled z výšky do přízemí katedrály.

Konstrukce sanktusníku byla navržena jako dominanta zastřešení. Symbol věže a také celého návrhu je kruhový tvar, který značí věčnost a propojení tohoto světa. Tento symbol je doplněn vepsanými kříži, které vycházejí ze základní geometrie gotických prvků.

1. Urbanistické řešení

1.1 Zasazení do území

Návrh zahrnuje řešení zastřešení katedrály Notre-Dame a podzemí, odkud vedou přístupy ke střeše katedrály.

Katedrála Notre-Dame se nachází na ostrově Île de la Cité. Na ostrov je možné se dostat jedním z mostů nebo použít podzemní metro. Most ústící přímo před katedrálou Notre-Dame je pouze pro pěší, a zajišťuje tak přístup turistům. Tento most vymezuje určitou osu směřující k Notre-Dame a ústí do náměstí před katedrálou.

Nově zbudované podzemí se nachází pod touto osou a obsahuje tři vchody. První vchod se nachází v zahradách Notre-Dame, druhý vstup je zajištěn z boku rušného náměstí před katedrálou a poslední přístup je z nábřeží, čímž je zajištěno otevření celého podzemí k řece Seině.

1.2 Přístupy do katedrály

Do katedrály může návštěvník vstoupit přímo z náměstí před katedrálou, ovšem vstupy pro prohlídku střešních a věžových prostor jsou umístěny v podzemí. Zde může zvolit, kterou cestou se nahoru vydá:

- 1) Točité schodiště, které je proražením navázáno na stávající gotické schodiště v katedrále a ústí na terasu mezi Severní a Jižní věží
- 2) Prosklený výtah, který je zasazen mezi pilíře katedrály tak, aby co nejméně rušil výhled na katedrálu, a současně poskytuje panoramatický výhled na město při jízdě na střechu

2. Architektonicko-stavební řešení

2.1 Koncept

Hlavní koncepty návrhu byly roztřízeny do 4 bodů podle důležitosti.

- **Záchrana**

Prvním a nejdůležitějším bodem bylo zajištění samotné stavby a její záchrana. Stavba byla velice poničena požárem z roku 2019 a doposud probíhají práce pro zjištění celkového rozsahu poškození zachovalých konstrukcí. Z tohoto důvodu byly hledány opatření, které by mohly pomoci bezpečně zajistit stavbu a připravit ji jako podklad pro umístění střechy. Mimo estetické poškození došlo k narušení statické funkce katedrály, proto se opatření týkají primárně této problematiky.

- **„Boží světlo“**

Stěžejní myšlenkou bylo využít příležitosti požáru pro zbudování něčeho nového neboli udělat z nevýhody výhodu. Touto výhodou je možnost vpuštění pomyslného „Božího světla“ do katedrály. Pro docílení tohoto efektu byl prostor mezi žebry rekonstruovaných kleneb uzavřen pomocí skla. Současně zvolený materiál střechy napomáhá průniku světla k proskleným klenbám.

„Boží světlo“ bylo rovněž umístěno i nad katedrálou, kde je zobrazeno formou nasvícení sanktusníku. Světlo se tak otvorem ve špičce sanktusníku pomyslně dotýká nebes.

- **Zachování dominanty**

O důležitosti této stavby pro Paříž není pochyb. Stejně jako Eiffelova věž je jejím symbolem její střecha s vysokým sanktusníkem něčím, co neodmyslitelně k Paříži patří. Proto bylo dalším bodem vyhotovení zastřešení katedrály tak, aby se tvarem co nejvíce blížilo původnímu stavu Notre-Dame, a došlo tak k znovuoobnovení její střešní dominanty.

Významným prvkem střechy je nově zbudovaný sanktusník, který tvoří jakousi ocelovou klíčku kopírující základní geometrické motivy využívané při konstrukci gotických prvků. Uprostřed sanktusníku se táhne ETFE folie, která umožňuje již zmiňované rozzáření celého sanktusníku.

