



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta stavební**

**Katedra konstrukcí pozemních staveb**

# **Návrh stavebních úprav v základní škole z hlediska stavební fyziky**

## **Design of structural adjustments in a primary school in terms of building physics**

**Bakalářská práce**

Studijní program: **Stavitelství**  
Studijní obor: **Realizace pozemních a inženýrských staveb**  
Vedoucí práce: **Ing. Jaroslav Vychytil, Ph.D.**  
Autor práce: **Radim Kokeš**

---

**Praha, 2017**



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Kokeš

Jméno: Radim

Osobní číslo: 426380

Zadávací katedra: K124 (Katedra konstrukcí pozemních staveb)

Studijní program: Stavitelství

Studijní obor: Realizace pozemních a inženýrských staveb

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Návrh stavebních úprav v základní škole z hlediska stavební fyziky

Název bakalářské práce anglicky: Design of structural adjustments in a primary school in terms of building physics

Pokyny pro vypracování:

Zakreslení stávajícího stavu objektu ve vybrané projektové dokumentaci (půdorysy, svislý řez, pohled) pro stavební povolení. Návrh zateplení objektu a základní tepelně technické posouzení obalových konstrukcí. Soupis požadavků kladených na danou základní školu z hlediska světelné techniky a stavební akustiky. Posouzení vybraných kmenových učeben z hlediska činitele denní osvětlenosti a rovnoměrnosti denního osvětlení. Posouzení dělicích konstrukcí z hlediska jejich zvukové izolace. U nevyhovujícího stavu návrh vhodných konstrukčních a dispozičních úprav.

Seznam doporučené literatury:

ČSN 73 0532 Akustika – Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních výrobků – Požadavky, ÚNMZ Praha, únor 2010

ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky, ÚNMZ Praha, říjen 2011, Změna Z1 z dubna 2012

ČSN 73 0580-1 Denní osvětlení budov – Část 1: Základní požadavky, ČNI Praha, červen 2007

ČSN 73 0580-3 Denní osvětlení budov – Část 3: Denní osvětlení škol, ČNI Praha, červen 2007

VYCHYTIL, Jaroslav. Stavební světelná technika - cvičení. Praha : Nakladatelství ČVUT v Praze, 156 s. 2015. ISBN 978-80-01-05858-9

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Bc. Jaroslav Vychytil, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 20. 2. 2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 28. 5. 2017

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“.*

22. 7. 2017

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

# Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Návrh stavebních úprav v základní škole z hlediska stavební fyziky** zpracoval samostatně za použití uvedené literatury a pramenů.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne .....

.....

Jméno Příjmení

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval Základní a mateřské škole v Dolním Bukovsku za souhlas a poskytnutí projektové dokumentace školní budovy, umožnění prohlídky všech potřebných částí objektu. Dále bych rád poděkoval Pavlu Kokešovi za poskytnutí stavebních informací o objektu. Pavel Kokeš byl přítomen v době většiny oprav budovy základní školy, včetně přístavby základní školy. V neposlední řadě bych rád poděkoval panu Ing. Jaroslavu Vychytilovi, Ph.D., který mě provázel napříč řešenými tématy a pomáhal řešit obtížné části práce.

Závěrem bych rád poděkoval rodině, přátelům za ochotu a podporu po celou dobu studia.



## **Abstrakt**

Předmětem této bakalářské práce je hodnocení budovy základní školy z hlediska stavební fyziky. Obalové konstrukce budou posouzeny z hlediska součinitele prostupu tepla, šíření vlhkosti a zamezení vzniku plísní. Vybraná stěnová a stropní konstrukce oddělující chráněné prostory (učebny) bude posouzena z hlediska zvukové izolace. V nevyhovujícím případě bude navrženo vhodné řešení, které zajistí splnění normových požadavků. Vybraná učebna bude dále posouzena z hlediska prostorové akustiky, konkrétně na dobu dozvuku. V případě příliš pohltivých či odrazivých vlastností bude navržena vhodná úprava povrchů konstrukcí. Součástí práce je i hodnocení denního osvětlení v kmenových učebnách. Bude posouzena úroveň (činitel denní osvětlenosti) a kvalita (rovnoměrnost, směr dopadajícího světla) denního osvětlení. Na základě veškerých uvedených posouzení budou navrženy stavební úpravy konstrukcí podle konkrétního účelu, které zlepšují jejich charakteristické vlastnosti. Stavební úpravy budou navrženy ze zdravotně nezávadných a otestovaných materiálů vysoké kvality. Při výběru vhodného opatření bude zohledněna i finanční náročnost stavební úpravy.

## **Klíčová slova**

Základní škola, stavební úprava, součinitel prostupu tepla, zvuková izolace, prostorová akustika, doba dozvuku, denní osvětlení, činitel denní osvětlenosti, rovnoměrnost osvětlení

# **Abstract**

The topic of this bachelor thesis is the evaluation of an elementary school building in terms of building physics. The packaging structures will be assessed in terms of heat transfer coefficient, moisture spreading and mold avoidance. The selected wall and ceiling constructions separating protected areas (classrooms) will be assessed for sound insulation. In case of unsatisfactory findings, a suitable solution will be proposed so that it will ensure the compliance with the standard requirements. The selected classroom will be further evaluated for spatial acoustics, in particular for reverberation. In case of too absorbent or reflective properties, a suitable modification of the surface of the structures will be proposed. Part of the work is also the assessment of daylighting in classrooms. The level (daylight illuminance factor) and the quality (uniformity, direction of incident light) of daylight will be assessed. On the basis of all these assessments, structural modifications of the structures will be proposed for a particular purpose, improving their characteristics. The construction changes will be designed from high-quality sanitary and tested materials. During the selection of the appropriate measure, the financial demands of the construction changes will also be taken into account.

## **Key words**

Elementary school, structural adjustment, heat transfer coefficient, sound insulation, room acoustics, reverberation time, daylighting, daylight factor, uniformity of daylight

# Obsah

Úvod .....	1
1 Popis objektu.....	2
1.1 Poloha objektu .....	2
1.2 Informace o objektu.....	4
1.2.1 Informace o vlastnictví objektu a pozemku .....	4
1.3 Historie objektu .....	4
1.4 Provoz a kapacita objektu.....	4
1.5 Dispoziční popis objektu .....	5
1.5.1 Odlišnosti mezi projektovou dokumentací a skutečným stavem .....	6
2 Popis stavebních konstrukcí.....	7
2.1 Základy .....	7
2.2 Svislé nosné konstrukce.....	7
2.3 Vodorovné nosné konstrukce .....	8
2.4 Střešní konstrukce.....	8
3 Tepelná ochrana budov .....	10
3.1 Základní problematika a požadavky na budovy.....	10
3.2 Termíny a jejich praktická interpretace .....	12
3.2.1 Tepelné vlastnosti materiálů.....	13
3.2.1.4 Součinitel tepelné vodivosti.....	13
3.2.1.5 Ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti .....	13
3.2.1.6 Tepelný odpor vrstvy, zdiva, konstrukce.....	14
3.2.1.7 Součinitel prostupu tepla.....	15
3.2.1.8 Teplotní faktor vnitřního povrchu.....	16
3.3 Posouzení stávajících konstrukcí.....	17
3.3.1 Typy zateplovacích systémů .....	17
3.3.2 Obvodová nosná stěna 1. NP – východní.....	19
3.3.2.1 Posouzení skladby obvodové nosné konstrukce .....	21
3.3.3 Střešní konstrukce historické části .....	21
3.3.3.1 Posouzení střešní konstrukce .....	23
3.3.4 Obvodová nosná stěna 3. NP – jižní .....	23
3.3.4.1 Posouzení skladby obvodové nosné konstrukce .....	25
3.3.5 Střešní konstrukce přistavované části objektu .....	25

3.4	Návrhové opatření stávajících konstrukcí .....	26
3.4.1	Obvodová nosná stěna 1. NP – východní.....	26
3.4.2	Střešní konstrukce historické části.....	27
3.4.3	Obvodová nosná stěna 3. NP – jižní .....	27
4	Akustika.....	29
4.1	Základní problematika.....	29
4.2	Prostorová akustika.....	30
4.2.1	Definice základních pojmů dle ČSN 73 0525, ČSN 73 0527.....	30
4.3	Technické požadavky na základní školy .....	31
4.3.1	Rozměry uzavřeného prostoru .....	32
4.3.2	Stěnová konstrukce .....	32
4.3.3	Podhled stropní konstrukce.....	32
4.3.4	Podlahy .....	33
4.3.5	Akustické úpravy povrchů .....	33
4.3.6	Provedení a vlastnosti akustických obkladů .....	33
4.3.7	Metody výpočtu doby dozvuku .....	33
4.4	Výpočet doby dozvuku ve vybrané učebně 3. NP.....	35
4.4.1	Stávající stav učebny .....	36
4.4.2	Navržené akustické úpravy v učebně.....	38
4.5	Posouzení stávající stěny mezi učebnami historické části objektu.....	42
4.5.1	Charakteristika neprůzvučnosti.....	42
4.5.2	Předběžný výpočet laboratorní neprůzvučnosti stěny .....	43
4.5.3	Výpočet vážené neprůzvučnosti mezi učebnami .....	45
4.5.4	Vyhodnocení výpočtu .....	47
4.6	Posouzení stávající stěny mezi učebnami přistavěné části objektu.....	48
4.6.1	Předběžný výpočet laboratorní neprůzvučnosti stěny .....	48
4.6.2	Výpočet vážené neprůzvučnosti mezi učebnami .....	49
4.6.3	Vyhodnocení výpočtu .....	51
4.6.4	Návrhový výpočet stěny mezi učebnami pro splnění požadavků.....	52
4.6.5	Navržená úprava stěnové konstrukce přizděním .....	52
4.6.6	Navržená úprava stěnové konstrukce zřízením předstěny.....	53
4.6.7	Vyhodnocení úpravy stěny .....	55
4.7	Posouzení stropní konstrukce z hlediska kročejové neprůzvučnosti v historické a přistavované části budovy.....	55

5	Denní osvětlení .....	57
5.1	Základní problematika .....	57
5.2	Definice základních pojmů .....	58
5.3	Požadavky na denní osvětlení škol .....	59
5.4	Charakteristika osvětlovacích otvorů .....	60
5.4.1	Okenní otvor posuzované učebny č. 1 .....	60
5.4.2	Okenní otvor posuzované učebny č. 2 .....	62
5.5	Posouzení stávajícího stavu učebny č. 1 .....	64
5.6	Posouzení stávajícího stavu učebny č. 2 .....	69
5.7	Návrhová opatření .....	72
5.7.1	Navržené opatření učebny č. 1 .....	73
5.7.2	Navržené opatření učebny č. 2 .....	73
	Závěr .....	75
	Seznam použité literatury .....	76
	Seznam příloh .....	78

# Úvod

Denní osvětlení, akustika a tepelná ochrana budov jsou vědní obory, se kterými se setkáváme každý okamžik, každý den. Mnoho lidí si neuvědomuje, že tyto vědní veličiny nás velmi ovlivňují z hlediska našeho vnitřního a vnějšího pohodlí. Podílí se částečně na většině činností, které děláme každý den, a mají nepatrný vliv na naši výkonnost. K dosažení optimálního pohodlí člověka je potřeba zamezení nežádoucích jevů, které je nutno dostatečně eliminovat nebo naopak zvýšit efektivitu u jevu, který má pozitivní vliv na člověka.

Ve své bakalářské práci jsem se zaměřil právě na tuto problematiku ve školní učebně na základní škole z hlediska denního osvětlení učebny, akustického posouzení hluku působícího na lidský organismus a posouzení z hlediska tepelné ochrany učebny respektive budovy vůči vnějšímu prostředí. Základní školu v Dolním Bukovsku navštěvují blízcí příbuzní, proto jsem se rozhodl posoudit podmínky pro vyučování a zhodnotit jejich stav. Z vlastní pocitové zkušenosti v učebnách historické části vím, že je akustická úroveň v neoptimálním stavu, proto jsem se rozhodl provádět akustické posudky v učebně. Hluk v učebně se nepříjemně odráží od vnitřních povrchů a tím pádem úroveň kvality přijímaného zvuku není v dobrém stavu.

# 1 Popis objektu

## 1.1 Poloha objektu

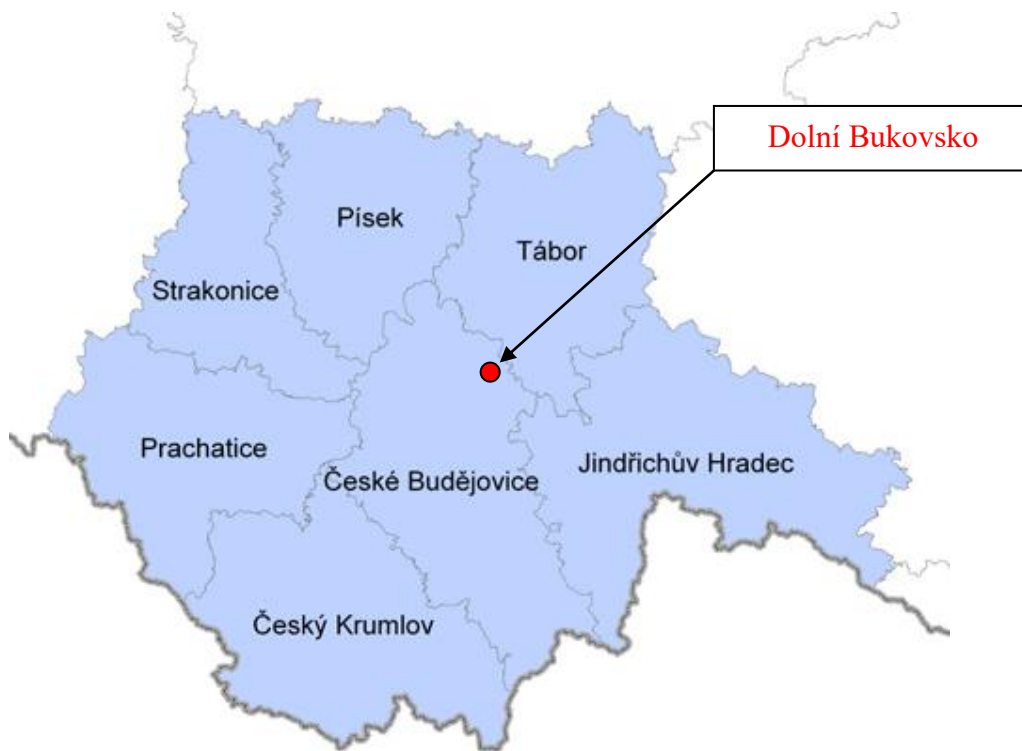
Budova základní školy se nachází v Jihočeském kraji, zhruba 25 km severně od Českých Budějovic, v obci Dolní Bukovsko. Dolní Bukovsko je známé díky stavební firmě Heluz, která se specializuje na cihlářský průmysl výrobou pálených cihel, keramických překladů a spousty dalšího sortimentu.

Adresa školy: U Hradu 31, 373 65 Dolní Bukovsko

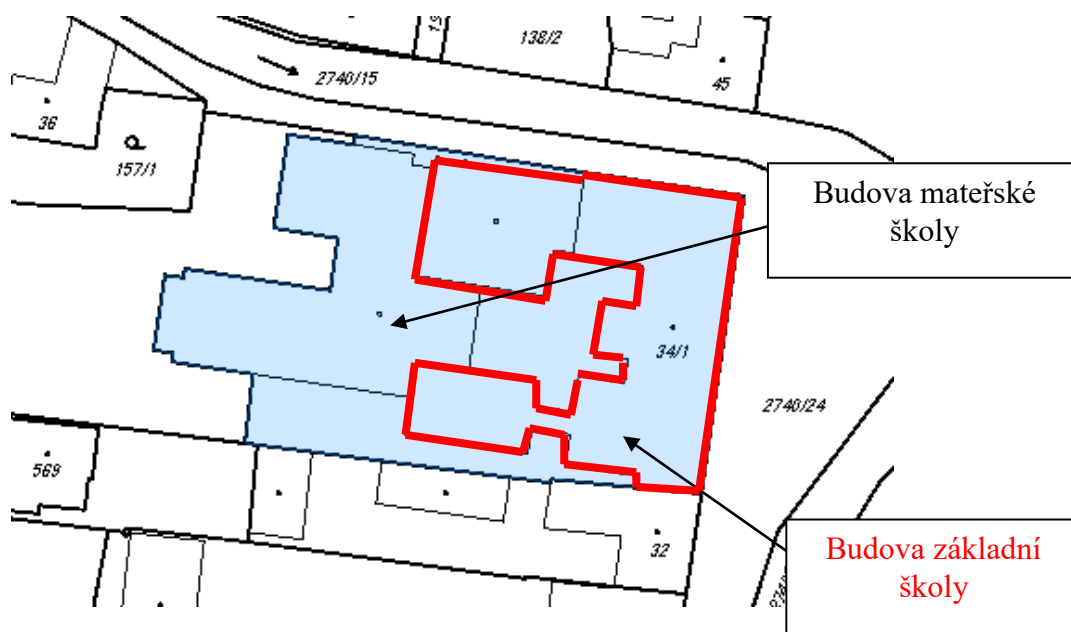
Poloha GPS: 49°10'15'' N, 14°34'48'' E [1]



Obrázek 1 - Kraje České republiky – Jihočeský kraj [2]



Obrázek 2 - Jihočeský kraj – okres České Budějovice [3]



Obrázek 3 - Katastrální mapa polohy budovy základní školy [4]



## 1.2 Informace o objektu

### 1.2.1 Informace o vlastnictví objektu a pozemku

Obec:	Dolní Bukovsko
Část obce:	Dolní Bukovsko
Parcela a katastrální území:	st. 34/1 Dolní Bukovsko
Čísla popisná nebo evidenční:	31
Typ:	Budova s číslem popisným
Způsob využití:	stavba občanského vybavení
Počet podlaží:	2
Výměra pozemku:	3029 m <sup>2</sup>
Zastavěná plocha:	2328 m <sup>2</sup>
Vlastnické právo:	Městys Dolní Bukovsko [4]

## 1.3 Historie objektu

První zmínka o vyučování v Dolním Bukovsku se dochovala ve farní matrice, v níž je k roku 1662 zmíněn zdejší učitel Petr, jenž byl zároveň i písařem. Výuka probíhala v jeho volném čase a konala se v učitelově příbytku. Vlastní budovy se škola dočkala až v roce 1791. Tvořila ji dřevěná chalupa o dvou světnicích. Učitelé měli těsnou vazbu ke kostelu. Mezi jejich povinnosti patřila kromě vzdělávání žáků také péče o chrámovou hudbu a vyzvánění. V roce 1827 byla na místě staré školní budovy z 18. století, která shořela, vystavěna nová. Ta měla pouze tři učebny a tak přestala poměrně brzy vyhovovat potřebám obce. Proto již v roce 1906 byla v Dolním Bukovsku postavena, na místě staré radnice a dvou dalších domů, nová školní budova v secesním slohu. V devadesátých letech 20. století byla rozšířena o čtyři učebny, šatny, kabinety, kanceláře a sociální zařízení a její původní část byla celkově zrenovována. V této podobě slouží dodnes. V někdejší škole z roku 1827 sídlí v současnosti obecní úřad. [5]

## 1.4 Provoz a kapacita objektu

Základní škola a Mateřská škola v Dolním Bukovsku patří mezi menší plně organizované školy se žáky v devíti ročnících. Při škole pracuje školní družina se dvěma odděleními. Školu v tomto školním roce navštěvuje 174 žáků. 114 bydlí přímo v obci, 60 žáků dojíždí (z toho 35 z částí městyse Dolní Bukovsko

a 25 z obcí Žimutice, Modrá Hůrka - Pořežanky a Hartmanice). Celková kapacita základní školy je 290 žáků. Problémem zůstávají malé prostory tělocvičny. Tato situace je vyřešena využíváním sálu kulturního domu a hřiště TJ pro účely školní tělesné výchovy, jako je tomu v současné době. Největším problémem byly prostory školní jídelny, která nesplňovala řadu hygienických požadavků. Jednalo se zejména o prostory přípravy zeleniny a vajec, které již neodpovídaly současným hygienickým požadavkům. Dále bylo potřebné zajistit oddělený výdej stravy pro cizí strážníky a prostory pro konzumaci jídel těmito strážníky. Na staré budově školy byla vyměněna okna. Městys tuto situaci vyřešil výstavbou nové školní kuchyně s příslušenstvím, novými jídelnami pro žáky a pro cizí strážníky s kapacitou 550 jídel denně. Zároveň byla v srpnu 2009 otevřena i nová mateřská škola se třemi třídami s celkovou kapacitou 72 žáků. [5]

## **1.5 Dispoziční popis objektu**

Objekt byl postaven kolem roku 1906. Již od počátku sloužil jako školské zařízení pro děti a mládež. Obsahuje tři nadzemní podlaží a jedno podzemní podlaží, které slouží k archivačním a skladovacím účelům. V Prvním nadzemním podlaží se nachází jídelna základní školy, šatny žáků, dílenská učebna, cvičná kuchyně, 3 kabinety a 4 třídy určené k výuce. Ve druhém nadzemním podlaží se nacházejí 2 učebny, ředitelna, kabinet zástupce ředitele, účtárna, hygienická zařízení pro chlapce a dívky a chodbu spojující základní a mateřskou školu. Ve třetím nadzemním podlaží se nacházejí hygienická zařízení studentů základní školy, 3 kabinety sloužící pro učitele, 7 tříd výukových tříd pro výuku studentů. První nadzemní podlaží obsahuje tříramenné schodiště se dvěma mezipodestami, které spojuje nadzemní podlaží objektu. Podkroví základní školy zůstává nezaujaté, avšak v budoucnu se plánují přistavět ateliéry pro studenty se zaměřením na malířské a umělecké výukové předměty. Budova základní školy je spojena s mateřskou školou, která byla přistavěna v roce 2006. V průčelí se nacházel hlavní vchod do budovy základní školy, který je orientován na východ. Avšak postupem času byl vchod uzavřen a otevřen nový vchod ze severní strany budovy z bezpečnostních důvodů a snazšího přístupu žáků do prostor šaten.

### **1.5.1 Odlišnosti mezi projektovou dokumentací a skutečným stavem**

Skutečný stav budovy základní školy byl dodržen ve všech nadzemních podlažích. Drobné nesrovnalosti týkající se každodenních problémů na stavbách byly vyřešeny v průběhu výstavby objektu.

V suterénní části historické budovy byla přistavěna dělicí příčka, z důvodu zřízení plynového kotle. Dříve se zde topilo zejména černým uhlím a postupem času a modernizace se přešlo na plynový kotel. Kotel je z akustického hlediska velmi hlučný a ovlivňoval částečně výuku v učebnách v prvním nadzemním podlaží. Proto bylo optimální zřídit dělicí příčku z cihel Porotherm CD - Týn tloušťky 300 mm. Příčka byla vystavěna pod klenbu mezi kamennými sloupy. Vystavěnou příčku můžeme vidět na obrázku 4 na následující stránce.



*Obrázek 4 - Přistavěná dělicí příčka v podzemním podlaží objektu*

## **2 Popis stavebních konstrukcí**

### **2.1 Základy**

Základy historické budovy jsou provedeny ve formě základových pasů z kamenného zdiva na vápennou maltu. Základové pasy mají šířku 900, 750 a 600 mm dle dostupné projektové dokumentace. Jako kamenné zdivo byl použit lomový kámen o velikosti minimálně 150 mm z částečně opracovaného kamene. K historické části budovy je přistavěna novodobá část, u které jsou základy provedeny z prostého betonu prokládané lomovým kamenem. Z důvodu rozdílné hloubky základů a možné příčiny rozdílného sedání jsou základy navzájem odděleny dilatační spárou tl. 20 mm. Šířka základových pasů přistavěné části budovy je 600 mm a hloubka 1300 mm pod úrovní 1.NP.

### **2.2 Svislé nosné konstrukce**

Suterénní obvodové a vnitřní stěny historické části budovy jsou vystavěny z kamenného lomového částečně opracovaného kamene minimální frakce 150 mm a tloušťce 900, 750 a 600 mm na vápennou maltu. Zdivo slouží jako svislé nosné a zároveň jako základové. Kamenné suterénní stěny jsou vystavěny 600 mm nad úroveň upraveného terénu. Z hlediska většího využití prostor v suterénu jsou stěny nahrazeny pilíři. Všechny navazující svislé nosné konstrukce od prvního nadzemního podlaží v historické části jsou vystavěny z cihel plných pálených, spojené vápenocementovou maltou. Tloušťky a rozměry obvodových stěn, vnitřních stěn a pylířů jsou patrné z projektové dokumentace podle umístění v objektu.

Přistavovaná část objektu má obvodovou nosnou konstrukci zhotovenou z cihel CD 365 tl. 375 mm. Mezi stěnami historické budovy a přistavěné části je provedena dilatační spára tloušťky 20 mm. Z důvodů rozdílného sedání částí muselo být provedeno jejich oddělení. Příčky jsou provedeny ze zdiva z cihel CDm tl. 115 mm.

## 2.3 Vodorovné nosné konstrukce

Strop mezi prvním podzemním a prvním nadzemním podlažím je vystavěn z valených cihelných kleneb o maximálním osovém rozpětí 3,350 m. Tloušťka stropní konstrukce ve vrcholu kleneb je minimálně 500 mm. Konstrukce stropu mezi prvním a druhým nadzemním podlažím ve staré části je trémová s omítnutým podhledem a násypem, tzv. polospalný strop. Jeho tloušťka včetně dřevěné podlahy je 500 mm. Stropní trámy jsou kladeny v osově vzdálenosti 900 mm od sebe, polštáře průřezu 80/120 mm jsou kolmo na směr trámů ve vzdálenostech 900 mm od sebe. Podbíjení je orákosované rohožemi a omítnuté vápennou omítkou. Stropní konstrukce mezi 2.NP a podkrovím je také trémový strop s omítnutým podhledem, ale není zde nášlapná část konstrukce a její tloušťka je 400 mm. Překlady nad okenními otvory jsou řešeny pomocí rovných kleneb vyztužených páskovou ocelí. Stropní konstrukce prvního a druhého nadzemního podlaží, v přistavěné části budovy, jsou zhotoveny z kerambetonových trémeků Porotherm POT 175 a keramických vložek Miako 25/62,5 BN. Cihelné překlady nad otvory jsou ze systému Porotherm KP s příslušnými velikostmi dle tabulky překladů výrobce. Věnce jsou zhotoveny ze stavebních prvků systému Porotherm VT 8/19,5. Strop ve třetím nadzemním podlaží je též proveden z kerambetonových trémeků a Miako vložek.

## 2.4 Střešní konstrukce

Střechu historické části budovy tvoří dvě vzájemně propojené střešní dřevěné valbové konstrukce. První pokrývá prostor budovy školy a druhá budovu tělocvičny. Osová vzdálenost kroků je 1000 mm v obou případech a jejich průřez je 120/160 mm. K jejich ztužení byly použity kleštiny průřezu 2x100/160 mm. Pozednice je kotvena do obvodového zdiva z plných cihel pomocí páskové oceli. Valbová střecha je uložena na pozednicích a středních vaznicích. Vaznice 140/200 mm jsou uloženy na sloupech 140/140 mm a ty na vazných trémek 240/300 mm. Skladba střešní konstrukce na staré části budovy je klasická valbová střecha s tepelnou skelnou izolací tloušťky 200 mm položenou na dřevěný strop.

Střecha přistavěné části základní školy je typu ploché dvouplášťové střechy větrané s větracími otvory. Veškeré informace o skladbě střešní konstrukce víme, že svrchní vrstvu tvoří asfaltové pásy 2 x tl. 4 mm, které jsou přitaveny na pevný

podklad, provětrávaná vzduchová mezera tl. 150 až 300 mm, desky z EPS tloušťky 100 mm a nosná trámečková konstrukce stropu tl. 250 mm s Miako vložkami.

## 3 Tepelná ochrana budov

### 3.1 Základní problematika a požadavky na budovy

Řešení veškeré problematiky tepelné ochrany budov směřuje k jednoznačně stanovenému cíli, kterým je snižování energetické náročnosti budov, k úsporám na vytápění nebo naopak klimatizování prostor budov v zimním či letním období. Životní úroveň roste a s ní je i spojena stále větší poptávka po energiích. To způsobuje nepoměr mezi požadavky na množství a možnostmi jejich získávání. Energie obecně bude stále dražší, její získání obtížnější. Tento nepoměr způsobuje výrazný nárůst cen energií. Ale nejsou to dopady jen cenové. Jsou to dopady zejména do životního prostředí, jako je například skleníkový efekt a znečištění životního prostředí jak při těžbě, tak při spalování. Proto každá úspora je prospěšná pro ochranu životního prostředí. Toto platí jak pro novostavby, tak i pro stavby realizované v dřívější době. Nutno však současně zvážit pořizovací náklady, energetickou náročnost výroby a životnost stavebních materiálů použitých při zateplování. Je tedy nutné změnit styl myšlení a zaměřit se na co největší úspory energií.

