

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

Katedra konstrukcí pozemních staveb



**Energeticky efektivní renovace bytového
domu v Českých Budějovicích**

Energy-efficient renovation of an apartment
building in České Budějovice

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Jana Šneberková

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí

Vedoucí práce: Ing. Kateřina Mertenová, Ph.D.

Praha 2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Šneberková	Jméno: Jana	Osobní číslo: 477145
Zadávající katedra: Katedra konstrukcí pozemních staveb (K124)		
Studijní program: Budovy a prostředí		
Studijní obor/specializace: Budovy a prostředí		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Energeticky efektivní renovace bytového domu v Českých Budějovicích
Název diplomové práce anglicky: Energy-efficient renovation of an apartment building in České Budějovice
Pokyny pro vypracování:
- analýza stávajícího stavu konstrukcí a technických zařízení
- posouzení energetické náročnosti stávajícího objektu
- návrh variant opatření vedoucích ke snížení energetické náročnosti objektu a jejich tepelně technické posouzení
- návrh stavebních detailů
- posouzení letní stability a návrh variant stínění, optimalizace výplní otvorů
- návrh variant energetických zdrojů (OZE) a systému větrání
Seznam doporučené literatury:
IBO: Details for Passive Houses: Renovations
Hazucha, Juraj: Konstruktivní detaily pro pasivní a nulové domy
Gabriel, Ingo - Ladener, Heinz: Od staré stavby k nízkoenergetickému a pasivnímu domu
Tywoniak, Jan - kol.: Nízkoenergetické domy 1, 2, 3
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Kateřina Mertenová, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce: 27.9.2022
Termín odevzdání DP v IS KOS: 09.01.2023
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku
Podpis vedoucího práce
Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.	
27.9.2022	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Bc. Jana Šneberková

Název diplomové práce: Energeticky efektivní renovace bytového domu v Českých Budějovicích

Základní část: KONSTRUKCE POZEMNÍCH STAVEB podíl: 70 %

Formulace úkolů: - analýza stávajícího stavu konstrukcí

- posouzení energetické náročnosti stávajícího objektu
- návrh variant opatření vedoucích ke snížení energetické náročnosti objektu
- posouzení variant KPS a TZB dle energetické efektivity
- posouzení letní stability objektu
- návrh řešení konstrukčních detailů

Podpis vedoucího DP:

Datum: 14.12.2022

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ BUDOV podíl: 20 %

Konzultant (jméno, katedra): Ing. Pavla Dvořáková, Ph.D.
K125 - Katedra technických zařízení budov

- Formulace úkolů: - návrh variant energetických zdrojů
- návrh koncepce větrání a předběžný návrh dimenzí VZT systému
 - schémata koncepce TZB pro jednotlivé varianty

Podpis konzultanta:

Datum: 19.12.2022

3. Část: BETONOVÉ A ZDĚNÉ KONSTRUKCE podíl: 10 %

Konzultant (jméno, katedra): Ing. Michaela Frantová, Ph.D.
K133 - Katedra betonových a zděných konstrukcí

- Formulace úkolů: - předběžný statických výpočet vybraných nosných konstrukcí, ověření únosnosti zdiva
- konstrukční schéma (rozpracovaný výkres tvaru)
 - technická zpráva

Podpis konzultanta:

Datum: 14.12.2022

4. Část: - podíl: - %

Konzultant (jméno, katedra): -

Formulace úkolů: -

Podpis konzultanta:

Datum:



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem uvedenou diplomovou prací na téma „*Energeticky efektivní renovace bytového domu v Českých Budějovicích*“ vypracovala samostatně, za odborného vedení vedoucí práce Ing. Kateřiny Mertenové, Ph.D. Všechnu použitou literaturu a materiály jsem uvedla v seznamu použitých zdrojů.

V Praze dne.....

.....

Bc. Jana Šneberková



PODĚKOVÁNÍ

V první řadě patří mé poděkování vedoucí práce Ing. Kateřině Mertenové, Ph.D. za cenné rady, odborné připomínky, věnovaný čas a pomoc při vypracování této diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala Ing. Pavle Dvořákové, Ph.D. a Ing. Michaele Frantové, Ph.D. za poskytnuté konzultace. Děkuji také celé své rodině a přátelům, kteří mne v průběhu studia podporovali a věřili v jeho zdárné dokončení.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce zpracovává návrh energeticky efektivní renovace bytového domu v Českých Budějovicích na základě provedeného energetického posouzení stávajícího stavu objektu.

Návrh je proveden s cílem snížení energetické náročnosti a splnění požadavků pro pasivní budovy. Renovační opatření byla řešena ve variantách s úpravami konstrukcí tepelné obálky a optimalizací systémů TZB. Jednotlivé varianty i jejich kombinace byly následně posuzovány dle vlivu na snížení hodnoty ukazatelů energetické náročnosti. Návrh byl doplněn o posouzení letní tepelné stability kritické místnosti za účelem dosažení požadovaného komfortu v interiéru.

KLÍČOVÁ SLOVA

- renovace
- energetická náročnost budovy
- bytový dům
- energeticky úsporná opatření
- pasivní budovy
- tepelná stabilita místnosti

ABSTRACT

This diploma thesis elaborates on an energy-efficient renovation design of an apartment building in České Budějovice that is carried out on the basis of energy assessment of the current state of the building.

The proposal aims to reduce the energy consumption and to meet requirements for passive buildings. Renovation measures address options with construction modifications of the thermal envelope and optimization of technical building systems. Each option and their combinations were subsequently assessed according to their influence on reducing the value of energy efficiency indicators. The proposal was completed with a summer thermal stability assessment of the critical room in order to achieve the desired comfort in the interior.

KEY WORDS

- renovation
- energy efficiency of the building
- apartment building
- energy saving measures
- passive buildings
- thermal stability

Obsah

ÚVOD	9
1 INFORMACE O OBJEKTU.....	10
1.1 Umístění objektu	10
1.2 Základní údaje o objektu.....	11
1.3 Konstrukční a materiálové řešení	13
1.4 Stávající stav objektu.....	16
1.4.1 Možnosti řešení zjištěných vad	16
1.5 Technická zařízení.....	18
1.5.1 Vytápění.....	18
1.5.2 Příprava teplé vody	19
1.5.3 Větrání	19
1.5.4 Zásobování elektrickou energií.....	19
2 ENERGETICKÉ POSOUZENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU OBJEKTU	21
2.1 Vstupní parametry výpočtu	22
2.2 Hranice vytápěné zóny.....	22
2.3 Konstrukce na hranici vytápěné zóny	24
2.4 Vyhodnocení energetické náročnosti stávajícího stavu objektu	32
3 NÁVRH VARIANT RENOVAČNÍCH OPATŘENÍ.....	34
3.2 Úprava obálky	37
3.2.1 Varianta 1	38
3.2.3 Varianta 2.....	41
3.2.4 Varianta 3.....	43
3.3 Optimalizace systémů TZB.....	48
3.3.1 Varianta A.....	48
3.3.2 Varianta B.....	50
3.3.3 Varianta C.....	53
4 ZHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH VARIANT	55
5 POSOUZENÍ LETNÍ TEPELNÉ STABILITY OBJEKTU	59
5.1 Stávající stav.....	60
5.2 Varianta 3 + optimalizace TZB.....	62
5.3 Noční větrání.....	64
5.4 Vnější stínění.....	66
ZÁVĚR.....	68
SEZNAM LITERATURY	70
SEZNAM POUŽITÝCH NOREM.....	73



SEZNAM OBRÁZKŮ	74
SEZNAM TABULEK	76
SEZNAM GRAFŮ.....	78
SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK.....	79
SEZNAM ZKRATEK	80
SEZNAM POUŽITÝCH PROGRAMŮ.....	80
SEZNAM PŘÍLOH	81

ÚVOD

V dnešní době stále roste spotřeba energie a s tím i její cena. Za účelem ochrany přírodních zdrojů a poklesu nákladů se tak stále zpřísňují požadavky na úsporu energie. Trvale udržitelný přístup vztažený k budovám zahrnuje nejen zmíněnou spotřebu energie, ale zvažují se i vstupní a provozní náklady či komfort v interiéru. Budovy splňující tato kritéria jsou nazývané jako pasivní či téměř nulové a může se jednat nejen o novostavby, ale i o renovované objekty [1; 2]

K renovaci starších objektů dochází především z důvodu poruch stávajících konstrukcí či systémů, další motivací může být i nevyhovující komfort v interiéru. Takovéto sanace mají však i velký potenciál energetických úspor. Pokud objekt není v havarijním stavu a konstrukce vyhovují z hlediska statického posouzení, je žádoucí upřednostnit renovaci před demolicí stavby. Volba tohoto řešení má ekonomické, ale i environmentální a časové výhody. Výdaje spojené s demolicí a novou výstavbou totiž zahrnují náklady na samotné odstranění stavby, uložení odpadu a novostavbu. Z environmentálního hlediska jsou renovace žádoucí díky spotřebě menšího množství materiálu, jehož výroba je spojená s velkým množstvím svázané energie. V neposlední řadě vyzdvihují renovaci časové úspory. Sanaci lze totiž provádět po etapách a za stálého provozu objektu. Kvalitně provedená renovace má pak zásadní vliv i na snížení energetické náročnosti sanovaného objektu [3].

Cílem závěrečné práce je provést energetické posouzení stávajícího stavu řešeného objektu, analyzovat příčiny tepelných ztrát a navrhnout varianty vhodných renovačních opatření. Dále bude řešen komfort v interiéru posouzením letní tepelné stability v kritické místnosti. Vše bude doplněno příslušnou výkresovou dokumentací.

1 INFORMACE O OBJEKTU

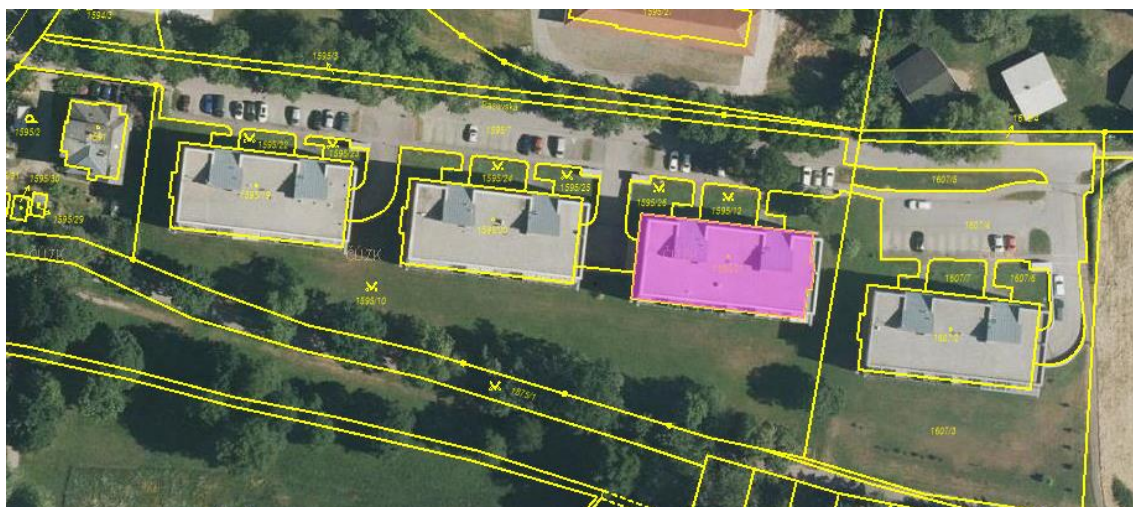
1.1 Umístění objektu

Řešený bytový dům se nachází v Českých Budějovicích, statutárním městě, správní a kulturní metropoli Jihočeského kraje [4].

Objekt je situován v administrativní části České Budějovice 2 na levém břehu řeky Vltavy a z jižní strany přímo sousedí s přírodním parkem Stromovka (obrázek 1). Budova je postavena v ulici Pasovská na pozemku o celkové výměře 764 m² s parcelním číslem 1595/21 (obrázek 2). Na stavbu se nevztahují žádné způsoby ochrany nemovitosti a vlastníci jednotlivých jednotek tvoří společenství vlastníků [5].



Obrázek 1 - Umístění objektu [6]



Obrázek 2 - Katastrální mapa s vyznačením objektu [5]

1.2 Základní údaje o objektu

Objekt byl dostavěn a kolaudován v roce 2007, je využíván výhradně za účelem bydlení a rozdělen na dva obytné celky. Každý celek má vlastní vchod a číslo orientační – 1600/10 a 1600/12. Celkem se v budově nachází 24 bytových jednotek a v suterénu jsou umístěny soukromé garáže, technická, úklidová místnost a dvě kolárny.

Bytový dům je převážně zděný se čtyřmi nadzemními a jedním částečně zapuštěným podlažím. Půdorys objektu má tvar obdélníka o rozměrech 19,6 m x 39,3 m a hlavní vchody jsou orientovány k severu do ulice Pasovská. Přístup do domu je zajištěn přes schodišťové mezipodesty mezi 1. PP a 1. NP, do podzemních garáží je navržen vjezd ze západní strany bytového domu. Přístup na úroveň 1. PP je umožněn díky terénním úpravám v okolí objektu, vybudování opěrných zdí a venkovní rampy.

Svislé nosné konstrukce jsou převážně zděné, v podzemním podlaží doplněny o železobetonové sloupy a stěny, které tvoří součást bílé vany. Vodorovné konstrukce jsou navrženy z monolitického železobetonu. Objekt je z velké části zastřešen plochou střechou, nad schodišťovým prostorem se však nachází konstrukce šikmé střechy výškově vystupující nad úroveň střechy ploché.

Řešený objekt je součástí hromadně vybudovaného bytového komplexu (*obrázek 3*). Tento komplex tvoří celkem čtyři bytové domy shodného architektonického i konstrukčního provedení.



Obrázek 3 - Komplex bytových domů [7]



Obrázek 4 - Řešený bytový dům: JZ pohled [7]



Obrázek 5 - Řešený bytový dům: SV pohled [7]

1.3 Konstrukční a materiálové řešení

Konstrukční systém objektu je stěnový. Dispozice nadzemních podlaží je pravidelná, nosnými stěnami příčně dělená na šest částí. Těmto konstrukčním polím odpovídá rozdělení na jednotlivé bytové jednotky (*obrázek 7*).

Bytový dům je založen na základových pásech, navazující podkladní deska byla provedena z vodostavebného betonu a tvoří základ bílé vany.

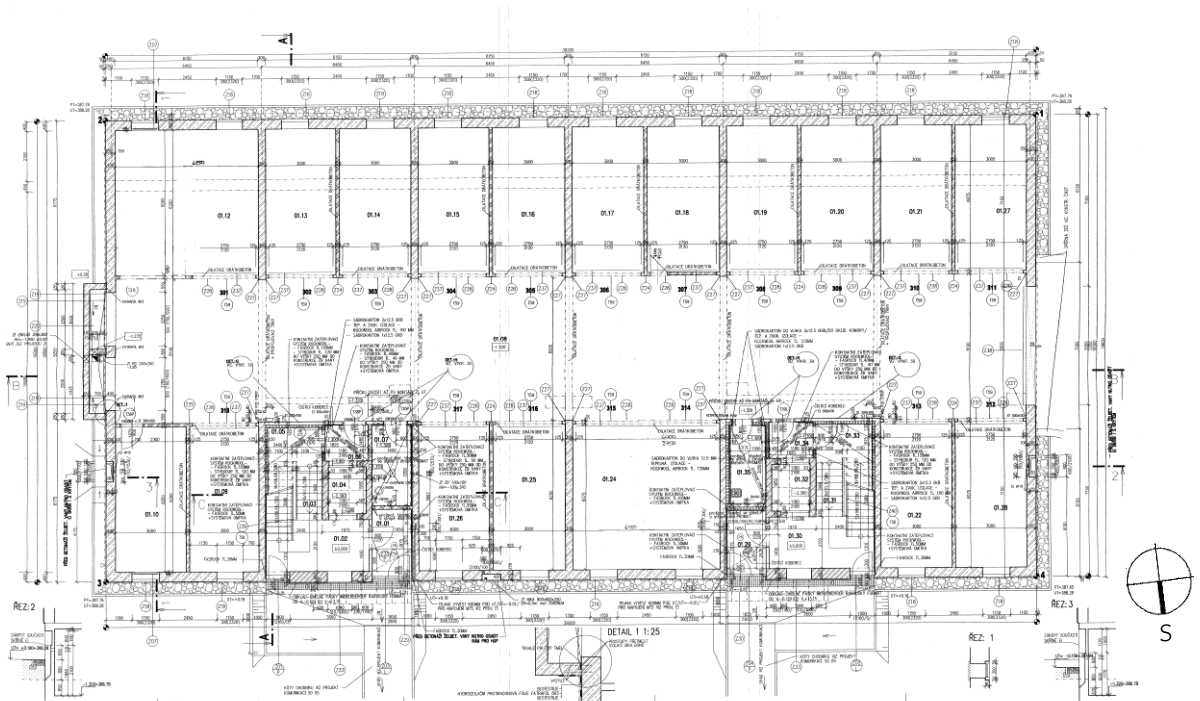
Svislé nosné konstrukce podzemního podlaží tvoří železobetonové stěny tloušťky 400 mm, které jsou součástí bílé vany (*obrázek 9*). Obvodové konstrukce nadzemních podlaží jsou zděné z keramických prvků POROTHERM, jejichž typ se v rámci jednotlivých podlaží a dle orientace ke světovým stranám liší. Svislý nosný systém kompletují vnitřní nosné stěny tloušťky 300 mm ze šalovacích tvárníc zalitých betonem. Tyto tvárnice jsou ve třetím i čtvrtém nadzemním podlaží nahrazeny nosným keramickým zdivem 30 AKU o tloušťce 300 mm. U příček, jež tvoří dispozice jednotlivých bytových jednotek, bylo použito zdivo POROTHERM tloušťky 125 mm a zdivo z cihel dvouděrových tl. 150 mm. Oddělení jednotlivých garáží v 1.PP bylo realizováno zdivem z cihel plných taktěž o tloušťce 150 mm.

Hlavní nosnou vodorovnou konstrukcí je ve všech podlažích monolitická železobetonová stropní deska tloušťky 250 mm. Tento nosný prvek doplňují v podzemním podlaží příčné ŽB průvlaky (300 mm x 560 mm) přenášející zatížení od vnitřních nosných stěn NP a také podélný ŽB průvlak (450 mm x 600 mm) podpírající jižní obvodovou stěnu objektu (*obrázek 9*).

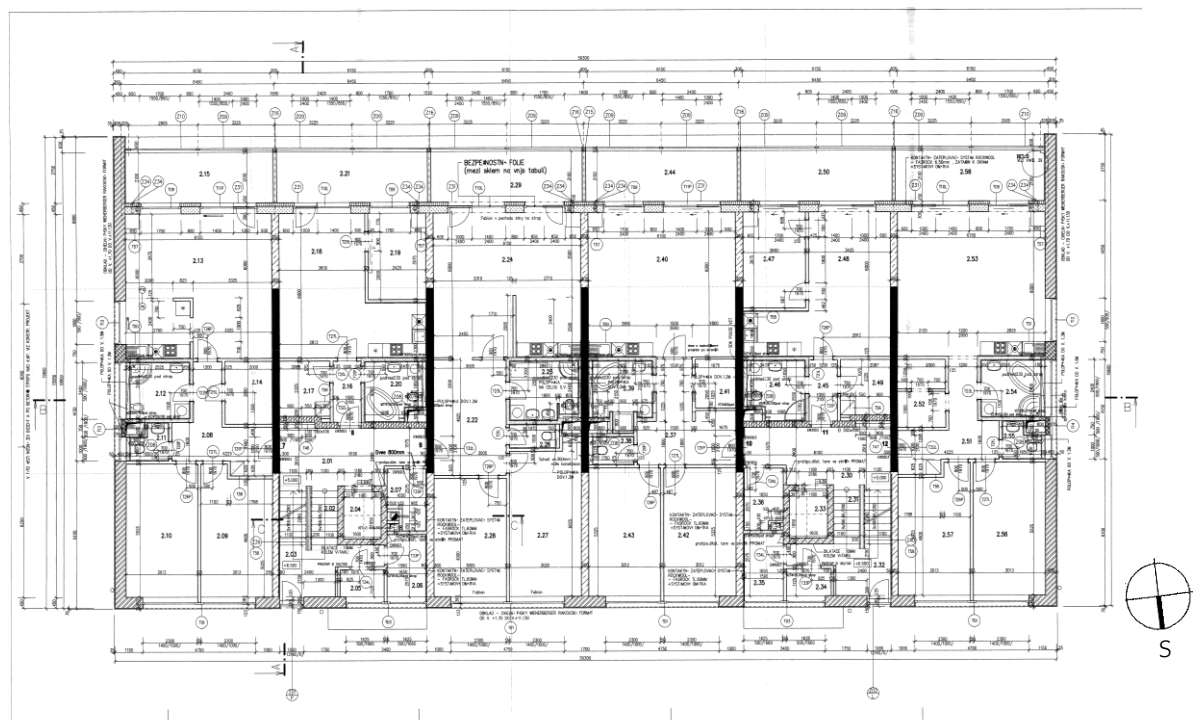
K zastřešení řešeného objektu byla navržena plochá střecha s nosnou ŽB deskou tloušťky 250 mm. Plochou střechu v místech nad schodišťovým prostorem nahrazuje střecha pultová, u které je zatížení přenášeno dřevěnými krokviemi 120/180. Zmíněné konstrukce nad schodišti výškově vystupují nad úroveň ploché střechy a umožňují tak revizní vstup okny na plochou střechu.

