

ACOUSTIC EVALUATION OF THREE ARCHITECTURAL TYPES OF RELIGIOUS BUILDINGS IN ZLÍN

AKUSTICKÉ HODNOCENÍ TŘÍ ARCHITEKTONICKÝCH TYPŮ SAKRÁLNÍCH STAVEB VE ZLÍNĚ

^{a)}Pavel Drábek, ^{b)}Zuzana Švancarová, ^{a)}Vojtěch Křesálek

^{a)}Tomas Bata University in Zlín, Faculty of Applied Informatics, Czech Republic, pdrabek@fai.utb.cz, kresalek@fai.utb.cz

^{b)}Tomas Bata University in Zlín, Faculty of Multimedia Communications, Zlín, Czech Republic, ZuzkaSvancarova@seznam.cz

Abstract: The acoustics of religious buildings represents one of the most complex cases of architectural acoustics. This is especially due to the fact that the different liturgical functions require other listening requirements. More specifically, in churches, there is often acoustical design conflict between the intelligibility of the spoken word and conditions for enjoyment of music. These spaces can be evaluated by objective or subjective parameters of the acoustic quality of listening positions. This article focuses on the evaluation the reverberation time, as well as the spatial and directional distribution of the acoustic energy of three churches in Zlín, which are distinguished by the time of construction, the architectural style and the building structure.

Keywords: religious buildings, acoustics evaluation, reverberation time, decay curve

1. INTRODUCTION

Buildings serving for rituals and worships have become social spaces of a symbolic significance which have been highly sought after since ancient times [1]. For this reason, these "social places" have been given a great deal of attention from the earliest times. Churches and other places of worship have been the highlights of construction work for centuries and their architecture has always dominated in the proper style of art [2]. Over years each religious community had its characteristics requirements for dealing with spatial shapes, dispositions and structural elements that have signed on the space not only visually but also by their listening qualities. One of the main priorities was that the acoustic response of the sacred space had to correspond with a certain tradition and offered a real experience to the visitor [3]. In the old days, all architectural solutions have been based on the intuition and personal experience of interested professionals [4]. Developments in architecture have forced the newly formulated requirements for the construction of buildings and at the same time with the increasing global attention to the issue of acoustic energy transmission, the objective methods have begun to arise alongside those subjective. Subsequently, these objective methods help us in terms of acoustics design, evaluate and adjust large types of spaces. In recent decades, a lot of attention has been paid to objective quantities that are based on the ratios of certain parts of sound energy for defined periods of time. Currently, the most important acoustics quantities considered for the evaluation the listening qualities of the space are reverberation, spatiality, distinctness, clarity and many others. However, despite the knowledge of these criteria, a reliable prediction of the acoustic quality of large spaces cannot be a hundred percent guaranteed [5]. At present, almost all acoustic analyses are performed using virtual models and simulations.

1. ÚVOD

Stavby sloužící k rituálním a bohoslužebným účelům se již v dávné minulosti staly společenskými prostory se symbolickým významem, které jsou již od pradávna vysoce vyhledávanými místy[1]. Z toho důvodu byla od nejstarších dob těmto „společenským místům“ věnována zásadní pozornost. Sakrální stavby představují po staletí vrcholy stavební činnosti a jejich architektura vždy dominovala v příslušném dobovém slohu [2]. Každé náboženské společenství se v průběhu let vyznačovalo vlastními specifickými požadavky na řešení prostorových tvarů, dispozic a konstrukčních prvků, které se na daný prostor podepsali nejen vizuálně, ale také svými poslechovými vlastnostmi. Mezi hlavními prioritami bylo, aby akustická odezva posvátného prostoru odpovídala jisté tradici a nabídla návštěvníkovi opravdový zážitek[3]. V případě dob dávných bylo veškeré architektonické řešení založeno na intuici a osobních zkušenostech zainteresovaných odborníků[4]. S rozvojem architektury, které si vynutily nově formulované požadavky na výstavbu budov, a současně se zvýšením celosvětové pozornosti o problematice přenosu akustické energie, začaly vznikat vedle subjektivních hodnotících metod také objektivní metody, které nám v současné době pomáhají navrhovat, hodnotit a upravovat rozsáhlé typy prostorů. Problematice objektivních kritérií, založených na poměrech určitých částí zvukové energie v daném prostoru pro definované časové úseky, se v posledních desetiletích věnovala v celosvětovém měřítku velká pozornost. V současné době se mezi nejvýznamnější poměrová kritéria, charakterizující místní poslechové podmínky, řadí míra doznívání, prostorovosti, zřetelnosti, jasnosti a mnohé další. Nicméně spolehlivá predikce akustické kvality poslechových míst v rozsáhlých prostorech není zaručena i při znalosti těchto kritérií. [5] V současné době se téměř veškeré akustické analýzy provádí za pomoci virtuálních modelů a simulací daného prostoru.

This contribution deals with the description of sacral buildings from the point of view of spatial acoustics. From this perspective, the article also mentions the complexity of such a building. Part of the contribution is also evaluation of acoustic properties of three churches in Zlín, which are distinguished by the time of construction, the architectural style, the building structure and the internal arrangement of the other elements. It should be emphasized that this is not a complex acoustic evaluation with all acoustics quantities. Meanwhile, the measured data has been evaluated in terms of reverberation and character of decay curves. Furthermore, the calculated parameters also indicate the spatial distribution of acoustic energy.

2. ACOUSTIC REQUIREMENTS

The history of sacred architecture describes a wide variety of functional requirements and how they have been adapted over time: spatial shapes, process layout and structural elements. Traditional worship spaces consist of multiple zones serving different liturgical functions, characterised by different acoustic needs [6]. Considering these zones may be interconnected to some extent, it is clear that there may be a discrepancy between the different listening requirements. Especially, the sound source location (priest, organ, choir) and dimensional disposition of zones are key factors that determine the interaction between interconnected zones [6].

The complexity of the solution of particular spaces depends primarily on their primary purpose [7]. If space is primarily used for speech, several factors influence the quality of its transmission. For preaching, it is the intelligibility of the spoken word, whilst for prayers, it is the noise protection [7]. However, in the case of musical productions, the situation is much more complicated. The point is that subjective perceptions at the listening position are influenced by many factors already, and some of them are related to the physical nature of matter and another of them with an emotionally aesthetic content of accepted musical signals [8]. And because of this considerable variation of individual requirements is acoustics of sacral structures one of the most complex cases of architectural acoustics [3], which is also the main reason for the necessary cooperation between architects and acoustics throughout the project.

In solving such a project, it is necessary to consider the mutual relations between the objective (and measurable) acoustic quantities and subjective parameters of the acoustic quality at selected locations in the space. From the point of view of listeners own enjoyment, those subjective parameters have a higher priority than the objective ones, the reason is the fact that although the objective quantities, such as reverberation time, spatial and directional distribution of acoustic energy, reach optimal values, the audience's assessment may not be positive [7]. An example may be the occurrence of echoes that are very common in large spaces. Long propagation paths and different distances from the sound source can very easily cause these problems [9]. The next chapter develops these issues.

Tento příspěvek se zabývá popisem sakrálních staveb z pohledu prostorové akustiky a bere si za cíl z tohoto pohledu uvést, jak složité stavební dílo taková stavba představuje. Součástí příspěvku je i hodnocení akustických vlastností tří kostelů ve Zlíně, které se odlišují dobou výstavby, architektonickým slohem, stavební konstrukcí a vnitřním uspořádáním ostatních prvků. Je nutné poznamenat, že se nejedná se o komplexní akustické hodnocení se všemi poměrovými kritérii. Pořízení náměry byly prozatím hodnoceny pouze z hlediska dozrívání a charakteru poklesových křivek. Vypočtené parametry také poukazují na rozložení akustické energie v prostoru.

2. AKUSTICKÉ POŽADAVKY

Při sledování historie lze pozorovat rozvoj a způsob řešení jednotlivých funkčních prvků tak, aby bylo docíleno požadovaných poslechových vlastností [6]. Tento rozvoj je charakterizován především řešením prostorových tvarů a konstrukčních prvků. Tradiční bohoslužebné prostory se sestávají z většího počtu zón sloužící k různým liturgickým funkcím vyznačující se odlišnými akustickými potřebami [6]. Vzhledem k tomu, že tyto zóny mohou být do jisté míry vzájemně propojeny je zřejmé, že může docházet k rozporu mezi různými poslechovými požadavky. Především umístění zdroje zvuku (kněz, varhany, sbor) a rozměrové dispozice zón jsou klíčovými faktory, které určují vzájemnou interakci propojených zón [6].

