

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD**

KATEDRA MECHANIKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Komplexní porovnání vybraných konstrukčních systémů
pro dvoupodlažní RD s ekonomicko-technologickými
návaznostmi**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta aplikovaných věd

Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Michal BRECHLIČUK**

Osobní číslo: **A16N0104P**

Studijní program: **N3607 Stavební inženýrství**

Studijní obor: **Stavitelství**

Název tématu: **Komplexní porovnání vybraných konstrukčních systémů pro dvoupodlažní RD s ekonomicko-technologickými návaznostmi**

Zadávací katedra: **Katedra mechaniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Úvodní část s popisem řešeného porovnávaného konstrukčního řešení.

1. Provedení a způsob koncepčních řešení základních nosných prvků vybraných konstrukčních systémů, koncepční řešení nosníků v návaznosti na konstrukci a koncepci s řešením vnitřních sil a kombinačních stavů vzniklých v konstrukci od daného zatížení.
2. Provedení technologického projektu pro jednotlivé konstrukční systémy, harmonogram a zařízení staveniště.
3. Zpracujte technologicko-ekonomický rozbor a jeho porovnání.


Rozsah grafických prací: Práce skládající se z výkresů a textových částí
Rozsah kvalifikační práce: úvodní část 50 - 60 stran A4
Forma zpracování diplomové práce: tištěná
Seznam odborné literatury:

1. ČSN EN 1990 - Zásady navrhování stavebních konstrukcí.
2. ČSN EN 1991 - Zatížení stavebních konstrukcí.
3. ČSN EN 1993 - Navrhování ocelových konstrukcí.
4. Faltus F.: Ocelové konstrukce pozemního stavitelství. Praha, 1960.
5. kol. autorů: Konstrukce pozemních staveb. Praha, 1968.

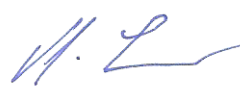
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Kesl**
Katedra mechaniky

Datum zadání diplomové práce: **3. července 2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **5. ledna 2018**


Doc. Dr. Ing. Vlasta Radová
děkanka




Prof. Ing. Vladislav Laš, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 3. července 2017

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na komplexní porovnání vybraných konstrukčních systémů s ekonomicko-technologickými návaznostmi pro objekt dvoupodlažního, nepodsklepeného rodinného domu.

Práce obsahuje popis a charakteristiky vybraných konstrukčních systémů pro daný objekt a představení uvažovaných hledisek pro porovnání jednotlivých variant.

Analytická část se zabývá komplexním posouzením variant konstrukčních systémů a vzájemným porovnáním. V závěru je provedeno shrnutí zjištěných poznatků a bodové ohodnocení nejúspěšnější varianty.

Veškeré výpočty byly provedeny dle platných norem ČSN EN, výkresová dokumentace v programu AutoCAD 2015, tepelné výpočty v programu Teplo 2017, rozpočet a harmonogram v programu KROS 4.

Klíčová slova

Dvoupodlažní rodinný dům, porovnání konstrukčních systémů, rozpočet, harmonogram

Abstract

This master thesis is focused on complex comparison of chosen construction systems with economic – technological connections for project of two-storey family house without cellar.

The thesis contains description and characteristics of chosen construction systems for given building and introduction of considered aspects used for comparison of individual variants.

Analytical part deals with complex assessment of construction system variants and comparison of each other. In the end a summary of findings is made and point score is made for most successful variations.

All of the calculations were made according to valid standards ČSN EN, drawing documentation in program AutoCAD 2015, thermal calculations in program Teplo 2017, building budget and time schedule in program KROS 4.

Key words

Two- storey family house, comparison of construction systems, building budget, time schedule

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne 31.5.2018

.....
Bc. Michal Brechliček

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Petru Keslovi a to nejen za jeho čas, ale i za jeho věcné a cenné rady a za ochotu a přístup.

Dále bych chtěl poděkovat všem členům katedry za předané znalosti, své rodině, mé nejbližší a všem, kteří mě v mém studiu podporovali.

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD.....	10
1. POPIS PŘEDMĚTNÉHO RODINNÉHO DOMU	11
<i>Postup práce.....</i>	<i>12</i>
<i>Použitý software.....</i>	<i>12</i>
1.1 VARIANTA 1 – HAAS FERTIGBAU – KOMPLETNÍ STAVEBNÍ SYSTÉM Z MONTOVANÝCH SENDVIČOVÝCH DŘEVĚNÝCH PANELŮ.....	13
1.2 VARIANTA 2 – AGROP NOVATOP – KOMPLETNÍ STAVEBNÍ SYSTÉM Z VELKOFORMÁTOVÝCH KOMPONENTŮ VYRÁBĚNÝCH Z MASIVNÍHO DŘEVA CLT	13
1.3 VARIANTA 3 – WIENERBERGER POROTHERM – KOMPLETNÍ STAVEBNÍ SYSTÉM Z PÁLENÝCH KERAMICKÝCH CIHEL	14
1.4 VARIANTA 4 – XELLA YTONG – KOMPLETNÍ STAVEBNÍ SYSTÉM Z PÓROBETONU	15
2. PŘEDSTAVENÍ POROVNÁVANÝCH VLASTNOSTÍ	15
2.1 AKUSTIKA	15
2.1.1 Vzduchová neprůzvučnost.....	16
2.1.2 Kročejová neprůzvučnost.....	17
2.2 FÁZOVÝ POSUN TEPLOTNÍHO KMITU	18
2.3 RELAXAČNÍ DOBA.....	19
2.4 SOUČINITEL PROSTUPU TEPLA	20
2.5 POŽÁRNÍ BEZPEČNOST	23
3. POSOUZENÍ VARIANT.....	29
3.1 AKUSTICKÉ VLASTNOSTI	29
3.2 FÁZOVÝ POSUN TEPLOTNÍHO KMITU	34
3.3 RELAXAČNÍ DOBA.....	34
3.4 SOUČINITEL PROSTUPU TEPLA	41
3.5 POŽÁRNÍ ODOLNOST	46
3.6 STATICKÁ ÚNOSNOST NOSNÝCH PRVKŮ	48
3.7 PROVEDITELNOST VNITŘNÍCH INSTALACÍ	49
3.8 UŽITNÁ PLOCHA	55
3.9 POŽADAVKY NA ZAŘÍZENÍ STAVENIŠTĚ A POSTUP PRACÍ	56
3.10 EKONOMICKÁ NÁROČNOST	60
3.11 ČASOVÁ NÁROČNOST	62
CELKOVÉ VYHODNOCENÍ.....	63
ZÁVĚR	65
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	66
PŘÍLOHY A, B, C	1

Seznam symbolů a zkratk

CLT Cross Laminated Timber – křížem vrstvené dřevěné lepené lamely

SDK sádkartonové desky

PÚ požární úsek

Úvod

Předkládaná práce se zabývá komplexním ekonomicko – technologickým porovnáním 4 vybraných konstrukčních systémů pro dvoupodlažní objekt rodinného domu.

Cílem této práce je popsání vybraných stavebních systémů a následné podrobení posouzení jednotlivých variant z vybraných hledisek stavební fyziky, tepelné techniky, technologie provádění, cenové a časové náročnosti. Výstupem bude bodové a slovní ohodnocení zvolených hledisek a v závěru celkové vyhodnocení nejvhodnější varianty.

Jako podklad slouží projektová dokumentace ke stavebnímu povolení uvažovaného domu pro variantu 1.

1. Popis předmětného rodinného domu

Uvažovaným objektem je velkoryse pojatý dvoupodlažní dům s vnitřním bazénem a garáží pro dva osobní automobily. Dům je nepodsklepený, má plochou střechu, v části pochozí po terasových prknech a v části nad bazénem s vegetační úpravou zelené střechy.

Objekt je v půdorysu nejbližší k tvaru písmena L, vnější rozměry jsou 23,43 m x 18,43 m. Je založen na základových pasech a je umístěn na svažitém pozemku. Díky výškovému profilu pozemku je objekt usazen do terénního zářezu. Proto aby objekt odolal tlaku zeminy, je na západní straně objektu navržena železobetonová opěrná stěna, která slouží jako obvodová stěna v celé délce přízemí západní strany. Ze severní strany je navržen vstup do objektu a vjezd do garáže pro zpevněnou plochu, která je částečně zastřešena přístřeškem z dřevěných trámů. Tento přístřešek vytváří kryté stání pro automobil a zároveň i krytí vstupu objektu od povětrnostních podmínek. V jižní části je objekt uskočen do vnitřní části závětrím, které navazuje na terasu rozkládající se před jižní fasádou objektu.

2. nadzemní podlaží je po obvodu menšího rozměru a v půdorysu je po stranách uskočeno dovnitř půdorysu. Vnější obvod 1.NP je opatřen vyšší atikovou zídkou plnicí roli zábradlí a uskočený prostor 2.NP tvoří pochozí část ploché střechy díky terasovým prkům.

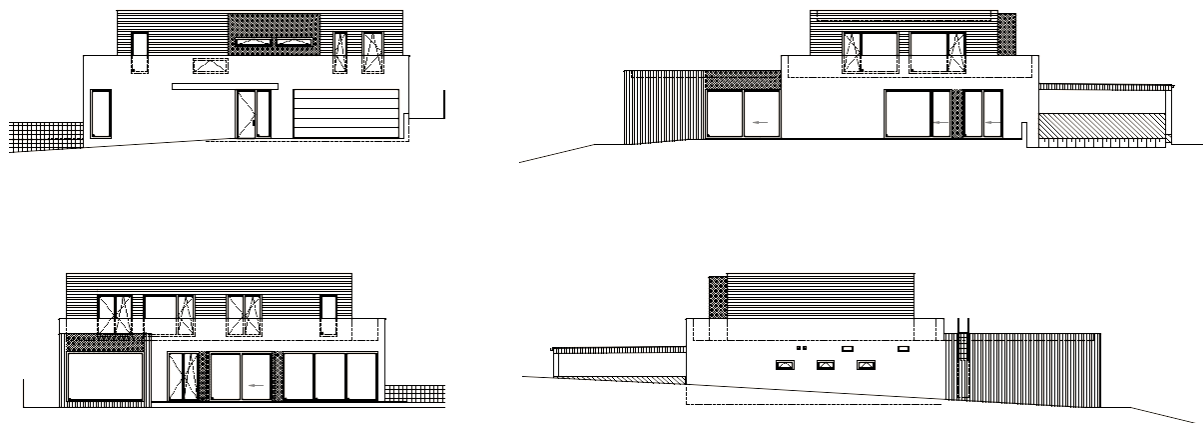
Bazénová část „vyčnívající“ z jinak obdélníkového půdorysu je přízemní a je opatřena plochou střechou s vegetační úpravou a nízkou atikou.

Zastřešení 2.NP je taktéž plochou střechou z PVC folie, kde se nachází některé technologie. Přízemí objektu je řešeno z hlediska rozložení místností jako část „veřejná“, tzn. že se zde nachází zádveří, WC, chodba se schodištěm, spíž, rozsáhlá místnost plnicí funkci obývacího pokoje, jídelny a kuchyňského koutu, dále místnost pracovny a na západní straně se nachází garáž se sekčními elektrickými vraty sloužící pro 2 osobní automobily, dále technická místnost a v neposlední řadě bazénová hala s vnitřním bazénem o rozměrech 9 x 2,75 m a hloubce od 1 m do 1,3 m, s vlastním prostorem se sprchou, vestavěnou infrasaunou a vlastním WC.

Druhé podlaží je řešeno jako soukromý prostor. Je propojeno s přízemím vnitřním schodištěm a nachází se zde chodba, dva dětské pokoje, pokoj pro hosty, WC, koupelna a ložnice s vlastní koupelnou a šatnou.

Objekt je navržen tak, aby byl co nejúspornější a využíval postavení ke světovým stranám. Pro dobré tepelné zisky v zimním období jsou na jižní a východní straně velké části fasády prosklené, a zároveň jsou tato okna opatřena elektrickými žaluziemi, které brání přehřívání objektu v období letním. Zdrojem tepla pro objekt je plynový kondenzační kotel napojen na

otopnou soustavu tvořenou podlahovým topením, ohřev TUV a vody v bazénu je zajištěn tepelným čerpadlem a dále je v objektu vzduchotechnická jednotka zajišťující nucené větrání a zajištění správného mikroklima a čistého vzduchu.



Obr. 1.1 – schématický pohled na objekt

Postup práce

Jako vstupní podklad ke zpracování této práce jsem měl k dispozici kompletní projektovou dokumentaci ke stavebnímu povolení a rozpočet stavby k předmětnému objektu. Pro výběr stavebně materiálových variant pro mě byla rozhodující hodnota součinitele prostupu tepla referenční stavby obvodovou stěnou (deklarováno výrobcem $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$). Snažil jsem se vybrat stavební systémy, které by tuto hodnotu měly co nejbližší referenční stavbě. Po zvolení níže uvedených variant jsem přešel k fázi vypracování výkresové dokumentace pro jednotlivé varianty v rozsahu nutném k určení rozpočtu stavby a harmonogramu. To vše za dodržení neměnné zastavěné plochy a co nejshodnější výšky stavby.

Použitý software

Výkresová část byla zpracována v programu AutoCad 2015, rozpočet stavby a harmonogram stavby v programu KROS 4, výpočty tepelné techniky v programu Teplo 2017 EDU a textová a tabulková část v programech Word a Excel z kancelářského balíku Microsoft Office 2013.

1.1 Varianta 1 – HAAS Fertigbau – kompletní stavební systém z montovaných sendvičových dřevěných panelů

- *Historie společnosti HAAS Group*

Firma je regionálně propojená se společnostmi v Německu a Rakousku. Zabývá se již přes 40 let projekcí, výrobou a realizací montovaných staveb na bázi dřeva, rodinných domů, výrobních, průmyslových i zemědělských budov.

- *Charakteristika stavebního systému*

Jedná se o lehké montované dřevostavby, které jsou prefabrikovány včetně instalací ve výrobě a poté montovány na stavbě.

Svislé obvodové konstrukce jsou prováděny jako sendvičové, difuzně uzavřené panely.

Prefabrikovaný stěnový panel je složen z vnitřního nosného dřevěného rámu, který je opláštěn z obou stran deskami OSB, společně zajišťující stabilitu stěny. Vnitřní prostor je vyplněn minerální tepelnou izolací a z vnitřní strany je na OSB desky provedena SDK deska, zatímco z vnější strany je stěna opatřena vnější tepelnou izolací z grafitového EPS a fasádní omítkou pro 1.NP nebo dřevěným roštem a dřevěným obkladem pro 2.NP. Celk. tl. 403 mm.

Vnitřní prefabrikované stěny jsou tvořeny také vnitřním nosným dřevěným rámem opatřeným z obou stran OSB deskami a vnitřní minerální tepelnou izolací. Oboustranná pohledová úprava je SDK deskami s výmalbou. Celk. tl. 192 a 144 mm.

Stropní prefabrikované panely jsou tvořeny dřevěnou žebrovou konstrukcí, uzavřenou z obou stran OSB deskami a s vnitřní minerální tepelnou izolací a zavěšeným SDK podhledem. Celk. tl. 322 mm. Konkrétní skladby viz **příloha A**.

1.2 Varianta 2 – Agrop NOVATOP – kompletní stavební systém z velkoformátových komponentů vyráběných z masivního dřeva CLT

- *Historie společnosti Agrop NOVA a.s.*

Společnost vznikla v roce 2001, kdy navázala na tradici výroby lepených desek společnosti Agrop s.r.o, která byla založena v roce 1992. Společnost se řadí k největším výrobcům masivních dřevěných desek v Evropě a provádí výrobu a projekci.

- *Charakteristika stavebního systému*

Komponenty se vyrábí z vysušených smrkových lamel skládaných do jednotlivých vrstev, které jsou vůči sobě o 90° otočeny, technologie křížem lepeného dřeva - CLT. Počet vrstev je různý a určuje finální tloušťku panelu. K lepení jsou používána polyuretanová lepidla a všechny panely se vyznačují vysokou pevností, stabilitou, statickou únosností a subtilností

prvků. Další nespornou předností je možnost pohledové kvality dřevěného panelu, především z estetického hlediska, ale také pro uchování dobrého mikroklimatu v objektu.

Obvodové stěny SOLID jsou tvořeny prefabrikovanými plnostěnnými dřevěnými panely v systému CLT s možností prefabrikace tras pro elektroinstalace přímo z výroby a s jednostrannou pohledovou úpravou. Panely jsou na stavbu dodávány bez vnějšího zateplení. Celk. tl. 392 mm nebo 434 mm.

Vnitřní nosné a nenosné stěny SOLID jsou vyráběny stejně jako stěny obvodové. U vnitřních je požadavek na oboustrannou pohledovou úpravu a toho je docíleno přilepením dřevěné Bio desky k nepohledové straně panelu. Panel je také dodáván s připravenými trasami pro elektroinstalaci uvnitř panelu. Celk. tl. 82 nebo 103 mm a 62 nebo 81 mm

Stropní prefabrikovaný dutý panel ELEMENT je tvořen dřevěnou žebrovou konstrukcí, která je z obou stran uzavřena lepenými dřevěnými CLT deskami. Uvnitř panelu mezi žebry je uložena akustická izolace v podobě vápencové drti a minerální tepelná izolace. Celk. tl. 320 mm. Konkrétní skladby viz **příloha A**.