Funkci vertikální komunikace mají v objektu dvě železobetonová prefabrikovaná schodiště a dva výtahy vedoucí v ŽB jádře.

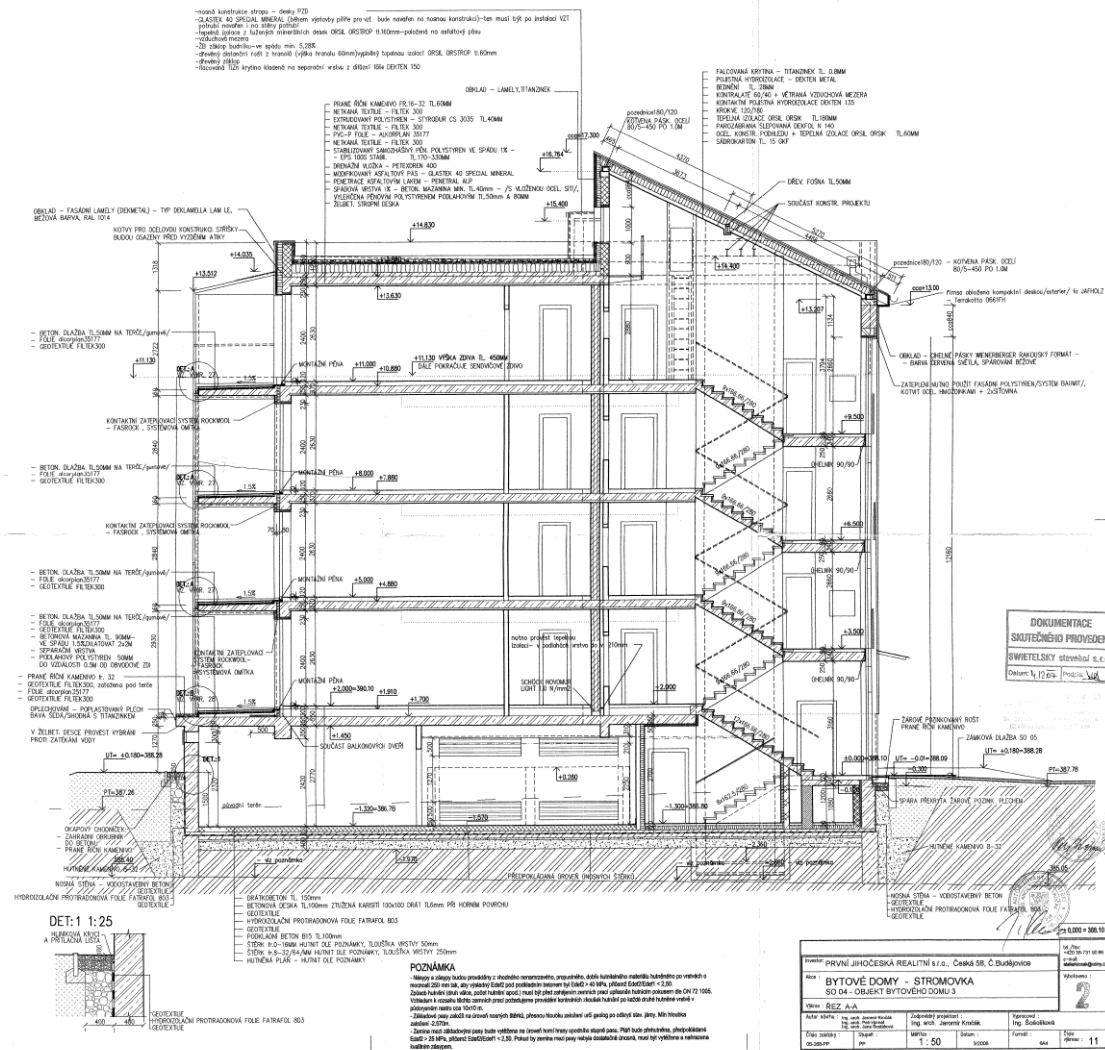
Okenní otvory vyplňují dřevěná Eurookna 68 s dvojsklem a těmito parametry: $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_f = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Shodné vlastnosti mají i balkonové dveře na jižní straně objektu.



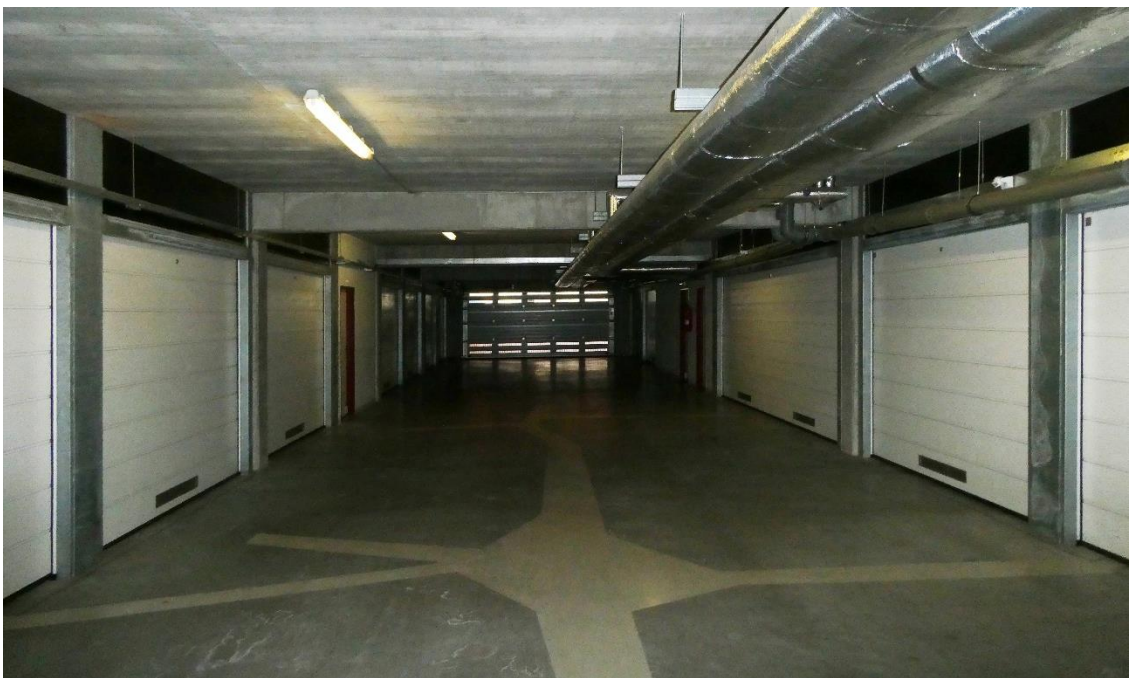
Obrázek 6 - Půdorys 1. PP [8]



Obrázek 7 - Půdorys 2. NP: typické podlaží objektu [8]



Obrázek 8 - Řez objektu vedený schodištvým prostorem [8]



Obrázek 9 - Prostory 1. PP: viditelné nosné konstrukce [7]

1.4 Stávající stav objektu

Objekt byl dostavěn v roce 2007, jedná se tedy o poměrně novou stavbu. Od kolaudace nebyly provedeny žádné renovace, kromě lokální výměny zasklení oken.

Stávající stav objektu je poznamenán několika vadami, které narušují vizuální podobu stavby či dokonce omezují její správnou funkci. V podlaze 1. PP vznikly trhliny, zřejmě způsobené příliš dlouhými dilatačními úseky v bílé vaně.

Dále jsou obyvatelé domu nespokojeni s akustickými podmínkami v bytových jednotkách, především v prostorách koupelen a WC. Dělicí konstrukce, které mají tvořit taktéž zvukovou izolaci, jsou oslabeny vedením rozvodů TZB.

Poslední zjištěnou vadou je odlepování cihelných pásků fasádního obkladu budovy, které pravděpodobně způsobila kondenzace vody. Tento problém byl již několikrát řešen lokální náhradou obkladu. Jelikož se však jedná o opakující se vadu, bude třeba zvážit další možnosti realizace fasády se zachováním vizuální podoby objektu.

1.4.1 Možnosti řešení zjištěných vad

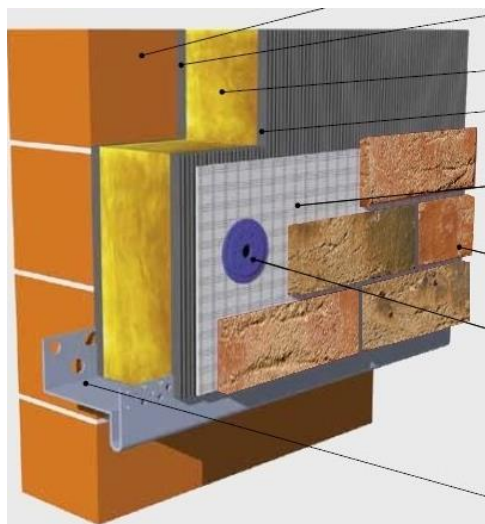
Trhliny v podlaze 1. PP již byly odstraněny aplikací pružné hydroizolační stěrky. Dle mého názoru by toto řešení mohlo vést pouze k odsunutí vzniku trhlin do jiného místa konstrukce. Správně provedená injektáž bude mít pravděpodobně větší pevnost v tahu než beton [9], z čehož plyne, že další tahové trhliny vzniknou opět v betonové konstrukci. Vhodným řešením by bylo proříznutí dodatečné dilatační spáry v místě nejmenšího namáhání konstrukce. Tomuto sanačnímu opatření musí předcházet detailní průzkum vad a statické posouzení konstrukce.

Akustický diskomfort v bytových jednotkách lze řešit realizací dodatečné volně stojící předstěny u mezibytových stěn. Předstěna musí být k ostatním konstrukcím stěn, podlahy a stropu připojena pružně, bude vyplněna izolací snižující přenos hluku a z interiérové strany opláštěna zdvojeným sádrokartonovým obkladem.

Návrh energetické optimalizace objektu bude zcela jistě zahrnovat zateplení obvodových stěn. Otázku renovace cihlových pásků je tedy nutné zapracovat do návrhu nové skladby obvodové stěny. Stávající vizuální podoby cihlové fasády lze dosáhnout několika způsoby. Fasádu je možné realizovat z lícových cihel (*obrázek 10*), cihlových pásků (*obrázek 11*) či se silikátovou vnější omítkou pomocí speciálních decor šablon CEMIX (*obrázek 12*) [10].



Obrázek 10 - Řešení s lícovými cihlami [11]



Obrázek 11 - Řešení s cihlovými páskami [12]



Obrázek 12 - Řešení pomocí decor šablon [10]

Nejvhodnější způsob realizace cihlové fasády pro řešený objekt je pomocí cihlových pásků lepených na tepelnou izolaci. Pro zamezení zmiňované kondenzace vody pod cihlovými páskami musí být dodržen správný technologický postup lepení a spárování obkladu. Pásky nesmí být namáčeny, vrstva naneseného lepidla nesmí být vlhčena a hotový podklad má být chráněn před deštěm. Spárování obkladů se provádí spárovací maltou vhodnou pro realizaci povrchové úpravy s vyšší zátěží [13].

Lícové cihly není vhodné použít z důvodu komplikací spojených se založením této fasádní konstrukce. Zároveň by došlo k nežádoucímu nárůstu tloušťky obvodové stěny. Omítka provedená dle speciálních decor šablon naopak nesplňuje architektonické požadavky, řešení cihlové fasády je příliš zjednodušené.

1.5 Technická zařízení

Řešený objekt je napojen na inženýrské sítě vedené v ulici Pasovská (obrázek 13). Bytový dům má technickou místnost s vlastním zdrojem tepla a využívá dva energonositele: zemní plyn a elektřinu.



Obrázek 13 - Napojení objektu na inženýrské sítě [14]

1.5.1 Vytápění

Bytový dům je vytápěn centrálně dvěma plynovými kondenzačními kotly, které jsou umístěny v technické místnosti v 1. PP (obrázek 14). Závěsné kotle Vaillant VU ecoTEC plus, každý s výkonem 12,5 – 45,0 kW a nastavitelnou teplotou topné vody v rozsahu 30 až 80 °C, byly instalovány v době realizace objektu (r. 2007).

V objektu je provedena dvoutrubková horizontální soustava s průtokoměry na začátku připojovacích potrubí do jednotlivých zón – bytových jednotek a společných prostor. Rozvody otopné soustavy jsou vedeny k otopným tělesům skrytě v podlaze. V bytových jednotkách jsou pod okny umístěna desková otopná tělesa, u francouzských oken teplovodní konvektory a v koupelnách trubková otopná tělesa. Ve společných prostorách jsou instalována desková otopná tělesa.

1.5.2 Příprava teplé vody

Příprava teplé vody je taktéž řešena centrálně v technické místnosti 1. PP. Teplá voda je ohřívána a akumulována v zásobníkovém ohřivači Reflex (obrázek 14). Rozvody teplé vody jsou společně s vodou studenou a cirkulační vedeny pod stropem podzemního podlaží, navazující stoupací potrubí v šachtách přivádí vodu do jednotlivých podlaží k bytovým jednotkám a k zařizovacím předmětům je teplá a studená voda rozváděna v drážkách zdí a v předstěnách.

1.5.3 Větrání

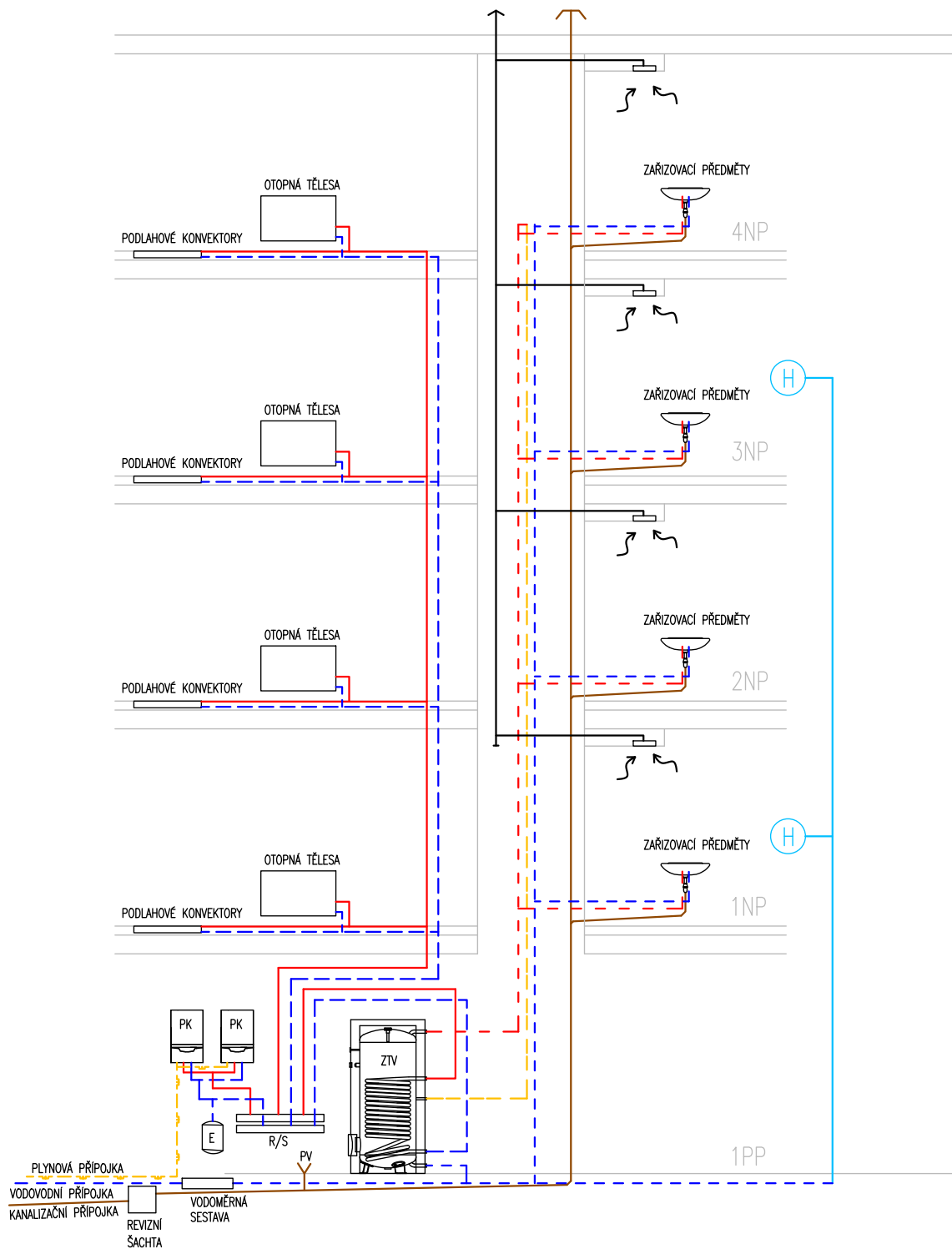
Výměna vzduchu v objektu je zajišťována nuceným podtlakovým větráním. Vzduch je přiváděn přirozeně otevíráním oken. Pro odvod vzduchu jsou v koupelnách a na záchodech navrženy radiální ventilátory, z kuchyní je vzduch odváděn přes digestoř. Odváděný vzduch je dále veden v podhledu do šachet vzduchotechnickým potrubím o průměru 150 – 200 mm a následně přes svislá potrubí odvětráván na střechu.

1.5.4 Zásobování elektrickou energií

Elektřina je přiváděna ze sítě do objektu přes hlavní domovní skříň (HDS). V budově jsou realizovány vnitřní světelné a zásuvkové rozvody, samostatné obvody pro spotřebiče a zvonky.



Obrázek 14 - Technická místnost [7]



Obrázek 15 – Energetické schéma: stávající stav objektu

2 ENERGETICKÉ POSOUZENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU OBJEKTU

Pro účinný návrh renovačních opatření je nutné nejprve zhodnotit stávající stav energetické náročnosti budovy.

Energetická náročnost budovy (ENB) se stanovuje na základě ukazatelů energetické náročnosti: primární energie z neobnovitelných zdrojů za rok, celkové dodané energie za rok, dílčí dodané energie pro technické systémy za rok, průměrného součinitele prostupu tepla, součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici a účinnosti technických systémů, které tak charakterizují stavebně-energetickou kvalitu budovy. Výsledné hodnoty jednotlivých parametrů jsou uváděny v průkazu energetické náročnosti (PENB). Tento průkaz tvoří protokol a grafické znázornění, v rámci kterého je budova zařazena do jedné z klasifikačních tříd A-G [15; 16].

Ke zhodnocení energetické náročnosti stávajícího stavu řešeného objektu byl využit nástroj *Potřeba tepla* [17], který ve výpočtu ukazatelů ENB: průměrného součinitele prostupu tepla U_{em} [W/m²·K] a měrné potřeby tepla na vytápění E_A [kWh/m²·rok], zohledňuje tepelné ztráty a teplené zisky budovy. Zásadními vstupními daty výpočtu jsou i součinitelé prostupu tepla jednotlivých konstrukcí U [W/m²·K], jejichž hodnoty taktéž patří mezi zmíněné ukazatele energetické náročnosti budovy.

