

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA STAVEBNÍ**

**Katedra technologie staveb**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Optimalizace výběru akustických systémů**

**Adéla Křížková**

**2017**

**Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miloslava Popenková, CSc.**

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 28.5.2017

.....  
Adéla Křížková

## **Poděkování**

Děkuji Ing. Miloslavě Popenkové, CSc. za vedení mé práce, cenné rady a odborný dohled. Dále děkuji Ing. Janu Peštovi za poskytování odborných informací a soustavné vzdělávání v oboru.



## ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE


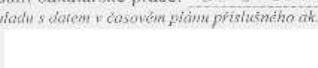
Fakulta stavební  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

### ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

#### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Křížková	Jméno: Adéla	Osobní číslo: 409762
Zadávací katedra: k122		
Studijní program: SI		
Studijní obor: L		

#### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: OPTIMALIZACE VYBĚRU ACOUSTICKÝCH SYSTÉMŮ	
Název bakalářské práce anglicky: OPTIMIZING THE SELECTION OF ACOUSTIC SYSTEMS	
Pokyny pro vypracování: VZ PŘÍLOHA	
Seznam doporučené literatury: VZ PŘÍLOHA	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. MILOSLAVA POPELKA, CSc.	
Datum zadání bakalářské práce: 20. 2. 2017	Termín odevzdání bakalářské práce: 28. 5. 2017 <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</small>
	
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

#### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

**Optimalizace výběru akustických systémů**

**Optimizing the selection of acoustic systems**

# **Abstrakt**

Bakalářská práce pojednává o prostorové akustice a výběru akusticky pohltivých materiálů pro dosažení optimální doby dozvuku v různých typech prostorů. První část se zabývá vymezením základních pojmů, jsou zde vysvětleny metody výpočtu a měření doby dozvuku a uvedeny současně platné normy. Ve druhé části jsou popsány zásady řešení prostorové akustiky v závislosti na typu posuzovaného prostoru. Tyto zásady jsou pak aplikovány na prostoru multifunkčního sálu, pro který jsou navrženy tři varianty řešení prostorové akustiky. Následně je provedeno multikriteriální vyhodnocení navržených variant a pro nejvhodnější variantu je zpracován technologický postup.

## **Klíčová slova**

Prostorová akustika, doba dozvuku, činitel zvukové pohltivosti, akustický pohled, akustický obklad

# **Abstract**

This undergraduate thesis discusses room acoustics and the selection of acoustically absorbent materials to reach optimal reverberation time in a range of spatial types. The first section defines basic concepts, including the definition of methods for calculating and measuring reverberation time, and introduces currently applied standards. In the second section, the principles for resolving room acoustics are described in relation to the type of space considered. These principles are then applied to the space of a multifunctional room for which three variants of room acoustics are proposed. Thereafter, a multi-criteria assessment of the proposed variants is performed and a technological procedure is compiled for the most suitable variant.

# **Keywords**

Room acoustics, reverberation time, sound absorption coefficient, acoustic ceiling, acoustic panel

# Obsah

<b>1.Základní pojmy.....</b>	<b>12</b>
1.1.Prostorová akustika.....	12
1.2.Doba dozvuku.....	12
1.3.Činitel zvukové pohltivosti.....	12
1.4.Akustický obklad.....	13
1.5.Širokopásmový akustický obklad.....	13
<b>2.Stanovení doby dozvuku, normové požadavky.....</b>	<b>14</b>
2.1.Výpočtové metody.....	14
2.1.1.Doba dozvuku podle Sabina.....	14
2.1.2.Doba dozvuku podle Eyringa.....	14
2.1.3.Doba dozvuku podle Millingtona.....	15
2.2.Metody měření.....	16
2.2.1.Obecně.....	16
2.2.2.Metoda přerušného šumu.....	17
2.2.3.Metoda integrované impulsové odezvy.....	17
2.3.Normové požadavky.....	17
<b>3.Typy zvukově pohltivých konstrukcí.....</b>	<b>19</b>
3.1.Obklady z porézních materiálů.....	19
3.2.Kmitající membrány a desky.....	19
3.3.Dutinové rezonátory.....	20
3.4.Kombinované pohlcovače.....	21
<b>4.Řešení prostorové akustiky v závislosti na typ prostoru.....</b>	<b>22</b>
4.1.Tělocvičny a sportovní haly.....	22
4.2.Aquaparky a plavecké haly.....	22
4.3.Školní učebny a posluchárny.....	23
4.4.Koncertní sály.....	24
4.5.Divadelní sály.....	24
4.6.Kina.....	24
4.7.Nahrávací studia.....	25



4.8.Ostatní prostory.....	26
<b>5.Řešení prostorové akustiky multifunkčního sálu „Kino Sokol“.....</b>	<b>27</b>
5.1.Současný stav.....	27
5.2.Požadavky.....	28
5.3.Vstupní měření doby dozvuku.....	30
5.4.Návrh úprav.....	31
5.4.1.Obecně.....	31
5.4.2.Varianta 1 - dřevěný obklad + heraklit + SDK deska nad pódiem.....	32
5.4.3.Varianta 2 – obklady Cetris + SDK deska nad pódiem.....	34
5.4.4.Varianta 3 – obklady Novatop + akustická omítka + SDK deska nad pódiem.	36
<b>6.Multikriteriální vyhodnocení variant.....</b>	<b>39</b>
6.1.Způsob hodnocení jednotlivých kritérií.....	39
6.2.Varianta 1.....	42
6.3.Varianta 2.....	44
6.4.Varianta 3.....	46
6.5.Vyhodnocení analýzy.....	48
<b>7.Technologický postup pro vybranou variantu.....</b>	<b>49</b>
7.1.Vstupní materiály a výrobky.....	50
7.1.1.Výkaz materiálu.....	50
7.1.2.Zásady manipulace, dopravy a skladování materiálů.....	51
7.1.3.Kontrola kvality materiálu.....	51
7.2.Pracovní podmínky.....	52
7.2.1.Stavební připravenost.....	52
7.2.2.Struktura pracovní čety.....	52
7.2.3.Bezprostřední podmínky pro práci.....	52
7.3.Pracovní pomůcky.....	53
7.4.Technologický postup.....	53
7.4.1.Příprava podkladu.....	53
7.4.2.Vytyčení polohy nosných profilů.....	54
7.4.3.Montáž zakládacích profilů/třmenů.....	54
7.4.4.Montáž svislých profilů.....	54
7.4.5.Vložení izolace.....	54

7.4.6.Montáž desek.....	55
7.4.7.Zatmelení spár.....	55
7.4.8.Poznámky.....	55
7.5.Postupový diagram.....	55
7.6.Pracnost.....	55
7.7.Jakost provedení.....	56
7.8.BOZP.....	56
7.9.Vliv na životní prostředí.....	56
<b>Příloha A – fotografie prostoru kino sokol – současný stav.....</b>	<b>61</b>
<b>Příloha B – postupový diagram realizace obkladů Cetris.....</b>	<b>62</b>
<b>Příloha C – pokyny pro vypracování, seznam doporučené literatury.....</b>	<b>63</b>

# Úvod

Řešení prostorové akustiky je nedílnou součástí návrhu občanských, sportovních a kulturních staveb. Akustika v místnosti ovlivňuje nejen psychickou pohodu a pracovní komfort, ale v extrémních případech také lidské zdraví. Přesto ji však řada projektantů při návrhu řadí až na poslední místo a nevěnuje jí dostatečnou pozornost. Výsledkem pak často bývá nevyhovující řešení a nutnost upravovat prostor dodatečně, stavba se tak prodražuje a termín se prodlužuje.

Na českém trhu působí desítky firem nabízejících různá řešení pro optimalizaci prostorové akustiky. V nabídce jsou klasické obklady, podhledy a předstěny, ale také různé závěsné prvky, akustické obrazy, rozptylové prvky a mnoho dalších. Hlavním kritériem výběru materiálu je jeho schopnost pohlcovat zvuk, avšak ve většině případů je třeba zohlednit i další požadavky, a to především s ohledem na tepelnou techniku, požární odolnost, estetiku a v neposlední řadě také finanční náročnost. Zorientovat se v široké nabídce výrobků však není snadné a projektant tak často sáhne po prvním výrobku, který mu nabídne internet nebo který již v minulosti použil. Takový výrobek ale pro navrhovaný prostor nemusí být vůbec vhodný.

Cílem bakalářské práce je popsat principy řešení prostorové akustiky a aplikovat je na konkrétní prostor. Pro tento účel byl vybrán multifunkční sál „Kino Sokol“ v Kladně, pro který budou navrženy tři varianty řešení prostorové akustiky. Tyto varianty budou porovnány z různých stavebně-technických a dalších hledisek a pomocí multikriteriální analýzy bude vybrána nejvhodnější varianta řešení. V závěru práce bude pro vybranou variantu zpracován technologický postup.

# 1. Základní pojmy

## 1.1. Prostorová akustika

Prostorová akustika je vědní obor zabývající se šířením zvuku v částečně nebo úplně uzavřených prostorech. Hlavním cílem prostorové akustiky je zajištění správného přenosu zvuku a zlepšení srozumitelnosti v daném prostoru. Jedná se především o přednáškové síně, koncertní sály, nahrávací studia, sportovní haly, dále haly letišť a nádraží a prostory ve školách a školkách. Prostorová akustika dále řeší prostory, kde se předpokládá nadměrná produkce hluku, tedy různé výrobní haly, kde je účelem úprav především snížení hluku v prostoru. [1], [2]

## 1.2. Doba dozvuku

Základní veličinou charakterizující prostorovou akustiku místnosti je doba dozvuku. Doba dozvuku představuje čas, za který po vypnutí zdroje hluku poklesne hladina akustického tlaku v uzavřeném prostoru o 60 dB. Doba dozvuku lze stanovit jak výpočtově, tak měřením. Pro obě možnosti existuje několik metod, které budou podrobně popsány v dalších kapitolách. Doba dozvuku v místnosti ovlivňuje její tvar, objem, velikost pohltivých a odrazivých povrchů a množství pohltivých prvků (předmětů, osob) v místnosti. [2]

## 1.3. Činitel zvukové pohltivosti

Činitel zvukové pohltivosti vyjadřuje schopnost materiálu pohlcovat zvuk. Tato veličina se značí řeckým písmenem  $\alpha$  a nabývá hodnot od 0 do 1, kdy nulová hodnota znamená, že se veškerá zvuková energie od daného materiálu odrazí, hodnota jedna naopak znamená, že všechna energie je materiálem pohlcena. Přidáváním zvukově pohltivých materiálů, tedy

materiálů s vysokým činitelem zvukové pohltivosti, lze snížit dobu dozvuku v místnosti. Činitele zvukové pohltivosti se běžně udávají pro kmitočtová pásma od 125 Hz do 4000 Hz. [1]

#### **1.4. Akustický obklad**

Akustický obklad je obklad stěn nebo stropu složený ze zvukově pohlcujících a případně zvuk rozptylujících materiálů. Typy akustických obkladů jsou blíže popsány v kapitole 3.

#### **1.5. Širokopásmový akustický obklad**

Jedná se o obklad, jehož vážený činitel zvukové pohltivosti  $\alpha_w$  je větší nebo roven 0,8. Použití těchto obkladů je požadováno pro některé typy prostorů, pro které nejsou stanoveny číselné požadavky na dobu dozvuku.

## 2. Stanovení doby dozvuku, normové požadavky

### 2.1. Výpočtové metody

#### 2.1.1. Doba dozvuku podle Sabina

Jako první odvodil vzorec pro výpočet doby dozvuku Wallace Clement Sabine. Do výpočtů zavedl dva zjednodušující předpoklady. Předpokládal, že v prostoru po vypnutí zdroje hluku klesá intenzita zvuku naprosto spojitě a neuvažoval vliv rozdílných vlastností jednotlivých ploch na dobu dozvuku. Postupem času se ale ukázalo, že tato zjednodušení jsou chybná a že vzorec lze použít pouze pro méně tlumené prostory, pro více tlumené prostory udává vzorec chybné výsledky. [3]

$$T_s = \frac{0,163 V}{A + 4mV} \quad [2]$$

kde  $A = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i$

$T_s$	doba dozvuku [s]
$A$	celková pohltivost [ $m^2$ ]
$V$	objem místnosti [ $m^3$ ]
$S_i$	plocha dílčího materiálu [ $m^2$ ]
$\alpha_{si}$	činitel pohltivosti dílčího materiálu [-]
$m$	činitel útlumu ve vzduchu [ $m^{-1}$ ]

#### 2.1.2. Doba dozvuku podle Eyringa

Sabinův výpočet později zpřesnil Carl Ferdinand Eyring, který správně předpokládal, že intenzita zvuku po vypnutí zdroje hluku neklesá spojitě, ale

po skocích vždy při odrazu od pevného povrchu. Stejně jako Sabine však neuvažoval vliv rozdílných vlastností jednotlivých ploch na dobu dozvuku. Eyringův vzorec poskytuje správné výsledky i pro více pohltivé prostory, ale platí pouze pro difúzní zvuková pole. [3]

$$T_E = \frac{0,163 V}{-S \ln(1 - \alpha_s) + 4mV} \quad [2]$$

$T_E$	doba dozvuku [s]
$V$	objem místnosti [ $m^3$ ]
$S$	celková plocha ohraničujících stěn [ $m^2$ ]
$\alpha_s$	střední činitel pohltivosti [-]
$\alpha_{si}$	činitel pohltivosti dílčího materiálu [-]
$S_i$	plocha dílčího materiálu [ $m^2$ ]
$m$	činitel útlumu ve vzduchu [ $m^{-1}$ ]

### 2.1.3. Doba dozvuku podle Millingtona

Výpočet podle Millingtona je nejpřesnější, protože uvažuje pokles intenzity zvuku po skocích a správně předpokládá, že při každém odrazu se pohltí jiná část energie. Millingtonův vzorec se uplatní v případech, kdy je celkový činitel pohltivosti ohraničujících stěn vyšší než 0,8. Takových prostorů je ale velmi málo, a tak se tento výpočet užívá jen zřídka. [3], [6]

$$T_M = \frac{0,163 V}{-\sum S_i \ln(1 - \alpha_{si}) + 4Vm} \quad [3]$$

$T_M$	doba dozvuku [s]
$V$	objem místnosti [ $m^3$ ]
$S_i$	plocha dílčího materiálu [ $m^2$ ]
$\alpha_{si}$	činitel pohltivosti dílčího materiálu [-]
$m$	činitel útlumu ve vzduchu [ $m^{-1}$ ]