- **Přístup všem lidem**

V poslední řadě bylo myšleno na zajištění přístupu všem lidem jak věřícím, tak i turistům. Na střeše je vybudován prostor podkroví s lávkami, který nijak nekonkuruje dominantě a funkci katedrály, ale pouze ji doplňuje a umožňuje se na ni podívat z jiného úhlu. Pochozí lávka umožňuje výhled nejen na Paříž, ale především na katedrálu zvenku i zevnitř. Z části lávky umístěné v podkroví je umožněn průhled do přízemí katedrály skrze sklem vyplněné rekonstruované klenby, a nabízí se tak pohled na svět katedrály z jiné perspektivy.

Současně bylo zbudováno podzemí jako přístupový bod na střechu. Podzemí propojuje nábřeží u řeky Seiny a odlehčuje hlavnímu náměstí před Notre-Dame od návštěvníků.

3. Funkční řešení

3.1 Podzemí

Podzemí je řešeno jako propojení katedrály, náměstí a nábřeží. Vytváří koridor, který nabízí prostor pro úkryt, ale i pro výstavy. Zároveň obsahuje zázemí pro funkční chod katedrály a hygienické zázemí.

Do podzemí vedou dva vchody po schodišti. První je umístěný na začátku zahrad vedle katedrály Notre-Dame a druhý je vedle hlavního náměstí před katedrálou spolu s výtahem. Otevření podzemí směrem k řece Seině umožňuje další přístup z lodi nebo ze dvou schodišť ústících na nábřeží.

Celé podzemí je koncipováno jako koridor s výstavním prostorem. Směrem ke katedrále se nachází prodejna lístků a místnost pro zázemí technologie katedrály. Při tvoření front budou lidé čekat v koridoru, který bude nabízet exponáty. Stálá výstava bude obsahovat fotografie katedrály v různých časových obdobích a také fotografie z požáru. Stála expozice by měla zahrnovat zachovalé sochy evangelistů. Je zde ovšem i možnost pronajmutí prostor.

Po zakoupení lístku na prohlídku střešních prostor (počet návštěvníků bude omezen) projde návštěvník turniketovým vstupem, za kterým bude prostor propojující přístupy ke střeše. V těchto částech se návštěvníci setkají s průvodcem, který jim vysvětlí průběh prohlídky. Poté si zvolí typ cesty nahoru: výtah nebo schodiště.

V druhé části podzemí otevřené k řece Seině se nachází hygienické a technické zázemí a propojení s řekou Seinou.

Osvětlení podzemí bude zajišťovat propojení s nábřežím a umístění plochých světlíků ve výškové úrovni katedrály.

3.2 Lávka a střecha

Po vystoupení po schodech se návštěvník dostane na terasu mezi Severní a Jižní věží, odkud se přes dveře přesune na pochozí lávku. Návštěvníci, kteří použijí výtah vystoupí přímo na venkovní lávce.

Venkovní část lávky je umístěna po obvodech celé střechy a vnitřní část lávky prochází do podkroví. Venkovní lávka umožňuje panoramatické výhledy na katedrálu i na Paříž. Vnitřní lávky zajišťují prohlídku konstrukce z podkroví a nabízí nahlédnutí skrze prosklené rekonstruované klenby do přízemí katedrály.

Na příčných lodích se nacházejí lávky umožňující bližší náhled k rozetovému oknu, které bude vyplněno barevným sklem a bude propouštět zbarvené světlo do interiéru podkroví.

Hlavní prstenec umístěný v křížení lodí umožňuje největší průhled do interiéru katedrály. Uprostřed kruhového prstence je na vynášejících táhlech umístěn kohout, který byl zachován z bývalé konstrukce střechy. Tento kohout měl a má symbolizovat ochranu celé stavby. Nejvýchodnější lávka umožňuje pohled do původního dubového krovu díky promítací technice.

LÁVKA

TVAR

Tvarem lávka kopíruje půdorys hlavní lodě katedrály. Je propojena příčnými lávkami vedoucími nad volným prostorem klenb a kruhovým prstencem nacházejícím se uprostřed v křížení lodí.