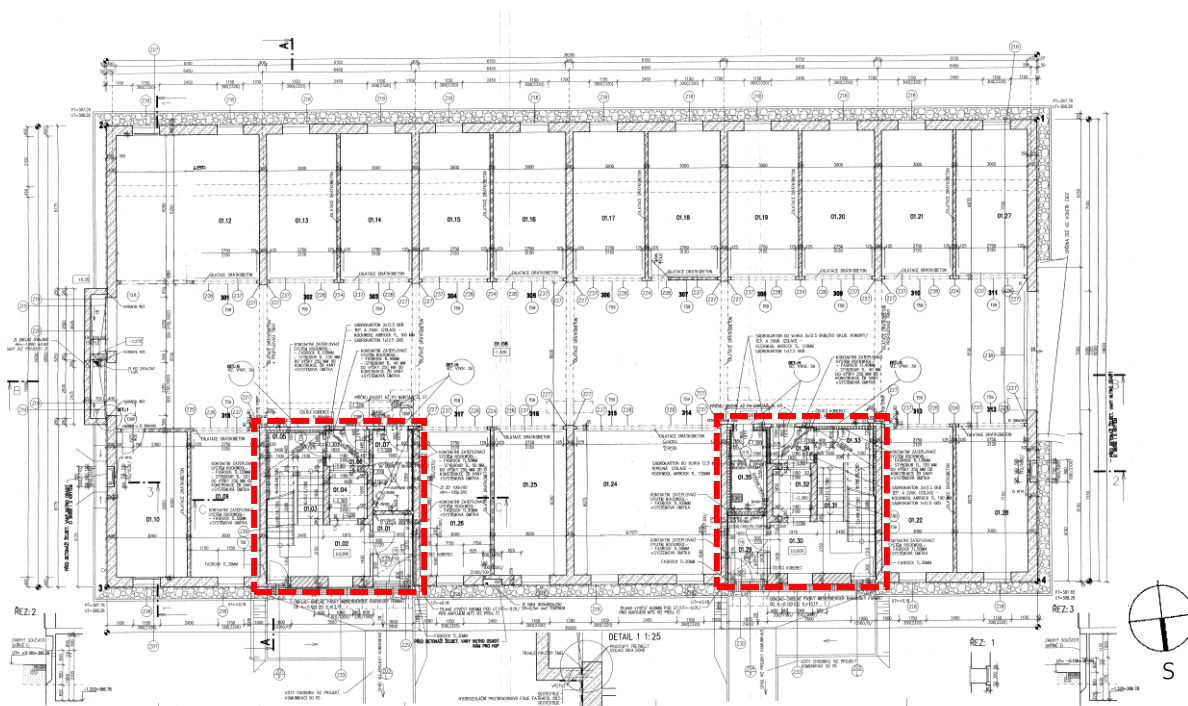
Výpočet je proveden dle metodiky ČSN EN ISO 52016-1 [18] (nahrazuje ČSN EN ISO 13790). Součinitelé prostupu tepla jednotlivých konstrukcí i měrné tepelné ztráty prostupem a větráním jsou stanoveny dle norem: ČSN 73 0540-3 [19], ČSN 73 0540-4 [20], ČSN EN ISO 13370 [21], ČSN EN ISO 13789 [22], ČSN EN ISO 10077-1 [23].

Vstupní parametry výpočtu jsou shrnuté níže. Základním zdrojem byla dostupná projektová dokumentace [8] potřebná ke stanovení hranice vytápěné zóny a rozboru jednotlivých konstrukcí.

2.1 Vstupní parametry výpočtu

Počet osob:	$n_{os} = 76$ os
Objem vytápěné zóny:	$V = 8\,970$ m ³
Plocha obalových konstrukcí vytápěné zóny:	$A = 2\,958$ m ²
Podlahová plocha vytápěné zóny:	$A_f = 2\,488$ m ²
Objemový faktor tvaru budovy:	$A/V = 0,33$
Objem vnitřního vzduchu:	$V_a = 6\,548$ m ³
Objemový tok vzduchu při $\Delta p = 50$ Pa:	$n_{50} = 1,5$ 1/h
Účinnost rekuperace:	$\eta = 0\%$
Lokalita:	České Budějovice

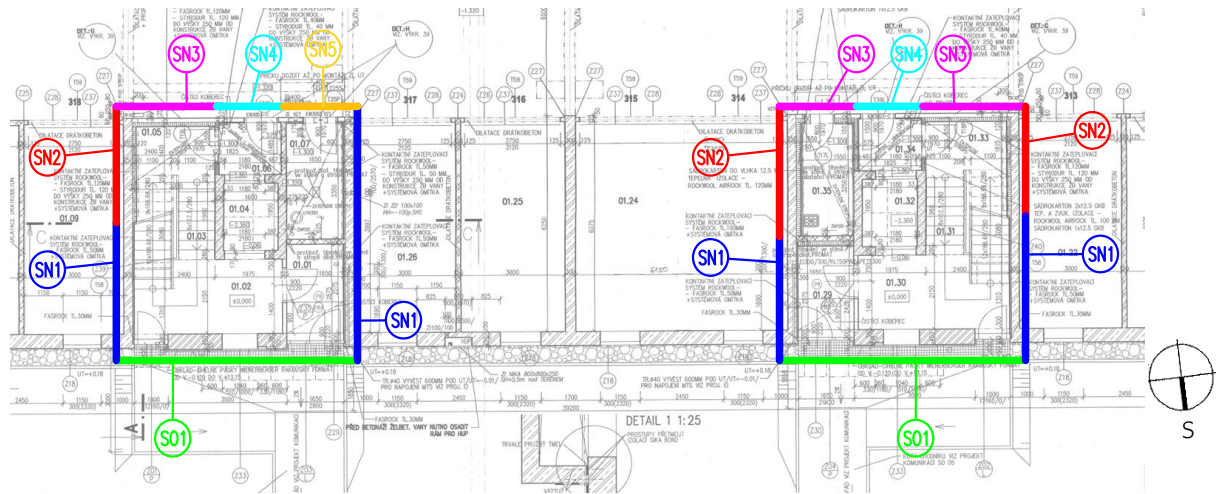
2.2 Hranice vytápěné zóny



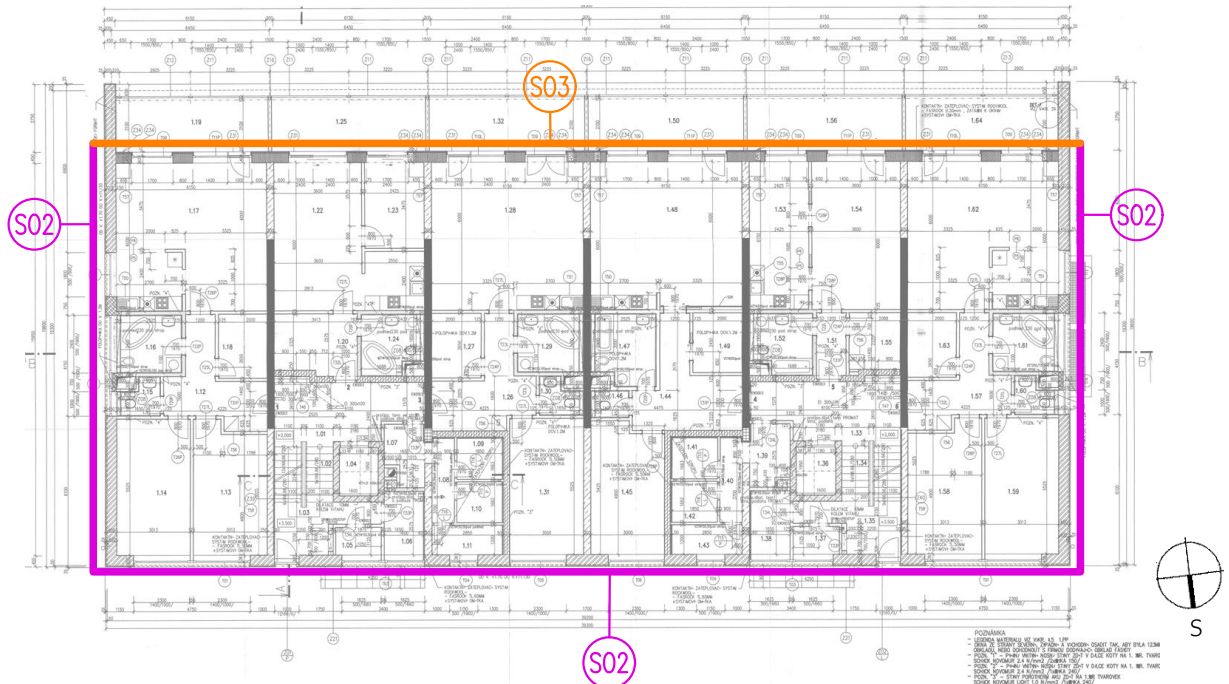
Obrázek 16 - Hranice vytápěné zóny 1. PP [8]



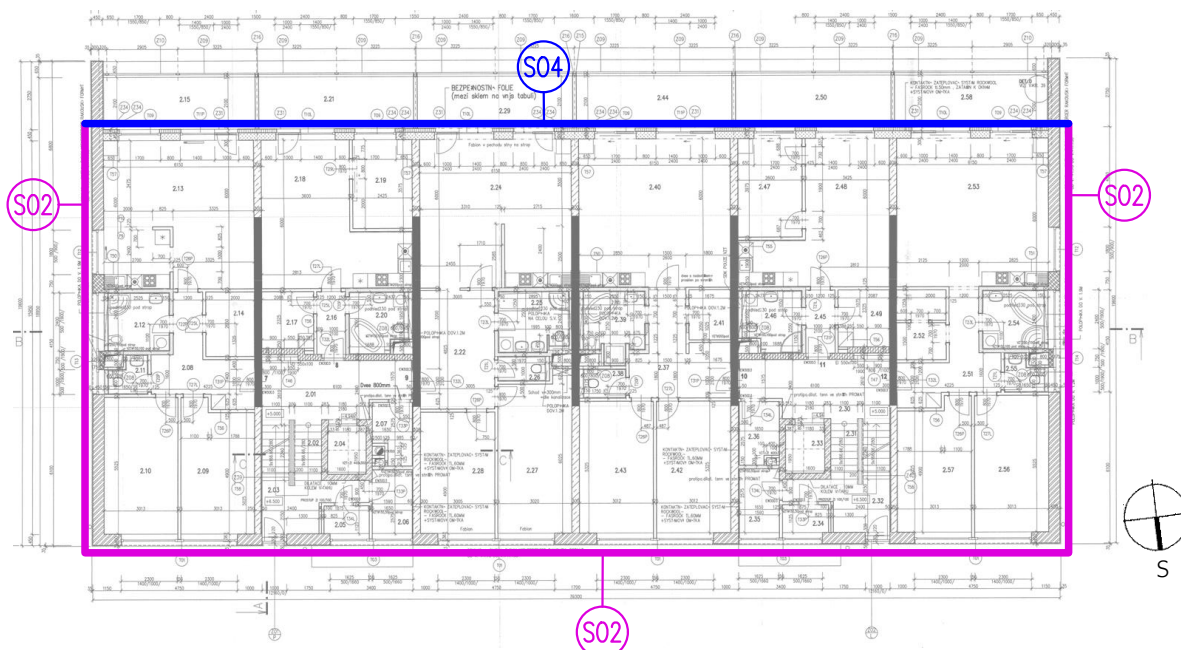
2.3 Konstrukce na hranici vytápěné zóny



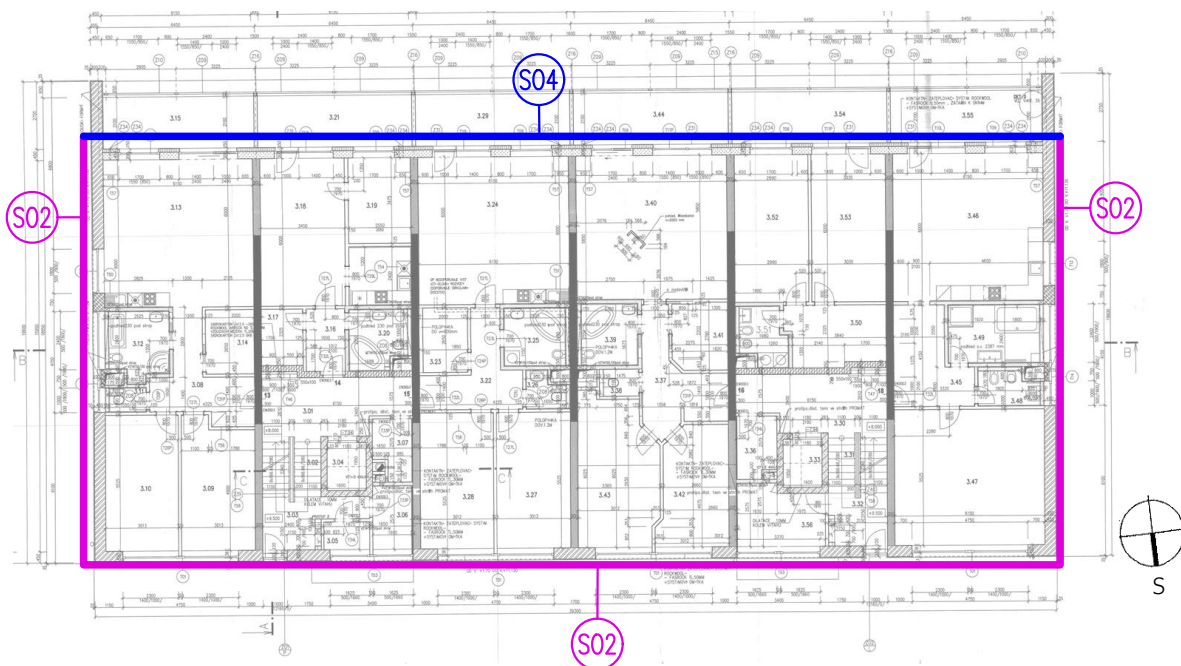
Obrázek 19 - Skladby konstrukcí na hranici vytápěné zóny v 1. PP [8]



Obrázek 20 - Skladby konstrukcí na hranici vytápěné zóny v 1. NP [8]



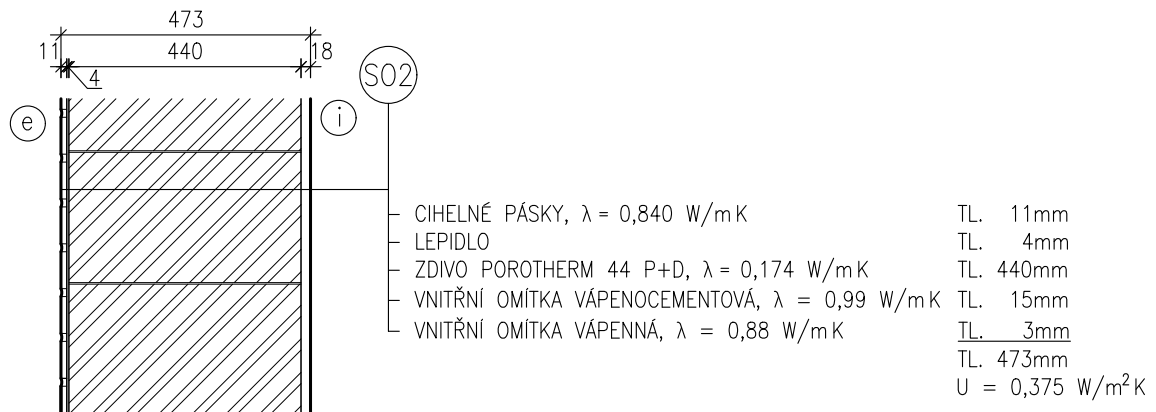
Obrázek 21 - Skladby konstrukcí na hranici vytápěné zóny v 2. NP [8]



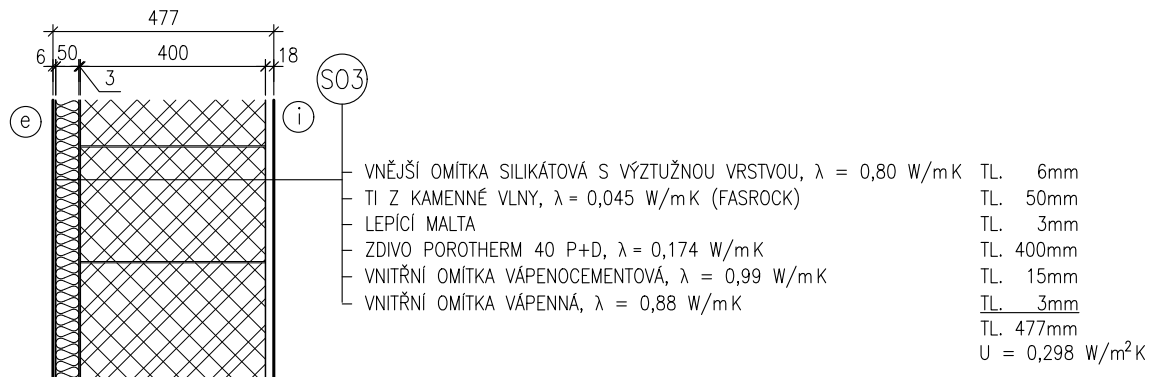
Obrázek 22 - Skladby konstrukcí na hranici vytápěné zóny v 3. NP [8]