Složitost řešení jednotlivých prostorů se odvíjí od jejich primárního účelu [7]. Jde-li v těchto prostorech o řeč, rozhoduje o jejich kvalitě několik faktorů. Pro kázání je to srozumitelnost mluveného slova, v případě modliteben je to především ochrana proti nežádoucímu hluku [7]. Na druhou stranu v případě hudebních představení je situace výrazně komplikovanější, neboť na subjektivní vjemy v místech poslechu má vliv již celá řada faktorů, z nichž některé souvisí s fyzikální stránkou, jiné např. s emocionálně estetickým obsahem přijímaných hudebních signálů [8]. Právě na základě této značné rozdílnosti jednotlivých požadavků, představuje akustika sakrálních staveb jeden z nejsložitějších případů architektonické akustiky [3], což je také hlavním důvodem nezbytné kooperace architekta a akustika po celou dobu projektu.

Při řešení takového projektu je nutné uvážit vzájemné vztahy mezi objektivními a zároveň měřitelnými veličinami akustického pole a subjektivními parametry akustické kvality poslechových míst prostoru. Z hlediska vlastního požitku mají ty subjektivní vyšší prioritu než ty objektivní, a to především proto, že i když některé objektivní veličiny (doba dozvuku, prostorové a směrové rozložení akustické energie) dosahují optimálních hodnot, není zaručeno, že hodnocení posluchačů bude kladné [7]. Příkladem mohou být například tzv. diskrétní ozvěny, kterými jsou poměrně často postiženy velké prostory. Dlouhé cesty přenosu a rozdílné vzdálenosti poslechových míst od zdroje zvuku mohou velmi snadno způsobit tyto problémy [9]. Tato problematika je více popsána v následující kapitole.

3. SOUND PROPAGATION IN AN ENCLOSED SPACE

Many waves of varying shape characteristics can propagate in the space simultaneously. Eigenfrequencies have a significant influence on the acoustic properties of the space, as the excitation of the sound source occurs when the excitation and the eigenfrequency match the resonance [9]. This fact indicates that the acoustic properties of the enclosed space in terms of the sound propagation from the source to the receiving position are highly dependent on the frequency. Therefore, to ensure a good sound propagation, it is important that appropriate frequency band contains as many eigenfrequencies as possible [9]. This implies that the lowest eigenfrequency should occur at a much lower frequency band than the one on which the sound is propagated [7]. However, in the case of large spaces, this has already been accomplished from low frequencies [10].

Besides the sound propagation, the eigenfrequencies have an effect to temporarily occurring phenomena, i.e. at the beginning the sound source excitation and its end because the sound energy growth due to reflections from the boundaries or expires due to absorption on the walls and in the air [11]. These phenomena most often appear in the form of echoes and the nature of the sound that does not exponentially expire. When two or more eigenfrequency fade out at the same time, the so-called heterodyne effect appears, which is reflected by the decay curve distortion. The actual distribution of sound energy in space is directly dependent on how the eigenfrequencies of space correspond with the frequency band on which the sound energy is propagated [9]. In order to achieve preferably the monotonous dependence of increasing and decreasing of sound energy at a given frequency, it is necessary to ensure that even the lowest frequencies contain as many eigenfrequencies as possible, even for small spaces [7]. This could only be achieved by a suitable design of the dimensions of the subject space [12]. For this reason, in the construction of sacral buildings in a certain period style, a specific proportion of individual dimensions was applied in order to optimize sound propagation over a wide range of frequencies.

4. DESCRIPTION OF CHURCHES

This chapter is devoted to the basic description of three churches that have been the subject of evaluation of acoustic parameters in relation to building architecture. The chapter is compiled in a chronological way and includes mainly the constructional and shape description of the interior space.

The Church of St. Filip and Jakub

It is a parish church of the local Roman Catholic parish, which forms one of the dominant of the centre of the city of Zlín and is dedicated to St. Filip and Jakub. Since its construction, dating from 1390 to 1420, the church has undergone a lot of repairs, rebuilding and expansion. The most important adaptation of the church was requested at the beginning of the 19th century due to the lack of capacity and the impossibility to extend the construction in the original direction, the orientation of the church was changed by turning the church from the east to the south and extending the nave [9].

3. ŠÍŘENÍ ZVUKU V UZAVŘENÉM PROSTORU

V prostoru se může ve stejném časovém okamžiku šířit mnoho vln s různou tvarovou charakteristikou. Vlastní kmity mají podstatný vliv na akustické vlastnosti prostoru, neboť při buzení zvukovým zdrojem dochází při shodě budícího a vlastního kmitočtu k rezonanci [9]. Tento fakt udává, že akustické vlastnosti uzavřeného prostoru z hlediska přenosu zvuku od zdroje k sledované pozici v prostoru jsou značně závislé na frekvenci. Má-li být zajištěn dobrý přenos zvuku, je důležité, aby sledované frekvenční pásmo obsahovalo co největší počet vlastních kmitů [9]. Z toho vyplývá, že nejnižší vlastní kmitočet by se měl vyskytovat na mnohem nižším frekvenčním pásmu než je sledované frekvenční pásmo [7]. Nicméně v případě velkoobjemových prostor je tato skutečnost splněna již od nízkých frekvencí [10].

Rozložení vlastních kmitů má, krom přenosu zvuku, i zásadní vliv na přechodně se vyskytující jevy, tj. při počátku a ukončení působení zvukového zdroje, neboť zvuková energie následkem několikanásobných odrazů od ohraničujících ploch narůstá, popř. vlivem pohlcování zvukové energie okolními stěnami a také ve vzduchu, zaniká [11]. Zmíněné jevy se projevují v podobě ozvěn a charakteru dozívání zvuku, který neprobíhá exponenciálně. Dozívají-li současně dva popř. více vlastních kmitů najednou, dochází k tzv. záznějům, což se projevuje zvlněním průběhu poklesu. Skutečně rozložení zvukové energie v prostoru se přímo odvíjí od toho, jak vlastní kmity prostoru korespondují s frekvenčním pásmem, na kterém je zvuková energie přenášena [9]. Aby se dosáhlo pokud možno monotónní závislosti narůstání a zanikání zvukové energie na konkrétním kmitočtu, je zapotřebí dbát na to, aby i pro nejnižší kmitočty a malé prostory připadal na určitý kmitočtový interval co největší počet vlastních kmitů [7]. To ovšem může být dosaženo pouze vhodným návrhem rozměrů předmětného prostoru [12]. Z toho důvodu se při výstavbě sakrálních staveb v určitém dobovém slohu uplatňoval určitý poměr jednotlivých rozměrů, aby došlo k optimálnímu šíření zvuku na širokém rozsahu frekvencí.

4. POPIS KOSTELŮ

Tato kapitola je věnována základnímu popisu tří kostelů, které se staly předmětem hodnocení akustických parametrů ve vztahu se stavební architekturou. Kapitola je sestavena chronologicky a zahrnuje především konstrukční a tvarový popis vnitřního prostoru.

Kostel sv. Filipa a Jakuba

Jedná se o farní kostel místní římskokatolické farnosti, který tvoří jednu z dominant centra města Zlína a je zasvěcen sv. Filipovi a Jakubovi. Kostel od svého vybudování, které se datuje na období 1390 až 1420, prodělal velké množství oprav, přestaveb a rozšíření. Nejzásadnější úpravu si kostel vyžádal na počátku 19. století, kdy z důvodu nedostatečné kapacity a nemožnosti rozšířit stavbu do původního směru, došlo ke změně orientace otočením kostela z východní na jižní a také k rozšíření chrámové lodi [9]. Další rozsáhlou opravu si

Another extensive repair was requested by the church due to the great fire that Zlín suffered in 1819 and then also in 1849.

In the framework of repairing the damaged church, the original building almost disappeared under the Baroque reconstruction, even though the original perimeter walls and vaults were used [9]. The architecture of the interior space is mostly composed of elements typical for the Baroque style, where the influence of Renaissance morphology was still largely influenced. Perfectly there is a Baroque sense of composition and symmetry. When entering the church, the entrance portal passes into the inner spiritual space of the cross-ground plan with the dome up to the main altar. The altar and the floor are made of marble, walls are made up of a combination of stone and brickwork. The walls are further painted in the spirit of the liturgical regulations of the church.

From an acoustic point of view, this is a space whose significant area consists of concave walls and materials with very low sound absorption coefficient. The internal volume is estimated at 5600 m³. Together with the great value of the internal volume, it is obvious that this space will be characterized by a relatively high reverberation time in comparison with the following churches.

kostel vyžádal kvůli velkému požáru, který Zlín postihl v roce 1819 a poté také v roce 1849.