## 2.2. Metody měření

### 2.2.1. Obecně

Zásady měření doby dozvuku a jeho metody stanovuje ČSN EN ISO 3382 (části 1 – 3). Jsou zde popsány požadované parametry přístrojového vybavení, tedy zdroje zvuku, mikrofону a filtrů a záznamového zařízení. Dále jsou zde stanoveny požadavky na místa měření. Zdroj zvuku se umísťuje do výšky 1,5 m nad podlahou a to minimálně do dvou míst. Místa zdroje zvuku by měla odpovídat místům budoucího reálného zdroje zvuku. Mikrofon se umísťuje tam, kde budou umístění posluchači, a to do výšky 1,2 m nad podlahou. Umístění mikrofónu se volí tak, aby byl pokryt celý prostor. Jednotlivá umístění mikrofónu musí být od sebe vzdálena minimálně polovinu vlnové délky, tj. cca 2,0 m, vzdálenost mikrofónu od odrážejícího povrchu musí být minimálně čtvrtina vlnové délky, tedy cca 1,0 m. Mikrofon nesmí být umístěn příliš blízko zdroje zvuku. [7]



Obr. 1 - Vybavení pro měření doby dozvuku (všesměrový reproduktor, výkonový zesilovač, zvukoměr s mikrofónem) [13]



ČSN EN ISO 3382 stanovuje dvě metody měření doby dozvuku – metodu přerušného šumu a metodu integrované impulsové odezvy. Obě metody poskytují stejné výsledky a jsou blíže popsány v následujících podkapitolách. [7]

### **2.2.2. Metoda přerušného šumu**

Měření touto metodou se provádí tak, že se do prostoru pomocí generátoru šumu, výkonového zesilovače a všesměrového reproduktoru pustí předem známý šum. Po jeho ustálení se zdroj zvuku vypne a sleduje se pokles hladiny akustického tlaku. Zdroj zvuku musí být dostatečně silný, hladina akustického tlaku, kterou zdroj vybudí, musí být min. o 35 dB vyšší, než je hladina hluku pozadí. Tato metoda je vhodná pro středně velké místnosti, jako jsou školní učebny či obytné místnosti bytů. [2], [7]

### **2.2.3. Metoda integrované impulsové odezvy**

Při této metodě měření se prostor vybudí pomocí akustického impulsu. Ten může být tvořen různými zdroji, nejčastěji se používá plynová pistole nebo elektrický výboj. Důležité je, aby zdroj zvuku nedozníval a pokrýval dostatečně široké kmitočtové spektrum. Opět je nutný dostatečný výkon zdroje zvuku, odstup hladiny akustického tlaku zdroje a hluku pozadí musí být min. 35 dB. Tato metoda měření je vhodná zejména do prostorů o velkém objemu, kde již metoda přerušného šumu nedostačuje. [2], [7]

## **2.3. Normové požadavky**

Obecné požadavky na projektování prostorové akustiky jsou uvedeny v ČSN 73 0525: Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Všeobecné zásady z února roku 1998. Konkrétní požadavky na dobu dozvuku pak stanovuje ČSN 73 0526: Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Studia a místnosti pro snímání, zpracování a kontrolu

zvuku vydaná v únoru 1998 a ČSN 73 0527: Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Prostory pro kulturní účely – Prostory ve školách – Prostory pro veřejné účely, vydaná v březnu roku 2005. V závislosti na účelu a objemu prostoru jsou zde stanovena požadovaná rozmezí hodnot doby dozvuku v jednotlivých kmitočtových pásmech. Pro prostory tělocvičen a sportovních a plaveckých hal jsou požadavky vztaženy ke kmitočtovým pásmům od 250 Hz do 2000 Hz, pro ostatní prostory pak od 125 Hz do 4000 Hz. Pro některé prostory (např. učebny pracovní výuky, jídelny, sborovny aj.) není stanovena optimální doba dozvuku, ale je požadováno použití širokopásmového akustického obkladu stropu. [8], [9], [10]

### 3. Typy zvukově pohltivých konstrukcí

#### 3.1. Obklady z porézních materiálů

U obkladů z porézních materiálů dochází k přeměně akustické energie na teplo především vlivem tření částic v pórech materiálu, které musí být vzájemně propojené a otevřené. Mezi nejčastěji používané porézní materiály patří skelná a minerální vlákna, dřevovláknité desky, textilie a ztužené pěny. Činitele pohltivosti obkladů z porézních materiálů závisí na tloušťce obkladu, uspořádání pórů a tloušťce vzduchové mezery za obkladem. Porézní pohlcovače jsou účinné především na vyšších kmitočtech (od 1000 Hz), nejvyšší účinnosti lze dosáhnout umístěním obkladu do vzdálenosti čtvrtiny vlnové délky od tuhého povrchu. Vzhledem k náchylnosti na mechanické poškození se většinou porézní obklady překrývají mřížovinou či textílií. [2], [5]



Obr. 2 - Porézní pohlcovače [14]

#### 3.2. Kmitající membrány a desky

Kmitající membrány jsou tenké desky nebo fólie umístěné v určité vzdálenosti od tuhého povrchu. Tlumivého účinku je zde dosaženo nucenými kmity na vzduchovém polštáři. Jedná se nejčastěji o měkké desky, textilie či tenké fólie z umělých hmot. Na stejném principu fungují kmitající desky, které musí být k nosnému roštu připojeny velmi měkce. Používají se různé

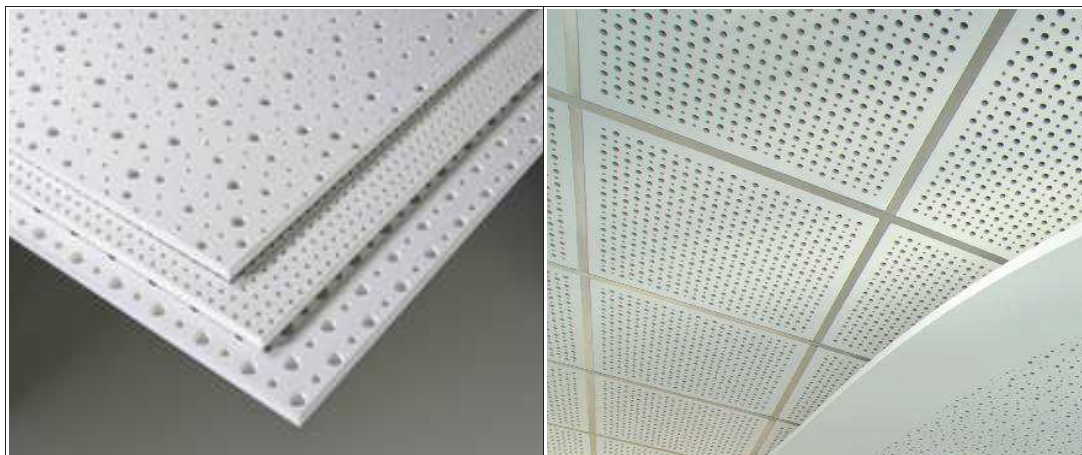
dřevovláknité materiály, překližky a plechy. Kmitající membrány a desky jsou nejvíce účinné na nízkých kmitočtech (do 250 Hz), účinnosti v širším kmitočtovém spektru lze dosáhnout vložením porézního materiálu do vzduchové mezery. Činitele pohltivosti těchto obkladů pak závisí na tloušťce desky (membrány), tloušťce vzduchové mezery a tloušťce porézního materiálu. Výhodou těchto obkladů je, že tvoří hladký souvislý povrch a plně oddělují prostor od porézního pohlcovače. Jsou tedy vhodné do vlhkých prostorů, jako jsou bazény či umývárny. [2], [5]



Obr. 3 - Kmitající membrány [15]

### 3.3. Dutinové rezonátory

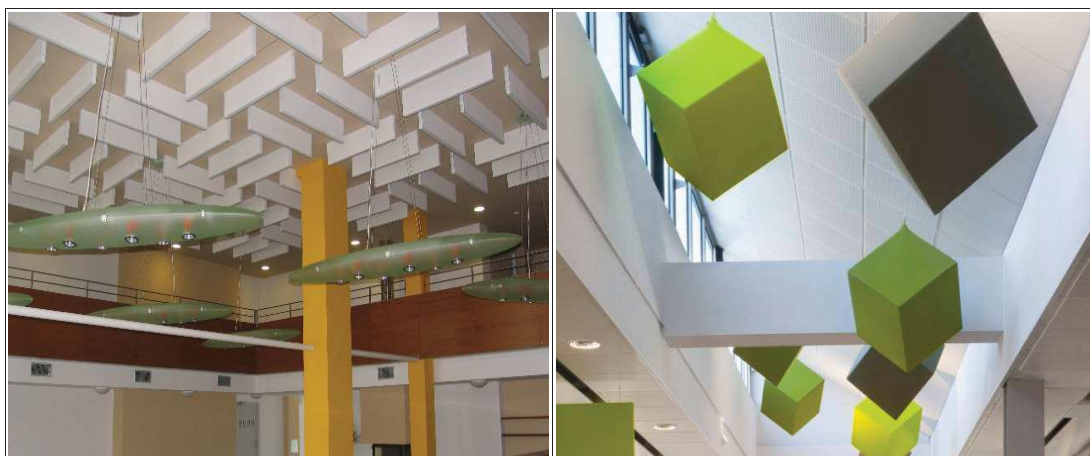
Speciálním typem dutinového rezonátoru je tzv. Helmholtzův rezonátor. Jedná se o tvárnice tvaru kvádra z keramiky, dřevocementových desek či silikátových materiálů. Uvnitř tvárnice je dutina, která je s prostorem spojena úzkým hrdlem. Tlumivých účinků je dosaženo kmitáním částic v hrdle. Obdobně fungují děrované desky, kdy každý otvor v desce je hrdlem dutinového rezonátoru a vzduchová mezera za deskou odpovídá dutině v tvárnici. Účinnost rezonátorů je opět možné zvýšit přidáním porézního pohlcovače do dutiny či vzduchové mezery. Narozdíl od kmitajících desek nemusí být děrované desky k nosnému roštu připojeny měkce, protože při dopadu zvukové vlny kmitá vzduch v otvorech a deska je v klidu. Účinnost obkladu na bázi dutinového rezonátoru závisí na tloušťce desky, ploše otvorů a objemu dutiny rezonátoru (vzduchové mezery). [2], [5]



Obr. 4 - Dutinové rezonátory [17]

### 3.4. Kombinované pohlcovače

Jako kombinované pohlcovače se označují vícenásobné rezonanční soustavy a akustická tělesa. Vícenásobné (dvouprvkové, příp. tříprvkové) rezonanční soustavy jsou tvořeny několika za sebou osazenými rezonančními prvky. Akustická tělesa jsou prostorové prvky tvořené porézním materiálem překrytým textílií, mřížovinou apod. Tato tělesa se většinou zavěšují na stropní konstrukci. Akustická tělesa se účinnosti blíží obkladům z porézních materiálů se vzduchovou mezerou. Jejich výhoda spočívá především v možnosti jejich zavěšení na stropní konstrukci, jsou tedy vhodné do prostorů, kde z nějakého důvodu není možné celoplošné obložení stropu. [2], [5]



Obr. 5 - Kombinované pohlcovače [16]

## **4. Řešení prostorové akustiky v závislosti na typ prostoru**

Jak již bylo řečeno, každá místnost vyžaduje specifické řešení v závislosti na různých faktorech. V této kapitole budou shrnuty základní principy návrhu prostorové akustiky pro nejčastěji řešené typy prostorů.

### **4.1. Tělocvičny a sportovní haly**

Sportovní haly jsou pro návrh akustických úprav náročné hned z několika důvodů. Jedná se zpravidla o značně objemné prostory, je tedy třeba obložit rozsáhlé plochy povrchů. Navržené obklady musí být dostatečně mechanicky odolné, aby odolaly silným a častým nárazům míče. V tělocvičnách je vhodné umisťovat stěnové obklady až od určité výšky nad podlahou (cca 1,5 m), lze totiž předpokládat i nárazy osob, kterým nemusí odolat ani velmi odolné konstrukce. Pokud navíc volíme nějaký typ perforovaného obkladu, může dojít i ke zranění žáka (např. uvíznutím prstu v otvoru obkladu). Pokud je nutné umístění obkladů už od podlahy (většinou z architektonických důvodů), je vhodné se perforovaným obkladům vyhnout, případně navrhnout nějaké s menšími otvory (cca do 5 mm). [18]

### **4.2. Aquaparky a plavecké haly**

V plaveckách halách a především v aquaparcích je hladina hluku vždy vysoká. Zvuk se odráží od hladkých povrchů podlah a stěn a šíří se prostorem po vodní hladině. Hlavním účelem akustických úprav těchto prostor je snížení hladiny hluku pro zajištění bezpečnosti, tedy aby bylo slyšet případné volání o pomoc a aby bylo místo volání snadno zjištělné. V plaveckých halách je ale často málo povrchů, které lze obložit pohltivými obklady. Nášlapná vrstva podlahy je zpravidla tvořena dlažbou a velká část stěn bývá prosklená. Pro obložení tak zbývá hlavně strop, kde ovšem

vzhledem k povaze prostoru hrozí vznik kondenzace vodní páry. Při samotném návrhu je tak nutné i posouzení z hlediska tepelně-vlhkostního chování konstrukcí. Vhodným řešením jsou kmitající membrány či desky (bez vložené minerální izolace), které jsou odolné vůči vlhkosti. Dalším možným řešením jsou tzv. baffle. Jedná se o vertikální pohltivé desky různých tvarů a rozměrů, které se zavěšují pod strop a nemají tak vliv na tepelnou techniku. Baffle se uplatní zejména tam, kde již nejsou k dispozici volné plochy pro umístění obkladů. [18]



Obr. 6 - Baffle [18]

