

# Rekonstrukce Sukovy síně Rudolfiny z pohledu řešení prostorové akustiky



## Ing. Tomáš Hrádek

V roce 2008 absolvoval Elektrotechnickou fakultu ČVUT v Praze. Od roku 2007 se věnuje akustice s hlubším zaměřením na prostorovou akustiku a měření akustických parametrů. V roce 2014 se stal členem firmy AVETON s.r.o. Je autorizovaným technikem ČKAIT v oboru technika prostředí staveb.  
E-mail: hradek@aveton.cz



## Ing. arch. Ing. Vít Domkář

Absolvoval Fakultu stavební ČVUT v Praze, obor architektura a stavitelství. Od roku 2014 je členem firmy AVETON s.r.o., kde na pozici architekt-designér zajišťuje projektování a realizace atypických interiérů. Člen Unie výtvarných umělců a designérů ČR.  
E-mail: domkar@aveton.cz



## Ing. arch. Jan Antoš

V roce 2015 absolvoval Fakultu stavební ČVUT v Praze, obor architektura a stavitelství. V roce 2015 se stal zaměstnancem firmy AVETON s.r.o., kde pracuje jako architekt-konstruktor. Mimo projektování se věnuje tvorbě počítačových akustických modelů a simulací.  
E-mail: antos@aveton.cz

**Sukova síň vznikla v budově Rudolfiny v letech 1940 až 1942 podle návrhu architektů Antonína Engela a Bohumíra Kozáka. Již od samého začátku plnila funkci komorního koncertního sálu. Svým interiérovým pojetím vycházela z původního stylu architektů Josefa Schulze a Josefa Zitka, díky čemuž přirozeně zapadla do koncepce celé budovy. K určitým změnám v řešení interiéru Sukovy síně došlo ještě v roce 1992 v rámci celkové rekonstrukce Rudolfiny, kterou tehdy zaštiťoval architekt Karel Prager. Sukova síň již od samého vzniku měla jisté akustické neduhy, které až doposud nebyly odborným způsobem řešeny.**

## Úvod

Jedním ze čtyř základních úkolů rekonstrukce Sukovy síně provedené v roce 2015 bylo zlepšení parametrů prostorové akustiky. Dále se jednalo o zvýšení variability využití prostoru, komunikační propojení s dvoranou Rudolfiny a zvýšení vzduchové a kročejové neprůzvučnosti vůči režijním pracovištím v suterénu a Dvořákově síni. Takto komplikované zadání definovalo výrazné zásahy do stavebně akustických konstrukcí, prostorově akustických částí interiérů a vzduchotechniky. Veškeré úpravy maximálně respektovaly historickou hodnotu památkově chráněné stavby tak, jak je navrhl architekt prof. Ing. arch. Petr Hruša.

Velký přínos má tato realizace v možnostech integrace plnohodnotné akustiky do autentické historické formy interiéru.

## Prostorová akustika koncertních sálů – obecné poznámky

Než se budeme detailně věnovat akustice Sukovy síně, nahlédneme nejdříve do akustiky koncertních sálů obecně. V koncertních sálech je nejdůležitější zajistit odpovídající dobu dozvuku a maximálně vyrovnané poslechové podmínky v prostoru hlediště i jeviště. Zvolená doba dozvuku se odvíjí od konkrétního využití sálu, protože optimální požadavky

▼ Obr. 1. Celkový pohled (zdroj: Petra Hajsáková – Česká filharmonie)



se liší podle obsazení tělesa (komorní hudba, orchestrální hudba atd.), hudebního období (barokní hudba, romantická hudba atd.), ale i zvyku samotných interpretů. Samozřejmostí by měla být frekvenční vyrovnanost doby dozvuku s mírně delším dozvukem na nízkých kmitočtech.

Jako nejvhodnější tvarová řešení jsou využívány tzv. shoebox (krabice od bot) a vineyard (vinice), při kterých se zpravidla dosahuje nejlepší homogenity zvukového pole. Základní tvarové pojetí sálu je totiž z hlediska akustických podmínek zcela zásadní. Pro subjektivní vnímání kvality hudebního signálu jsou velmi důležité první

odrazy zvuku (ideální je jejich amplitudová úměrnost a rovnoměrné, přesto nepravidelné rozložení na časové ose), což je určeno právě základním tvarem sálu. Dalším neopomenutelným kvalitativním faktorem je difuzita, neboli rozptyl zvuku pomocí tzv. difuzních akustických prvků. Dříve tuto funkci plnily sloupky, štukatury, pilastry a další historické tvarové segmenty. V současnosti se většinou jedná o speciálně matematicky navržené struktury s optimalizovanou rozptylnou funkcí. Difuzní akustické pole působí prostorovým a zvukově bohatým dojmem.