Norma *ČSN 73 0540 – 2* [7], stanovuje tepelně technické požadavky pro navrhování a ověřování budov s požadovaným stavem vnitřního prostředí, které podle stavebního zákona zajišťují hospodárné splnění základního požadavku na tepelnou ochranu a úsporu energie. Tyto požadavky vyplývají ze Stavebního zákona č. *183/2006 Sb.* [8] a vyhlášky MMR č. *137/1998 Sb.* [8]. O obecných technických požadavcích na výstavbu a ze zákona č. *406/2006 Sb.* [8] O hospodaření s energií. Platí to pro nové budovy, stavební úpravy, udržovací práce, změny v užívání budov a jiné změny dokončených budov. Norma neplatí pro budovy převážně velkoplošně otevřené, nafukovací haly, stany, mobilní buňky, skleníky, stájové objekty, chladírny a pro stavby, kde není požadován stav vnitřního prostředí. Pro budovy památkově chráněné nebo stávající budovy uvnitř památkových rezervací, anebo pro budovy postižené živelnými katastrofami platí norma přiměřeně možností tak, aby nedocházelo k poruchám a vadám při jejich užívání. [6]

Obor tepelné ochrany budov, stavební tepelná technika, v sobě zahrnuje řešení problematiky v rozsahu působnosti základního požadavku na hygienu, ochranu zdraví a životního prostředí. Dále pak základního požadavku na úsporu energie a tepelné ochrany prvotně definované ve Směrnici Rady 89/106/EHS pro stavební výrobky a následně převzaté do českých právních předpisů např. nařízení vlády č. 190/2002 Sb. [9] stanovující technické požadavky na stavební výrobky označované CE, nařízení vlády č. 163/2002 Sb. [9] ve znění nařízení vlády č. 312/2005 Sb. [9] stanovující technické požadavky na stavební výrobky, do stavebního zákona a dalších technických předpisů a technických norem. Základním požadavkům je třeba vyhovět a zajistit je řadou vzájemně souvisejících opatření a technických řešení, které se týkají zejména stanovení a ověřování vlastností výrobků a sestav, ukazatelů užitečných vlastností, dále pak stanovení a ověřování vhodnosti výrobků pro určené užití ve stavbě, projektování a návrhu stavby, provedení stavby a potřebné údržby stavby. Základní požadavek na hygienu, ochrana zdraví a životního prostředí se interpretuje tak, že stavba musí být navržena a zároveň postavena takovým způsobem, aby neohrožovala hygienu nebo zdraví lidí užívajících obytný prostor nebo sousedů, především v důsledku výskytu vlhkosti ve stavebních konstrukcích nebo při povrchích uvnitř stavby. Požadavek na úsporu energie a tepelnou ochranu, je vyložen tak, že stavba musí být v průběhu užívání energeticky efektivní, a to se zřetelem na klimatické podmínky a lokality zamýšlené realizace. Cílem návrhu budovy musí být taková technická řešení, aby v celoročním průběhu budova splňovala v rozsahu uvedených základních požadavků technické požadavky v obytném prostoru na tepelnou pohodu prostředí, tepelnou pohodu pracovního prostředí, pěstování rostlin, chovu zvířat, nízkou energetickou náročnost budovy při provozu, zajištění životnosti stavebních konstrukcí a dostatečnou prevenci vzniku poruch tepelně-technických a hygienických. V dnešní době dostatečně vyhovujícím materiálem jsou například pálené zdící prvky, které svými vlastnostmi zajišťují dostatečnou stabilitu, soudržnost stavby a požární bezpečnost. [9]

Požadavky pro budovy pozemních staveb se nyní rozlišují podle převažující vnitřní teploty. Za budovy s převažující vnitřní teplotou  $Q_{im} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  se považují všechny obytné a občanské budovy s dlouhodobým pobytem. Dále se uvažuje



s návrhovou relativní vlhkostí vnitřního vzduchu  $\varphi_i = 60 \%$ , kromě prostorů s vlhkými a mokřými procesy. [9]

Technické požadavky zohledňují jednoduchým způsobem tepelnou setrvačnost konstrukcí. Lze je rozdělit na lehké konstrukce s plošnou hmotností do  $100 \text{ kg/m}^2$  a těžké konstrukce s plošnou hmotností nad  $100 \text{ kg/m}^2$ . [9]

*Tabulka 1 - Energetická náročnost budov [6]*

Domy běžné v 70. letech	Současná stavba	Nízkoenergetický dům	Pasivní dům	Nulový dům
<b>Charakteristika</b>				
Topná zastaralá soustava, tepelný zdroj s velkým množstvím emisí, výměna vzduchu okny, nezateplené fasádní konstrukce, velké přetápění obytných prostorů	Vytápění objektu pomocí plynového nebo elektrického kotle, výměna vzduchu okny, tepelně-technické konstrukce vázané na požadavcích norem	Hlavní zdroj tepla je tepelné čerpadlo, dostatečně zateplená konstrukce, řízené větrání, především využití obnovitelných zdrojů	Velmi dobré tepelně-technické vlastnosti konstrukcí, teplovzdušné větrání pouze s rekuperací	Podobné vlastnosti jako pasivní dům obohacený o fotovoltaické a solární panely, které jsou využity jako zdroj energie pro objekt a jako dodávka energie do sítí
<b>Potřeba tepla pro vytápění kWh/m<sup>2</sup>a</b>				
Nad 200	80 - 140	Méně než 50	Méně než 15	Méně než 5

### 3.2 Termíny a jejich praktická interpretace

Terminologie v oblasti stavební tepelné techniky stanoví ČSN 73 0540 - 2 [10]. Norma vymezuje termíny užívané v oboru stavební tepelné techniky, definice veličin, jejich značky a jednotky popisující šíření tepla, vlhkosti a vzduchu stavebními materiály a konstrukcemi. Dále popisuje veličiny charakterizující vnitřní a venkovní prostředí a další veličiny používané v ČSN 73 0540 - 2 až 4 [7, 11, 12]. Norma sjednocuje a zpřesňuje termíny a definice užívané v normách EN, popř. EN ISO v oboru stavební tepelné techniky.[6]

## 3.2.1 Tepelné vlastnosti materiálů

### 3.2.1.4 Součinitel tepelné vodivosti

Vyjadřuje schopnost vrstvy materiálu vést teplo. Hodnota součinitele tepelné vodivosti udává množství tepla, které proudí homogenní vrstvou materiálu o tloušťce 1 metr, pokud je rozdíl povrchových teplot vrstev materiálu 1 K. Značení součinitele se provádí pomocí charakteristického symbolu  $\lambda$  a jednotky jsou udávány ve  $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ . Součinitel tepelné vodivosti je základní vlastností stavebních materiálů a výrobků. Součinitel je závislý především na objemové hmotnosti a vlhkosti. U pálených a silikátových materiálů obvykle platí, že se zvyšující se vlhkostí a objemovou hmotností v suchém stavu se zvyšuje hodnota součinitele tepelné vodivosti. Při zvyšující se vlhkosti cihelného střeptu je do objemové hmotnosti cca 1 600  $kg/m^3$  stav takový, že součinitel tepelné vodivosti mírně klesá s objemovou hmotností cihelného střeptu. Od uvedené hodnoty objemové hmotnosti, která byla označována za hranici lehčeného střeptu, stoupá se směrnici zvyšující se stoupajícím obsahem vlhkosti cihelného střeptu. Pro představu a porovnání tepelné vodivosti běžných stavebních materiálů spolu s tepelnou vodivostí zdiva z různých druhů zdicích prvků slouží níže uvedená tabulka. [6]

*Tabulka 2 - Návrhové hodnoty součinitele tepelné vodivosti vybraných materiálů podle ČSN 73 0540 - [11]*

Materiál, jeho označení	Rozmezí objemové hmotnosti v suchém stavu v $kg \cdot m^{-3}$	Rozmezí součinitele tepelné vodivosti $\lambda_u$ ve $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
Pěnový polystyren - EPS	15-35	0,039-0,044
Výrobky z minerální vlny - MW	50-150	0,041-0,049
Vápenocementová omítka - MVC	1600	0,88
Perlitová omítka	250-500	0,10-0,18
Měkké dřevo kolmo k vláknům	400	0,18

### 3.2.1.5 Ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti

Značení součinitele se provádí pomocí charakteristického symbolu  $\lambda_{ev}$  a jednotky jsou udávány ve  $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ . Ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti představuje schopnost vrstvy o dané tloušťce, která se sestavuje z různých materiálů popř. vzduchových vrstev rovnoběžně sestavených s tepelným tokem šířit teplo. Udává tepelnou vodivost nehomogenní vrstvy o stejné tloušťce, která

se může skládat z různých druhů materiálů ve směru teplotního spádu. Ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti se stanovuje zkouškou nebo výpočtem a vztahuje se k vlastnostem zdiva bez omítek včetně jeho tloušťky, uspořádání zdiva, geometrickým parametrům zdicích prvků apod. Hodnoty ekvivalentní slouží k rychlému porovnání účinnosti tepelně-izolační schopnosti jednotlivých vrstev a slouží pro další výpočty jako vstupní hodnoty. V případě výpočtu ekvivalentního součinitele tepelné vodivosti zdiva např. z naměřených hodnot tepelného odporu musíme dbát na to, zda bylo zdivo měřeno s omítkami nebo bez omítek. Z naměřené hodnoty tepelného odporu  $R$  zdiva bez omítek o tloušťce  $d$  v metrech, se ekvivalentní hodnota součinitele tepelné vodivosti  $\lambda_{ev}$  stanoví ze vztahu, [6]

$$\lambda_{ev} = d / R. \quad (1)$$

*Tabulka 3 - Použité materiály na budově ZŠ*

Vrstva stavební konstrukce, zdivo	Objemová hmotnost v suchém stavu v kg/m <sup>3</sup>	Ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti $\lambda_{ev,u}$ ve W/mK [11]
Zdivo z plných cihem CP 290x140x65 mm	1750	0,82
Zdivo z příčně děrovaných pálených prvků CD TÝN I 290x190x215 mm, tloušťka zdiva 290 mm	1350	0,84
Zdivo z příčně děrovaných tvarovek CD INA-A 365x245x140 mm, tloušťka zdiva 365 mm	1000	0,36
Zdivo z cihel CDm 240x115x113, tloušťka zdiva 115 mm	1450	0,65

### 3.2.1.6 Tepelný odpor

Veličina znázorňující tepelný odpor vrstvy se označuje symbolem  $R$  a udává se v jednotkách  $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$ . Představuje tepelně-izolační vlastnost vrstvy materiálu, zdiva konstrukce nebo různorodé vrstvy, dané tloušťky. Je-li známa hodnota součinitele tepelné vodivosti vrstvy materiálu  $\lambda$ , nebo její ekvivalentní hodnota  $\lambda_{ev}$ , a povrchy vrstev ve směru tepelného toku kolmé a jsou navzájem rovnoběžné,

je tepelný odpor dán podílem tloušťky vrstvy a součinitele tepelné vodivosti nebo její ekvivalentní hodnoty. Tepelné odpory jednotlivých vrstev konstrukce nebo zdiva se navzájem sčítají. [6]

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (2)$$

### 3.2.1.7 Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla se značí symbolem  $U$ . Jeho hodnota je udávána ve  $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$  a stanovuje celkovou tepelnou výměnu v ustáleném stavu mezi vnitřním a vnějším prostředím vzájemně oddělenými stavební konstrukcí nebo zdivem s tepelným odporem  $R$ . Součinitel prostupu tepla zahrnuje vliv všech tepelných mostů včetně vlivu prostupujících kotev a hmoždinek, které jsou součástí konstrukce nebo zdiva. Součinitel prostupu tepla udává množství tepla ve wattech, které prostupuje plochou  $1 \text{ m}^2$  konstrukce při rozdílu teploty vnějšího a vnitřního prostředí o  $1 \text{ K}$ . Jde tedy o jednotkovou tepelnou ztrátu prostupem tepla, která je vztažena na plochu  $1 \text{ m}^2$  dané stavební konstrukce nebo zdiva a rozdílu teplot vnitřního a vnějšího prostředí  $1 \text{ K}$ , které konstrukce odděluje. Konstrukce stavebního charakteru, včetně výplní otvorů, klimatizovaných nebo vytápěných objektů musí mít v prostorech nebo místnostech vzduch uvnitř s relativní vlhkostí  $\varphi_i \leq 60 \%$ , součinitel prostupu tepla  $U$ , který se udává ve  $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$  takový, aby byla splněna podmínka součinitele:

$$U \leq U_N$$

kde  $U_N$  je požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla, ve  $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ . Splnění podmínky vztahu pro doporučenou hodnotu  $U_{\text{rec},20}$  pro energeticky úsporné budovy je vhodné. Doporučená a požadovaná hodnota  $U_{\text{rec},20}$  se stanovuje především pro objekty, u kterých převažuje návrhová vnitřní teplota  $\theta_{im}$ . Vnitřní teplota představuje hodnotu  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Převažující návrhová vnitřní teplota  $\theta_{im}$  odpovídá návrhové vnitřní teplotě  $\varphi_i$  většiny místností a prostorů v objektu. Budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou  $\theta_{im}$ , se řadí všechny obytné budovy, občanské budovy s převážně dlouhodobým pobytem lidí jako jsou například budovy administrativní, školské, veřejné správní, ubytovací, stravovací, většina

zdravotnických a jiné. Jinými budovami jsou myšleny budovy, u kterých bude převažovat vypočítaná návrhová vnitřní teplota v rozmezí od 18 °C do 24 °C. [6]

**Tabulka 4 -** Tabulka doporučených a požadovaných hodnot součinitele prostupu tepla  $U_n$ , pro budovy a objekty s převažující vnitřní návrhovou teplotou  $\theta_{in,20}$  °C. [7]

Požadavky vybrané konstrukce z ČSN 73 0540 - 2 [7], týkajících se svislých zděných konstrukcí	Součinitel prostupu tepla U (W / m <sup>2</sup> K <sup>1</sup> )	
	Požadované hodnoty $U_{n,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$
Stěna zděná vnější	0,38	0,25
Strop a stěna vnější z vytápěného prostoru k venkovnímu prostředí	0,75	0,5

### 3.2.1.8 Teplotní faktor vnitřního povrchu

Teplotní faktor vnitřního povrchu má označení  $f_{Rsi}$  a je to bezrozměrné číslo. Slouží k udávání poměrné teploty vnitřního povrchu. Výhodou tohoto teplotního faktoru je, že se může velmi rychle a jednoduše spočítat nebo přepočítat povrchová teplota při různých teplotních spádech pro dané vnější a vnitřní teploty. Známe-li vnější a vnitřní teplotu prostředí  $\theta_e$  a  $\theta_{ai}$  a teplotní faktor, můžeme použít následovný vztah pro vnitřní teplotu povrchu.

$$\theta_{si} = \theta_{ai} - (1 - f_{Rsi}) \cdot (\theta_{ai} - \theta_e) \quad (3)$$

Jelikož známe vnitřní povrchovou teplotu konstrukce, můžeme výpočet teplotního faktoru vnitřního povrchu uvažovat následovně. Jednotlivé veličiny obsažené ve vzorci jsou vypsány níže spolu s jejich hodnotami.

$$f_{Rsi} = 1 - (\theta_{ai} - \theta_{si}) / (\theta_{ai} - \theta_e) \quad (4)$$

návrhová teplota vnitřního vzduchu ve °C, stanovená pro budovu nebo její ucelenou část pro požadované užívání podle ČSN 73 0540 - 3 [11].  $\theta_{ai}$

návrhová vnější teplota podle ČSN 73 0540 – 3 [11] ve °C, která se stanoví jako

návrhová teplota prostředí přilehlého k vnější straně konstrukce  $\theta_e$

Vnitřní povrchová teplota konstrukce  $\theta_{si}$

Teplotní faktor vnitřního povrchu  $f_{Rsi}$

Teplotní faktor vnitřního povrchu je dán vztahem  $f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N}$ , kde  $f_{Rsi}$  představuje teplotní faktor vnitřního povrchu a  $f_{Rsi,N}$  představuje hodnotu nejnižšího teplotního požadovaného faktoru vnitřního povrchu, který je dán výpočtem,

$$f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} + \Delta f_{Rsi} \quad (5)$$

$$f_{Rsi,cr} = 1 - \frac{9,12 + \theta_{ai}/12,38}{\theta_{ai} - \theta_e} \quad (6)$$

pro výplně otvorů při relativní vlhkosti vnitřního vzduchu  $\varphi_i \leq 50 \%$  nebo

$$f_{Rsi,cr} = 1 - \frac{6,27 + \theta_{ai}/18,02}{\theta_{ai} - \theta_e} \quad (7)$$

pro ostatní konstrukce při relativní vlhkosti vnitřního vzduchu  $\varphi_i \leq 50 \%$ . [14]

### 3.3 Posouzení stávajících konstrukcí

#### 3.3.1 Typy zateplovacích systémů

Lze zvolit různé způsoby zateplování objektu. V následujícím textu jsem popsal a zhodnotil nejběžnější typy zateplovacích systémů, které se v dnešní době používají na budovy s občanskou vybaveností. Po důkladném posouzení vybraných částí objektu dojde následně, pokud bude potřeba, k opatření a ochraně konstrukcí z tepelně izolačního hlediska. Následně vybereme vhodný druh zateplovacího systému a dále tepelně – technický návrh zateplení objektu posoudíme programem *TEPLO EDU 2014* [33]. Veškeré změny budou znázorněny ve výkresové části práce.

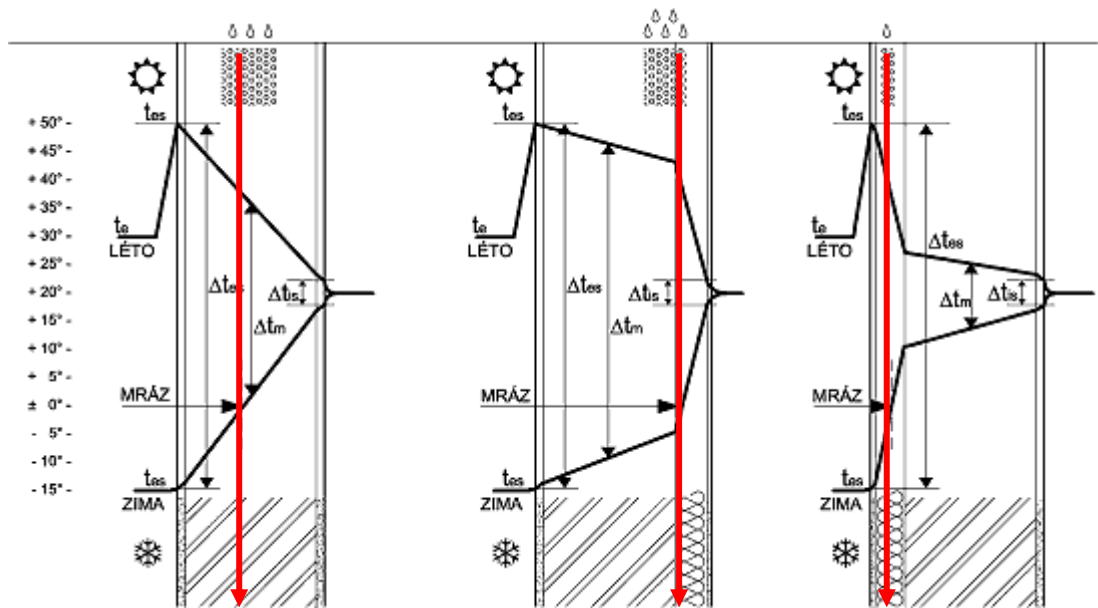
Kontaktní zateplovací systémy patří mezi nejlevnější a nejrozšířenější způsoby zateplování objektů. Jedná se o konstrukci bez vzduchové mezery, kde je izolace nalepena a ukotvena přímo na zdi. Na vrstvě tepelné izolace jsou další ochranné vrstvy zakončené vnější povrchovou úpravou. Nejčastěji se používají výrobky z polystyrénových desek nebo minerálních vláken. Výhodou systému je celistvé zateplení pláště budovy v celé ploše bez rizika vzniku tepelných mostů, zlepšení akumulacních vlastností stěn, snadná údržba obvodového pláště, nenáročný technologický postup výstavby. Nevýhodou tohoto systému je vysoce kladený důraz na kvalitní provedení po celou dobu stavby, menší mechanická odolnost, vyšší difúzní odpor.

Bezkontaktní zateplovací systémy se dělí na montované, zavěšené a provětrávané. Charakteristickým znakem bezkontaktního fasádního systému je vzduchová mezera mezi předsazenou vrstvou a tepelnou izolací připevněnou na obvodovou stěnu. Díky tomu vzniká provětrávaný prostor, který přirozeně odvádí vlhkost z konstrukce budovy. Bezkontaktní zateplovací fasády jsou vhodné zejména jako dodatečné zateplení budov s velkou vnitřní vlhkostí nebo pro objekty u kterých je fasáda obložena deskovým materiálem. Tepelná izolace u bezkontaktních zateplovacích systémů se nejčastěji používají výrobky z polyuretanu, ovčí vlny nebo celulózy. Na obklady mohou být použity desky dřevotřískové, kovové, betonové nebo keramické. Celý bezkontaktní systém fasády je zejména v detailech koutů a osazení oken technicky a časově náročnější než u kontaktního systému. Cenu ovlivňuje hlavně typ použitého obkladového materiálu a způsob ukotvení desek na nosnou kostru.

Kontaktní zateplovací systémy vnitřní se provádějí jen zřídka, kdy nám není povoleno narušovat vnější fasádu objektu jako je tomu u tohoto objektu. Na budově základní školy je vystavěná členitá historická fasáda, kterou by bylo nevhodné dodatečně zateplovat z architektonického hlediska. Následky vnitřního zateplení se projevují v zimním období, kde se posouvají nízké teploty k vnitřnímu líci konstrukce a v letním období vyšší teplota. Například nulová teplota se přenáší ze střední části konstrukce až na rozhraní mezi původní konstrukcí a vnitřního zateplení. Dochází k výraznému podchlazení původní konstrukce. V letním období dochází obdobně k přehřívání celé původní konstrukce. Kondenzace vodní páry ze vzduchu na vnitřním povrchu konstrukce je důsledkem snížení povrchových teplot pod teplotu rosného bodu v zimním období. Dalším následkem je bujení a vznik plísní na vnitřním povrchu a následně postupné gradace poruchy.

Velmi často se doporučuje řešení v místě vzniku plísní při vnitřním povrchu konstrukce dodatečné doplnění vnitřní odvětrávané izolační předstěny. Tato doporučení jsou nevhodná, protože zabránění vzniku nebo odstranění plísní nezabráníme, akorát plísním umožníme se dále skrytě vyvíjet. Měli bychom mít na paměti, pokud budeme dělat dodatečnou vnitřní předstěnu, zmenšujeme si tím obytný prostor a mohlo by to mít negativní vliv na naše pohodlí domova a pocit

stísněnosti. Následující obrázek nám nepatrně přiblíží průběh teplot v konstrukci kontaktních zateplovacích systému vnitřních, vnějších a bez zateplení.



*Obrázek 5: Červeně znázorněná místa kondenzace vodní páry v konstrukci (nezateplené, kontaktní vnitřní zateplení, kontaktní vnější zateplení) [13]*

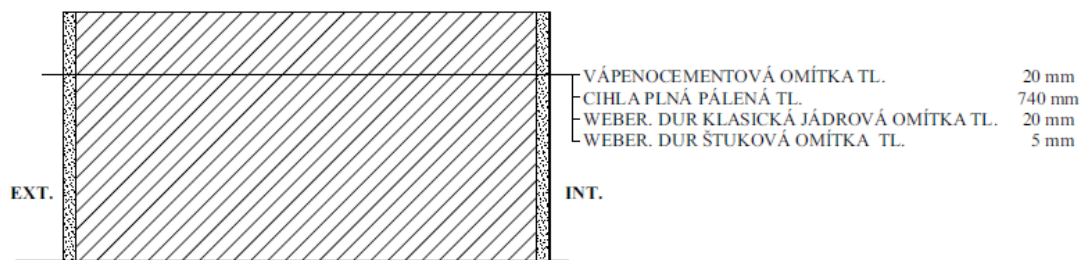
### 3.3.2 Obvodová nosná stěna 1.NP – východní

Posouzení stávajících konstrukcí z hlediska součinitele prostupu tepla  $U$ , tepelného odporu konstrukce  $R$ , teplotního faktoru vnitřního povrchu a množství zkonduované a vypařitelné vodní páry. Veličiny budou vyhodnoceny programem *TEPLO 2014 EDU* [33] se skutečnými hodnotami jednotlivých vrstev materiálů převzaté z uvedeného katalogu programu. Pohled na řešenou obvodovou stěnu můžeme vidět na obrázku níže a její řez na další stránce.





**Obrázek 6** – Pohled na východní část Základní školy



**Obrázek 7** - Řez skladby obvodové stěny východní části budovy

Hodnota součinitele prostupu tepla u stávající obvodové stěny historické části objektu po zadání všech okrajových podmínek potřebných pro správný výpočet programem, byla vypočítána výsledná hodnota  $U = 0,867 \text{ W/m}^2\text{K}$  a tepelný odpor konstrukce  $R = 0,984 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Z hlediska doporučených a požadovaných hodnot součinitele prostupu tepla  $U_N$ , která je určena pro objekty a budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou  $\theta_{im} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  je doporučená hodnota pro vnější stěny  $U_{rec,20} = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Protože hodnota součinitele nesplňuje daný požadavek, měli bychom učinit vhodné opatření k její redukci.

### 3.3.2.1 Komplexní posouzení stávající skladby historické části obvodové nosné konstrukce z hlediska šíření tepla a vodní páry

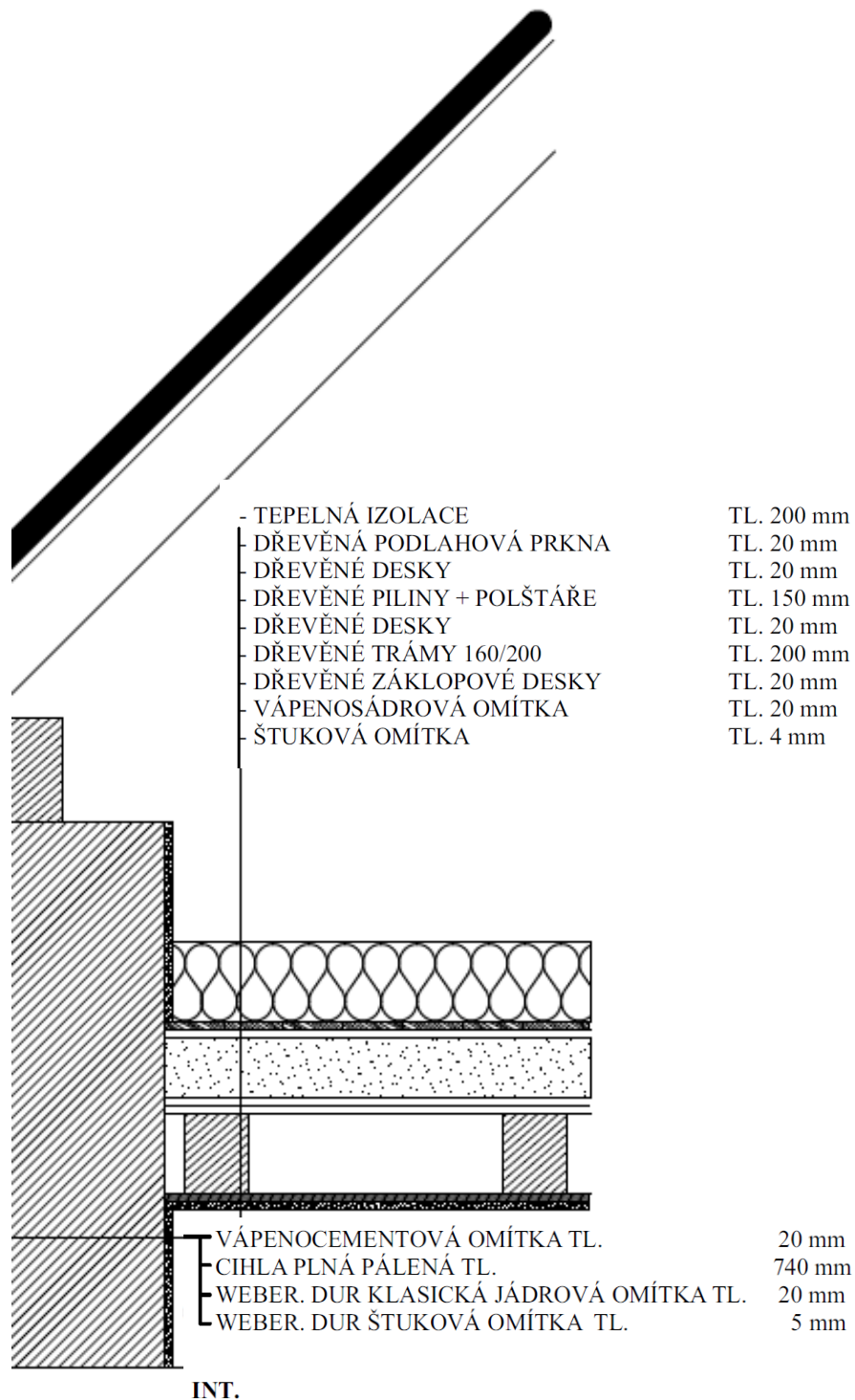
Posouzení bylo vyhodnoceno programem *TEPLO EDU 2014* [33] a celé vyhodnocení včetně hodnot je k dispozici v příloze č. 1. - *Posouzení obvodové stěny historické části*, se znázorněním posuzované části je k dispozici ve výkresu č.1. – *Půdorys 1.NP*.

### 3.3.3 Střešní konstrukce historické části

Stejně jako u obvodové stěny proběhne posouzení stávající střešní konstrukce historické části z hlediska součinitele prostupu tepla  $U$ , tepelného odporu konstrukce  $R$ , teplotního faktoru vnitřního povrchu a množství zkonduzenované a vypařitelné vodní páry. Veličiny budou vyhodnoceny programem *TEPLO 2014 EDU* [33] se skutečnými hodnotami jednotlivých vrstev materiálů převzaté z uvedeného katalogu programu. Fotografie střešní konstrukce vidíme níže.



*Obrázek 8 – Podkroví historické části budovy*



**Obrázek 9 - Skladba střešní konstrukce historické části včetně skladby konstrukce**

Hodnota součinitel prostupu tepla střešní konstrukce historické části objektu po zadání všech okrajových podmínek potřebných pro správný výpočet programem, byla vypočítaná výsledná hodnota  $U = 0,166 \text{ W/m}^2\text{K}$  a tepelný odpor konstrukce  $R = 5,898 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Při výpočtu byla započítaná také korekce rozhraní materiálů

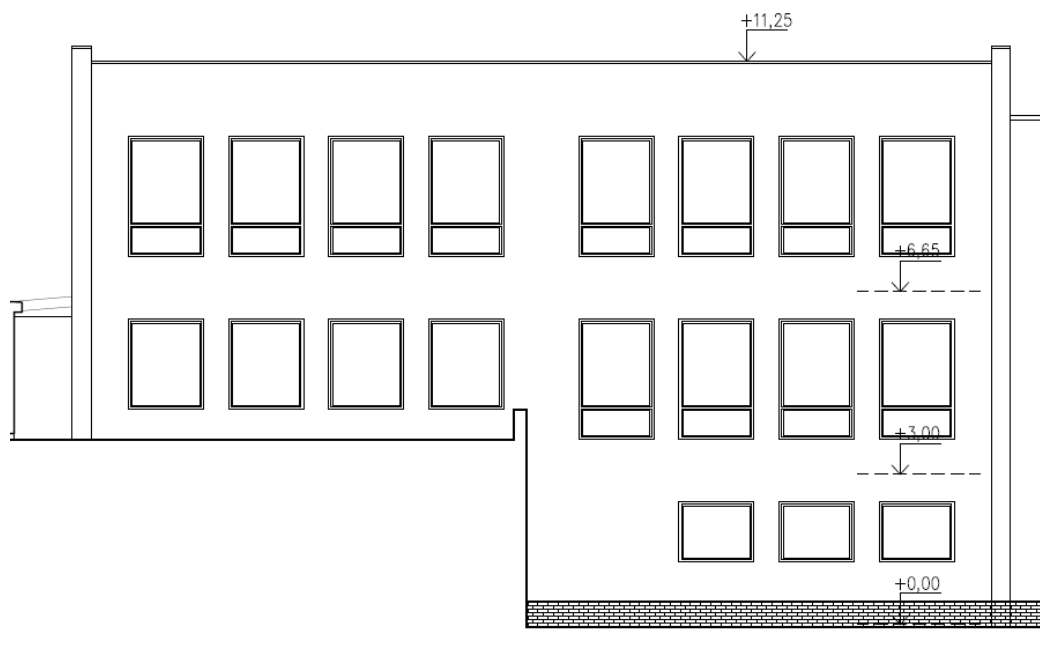
s hodnotou  $\Delta U = 0,010 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Z hlediska doporučených a požadovaných hodnot součinitele prostupu tepla  $U_{rec,20}$ , dle ČSN 73 0540 – 2 [7], která je určena pro objekty a budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou  $\theta_{im} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  je doporučená hodnota pro stropní konstrukce na rozhraní vytápěného a venkovního či nevytápěného prostoru  $U_{rec,20} = 0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Protože hodnota součinitele splňuje daný požadavek, skladba střešní konstrukce vyhovuje dnešním normativním podmínkám a nemusíme dělat žádná zásadní opatření nebo zásahy do střešní skladby.

