



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra pozemních staveb

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Dřevostavba administrativní budovy

Office building based on timber structure

Martin Adolf

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Růžička, Ph.D.

Praha, 2019

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Dřevostavba administrativní budovy zpracoval samostatně za použití uvedené literatury a pramenů.

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

V Praze dne 26. 5. 2019

.....
Jméno, Příjmení

Poděkování

Děkuji Ing. Janu Růžičkovi, Ph.D. za jeho odborné vedení a užitečné rady při zpracování této bakalářské práce.

Dále děkuji doc. Dr. Ing. Jakubu Dolejšovi za konzultace a rady ohledně statické stránky této práce.

Abstrakt

Obsahem této práce je dřevostavba administrativní budovy, jejíž konstrukční systém tvoří masivní skelet z lepeného lamelového dřeva.

V práci jsou řešeny statické modely hlavní nosné konstrukce a konstrukce stropů včetně jejich výhod a nevýhod. Statický návrh je proveden s ohledem na funkčnost objektu, životní prostředí a ekonomičnost.

Na základě předchozích výpočtů jsou vypracovány části projektové dokumentace a výkres vybraného komplexního detailu. V závěru práce je navržena celková obálka budovy na hodnotu nízkoenergetického domu.

Klíčová slova

Masivní dřevěný skelet, stropní konstrukce, obálka budovy, část projektové dokumentace

Abstract

The content of this bachelor thesis is an Office building based on timber structure, whose construction system consists of a massive skeleton made of glued laminated timber.

The thesis deals with static models of main bearing structure and construction of ceilings, including their advantages and disadvantages. Static design is made regarding to object functionality, environment and economy.

Based on previous calculations, parts of the project documentation and a drawing of the selected complex detail are elaborated. At the end of the thesis, the overall building envelope is designed for the value of a low-energy house.

Key words

Wooden massive frame, construction of ceilings, building envelope, parts of project documentation

Obsah

1.	Úvod.....	9
1.1.	Cíle práce	9
1.2.	Motivace.....	9
1.3.	Zadání.....	9
3.	Optimalizace hlavní nosné konstrukce	10
3.1.	Modely konstrukčních systémů.....	10
3.1.1.	Příčný masivní skelet s CLT ztužujícími stěnami – model A.....	10
3.1.2.	Příčný masivní skelet s CLT ztužujícími stěnami – model B.....	13
3.1.3.	Příčný masivní skelet se ŽB ztužujícími stěnami – model C.....	16
3.1.4.	Příčný masivní skelet se ŽB ztužujícím jádrem – model D.....	19
3.1.5.	Příčný masivní skelet s CLT ztužujícími stěnami – model E	21
3.1.6.	Shrnutí všech modelů.....	23
3.2.	Analýza	24
3.2.1.	Environmentální analýza hlavní nosné konstrukce.....	24
3.2.2.	Statická analýza ztužující konstrukce	25
3.2.3.	Statická analýza hlavní nosné konstrukce.....	26
4.	Optimalizace stropní konstrukce.....	28
4.1.	Stropní konstrukce	28
4.2.	Modely trémových stropních konstrukcí	28
4.2.1.	Trémový strop – rostlé dřevo, osová vzdálenost 625 mm	28
4.2.2.	Trémový strop – rostlé dřevo, osová vzdálenost 312,5 mm	28
4.2.3.	Trémový strop – Steico nosník, osová vzdálenost 400 mm.....	29
4.2.4.	Trémový strop – Steico nosník, osová vzdálenost 312,5 mm.....	29
4.3.	Analýza stropní konstrukce.....	30
4.3.1.	Environmentální analýza.....	30
4.3.2.	Finanční analýza	31

4.3.3. Statická analýza.....	31
5. Stavebně-energetický koncept	34
5.1. Skladby konstrukcí.....	34
5.1.1. Střešní plášť	34
5.1.2. Obvodový plášť.....	35
5.1.3. Podlaha v 2.NP – keramická dlažba.....	37
5.1.4. Podlaha v 2.NP – linoleum	38
5.1.5. Podlaha v 1.NP – keramická dlažba.....	39
5.1.6. Podlaha v 1.NP – linoleum	40
5.1.7. Podlaha na terénu v 1.NP – keramická dlažba.....	42
5.1.8. Podlaha na terénu v 1.NP – linoleum.....	43
5.2. Celková obálka budovy.....	45
5.2.1. Základní údaje.....	45
5.2.2. Neprůsvitné konstrukce.....	45
5.2.3. Výplně otvorů	46
5.2.4. Tepelné ztráty.....	47
5.2.5. Tepelné zisky	48
5.2.6. Potřeba tepla.....	49
5.2.7. Vyhodnocení	49
6. Závěr	50
7. Seznam příloh	51
8. Seznam použité literatury.....	51
8.1. Programy	51
8.2. Technické údaje	51
9. Seznam obrázků	51
10. Seznam tabulek	52

1. Úvod

1.1. Cíle práce

Cílem práce bylo navrhnout dřevostavbu administrativní budovy a její hlavní nosnou konstrukci z hlediska statiky, životního prostředí a stropní konstrukci i z hlediska financí. Navrhnout vodorovné i svislé ztužení objektu, navrhnout skladby konstrukcí splňující potřebné požadavky a spočítat výslednou hodnotu prostupu tepla pro obálku budovy U_{em} .

1.2. Motivace

Motivace pro tuto práci byla vyzkoušet si projektování budovy i z jiného materiálu, než je zdívo a beton. Vybral jsem si dřevo, protože je to obnovitelný materiál a dřevostavby se v dnešním stavitelství začínají objevovat čím dál více. Dále jsem chtěl zjistit, jaký bude mít moje budova s tímto materiálem vliv na životní prostředí. Stropní konstrukce jsem chtěl porovnat stejným způsobem a přidat i finanční analýzu. Jako poslední jsem chtěl navrhnout skladby tak, aby odpovídali prostupu tepla pro nízkoenergetické budovy a aby celková obálka budovy splnila potřebnou hodnotu.

1.3. Zadání

Zadáním práce bylo navržení administrativní budovy ze dřeva včetně vybraných částí projektové dokumentace. Bylo nutné vyřešit a navrhnout typ nosné konstrukce tak, aby byl co nejvíce efektivní a nezatěžoval životní prostředí. Dalším úkolem bylo navržení vodorovného a svislého ztužení objektu, pro které budou vytvořeny 3D modely v programu Scia, zatíženy a zjištěny reakce ve stěnách a sloupech. Následoval bude návrh stropní konstrukce, kde bylo nutné vytvořit několik modelů trémových stropů, provést statickou, environmentální a finanční analýzu a vybrat nejlepší model stropní konstrukce.

Dalším úkolem bylo vytvořit skladby konstrukcí tak, aby splňovali součinitel prostupu tepla pro nízkoenergetické a pasivní budovy. Následně po vytvoření skladeb byl spočítán celkový prostup tepla obálkou budovy U_{em} a potřeba tepla na vytápění.

3. Optimalizace hlavní nosné konstrukce

3.1. Modely konstrukčních systémů

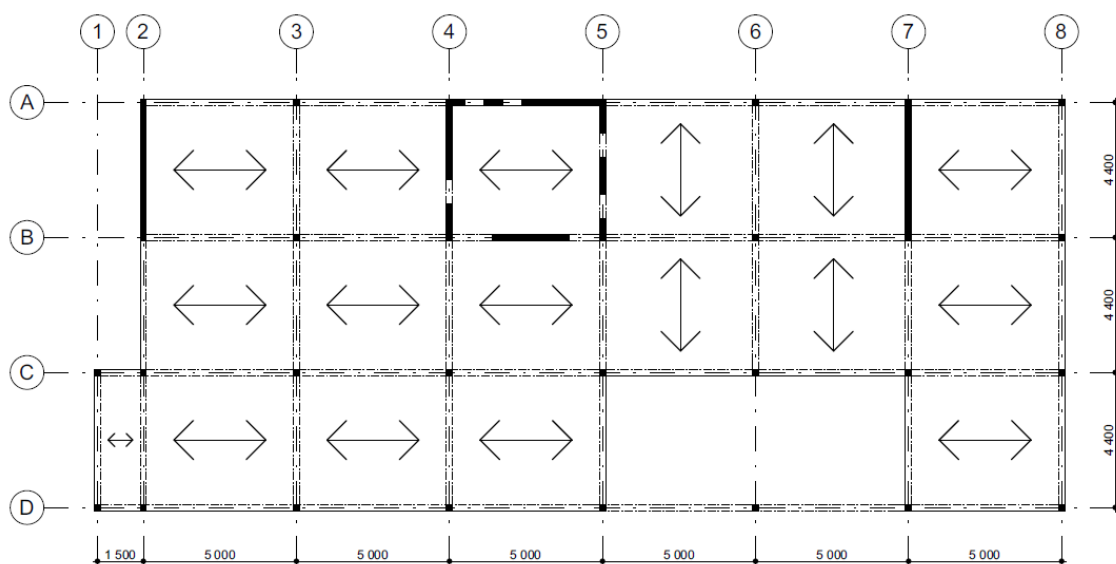
3.1.1. Příčný masivní skelet s CLT ztužujícími stěnami – model A



Obrázek 1 – příčný masivní skelet s CLT ztužujícími stěnami – model A

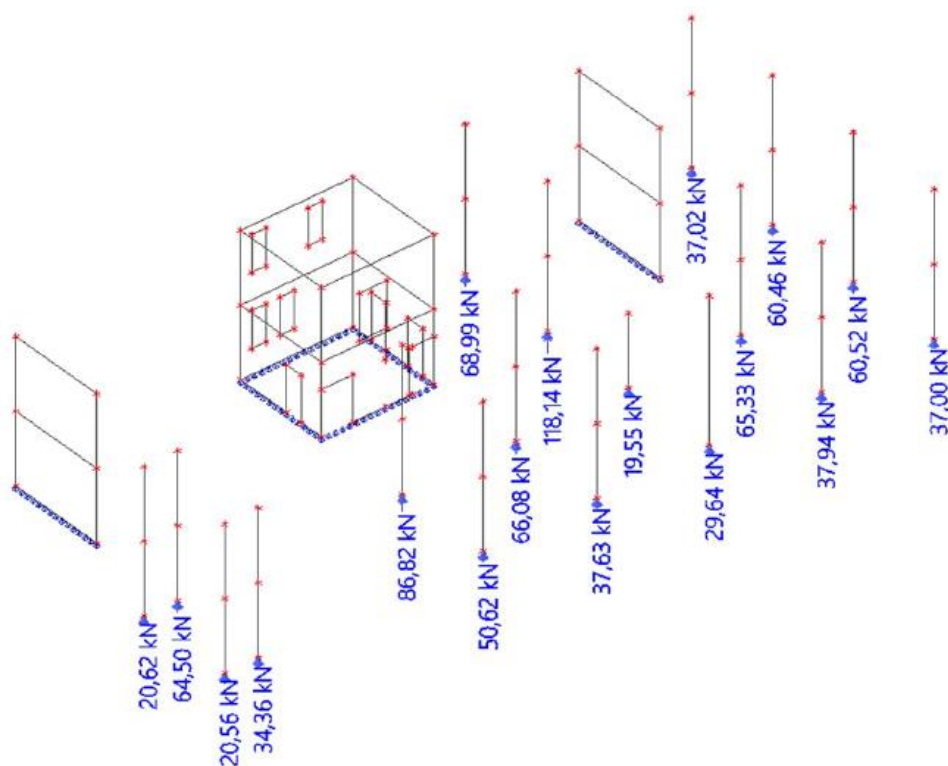
Ztužení tohoto objektu tvoří dvě CLT stěny a tuhé CLT jádro. Všechny tyto prvky jsou přes obě patra konstrukce (viz. Obrázek 1). Z důvodu velké plochy jižního/severního obvodového pláště je ve směru příčného větru ztužení tvořeno dvěma stěnami a tuhým jádrem. V druhém směru je objekt ztužen pouze jádrem. Spojení mezi příčnými vazbami je zajištěno ztužujícími trámy ve stropní rovině.

Jako materiál sloupů a průvlaků je použito lepené lamelové dřevo. Stěny tvoří CLT panely tloušťky 124 mm. Stropní konstrukce je tvořena trámovým stropem se záklopem z OSB desek. Konstrukční výšky pater jsou 3,59 m (1.NP) a 3,47 m (2.NP). Podélný rastr příčných vazeb měří všude 5 m. V příčném směru je rozpon mezi sloupy vždy 4,4 m (viz. Obrázek 2).

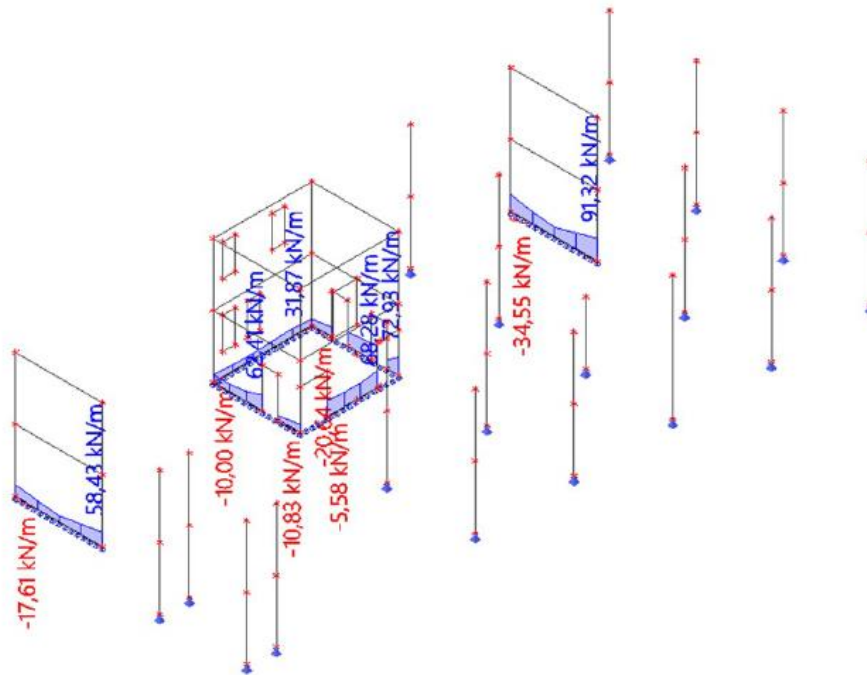


Obrázek 2 – půdorys 1.NP konstrukčního systému – model A

Po zatížení kombinacemi příčného a podélného větru, včetně vlastní tíhy a stálého zatížení vyšly reakce ve všech sloupech kladné. Žádný sloup není ve svém uložení tažen (viz. Obrázek 3). Reakce ve ztužujících stěnách vyšly kladné i záporné (viz. Obrázek 4). Z důvodu omezení tahového napětí v uložení stěny byl vytvořen další model konstrukčního systému, kde byly přidány další ztužující stěny (viz. odstavec 3.1.2.).



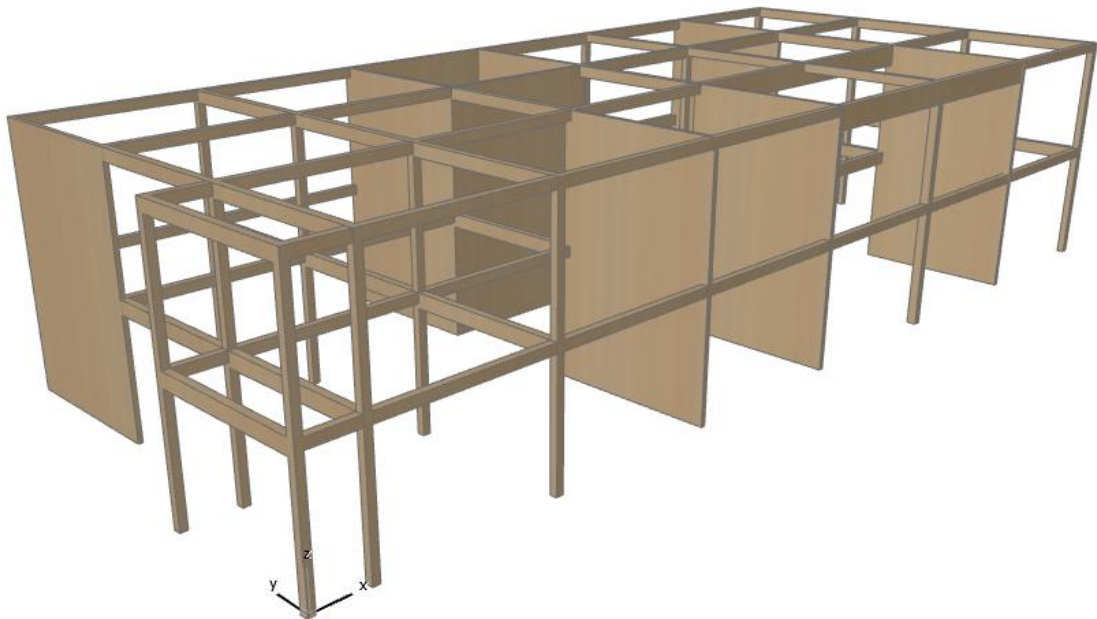
Obrázek 3 – výsledné reakce sloupů – model A



Obrázek 4 – výsledné reakce stěn – model A

Tento model konstrukčního systému nebyl nakonec použit. Konečný konstrukční systém však vychází z tohoto modelu. Byly zde pouze změněny rozpory mezi sloupy v příčném směru (viz. odstavec 3.1.5.).