Prostor jeviště by měl být pokud možno řešen jako tzv. orchestrální mušle, která svým tvarováním pomáhá distribuci zvukového signálu od zdroje (hudebníka) k posluchači.

Čím více z výše uvedených parametrů se podaří optimálně splnit, tím lepších akustických podmínek koncertního sálu lze dosáhnout.

## Řešení prostorové akustiky Sukovy síně

Řešení prostorové akustiky v Sukově síni skýtalo již od samého počátku jistá omezení. Vzhledem k památkové ochraně budovy Rudolfiny nebylo možné zasahovat do tvaru a proporcí sálu, ani žádné další přídavné prostorové prvky doplňovat. Z tohoto důvodu například nebylo možné řešit orchestrální mušle.

Sukova síň je z hlediska svého tvaru shoebox, jehož délka však nezanedbatelně přesahuje akustické optimum. Sál má délku 24,7 m, šířku 9,8 m a výšku 6,5 m, z čehož plyne celkový objem 1573 m<sup>3</sup>. Akustickým úpravám předcházely komplexní poslechové testy, ze kterých všechna opatření a cílové parametry vycházely.

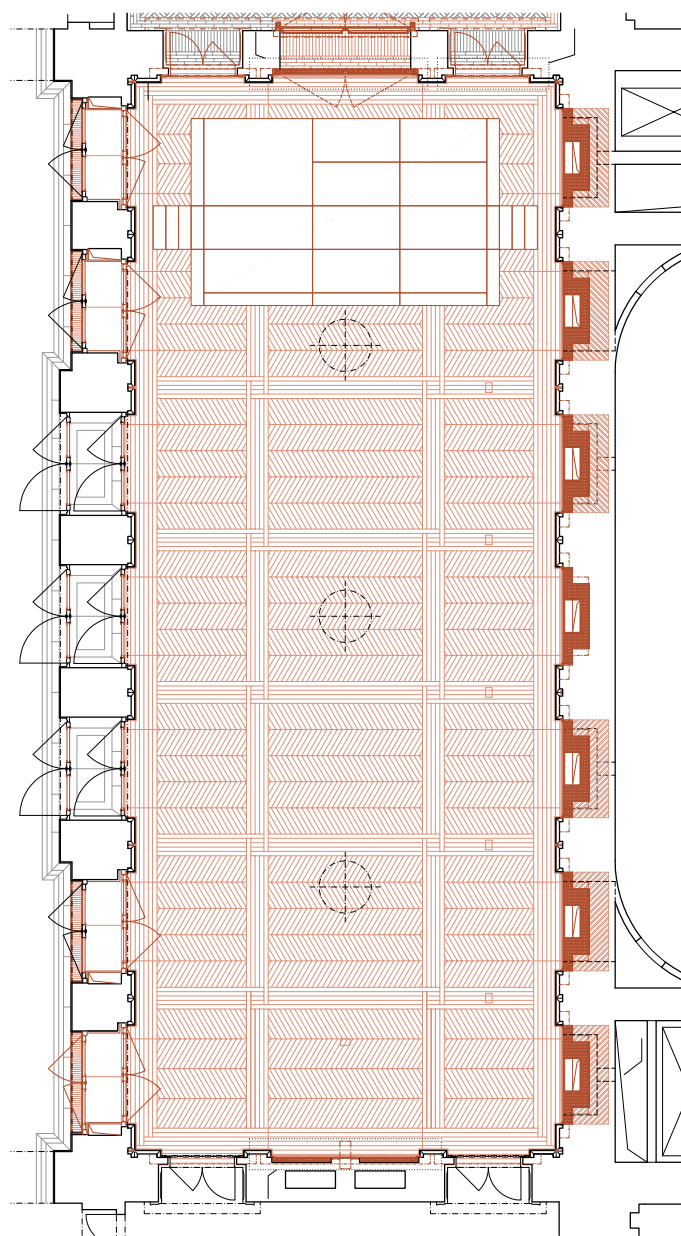
Optimalizace spočívala zejména ve zkrácení a frekvenčním vyrovnaní doby dozvuku. Cílová doba dozvuku byla zvolena  $T_0 = 1,35$  s. Jedná se o kompromisní hodnotu vycházející z doporučení normy ČSN 73 0525:1998 pro orchestrální hudbu ( $T_0 = 1,4$  s) a komorní hudbu ( $T_0 = 1,15$  s).