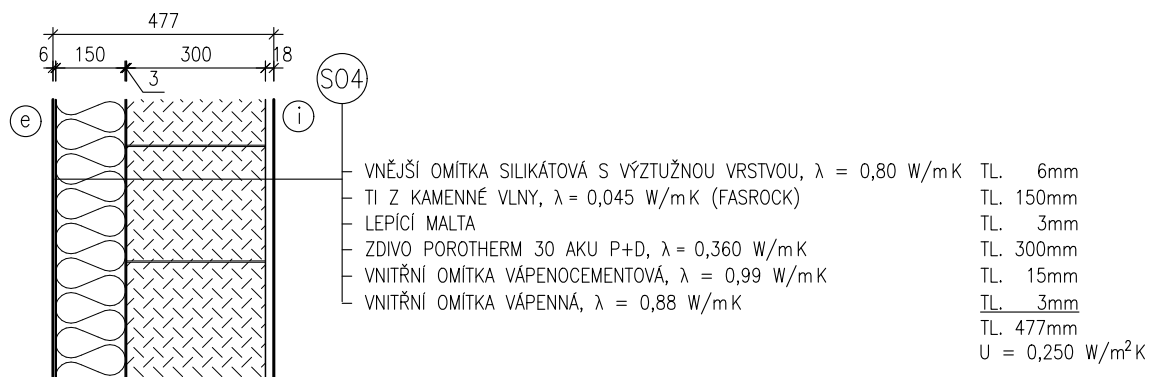
Obrázek 25 - Skladba obvodové stěny S01



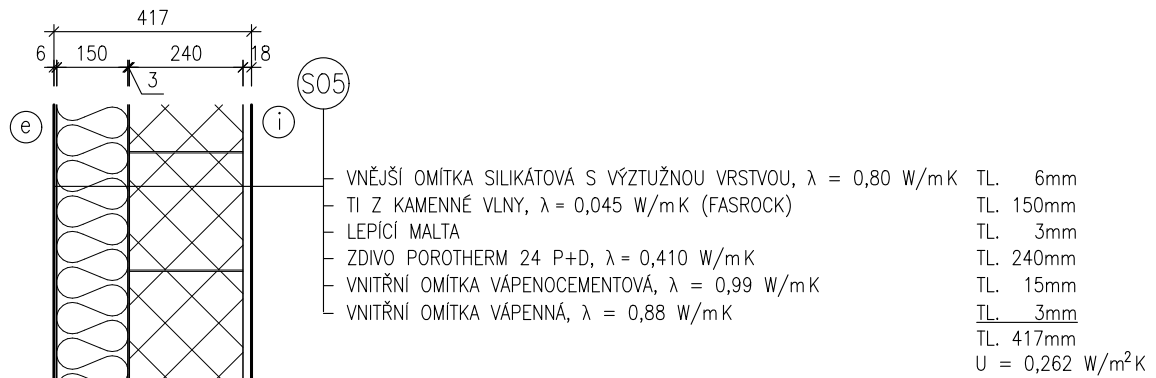
Obrázek 26 - Skladba obvodové stěny S02



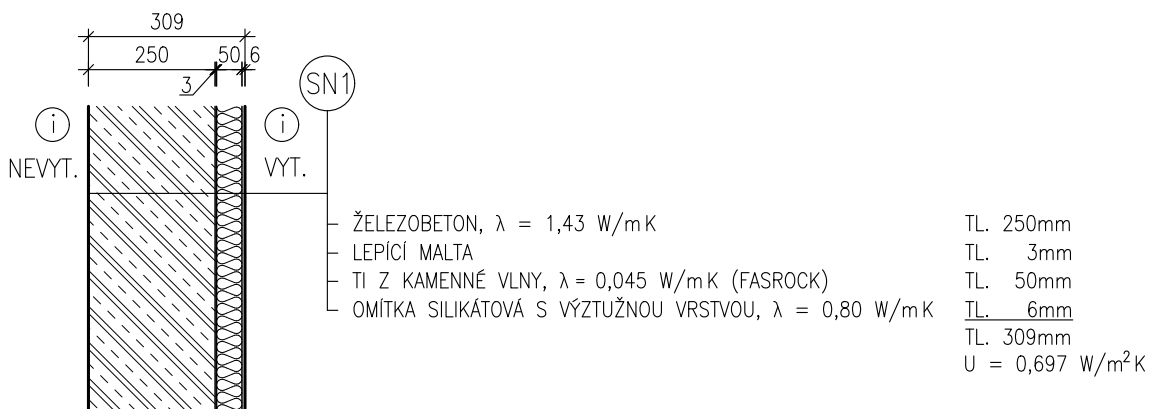
Obrázek 27 - Skladba obvodové stěny S03



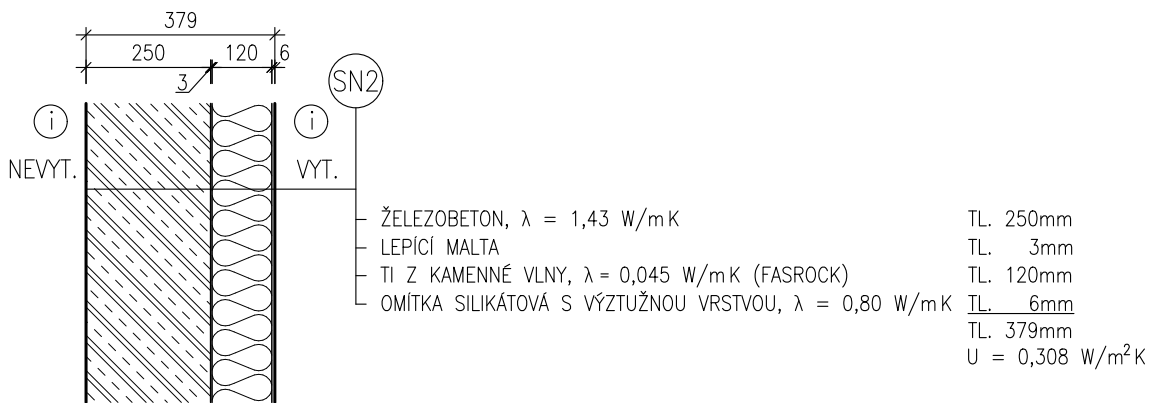
Obrázek 28 - Skladba obvodové stěny S04



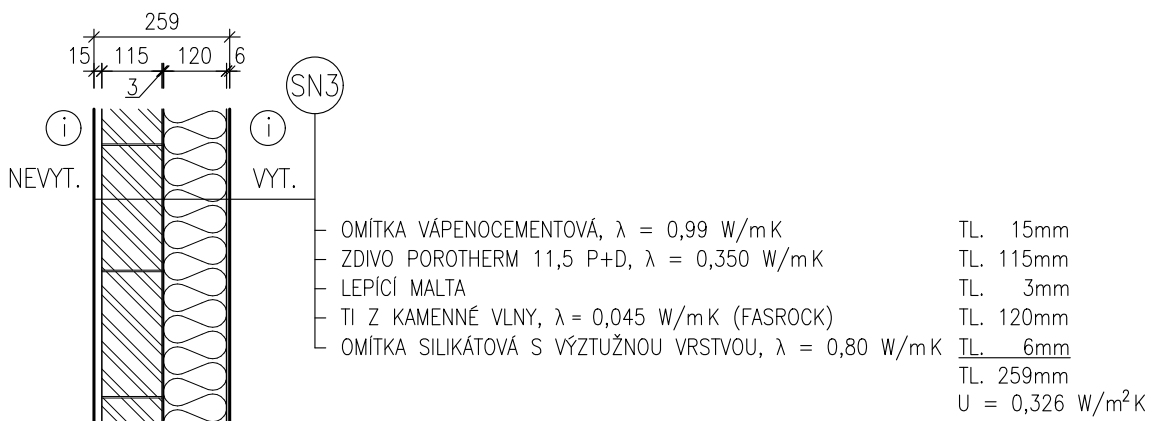
Obrázek 29 - Skladba obvodové stěny S05



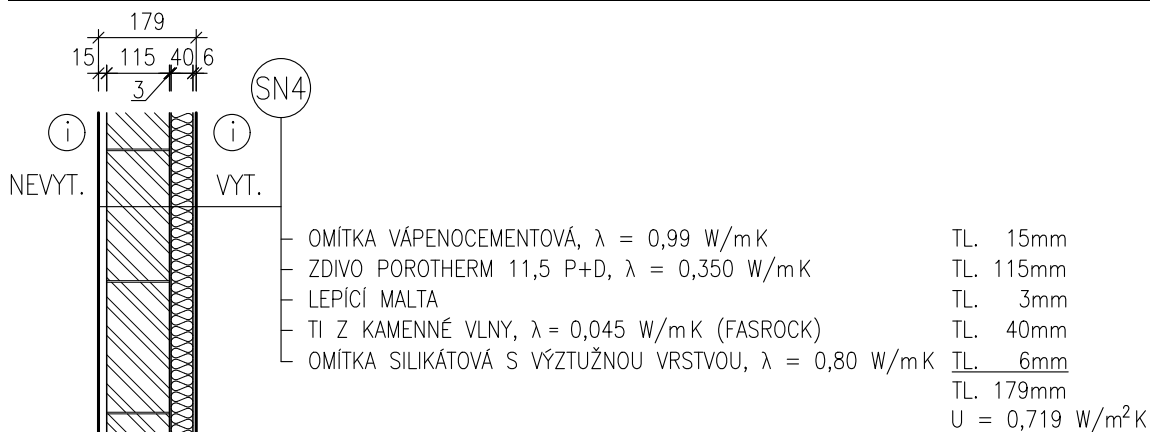
Obrázek 30 - Skladba vnitřní stěny na hranici vytápěné zóny SN1



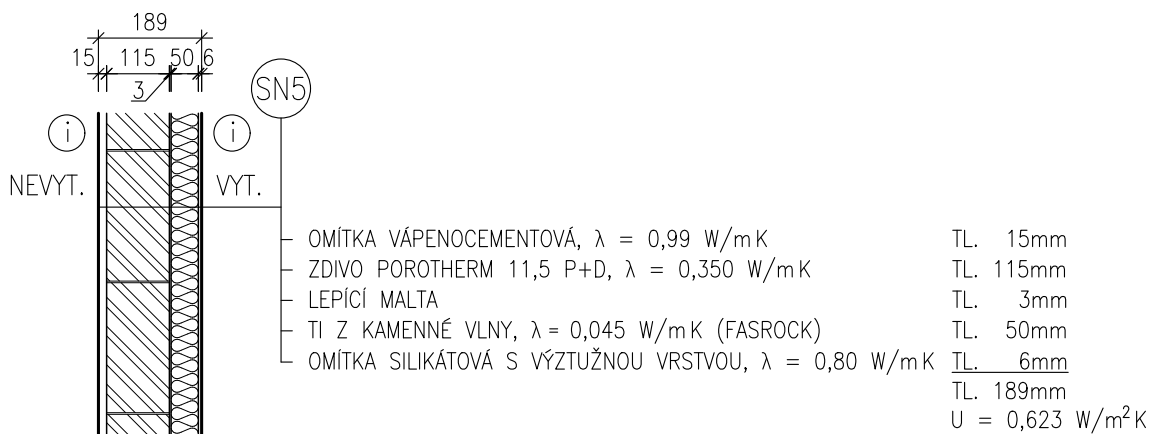
Obrázek 31 - Skladba vnitřní stěny na hranici vytápěné zóny SN2



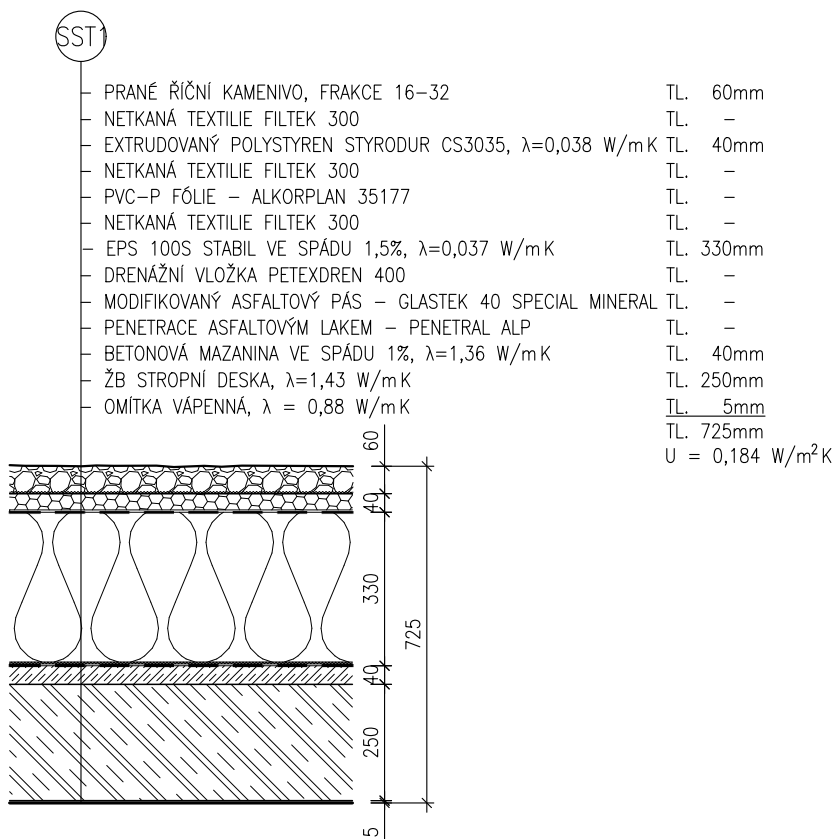
Obrázek 32 - Skladba vnitřní stěny na hranici vytápěné zóny SN3



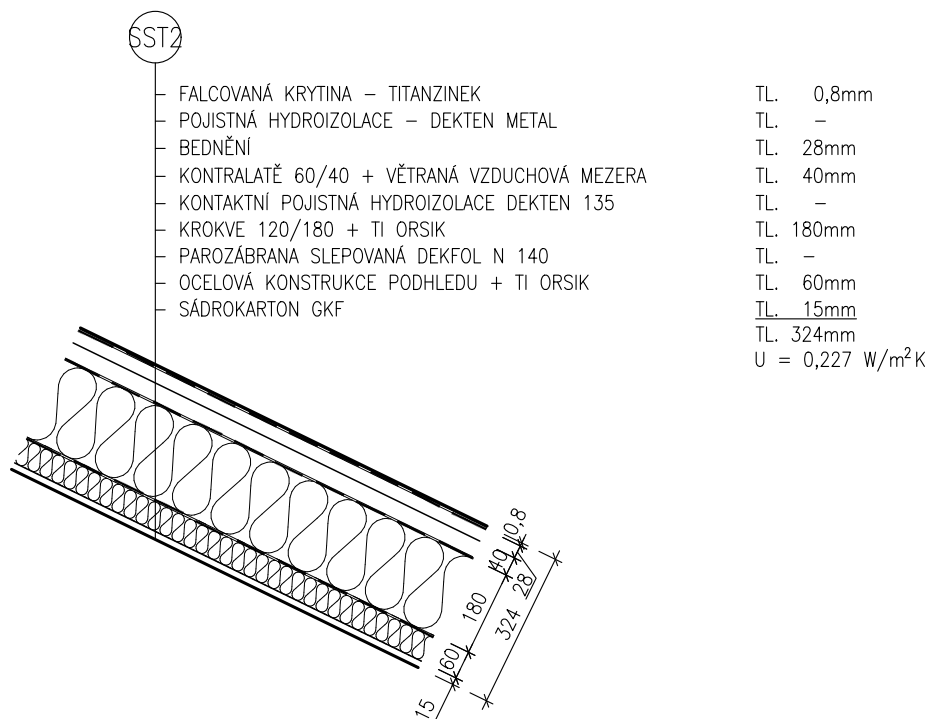
Obrázek 33 - Skladba vnitřní stěny na hranici vytápěné zóny SN4



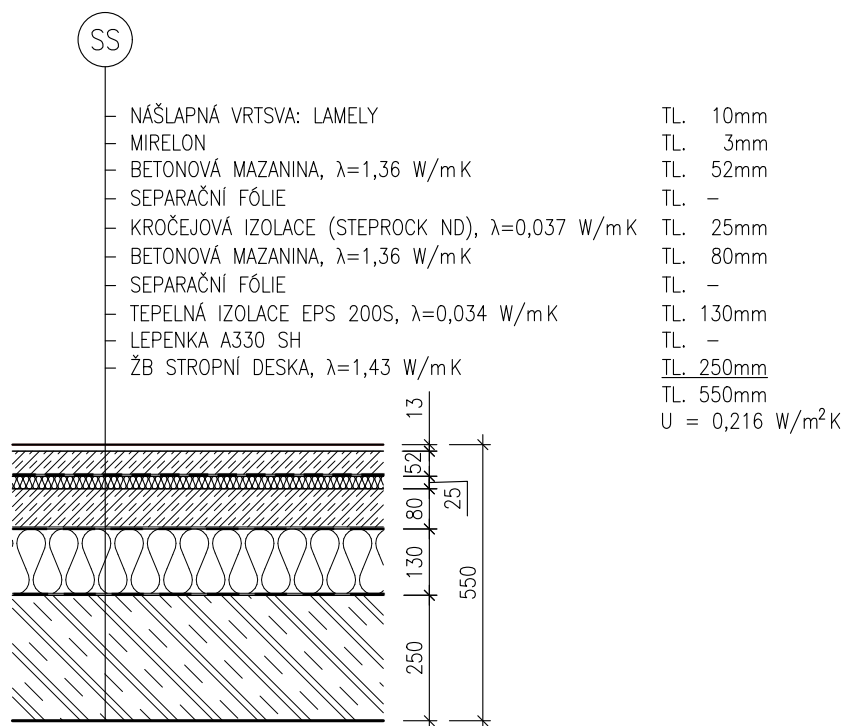
Obrázek 34 - Skladba vnitřní stěny na hranici vytápěné zóny SN5



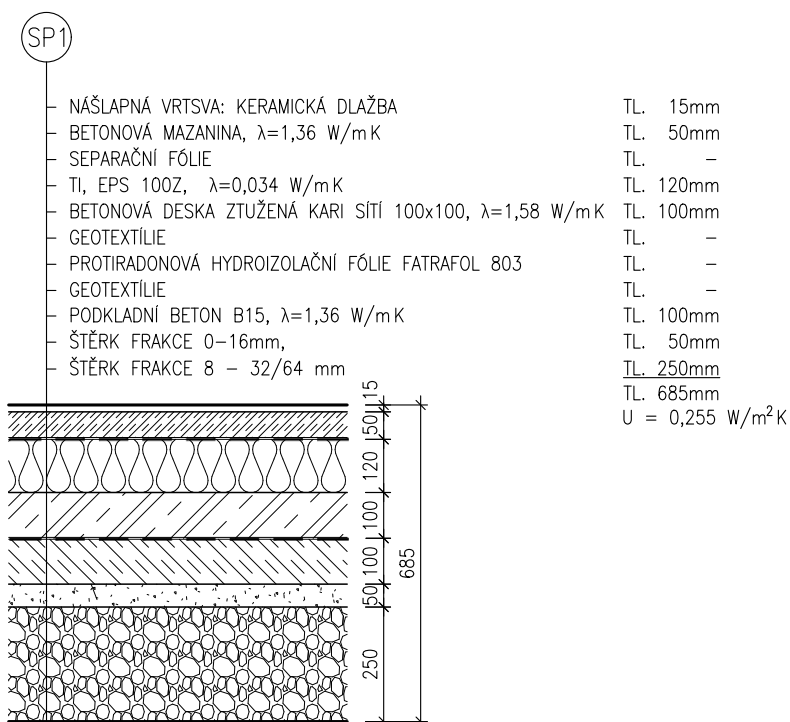
Obrázek 35 - Skladba ploché střechy SST1



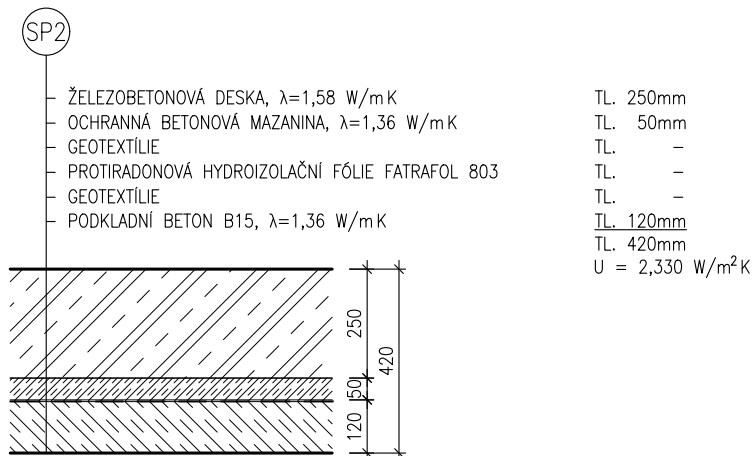
Obrázek 36 - Skladba šikmé střechy SST2



Obrázek 37 - Skladba stropu nad nevytápěnými garážemi SS



Obrázek 38 - Skladba podlahy na terénu SP1



Obrázek 39 - Skladba podlahy na terénu SP2

Tabulka 1 – Hodnoty součinitele prostupu tepla konstrukcí na hranici vytápěné zóny

Konstrukce		Součinitel prostupu tepla U [$W/m^2 \cdot K$]
Obvodové stěny	SO1	0,53
	SO2	0,38
	SO3	0,30
	SO4	0,25
	SO5	0,26
Vnitřní stěny na hranici vytápěné zóny	SN1	0,69
	SN2	0,31
	SN3	0,33
	SN4	0,72
	SN5	0,62
Střecha plochá	SST1	0,18
Střecha šikmá	SST2	0,23
Strop nad nevytápěnými garážemi	SS	0,22
Podlaha na terénu	SP1	0,26
Podlaha na terénu v místě založení výtahu	SP2	2,33
Okna	rám	$U_f = 1,3$
	zasklení	$U_g = 1,1$
Dveře	vstupní	1,70
	průběžné	1,99

2.4 Vyhodnocení energetické náročnosti stávajícího stavu objektu

Tabulka 2 - Vypočítané hodnoty tepelné propustnosti konstrukcí [17]

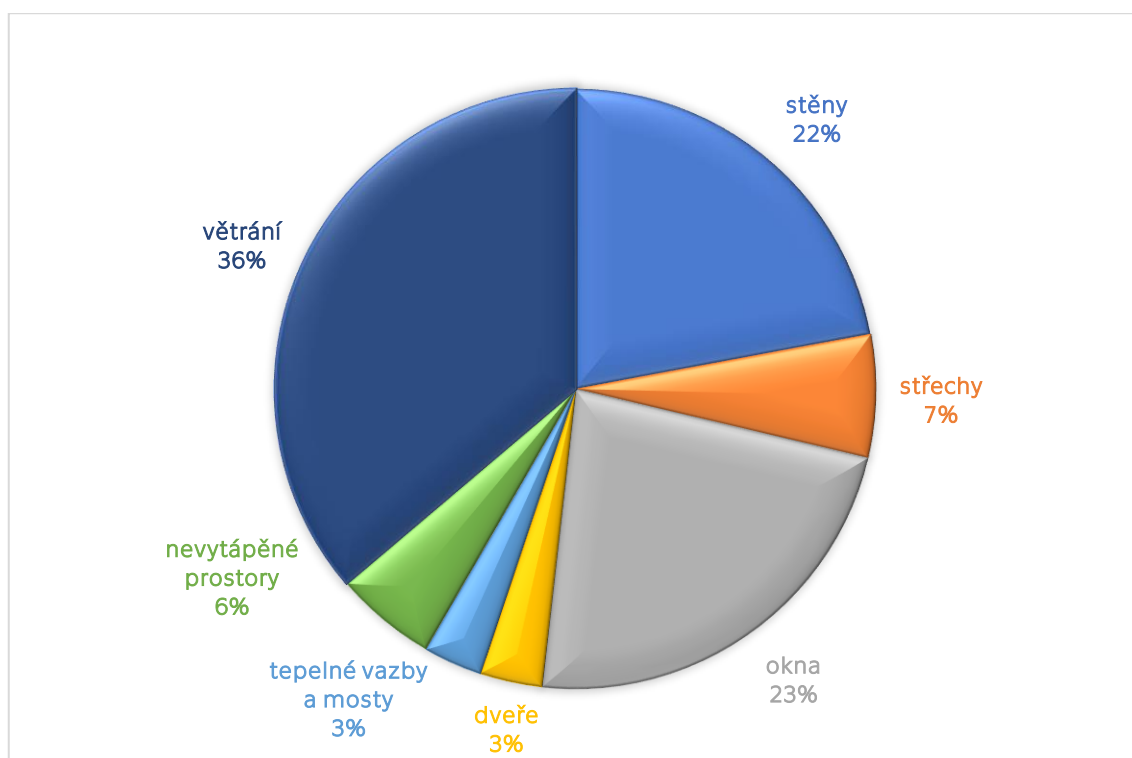
Konstrukce	Celková plocha AT [m^2]	Čistá plocha A [m^2]	Činitel teplotní redukce b [-]	Tepelná propustnost L [W/K]
Obvodové stěny	1654	1292	1,00	406,22
Střechy	635	635	1,00	122,04
Konstrukce k nevytápěnému prostoru	573	566	0,63	100,80
Podlaha na terénu	70	70	0,75	23,10

Tabulka 3 - Vypočítané hodnoty tepelné propustnosti otvorů [17]

Konstrukce	Celková plocha AW [m^2]	Činitel teplotní redukce b [-]	Tepelná propustnost L [W/K]
Okna	330	1,00	424,97
Dveře	32	1,00	61,77

Tabulka 4 - Vypočítané měrné tepelné ztráty objektu [17]

	Měrná tepelná ztráta H [W/K]
stěny	406,22
střechy	122,04
okna	424,97
dveře	61,77
tepelné vazby a mosty	58,65
nevytápěné prostory	100,84
větrání	666,47



Graf 1 - Měrné tepelné ztráty stávajícího objektu [17]

Z výpočtů je patrné, že největší tepelné ztráty jsou způsobené větráním, následně prostupem tepla okny a obvodovými stěnami. Na tyto parametry a konstrukce budou zaměřeny návrhy renovačních opatření.