### 4.3. Školní učebny a posluchárny

Hlavním parametrem řešeným ve školních učebnách je srozumitelnost řeči. Je třeba zajistit dostatečně silný přenos řeči učitele směrem k žákům a zároveň zabránit šíření hluku při skupinových pracích. Podobně jako v tělocvičnách (i když v menší míře) jsou obklady ve třídách vystavovány vysokému mechanickému namáhání. Je proto vhodné je umisťovat až od určité výšky nad podlahou. V učebnách se vždy obkládá zadní stěna (naproti tabuli), aby se zamezilo odrazu zvuku od zadní stěny zpět do prostoru. Dále se obloží část jedné nebo obou bočních stěn a část stropu, plocha obkladů se odvíjí od vypočtených hodnot doby dozvuku. Stěna za učitelem se zpravidla ponechává odrazivá. [18]

#### **4.4. Koncertní sály**

Nejdůležitějším kritériem při řešení akustičnosti koncertních sálů je zajištění rovnoměrného přenosu zvuku do všech míst hlediště. Dále je třeba zamezit nepříznivým akustickým jevům, jako jsou výrazné odrazy a stojaté vlnění. Těmto jevům se zabrání vhodným rozmístěním obkladů, a to tak, aby nevznikaly rovnoběžné odrazivé plochy. Odraz je naopak žádoucí tam, kde díky němu dojde k zesílení zvuku a jeho přenosu do míst, kam se přímý zvuk obtížně dostává (např. hlediště na balkoně či zadní části sálu). V koncertních sálech je nutné použití čalouněných sedaček, a to pro případy, kdy sál nebude plně obsazen. Pohltivost čalouněných sedaček do jisté míry nahradí pohltivost osob, doba dozvuku v neobsazeném a (částečně) obsazeném sále by tak měla být přibližně stejná. [4]

#### **4.5. Divadelní sály**

Z hlediska rozmístění pohltivých ploch je řešení divadelních sálů obdobné, jako u sálů koncertních. Rozhodujícím hlediskem je zde ale srozumitelnost řeči, kritériem pro její hodnocení je dráhový rozdíl přímého a odraženého zvuku. Je to rozdíl mezi dráhou, kterou zvuk k posluchači urazí přímou cestou a dráhou, kterou k posluchači urazí odražený zvuk. Alternativně lze tento rozdíl vyjádřit časovým zpožděním odraženého zvuku oproti přímému. Dráhový rozdíl by neměl přesáhnout hodnotu 10,2 m, což odpovídá zpoždění odraženého zvuku oproti přímému 0,03 s. Vyšší zpoždění (dráhový rozdíl) způsobuje směšování hlásek, zpoždění vyšší než 0,05 s (dráhový rozdíl 17,0 m) způsobuje ozvěnu. [4], [5]

#### **4.6. Kina**

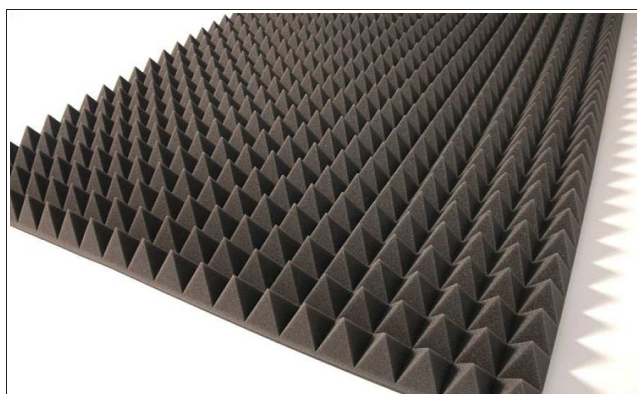
Aby bylo dosaženo optimálních poslechových podmínek, měly by teoreticky promítací sály být zcela pohltivé, bez dozvuku. Je to z důvodu, že zvuk se k posluchači dostává až druhotně (tedy po nahrání ve filmovém



ateliéru) a akustičnost sálu by ho neměla ovlivňovat. V praxi ale takové řešení není vhodné, protože by v případě jedné reprodukové soustavy zvuk k posluchači přicházel pouze z jednoho směru (od této soustavy), přestože obrazový přenos ukazuje něco jiného. Tento rozdíl by na posluchače působil rušivě. Zavedl se proto určitý kompromis, při snímání zvuku ve filmovém ateliéru se zajistí kratší doba dozvuku, než by byla reálně, a poté se doplní dozvukem v promítacím sále. Rozmístění pohltivých a odrazivých ploch je pak obdobné, jako u koncertních a divadelních sálů. [4]

#### 4.7. Nahrávací studia

V nahrávacích studiích je obzvlášť důležité zamezit vzniku nežádoucích odrazů, toho se docílí obložením stěn a stropu pohltivým materiálem. K tomuto účelu se nejčastěji používají tzv. akustické pěny. Jedná se o porézní materiál, jehož povrch je zpravidla členěný do různých tvarů (zřejmě nejznámější jsou pěny s jehlany). Díky tomu pěna zvuk nejen pohlcuje, ale také rozptyluje. Obklady se rozmisťují nepravidelně, v místnosti by neměly zůstat žádné rovnoběžné odrazivé plochy. Velikost obkládaných ploch závisí na výpočtu. Do rohů místnosti je vhodné umístit tzv. basové pasti. Jedná se opět o akustickou pěnu, která pohlcuje nízké (basové) frekvence. [19]



Obr. 7 - Akustická pěna [19]

## 4.8. Ostatní prostory

Norma dále uvádí prostory, pro které nejsou definovány číselné požadavky na dobu dozvuku, ale je požadováno použití širokopásmového obkladu stropu. Jedná se o tyto prostory:

- sborovna nebo konferenční místnost
- učebna pracovní výuky
- učebna gymnastiky a tance
- místnosti pro hry v mateřských školách a školních družinách
- denní místnosti jeslí
- školní jídelna, menza
- přepážkové haly pošt, spořitelen a bank
- čítárny a studovny

Použití širokopásmového akustického obkladu se dále doporučuje ve všech prostorech, pro které není normou určena optimální doba dozvuku.

[10]

## 5. Řešení prostorové akustiky multifunkčního sálu „Kino Sokol“

Zásady řešení prostorové akustiky budou aplikovány na prostoru bývalého kina v ulici T. G. Masaryka v Kladně. V současné době zde vystupují menší divadelní spolky a konají se zde koncerty s reprodukovanou hudbou. Dle informací od investora si zde vystupující často stěžují na nevyhovující akustiku a nechtějí zde nadále vystupovat. Cílem je tedy navrhnout opatření pro dosažení optimální doby dozvuku v prostoru a správný přenos hudby a řeči k posluchačům. Řešení prostorové akustiky Kina Sokol bude zpracováno ve třech variantách.

### 5.1. Současný stav

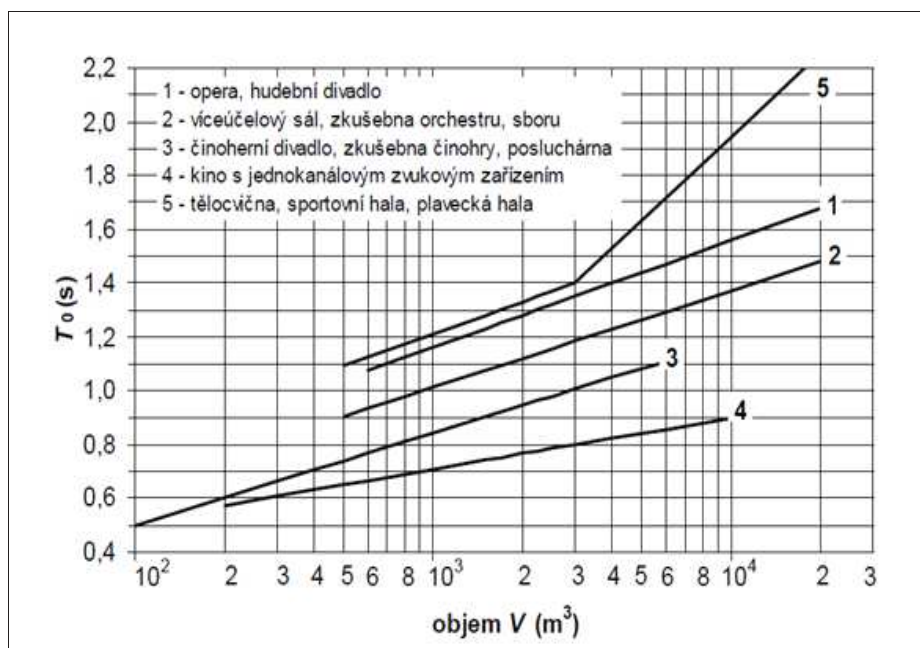
Jedná se o multifunkční sál o objemu cca 2616 m<sup>3</sup>. Prostor je rozdělen na hlavní část sálu (257 m<sup>2</sup>), pódium (29 m<sup>2</sup>), vyvýšené posezení (49 m<sup>2</sup>) a balkon (130 m<sup>2</sup>). Fotografie řešeného prostoru jsou zobrazeny v příloze A. Pódium není v současné době využíváno, všechna vystoupení se odehrávají na provizorní plošině z dřevěných palet před prostorem pódia. Kromě těchto palet jsou všechny podlahy pokryty kobercem. Čelní strana pódia je překryta závěsem. Zadní stěna v prostoru balkonu je tvořena měkkými děrovanými deskami na bázi dřevotřísky, všechny ostatní stěny jsou zděné a z většiny opatřené omítkou. Strop je tvořen prkenným podbitím opatřeným taktéž omítkou. Na většině stropu a částech bočních stěn je omítka hrubá. Čelní strana balkonu je překryta kůží. V prostoru balkonu se nachází 105 čalouněných sedaček, v hlavním prostoru sálu a na vyvýšeném posezení jsou volně rozmístěné dřevěné stoly a židle (celkem cca 150 kusů) a další nábytek.

## 5.2. Požadavky

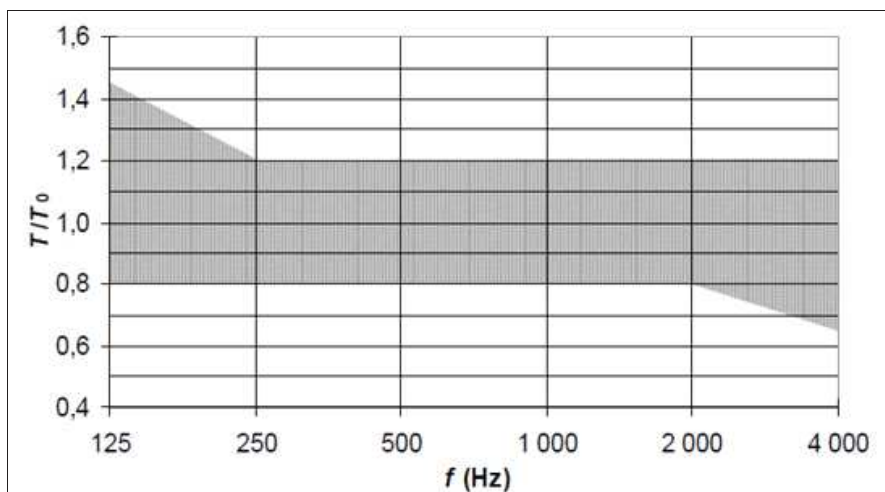
Prostor bývalého kina sokol bude využíván jako koncertní sál, sál pro pořádání společenských akcí, divadelní sál a občasně jako taneční sál, kino či sál pro pořádání skupinových cvičení. V prostoru se předpokládá produkce reprodukované hudby, ale i živá vystoupení menších divadelních spolků. Prostor bude tedy posuzován jako víceúčelový sál určený k přednesu hudby i řeči. Optimální doba dozvuku  $T_0$  pro víceúčelový sál se určí vztahem:

$$T_0 = 0,3582 \log V - 0,061 \text{ [s]}, \text{ kde } V \text{ je objem řešeného prostoru. [10]}$$

Závislost optimální doby dozvuku na objemu je vynesena v grafu na obr. 8 (závislost 2 – víceúčelový sál, zkušebna orchestru, sboru). Pro víceúčelový sál o objemu  $2616 \text{ m}^3$  je optimální doba dozvuku  $T_0$  rovna 1,16 s. Přípustné rozmezí poměru dob dozvuku  $T/T_0$  obsazeného prostoru určeného k přednesu hudby i řeči v závislosti na středním kmitočtu oktávového pásma je uvedeno na obr. 9.



Obr. 8 - Závislost optimální doby dozvuku  $T_0$  (s) pro kmitočty 1000 Hz na objemu  $V$  ( $\text{m}^3$ ) uzavřeného prostoru v obsazeném stavu s výjimkou závislosti 5, která se týká neobsazeného stavu [10]



Obr. 9 - Přípustné rozmezí poměru dob dozvuku  $T/T_0$  obsazeného prostoru určeného k přednesu hudby i řeči v závislosti na středním kmitočtu oktávového pásma [10]

Přípustné rozmezí poměru dob dozvuku  $T/T_0$  a přípustné rozmezí doby dozvuku  $T$  v jednotlivých kmitočtových pásmech je uvedeno v tab. 1.