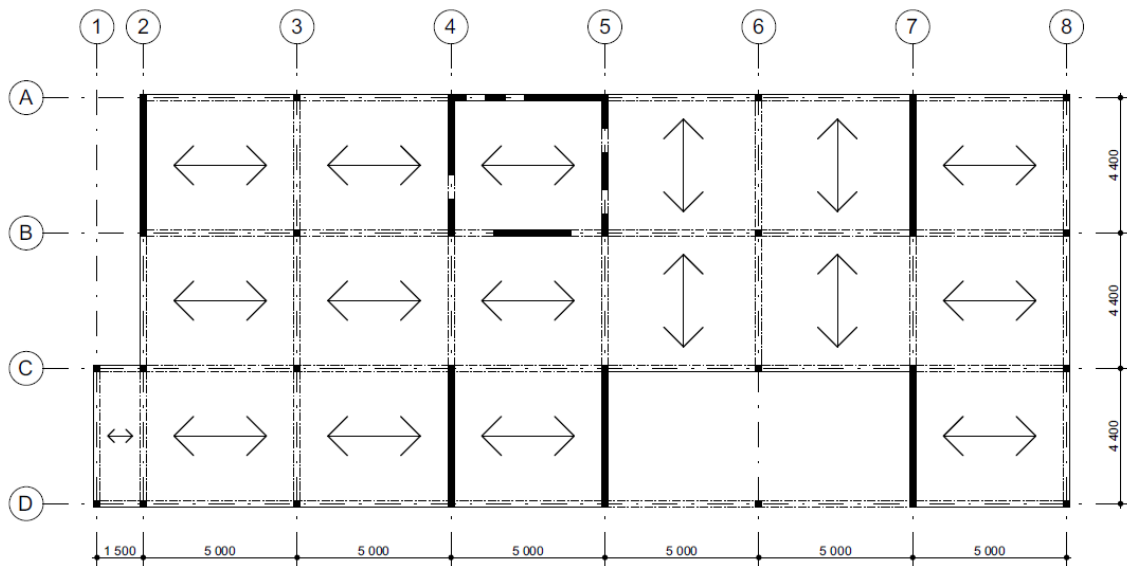
3.1.2. Příčný masivní skelet s CLT ztužujícími stěnami – model B



Obrázek 5 – příčný masivní skelet s CLT ztužujícími stěnami – model B

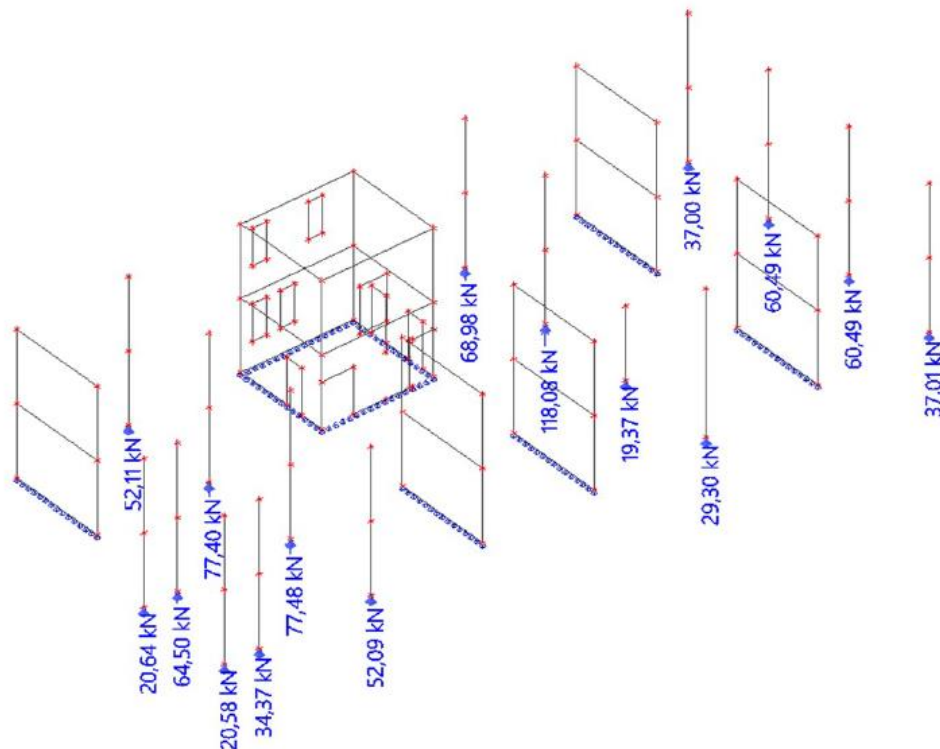
Pro ztužení tohoto objektu je zde umístěno 5 ztužujících stěn z CLT a tuhé jádro taktéž z CLT. Všechny tyto prvky jsou přes obě patra konstrukce (viz. Obrázek 5). Z důvodu omezení tahového napětí v uložení stěn je ve směru příčného větru umístěno 5 stěn a tuhé jádro. V druhém směru je zde umístěno pouze jádro – menší plocha východního/západního obvodového pláště. Spojení mezi příčnými vazbami je tu zajištěno ztužujícími trámy ve stropní rovině.

Model tohoto konstrukčního systému má všechny prvky z lepeného lamelového dřeva, pouze stěny jsou z CLT panelů tloušťky 124 mm. Stropní konstrukci tvoří trámový strop se záklopem z OSB desek. Konstrukční výšky pater se nemění. Podélný rastr příčných vazeb je zde opět vždy 5 m a v příčném směru je rozpon mezi sloupy taktéž stejný a to 4,4 m (viz. Obrázek 6).

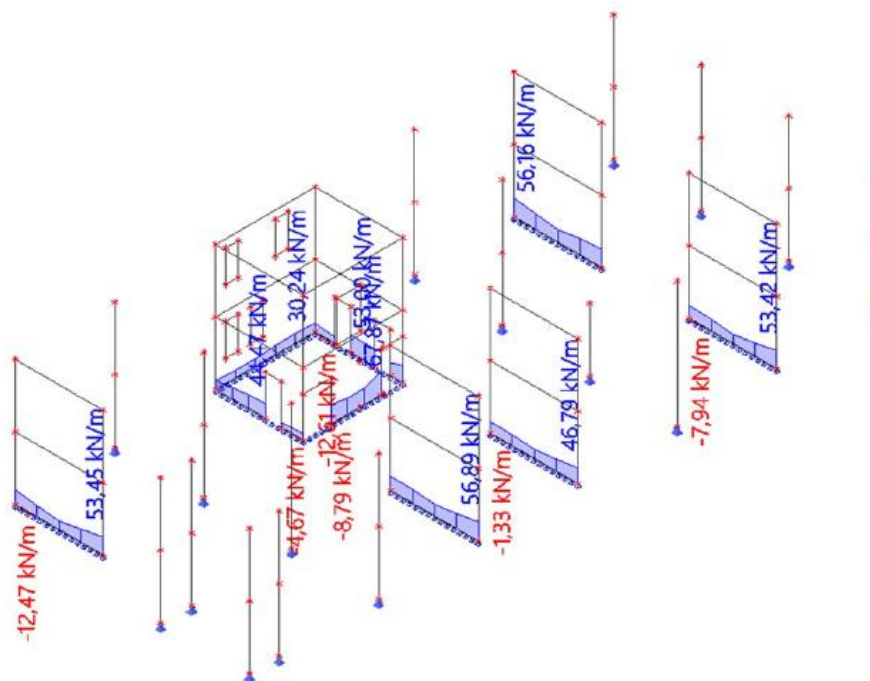


Obrázek 6 – půdorys 1.NP konstrukčního systému – model B

Po zatížení kombinacemi příčného a podélného větru, včetně vlastní tíhy a stálého zatížení vyšly reakce opět ve všech sloupech kladné, tudíž žádný ze sloupů není ve svém uložení tažen (viz. Obrázek 7). Reakce ve ztužujících stěnách vyšly i v tomto případě kladné i záporné (viz. Obrázek 8). Hodnota tahových reakcí se přidáním dalších ztužujících stěn zmenšila zhruba na třetinu. Pro úplné odstranění tahových reakcí byl vytvořen další model, kde byl změněn materiál ztužujících stěn z CLT na železobeton a 3 stěny byly odebrány (viz. odstavec 3.1.3.).



Obrázek 7 – výsledné reakce sloupů – model B



Obrázek 8 – výsledné reakce stěn – model B

Tento model konstrukčního systému byl vyřazen z důvodu velkého počtu ztužujících stěn v příčném směru a velkém omezení volnosti dispozice. Tahové reakce se sice zmenšily zhruba na třetinu, ale větší důraz v tomto projektu je kladen na uvolnění dispozice.

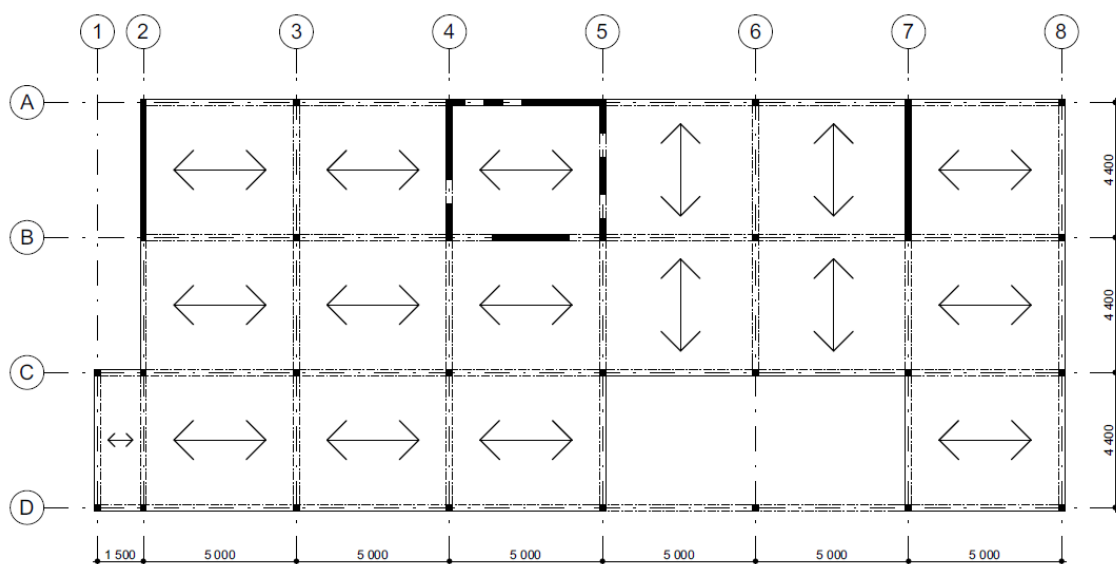
3.1.3. Příčný masivní skelet se ŽB ztužujícími stěnami – model C



Obrázek 9 – příčný masivní skelet s ŽB ztužujícími stěnami – model C

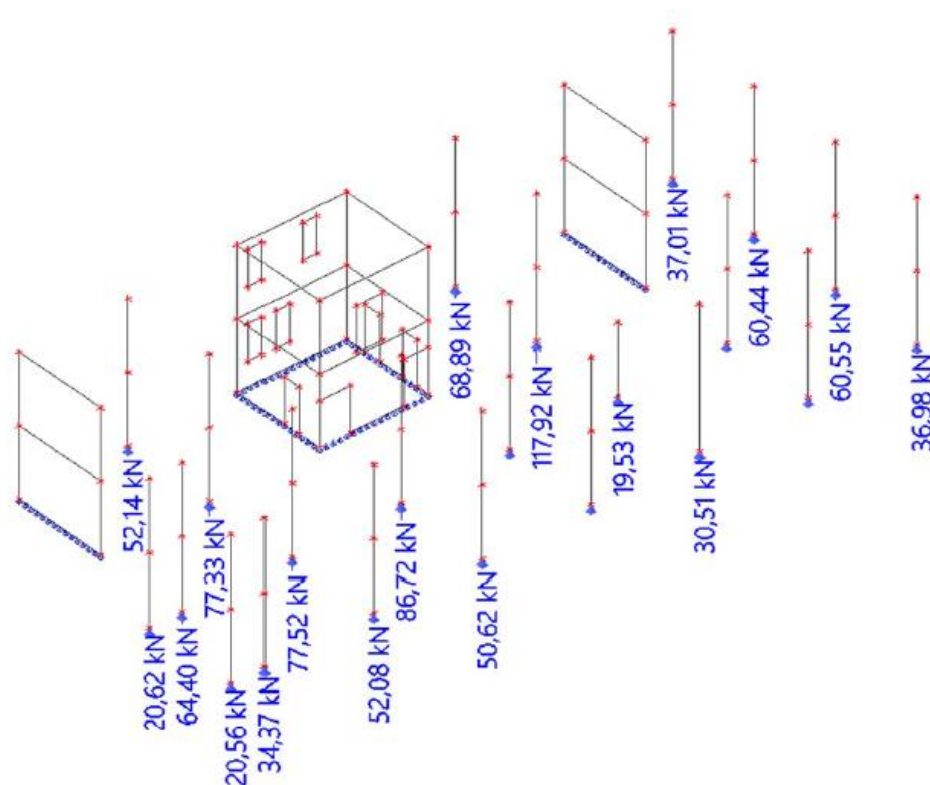
Ztužení tohoto objektu zajišťují 2 ztužující stěny a tuhé jádro ze železobetonu. Všechny ztužující prvky jsou na celou výšku konstrukce (viz. Obrázek 9). Ve směru příčného větru jsou umístěny 2 stěny a železobetonové jádro. V druhém směru je objekt ztužen pouze jádrem. Spojení mezi příčnými vazbami objektu zajišťují ztužující trámy ve stropní rovině.

Pro prvky v tomto modelu konstrukčního systému je použito lepené lamelové dřevo, naopak stěny a jádro jsou ze železobetonu. Tloušťka všech stěn je 200 mm, pouze ztužující stěna na východní straně je tloušťky 250 mm. Stropní konstrukci znovu tvoří trámový strop se záklopem z OSB desek. V jádře je stropní deska monolitická o tloušťce 180 mm. Konstrukční výšky pater se nemění. Podélný rastr příčných vazeb je zde znova 5 m a v příčném směru se rozpon mezi sloupy nemění a je 4,4 m (viz. Obrázek 10).

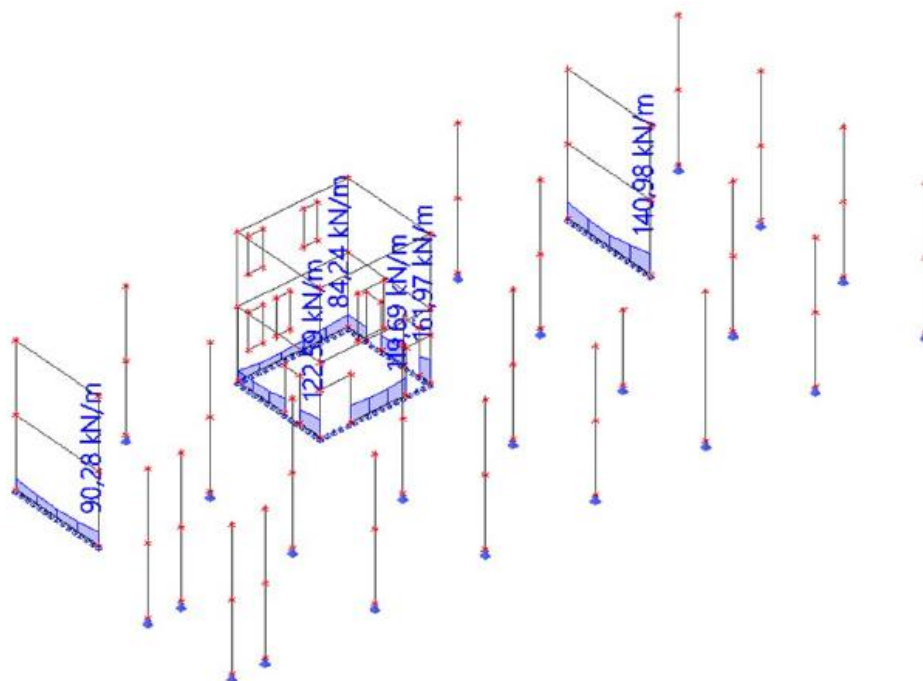


Obrázek 10 – půdorys 1.NP konstrukčního systému – model C

Po zatížení stejnými kombinacemi vyšly reakce ve všech sloupech kladné, tudíž není u žádného sloupu tahová reakce (viz. Obrázek 11). Reakce ve ztužujících stěnách vyšly v tomto případě pouze kladné – nevznikají žádné tahové reakce v patách stěn (viz. Obrázek 12). Důvodem tohoto výsledku je větší váha ztužujících stěn ze železobetonu oproti CLT panelům.