1.3 Varianta 3 – Wienerberger POROTHERM – kompletní stavební systém z pálených keramických cihel

- *Historie společnosti Wienerberger s.r.o.*

Společnost působí v České republice od roku 1992 a patří do skupiny Wienerberger představující největšího světového výrobce cihel. Zabývá se výrobou a prodejem cihelných bloků pro vnější i vnitřní zdivo, keramobetonových překladů a polomontovaných stropů, vše pod systémem Porotherm.

- *Charakteristika stavebního systému*

Jedná se o zděný systém skládající se z pálených keramických cihel broušených, prefabrikovaných překladů a stropů.

Obvodové stěny jsou vyzděny z cihel Porotherm 50 T Profi Dryfix s vloženou vnitřní minerální izolací. Jednotlivé bloky jsou spojovány na pero a drážku pomocí zdící pěny Dryfix. Z vnější strany jsou opatřeny tepelně izolační omítkou a fasádní omítkou, z vnitřní strany sěrkovou omítkou. Celk. tl. 545 mm

Vnitřní stěny jsou vyzděny z nosných cihel Porotherm 30 Profi Dryfix bez vložené min. izolace, z nosných cihel Porotherm 14 Profi Dryfix a z nenosných cihel Porotherm 11,5 Profi Dryfix. Jednotlivé bloky jsou spojovány stejně také na pero a drážku a pomocí zdící pěny a opatřeny oboustrannou sěrkovou omítkou. Celk. tl. 300 mm, 140 mm a 115 mm.

Nad otvory jsou použity prefabrikované keramobetonové překlady KP 7, KP XL, KP 11,5

Stropní konstrukce je tvořena z cihelných vložek MIAKO, které jsou uloženy na keramobetonové stropní trámy POT s prostorovou svařovanou výztuží a nadbetonávkou s výztuží. Celk. tl. 290 mm. Konkrétní skladby viz **příloha A.**

1.4 Varianta 4 – Xella YTONG – kompletní stavební systém z pórobetonu

- ***Historie společnosti Xella CZ***

Společnost je součástí nadnárodního koncernu Xella International a zabývá se výrobou a prodejem výrobků z pórobetonu značky YTONG. Značka vznikla roku 1940. Je jednou z nejsilnějších na trhu a představuje synonymum pro pórobeton.

- ***Charakteristika stavebního systému***

Jedná se o zděný systém skládající se z vytvrzených pórobetonových bloků, prefabrikovaných překladů a skládaných stropů.

Obvodové stěny jsou vyžděny z tvárnic Ytong Lambda P2-400 tl. 375 mm spojené pero na drážku a na zdící maltu. Z vnitřní strany jsou opatřeny stěrkovou omítkou, z vnější strany jsou opatřeny tepelnou izolací grafitovým EPS a fasádní omítkou. Celk. tl. 495 mm

Vnitřní stěny jsou vyžděny z nosných tvárnic Ytong P4-550 Statik tl. 300 mm na pero a drážku, z nosných tvárnic Silka S20-2000 tl. 150 mm na pero a drážku a z nenosných tvárnic Ytong P2-500 tl. 100 mm hladkých. Všechny tvárnice budou vyždívány na zdící maltu a budou opatřeny oboustrannou stěrkovou omítkou. Celk. tl. 300 mm, 150 mm a 100 mm.

Pro překlenutí otvorů budou použity prefabrikované pórobetonové vyztužované překlady nebo vyztužené nenosné překlady jako ztracené bednění pro monolitické překlady.

Stropní konstrukce je tvořena pórobetonovými tvarovkami Klasik uloženými na železobetonové nosníky s prostorovou svařovanou výztuží a nadbetonávkou s výztuží. Celk. tl. 250 mm. Konkrétní skladby viz **příloha A.**

2. Představení porovnávaných vlastností

2.1 Akustika

Pro jednotlivé druhy prostorů jsou stanoveny (normou ČSN 73 0532 a Nařízením vlády č. 272/2011 Sb.) nejvyšší přípustné hladiny hluku a vibrací vyhovující pro pracovní a životní prostředí tak, aby nebylo ohroženo zdraví uživatelů, byl zaručen noční klid a podmínky akustické pohody.

Instalace všech zařízení, která způsobují hluk a vibrace (vzduchotechnické jednotky, kotle atd.) musí být provedena tak, aby se zabránilo přenosu hluku a vibrací do stavební konstrukce

a jejich dalšího šíření. Zařízení tohoto druhu není vhodné umísťovat v místnostech bezprostředně sousedících s akusticky chráněnými prostory, případně je nutné provést dostatečnou akustickou izolaci dělicími konstrukcemi. Dále je nutné zabránit šíření hluku jakýmkoliv potrubím a to především způsobem jeho vedení. Akustické vlny se šíří vzduchem i hmotou konstrukcí, proto je základní požadavkem ochrana před účinky zdrojů hluku, které se nacházejí vně nebo uvnitř objektů. [1]

2.1.1 Vzduchová neprůzvučnost

Je to schopnost konstrukce bránit přenosu akustických vln, které se šíří vzduchem. Je charakterizována činitelem neprůzvučnosti R [dB], který ale představuje široké spektrum hodnot pro různé kmitočty akustických vln. Pro určitou oblast kmitočtů platí závislost stupně neprůzvučnosti na plošné hmotnosti konstrukce [1]:

$$R = 20 \log(m' * f) - 47,5 \text{ [dB]}$$

m' ...plošná hmotnost konstrukce [kg/m²]

f ...kmitočet/frekvence [Hz]

Proto se vzduchová neprůzvučnost popisuje jednočíselně vyjádřitelným parametrem, kterým je:

- *vážená stavební vzduchová neprůzvučnost R'_w [dB]* – převážně pro stěny, příčky a strop
- *vážená laboratorní neprůzvučnost R_w [dB]* – převážně pro dveře
- *vážený normalizovaný rozdíl hladin $D_{nT,w}$ [dB]* – převážně pro místnosti, které spolu nesousedí

Ve fázi návrhu a v projektové přípravě lze při posuzování též použít změřené nebo vypočtené hodnoty R_w a provést přibližný přepočítání na váženou hodnotu R'_w podle vztahu:

$$R'_w = R_w - k_1$$

k_1 ... korekce závislá na vedlejších cestách šíření zvuku;

$k_1 = 2 \text{ dB}$... základní hodnota platná pro všechny dělicí konstrukce v masivních zděných nebo montovaných panel. stavbách z klasických materiálů (cihly, beton)

$k_2 = 2 \text{ až } 5 \text{ dB}$... doporučené hodnoty pro těžké dělicí konstrukce skeletových stavbách (např. vyzdívané konstrukce ve skeletu)

$k_1 = 4 \text{ až } 8 \text{ dB}$... doporučené hodnoty pro lehké dělicí konstrukce ve skeletových, ocelových nebo dřevěných stavbách (deskové dílce, SDK konstrukce, dřevěné stropy apod.) [2]

Vzduchovou neprůzvučnost konstrukce lze zlepšit např. zvýšením její plošné hmotnosti, zdvojením konstrukce případně použitím pohltivých materiálů na jejím povrchu.

U zdvojených a složitějších stavebních prvků je tato hodnota závislá též na jejich konstrukčním řešení detailů a volbě materiálů.

2.1.2 Kročejová neprůzvučnost

Je to schopnost konstrukce bránit přenosu akustických vln šířených vlastní hmotou konstrukce. Kročejový hluk vzniká účinkem mechanických impulsů; vzniká při chůzi po podlaze či nárazy na stavební konstrukci. Ve stavebních objektech působí zejména na stropní konstrukce. Hodnotícím parametrem je [3]:

$L_{n,w}$...normová hladina akustického tlaku kročejového zvuku [dB]

Ve fázi návrhu a v projektové přípravě lze při posuzování též použít změřené nebo vypočtené hodnoty $L_{n,w}$ a provést přibližný přepočít na váženou stavební normovanou hladinu akustického tlaku kročejového zvuku $L_{n,w}$ podle vztahu:

$$L'_{n,w} = L_{n,w} + k_2$$

k_2 ... korekce závislá na vedlejších cestách šíření zvuku v rozsahu 0 až 2 dB.

Její maximálně přípustné hodnoty jsou stanoveny normativně pro různé druhy místností.

Tab. 2.1.1 - Zjednodušená tabulka z normy ČSN 73 0532 s požadavky na obvodové pláště:

Požadovaná zvuková izolace obvodového pláště v hodnotách R'_{w} , [dB]							
Druh chráněného vnitřního prostoru	Ekvivalentní hladina akustického tlaku v denní době 06:00 – 22:00 h a noční době 22:00 – 06:00 h ve vzdálenosti 2 m před fasádou $L_{A,eq,2m}$, dB **)						
	≤ 50	> 50	> 55	> 60	> 65	> 70	> 75
		≤ 55	≤ 60	≤ 65	≤ 70	≤ 75	≤ 80
Obytné místnosti bytů, pokoje v ubytovnách (koleje, internáty apod.)	30	30	30	33	38	43	48

Tab. 2.1.2 - Zjednodušená tabulka z normy ČSN 73 0532 s požadavky na vnitřní prostory:

Skupina	Chráněný prostor (přijímací)			
Položka	Hlučný prostor	Požadavky na zvukovou izolaci		
		mezi místnostmi		
		$R'_{w}, D_{nT,w}$ [dB] ve směru		$L'_{n,w}$ [dB]
		horizontálním	vertikálním	
A.	Bytové domy (kromě rodinných domů) - nejméně jedna obytná místnost bytu o 3 a více obytných místnostech			
1	Všechny ostatní místnosti téhož bytu, pokud nejsou funkční součástí chráněného prostoru	42	42	68
POZNÁMKA: Za funkční součást chráněného prostoru se používají prostory sousedící s tímto chráněným prostorem, které s ním funkčně souvisejí, například přístupová chodba nebo předsín, koupelna nebo šatna určená pouze pro obsluhu dané obytné místnosti.				
B.	Bytové domy - Obytné místnosti bytu			
2	Všechny místnosti druhých bytů	52	52	58

Z hlediska neprůzvučnosti kročejové i vzduchové je pro nás nejvýhodnější konstrukce či materiál s nejvyšší hodnotou, tzn. s nejvyšším útlumem.

2.2 Fázový posun teplotního kmitu

Značí se ψ a jednotky jsou [hod]. Tento parametr se zabývá teplotní setrvačností konstrukcí hlavně v letním období, kdy je vyšší teplota v exteriéru než v interiéru, tepelný tok je tedy směrem do objektu. Fázový posun teplotního kmitu ψ vyjadřuje čas, za který se změna teploty na vnějším povrchu konstrukce projeví na straně interiéru. Jedná se o vlastnost konstrukce ovlivňující působení extrémních teplot vyvolaných slunečním zářením, které nám povrch obvodového pláště objektu ohřívá. Zvýšená teplota materiálu se pak pomalu šíří směrem k interiéru. Větší hodnota fázového posunu znamená, že interiéru v domě je lépe chráněn proti přehřívání vlivem slunečního záření. Pro ilustraci uvedu praktický příklad; slunce rozežřeje západně orientovanou střechu na maximální denní teplotu 60 °C v 17 hod., avšak na vnitřní straně (v podkroví) se teplotní maximum ustálí až po 8 hodinách, tedy v 1

hod. v noci a to na 30 °C díky akumulacím schopnostem izolace. Fázový posun teplotního kmitu se tedy rovná $\psi = 8 \text{ hod.}$ Velký fázový posun silně tlumí teplotní vlnu na straně interiéru. [4][5][6].

2.3 Relaxační doba

Relaxační doba jednoduchým způsobem reprezentuje tepelně-akumulační schopnost obvodové stěny. Značí se τ_0 a jednotky jsou [hod]. Tento parametr se zabývá teplotní setrvačností hlavně v zimním období, kdy v interiéru je vyšší teplota než v exteriéru, tepelný tok je tedy směrem ven z objektu. Stěny s vysokou tepelnou akumulací mají dlouhou relaxační dobu. Vysoká tepelná akumulace má pak příznivý vliv na teplotní setrvačnost a stabilitu v interiéru. Jde o jednočíselný parametr, který přibližně říká, za jak dlouho po vypnutí topení (přerušení vstupu tepla do stěny na interiérové straně) klesne rozdíl teplot mezi vnitřní a venkovní povrchovou teplotou stěny na cca 35 % původního rozdílu. Jednoduchost je vykoupena nepřesností, která plyne z předpokladu „stacionárního“ chladnutí. Vztah pro jednovrstvou konstrukci [7]:

$$\tau_0 = \frac{\rho * c}{2 * \lambda} * D^2 = \frac{D^2}{2 * a}$$

ρ ...objemová hmotnost [kg/m³]

c ...měrná tepelná kapacita [J/kg.m]

λ ...součinitel tepelné vodivosti [W/m.K]

D ...tloušťka vrstvy [mm]

$$a = \frac{\lambda}{\rho * c}$$

a ... součinitel teplotní vodivosti [m²/s]

Pro ilustraci přikládám tabulku s teplotami vnitřní konstrukce a relaxační dobou pro různé materiály. Uvažována je vnější povrchová teplota -15 °C, vnitřní teplota povrchu je ustálena na 20 °C. Výpočtový program byl zpracován ve středisku Multimédia vydavatelství Vega a tabulka je grafickým výstupem:

Tab. 2.3.1 – Vnitřní povrchové teploty různých materiálů

Vnitřní povrchové teploty pro konstrukce tloušťky 300 mm z různých materiálů v závislosti na relaxační době a čase po vypnutí otopné soustavy							
Parametr	Tloušťka	Relaxační doba	5 min.	30 min.	1 hod.	5 hod.	10 hod.
	D [mm]	τ_0 [hod]	Teplota povrchu t_i [°C]				
Dřevo	300	134,4	19,3	18,3	17,6	14,7	12,4
Cihla THERM	300	54,9	18,9	17,3	16,2	11,6	8,0
Pórobeton	300	35	18,7	16,7	15,3	9,4	5,1
Beton	300	16,2	18	15,1	13	1,5	-1,7

Z tabulky můžeme sledovat, že pokles teploty v čase po odpojení vytápění je větší pro materiály s nižší relaxační dobou. Tento pokles teploty je nejvýraznější při porovnání dřevěné konstrukce po deseti hodinách a betonové konstrukce [7].

Pro vícevrstvé konstrukce je vztah rozšířen:

$$\tau_0(n) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{D_i^2}{2 * a_i} + \frac{\lambda_i * D_i}{a_i} * \sum_{j=i+1}^n \frac{D_j}{\lambda_j} \right)$$

Kde $i = 1$ je venkovní vrstva. Zde uvádím příklad vztahu pro dvouvrstvou konstrukci:

$$\tau_0 = \frac{D_1^2}{2 * a_1} + \frac{D_2^2}{2 * a_2} + \frac{\lambda_1 * D_1 * D_2}{a_1 * \lambda_2}$$

V případě vícevrstvé konstrukce z několika fyzikálně odlišných vrstev nás zajímá chladnutí vnitřního povrchu po vypnutí otopné soustavy. Obecně vzato bude vícevrstvá konstrukce chladnout pomaleji, čím je menší tepelný tok vnějším povrchem ze stěny ven.

2.4 Součinitel prostupu tepla

Dalo by se říci, že v současné době jde o nejznámější tepelně technický parametr stavební konstrukce mezi laickou veřejností. Značí se U , jednotky jsou $[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$. Je převrácenou hodnotou tepelného odporu značeného R s jednotkami $[\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}]$. Obě tyto veličiny jsou základními veličinami charakterizujícími tepelněizolační vlastnosti jakékoliv stavební konstrukce. Pro výpočet součinitele prostupu tepla je nutné znát tloušťku materiálu d v $[\text{mm}]$ a součinitel tepelné vodivosti λ udávaný v $[\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}]$ pro jednovrstvou konstrukci, pro vícevrstvé konstrukce je třeba znát tyto hodnoty pro všechny vrstvy [8]. Vzorec pro tepelný odpor konstrukce:

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

Obrácená hodnota pro součinitel prostupu tepla:

$$U = \frac{1}{R}$$

Při navrhování staveb je ovšem nutné dodržet postup výpočtu a porovnat vypočtené hodnoty navrhovaných konstrukcí objektu s normovými hodnotami. Ke stanovení těchto hodnot slouží norma ČSN 73 0540 1-4 včetně změn, která udává upravený základní vztah pro součinitel prostupu tepla a hodnotí vliv celé konstrukce a k ní přilehlých vzduchových vrstev na šíření tepla postupem [9]:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} = \frac{1}{R_T}$$

R_{si} ... odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [$m^2 \cdot K/W$]

R_{se} ... odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [$m^2 \cdot K/W$]

Součinitel prostupu tepla U se stanovuje pro podmínky ustáleného šíření tepla při zimních návrhových okrajových podmínkách. V normě jsou dále zavedeny různé druhy součinitele prostupu tepla U :

U_N ... minimální hodnota předepsaná normou

U_{rec} ... doporučená hodnota předepsaná normou

U_{pas} ... doporučená hodnota pro pasivní stavby předepsaná normou (nejpřísnější hodnoty)

U_{em} ... průměrný součinitel prostupu tepla obálkou stavby

U_w ... součinitel prostupu tepla okna

U_f ... součinitel prostupu tepla rámem okna/dveří

U_g ... součinitel prostupu tepla zasklení [10]

Přehledněji v tabulce požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou v intervalu 18 až 22 °C včetně [11]:

Tab. 2.4.1 – Normové hodnoty součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí dle ČSN 73 0540 – 2:2011

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [$W/(m^2 \cdot K)$]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$
Stěna vnější	0,30	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,30	0,20	0,18 až 0,12

Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	0,20	0,15 až 0,10
Stěna k nevytápěné půdě (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině 4), 6)	0,45	0,30	0,22 až 0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40	0,30 až 0,20
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Podlaha a stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině	0,85	0,60	0,45 až 0,30
Stěna mezi sousedními budovami	1,05	0,70	0,5
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,05	0,70	
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,30	0,90	
Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,2	1,45	
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,7	1,80	
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střechě, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,5 2)	1,2	0,8 až 0,6
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,4 7)	1,1	0,9
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,7	1,2	0,9
Výplň otvoru vedoucí z vytápěného do temperovaného prostoru	3,5	2,3	1,7
Výplň otvoru vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	3,5	2,3	1,7

Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	2,6	1,7	1,4
Kovový rám výplně otvoru	-	1,8	1,0
Nekovový rám výplně otvoru 5)	-	1,3	0,9-0,7
Rám lehkého obvodového pláště	-	1,8	1,2

Hodnoty jednotlivých posuzovaných konstrukcí včetně započtených korekcí a přírážek musejí být nižší než hodnoty požadované, mohou být nižší nebo rovny než hodnoty doporučené a pro pasivní stavby musejí být nižší nebo rovny než hodnoty pro pasivní budovy.