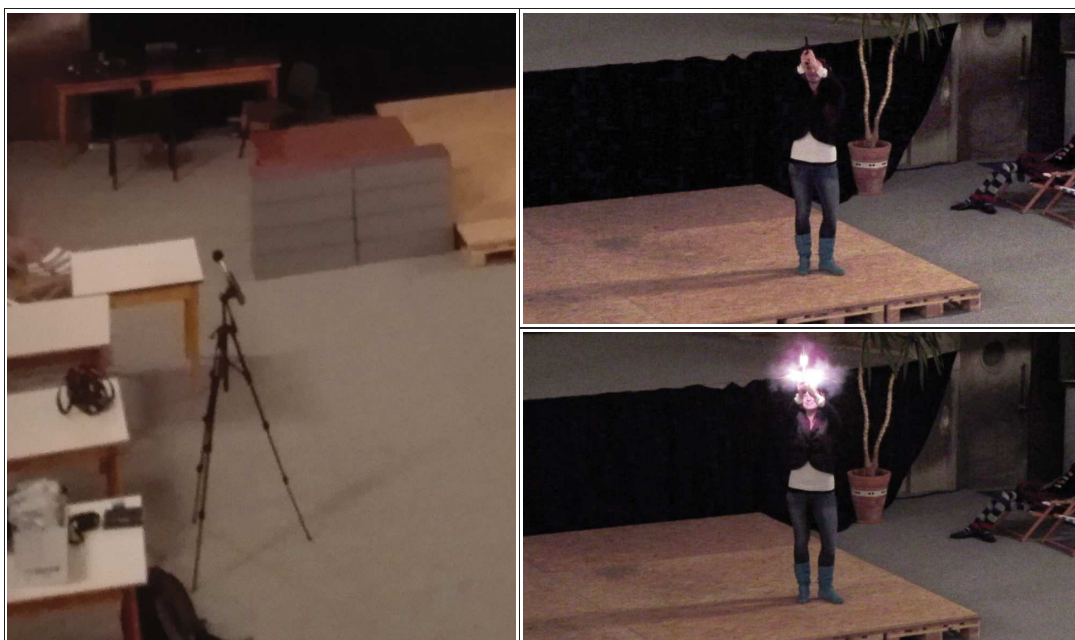
Tab. 1 - Přípustná rozmezí doby dozvuku

	125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz	
	$T/T_0$	$T$	$T/T_0$	$T$	$T/T_0$	$T$	$T/T_0$	$T$	$T/T_0$	$T$	$T/T_0$	$T$
Horní mez	1,45	1,68	1,20	1,39	1,20	1,39	1,20	1,39	1,20	1,39	1,20	1,39
Dolní mez	0,80	0,93	0,80	0,93	0,80	0,93	0,80	0,93	0,80	0,93	0,65	0,75

Investor nemá konkrétní požadavky na použitý materiál, chce však co nejlevnější řešení s rychlou a jednoduchou realizací. Za krajní řešení považuje použití materiálu na bázi heraklitu, který je dle jeho názoru nejlevnější variantou, ale z estetických důvodů ji nepreferuje. Co se týče rozmístění obkladů, z hlediska statiky je nežádoucí zavěšovat podhledy na strop, případně jen velmi omezené množství o nízké hmotnosti. Boční stěny by měly být obloženy symetricky. Dále si investor přeje v co největší míře zachovat viditelnost sloupů po stranách místnosti.

### 5.3. Vstupní měření doby dozvuku

Doba dozvuku v prostoru byla změřena metodou integrované impulsové odezvy. Zdroj hluku (pistole) byl umístěn postupně ve dvou polohách, pro každou polohu bylo provedeno pět měření při různých polohách zvukoměru. V době měření byl prostor vybaven nábytkem a obsazen třemi osobami.

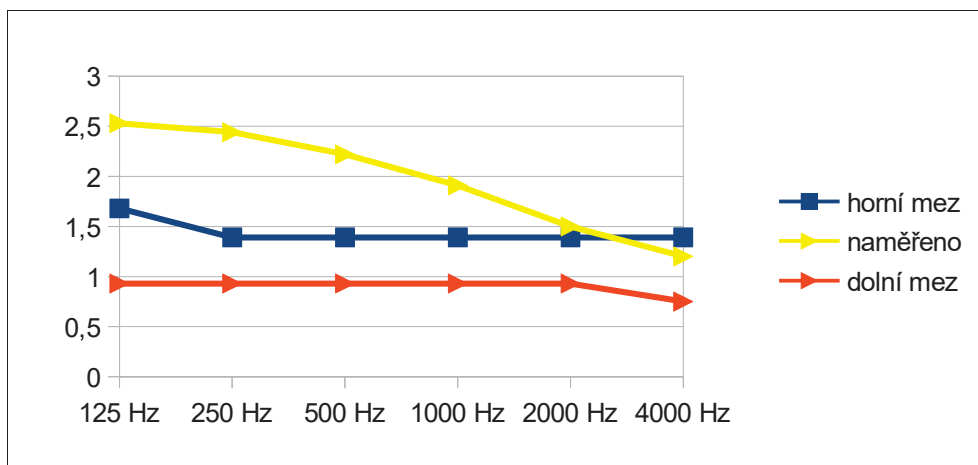


Obr. 10 - Vstupní měření doby dozvuku

Výsledná hodnota byla stanovena jako průměr všech naměřených hodnot v jednotlivých kmitočtových pásmech. Naměřené hodnoty doby dozvuku a požadované hodnoty dle ČSN 73 0527 jsou uvedeny v tab. 2 a graficky zobrazeny na obr. 11.

Tab. 2 - Naměřené a požadované hodnoty doby dozvuku

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Horní mez	1,68	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39
Dolní mez	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,75
Naměřeno	2,53	2,44	2,22	1,91	1,50	1,20



Obr. 11 - Naměřené a požadované hodnoty doby dozvuku

Z tabulky a grafu je zřejmé, že doba dozvuku v prostoru je ve většině kmitočtových pásem výrazně vyšší než požadované rozmezí pro víceúčelový sál. Pouze na kmitočtu 4000 Hz je naměřená doba dozvuku v požadovaném rozmezí. V sále je proto nutné navrhnout opatření pro snížení doby dozvuku, a to především na nízkých kmitočtech.

## 5.4. Návrh úprav

### 5.4.1. Obecně

V rámci rekonstrukce bude v celém sále odstraněn koberec a nahrazen dřevěnými parketami. Ostatní povrchy i nábytek budou zachovány. Kromě snížení doby dozvuku na normovou hodnotu je třeba zamezit odrazu zvuku od zadní stěny zpět k posluchači. Ve všech variantách návrhu bude tedy obložena celá zadní stěna (v prostoru vyvýšeného posezení i v prostoru balkonu). Dále budou vždy obloženy části podélných stěn, plocha pro obložení stěn se bude v rámci variant lišit v závislosti na vypočtených hodnotách doby dozvuku. Dalším opatřením společným pro všechny tři varianty bude umístění odrazivé plochy nad prostor před pódium, tedy nad prostor, kde se nejčastěji nachází zdroj zvuku. Tato plocha bude sloužit ke zkrácení dráhového rozdílu přímého a odraženého zvuku k posluchači.

Prostor víceúčelového sálu se dle ČSN 73 0527 posuzuje v obsazeném stavu, ve výpočtu je uvažováno s obsazeností 80%. Prostor bude posouzen metodou dle Eyringa.

#### 5.4.2. Varianta 1 - dřevěný obklad + heraklit + SDK deska nad pódiem

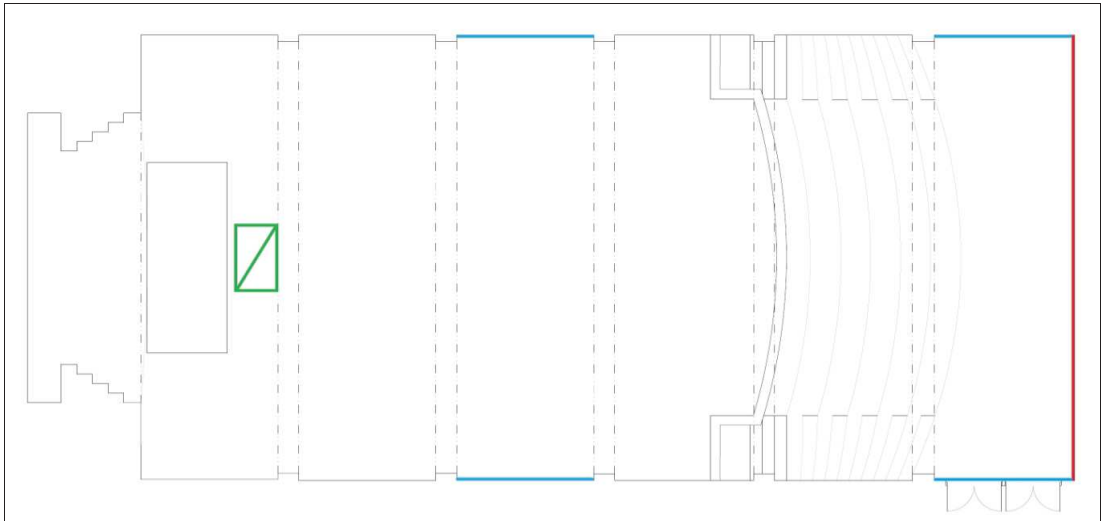
Pro obložení zadní stěny je navržen akusticky pohltivý obklad z dřevěných latí s vloženou minerální izolací. Obklad bude tvořen latěmi o výšce 60 mm a šířce 20 mm, mezera mezi jednotlivými latěmi bude 30 mm. Odsazení latí od stěny bude 100 mm, mezera bude v plné hloubce vyplněna minerální vatou, která bude překryta textilií. Celková skladebná tloušťka obkladu je 120 mm, plocha obkladu je cca 75 m<sup>2</sup>. Část bočních stěn bude obložena akusticky pohltivým obkladem Heradesign Superfine A2 tl. 15 mm s odsazením od stěny 45 mm bez vložené izolace. Celková plocha obkladu je cca 83 m<sup>2</sup>. Činitele pohltivosti navržených obkladů v jednotlivých kmitočtových pásmech jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3 - Činitele pohltivosti navržených obkladů [14]

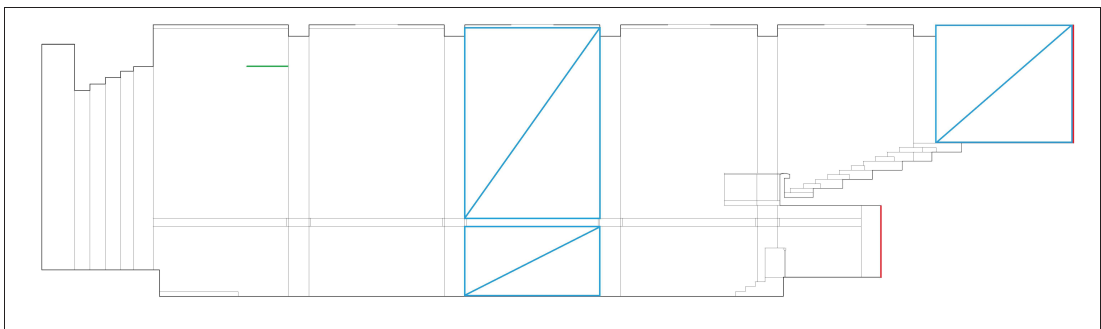
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Obklad z dřevěných latí	0,35	0,45	0,60	0,50	0,50	0,50
Heradesign superfine A2	0,05	0,10	0,35	0,70	0,55	0,55

Pro zkrácení dráhového rozdílu zvuku je nad prostorem před pódiem navržena odrazivá sádrokartonová deska o rozměrech 1,25 x 2 m. Deska bude zavěšena v úrovni 1,3 m pod stropem. Navržená opatření jsou schematicky vyznačena na obr. 12 a 13. Červeně jsou vyznačeny obklady z dřevěných latí, modře obklady z heraklitu a zeleně sádrokartonová deska. Vypočtené hodnoty doby dozvuku po realizaci navržených úprav jsou uvedeny v tab. 4 a zobrazeny na obr. 14.





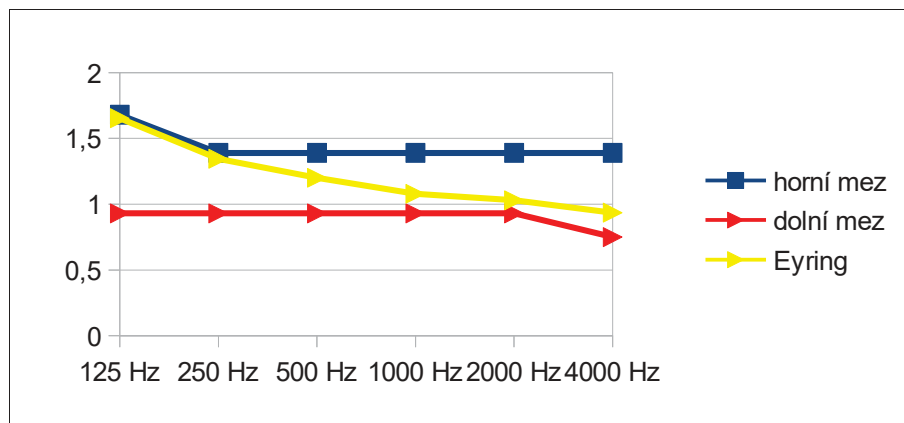
Obr. 12 - Schéma rozmístění navržených obkladů – půdorys



Obr. 13 - Schéma rozmístění navržených obkladů – řez

Tab. 4 - Vypočtené hodnoty doby dozvuku

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Horní mez	1,68	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39
Dolní mez	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,75
Vypočteno	1,65	1,35	1,20	1,08	1,03	0,94



Obr. 14 - Vypočtené hodnoty doby dozvuku

Z tabulky a grafu je zřejmé, že vypočtené hodnoty doby dozvuku leží v přípustném rozmezí, z hlediska doby dozvuku je tedy návrh vyhovující.