Kruhový prstenec pomáhá vynést konstrukci sanktusníku a zároveň obkružuje průhled do přízemí katedrály. Ve středu prstence je umístěn olověný kohout, který byl zachráněn před požárem a symbolizuje ochranu celé stavby.

MATERIÁL

Materiálově je látka co nejvíce odlehčená a laděná do stejných tónů jako sanktusník a okolní konstrukce střechy.

Odlehčení je zajištěno průsvitností viditelných vrstev jako je zábradlí a podlaha. Tuto průsvitnost přináší perforace plechu podlahy a vypletení zábradlí ocelovými lanky.

KONSTRUKCE

Cílem bylo co nejvíce odlehčit zatížení vyvozené skladbami podlah, proto byla látka umístěna pouze nad některými částmi půdorysu. Bývalou konstrukci krovu si návštěvníci mohou prohlédnout v závěrečné příčné látce u chóru, kde je umístěno stahovatelné plátno a je zde možnost promítat pohled do bývalého krovu.

STŘECHA

BOŽÍ SVĚTLO

Celé podkroví je koncipováno do světlých barev, aby podtrhlo myšlenku vnikání božího světla do interiéru katedrály. Lehkost a barevnost podkroví zajišťuje hlavně materiál střešní konstrukce, který je do určité míry transparentní a prosvětluje tak celé podkroví.

ETFE

S ohledem na stav katedrály po požáru byl pečlivě vybírán materiál, který by splňoval estetické podmínky, ale zároveň co nejméně zatížil stávající konstrukce a vypadal moderně. Těmto požadavkům vyhovuje materiál ETFE fólií, který spočívá v nafouknutí foliových tvarů vzduchem. ETFE zajišťuje libovolné krytí a tím regulaci průsvitnosti, ale také minimalizuje zatížení vyvození od střešní krytiny a částečně i konstrukce. Takto je folie kotvena do hliníkových profilů a upevněna na hlavní nosnou konstrukci střechy. Tvar polštářů je klasický obdélníkový a je natažen přes pole široké 2 m. Struktura polí vychází z nosného systému katedrály, ale také z mapování bývalé olovené krytiny. Díky jednoduchému dělení střešní roviny je umožněno více vyniknout dominantnějšímu sanktusníku.

INTERIÉR

Interiér podkroví je lehký a vzdušný. Mimo bílou barvu ETFE fólie je zde zastoupena ocel se světlou patinou. Hlavní nosná konstrukce je viditelná z interiéru. Křížové ztužení, které se nachází ve všech polích, a vytváří kovovou rytmizaci prostoru na bílém plátně.

SANKTUSNÍK

VZDUŠNOST

Díky kostrové konstrukci sanktusníku působí věž lehkým dojmem. Naopak v noci po rozsvícení se objemově zvětšuje díky ozařujícímu světlu.

SYMBOLIKA

Dominantní symbol věže a také celého návrhu je kruh, který značí věčnost a propojení tohoto světa.

Tento symbol je doplněn vepsanými kříži, které vychází ze základní geometrie gotických prvků.

TVAR

Tvar má co nejvíce kopíroval obalový tvar původního sanktusníku jako odkaz na shořelou konstrukci ztvárněnou v moderním podání. Tvar byl modifikován mírným zeštíhlením půdorysného průměru, čímž věž působí vyšší.

ČÁSTI

Sanktusník se skládá z částí nad hřebenem: ocelové kruhové svařované profily s plechovou špičkou v závěru, ETFE fólie pro nasvícení

a z částí pod střechou: hlavní vynášející skruž, čtyři nohy přenášející váhu sanktusníku do vynášejícího prstence

4. Architektonický detail

Architektonický detail řeší estetický vzhled lávky.

4.1 Zábradlí

Zábradlí by mělo vytvářet pomyslnou svatozář stavby a zároveň tvořit předěl mezi novou a starou částí katedrály. Jeho rám je zhotoven v tabulích 2 x 2 m, které jsou kotveny z boku k T profilům. Tím je zajištěno téměř neviditelné přerušení zábradlí v místě kotvení. Vplň zábradlí je tvořena pletením patinovaného lanka do specifického tvaru. Díky třpytivému kovovému materiálu a průhlednosti pletení tak bylo docíleno efektu svatozáře.