Výsledky výpočtů zásadních z hlediska hodnocení energetické náročnosti budovy jsou shrnuty níže. Detailní výpočet je uveden v příloze č. 1.

Tabulka 5 - Vypočítané hodnoty ukazatelů energetické náročnosti stávající budovy [17]

Měrná potřeby tepla na vytápění vtažená k vytápěné ploše	EA = 65,9 kWh/m ² ·rok
Průměrná součinitel prostupu tepla obálky	U _{em} = 0,41 W/m ² ·K
Měrná potřeba primární energie na vytápění + přípravu TV	EP _A = 72,49 kWh/m ² ·rok

3 NÁVRH VARIANT RENOVAČNÍCH OPATŘENÍ

Návrhu renovačních opatření musí předcházet, krom posouzení stávajícího stavu objektu, také stanovení cílů, ke kterým mají renovace vést. V tomto případě je žádoucí navrhnout úpravy tak, aby došlo ke snížení energetické náročnosti objektu, v nejlepší případě, aby budova splňovala požadavky pro pasivní budovy dle ČSN 73 0540-2 [24].

Tabulka 6 - Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou θ_m v interiéru 18°C až 22°C včetně [24]

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla U [$W/m^2 \cdot K$]		
	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 plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	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
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,50	1,20	0,80 až 0,60
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,70	1,20	0,90

Tabulka 7 - Základní vlastnosti pasivních budov [24]

Druh budovy	Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [$W/m^2 \cdot K$]	Měrná potřeba tepla na vytápění E_A [$kWh/m^2 \cdot rok$]	Měrná potřeba energie na chlazení [$kWh/m^2 \cdot rok$]	Měrná potřeba primární energie [$kWh/m^2 \cdot rok$]
Bytový dům	$\leq 0,35$ požadováno	≤ 15	0	≤ 60
	$\leq 0,30$ doporučeno			

Dalším zásadním požadavkem pro splnění podmínek pasivního standardu je zajištění vzduchotěsné obálky objektu. Netěsnosti způsobují tepelné ztráty, snižují účinnost zpětného získávání tepla a mohou vést k prostupu vlhkosti do konstrukce. Hodnota celkové intenzity výměny vzduchu infiltrací při tlakovém rozdílu 50 Pa měřená Blower-door testem tedy nesmí překročit $0,6 h^{-1}$ [2]. Těsnost stávající obálky objektu je ve výpočtech zohledněna hodnotou $n_{50} = 1,5 h^{-1}$, skutečnou hodnotu je však nutné stanovit Blower-door testem.

Jak již bylo řečeno, z energetického posouzení stávajícího stavu objektu vyplynulo, že se mají renovační opatření zaměřit na snížení energetické náročnosti větrání, konstrukce obvodových stěn a řešení okenních otvorů. Dále s ohledem na požadované vlastnosti pasivních budov budou řešeny i varianty výměny zdroje tepla.

Renovační opatření jsou dle shrnutých záměrů rozděleny na úpravu obálky budovy a optimalizaci systémů TZB.

Tabulka 8 - Souhrn navrhovaných opatření

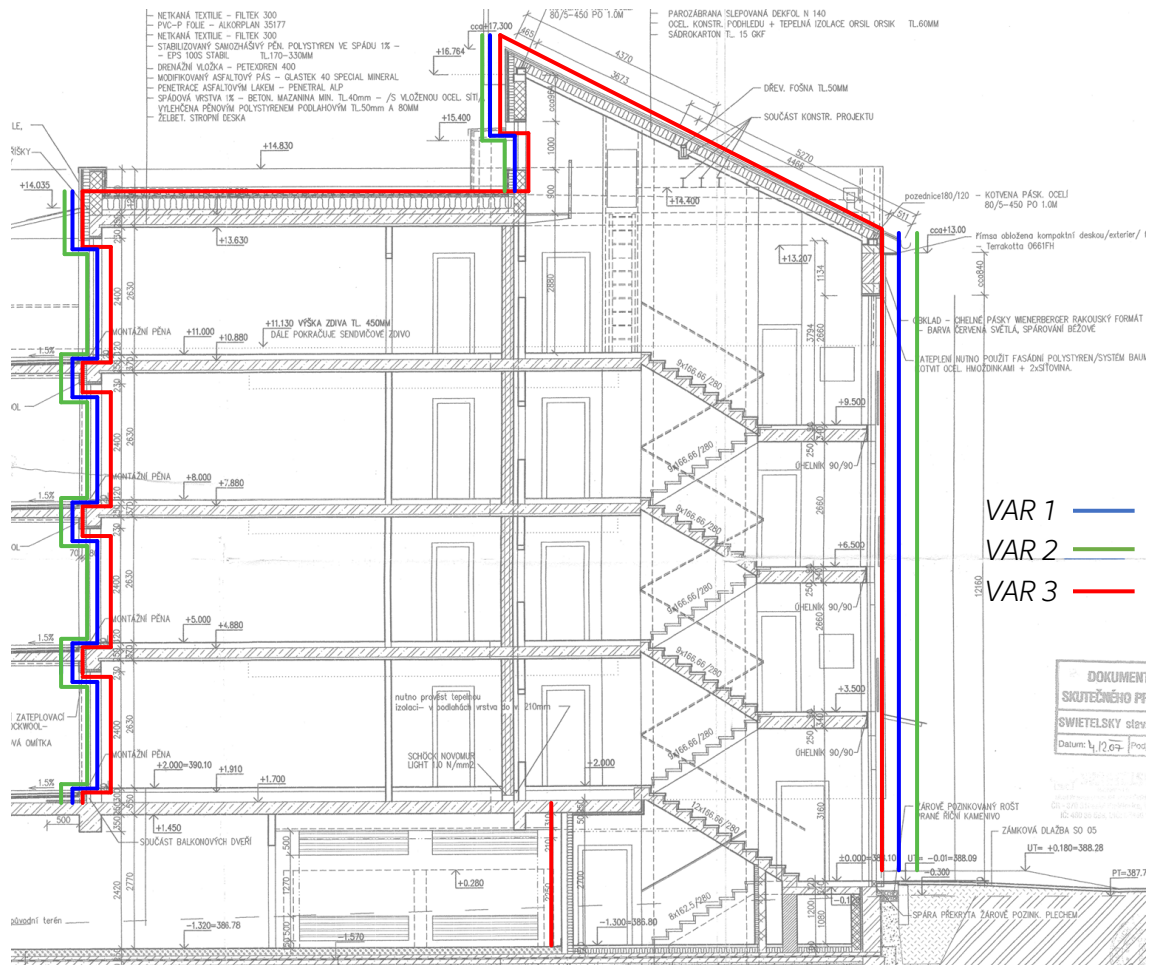
	Obvodová stěna	Vnitřní stěny	Střeška	Strop nad garážemi	Podlaha na terénu	Okna	Dveře	Zdroj tepla	Větrání	Solární energie
Úprava obálka										
Varianta 1	$U_{rec,20} = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$	Původní	Původní	Původní	Původní	Heat mirror $U_g = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{rec,20} = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$			
Varianta 2	$U_{pas,20} = 0,18 \text{ až } 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$	Původní	Původní	Původní	Původní	$U_{pas,20} = 0,80 \text{ až } 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{pas,20} = 0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$			
Varianta 3	$U_{pas,20} = 0,18 \text{ až } 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{pas,20} = 0,30 \text{ až } 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{pas,20} = 0,15 \text{ až } 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$	Původní	Původní	$U_{pas,20} = 0,80 \text{ až } 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{pas,20} = 0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$			
Optimalizace TZB										
Varianta A								CZT	Centrální VZT jednotka	-
Varianta B								TČ	Centrální VZT jednotka	SK
Varianta C								TČ	Centrální VZT jednotka	FVE
Kombinace										
Varianta 3A	$U_{pas,20} = 0,18 \text{ až } 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{pas,20} = 0,30 \text{ až } 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{pas,20} = 0,15 \text{ až } 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$	Původní	Původní	$U_{pas,20} = 0,80 \text{ až } 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{pas,20} = 0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$	CZT	Centrální VZT jednotka	-
Varianta 3B	$U_{pas,20} = 0,18 \text{ až } 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{pas,20} = 0,30 \text{ až } 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{pas,20} = 0,15 \text{ až } 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$	Původní	Původní	$U_{pas,20} = 0,80 \text{ až } 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{pas,20} = 0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$	TČ	Centrální VZT jednotka	SK
Varianta 3C	$U_{pas,20} = 0,18 \text{ až } 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{pas,20} = 0,30 \text{ až } 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{pas,20} = 0,15 \text{ až } 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$	Původní	Původní	$U_{pas,20} = 0,80 \text{ až } 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{pas,20} = 0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$	TČ	Centrální VZT jednotka	FVE

CZT... centrální zásobování teplem

TČ ... tepelné čerpadlo

SK ... solární kolektory

FVE ... fotovoltaické panely



Obrázek 40 - Schéma variant úpravy obálky [8]

3.2 Úprava obálky

Dle vyhlášky č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov je obálka budovy definována následovně:

„Obálkou ucelené části budovy se rozumí soubor všech teplosměnných konstrukcí na hranici ucelené části budovy, které jsou vystaveny přilehlému prostředí, jež tvoří venkovní vzduch, přilehlá zemina, vnitřní vzduch v přilehlém nevytápěném prostoru nebo sousední budově nebo sousední zóně budovy nespádající do ucelené části budovy.“ [16]

V rámci jednotlivých variant renovačních opatření navrhuji úpravu skladeb zmíněných teplosměnných konstrukcí v souladu s doporučenými hodnotami součinitele prostupu tepla $U_{rec,20}$ a doporučenými hodnotami pro pasivní budovy $U_{pas,20}$. Porovnání stávajícího stavu s těmito hodnotami je uvedeno v tabulce 9.

Tabulka 9 - Porovnání součinitele prostupu tepla stávajících konstrukcí s požadovanými hodnotami [17; 24]

Konstrukce		Součinitel prostupu tepla	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy
		U [$W/m^2 \cdot K$]	$U_{N,20}$ [$W/m^2 \cdot K$]	$U_{rec,20}$ [$W/m^2 \cdot K$]	$U_{pas,20}$ [$W/m^2 \cdot K$]
Obvodová stěna	SO1	0,527	0,45	0,30	0,22 až 0,15
	SO2	0,375	0,30	těžká: 0,25	0,18 až 0,12
	SO3	0,298			
	SO4	0,250			
	SO5	0,262			
Vnitřní stěny na hranici vytápěné zóny	SN1	0,697	0,60	0,40	0,30 až 0,20
	SN2	0,308			
	SN3	0,326			
	SN4	0,719			
	SN5	0,623			
Střecha plochá	SST1	0,184	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Střecha šikmá	SST2	0,227	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop nad nevytápěnými garážemi	SS	0,216	0,60	0,40	0,30 až 0,20
Podlaha na terénu	SP1	0,255	0,45	0,30	0,22 až 0,15
Podlaha na terénu v místě založení výtahu	SP2	2,330	0,45	0,30	0,22 až 0,15
Okna	rám	$U_f = 1,3$	$U_w = 1,5$	$U_w = 1,2$	$U_w = 0,80$ až 0,60
	zasklení	$U_g = 1,1$			
Dveře	vstupní	1,700	1,70	1,20	0,90
	průběžné	1,990	1,70	1,20	0,90

 splňuje doporučené hodnoty pro pasivní budovy

3.2.1 Varianta 1

Varianta 1 je zaměřena na základní, méně nákladné a méně invazivní úpravy konstrukcí s největší tepelnou propustností. Návrh je soustředěn především na obvodové stěny a výplně otvorů.

OBVODOVÉ STĚNY

Prioritou konceptu je zlepšení tepelně-technických vlastností obvodových stěn, jejichž nová skladba je navržena dle doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla $U_{rec,20} = 0,25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Zároveň je kladen důraz na zachování vizuální podoby objektu, proto návrh počítá s cihlovým obkladem ve skladbě obvodové stěny SO2. V této variantě také navrhuji přemístění poštovních schránek do interiéru budovy a zazdění prostupu v obvodové stěně. Pro obvodovou stěnu SO1 ve styku se zeminou nenavrhuji žádné úpravy z důvodů složitého provedení a vlhkostních rizik spojených s vnitřní izolací.

Při návrhu tepelné izolace jsem brala v úvahu návaznost obvodových stěn s rozdílnou skladbou a posuzovala různé materiálové varianty.

Tabulka 10 - Návrh tepelné izolace skladby SO2 pro splnění doporučené hodnoty $U_{rec,20} = 0,25 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$

Skladba SO2		
Druh tepelné izolace	deklarovaný součinitel tepelné vodivosti $\lambda_d \text{ [W/m} \cdot \text{K]}$	tloušťka tepelné izolace [mm]
Kamenná vlna FRONTROCK L	0,041	100
EPS 70F	0,039	80

Tabulka 11 – Návrh doplňující tepelné izolace skladby SO3, SO4 a SO5 pro splnění doporučené hodnoty $U_{rec,20} = 0,25 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$

Skladba SO3, SO4, SO5		
Druh tepelné izolace	deklarovaný součinitel tepelné vodivosti $\lambda_d \text{ [W/m} \cdot \text{K]}$	tloušťka tepelné izolace [mm]
Kamenná vlna FRONTROCK S	0,037	40
EPS Grey Wall Plus	0,031	30

U skladby SO2 byly záměrně zvoleny jiné druhy minerální i polystyrenové izolace než u zbývajících skladeb. Důvodem jsou větší požadavky na mechanickou odolnost materiálu, které jsou zásadní pro lepení cihlových pásků obkladu. Lepší mechanické vlastnosti jsou na úkor vlastnostem tepelně izolačním. V návrhu ostatních skladeb jsem proto zvolila jiný druh izolace s lepším součinitelem tepelné vodivosti bez požadavků na mechanickou odolnost.

Všechny navrhované úpravy počítají s přihlédnutím na environmentální a ekonomické hledisko s ponecháním současného souvrství obvodových stěn. Před realizací nové tepelné izolace bude nutné zkontrolovat soudržnost stávajícího povrchu, případné stopy po zatékání vody, ověřit stav staré tepelné izolace a způsob i kvalitu jejího kotvení. Nově navrhovaná tepelná izolace bude upevněna pomocí fasádních hmoždinek STR-U vhodných pro kotvení zdvojeného zateplení.

V závislosti na materiálu stávající tepelné izolace, požární odolnosti a environmentálním posouzení navrhovaných konstrukcí jsem ve finální variantě zvolila materiálové řešení z minerální vlny. Tato kritéria rozhodla i při volbě materiálu pro další konstrukce.

Tabulka 12 - Posouzení materiálu z pohledu požární odolnosti

	Třída reakce na oheň
Kamenná vlna	A1
EPS	E

Tabulka 13 - Environmentální posouzení materiálových variant [25]

	PEI [MJ]	GWP [kg CO ₂ ekv.]	AP [g SO ₂ ekv.]	EP [g (PO ₄) ³⁻ ekv.]	ODP [g R ⁻¹¹ ekv.]	POCP [g C ₂ H ₄ ekv.]
Kamenná vlna	129,23	7,25	53,49	11,71	0,00035	2,85
EPS	504,35	20,22	71,52	12,24	0,00063	32,42

PEI ... spotřeba primární energie

GWP ... potenciál globálního oteplování (svázané emise CO₂)

AP ... potenciál acidifikace prostředí (svázané emise SO₂)

EP ... potenciál eutrofizace prostředí

ODP ... potenciál ničení ozonové vrstvy

POCP ... potenciál tvorby přízemního ozonu

VNITŘNÍ STĚNY NA HRANICI VYTÁPĚNÉ ZÓNY

Beze změny.

STŘECHA

Konstrukce ploché i šikmé střechy splňují alespoň požadované hodnoty součinitele prostupu tepla $U_{N,20} = 0,24 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Proto v této variantě nejsou i přes jejich velkou teplosměnnou plochu renovovány.

STROP NAD NEVYTÁPĚNÝMI GARÁŽEMI

Skladba stropu nad nevytápěnými garážemi jako jediná splňuje požadavky součinitele prostupu tepla pro pasivní budovy. Z tohoto důvodu ji ponechávám beze změny.

PODLAHA NA TERÉNU

Podlaha na terénu nebude z důvodu zachování světlé výšky v prostorech schodiště renovována. Teplosměnná plocha této konstrukce je malá a úpravy by nepřinesly požadované výsledky.

OKNA

V rámci první varianty renovačních opatření pracuji s méně invazivním řešením bez výměny výplní okenních otvorů. Navrhuji nahrazení zasklení za izolační dvojsklo s meziskelní fólií Heat Mirror, díky které lze dosáhnout součinitele prostupu tepla zasklením $U_g = 0,60 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Heat Mirror je čirá fólie odrážející tepelné záření zpět ke zdroji, oknem tak neprojde jak vnější, tak vnitřní sálavé teplo [26].