V rámci oprav poničeného kostela téměř původní stavba zmizela pod barokní přestavbou, i když bylo využito původní obvodové zdivo a klenby [9]. Architektura vnitřního prostoru je nejvíce tvořena prvky typickými pro barokní sloh, kde se ještě ve značné míře uplatňoval vliv renesančního tvarosloví. Dokonale je zde uplatněn barokní smysl pro kompozici a symetrii. Při vstupu do kostela přechází vstupní portál do vnitřního duchovního prostoru křížového půdorysu s kopulí až k hlavnímu oltáři. Oltář i podlaha je tvořena mramorem, stěny tvořeny kombinací kamenného a cihelného zdiva. Stěny jsou dále opatřeny malbami v duchu liturgických předpisů daného kostela.

Z akustického hlediska se jedná o prostor, jehož významnou plochu tvoří vyduuté stěny a materiály s velmi nízkou hodnotou součinitele zvukové pohltivosti. Společně s velkou hodnotou vnitřního objemu, jehož odhadovaná hodnota se pohybuje kolem 5600 m³, je zřejmé, že tento prostor se bude vyznačovat poměrně vyšší dobou dozvuku než u následujících kostelů.



Fig. 1: The Church of St. Filip and Jakub (exterior and interior)

Obr. 1: Kostel sv. Filipa a Jakuba (exteriér a interiér)

Evangelical Church

The Evangelical Church, built in 1936-1937, is one of the most successful sacral buildings of Czechoslovak interwar architecture. Balanced proportions and functionalist simplicity perfectly correspond to the Bata architecture of Zlín. Just as in the past, the church now uses a large number of non-Catholic churches.

During its existence, the interior of the church changed its appearance several times. However, there were no major structural modifications. In most cases, this arrangement only concerned changes in colour and the addition of liturgical symbols [9]. The interior space consists of a vestibule and individual halls. The basic building material is brick, or stone masonry, along with wooden elements (benches, tables, pulpit, wooden panelling on the walls). The floor is largely covered with a higher-pitched carpet, as well as seat cushions on the benches. The ceiling structure is also equipped with an acoustically absorbent material.

Evangelický kostel

Evangelický kostel, vystavený v letech 1936-1937, patří mezi nejzdařilejší sakrální stavby československé meziválečné architektury. Vyváženými proporcemi a funkcionalistickou jednoduchostí dokonale koresponduje s baťovskou architekturou Zlína. Stejně jako v minulosti i nyní kostel využívá větší množství nekatolických církví.

V průběhu své existence změnil interiér kostela vícekrát svůj vzhled. Nicméně nejednalo se o žádné zásadní stavební úpravy. Většinou se daná úprava týkala pouze změny barev a doplnění liturgických symbolů [9]. Vnitřní prostor se skládá z vestibulu a jednotlivých sálů. Základním konstrukčním materiálem je cihelné, příp. kamenné zdivo spolu s dřevěnými prvky (lavice, stoly, kazatelna, dřevěný obklad na stěnách). Podlaha je z velké části pokryta kobercem s vyšším chlupem, stejně tak i sedáky na lavicích. Stropní konstrukce je ještě opatřena akusticky pohltivým materiálem.

From an acoustic point of view, this space can be described as a partially rectangular hexahedron where the ceiling and the floor are not parallel. The internal volume is approximately 2400 m³ according to the measured dimensions. The mean sound absorption coefficient of the whole space due to the wide variety of materials is noticeably higher than in the previous case.

Z akustického pohledu lze prostor označit jako částečně pravoúhlý šestistěn, kde strop a podlaha nejsou rovnoběžné. Vnitřní objem se dle naměřených rozměrů pohybuje kolem 2400 m³. Střední číselný koeficient zvukové pohltivosti celého prostoru vzhledem k velké různorodosti materiálů je zřetelně vyšší jako u předchozího případu.

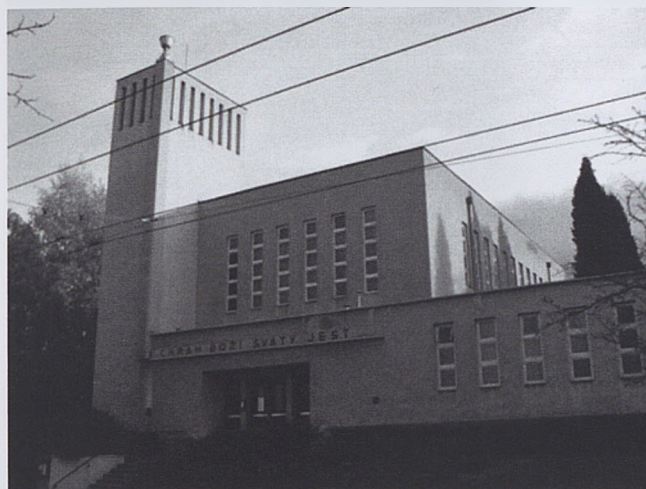
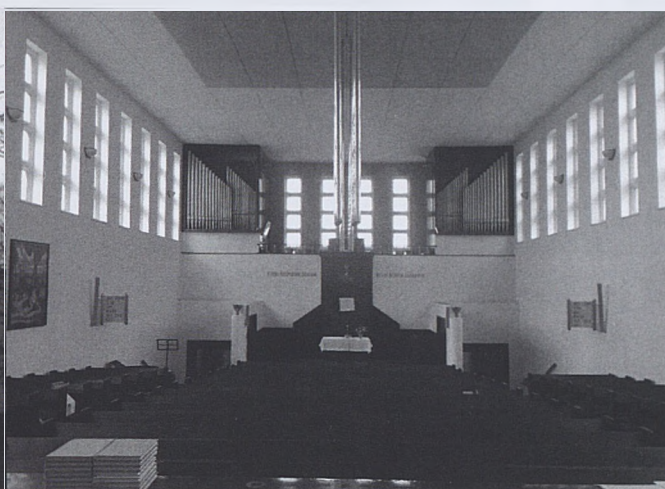


Fig. 2: Evangelical Church (exterior and interior)



Obr. 2: Evangelický kostel (exteriér a interiér)

The Church of the Panna Marie the Helpers of Christians

This is the newest church in Zlín, whose construction started at the beginning of 2000. Architecturally, the church is a unique example of the new Zlín Functionalism, designed to avoid any visual disturbance of the existing character of the settlement on which it is located [9]. Since it is a recently constructed building, there have been no major changes over the years, as in previous cases.

The church skeleton is made up of a reinforced concrete structure, while the ceiling design is in a cassette form. The base of the church is almost square in shape with cut corners, the floor is tiled. The interior also contains elements that effectively adjust the overall acoustic performance of the space. There are mainly acoustic absorbers which are located on the ceiling and the front of the balcony. Based on the approximate measurement of the interior dimensions, the internal volume is about 4100 m³.

Since the church is relatively new, the design and implementation have been done to meet most listening requirements (speech intelligibility and transparency for music performances).

Kostel Panny Marie Pomocnice křesťanů

Jedná se o nejnovější kostel ve Zlíně, jehož výstavba byla započata začátkem roku 2000. Architektonicky je kostel jedinečným příkladem nového zlínského funkcionalismu, který byl navržen tak, aby nedošlo k vizuálnímu narušení dosavadního charakteru sídliště, na kterém se nachází [9]. Vzhledem k tomu, že se jedná o nedávně vybudovanou stavbu, nedošlo v průběhu let k žádným zásadním úpravám jako v předchozích případech.

Kostra kostela je tvořena železobetonovou konstrukcí, přičemž řešení stropní konstrukce je v kazetové podobě. Podstava kostela je téměř čtvercového tvaru s useknutými rohy, přičemž podlaha je opatřena kachlovým obkladem. Interiér také obsahuje prvky účelně upravující celkovou akustiku prostoru. Především se jedná o absorbéry umístěny na stropní konstrukci a čele balkonu. Na základě orientačního měření rozměrů vnitřního prostoru je vnitřní objem cca 4100 m³.

Vzhledem k tomu, že kostel je poměrně nový, návrh i realizace byla provedena tak, aby došlo k vyhovění požadavků na srozumitelnost mluveného slova a prezentaci hudby.



Fig. 3: The Church of the Panna Marie (exterior and interior)



Obr. 3: Kostel Panny Marie Pomocnice křesťanů (exteriér a interiéru)

5. METHODOLOGY

Reverberation time is one of the main parameters determining the indoor reverberation characteristics, thus, it is primarily used to assess the acoustic quality of enclosures [9]. For this reason, measuring reverberation was an integral part of the evaluation itself. More specifically, the shape and structure of the decay curve of the impulse response of sound propagation throughout the interior of the churches were analyzed.