4.2 Podlaha

Podlaha lávky je sestavena tabulemi 1,8 x 1,5 m z perforovaného tahokovu se stejnou povrchovou úpravou jako zábradlí. Perforace je přerušena v místech vstupů, kde v půdorysu tvoří trojúhelník. Přerušení perforace zabraňuje vniku vody do vnitřních prostor střechy.

4.3 Osvětlení

Osvětlení po obvodě střechy je zajištěno liniovým LED světlem. LED diody jsou umístěny v těsné blízkosti lávky v interiéru střechy, která je pokrytá fólií, díky čemuž se světlo může dostat do exteriéru a zajišťuje tak dostatečné osvětlení lávky.

Příčné lávky a prstenec v místě křížení lodí jsou osvětleny stejným způsobem s rozdílem, že LED osvětlení je umístěno přímo na nosnou konstrukci pod lávku. Díky perforaci podlahy lávky světlo prosvítá a vytváří světelné efekty.

4.4 Symbolika

Motiv vypletení výplně a perforace podlahy zábradlí vychází z geometrie jednotlivých gotických motivů, kde kříž a kruh je hojně používaným prvkem.

5. Konstruktivně stavební řešení

5.1 Řešení podzemí

Podzemí je řešeno jako ŽB konstrukce, která je vynesena na obvodových stěnách a podporována uprostřed rozpětí sloupy s průvlaky. Celá konstrukce funguje jako bílá vana. U napojení na katedrálu se dbá na to, aby nebyly podkopány základy katedrály a je vytvořen co možná nejúžší koridor vedoucí mezi původními základy. Původní základy jsou v tomto místě rovněž zpevněny železobetonem.

5.2 Zajištění stávající konstrukce poničené požárem

- **Zvýšení únosnosti sloupů**

Únosnost sloupů je zvýšena díky uměle vyvolanému tlaku pomocí heliakální výztuže. V nosné části sloupu je výztuž vložena kolem obvodu sloupu a následně jsou volné konce výztuže utaženy, díky čemuž dochází k vnesení tlaku. Tato výztuž tak tvoří ohrádku z výztuže a obepíná celý sloup po jeho výšce. Výškové rozmístění heliakálních výztuží je zvoleno podle míry porušení sloupu, zhruba po 500 až 1000 mm její osové vzdálenosti. Nakonec je výztuž překryta vápenocementovou omítkou, aby byla zachována estetická funkce sloupu. Toto zajištění je aplikováno na hlavní čtyři sloupy uprostřed křížení lodí a na kritická místa v půdorysu.

- **Zajištění vnějších opěrných pilířů katedrály**

Při požáru došlo k porušení některých vnějších opěrných pilířů, které přestaly částečně plnit statickou funkci ztužení stavby. Z tohoto důvodu je pod nejvíce porušené opěrné pilíře umístěn ocelový ramenát, který staticky vynáší a zpevňuje pilíř.

- **Klenby**

Zřícené klenby a žebra jsou nahrazena novými. Žebra jsou zhotovena z železobetonu, čímž se staticky ztuží jádro katedrály. Následně dojde k zasklení kápě propadlých kleneb.

Okolní porušená žebra a přímo sousedící žebra s propadlými částmi kleneb jsou ztuženy ocelovými obručemi, které jsou umístěny po jejich obvodě v osové vzdálenosti 0,5m. Každá obruč je umístěna kolem obvodu průřezu žebra, a proto je nutné provrtat kápě pro průchod obruče. Po vytažení obruče až na horní líc žebra dochází k jejímu utažení.

Pro dodatečné zajištění kápě jsou všechny ohrožené klenby na rubové straně očištěny a následně do spár vložena heliakální výztuž. Nakonec se na celý povrch takové klenby nanáší vápenocementová malta, aby bylo dosaženo dostatečné ztužení.