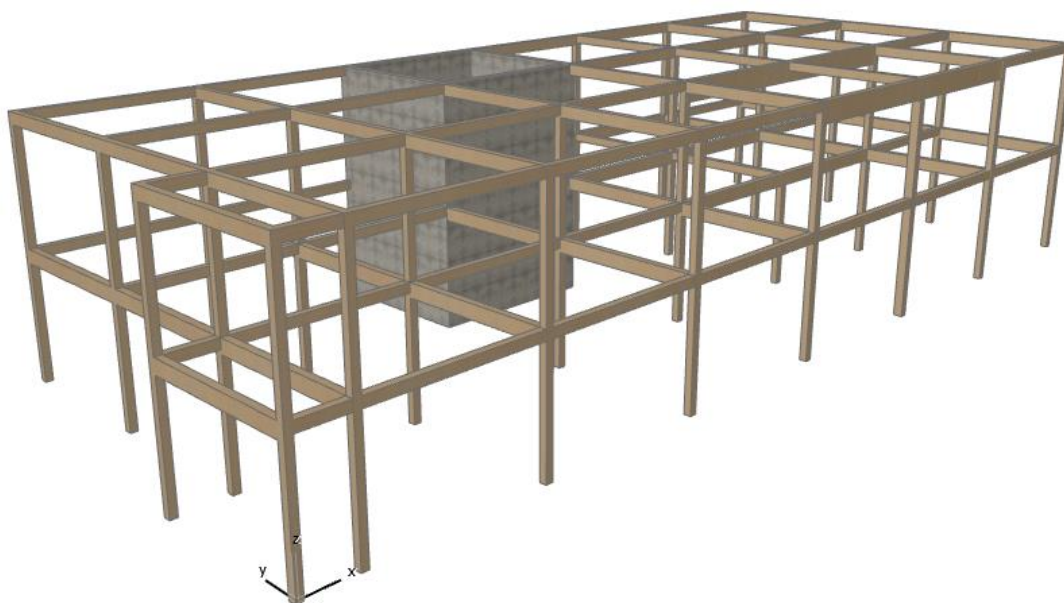
Obrázek 11 – výsledné reakce sloupů – model C



Obrázek 12 – výsledné reakce stěn – model C

Tento model konstrukčního systému byl vyřazen z důvodu rozdílných materiálů. Ideou bylo postavení nadzemních pater pouze z dřevěných prvků. Dále o nepoužití tohoto modelu rozhodl velký počet stěn – při použití železobetonu může být jako ztužení použito pouze tuhé železobetonové jádro.

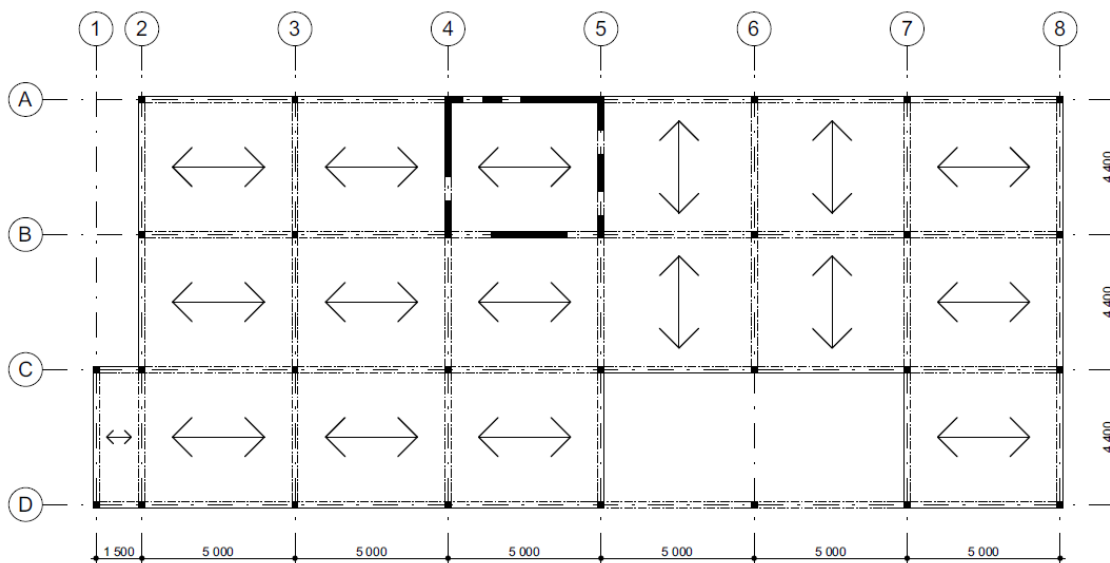
3.1.4. Příčný masivní skelet se ŽB ztužujícím jádrem – model D



Obrázek 13 – příčný masivní skelet s ŽB ztužujícím jádrem – model D

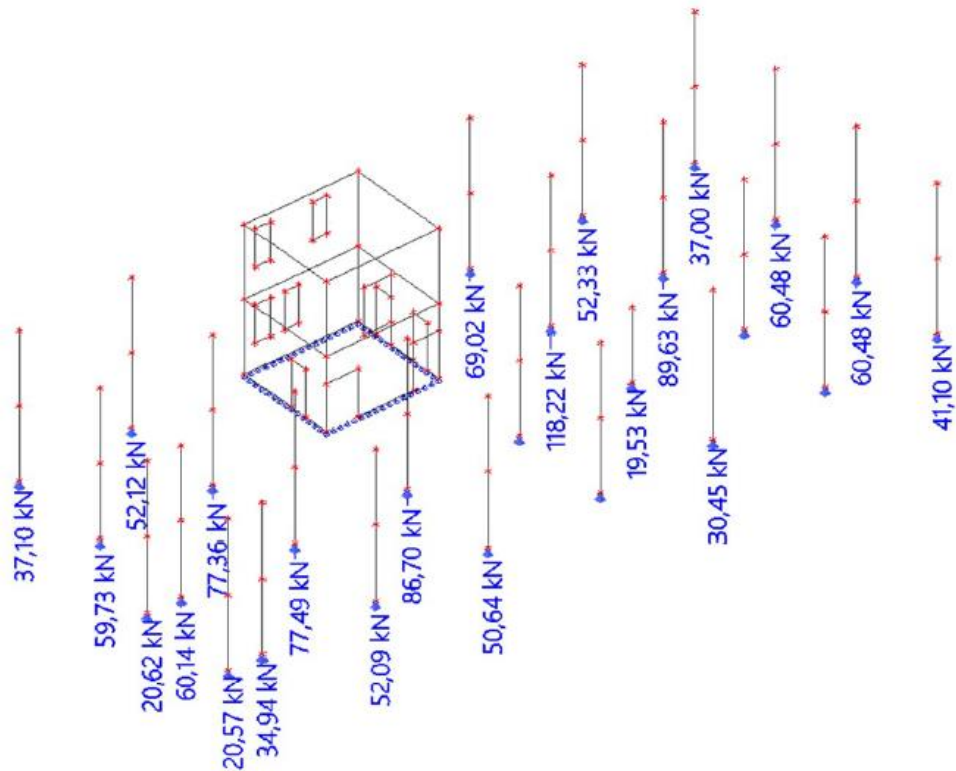
Ztužení tohoto objektu proti příčnému a podélnému větru v tomto modelu tvoří pouze železobetonové jádro, které prochází přes obě nadzemní patra (viz. Obrázek 13). Spojení mezi příčnými vazbami je zajištěno ztužujícími trámy v rovině stropů.

Pro prvky v tomto modelu konstrukčního systému je použito lepené lamelové dřevo. Materiál jádra je opět železobeton – tloušťka stěn je 250 mm. Stropní konstrukce je tvořena trámovým stropem se záklopem z OSB desek. V jádře je stropní deska monolitická o tloušťce 180 mm. Konstrukční výšky pater se nemění. Rastr příčných vazeb měří 5 m a v příčném směru je rozpon mezi sloupy 4,4 m (viz. Obrázek 14).

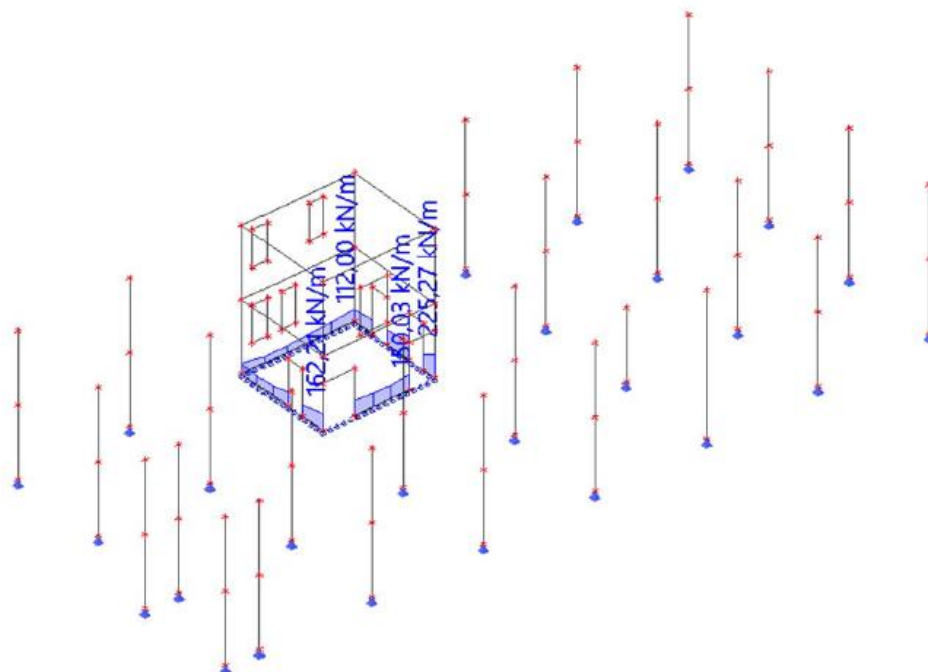


Obrázek 14 – půdorys 1.NP konstrukčního systému – model D

Po zatížení stejnými kombinacemi vyšly reakce ve všech sloupech znova kladné, tudíž není u žádného sloupu tahová reakce (viz. Obrázek 15). Reakce ve ztužujícím jádře vyšly v tomto případě jenom kladné – nevznikají žádné tahové reakce v patách stěn (viz. Obrázek 16).



Obrázek 15 – výsledné reakce sloupů – model D



Obrázek 16 – výsledné reakce stěn – model D

Tento model konstrukčního systému byl vyřazen z důvodu rozdílných materiálů. Ideou bylo postavení nadzemních pater pouze z dřevěných prvků.

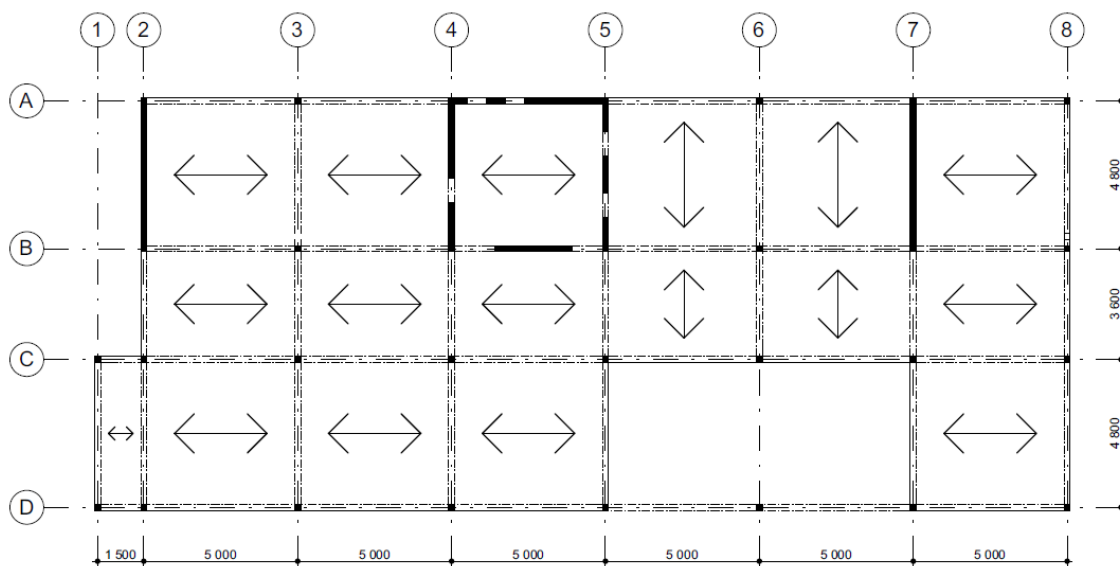
3.1.5. Příčný masivní skelet s CLT ztužujícími stěnami – model E



Obrázek 17 – příčný masivní skelet s CLT ztužujícími stěnami – model E

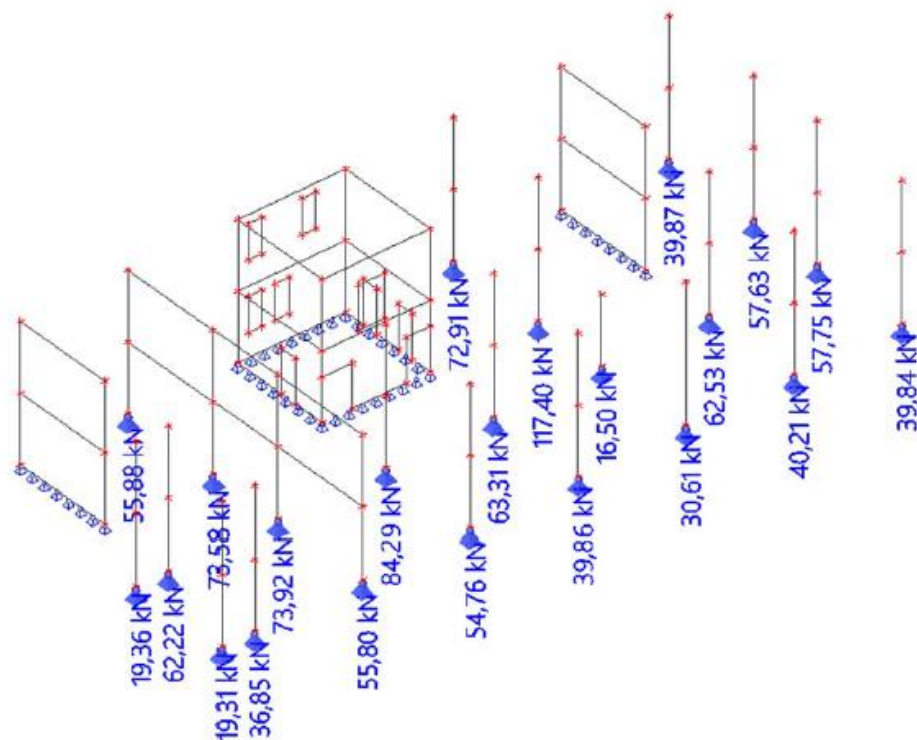
Ztužení tohoto objektu tvoří dvě CLT stěny a tuhé CLT jádro. Všechny tyto prvky vedou přes obě patra konstrukce (viz. Obrázek 17). Z důvodu velké plochy jižního/severního obvodového pláště jsou ve směru příčného větru umístěny 4 stěny (prodloužené o 0,4 m oproti modelu A). V druhém směru jsou umístěny pouze ztužující jádro – menší plocha východního/západního obvodového pláště. Spojení mezi příčnými vazbami je zajištěno ztužujícími trámy ve stropní rovině.

Jako materiál sloupů a průvlaků je použito lepené lamelové dřevo. Stěny a jádro jsou tvořeny CLT panely tloušťky 124 mm. Stropní konstrukce je tvořena trámovým stropem se záklopem z OSB desek. Konstrukční výšky pater mají výšku 3,59 m (1.NP) a 3,47 m (2.NP). Podélný rastr příčných vazeb zůstává stále 5 m. V příčném směru se rozpon z důvodů lepší dispozice a zvětšení délky ztužujících stěn změnil. V tomto modelu se rozpon krajních polí zvětšil ze 4,4 m na 4,8 m, naopak střední pole se zmenšilo z původních 4,4 m na 3,6 m (viz. Obrázek 18).

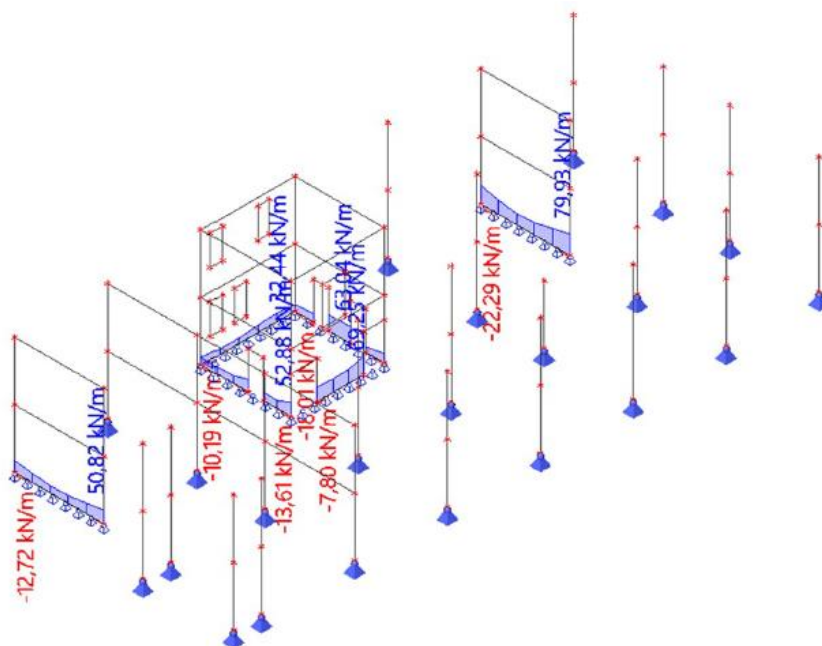


Obrázek 19 – půdorys 1.NP konstrukčního systému – model E

Po zatížení kombinacemi příčného a podélného větru, včetně vlastní tíhy a stálého zatížení vyšly reakce ve všech sloupech kladné. Žádný sloup není ve svém uložení tažen (viz. Obrázek 19). Reakce ve ztužujících stěnách i jádře vyšly kladné i záporné (viz. Obrázek 20). Hodnoty tahových reakcí vyšly z důvodu protažení stěny menší než ve verzi A. Tyto malé reakce přeneše kotvení CTL stěn, které v tomto případě není nutné navrhovat.