Measuring Equipment

The core of the entire measuring chain is the GRAS GS-40AF omni-directional microphone unit and the Nor1209 preamplifier, both from Norsonic company. The output voltage of the microphones and preamplifiers is fed to a multichannel Nor850 and then to a sound power module software which runs the state-of-the-art Windows platform. This station allows the connection of multiple input/output measurement modules. Communication between the data logger and the device for recording and analyzing measured data (PC) is possible wirelessly via WLAN or Bluetooth, or alternatively offers a LAN and USB wired alternative.

For the measurement process, it is very important to set a sampling rate value that must be as small as possible for the decay curve analysis. In this case, the value of 5 ms was selected.

Description of Measurement

The measurements were made when there were no people in the churches or a minimum. The acoustic evaluation was based on the impulse response of the inner space of the churches. The measurement itself was carried out under the different meteorological conditions shown in Tab. 1 and the range of mid frequencies, for which all measurements, was taken, extends from about 50 to 10 000 Hz.

5. METODOLOGIE

Doba dozvuku je jedním ze základních parametrů deklarujících vlastnosti zvukového pole uzavřených prostor [9]. Z toho důvodu bylo právě měření doby dozvuku nedílnou součástí samotného hodnocení. Konkrétněji byl analyzován tvar a struktura poklesové křivky impulzové odezvy šíření zvuku celým vnitřním prostorem kostelů.

Měřicí aparatura

Základní částí celého měřicího řetězce je ucelená jednotka všesměrového mikrofónu Norsonic GRAS GS-40AF a předzesilovače Norsonic Nor1209. Výstupní napětí je přes mikrofonní kabel přiváděno do měřicí stanice Norsonic Nor850, která spolu se stejnojmenným softwarem slouží jako hladinový zapisovač akustického tlaku podle funkce času. Tato stanice umožňuje připojení několika vstupně/výstupních měřicích modulů. Komunikace mezi měřicí ústřednou a zařízením pro záznam a analýzu naměřených dat (PC) je možná bezdrátově přes WLAN nebo Bluetooth popř. nabízí drátovou alternativu LAN a USB.

Pro měřicí proces bylo velmi důležité vhodně nastavit hodnotu vzorkovací frekvence, která pro analýzu poklesové křivky musí být co nejmenší. V tomto případě byla zvolena hodnota 5 ms.

Popis měření

Měřicí proces byl proveden v hodinách, kdy ve výše zmíněných kostelích nebývá žádný provoz, popř. minimální. Akustické hodnocení bylo provedeno na základě impulzní odezvy vnitřního prostoru kostelů na generované akustické vlnění. Samotné měření bylo provedeno při meteorologických podmínkách, které jsou uvedeny v Tab. 1 a to na měřicím rozsahu třetinoktávových pásem 50 – 10000 Hz.

The Church of St. Filip and Jakub	
Air temperature	16,9 °C
Relative humidity	48,4%
Evangelical Church	
Air temperature	11,7 °C
Relative humidity	58,7%
The Church of the St. Panna Marie	
Air temperature	13,4 °C
Relative humidity	64,3%

Kostel sv. Filipa a Jakuba	
Teplota vzduchu	16,9 °C
Relativní vlhkost	48,4%
Evangelický kostel	
Teplota vzduchu	11,7 °C
Relativní vlhkost	58,7%
Kostel Panny sv. Marie	
Teplota vzduchu	13,4 °C
Relativní vlhkost	64,3%

Tab. 1: Microclimatic condition during measurement

Tab. 1: Mikroklimatické podmínky při měření

First, the time background noise was measured in each band of the monitored frequency range, measured and averaged at the measuring microphone locations. In the case of reverberation time measurement in publicly accessible, the room impulse response may be contaminated with high-level background noise the resulting accuracy is substantially reduced because of a distortion of decay curve slope during the late decay [16].

Nejprve došlo k měření hladin časově průměrovaného hluku pozadí v každém pásmu sledovaného frekvenčního rozsahu, měřená a průměrovaná v místech měřících mikrofonů. V případě měření za provozu na veřejně přístupných místech může být impulzní odezva měřeného prostoru značně kontaminována hlukem pozadí, přičemž dochází ke snížení výsledné přesnosti naměřených dat, neboť nastává zkrácení charakteru poklesové křivky v pozdní fázi [16].

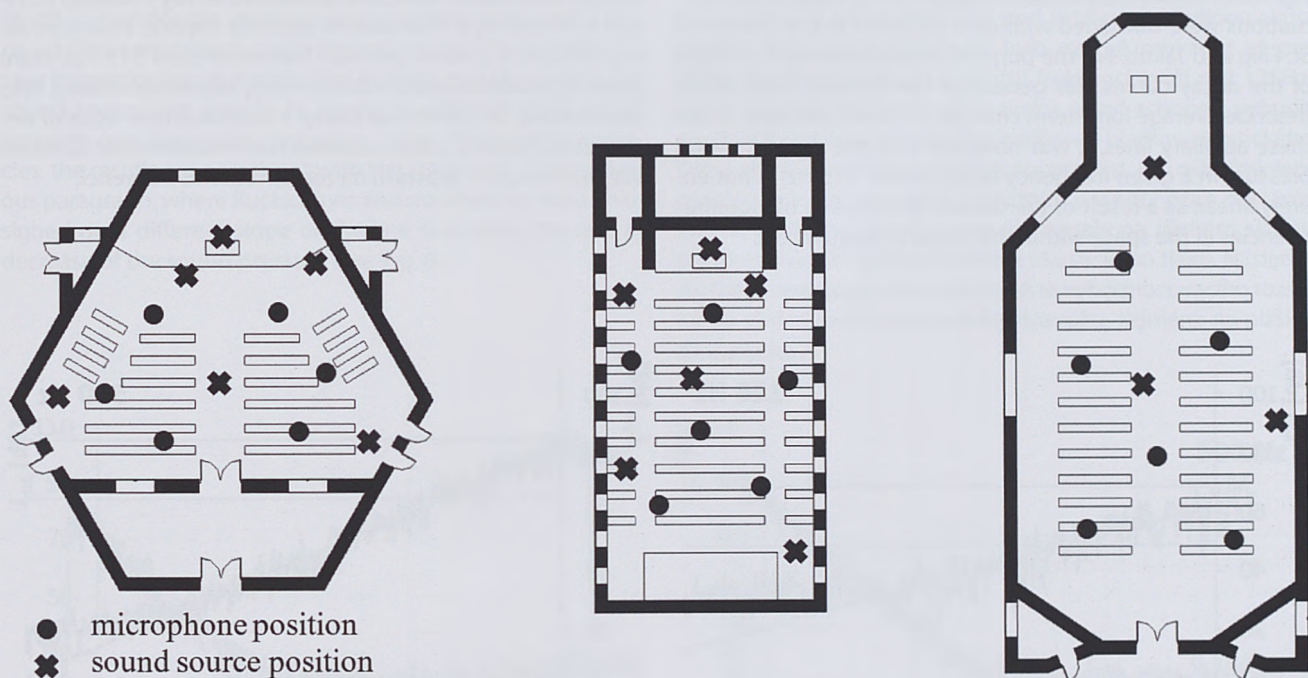


Fig. 4: The layout of the churches and the deployment of measuring equipment (a. The Church of St. Panna Maria, b. Evangelical Church, c. The Church of St. Filip a Jakub)

Obr. 4: Půdorysy kostelů s rozmístěním měřící aparatury (a. kostel sv. Panny Marie, b. Evangelický kostel, c. kostel sv. Filipa a Jakuba)

To measure the reverberation time, the criteria for the exact measurement method according to [9] were met. The reverberation values were obtained using the integrated impulse response method from a level 5 dB below the initial level to 25 dB below. Due to the relatively large volume of interior spaces of sacral structures and the assumption that the indoor acoustic environment is not completely diffused in the observed frequency range, several series of measurements for each third-octave band have to be performed in several different microphone positions. The results of the analysis of the decay curves may vary depending on which part of the slope of the curve is evaluated. If it is an initial slope of the decay curve, it is very important to perform more measurements

Pro měření doby dozvuku byla dodržena kritéria přesné metody měření dle [9]. Hodnoty dob dozvuku byly získány pomocí metody integrované impulsové odezvy pro vyhodnocovací rozsah 5 až 25 dB pod ustálenou hladinou akustického tlaku. Vzhledem k poměrně velkému objemu vnitřních prostorů sakrálních staveb a předpokladu, že vnitřní akustické prostředí není na sledovaném frekvenčním rozsahu kompletně difúzní, bylo zapotřebí provést několik sérií měření pro každé třetínoctávové pásmo ve sledovaném frekvenčním rozsahu a to v několika různých pozicích mikrofonů. Sledovaná místa příjmu byla rovnoměrně rozmístěna v prostoru pro posluchače. Analýza poklesových křivek zaznamenaná ve více pozicích je o to více důležitá, pokud dochází k hodnocení pouze brzké

because the slope in this section may vary considerably [18]. For this reason, the measurement process was performed in six microphone positions and repeated for six different sound source positions (three positions in the church of St. Jakub and Filip)(see Fig. 4). Subsequently, the reverberation time was evaluated using linear regression analysis and least squares interleaving.