Absorpční plochy akustických obkladů byly umístěny ve vybouraných nikách stěn sálu. Do stropu nebylo možno zasahovat. Všechny širokopásmově pohltivé stěnové obklady jsou řešeny jako tenké perforované dřevěné desky, za nimiž je umístěna absorpční vložka v podobě minerální vlny a lícovou stranu překrývá textilie.

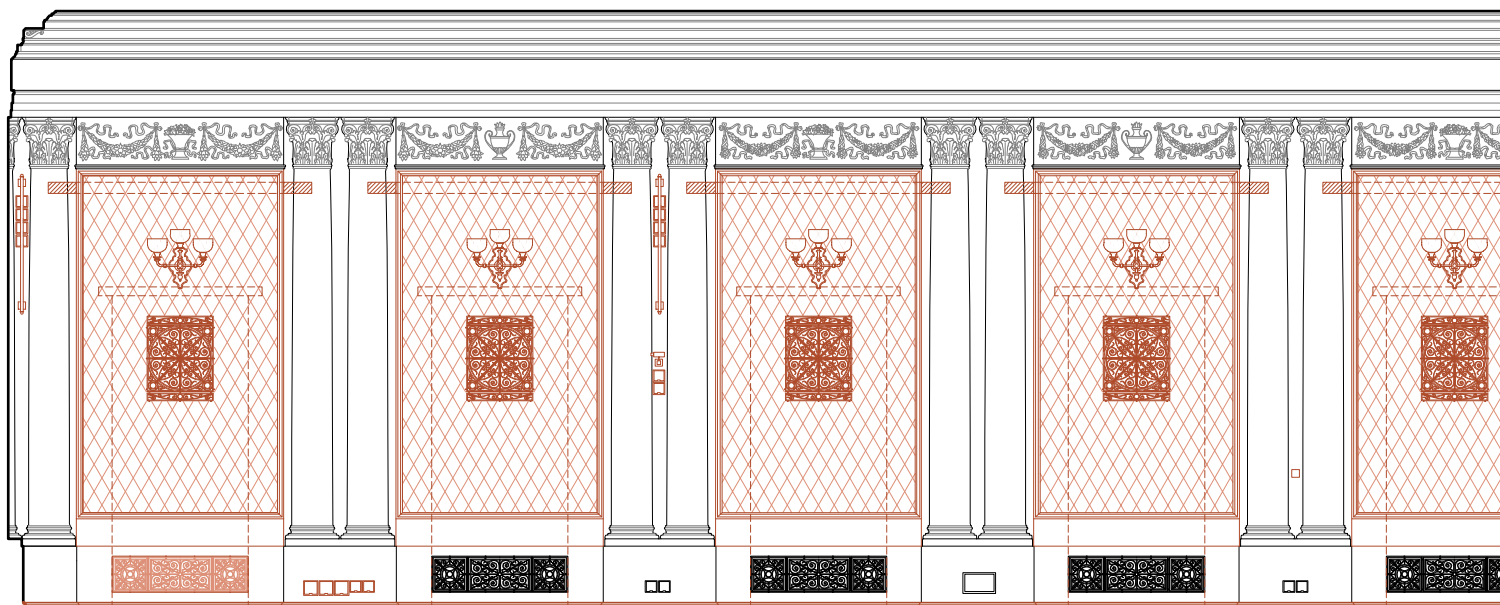
Vzhledem k tomu, že vstupní měření doby dozvuku provedené ve stavu před zahájením akustických úprav ukázalo značnou frekvenční nevyrovnanost (viz obr. 11 – výrazně delší doba dozvuku zejména v oktávovém pásmu 125 Hz), věnovala se právě absorpci nízkých kmitočtů zvýšená pozornost. Jsou aplikovány jak Helmholtzovy



▲ Obr. 2. Tvar sálu shoebox (zdroj: Petra Hajská – Česká filharmonie)



▲ Obr. 3. Půdorys sálu (zdroj: Architekti Hrůša & spol., Ateliér Brno, s.r.o.)