Dále z vypočtených hodnot součinitele prostupu tepla U pro jednotlivé konstrukce, znalosti celkové plochy konkrétní konstrukce a činitele teplotní redukce b_i [-], jsme schopni určit měrnou ztrátu prostupem tepla značenou H_T [W/K]. Všechny hodnoty H_T pro jednotlivé konstrukce sečteme a z výsledné hodnoty zjistíme celkovou tepelnou ztrátu objektu, která je pro nás stěžejní při určování způsobu vytápění a dimenzování samotného zdroje vytápění objektu.

Problematika tepelné techniky je široká a vyčleňuje již své vlastní odvětví ve stavebnictví, stejně tak jsou rozsáhlé dané normy. V této práci je nastíněno pouze základní přiblížení dané problematiky a hlavní veličiny k posuzování tepelných vlastností staveb.

2.5 Požární bezpečnost

Problematika požární bezpečnosti je velice rozsáhlá a v této kapitole je záměrně kladen důraz jen na některé části, stejně tak jsou záměrně některé části zcela vynechány z vysvětlení nebo přiblíženy jen elementárně. Je to z toho důvodu, že v části zhodnocení nebude řešena stránka požární bezpečnosti komplexně, ale jen v některých parametrech, avšak při snaze o zachování co největší objektivnosti.

Z hlediska požadavků na pozemní stavby se požární bezpečnost zabývá dvěma hlavními směry.

- **Zabránění vzniku a šíření požáru**

To znamená prevenci před vznikem požáru a realizuje se především pomocí zabudování bezpečnostních zařízení do objektu, jako jsou elektrická požární signalizace, samočinné hasící zařízení, samočinná požární odvětrání či jiná zařízení jako jsou detektory plynu, samočinné uzavírací ventily a vedení apod.

- **Zabránění ztrát na životech, zdraví a majetku při vzniku požáru**

V případě, kdy již dojde k požáru, musí být koncepcí a konstrukcí objektu zaručeno; zachování stability a únosnosti konstrukcí po určitou stanovenou dobu, bezpečná evakuace z hořící nebo požárem ohrožené stavby případně její části na volné prostranství nebo do jiného požárem neohroženého prostoru, bránění šíření požáru mimo budovu, bránění šíření požáru a jeho zplodin mezi jednotlivými částmi téhož objektu, umožnění účinného zásahu požárních jednotek.

Splnění těchto požadavků se prokazuje v projektu požárně bezpečnostního řešení.

Pro klasifikaci požárně technických charakteristik stavebních výrobků a hmot v celoevropském měřítku je **třída reakce na oheň**. Tento parametr udává, jak výrobky přispívají svou hořlavostí k rozvoji a šíření vznikajícího požáru. Výrobky jsou na základě zkoušek klasifikovány do jedné ze sedmi tříd značených **A1, A2, B, C, D, E nebo F**. Výrobky třídy A1 zcela nepřispívají k rozvoji a šíření požáru, zatímco výrobky třídy F se výrazně podílejí na rozvoji a intenzitě požáru. Společně s třídou reakce na oheň bývá na výrobcích uváděna tzv. doplňková klasifikace vyjadřující intenzitu vývoje kouře značená **s1, s2, s3** (z aj smoke) a klasifikace vyjadřující vývoj plamenně hořících kapek značená **d0, d1, d2** (z aj droplet).

Třída reakce na oheň je používán jako nástroj pro přímé legislativní omezení výskytu určitých stavebních výrobků ve stavbě. Např. požadavek B – s1, d1 pro povrchovou úpravu stavebních konstrukcí ve shromažďovacích prostorech.

Pro vybrané a často užívané výrobky můžeme třídu reakce na oheň dohledat v normě ČSN 73 0810. [12]

Dále jsou stavební konstrukce hodnoceny z hlediska požární bezpečnosti na základě toho, z jakých stavebních výrobků sestávají. Smyslem klasifikace je stanovit chování stavebních konstrukcí za požáru jako celku, tedy jakým způsobem mohou hořlavé stavební výrobky použité v konstrukci zvyšovat intenzitu požáru a zda mohou mít vliv na její únosnost a stabilitu. Na základě těchto kritérií jsou konstrukční části budov v rámci českých technických norem děleny do druhů DP1, DP2 a DP3

- Stavební konstrukce druhu **DP1** představují konstrukce, které nezvyšují v požadované době intenzitu požáru a sestávají se především z nehořlavých materiálů a výrobků (třída reakce na oheň A1 nebo A2). Stavební konstrukce DP1 může obsahovat i výrobky hořlavé (třída reakce na oheň B až F), nicméně tyto prvky musí být umístěné uvnitř konstrukce, nesmí dojít v požadované době k jejich vzplanutí a nesmí na nich být závislá únosnost a stabilita konstrukce.

- Stavební konstrukce druhu **DP2** mohou sestávat z nosných částí třídy reakce na oheň B až D nebo i třídy reakce na oheň B až E, pokud na nich stabilita konstrukce nezávisí (např. izolace). Podmínkou je, že se tyto hořlavé výrobky musí nacházet uvnitř konstrukce, tedy že povrchové vrstvy konstrukčních částí jsou tvořeny nehořlavými výrobky třídy reakce na oheň A1 nebo A2. Tyto nehořlavé povrchové vrstvy mají v požadované době zabránit vzplanutí a odhořívání nosných či izolačních vnitřních částí konstrukce.
- Stavební konstrukce druhu **DP3** mohou v požadované době požáru intenzitu zvyšovat a nejsou na ně vztažena žádná materiálová omezení, resp. se jedná o všechny stavební konstrukce, které nesplňují požadavky na zatřídění do kategorie DP1 či DP2. [13][14]

Na základě rozdělení konstrukčních částí budov do skupin DP1, DP2 nebo DP3 jsou dále hodnoceny konstrukční systémy budov a děleny z požárního hlediska na:

- **Nehořlavý konstrukční systém** má veškeré svislé a vodorovné požárně dělící nebo nosné konstrukce druhu DP1.
- **Smíšený konstrukční systém** je tvořen svislými nosnými a požárně dělícími konstrukcemi druhu DP1, vodorovné konstrukce mohou být druhu DP2 (např. trámové stropy s podhledem); v případě jednopodlažních objektů mohou být střešní nosné konstrukce druhu DP3.
- **Hořlavý konstrukční systém** zahrnuje všechny ostatní případy, tj. zejména při návrhu konstrukcí DP2 či DP3 ve svislých nosných či požárně dělících konstrukcích.

Při tomto klasifikování hraje roli i tzv. *požární výška objektu h [m]*, která má pro své určení daná pravidla v normě a je uplatňována v dalších výpočtech.

Vliv konstrukčního systému budovy je jedním z hlavních parametrů, který významným způsobem ovlivňuje požadavky norem požární bezpečnosti a současně může vytvářet určitá dispoziční či výšková omezení.

- Omezení výšky objektu

Zásadní omezení, které je nutné ve spojitosti s různými konstrukčními systémy zmínit, je limitovaná požární výška objektu. Nehořlavé konstrukční systémy nemají požární výšku omezenou, smíšené konstrukční systémy mají stanovenou maximální požární výšku 22,5 m a hořlavé konstrukční systémy mohou mít požární výšku nejvýše 12 m.

- Požadovaná požární odolnost konstrukcí

Konstrukční systém objektu, společně s požární výškou a výpočtovým požárním zatížením jsou výchozí charakteristiky při určení stupně požární bezpečnosti, který se přímo promítá do požadavku dob požární odolnosti.

- Velikost požárních úseků

Jedním z základních principů zajištění požární bezpečnosti staveb je dělení objektu do požárních úseků. Požární úsek je tvořen částí objektu, která je od ostatních vymezena požárně dělícími konstrukcemi vykazujícími požadovanou požární odolnost, přičemž primárním cílem je zabránění šíření požáru mezi jednotlivými požárními úseky. Druh konstrukčního systému má přímý vliv na největší dovolené rozměry požárních úseků.

Přímé požadavky příslušných norem požární bezpečnosti staveb

Kromě výše uvedených obecných zásad může být návrh konstrukční částí a konstrukčních systémů limitován přímými požadavky projektových norem, které řeší požární bezpečnost v konkrétních provozech. [14][1]

2.5.1.1 Požární úseky

Pro minimalizování rozsahu škod způsobených požárem, dělí se objekty do tzv. požárních úseků **PÚ**. Je to prostor v objektu, který je od ostatních prostor oddělen požárně dělícími konstrukcemi. Rozdělení uvnitř požárního úseku pak ve většině případů není předmětem požární bezpečnosti.

Dělení do požárních úseků

- **jedinou místností;** kotelna, strojovna apod.,
- **skupinou místností,** které jsou navzájem propojené dveřmi; byt, prodejna se zázemím apod. nebo
- **skupinou místností,** které nejsou navzájem propojené; blok učeben, kanceláří, apod.,
- **celým objektem;** rodinný dům, skladovací hala apod.,
- **souborem objektů;** rodinný dům se samostatně stojící garáží, statek apod.

Požární úsek bývá nejčastěji jednopodlažní, ovšem samotné rozdělení objektu na požární úseky je řešeno v návrhu a podléhá normovým požadavkům: rozměrovým, výškovým a funkčním. [15]

Dalším postupem je určení **požárního zatížení** a **stupně požární bezpečnosti**. Postup stanovení těchto parametrů je uveden v normě ČSN 73 0802 pro nevýrobní objekty a v této práci vzhledem rozsahu nebude podrobněji popisován, není předmětem této práce.

2.5.1.2 Požární odolnost stavebních konstrukcí

Je to schopnost stavebních konstrukcí odolávat účinkům plně rozvinutého požáru, aniž by došlo zejména k porušení jejich únosnosti a stability.

Požadavek požární odolnosti musí plnit všechny nosné a požárně dělicí konstrukce a je to doba v [min], po kterou musí být schopny odolávat účinkům požáru bez porušení požadované funkce. Těchto funkcí je několik a jsou popsány tzv. mezními stavy, kterých může být na jednu konstrukci požadováno i více než jeden.

Norma ČSN EN 13501-2 definuje řadu mezních stavů, z nich nejčastěji používanými jsou:

- **mezní stav „R“ (únosnost a stabilita)** platí všechny nosné konstrukce (včetně těch uvnitř požárního úseku), které zajišťují stabilitu objektu – nosnou funkci musí plnit i během požáru. Podobné požadavky mají i nosné konstrukce, které nezajišťují stabilitu celého objektu (např. vestavěné podlaží s větším počtem osob). U mezního stavu „R“ nezáleží na tom, zda jde o prutovou nebo plošnou konstrukci, musí ji splňovat: nosné stěny, stropy, sloupy, průvlaky, nosníky, překlady, střešní vazníky, vaznice, ale i ztužidla apod.
- **mezní stav „E“ = celistvost** platí pro všechny plošné požárně dělicí konstrukce. Během požáru se nesmí v požárně dělicí konstrukci vytvořit trhlinka, kterou by mohl plamen prošlehnout nebo horké plyny do jiného požárního úseku. Mezní stav „E“ musí splňovat požární stěny a stropy oddělující požární úseky, případně požární předstěny, podhledy (za nimiž jsou například technologická vedení apod.) a požární uzávěry (např. dveře).
- **mezní stav „I“ (izolační schopnost)** platí pro plošné požárně dělicí konstrukce, které musí zabránit nadměrnému ohřívání prostoru na straně odvrácené od požáru. Nesmí se vznítit ani materiál na neohřívané straně ani v její blízkosti. Při zkouškách požární odolnosti je mezní stav „I“ splněn tehdy v případě, že průměrná teplota na neohřívané straně nevystoupá oproti počáteční o více než 140 °C s maximálním bodovým vzrůstem teploty v kterémkoli místě o více než 180 °C. Mezní stav „I“ musí splňovat především pevně zabudované plošné konstrukce, jakými jsou požární stěny a stropy mezi požárními úseky – tedy uvnitř objektu, kde se požár může vyskytnout na obou stranách konstrukce a kde je pravděpodobné ohrožení osob na neohřívané straně. Mezní stav „I“ musí splnit i požární uzávěry ústící do chráněné únikové cesty.
- **mezní stav „W“ (omezení radiace tepla)** platí pro plošné požárně dělicí konstrukce a jde o podobný mezní stav jako „I“, ovšem s méně přísnými požadavky. Mezní

stav „W“ není schopen zabránit nárůstu teplot, pouze do určité míry omezuje tepelný tok sálající ze strany konstrukce odvrácené od požáru. Tento sálavý tepelný tok však nesmí způsobit rozšíření požáru nebo ohrozit osoby unikající v blízkosti takového konstrukce, je proto omezen na 15 kW/m^2 .

- **mezní stav „C“ (samozavírání);** Dle kmenových norem ČSN 73 0802 a ČSN 73 0804 musí být dveře, které jsou z provozních důvodů převážně nebo trvale otevřeny, vybaveny zařízením, které v případě požáru umožní samočinné uzavření, tedy nejčastěji samozavíračem.
- **mezní stav „S“ (kouřotěsnost);** Dveře do zvláště chráněných prostor, které slouží k evakuaci většího počtu osob, musí zamezit proniknutí kouře, aby nemohlo dojít k nadýchání zplodin a ohrožení na životech). Kouřotěsnost je zajištěna instalací požárně odolného těsnění ve funkční spáře dveřních otvorů. Mezní stav „S“ musí splňovat například dveře vedoucí do chráněné únikové cesty typu B a C nebo revizní dvířka instalačních šachet ústících do chráněné únikové cesty apod.

2.5.1.3 Doba požární odolnosti

Po dobu požární odolnosti musí konstrukce odolávat účinkům požáru, respektive musí plnit požadovaný mezní stav (popřípadě více mezních stavů). Doba požární odolnosti je měřena v minutách, přičemž je vytvořena stupnice. Základní klasifikační doby jsou **15, 30, 45, 60, 90, 120 a 180** minut.

Požadované požární odolnosti v podobě mezních stavů a doby pro jednotlivé typy stavebních konstrukcí jsou uvedeny v normě ČSN 73 0802.

3. Posouzení variant

V této kapitole budou posouzeny všechny varianty podle parametrů či vlastností představených v předchozí kapitole. Součástí každého posouzení bude popis postupu, výsledky pro každou variantu a v závěru vyhodnocení. V rámci vyhodnocení bude pro každou posuzovanou oblast vytvořen bodový systém, vždy v rozsahu od 1 do 4 bodů vzhledem k umístění (4 body nejlepší; 1 bod nejhorší). Při více parametrech k hodnocení budou body sčítány. Z každého posouzení tak vyjde bodový zisk každé varianty, na základě kterého budou varianty na konci práce vyhodnoceny.

3.1 Akustické vlastnosti

K posouzení obvodových stěn na neprůzvučnost jsou uvažovány pouze obvodové stěny v 1.NP (opatřeny fasádní omítkou), které jsou méně hmotné než stěny 2.NP (které jsou opatřeny ještě dřevěným obkladem) a je předpoklad, že budou mít nižší hodnotu neprůzvučnosti. Z toho důvodu je uvažováno, že pokud splní normový požadavek na neprůzvučnost obvodové stěny v 1.NP s fasádní omítkou, splní požadavek i stěny 2.NP s dřevěným obkladem.

Varianta 1

- Obvodová stěna tl. 403 mm

Hlavní hmotnou část tvoří nosné sloupky panelu rámové konstrukce tl 200 mm a dále zákloповé desky z OSB a SDK. Výplňové konstrukce z minerální vlny a vnější zateplení z grafitového polystyrenu se řadí mezi méně hmotné stavební hmoty.