Obrázek 18 – výsledné reakce sloupů – model E



Obrázek 20 – výsledné reakce stěn – model E

Tento model konstrukčního systému navazuje na model A a byl spolu s ním vybrán jako nejlepší ze všech předchozích. Nadzemní patra tvoří pouze dřevěné prvky a ztužení objektu je dostačující. Tahové reakce jsou přeneseny kotvami CLT panelů. Změna příčného rozpětí pomohla zlepšit řešení dispozice a také zmenšila reakce ve stěnách.

popis	model	ztužení	rozpon
Příčný masivní skelet s CTL ztužujícími stěnami	A	2 ztužující stěny a jádro	4,4 m
Příčný masivní skelet s CTL ztužujícími stěnami	B	5 ztužujících stěn a jádro	4,4 m
Příčný masivní skelet s ŽB ztužujícími stěnami	C	2 ztužující stěny a jádro	4,4 m
Příčný masivní skelet s ŽB ztužujícím jádrem	D	jádro	4,4 m
Příčný masivní skelet s CTL ztužujícími stěnami	E	2 ztužující stěny a jádro	4,8 a 3,6 m

Tabulka 1 – shrnutí všech modelů hlavní nosné konstrukce

3.1.6. Shrnutí všech modelů

Jednotlivé varianty modelů se liší počtem ztužujících stěn a jejich materiálem. Příčný rozpon se změnil pouze u modelu E, u ostatních je vždy stejný. Pro následující statický návrh byly vybrány modely A a E, které z této prvotní analýzy vyšly nejlépe.

3.2. Analýza

3.2.1. Environmentální analýza hlavní nosné konstrukce

materiál	svázaná energie [MJ/kg]	svázané emise CO ₂ [kg CO ₂ ekv./kg]	svázané emise SO ₂ [g SO ₂ ekv./kg]
dřevo	8,6791	0,4556	2,5711
beton	0,4838	0,0670	0,1389

Tabulka 2 – jednotkové hodnoty energie, CO₂ a SO₂ pro lepené lamelové dřevo a železobeton

zdroj – www.envimat.cz/materialy/

V tabulce výše jsou uvedeny základní hodnoty pro svázanou energii, svázané emise CO₂ a SO₂ pro lepené lamelové dřevo a železobeton. Dále tyto hodnoty slouží pro určení zátěže na životní prostředí daných verzí konstrukčních systémů. Z jednotlivých modelů konstrukčních systémů byla zjištěna hmotnost dřeva a betonu, které jsou potřeba na hlavní nosné konstrukce.

model	dřevo [kg]	beton [kg]	svázaná energie [GJ]	svázané emise CO ₂ [t CO ₂]	svázané emise SO ₂ [kg SO ₂]
A	27036,9	0	234,66	12,32	69,51
B	31318,65	0	271,82	14,27	80,52
C	14765,85	98142,75	175,63	13,30	51,60
D	15859,8	78323,4	175,54	12,47	51,66
E	27987,3	0	242,90	12,75	71,96

Tabulka 3 – výsledné hodnoty energie, CO₂ a SO₂ pro hlavní nosnou konstrukci

Na modely A, B a E je použito na hlavní nosný systém pouze lepené lamelové dřevo. Výsledkem je větší množství svázané energie (cca o 60-95 GJ) než u modelů C a D, kde je použit částečně i železobeton. Stejný je výsledek i u svázaných emisí SO₂, kde jsou na tom modely A, B a E opět hůř oproti modelům s železobetonem (cca o 20-30 kg SO₂). Na rozdíl od dvou již uvedených parametrů jsou si všechny modely téměř rovny v hmotnostech svázaných emisí CO₂.

Nejlépe z této analýzy tedy vycházejí modely C a D, kde jsou ztužující prvky tvořeny železobetonem. Tyto modely však z důvodu použití dvou materiálů nebyly dále řešeny. **Z důvodů statických a dispozičních budou dále řešeny pouze modely A a E.** Tento model není nejlepší, co se týče vlivu na životní prostředí, ale dva předchozí požadavky byly určeny jako primární.

3.2.2. Statická analýza ztužující konstrukce

V tabulce jsou uvedeny a porovnány výsledky reakcí nosných konstrukcí (stěn a sloupů) v závislosti na rozložení ztužení a použitém materiálu ztužujících stěn. Pro výpočet těchto hodnot byla použita kombinace zatížení, kde bylo započteno stálé zatížení, vlastní tíha konstrukce, zatížení obvodovým pláštěm a lokálními silami od slunolamu a zatížení větrem (tlak i sání).

model	Stěny		Sloupy
	R_z – tah [kN/m]	R_z – tlak [kN/m]	R_z – tlak [kN]
Příčný masivní skelet s CTL ztužujícími stěnami – A	-34,55	91,32	118,14
Příčný masivní skelet s CTL ztužujícími stěnami – B	-12,61	67,87	118,08
Příčný masivní skelet s ŽB ztužujícími stěnami – C	-	161,97	117,92
Příčný masivní skelet s ŽB ztužujícím jádrem – D	-	225,27	118,22
Příčný masivní skelet s CTL ztužujícími stěnami – E	-22,29	79,93	117,4

Tabulka 4 – výsledné reakce stěn a sloupů

Výsledkem je, že v modelech, kde je jako ztužující prvek použita stěna s lepeného CLT panelu (modely A, B a E), vznikají v patách tahové reakce. Ty však jsou svojí hodnotou malé a nijak zásadní. Jejich přenesení bude uvažováno běžným kotvením stěn do železobetonové desky. Tlakové reakce v patách stěn se u dřevěných modelů pohybují v řádově nižších hodnotách než při použití ztužujících stěn z železobetonu.

Při použití železobetonových ztužujících stěn (modely C a D) vůbec nevznikají tahové reakce v patách stěn. Je to způsobeno větší objemovou tíhou betonu. Tím pádem zde vznikají reakce s 2x až 3x většími hodnotami než u CLT stěn. Beton je to však díky jeho velké tlakové pevnosti schopen přenést.

Sloupy jsou ve všech modelech stejné, z lepeného lamelového dřeva. Reakce v patě nezávisí na druhu ztužujících stěn, a tak se rozdíly pohybují v rozmezí do 0,4 kN.

Pro další postup návrhu hlavní nosné konstrukce byly vybrány modely A a E. Důvody pro vybrání těchto variant byly – použití pouze dřeva na nosnou konstrukci nadzemní části budovy, podobné reakce v patách stěn a sloupů a uvolnění dispozice. Model B je také ze dřeva, ale volnosti dispozice brání velký počet ztužujících stěn.

3.2.3. Statická analýza hlavní nosné konstrukce

Jako odpovídající varianty byly vybrány modely A a E. Jedná se o podobné varianty se ztužujícími stěnami z CLT panelů. Jediný rozdíl je v rozponu průvlaků v příčném směru. Z původně stejné vzdálenosti sloupů se dva střední sloupy posunuly blíže k sobě. Rozpon je tedy v modelu A - 4,4 m a v modelu E - 4,8 m a 3,6 m.

vnitřní síla	V_y			M_z			N	M_y
	dolní	horní	atrium	dolní	horní	atrium		
jednotky	[kN]			[kNm]			[kN]	[kNm]
model A	87,55	60,86	71,16	59,55	41,42	179,78	287,06	3,91
model E	92,77	64,91	69,27	68,1	47,06	174,98	273,41	3,91
E/A	106 %	106,7 %	97,3 %	114,4%	113,6%	97,3 %	95,2 %	100 %

Tabulka 5 – vnitřní síly modelů A a E

Pro výpočet vnitřních sil byla použita kombinace zatížení, kde bylo mezi stálé zatížení zadáno zatížení od skladby podlah, vlastní tíha prvků, bodové zatížení od slunolamu a zatížení od obvodového pláště. Jako proměnné zatížení v této kombinaci bylo uvažováno užité zatížení a zatížení od větru a sněhu.

V modelu A, kde je stejné rozpětí průvlaků vycházejí o trochu nižší posouvající síly i ohybové momenty na průvlacích. Normálové síly ve sloupech vycházejí menší v modelu E, stejně jako posouvající síly a ohybový moment na průvlaků v atriu. Ohybový moment na sloupech, způsobený větrem, je v obou případech totožný.

Na základě těchto vnitřních sil budou v Příloze č.2 navrženy rozměry jednotlivých prvků vybrané části objektu. Poté budou posouzeny na mezní stav únosnosti.

Mezní stav použitelnosti byl posouzen po určení a zadání rozměrů do výpočtového programu Scia Engineer (viz. Tabulka 6). V případě modelu E (rozpon 4,8 m a 3,6 m) vycházejí všechny průhyby cca o 30 % větší než v případě modelu A (stejný rozpon 4,4 m). Průhyby od stálého a proměnného zatížení jsou zobrazeny v Příloze č.2, v částech 2.2.1. a 2.3.1. Všechny hodnoty průhybů jsou menší než limitní.

průhyb	u_z – stálé zatížení			u_z – proměnné zatížení		
	dolní	horní	atrium	dolní	horní	atrium
jednotky	[mm]			[mm]		
model A	2,1	4,4	8,3	5,0	3,8	183
model E	2,7	5,7	8,1	6,6	4,9	18,0
E/A	129 %	130 %	98 %	132 %	129 %	98 %

průhyb	u_z – okamžitý			u_z – konečný		
	dolní	horní	atrium	dolní	horní	atrium
jednotky	[mm]			[mm]		
model A	7,1	8,2	26,6	9,3	11,5	34,9
model E	9,3	10,6	26,1	12,1	14,9	34,2
E/A	131 %	129 %	98 %	131 %	129 %	98 %

Tabulka 6 – průhyby průvlaku – model A a E

Průvlaky									
část	rozměr b/h			využití v ohybu			využití ve smyku		
	dolní	horní	atrium	dolní	horní	atrium	dolní	horní	atrium
jednotky	[mm]			[%]			[%]		
model A	200/380	200/320	200/640	95,0	90,8	95,4	90,6	74,5	42,2
model E	200/400	200/360	200/640	92,0	90,2	98,0	90,1	74,5	43,2

Tabulka 7 – výsledné rozměry průvlaků a jejich využití

Sloupy		
	rozměr b/h	využití
jednotky	[mm]	[%]
model A	200/200	96,4
model E	200/200	92,8

Tabulka 8 – výsledné rozměry sloupů a jejich využití

Průřezy jednotlivých prvků a jejich únosnost byly určeny s rezervou 5-10 % v ohybu a 10-25 % ve smyku. Důvod je, že se v objektu mohou vyskytovat více namáhané prvky, než které jsou ve vybrané části objektu navrhovány. Výjimkou je velký průvlak v atriu, kde se vnitřní síly nemění. Ten byl navržen na 98,0 % využití průřezu v ohybu a 43,2 % ve smyku (viz. Tabulka 7).

Postup návrhu a posouzení jednotlivých prvků je detailně uveden v Příloze č.2.

4. Optimalizace stropní konstrukce

4.1. Stropní konstrukce

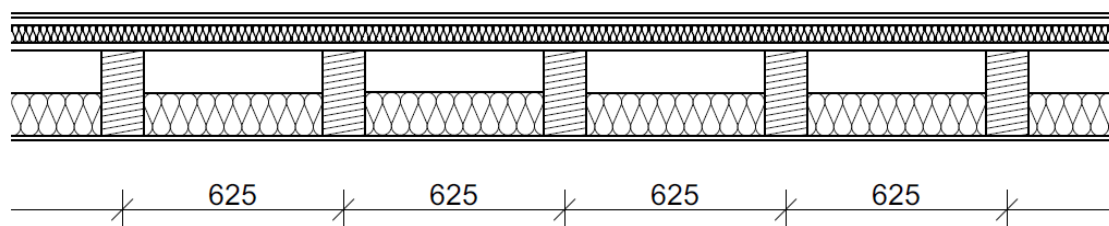
Zde je provedena optimalizace stropní konstrukce. Jsou vytvořeny 4 modely stropní konstrukce. První 2 jsou z rostlého dřeva, z KVH profilů. Na další 2 modely jsou použity nosníky Steico. U KVH profilů jsou osové vzdálenosti 625 mm a 312,5 mm. Steico nosníky jsou v osových vzdálenostech 400 mm a 312,5 mm.

Stropní trámy (nosníky) budou uloženy v ocelových botkách připevněných na průvlak. Rozpon stropního trámu bude tedy 4,8 m.

Všechny podrobné statické výpočty jsou uvedeny v Příloze č.2.

4.2. Modely trámových stropních konstrukcí

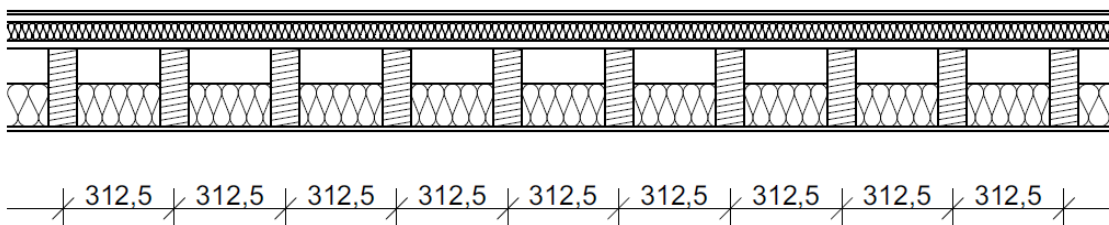
4.2.1. Trámový strop – rostlé dřevo, osová vzdálenost 625 mm



Obrázek 21 – schéma stropní konstrukce – rostlé dřevo, osová vzdálenost 625 mm

V tomto modelu jsou použity trámy z KVH profilu v osové vzdálenosti 625 mm. Na trámech je záklop z OSB desek, který také zabraňuje vybočení tlačené části trámu. Po statickém výpočtu byl navržen rozměr 140/240 mm pro strop nad 1.NP a 100/240 mm pro strop nad 2.NP. Oba rozměry vyhovují na ohybové a smykové napětí i na průhyby.

4.2.2. Trámový strop – rostlé dřevo, osová vzdálenost 312,5 mm

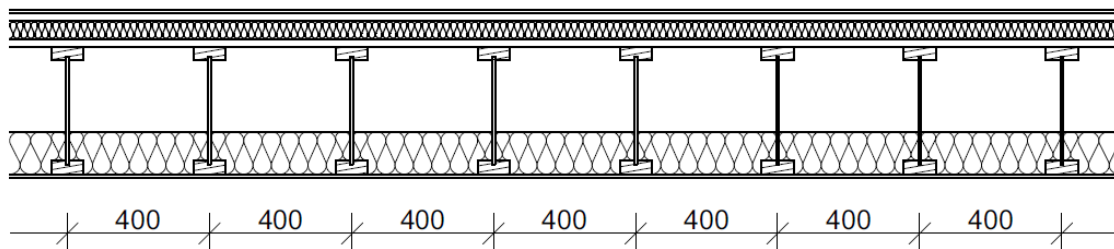


Obrázek 22 – schéma stropní konstrukce – rostlé dřevo, osová vzdálenost 312,5 mm

V dalším modelu jsou použity taktéž trámy z KVH profilu. Na trámech je opět záklop z OSB desek, který zabraňuje vybočení tlačené části. Osová vzdálenost je však 312,5 mm. Po statickém výpočtu byl pro strop nad 1.NP navržen rozměr 100/220 mm a

pro strop nad 2.NP rozměr 80/220 mm. Průřezy vyhoví na ohybové i smykové napětí. Průhyby těchto průřezů jsou menší než průhyby limitní.