DVEŘE

Návrh počítá s výměnou dveří za výrobky se součinitelem prostupu tepla splňujícím doporučené hodnoty $U_{\text{rec},20} = 1,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Tabulka 14 - Vypočítané hodnoty ukazatelů energetické náročnosti budovy po úpravě obálky dle varianty 1 [17]

Měrná potřeba tepla na vytápění vtažená k vytápěné ploše	$E_A = 52,2 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{rok}$
Průměrná součinitel prostupu tepla obálky	$U_{\text{em}} = 0,32 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
Měrná potřeba primární energie na vytápění + přípravu TV	$E_{P,A} = 98,0 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{rok}$

3.2.2 Varianta 2

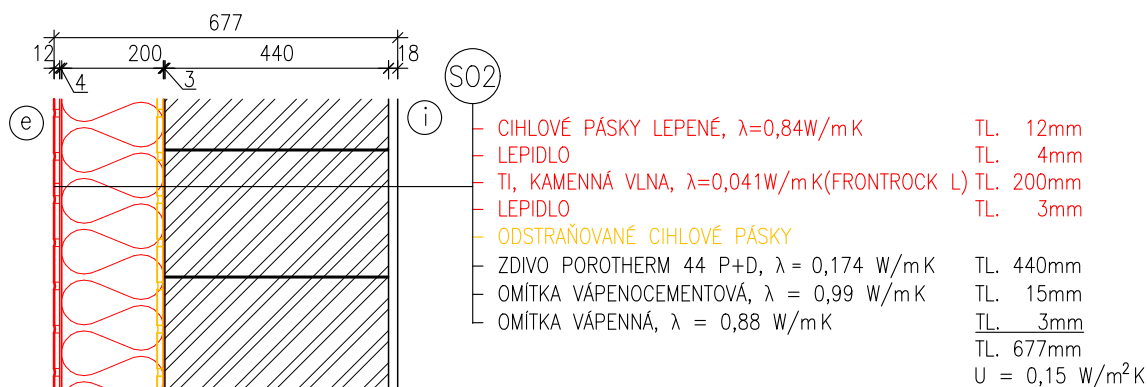
V rámci varianty 2 navrhuji nejlepší možnou optimalizaci konstrukcí s největší tepelnou propustností. Zaměřuji se stejně jako ve variantě 1 na obvodové stěny a výplně otvorů s rozdílem použití nákladnějšího a komplikovanějšího řešení. Cílem je u těchto konstrukcí dosáhnout doporučených hodnot pro pasivní budovy.

OBVODOVÉ STĚNY

Princip úprav obvodových stěn odpovídá variantě 1. Nová skladba je však navržena tak, aby obvodové stěny splnily doporučenou hodnotu pro pasivní budovy $U_{pas,20} = 0,18$ až $0,12 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Tabulka 15 - Návrh tepelné izolace skladby SO2 pro splnění doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20} = 0,18$ až $0,12 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$

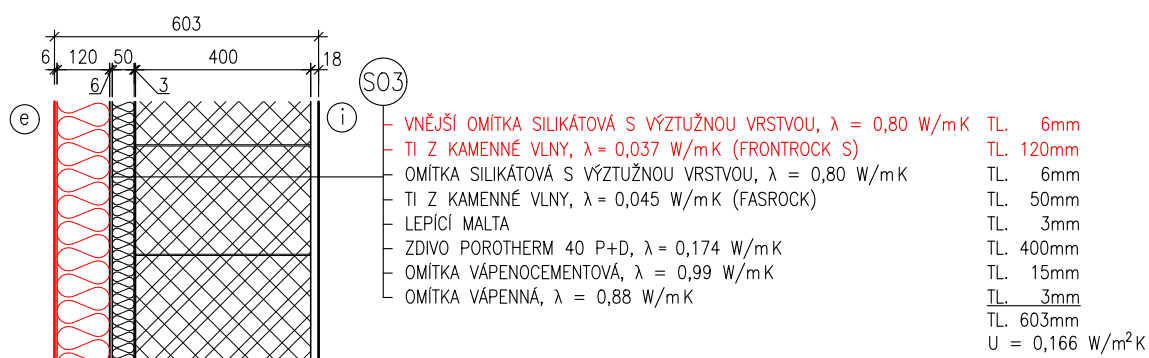
Skladba SO2		
Druh tepelné izolace	Deklarovaný součinitel tepelné vodivosti $\lambda_d [\text{W/m} \cdot \text{K}]$	Tloušťka tepelné izolace [mm]
Kamenná vlna FRONTROCK L	0,041	200
EPS 70F	0,039	160



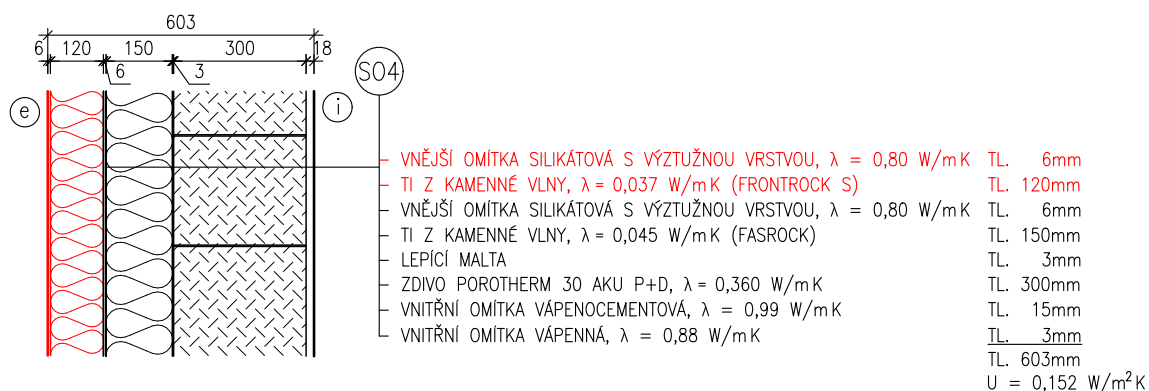
Obrázek 41 - Nová skladba obvodové stěny SO2 dle varianty 2

Tabulka 16 – Návrh doplňující tepelné izolace skladby SO3, SO4 a SO5 pro splnění doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20} = 0,18$ až $0,12 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$

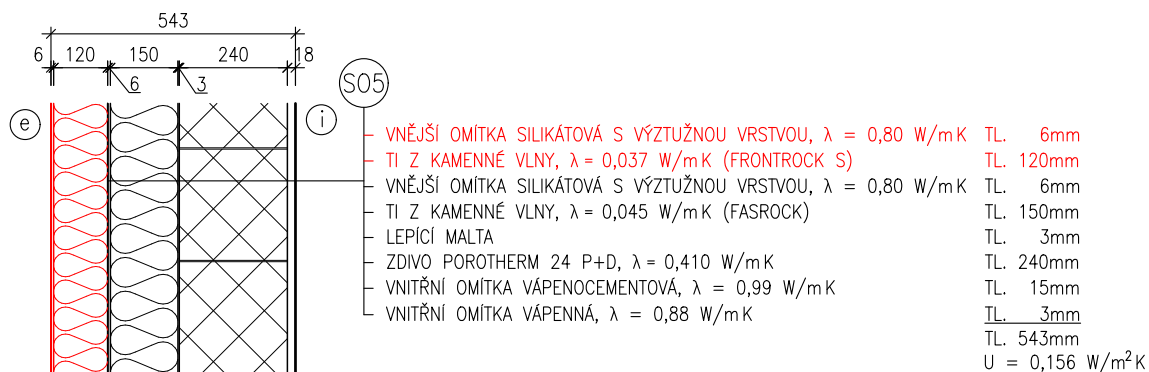
Skladba SO3, SO4, SO5		
Druh tepelné izolace	Deklarovaný součinitel tepelné vodivosti $\lambda_d [\text{W/m} \cdot \text{K}]$	Tloušťka tepelné izolace [mm]
Kamenná vlna FRONTROCK S	0,037	120
EPS Grey Wall Plus	0,031	100



Obrázek 42 - Nová skladba obvodové stěny S03 dle varianty 2



Obrázek 43 - Nová skladba obvodové stěny S04 dle varianty 2



Obrázek 44 - Nová skladba obvodové stěny S05 dle varianty 2

VNITŘNÍ STĚNY NA HRANICI VYTÁPĚNÉ ZÓNY

Beze změny.

STŘECHA

Dle varianty 1.

STROP NAD NEVYTÁPĚNÝMI GARÁŽEMI

Dle varianty 1.

PODLAHA NA TERÉNU

Dle varianty 1.

OKNA

Ve variantě 2 navrhuji úplnou výměnu oken za prvky s lepšími tepelně izolačními vlastnostmi. Navrhované dřevěné rámy s trojsklem mají hodnoty: $U_g = 0,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ a $U_f = 0,65 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Celkový součinitel prostupu tepla každého okna U_w pak splňuje doporučené hodnoty pro pasivní standard $U_{pas,20} = 0,80$ až $0,60 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Okna mají také lepší parametry energetické propustnosti $g = 54 \%$. Na jižní straně objektu budou zároveň s výměnou oken instalovány vnější žaluzie. Tyto prvky společně s nižší energetickou propustností oken snižují tepelné zisky v interiéru a brání letnímu přehřívání objektu.

Okna budou instalována formou předsazené montáže na úroveň tepelné izolace [2]. Díky tomu bude i přes větší stavební hloubku rámu zachována šířka vnitřního parapetu a dojde ke snížení stínění ostěním a nadpražím, v porovnání s kotvením oken na úrovni nosné konstrukce.

DVEŘE

Návrh počítá s výměnou dveří za výrobky se součinitelem prostupu tepla splňujícím doporučené hodnoty $U_{pas,20} = 0,90 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Tabulka 17 - Vypočítané hodnoty ukazatelů energetické náročnosti budovy po úpravě obálky dle varianty 2 [17]

Měrná potřeby tepla na vytápění vtažená k vytápěné ploše	$E_A = 46,7 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{rok}$
Průměrná součinitel prostupu tepla obálky	$U_{em} = 0,257 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
Měrná potřeba primární energie na vytápění + přípravu TV	$E_{PA} = 92,5 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{rok}$

3.2.3 Varianta 3

Nejlepší možné řešení úpravy obálky, které lze zrealizovat, je navrženo v rámci varianty 3. Všechny renovované konstrukce jsou upraveny s požadavkem na dosažení doporučených hodnot pro pasivní budovy $U_{pas,20}$.

OBVODOVÉ STĚNY

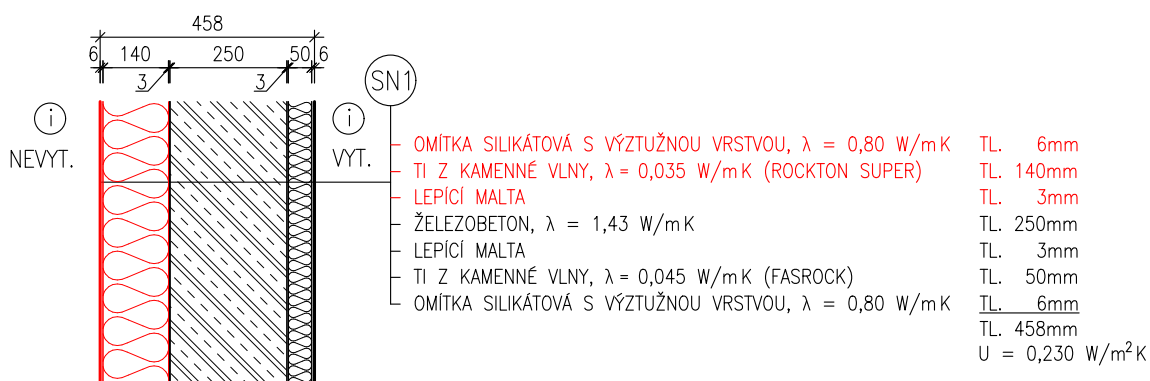
Dle varianty 2.

VNITŘNÍ STĚNY NA HRANICI VYTÁPĚNÉ ZÓNY

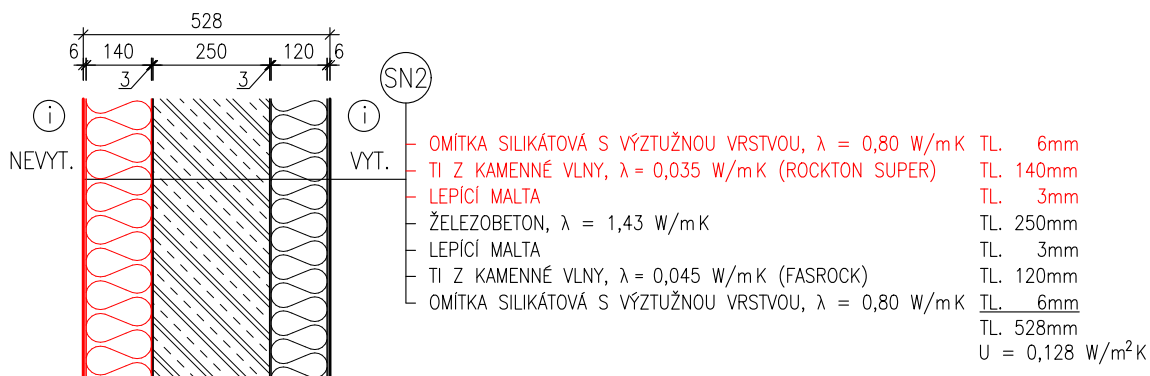
U vnitřních stěn na hranici vytápěné zóny došlo k úpravě tepelné izolace pro dosažení doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pasivních budov $U_{pas,20} = 0,30$ až $0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Navrhuji ponechání stávajících tepelných izolací na straně vytápěné zóny a jejich doplnění o tepelnou izolaci na straně nevytápěného prostoru. Izolace z kamenné vlny Rockton Super má taktéž dobré protipožární a akustické vlastnosti.

Tabulka 18 - Návrh doplňující tepelné izolace skladby vnitřních stěn pro splnění doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20} = 0,30$ až $0,20$ W/(m²·K)

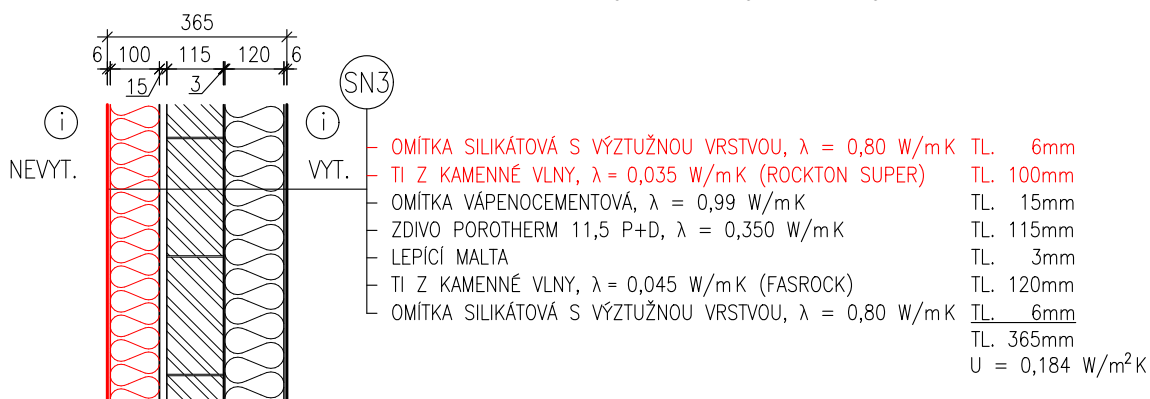
Skladba	Tepelná izolace	Deklarovaný součinitel tepelné vodivosti λ_d [W/m · K]	Tloušťka tepelné izolace [mm]
SN1	Kamenná vlna - Rockton Super	0,035	140
SN2	Kamenná vlna - Rockton Super	0,035	140
SN3	Kamenná vlna - Rockton Super	0,035	100
SN4	Kamenná vlna - Rockton Super	0,035	100
SN5	Kamenná vlna - Rockton Super	0,035	100



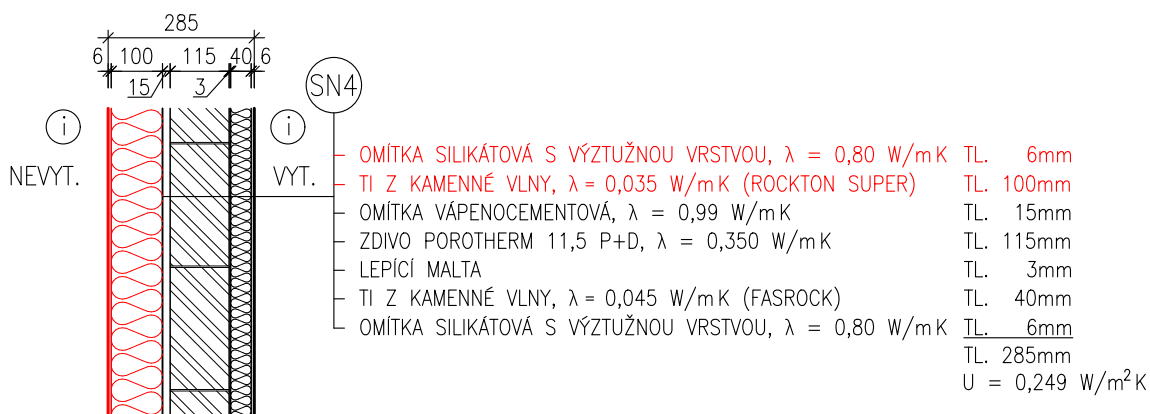
Obrázek 45 - Nová skladba vnitřní stěny na hranici vytápěné zóny SN1



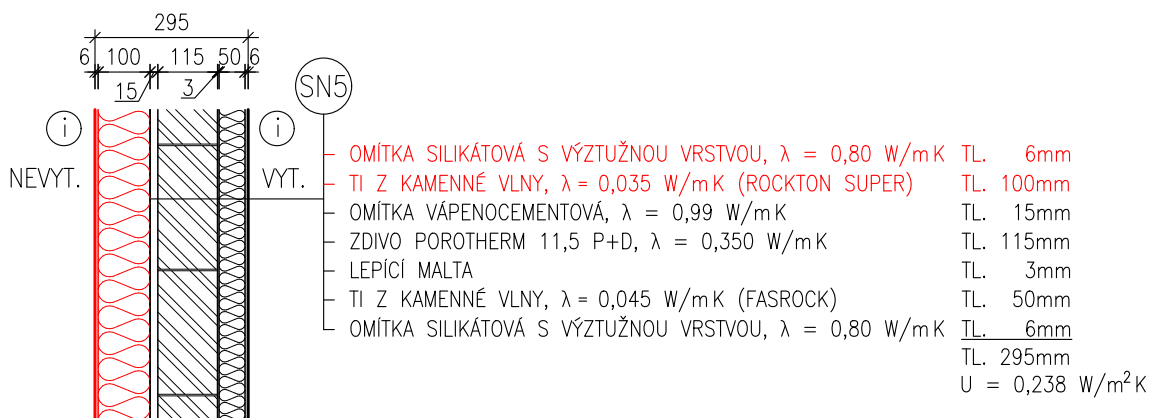
Obrázek 46 - Nová skladba vnitřní stěny na hranici vytápěné zóny SN2



Obrázek 47 - Nová skladba vnitřní stěny na hranici vytápěné zóny SN3



Obrázek 48 - Nová skladba vnitřní stěny na hranici vytápěné zóny SN4



Obrázek 49 - Nová skladba vnitřní stěny na hranici vytápěné zóny SN5

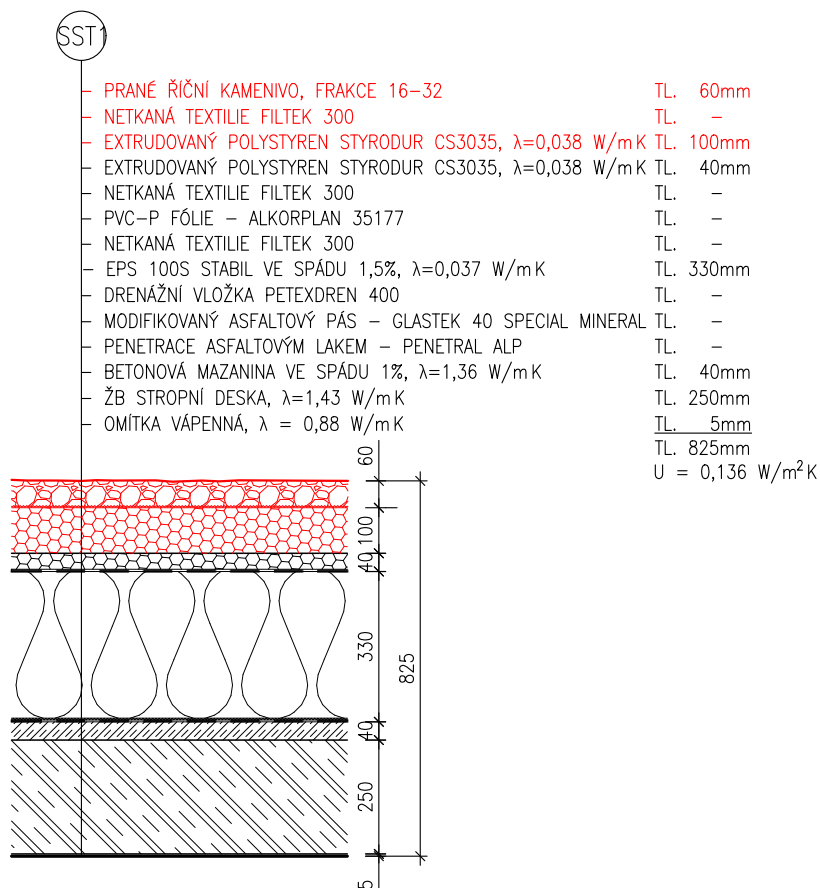
STŘECHA

Návrh renovace ploché i šikmé střechy je proveden s cílem dosažení doporučeného součinitele prostupu tepla pro pasivní budovy $U_{\text{pas},20} = 0,15$ až $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$. U ploché střechy dojde k doplnění vrchního extrudovaného polystyrénu další vrstvou stejného typu izolace Styrodur CS3035.