Deklarovaná hodnota $R_w = 47 \text{ dB}$, zvolená hodnota $k_1 = 4 \text{ dB}$. Vážená hodnota R'_w :

$$R'_w = R_w - k_1 = 47 - 4 = 43 \text{ dB}$$

- Vnitřní nosná příčka tl. 192 mm

Skladba a použité materiály u nosné příčky jsou téměř shodné jako u obvodové stěny. Příčka postrádá vnější zateplení EPS, ale dutina v nosném rámu je vyplněna minerální vatou na tl. 140 mm. Hmotu tvoří nosný rám tl. 140 mm a záklopy OSB a SDK deskami.

Deklarovaná hodnota $R_w = 46 \text{ dB}$, zvolená hodnota $k_1 = 4 \text{ dB}$. Vážená hodnota R'_w :

$$R'_w = R_w - k_1 = 46 - 4 = 42 \text{ dB}$$

- Stropní konstrukce tl. 495 mm – nosná část 322 mm, uvažováno bez podhledu

O stropní konstrukci lze říci téměř to samé, jako u příčekách a stěnách. Nosnou část tvoří dřevěný strop s žebry tl. 280 mm s vloženou minerální izolací mezi žebry v tl. 140 mm.

Výraznou hmotu kromě záklopu z obou stran stropu tvoří také zavlhlý cementový potěr v tl.

33 mm, který zakrývá systémovou desku tepleného podlahového vytápění. V podlaze se ještě nachází tepelná polystyrenová izolace a vrstva Mirelonové folie tl. 5 mm, která má za úkol bránit přenosu zvuku mezi podlažími.

Deklarovaná hodnota $R_w = 57 \text{ dB}$, zvolená hodnota $k_1 = 6 \text{ dB}$. Vážená hodnota R'_w :

$$R'_w = R_w - k_1 = 57 - 6 = 51 \text{ dB}$$

Deklarovaná hodnota $L_{n,w} = 67 \text{ dB}$, zvolená hodnota $k_2 = 1 \text{ dB}$. Vážená hodnota $L'_{n,w}$:

$$L'_{n,w} = L_{n,w} + k_2 = 67 + 1 = 68 \text{ dB}$$

Varianta 2

- Obvodová stěna tl. 392 mm

Nosnou část tvoří dřevěný plnostěnný panel v CLT technologii tl. 84 mm, který se rozkládá po celém obvodu stavby. Tepelnou izolací je panel opatřen z vnější strany a to fasádním polystyrenem v tl. 300 mm a dále omítkou. Nejhmotnější je zde tedy hlavní nosný panel s pohledovou povrchovou úpravou do interiéru

Deklarovaná hodnota $R_w = 45 \text{ dB}$, zvolená hodnota $k_1 = 4 \text{ dB}$. Vážená hodnota R'_w :

$$R'_w = R_w - k_1 = 45 - 4 = 41 \text{ dB}$$

- Vnitřní příčka tl. 84 mm

Příčka je tvořena pouze panelem tl. 84 mm. V objektu jsou ještě užívány příčky tl. 103 mm, kdy se jedná o panel 84 mm, který je opatřen z jedné strany BIO deskou tl. 19 mm proto, aby byla příčka z obou stran v pohledové úpravě.

Deklarovaná hodnota $R_w = 45 \text{ dB}$, zvolená hodnota $k_1 = 4 \text{ dB}$. Vážená hodnota R'_w :

$$R'_w = R_w - k_1 = 45 - 4 = 41 \text{ dB}$$

- Stropní konstrukce tl. 493 mm

Nosná konstrukce tl. 320 mm je provedena podobně jako u varianty 1. Dřevěná nosná žebra v. 266 mm jsou zaklopeny z obou stran, v tomto případě však lepenými CLT deskami tl. 27 mm. Dále je do prostoru mezi žebry vsypán vápencová vsyp a zbylý prostor je vyplněn minerální tepelnou izolací. Skladba podlahy je dále shodná s variantou 1. Hmotnějšími prvky se tedy stávají záklopné desky stropu, plnící i statickou funkci a dále také vápencový vsyp s celkovou plošnou hmotností do 40 kg/m^2 .

Deklarovaná hodnota $R_w = 58 \text{ dB}$, zvolená hodnota $k_1 = 5 \text{ dB}$. Vážená hodnota R'_w :

$$R'_w = R_w - k_1 = 58 - 5 = 53 \text{ dB}$$

Deklarovaná hodnota $L_{n,w} = 67 \text{ dB}$, zvolená hodnota $k_2 = 1 \text{ dB}$. Vážená hodnota $L'_{n,w}$:

$$L'_{n,w} = L_{n,w} + k_2 = 67 + 1 = 68 \text{ dB}$$

Varianta 3

- Obvodová stěna tl. 500 mm

Jedná se o keramické pálené zdivo, kde jsou dutiny v cihle vyplněny hydrofobní minerální izolací. Zdivo je z obou stran opatřeno omítkou, z vnitřní strany tl. 10 mm, z vnější strany tepelně izolační tl. 30 mm. Z hlediska hmoty je celá stěna hmotná a při správném vyzdění by v sobě neměla mít žádné vzduchové dutiny.

Deklarovaná hodnota $R_w = 51 \text{ dB}$, zvolená hodnota $k_1 = 2 \text{ dB}$. Vážená hodnota R'_w :

$$R'_w = R_w - k_1 = 51 - 2 = 49 \text{ dB}$$

- Vnitřní příčka tl. 300 mm a tl. 140 mm

Jedná se o keramické pálené zdivo, kde jsou dutiny nevyplněné. Zdivo je z obou stran opatřeno omítkou tl. 10 mm. Ve zdivu se nachází vzduchové dutiny.

Deklarovaná hodnota pro zdivo tl. 300 mm; $R_w = 46 \text{ dB}$, zvolená hodnota $k_1 = 2 \text{ dB}$. Vážená hodnota R'_w :

$$R'_w = R_w - k_1 = 46 - 2 = 44 \text{ dB}$$

Deklarovaná hodnota pro zdivo tl. 140 mm; $R_w = 43 \text{ dB}$, zvolená hodnota $k_1 = 2 \text{ dB}$. Vážená hodnota R'_w :

$$R'_w = R_w - k_1 = 43 - 2 = 41 \text{ dB}$$

- Stropní konstrukce tl. 450 mm

Nosná část je tvořena z keramických dutých vložek, které jsou uloženy na keramobetonové nosníky s ocelovou výztuží, tyto jsou opatřeny výztužnou ocelovou sítí na vrchní straně a celá tato konstrukce je zalita betonem. Dohromady tyto jednotlivé prvky působí jako keramobetonový strop s vzduchovými mezerami ve vložkách. Takovýto strop je ze všech variant jednoznačně nejhmotnější.

Deklarovaná hodnota $R_w = 59 \text{ dB}$, zvolená hodnota $k_1 = 2 \text{ dB}$. Vážená hodnota R'_w :

$$R'_w = R_w - k_1 = 59 - 2 = 57 \text{ dB}$$

Výrobce je deklarovaná vážená hodnota $L'_{n,w}$:

$$L'_{n,w} = 53 \text{ dB}$$

Varianta 4

- Obvodová stěna tl. 495 mm

Nosná část stěny je tvořena pórobetonovým zdivem tl. 375 mm, která je z vnitřní strany opatřena vnitřní hlazenou omítkou tl. 10 mm a z vnější fasádní tepelnou polystyrenovou izolací tl. 120 mm a poté omítka s výztužnou tkaninou. Hlavní hmotou ve stěně je tedy nosné zdivo.

Výrobce je deklarovaná vážená hodnota R'_w :

$$R'_w = 40 \text{ dB}$$

- Vnitřní příčka tl. 300 mm a tl. 150 mm

Jde o pórobetonové zdivo, které je opatřeno z obou stran omítkou tl. 10 mm.

Výrobce je deklarovaná vážená hodnota pro zdivo tl. 300 mm R'_w :

$$R'_w = 48 \text{ dB}$$

Výrobce je deklarovaná vážená hodnota pro zdivo tl. 150 mm R'_w :

$$R'_w = 52 \text{ dB}$$

- Stropní konstrukce tl. 410 mm

Nosná část je tvořena z pórobetonových plných vložek Klasik, které jsou uloženy na železobetonové nosníky a tyto jsou opatřeny výztužnou ocelovou sítí na vrchní straně a celá tato konstrukce je zalita betonem. Dohromady tyto jednotlivé prvky působí jako žebrový železobetonový strop s pórobetonovými vložkami.

Výrobce je deklarovaná vážená hodnota R'_w :

$$R'_w = 48 \text{ dB}$$

Výrobce je deklarovaná vážená hodnota $L'_{n,w}$:

$$L'_{n,w} = 61 \text{ dB}$$

Normové požadavky jsou stanoveny v normě ČSN 73 0532. Pro určení zda vyhovuje obvodová stěna objektu na akustickou neprůzvučnost, je nutné určit vnější ekvivalentní hladinu akustického tlaku ve vzdálenosti 2 m před fasádou $L_{aeq,2m} [dB]$. Tuto hodnotu je nutné zjistit výpočtem či měřením přímo pro danou lokalitu, která pro předmětnou stavbu není určena a tak jsem se rozhodl obvodové stěny jednotlivých variant s normovými požadavky, které jsou zadány intervaly $L_{aeq,2m}$.

Tab. 3.1.1 - Požadavky na obvodový plášť:

Popis	Zvuková izolace obvodového pláště					
	Požadované	Vypočtené hodnoty R'_w pro obvodové stěny				
Chráněný prostor – obytné místnosti bytů		pro variantu	pro variantu	pro variantu	pro variantu	
Ekvivalentní hladina ak. tlaku ve vzdál. 2 m před fasádou $L_{aeq,2m} [dB]$		1	2	3	4	
> 65 ≤ 70		38	43	41	49	40
> 70 ≤ 75		43				
> 75 ≤ 80	48					

Pro splnění požadovaných normových hodnot na zvukovou izolaci mezi místnostmi jedné stavby je nutné aby hodnota vážené stavební neprůzvučnosti konstrukce byla $R'_w \geq$ požadovaná R'_w a pro váženou hladinu akustického tlaku kročejového zvuku stropní konstrukce $L'_{n,w} \leq$ požadovaná $L'_{n,w}$.

Tab. 3.1.2 - Požadavky na stropy a stěny pro chráněný prostor rodinného domu se slovním vyhodnocením

Popis		Zvuková izolace mezi místnostmi				
		Požadované	Deklarované hodnoty R'_w a $L'_{n,w}$ pro stropy a stěny			
Chráněný prostor – rodinný dům			pro variantu 1	pro variantu 2	pro variantu 3	pro variantu 4
Hlučný prostor – všechny ostatní místnosti						
Stropy	R'_w [dB]	47	51	53	57	48
	$L'_{n,w}$ [dB]	63	68	68	53	61
Stěny	R'_w [dB]	42	42	41	44; 41	48; 52
Stropy	R'_w var. \geq požadovaná R'_w		Ano	Ano	Ano	Ano
	$L'_{n,w}$ var. \leq požadovaná $L'_{n,w}$		Ne	Ne	Ano	Ano
Stěny	R'_w var. \geq požadovaná R'_w		Ano	Ne	Ano; Ne	Ano; Ano

Jak můžeme vidět, ne všechny konstrukce splnily normové požadavky pro rodinné domy, i přesto, že jsou mírnější než pro bytové domy (viz Tab 2.1.2 část B). Nejhůře dopadla varianta 2, zatímco nejlépe varianty 3 a 4. Z tabulky vyplývá, že konstrukce na bázi dřeva mají větší problémy s přenosem zvuku a pro obě platí, že nesplnily požadavek na maximální kročejovou hladinu tlaku.

Zhodnocení

Cílem je splnění minimálních požadovaných normových hodnot, což ne všechny varianty splnily.

Tab. 3.1.3 – výsledného bodové ohodnocení

Konstrukce k zhodnocení	Neprůzvučnost obvod. pláště [body]	Neprůzvučnost stropu [body]	Neprůzvučnost stěn [body]	Celkový výsledek [body]
Varianta 1	3	2	4	9
Varianta 2	2	2	2	6
Varianta 3	4	4	4	12
Varianta 4	1	4	4	9

Z výsledků vyplývá, že nejlépe dopadla varianta 4, která má díky vlastnostem keramických pálených prvků a absenci vnější tepelné izolace nejlepší akustické vlastnosti. Nejhůře v tomto

směru dopadla varianta 2 z plnostěnných dřevěných panelů, kde tloušťky posuzovaných prvků brání lepšího využití potenciálu dřeva.

3.2 Fázový posun teplotního kmitu

Fázový posun nám udává, s jakým zpožděním se projeví extrémní ohřátí na vnější straně v letním období na straně vnitřní. Pro komfort bydlení je nejlepší doba co nejdelší. Budu zde pomocí programu TEPLLO 2017 posuzovat střešní konstrukce jednotlivých variant. Do výpočtu vstupují skladby stropů včetně SDK podhledu. Výstupem je hodnota ψ [hod].

Tab. 3.2.1 – tabulka fázového posunu teplotního kmitu pro všechny varianty

Popis	Fázový posun teplotního kmitu ψ [hod]			
	pro variantu 1	pro variantu 2	pro variantu 3	pro variantu 4
Střecha	14,8	14,7	12,1	17,6

Z výsledků můžeme vidět, že varianty 1 a 2 mají téměř shodné hodnoty, což je způsobeno téměř shodnou skladbou konstrukcí. Dále s nejhorsším přesto dostačujícím výsledkem vyšla varianta 3, kdy ve skladbě není prostor na tepelnou izolaci v úrovni nosné části a tak zde izoluje a akumuluje teplo jen cihlová vložka a nadbetonávka stejným způsobem jako u varianty 4, kde má však stropní vložka z pórobetonu daleko lepší vlastnosti než cihlová dutinová varianta 3. Varianta 4 vyšla s nejlepším výsledkem. V praxi bychom mohli uvažovat, že pokud by se střecha rozpálila nejvíce v 17 hodin a pokud bychom v noci nevětrali, pro variantu 4 by teplotní tok dorazil na vnitřní povrch až druhý den v 10 hodin ráno.

Tab. 3.2.2 – výsledné bodové ohodnocení

Popis	Bodové ohodnocení [body]			
	pro variantu 1	pro variantu 2	pro variantu 3	pro variantu 4
Střecha	3	2	1	4

Body byly uděleny podle výše představených výsledků, avšak ani nejhorší výsledek varianty 3 nebrání v komfortním užívání místností 2.NP.

3.3 Relaxační doba

U jednotlivých variant bude vyhodnocena relaxační doba pro obvodovou stěnu a střešní konstrukci. Pro tento výpočet bude využit volně přístupný program na stránkách:

<http://www.stavebnictvi3000.cz/vypocty/7-tepelna-akumulace-steny-a-relaxacni-doba/>

kde do výpočtu vstupují následující parametry konstrukcí a materiálů:

ρ ...objemová hmotnost [kg/m^3]

c ...měrná tepelná kapacita [J/kg.m]

λ ...součinitel tepelné vodivosti [W/m.K]

D ...tloušťka vrstvy [mm]

Program je schopen vypočítat relaxační dobu konstrukce pouze pro skladby o max. 4 vrstvách, proto pro některé varianty nebudou uvažovány všechny vrstvy skladby, ale budou vybrány ty, které se více podílejí na tepelné akumulaci při zachování pořadí vrstev. Výsledek udává, za jak dlouho u předmětné skladby poklesne rozdíl vnitřní a vnější teploty na 35% původní hodnoty. Vstupní hodnoty materiálů byly převzaty z programu TEPLLO 2017 Edu. Na stránkách:

<http://www.stavebnictvi3000.cz/vypocty/12-vypocet-relaxacni-doby-stavby-a-orientacni-doby/>

je k dispozici program, který je umožňuje zjistit relaxační dobu pro celý objekt, při zadání následujících parametrů:

τ_0 ...relaxační doba konstrukce [hod]

S ...plocha konstrukce [m^2]

U ...součinitel prostupu tepla [$\text{W/m}^2.\text{K}$]

t ... doba chladnutí [hod]

ve kterém jsou posuzovány obvodové stěny, střecha, okna a dveře, podlaha a akumulační vlastnosti interiéru po dobu chladnutí, při znalosti výše uvedených parametrů. Pro měrnou tepelnou kapacitu interiéru bylo zvoleno $10 \text{ J/m}^3.\text{K}$ pro všechny varianty a doba chladnutí 12 hod. Výstupem je hodnota τ relaxační doba celé stavby, která udává dobu do vychladnutí celé stavby a dále procentuální pokles rozdílu vnitřních teplot po 12 hodinách po vypnutí topení.