### **3.3.3.1 Komplexní posouzení stávající skladby historické části střešní konstrukce z hlediska šíření tepla a vodní páry**

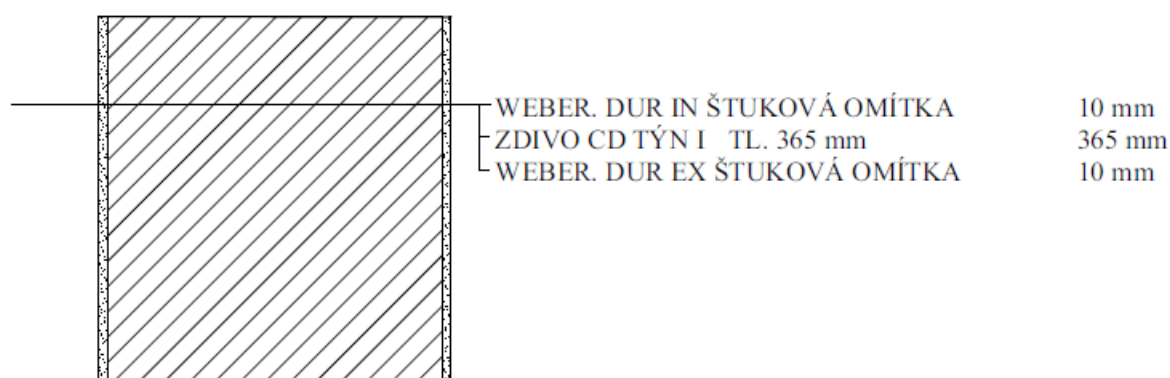
Posouzení bylo vyhodnoceno programem *TEPLO EDU 2014* [33] a celé vyhodnocení včetně hodnot je k dispozici v příloze č. 2. - *Posouzení střešní konstrukce historické části* se znázorněním posuzované části je k dispozici ve výkresu č. 2. – *Řez A – A'*.

### **3.3.4 Obvodová nosná stěna 2.NP – jižní**

Posouzení stávajících konstrukcí z hlediska součinitele prostupu tepla  $U$ , tepelného odporu konstrukce  $R$ , teplotního faktoru vnitřního povrchu a množství zkondenzované a vypařitelné vodní páry. Fyzikální veličiny budou vyhodnoceny programem *TEPLO 2014 EDU* [33] s reálnými hodnotami a velikostmi jednotlivých vrstev materiálů převzaté z uvedeného katalogu programu. Nosnou obvodovou stěnu orientovanou na jižní světovou stranu můžeme vidět na obrázku na další stránce.



**Obrázek 10 -** Obvodová nosná zeď přistavované části orientovaná na Jih



**Obrázek 11-** Skladba obvodové stávající nosné konstrukce orientované na jih

Hodnota součinitele prostupu tepla u stávající obvodové stěny přistavované části objektu po zadání všech okrajových podmínek potřebných pro správný výpočet programem, byla vypočítána výsledná hodnota  $U = 0,827 \text{ W/m}^2\text{K}$  a tepelný odpor konstrukce  $R = 1,040 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Z hlediska doporučených hodnot součinitele prostupu tepla  $U_{rec,20}$ , která je určena pro objekty a budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou  $\theta_{im} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  je doporučená hodnota pro vnější stěny  $U_{rec,20} = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Vypočtená hodnota součinitele prostupu tepla značně nesplňuje daný požadavek, musíme učinit vhodná opatření k její redukci. Doporučuji provést dodatečné zateplení obvodové stěny, abychom snížili součinitel prostupu tepla na doporučenou hodnotu dle normy ČSN 73 0540 – 2 [7].

### 3.3.4.1 Komplexní posouzení stávající skladby přistavěné části budovy z hlediska šíření tepla a vodní páry

Posouzení bylo vyhodnoceno programem *TEPLO EDU 2014* [33] a celé vyhodnocení včetně hodnot je k dispozici v příloze č. 3. - *Posouzení obvodové stěny přistavované části* se znázorněním posuzované části je k dispozici ve výkresu č. 3. – *Půdorys 3. NP*.

### 3.3.5 Střešní konstrukce přistavované části objektu

Střešní konstrukce v přistavované části nemohla být posuzována, jelikož došlo ke ztrátě části projektové dokumentace, kde byla popsána skladba střešní konstrukce včetně tloušťky jednotlivých vrstev materiálů v konstrukci. Podle dostupné projektové dokumentace můžeme vidět, že konstrukci tvoří dvouplášťová plochá střecha. Podle dostupných informací nosnou část střešní konstrukce tvoří trámečkový strop s Miako vložkami, tepelně-izolační vrstvu tvoří 100 mm EPS polystyrenu a na střešní krytinu byly použity asfaltové pásy. Bohužel ostatní vrstvy ve skladbě střešní konstrukce jsou neznámé. Protože není zcela adekvátní vymýšlet skladbu konstrukce a dále ji posuzovat programem *TEPLO EDU 2014* [33], rozhodl jsem se částečně vyhodnotit skladbu střešní konstrukce z pouze z dostupných známých materiálů v konstrukci z hlediska doporučených hodnot součinitele prostupu tepla  $U_{rec,20} = 0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$  na rozhraní vytápěného a venkovního či nevytápěného prostoru.

Po následném posouzení a vyhodnocení programem *TEPLO EDU 2014* [33] skladba konstrukce splnila požadavek součinitele prostupu tepla hodnotou  $U = 0,325 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Protože hodnota součinitele splňuje daný normou *ČSN 73 0540 – 2* [7], skladba střešní konstrukce vyhovuje dnešním normativním podmínkám a nemusíme dělat žádné zásadní opatření z hlediska tepelné ochrany budovy.

## 3.4 Návrhové opatření stávajících konstrukcí

### 3.4.1 Obvodová nosná stěna 1.NP – východní

Východní obvodová nosná stěna je vystavěná z cihel plných pálených tloušťky 750 mm. Hodnota součinitele prostupu tepla byla vyhodnocena programem *TEPLO EDU 2014* [33] na hodnotu  $U = 0,867 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla  $U_{rec, 20}$ , která je určena pro objekty a budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou  $\theta_{im} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  je hodnota součinitele pro vnější stěny  $U_N = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ , dle ČSN 73 0540 – 2 [7]. Na základě vypočtených hodnot skladba konstrukce nevyhoví požadavkům stanovených normou a měli bychom provést zateplení obvodové stěnové konstrukce.

Budova byla vystavěna v roce 1906. Z historického pohledu a z hlediska členitosti rastru fasády objektu, není zcela vhodné provádět vnější zateplovací systém. Nevýhodou u tohoto typu zateplení je nutnost vyrovnání podkladu. Fasádu obvodové zdi díky značné členitosti bychom museli pracně odsekát a vyrovnat podkladním lepidlem. Následně bychom provedli vnější zateplovací systém z materiálů firmy Isover. Tento typ zateplení je v našem případě nejdražší, nejvíce pracný a znehodnotili bychom rastr fasády. Vhodnějším zateplením tohoto objektu je použití vnitřního zateplovacího systému. Jako každý systém obsahuje své klady a zápory. Vnitřní zateplení je vhodnější u objektů, kde by bylo pracné ošetření vnějšího podkladu fasády, na který se poté přilepují izolační desky. Jednou z hlavních nevýhod je hromadění kondenzace vodní páry ze vzduchu na vnitřním povrchu konstrukce a to je důsledkem snížení povrchových teplot pod teplotu rosného bodu v zimním období. Další nevýhodou je bujení a vznik plísní na vnitřním povrchu a následně postupné gradace poruchy. V případech malé půdorysné plochy místnosti, dochází ke zmenšení prostoru místnosti a může to mít negativní vliv na uživatele. U základních škol musíme zohlednit ještě vyšší pravděpodobnost mechanického poškození, které by mohly způsobit děti pohybující se v učebně.

Se zohledněním na stáří budovy, členitosti fasády a faktorům vnitřních a vnějších zateplovacích systémů jsem se rozhodl nezateplovat obvodovou nosnou stěnu historické části budovy. Požadavek doporučených hodnot dle normy součinitele prostupu tepla nevyhoví, ale v době výstavby neexistovaly tyto hodnoty.



Nejlepším a zároveň nejjednodušším řešením je ponechat stěnovou konstrukci v původním stavu.

### 3.4.2 Střešní konstrukce historické části

Střešní konstrukce historické části tvoří šikmá střecha s keramickou pálenou krytinou a dřevěný polospalný strop. Skladba stropní konstrukce je uvedena na obrázku 9. Hodnota součinitele prostupu tepla byla vyhodnocena programem TEPLO EDU 2014 na hodnotu  $U = 0,166 \text{ W/m}^2\text{K}$  a tepelný odpor konstrukce  $R = 5,898 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla  $U_{rec,20}$ , dle ČSN 73 0540 – 2 [7], která je určena pro objekty a budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou  $\theta_{im} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  je hodnota součinitele pro konstrukce stropu na rozhraní vnitřního a vnějšího prostředí  $U_{rec,20} = 0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Skladba konstrukce vyhoví požadavkům stanovených normou a nemusíme provádět žádná zásadní opatření, která by měla vliv na stropní konstrukci.

### 3.4.3 Obvodová nosná stěna 2.NP – jižní

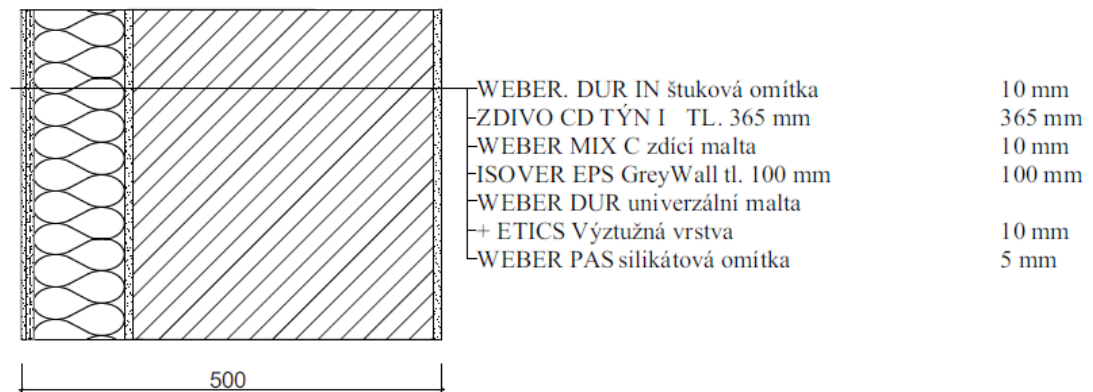
Hodnota součinitele prostupu tepla u stávající obvodové stěny přistavované části objektu po zadání všech okrajových podmínek potřebných pro správný výpočet programem, byla vypočítána výsledná hodnota  $U = 0,827 \text{ W/m}^2\text{K}$  a tepelný odpor konstrukce  $R = 1,040 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla  $U_{rec,20}$ , dle ČSN 73 0540 – 2 [7], která je určena pro objekty a budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou  $\theta_{im} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  je hodnota součinitele pro vnější stěny  $U_{rec,20} = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Tím pádem skladba konstrukce nevyhoví požadavkům stanovených normou a měli bychom provést opatření za účelem zlepšení tepelně – izolačních vlastností obvodového pláště budovy.

Po zvážení kladů a záporů vnitřních a vnějších zateplovacích systémů, jsem se rozhodl pro stěnovou konstrukci přistavované části budovy použít vnější zateplovací systém. Oproti fasádě na historické části zde není žádný významný rastr a podklad pro zateplovací systém je téměř rovný. Při výběru výrobce tepelné izolace jsem zvolil desky Isover EPS GreyWall Plus tloušťky 100 mm na terče a kotvy, univerzální stěrku Weber dur, výztužnou vrstvu Vertex R 117 a silikátovou omítku Weber pas. Tuto navrženou skladbu stěny jsem posoudil programem TEPLO EDU 2014 [33]. Po zadání jednotlivých vrstev ve skladbě obvodové stěny a okrajových podmínek daných polohou objektu, byla vypočtena hodnota



součinitele prostupu tepla  $U = 0,230 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$  a tepelný odpor konstrukce  $R = 4,180 \text{ m}^2\text{K} / \text{W}$ .

Návrhová úprava skladby konstrukce stěny přistavované části vyhovuje daným požadavkům stanovených normou. Zvolené řešení je takové, aby stěna vyhověla a zároveň bylo finančně přijatelné řešení zateplovacího systému.



**Obrázek 12** - Skladba obvodové zdi přistavované části

## 4 Akustika

### 4.1 Základní problematika

Zvuk je nedílnou součástí životního prostředí člověka. Sluchem přijímá člověk značný podíl informací o světě. Zvuk je základem řeči, která odlišila člověka od zvířat, a zároveň důležitým poplašným signálem, který varuje před nebezpečím. Ovlivňuje nás, jak pozitivně, tak negativně. Jelikož lidský organismus nemá fyziologickou schopnost a možnost vědomě regulovat intenzitu zvukového signálu, který přijímáme, působí na nás tyto zvuky v plné síle. Ztěžují verbální i neverbální komunikaci mezi lidmi, ruší člověka při odpočinku i při práci, negativně ovlivňují vnímání důležitých zvukových signálů. Zvuky vyskytující se v nevhodné době, příliš často a silně, které obtěžují zdraví a jsou rušivé, nežádoucí nebo obtěžující, považujeme za hluk. [15]

Hluk se podílí na výskytu a vzniku nemocí, především cévního, nervového a trávicího ústrojí člověka, který byl v zdravotních studiích provedených u nás i v zahraničí mnohokrát statisticky prokázán. Hluk velmi ovlivňuje chování člověka. Snižuje chápání jednoho člověka k situaci druhého, ochotu pomáhat a schopnost spolupráce. Jelikož nadměrný hluk má nežádoucí a zároveň negativní účinky, je naší prioritou tento nepříjemný zvuk omezit na přijatelnou hodnotu, která bude pro nás dostatečně příjemnou. [15]

Zvuky ovlivňující prostředí na základní škole mohou pocházet z vnitřního nebo vnějšího prostředí. Za vnější můžeme považovat zvuk, který se vytváří mimo budovu. Je to hluk z dopravy, z okolní zástavby a hluk z otevřeného prostranství. U tohoto typu zdroje hluku jsou důležité, pro budovy základní školy, těsnost a kvalita okenních a dveřních otvorů včetně jejich výplní, dále pak prostupy fasádou a obvodová konstrukce budovy včetně střešní konstrukce. Ve vnitřním prostředí jsou zdrojem hluku kotelny, jídelny, kuchyně, učebny s kuchyňskou vybaveností, okolní učebny a mnoho dalších zdrojů zvuku. Ve vnitřním prostředí jsou důležitými faktory ovlivňující hluk v budově dělicí konstrukce, výplně otvorů, tvar místností, materiál povrchu místností a spousta dalších faktorů.

Pro budovy základních škol je důležité, aby prostředí žáků školou povinných bylo pro denní výuku optimální, dobře srozumitelné, ničím nerušené

a mělo dobrý vliv na psychiku a pozitivní vliv ke schopnosti učení a vnímání pedagoga.

## 4.2 Prostorová akustika

Prostorová akustika je jedna z nejobtížnějších disciplín, které patří k vědnímu oboru stavební akustiky a zabývá se řešením tvaru a interiéru prostoru. Metody navrhování tvaru a materiálové charakteristiky stěn posuzované učebny jsou náročné hlediska výpočtového i grafického a zároveň druhotně z hlediska umístění jednotlivých prvků v učebně i architektury. Vstupní hodnoty vycházejí ze základních principů a zákonů klasické fyziky, zahrnující akustiku, geometrická akustika z geometrie a výpočet jednak z fyzikálních vlastností aplikovaných materiálů a jednak z požadavků na zabezpečení akustické pohody ve všech dimenzích. Mezi požadavky patří dobrá srozumitelnost, slyšitelnost a rozptýlenost těchto parametrů v celém posuzovaného prostoru. [16]

### 4.2.1 Definice základních pojmů dle ČSN 73 0525 [17], ČSN 73 0527 [18]

*Uzavřený prostor* je definovaný jako prostor, který je obklopený plochami, jenž vyvozuje akustické vlastnosti místnosti.

*Doba dozvuku  $T$  (s)* představuje časová závislost poklesu hladiny akustického tlaku po vypnutí zdroje zvuku v uzavřeném prostoru o 60 dB.

*Doba optimálního dozvuku ( $T_0$ )* je doporučená hodnota  $T$ , podle které se určuje kritérium kvality poslechu v obsazeném uzavřeném prostoru.

*Zvuková pohltivost* je charakterizována jako schopnost materiálu, látky, hmoty nebo prostředí pohlcovat energie dopadajících zvukových vln. Plocha  $A_i$  ( $m^2$ )  $i$ -tého povrchu konstrukce se vypočte součinem plochy povrchu dané konstrukce  $S_i$  ( $m^2$ ) a bezrozměrného činitele pohltivosti  $\alpha_i$ .

*Celková zvuková pohltivost  $\sum A$  ( $m^2$ )* je plocha místnosti daná součtem zvukové pohltivosti všech ploch ohraničujících místnost, případně též zvukové pohltivosti předmětů a osob, které se v místnosti nacházejí. Pohltivost zvuku nezávisí jen na materiálu obkladu a jeho tloušťce, ale i na tloušťce vzduchové mezery mezi povrchem stěny nebo stropu a obkladem.

*Akustický obklad* je obklad stěn a stropu, sestavený z prvků především pohlcujících, případně i rozptylujících zvuk.

*Činitel zvukové pohltivosti* je podíl akustického výkonu pohlcovaného z dopadajícího výkonu v daných podmínkách dopadu zvukových vln na rozhraní dvou sousedních prostředí.

$$\alpha = \frac{P_{\alpha}}{P_d}, \quad (8)$$

kde  $P_{\alpha}$  (W) představuje výkon pohlcujícího zvuku,

$P_d$  (W) výkon dopadajícího zvuku.

*Srozumitelnost* je poměr v procentech správně zaslechnutých prvků řeči k celkovému počtu vyslovených prvků, jako jsou slabiky, slova nebo věty.

### 4.3 Technické požadavky na základní školy

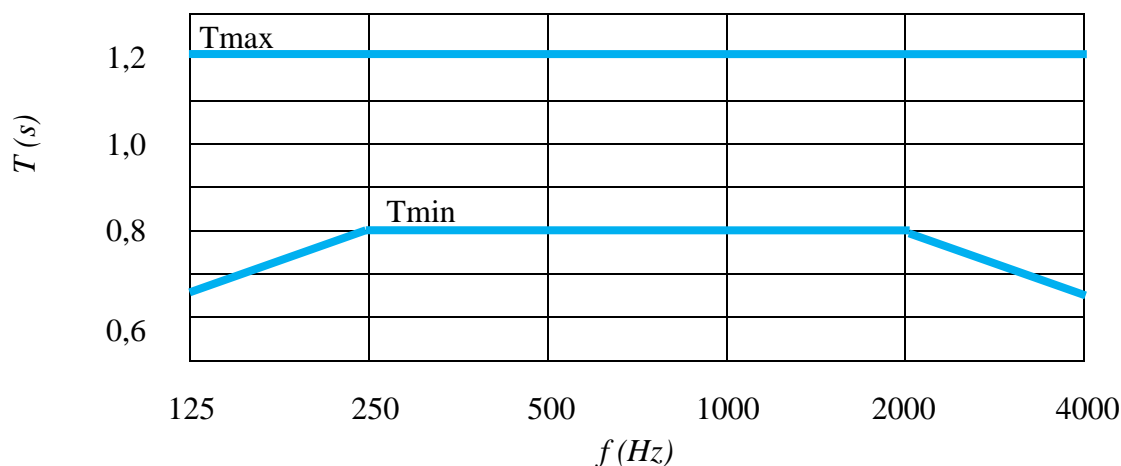
*„V zařízeních pro výchovu a vzdělávání a provozovnách pro výchovu vzdělávání musí být dodrženy normové hodnoty podle příslušné technické normy upravující optimální dobu dozvuku dle ČSN 73 0527 [18].“ [19]*

Požadavky pro akustiku v projektovaném či rekonstruovaném uzavřeném prostoru vychází z účelů, ke kterým má být tento prostor využit.

**Tabulka 5** - Požadavky na prostory ve školách z hlediska doby dozvuku [18]

Typ prostoru	Objem (m <sup>3</sup> )	Doba $T_0$ (s)
Učebna a posluchárna	do 250	0,70

**Obrázek 13** - Přípustné rozmezí dob poměru dozvuku  $T / T_0$  obsazeného prostoru určeného k přednesu řeči v závislosti na středním kmitočtu oktávového pásma [18]



**Tabulka 6 - Požadavky na prostory ve školách z hlediska vážené neprůzvučnosti [18]**

Typ chráněného prostoru školy	požadavky na zvukovou izolaci mezi místnostmi	
	$R_w'$ (dB) - směr	
	vodorovný	svislý
Výukové prostory	47	52

### 4.3.1 Rozměry uzavřeného prostoru

Řešený prostor o objemu menším než  $200 \text{ m}^3$  by se měl svým tvarovým uspořádáním podobat krychli, aby se pokud možno dosáhlo rovnoměrného rozložení vlastních kmitů. Doporučený poměr stran by měl být 1 : 1,05 : 1,2. Řešený uzavřený prostor o objemu naopak větším než  $200 \text{ m}^3$ , které se svým tvarem a rozměry blíží kvádru, je doporučený poměr stran 1 : 1,25 : 1,6 nebo 1 : 1,5 : 2,5, popřípadě 1 : 1,7 : 2,9. Jakýkoliv ze zbývajících rozměrů nesmí být celkovým násobkem zbývajících rozměrů. [17]

### 4.3.2 Stěnová konstrukce

Základní požadavky pro správnou funkci odrazu zvuku stěn jsou takové, aby stěny byly tuhé a hladké, požadavek na plošnou tuhost je nejméně  $20 \text{ kg/m}^2$  v prostorech s hudebním využitím, nejméně  $10 \text{ kg/m}^2$  v přednášejících prostorech musí být jejich rozměry mnohonásobně větší v porovnání s vlnovou délkou těchto vysílaných signálů. [17]

### 4.3.3 Pohled stropní konstrukce

Plocha podhledu stropní konstrukce musí být navržena tak, aby odrazy ze stropní konstrukce napomáhaly rozložit hustotu zvukové energie k vytvoření rovnoměrného roznesení zvuku po ploše poslechu. Účinek stropní konstrukce podhledové plochy je potřeba ověřit především v oblasti nad předpokládanými polohami zdroje zvuku a v místě před zadní stěnou, odkud by se při nevhodném řešení daného návrhu mohla vracet rušivá ozvěna způsobující nežádoucí hluk. [17]

#### **4.3.4 Podlahy**

Tvar podlahy musí být zvolen tak, aby vzhledem k poloze zvukového zdroje byly hlavy posluchačů vystaveny dopadu přímého zvuku od zdroje. V prostorech s velkou poslechovou plochou, kde by při šíření přímého zvuku nad pohlcující plochou, kde se publikum nachází, docházelo k výraznému tlumení zvuku se zvětšováním vzdálenosti od zdroje zvuku, se tento zmíněný nedostatek řeší zvýšením podlahy. [17]

#### **4.3.5 Akustické úpravy povrchů**

Určitá plocha řešeného prostoru nebo místnosti se podílí na vzniku rušivého odrazu zvuku. Tato plocha se může obložit pohlcujícími materiály či konstrukcemi, které mají za úkol potlačit a pohltit nežádoucí zvuk, nebo se mohou opatřit rozptylující tvarovou strukturou ve formě jehlanovitých desek. Plošnou výměru, výběr typů a rozmístění akustického obkladu pohlcující zvuk se určuje na základě výsledků pokusných výpočtů počítačových simulací a doby dozvuku, podle kterých se postupně hledají a zkoumají optimální hodnoty akustických parametrů ve všech pásmových frekvencích. [17]

#### **4.3.6 Provedení a vlastnosti akustických obkladů**

Konstrukce a materiály, které jsou určeny pro pohlcování a zamezení šíření nepříjemného zvuku zpět do prostoru, by měly dosahovat při určité frekvenci jednotlivých kmitočtů hodnoty činitele zvukové pohltivosti takové, aby splňovaly rozmezí hodnot pro určitý typ prostoru dle normy. Vzduchový polštář, jenž tvoří skladbu akustických konstrukcí. Měl by být tvořen pomocí kazetových prvků o rozměrech maximálně 1,2 m x 1,2 m nebo pomocí vertikálních pruhů, které musí být utěsněny ke stěně i pole mezi sebou u kazetových prvků. Akustické obklady, stejně tak jejich provedení, musí vyhovovat požadavkům estetiky, provozu a hygieny. [17]

#### **4.3.7 Metody výpočtu doby dozvuku**

Z hlediska prostorové akustiky je jednou z hlavních vlastností uzavřených prostorů doznívání hladiny akustického tlaku zvuku po vypnutí zdroje zvuku. Dozvuky akustické energie se definuje dobou dozvuku. Hlavním kritériem základní

teorie je doba dozvuku  $T$  (s). Tato doba je především závislá na hodnotě kmitočtů, na objemu posuzovaného uzavřeného prostoru nebo místnosti a na jeho zvukové pohltivosti. Nejčastěji se doba dozvuku zkoumá měřením nebo vypočítává v oktávových nebo třetino - oktávových pásmech. Tyto pásma jsou v kmitočtovém rozsahu od 125 Hz do 4000 Hz. Výpočet doby dozvuku byl odvozen na počátku 20. století ze **Sabine vztahu**:

$$T = 0,163 \frac{V}{A} \text{ (s)} \quad (9)$$

kde  $V$  ( $m^3$ ) představuje objem místnosti,

$A$  ( $m^2$ ) je celková pohltivost místnosti podle vztahu:

$$A = \sum_{i=1}^n (\alpha_i \cdot S_i) \quad (10)$$

kde  $\alpha_i$  (-) je činitel pohltivosti na kmitočtové frekvenci pro  $i$ -tou konstrukci,  $S_i$  ( $m^2$ ) je plocha povrchu  $i$ -té konstrukce.

Vztah pro výpočet doby dozvuku  $T$  (s) podle Sabina platí pro místnosti o objemu do 2 000  $m^3$  a středního činitele zvukové pohltivosti  $\alpha_m \leq 0,2$ .

Na počátku 30. let **Eyring** upravil vztah pro výpočet doby dozvuku. Úpravou vzorce předpokládal postupné nebo – li skokové zmenšování zvukové intenzity v závislosti na čase pro každý odraz:

$$T = 0,163 \frac{V}{\sum S * \alpha_E}, \quad (11)$$

kde  $\alpha_m = \frac{A}{\sum S}$  (-) je střední činitel pohltivosti pro daný kmitočet,

$V$  ( $m^3$ ) je objem místnosti,

$A$  ( $m^2$ ) je celková pohltivost místnosti,

$\sum S$  ( $m^2$ ) je celková plocha povrchů uzavřeného prostoru, "

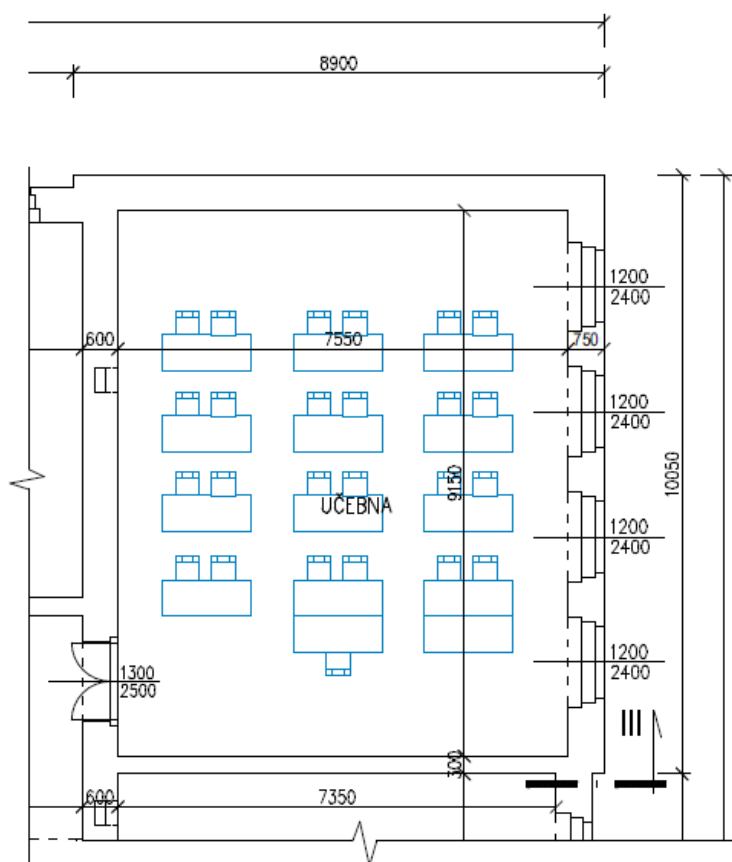
$$\alpha_E = - \ln (1 - \alpha_m) \quad (12)$$

$\alpha_E$  je Eyringův činitel zvukové pohltivosti. [20]

#### 4.4 Výpočet doby dozvuku ve vybrané učebně 3. NP



Obrázek 14 - Posuzovaná učebna



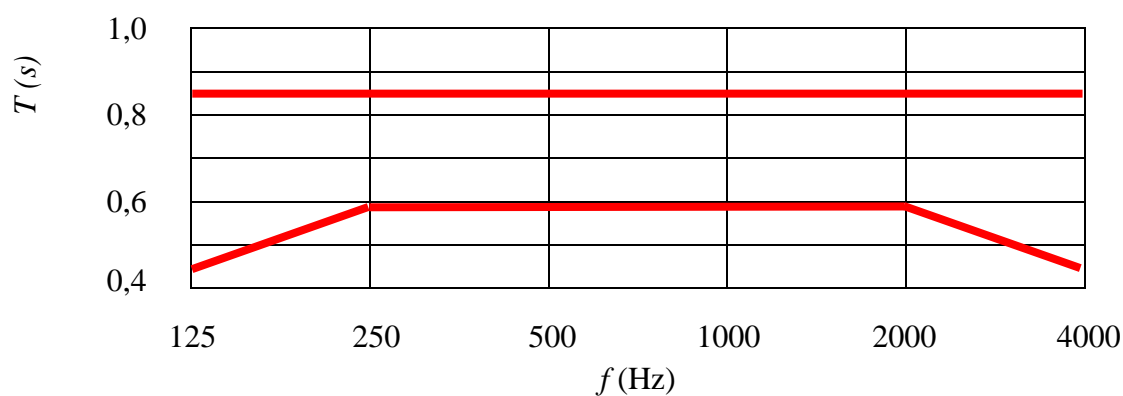
Obrázek 15 - Půdorys posuzované učebnyve 3. NP



#### 4.4.1 Stávající stav učebny

Stávající učebnu tvoří půdorysné rozměry 7,55 m x 9,15 m a světlá výška místnosti 3,90 m. Plnou obsazenost tvoří 24 žáků a jeden třídní učitel. Na základě stávajících použitých materiálu, jejich ploch a velikostí pohltivosti daného materiálu při určité frekvenci, byla vypočítána doba dozvuku pro stávající učebnu. Veškeré použité materiály jsou vypsány v tabulce 7 a 8 včetně jejich ploch. Graf přípustného rozmezí poměru dob dozvuku obsazeného prostoru v závislosti na středním kmitočtu oktávového pásma včetně přepočtu požadované doby dozvuku školní učebny. Hodnoty přepočtů jsou uvedeny pod následujícím grafem.