### 5.4.3. Varianta 2 – obklady Cetriz + SDK deska nad pódiem

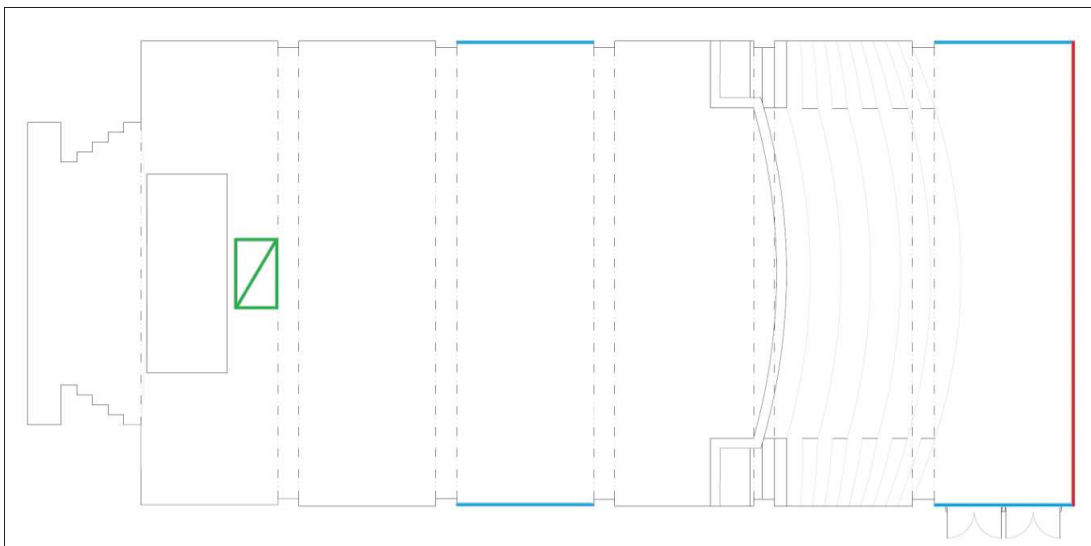
V této variantě bude použit pouze jeden typ obkladu, a to cementotřískové perforované desky Cetriz Akustic s vloženou minerální izolací. Celá zadní stěna bude obložena deskami tl. 10 mm s vloženou minerální izolací tl. 40 mm a vzduchovou mezerou 300 mm, celková skladebná tloušťka obkladu je 350 mm, plocha obkladu je cca 75 m<sup>2</sup>. Boční stěny budou obloženy obklady s menší skladebnou tloušťkou (z důvodu zachování viditelnosti sloupů). Navrženy jsou desky tl. 8 mm s vloženou minerální izolací tl. 40 mm a vzduchovou mezerou 50 mm, celková skladebná tloušťka obkladu je 98 mm. Narozdíl od první varianty budou boční stěny v hlavní části sálu obloženy až od výšky 2,4 m nad podlahou, jednak proto, že obložení celé výšky stěn by vedlo k přetlumení sálu, a dále pro zamezení vzniku případných úrazů. Celková plocha obkladů je cca 65 m<sup>2</sup>. V této variantě jsou jako minerální izolace navrženy desky Isover Akustic SSP2. Jedná se o desky ze skelných vláken, které jsou z jedné strany opatřeny netkanou skelnou textílií. Tato textílie zabraňuje vnikání prachu a nečistot do izolace a není proto nutné izolaci dále překrývat. Činitele pohltivosti navržených obkladů v jednotlivých kmitočtových pásmech jsou uvedeny v tab. 8.

Tab. 5 - Činitele pohltivosti navržených obkladů [22]

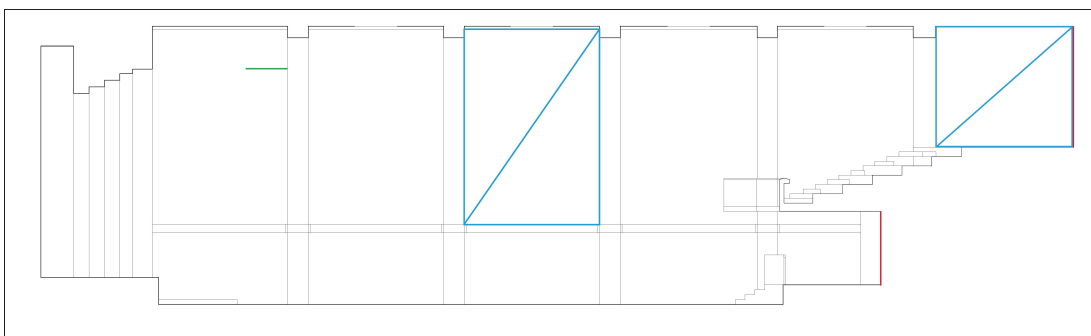
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Cetriz Akustic tl. 8 mm	0,23	0,77	0,89	0,50	0,36	0,27
Cetriz Akustic tl. 10 mm	0,54	0,84	0,87	0,62	0,39	0,31

Nad prostorem před pódiem je opět navržena odrazivá SDK deska stejně jako v první variantě. Navržená opatření jsou schematicky vyznačena

na obr. 15 a 16. Červeně jsou vyznačeny obklady Cetris tl. 10 mm, modře desky Cetris tl. 8 mm a zeleně sádkartonová deska. Vypočtené hodnoty doby dozvuku po realizaci navržených úprav jsou uvedeny v tab. 6 a zobrazeny na obr 17.



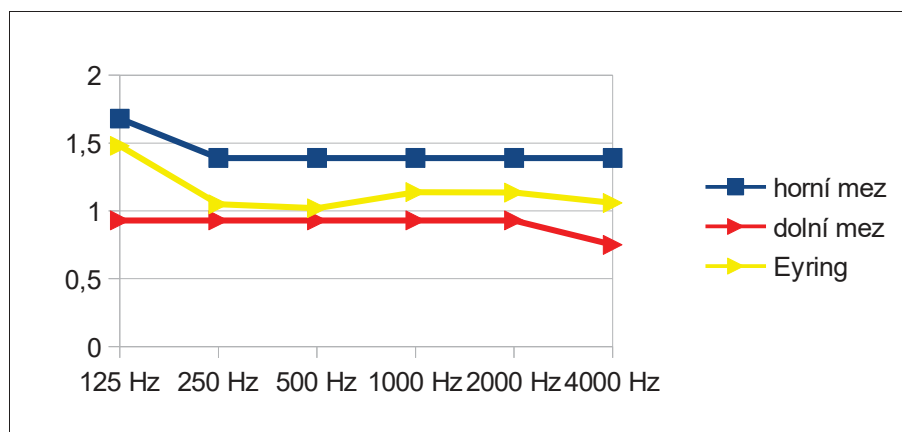
Obr. 15 - Schéma rozmístění navržených obkladů – půdorys



Obr. 16 - Schéma rozmístění navržených obkladů – řez

Tab. 6 - Vypočtené hodnoty doby dozvuku

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Horní mez	1,68	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39
Dolní mez	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,75
Vypočteno	1,48	1,05	1,02	1,14	1,14	1,06



Obr. 17 - Vypočtené hodnoty doby dozvuku

Z tabulky a grafu je zřejmé, že vypočtené hodnoty doby dozvuku leží v přípustném rozmezí, z hlediska doby dozvuku je tedy návrh vyhovující.

#### 5.4.4. Varianta 3 – obklady Novatop + akustická omítka + SDK deska nad pódiem

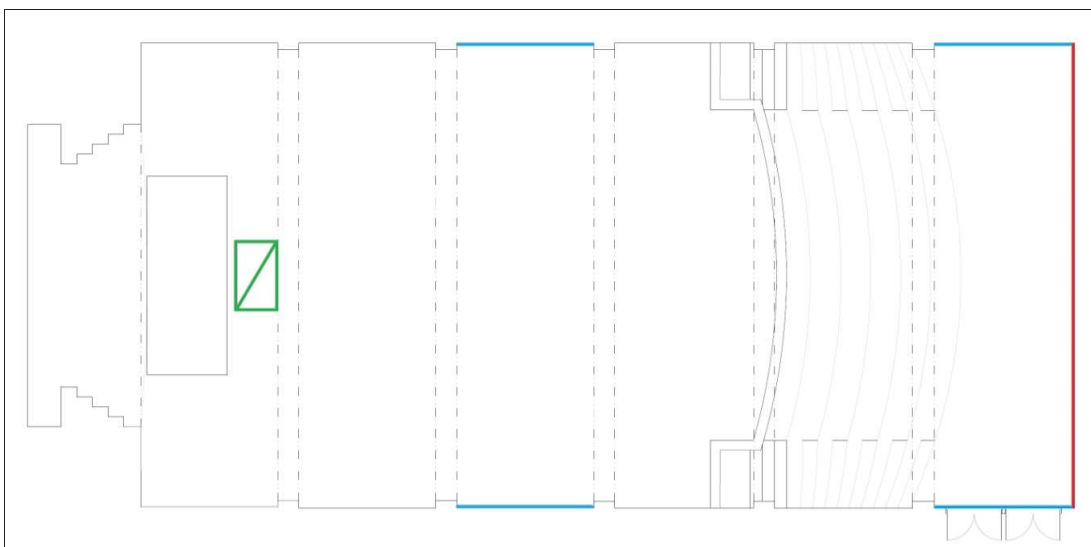
V poslední variantě je na zadní stěnu navržen obklad Novatop Acoustic (profil Suzanna). Jedná se o dřevěný obklad z třívrstvé masivní desky s perforací. Navržený obklad je tvořen deskou s perforací tl. 19 mm, dřevovláknité izolace Steico Therm tl. 20 mm a vzduchové mezery tl. 80 mm. Celková skladebná tloušťka obkladu je 119 mm, plocha obkladu je cca 75 m<sup>2</sup>. Na boční stěny je navržena akustická omítka Sonaspray FCX - TR tl. 19 mm. Plocha omítky je cca 83 m<sup>2</sup>. Činitele pohltivosti navržených obkladů a omítky v jednotlivých kmitočtových pásmech jsou uvedeny v tab. 7.

Tab. 7 - Činitele pohltivosti navržených obkladů [20], [21]

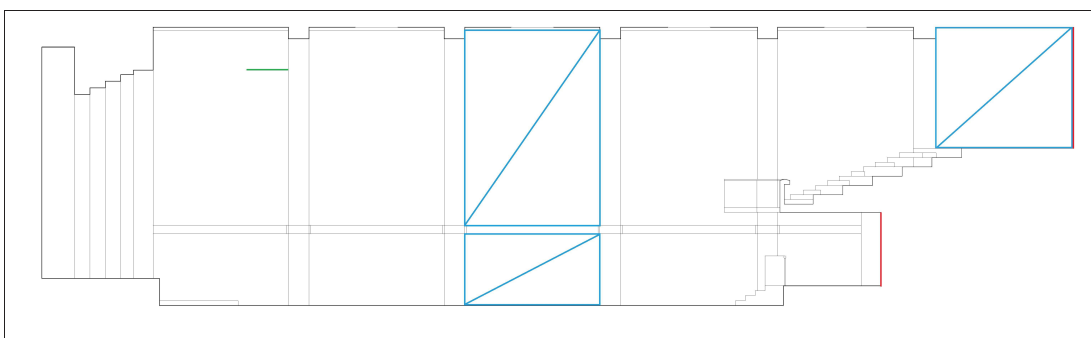
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Novatop Acoustic Suzanna	0,46	0,37	0,39	0,39	0,35	0,33
Sonaspray FCX - TR	0,15	0,45	0,80	0,85	0,85	0,90

Nad prostor před pódiem je stejně jako v předchozích variantách

navržena SDK deska. Navržená opatření jsou schematicky vyznačena na obr. 18 a 19. Červeně jsou vyznačeny obklady Novatop, modře omítka Sonaspray a zeleně sádkartonová desky. Vypočtené hodnoty doby dozvuku po realizaci navržených úprav jsou uvedeny v tab. 8 a zobrazeny na obr. 20.



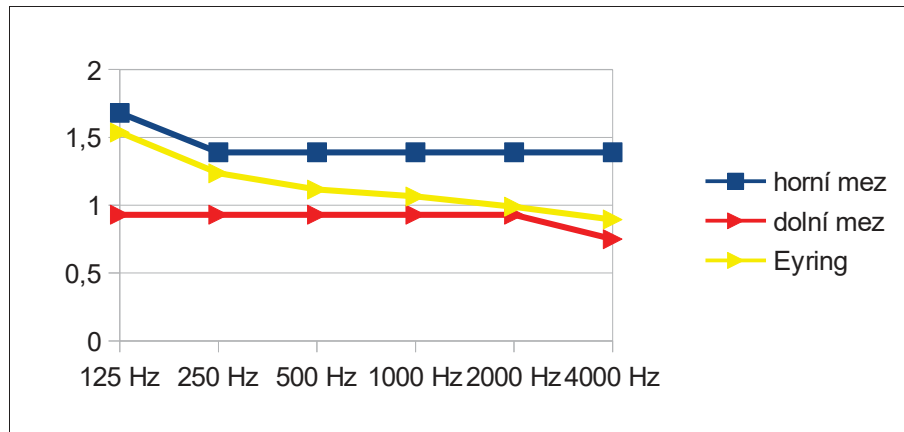
Obr. 18 - Schéma rozmístění navržených obkladů – půdorys



Obr. 19 - Schéma rozmístění navržených obkladů – řez

Tab. 8 - Vypočtené hodnoty doby dozvuku

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Horní mez	1,68	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39
Dolní mez	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,75
Vypočteno	1,54	1,23	1,12	1,06	0,99	0,89



Obr. 20 - Vypočtené hodnoty doby dozvuku

Z tabulky a grafu je zřejmé, že vypočtené hodnoty doby dozvuku leží v přípustném rozmezí, z hlediska doby dozvuku je tedy návrh vyhovující.

## 6. Multikriteriální vyhodnocení variant

Pro volbu optimální varianty řešení bude provedena multikriteriální analýza. Všechny navržené varianty budou ohodnoceny z hlediska různých kritérií, každému kritériu bude přiřazena váha v hodnotě od 1 do 3, kdy 1 je nejméně důležité kritérium, 3 je nejvíce důležité. Všechna kritéria budou ohodnocena číslem od 1 do 3, kdy 1 znamená nejhorší hodnocení a 3 nejlepší. Hodnocená kritéria a jejich váhy jsou uvedeny v tab. 9.

Tab. 9 - Kritéria hodnocení a jejich váhy

Kritérium	Váha
Připravenost podkladu	1
Náročnost realizace	2
Cena	3
Mechanická odolnost	2
Reakce na oheň	3
Design	1

### 6.1. Způsob hodnocení jednotlivých kritérií

#### Připravenost podkladu

V této části analýzy se bude zkoumat, zda je nutné nějakým způsobem připravovat podklad pro realizaci, tedy nutnost penetrace, odstranění mastnot, odstranění výstupků apod.

#### Náročnost realizace

V tomto kroku bude hodnocena především rychlost realizace a její technologická náročnost. V potaz bude brána potřeba speciálních přístrojů, nutnost dodatečných úprav materiálu, nároky na přesnost, nutnost mokrých procesů apod.

## Cena

Cílem analýzy není přesná kalkulace, ale pouze hrubý odhad ceny pro porovnání jednotlivých variant. Do výpočtu proto budou zahrnuty pouze rozhodující položky, jako jsou obklady, omítka, penetrační nátěry, zvuková izolace apod. Ostatní náklady (náklady na dopravu, mzdy, ceny spojovacího materiálu, nosných profilů atd.) se u všech třech variant předpokládají podobné a na výsledné hodnocení tedy nemají vliv.