▲ Obr. 4. Pohled na boční stěnu (zdroj: Architekti Hruša & spol., Ateliér Brno, s.r.o.)

rezonátory, tak kmitající panely. Nízkofrekvenční Helmholtzovy rezonátory jsou použity po celém obvodu mobilního pódia. Mimochodem právě mobilní pódium a mobilní sedadla hlediště výrazně zvyšují variabilitu prostoru, díky čemuž je umožněna podélná i příčná konfigurace při koncertech, ale také pořádání konferencí, workshopů, plesů a dalších kulturně společenských akcí. K celkové otevřenosti prostoru také výraznou měrou přispívá probourání čtyř dalších dveří směrem do dvoranu. Dveře se tedy nacházejí v každém výklenku mezi pilastry na stěně Sukovy síně sousedící s dvoranou. Neprůzvučnosti zdvojených dveří byla jak v rámci návrhu, tak reali-

▼ Obr. 5. Detail akustického obkladu (zdroj: AVETON s.r.o.)



zace věnována značná pozornost. Již zmíněné kmitající panely jsou integrovány do kazetování dveří, protože právě v případě nízkofrekvenčních akustických prvků bylo nutné hledat možnost umístění takřka pro každý čtvereční metr.

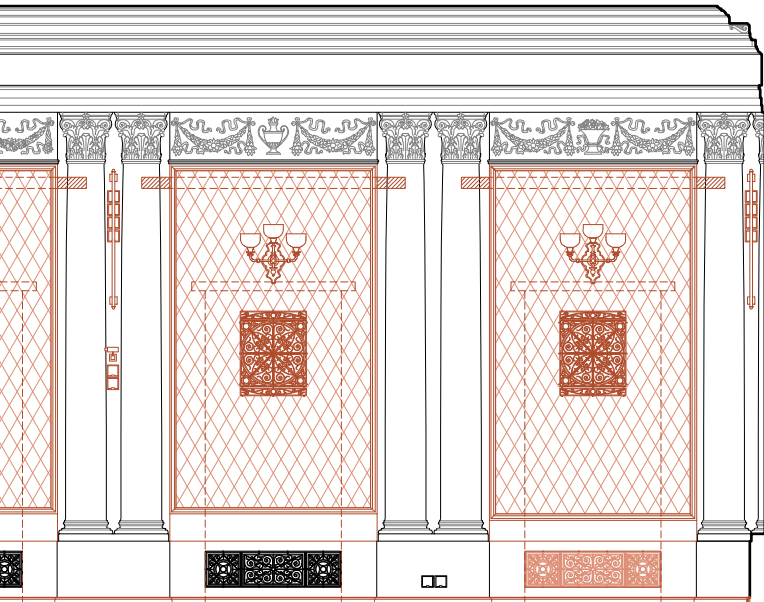
### Specifika realizace akustických prvků Sukovy síně

Samotná realizace akustických částí interiérů byla vícestupňovým procesem skládajícím se z revize vstupních dat z projektové dokumentace a postupných akustických analýz jak samotného prostoru, tak i materiálů, z nichž se akustické obklady skládají. Pro dodržení veškerých detailů architektonické formy byla nutná precizní koordinace všech profesí a vysoká přesnost dodávaných truhlářských výrobků. Vzhledem k vysokým požadavkům na prostorovou akustiku a celkové zpracování bylo nutné před začátkem výroby vytvořit prototyp stěnového obkladu, na němž se testovaly vzory a provedení velkoplošných textilních tapet a též posuzoval akustický účinek. Samotná látka má atypický vzor navržený architektky právě pro interiér Sukovy síně.

Jak již bylo zmíněno výše, za pohledovou textilii boční stěny se nacházejí až 550 mm hluboké niky. Tyto niky jsou v přesně definovaných skladbách vyplněny akustickým absorbérem a navíc v sobě integrují přírodní potrubí VZT. Do přední a zadní stěny jsou integrovány čalouněné akustické obklady tloušťky cca 130 mm.

▼ Obr. 6. Pohled na nově vytvořené niky (zdroj: AVETON s.r.o.)