6. RESULTS

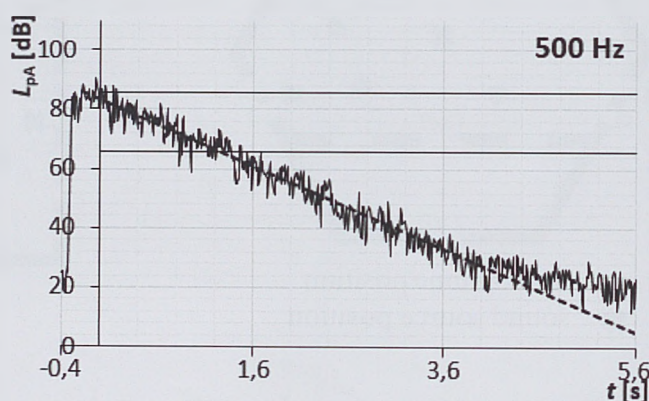
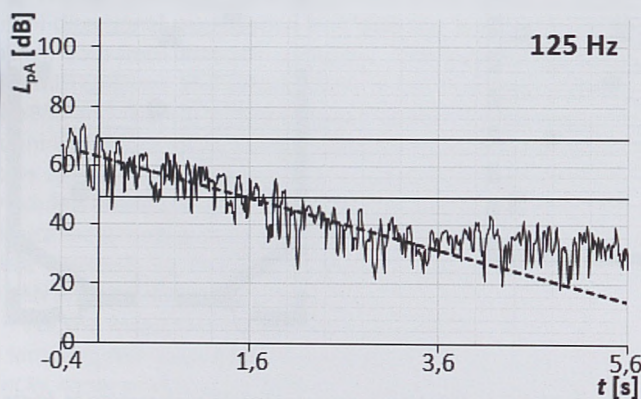
The measured data were analyzed from several views. At first, the slope of all decay curves across a wide frequency range was observed. These curves were obtained for multiple reception positions and their initial and late state were evaluated. As can be seen from the Fig. 5, the resulting curve shape is dependent on both the frequency and the receiver position. It is also possible to see, that curves contain random fluctuations. Changing the position of receiver or source also occurred in other fundamental change of the response consisting in a rapid decrease in a pressure in the initial stage of a sound decay. Fig. 5 also shows the evaluation range for T_{20} . Most of the fluctuations were burdened with data obtained in the Church of St. Filip and Jakub. For the purpose of determining, the shape of the decay curves was generated the auxiliary lines which describe average long-term changes in sound pressure. From these auxiliary lines, it was observed that the drop in sound pressure in a given frequency range (under 315 Hz) is not entirely linear, as a result of the uneven distribution of eigenfrequencies in the space within this range of frequencies.

fáze poklesové křivky, které se od sebe mohou značně lišit [18]. Z tohoto důvodu byl měřicí proces proveden v 6ti pozicích mikrofonů a opakován pro 6 různých pozic zdroje zvuku (3 pozice v případě kostela sv. Filipa a Jakuba)(viz Obr. 4). Následně byla doba dozvuku vyhodnocena pomocí lineární regresní analýzy a prokládáním metodou nejmenších čtverců.

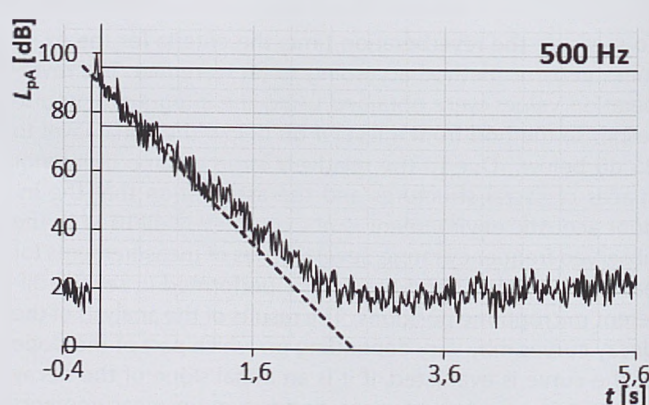
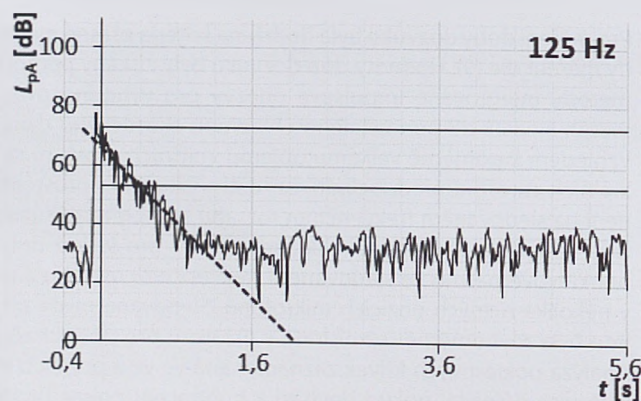
6. VÝSLEDKY

Naměřená data byla analyzována z několika pohledů. Nejprve byl sledován sklon poklesových křivek na celém rozsahu středních frekvencí všech třetinooktákových pásem. Každou takovou křivku je možné posuzovat z hlediska brzké a pozdní části, a to v několika místech příjmu. Ze zobrazených průběhů (viz Obr. 5) lze pozorovat, že výsledný tvar křivky je závislý na sledované frekvenci a poloze příjmu. Dále je možné vidět, že poklesové křivky obsahují značné fluktuace a místní poklesy především v brzké části poklesové křivky. Obr. 5 dále zobrazuje i vyhodnocovací rozsah 5 až 25dB (T_{20}) pod ustálenou hladinou akustického tlaku. Naměřené poklesové křivky v kostelu sv. Filipa a Jakuba byly fluktuacemi zatíženy nejvíce. Při konstrukci pomocných přímk pro nižší frekvence (pod 315 Hz), které popisují průměrné dlouhodobé změny akustického tlaku, bylo pozorováno, že poklesové křivky v hodnoceném rozsahu nejsou zcela lineární, což je následek nerovnoměrného rozložení vlastních kmitů v prostoru na tomto rozsahu frekvencí.

a)



b)



c)

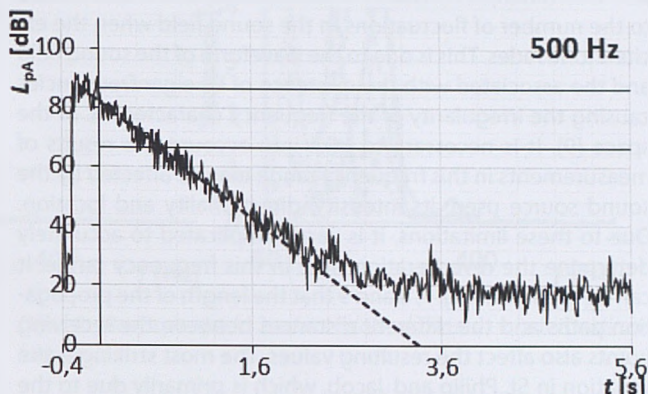
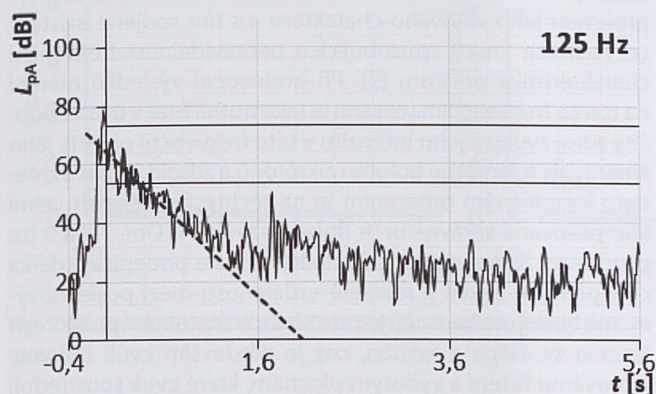


Fig. 5: Decay curves for selected third-octave bands (a. The Church of St. Filip a Jakub, b. Evangelical Church, c. The Church of St. Panna Maria)

Obr. 5: Poklesové křivky pro vybrané třetinooktávové pásma (a. kostel sv. Filipa a Jakuba, b. Evangelický kostel, c. Kostel sv. Panny Marie)

Subsequently, the results of the reverberation time T_{60} obtained for the evaluation range of 5 to 25 dB (T_{20}) and 5 to 35 dB (T_{30}) under the steady sound pressure level were compared. This comparison could be performed only for third-octave frequency bands higher than 125 Hz since the used pulse sound source was unable to produce sufficient peak sound pressure over the entire frequency range. For lower frequencies, the results are consistent with the statement in the previous paragraph, where fluctuations and nonlinearity have been signed on a different slope of the line indicating the rate of decrease of the sound pressure (see Fig. 6).