Varianta 1

- Obvodová stěna

Skladba 1 (od interiéru)	Tloušťka vrstvy D [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m.K]	Měrná tepelná kapacita c [J/kg.m]	Objemová hmotnost ρ [kg/m^3]
Dřevoštěpková deska OSB	12	0,13	1700	700
Minerální izolace	200	0,038	800	40
Dřevoštěpková deska OSB	12	0,13	1700	700
Grafitový polystyren	160	0,032	1270	16

$$\tau_0 = 77,3 \text{ hod}$$

Skladba 2 (od interiéru)	Tloušťka vrstvy D [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m.K]	Měrná tepelná kapacita c [J/kg.m]	Objemová hmotnost ρ [kg/m³]
SDK deska	13	0,22	1060	750
Dřevoštěpková deska OSB	12	0,13	1700	700
Minerální izolace	200	0,038	800	40
Grafitový polystyren	160	0,032	1270	16

$$\tau_0 = 86,5 \text{ hod}$$

Skladba 3 (od interiéru)	Tloušťka vrstvy D [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m.K]	Měrná tepelná kapacita c [J/kg.m]	Objemová hmotnost ρ [kg/m³]
Stěrková omítka celoplošná	10	0,77	790	1560
SDK deska	13	0,22	1060	750
Minerální izolace	200	0,038	800	40
Grafitový polystyren	160	0,032	1270	16

$$\tau_0 = 92,2 \text{ hod}$$

Jak bylo popsáno výše, skladba obvodové stěny obsahovala více než 4 vrstvy a tak jsem vytvořil několik variant. Z nich jsem do dalších výpočtů použil skladbu 3 s nejlepším výsledkem.

- Střecha

Skladba (od interiéru)	Tloušťka vrstvy D [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m.K]	Měrná tepelná kapacita c [J/kg.m]	Objemová hmotnost ρ [kg/m³]
SDK deska	13	0,22	1060	750
Minerální izolace	280	0,038	800	40
Dřevoštěpková deska OSB	12	0,13	1700	700
Spádové klíny EPS	150	0,034	1270	30

$$\tau_0 = 75,7 \text{ hod}$$

- Podlaha

Skladba (od interiéru)	Tloušťka vrstvy D [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m.K]	Měrná tepelná kapacita c [J/kg.m]	Objemová hmotnost ρ [kg/m³]
Cementový potěr	38	1,38	830	2030
Systémová deska (polystyren)	52	0,040	1270	25
Podlahová izolace Dekpir Floor	60	0,032	2060	35
Betonová montážní deska	150	0,22	1060	750

$$\tau_0 = 83,5 \text{ hod}$$

Skladba je pro všechny varianty shodná a tak bude hodnota pro další výpočty převzata.

Tab. 3.3.1 – Vstupní hodnoty do výpočtu celkové relaxační doby pro variantu 1

Skladba (od interiéru)	Relaxační doba τ_0 [hod]	Plocha skladby S [m²]	Součinitel prostupu tepla U [W/m².K]
Obvodová stěna	92,2	341,3	0,1
Střecha	75,7	221,1	0,1
Okna a dveře	0,1	138,3	0,9
Podlaha	83,5	245,07	0,19

$$\tau_{celkem} = 32,8 \text{ hod}$$

Pokles vnitřní teploty po 12 hod odpovídá snížení na 69% počáteční hodnoty.

Varianta 2

- Obvodová stěna

Skladba (od interiéru)	Tloušťka vrstvy D [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m.K]	Měrná tepelná kapacita c [J/kg.m]	Objemová hmotnost ρ [kg/m³]
Plnostěnný dřevěný panel	84	0,13	2510	490
Grafitový polystyren	300	0,032	1270	16
Organická fasádní omítka	8	0,75	920	1500

$$\tau_0 = 286,6 \text{ hod}$$

- Střecha

Skladba (od interiéru)	Tloušťka vrstvy D [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m.K]	Měrná tepelná kapacita c [J/kg.m]	Objemová hmotnost ρ [kg/m³]
Dřevěná deska lepená	27	0,18	2510	400
Minerální izolace	266	0,038	800	40
Dřevěná deska lepená	27	0,18	2510	400
Spádové klíny EPS	150	0,034	1270	30

$$\tau_0 = 144 \text{ hod}$$

Tab. 3.3.2 – Vstupní hodnoty do výpočtu celkové relaxační doby pro variantu 2

Skladba (od interiéru)	Relaxační doba τ_0 [hod]	Plocha skladby S [m²]	Součinitel prostupu tepla U [W/m².K]
Obvodová stěna	286,6	340,5	0,12
Střecha	144	220,7	0,08
Okna a dveře	0,1	138,3	0,9
Podlaha	83,5	250,25	0,19

$$\tau_{celkem} = 69,4 \text{ hod}$$

Pokles vnitřní teploty po 12 hod odpovídá snížení na **84%** počáteční hodnoty.

Varianta 3

- Obvodová stěna

Skladba (od interiéru)	Tloušťka vrstvy D [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m.K]	Měrná tepelná kapacita c [J/kg.m]	Objemová hmotnost ρ [kg/m³]
Stěrková omítka celoplošná	10	0,77	790	1560
Zdivo Porotherm 50 T Profi	500	0,077	1000	680
Tepelně izolační omítka	30	0,12	850	630
Organická fasádní omítka	5	0,75	920	1500

$$\tau_0 = 354,6 \text{ hod}$$

- Střecha

Skladba (od interiéru)	Tloušťka vrstvy D [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m.K]	Měrná tepelná kapacita c [J/kg.m]	Objemová hmotnost ρ [kg/m ³]
Stěrková omítka celoplošná	10	0,77	790	1560
Skládaný keramobetonový strop	290	0,794	800	800
Spádové klíny EPS	150	0,034	1270	30

$$\tau_0 = 256,7 \text{ hod}$$

Tab. 3.3.3 – Vstupní hodnoty do výpočtu celkové relaxační doby pro variantu 3

Skladba (od interiéru)	Relaxační doba τ_0 [hod]	Plocha skladby S [m ²]	Součinitel prostupu tepla U [W/m ² .K]
Obvodová stěna	354,6	341,8	0,13
Střecha	256,7	219,3	0,16
Okna a dveře	0,1	138,1	0,9
Podlaha	83,5	236,15	0,19

$$\tau_{celkem} = 90,9 \text{ hod}$$

Pokles vnitřní teploty po 12 hod odpovídá snížení na **88%** počáteční hodnoty.

Varianta 4

- Obvodová stěna

Skladba (od interiéru)	Tloušťka vrstvy D [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m.K]	Měrná tepelná kapacita c [J/kg.m]	Objemová hmotnost ρ [kg/m ³]
Stěrková omítka celoplošná	10	0,77	790	1560
Zdivo YTONG Lambda	375	0.083	1000	350
Grafitový polystyren	120	0,032	1270	16
Organická fasádní omítka	5	0,75	920	1500

$$\tau_0 = 249 \text{ hod}$$

- Střecha

Skladba (od interiéru)	Tloušťka vrstvy D [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m.K]	Měrná tepelná kapacita c [J/kg.m]	Objemová hmotnost ρ [kg/m ³]
Stěrková omítka celoplošná	10	0,77	790	1560
Skládaný pórobet. strop vč. nadbet.	250	0,313	1000	880
Spádové klíny EPS	150	0,034	1270	30

$$\tau_0 = 315,4 \text{ hod}$$

Tab. 3.3. – Vstupní hodnoty do výpočtu celkové relaxační doby pro variantu 4

Skladba (od interiéru)	Relaxační doba τ_0 [hod]	Plocha skladby S [m ²]	Součinitel prostupu tepla U [W/m ² .K]
Obvodová stěna	249	341,8	0,12
Střecha	315,4	219,3	0,12
Okna a dveře	0,1	138,1	0,9
Podlaha	83,5	236,83	0,19

$$\tau_{\text{celkem}} = 67,8 \text{ hod}$$

Pokles vnitřní teploty po 12 hod odpovídá snížení na **84%** počáteční hodnoty.

Zhodnocení

Cílem je dosáhnout co největší relaxační doby a co nejmenšího poklesu rozdílu teplot za 12 hod.

Tab. 3.3.5 – výsledné bodové ohodnocení

Konstrukce k zhodnocení	Relaxační doba obv. stěny [body]	Relaxační doba střechy [body]	Relaxační doba stavby [body]	Pokles rozdílu teplot za 12 hodin [body]	Celkový výsledek [body]
Varianta 1	1	1	1	2	5
Varianta 2	3	2	2	3	10
Varianta 3	4	3	4	4	15
Varianta 4	2	4	3	3	12

Z výsledků můžeme vyčíst, že nejhůře se umístila varianta 1, která díky absenci hmotných prvků v obalových konstrukcích nemá vysokou akumulaci tepla. Dalo by se namítnout, že ve

výpočtu byly zanedbány hmotné nosné prvky z rostlého či lepeného dřeva a byla by to pravda. Ale vzhledem k jejich místy nepravidelnému rozmístění by bylo těžké je do výpočtu zanebat a nemění to fakt, že varianta 1 má vždy alespoň o polovinu nižší hodnoty oproti ostatním variantám. A tak varianta 1 vychladne nejrychleji.

Nejlépe se umístila varianta 3, která má díky použitým materiálům dobré tepelně akumuláční vlastnosti.

3.4 Součinitel prostupu tepla

Při výběru jednotlivých systémových skladeb pro jednotlivé varianty bylo postupováno tak, že byl znám součinitel prostupu tepla stěnou pro původní projekt ve variantě 1 a pro další varianty 2, 3, a 4 byla snaha se skladbami stěn přiblížit co nejbližší k variantě 1, která sloužila jako podklad.

Varianta 1

- Obvodová stěna 1.NP, dřevěný panel

Nosná část je tvořena dřevěnou rámovou konstrukcí tl. 200 mm, která je mezi trámy vyplněna dvěma vrstvami minerální vlnou tl. 100 mm (celkem 200 mm). Nosný rám je z obou stran zaklopen dřevoštěpkovými deskami OSB 3 tl. 12 mm na pero a drážku a dále směrem k interiéru je na OSB desky provedena difuzní polyetylenová folie, která je zakryta SDK deskami tl. 12,5 mm včetně vytmelení spojů desek sádrou, a finální interiérovou úpravou je nanesení celoplošné stěrkové omítky v tl. 2 mm. Směrem k exteriéru jsou na vnější stranu OSB desek nalepeny desky grafitového fasádního polystyrenu v tl. 160 mm, na které je aplikováno lepidlo tl. 2 mm, do které je zatlačena výztužná tkanina a jako finální exteriérová úprava je provedena organická omítky v tl. 2 mm včetně barevného nátěru.

- Obvodová stěna 1.NP, železobetonová stěna

Nosná část je tvořena železobetonovou monolitickou stěnou v tl. 245 mm, která je směrem k interiéru opatřena vyrovnávací vrstvou omítky s vtlačenu výztužnou tkaninou v tl. 4 mm, na kterou je provedena finální interiérová vrstva štukové omítky v tl. 3 mm. Z exteriéru jsou na železobetonovou nosnou stěnu přilepeny desky grafitového fasádního polystyrenu v tl. 160 mm. Železobetonová stěna na západní fasádě je zachována se stejnou skladbou pro všechny varianty.

- Obvodová stěna 2.NP, opatřena dřevěným obkladem N

Nosná část je shodná se skladbou v 1.NP včetně zaklopení OSB deskami tl. 12 mm a skladby směrem k interiéru. Směrem do exteriéru jsou na OSB desky nalepeny desky grafitového fasádního polystyrenu.

- Podlaha 1.NP

Je provedena tak, že na podkladní betonovou desku tl. 100 mm je provedena hydroizolační a proti radonová folie, na kterou je vylita vyztužovaná železobetonová montážní deska tl. 150 mm. Do montážní desky jsou kotveny obvodové panely. Mezi stěnami bude na desku uložena podlahová tepelná polystyrenová izolace DEKPIR FLOOR v tl. 60 mm a na ni bude uložena systémová deska pro vedení podlahového vytápění, celk. tl. 52 mm. Systémová deska bude dále zalita cementovým potěrem v min tl. 32 mm a v poslední řadě finální povrch podlahy. V prostoru bazénu bude ještě pod finální povrch podlahy provedena hydroizolační stěrka, která bude v rozích napojena na hydroizolační stěrku pod obkladovými dlaždicemi na stěnách.

- Podlaha 1.NP garáže

Je shodná se běžnou skladbou podlahy 1.NP s tím rozdílem, že místo tepelné izolace DEKPIR je použit extrudovaný polystyren ROOFMATE SL ve dvou vrstvách tl. 30 mm a 40 mm, na které je proveden cementový potěr v tl. 80 mm a povrch podlahy.

- Stropní konstrukce 1.NP

Je tvořena z nosných dřevěných trámů uložených v jednom směru výšky 280 mm, které jsou ze spodní strany opatřeny dřevěným laťováním tl. 20 mm a zakryta je SDK deskami tl. 12,5 mm kotvenými do laťování. Pod SDK deskami je zavěšen SDK podhled na nosném ocelovém roštu, tak aby vznikla vzduchová mezera pro vedení instalací o výšce 230 mm. Ve volném prostoru je také uložena na podhledu minerální vlna tl. 50 mm. Z horní strany nosné části stropu je mezi trámy vložena minerální vlna tl. 140 mm a nosná část je zaklopena dřevoštěpkovými OSB 3 deskami tl. 22 mm na pero a drážku. Na tuto vrstvu je tepelná izolace podlahový polystyren tl. 60 mm, kročejová izolace Mirelon tl. 5 mm a dále stejně jako v podlaze 1.NP systémová deska pro podlahové vytápění, cementový potěr a finální provedení podlahy.

- Strop 1.NP nad garáží

Je proveden bez podhledu, ale s pohledovou úpravou SDK desek na dřevěném laťování zespod nosné části.

- Strop 1.NP nad bazénovou částí

Je proveden s podhledem, a z horní strany nosné části je provedena skladba pro vegetační střechu včetně tepelné izolace z polystyrenových spádových klínů.

- Strop 1.NP v části terasy

Je proveden stejně jako v běžném prostoru, ovšem na záklopu z OSB desek na nosné části stropu jsou uloženy spádové klíny z polystyrenu tl. od 60 do 174 mm, dále separační folie a střešní folie Sarmafil. Na střešní folii je provedena skladba pochozí terasy, tzn. výškově nastavitelné podložky k roštu z WPC konstrukčních hranolu tl. 30 mm a finálně prkna WPC tl. 23 mm.

- Strop 2.NP

Je proveden stejně jako v části s 1.NP s terasou s několika úpravami. Je použita větší tloušťka spádových klínů a to až 202 mm a poslední vrstvou je střešní folie Sarmafil, terasa není osazena.

Varianta 2

- Obvodová stěna 1.NP, plnostěnný dřevěný panel

Nosná část je tvořena dřevěným masivním CLT panelem tl. 84 mm, který je z vnitřní strany opatřen pohledovou kvalitou dřeva, tzn., můžeme přímo vidět reliéf smrkového dřeva.

Z vnější strany jsou na panely přilepeny desky tepelné izolace z EPS polystyrenu v tl. 300 mm (200 + 100 mm), na které je aplikováno lepidlo tl. 6 mm, do které je zatlačena výztužná tkanina a jako finální exteriérová úprava je provedena organická omítka v tl. 2 mm včetně barevného nátěru.

- Obvodová stěna 2.NP, plnostěnný dřevěný panel

Nosná část je tvořena stejným CLT panelem včetně pohledové úpravy jako v 1.NP, ovšem vnější povrch stěny je s dřevěným obkladem. Proto z vnější strany nosného panelu aplikována tepelná dřevovláknitá izolace STEICO ve dvou vrstvách tl. 240 mm a tl. 60 mm, která je zakryta pojistnou difuzní folií a nosným dřevěným lat'ováním tl. 30 mm pro ukotvení vnějšího dřevěného obkladu tl. 20 mm.

- Podlaha 1.NP, prostoru garáže i bazénu

Je provedena stejně jako pro variantu 1, díky tomu, že se jedná o podobný systém, kdy panely jsou kotveny v patě do montážní desky. Skladba podlah je neměnná i pro další varianty 2 a 3.

- Stropní konstrukce 1.NP

Nosná část stropní konstrukce je tvořena uzavřenými panely ELEMENT celkové tl. 320 mm, které budou ukládány ve stejném směru jako ve variantě 1. Stropní panely ELEMENT jsou

tvořeny dřevěnými žebry v. 266 mm, volný prostor mezi nimi je vyplněn vápencovým vsypem a tepelnou minerální vatou ISOVER UNI tl. 260 mm a z horní i dolní strany jsou žebra zaklopena dřevěnými lepenými CLT deskami tl. 27 mm. Dále je skladba stropu stejná jako u varianty 1, tedy na spodní straně zavěšen SDK podhled včetně nosné konstrukce, tepelné izolace a mezery pro instalace, na horní straně skladba včetně podlahového topení, či skladba s terasovými prkny.

- Strop 1.NP nad garáží a 2.NP

Je proveden stejně jako ve variantě 1 ovšem s nosnou částí z panelů ELEMENT.

Varianta 3

- Obvodová nosná stěna 1.NP

Nosná část stěny je tvořena z keramických pálených cihel systému Porotherm 50 T Profi, tl. 500 mm s vloženou tepelnou izolací uvnitř cihly. Z vnitřní strany je stěna opatřena celoplošnou stěrkovou omítkou tl. 10 mm, z vnější je na zdivo nanесena tepelně izolační omítka v tl. 30 mm, dále lepidlo s vloženou výztužnou tkaninou tl. 3 mm a jako finální povrchová úprava organická fasádní omítka tl. 2 mm.

- Obvodová stěna 2.NP

Je provedena stejně jako v 1.NP směrem k interiéru. Směrem k exteriéru je na tepelně izolační omítku přikotven nosný dřevěný rošt tl. 20 mm pro ukotvení dřevěného obkladu fasády v tl. 18 mm.