Kápě zřícených kleneb je vyplněno pomocí skleněné výplně.

- **Repliky soch**

Porušené sochy, chrliče a triády z kamene jsou odborně opraveny do původního stavu.

- **Vitráže**

Vysklené vitráže jsou doplněny novým sklem s moderním použitím pigmentace tak, aby do katedrály mohlo znovu pronikat barevné světlo.

5.3 Řešení zastřešení

Tvar zastřešení kopíruje objem, který katedrála v minulosti nesla, čímž je stavbě navržena její dominantnost.

- **Povrchový materiál střechy**

S ohledem na stav katedrály po požáru byl pečlivě vybírán materiál, který by splňoval estetické podmínky, ale zároveň co nejméně zatížil stávající konstrukci a vypadal moderně. Těmto požadavkům vyhovuje materiál ETFE fólií, který spočívá v nafouknutí foliových membrán vzduchem.

Přednostmi systému ETFE fólie je velice nízká hmotnost, tvarovatelnost, libovolná regulace průsvitnosti, dobrá odolnost vůči korozi, nehořlavost a samočistící vlastnosti.

Fólie je kotvena do hliníkových profilů, které jsou upevněny na hlavní nosnou konstrukci střechy.

Tvar polštářů je klasický obdélníkový a je natažen přes pole široké 2 m. Struktura polí vychází z nosného systému katedrály, ale také z mapování bývalé olověné krytiny.

- **Nosná konstrukce střechy**

Nosný systém katedrály má osovou vzdálenost mezi sloupy 6 m. Schéma konstrukce střechy vychází z hlavního nosného modulu sloupů. Po šesti metrech jsou umístěny vazníky v plné vazbě a po dvou metrech jsou mezi ně umístěny jalové vazby, které pomáhají přenést zatížení a slouží k ukotvení folie.

Vazník se skládá ze dvou krokví obdélníkového profilu 150/200 s převislými konci a v případě plné vazby i táhla o průměru 40 mm, které krokve ztužuje.

Vazníky jsou přivařeny na ocelovou pozednici HEB300 průběžně po celém obvodu stavby. Tato pozednice je chemicky kotvena do stávajícího zpevněného a vyrovnaného zdiva katedrály.

Vazníky jsou vzájemně ztuženy pomocí vaznic kruhového průřezu o průměru 100 mm a následně zajištěny trubkami malých průměrů mezi poli sloužícími jako zavětrování.

U paty a vrcholu vazníku je umístěn nosný ocelový obdélníkový profil 200/200, který umožňuje ukotvení dalšího obdélníkového profilu sloužícího jako podklad pro hliníkový rám systému ETFE fólie.

- **Lávka**

Lávka bude vynesena na převislých vodorovných koncích vazníků střešní konstrukce. Na převislé konce vazníků jsou tak podélně umístěny dva IPE270 profily mezi plnými vazbami střechy, které slouží pro uložení pochozí lávky tvořené perforovaným tahokovem. Zábradlí je kotveno z boku do lávky přes T profil a skládá se z panelů (viz architektonický detail).

Příčné lávky jsou vyneseny na vzpínadle složeného z HEB260. Kolmo na ně jsou posazeny IPE profily a tahokov jako pochozí vrstva. Kotvení zábradlí je identické s lávkou po obvodu katedrály.

Kruhová lávka je vynesena na prstenci HEB 300, na který jsou navařeny IPE profily konzolově nesoucí lávku. Ze spodní části jsou zavětrování zajišťující prstenec. Kotvení zábradlí je opět identické jako u předchozích lávek.

- **Sanktusník**

Konstrukce sanktusníku zajišťuje jakousi kostru pro natažení lehké ETFE folie. Pro tento účel posloužila ocelová konstrukce tvořená z ocelových trubek svařovaných k sobě. Svařenec se skládá z hlavních svislých prvků a vodorovných skruží. Okolo takto svařené ohrádky jsou navařeny elipsoidy, které pomáhají k zavětrování celé konstrukce a k rozbíjení vzdušných vírů. Uvnitř kostry se táhne ETFE fólie ukotvená za pomoci ocelových lan, které mimo držení folie pomáhají i ve stabilizaci sanktusníku.