## Mechanická odolnost

Metodu zkoušení mechanické odolnosti a její zařídění stanovuje ČSN EN 13964 - Příloha D – Odolnost proti rázu. Zkušebním zařízením je házenkářský míč o hmotnosti 425 – 475 g a zařízení pro vystřelování míče. Pomocí tohoto zařízení se provede celkem 36 nárazů míče do konstrukce (12 nárazů kolmo na konstrukci a 12 ze dvou různých směrů pod úhlem 60°). Konstrukce je odolná proti rázu, pokud po této zkoušce není ovlivněna její pevnost, funkce a bezpečnost. V závislosti na rychlosti, kterou míče do konstrukce naráží, se konstrukce zařídí do třídy odolnosti proti rázu dle tab. 10. [11]

Tab. 10 - Třídy odolnosti proti rázu [11]

Třída	Rychlost míče [m/s]
1A	16,5 ± 0,8
2A	8 ± 0,5
3A	4 ± 0,5

## Reakce na oheň

Reakce na oheň je odezva výrobku na oheň, kterému je vystaven, a určuje, zda a jakým způsobem tento výrobek přispívá k šíření požáru. Metody zkoušení reakce výrobků na oheň a jejich zařídění definuje ČSN EN 13 501-1 - Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň. Dle výsledků zkoušek provedených dle této normy jsou výrobky zaříděny do tříd reakce na oheň



(třídy A1 až F). Norma také stanovuje doplňkové třídění, a to dle množství produkovaného kouře. Výrobky jsou zde rozděleny do tříd s1 až s3, tato klasifikace se netýká výrobků třídy A1, které kouř nevytvářejí, a třídy E a F, které ho naopak vytvářejí velké množství. Poslední vlastnost, která se z hlediska reakce na oheň u výrobků zkoumá, je produkce plamenně hořících kapek. Tyto kapky přispívají k šíření požáru a způsobují popálení kůže a další zranění. Klasifikují se třídy d0 až d2, toto zatřídění se opět netýká výrobků třídy A1, které nehoří, a tudíž nevytvářejí hořící kapky. Třídy reakce na oheň dle ČSN EN 13 501-1 jsou uvedeny v tab. 11 - 13. [12]

Tab. 11 - Třídy reakce na oheň [12]

<b>Třída</b>	<b>Charakteristika</b>
A1	nehořlavý, nepřispívá k šíření požáru
A2	téměř nehořlavý, nepřispívá k šíření požáru
B	velmi omezeně přispívá k šíření požáru
C	omezeně přispívá k šíření požáru
D	podstatně přispívá k šíření požáru
E	značně přispívá k šíření požáru
F	nebyla zjištěna třída

Tab. 12 - Třídy podle produkce kouře [12]

<b>Třída</b>	<b>Charakteristika</b>
s1	nízká produkce kouře
s2	střední produkce kouře
s3	vysoká produkce kouře

Tab. 13 - Třídy podle produkce plamenně hořících kapek [12]

<b>Třída</b>	<b>Charakteristika</b>
d0	žádné plamenně hořící kapky
d1	žádné déle než 10 s plamenně hořící kapky
d2	ostatní

## Design

Design je převážně subjektivním kritériem, proto budou z jeho hlediska varianty hodnoceny především na základě požadavků investora. Kromě nich bude zohledněna i variabilita výrobků z hlediska barevného provedení.

## **6.2. Varianta 1**

### Připravenost podkladu

Obklady Heradesign i dřevěné latě se montují na dřevěný nebo hliníkový nosný rošt, podklad proto není nutné žádným způsobem upravovat ani penetrovat. Případné nerovnosti podkladu se „ztratí“ ve vzduchové mezeře. Tato varianta je tedy ohodnocena číslem 3.

### Náročnost realizace

Obklady Heradesign se montují na hliníkové profily, které se k podkladu připojí pomocí montážních konzol. Desky mají na stranách vytvořené drážky, kterými se nasunou na nosné profily. Na okrajích a u stropu, kde desky nelze na profily nasunout, se desky zajistí samonosnými šrouby. Viditelné hlavičky šroubů se zamalují barvou aplikovanou jemným štětečkem. Desky se v případě potřeby zařezávají pomocí kotoučové pily. Seříznutá hrana se lehce zbrousí brusným papírem a natře barvou. Při zakládání nosných profilů i po celou dobu montáže se pomocí vodováhy kontroluje vodorovná poloha desek i nosných profilů.

Obklad z dřevěných latí se montuje obdobně, nosné profily jsou však tvořeny dřevěnými sloupky o tloušťce vzduchové mezery. Dřevěné latě se šroubují přímo na sloupky pomocí samořezných šroubů. Do mezery za latě se průběžně vkládá izolace z mineirální vaty, která se překrývá textílií. Latě se zařezávají pomocí kotoučové pily a hrany se přebrousí brusným papírem. Vodorovná poloha latí se průběžně kontroluje pomocí vodováhy.

V této variantě řešení není použit mokrá proces (s výjimkou zabarvování šroubů a zbrošených hran obkladů Heradesign). Systém upevňování desek Heradesign na nosné profily zajišťuje jednoduchou a především rychlou montáž. Realizace obkladu z dřevěných latí je časově náročnější, protože se s každou latí musí pracovat zvlášť (seřiznutí, zabroušení hrany, přivrtání, kontrola vodorovné polohy). Z uvedených důvodů je tato varianta z hlediska náročnosti realizace ohodnocena číslem 2.

### Cena

V následující tabulce jsou uvedeny jednotkové ceny rozhodujících materiálů a jejich celková cena pro navrženou variantu.

Tab. 14 - Ceny rozhodujících materiálů [23], [24]

Materiál	Měrná jednotka	Jednotková cena* [Kč]	Množství	Prořez 15%	Celkové množství	Celková cena* [Kč]
Dřevěné latě (smrk) 60x20x2000 mm	m	34,5	938,0	140,7	1078,7	37 215
Minerální vata tl. 100 mm	m <sup>2</sup>	54,3	75,0	11,3	86,3	4 683
Heradesign superfine A2 tl. 15 mm	m <sup>2</sup>	745,4	82,6	12,4	95,0	70 806
<b>Součet</b>						<b>112 704</b>

*\*uvedené ceny jsou včetně DPH*

Orientační cena navržených obkladů je 112 704 Kč, tato varianta je ohodnocena číslem 3.

### Mechanická odolnost

Mechanická odolnost obkladu z dřevěných latí není známa, tento typ obkladu se však běžně užívá ve sportovních halách a lze proto předpokládat jeho dostatečnou mechanickou odolnost. Tyto obklady jsou navíc umístěny na zadní stěnu sálu, kde se nepředpokládá výrazné mechanické namáhání.

Desky Heradesign Superfine spadají do třídy odolnosti proti rázu 1A. Z hlediska mechanické odolnosti je tato varianta ohodnocena číslem 3. [14]

#### Reakce na oheň

Smrkové dřevo se dle ČSN EN 13501-1 řadí do třídy reakce na oheň D, minerální vata do třídy A1 a obklady Heradesign do třídy B. Tato varianta je z hlediska reakce na oheň ohodnocena číslem 1. [12], [14]

#### Design

I přes širokou nabídku barevného provedení desek Heraklith je použití tohoto materiálu nejméně preferovanou variantou investora. Tato varianta je tedy ohodnocena číslem 1.

### **6.3. Varianta 2**

#### Připravenost podkladu

Stejně jako v předchozí variantě nejsou na podklad kladeny žádné zvláštní požadavky, tato varianta je proto rovněž ohodnocena číslem 3.

#### Náročnost realizace

Obklady Cetriss se montují na nosný rošt z hliníkových profilů, mezi který se vkládá izolace z minerální vaty. Obklady se k nosným profilům přivrtávají samořeznými šrouby se zapuštěnou hlavou. Po obvodu i mezi deskami je nutné ponechat dilatační mezeru min. 3 mm, tyto mezery se zaplní trvale pružným tmelem. Výhodou desek Cetriss je, že si je lze nechat nařezat už ve výrobě dle požadavků zákazníka a odpadá tím nutnost řezání na stavbě.

Při montáži desek Cetriss není použit mokvý proces, odpadá nutnost měření, řezání a broušení desek a na všechny obklady je použit stejný technologický postup. Z hlediska náročnosti realizace je tedy tato varianta ohodnocena číslem 3.

## Cena

V následující tabulce jsou uvedeny jednotkové ceny rozhodujících materiálů a jejich celková cena pro navrženou variantu. Desky Cetris budou dodány v přesně nařezaných formátech, není u nich proto započítán prořez. Cena za seřiznutí desek je vůči ostatním nákladům zanedbatelná (řádově několik set korun).

Tab. 15 - Ceny rozhodujících materiálů [22], [25]

Materiál	Měrná jednotka	Jednotková cena* [Kč]	Množství	Prořez 15%	Celkové množství	Celková cena* [Kč]
Skelná vata Isover Akustic SSP2 tl. 40 mm	m <sup>2</sup>	156,8	147,2	22,1	169,3	26 543
Cetris Acoustic tl. 10 mm	m <sup>2</sup>	1564,5	75,0	0,0	75,0	117 338
Cetris Acoustic tl. 8 mm	m <sup>2</sup>	1363,7	64,6	0,0	64,6	88 095
Součet						<b>231 976</b>

*\*uvedené ceny jsou včetně DPH*

Orientační cena navržených obkladů je 231 976 Kč, tato varianta je ohodnocena číslem 1.

## Mechanická odolnost

Desky tl. 10 mm mají odolnost proti rázu třídy A2, desky tl. 8 mm třídy A3. Mechanická odolnost těchto obkladů je hodnocena číslem 2. [22]

## Reakce na oheň

Obklady Cetris se řadí do třídy reakce na oheň A2, tato varianta je proto ohodnocena číslem 3. [22]

## Design

Desky Cetris jsou nabízeny v mnoha barevných provedeních. Výhodou této varianty je, že je použit pouze jeden typ obkladu, což se kladně projeví zejména v prostoru balkonu, kde na sebe navazují obklady zadní stěny a bočních stěn. Co může působit neesteticky, je obložení stěn v hlavní části sálu až od výšky 2,4 m nad podlahou. Z těchto důvodů je tato varianta ohodnocena číslem 2.

## **6.4. Varianta 3**

### Přípravenost podkladu

Obklady Novatop se montují na nosný rošt a stejně jako v předchozích variantách proto není nutné podklad upravovat. Nesoudržný podklad pod akustickou omítku je třeba napenetrovat. Nerovnosti povrchu větší než 3 – 5 mm je nutné zarovnat, v opačném případě by se tyto nerovnosti propsaly do omítky. Z hlediska připravenosti podkladu je toto nejméně výhodná varianta, je proto ohodnocena číslem 1.

### Náročnost realizace

Obklady Novatop se montují na nosný rošt z dřevěných hranolů pomocí samořezných šroubů. Výhodou těchto obkladů je, že se dodávají v přesně nařezaných formátech a se zabudovanou zvukovou izolací. Tím odpadá nutnost zařezávat obklady na stavbě a manipulace s izolací.

Omítka Sonaspay se aplikuje strojem na jemnou omítku s tlumícím hřídelem. Před aplikací je třeba všechny přilehlé plochy překrýt plachtou. Nástřík se provádí v jedné vrstvě, po aplikaci se lehce uhladí ocelovým hladítkem. Omítka je suchá během 3 – 5 dní v závislosti na klimatických podmínkách. Samotná realizace omítky je rychlá, její výhodou je, že není třeba nic rozměřovat. Nicméně jde o mokrý proces, je třeba zakrývat ostatní povrchy a čekat, než nástřík zaschne. V kombinaci s velmi rychlou montáží obkladů Novatop je tato varianta ohodnocena číslem 2.

## Cena

V následující tabulce jsou uvedeny jednotkové ceny rozhodujících materiálů a jejich celková cena pro navrženou variantu. Desky Novatop budou dodány v přesně nařezaných formátech, není u nich proto započítán prořez. Cena za seřiznutí desek je vůči ostatním nákladům zanedbatelná (řádově několik set korun). Cena desek Novatop je včetně dřevovláknité izolace, která je do desek zabudována již při výrobě.

Tab. 16 - Ceny rozhodujících materiálů [20], [21]

Materiál	Měrná jednotka	Jednotková cena* [Kč]	Množství	Prořez 15%	Celkové množství	Celková cena* [Kč]
Novatop acoustic	m <sup>2</sup>	1263,4	75,0	0,0	75,0	94 755
Sonaspray tl. 17 mm	m <sup>2</sup>	600,0	82,6	12,4	95,0	56 994
Součet						<b>151 749</b>

*\*uvedené ceny jsou včetně DPH*

Orientační cena navržených obkladů je 151 749 Kč, tato varianta je ohodnocena číslem 2.

## Mechanická odolnost

Pro obklady Novatop ani pro akustickou omítku nebyly provedeny zkoušky mechanické odolnosti, jsou proto ohodnoceny číslem 1.

## Reakce na oheň

Obklady Novatop se řadí do třídy reakce na oheň D, akustická omítky do třídy B. Tato varianta je z hlediska reakce na oheň ohodnocena číslem 1. [20], [21]

## Design

Z hlediska designu představují desky Novatop v kombinaci s akustickou omítkou nejvýhodnější variantu. Desky Novatop vytváří přírodní

vzhled a nenarušují tak celkový dojem sálu. Akustická omítka Sonaspray nabízí několik barevných provedení, lze tedy zvolit takový odstín, který bude ladit s dosavadním vzhedem prostoru. Omítka má navíc oproti obkladům výrazně menší tloušťku, bude proto maximálně zachována viditelnost sloupů. Tato varianta je tedy ohodnocena číslem 3.

## 6.5. Vyhodnocení analýzy

Celkové hodnocení navržených variant je přehledně zobrazeno v následující tabulce.