*Obrázek 16 - Skutečné přípustné rozmezí poměru dob dozvuku obsazeného prostoru. [18]*



$$T_{\max (125 - 4000)} = 0,70 * 1,2 = \underline{\underline{0,84 \text{ s}}}$$

$$T_{\min (250 - 2000)} = 0,70 * 0,8 = \underline{\underline{0,56 \text{ s}}}$$

$$T_{\min (125;4000)} = 0,70 * 0,65 = \underline{\underline{0,455 \text{ s}}}$$

(hodnota doby dozvuku  $T_0 = 0,70$  (s) převzatého z tabulky 5)

*Tabulka 7a - Doba dozvuku učebny 3. NP s frekvencí 125, 250 a 500 Hz*

Typ povrchu	Plocha	Velikost frekvence (Hz)					
		125		250		500	
	S(m <sup>2</sup> )	$\alpha$	S * $\alpha$	$\alpha$	S * $\alpha$	$\alpha$	S * $\alpha$
Zdivo malované hlinkou S	29,45	0,02	0,589	0,02	0,589	0,02	0,589
Zdivo malované hlinkou J	29,45	0,02	0,589	0,02	0,589	0,02	0,589
Zdivo malované hlinkou Z	32,44	0,02	0,649	0,02	0,649	0,02	0,649
Zdivo malované hlinkou V	24,17	0,02	0,483	0,02	0,483	0,02	0,483
Plastová okna	11,52	0,30	3,456	0,20	2,304	0,15	1,728
Dřevěné dveře	3,25	0,14	0,455	0,10	0,325	0,08	0,260
PVC podlaha	56,48	0,02	1,130	0,02	1,130	0,03	1,694
Obsazenost dětí v učebně	12,60	0,10	1,260	0,20	2,520	0,25	3,150
Podhledové stropní konstrukce	69,08	0,02	1,382	0,02	1,382	0,02	1,382
$\Sigma S$ (m <sup>2</sup> )	268,43	$\frac{A}{\Sigma S * \alpha}$	9,992	$\frac{A}{\Sigma S * \alpha}$	9,970	$\frac{A}{\Sigma S * \alpha}$	10,524
Objem místnosti (m <sup>3</sup> )	269,42	$\frac{\alpha_m}{A / \Sigma S}$	0,0372	$\frac{\alpha_m}{A / \Sigma S}$	0,0371	$\frac{\alpha_m}{A / \Sigma S}$	0,0392
<b>Doba dozvuku</b>	<b>T (s)</b>	<b>4,31</b>		<b>4,32</b>		<b>4,09</b>	

Tabulka 7b - Doba dozvuku učebny 3. NP s frekvencí 1000, 2000 a 4000 Hz

Typ povrchu	Plocha	Velikost frekvence (Hz)					
		1000		2000		4000	
	S(m <sup>2</sup> )	$\alpha$	S * $\alpha$	$\alpha$	S * $\alpha$	$\alpha$	S * $\alpha$
Zdivo malované hlinkou S	29,45	0,03	0,883	0,04	1,178	0,04	1,178
Zdivo malované hlinkou J	29,45	0,03	0,883	0,04	1,178	0,04	1,178
Zdivo malované hlinkou Z	32,44	0,03	0,973	0,04	1,297	0,04	1,297
Zdivo malované hlinkou V	24,17	0,03	0,725	0,04	0,967	0,04	0,967
Plastová okna	11,52	0,10	1,152	0,06	0,691	0,04	0,461
Dřevěné dveře	3,25	0,08	0,260	0,08	0,260	0,08	0,260
PVC podlaha	56,48	0,03	1,694	0,04	2,259	0,04	2,259
Obsazenost dětí v učebně	12,60	0,35	4,410	0,40	5,040	0,40	5,040
Podhledové stropní konstrukce	69,08	0,03	2,072	0,04	2,763	0,04	2,763
$\Sigma S$ (m <sup>2</sup> )	268,43	$\frac{A}{\Sigma S * \alpha}$	13,054	$\frac{A}{\Sigma S * \alpha}$	15,633	$\frac{A}{\Sigma S * \alpha}$	15,403
Objem místnosti (m <sup>3</sup> )	268,43	$\frac{\alpha_m}{A / \Sigma S}$	0,0486	$\frac{\alpha_m}{A / \Sigma S}$	0,0582	$\frac{\alpha_m}{A / \Sigma S}$	0,0574
<b>Doba dozvuku</b>	<b>T (s)</b>	<b>3,28</b>		<b>2,27</b>		<b>1,72</b>	

Podle vypočtených hodnot doby dozvuku, prostor školní učebny nevyhovuje z hlediska doby dozvuku na žádné posuzované frekvenci. Na základě vypočtených hodnot musíme udělat vhodné opatření, které povede ke snížení hodnoty doby dozvuku na přípustnou mez a bude provedena akustická úprava vnitřních povrchů posuzované učebny.

#### 4.4.2 Navržené akustické úpravy v učebně

Po dosazování materiálů, které zvyšují pohltivost ploch v místnosti, jsem se rozhodl zvolit mezi první a druhou variantou. V první variantě akustických úprav jsem použil v celé ploše stropního podhledu akustické dřevotřískové desky tloušťky 20 mm, odsazené o 100 mm od původního stropu, osazené na hliníkový rám kotvený do stropní konstrukce. Dále jsem použil obklad Acoustichoc kotvený na stěny, který je nového stropního podhledu směrem k podlaze, na východní stěně vysoký 70 cm a na ostatních stěnách v učebně vysoký 140 cm. Plošná výměra

akustického obkladu bude celkem 40,5 m<sup>2</sup>. Vzhledem k velké světlé výšce místnosti bude nejnižší výška obkladu položená 240 cm nad podlahou. Tím pádem by nemělo docházet k mechanickému poškození od dětí. Toto řešení z hlediska doby dozvuku je vhodné a splňuje podmínky doby dozvuku dle normy, avšak obklady Acoustichoc se používají především ve sportovních halách. Proto není zcela optimální použít tento materiál ve školní učebně. V následující tabulce můžeme vidět hodnoty doby dozvuku s užitím akustických úprav pro první variantu.

*Tabulka 8a - Doba dozvuku učebny 3. NP s frekvencí 125, 250 a 500 Hz (Varianta 1)*

Typ povrchu	Plocha	Velikost frekvence (Hz)					
		125		250		500	
	S (m <sup>2</sup> )	$\alpha$	S * $\alpha$	$\alpha$	S * $\alpha$	$\alpha$	S * $\alpha$
Zdivo malované hlínkou celkem	75,41	0,02	1,508	0,02	1,508	0,02	1,508
Obklad Acoustichoc tl. 40 mm [26]	40,50	0,49	19,639	0,81	32,465	0,95	38,076
Plastová okna	11,52	0,30	3,456	0,20	2,304	0,15	1,728
Dřevěné dveře	3,25	0,14	0,455	0,10	0,325	0,08	0,260
PVC podlaha	56,48	0,02	1,130	0,02	1,130	0,03	1,694
Obsazenost dětí v učebně	12,60	0,10	1,260	0,20	2,520	0,25	3,150
Dřevotřískové desky 20 mm, odsazené 10 cm [27]	69,08	0,30	20,725	0,25	17,271	0,10	6,908
$\Sigma S$ (m <sup>2</sup> )	268,43	$\frac{A}{\Sigma S * \alpha}$	48,173	$\frac{A}{\Sigma S * \alpha}$	57,522	$\frac{A}{\Sigma S * \alpha}$	53,325
Objem místnosti (m <sup>3</sup> )	269,42	$\frac{\alpha_m}{A / \Sigma S}$	0,1795	$\frac{\alpha_m}{A / \Sigma S}$	0,2143	$\frac{\alpha_m}{A / \Sigma S}$	0,1987
<b>Doba dozvuku</b>	<b>T (s)</b>	<b>0,83</b>		<b>0,68</b>		<b>0,74</b>	

Hodnoty  $\alpha$  pro jednotlivá frekvenční pásma použitých materiálů převzaté z technických listů výrobce [26 a 27].

**Tabulka 8b - Doba dozvuku učebny 3. NP s frekvencí 1000, 2000 a 4000 Hz (Varianta 1)**

Typ povrchu	Plocha	Velikost frekvence (Hz)					
		1000		2000		4000	
	S(m <sup>2</sup> )	$\alpha$	S * $\alpha$	$\alpha$	S * $\alpha$	$\alpha$	S * $\alpha$
Zdivo malované hlínkou celkem	75,41	0,03	2,262	0,04	3,016	0,04	3,016
Obklad Acoustichoc tl. 40 mm [26]	40,50	1,00	40,080	1,08	43,286	1,08	43,286
Plastová okna	11,52	0,10	1,152	0,06	0,691	0,04	0,461
Dřevěné dveře	3,25	0,08	0,260	0,08	0,260	0,08	0,260
PVC podlaha	56,48	0,03	1,694	0,04	2,259	0,04	2,259
Obsazenost dětí v učebně	12,60	0,35	4,410	0,40	5,040	0,40	5,040
Dřevotřískové desky 20 mm, odsazené 10 cm [27]	69,08	0,08	5,527	0,05	3,454	0,04	2,763
$\Sigma S$ (m <sup>2</sup> )	268,43	$\frac{A}{\Sigma S * \alpha}$	55,385	$\frac{A}{\Sigma S * \alpha}$	58,007	$\frac{A}{\Sigma S * \alpha}$	57,086
Objem místnosti (m <sup>3</sup> )	268,43	$\frac{\alpha_m}{A/\Sigma S}$	0,2063	$\frac{\alpha_m}{A/\Sigma S}$	0,2161	$\frac{\alpha_m}{A/\Sigma S}$	0,2127
<b>Doba dozvuku</b>	<b>T (s)</b>	<b>0,71</b>		<b>0,64</b>		<b>0,59</b>	

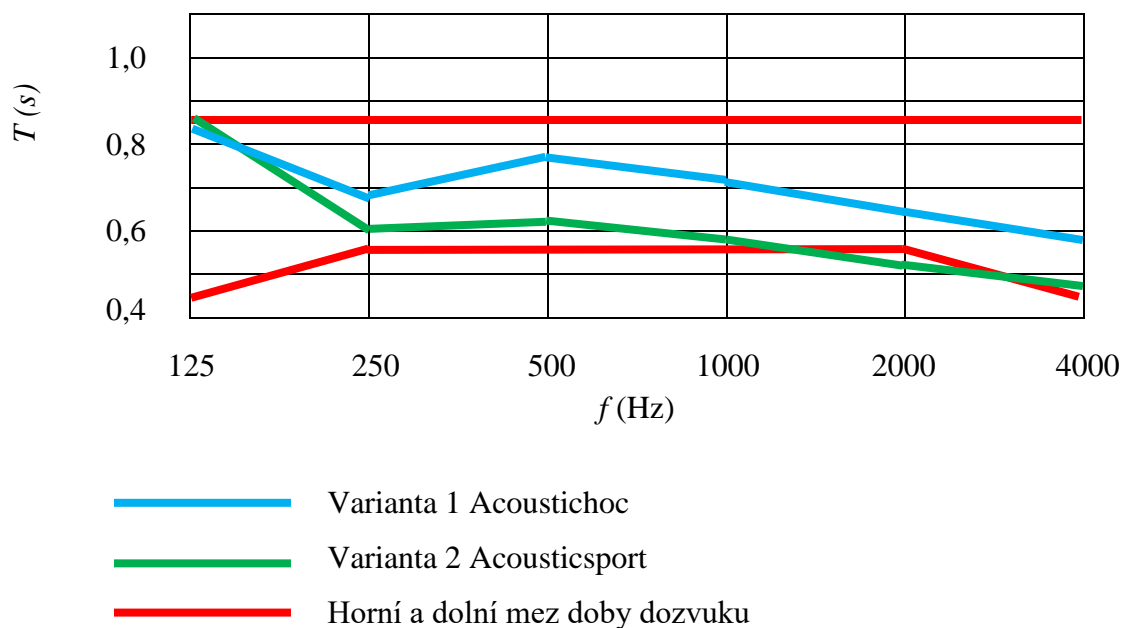
Pro druhou variantu jsem se rozhodl ponechat akustickou úpravu z první varianty, dřevotřískové desky tloušťky 20 mm a odsazené 100 mm od stropní konstrukce, a provedl jsem záměnu materiálu na stěnách. Místo stěnového obkladu Acoustichoc jsem použil desky Acousticsport tloušťky 40 mm lepený na rám, určený do sportovních hal, avšak dle doporučení od výrobce se mohou tyto desky použít i do školních učeben. Nevýhodou této varianty je nutnost pokrýt větší plochu stěny tímto materiálem a to vede ke zvýšení finančních nákladů oproti první variantě. V následující tabulce můžeme vidět hodnoty doby dozvuku s užitím akustických úprav pro druhou variantu.

**Tabulka 9a - Doba dozvuku učebny 3. NP s frekvencí 125, 250 a 500 Hz (Varianta 2)**

Typ povrchu	Plocha	Velikost frekvence (Hz)					
		125		250		500	
	S (m <sup>2</sup> )	$\alpha$	S * $\alpha$	$\alpha$	S * $\alpha$	$\alpha$	S * $\alpha$
Zdivo malované hlínkou celkem	55,37	0,02	1,107	0,02	1,107	0,02	1,107
Akustický obklad Acousticsport tl. 40 mm [26]	60,12	0,32	19,238	0,66	39,679	0,79	47,495
Plastová okna	11,52	0,30	3,456	0,20	2,304	0,15	1,728
Dřevěné dveře	3,25	0,14	0,455	0,10	0,325	0,08	0,260
PVC podlaha	56,48	0,02	1,130	0,02	1,130	0,03	1,694
Obsazenost dětí v učebně	12,60	0,10	1,260	0,20	2,520	0,25	3,150
Dřevotřískové desky 20 mm, odsazené 10 cm [27]	69,08	0,30	20,725	0,25	17,271	0,10	6,908
$\Sigma S$ (m <sup>2</sup> )	268,43	$A = \Sigma S * \alpha$	47,371	$A = \Sigma S * \alpha$	64,336	$A = \Sigma S * \alpha$	62,343
Objem místnosti (m <sup>3</sup> )	269,42	$\alpha_m = A / \Sigma S$	0,1765	$\alpha_m = A / \Sigma S$	0,2397	$\alpha_m = A / \Sigma S$	0,2323
<b>Doba dozvuku</b>	<b>T (s)</b>	<b>0,84</b>		<b>0,60</b>		<b>0,62</b>	

**Tabulka 9b - Doba dozvuku učebny 3. NP s frekvencí 1000, 2000 a 4000 Hz (Varianta 2)**

Typ povrchu	Plocha	Velikost frekvence (Hz)					
		1000		2000		4000	
	S (m <sup>2</sup> )	$\alpha$	S * $\alpha$	$\alpha$	S * $\alpha$	$\alpha$	S * $\alpha$
Zdivo malované hlínkou celkem	55,37	0,03	1,661	0,04	2,215	0,04	2,215
Akustický obklad Acousticsport tl. 40 mm [26]	60,12	0,85	51,102	0,95	57,114	0,98	58,918
Plastová okna	11,52	0,10	1,152	0,06	0,691	0,04	0,461
Dřevěné dveře	3,25	0,08	0,260	0,08	0,260	0,08	0,260
PVC podlaha	56,48	0,03	1,694	0,04	2,259	0,04	2,259
Obsazenost dětí v učebně	12,60	0,35	4,410	0,40	5,040	0,40	5,040
Dřevotřískové desky 20 mm, odsazené 10 cm [27]	69,08	0,08	5,527	0,05	3,454	0,04	2,763
$\Sigma S$ (m <sup>2</sup> )	268,43	$A = \Sigma S * \alpha$	65,806	$A = \Sigma S * \alpha$	71,033	$A = \Sigma S * \alpha$	71,916
Objem místnosti (m <sup>3</sup> )	268,43	$\alpha_m = A / \Sigma S$	0,2452	$\alpha_m = A / \Sigma S$	0,2646	$\alpha_m = A / \Sigma S$	0,2679
<b>Doba dozvuku</b>	<b>T (s)</b>	<b>0,58</b>		<b>0,51</b>		<b>0,47</b>	



Obrázek 17 - Doba dozvuku s mezi oběma variantami

Nejoptimálnější variantu s přihlédnutím na objem učebny a finanční stránku bych zvolil první variantu. Oproti druhé první varianta vyhoví ve všech frekvenčních pásmech, ikdyž akustický materiál Acoustichoc není přímo určený do školních učeben, splňuje požadavek doby dozvuku daný normou a potřeba materiálu je 34 % menší než je tomu u druhé varianty. Druhá varianta vyhovuje ve všech frekvenčních pásmech, kromě pásma s frekvencí 2000 Hz.

## 4.5 Posouzení stávající konstrukce stěny mezi učebnami historické části objektu z hlediska neprůzvučnosti

### 4.5.1 Charakteristika neprůzvučnosti

Neprůzvučnost je schopnost dělicí konstrukce zabránit přenosu zvuku, který se šíří vzduchem, z jednoho prostoru do druhého. Představuje logaritmickou míru podílu energie zvuku dopadajícího na stěnu a prošlého stěnou. Je kmitočtově závislá a udává se v třetino-oktávových pásmech od 100 do 3150 Hz.

Vážená neprůzvučnost  $R_w'(dB)$  je udávána pomocí směrné váhové křivky, která je daná normou ČSN EN ISO 717 – 1 [28]. Tato směrná křivka se vertikálně posouvá tak, aby Součet nepříznivých odchylek nebyl větší než 32 dB, proto

se musí pohybovat se směrnou křivkou nahoru a dolů o jeden dB, kde se následně měří velikost nepříznivých odchylek. Hodnoty odchylek neprůzvučnosti se uvažují pouze pod směrnou křivkou, hodnoty nad směrnou křivkou se neuvažují. Cílem je posunout křivku neprůzvučnosti co možná nejvýše, abychom mohli zjistit co nejlepší vlastnosti konstrukce, ale zároveň nepřesáhli maximální možnou hodnotu součtu nepříznivých odchylek. Výpočet vážené neprůzvučnosti se provádí vztahem:

$$R_w' = R_w - k \text{ (dB)}, \quad (13)$$

kde  $R_w$  (dB) charakterizuje vypočtenou neprůzvučnost na středním kmitočtu frekvence (500 Hz),

$k$  (dB) je korekce na vliv bočních cest s hodnotami 2 – 4 dB.

#### 4.5.2 Předběžný výpočet neprůzvučnosti stěny

Tato pomůcka byla použita za účelem předběžného výpočtu neprůzvučnosti dělící konstrukce mezi učebnami. Pomůcka se vztahuje na obecné jednoduché homogenní stavební typy prvku z běžných materiálů podle [21].

*Tabulka 10 - Předběžný výpočet zvukové neprůzvučnosti konstrukce mezi učebnami historické části budovy [21]*

Materiál	Zdivo z plných cihel
Tloušťka $t$ (m)	0,3
Objemová hmotnost $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	1750
Rychlost podélných vln $c_L$ (m/s)	2169
Vnitřní ztrátový činitel $\eta_{\text{int}}$ (-)	0,01

#### Vyhodnocení podle ČSN 73 0532

Druh konstrukce	Stěna ▾
Chráněný prostor	F. Školy a vzdělávací instituce - učebny, výukové prostory ▾
Hlučný prostor	Učebny, výukové prostory ▾
Požadavek $R'_{w,pož}$	47 dB
Korekce na boční přenos zvuku	4 dB
<b>Vyhodnocení</b>	<b>Stavební prvek předběžně VYHOVUJE</b>

*Obrázek 18a - Předběžný výpočet zvukové neprůzvučnosti konstrukce mezi učebnami historické části budovy - vyhodnocení [21]*



plošná hmotnost  $m' = 525 \text{ kg/m}^2$

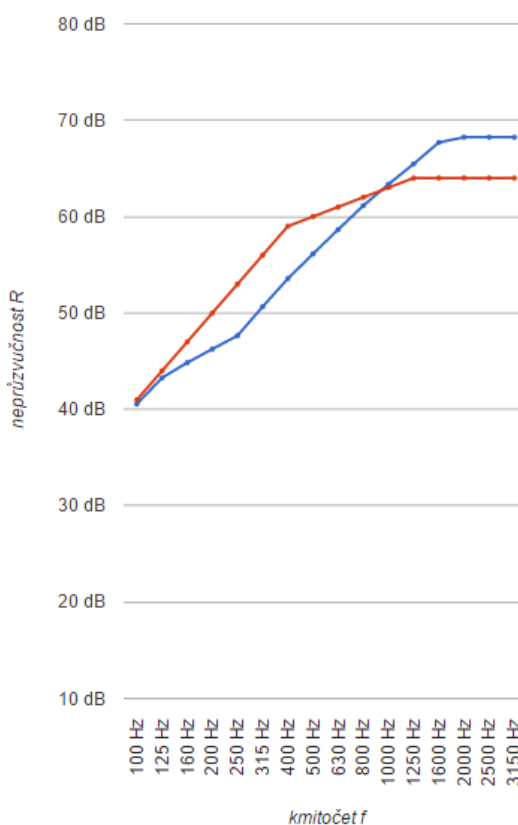
kritický kmitočet  $f_c = 100.4 \text{ Hz}$

kmitočet $f$	neprůzvučnost $R$
100 Hz	40.6 dB
125 Hz	43.3 dB
160 Hz	44.8 dB
200 Hz	46.3 dB
250 Hz	47.6 dB
315 Hz	50.7 dB
400 Hz	53.6 dB
500 Hz	56.1 dB
630 Hz	58.7 dB
800 Hz	61.1 dB
1000 Hz	63.4 dB
1250 Hz	65.5 dB
1600 Hz	67.7 dB
2000 Hz	68.2 dB
2500 Hz	68.2 dB
3150 Hz	68.2 dB

■ neprůzvučnost  $R$

■ směrná křivka ISO 717-1

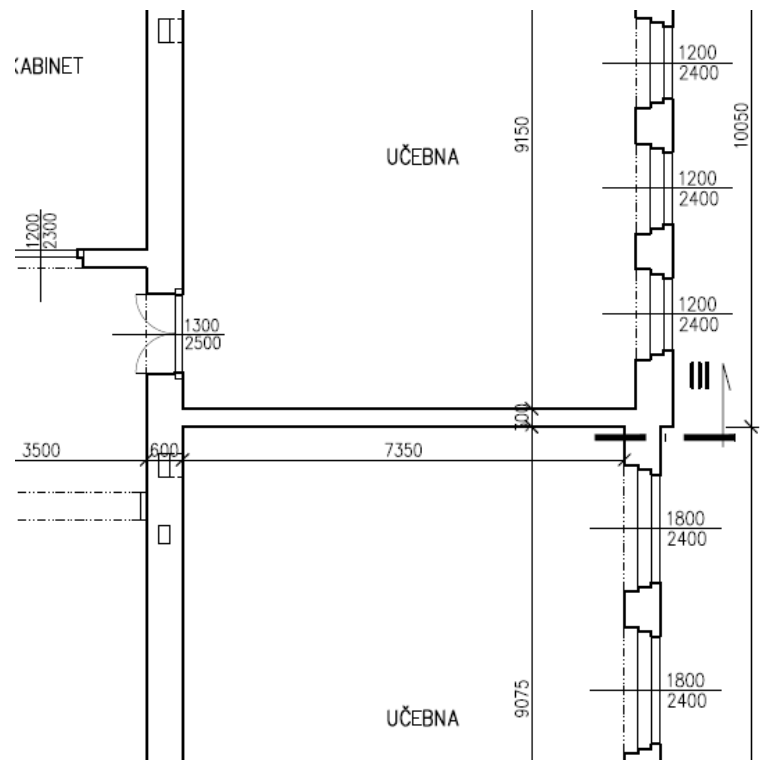
$R_w (C; C_{tr}) = 60 (-2; -6) \text{ dB}$



Obrázek 18b - Předběžný výpočet zvukové neprůzvučnosti konstrukce mezi učebnami historické části budovy – směrná křivka [21]

Dle předběžných výpočtových výsledků ČSN 73 0512 - 1 [21], konstrukce stěny z cihel plných pálených tl. 300 mm, vyhovuje požadavkům na neprůzvučnost mezi učebnami, která je určena požadovanou hodnotou pro školy  $R_w' = 47 \text{ dB}$ . Vypočtená hodnota ze vztahu (13) byla stanovena na hodnotu  $R_w' = 56 \text{ dB}$ . Konstrukce předběžně vyhovuje.

### 4.5.3 Výpočet vážené neprůzvučnosti mezi učebnami



Obrázek 19 - Půdorys 3. NP posuzované dělící konstrukce

Parametry posuzované stěny: - délka stěny = 7,35 m

- výška stěny = 3,9 m

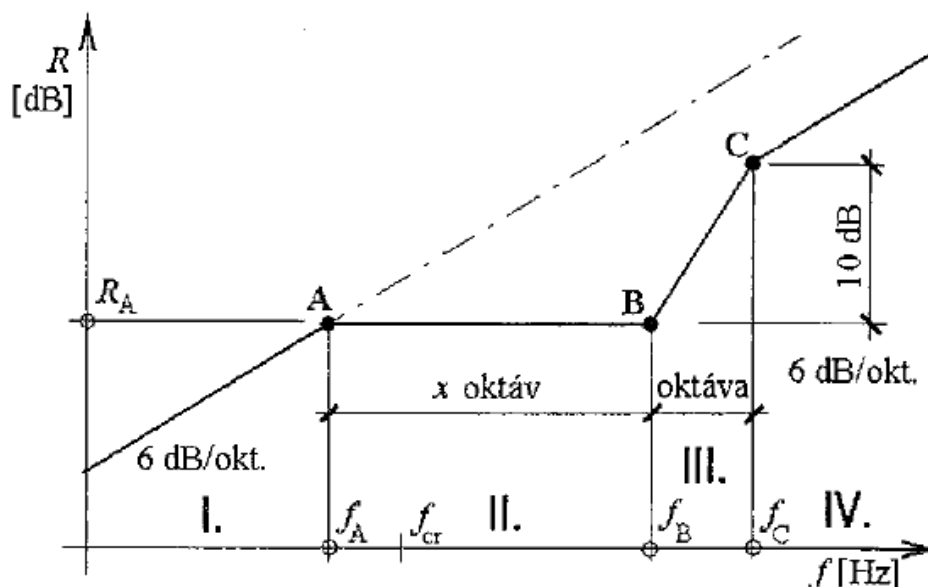
- cihla plná pálená tl. 300 mm:  $h = 0,3$  m

$$\rho = 1750 \text{ kg/m}^3$$

$$c = 2108 \text{ m/s}$$

$$\eta = 0,035$$

Hodnoty materiálových charakteristik dle [21].



Obrázek 20 – Pásma rezonančních kmitočtů [15]

Základní rezonanční kmitočet je nižší než 100 Hz

$$f_o = 0,45 \cdot c \cdot h \left( \frac{1}{l_x^2} + \frac{1}{l_y^2} \right) = 0,45 \cdot 2108 \cdot 0,3 \cdot \left( \frac{1}{7,35^2} + \frac{1}{3,9^2} \right) =$$

$$= \underline{24,00 \text{ Hz}} \leq 100 \text{ Hz}$$

Kritický kmitočet

$$f_{cr} = \frac{c_0^2 \sqrt{3}}{c \cdot h} = \frac{63734}{c \cdot h} = \underline{100,80 \text{ Hz}}$$

Zlomové kmitočty

$$f_A = 0,4 \cdot f_{cr} \cdot \eta^{0,1} = 0,4 \cdot 100,8 \cdot 0,035^{0,1} = \underline{28,80 \text{ Hz}}$$

$$x = 1,33 \cdot \eta^{-0,157} = 1,33 \cdot 0,035^{-0,157} = 2,25$$

$$f_B = 2^x \cdot f_A = 2^{2,25} \cdot 28,8 = \underline{137,00 \text{ Hz}}$$

$$f_C = 2 \cdot f_B = 2 \cdot 137 = \underline{274,00 \text{ Hz}}$$

Neprůzvučnost v místě A

$$m' = \rho \cdot h = 1750 \cdot 0,3 = 525 \text{ kg/m}^2$$

$$R_A = 20 \log(m' \cdot f_A) - 47,5 = 20 \log(525 \cdot 28,8) - 47,5 = \underline{36,1 \text{ dB}}$$

**Tabulka 11 - Tabulka vypočtených hodnot neprůzvučnosti**

$f$ [Hz]	zlomové kmitočty	oblast výpočtu, vztah	R [dB]	SK [dB]	$\Delta i$
100	$f_A = 28,8$ Hz	II. $R = R_A$	36,1	36	-
125			36,1	39	2,9
160	$f_B = 137$ Hz	III. $R = R_A + \frac{100}{3} \log \frac{f}{f_B}$	38,3	42	3,7
200			41,6	45	3,4
250			44,8	48	3,2
315	$f_C = 274$ Hz	IV. $R = R_A + 10 + 20 \log (f/f_C)$	47,3	51	3,7
400			49,4	54	4,6
500			51,3	55	3,7
630			53,3	56	2,7
800			55,4	57	1,6
1000			57,3	58	0,7
1250			59,3	59	-
1600			61,4	59	-
2000			63,4	59	-
2500			65,3	59	-
3150	67,3	59	-		

#### 4.5.4 Vyhodnocení výpočtu

U stěny v přistavované části budovy jsem posouval směrnou křivku do optimální polohy a došel jsem následujícím hodnotám. Směrná křivka byla posunuta směrem nahoru o 3 dB, přičemž součet všech odchylek nabyl hodnoty  $\sum \Delta i = 30,2$  dB. Jednotlivé odchylky a velikost posunuté směrné křivky můžeme vidět v tabulce 10. Na základě těchto hodnot a započítáním korekce vlivu vedlejších cest (4 dB), jsem stanovil váženou neprůzvučnost dle vztahu (13) na hodnotu  $R_w' = 51$  dB.