Celá konstrukce svařených trubek je přivařena na vynášející skruž výrazně větší tloušťky. Tento prstenec je následně přivařen do šikmých sloupů. Všechny čtyři sloupy se rostrojují, a podpírají tak rovnoměrně skruž. Stojky pokračují na úroveň kotvicí pozednice, kde jsou přivařeny k ocelovému prstenci, který svým tvarem pomáhá přenést zatížení sanktusníku a minimalizovat vodorovné síly vyvozované od této konstrukce. Za účelem stabilizování je prstenec uprostřed spojen lany, která jsou zatížena závažím. Díky uměle vyvolaným silám tahajícím prstenec k sobě se brání prohnutí prstencez

Díky umístění LED osvětlení v dolní části sanktusníku je možné prosvětlení celé věže.

6. Technologie

6.1 Podzemí

- **Napojení odpadů**

Pro napojení odpadů poslouží stávající napojení. V místech podzemí se totiž již nacházely veřejné toalety, které jsou nyní přestavěny a jejich odpadní napojení využito.

6.2 Katedrála

- **Požární řešení**

Požární řešení katedrály se týká především zamezení vzniku požáru. Primárně jsou požárně odděleny části dřevěného krovu Severní a Jižní věže od nově zbudované části střechy.

Požární úseky jsou tedy v oblasti střechy rozděleny na dvě hlavní části. Horní část konstrukce obou věží je dřevěná, a proto zde hrozí vyšší riziko požáru. Jsou tak zahrnuty do odděleného požárního úseku a od střešní části s lávkou odděleny požárními dveřmi.

Na střešní konstrukci jsou použity požárně odolné materiály. Nosné konstrukce jsou navrženy na požární odolnost 30 min. ETFE fólie jako povrch střechy je nehořlavá, při požáru se navíc protrhne a následně vypustí spaliny.

Požární úniky tvoří čtyři stávající točitá schodiště a nově zbudovaný výtah, který umožní i přístup hasičskému sboru. Výtah je přímo přístupný z lávky a svými specifiky vyhovuje evakuačnímu výtahu.

Schodiště ústí do přízemí katedrály a odtud lze použít jeden z pěti východů pro únik do volného prostranství. Přístup na schodiště se nachází v severní a jižní věži a na opačných koncích příčné lodě.

Při případném požáru bude značení směru úniku zajištěno směřujícím červeným osvětleným dle schématu. Díky omezení počtu osob vstupujících do podkroví je redukován počet unikajících osob. Zároveň je dbáno na důkladné proškolení zaměstnanců ohledně této problematiky. Případný průvodce potom zajišťuje lepší zvládnutí situace při nastalém požáru. Požární vybavení střechy obsahuje požární signalizaci, požární osvětlení navigující na směr úniku a protipožární hlásiče.

- **Odvodnění**

Odvodnění střechy využívá stávajícího systému odvodnění chrlíči. Ze střechy putuje voda po ETFE fólii k oplechování, po kterém se sveze do stávajícího žlabu a odtud pokračuje do jednotlivých chrlíčů.

Pochozí vodorovná plocha lávky je tvořena perforovaným plechem, jimž je umožněn odtok dešťové vody do stejného místa.

Styky příčných a podélných lávek obsahují vyplněnou část podlahy, aby se zabránilo napršení dveřmi do interiéru.

- **ETFE fólie a fotovoltaika**

ETFE fólie jsou polymery tvořící membránové konstrukce, která je složená ze tří vrstev. První vrstva je potisknutá bílou barvou a je poloprůhledná (dle požadavku na fotovoltaiku). Druhá vrstva je vybavena fotovoltaickými články BIPV SOLAR, které jsou transparentní. Poslední vrstva je znovu potisknutá bílou barvou a reguluje propustnost světla do podkroví střechy.