- Strop 1.NP

Nosná část stropu je tvořena keramickými vložkami Miako, keramobetonovými nosníky POT a finální nabetonávkou, celková tloušťka 290 mm. Pod stropem je zavěšen podhled z SDK desek stejným způsobem jako ve variantách 1, 2. Skladba nad nabetonávkou je provedena stejně jako u variant 1 a 2.

- Strop 2. NP

Skladba stropu je stejná jako u předchozích variant, s výjimkou použití jiné nosné části a sice keramobetonového stropu tl. 290 mm.

Varianta 4

- Obvodová stěna 1.NP

Nosná část stěny je tvořena z pórobetonových tvárnic YTONG Lambda tl. 375 mm, které jsou z interiéru opatřeny celoplošnou stěrkovou omítkou tl. 10 mm. Z exteriéru je na zdivo nalepena tepelná izolace z grafitového polystyrenu EPS v tl. 120 mm, která je dále opatřena

lepidlem s tl. 6 mm, do kterého je vtačena výztužná tkanina. Na tuto vrstvu je provedena finální vnější úprava organické fasádní omítky tl. 2 mm.

- Obvodová stěna 2.NP

Je provedena stejně jako stěna 1.NP směrem k interiéru. Směrem k exteriéru je na lepidlo s výztužnou tkaninou aplikován nosný dřevěný rošt tl. 20 mm a fasádní dřevěný obklad tl. 18 mm.

- Strop 1.NP a 2.NP

Nosná část stropu je tvořena pórobetonovými vložkami typu KLASIK uloženými na železobetonové nosníky a s přebetonováním. Celková tloušťka nosné části je 250 mm. Skladba pod nosnou konstrukcí i nad ní je shodná s předchozími variantami.

Hodnoty součinitelů prostupu tepla byly převzaty z podkladů výrobce nebo dopočteny v programu TEPLLO 2017.

Tab. 3.4.1 – hodnoty součinitele prostupu tepla pro konstrukce jednotlivých variant a normové požadavky dle normy ČSN 73 0540:

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m ² ·K)]					
	Doporučené hodnoty		Navržené hodnoty U _N			
	U _{rec,20}	pro pasivní budovy U _{pas,20}	pro variantu 1	pro variantu 2	pro variantu 3	pro variantu 4
Stěna vnější	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12	0,10	0,12	0,13	0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,16	0,15 až 0,10	0,10	0,08	0,16	0,15
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,16	0,15 až 0,10	0,10	0,08	0,16	0,15
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině 4), 6)	0,30	0,22 až 0,15	0,19			
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru	0,50	0,38 až 0,25	0,27			
Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí	0,50	0,38 až 0,25	0,10	0,12	0,12	0,12

Podlaha a stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině 6)	0,60	0,45 až 0,30	0,19
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,2	0,8 až 0,6	0,90
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,2	0,9	1,20

Z tabulky 3.4.1 můžeme vidět, že i přes rozdílnost samotných stavebních systémů, jsou hodnoty součinitelů prostupu relativně blízké. Všechny hodnoty posuzovaných konstrukcí pro všechny varianty by prošly tepelně technickým posouzením.

Největší rozdíly mezi hodnotami můžeme najít u prostupů střechou resp. stropem. Toto je zcela určitě způsobeno tím, že u variant 3 a 4 není umožněno umístit tepelnou izolaci přímo do úrovně nosné části stropní konstrukce, protože je plná, na rozdíl od variant 1 a 2, kde je tepelná izolace umístěná mezi žebry nosné stropní konstrukce.

Zhodnocení

Cílem je dosáhnout pro každou konstrukci co nejnižší součinitel prostupu tepla.

Tab. 3.4.2 – výsledné bodové ohodnocení

Konstrukce k zhodnocení	Stěna vnější [body]	Strop/střecha [body]	Celkový výsledek [body]
Varianta 1	4	3	7
Varianta 2	3	4	7
Varianta 3	2	1	3
Varianta 4	3	2	5

3.5 Požární odolnost

V rámci vstupních podkladů mám k dispozici požární zprávu k objektu rodinného domu. Z ní vyplývá, že zastavěná plocha objektu je 414,78 m² a požární výška pro variantu 1 je 3,602 m. Pro ostatní varianty se však mírně mění od 3,430 m pro variantu 2, přes 3,660 m pro variantu 4 až po 3,700 m pro variantu 3. Požární zatížení zůstává beze změny, protože nedochází ke změně užívání vnitřních prostor. Celý objekt slouží jako jeden požární úsek a zařazuje se do III. stupně požární bezpečnosti.

Pro posuzování požárního řešení se zaměřím v porovnání na požární odolnost jednotlivých nosných i nenosných konstrukcí a stanovení druhu konstrukcí.

Tab. 3.5.1 - Zhodnocení druhu stavebních konstrukcí:

Popis konstrukce	Navržené			
	pro variantu 1	pro variantu 2	pro variantu 3	pro variantu 4
Druh konstrukce obvodové stěny	DP2/DP3	DP3	DP1	DP1
Druh konstrukce stropu	DP3	DP3	DP1	DP1

Tab. 3.5.2 - Zhodnocení požární odolnosti konstrukcí na základě požadavků normy ČSN 73 0802:

Popis konstrukce	Požární odolnosti konstrukcí				
	Požadované	Navržené			
		pro variantu 1	pro variantu 2	pro variantu 3	pro variantu 4
Požární strop	REI 45	REI 45	REI 45	REI 180	REI 60
Obvodová stěna zajišťující stabilitu	REI 45	REI 90	REI 45	REI 90	REI 180
Nosná konstrukce střech	REI 45	REI 45	REI 45	REI 180	REI 60
Nosné konstrukce uvnitř PÚ	REI 45	REI 60	REI 45	REI 180	REI 180
Nenosné konstrukce uvnitř PÚ	-		EI 30	EI 120	EI 120

Všechny použité hodnoty byly převzaty z certifikátů o zkoušce požární odolnosti pro jednotlivé systémy a skladby.

V celém objektu kromě garáže jsou pod stropem zavěšeny SDK podhledy, které ovšem neplní funkci požární odolnosti, slouží pouze pro zakrytí instalačních vedení.

Další konstrukce jako jsou: nenosné konstrukce, konstrukce vně objektu, střešní plášť atd., které jsou v tabulce v normě uvedeny, nejsou posuzovány, protože na ně není normový požadavek.

Zhodnocení

Cílem je splnění minimálních požadovaných normových hodnot, což všechny varianty splnily, proto budu nadále bodově hodnotit rezervy těchto konstrukcí v požární odolnosti, čím větší tím více bodů.

Tab. 3.5.3 – výsledné bodové ohodnocení

Konstrukce k zhodnocení	Druh konstrukce	Požární strop/střecha [body]	Obv. stěna zaj. stab. [body]	Nosné konstr. uvnitř PÚ [body]	Celkový výsledek [body]
Varianta 1	1	2	3	3	9
Varianta 2	1	2	2	2	7
Varianta 3	2	4	3	4	13
Varianta 4	2	3	4	4	13

Jak můžeme vidět, tak nejlépe dopadly varianty 3 a 4, tedy systémy ze zdících prvků, přesto dřevěné konstrukce v podobě variant 1 a 2 na požární bezpečnosti neztrácejí, protože normové požadavky splní.

3.6 Statická únosnost nosných prvků

Z hlediska statiky musejí všechny navržené varianty splňovat mechanickou odolnost a stabilitu, a musí být zabráněno zejména:

- zřícení stavby nebo její části,
- většímu stupni nepřijatelného přetvoření,
- poškození jiných částí stavby nebo technických zařízení anebo instalovaného vybavení v důsledku většího přetvoření nosné konstrukce,
- poškození v případě, kdy je rozsah neúměrný původní příčině.

Jako podklad sloužila varianta 1, kde hlavní nosnou konstrukci tvoří dřevěné rámové obvodové stěny a dřevěný žebrový strop. Při návrhu dalších variant 2, 3 a 4 byl použit stejný statický model jako u první varianty při zachování nezměněného směru uložení nosných stropních prvků, stávajících nosných stěn a zároveň stávajících užitných zatížení q a stálých zatížení g , mimo vlastní tíhy nosné konstrukce. Tzn., že aplikováním jiných nosných konstrukcí na stávající variantu 1 dochází pouze k malým změnám světlych rozpětí, výšce stěn a ke zvýšení stálého zatížení vlastní tíhy nosné konstrukce, které je ovšem kompenzováno větší statickou únosností u jednotlivých variant.

Stropní konstrukce byly ukládány ve stejném směru jako výchozí varianta 1, na stejné nosné stěny a přenos na základovou spáru byl umožněn přes stejně provedené základové pasy. U všech nosných prvků se tak měnily pouze jejich dimenze a materiál.

Z tohoto důvodu jsem se rozhodl pro dimenzaci jednotlivých nosných prvků pouze na základě empirických vztahů v podobě již funkčních podobných staveb a dále dle předpisů a doporučení výrobců jednotlivých systémů.

Vzhledem k využití pouze předběžné dimenzace z podkladů výrobců a empirie nebudu porovnávat jednotlivé varianty mezi sebou, protože každá z těchto variant zastupuje jeden ucelený stavební systém a nosné prvky vždy působí s prvky vlastního systému. Předpokladem je tedy splnění výše popsaných požadavků.

3.7 Proveditelnost vnitřních instalací

Vnitřní instalace jsou nedílnou součástí každé obytné stavby, bez nich by stavba neplnila svou funkci. Přesto jsem toho názoru, že se při projektování staveb často ve fázi návrhu zapomíná na tyto instalace a není jim udílen dostatečný prostor či pozornost. Pokud to tak je, často se stává, že projektant těchto profesí je nucen vést své vedení např. nosným prvkem, což není možné a je nucen se uchýlit k nějakému nestandardnímu řešení, které v budoucnu může skýtat problémové místo. Těmto problémům jde často předejít již v počátku návrhu projektu, kdy projektant stavebních konstrukcí již počítá s místy pro vedení instalací, např. v podobě instalačních šachet a komunikuje se projektanty profesí.

Za předpokladu dodržení výše popsaného přístupu k projektování je ještě důležitějším aspektem dostatečná komunikace s investorem, který by měl dokázat co nejpřesněji popsat budoucí rozložení spotřebičů a zařízení v objektu. S touto znalostí je možno většinu problémů vyřešit v projekční fázi a nemusí být řešeny ve fázi realizační.

Zkusím zde přiblížit, se kterými vnitřními instalacemi se můžeme setkat u rodinného domu, jejich běžné dimenze a způsoby vedení:

- **elektroinstalace**
 - **silnoprúd** – vedeno drážkami nebo v chráničkách pr. 50 mm
 - **slaboprúd** - vedeno drážkami nebo v chráničkách do pr. 50 mm
- **kanalizace**
 - **splašková** – vedeno drážkami nebo v předstěnách, potrubí DN 75, 110
 - **dešťová** – vedeno drážkami nebo v předstěnách, potrubí DN 75, 110
- **vodovod** – vedeno v drážkách nebo v předstěnách, trubky pr. 16, 20 mm

- **plynovod** – vedeno v předstěnách nebo v drážkách, pr. 16 – 32 mm
- **ústřední topení** – vedeno v drážkách, trubky pr. 16 – 32 mm
- **vzduchotechnika** – vedeno v podhledech, podlahách, stěnách, trubky obdelníkové, oválné, oválné, flexibilní, rozměry od 50 – 150 mm
- **klimatizace** – vedeno v podhledech, v drážkách, pr. 16 – 25 mm
- **centrální vysavač** – vedeno v drážkách, potrubí pr. 50 mm

Varianta 1

Obvodové stěny jsou tvořeny z prefabrikovaných panelů s nosným vnitřním rámem a výplní tepelnou minerální izolací uvnitř panelu. Prostor mezi nosnými prvky tl. 200 mm poskytuje relativně dostatečný prostor pro montáž jakýchkoli vnitřních instalací. Devizou tohoto stavebního systému je ovšem vysoká míra prefabrikace, která se týká i provádění vnitřních instalací. Při výrobě panelů tak musí mít výrobce k dispozici výkresovou dokumentaci, ve které jsou zaneseny rozvody instalací v domě, aby bylo možné již při výrobě a sestavování panelů osadit instalační bloky pro vodovod, kanalizaci apod. Tím dojde k velké úspoře času, při montáži na stavbě, protože po usazení panelů na stavbě dojde k propojení vedení k jednotlivým panelům a není nutné tahat celé rozvody vody, kanalizace či topení. V místech napojení stoupacích vedení na základovou desku jsou tyto vedení již uloženy do panelu a v patě panelu je proveden otvor pro napojení vedení na výstup v základu. Stejně tak jsou pro elektroinstalace připraveny instalační trubky a otvory na instalační krabíčky a na stavbě je nutné těmito trubkami kabely protáhnout a vedení zprovoznit. Míra prefabrikace je vysoká a tak je na místě i důkladně a kvalitně zpracovaná projektová dokumentace sloužící jako podklad pro výrobní dokumentaci. Na stavbě již většinou nedochází a zároveň tento systém není uzpůsoben k zásadním úpravám, či zavedení nových instalací.

Nosné stěny tl. 192 mm umožňují díky stejnému systému jako u stěn obvodových vedení téměř jakýchkoliv instalačních vedení. Limitem je volný prostor tl. 140 mm mezi oboustrannými záklopy případně přílišná hlučnost. Jelikož se jedná o vnitřní nosnou stěnu, zatížení působící na svislé a vodorovné prvky nosného rámu může být více než dvojnásobná. Proto je nutné při průchodu instalací nosnými svislými či vodorovnými prvky snažit se co nejméně oslabovat nosné prvky, případně rovnou navrhnout příslušná opatření jako např. dřevěné příložky, ocelové výztuhy což je řešeno v rámci výrobní dokumentace. Od výrobce je udáno, že ve stěně může probíhat vedení o pr. až 125 mm.

Nenosné příčky tl. 144 mm jsou konstruovány stejně jako stěny výše, ovšem prostor mezi záklopy je zde pouze 92 mm, proto maximální rozměr instalace je pr. 75 pro kanalizaci, případně až 90 mm pro vzduchotechniku.

Stropní konstrukce je z prefabrikovaných panelů. Nosná část je žebrová a prostor mezi záklopy je tl. 280 mm, tzn. je možné do volného prostoru (tep. izolace tl. 140 mm ve volném prostoru může být zmáčknuta) bezpečně uložit jakékoli instalace rovnoběžně s žebry. Při nutnosti průchody kolmo na žebra je nutné zvážit v jakém místě a jak velký otvor je nutné vytvořit, vzhledem k tomu, že žebra jsou hlavním nosným prvkem stropu. Pokud by otvor byl o průměru větším než 100 mm a nacházel by se blíže ke středu rozpětí stropu, je vyžadováno prověření u statika, pokud by byly takto narušeny 2 a více žeber je statické posouzení nutností. Často je však použit zavěšený podhled pod stropem, sloužící právě pro vedení instalací. Je to i jednodušší, protože stropní panely jsou na stavbu montovány vcelku a uzavřené a tak do nich není nutné zasahovat.

Varianta 2

Obvodové stěny a nosné stěny jsou tvořeny z nosných plnostěnných panelů tl. 84 mm a z vnější strany opatřeny polystyrenem tl. 300 mm. Pomineme v tomto případě polystyrenovou vrstvu, která se v tomto případě hodí pouze k vedení dešťového svodu skrytého, ostatní vedení by mohly zmrznout. Samotný panel se skládá celkem z 6 desek, konkrétně tl. 9 + 24 + 9 + 9 + 24 + 9 mm, celkem 84 mm. Výrobce udává, že při výrobě stěny, tedy před slepením je možné do jádra stěny vyfrézovat drážku o rozměrech max 50 x 50 mm, uložit do něj instalační trubku pro vedení elektroinstalace a na konci drážky vyvrtat otvor pro instalační krabičku, to vše dle projektu elektroinstalace. Vyfrézováním drážky však dochází k oslabení průřezu a tak je nutné drážky přes celou výšku, či šířku a v namáhaných místech nechat posoudit statikem. Panely kompletně slepené jsou pak dopraveny na stavbu, kde jsou osazeny a do připravených drážek jsou nataženy kabely. To znamená, že i kdybychom měli jiné instalace, jako např. vodovodní potrubí o menším průměru než 50 mm, nejsme schopni je na stavbě osadit, protože potrubí není dostatečně flexibilní, aby drážkou prošlo. Z toho vyplývá zřejmě hlavní nevýhoda tohoto stavebního systému a to, že veškeré vnitřní instalace kromě elektroinstalačních musejí být vedeny v předstěnách, zákrytech či šachtách. Díky této vlastnosti však tento systém může ztrácet na estetickém projevu oproti ostatním variantám, kdy může být relativně designově čistá plocha stěny z přírodního dřeva narušena předstěnami pro instalace. S tímto problémem jsem se sám setkal při přizpůsobování nosné konstrukce

varianty 2 na stávající vedení instalací zachované z varianty 1. Tato potíž by se dala relativně jednodušeji řešit, kdyby byl objekt od začátku projektován na stavební systém varianty 2, čímž se vrátím ke krátkému úvodu na začátku této kapitoly.