Dle vypočtených výsledků konstrukce stěny mezi učebnami splňuje daný požadavek na neprůzvučnost, proto nemusí být zřízeno žádné opatření proti hluku. Požadavek daný normou ČSN 73 0527 – [18], pro budovy základních škol je výsledná hodnota  $R_w' = 47$  dB, což splňuje stěna mezi učebnami.

## 4.6 Posouzení stávající stěny mezi učebnami přistavěné části objektu

### 4.6.1 Předběžný výpočet laboratorní neprůzvučnosti stěny

Tato pomůcka byla použita za účelem předběžného výpočtu laboratorní neprůzvučnosti dělicí konstrukce mezi učebnami. Pomůcka se vztahuje na obecné jednoduché homogenní stavební typy prvku z běžných materiálů podle [21].

*Tabulka 11 - Předběžný výpočet zvukové neprůzvučnosti konstrukce mezi učebnami přistavěné části budovy (materiál) [21]*

Materiál	Zdivo z cihel CDm
Tloušťka $t$ (m)	0,115
Objemová hmotnost $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	1300
Rychlost podélných vln $c_L$ (m/s)	2100
Vnitřní ztrátový činitel $\eta_{\text{int}}$ (-)	0,01

#### Vyhodnocení podle ČSN 73 0532

Druh konstrukce	Stěna ▼
Chráněný prostor	F. Školy a vzdělávací instituce - učebny, výukové prostory ▼
Hlučný prostor	Učebny, výukové prostory ▼
Požadavek $R'_{w,pož}$	47 dB
Korekce na boční přenos zvuku	2 dB
<b>Vyhodnocení</b>	<b>Stavební prvek předběžně NEVYHOVUJE</b>

*Obrázek 21a - Předběžný výpočet zvukové neprůzvučnosti konstrukce mezi učebnami přistavěné části budovy - vyhodnocení [21]*

plošná hmotnost  $m' = 149.5 \text{ kg/m}^2$

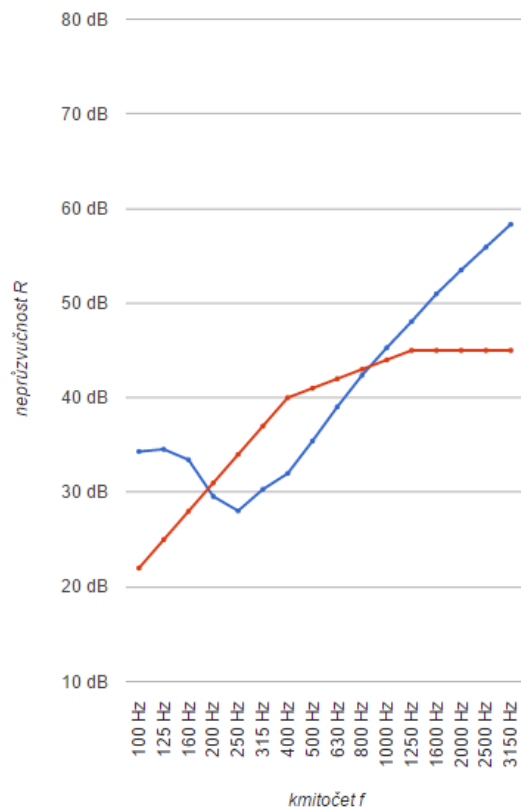
kritický kmitočet  $f_c = 262 \text{ Hz}$

kmitočet $f$	neprůzvučnost $R$
100 Hz	34.3 dB
125 Hz	34.6 dB
160 Hz	33.4 dB
200 Hz	29.6 dB
250 Hz	28 dB
315 Hz	30.3 dB
400 Hz	32 dB
500 Hz	35.4 dB
630 Hz	39 dB
800 Hz	42.4 dB
1000 Hz	45.3 dB
1250 Hz	48 dB
1600 Hz	51 dB
2000 Hz	53.5 dB
2500 Hz	55.9 dB
3150 Hz	58.3 dB

■ neprůzvučnost  $R$

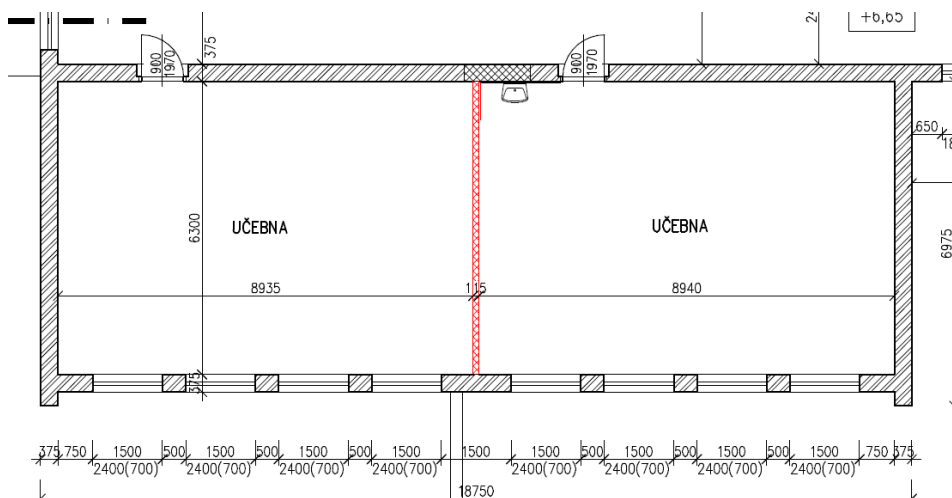
■ směrná křivka ISO 717-1

$R_w (C; C_{tr}) = 41 (-1; -4) \text{ dB}$



Obrázek 21b - Předběžný výpočet zvukové neprůzvučnosti konstrukce mezi učebnami přistavěné části budovy – směrná křivka [21]

#### 4.6.2 Výpočet vážené neprůzvučnosti mezi učebnami



Obrázek 22 - Půdorys 1. NP posuzované dělicí konstrukce

Parametry posuzované stěny: - délka stěny = 6,3 m

- výška stěny = 3,3 m

- cihla CDm tl. 115 mm:  $h = 0,115 \text{ m}$

$$\rho = 1300 \text{ kg/m}^3$$

$$c = 2108 \text{ m/s}$$

$$\eta = 0,035$$

Hodnoty materiálových charakteristik dle [21].

Základní rezonanční kmitočet je nižší než 100 Hz

$$f_o = 0,45 \cdot c \cdot h \left( \frac{1}{l_x^2} + \frac{1}{l_y^2} \right) = 0,45 \cdot 2108 \cdot 0,115 \cdot \left( \frac{1}{6,3^2} + \frac{1}{3,3^2} \right) =$$
$$= \underline{12,80 \text{ Hz} \leq 100 \text{ Hz}}$$

Kritický kmitočet

$$f_{cr} = \frac{c_0^2 \sqrt{3}}{c \cdot h} = \frac{63734}{c \cdot h} = \underline{262,90 \text{ Hz}}$$

Zlomové kmitočty

$$f_A = 0,4 \cdot f_{cr} \cdot \eta^{0,1} = 0,4 \cdot 262,9 \cdot 0,035^{0,1} = \underline{75,20 \text{ Hz}}$$

$$x = 1,33 \cdot \eta^{-0,157} = 1,33 \cdot 0,035^{-0,157} = 2,25$$

$$f_B = 2^x \cdot f_A = 2^{2,25} \cdot 75,2 = \underline{357,70 \text{ Hz}}$$

$$f_C = 2 \cdot f_B = 2 \cdot 357,7 = \underline{715,40 \text{ Hz}}$$

Neprůzvučnost v místě A

$$m' = \rho \cdot h = 1300 \cdot 0,115 = 149,5 \text{ kg/m}^2$$

$$R_A = 20 \log(m' \cdot f_A) - 47,5 = 20 \log(149,5 \cdot 75,2) - 47,5 = \underline{33,5 \text{ dB}}$$

Tabulka 12 - Tabulka vypočtených hodnot neprůzvučnosti

$f$ [Hz]	zlomové kmitočty	oblast výpočtu, vztah	R [dB]	SK [dB]	$\Delta i$
100	$f_A = 75,2$ Hz	II. $R = R_A$	33,5	23	-
125			33,5	26	-
160	$f_B = 357,7$ Hz	III. $R = R_A + \frac{100}{3} \log \frac{f}{f_B}$	21,9	29	7,1
200			25,1	32	6,9
250			28,3	35	6,7
315	$f_C = 715,4$ Hz	IV. $R = R_A + 10 + 20 \log (f/f_C)$	36,4	38	1,6
400			38,5	41	2,5
500			40,4	42	1,6
630			42,4	43	0,6
800			44,5	44	-
1000			46,4	45	-
1250			48,3	46	-
1600			50,5	46	-
2000			52,4	46	-
2500			54,4	46	-
3150	56,4	46	-		

### 4.6.3 Vyhodnocení výpočtu

U stěny v přistavované části budovy jsem posouval směrnou křivku do optimální polohy a došel jsem následujícím hodnotám. Směrná křivka byla posunuta směrem dolů o 10 dB, přičemž součet všech odchylek nabyl hodnoty  $\sum \Delta i = 27$  dB. Jednotlivé odchylky a velikost posunuté směrné křivky můžeme vidět na obrázku 20b. Následně jsem odečetl korekci na vliv vedlejších cest s hodnotou 2 dB a stanovil váženou neprůzvučnost stěny, dle vztahu (13), na hodnotu  $R_w' = 40$  dB.

Dle vypočtených výsledků konstrukce stěny mezi učebnami nespĺňuje daný požadavek na neprůzvučnost, proto musí být zřízeno opatření, které dodá stěnové konstrukci mezi učebnami dostatečnou neprůzvučnost, aby splnila požadavek daný normou pro školy  $R_w' = 47$  dB.



#### 4.6.4 Návrhový výpočet stěny mezi učebnami pro splnění požadavků

Zlomová plošná hmotnost

$$k_c = 25,49 * \eta^{0,1} = 25,49 * 0,035^{0,1} = 18,23$$

$$m'_c = k_c \frac{\rho}{c} = 18,23 * \frac{1300}{2108} = 11,24 \text{ kg/m}^2$$

$$k_s = 2^{x+1} = 2^{2,25+1} = 9,51$$

$$m'_s = k_s m'_c = 9,51 * 11,24 = 106,9 \text{ kg/m}^2$$

$$m' = \rho h = 1300 * 0,115 = 149,5 \text{ kg/m}^2$$

$$m' = 149,5 \text{ kg/m}^2 > m'_s = 106,9 \text{ kg/m}^2 \Rightarrow \text{konstrukce ohybově tuhá}$$

$$R_{wc} = 20 \log (m'_c) + 10 = 20 \log (11,24) + 10 = 31,0 \text{ dB}$$

$$R_{ws} = R_{ws} + 10 = 31,0 + 10 = 41,0 \text{ dB}$$

$$R_{wp} = R'_w + 3 = 47 + 3 = 50 \text{ dB}$$

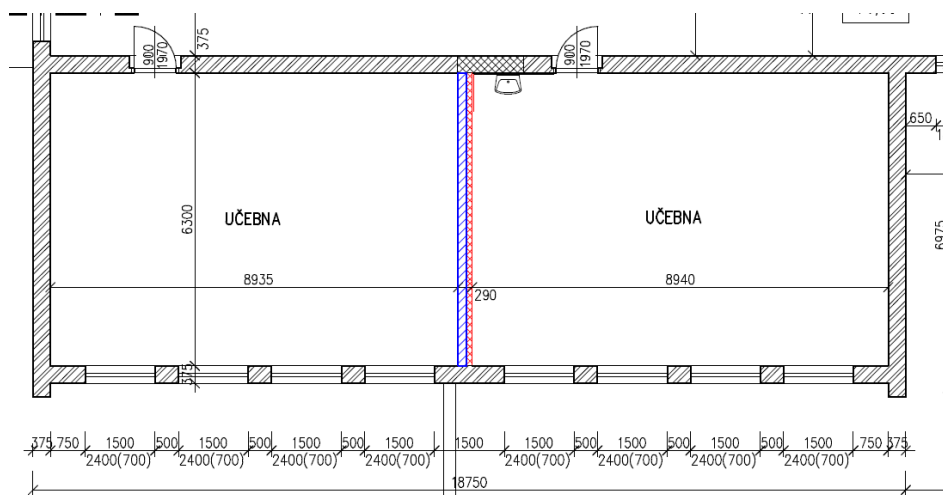
$$m'_p = k_s 10^{\frac{R_{wp}-20}{20}} = 9,51 * 10^{\frac{50-20}{20}} = 300,7 \text{ kg/m}^2$$

$$h_p \geq \frac{m'_p}{\rho} = \frac{300,7}{1300} = 0,231 \text{ m} = 231 \text{ mm}$$

Aby stěna vyzděná z cihel CDm vyhověla požadavku vážené neprůzvučnosti dvou sousedních učeben, musela by mít tloušťku minimálně 250 mm.

#### 4.6.5 Navržená úprava stěnové konstrukce přizděním

Jelikož stěna mezi učebnami nevyhověla požadavkům na váženou neprůzvučnost, musíme zlepšit její vlastnosti. Pro první variantu úpravy, jsem se rozhodl přizdít cihelný prvek Heluz 17,5 tl. 175 mm na maltu vápenocementovou. Stěna bude přizděna pouze z jedné strany, kde není tabule pro výuku žáků. Bude vystavěna a utěsněna v celé ploše stěny. Umístění přistavěné stěny můžeme vidět na obrázku 23.



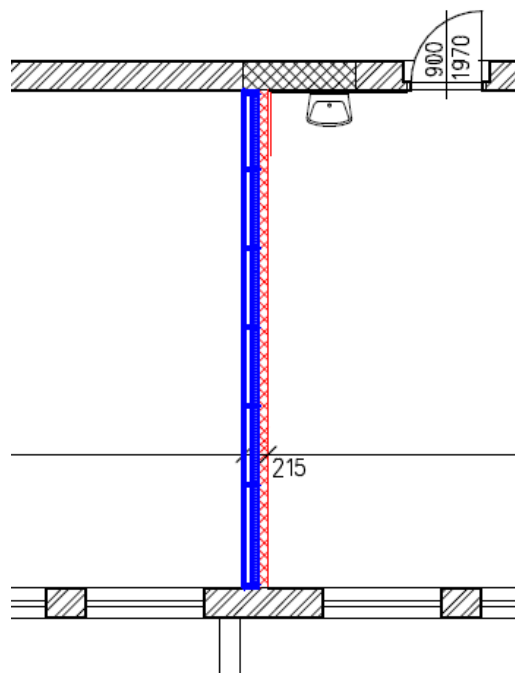
**Obrázek 23 - Půdorys 1. NP přístavby stěny k dělicí konstrukci**

Navržená úprava byla posouzena v programu *Neprůzvučnost 2010* [27]. Výsledná hodnota vážené neprůzvučnosti stěny celkové tloušťky 290 mm po zadání všech parametrů zdiva, byla vypočtena hodnota  $R_w' = 47 \text{ dB}$ . Požadavek dle normy *ČSN 73 0512. přílohy B – část 1* [21], pro učebny škol je hodnota  $R_w' = 47 \text{ dB}$ . Touto úpravou dosáhne dělicí konstrukce požadované hodnoty neprůzvučnosti. Výsledek vyhodnocení výpočtu programem *Neprůzvučnost 2010* [27] je v příloze 6.

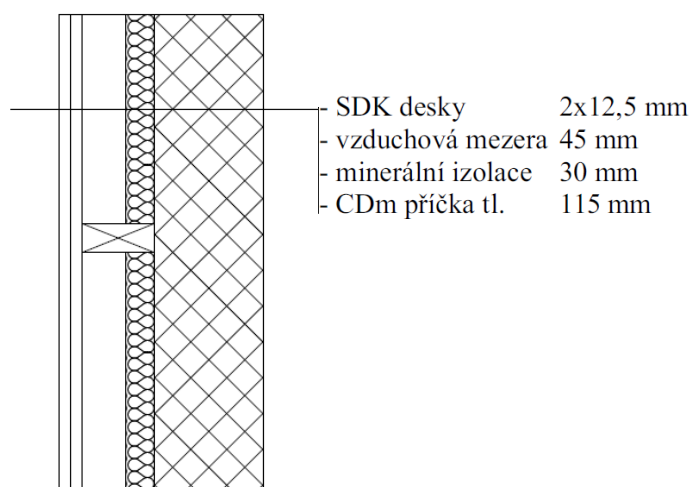
Nevýhodou této úpravy je mokrá proces výstavby, značná pracnost, nutnost technologických přestávek, obtížné dopravování materiálu na místo výstavby přízdívky a přetížení nosné vodorovné konstrukce. Oproti tomu je velká výhoda dostupnost materiálu, mechanická odolnost a možnost dalšího využití plochy stěny.

#### **4.6.6 Navržená úprava stěnové konstrukce zřízením předstěny**

Pro porovnání úprav stěnové konstrukce jsem zvolil jako druhou variantu zlepšení vážené neprůzvučnosti pomocí lehké předstěny ze SDK desek. Konstrukce předstěny bude přimontována hliníkovému rámu, který bude kotvený do stávající stěny ve vzdálenosti polí maximálně 1,2 m x 1,2 m. Vzduchová mezera bude mít tloušťku 75 mm a do každého pole bude vložena minerální izolace Orsil Orset v tloušťce 30 mm v celé ploše bez mezer. Následně bude ve dvou vrstvách SDK desek tl. 2 x 12,5 mm zaklopen rám konstrukce předstěny. Konstrukce bude zhotovena pouze z jedné strany, kde není tabule pro výuku žáků. Umístění přistavěné sádkartonové příčky můžeme vidět na obrázku 24.



**Obrázek 24 - Výsek půdorysu řešené příčky se SDK předstěnou**



**Obrázek 25 - Řez řešenou příčkou se SDK předstěnou**

Navržená úprava byla posouzena v programu Neprůzvučnost 2010 [27]. Výsledná hodnota vážené neprůzvučnosti stěny celkové tloušťky 290 mm po zadání všech parametrů zdiva, byla vypočtena hodnota  $R_w' = 49 \text{ dB}$ . Požadavek dle normy ČSN 73 0512. přílohy B – část 1 [21], pro učebny škol je  $R_w' = 47 \text{ dB}$ . Touto úpravou dosáhne dělicí konstrukce požadované hodnoty neprůzvučnosti. Výsledek vyhodnocení výpočtu programem Neprůzvučnost 2010 [27] je v příloze 7.

Nevýhodou této úpravy je horší dostupnost materiálu, mechanická odolnost a možnost pouze částečné možnosti využití plochy stěny. Oproti tomu je velká výhoda malá pracnost, bez nutnosti dlouhých technologických přestávek a nepřitěžuje vodorovnou nosnou konstrukci.

#### **4.6.7 Vyhodnocení úpravy stěny**

Po důkladném zvážení kladů a záporů výše uvedených variant, přičemž obě splňují požadavek vážené neprůzvučnosti daný normou *ČSN 73 0512. přílohy B – část 1* [21], jsem se rozhodl zvolit variantu lehké předstěny ze SDK desek, kotvených na hliníkový rám a vyplněný akustickou izolací. Ve svém rozhodnutí jsem zvážil především polohu posuzované stěny, kde se dělicí příčka nachází, mechanickou odolnost úpravy, umístění příčky z hlediska pnutí stropní konstrukce a finanční náročnost obou variant. S těmito zohledněnými faktory, včetně dostupnosti materiálu, jsem vyhodnotil, že je tato úprava pro danou konstrukci stěny mezi učebnami vhodnější.

### **4.7 Posouzení stropní konstrukce z hlediska kročejové neprůzvučnosti v historické a přistavované části budovy**

V historické části tvoří stropní konstrukci dřevěný polospalný strop tloušťky 500 mm. Pro tyto stropy neexistují přesné metody výpočtů a kročejová neprůzvučnost nemůže být spolehlivě určena. Stejně tak je tomu v přistavované části budovy. Stropní konstrukci v této části tvoří kerambetonové trámečky Porotherm 17,5 s Miako vložkami a nabetonávkou. Bohužel ani pro tento typ stropní konstrukce neexistuje přesná metoda výpočtu.

Pokud budeme brát v potaz, že obě stropní konstrukce nevyhoví požadavkům daných normou. Musíme učinit určité opatření, které omezí šíření kročejového hluku. Jedno z častých řešení je zřízení těžké plovoucí podlahy. Skladba podlahy musí být taková, aby byla nosná vrstva podlahy pružně oddělena od nosné konstrukce stropu. Pokud bychom měli dělat toto opatření, potýkali bychom se s nepříjemným problémem zvýšení podlahy v místnosti. Měli bychom rozdílné výšky podlah v učebně a na chodbě.

Metody zjištění skutečné kročejové neprůzvučnosti se provádí přesným měřením pomocí měřících přístrojů a normou ČSN 73 0512. přílohy B – část 2 [30], daných postupů měření.

## 5 Denní osvětlení

### 5.1 Základní problematika

Denní světlo je jeden z faktorů životního prostředí. Řadí se mezi nejvýznamnější faktory. Obyčejný člověk, jakož to běžný uživatel stavebního objektu, obvykle hodnotí kvalitu budovy právě z hlediska stavu vnitřního prostředí včetně osvětlení. Můžeme se tak přesvědčit v nabídkách realitních kanceláří, kde jsou žádané obytné budovy nebo byty s dostatečným prosluněním, orientací na jih, slunný aj. Avšak zdaleka nejde jen o aktuální pocit pohody člověka, který užívá budovu. Životní styl a stav prostředí patří mezi základní parametry ovlivňující zdraví a pohodu lidí. Vliv faktorů životního prostředí, jenž zaujímá zhruba 15 až 20 % vlivu na jedince, je hned za životním stylem obyvatelstva, který zaujímá celou polovinu všech působících vlivů a je tak druhým nejvýznamnějším parametrem člověka, jenž ovlivňuje jeho zdraví. Úroveň veřejného zdraví zajišťuje prosperování naší společnosti, protože peníze a veškeré prostředky ušetřené za léčení nemocných lidí, můžeme totiž investovat do zvýšení životní úrovně celé lidské populace. [22]

Po dobu milionů let vývoje života na naší planetě byly organismy vystaveny dennímu světlu a jeho dynamickým změnám, byly vystaveny střídání dne a noci [23]. Člověk je téměř závislý na denním světle včetně jeho proměnám během celého dne a noci. Mezi součásti našeho životního prostředí patří denní světlo spolu s přímým slunečním zářením, které nelze umělými zdroji nahradit. Člověk je schopný snášet značné nepohodlí po krátkou dobu. Z dlouhodobého hlediska působení nedostatek denního světla v budovách pro bydlení nebo práci, negativně ovlivňuje zdraví lidí, kteří tráví většinu času v takové budově. [22]

Jedná se o obnovitelný zdroj energie. Při přímém využití slunečního záření a denního světla nevzniká žádný odpad v budovách. Slunce je zdroj energie, který hřeje, těší a léčí s nulovými náklady. Přístup denního světla můžeme ovlivňovat a upravovat podle naší potřeby pro různé účely, mezi které patří návrh proporcí vnitřních prostor budovy, urbanistické řešení území, volbou umístěním a velikostí

osvětlovacích otvorů. Při navrhování osvětlovacích otvorů v budovách musíme být obezřetní, protože se jedná o dlouhodobé užívání budovy, a při špatně zvoleném řešení může vznikat negativní vliv u lidí užívajících objekt.

## 5.2 Definice základních pojmů

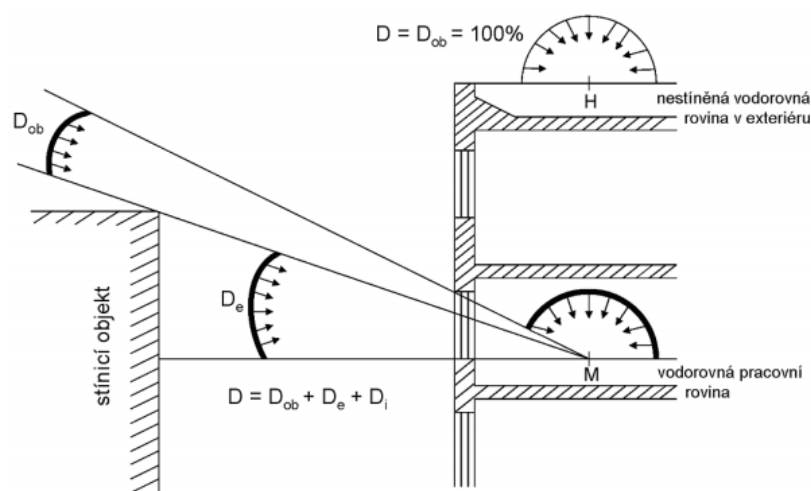
Činitel denní osvětlenosti  $D$  (%) je kritérium denního osvětlení zajišťující kvantitu. Definujeme ho jako,

$$D = \frac{E}{E_h} * 100, \quad (14)$$

kde  $E_h$  (lx) je současná osvětlenost nezastíněné venkovní horizontální roviny a  $E$  (lx) představuje naměřenou hodnotu pracovní roviny v kontrolním bodě v interiéru. V daném kontrolním bodě se velikost činitele denní osvětlenosti všeobecně mění na základě změny ročních období, na oblačnosti a poloze Slunce. Nejčastěji se stanovuje tento činitel v zimě při zatažené obloze podle ČSN 73 0580 – 3 [31] a při nepříznivém venkovním osvětlení. [24]

Hodnotu činitele denní osvětlenosti určujeme výpočtovou metodou a to tak, že zvolený kontrolní bod na pracovní rovině může být osvětlen kombinací přímého světla z oblohy  $D_s$  (%), odraženého světla od okolních stínících budov  $D_e$  (%) a odraženého světla od vnitřních povrchů  $D_i$  (%). Zde platí rovnice

$$D = D_{ob} + D_e + D_i \quad (15)$$



Obrázek 26 - Složky činitele denní osvětlenosti

*Rovnoměrnost denního osvětlení*  $U$  je kritérium denního osvětlení zajišťující kvalitu. Je to kritérium, které je považováno za jedno z nejdůležitějších a jeho poměr představuje velikost minimální a maximální hodnoty činitele denní osvětlenosti na určité pracovní rovině v interiéru, dle [29]

$$U = \frac{D_{min}}{D_{max}} \quad (16)$$

*Činitel znečištění* představuje světelnou ztrátu vlivem znečištění osvětlovacích otvorů z interiéru a exteriéru. Charakteristická bezrozměrná veličina  $\tau_{z,i}$  značí interiérové znečištění a  $\tau_{z,e}$  exteriérové znečištění. Výsledná hodnota činitele je poté dána součtem těchto veličin. [24]

$$\tau_z = \tau_{z,i} + \tau_{z,e} \quad (17)$$

*Rozložení světelného toku* je směr osvětlení, který musí být podle povahové zrakové činnosti, musí být zvolen tak, aby nedocházelo ke stínění zařízením interiéru nebo člověkem. Nejčastěji se dává přednost osvětlení zleva nebo zleva a zpředu. Převládající směr osvětlení by měl být doplněn z jiných směrů odraženým nebo přímým světlem. Pro prostorové vidění je účinnější směřované světlo a pro rozlišování detailů je lepší varianta rozptýlené osvětlení. [24]

### 5.3 Požadavky na denní osvětlení škol

Dle normy ČSN 73 0580 – 3 [25] požadavky na denní osvětlení hodnotíme na základě úrovně zrakové obtížnosti. Tuto obtížnost řadíme do 7-mi tříd zrakové činnosti od I. třídy, mimořádně přesné, mezi které můžeme zařadit nejpřesnější zrakové činnosti s poměrnou pozorovací vzdáleností větší než 3330 a minimální hodnotou činitele denní osvětlenosti  $D_{min} \geq 3,5 \%$ , až po VII. Třidu, celkovou orientaci při chůzi, dopravě materiálu a celkový dohled na činnosti, kde se hodnota pozorovací vzdálenosti blíží k nule a požadavkem na minimální hodnotu činitele denní osvětlenosti  $D_{min} \geq 0,25 \%$ .

Dalším požadavkem na základní školy je rovnoměrnost denního osvětlení. Tato veličina se stanovuje v celém interiéru nebo pouze ve vymezené části. Rozděluje se do 5 – ti tříd o hodnotách  $U \geq 0,1$  do  $U \geq 0,2$ .



Posuzované učebny patří do kategorie místností s trvalým pobytem lidí, kde se uvažuje IV. třída zrakové činnosti. Tato třída charakterizuje středně přesnou zrakovou činnost, mezi které patří například čtení, psaní, přípravy jídel a jiné, s poměrnou pozorovací vzdáleností 500 až 1000 a minimálním požadavkem na činitel denní osvětlenosti  $D_{min} \geq 1,5 \%$ . V rámci posuzované učebny je požadavek na hodnotu rovnoměrnosti denního osvětlení  $U \geq 0,2$ .

Činitel znečištění školních učeben při svislém druhu osvětlovacích otvorů s  $90^\circ$  zasklením osvětlovacích otvorů a malém znečištění vzduchu je hodnota činitele na vnitřní straně  $\tau_{z,i} = 0,95$ , na vnější straně  $\tau_{z,e} = 0,90$ .