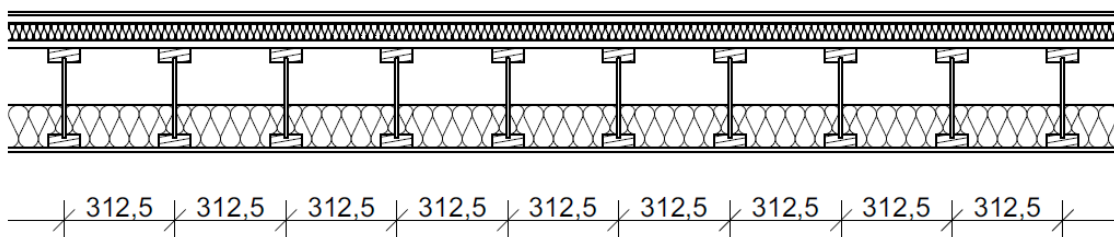
4.2.3. Trámový strop – Steico nosník, osová vzdálenost 400 mm



Obrázek 23 – schéma stropní konstrukce – Steico nosník, osová vzdálenost 400 mm

V této variantě jsou použity lepené nosníky od firmy Steico v osové vzdálenosti 400 mm. Na nosnících je záklop z OSB desek, který zabraňuje vybočení tlačené pásnice nosníku. Po statickém výpočtu byl navržen typ – Steico joist SJ90, výšky 360 mm pro strop nad 1.NP a Steico joist SJ90, výšky 240 mm pro strop nad 2.NP. Navržené nosníky dle výpočtu vyhoví na ohybové i smykové namáhání. Nosníky na průhyb vyhovují.

4.2.4. Trámový strop – Steico nosník, osová vzdálenost 312,5 mm



Obrázek 24 – schéma stropní konstrukce – Steico nosník, osová vzdálenost 312,5 mm

Zde v tomto modelu jsou použity lepené nosníky od firmy Steico v osové vzdálenosti 312,5 mm. Na nosnících je záklop z OSB desek, který opět zabraňuje vybočení tlačené pásnice nosníku. Po statickém výpočtu byl pro strop nad 1.NP navržen typ Steico joist SJ90, výšky 280 mm a pro strop nad 2.NP výšky 240 mm. Nosníky dle výpočtu vyhovují na ohyb i smyk, včetně průhybů.

4.3. Analýza stropní konstrukce

4.3.1. Environmentální analýza

materiál	svázaná energie [MJ/kg]	svázané emise CO₂ [kg CO ₂ ekv./kg]	svázané emise SO₂ [g SO ₂ ekv./kg]
rostlé dřevo	3,3526	0,1874	1,1679
aglomerované dřevo	26,1904	1,2519	6,7355

Tabulka 9 – jednotkové hodnoty energie, CO₂ a SO₂ pro rostlé a aglomerované dřevo
zdroj – www.envimat.cz/materialy/

V tabulce výše jsou uvedeny základní hodnoty pro svázanou energii, svázané emise CO₂ a SO₂ pro rostlé a aglomerované dřevo. Dále uvedené hodnoty slouží pro určení zátěže na životní prostředí daných verzí trámových stropních konstrukcí. Z jednotlivých modelů stropních konstrukcí byla zjištěna hmotnost rostlého a aglomerovaného dřeva, které je potřeba na stropní konstrukce.

model	rostlé dřevo [kg]	aglomerované dřevo [kg]	svázaná energie [GJ]	svázané emise CO₂ [t CO ₂]	svázané emise SO₂ [kg SO ₂]
KVH, á 625 mm	11518	0	38,62	2,16	13,45
KVH, á 312,5 mm	15923,4	0	53,39	2,98	18,6
Steico, á 625 mm	2133,4	1780,6	53,73	2,63	14,48
Steico, á 312,5 mm	2718,9	1911,7	59,18	2,9	16,05

Tabulka 10 – výsledné hodnoty energie, CO₂ a SO₂ pro modely stropních konstrukcí

Na první 2 modely je použito rostlé dřevo (KVH profily) a na zbylé 2 modely jsou použity lepené nosníky Steico joist SJ90. Nosníky jsou slepené ze dvou druhů dřeva, a to z rostlého (pásnice) a z aglomerovaného (stojina).

Nejlépe v porovnání svázané energie vychází model z KVH profilů s osovou vzdáleností trámů 625 mm, a to o cca 15 GJ oproti všem ostatním modelům. Nejhůře vychází model ze Steico nosníků s osovou vzdáleností 312,5 mm. Podobné pořadí je i v dalších srovnávaných oblastech, kde je na prvním místě opět 1. model. V případě svázaných emisí CO₂ je zde hodnota oproti ostatním modelům menší o 0,5 - 0,8 tuny CO₂. U svázaných emisí SO₂ jsou hodnoty u 1. modelu nejnižší, a to 13,45 kg SO₂. Následuje 3. a 4. model. Nejhorší je model č. 2, který má skoro o 5 kg SO₂ více než model č. 1.

Nejlépe z této analýzy vychází **1. model (KVH, á 625 mm)**, kde jsou hodnoty všech tří sledovaných parametrů nejnižší. Jako další by se z environmentálního hlediska mohl použít model ze Steico nosníků s osovou vzdáleností 625 mm.

4.3.2. Finanční analýza

Do celkových cen byla započítána pouze cena materiálu, ne cena za provádění.

model	strop	materiál	cena	množství	celková cena
			Kč/m' bez DPH	m'	Kč bez DPH
KVH, á 625 mm	nad 2.NP	KVH - 100/240	204,54 Kč	480,08	277 607 Kč
	nad 1.NP	KVH - 140/240	340,00 Kč	527,68	
KVH, á 312,5 mm	nad 2.NP	KVH - 80/220	148,67 Kč	948,6	337 953 Kč
	nad 1.NP	KVH - 100/220	187,44 Kč	1050,6	
Steico, á 400 mm	nad 2.NP	joist SJ90/280	248,00 Kč	743,52	405 525 Kč
	nad 1.NP	joist SJ90/360	268,00 Kč	825,12	
Steico, á 312,5 mm	nad 2.NP	joist SJ90/280	248,00 Kč	948,6	495 802 Kč
	nad 1.NP	joist SJ90/280	248,00 Kč	1050,6	

Tabulka 11 – finanční analýza jednotlivých modelů stropních konstrukcí

Zdroj: <https://www.mirhaus-eshop.cz/steico-joist-sj-90-mm/>

<https://www.ceskytesar.cz/hranol-kvh-nsi>

<http://susenezivo.cz/13-hranoly/>

V této analýze vychází jako **nejlevnější model z KVH profilů a osově vzdálenosti trámů 625 mm**. V porovnání s ostatními je i přes velké rozměry prvků levnější minimálně o 60 tis. Kč. Celkově vycházejí dražší stropní konstrukce ze Steico nosníků, kde vyšší cenu tvoří jejich samotná cena.

4.3.3. Statická analýza

V tabulce níže jsou uvedeny vnitřní síly jednotlivých modelů trámového stropu. Tabulka je rozdělena na jednotlivé modely a u nich je rozdělena na konstrukci stropu pod skladbou střechy a pod skladbou podlahy v 2.NP.

V Tabulce 12 jsou uvedeny všechny vnitřní síly na stropních trámech a nosnicích. Celkově vychází ohybové momenty i posouvající síly téměř stejné u všech variant se stejnou osovou vzdáleností.

vnitřní síla	V_y		M_z	
	nad 2.NP	nad 1.NP	nad 2.NP	nad 1.NP
strop				
jednotky	[kN]		[kNm]	
KVH, á 625 mm	7,19	10,85	8,63	13,02
KVH, á 312,5 mm	3,67	5,51	4,40	6,61
Steico, á 400 mm	6,47	8,91	7,76	10,69
Steico, á 312,5 mm	4,99	6,77	5,98	8,12

Tabulka 12 – vnitřní síly na stropních trámech/nosících

průhyb	u_z - stálé zatížení		u_z - proměnné zatížení	
	nad 2.NP	nad 1.NP	nad 2.NP	nad 1.NP
část				
jednotky	[mm]		[mm]	
KVH, á 625 mm	7,1	4,1	6,0	9,7
KVH, á 312,5 mm	6,0	3,9	4,9	8,8
Steico, á 400 mm	7,7	4,1	3,7	4,8
Steico, á 312,5 mm	6,1	5,2	2,9	6,5

průhyb	u_z - okamžitý		u_z - konečný	
	nad 2.NP	nad 1.NP	nad 2.NP	nad 1.NP
část				
jednotky	[mm]		[mm]	
KVH, á 625 mm	13,1	13,8	16,2	18,0
KVH, á 312,5 mm	10,9	12,7	14,2	16,6
Steico, á 400 mm	11,4	8,9	17,2	12,2
Steico, á 312,5 mm	9,0	11,7	15,9	16,0

Tabulka 13 – výsledné průhyby stropních trámů/nosníků

Na základě těchto vnitřních sil budou v Příloze č.2 v části 3. navrženy rozměry jednotlivých stropních trámů/nosníků. Poté budou prvky posouzeny na mezní stav použitelnosti – průhyb.

V případě průhybů (viz. Tabulka 13) nelze jednoznačně určit, který s daných modelů je lepší. Rozdílné hodnoty tam tvoří odlišné tvary průřezů – obdélníkový KVH profil/lepený I-nosník Steico. Každopádně hodnoty všech průhybů jsou menší než hodnoty limitní (okamžitý průhyb – 16 mm (l/300), konečný průhyb – 19,2 mm (l/250)).

model	strop	prvek	využití v ohybu	využití ve smyku
KVH, á 625 mm	nad 2.NP	KVH - 100/240	88,6 %	25,7 %
	nad 1.NP	KVH - 140/240	95,4 %	27,4 %
KVH, á 312,5 mm	nad 2.NP	KVH - 80/220	67,2 %	17,7 %
	nad 1.NP	KVH - 100/220	80,7 %	21,7 %
Steico, á 400 mm	nad 2.NP	joist SJ90/240	94,7 %	87,8 %
	nad 1.NP	joist SJ90/360	84,2 %	95,9 %
Steico, á 312,5 mm	nad 2.NP	joist SJ90/240	73,0 %	67,7 %
	nad 1.NP	joist SJ90/280	82,3 %	84,1 %

Tabulka 14 – výsledné využití stropních trámů a nosníků

V této tabulce jsou uvedeny hodnoty využití jednotlivých stropních trámů a nosníků. V ohybu jsou všechny prvky využity cca na 73-95 % své únosnosti. Využití ve smyku je u prvků z KVH profilů minimální, nosníky Steico jsou využity mnohem více. Problém však nastal u 3. modelu, kde původně ani největší I-nosník (500 mm) nevyhovoval při osové vzdálenosti 625 mm na smyk. Z tohoto důvodu byla osová vzdálenost zmenšena na 400 mm a navržen menší rozměr nosníku.

5. Stavebně-energetický koncept

5.1. Skladby konstrukcí

V následující části budou uvedeny jednotlivé skladby podlah, střechy a obvodového pláště. Jsou navrženy z hlediska tepelné techniky i vlhkosti. Výsledkem bude zpracování celkové obálky budovy, která bude odpovídat hodnotám pro nízkoenergetickou budovu.

5.1.1. Střešní plášť

	d [m]	λ [W/m·K]	R [m ² ·K/W]
zásyp z těžného šterku	0,05	-	-
separační vrstva – geotextílie	-	-	-
2x asfaltový hydroizolační pás	0,008	0,21	0,038
spádová vrstva – EPS 200	0,2	-	-
konstantní vrstva – EPS 200	0,1	0,035	2,857
parozábrana	-	-	-
záklop z OSB	0,022	0,13	0,169
stropní trámy + TI (min. vata)	0,24	0,084	2,857
záklop z OSB	0,012	0,13	0,092
TI – minerální vata	0,06	0,041	1,463
podhled	-	-	-

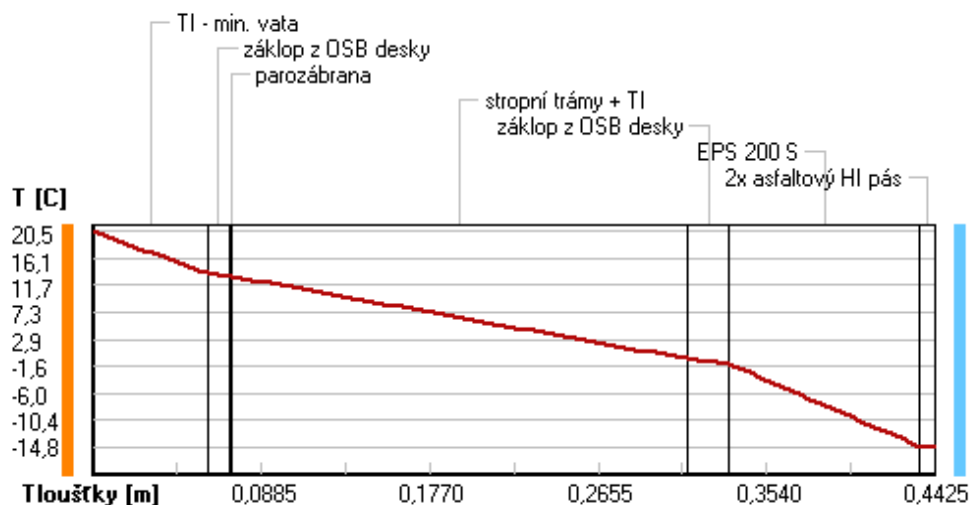
$$\Sigma R = 7,477 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

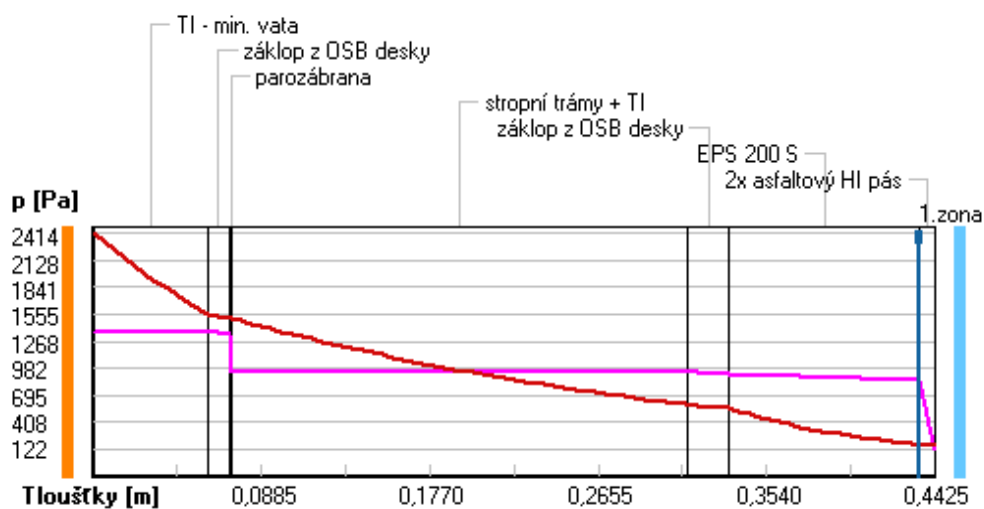
$$R_{si} = 0,10 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$U = \mathbf{0,131 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}} < 0,15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Teploty v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách



Část. tlaky vodní páry v typickém místě konstrukce v ustál. návrh. podmínkách



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

Kond.zóna číslo	Hranice kondenzační zóny levá [m]	pravá [m]	Kondenzující množství vodní páry [kg/(m ² s)]
1	0,4345	0,4345	$2,435 \cdot 10^{-9}$

Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry:

Množství zkondenzované vodní páry za rok $M_{c,a}$:	0,0192 kg/(m².rok)
Množství vypařitelné vodní páry za rok $M_{ev,a}$:	0,0231 kg/(m².rok)

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 10,0 °C.