Tab. 17 - Vyhodnocení variant

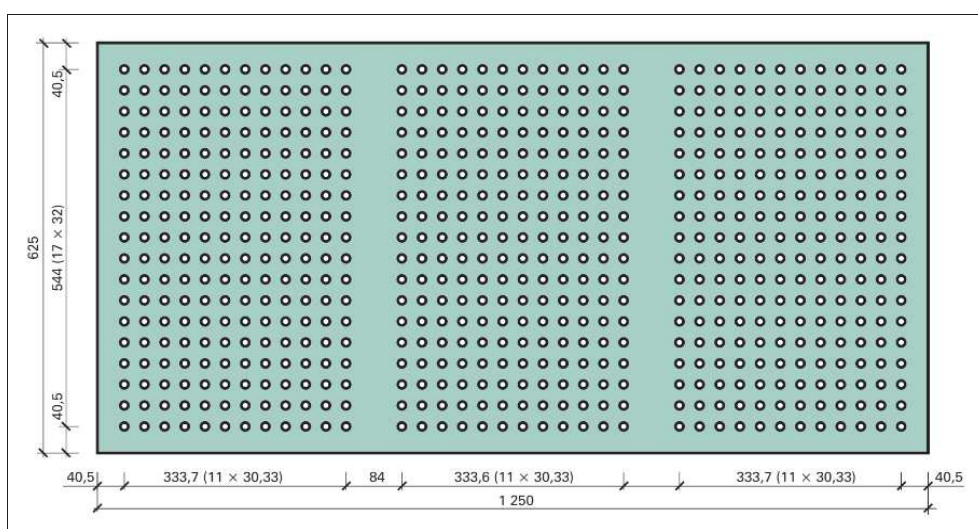
Kritérium	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
	hodnocení x váha		
Přípravenost podkladu	3 x 1 = 3	3 x 1 = 3	1 x 1 = 1
Náročnost realizace	2 x 2 = 4	3 x 2 = 6	2 x 2 = 4
Cena	3 x 3 = 9	1 x 3 = 3	2 x 3 = 6
Mechanická odolnost	3 x 2 = 6	2 x 2 = 4	1 x 2 = 2
Reakce na oheň	1 x 3 = 3	3 x 3 = 9	1 x 3 = 3
Design	1 x 1 = 1	2 x 1 = 2	3 x 1 = 3
<b>Součet</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>19</b>

Z tabulky je zřejmé, že nejlépe byla vyhodnocena varianta 2, tedy obklady z desek Cetrus. Pro tuto variantu bude vypracován technologický postup.

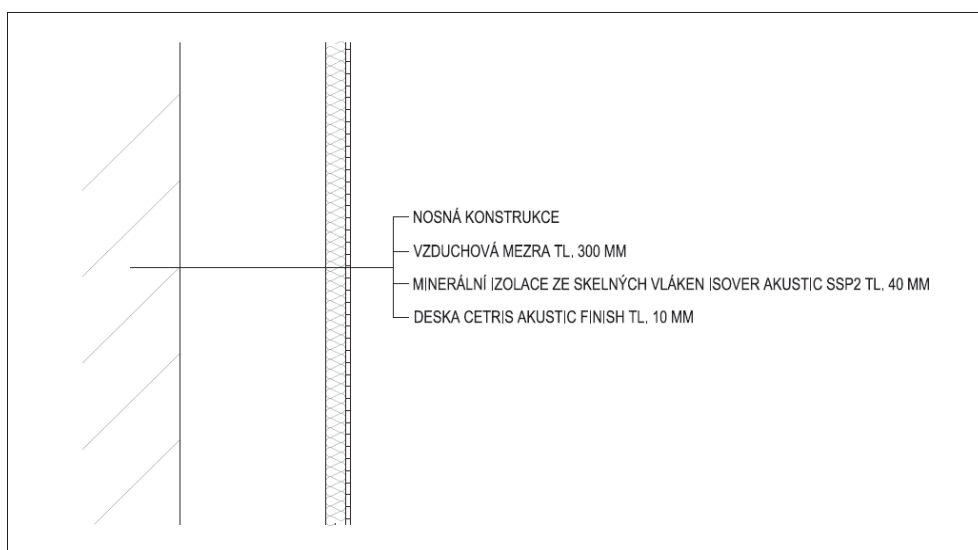


## 7. Technologický postup pro vybranou variantu

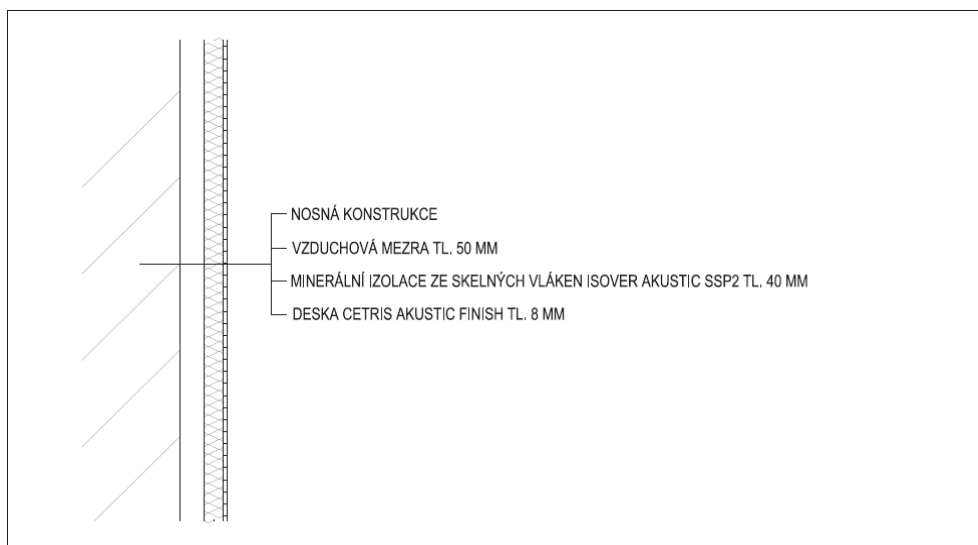
Pro úpravu prostorové akustiky multifunkčního sálu „Kino Sokol“ byly vybrány obklady z desek Cetriz Akustic Finish. Jedná se o cementotřískové perforované desky s finální povrchovou úpravou. Desky Cetriz se vyrábí v základním formátu 1250 x 625 mm a jsou do nich vyvrtány otvory o průměru 12 mm dle obr. 21. Na obr. 22 a 23 jsou zobrazeny skladby navržených konstrukcí.



Obr. 21 - základní formát desky Cetriz Akustic Finish [22]



Obr. 22 - skladba navržené konstrukce – zadní stěna



Obr. 23 - skladba navržené konstrukce – boční stěny

## 7.1. Vstupní materiály a výrobky

### 7.1.1. Výkaz materiálu

Veškerý materiál a jeho množství pro realizaci navržených obkladů je uveden v následující tabulce.

Tab. 18 - Výkaz materiálu

Položka	Měrná jednotka	Množství	Množství v balení	Počet balení
deska Cetriz Akustic Finish tl. 8 mm	m <sup>2</sup>	64,4	64,6	1
deska Cetriz Akustic Finish tl. 10 mm	m <sup>2</sup>	75,0	75,0	1
Izolace Isover Akustic SSP2 tl. 40 mm	m <sup>2</sup>	160,3	9,0	18
hliníkový H profil 12x40x2 mm délka 6 m	m	206,5	6,0	35
hliníkový U profil 45x45x2,5 mm délka 6 m	m	28,0	6,0	5
hliníkový U profil 40x20x2 mm délka 6 m	m	397,7	6,0	63
stavěcí třmen dl. 95 mm	ks	328,0	1,0	328
samořný vrut se zápustnou hlavou 4,2x25 mm	ks	2500,0	100,0	25
šroub M 6x40 mm + hmoždinka	ks	400,0	100,0	4
těsnící akrylátový tmel Den Braven Pyrocryl	ml	780,0	310,0	3

<b>Položka</b>	<b>Měrná jednotka</b>	<b>Množství</b>	<b>Množství v balení</b>	<b>Počet balení</b>
samolepicí PE pás pod sádrokartonářské profily Den Braven 45x3 mm	m	44,4	30,0	2
lepící PE páska 50x0,18 mm	m	405,4	30,0	14

### **7.1.2. Zásady manipulace, dopravy a skladování materiálů**

Desky Cetris jsou ukládány na dřevěné podložky umožňující manipulaci vysokozdvizným vozíkem. Baleny jsou do PE fólie, která je chrání před povětrnostními vlivy. Přesto je nutné desky skladovat v krytých a suchých prostorech. Desky se skladují ve vodovorné poloze a přenášejí se ve svislé poloze delší hranou rovnoběžně se zemí. Nedoporučuje se ukládat více balení na sebe. Při skladování se může horní deska prohnut vlivem rychlejšího vysychání vrchní plochy, tento jev se odstraní otočením horní desky. [22]

Desky Isover jsou baleny do PE fólie a musí být skladovány v krytých a suchých prostorech. Na ostatní výrobky nejsou z hlediska manipulace a skladování kladeny žádné zvláštní požadavky.

### **7.1.3. Kontrola kvality materiálu**

Desky se vizuálně zkontrolují, zda nejsou nijak poničeny, poškrábány či znečištěny. Zkontroluje se, zda dodaný materiál odpovídá objednavce a přeměří se rozměry desek. Rozměrové tolerance a přípustné vady jsou uvedeny v tab. 19 a 20.

Tab. 19 - Rozměrové tolerance [22]

<b>Vlastnost</b>	<b>Požadavek</b>
Tloušťka desky	±0,3 mm
Délka a šířka základního formátu	±5,0 mm
Přesnost dělení u délky a šířky	±3,0 mm
Tolerance přímosti hran	1,5 mm/m
Tolerance pravoúhlosti	2,0 mm/m

Tab. 20 - Vzhled [22]

<b>Vlastnost</b>	<b>Požadavek</b>
Odchylka od pravého úhlu	max. 2 mm/m
Povolené poškození hran	max. do hloubky 3 mm
Výstupky v ploše	max. 1 mm, vel. 10 mm
Prohlubně	max. 1 mm, vel. 10 mm

Ostatní použité materiály jsou dodávány v základních formátech a nemají zvláštní požadavky na kontrolu kvality. Zkontroluje se neporušenost obalu a shoda dodaného množství materiálu s objednávkou.

## **7.2. Pracovní podmínky**

### **7.2.1. Stavební připravenost**

Musí být dokončeny nášlapné vrstvy podlah.

### **7.2.2. Struktura pracovní čety**

Montáž desek Cetris provádí dva pracovníci.

### **7.2.3. Bezprostřední podmínky pro práci**

Po celou dobu montáže musí být zajištěn přístup k elektřině (220 V) a staveniště musí být řádně osvětleno. Teplota by neměla klesnout pod 5°C.

### 7.3. Pracovní pomůcky

V následující tabulce jsou uvedeny veškeré pracovní pomůcky a přístroje pro realizaci navržených obkladů.

Tab. 21 - Pracovní pomůcky

<b>Činnost</b>	<b>Přístroj / pomůcka</b>
vytyčení + kontrola	svinovací metr
	dvoumetrová lať
	ocelový úhelník
	značkovací šňůra
	vodováha
	olovnice na provázku
	zednická tužka
	ocelové pravítko
montáž nosných profilů a desek	vrtačka
	akušroubovák
	distanční klínky
	lešení
zkracování profilů	štípací kleště
	pilník na železo
řezání izolace	odlamovací nůž
tmelení spár	tmelící pistole

### 7.4. Technologický postup

#### 7.4.1. Příprava podkladu

Podklad není nutné speciálně upravovat ani odstraňovat drobné výstupky či nerovnosti. Povrch je vhodné zbavit prachu a očistit tak, aby bylo možné na něj rozkreslit budoucí polohu nosných profilů.

#### **7.4.2. Vytyčení polohy nosných profilů**

S použitím pomůcek uvedených v tab. 21 se rozměří poloha nosných profilů a tužkou se vyznačí na nosnou konstrukci. Osová vzdálenost nosných profilů nesmí být větší než 400 mm.

#### **7.4.3. Montáž zakládacích profilů/třmenů**

Obklad zadní stěny sálu je navržen se vzduchovou mezerou tl. 300 mm, nosný rošt se proto namontuje na zakládací U profily zakotvené do podlahy a stropu. Tyto profily se zkrátí na potřebnou délku pomocí štípacích kleští a hrana se zbrousí pilníkem. Na spodní stranu zakládacích profilů se po celé délce nalepí zvukově-izolační páska. Do předem vyvrtaných otvorů se vloží hmoždinky a pomocí šroubů se zakládací profily připevní k podlaze/stropu. Maximální rozteč šroubů je 800 mm. Na boční stěny se připevní stavěcí třmeny, jejichž spodní strana se před montáží opatří zvukově-izolační páskou. Třmeny se do stěny připevní opět pomocí hmoždinek a šroubů.

#### **7.4.4. Montáž svislých profilů**

Pomocí samořezných šroubů se do zakládacích profilů našroubují H profily a na stavěcí třmeny C profily. V případě potřeby se profily opět zkrátí štípacími kleštěmi a zabrousí pilníkem. Tyto profily je vhodné opatřit polyetylenovou páskou z důvodu pozdějšího tmelení spár.

#### **7.4.5. Vložení izolace**

Izolační desky se seříznou na potřebné rozměry odlamovacím nožem a vloží se mezi nosné profily. Desky Isover jsou z jedné strany opatřeny netkanou skelnou textílií, tato textílie musí být orientována směrem do prostoru.

#### 7.4.6. Montáž desek

Desky Cetris se přivrtávají do nosných H profilů pomocí samořezných šroubů. Maximální rozteč šroubů ve svislém směru je 200 mm. Desky se kladou s křížovou spárou, a to delší hranou kolmo k nosným profilům. Mezi jednotlivými deskami i po obvodu je nutné ponechat dilatační mezeru tl. 5 mm, ta se zajistí vložením distančních klínek.

#### 7.4.7. Zatmelení spár

Posledním krokem je zatmelení spár. Použije se k tomu trvale pružný akrylátový tmel aplikovaný tmelící pistolí. Díky tomu, že se nosné vodorovné profily opatřily polyetylenovou páskou, tmel přilne pouze k bočním hranám desek a je tak zajištěno jeho rovnoměrné namáhání. Pokud by tmel přilnul i k hliníkovému profilu, mohlo by dojít k nerovnoměrnému namáhání a pozdějšímu odtrhávání tmelu od bočních stěn. Tmel se aplikuje v tloušťce cca 5 mm.

#### 7.4.8. Poznámky

Všechny nosné profily by měly být o cca 15 mm kratší, než je rozměr místnosti. Po celou dobu montáže se průběžně kontroluje správné umístění nosných profilů, jejich svislost, kolmost a odsazení od stěn.

### 7.5. Postupový diagram

Postupový diagram pro montáž obkladů Cetris je uveden v příloze B.

### 7.6. Pracnost

Pracnost montáže obkladů Cetris je uvedena v následující tabulce.