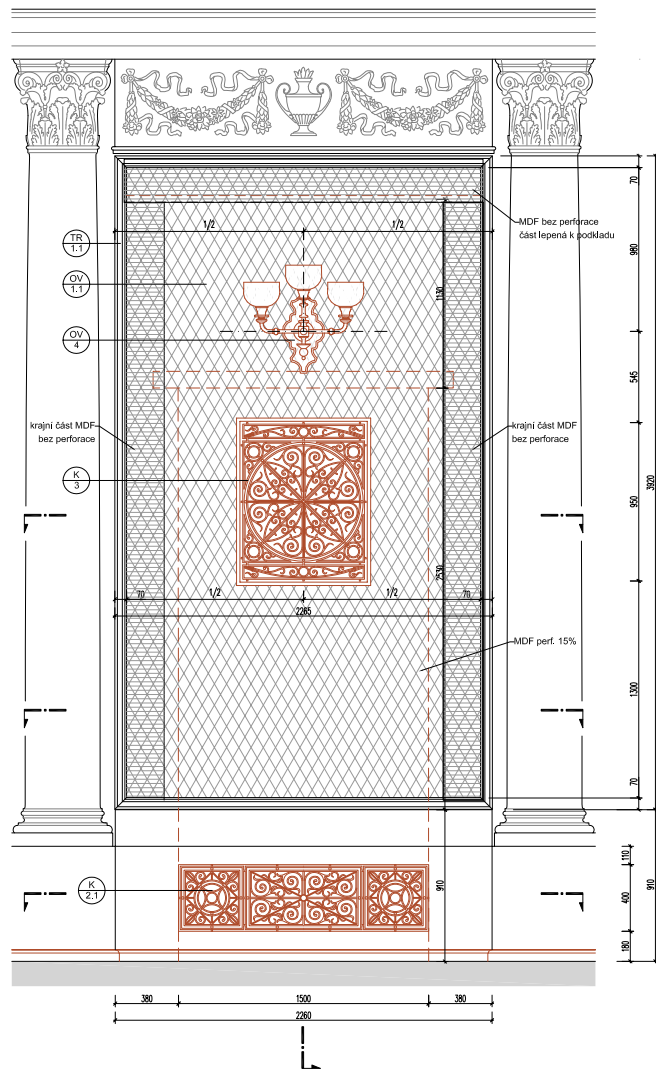
## Akustická měření v průběhu realizace

Nezbytnou součástí realizace prvků prostorové akustiky jsou akustická měření. V tomto případě se jednalo o měření činitele zvukové pohltivosti v dozvukové místnosti podle normy ČSN EN ISO 354:2003 a dále o etapová měření doby dozvuku v sále in situ. V případě laboratorního měření v dozvukové místnosti byl analyzován vzorek širokopásmového čalouněného akustického obkladu (viz obr. 8). Tento prvek byl zvolen z toho důvodu, že se jedná o největší pohltivou plochu v koncertním sále, jejíž absorpční parametry lze měnit. Změna se provádí formou úpravy procenta a rozvržení perforace dřevěné desky. Tyto změny nemají, z důvodu celoplošného čalounění, vliv na vzhled obkladů. Této korekční možnosti bylo v rámci realizace plně využito. Dalším velmi důležitým zdrojem akustických dat byla již zmíněná etapová měření doby dozvuku in situ, která se uskutečnila v různé rozpracovanosti díla celkem čtyřikrát. Naměřené hodnoty sloužily jako podklad pro průběžnou kalibraci akustického modelu a dále také pro kontrolní empirické výpočty.