Nenosné stěny tl. 62 jsou konstruovány ze tří desek tl. 9 + 44 + 9 mm, které jsou poté slepeny. K vedení instalací jsou omezeny stejně jako nosné stěny tl. 84 mm, viz výše.

Stropní konstrukce tl. 320 mm je zkonstruována podobným způsobem jako u varianty 1. Rozdílem je to, že nosná dřevěná žebra v. 266 mm jsou zaklopeny a mechanicky spojeny s CLT deskami tl. 27 mm z obou stran, a tak se také podílejí na celkové únosnosti stropu. Díky tomu bude strop únosnější než u varianty 1, při stejném oslabení prostupem o pr. 100 mm kolmo nosným žebrem, přesto je vhodné posouzení nezanedbat.

Varianta 3

Obvodové zdivo tl. 500 mm a **vnitřní nosné zdivo** tl. 300 mm umožňují provádění drážek a výklenků pro vedení instalací při dodržení daných podmínek vycházejících z norem o navrhování zděných stěn ČSN EN 1996 (EC 6); drážky nesmí procházet překlady ani v jejich bezprostřední blízkosti. Hloubka svislé drážky je omezena předpisem výrobce na 30 mm a šířka až 200 mm, a je-li provedena na výšce zdiva, nesmí se nacházet v půdorysném průmětu místa uložení stropního nosníku na zdivu. Svislé drážky, které nedosahují do třetiny výšky stěny v podlaží, mohou mít hloubku až 80 mm a šířku do 120 mm. Drážky větších rozměrů by měly být dále posouzeny statikem. Vodorovné a šikmé drážky by se neměly používat, avšak není-li možné se jim vyhnout, neměly by být vzdáleny více než 1/8 výšky stěny od horního nebo dolního líce stropu, a max hloubky 20 mm. Pokud by byly vodorovné či šikmé drážky kratší než 1,25 m mohou být hluboké až 30 mm. Větší prostupy jako např. na kanalizaci o pr. 110 mm je nutné posouzení statika.

Nosné příčky tl. 140 jsou omezeny podobně jako nosné stěny. Svislé drážky hl. max 30 mm a šířky 125 mm, šikmé a vodorovné do max. délky 1,25 m hluboké 15 mm. Pro tuto stěnu je tak uvažováno hlavně s rozvody elektroinstalace, další instalace by měly být vedeny ve vyzděných výklencích po posouzení statikem.

Nenosné příčky tl. 115 mm jsou vhodné pouze k vedení svislé elektroinstalace, případně k vyzdění výklenku při zachování nosné části min. 70 mm, což znamená vedení instalace o pr. max 45 mm bez posouzení statikem.

Stropní konstrukce tl. 290 mm je provedena ze skládaných keramických vložek na nosné trámký. Díky tomuto systému je možné vézt instalace bez nutnosti provedení prostupu při betonáži stropu, pouze keramickými vložkami, nikdy přes nosníky. Při svislém prostupu přes strop je vhodné využít jádrového vrtání, kdy dojde k přesnému otvoru bez zásadního narušení výztuže nadbetonávky. Vodorovné instalace v úrovni stropu je možné provést pouze ve směru uložení stropu ve vložkách. Např. při nutnosti zavedení elektroinstalace doprostřed místnosti pro světlo, prorazím jednu dutinu stropní vložky u hlavy stěny a touto dutinou prostrčíme kabel až k žádanému místu, kde dutinu znovu navrtáme a kabel vytáhneme. Z hlediska náročnosti dutiny ve vložkách působí téměř jako instalační trubky.

Varianta 4

Obvodové stěny tl. 375 mm a **nosné vnitřní stěny** tl. 300 mm podléhají stejným požadavkům převzatým z ČSN EN 1996 (EC 6) jako u varianty 3. Stejně platí i pro výklenky.

Vnitřní nosná stěna tl. 150 mm a **příčky** tl. 100 mm podléhají stejným podmínkám jako varianta 3. Pokud jsou rozměry prostupy překročeny, je nutné je staticky posoudit. Výjimku tvoří konstrukce příček, které jsou pružně kotveny ke stropu. U těchto příček je možné vytvořit jakkoliv hlubokou svislou drážku, protože příčka tím bude rozdělena do samostatného segmentu. Tato možnost může být velkou výhodou vůči ostatním systémům

Stropní konstrukce tl. 250 mm je provedena z pórobetonových vložek výšky 200 mm uložena na nosné železobetonové nosníky a finálně jsou nadbetonovány. Pro instalace jsou vhodné pouze pórobetonové vložky, nosníky není možné narušit. Vložky pro svislý prostup je vhodné jádrově provrtat, pro vodorovné vedení v úrovni stropu jsou však vložky méně vhodné. Uvnitř jsou vložky plné a při provádění drážky pro elektroinstalaci může dojít k prasknutí celé vložky. Přesto výrobce žádná omezení neudává.

V následující tabulce se pokusím shrnout všechny zásady pro vedení vnitřních instalací pro jednotlivé varianty popsané výše:

Tab. 3.7.1 – proveditelnost instalací pro jednotlivé varianty

Popis konstrukce	Navržené			
	pro variantu 1	pro variantu 2	pro variantu 3	pro variantu 4
Provedení tras elektroinstalace z výroby	Ano	Ano	Ne	Ne
Instalace pr. 50 mm vedená svisle uvnitř stěny	Ano	Ne	Ano	Ano
Instalace pr. 110 mm vedená svisle uvnitř stěny	Ano	Ne	Ano	Ano
Instalace pr. 50 mm vedená vodorovně stropem	Ano	Ano	Ano*	Ne
Instalace pr. 110 mm vedená vodorovně stropem	Ano	Ano	Ne	Ne
Možnost úpravy vedení instalace na stavbě	Ano**	Ne	Ano	Ano

* - značí možnost vedení pouze elektroinstalace

** - značí nutnost narušení již hotového vnitřního povrchu SDK desek a OSB desek

Zhodnocení

Cílem je co největší prostupnost pro instalace a možnost úprav na stavbě

Tab. 3.7.2 – výsledné bodové ohodnocení

Konstrukce k zhodnocení	Inst. do pr. 50 mm ve stěně [body]	Inst. do pr. 100 mm ve stěně [body]	Inst. do pr. 50 mm ve stropě [body]	Inst. do pr. 100 mm ve stropě [body]	Možnost úprav na stavbě [body]	Celkový výsledek [body]
Varianta 1	4	4	4	4	2	18
Varianta 2	1	1	4	4	1	11
Varianta 3	4	4	3	1	4	16
Varianta 4	4	4	1	1	4	14

Výsledky jsou relativně různorodé, ale nejlépe se jeví varianta 1, která ovšem příliš neumožňuje zásadní úpravy na stavbě. Nejhuře se umístila varianta 2, která díky slabým stěnám neumožňuje vedení instalací uvnitř, ale je nutno je všechny vést v předstěnách.

3.8 Užitiná plocha

V této části provedu porovnání užitných ploch jednotlivých variant. U všech variant byla zachována vnější obálka s rozměry a na základě vybraného stavebního systému došlo buď ke zvětšení, nebo zmenšení užitné plochy domu oproti variantě 1. Porovnám přímo jednotlivé konstrukce mezi sebou a následně užitné plochy.

U varianty 2 z nosných plnostěnných panelů není možné z výroby provést u vnitřních stěn oboustrannou pohledovou úpravu při zachování tloušťky panelu, pouze jednostrannou a tak je pro dosažení oboustranné pohledové kvality na stěny aplikována dřevěná BIO deska tl. 19 mm ve stejném dekoru jako stěna. Z tohoto důvodu se budou u vnitřních stěn vyskytovat dvě tloušťky.

Pro varianty 3 a 4 budou v tabulce uvedeny hodnoty pro dvě různé tloušťky nosných stěn, což je způsobeno tím, že stěny s nižší tloušťkou byly použity jako nosné v místech s menším odhadovaným zatížením, právě pro úsporu prostoru.

Tab. 3.8.1 – tloušťky nosných konstrukcí

Popis	Tloušťky konstrukcí a jejich změna oproti variantě 1 [mm]						
	pro variantu 1	pro variantu 2		pro variantu 3		pro variantu 4	
Obvodová stěna	403	392	-11	500	+97	495	+92
		434	+31				
Vnitřní nosná stěna	192	84	-108	300	+108	300	+108
		103	-89	140	-52	150	-42
Vnitřní nenosná stěna	144	62	-82	115	-29	100	-44

Tab. 3.8.2 – Rozdíly v užitných plochách jednotlivých variant

Užitná plocha	Užitná plocha [m ²]; změna [%]			
	pro variantu 1	pro variantu 2	pro variantu 3	pro variantu 4
1.NP	245,07	250,25	236,15	236,83
2.NP	135,16	138,8	127,9	128,12
Celkem	380,23	389,05	364,05	364,95
Porovnání užitné plochy 1.NP s variantou 1		5,18; +2,07 %	8,92; -3,64 %	8,24; -3,36 %
Porovnání užitné plochy 2.NP s variantou 1		3,64; +2,62 %	7,26; -5,37 %	7,04; -5,21 %
Porovnání celkové užitné plochy s variantou 1		+8,82; +2,26 %	-16,18; -4,26 %	-15,28; -4,02%

Jak plyne z tabulky, varianta 2 poskytuje ještě větší užitnou plochu oproti již tak úsporné výchozí variantě 1. Zděné systémy variant 3 a 4 poskytují srovnatelný užitný prostor, avšak oproti výchozí variantě 1 přicházejí o významné metry čtvereční plochy. U obou variant je ztráta užitné plochy v součtu pro přes 15 m², které jsou sice rozděleny do obou podlaží objektu, ale samotné číslo by umožňovalo umístění jedné další plnohodnotné místnosti. Daleko dramatičtější je rozdíl ploch pokud bychom porovnali mezi sebou nejkrajnější výsledky, tedy variantu 2 a variantu 3. V tomto přímém porovnání bychom došli k zisku celých 25 m² celkové užitné plochy stavby ve prospěch varianty 2 a takovýto prostor by mohl teoreticky poskytovat další dostatečně prostornou místnost, či dvě menší.

Zhodnocení

Tab. 3.8.3 – výsledné bodové ohodnocení

Konstrukce k zhodnocení	Užitná plocha 1.NP [body]	Užitná plocha 1.NP [body]	Celková užitná plocha [body]	Celkový výsledek [body]
Varianta 1	3	3	3	9
Varianta 2	4	4	4	12
Varianta 3	1	1	1	3
Varianta 4	2	2	2	6

3.9 Požadavky na zařízení staveniště a postup prací

Při porovnávání požadavků na zařízení staveniště je nejprve nutné zmínit hlavní rozdíly mezi porovnávanými variantami potažmo jejich stavebními systémy. Varianta 1 a 2 jsou stavebními systémy, které jsou založeny na prefabrikaci stěnových a stropních panelů, zatímco varianty 3 a 4 reprezentují stavební systémy založené na kusovém stavivu, které teprve spojením tvoří jednotlivé stěny a stropy. Tento zásadní rozdíl se promítá i do požadavků na zařízení staveniště.

Přesto každá stavba zpravidla začíná zemními pracemi, které jsou následovány zakládáním stavby, tuto část můžeme nazvat jako spodní stavbu a pro jednotlivé varianty se liší pouze objemem práce.

Porovnávány budou pouze nároky vrchní stavby každé z variant na zařízení staveniště, které bude zjednodušeno do hlavních částí a to:

- Mobilní jeřáb – nutnou součástí takto rozsáhlé stavby

- Skládky – dočasné skládky pro větší množství materiálu (zdící prvky, desky apod.).
Nutnost záboru volného prostoru na staveništi
- Ohýbárna ocelových výztuží – mobilní ohýbárna armatury. Může být nahrazena dovezením výztuže zhotovené mimo staveniště, poté je nutné namísto ohýbárny mít na staveništi místo ke skladování, viz bod výše
- Mokrý proces – volného prostoru kolem stavby pro příjezd domíchávače případně čerpadla, vyšší nároky na počet pracovníků a energie a suroviny. Technologická přestávka a ošetřování
- Mobilní silo na fasádní nebo vnitřní omítku – prostorová náročnost, energie pro čerpání

Varianta 1

I přesto, že montáž hlavní nosné konstrukce vrchní stavby bývá v řádu maximálně několika dní, je nezbytně nutné montované panely na stavbě vždy zabezpečit proti vniknutí vody dovnitř panelu. V opačném případě je zde riziko hniloby dřevěných prvků.

Postup prací:

- Přejímka a příprava povrchu základové desky
- Doprava a montáž stěnových panelů 1.NP (včetně osazené vnější fasády, zateplení a vnějších výplní otvorů) - jeřáb
- Doprava a montáž stropních panelů 1.NP (včetně izolace) - jeřáb
- Doprava a montáž stěnových panelů 2.NP (včetně osazené vnější fasády, zateplení a vnějších výplní otvorů) - jeřáb
- Doprava a montáž stropních panelů 2.NP (včetně izolace) - jeřáb
- Klempířské a pokrývačské práce
- Vnitřní instalace
- Provedení podlahy 1.NP - mokrý proces
- Provedení podlahy 2.NP - mokrý proces
- Úpravy povrchů stěn - silo
- Úpravy povrchů stropů - silo
- Dokončení fasády
- Dokončovací práce

Varianta 2

Montáž nosných prvků je většinou stejně rychlá jako u varianty 1, požadavek na zabezpečení panelů proti vniknutí vody do stěnových panelů je také platný.

Postup prací:

- Přejímka a příprava povrchu základové desky
- Doprava a montáž stěnových panelů 1.NP - jeřáb
- Doprava a montáž stropních panelů 1.NP (včetně izolace) - jeřáb
- Doprava a montáž stěnových panelů 2.NP - jeřáb
- Doprava a montáž stropních panelů 2.NP (včetně izolace) - jeřáb
- Klempířské a pokrývačské práce
- Montáž vnějšího zateplení - skládka
- Osazení výplní otvorů
- Provedení fasády - silo
- Vnitřní instalace
- Provedení podlahy 1.NP - mokrý proces
- Provedení podlahy 2.NP - mokrý proces
- Úpravy povrchů stropů – silo
- Dokončovací práce

Varianta 3

Postup prací:

- Přejímka a příprava povrchu základové desky
- Založení a vyzdívka stěn 1.NP - skládka
- Uložení překladů a průvlaků 1.NP - jeřáb
- Montáž stropních vložek a trámků 1.NP - jeřáb
- Uložení výztuže pro strop, věnce a překlady 1.NP – ohýbárna
- Betonování stropu a věnce 1.NP – mokrý proces, technologická přestávka
- Založení a vyzdívka stěn 2.NP - skládka
- Uložení překladů a průvlaků 2.NP – jeřáb
- Montáž stropních vložek a trámků 2.NP - jeřáb
- Uložení výztuže pro strop, věnce a překlady 2.NP – ohýbárna
- Betonování stropu a věnce 2.NP – mokrý proces, technologická přestávka
- Klempířské a pokrývačské práce

- Vnitřní instalace
- Osazení výplní otvorů
- Provedení podlahy 1.NP - mokrý proces
- Provedení podlahy 2.NP - mokrý proces
- Provedení fasády – silo
- Úpravy povrchů stěn – silo
- Úpravy povrchů stropů – silo
- Dokončovací práce

Varianta 4

Postup prací:

- Přejímka a příprava povrchu základové desky
- Založení a vyzdívka stěn 1.NP - skládka
- Uložení překladů a průvlaků 1.NP - jeřáb
- Montáž stropních vložek a trámků 1.NP - jeřáb
- Uložení výztuže pro strop, věnce a překlady 1.NP – ohýbárna
- Betonování stropu a věnce 1.NP – mokrý proces, technologická přestávka
- Založení a vyzdívka stěn 2.NP - skládka
- Uložení překladů a průvlaků 2.NP – jeřáb
- Montáž stropních vložek a trámků 2.NP - jeřáb
- Uložení výztuže pro strop, věnce a překlady 2.NP – ohýbárna
- Betonování stropu a věnce 2.NP – mokrý proces, technologická přestávka
- Montáž vnějšího zateplení - skládka
- Klempířské a pokrývačské práce
- Vnitřní instalace
- Osazení výplní otvorů
- Provedení podlahy 1.NP - mokrý proces
- Provedení podlahy 2.NP - mokrý proces
- Provedení fasády – silo
- Úpravy povrchů stěn – silo
- Úpravy povrchů stropů – silo
- Dokončovací práce

Zhodnocení

V následující tabulce bude shrnuto pro každou variantu počet využití specifických a hlavních částí zařízení staveniště s cílem přiblížit náročnost požadavků na vybavenost staveniště pro každou variantu.

Tab. 3.7.2 – tabulka požadavků na zařízení staveniště pro vrchní stavbu a bodového ohodnocení

Varianty	Počet využití uvedených částí zařízení staveniště						
	Počet mokrých procesů	Ohýbárn a ocelové výztuže pro vrchní stavbu	Silo na fasádní nebo vnitřní omítku	Skládka většího množství materiálu	Využití mobilního jeřábu	Počet využití hlavních částí staveniště	Počet bodů [body]
Varianta 1	2	0	2	0	4	8	4
Varianta 2	2	0	2	1	4	9	3
Varianta 3	4	2	3	2	4	15	2
Varianta 4	4	2	3	3	4	16	1

Z tabulky můžeme vidět, že nejméně náročné na zařízení staveniště jsou varianty 1 a poté 2, které se zaměřují na vysokou míru prefabrikace stavebních prvků a snižují tak nároky na staveniště. Dále se umístila varianta 3 a 4, které jsou díky vlastnostem stavebního systému náročnější na prostor a objem materiálu použitého na stavbě.