5.1.2. Obvodový plášť

	d [m]	λ [W/m·K]	R [m ² ·K/W]
OSB deska	0,018	0,13	0,138
sloupky + TI (min. vata)	0,2	0,062	3,226
rošt + TI (min. vata)	0,14	0,056	2,5
difuzní folie	-	-	-
diagonální rošt	0,06	-	-
dřevěné obložení	-	-	-

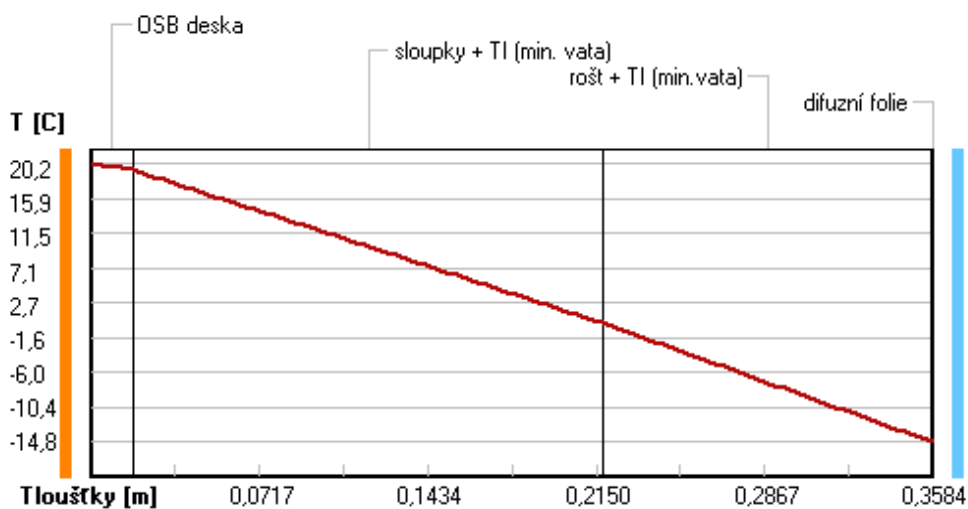
$$\Sigma R = 5,864 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

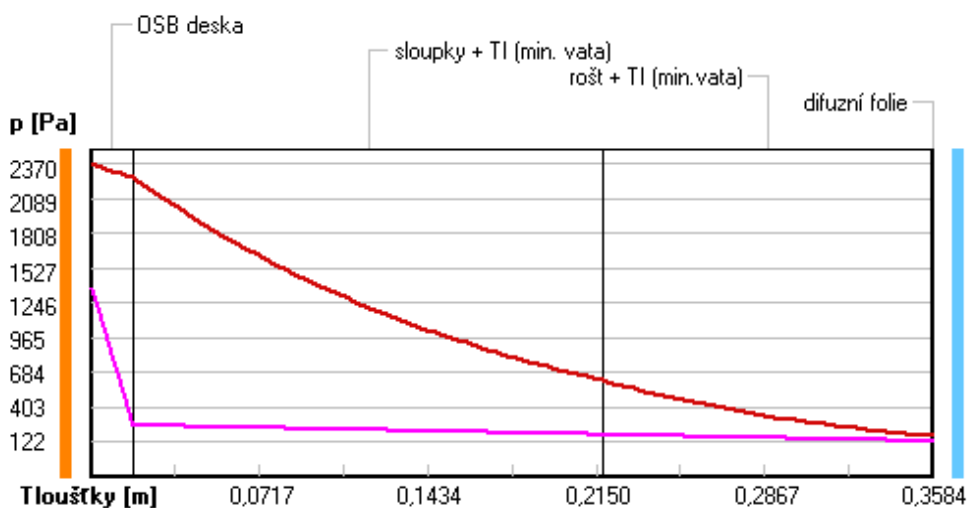
$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$U = \mathbf{0,166 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}} < 0,18 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Teploty v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách



Část. tlaky vodní páry v typickém místě konstrukce v ustál. návrh. podmínkách



Množství difundující vodní páry Gd: $4,951 \cdot 10^{-8} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

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

5.1.3. Podlaha v 2.NP – keramická dlažba

	d [m]	λ [W/m·K]	R [m ² ·K/W]
keramická dlažba	0,009	1,01	0,009
lepidlo na dlažbu	-	-	-
desky CETRIS - 2 vrstvy křížem	0,024	0,24	0,10
TI – minerální vata	0,05	0,041	1,22
záklop z OSB	0,022	0,13	0,169
stropní trámy + TI (min. vata)	0,12	0,071	1,69
záklop z OSB	0,012	0,13	0,092
TI – minerální vata	0,06	0,041	1,463
podhled	-	-	-

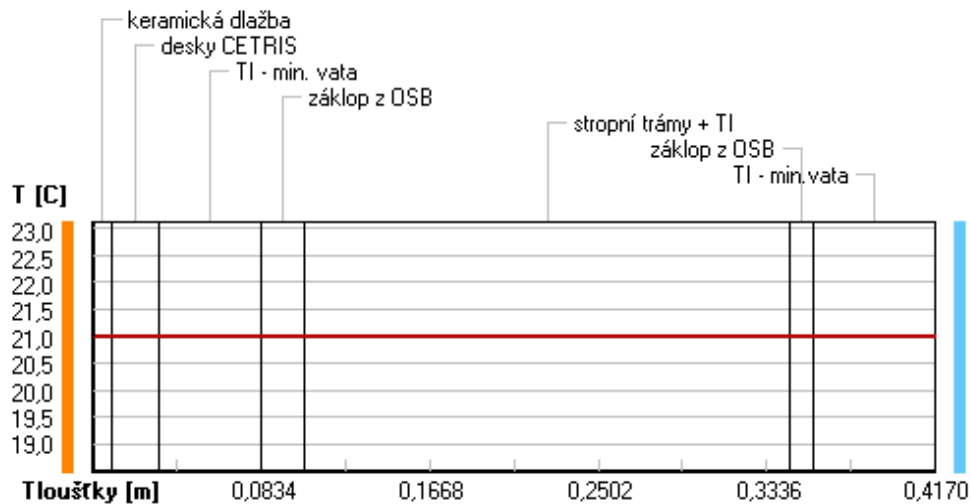
$$\Sigma R = 4,744 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{se} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

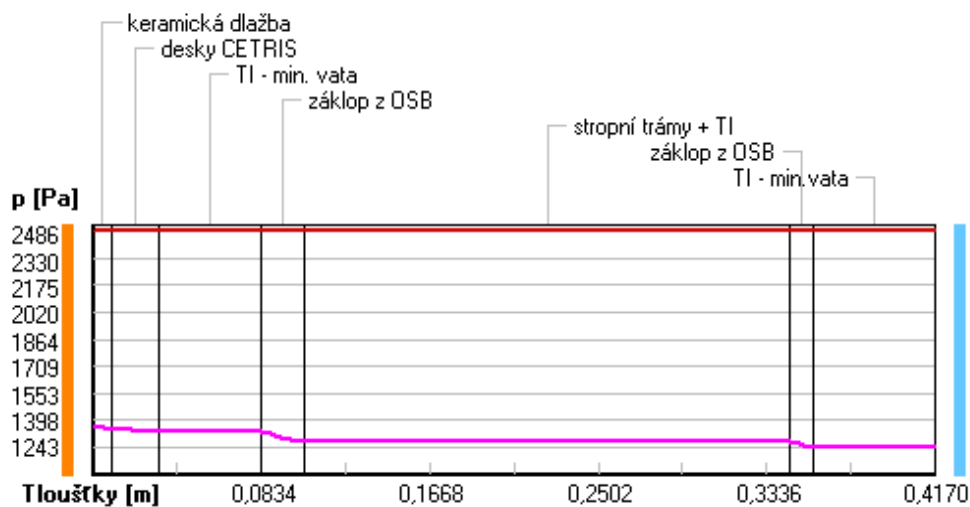
$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$U = 0,200 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Teploty v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách



Část. tlaky vodní páry v typickém místě konstrukce v ustál. návrh. podmínkách



Množství difundující vodní páry Gd: $1,946 \cdot 10^{-9} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

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

5.1.4. Podlaha v 2.NP – linoleum

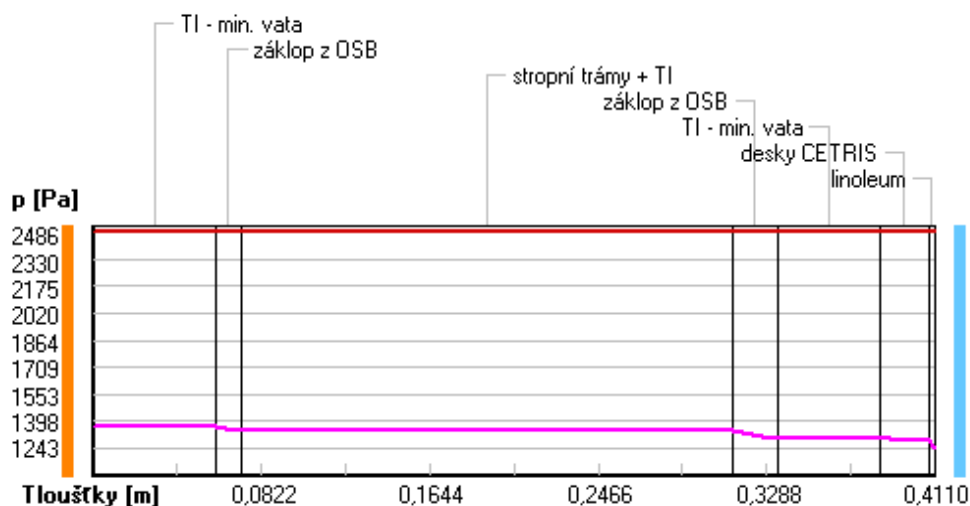
	d [m]	λ [W/m·K]	R [m ² ·K/W]
linoleum	0,003	0,19	0,016
pružná vrstva	-	-	-
desky CETRIS - 2 vrstvy křížem	0,024	0,24	0,1
TI – minerální vata	0,05	0,041	1,22
záklop z OSB	0,022	0,13	0,169
stropní trámy + TI (min. vata)	0,12	0,071	1,69
záklop z OSB	0,012	0,13	0,092
TI – minerální vata	0,06	0,041	1,463
podhled	-	-	-

$\Sigma R =$	4,750 m ² ·K/W
$R_{se} =$	0,13 m ² ·K/W
$R_{si} =$	0,13 m ² ·K/W
U =	0,200 W/m²·K

Teploty v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách



Část. tlaky vodní páry v typickém místě konstrukce v ustál. návrh. podmínkách



Množství difundující vodní páry Gd: $1,496 \cdot 10^{-9} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

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

5.1.5. Podlaha v 1.NP – keramická dlažba

	d [m]	λ [W/m·K]	R [m ² ·K/W]
keramická dlažba	0,009	1,01	0,009
lepidlo na dlažbu	-	-	-
desky CETRIS - 2 vrstvy křížem	0,024	0,24	0,1
TI – EPS 200	0,1	0,034	2,941
železobetonová deska	0,2	1,58	0,127

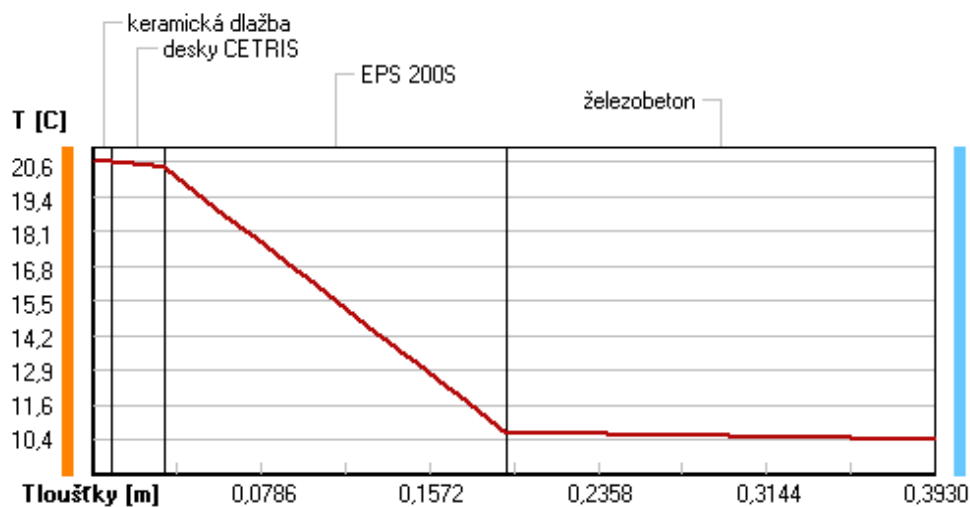
$$\Sigma R = 3,177 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

$$R_{se} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

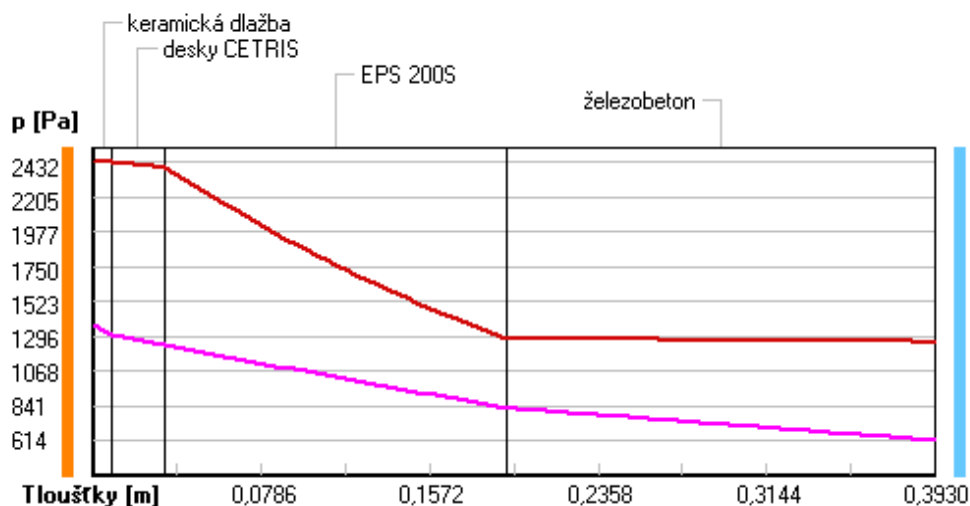
$$R_{si} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

$$U = \mathbf{0,284 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}} < 0,38 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

Teploty v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách



Část. tlaky vodní páry v typickém místě konstrukce v ustál. návrh. podmínkách



Množství difundující vodní páry Gd: $7,282 \cdot 10^{-9} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

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

5.1.6. Podlaha v 1.NP – linoleum

	d [m]	λ [W/m·K]	R [m ² ·K/W]
linoleum	0,003	0,2	0,016
pružná vrstva	-	-	-
desky CETRIS - 2 vrstvy křížem	0,024	0,2	0,1
TI – EPS 200	0,1	0,034	2,941
železobetonová deska	0,20	1,6	0,127

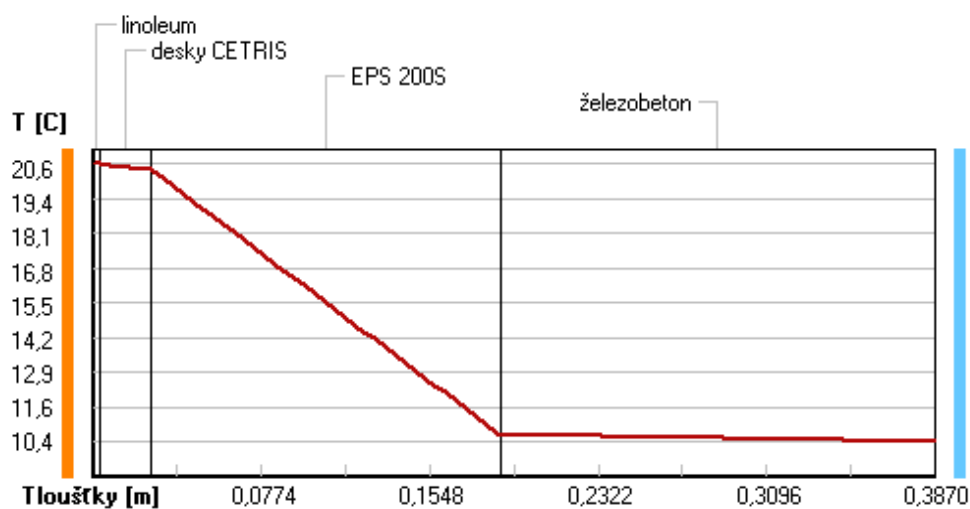
$$\Sigma R = 3,184 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

$$R_{se} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

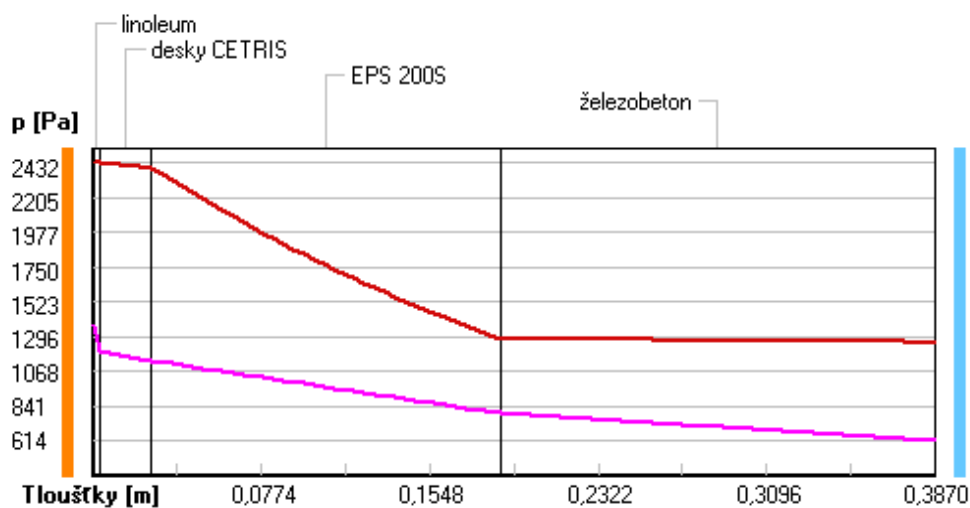
$$R_{si} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

$$U = \mathbf{0,284 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}} < 0,38 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

Teploty v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách



Část. tlaky vodní páry v typickém místě konstrukce v ustál. návrh. podmínkách



Množství difundující vodní páry Gd: $6,143 \cdot 10^{-9} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

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

5.1.7. Podlaha na terénu v 1.NP – keramická dlažba

	d [m]	λ [W/m·K]	R [m ² ·K/W]
keramická dlažba	0,009	1,01	0,009
lepidlo na dlažbu	-	-	-
desky CETRIS - 2 vrstvy křížem	0,024	0,24	0,1
TI – EPS 200	0,1	0,034	2,941
HI – asfaltový pás	0,004	-	-
železobetonová deska	0,2	1,58	0,127
zemina	2,0	0,7	2,857