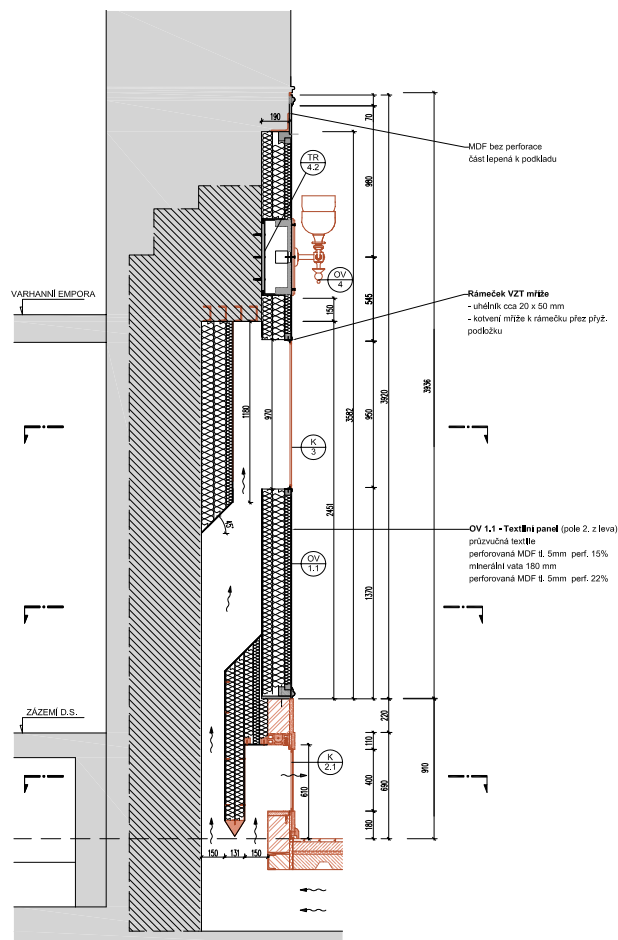
## Akustické počítačové simulace a analýzy v průběhu realizace

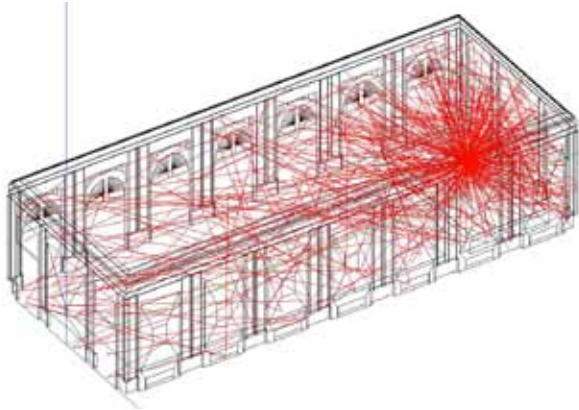
Součástí realizačních prací bylo také zhotovení akustického počítačového 3D modelu v softwarovém prostředí EASE a na něm provádě

▼ Obr. 8. Laboratorní měření vzorku v dozvukové místnosti

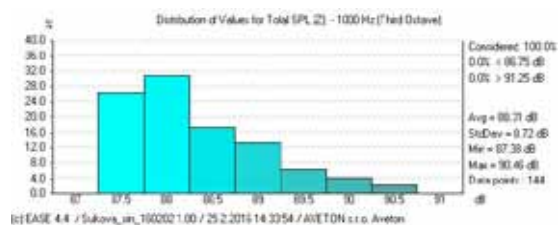
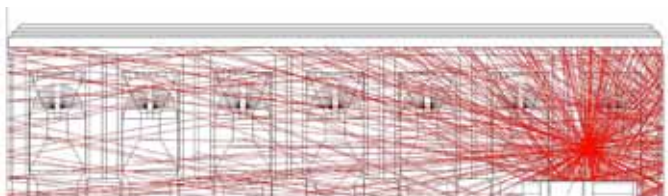


▲ Obr. 7. Nika boční stěny – pohled a řez (zdroj: Architekti Hruša & spol., Ateliér Bmo, s.r.o.)

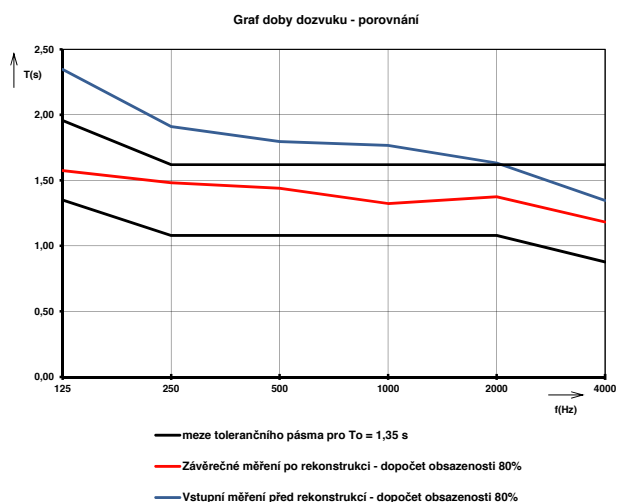
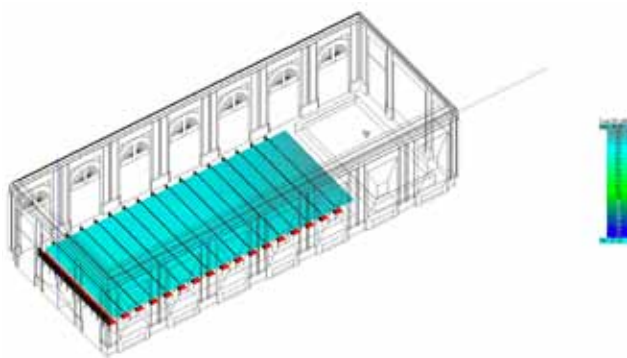