Dále byl porovnáván sklon poklesových přímek získaných z hodnocení poklesových křivek pro vyhodnocovací rozsah 5 až 25 dB (T_{20}) a 5 až 35 dB (T_{30}) pod ustálenou hladinou akustického tlaku. Toto porovnání bylo možné provádět až pro třetinooktávová pásma se střední frekvencí vyšší než 125 Hz, neboť použitý impulsní zdroj zvuku nebyl schopen vybudit na nižších frekvencích takovou špičkovou hladinu akustického tlaku, aby bylo možné vyhodnocení provést. Pro nižší frekvence jsou výsledky v souladu s tvrzením v předchozím odstavci, kdy se fluktuace a nelinearita podepsaly na různém sklonu přímky udávající rychlost poklesu akustického tlaku. Následující Obr. 6 zobrazuje vliv uvažovaného vyhodnocovacího rozsahu na výslednou hodnotu doby dozvuku, zejména na nižších frekvencích.

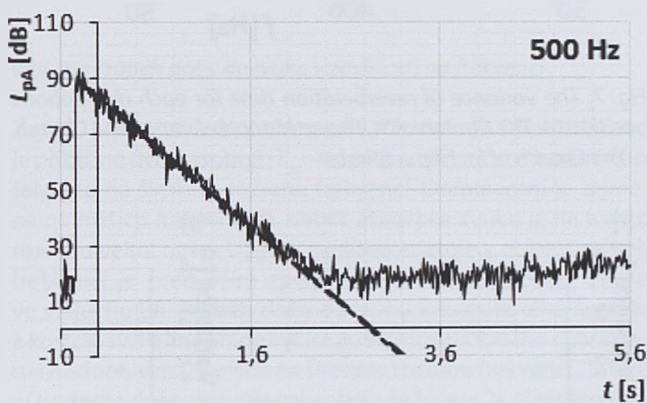
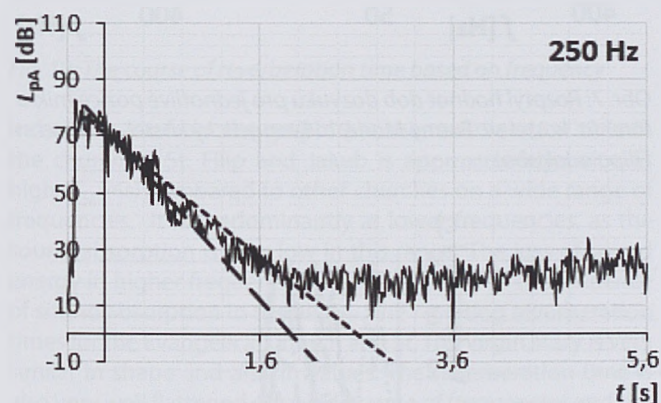


Fig. 6: Comparison of the slope of the selected decay curve for T_{20} (short dashed line) and T_{30} (long dashed line) for f_m 250 and 500 Hz

Obr. 6: Porovnání sklonu vybraných poklesových křivek pro rozsah T_{20} (krátká čárkovaná) a T_{30} (dlouhá čárkovaná) pro f_{st} 250 a 500 Hz

Furthermore, it was also advisable to focus on the variance of measured values of reverberation times for multiple observing positions and sound sources because the variance of the measured reverberation times affects the propagation of sound waves and the spatial distribution of sound energy. This value was calculated as the mean value of the quadrant deviations from the mean value [12]. Fig. 7, 8 and 9 demonstrate the sound propagation through space and its instability at lower frequencies. This phenomenon occurs primarily because of

Žádoucí bylo také zaměřit se na rozptyl, resp. variabilitu rozdělení souboru naměřených hodnot dob dozvuku pro více poslechových míst a zdrojů zvuku. Hodnota rozptylu byla vypočtena jako střední hodnota kvadrátu odchylek od střední hodnoty. Rozptyl hodnot naměřených dob dozvuku poté vyjadřuje v závislosti na frekvenci šíření zvukových vln a rozložení zvukové energie v prostoru [12]. Obr. 7, 8 a 9 uvádí, že šíření zvuku prostorem je na nižších frekvencích nestálé z důvodu malého počtu na rozdílnou úroveň vybuzeň

a small number of excited eigenfrequencies at different levels and with different constants of attenuation. This is also related to the number of fluctuations in the sound field when the excited tone fades. This is due to the waveform of the sound field and the associated with the existence of its eigenfrequencies causing the irregularity of the frequency characteristic of the space [9]. It is necessary to take into account the results of measurements in this frequency range may be affected by the sound source used, its intensity, directionality and location. Due to these limitations, it is very complicated to accurately determine the reverberation time in this frequency range. It can be seen from Fig. 7, 8 and 9 that the length of the propagation paths and the different distances between the receiving points also affect the resulting values. The most striking is the situation in St. Philip and Jacob, which is primarily due to the shape design and the flat surfaces that focus the sound in certain places. In a contemporary architectural style were these vault and dome shapes used to concentrate sound in the auditorium area and the subjective feeling of spatiality [19]. However, in the case of the inappropriate choice of placement, dimensions and curvature can these elements negatively affect the acoustic performance of the space [4]. Newer architectural styles focusing on functionality are these elements no longer featured [6].

vlastních kmitů s odlišnými konstantami útlumu. Popsaný je stejně jako množství fluktuací zvukového pole při dozívání je projevem jeho vlnového charakteru a s tím spojené existence vlastních kmitů způsobujících nepravidelnost frekvenční charakteristiky prostoru [9]. Při hodnocení výsledků měření na tomto frekvenčním rozsahu je také nutné brát v úvahu použitý zdroj zvuku a jeho intenzitu v této frekvenční oblasti, jeho směrovost a samotné polohy mikrofonů a zdroje zvuku. Vzhledem k zmíněným omezením je na těchto frekvencích velmi komplikované správně určit dobu dozvuku. Z Obr. 7, 8 a 9 lze pozorovat, že na výsledné hodnoty se dále podepisuje délka cest přenosu zvuku a rozdílné vzdálenosti mezi poslechovémi místy. Nejmarkantněji je tato situace zřejmá v prostorech kostelu sv. Filipa a Jakuba, což je především kvůli objemu, tvarovému řešení a vyduťtým plochám, které zvuk soustřeďují do určitých míst. Klenbové a kopulové tvary byly v dobovém architektonickém slohu využívány za účelem soustředění zvuku do oblasti hlediště a subjektivního pocitu prostorovosti [19]. Nicméně při nevhodném umístění, rozměrech a zakřivení mohli tyto prvky zhoršit akustiku daného prostoru [4]. Novější stavební slohy zaměřeny spíše na funkčnost již tyto prvky neobsahují [6].