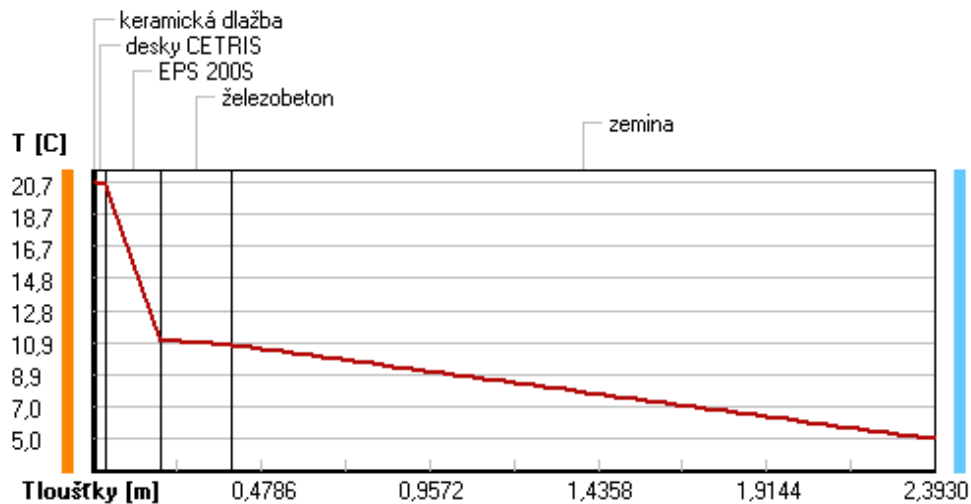
$$\Sigma R = 6,034 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{se} = 0,00 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

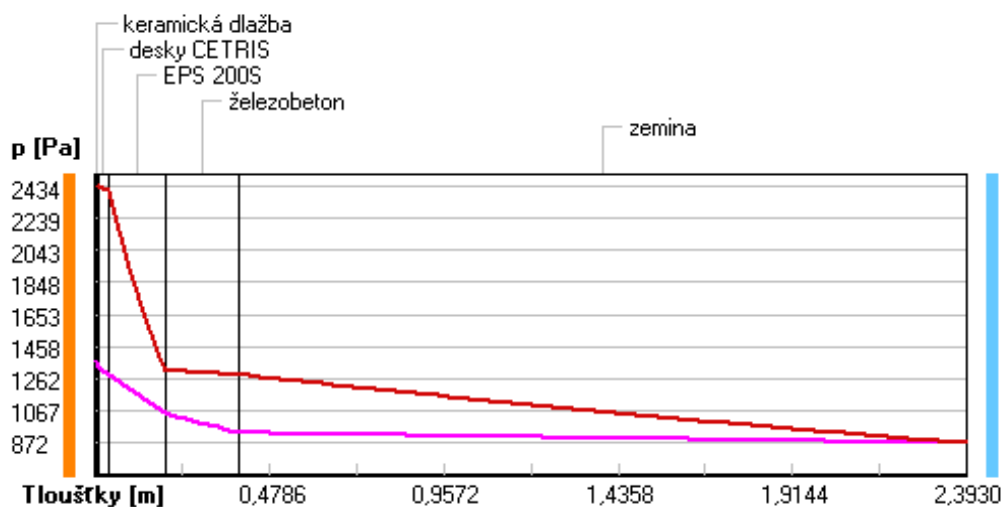
$$R_{si} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$U = 0,161 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} < 0,22 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Teploty v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách



Část. tlaky vodní páry v typickém místě konstrukce v ustál. návrh. podmínkách



Množství difundující vodní páry Gd: $4,181 \cdot 10^{-9} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

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

5.1.8. Podlaha na terénu v 1.NP – linoleum

	d [m]	λ [W/m·K]	R [m ² ·K/W]
linoleum	0,003	0,19	0,016
pružná vrstva	-	-	-
desky CETRIS - 2 vrstvy křížem	0,024	0,24	0,1
TI – EPS 200	0,1	0,034	2,941
HI – asfaltový pás	0,004	-	-
železobetonová deska	0,2	1,58	0,127
zemina	2	0,7	2,857

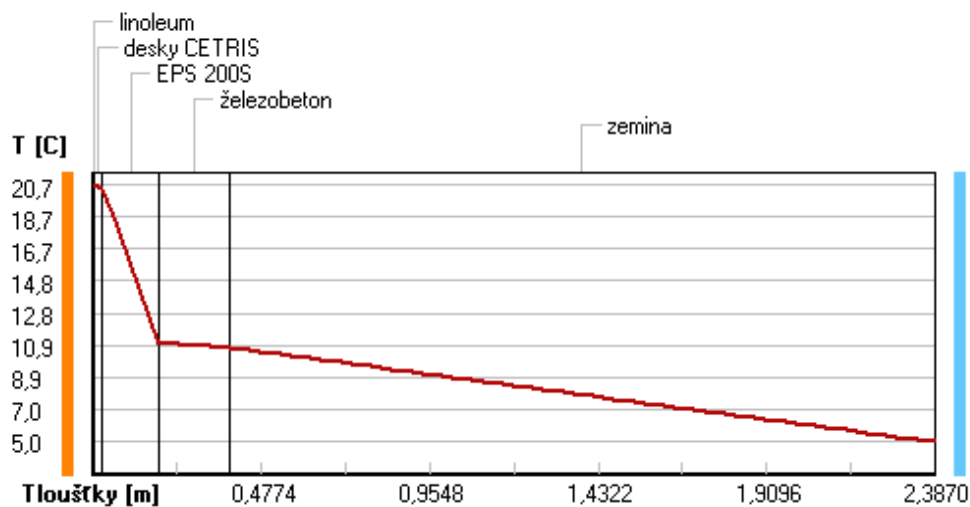
$$\Sigma R = 6,041 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

$$R_{se} = 0,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

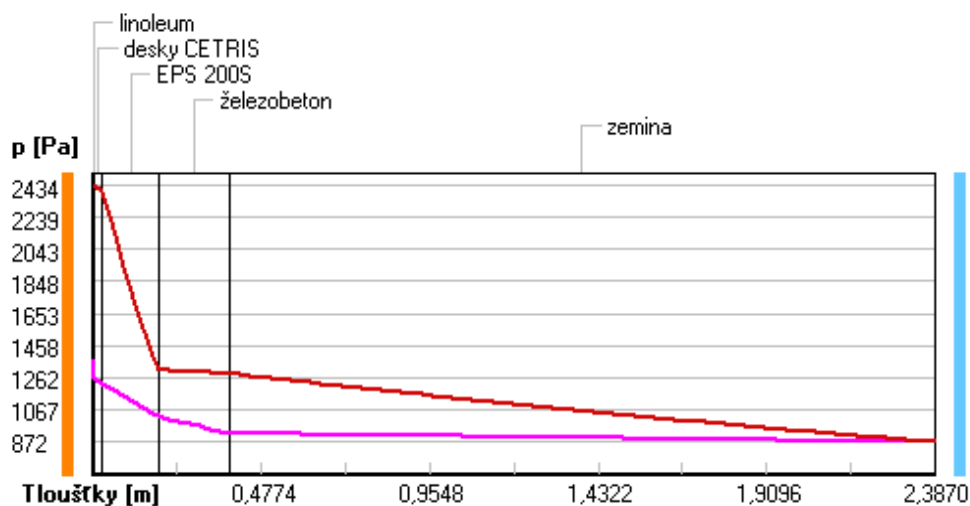
$$R_{si} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

$$U = 0,161 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K} < 0,22 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

Teploty v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách



Část. tlaky vodní páry v typickém místě konstrukce v ustál. návrh. podmínkách



Množství difundující vodní páry Gd: $3,597 \cdot 10^{-9} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

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

5.2. Celková obálka budovy

5.2.1. Základní údaje

ZÁKLADNÍ ÚDAJE

Základní popis zóny:

Počet osob	n_{os}	35	os
Přítomnost osob (procento času)	p	50%	
Požadovaná vnitřní teplota	θ_i	20	°C
Objem vytápěné zóny	V	3 045,5	m ³ ← z vnějších rozměrů
Plocha obalových konstrukcí vytápěné zóny	A	1 429,4	m ²
Podlahová plocha vytápěné zóny	A_+	383,7	m ² ← z celkových vnitřních rozměrů
Objemový faktor tvaru budovy	A/V	0,47	-

5.2.2. Neprůsvitné konstrukce

MĚRNÁ TEPELNÁ ZTRÁTA PROSTUPEM - NEPRŮSVITNÉ KONSTRUKCE

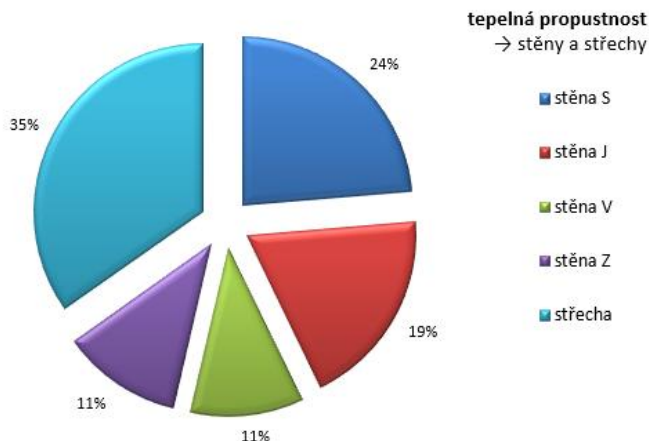
dle ČSN EN ISO 13789 - přímý prostup tepla do vnějšího prostředí (→ plošné neprůsvitné konstrukce, kromě dveří)

Obvodové stěny mezi vytápěným prostorem a vnějším prostředím:

Stěna	orientace	šířka b m	výška h m	celková plocha A_T m ²	plocha výplň otvorů A_G		čistá plocha A m ²	součinitel prostupu tepla U W/(m ² .K)	tepelná propustnost $L_{0,1,f}$ W/K
					m ²	%			
stěna S	J	-	-	227,0	58,41	25,7	168,6	0,166	27,98
stěna J	S	-	-	227,0	90,60	39,9	136,4	0,166	22,64
stěna V	V	-	-	97,8	20,98	21,5	76,8	0,166	12,75
stěna Z	Z	-	-	97,8	15,32	15,7	82,5	0,166	13,69
				649,5	185,3		464,2		77,1
CELKEM									

Střechy (mezi vytápěným prostorem a venkovním) prostředím:

Střechy	šířka b m	výška h m	celková plocha A_T m ²	plocha výplň otvorů A_G		čistá plocha A m ²	součinitel prostupu tepla U W/(m ² .K)	tepelná propustnost $L_{0,2,f}$ W/K
				m ²	%			
střecha	-	-	396,2	82,32	20,8	313,9	0,131	41,12
			396,2			313,9		41,1
CELKEM								



5.2.3. Výplně otvorů

MĚRNÁ TEPELNÁ ZTRÁTA PROSTUPEM - VÝPLNĚ OTVORŮ

dle ČSN EN ISO 10077-1 a ČSN EN ISO 13790

Okna mezi vytápěným prostorem a vnějším prostředím:

Okno	součinitel prostupu tepla			podlaží	orientace	energetická propustnost g_{normal}	šířka b	výška h	plocha A_W	počet ks	celková plocha A_W	plocha zasklení A_g
	U_g	U_f	U_W									
O1	0,50	0,72	0,77	1	V	0,54	0,70	1,40	0,98	1	0,98	0,69
O2V	0,50	0,72	0,75	2	V	0,54	0,70	1,60	1,12	2	2,24	0,80
O2S	0,50	0,72	0,75	1+2	S	0,54	0,70	1,60	1,12	8	8,96	0,80
O3	0,50	0,72	0,71	1	V	0,54	1,20	1,40	1,68	1	1,68	1,31
O4V	0,50	0,72	0,70	2	V	0,54	1,20	1,60	1,92	1	1,92	1,52
O4S	0,50	0,72	0,70	2	S	0,54	1,20	1,60	1,92	2	3,84	1,52
O5	0,50	0,72	0,67	1	V	0,54	2,00	1,40	2,80	2	5,60	2,31
O6V	0,50	0,72	0,66	2	V	0,54	2,00	1,60	3,20	2	6,40	2,68
O6S	0,50	0,72	0,66	2	S	0,54	2,00	1,60	3,20	2	6,40	2,68
O7	0,50	0,72	0,64	1+2	J	0,54	2,50	1,60	4,00	4	16,00	3,41
O8Z	0,50	0,72	0,63	1+2	Z	0,54	3,20	1,60	5,12	2	10,24	4,28
O8S	0,50	0,72	0,63	1+2	S	0,54	3,20	1,60	5,12	3	15,36	4,28
O9	0,50	0,72	0,62	1+2	J	0,54	4,00	1,60	6,40	2	12,80	5,44
O10	0,50	0,72	0,59	1	S	0,54	4,50	2,65	11,93	2	23,85	10,38
O11	0,50	0,72	0,59	2	J	0,54	4,80	2,83	13,58	2	27,17	11,64
O12	0,50	0,72	0,59	1	J	0,54	4,80	3,20	15,36	2	30,72	13,23
SO1	0,50	0,72	0,59	2	STRŽ	0,54	4,80	3,40	16,32	2	32,64	13,56
SO2	0,50	0,72	0,58	2	STRŽ	0,54	4,80	4,60	22,08	2	44,16	18,90

42 174,2

Okno	korekční činitelé					sběrná plocha A_s	děka ostění o_1	děka parapetu o_2	tepelná propustnost $L_{D,3,i}$ W/K
	F_F	F_C	F_o	F_f	F_h				
O1	0,70	1,00	1,00	1,00	0,55	0,20	3,50	0,70	0,75
O2V	0,71	1,00	1,00	1,00	0,55	0,48	3,90	0,70	1,69
O2S	0,71	1,00	1,00	1,00	0,90	3,11	3,90	0,70	6,76
O3	0,78	1,00	1,00	1,00	0,55	0,39	4,00	1,20	1,20
O4V	0,79	1,00	1,00	1,00	0,55	0,45	4,40	1,20	1,34
O4S	0,79	1,00	1,00	1,00	0,90	1,48	4,40	1,20	2,69
O5	0,83	1,00	1,00	1,00	0,55	1,37	4,80	2,00	3,75
O6V	0,84	1,00	1,00	1,00	0,55	1,59	5,20	2,00	4,21
O6S	0,84	1,00	1,00	1,00	0,90	2,60	5,20	2,00	4,21
O7	0,85	1,00	1,00	1,00	0,75	5,52	5,70	2,50	10,29
O8Z	0,84	1,00	1,00	1,00	0,79	3,65	6,40	3,20	6,48
O8S	0,84	1,00	1,00	1,00	0,90	6,24	6,40	3,20	9,72
O9	0,85	1,00	1,00	1,00	0,75	4,41	7,20	4,00	7,94
O10	0,87	1,00	1,00	1,00	0,90	10,09	9,80	4,50	14,15
O11	0,86	1,00	1,00	1,00	0,75	9,43	10,46	4,80	16,08
O12	0,86	1,00	1,00	1,00	0,75	10,72	11,20	4,80	18,04
SO1	0,83	0,70	1,00	1,00	0,75	7,69	11,60	4,80	19,30
SO2	0,86	0,70	1,00	1,00	0,75	10,72	14,00	4,80	25,57
					CELKEM	61,7	96,5	38,7	109,3

Uprům
0,63
W/m2K

Rekapitulace oken dle orientace j :

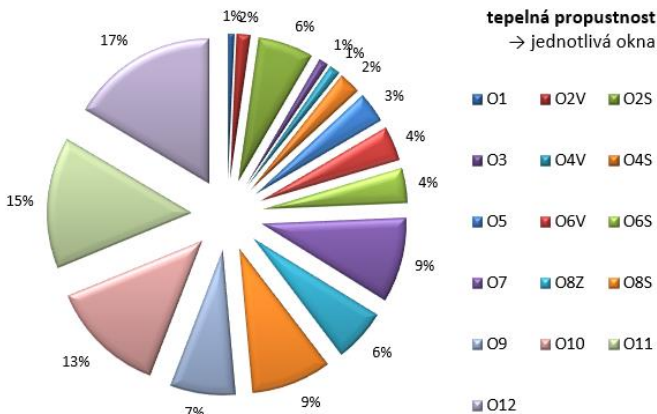
Orientace	celková plocha $A_{w,j}$ m ²	sběrná plocha $A_{s,j}$ m ²	tepelná propustnost $L_{D,A,j}$ W/K
J	86,7	30,1	52,4
S	58,4	23,5	37,5
V	18,8	4,5	12,9
Z	10,2	3,7	6,5
STŘ	76,8	18,4	44,9
CELKEM	251,0	80,1	154,2

Dveře mezi vytápěným prostorem a vnějším prostředím:

Dveře	orientace	šířka b m	výška h m	plocha A_D m ²	počet n ks	celková plocha A_D m ²	déka ostění o_1 m	déka parapetu o_2 m	souč. prost. tepla U W/(m ² ·K)	tepelná propust. $L_{D,A,j}$ W/K
D1	V	0,90	2,40	2,16	1	2,16	5,70	0,90	0,68	1,47
D2	Z	1,00	2,05	2,05	1	2,05	5,10	1,00	0,68	1,39
D3	Z	1,00	2,58	2,58	1	2,58	6,16	1,00	0,68	1,75
CELKEM						6,79	16,96	2,90		4,6

Celková plocha výplní otvorů dle orientace j :