▲ Obr. 9. Raytracing neboli paprsková analýza distribuce akustické energie v sálu



▲ Obr. 10. Celkové rozložení hladiny akustického tlaku (total SPL) v třetinooktávním pásmu 1000 Hz



▲ Obr. 11. Graf doby dozvuku – porovnání stavu před rekonstrukcí a po ní

děné průběžné výpočty. Tento software skýtá nepřeberné možnosti simulací a analytických nástrojů určených pro predikci akustického výsledku řešeného prostoru. Nově naměřená data, ať už z laboratoře, nebo získaná měřením in situ, tedy znamenala korekci vstupních dat modelu a následné simulace. Díky této metodice lze dosáhnout postupného upřesňování požadované funkčnosti akustických prvků a tím také celkového akustického výsledku. Jak je patrné, jedná se o celou řadu dílčích kroků, bez nichž by některé potřebné korekce nebylo možné včas identifikovat a předat do výroby. Toto je samozřejmě velmi výhodné, protože provádění nápravných opatření až po celkovém dokončení díla je vždy výrazně problematictější a zpravidla také finančně nákladnější.

## Výsledky a zhodnocení závěrečného měření

V předchozích kapitolách byl popsán proces, kterým je maximalizována pravděpodobnost úspěšného řešení akustiky, a v tomto případě již lze konstatovat pozitivní výsledek. Hodnoty doby dozvuku získané při závěrečném měření velmi dobře korespondují s teoretickým výpočtem a spadají do střední části stanoveného tolerančního pásma. Provedením akustických úprav tedy došlo ke zkrácení doby dozvuku a k jejímu frekvenčnímu vyrovnání (viz obr. 11). Co to však znamená z hlediska subjektivního vnímání? Zvuk v sále je čistší a jasnější. V rychlých pasážích se tóny neslévají do sebe, ale znějí samostatně. Přitom však zvuku ani ve výškách nechybí jasnost a barva. Svůj vlastní názor si nejlépe udělají posluchači při návštěvě koncertu. Sukova síň je připravena je o svých kvalitách přesvědčit. ■

### Základní údaje o stavbě

<b>Název stavby:</b>	Rekonstrukce Sukovy síně, Rudolfinum
<b>Investor:</b>	Česká filharmonie
<b>Architekt:</b>	prof. Ing. arch. Petr Hruša
<b>Generální projektant:</b>	Architekti Hruša & spol., Ateliér Brno, s.r.o., METROPROJEKT Praha a.s.
<b>Projekt prostorové akustiky:</b>	Akustika Praha s.r.o.
<b>Generální dodavatel:</b>	GEMA ART GROUP a.s.
<b>Dodavatel prostorové akustiky:</b>	AVETON s.r.o.

## english synopsis

### Renovation of Suk Hall in the Rudolfinum Building from the Viewpoint of Spatial Acoustics

Suk Hall at the Rudolfinum was created in the years 1940 to 1942 according to designs by architects Antonín Engel and Bohumír Kozák. From the very beginning, it performed the function of a chamber concert hall. Its interior design was based on the original style of architects Josef Schulz and Josef Zítek, thanks to which it fitted in naturally with the concept of the building as a whole. Certain changes were made to the interior of Suk Hall in 1992 during overall restoration of the Rudolfinum for which architect Karel Prager was responsible. Suk Hall has had certain acoustic problems ever since it first opened which have, until now, never been resolved in an expert manner.

### klíčová slova:

Rudolfinum, Sukova síň, prostorová akustika

### keywords:

Rudolfinum, Suk Hall, spatial acoustics