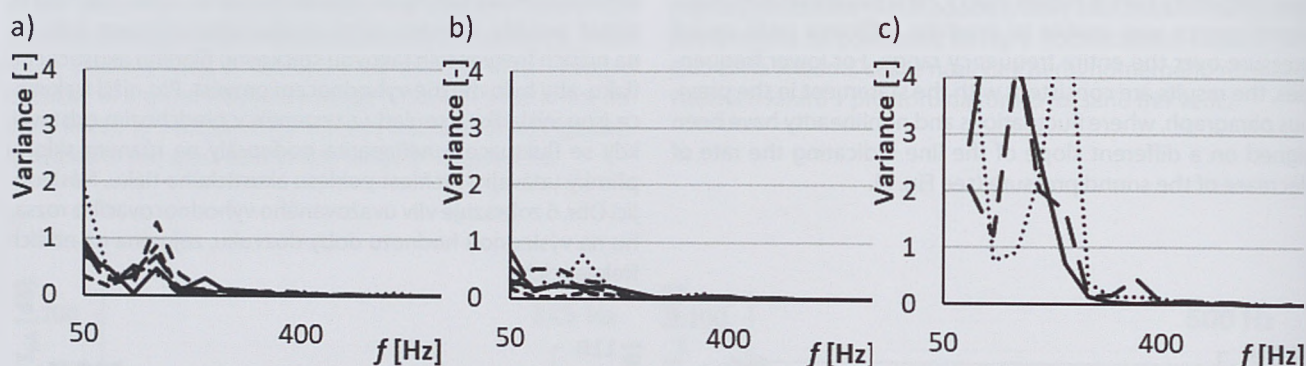


Fig. 7: The variance of reverberation time for each microphone position (a. The Church of St. Panna Maria, b. Evangelical Church, c. The Church of St. Filip a Jakub)

Obr. 7: Rozptýl hodnot dob dozvuku pro jednotlivé pozice mikrofonů (a. kostel sv. Panny Marie, b. Evangelický kostel, c. kostel sv. Filipa a Jakuba)

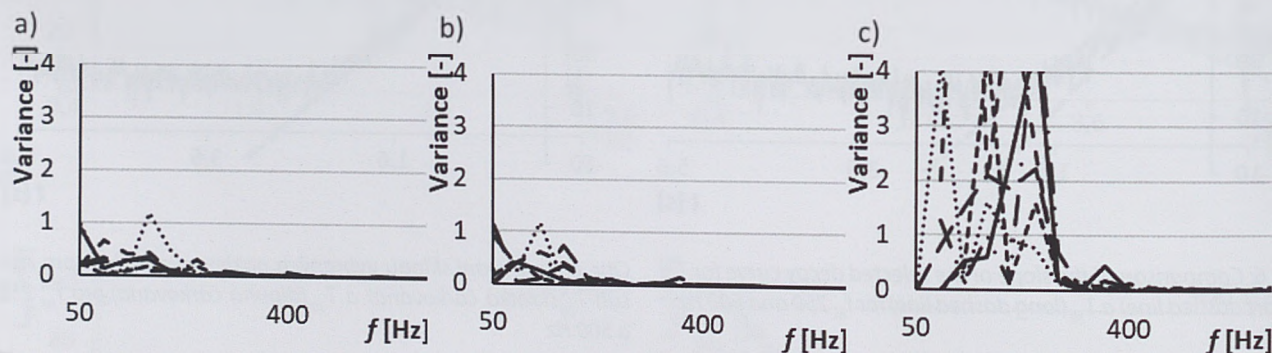


Fig. 8: The variance of reverberation time for each sound source position (a. The Church of St. Panna Maria, b. Evangelical Church, c. The Church of St. Filip a Jakub)

Obr. 8: Rozptýl hodnot dob dozvuku pro různé polohy zdroje zvuku (a. kostel sv. Panny Marie, b. Evangelický kostel, c. kostel sv. Filipa a Jakuba)

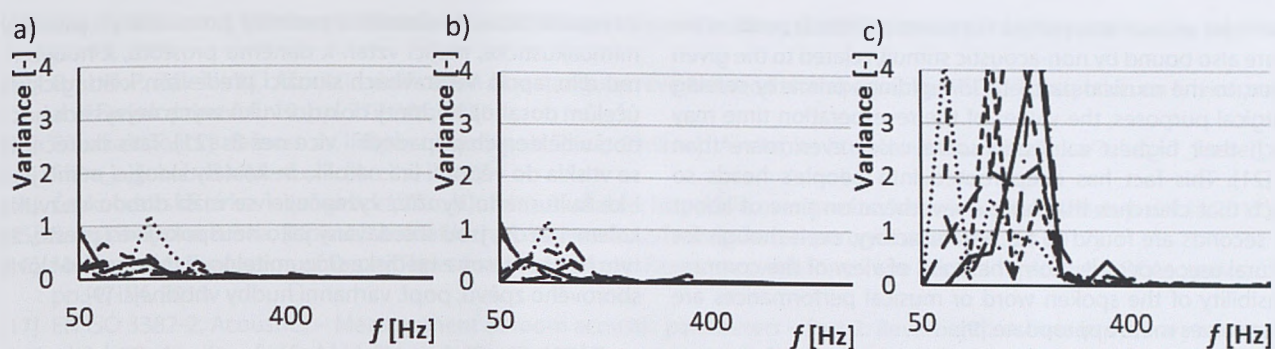


Fig. 9: The variance of all reverberation time values based on frequency

Obr. 9: Rozptyl všech hodnot dob dozvuku v závislosti na frekvenci

Particularly important for the diagnosis of the acoustics of the spaces is the process of decaying so-called reverberation [9]. The averaged course of the reverberation times for each church is graphically depicted in Fig. 10.

Zvlášť důležitým pro diagnostiku akustiky prostorů je průběh dozívání tzv. dozvuk [9]. Průměrované průběhy dob dozvuků pro každou sakrální stavbu graficky znázorňuje Obr. 10.

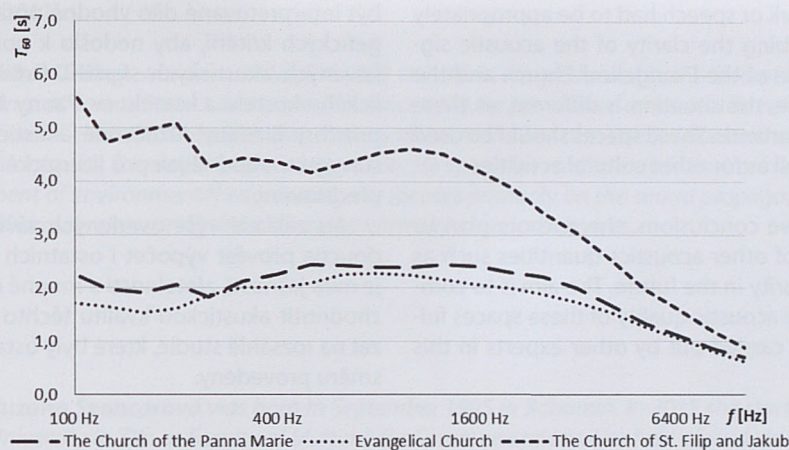


Fig. 10: The course of reverberation time based on frequency

Obr. 10: Průběh doby dozvuku v závislosti na frekvenci

It can be seen from the graph that the reverberation time in the church of St. Filip and Jakub is approximately twice as high ($T_{20} \sim 4s$) compared to other churches on a wide range of frequencies. It is predominantly at lower frequencies, as the sound absorption is very low in this range. The loss of sound energy in higher frequencies is primarily due to the influence of sound absorption in the air [9]. The resulting reverberation times for the Evangelical Church and St. The Virgin Mary is very similar in shape and also in values. The reverberation time is also very well flattened on a wide range of frequencies and the average value is about 2 seconds. In these churches, it can be seen that the resulting reverberation time has been artificially modified, in particular, to provide suitable diffusion properties from low frequencies.

Z grafu je patrné, že doba dozvuku v kostele sv. Filipa a Jakuba je přibližně dvojnásobná ($T_{20} \sim 4s$) při porovnání s ostatními kostely a to na širokém rozsahu frekvencí. Dominantní je zejména na nižších frekvencích, neboť absorpce zvuku je na tomto rozsahu velmi nízká. Úbytek zvukové energie v oblasti vyšších frekvencí je především způsoben vlivem pohlcování zvuku ve vzduchu [9]. Průběh doby dozvuku Evangelického kostela a kostela sv. Panny Marie vykazuje velmi podobného charakteru i hodnot, vyrovnaných na širokém rozsahu frekvencí. Střední hodnota doby dozvuku se pohybuje kolem 2s. U těchto kostelů lze vidět, že výsledná doba dozvuku byla uměle upravena, především k zajištění vhodných difúzních vlastností již od nízkých frekvencí.

7. CONCLUSION

Wave theory applied in enclosed spaces does not allow to fully formulate the conclusions required both in terms of design and the assessment of the acoustic quality in enclosures. The time-varying sound field that the listener perceives as a complex stimulus is the resultant of the interaction between the orchestra, the conductor, the musical work and the space in

7. ZÁVĚR

Vlnová teorie aplikovaná na uzavřené prostory neumožňuje plně formulovat závěry, potřebné jak z hlediska návrhů, tak i oceňování akustické kvality uzavřených prostorů. Časově proměnné zvukové pole, které posluchač vnímá jako komplexní podnět, je výslednicí vzájemného působení hudebního tělesa, dirigenta, hudebního díla a prostoru, ve kterém je dílo

which the work is interpreted. Furthermore, the acoustic stimuli are also bound by non-acoustic stimuli, related to the given space, to the musical part, etc. In buildings primarily serving liturgical purposes, the values of the reverberation time may reach their highest values, in some cases even more than 8s [21]. This fact has deep roots in people's heads so much that churches that have a reverberation time of about 1-2 seconds are found to be unsatisfactory, even though for cultural use, especially from the point of view of the comprehensibility of the spoken word or musical performances are these values more appropriate [9].