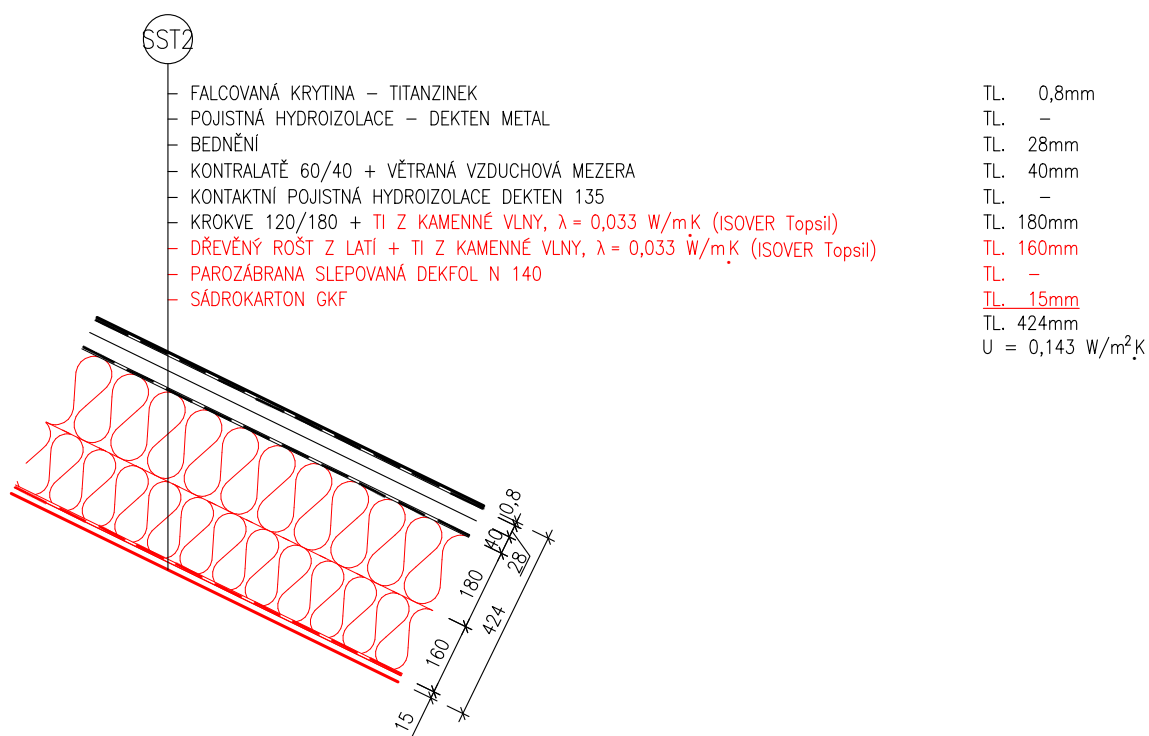
Úpravy šikmé střechy jsou navrženy s ohledem na zachování stávající nosné konstrukce z krokví 120/180. Počítám s nahrazením mezikrokevní tepelné izolace za kamennou vlnu stejné tloušťky s lepšími tepelně izolačními vlastnostmi. Podkrokevní izolace je navržena ze stejného materiálu o tloušťce 160 mm, viz tabulka 19. Stávající podkrokevní izolace bude odstraněna a výměna mezikrokevní izolace proběhne ze strany interiéru. Díky tomu bude možné ponechat střešní krytinu beze změny, pokud na ní nebudou v rámci detailní kontroly nalezeny vady a poruchy.

Tabulka 19 - Návrh tepelné izolace skladby střech pro splnění doporučené hodnoty pro pasivní budovy
 $U_{pas,20} = 0,15$ až $0,10$ $W/(m^2K)$

Skladba	Tepelná izolace		Deklarovaný součinitel tepelné vodivosti λ_d [$W/m \cdot K$]	Tloušťka tepelné izolace [mm]
SST1	XPS - Styrodur CS3035		0,038	100
SST2	mezikrokevní	Kamenná vlna - ISOVER Topsil	0,033	180
	podkrokevní	Kamenná vlna - ISOVER Topsil	0,033	160



Obrázek 50 - Nová skladba ploché střechy SST1



Obrázek 51 - Nová skladba šikmé střechy SST2

STROP NAD NEVYTÁPĚNÝMI GARÁŽEMI

Dle varianty 1.

PODLAHA NA TERÉNU

Dle varianty 1.

OKNA

Dle varianty 2.

DVEŘE

Dle varianty 2.

Tabulka 20 - Vypočítané hodnoty ukazatelů energetické náročnosti budovy po úpravě obálky dle varianty 3 [17]

Měrná potřeby tepla na vytápění vtažená k vytápěné ploše	$E_A = 44,2 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{rok}$
Průměrná součinitel prostupu tepla obálky	$U_{em} = 0,241 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
Měrná potřeba primární energie na vytápění + přípravu TV	$E_{PA} = 90,2 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{rok}$

3.3 Optimalizace systémů TZB

V rámci optimalizace není nutné řešit nové rozvody kanalizace, vodovodní ani otopné soustavy. Tyto systémy odpovídají současným požadavkům. Předmětem energetické sanace budovy je především návrh nového řešení větrání a výměny zdroje tepla. Stávající plynové kondenzační kotle jsou na konci své životnosti.

3.3.1 Varianta A

VĚTRÁNÍ

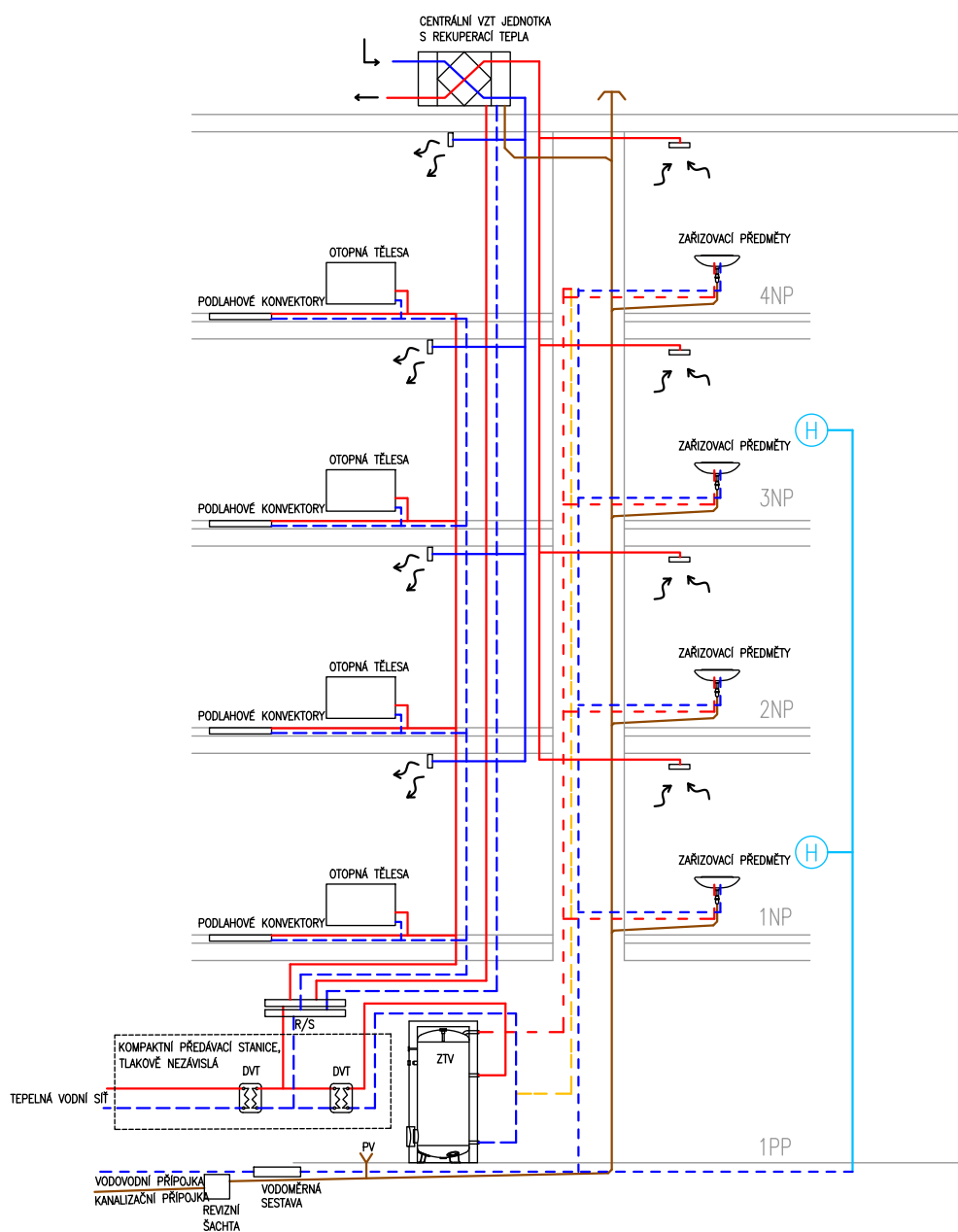
Ve Variantě A navrhuji řízené rovnotlaké větrání s rekuperací tepla. Objekt budou obsluhovat dvě centrální VZT jednotky *RIRS 1900 HER EKO 3.0 RHX* [27] s účinností rekuperace 84 %, každá pro jednu část bytového domu. Návrh počítá s umístěním VZT jednotek pod konstrukci pultové střechy, kam bude svislou šachtou vyvedeno čtyřhranné VZT potrubí. Každá bytová jednotka bude vybavena regulačním boxem pro úpravu vlastností a množství přiváděného vzduchu, uvnitř jednotlivých bytových jednotek povede kruhové plastové potrubí v podhledu. Vzduch bude přiváděn do obytných místností, rozváděn distribučními prvky, jako jsou mřížky ve dveřích, a odváděn přes koupelny, WC a kuchyně. Pro vhodné akustické parametry budou plastová potrubí instalována s rozdělovacími komorami. Výpočet přiváděného, odváděného vzduchu a návrh VZT potrubí je v příloze 3.

ZDROJ TEPLA

Dle situace inženýrských sítí (*obrázek 52*) je v lokalitě objektu dostupný teplovod Teplárny České Budějovice a.s. Tato rozvodná síť zprostředkovává dodávku tepelné energie ve formě páry i vody pro vytápění a přípravu teplé vody [28]. V rámci Varianta A navrhuji napojení objektu na síť centrálního zásobování teplem (CZT) přes kompaktní předávací stanici s deskovými výměníky tepla (DVT). Varianta A počítá se zachováním umístění technické místnosti v 1. PP, plynové kondenzační kotle budou odstraněny a do technické místnosti budou instalovány komponenty předávací stanice. Tlakově nezávislá předávací stanice bude napojena na rozdělovač/sběrač a zásobník teplé vody (ZTV). Na rozdělovač/sběrač dále zůstávají napojeny rozvody otopné vody vedoucí k otopným tělesům a nově také VZT jednotka.



Obrázek 52 - Dostupnost inženýrských sítí [14]



Obrázek 53 - Energetické schéma: Varianta A

3.3.2 Varianta B

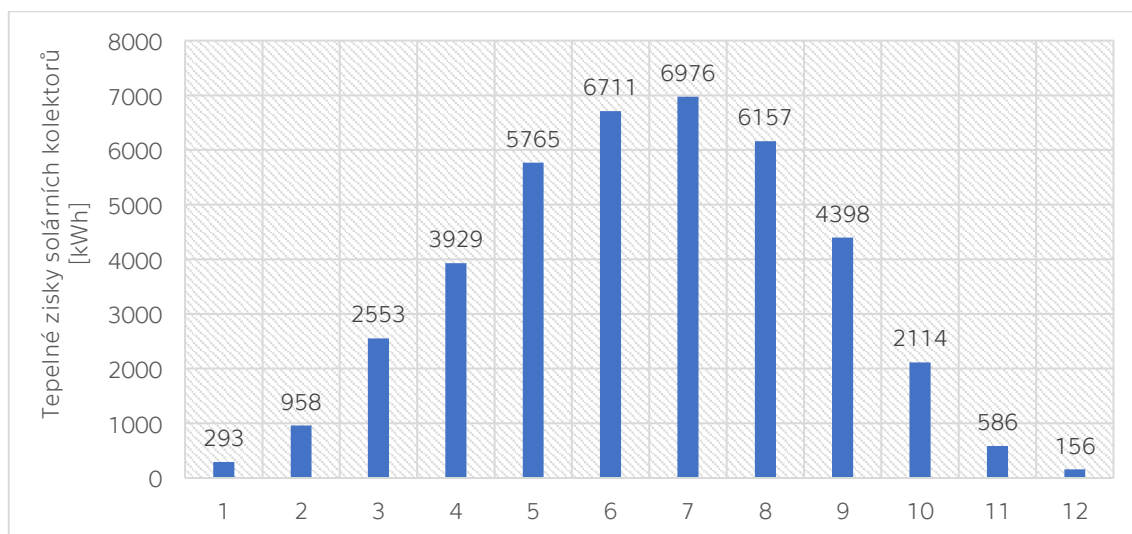
VĚTRÁNÍ

Návrh větrání odpovídá variantě A.

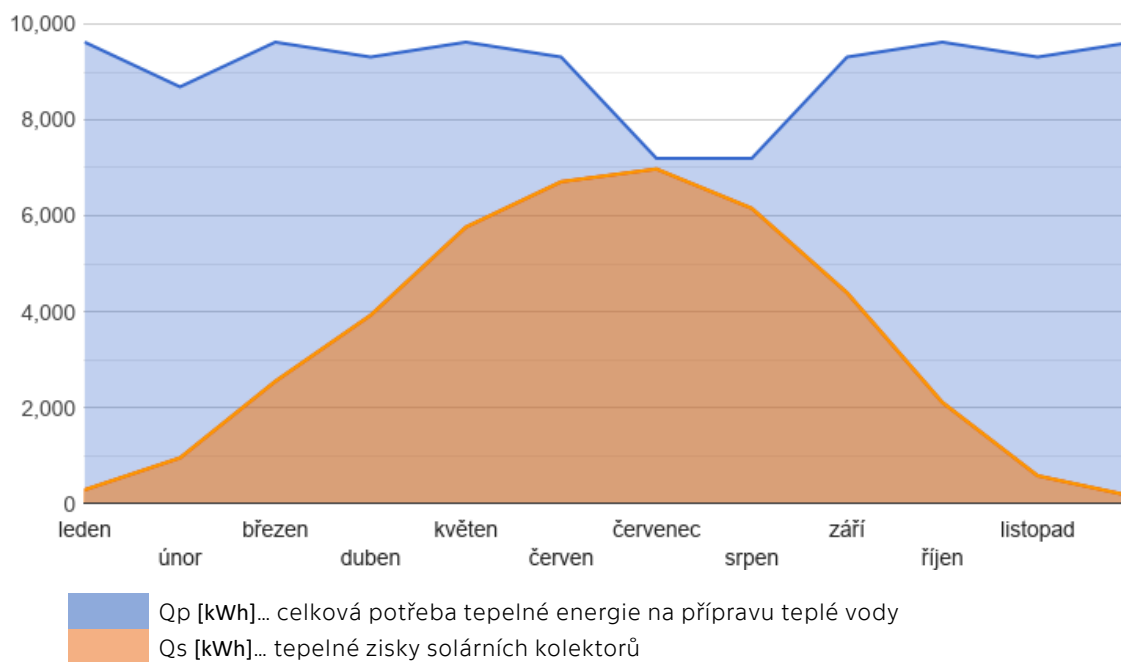
ZDROJ TEPLA

Stejně jako u varianty A dojde k odstranění plynových kotlů, které jsou na konci své životnosti. Novým zdrojem tepla jsou navržená tepelná čerpadla vzduch-voda každé s maximálním výkonem 19,7 kW, viz příloha 4. Vnitřní jednotky TČ budou umístěny v technické místnosti a venkovní jednotky na střeše objektu. Venkovní jednotky jsou zdrojem akustického hluku, což bude nutné zohlednit v akustickém hodnocení navržené varianty. Zdroj tepla bude stejně jako u předešlé varianty napojen na rozdělovač/sběrač, přes který bude zásobena otopná soustava i zásobník teplé vody.

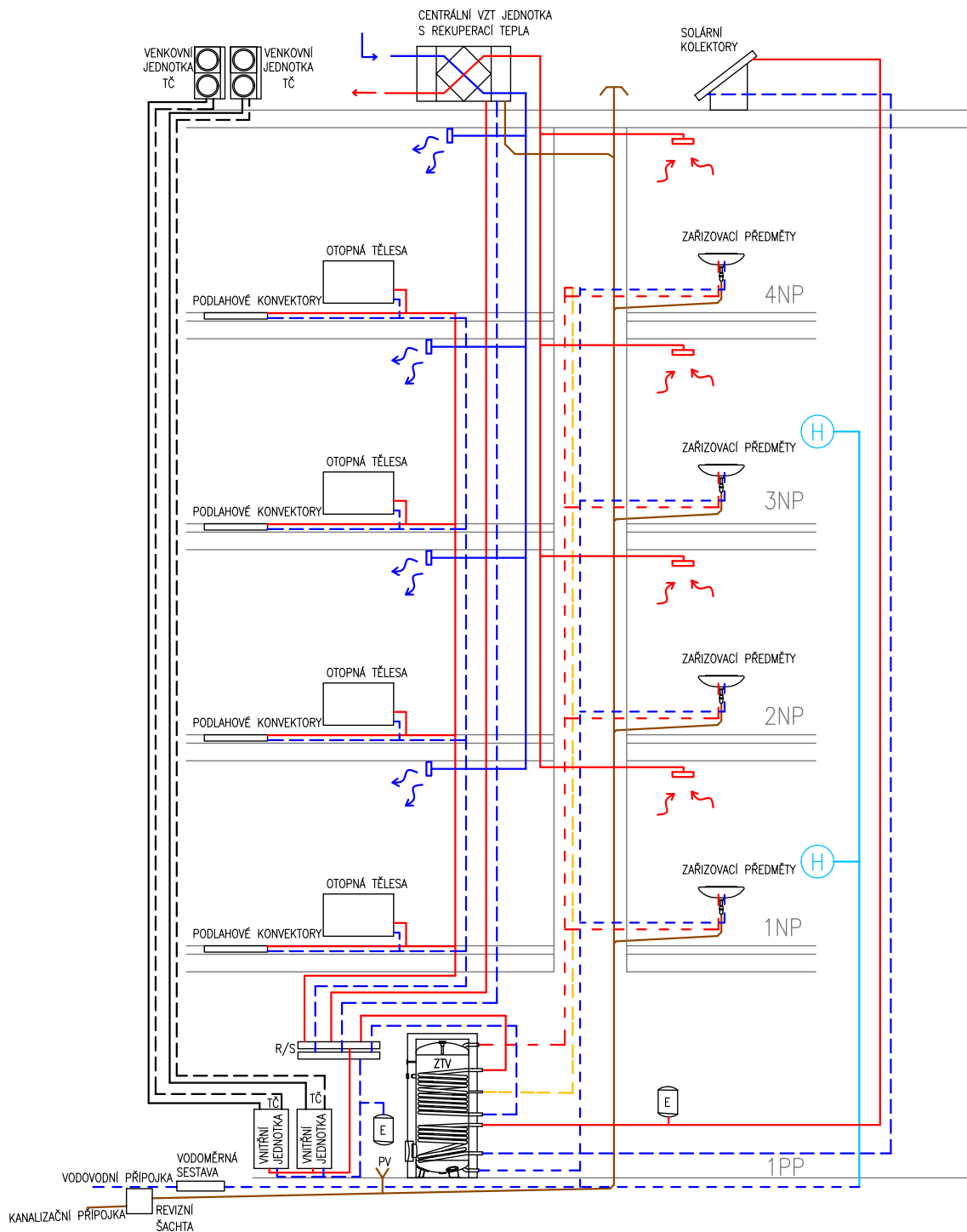
Jako doplňkový zdroj tepla navrhuji ve variantě B solární kolektory. Tento typ tepelné soustavy je založen na fototerminální přeměně energie slunečního záření na tepelnou energii [29]. V objektu bude využit především pro předehřev a přípravu teplé vody s cílem dosáhnout přibližně 40% pokrytí celkové roční potřeby tepla na přípravu TV a zároveň nepřesáhnout potřeby tepla v letním období. Navrhuji instalaci 48 ks samostatně stojících solárních kolektorů FPC1200A [30] s celkovou plochou apertury kolektorů 89,3 m². Tyto prvky budou orientovány k jihu ve sklonu 30°. Dle výpočtů potřeby tepla na přípravu TV a solárních zisků soustavy v příloze 5 je výše měrných tepelných zisků systému 455 kWh/m²·rok, solární podíl pokrytí potřeby tepla $f = 37\%$ a skutečně využitě zisky solární soustavy se rovnají $Q_{ss} = 40\,597$ kWh/rok [31; 32].