Orientace	celková plocha A_j m ²
J	86,7
S	58,4
V	21,0
Z	14,9
STŘ	76,8
CELKEM	257,7



5.2.4. Tepelné ztráty

TEPELNÉ ZTRÁTY - JEDNOZÓNOVÝ VÝPOČET - BEZ PŘERUŠOVANÉHO VYTÁPĚNÍ

dle ČSN EN ISO 13790

Celková tepelná ztráta Q_L (kWh):

Měsíc	délka t		venkovní teplota θ_a (°C)	vnitřní teplota θ_i (°C)	tepelná ztráta prostupem						CELKEM kWh	tep. ztráta větráním kWh	tep. ztráta zemínou kWh	tepelná ztráta Q_L kWh
	dny	hodiny			stěny	střechy	okna	dveře	vazby a mosty	nevytápěné				
1	31	744	-2,1	20,0	1267	676	1797	76	470	0	4 287	630	195	5 111
2	28	672	-0,6	20,0	1067	569	1513	64	396	0	3 609	531	193	4 333
3	31	744	3,2	20,0	963	514	1366	58	357	0	3 259	479	225	3 962
4	30	720	7,7	20,0	682	364	968	41	253	0	2 309	339	215	2 864
5	31	744	12,7	20,0	419	223	594	25	155	0	1 416	208	209	1 833
6	30	720	16,0	20,0	222	118	315	13	82	0	751	110	181	1 043
7	31	744	17,5	20,0	143	76	203	9	53	0	485	71	164	720
8	31	744	16,8	20,0	183	98	260	11	68	0	621	91	144	856
9	30	720	13,2	20,0	377	201	535	23	140	0	1 276	188	129	1 593
10	31	744	8,1	20,0	682	364	968	41	253	0	2 308	339	136	2 783
11	30	720	3,1	20,0	938	500	1330	56	348	0	3 172	466	144	3 783
12	31	744	-0,5	20,0	1175	627	1667	70	436	0	3 976	585	171	4 731
CELKEM					8 119	4 332	11 518	486	3 012	0	27 468	4 038	2 107	33 613
					24,2%	12,9%	34,3%	1,4%	9,0%	0,0%	81,7%	12,0%	6,3%	100,0%

Rekapitulace měrných tepelných ztrát:

Tepelná propustnost - stěny	$L_{D,1}$	77,1	W/K
Tepelná propustnost - střechy	$L_{D,2}$	41,1	W/K
Tepelná propustnost - okna	$L_{D,3}$	109,3	W/K
Tepelná propustnost - vstupní dveře	$L_{D,4}$	4,6	W/K
Tepelná propustnost - tepelné vazby a mosty	$L_{D,5}$	28,6	W/K
Tepelná propustnost - nevytápěné prostory	$L_{D,6}$	0,0	W/K
Měrná tepelná ztráta prostupem	H_T	260,7	W/K
Měrná tepelná ztráta větráním	H_V	38,3	W/K
Ustálená tepelná propustnost zemínou	L_s	22,0	W/K
Měrná tepelná ztráta (bez ztráty zemínou)	H'	299,0	W/K

Přirážka na tepelné vazby a mosty 0,02 W/(m²·K)

Měrná tepelná ztráta (se ztrátou zemínou L_s) H 321,1 W/K

↑ pro výpočet časové konstanty budovy

Tepelná ztráta (potřebný výkon dodaný zdrojem tepla) Q 11 558 W

5.2.5. Tepelné zisky

TEPELNÉ ZISKY - VNITŘNÍ A SOLÁRNÍ

dle ČSN EN ISO 13790

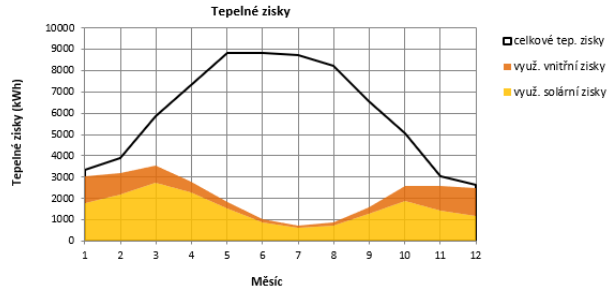
Vnitřní tepelné zisky:

Měrné vnitřní tepelné zisky Q_i 100 W/os
 Vnitřní tepelné zisky Q_i 1850 W

Rekapitulace celkové sběrné plochy oken $A_{s,j}$:

Orientace sběrná plocha $A_{s,j}$ (m²) ← doplnit dle skutečnosti odkazem na okna!

Orientace	sběrná plocha $A_{s,j}$ (m ²)
J	30,1
S	23,5
V	4,5
Z	3,7
STŘ	18,4
SV	0,0
SZ	0,0
JV	0,0
JZ	0,0
CELKEM	80,14



Čisté solární zisky, vnitřní tepelné zisky a stupeň využití tepelných zisků:

Měsíc	délka t		čisté solární zisky pro jednotlivé orientace										CELKEM	vnitřní tep. zisky Q_i (kWh)	celkové tep. zisky Q_g (kWh)	poměr zisků γ (-)	stupeň využití η (-)
	dny	hodiny	S	J	V	Z	H	SV	SZ	JV	JZ						
1	31	744	211	1176	67	73	423	0	0	0	0	0	1950	1376	3327	0,65	0,91
2	28	672	391	1317	117	102	736	0	0	0	0	0	2663	1243	3906	0,90	0,81
3	31	744	692	1929	229	194	1454	0	0	0	0	0	4497	1376	5873	1,48	0,61
4	30	720	962	2235	332	263	2172	0	0	0	0	0	5964	1332	7296	2,55	0,38
5	31	744	1414	2282	466	340	2963	0	0	0	0	0	7464	1376	8841	4,82	0,21
6	30	720	1564	2046	516	321	3055	0	0	0	0	0	7503	1332	8835	8,47	0,12
7	31	744	1414	2188	448	340	2982	0	0	0	0	0	7371	1376	8747	12,15	0,08
8	31	744	1143	2352	395	321	2632	0	0	0	0	0	6843	1376	8219	9,60	0,10
9	30	720	722	2235	269	234	1767	0	0	0	0	0	5226	1332	6558	4,12	0,24
10	31	744	511	1764	152	175	1049	0	0	0	0	0	3652	1376	5029	1,81	0,52
11	30	720	271	847	63	66	442	0	0	0	0	0	1688	1332	3020	0,80	0,85
12	31	744	180	682	49	44	313	0	0	0	0	0	1269	1376	2645	0,56	0,94
CELKEM													56089,5		72 296		

Využitelné solární a vnitřní tepelné zisky:

Měsíc	délka t		využitelné solární zisky pro jednotlivé orientace										CELKEM	využ. vnitřní tep. zisky $Q_{i,1}$ (kWh)	celkové využ. tep. zisky $Q_{g,1}$ (kWh)
	dny	hodiny	S	J	V	Z	H	SV	SZ	JV	JZ				
1	31	744	191	1066	61	66	384	0	0	0	0	0	1 767	1 247	3 014
2	28	672	318	1071	95	83	598	0	0	0	0	0	2 165	1 010	3 175
3	31	744	419	1168	139	117	881	0	0	0	0	0	2 724	834	3 558
4	30	720	368	855	127	101	831	0	0	0	0	0	2 283	510	2 792
5	31	744	292	471	96	70	612	0	0	0	0	0	1 542	284	1 827
6	30	720	184	241	61	38	360	0	0	0	0	0	885	157	1 042
7	31	744	116	180	37	28	245	0	0	0	0	0	607	113	720
8	31	744	119	245	41	33	274	0	0	0	0	0	712	143	856
9	30	720	174	540	65	56	427	0	0	0	0	0	1 262	322	1 584
10	31	744	265	915	79	91	544	0	0	0	0	0	1 894	714	2 607
11	30	720	231	722	54	56	377	0	0	0	0	0	1 439	1 136	2 575
12	31	744	169	638	46	41	293	0	0	0	0	0	1 186	1 287	2 474
CELKEM													18 467	7 758	26 225

Pomocné charakteristiky pro výpočet stupně využití tepelných zisků:

Číselný parametr	a_0	1	-	← hodnota pro trvale vytápěné budovy a měsíční výpočet
Časová konstanta	τ_0	15	h	← hodnota pro trvale vytápěné budovy a měsíční výpočet
Číselný parametr	a	3,4	-	

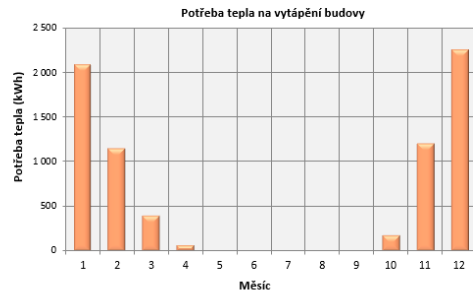
5.2.6. Potřeba tepla

POTŘEBA TEPLA

dle ČSN EN ISO 13790

Potřeba tepla na vytápění budovy Q_d (kWh):

Měsíc	délka r dny	hodiny hod	venkovní teplota $t_{a,e}$ (°C)	vnitřní teplota $t_{a,i}$ (°C)	tepelná ztráta $Q_{t,e}$ (kWh)	celkové využ. tep. zisky $Q_{t,z}$ (kWh)	potřeba tepla Q_d (kWh)
1	31	744	-1,0	20,0	5 111	3 014	2 097
2	28	672	1,0	20,0	4 333	3 175	1 158
3	31	744	4,0	20,0	3 962	3 558	404
4	30	720	9,0	20,0	2 864	2 792	71
5	31	744	14,6	20,0	1 833	1 827	7
6	30	720	17,0	20,0	1 043	1 042	1
7	31	744	18,2	20,0	720	720	0
8	31	744	18,8	20,0	856	856	0
9	30	720	13,8	20,0	1 593	1 584	9
10	31	744	9,4	20,0	2 783	2 607	176
11	30	720	4,0	20,0	3 783	2 575	1 208
12	31	744	-0,5	20,0	4 731	2 474	2 258
CELKEM ZA ROK					33 613	26 225	7 388



Měrná potřeba tepla budovy:

Měrná potřeba tepla budovy vztažená k vytápěné ploše

E_A 19,3 kWh/(m²·a)

Měrná potřeba tepla budovy vztažená k vytápěnému objemu

E_v 2,4 kWh/(m³·a)

PROSTUP TEPLA OBÁLKOU BUDOVY

dle ČSN 730540-2

Vypočtená hodnota

U_{em} 0,20 W/(m²·K)

5.2.7. Vyhodnocení

K výpočtu byl použit program na výpočet obálky budovy (MS Excel), který byl poskytnut při výuce předmětu 124YDRS. Jako výplně otvorů byly použity celodřevěné nízkoenergetické dveře Slavona KLASIK a dřevěná okna Slavona INSPIRO.

Při použití uvedených skladeb vychází prostup tepla obálkou budovy $U_{em}=0,2$ W/m²K, což odpovídá požadované hodnotě $U_{em,rec} \leq 0,22$ W/m²K pro pasivní objekty. Měrnou potřebu tepla vztaženou k vytápěné ploše pro pasivní budovy však nespĺňuje – $E_A=17,7$ kWh/m²·rok > 15 kWh/m²·rok a tím pádem je budova zařazena mezi nízkoenergetické. Prosklení v atriu je sice velkou tepelnou ztrátou, ale kompenzuje to zase velkými solárními zisky. Zbývá část obálky budovy je v rovnováze.

6. Závěr

Výslednou variantou hlavní nosné konstrukce byl vybrán model E. Ztužení bylo provedeno pomocí 2 stěn a tuhého jádra z CLT panelu tloušťky 124 mm. Veškeré tahové reakce v patách stěn budou přeneseny běžným kotvením. Po statickém výpočtu hlavní nosné konstrukce zde sice vyšly větší průřezy a průhyby, ale dispozice se díky zvětšení krajních polí a zmenšením středního pole stala lépe řešitelná. V environmentální analýze nevyhází tento model nejlépe, ale s ohledem na statiku a dispoziční řešení byl i tak vybrán jako nejlepší varianta.

Nejlepším modelem ze všech tří analýz stropních konstrukcí vychází model s KVH profily s osovou vzdáleností 625 mm. Po statickém výpočtu a návržení průřezů vychází jeho vliv na životní prostředí nejlepší a z finanční stránky vychází nejlevněji. Do této analýzy byla započítána pouze cena materiálu, která se však může lišit podle dodavatele, a tak změnit konečnou cenu.

Po návržení skladeb na hodnoty součinitele prostupu tepla pro nízkoenergetické budovy, které všechny splnily, byl spočítán průměrný prostup tepla obálkou budovy. Výsledná hodnota $U_{em}=0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ je menší než hodnota pro pasivní domy a tím jsou navržené skladby i použité výplně odpovídající. Měrná potřeba tepla budovy se však do hodnoty pro pasivní objekty ($E_A \leq 15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$) nevešla, a proto je objekt klasifikován pouze jako nízkoenergetický.

7. Seznam příloh

Příloha č. 1 – rešerše – Budovy s masivním skeletem

Příloha č. 2 – stavebně konstrukční řešení

Příloha č. 3 – architektonicko-stavební řešení

8. Seznam použité literatury

8.1. Programy

[1] Katedra konstrukcí pozemních staveb [Výuka]. Katedra konstrukcí pozemních staveb [Department info] [online]. Copyright © 2008 [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: <http://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&part=vyuka&sub=obor&type=o-c&kod=124YDSR>

8.2. Technické údaje

[1] Dřevěné vchodové dveře | Slavona – dřevěná okna a dveře. Dřevěná okna, dřevěné dveře | Slavona – dřevěná okna a dveře [online]. Copyright ©2019 Slavona.cz [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: <https://www.slavona.cz/vchodove-dvere/#specifikace>

[2] Dřevěná designová okna INSPIRO | Slavona – dřevěná okna a dveře. Dřevěná okna, dřevěné dveře | Slavona – dřevěná okna a dveře [online]. Copyright ©2019 Slavona.cz [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: <https://www.slavona.cz/okna-inspiro/#specifikace>

9. Seznam obrázků

Obrázek 1 – příčný masivní skelet s CLT ztužujícími stěnami – model A	10
Obrázek 2 – půdorys 1.NP konstrukčního systému – model A	11
Obrázek 3 – výsledné reakce sloupů – model A	11
Obrázek 4 – výsledné reakce stěn – model A	12
Obrázek 5 – příčný masivní skelet s CLT ztužujícími stěnami – model B	13
Obrázek 6 – půdorys 1.NP konstrukčního systému – model B	14
Obrázek 7 – výsledné reakce sloupů – model B	14
Obrázek 8 – výsledné reakce stěn – model B	15
Obrázek 9 – příčný masivní skelet s ŽB ztužujícími stěnami – model C	16

Obrázek 10 – půdorys 1.NP konstrukčního systému – model C	17
Obrázek 11 – výsledné reakce sloupů – model C	17
Obrázek 12 – výsledné reakce stěn – model C	18
Obrázek 13 – příčný masivní skelet s ŽB ztužujícím jádrem – model D	19
Obrázek 14 – půdorys 1.NP konstrukčního systému – model D	19
Obrázek 15 – výsledné reakce sloupů – model D	20
Obrázek 16 – výsledné reakce stěn – model D	20
Obrázek 17 – příčný masivní skelet s CLT ztužujícími stěnami – model E	21
Obrázek 18 – výsledné reakce sloupů – model E	22
Obrázek 19 – půdorys 1.NP konstrukčního systému – model E	22
Obrázek 20 – výsledné reakce stěn – model E	23
Obrázek 21 – schéma stropní konstrukce – rostlé dřevo, osová vzdálenost 625 mm.....	28
Obrázek 22 – schéma stropní konstrukce – rostlé dřevo, osová vzdálenost 312,5 mm..	28
Obrázek 23 – schéma stropní konstrukce – Steico nosník, osová vzdálenost 400 mm..	29
Obrázek 24 – schéma stropní konstrukce – Steico nosník, osová vzdálenost 312,5 mm	29

10. Seznam tabulek

Tabulka 1 – shrnutí všech modelů hlavní nosné konstrukce	23
Tabulka 2 – jednotkové hodnoty energie, CO ₂ a SO ₂ pro lepené lamelové dřevo a železobeton	24
Tabulka 3 – výsledné hodnoty energie, CO ₂ a SO ₂ pro hlavní nosnou konstrukci	24
Tabulka 4 – výsledné reakce stěn a sloupů	25
Tabulka 5 – vnitřní síly modelů A a E	26
Tabulka 6 – průhyby průvlaku – model A a E	27
Tabulka 7 – výsledné rozměry průvlaků a jejich využití	27
Tabulka 8 – výsledné rozměry sloupů a jejich využití	27
Tabulka 9 – jednotkové hodnoty energie, CO ₂ a SO ₂ pro rostlé a aglomerované dřevo	30
Tabulka 10 – výsledné hodnoty energie, CO ₂ a SO ₂ pro modely stropních konstrukcí.	30
Tabulka 11 – finanční analýza jednotlivých modelů stropních konstrukcí	31
Tabulka 12 – vnitřní síly na stropních trámech/nosnících	32
Tabulka 13 – výsledné průhyby stropních trámů/nosníků	32
Tabulka 14 – výsledné využití stropních trámů a nosníků	33