Tab. 22 - Pracnost

Činnost	M.j.	Počet m.j.	Nh	Celkem Nh	Četa	Počet směn
Montáž obkladů Cetris	m <sup>2</sup>	140	0,34	47,60	2	3

## 7.7. Jakost provedení

Pomocí dvoumetrové latě se zkontroluje rovinnost obkladů, maximální přípustná odchylka je  $\pm 2$  mm/2 m. Pomocí olovnice na provázku se zkontroluje svislost obkladů. Maximální přípustná odchylka je  $\pm 10$  mm pro stěny do výšky 4 m (zadní část sálu) a  $\pm 12$  mm pro stěny do výšky 8 m (hlavní část sálu).

Dále se vizuálně zkontroluje návaznost spár a pomocí ocelového pravítka jejich tloušťka. Vizuálně se zkontroluje, zda nebyl při montáži poškozen či znečištěn povrch obkladů.

## 7.8. BOZP

Všichni pracovníci jsou povinni dodržovat předpisy BOZP ve znění platné vyhlášky 601/2006 Sb. a nařízení vlády 591/2006 Sb. Hlavní zásady BOZP při provádění obkladů Cetris jsou následující:

- používat přilbu, ochranné rukavice, pracovní oblek a pevnou pracovní obuv
- udržovat pořádek na staveništi
- omezit přístup nepovolaných osob
- používat pouze schválená elektrická zařízení, osoby pracující s nimi musí být náležitě seznámeni s jejich používáním
- od výšky 1,5 m nad podlahou provádět montáž výhradně z lešení

## 7.9. Vliv na životní prostředí

Použité materiály nemají vliv na životní prostředí. Likvidace odpadů bude provedena dle zákona č. 185/ 2001 Sb. o odpadech.



## Závěr

Předmětem bakalářské práce byla prostorová akustika a její řešení v závislosti na normových požadavcích a dalších kritériích.

Cílem teoretické části práce bylo shrnutí základních principů řešení prostorové akustiky v jednotlivých typech prostorů. Na základě dostupné literatury a vlastních zkušeností nabitých v praxi bylo popsáno, jakých akustických poměrů je třeba v daném prostoru dosáhnout, jakým způsobem jich dosáhnout a jaké úpravy či materiály jsou naopak nevhodné. Cíl práce byl tedy splněn. V této části práce byly vyjmenovány pouze obecné principy řešení, ze kterých je třeba při návrhu vycházet. V praxi je nutné řešit každý prostor individuálně v závislosti na místních podmínkách a mnoha dalších faktorech.

Cílem praktické části bylo aplikovat uvedené zásady na konkrétním reálném prostoru a zvolit nejvhodnější možné řešení pro dosažení vyhovující akustiky. Pro tento účel byl vybrán multifunkční sál „Kino Sokol“ v Kladně, pro který byly navrženy tři varianty řešení. Následně byla provedena multikriteriální analýza navržených variant, kde byly porovnány nejdůležitější vlastnosti použitých materiálů. Analýza ukázala, že ne vždy je nejlevnější řešení tím nejvhodnějším. Přestože investor požadoval co nejnižší cenu, jako nejlepší se ukázaly obklady z desek Cetris, které jsou z navržených variant nejdražší. Je třeba si uvědomit, že cena samotného materiálu nemusí být rozhodující a díky jiným kladným vlastnostem materiálu může investor ve výsledku ušetřit. Desky Cetris jsou mechanicky odolné, tudíž nebude třeba častých oprav v důsledku jejich poškození. Jejich příjemný vzhled zajistí, že se budou návštěvníci cítit v sále dobře a lze tak předpokládat větší návštěvnost (tedy větší zisk). Na cenu bude mít pozitivní vliv i snadná a rychlá montáž těchto obkladů. Určitě existuje mnoho dalších vlastností a kritérií, na základě kterých by se daly varianty porovnávat (např. odolnost proti vlhkosti, recyklovatelnost atd.). Takové posouzení by ale bylo obtížně proveditelné, protože často ani sami výrobci nemají o daném produktu kompletní informace. Do analýzy byly proto zahrnuty jen ty vlastnosti, které

jsou pro daný prostor nejdůležitější a pro porovnání variant zcela dostačující. Cíl praktické části práce tak byl rovněž splněn.

I přesto, že byl výpočtový model zkalibrován na základě měření na místě, poskytuje výpočet výsledky pouze s omezenou přesností. Do výpočtu nelze zahrnout přesný tvar místnosti a rozmístění pohltivých ploch, výpočet navíc předpokládá difúzní zvukové pole, kterého nelze v reálném prostředí dosáhnout. Na výslednou dobu dozvuku má také vliv správné zabudování navržených konstrukcí, nepřesné odsazení nebo nevhodná povrchová úprava může ovlivnit jejich pohltivou funkci. Z uvedených důvodů se vypočtené hodnoty doby dozvuku mohou od reálně naměřených hodnot mírně lišit. Zajímavým rozšířením práce by proto bylo změření doby dozvuku v sále po realizaci navržených úprav a porovnání s vypočtenými hodnotami, případně návrh dodatečných úprav pro dosažení optimálních akustických poměrů.

## Použitá literatura

- [1] KAŇKA, Jan. Stavební fyzika 1: Zvuk a denní světlo v architektuře. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2013.
- [2] VEVERKA, Jiří. Stavební fyzika. 1, Urbanistická, stavební a prostorová akustika. Brno: VUTIUM, 1998.
- [3] KUTMAN, Otakar. Fyzika 2, Akustika. Praha: Ediční středisko Českého vysokého učení technického, 1991
- [4] NOVÁK, Jan. Akustická kvalita a pohoda ve výstavbě. Praha: SNTL – nakladatelství technické literatury, 1981
- [5] ČECHURA, Jiří. Stavební fyzika 10: Akustika stavebních konstrukcí. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999
- [6] KOLMER, F., KYNCL, J. Prostorová akustika. SNTL – Nakladatelství technické literatury Praha, 1980
- [7] ČSN EN ISO 3382-1. Akustika – Měření parametrů prostorové akustiky – Část 1: Prostory pro přednes hudby a řeči. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Prosinec 2009.
- [8] ČSN 73 0525. Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Všeobecné zásady. Praha: Český normalizační institut, Únor 1998.
- [9] ČSN 73 0526. Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Studia a místnosti pro snímání, zpracování a kontrolu zvuku. Praha: Český normalizační institut, Únor 1998.
- [10] ČSN 73 0527. Akustika - Projektování v oboru prostorové akustiky - Prostory pro kulturní účely - Prostory ve školách - Prostory pro veřejné účely. Praha 6: Český normalizační institut, Březen 2005.
- [11] ČSN EN 13964. Zavěšené podhledy – Požadavky a metody zkoušení.

Výzkumný ústav pozemních staveb – Certifikační společnost s.r.o., Březen 2015

[12] ČSN EN 13 501-1 - Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň. Praha: Český normalizační institut, Srpen 2007.

[13] <http://www.norsonic.fr/>

[14] <https://www.knaufamf.com/en/>

[15] <http://www.barrisol.cz/>

[16] <http://www.esprit-pha.cz/>

[17] <http://www.rigips.cz/>

[18] <http://www.ecophon.com/cz/>

[19] <https://www.akusticka-pena.cz/>

[20] <http://www.noisecontrol.cz/>

[21] <http://www.novatop-system.cz/>

[22] <http://www.cetris.cz/>

[23] <https://www.stavbaonline.cz/>

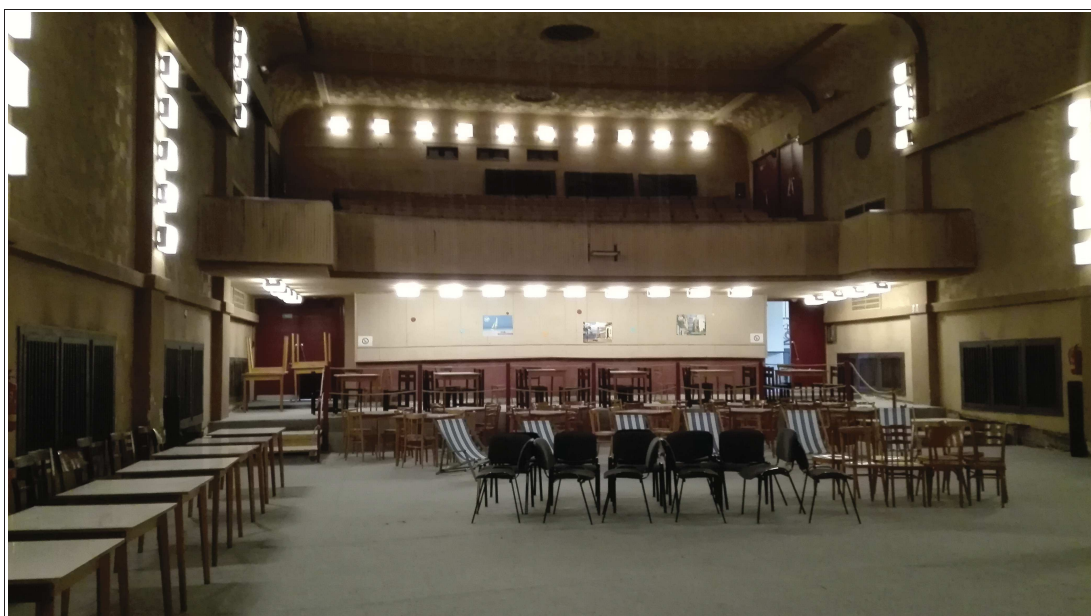
[24] <https://www.obi.cz/>

[25] <http://www.isover.cz/>

## Příloha A – fotografie prostoru kino sokol – současný stav

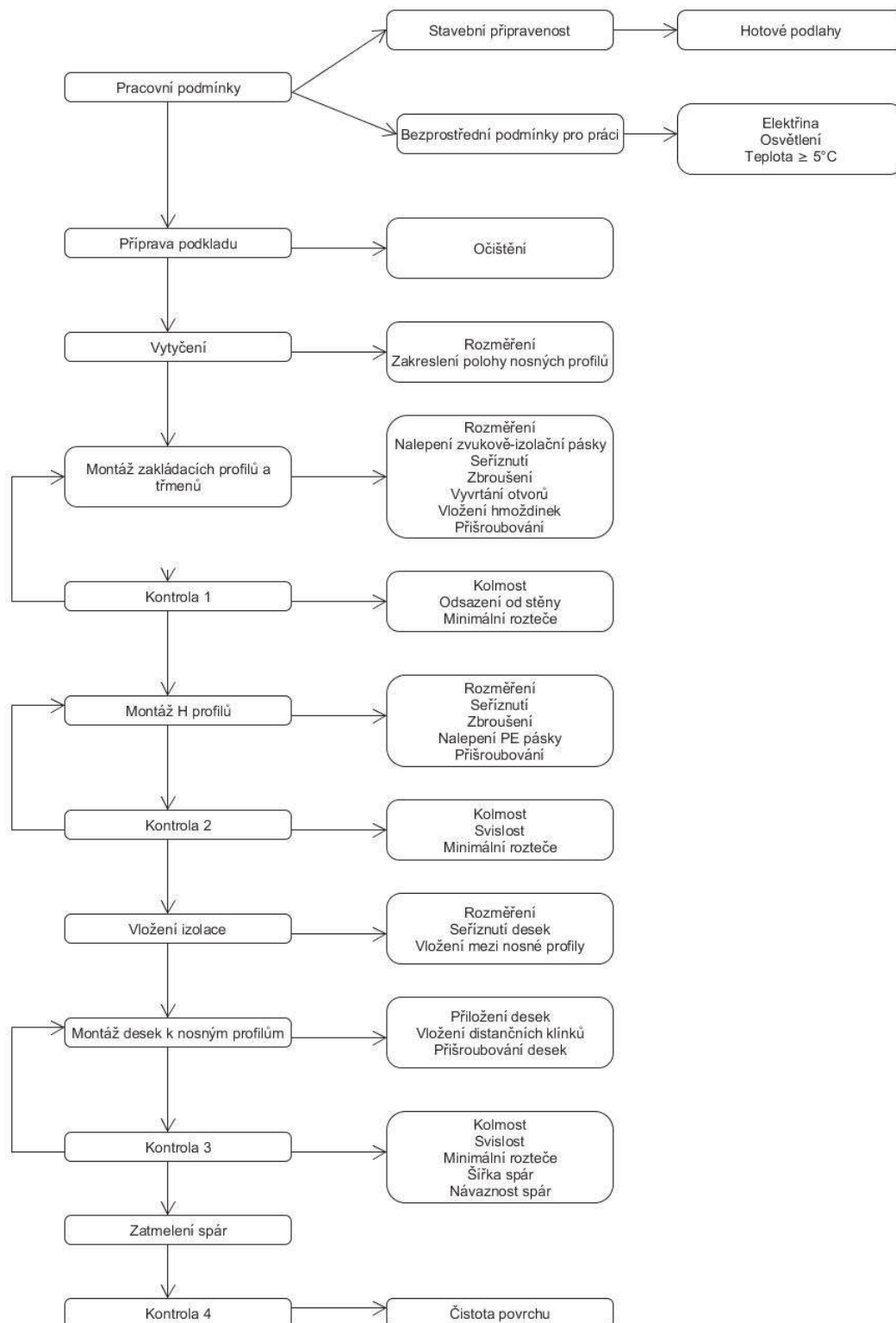


A.1 - pohled na pódium



A.2 - pohled na balkon a zadní část sálu

# Příloha B – postupový diagram realizace obkladů Cetris



# **Příloha C – pokyny pro vypracování, seznam doporučené literatury**

Pokyny pro vypracování:

- vymezení základních pojmů
- principy řešení prostorové akustiky
- návrh řešení pro multifunkční sál ve třech variantách
- multikriteriální vyhodnocení variant
- technologický postup pro vybranou variantu

Seznam doporučené literatury:

- VEVERKA, Jiří. Stavební fyzika 1, Urbanistická, stavební a prostorová akustika. Brno: VUTIUM, 1998.
- ČECHURA, Jiří. Stavební fyzika 10: Akustika stavebních konstrukcí. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999
- KOLMER, F., KYNCL, J. Prostorová akustika. SNTL – Nakladatelství technické literatury Praha, 1980
- technické normy