## 5.4 Charakteristika osvětlovacích otvorů

### 5.4.1 Okenní otvor posuzované učebny č. 1

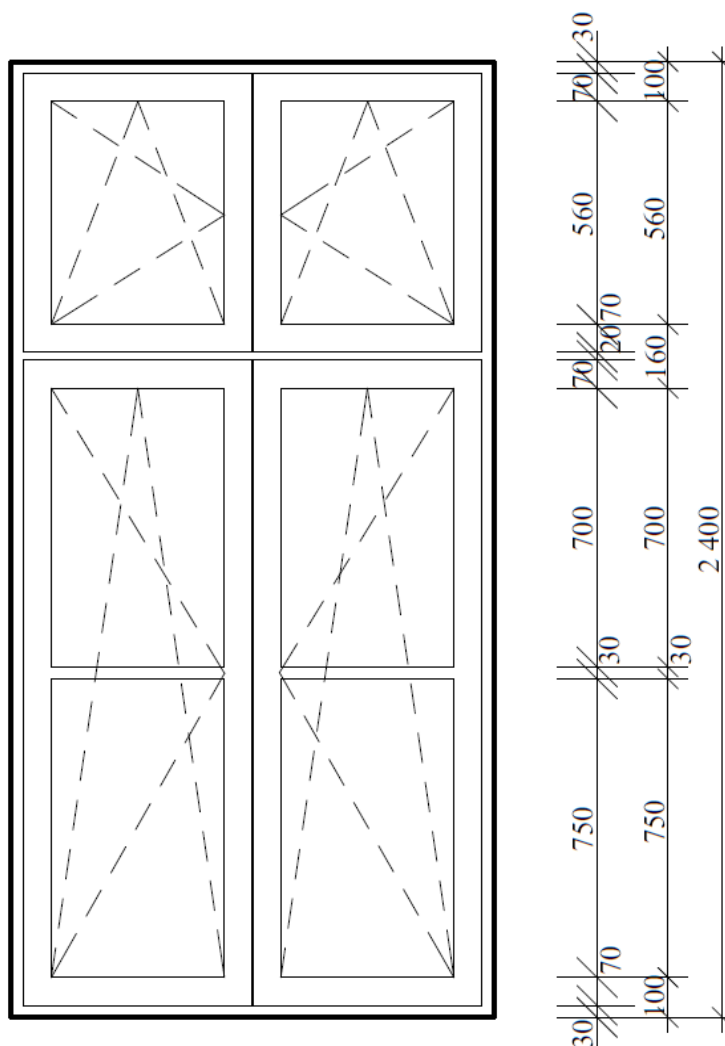
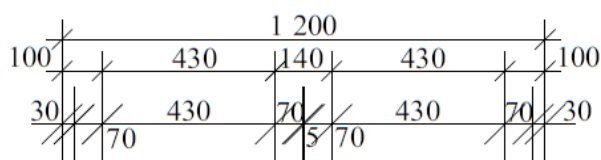


*Obrázek 27 - Pohled na okno z učebny a z exteriéru*

Okenní otvor je rozdělen do dvou oken, menšího v horní části a většího, které můžeme vidět na předchozím obrázku. Materiál rámu okenního otvoru tvoří plast s dvojitou skleněnou výplní od firmy Otherm. Barva rámu okna je dle výrobce Zlatý dub. Okenní otvor obsahuje 5-ti komorový systém se stavební hloubkou

76 mm a dvěma dorazovými těsněními zajišťující vysokou odolnost proti zatékání. Skleněnou výplň tvoří izolační dvojsklo s činitelem zasklení  $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  s plastovým rámečkem. Výplňový plyn mezi skly tvoří argon. Okno má šířku 1,2 metru a výšku 2,4 metru. Celková výměra plochy okna  $A_c = 2,88 \text{ m}^2$ , z toho rám okna  $1,15 \text{ m}^2$  a zasklená část  $A_s = 1,73 \text{ m}^2$ . Činitel znečištění školních učeben při znečištění vzduchu je hodnota činitele na vnitřní straně  $\tau_{z,i} = 0,95$ , na vnější straně  $\tau_{z,e} = 0,90$ . Celkový činitel znečištění je součin obou hodnot a výsledná hodnota činitele je  $\tau_z = 0,855$ . Propustnost skla je dle výrobce 0,76. Činitel zasklení  $\tau_z$  se spočítá následovně,

$$\tau_k = \frac{A_s}{A_c} = \frac{1,73}{2,88} = 0,601 \quad (18)$$



Obrázek 28 - Okenní otvor učebny č. 1

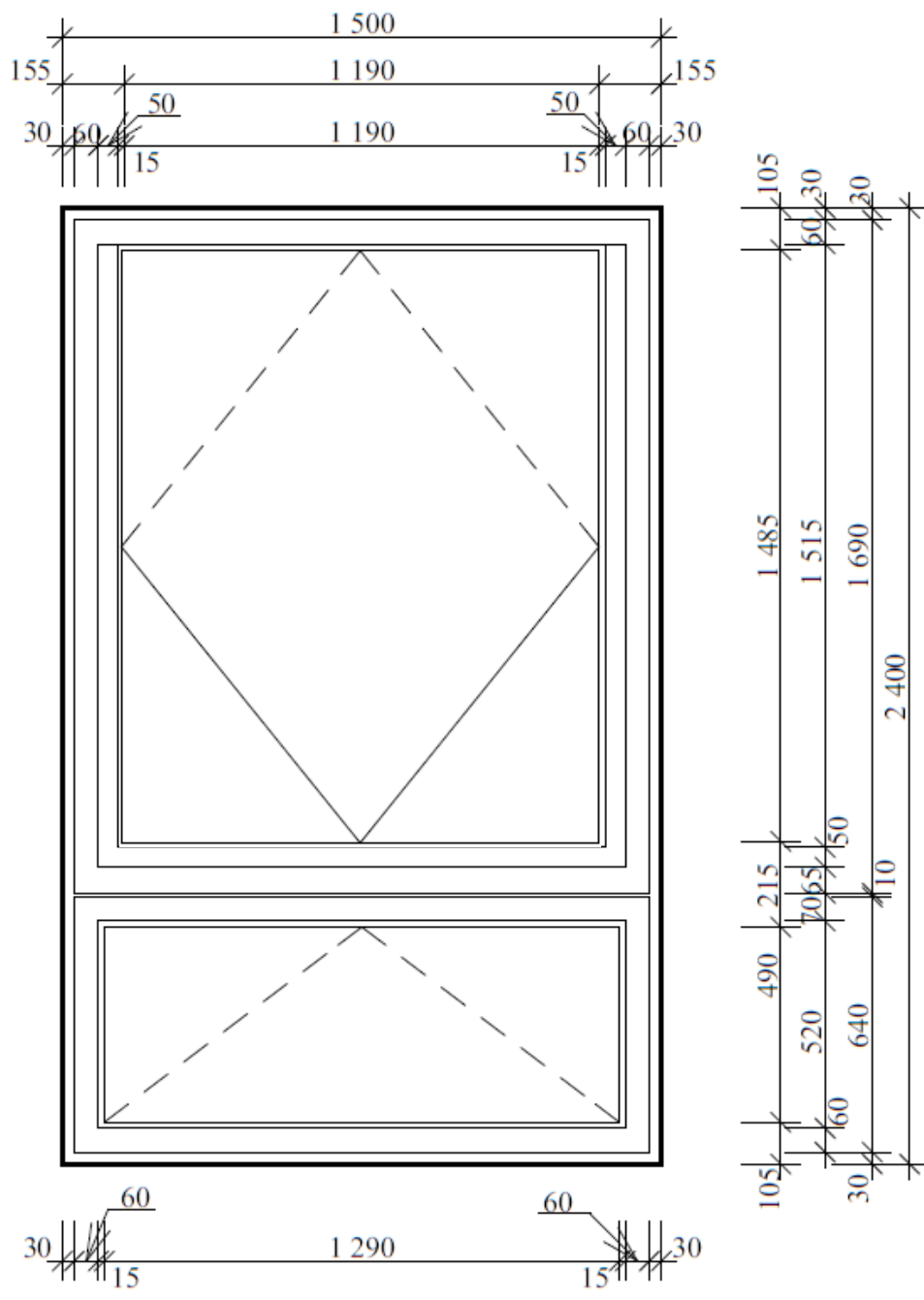
## 5.4.2 Okenní otvor posuzované učebny č. 2



*Obrázek 29 - Pohled na okno z učebny a z exteriéru*

Okenní otvor je rozdělen do dvou oken, menšího výklopného a většího kyvného, které můžeme vidět na předchozím obrázku. Rám okna je dřevo s dvojitou skleněnou výplní. Barva rámu okna je bílá. Okenní otvor je opatřen jedním dorazovým těsněním. Vzhledem k opotřebení t proti zatékání. Skleněnou výplň tvoří izolační dvojsklo s černými gumovými zasklívacími lištami. Výplňovým plynem mezi skly je vzduch. Okno má šířku 1,5 metru a výšku 2,4 metru. Celková výměra plochy okna  $A_c = 3,6 \text{ m}^2$ , z toho rám okna  $1,2 \text{ m}^2$  a zasklená část  $A_s = 2,4 \text{ m}^2$ . Činitel znečištění školních učeben při znečištění vzduchu je hodnota činitele na vnitřní straně  $\tau_{z,i} = 0,95$ , na vnější straně  $\tau_{z,e} = 0,90$ . Celkový činitel znečištění je součin obou hodnot a výsledná hodnota činitele je  $\tau_z = 0,855$ . Propustnost skla je dle normy ČSN 73 0580 – 1 [25], pro výplně plynu mezi skly vzduchem 0,92. Činitel zasklení  $\tau_k$  se spočítá následovně,

$$\tau_k = \frac{A_s}{A_c} = \frac{2,40}{3,60} = 0,667 \quad (19)$$



**Obrázek 30 - Okenní otvor učebny č. 2**



## 5.5 Posouzení stávajícího stavu učebny č. 1



*Obrázek 31 - Pohled z východní strany budovy*



*Obrázek 32 - Pohled z východní strany budovy*





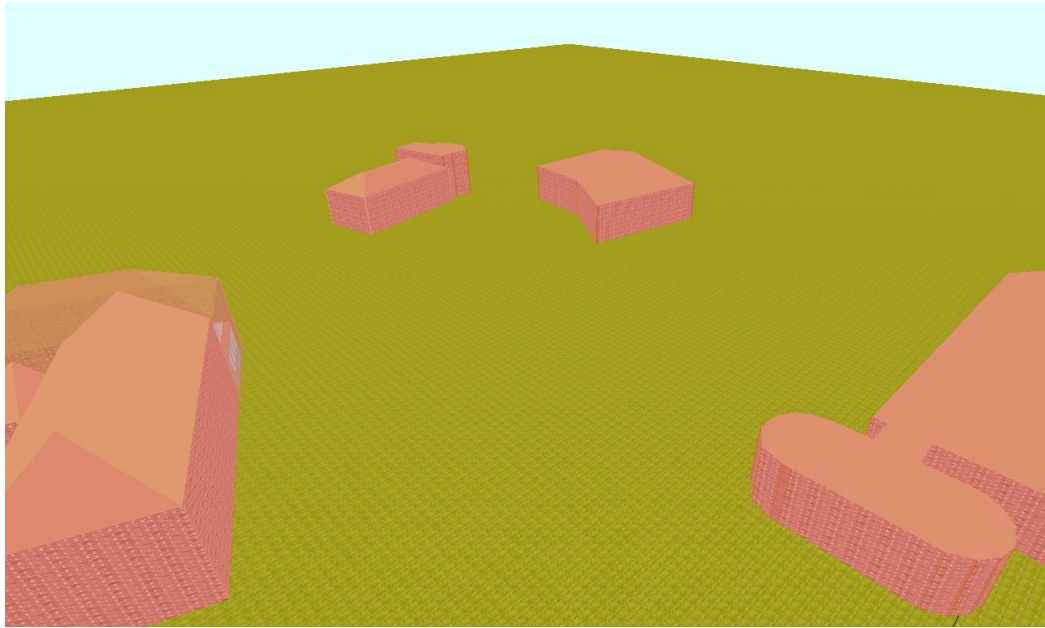
*Obrázek 33 - Pohled z východní strany budovy*



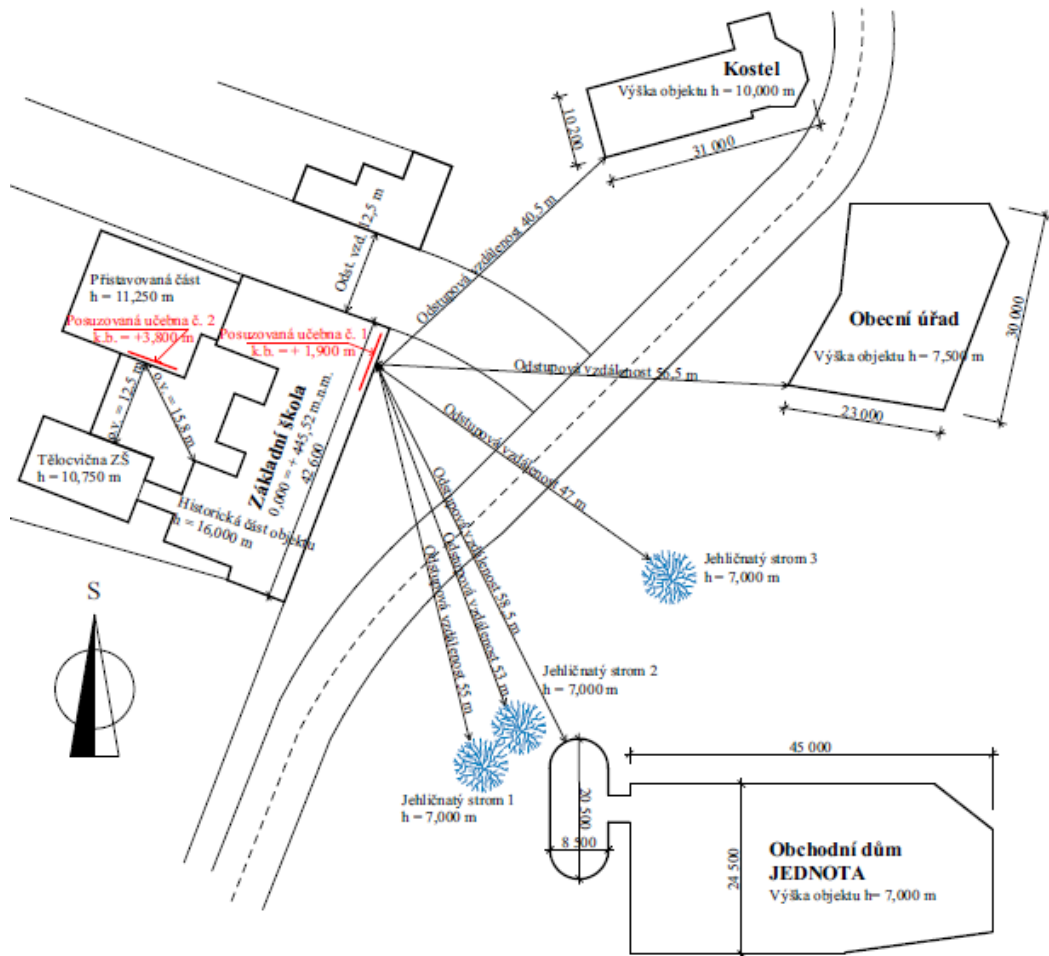
*Obrázek 34 - Panoramatický pohled z východní strany budovy*



*Obrázek 35 - Pohled východní na budovu*



Obrázek 36 - 3D model situace z programu Světlo+ [32]



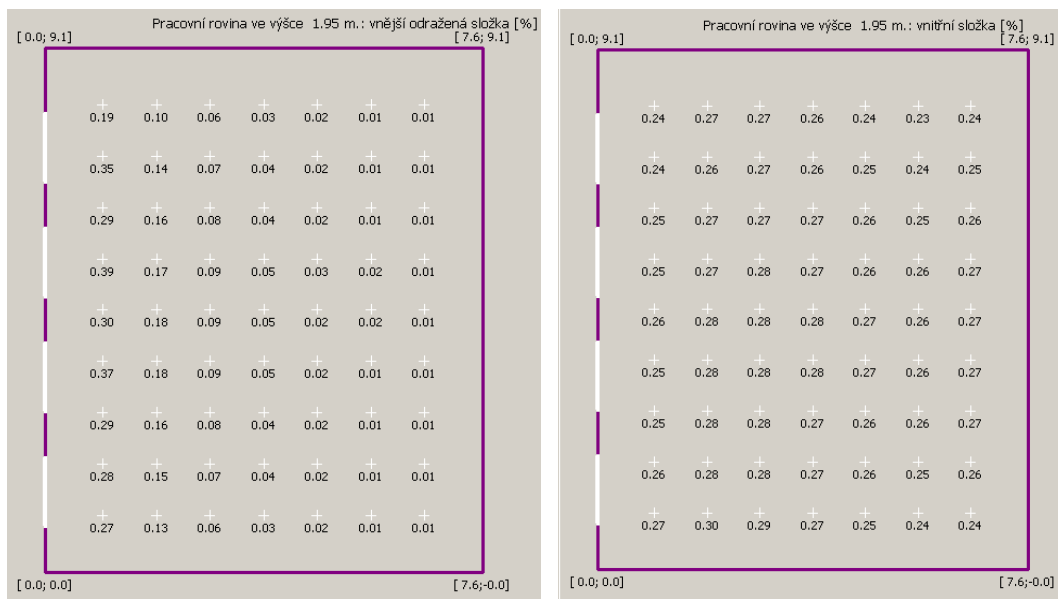
Obrázek 37 - Situace stínících objektů pro učebnu č. 1 a č. 2

Učebna č. 1 je posuzována z hlediska činitele denního osvětlení a rovnoměrnosti osvětlení. Učebna je orientována směrem na východ. Pracovní rovina je ve výšce +1,95 m nad úrovní terénu. Posouzení proběhlo v programu Světlo+, kde byli zadány rozměry posuzované učebny a charakteristická okna. Hodnoty jednotlivých oken posuzované učebny jsou vypsány v podkapitole č. 5.4.1. Po dosazení všech potřebných hodnot vyhodnotil program následující hodnoty, které slouží dále k vyhodnocení stavu učebny. Vyhodnoceny byly dílčí složky činitele denní osvětlenosti (vnější odražená složka, vnitřní složka a oblohová složka) a poté samotný činitel denní osvětlenosti. Jejich hodnoty pro jednotlivé body jsou zřejmé z obrázků 38 a 39. Dále můžeme vidět na obrázku 40 izofoty, které znázorňují limitní křivku dle normy ČSN 73 0580 – 1 [31] pro dostatečné osvětlení prostoru, na stejném obrázku vidíme hloubku jednotlivých pásem osvětlení místnosti. Pásma znázorňují množství dopadajícího slunečního světla při zatažené obloze do místnosti. Na základě těchto výpočtů byl stanoven činitel denní osvětlenosti ze vztahu (13) a hodnota rovnoměrnosti denního osvětlení,

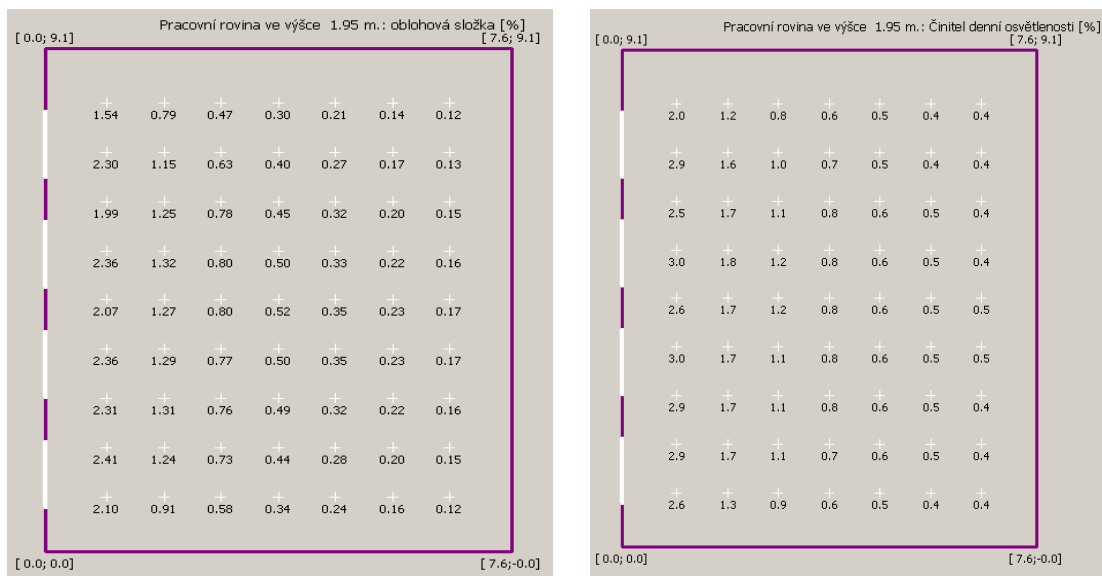
$$U = \frac{0,4}{3,0} = 0,13$$

Požadavek na činitele denního osvětlení dle normy ČSN 73 0580 – 1 [31],  $D \geq 1,5 \%$  a rovnoměrnost denního osvětlení  $U > 0,2$ . Osvětlení celé plochy pracovní roviny místnosti nevyhoví daným požadavkům, vyhoví pouze do 1/3 vzdálenosti od okenních otvorů a měli bychom učinit opatření, která zlepší podmínky v učebně.

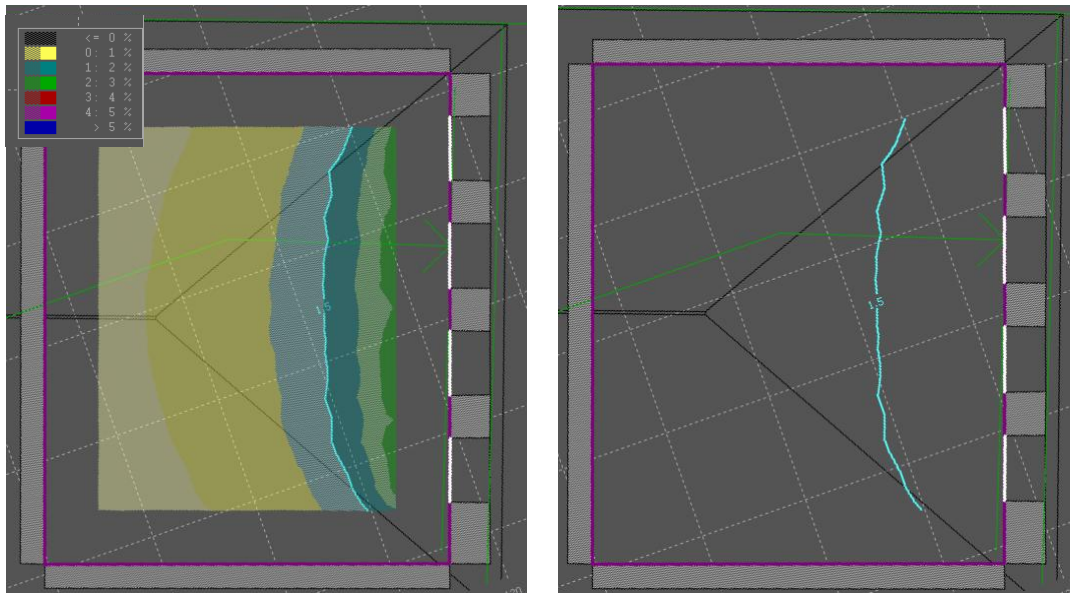




Obrázek 38 - Vnější odražená složka  $D_e$  (vlevo) a vnitřní složka  $D_i$  (vpravo) č. d. o. [32]



Obrázek 39 - Oblohová složka  $D_s$  (vlevo) č. d. o. a číselník denní osvětlenosti  $D$  (vpravo) [32]

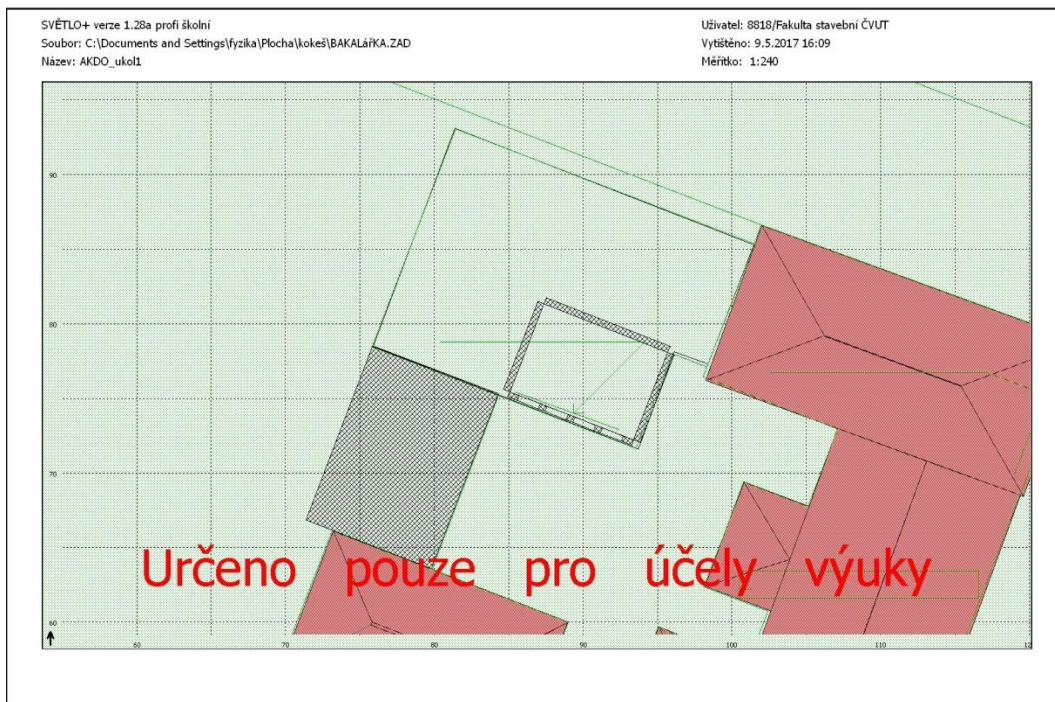


*Obrázek 40 - Pásma osvětlení (vlevo) a izofoty učebny (vpravo) [32]*

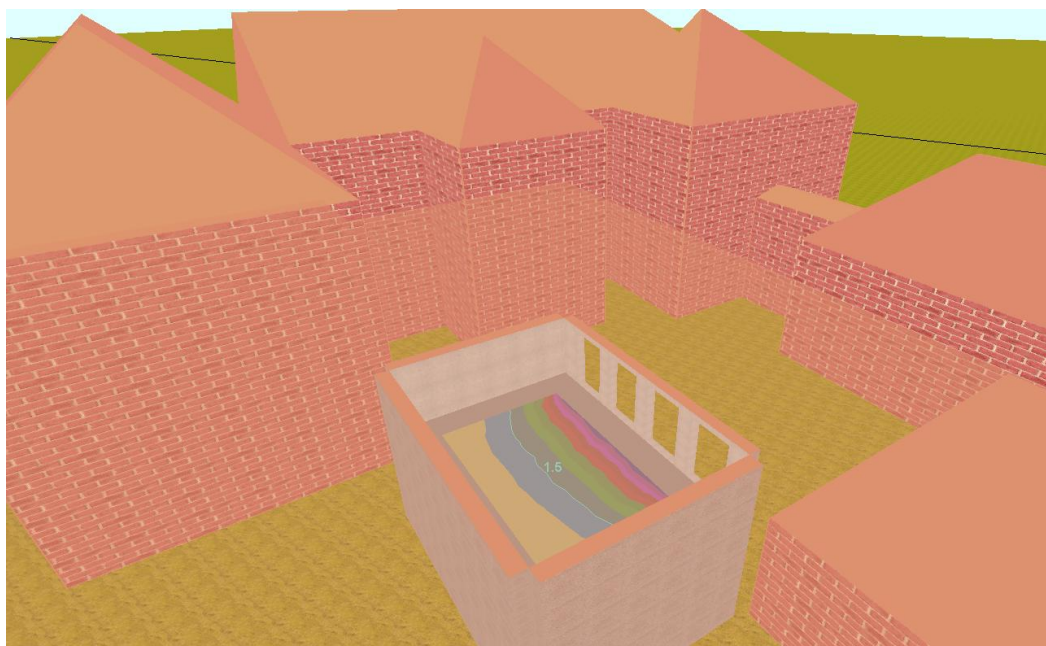
## 5.6 Posouzení stávajícího stavu učebny č. 2



*Obrázek 41 - Posuzovaná učebna č. 2*



**Obrázek 42** - Pohled shora na posuzovanou učebnu z programu Světlo+ [32]



**Obrázek 43** - 3D model situace stínících objektů z programu Světlo+ [32]

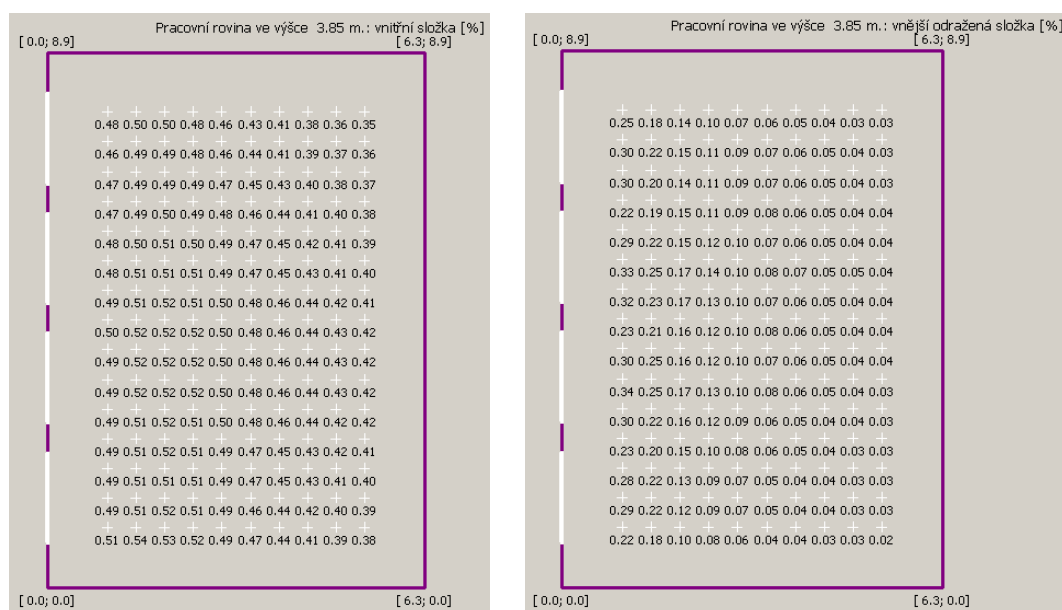
Učebna č. 2 je posuzována z hlediska činitele denního osvětlení a rovnoměrnosti osvětlení. Učebna je orientována směrem na jih. Pracovní rovina je ve výšce +3,85 m nad úrovní terénu. Situaci stínících objektů můžeme vidět