Všechna elektrická energie sesbíraná střechou putuje do akumulčních baterií a odtud je využívána k nafukování ETFE fólií a osvětlení střechy.

Závěr

Výsledkem mé diplomové práce je návrh zastřešení a jeho podkroví katedrály Notre-Dame v Paříži. Návrh zahrnuje i ošetření zřícených kleneb a využívá jejich potenciálu pro zbudování nového prosvětlení interiéru.

Velká část návrhu patřila hledání možností, které budou staticky co nejméně zatěžovat stávající konstrukci za dodržení určitých kritérií. Bylo dbáno na umístění na střechu co možná nejmenší zatížení a zároveň dodržet požadavky kopírování tvaru sanktusníku.

Nově zbudované podzemí vymezuje snahu oddělit provoz katedrály od čistě turistického provozu. Proto byly vytvořeny nové propojující cesty do podkroví, které nijak nenarušují děj v interiéru katedrály.

Zpracování projektu bylo časově velice náročné, a to hlavně z důvodu složitosti celé stavby a komplikovaném dohledávání informací o stavbě. Díky náročnosti zadání a netradičnímu přístupu k materiálovým variantám mě diplomový projekt obohatil o mnoho nových zkušeností.

Seznam zdrojů

- [1] NEUFRT, Enst. *Navrhování staveb*. 2. vydání. Consultinvest Interna, 2000. ISBN 8090148662.
- [2] JIRÁSEK, Pavel, Martin MRÁZEK a Eva POLATOVÁ. *Požární ochrana památkových objektů*. Praha: Národní památkový ústav, 2015. ISBN 978-80-7480-021-4.
- [3] Crack Stitching at York Minster. Twistfix.co.uk [online]. 2019 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.twistfix.co.uk/crack-stitching-at-york-minster>
- [4] BROCKMANN-SMITH, Niklas. Notre-Dame de Paris. Godesignclass.com [online]. 2020 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://articles.godesignclass.com/design-submissions/10236>
- [5] Cathédrale Notre-Dame de Paris. Lexilogos.com [online]. 2020 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: https://www.lexilogos.com/paris_notre_dame.htm
- [6] L'architecture intérieure. Notredamedeparis.fr [online]. [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.notredamedeparis.fr/decouvrir/architecture/larchitecture-interieure/>
- [7] Krypta před Notre-Dame. Pariz-pro-pokrocile.blog.cz [online]. 2012 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <http://pariz-pro-pokrocile.blog.cz/1201/krypta-pred-notre-dame>
- [8] JIRÁNEK, Martin a Milena HONZÍKOVÁ. Jednoduché větrací systémy: Využití větracích systémů pro snížení koncentrace radonu v rodinných domech a bytech [online]. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Stavební fakulta ČVUT v Praze, 2017. ISBN 978-80-01-05363-8. Dostupné také z: https://www.radonvyprogram.cz/fileadmin/radonvyprogram/clanky/stavebni_desatero_profesionalu/Jednoduche_vetraci_systemy_Jiraneck_V.pdf
- [9] Notre-Dame de Paris. Philippe-gavet.fr [online]. 2010 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <http://www.philippe-gavet.fr/08/09/index.html>
- [10] Influences and Innovations. Coursera.org [online]. 2020 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.coursera.org/lecture/age-of-cathedrals/9-1-influences-and-innovations-tt00E>
- [11] Notre-Dame de Paris: A Guide to the Gothic Cathedral. Frenchmoments.eu [online]. 2019 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://frenchmoments.eu/notre-dame-de-paris/>
- [12] Projet de restauration de Notre-Dame de Paris. Wikisource.org [online]. 2016 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: https://fr.wikisource.org/wiki/Projet_de_restauracion_de_Notre-Dame_de_Paris/Texte_entier
- [13] Voir les chefs d'œuvre. Notredamedeparis.fr [online]. [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.notredamedeparis.fr/visiter/visiter-la-cathedrale/?modal-link=https://www.notredamedeparis.fr/oeuvre/statue-de-sainte-therese-de-l-enfant-jesus/>
- [14] Cathedral of Notre Dame de Paris fire. Abelard.org [online]. 2020 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: https://www.abelard.org/abelard/ile_de_france_ile_de_la_cite.php
- [15] Brno rohlik-Komletní systém STATICAL+uhlíkové lamely. Reference.statical.eu [online]. 2018 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://reference.statical.eu/brno-rohlik-komletni-system-statical-uhlikove-lamely>
- [16] Opravy historických objektů z pozice statiky a z hlediska památkové péče. Stavba.tzb-info.cz [online]. 2017 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/regenerace-domu/16492-opravy-historickych-objektu-z-pozice-statiky-a-z-hlediska-pamatkove-pece>