This contribution deals with the evaluation of acoustic properties of three churches in Zlín, which were built in a different architectural style. When comparing the internal dimensions, respectively the volume and the resulting values of reverberation times, it can be argued that the development of architecture has been moving in the direction of overall functionality. Church of St. Filip and Jakub contain mainly elements of Baroque style, characterized by large internal volume, concave shapes and acoustically reflective surfaces. In these spaces, the interpreted music work or speech had to be appropriately modified to avoid disturbing the clarity of the acoustic signals produced. In the case of the Evangelical Church and the Church of St. Panna Marie, the situation is different, as there were different acoustic demands. These spaces should be used for certain liturgical as well as for other cultural activities.

On the basis of the above conclusions, the authors plan to perform the calculation of other acoustics quantities such as spatiality, distinctness, clarity in the future. The aim is to comprehensively evaluate the acoustic quality of these spaces following extensive studies carried out by other experts in this field.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic within the National Sustainability Programme project No. LO1303 (MSMT-7778/2014) and by the European Regional Development Fund under the project CEBIA-Tech No. CZ.1.05/2.1.00/03.0089 and also by the Internal Grant Agency of Tomas Bata University in Zlín under the project No. IGA/CebiaTech/2018/001.

REFERENCES

- [1] Baumann, D., Niederstätter C.: Acoustics in Sacred Buildings, In Sacred Buildings, ISSN 978-3-7643-6683-4, Springer, pp. 54-59, 2013
- [2] Šefců, O.: Lexikon architektonických prvků a stavebního řemesla, ISSN 978-80-247-3120-9, Grada Publishing, Praha, p. 256, 2013
- [3] Art & Environment Subcommittee: Acoustics for Churches and Chapels, DIOCESE OF COLUMBUS, Columbus, 2003
- [4] Kuttruff, H.: Room Acoustics - Fifth Edition, ISSN 978-0-415-48021-5, Spon Press, Oxon, 2009
- [5] Müller, G., Möser, M.: Handbook of Engineering Acoustics, ISSN 978-3-540-24052-5, Springer, New York, 2013
- [6] Podroužková, P.: Moderní sakrální architektura, Master Thesis, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice, p. 186, 2013
- [7] Kolmer, F., Kyncl, J.: Prostorová akustika, SNTL/ALFA, Praha, p. 244, 1980
- [8] Everest, A., Pohlmann, K.: Master Handbook of Acoustics - Fifth Edition, ISSN 978-0071603324, McGraw-Hill, New York, p. 529, 2009
- [9] Beranek, L.: Acoustics, ISSN 0-88318-494-X, Acoustical Society of America, New York, 1993
- [10] Kaňka, J.: Akustika stavebních objektů, ISSN 978-80-7366-140-3, Era, Praha, p. 145, 2009

interpretováno. Na akustické podněty jsou vázány i podněty mimoakustické, mající vztah k danému prostoru, k hudebnímu dílu, apod. Ve stavbách sloužících především k liturgickým účelům dosahují hodnoty dob dozvuků svých nejvyšších hodnot, v některých případech i více než 8s [21]. Tato skutečnost se vtiskla do vědomí lidí natolik, že kostely sloužící mimo jiné i ke kulturnímu využití, vyznačující se nižší dobou dozvuku kolem 1 až 2s, jsou shledávány jako neuspokojivé i přesto, že tyto hodnoty jsou z hlediska srozumitelnosti mluveného slova, sborového zpěvu, popř. varhanní hudby vhodnější [9].

Tento příspěvek se zabývá hodnocením akustických vlastností tří kostelů ve Zlíně, které byly postaveny v odlišném architektonickém slohu. Při pohledu na hodnoty vnitřních objemů kostelů ve vztahu k výsledným hodnotám dob dozvuku je zřejmé, že se vývoj architektury v posledních desetiletích ubíral spíše směrem zaměřeným na celkovou funkčnost. Kostel sv. Filipa a Jakuba obsahuje především prvky barokního slohu, který se vyznačuje velkým vnitřním objemem, vyduťtými tvary a akusticky odrazivými povrchy. V těchto prostorech muselo být interpretované dílo vhodně upraveno podle jistých energetických kritérií, aby nedošlo k porušení zřetelnosti produkováných akustických signálů. Odlišná situace je u Evangelického kostela a kostela sv. Panny Marie, kde byly na vnitřní prostory kladeny různorodé akustické požadavky. Tyto prostory jsou vhodné jak pro liturgické funkce, tak i jiná kulturní představení.

Na základě výše uvedených závěrů autoři plánují do budoucna provést výpočet i ostatních poměrových kritérií jako je míra jasnosti, zřetelnosti a mnohé další. Cílem je komplexně zhodnotit akustickou kvalitu těchto prostor a dále tak navázat na rozsáhlé studie, které byly ostatními odborníky v tomto směru provedeny.

PODĚKOVÁNÍ

Tato práce byla podpořena Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v rámci projektu Národního programu udržitelnosti č. LO1303 (MSMT-7778/2014) a Evropského fondu pro regionální rozvoj v rámci projektu CEBIA-Tech č. CZ.1.05/2.1.00/03.0089 a také interní grantové agentury Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně č. IGA/CebiaTech/2018/001.

- [11] Cox, T., D'Antonio, P.: Acoustic Absorbers and Diffusers - Second edition, ISSN 978-0415471749, Taylor & Francis, New York, p. 495, 2009
- [12] Drábek P., Zálešák M.: Acoustic verification of rectangular reverberation chamber using, WSEAS Transaction on Environment and Development, č. 12, pp. 377-385, 2016
- [13] Římskokatolická farnost sv. Filipa a Jakuba ve Zlíně, [Online]. Available: http://www.farnostzlin.cz/?ukaz=7_kostel_sv_filipa_a_jakuba&ldMenu=7. [Access 2017]
- [14] Českobratrská církev evangelická Zlín, [Online]. Available: <http://zlin.evangnet.cz/historie-kostela>. [Přístup získán 2017]
- [15] Salesiáni Dona Boska, [Online]. Available: <http://zlin.sdb.cz/farnost/kostel-panny-marie/>. [Access 2017]
- [16] Meissner, M.: Evaluation of Decay Times from Noisy Room Responses with Pure-Tone Excitation, Archives Of Acoustics, č. 38, pp. 47-54, 2013
- [17] EN ISO 3382-2, Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 2: Reverberation time in ordinary rooms, European Committee for Standardization, Brusel, 2009
- [18] Prato, A., Casassa, F., Schiavi, A.: Reverberation time measurements in non-diffuse acoustic field by the modal reverberation time, Applied Acoustics, pp. 160-169, 2016
- [19] Vaverka, J.: Stavební fyzika 1, ISSN 80-214-1283-6, VUT v Brně, Brno, 1998
- [20] Meissner, M.: Influence of wall absorption on low-frequency dependence of reverberation time in room of irregular shape, Applied Acoustics, pp. 583-590, 2008
- [21] Girón, S., Álvarez-Morales, L., Zamarrero, T.: Church acoustics: A state-of-the-art review after several decades of research, Journal of Sound and Vibration, č. 411, pp. 387-408, 2017
- [22] Gade, A. C.: Acoustics for Symphony Orchestras; Status After Three Decades of Experimental Research, Building Acoustics, No. 18, pp. 181-206, 2011



Pavel Drábek was born in August 1990 in Zábřeh. He graduated in the field of Integrated Systems in Buildings at Tomas Bata University in Zlín. Since 2014, he has worked as a scientific researcher at the Regional Research Center CEBIA-Tech in Zlín. At the same time, he has also studied doctoral studies at Faculty of Applied Informatics, Tomas Bata University in Zlín. He specializes in the indoor environment of buildings and equipment of environmental engineering. He focuses primarily on the sound propagation in enclosed space and laboratory measuring the acoustic parameters of various devices.



Zuzana Švancarová was born in September 1995 in Bohumín. In 2015 she started to study at Tomas Bata University in Zlín at Faculty of Multimedia Communications. Her field of study is Sound Editing so she is primarily making films. But in her Bachelor's work she wants to focus on acoustic.



Vojtěch Křesálek was born in 1952. He received RNDr. (1979) and PhD. degree (1984) in physical optics. For a brief time, he was with Chalmers University, Göteborg, Sweden. Since his habilitation in 1993 at Technical University in Brno he has been involved with research of electrical properties of the polymer and composite materials. More recently, his interests spanned into terahertz spectroscopy and applied optics generally.