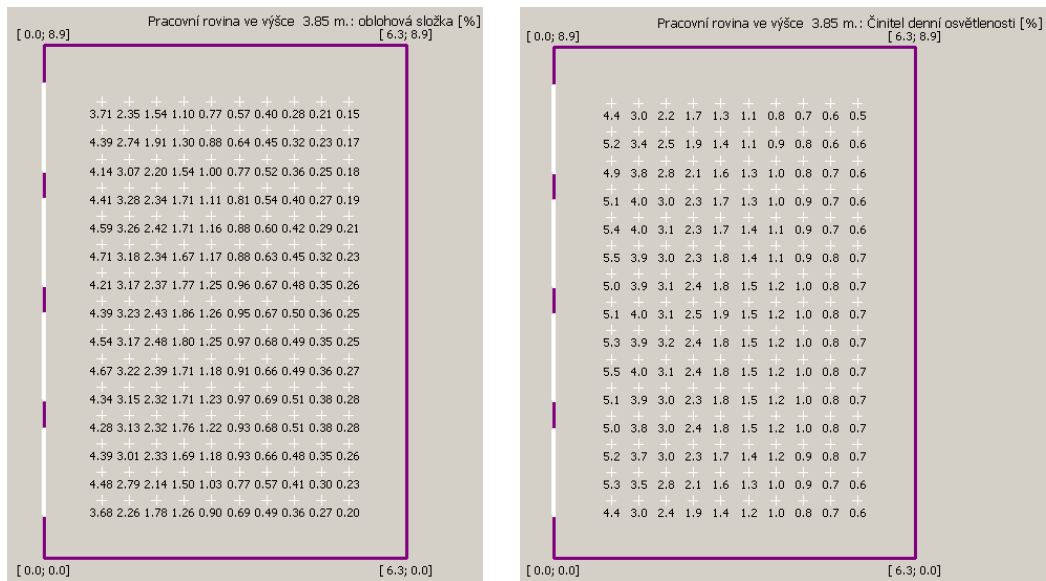
na obrázku 36. Posouzení proběhlo v programu Světlo+, kde byli zadány rozměry posuzované učebny a charakteristická okna. Hodnoty jednotlivých oken posuzované učebny jsou vypsány v podkapitole č. 5.4.2. Po dosazení všech potřebných hodnot vyhodnotil program následující hodnoty, které slouží dále k vyhodnocení stavu učebny. Vyhodnoceny byly dílčí složky činitele denní osvětlenosti (vnější odražená složka, vnitřní složka a oblohová složka) a poté samotný činitel denní osvětlenosti. Jejich hodnoty pro jednotlivé body jsou zřejmé z obrázků 44 a 45. Dále můžeme vidět na obrázku 46 izofoty, které znázorňují limitní křivku dle normy pro dostatečné osvětlení prostoru, na stejném obrázku vidíme hloubku jednotlivých pásem osvětlení místnosti. Pásma znázorňují množství dopadajícího slunečního světla při zatažené obloze do místnosti. Na základě těchto výpočtů byl stanoven činitel denní osvětlenosti pomocí vztahu (13) a hodnota rovnoměrnosti denního osvětlení, dle vztahu (16):

$$U = \frac{0,5}{5,5} = 0,09$$

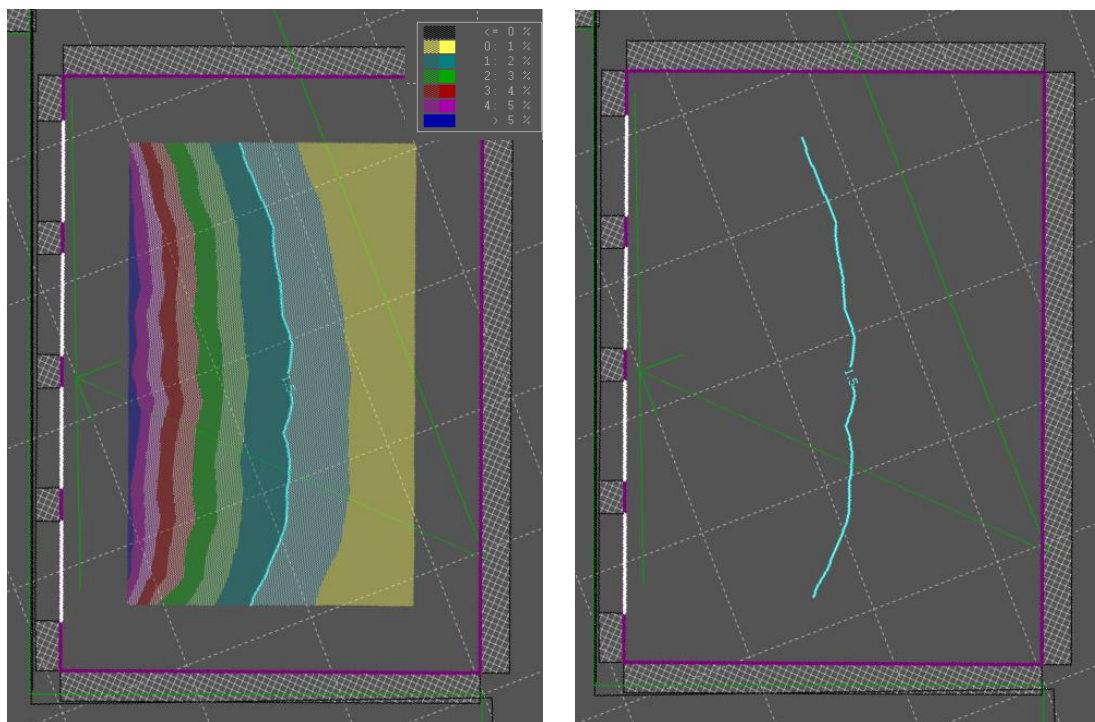
Požadavek na činitel denního osvětlení dle normy ČSN 73 0580 – 1 [31],  $D \geq 1,5 \%$  a rovnoměrnost denního osvětlení  $U > 0,2$ . Osvětlení celé plochy pracovní roviny místnosti nevyhoví daným požadavkům, vyhoví pouze do poloviny učebny a měli bychom učinit opatření, které zajistí rovnoměrné podmínky.



Obrázek 44 - Vnitřní složka  $D_i$  (vlevo) a vnější odražená složka  $D_e$  (vpravo) [32]



Obrázek 45 - Oblohová složka  $D_s$  (vlevo) č. d. o. a činitel denní osvětlenosti  $D$  (vpravo) [32]



Obrázek 46 - Pásma osvětlení (vlevo) a izofoty učebny (vpravo) č. d. o. [32]

## 5.7 Návrhové opatření

Návrhová opatření nebo změny při rekonstrukcích jsou z hlediska denního osvětlení místností a rovnoměrnosti denního osvětlení obtížně realizovatelné. Okenní otvory, které nám zajišťují neustálý přísun slunečního světla do učebny, mají v nadpraží překlady, které zajišťují roznášení zatížení působící od stavebních

konstrukcí nad úrovní překladu. Proto není vhodné zasahovat do statiky budovy zvětšováním oken. Tímto typem úpravy bychom zlepšili činitele denního osvětlení pouze nepatrně. Žádoucím řešením je vytvoření vhodných podmínek. Rozdílné podmínky mají žáci sedící u okenních otvorů a sedící na vzdálenější straně. Cílem je vytvořit takové prostředí, aby bylo optimální pro všechny žáky ve školní učebně.

Abychom zlepšili podmínky v učebně, musíme stanovit řešení, podle kterého se budou řídit uživatelé místnosti. Jedním z řešení, které není přímo optimální, je výměna výplní okenních otvorů. Výměna stávajících oken za větší není účelná, neboť bychom jednak narušili statiku budovy.

### **5.7.1 Navržené opatření učebny č. 1**

Jedním z problémů malého funkčně vymezeného prostoru jsou obvodové zdi, respektive ostění okenních otvorů tvořící zděné pilíře, které mají tloušťku 750 mm a tím dochází k malému úhlu rozptýlení denního světla. V učebně je problém také barva rámu oken, které spíše pohlcují než odrážejí sluneční světlo, jak můžeme vidět na obrázku 14. Tento problém nebyl zahrnut do výpočtu, ale byl zde popsán jako osobní zkušenost s pobytem v místnosti.

Jako vhodná a finančně nenáročná řešení navrhuji posun školních lavic od protilehlé stěny směrem k okenním otvorům. Rozestup mezi protilehlou stěnou a vzdálenější řadou lavic doporučuji minimálně 2 metry, aby se zvýšil činitel denního osvětlení u nejnepříznivějšího místa k sezení ve školní lavici. Mezi zásadní změny ve školní učebně při výuce budou patřit intervaly střídání žáků sedících u okna a u dveří. Žáci se budou střídat v doporučených časových intervalech jednoho týdne, nejdéle čtrnáctidenních intervalech, aby nedocházelo k poškozování zraku žáků. V neposlední řadě doporučuji využívat umělého osvětlení po celou dobu denní výuky k zamezení různých světelných podmínek pro čtení a psaní. Pokud by tyto podmínky nemohly být splněny, nemohla by být tato učebna považována za kmenovou učebnu, ale za učebnu s občasným pobytem žáků.

### **5.7.1 Nnavržené opatření učebny č. 2**

Jako vhodná a finančně nenáročná řešení navrhuji posun školních lavic od protilehlé stěny směrem k okenním otvorům. Rozestup mezi protilehlou stěnou a vzdálenější řadou lavic doporučuji minimálně 1,5 metru, aby se zvýšil činitel

denního osvětlení u nejnepříznivějšího místa k sezení ve školní lavici. Vzhledem k izofotní hraniční křivce je splněn požadavek na činitele denní osvětlenosti do  $\frac{1}{2}$  místnosti a tím pádem postačí přisunutí lavic blíže k okenním otvorům. V neposlední řadě doporučuji využívat umělého osvětlení po celou dobu denní výuky k zamezení různých světelných podmínek pro čtení a psaní. Pokud by tyto podmínky nemohly být splněny, nebude tato učebna považována za kmenovou učebnu, ale za učebnu s občasným pobytem žáků.

## Závěr

V bakalářské práci byla posuzována základní škola z hlediska tepelné ochrany obálky budovy, akustiky a denního osvětlení. Nejprve byly sepsány požadavky na školy stanovené normou, posouzena stávající stav tepelné ochrany vybraných konstrukcí a následně došlo k vyhodnocení a návržení vhodného opatření a objasněn návrh zvoleného typu úpravy. Veškeré posudky a návrhy byly vyhodnoceny programem Teplo EDU 2014.

V dalším kroku byla řešena akustika. Následovalo posouzení prostorové akustiky z hlediska doby dozvuku ve vybrané učebně a následně zkoumány možnosti jejího zlepšení a vyhodnocení výsledků akustických úprav v učebně. Z hlediska vážené neprůzvučnosti učebny byly posuzovány dělicí příčky mezi učebnami. Tyto posudky byly doloženy výpočty a následně vyhodnocena úprava dělicích konstrukcí. U veškerých navržených úprav je odůvodněn návrh právě zvolené úpravy. Vyhodnocování programem Neprůzvučnost 2010 bylo nedílnou součástí řešení této části.

Denní osvětlení místnosti jsem posuzoval z hlediska činitele denní osvětlenosti a rovnoměrnosti denního osvětlení. Posuzovány byly dvě učebny s rozdílnými charakteristikami použitých okenních otvorů. Nejdříve byly spočteny potřebné hodnoty pro dosazení do programu, vykreslení situace včetně stínících objektů a následně došlo k vyhodnocení. Posouzení z hlediska činitele denní osvětlení vyhodnotil program Světlo+ a na základě těchto hodnot byly vyhodnoceny výsledky a sepsána patřičná opatření.



## Seznam použité literatury

- [1] GPS poloha. *Mapový portál* [online]. Česká republika: Seznam a.s., 2017 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz).
- [2] Kraje České republiky. In: *Zeměpis* [online]. Česká republika: zeměpis.com, 2011 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: [www.zemepis.com](http://www.zemepis.com).
- [3] Jihočeský kraj. In: *Ministerstvo pro místní rozvoj ČR* [online]. Česká republika, Praha 1: Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, 2016 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: [www.risy.cz](http://www.risy.cz).
- [4] MORÁVKOVÁ, Jana. *Kartografická vizualizace vybraných dat ČÚZK podle směrnice INSPIRE*. 2017. Česká republika, Praha: ČÚZK, 2015. ISBN ČÚZK.
- [5] Historie školy. *Městys Dolní Bukovsko* [online]. České Budějovice: ANTEE s.r.o, 2007 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: [www.dolnibukovsko.cz](http://www.dolnibukovsko.cz).
- [6] HÁJEK, Václav. *Pozemní stavitelství III pro 3. ročník SPŠ stavebních*. 2., upr. vyd. Praha: Sobotáles, 1996. ISBN 80-859-2024-7.
- [7] *ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky, ÚNMZ Praha, 2011*.
- [8] ČESKO. fragment #f3031927 zákona č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2017 [cit. 16. 5. 2017]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz>.
- [9] KEIM, Lubomír. *Cihlářský lexikon: Tepelná ochrana budov* [online]. České Budějovice: Cihlářský svaz Čech a Moravy, 2001 [cit. 2017-05-16]. ISBN Cihlářský lexikon. Dostupné z: [www.cscm.cz](http://www.cscm.cz).
- [10] *ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov - Část 1: Terminologie, ÚNMZ Praha, 2005*
- [11] *ČSN 73 0540-3 Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin, ÚNMZ Praha, 2005*
- [12] *ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody v návaznosti na EN ISO 6946, ÚNMZ Praha 2005*.
- [13] Typy zateplovacích systémů. *Alternativní energie* [online]. Praha: CEMC - České ekologické manažerské centrum, 2001 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/izolace-strechy-fasady/540-o-vnitrim-zatepleni>.
- [14] ŠUBRT, Roman, Pavlína ZVÁNOVCOVÁ a Martin ŠKOPEK. *Katalog tepelných mostů*. České Budějovice: Energy Consulting, 2008. ISBN 978-80-254-2715-6.
- [15] KAŇKA, Jan. *Stavební fyzika 1: akustika budov*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03664-8.

- [16] VEVERKA, Jiří. Jiří Havránek. Václav Kozel. Pavel Siegl. Akustika: souhrn kritériálních požadavků a výpočtových metod v oboru stavební a prostorové akustiky. 1. vydání. Brno: 1996. ISBN 80-214-0743-3.
- [17] ČSN 73 0525. *Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Všeobecné zásady*. Praha: Česká technická norma (ČSN), 1998.
- [18] ČSN 73 0527. *Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Prostory pro kulturní účely – Prostory ve školách – Prostory pro veřejné účely*. Praha: Česká technická norma (ČSN), 2005.
- [19] Zákon č. 343/2009 Sb., ze dne 4. října 2005 o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých. 2005 částka 24, s. ISSN 1211 – 1244.
- [20] DONAŤÁKOVÁ, Dagmar. *Stavební akustika*. Brno: 2010. Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.
- [21] ČSN 73 0512. přílohy B *Stavební akustika - Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků - Část 1: Vzduchová neprůzvučnost mezi místnostmi*, 2000.
- [22] KAŇKA, Jan. *Denní světlo v interiéru. Požadavky na denní osvětlení budov* [online]. 2016, 1 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: [www.stavba.tzb-info.cz](http://www.stavba.tzb-info.cz).
- [23] Maierová, L.: *Světelné prostředí v budovách, nevizuální vnímání světla a interindividuální rozdíly*, disertační práce ČVUT Praha 2015.
- [24] Bystrický V., Kaňka, J.: *Osvětlení*, ČVUT v Praze, (1994).
- [25] ČSN 73 0580 - 3: *Denní osvětlení škol*. 1994.
- [26] Akustická izolace. *Esprit s.r.o.* [online]. Praha: Euroacoustic, 2012 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: [www.esprit-pha.cz](http://www.esprit-pha.cz)
- [27] ČECHURA, Jiří. *Stavební fyzika 10: akustika stavebních konstrukcí*. Praha: České vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-010-1593-9.
- [28] ČSN EN ISO 717-1 *Hodnocení zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách – Část 1: Vzduchová neprůzvučnost*. ČNI Praha 1998. Změna A1, 2007.
- [29] VYCHÝTIL, Jaroslav., KAŇKA, Jan. *Stavební světelná technika - přednášky*. Praha: Nakladatelství ČVUT v Praze, 176 s. 2016. ISBN 978-80-01-06060-5.
- [30] ČSN 73 0512. přílohy B *Stavební akustika - Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků - Část 2: Kročejová neprůzvučnost mezi místnostmi*, 2000.
- [31] ČSN 73 0580 – 1: *Denní osvětlení budov - Část 1: Základní požadavky*, 1994.
- [32] KAŇKA, Jan. *Program Světlo+*. Česká republika, 2016.
- [33] SVOBODA, Zbyněk. *Program Teplo EDU 2014*. Praha, 2014.
- [34] SVOBODA, Zbyněk. *Program Neprůzvučnost 2010*. Praha, 2010.

# Seznam příloh

*Příloha č. 1 – Posouzení obvodové stěny historické části*

*Příloha č. 2 – Posouzení střešní konstrukce historické části*

*Příloha č. 3 – Posouzení obvodové stěny přistavované části*

*Příloha č. 4 – Posouzení střešní konstrukce přistavované části*

*Příloha č. 5 – Posouzení návrhové úpravy obvodové stěny přistavované části*

*Příloha č. 6 – Výpočet neprůzvučnosti návrhové úpravy přizděním*

*Příloha č. 7 – Výpočet neprůzvučnosti návrhové úpravy zřízením předstěny*

## Výkresová část – v příložených deskách

*Výkres č. 1 – Půdorys 1.NP*

*Výkres č. 2 – Půdorys 3.NP*

*Výkres č. 3 – Řez A-A'*

*Výkres č. 4 – Pohled východní*

*Výkres č. 5 – Pohled jižní a jižní dvorní*

*Výkres č. 6 – Situace stínících objektů*

## KOMPLEXNÍ POSOUZENÍ SKLADBY STAVEBNÍ KONSTRUKCE Z HLEDISKA ŠÍŘENÍ TEPLA A VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 13788, EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

### Teplota 2014 EDU

Název úlohy : **Obvodová východní stěna**  
Zpracovatel : radim.kokes@fsv.cvut.cz  
Zakázka : Bakalářská práce  
Datum : 28.03.2017

### ZADANÁ SKLADBA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY :

Typ hodnocené konstrukce : Stěna vnější jednoplášťová  
Korekce součinitele prostupu dU : 0.000 W/m<sup>2</sup>K

#### Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D [m]	Lambda [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	Ro [kg/m <sup>3</sup> ]	Mi [-]	Ma [kg/m <sup>2</sup> ]
1	weber.dur štuk	0,0020	0,7700	790,0	1560,0	12,0	0.0000
2	weber.dur klas	0,0200	0,8600	790,0	1720,0	10,0	0.0000
3	Zdivo CP 1	0,7500	0,8000	900,0	1700,0	8,5	0.0000
4	Omítka vápenoc	0,0400	0,9900	790,0	2000,0	19,0	0.0000

Poznámka: D je tloušťka vrstvy, Lambda je návrhová hodnota tepelné vodivosti vrstvy, C je měrná tepelná kapacita vrstvy, Ro je objemová hmotnost vrstvy, Mi je faktor difúzního odporu vrstvy a Ma je počáteční zabudovaná vlhkost ve vrstvě.

Číslo	Kompletní název vrstvy	Interní výpočet tep. vodivosti
1	weber.dur štuk IN vnitřní štuková omítka	---
2	weber.dur klasik RU jádrová omítka ruční	---
3	Zdivo CP 1	---
4	Omítka vápenocementová	---

#### Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi : 0.13 m<sup>2</sup>K/W  
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rsi : 0.25 m<sup>2</sup>K/W  
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse : 0.04 m<sup>2</sup>K/W  
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rse : 0.04 m<sup>2</sup>K/W

Návrhová venkovní teplota Te : -17.0 C  
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai : 21.0 C  
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe : 84.0 %  
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RHi : 60.0 %

Měsíc	Délka [dny]	Tai [C]	RHi [%]	Pi [Pa]	Te [C]	RHe [%]	Pe [Pa]
1	31	21.0	54.3	1349.7	-2.1	81.1	415.9
2	28	21.0	56.5	1404.4	-0.6	80.7	468.9
3	31	21.0	57.6	1431.7	3.2	79.4	610.0
4	30	21.0	59.3	1473.9	7.7	77.5	814.1
5	31	21.0	63.4	1575.9	12.7	74.5	1093.5
6	30	21.0	67.3	1672.8	16.0	71.9	1306.6
7	31	21.0	69.2	1720.0	17.5	70.4	1407.2
8	31	21.0	68.3	1697.7	16.8	71.1	1359.6
9	30	21.0	64.0	1590.8	13.2	74.2	1125.4
10	31	21.0	59.6	1481.4	8.1	77.3	834.5
11	30	21.0	57.6	1431.7	3.1	79.5	606.4
12	31	21.0	56.6	1406.8	-0.5	80.7	472.8

Poznámka: Tai, RHi a Pi jsou prům. měsíční parametry vnitřního vzduchu (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry) a Te, RHe a Pe jsou prům. měsíční parametry v prostředí na vnější straně konstrukce (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry).

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %

Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem podle EN ISO 13788.

Počet hodnocených let : 1

## VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :

### Teplný odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:

Teplný odpor konstrukce R : 0.984 m<sup>2</sup>K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce U : **0.867 W/m<sup>2</sup>K**

Součinitel prostupu zabudované kce U<sub>kc</sub> : 0.89 / 0.92 / 0.97 / 1.07 W/m<sup>2</sup>K

Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírážkou podle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

### Difúzní odpor a tepelně akumuláční vlastnosti:

Difúzní odpor konstrukce Z<sub>pT</sub> : 3.7E+0010 m/s

Teplotní útlum konstrukce Ny\* podle EN ISO 13786 : 770.4

Fázový posun teplotního kmitu Psi\* podle EN ISO 13786 : 0.6 h

### Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor podle ČSN 730540 a EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T<sub>si,p</sub> : 13.54 C

Teplotní faktor v návrhových podmínkách f<sub>Rsi,p</sub> : **0.804**

Číslo měsíce rel. vlhkosti na vnitřním povrchu: Vypočtené hodnoty

	----- 80% -----		----- 100% -----		Tsi[C]	f,Rsi	RHsi[%]
	Tsi,m[C]	f,Rsi,m	Tsi,m[C]	f,Rsi,m			
1	14.8	0.733	11.4	0.586	16.5	0.804	72.1
2	15.5	0.743	12.0	0.585	16.8	0.804	73.6
3	15.8	0.706	12.3	0.512	17.5	0.804	71.6
4	16.2	0.640	12.8	0.381	18.4	0.804	69.7
5	17.3	0.550	13.8	0.131	19.4	0.804	70.1
6	18.2	0.443	14.7	-----	20.0	0.804	71.5
7	18.7	0.331	15.1	-----	20.3	0.804	72.2
8	18.5	0.393	14.9	-----	20.2	0.804	71.9
9	17.4	0.541	13.9	0.094	19.5	0.804	70.4
10	16.3	0.635	12.8	0.367	18.5	0.804	69.7
11	15.8	0.707	12.3	0.515	17.5	0.804	71.7
12	15.5	0.744	12.1	0.584	16.8	0.804	73.7

Poznámka: RHsi je relativní vlhkost na vnitřním povrchu, Tsi je vnitřní povrchová teplota a f<sub>Rsi</sub> je teplotní faktor.

**Difúze vodní páry v návrh. podmínkách a bilance vodní páry podle ČSN 730540:**  
(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a částečných tlaků vodní páry v návrhových okrajových podmínkách:

<b>rozhraní:</b>	<b>i</b>	<b>1-2</b>	<b>2-3</b>	<b>3-4</b>	<b>e</b>
theta [C]:	16.7	16.6	15.9	-15.0	-15.7
p [Pa]:	1491	1487	1447	190	115
p,sat [Pa]:	1902	1892	1802	164	155

Poznámka: theta je teplota na rozhraní vrstev, p je předpokládaný částečný tlak vodní páry na rozhraní vrstev a p,sat je částečný tlak nasycené vodní páry na rozhraní vrstev.

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

<b>Kond.zóna číslo</b>	<b>Hranice kondenzační zóny</b>		<b>Kondenzující množství vodní páry [kg/(m2s)]</b>
	<b>levá</b>	<b>pravá</b>	
1	0.3451	0.6778	3.075E-0008

**Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry:**

Množství zkondenzované vodní páry za rok  $M_{c,a}$ : **0.0287 kg/(m2.rok)**

Množství vypařitelné vodní páry za rok  $M_{ev,a}$ : **1.2977 kg/(m2.rok)**

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než -5.0 C.

**Bilance zkondenzované a vypařené vodní páry podle EN ISO 13788:**

**Roční cyklus č. 1**

**V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci vodní páry.**

Poznámka: Hodnocení difúze vodní páry bylo provedeno pro předpoklad 1D šíření vodní páry převažující skladbou konstrukce. Pro konstrukce s výraznými systematickými tepelnými mosty je výsledek výpočtu jen orientační. Přesnější výsledky lze získat s pomocí 2D analýzy.

**STOP, Teplo 2014 EDU**

## Příloha č. 2 – Posouzení střešní konstrukce historické části

# KOMPLEXNÍ POSOUZENÍ SKLADBY STAVEBNÍ KONSTRUKCE Z HLEDISKA ŠÍŘENÍ TEPLA A VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 13788, EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

### Teplo 2014 EDU

Název úlohy : **Střešní konstrukce historické části budovy**

Zpracovatel : radim.kokes@fsv.cvut.cz

Zakázka : Bakalářská práce

Datum : 03.04.2017

## ZADANÁ SKLADBA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY :

Typ hodnocené konstrukce : Střecha jednoplášťová

Korekce součinitele prostupu dU : 0.010 W/m<sup>2</sup>K

### Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D [m]	Lambda [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	Ro [kg/m <sup>3</sup> ]	Mi [-]	Ma [kg/m <sup>2</sup> ]
1	Weber. Štuk	0,0040	0,5100	1100,0	1200,0	11,0	0.0000
2	Weber.mur 644	0,0200	0,4900	1000,0	1200,0	10,0	0.0000
3	Dřevo měkké (t	0,0200	0,1800	2510,0	400,0	157,0	0.0000
4	Dřevo měkké (t	0,2000	0,1800	2510,0	400,0	157,0	0.0000
5	Dřevo měkké (t	0,0200	0,1800	2510,0	400,0	157,0	0.0000
6	Píliny	0,1500°	0,1200	2510,0	200,0	2,5	0.0000
7	Dřevo tvrdé (t	0,0200	0,2200	2510,0	600,0	157,0	0.0000
8	Minerální plst'	0,2000	0,0560	880,0	100,0	1,1	0.0000

Poznámka: D je tloušťka vrstvy, Lambda je návrhová hodnota tepelné vodivosti vrstvy, C je měrná tepelná kapacita vrstvy, Ro je objemová hmotnost vrstvy, Mi je faktor difúzního odporu vrstvy a Ma je počáteční zabudovaná vlhkost ve vrstvě.

° tepelně účinná tloušťka spádové vrstvy, stanovena interním výpočtem dle EN ISO 6946

Číslo	Kompletní název vrstvy	Interní výpočet tep. vodivosti
1	Weber.mur 642 štuková omítka	---
1	Weber.mur 644 vápenosádrová omítka	---
2	Dřevo měkké (tok kolmo k vláknům)	---
3	Dřevo měkké (tok kolmo k vláknům)	---
4	Dřevo měkké (tok kolmo k vláknům)	---
5	Píliny	---
6	Dřevo tvrdé (tok kolmo k vláknům)	---
7	Minerální plst' 1 (do roku 2003)	---

### Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi : 0.10 m<sup>2</sup>K/W  
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rsi : 0.25 m<sup>2</sup>K/W  
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse : 0.04 m<sup>2</sup>K/W  
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rse : 0.04 m<sup>2</sup>K/W

Návrhová venkovní teplota Te : -17.0 C  
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai : 21.0 C  
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe : 84.0 %  
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RHi : 60.0 %

Měsíc	Délka [dny]	Tai [C]	RHi [%]	Pi [Pa]	Te [C]	RHe [%]	Pe [Pa]
1	31	21.0	54.3	1349.7	-4.1	81.1	351.3
2	28	21.0	56.5	1404.4	-2.6	80.7	396.8
3	31	21.0	57.6	1431.7	1.2	79.4	528.7
4	30	21.0	59.3	1473.9	5.7	77.5	709.4
5	31	21.0	63.4	1575.9	10.7	74.5	958.1
6	30	21.0	67.3	1672.8	14.0	71.9	1148.8
7	31	21.0	69.2	1720.0	15.5	70.4	1239.1
8	31	21.0	68.3	1697.7	14.8	71.1	1196.3
9	30	21.0	64.0	1590.8	11.2	74.2	986.5
10	31	21.0	59.6	1481.4	6.1	77.3	727.5
11	30	21.0	57.6	1431.7	1.1	79.5	525.6
12	31	21.0	56.6	1406.8	-2.5	80.7	400.2

Poznámka: Tai, RHi a Pi jsou prům. měsíční parametry vnitřního vzduchu (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry) a Te, RHe a Pe jsou prům. měsíční parametry v prostředí na vnější straně konstrukce (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry).

Průměrná měsíční venkovní teplota Te byla v souladu s EN ISO 13788 snížena o 2 C (orientační zohlednění výměny tepla sáláním mezi střechou a oblohou).

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírůžka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %

Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem podle EN ISO 13788.