3.10 Ekonomická náročnost

Z hlediska ekonomické náročnosti budou hodnoceny jednotlivé varianty na základě příslušných rozpočtů staveb. Pro představu zde uvedu kompletní cenu z výchozích podkladů celého objektu včetně okolí stavby, oplocení a terénních úprav.

Tab. 3.10.1 – celková cena stavby

Číslo	Položka	Cena [Kč]
1	Rodinný dům	21 079 480,-
2	Terasa venkovní – WPC na roštu	418 770,-
3	Okapový chodník kolem stavby	45 924,-
4	Parkovací stání pro automobily před objektem	283 481,-
5	Oplocení – tahokov + podhrab. desky	610 958,-
6	Gabionová stěna	411 048,-
7	Betonový plot vč. pos. vrat, branky a demolice stáv. oploc.	240 657,-

8	Přípojka splaškové kanalizace	147 778,-
9	Kanalizace dešťová	557 564,-
10	Vodovodní přípojka	64 129,-
11	Domovní plynovod	119 312,-
12	Domovní elektro přípojka	108 933,-
Celkem		24 089 034,-

Otázka ceny stavby je více než důležitá, může pomoci budoucímu investorovi rozhodnout se pro daný stavební systém. V následujícím porovnání budou uvedeny ceny pro všechny varianty zahrnující pouze spodní a vrchní stavbu. Vnitřní rozvody instalací nejsou uvažovány.

Tab. 3.10.2 – porovnání výsledných cen jednotlivých variant

Část	Cena [Kč]			
	pro variantu 1	pro variantu 2	pro variantu 3	pro variantu 4
Spodní stavba	1 977 858,-	1 975 609,-	2 127 876,-	2 041 806,-
Vrchní stavba	14 514 084,-	15 137 351,-	13 027 917,-	14 918 788,-
Celkem	16 491 942,-	17 112 960,-	15 155 793,-	16 960 594,-

Z tabulky můžeme zjistit, že nejlevnější variantou je varianta 3 z cihelných bloků, která i přes to, že má nejvyšší náklady na spodní stavbu, má nejnižší náklady na vrchní stavbu a v součtu vychází nejlevněji. Na druhém místě celkově se umístila varianta 1 ze sendvičových dřevěných panelů, která má druhé nejnižší náklady na spodní stavbu a druhé nejnižší náklady na vrchní stavbu. Jako nejdražší varianta se umístila varianta 2 z plnostěnných dřevěných panelů a druhá nejdražší varianta 4 z pórobetonových tvárnic. Varianta 4 má druhou nejlevnější vrchní stavbu, ale naopak druhou nejdražší spodní stavbu. Varianta 2 má nejdražší vrchní a nejlevnější spodní stavbu ze všech variant.

Zhodnocení

Tab. 3.10.3 – výsledné bodové ohodnocení

Konstrukce k zhodnocení	Náklady spodní stavby [body]	Náklady vrchní stavby [body]	Celková cena stavby [body]	Celkový výsledek [body]
Varianta 1	3	3	3	9
Varianta 2	4	1	1	6
Varianta 3	1	4	4	9
Varianta 4	2	2	2	6

3.11 Časová náročnost

Pro časovou náročnost byl využit program KROS, ve kterém byl vytvořen harmonogram pro každou variantu viz. **Příloha C**. Pro všechny varianty byl určen začátek prací dne 31.5.2018, byl nastaven běžný týden s pěti pracovními dny a každodenní osmihodinovou směnou od 6:00 do 14:00. Je určeno, že na stavbě bude využito maximálně 10 pracovníků. První činností je zařízení staveniště, projektové a průzkumné práce do harmonogramu uvažovány nejsou a poslední činností jsou dokončovací práce. Oddíl vnitřních instalací není do harmonogramu začleněn, protože projekt vnitřních instalací není součástí práce. Je tedy uvažováno o dokončení stavby bez započtení prací s instalacemi.

Tab. 3.11.1 – výsledné časové údaje vč. bodového ohodnocení

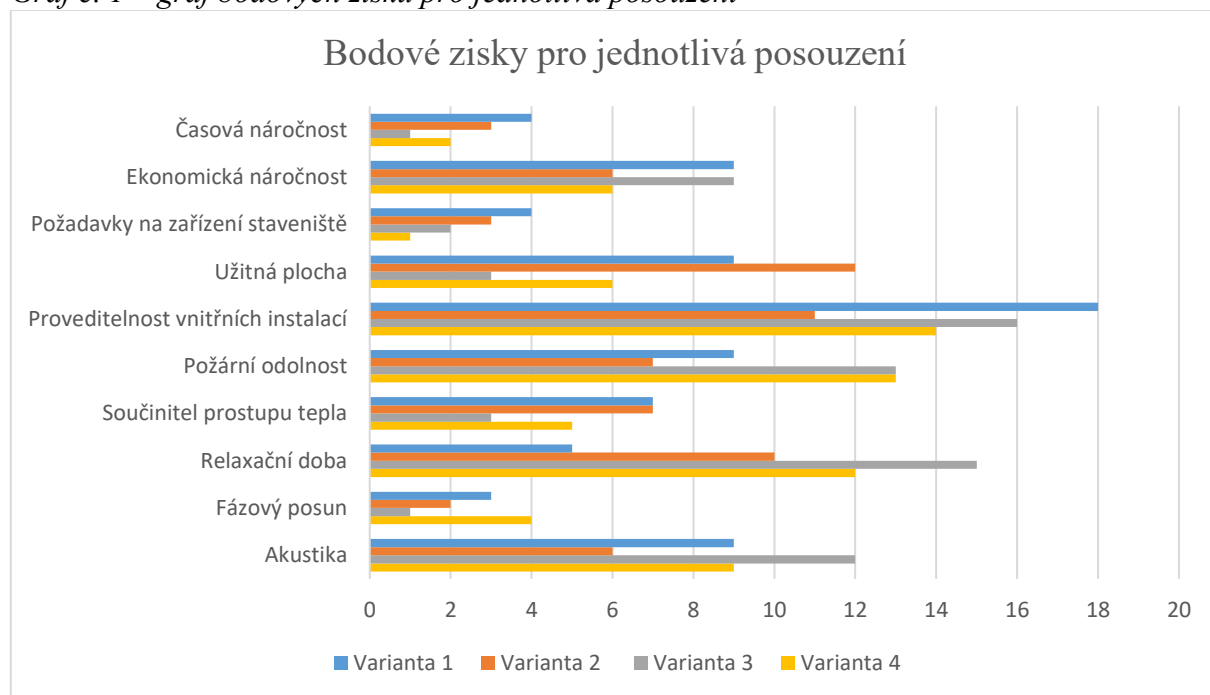
Konstrukce k zhodnocení	Trvání stavby při zahájení prací 31.5.2018		
	Datum ukončení prací	Počet dnů trvání prací	Bodové ohodnocení [body]
Varianta 1	28.8.2018	64	4
Varianta 2	4.9.2018	68	3
Varianta 3	15.10.2018	97	1
Varianta 4	11.10.2018	95	2

Z tabulky můžeme vyčíst, že nejrychlejšími stavbami jsou varianty 1 a 2, které reprezentují prefabrikované systémy na bázi dřeva. Varianty 3 a 4 jsou co do trvání stavby téměř shodné. Delší doba výstavby je zapříčiněna větší pracností a také větším počtem nutných technologických přestávek.

Celkové vyhodnocení

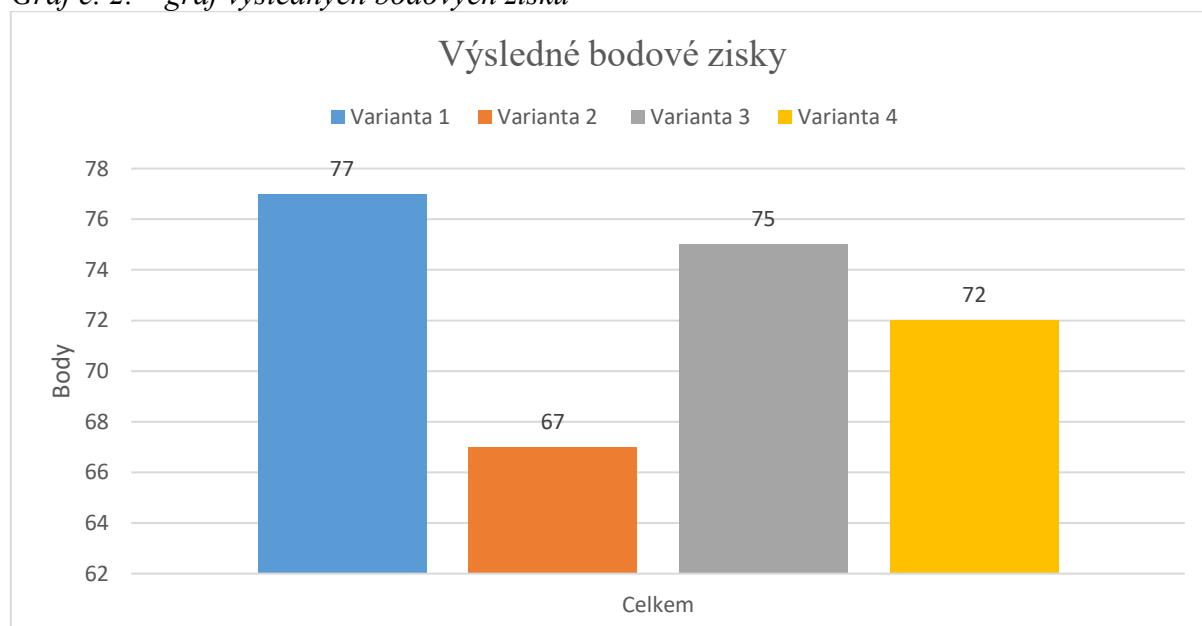
Ve finální části bude využito bodové hodnocení, které každá varianta získala za umístění mezi ostatními variantami při posuzování parametrů předchozích kapitol. Na následujícím grafu můžete vidět porovnání variant.

Graf č. 1 – graf bodových zisků pro jednotlivá posouzení



V posledním grafu můžeme vidět součty všech bodů pro jednotlivé varianty.

Graf č. 2. – graf výsledných bodových zisků



Z celkového součtu bodů vyplývá, že nejlepšího bodového zisku dosáhla **varianta 1**, na druhém místě **varianta 3**, na třetím **varianta 4** a na čtvrtém **varianta 2**. Z výsledků se může

zdát, že jasnou volbou je varianta s největším počtem získaných bodů, ale tak to nemusí být. Z hlediska normových požadavků všechny konstrukce až na malé výjimky v akustice obstály a splnily je, proto jsou hodnoceny další parametry. Přesto pokud by chtěl například potenciální investor využít tuto práci pro budoucí výběr stavebního systému pro svou stavbu, je pravděpodobné, že pro něj bude hrát větší roli než ostatní parametry například cena stavby a udá tomuto parametru vyšší prioritu než celkovému zisku bodů pro všechny parametry. Tím je myšleno, že použitý bodový systém a i výsledek je pouze snaha o co nejobektivnější hodnocení bez kladení důrazu na některé konkrétní parametry.

Závěr

V kapitole 1 je představen uvažovaný objekt a popsány charakteristiky vybraných variant stavebních konstrukčních systémů, kterými jsou: prefabrikované sendvičové konstrukce na bázi dřeva; prefabrikované plnostěnné dřevěné CLT panely; keramické pálené zdící prvky a pórobetonové zdící prvky.

V kapitole 2 jsou uvedeny základní hlediska společně s teoretickým popisem, výpočty a předepsanými normovými hodnotami.

V kapitole 3 je na začátku popsán bodový systém, který bude umožňovat kvantifikovat splnění či nesplnění jednotlivých hledisek uvedených v kapitole 2 a dalších. Poté je provedeno posouzení každé z variant pro jednotlivá hlediska, kterými jsou: akustika, tepelně technické a tepelně akumulární parametry, požární odolnost konstrukcí, proveditelnost vnitřních instalací, užité plochy, požadavky na zařízení staveniště, náklady stavby a doba trvání výstavby. Ke konci této kapitoly je pomocí výše zmíněného o bodového systému provedeno shrnutí všech výsledků a finální sečtení.

V přílohách se nachází stavební výkresy, rozpočty a harmonogramy pro všechny varianty. Cílem práce bylo pomocí uvedeného postupu popsat různá technická hlediska při užití různých variant stavebních systémů na jeden objekt a vyhodnotit nejvhodnější. Nejvyšší počet bodů získala výchozí **varianta 1**, tedy systém prefabrikované sendvičové konstrukce na bázi dřeva. Nejlevnějším stavebním systémem je podle výsledků **varianta 3**, tedy systém keramických pálených zdících prvků. Variantou s nejkratší dobou výstavby je podle výsledků výchozí **varianta 1**.

Při práci pro mě bylo nejtěžší a nejvíce časově náročné vypracování výkresové dokumentace pro jednotlivé varianty při zachování vnější obálky stavby a zejména pak stanovení rozpočtu stavby.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] HÁJEK, Petr a kol.. *KONSTRUKCE POZEMNÍCH STAVEB 1, Nosné konstrukce I.* 3. vyd. Praha: ČVUT v Praze, 2007. ISBN 978-80-01-03589-4
- [2] REMEŠ, Josef a kol.. *Stavební příručka.* 2. vyd. Praha: Grada Publishing, 2014. ISBN 978-80-247-5142-9
- [3] NOVÁČEK, Jiří. TZBinfo.cz: *Akustika staveb.* [online]. © 2018. [Cit. 10.5.2018]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/190-krojejova-nepruzvucnost>
- [4] KRŇANSKÁ, Eva. Stavebnictví3000.cz: *Jak izolovat střechu? Pomocí fyziky!*. [online]. © 2016. [Cit. 11.5.2018]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/jak-izolovat-strechu-pomoci-fyziky/>
- [5] Dřevostavby.cz: *Jak tepelná pohoda rozhoduje o kvalitě bydlení.* [online]. © 2015 [Cit. 10.5.2018]. Dostupné z: <http://www.drevostavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/3102-jak-tepelna-pohoda-rozhoduje-o-kvalite-bydleni>
- [6] TZBinfo.cz: *Fázový posun teplotního kmitu.* [online]. © 2017. [Cit. 9.5.2018]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/16228-fazovy-posun-teplotniho-kmitu>
- [7] HEJHÁLEK, Jiří. Stavebnictví3000.cz: *Setrvačnost vnitřní povrchové teploty obvodových konstrukcí.* [online]. Vega: © 2011. [Cit. 12.5.2018]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/vnitri-povrchove-teploty-obvodovych-konstrukci/>
- [8] HEJHÁLEK, Jiří. Stavebnictví3000.cz: *Součinitel prostupu tepla a jak se počítá.* © 2011. [Cit. 12.5.2018]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/soucinitel-prostupu-tepla-a-jak-se-pocita/>
- [9] Stavebnictví3000.cz: *Součinitel prostupu tepla, co to je a jak se s ním pracuje.* [online]. Vega: © 2010. [Cit. 12.5.2018]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/soucinitel-prostupu-tepla-co-to-je-a-jak-se-nim-pracuje/>
- [10] ŠUBRT, Roman, HOUŠKA, Petr. Dřevostavby.cz: *Když se řekne součinitel prostupu tepla.* © 2016. [Cit. 12.5.2018]. Dostupné z: <http://www.drevostavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/izolace/4001-kdyz-se-rekne-soucinitel-prostupu-tepla>
- [11] TZBinfo.cz: *Normové hodnoty součinitele prostupu tepla UN,20 jednotlivých konstrukcí dle ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky.* © 2011. [Cit. 12.5.2018]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/136-normove-hodnoty-soucinitele-prostupu-tepla-un-20-jednotlivych-konstrukci-dle-csn-73-0540-2-2011-tepelna-ochrana-budov-cast-2-pozadavky>
- [12] HEJTMÁNEK, Petr. TZBinfo.cz: *Požární bezpečnost staveb: Vybrané požárně technické charakteristiky stavebních výrobků a hmot.* © 2016. [Cit. 12.5.2018]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13649-vybrane-pozarne-technicke-charakteristiky-stavebnich-vyrobků-a-hmot>
- [13] HEJTMÁNEK, Petr. TZBinfo.cz: *Požární bezpečnost staveb: Druhy konstrukčních částí.* © 2016. [Cit. 12.5.2018]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13651-druhy-konstrukcnich-casti>
- [14] HEJTMÁNEK, Petr. TZBinfo.cz: *Požární bezpečnost staveb: Druhy konstrukčních systémů budov.* © 2016. [Cit. 12.5.2018]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13652-druhy-konstrukcnich-systemu-budov>
- [15] HEJTMÁNEK, Petr. TZBinfo.cz: *Požární bezpečnost staveb: Požární úseky.* © 2016. [Cit. 12.5.2018]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13653-pozarni-useky>

Přílohy

Příloha A – Výkresová dokumentace

Příloha B – Rozpočty staveb

Příloha C – Harmonogramy staveb