- [17] Statické zajištění. Statickezajisteni.cz [online]. 2016 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.statickezajisteni.cz/staticke-zajisteni.html>
- [18] The Shed at Hudson Yards. Vector-foiltec.com [online]. 2019 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.vector-foiltec.com/projects/the-shed-at-hudson-yards/>
- [19] Podívejte se vůbec poprvé do Apple Campus 2 a detailně na největší zakřivené sklo světa. Letemsvetemapplem.eu [online]. 2016 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.letemsvetemapplem.eu/2016/02/24/apple-campus-2-zakrivena-skla/>
- [20] Eloxovanie hliníka. Europur.sk [online]. [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.europur.sk/eloxovanie-hlinika>
- [21] Perfect façades, ambitious building envelopes. Seele.com [online]. 2020 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://seele.com>
- [22] Outdoor. Voglermetaldesign.com [online]. 2020 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.voglermetaldesign.com/outdoor.html>
- [23] CHALABALA, Jiří. Moderní zesilování kleneb. PEEM spol. s r.o. Brno, 2010. Dostupné také z: <http://195.113.227.100/ssstavji/Svobodova/4SA+4SB%20POZEMNI%20STAVITELSTVI/1A.ZPEVNOVANI%20KLENEB.pdf>
- [24] Transparent Aesthetics with ETFE. Taiyo Europe. Dostupné také z: https://www.makmax.com/dcms_media/other/22_Taiyo ETFE Brochure English.pdf
- [25] Tensile Architecture. Architen Landrell, 2014. Dostupné také z: <http://www.architen.com/wp-content/uploads/2014/01/ALA-Capability-Brochure.pdf>
- [26] Railings. CarlStahl Architektur. 2017. Dostupné také z: https://www.carlstahl-architektur.com/fileadmin/user_upload/Carl_Stahl_ARC-Gelaender_Railings.pdf
- [27] ETFE, the transparent architecture. IASO. 2014. Dostupné také z: https://www.iasoglobal.com/docs/IASO%20ETFE%202014_EN.pdf
- [28] SkyMotion 400 Machine. OTIS: United Technologies. 2017. Dostupné také z: [https://files.otis.com/otis/zh/hk/contentimages/SkyMotion%20400%20\(41T%20machine\)%20%20factsheet_ShanghaiCLC16Oct2017.pdf](https://files.otis.com/otis/zh/hk/contentimages/SkyMotion%20400%20(41T%20machine)%20%20factsheet_ShanghaiCLC16Oct2017.pdf)

Vyhlášky a normy

ČSN 73 0580-1 Denní osvětlení budov

ČSN 74 3305 Ochranná zábradlí – Základní ustanovení

ČSN 01 3420 Výkresy pozemních staveb – Kreslení výkresů stavební část

ČSN 01 3130 Výkresy Technické výkresy – Kótování – Základní ustanovení

ČSN 730035 Zatížení stavebních konstrukcí

ČSN EN 1995-1-1 Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. 2006.

ČSN 73 0527 Projektování v oboru prostorové akustiky. Prostory pro kulturní a školní účely. Prostory pro veřejné účely. Administrativní pracovní

Seznam příloh

ARCHITEKTONICKÁ STUDIE ELABORÁT A1

ARCHITEKTONICKÁ STUDIE ELABORÁT A3

SOUHRNNÝ PREZENTAČNÍ VÝKRES B1

FYZICKÝ MODEL 1:500