Počet hodnocených let : 1

## VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :

### Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 5.898 m<sup>2</sup>K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce U : **0.166 W/m<sup>2</sup>K**

Součinitel prostupu zabudované kce U<sub>kc</sub> : 0.19 / 0.22 / 0.27 / 0.37 W/m<sup>2</sup>K

Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírůžkou podle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

### Difúzní odpor a tepelně akumulční vlastnosti:

Difúzní odpor konstrukce Z<sub>pT</sub> : 2.2E+0011 m/s

Teplotní útlum konstrukce Ny\* podle EN ISO 13786 : 10045.8

Fázový posun teplotního kmitu Psi\* podle EN ISO 13786 : 2.2 h

### Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor podle ČSN 730540 a EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T<sub>si,p</sub> : 19.46 C

Teplotní faktor v návrhových podmínkách f<sub>Rsi,p</sub> : **0.960**

Číslo měsíce Minimální požadované hodnoty při max. rel. vlhkosti na vnitřním povrchu: Vypočtené hodnoty

	----- 80% -----		----- 100% -----		Tsi[C]	f,Rsi	RHsi[%]
	Tsi,m[C]	f,Rsi,m	Tsi,m[C]	f,Rsi,m			
1	14.8	0.755	11.4	0.619	20.0	0.960	57.8
2	15.5	0.765	12.0	0.620	20.0	0.960	59.9
3	15.8	0.735	12.3	0.562	20.2	0.960	60.5
4	16.2	0.687	12.8	0.462	20.4	0.960	61.6
5	17.3	0.638	13.8	0.300	20.6	0.960	65.0
6	18.2	0.602	14.7	0.101	20.7	0.960	68.5
7	18.7	0.575	15.1	-----	20.8	0.960	70.2
8	18.5	0.589	14.9	0.022	20.7	0.960	69.4
9	17.4	0.634	13.9	0.279	20.6	0.960	65.6
10	16.3	0.684	12.8	0.452	20.4	0.960	61.9
11	15.8	0.737	12.3	0.564	20.2	0.960	60.5
12	15.5	0.765	12.1	0.619	20.1	0.960	60.0

Poznámka: RHsi je relativní vlhkost na vnitřním povrchu, Tsi je vnitřní povrchová teplota a f<sub>Rsi</sub> je teplotní faktor.



**Difúze vodní páry v návrh. podmínkách a bilance vodní páry podle ČSN 730540:**  
(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a částečných tlaků vodní páry v návrhových okrajových podmínkách:

<b>rozhraní:</b>	<b>i</b>	<b>1-2</b>	<b>2-3</b>	<b>3-4</b>	<b>4-5</b>	<b>5-6</b>	<b>6-7</b>	<b>e</b>
theta [C]:	20.4	20.2	19.5	12.9	12.3	4.9	4.4	-16.8
p [Pa]:	1491	1485	1381	342	238	226	122	115
p,sat [Pa]:	2397	2361	2267	1491	1428	865	833	140

Poznámka: theta je teplota na rozhraní vrstev, p je předpokládaný částečný tlak vodní páry na rozhraní vrstev a p,sat je částečný tlak nasycené vodní páry na rozhraní vrstev.

**Při venkovní návrhové teplotě nedochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.**

Množství difundující vodní páry Gd : 6.615E-0009 kg/(m2.s)

**Bilance zkondenzované a vypařené vodní páry podle EN ISO 13788:**

Roční cyklus č. 1

**V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci vodní páry.**

Poznámka: Hodnocení difúze vodní páry bylo provedeno pro předpoklad 1D šíření vodní páry převažující skladbou konstrukce. Pro konstrukce s výraznými systematickými tepelnými mosty je výsledek výpočtu jen orientační. Přesnější výsledky lze získat s pomocí 2D analýzy.

**STOP, Teplo 2014 EDU**

## KOMPLEXNÍ POSOUZENÍ SKLADBY STAVEBNÍ KONSTRUKCE Z HLEDISKA ŠÍŘENÍ TEPLA A VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 13788, EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

Název úlohy : **Přistavěná část budovy jižní strana**  
Zpracovatel : radim.kokes@fsv.cvut.cz  
Zakázka : Bakalářská práce  
Datum : 03.04.2017

### ZADANÁ SKLADBA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY :

Typ hodnocené konstrukce : Stěna vnější jednoplášťová  
Korekce součinitele prostupu dU : 0.000 W/m<sup>2</sup>K

#### Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D [m]	Lambda [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	Ro [kg/m <sup>3</sup> ]	Mi [-]	Ma [kg/m <sup>2</sup> ]
1	weber.dur štuk	0,0100	0,7700	790,0	1560,0	12,0	0.0000
2	Zdivo CD-TÝN t	0,3650	0,3600	960,0	1000,0	7,0	0.0000
3	weber.dur štuk	0,0100	0,7700	790,0	1640,0	15,0	0.0000

Poznámka: D je tloušťka vrstvy, Lambda je návrhová hodnota tepelné vodivosti vrstvy, C je měrná tepelná kapacita vrstvy, Ro je objemová hmotnost vrstvy, Mi je faktor difúzního odporu vrstvy a Ma je počáteční zabudovaná vlhkost ve vrstvě.

Číslo	Kompletní název vrstvy	Interní výpočet tep. vodivosti
1	weber.dur štuk IN vnitřní štuková omítka	---
2	Zdivo CD-TÝN tl. 365 mm	---
3	weber.dur štuk EX vnější štuková omítka	---

#### Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi : 0.13 m<sup>2</sup>K/W  
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rsi : 0.25 m<sup>2</sup>K/W  
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse : 0.04 m<sup>2</sup>K/W  
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rse : 0.04 m<sup>2</sup>K/W

Návrhová venkovní teplota Te : -17.0 C  
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai : 21.0 C  
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe : 84.0 %  
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RHi : 60.0 %

Měsíc	Délka [dny]	Tai [C]	RHi [%]	Pi [Pa]	Te [C]	RHe [%]	Pe [Pa]
1	31	21.0	54.3	1349.7	-2.1	81.1	415.9
2	28	21.0	56.5	1404.4	-0.6	80.7	468.9
3	31	21.0	57.6	1431.7	3.2	79.4	610.0
4	30	21.0	59.3	1473.9	7.7	77.5	814.1
5	31	21.0	63.4	1575.9	12.7	74.5	1093.5
6	30	21.0	67.3	1672.8	16.0	71.9	1306.6
7	31	21.0	69.2	1720.0	17.5	70.4	1407.2
8	31	21.0	68.3	1697.7	16.8	71.1	1359.6
9	30	21.0	64.0	1590.8	13.2	74.2	1125.4
10	31	21.0	59.6	1481.4	8.1	77.3	834.5
11	30	21.0	57.6	1431.7	3.1	79.5	606.4
12	31	21.0	56.6	1406.8	-0.5	80.7	472.8

Poznámka: Tai, RHi a Pi jsou prům. měsíční parametry vnitřního vzduchu (teplota, relativní vlhkost)

a částečný tlak vodní páry) a  $T_e$ ,  $R_{He}$  a  $P_e$  jsou prům. měsíční parametry v prostředí na vnější straně konstrukce (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry).

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %

Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem podle EN ISO 13788.

Počet hodnocených let : 1

## VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :

### Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 1.040 m<sup>2</sup>K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce U : **0.827 W/m<sup>2</sup>K**

Součinitel prostupu zabudované kce U<sub>k</sub> : 0.85 / 0.88 / 0.93 / 1.03 W/m<sup>2</sup>K

Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírážkou podle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

### Difúzní odpor a tepelně akumulční vlastnosti:

Difúzní odpor konstrukce Z<sub>pT</sub> : 1.5E+0010 m/s

Teplotní útlum konstrukce Ny\* podle EN ISO 13786 : 55.1

Fázový posun teplotního kmitu Psi\* podle EN ISO 13786 : 13.0 h

### Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor podle ČSN 730540 a EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T<sub>si,p</sub> : 13.86 C

Teplotní faktor v návrhových podmínkách f<sub>Rsi,p</sub> : **0.812**

	----- 80% -----		----- 100% -----				
	T <sub>si,m</sub> [C]	f <sub>Rsi,m</sub>	T <sub>si,m</sub> [C]	f <sub>Rsi,m</sub>	T <sub>si</sub> [C]	f <sub>Rsi</sub>	RH <sub>si</sub> [%]
1	14.8	0.733	11.4	0.586	16.7	0.812	71.2
2	15.5	0.743	12.0	0.585	16.9	0.812	72.8
3	15.8	0.706	12.3	0.512	17.7	0.812	70.9
4	16.2	0.640	12.8	0.381	18.5	0.812	69.2
5	17.3	0.550	13.8	0.131	19.4	0.812	69.8
6	18.2	0.443	14.7	-----	20.1	0.812	71.3
7	18.7	0.331	15.1	-----	20.3	0.812	72.1
8	18.5	0.393	14.9	-----	20.2	0.812	71.7
9	17.4	0.541	13.9	0.094	19.5	0.812	70.1
10	16.3	0.635	12.8	0.367	18.6	0.812	69.3
11	15.8	0.707	12.3	0.515	17.6	0.812	71.0
12	15.5	0.744	12.1	0.584	17.0	0.812	72.8

Poznámka: RH<sub>si</sub> je relativní vlhkost na vnitřním povrchu, T<sub>si</sub> je vnitřní povrchová teplota a f<sub>Rsi</sub> je teplotní faktor.

### Difúze vodní páry v návrh. podmínkách a bilance vodní páry podle ČSN 730540: (bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a částečných tlaků vodní páry v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	e
theta [C]:	16.9	16.5	-15.3	-15.7
p [Pa]:	1491	1433	188	115
p,sat [Pa]:	1926	1877	160	154

Poznámka: theta je teplota na rozhraní vrstev, p je předpokládaný částečný tlak vodní páry na rozhraní vrstev a p,sat je částečný tlak nasycené vodní páry na rozhraní vrstev.

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna číslo	Hranice kondenzační zóny levá [m]	Hranice kondenzační zóny pravá [m]	Kondenzující množství vodní páry [kg/(m <sup>2</sup> s)]
1	0.1809	0.3380	7.366E-0008

Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry:

Množství zkondenzované vodní páry za rok  $M_{c,a}$ : **0.0692 kg/(m<sup>2</sup>.rok)**

Množství vypařitelné vodní páry za rok  $M_{ev,a}$ : **3.3170 kg/(m<sup>2</sup>.rok)**

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než -5.0 C.

**Bilance zkondenzované a vypařené vodní páry podle EN ISO 13788:**

Roční cyklus č. 1

**V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci vodní páry.**

Poznámka: Hodnocení difúze vodní páry bylo provedeno pro předpoklad 1D šíření vodní páry převažující skladbou konstrukce. Pro konstrukce s výraznými systematickými tepelnými mosty je výsledek výpočtu jen orientační. Přesnější výsledky lze získat s pomocí 2D analýzy.

**STOP, Teplo 2014 EDU**

## KOMPLEXNÍ POSOUZENÍ SKLADBY STAVEBNÍ KONSTRUKCE Z HLEDISKA ŠÍŘENÍ TEPLA A VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 13788, EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

Název úlohy : **Střešní konstrukce přistavovaná část**  
Zpracovatel : radim.kokes@fsv.cvut.cz  
Zakázka : Bakalářská práce  
Datum : 05.05.2017

### ZADANÁ SKLADBA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY :

Typ hodnocené konstrukce : Střecha dvouplášťová nebo strop pod půdou  
Korekce součinitele prostupu dU : 0.000 W/m<sup>2</sup>K

#### Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D [m]	Lambda [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	Ro [kg/m <sup>3</sup> ]	Mi [-]	Ma [kg/m <sup>2</sup> ]
1	Stropní konstr	0,1900	0,8260	800,0	800,0	20,0	0.0000
2	Beton hutný 1	0,0600	1,2300	1020,0	2100,0	17,0	0.0000
3	Bitagit AL+V60	0,0040	0,2100	1470,0	1200,0	420000,0	0.0000
4	BASF EPS 100	0,1000	0,0390	1250,0	19,0	40,0	0.0000
5	Bitadek 40 Sta	0,0040	0,2100	1470,0	1200,0	40000,0	0.0000

Poznámka: D je tloušťka vrstvy, Lambda je návrhová hodnota tepelné vodivosti vrstvy, C je měrná tepelná kapacita vrstvy, Ro je objemová hmotnost vrstvy, Mi je faktor difúzního odporu vrstvy a Ma je počáteční zabudovaná vlhkost ve vrstvě.

Číslo	Kompletní název vrstvy	Interní výpočet tep. vodivosti
1	Stropní konstrukce Porotherm Miako 190 mm	---
2	Beton hutný 1	---
3	Bitagit AL+V60 40 Mineral	---
4	BASF EPS 100	---
5	Bitadek 40 Standard Mineral	---

#### Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi : 0.10 m<sup>2</sup>K/W  
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rsi : 0.25 m<sup>2</sup>K/W  
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse : 0.10 m<sup>2</sup>K/W  
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rse : 0.10 m<sup>2</sup>K/W

Návrhová venkovní teplota Te : -17.0 C  
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai : 21.0 C  
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe : 84.0 %  
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RHi : 60.0 %

Měsíc	Délka [dny]	Tai [C]	RHi [%]	Pi [Pa]	Te [C]	RHe [%]	Pe [Pa]
1	31	21.0	54.3	1349.7	-2.1	81.1	415.9
2	28	21.0	56.5	1404.4	-0.6	80.7	468.9
3	31	21.0	57.6	1431.7	3.2	79.4	610.0
4	30	21.0	59.3	1473.9	7.7	77.5	814.1
5	31	21.0	63.4	1575.9	12.7	74.5	1093.5
6	30	21.0	67.3	1672.8	16.0	71.9	1306.6
7	31	21.0	69.2	1720.0	17.5	70.4	1407.2
8	31	21.0	68.3	1697.7	16.8	71.1	1359.6
9	30	21.0	64.0	1590.8	13.2	74.2	1125.4
10	31	21.0	59.6	1481.4	8.1	77.3	834.5
11	30	21.0	57.6	1431.7	3.1	79.5	606.4
12	31	21.0	56.6	1406.8	-0.5	80.7	472.8

Poznámka: Tai, RHi a Pi jsou prům. měsíční parametry vnitřního vzduchu (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry) a Te, RHe a Pe jsou prům. měsíční parametry v prostředí na vnější straně konstrukce (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry).

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %

Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem podle EN ISO 13788.

Počet hodnocených let : 1

## VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :

### Teplný odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:

Teplný odpor konstrukce R : 2.881 m<sup>2</sup>K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.325 W/m<sup>2</sup>K

Součinitel prostupu zabudované kce U<sub>kc</sub> : 0.34 / 0.37 / 0.42 / 0.52 W/m<sup>2</sup>K

Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírážkou podle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

### Difúzní odpor a tepelně akumulční vlastnosti:

Difúzní odpor konstrukce Z<sub>pT</sub> : 9.8E+0012 m/s

Teplotní útlum konstrukce N<sub>y</sub>\* podle EN ISO 13786 : 143.9

Fázový posun teplotního kmitu Psi\* podle EN ISO 13786 : 7.9 h

### Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor podle ČSN 730540 a EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T<sub>si,p</sub> : 18.06 C

Teplotní faktor v návrhových podmínkách f<sub>Rsi,p</sub> : 0.923

Číslo měsíce Minimální požadované hodnoty při max. hodnoty

Vypočtené rel. vlhkosti na vnitřním povrchu:

	----- 80% -----		----- 100% -----		Tsi[C]	f,Rsi	RHsi[%]	
	Tsi,m[C]	f,Rsi,m	Tsi,m[C]	f,Rsi,m				
1	14.8	0.733	11.4	0.586	19.2	0.923	60.6	
2	15.5	0.743	12.0	0.585	19.3	0.923	62.6	
3	15.8	0.706	12.3	0.512	19.6	0.923	62.7	
4	16.2	0.640	12.8	0.381	20.0	0.923	63.2	
5	17.3	0.550	13.8	0.131	20.4	0.923	66.0	
6	18.2	0.443	14.7	-----	20.6	0.923	68.9	
7	18.7	0.331	15.1	-----	20.7	0.923	70.4	
8	18.5	0.393	14.9	-----	20.7	0.923	69.7	
9	17.4	0.541	13.9	0.094	20.4	0.923	66.4	
10		16.3	0.635	12.8	0.367	20.0	0.923	63.4
11		15.8	0.707	12.3	0.515	19.6	0.923	62.7
12		15.5	0.744	12.1	0.584	19.3	0.923	62.7

Poznámka: RHsi je relativní vlhkost na vnitřním povrchu, Tsi je vnitřní povrchová teplota a f<sub>Rsi</sub> je teplotní faktor.

**Difúze vodní páry v návrh. podmínkách a bilance vodní páry podle ČSN 730540:**  
(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a částečných tlaků vodní páry v návrhových okrajových podmínkách:

<b>rozhraní:</b>	<b>i</b>	<b>1-2</b>	<b>2-3</b>	<b>3-4</b>	<b>4-5</b>	<b>e</b>
theta [C]:	19.8	16.9	16.3	16.1	-15.5	-15.8
p [Pa]:	1491	1489	1488	237	234	115
p,sat [Pa]:	2303	1928	1856	1828	157	153

Poznámka: theta je teplota na rozhraní vrstev, p je předpokládaný částečný tlak vodní páry na rozhraní vrstev a p,sat je částečný tlak nasycené vodní páry na rozhraní vrstev.

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

<b>Kond.zóna</b>	<b>Hranice kondenzační zóny</b>		<b>Kondenzující množství</b>
<b>číslo</b>	<b>levá</b>	<b>[m] pravá</b>	<b>vodní páry [kg/(m2s)]</b>
1	0.3540	0.3540	1.055E-0010

Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry:

Množství zkondenzované vodní páry za rok  $M_{c,a}$ : **0.0001 kg/(m2.rok)**

Množství vypařitelné vodní páry za rok  $M_{ev,a}$ : **0.0103 kg/(m2.rok)**

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než -5.0 C.

**Bilance zkondenzované a vypařené vodní páry podle EN ISO 13788:**

Roční cyklus č. 1

**V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci vodní páry.**

Poznámka: Hodnocení difúze vodní páry bylo provedeno pro předpoklad 1D šíření vodní páry převažující skladbou konstrukce. Pro konstrukce s výraznými systematickými tepelnými mosty je výsledek výpočtu jen orientační. Přesnější výsledky lze získat s pomocí 2D analýzy.

**STOP, Teplo 2014 EDU**

## KOMPLEXNÍ POSOUZENÍ SKLADBY STAVEBNÍ KONSTRUKCE Z HLEDISKA ŠÍŘENÍ TEPLA A VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 13788, EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

Teplo 2014 EDU

Název úlohy : **Přistavěná část budovy jižní strana Návrh**  
Zpracovatel : radim.kokes@fsv.cvut.cz  
Zakázka : Bakalářská práce  
Datum : 03.04.2017

### ZADANÁ SKLADBA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY :

Typ hodnocené konstrukce : Stěna vnější jednoplášťová  
Korekce součinitele prostupu dU : 0.000 W/m<sup>2</sup>K

#### Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D [m]	Lambda [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	Ro [kg/m <sup>3</sup> ]	Mi [-]	Ma [kg/m <sup>2</sup> ]
1	weber.dur štuk	0,0100	0,7700	790,0	1560,0	12,0	0.0000
2	Zdivo CD-TÝN t	0,3650	0,3600	960,0	1000,0	7,0	0.0000
3	weber.mix C zd	0,0100	0,2600	850,0	950,0	20,0	0.0000
4	Isover EPS Gre	0,1000	0,0320	1270,0	16,0	30,0	0.0000
5	Weber.dur univ	0,0040	0,5300	790,0	1500,0	20,0	0.0000
6	Výztužná vrstv	0,0020	0,7500	840,0	1000,0	50,0	0.0000
7	weber.pas sili	0,0020	0,8000	920,0	1800,0	30,0	0.0000

Poznámka: D je tloušťka vrstvy, Lambda je návrhová hodnota tepelné vodivosti vrstvy, C je měrná tepelná kapacita vrstvy, Ro je objemová hmotnost vrstvy, Mi je faktor difúzního odporu vrstvy a Ma je počáteční zabudovaná vlhkost ve vrstvě.

Číslo	Kompletní název vrstvy	Interní výpočet tep. vodivosti
1	weber.dur štuk IN vnitřní štuková omítka	---
2	Zdivo CD-TÝN tl. 365 mm	---
3	weber.mix C zdící malta pro celoplošné lepení	---
4	Isover EPS GreyWall Plus	---
5	Weber.dur univerzál univerzální malta	---
6	Výztužná vrstva ETICS	---
7	weber.pas silikát - silikátová omítka	---

#### Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi : 0.13 m<sup>2</sup>K/W  
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rsi : 0.25 m<sup>2</sup>K/W  
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse : 0.04 m<sup>2</sup>K/W  
dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rse : 0.04 m<sup>2</sup>K/W

Návrhová venkovní teplota Te : -17.0 C  
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai : 21.0 C  
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe : 84.0 %  
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RH<sub>i</sub> : 60.0 %



Měsíc	Délka [dny]	Tai [C]	RHi [%]	Pi [Pa]	Te [C]	RHe [%]	Pe [Pa]
1	31	21.0	54.3	1349.7	-2.1	81.1	415.9
2	28	21.0	56.5	1404.4	-0.6	80.7	468.9
3	31	21.0	57.6	1431.7	3.2	79.4	610.0
4	30	21.0	59.3	1473.9	7.7	77.5	814.1
5	31	21.0	63.4	1575.9	12.7	74.5	1093.5
6	30	21.0	67.3	1672.8	16.0	71.9	1306.6
7	31	21.0	69.2	1720.0	17.5	70.4	1407.2
8	31	21.0	68.3	1697.7	16.8	71.1	1359.6
9	30	21.0	64.0	1590.8	13.2	74.2	1125.4
10	31	21.0	59.6	1481.4	8.1	77.3	834.5
11	30	21.0	57.6	1431.7	3.1	79.5	606.4
12	31	21.0	56.6	1406.8	-0.5	80.7	472.8

Poznámka: Tai, RHi a Pi jsou prům. měsíční parametry vnitřního vzduchu (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry) a Te, RHe a Pe jsou prům. měsíční parametry v prostředí na vnější straně konstrukce (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry).

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %

Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem podle EN ISO 13788.

Počet hodnocených let : 1

## VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :

### Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 4.180 m<sup>2</sup>K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce U : **0.230 W/m<sup>2</sup>K**

Součinitel prostupu zabudované kce U<sub>k,c</sub> : 0.25 / 0.28 / 0.33 / 0.43 W/m<sup>2</sup>K

Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírážkou podle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

### Difúzní odpor a tepelně akumulční vlastnosti:

Difúzní odpor konstrukce Z<sub>pT</sub> : 3.2E+0010 m/s

Teplotní útlum konstrukce Ny\* podle EN ISO 13786 : 792.7

Fázový posun teplotního kmitu Psi\* podle EN ISO 13786 : 15.7 h

### Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor podle ČSN 730540 a EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T<sub>si,p</sub> : 18.87 C

Teplotní faktor v návrhových podmínkách f<sub>r,si,p</sub> : **0.944**

	----- 80% -----		----- 100% -----		Tsi[C]	f <sub>r,si</sub>	RHsi[%]
	Tsi,m[C]	f <sub>r,si,m</sub>	Tsi,m[C]	f <sub>r,si,m</sub>			
1	14.8	0.733	11.4	0.586	19.7	0.944	58.8
2	15.5	0.743	12.0	0.585	19.8	0.944	60.9
3	15.8	0.706	12.3	0.512	20.0	0.944	61.2
4	16.2	0.640	12.8	0.381	20.3	0.944	62.1
5	17.3	0.550	13.8	0.131	20.5	0.944	65.2
6	18.2	0.443	14.7	-----	20.7	0.944	68.5
7	18.7	0.331	15.1	-----	20.8	0.944	70.0
8	18.5	0.393	14.9	-----	20.8	0.944	69.3
9	17.4	0.541	13.9	0.094	20.6	0.944	65.7
10	16.3	0.635	12.8	0.367	20.3	0.944	62.3
11	15.8	0.707	12.3	0.515	20.0	0.944	61.3
12	15.5	0.744	12.1	0.584	19.8	0.944	61.0

Poznámka: RHsi je relativní vlhkost na vnitřním povrchu, Tsi je vnitřní povrchová teplota a f<sub>r,si</sub> je teplotní faktor.

**Difúze vodní páry v návrh. podmínkách a bilance vodní páry podle ČSN 730540:**  
(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a částečných tlaků vodní páry v návrhových okrajových podmínkách:

<b>rozhraní:</b>	<b>i</b>	<b>1-2</b>	<b>2-3</b>	<b>3-4</b>	<b>4-5</b>	<b>5-6</b>	<b>6-7</b>	<b>e</b>	
theta [C]:	19.9	19.8	10.9	10.8	-16.5	-16.6	-16.6	-16.7	
p [Pa]:	1491	1464	877	859	170	152	129	115	
p,sat [Pa]:		2317	2301	1303	1291	143	142	142	141

Poznámka: theta je teplota na rozhraní vrstev, p je předpokládaný částečný tlak vodní páry na rozhraní vrstev a p,sat je částečný tlak nasycené vodní páry na rozhraní vrstev.

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

<b>Kond.zóna</b> <b>číslo</b>	<b>Hranice kondenzační zóny</b>		<b>Kondenzující množství</b> <b>vodní páry [kg/(m2s)]</b>
	<b>levá</b>	<b>pravá</b>	
1	0.4491	0.4790	2.581E-0008

Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry:

Množství zkondenzované vodní páry za rok  $M_{c,a}$ : **0.0146 kg/(m2.rok)**

Množství vypařitelné vodní páry za rok  $M_{ev,a}$ : **3.5987 kg/(m2.rok)**

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než -5.0 C.

**Bilance zkondenzované a vypařené vodní páry podle EN ISO 13788:**

Roční cyklus č. 1

**V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci vodní páry.**

Poznámka: Hodnocení difúze vodní páry bylo provedeno pro předpoklad 1D šíření vodní páry převažující skladbou konstrukce. Pro konstrukce s výraznými systematickými tepelnými mosty je výsledek výpočtu jen orientační. Přesnější výsledky lze získat s pomocí 2D analýzy.

**STOP, Teplo 2014 EDU**

*Příloha č. 6 – Výpočet neprůzvučnosti návrhové úpravy přizdáním*

**TEORETICKÝ VÝPOČET VZDUCHOVÉ A KROČEJOVÉ  
NEPRŮZVUČNOSTI STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ**

dle J.Čechura: Stavební fyzika 10, ČVUT 1997  
a ČSN EN ISO 717-1 a ČSN EN ISO 717-2 (1998)

**Neprůzvučnost 2010**

Název úlohy : Vážená neprůzvučnost  
Zpracovatel : FSv ČVUT K124  
Zakázka : Bakalářská práce  
Datum : 9.5.2017

***KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT:***

Základní parametry úlohy:

Typ konstrukce : jednoduchá vrstvená  
Typ výpočtu : vážená neprůzvučnost (index vzduch. neprůzvučnosti)  
Korekce k : 2,0 dB

Zadané vrstvy konstrukce (od chráněné místnosti):

číslo	Název	D[m]	Ro[kg/m <sup>3</sup> ]	c[m/s]	eta[-]	Ed[MPa]/alfa[-]
1	Zdivo cihelné	0,1150	1300,0	2108	0,035	-----
2	Zdivo cihelné	0,1750	680,0	2108	0,035	-----

---

Suma: 0,2900 925,9 2125 0,035

***TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ:***

Kmitočet f[Hz]	Neprůzv. R[dB]	Ref. křivka Rref[dB]	Rozdíl deltaR[dB]
100	30,5	30	-----
125	30,5	33	2,5
160	32,1	36	3,9
200	35,5	39	3,5
250	38,8	42	3,2
315	41,5	45	3,5
400	43,5	48	4,5
500	45,5	49	3,5
630	47,5	50	2,5
800	49,5	51	1,5
1000	51,5	52	0,5
1250	53,5	53	-----
1600	55,5	53	-----
2000	57,5	53	-----
2500	59,5	53	-----
3150	61,5	53	-----
<b>Součet:</b>		<b>28,9</b>	

**Vážená neprůzvučnost (laboratorní)  $R_w$  :** 49 dB  
**Faktor přízpůsobení spektru C :** -2 dB  
**Faktor přízpůsobení spektru C, tr :** -6 dB

**Zápis dle ČSN EN ISO 717-1:**  $R_w$  (C;Ctr) = 49 (-2;-6) dB

**Předpokládaná vážená stavební neprůzvučnost  $R'w$  :** 47 dB  
STOP, NEPrůzvučnost 2010

*Příloha č. 7 – Výpočet neprůzvučnosti návrhové úpravy zřízení předstěny*

**TEORETICKÝ VÝPOČET  
VZDUCHOVÉ A KROČEJOVÉ NEPRŮZVUČNOSTI  
STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ**

dle J.Čechura: Stavební fyzika 10, ČVUT 1997  
a ČSN EN ISO 717-1 a ČSN EN ISO 717-2 (1998)

**NEPrůzvučnost 2010**

Název úlohy : SDK předstěna  
Zpracovatel : K124 FSv CVUT  
Zakázka : Bakalářská práce  
Datum : 9.5.2017

**KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT:**

Základní parametry úlohy:

Typ konstrukce : dvojitá  
Typ výpočtu : vážená neprůzvučnost (index vzduch. neprůzvučnosti)  
Korekce k : 4,0 dB

Zadané vrstvy konstrukce (od chráněné místnosti):

číslo	Název	D[m]	Ro[kg/m <sup>3</sup> ]	c[m/s]	eta[-]	Ed[MPa]/alfa
1	Zdivo cihelné	0,1150	1300,0	2108	0,035	----
2	Vzduchová vrst	0,0750	1,1	340	-----	0,60
3	Sádrokarton	0,0250	920,0	1775	0,021	----

**TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ:**

Kmitočet Rozdíl f[Hz]	Dílčí neprůzvučnosti Neprůzv. Ref. křivka					
	1.kce[dB]	2.kce[dB]	DR(sep.)[dB]	R[dB]	Rref[dB]	deltaR[dB]
100	33,5	19,7	0,2	35,4	34	----
125	33,5	21,7	2,2	37,8	37	----
160	33,5	23,7	4,2	40,2	40	----
200	33,5	25,8	6,0	42,5	43	0,5
250	33,5	27,7	6,0	43,1	46	2,9
315	33,5	29,7	6,0	43,8	49	5,2
400	35,0	31,6	6,0	45,5	52	6,5
500	38,4	31,6	6,0	47,6	53	5,4
630	41,7	31,6	6,0	50,0	54	4,0
800	44,4	31,6	6,0	52,2	55	2,8
1000	46,4	31,6	6,0	53,8	56	2,2
1250	48,4	31,6	6,0	55,6	57	1,4
1600	50,4	31,6	6,0	57,3	57	----
2000	52,4	31,6	6,0	59,2	57	----
2500	54,4	34,0	6,0	61,2	57	----
3150	56,4	37,4	6,0	63,3	57	----
<b>Součet:</b>						<b>30,9</b>

<b>Vážená neprůzvučnost (laboratorní) <math>R_w</math> :</b>	<b>53 dB</b>
<b>Faktor přízpůsobení spektru C :</b>	<b>-2 dB</b>
<b>Faktor přízpůsobení spektru C, tr :</b>	<b>-5 dB</b>
<b>Zápis dle ČSN EN ISO 717-1:</b>	<b><math>R_w (C; C_{tr}) = 53 (-2; -5) \text{ dB}</math></b>
<b>Předpokládaná vážená stavební neprůzvučnost <math>R'w</math> :</b>	<b>49 dB</b>

STOP, NEPrůzvučnost 2010