Graf 2 - Měsíční produkce tepelné energie solárních kolektorů [31]



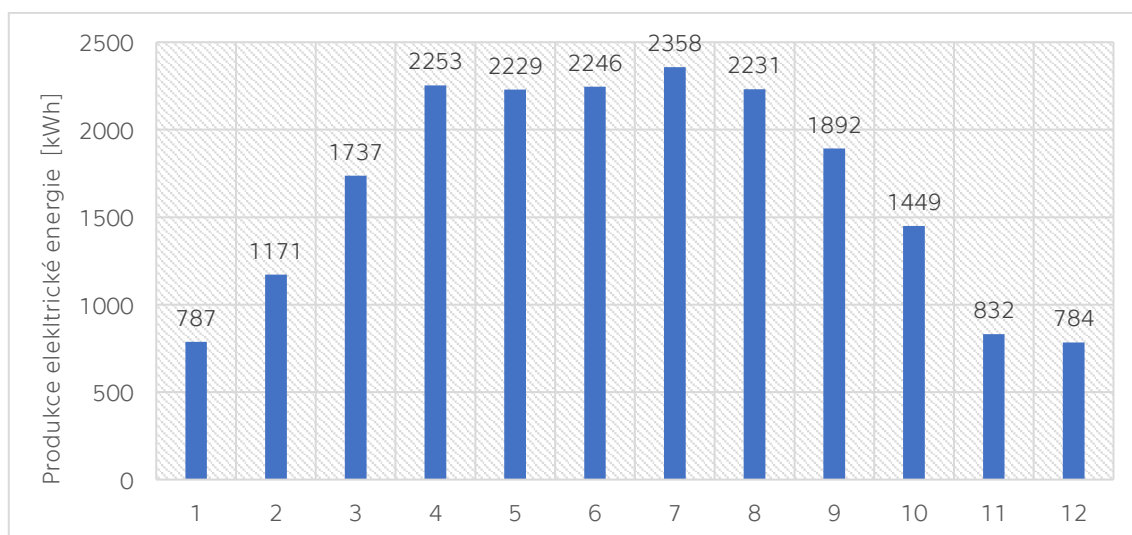
Graf 3 - Graf měsíční potřeby tepelné energie na přípravu TV [31]



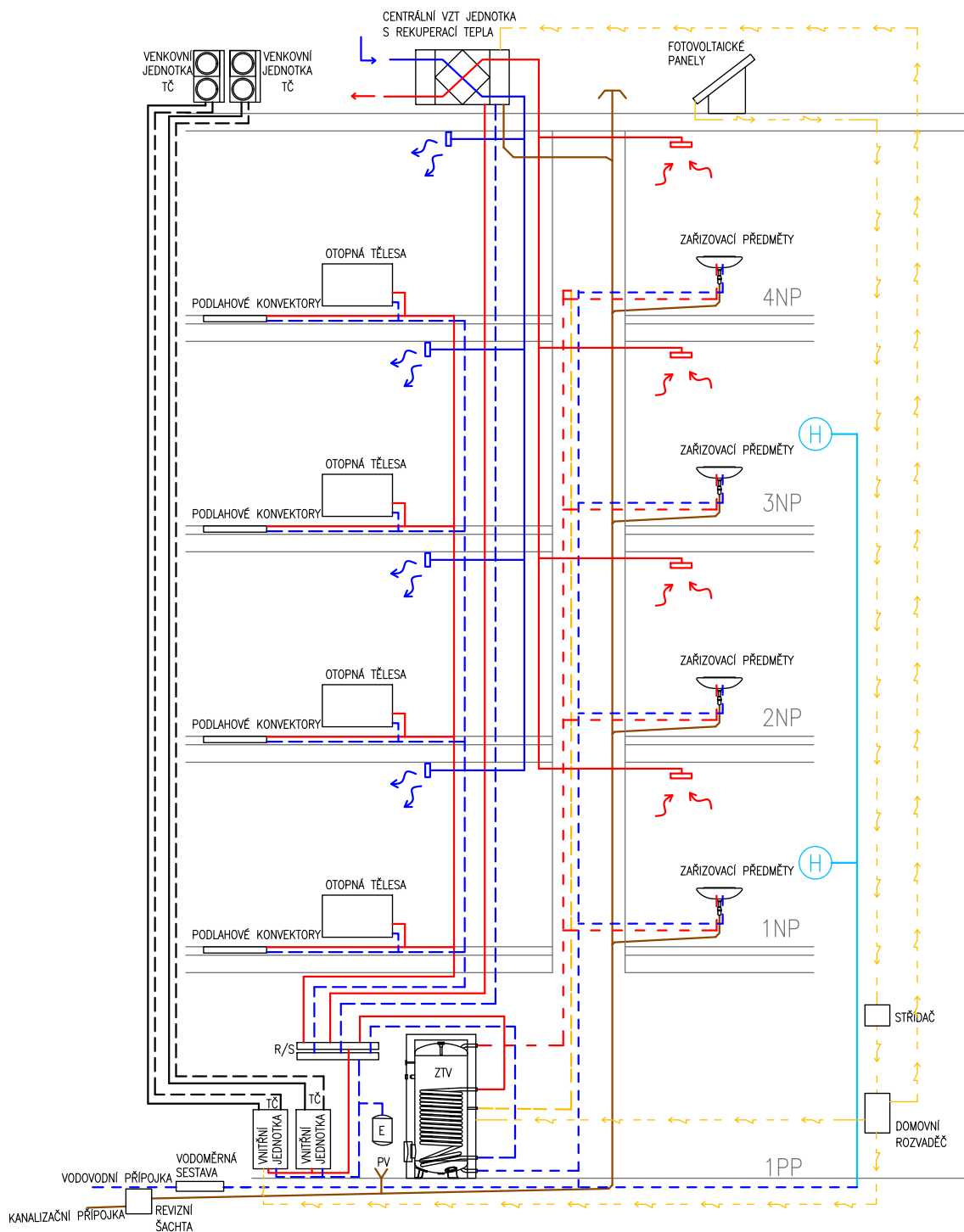
Obrázek 54 - Energetické schéma: Varianta B

3.3.3 Varianta C

Poslední varianta slouží k porovnání doplňkových zdrojů energie. V rámci varianty C navrhuji místo solárních kolektorů instalovat fotovoltaické panely s monokrystalickými články. FV panely využívají část spektra slunečního záření pro produkci elektrické energie, která je dodávána přes střídač do budovy [29]. Dle varianty C bude instalováno 37 samostatně stojících fotovoltaických panelů orientovaných k jihu. Počet je zvolen s ohledem na možnost porovnání variant, a tedy s cílem dosáhnout stejné absorpční plochy solárního systému cca 90 m². Uvažované FV panely mají maximální výkon 550 Wp a dosahují účinnosti 21,5 %. Dle výpočtu v příloze 6 je roční produkce systému 19 900 kWh/rok.



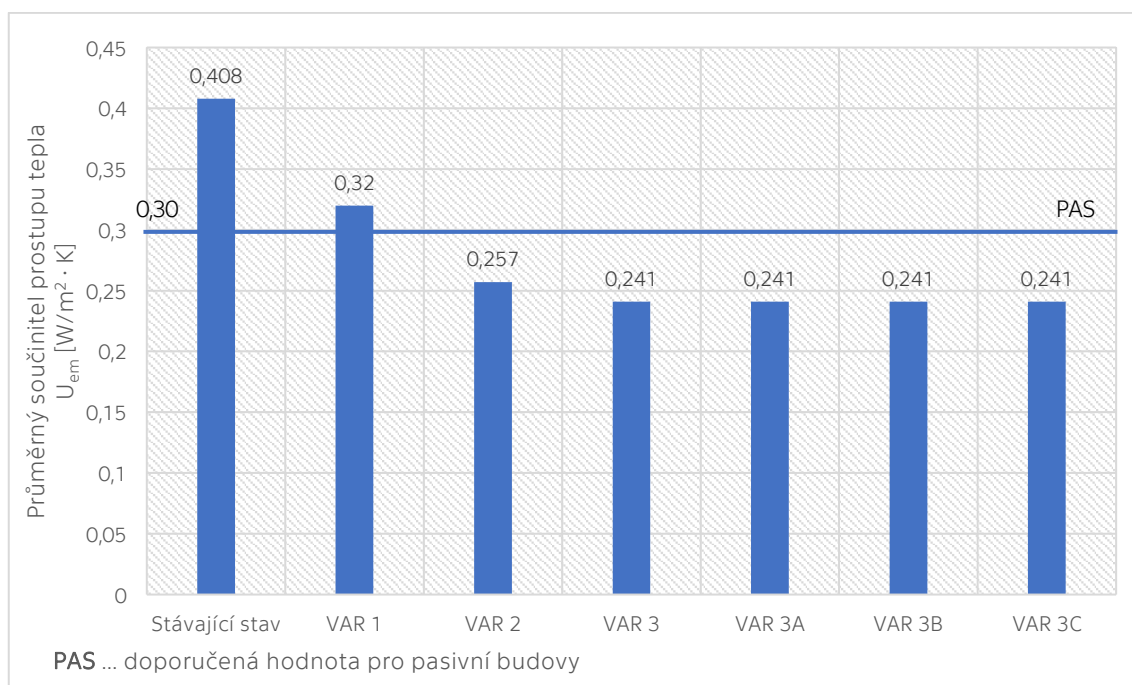
Graf 4 - Měsíční produkce elektrické energie FV systému [33]



Obrázek 55 - Energetické schéma: Varianta C

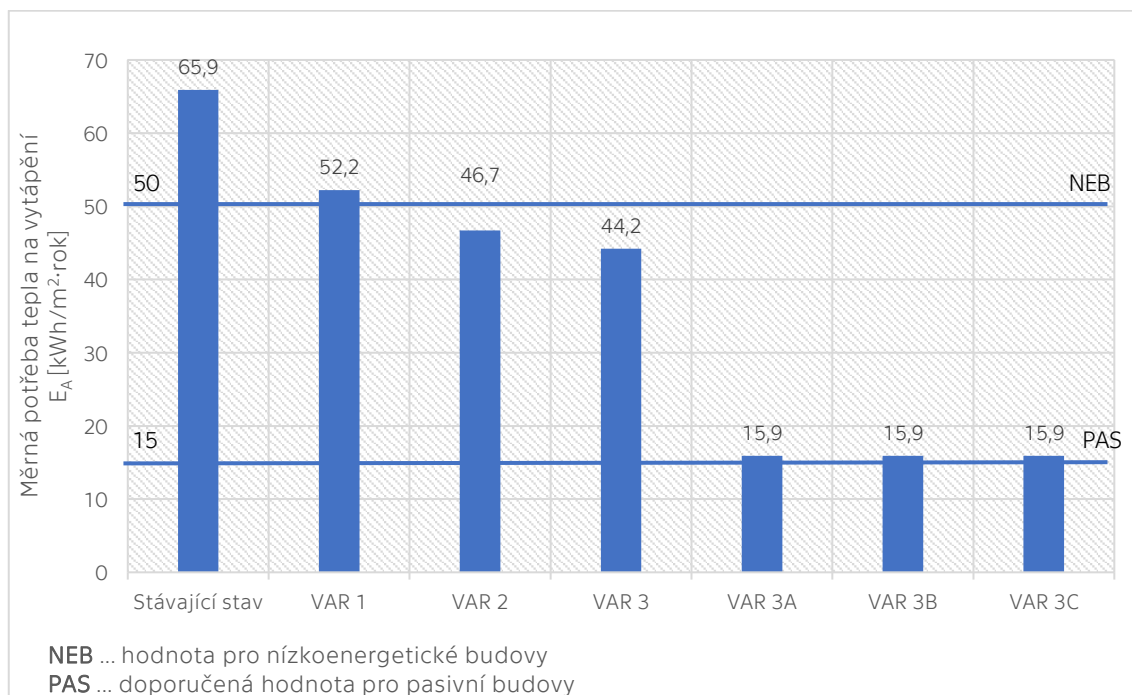
4 ZHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH VARIANT

Energetický posudek byl po zapracování jednotlivých variant renovačních opatření zpracován stejně jako posouzení stávajícího stavu objektu pomocí programu *Potřeba tepla* [17]. Vstupní parametry objektu dle kapitoly 2.1, jako je počet obyvatel, objem vytápěné zóny či plocha obalových konstrukcí, zůstaly stejné. Ke změně došlo u účinnosti rekuperace tepla a objemového toku vzduchu při $\Delta p = 50$ Pa, na které měly vliv varianty řešící úpravu větrání. Dále v kapitole shrnuji výsledné hodnoty ukazatelů energetické náročnosti nejen pro jednotlivé varianty úpravy obálky, ale také pro zvolené kombinace s navrženými způsoby optimalizace systémů TZB.



Graf 5 - Porovnání průměrného součinitele prostupu tepla

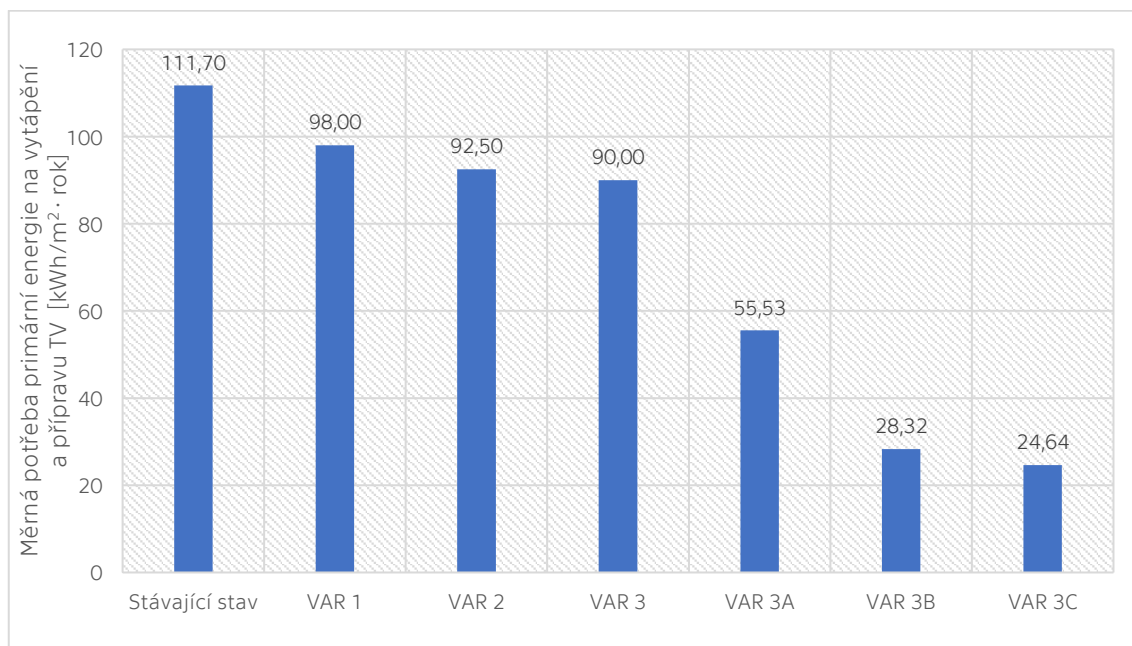
Varianty 2 až 3C splňují doporučenou hodnotu průměrného součinitele prostupu tepla pro pasivní budovy. Z grafu výše vyplývá, že ke snížení hodnoty U_{em} pod $0,30 W/m^2 \cdot K$ [24] bude nutné upravit skladbu obvodových konstrukcí dle doporučených hodnot pro pasivní budovy, dále bude třeba vyměnit výplně otvorů za prvky taktéž splňující $U_{rec, pas}$. Pro splnění tohoto ukazatele energetické náročnosti by však nebylo třeba zasahovat do dalších konstrukcí na hranici vytápěné zóny.



Graf 6 - Porovnání měrné potřeby tepla na vytápění

Po úpravě obálky dle doporučených hodnot pro pasivní budovy (VAR 2 a VAR 3) klesne měrná potřeba tepla na vytápění pod hodnotu definující nízkoenergetické budovy. Z grafu *Porovnání měrné potřeby tepla na vytápění* vyplývá, že zásadní pro snížení hodnoty tohoto ukazatele energetické náročnosti je kombinace úpravy obálky s optimalizací systémů TZB. Důležitý je návrh větrání s rekuperací (VAR 3A, VAR 3B a VAR 3C), druh zdroje tepla nemá v tomto ohledu vliv, proto jsou hodnoty VAR 3A až VAR 3C stejné.

Navržená renovační opatření dokáží snížit měrnou potřebu tepla na vytápění na $E_A = 15,9 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$, výsledek však nespĺňuje doporučenou hodnotu pro pasivní budovy $E_A = 15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$. Pro dosažení pasivního standardu by bylo třeba provést dodatečné zateplení stropu nad nevytápěnými garážemi. Dle předběžného výpočtu by bylo vhodné izolovat spodní stranu železobetonové desky tepelně izolačními deskami z kamenné vlny ($\lambda_d = 0,033 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) o tloušťce 140 mm. Toto opatření nebylo od začátku návrhu započítáno ve variantách úpravy obálky, protože již stávající skladba SS splňuje doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla pro pasivní budovy.



Graf 7 - Porovnání měrné potřeby primární energie na vytápění a přípravu TV

Ke snížení měrné potřeby primární energie vedou všechny navrhované varianty renovačních opatření. Zásadní je úprava obálky, návrh větrání s rekuperací tepla i výměna zdroje tepla. Nejnižší hodnoty měrné potřeby primární energie na vytápění a přípravu teplé vody lze dosáhnout při úpravě konstrukcí obálky dle doporučených hodnot pro pasivní budovy a výměnou stávajícího zdroje tepla za tepelná čerpadla s využitím fotovoltaických panelů jako doplňkového zdroje energie.

Doporučená hodnota měrné potřeby primární energie pro pasivní budovy je 60 kWh/m²·rok. Pro návrh je zásadní, že měrnou potřebu primární energie na vytápění a přípravu TV lze snížit více jak o 70 %.

Tabulka 21 - Výsledné hodnoty ukazatelů energetické náročnosti

	Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/m ² · K]	Měrná potřeba tepla na vytápění E_A [kWh/m ² ·rok]	Měrná potřeba tepla na chlazení [kWh/m ² · rok]	Měrná potřeba primární energie na vytápění a přípravu TV [kWh/m ² · rok]
Úprava obálka				
Varianta 1	0,320	52,2	0	98,00
Varianta 2	0,257	46,7	0	92,50
Varianta 3	0,241	44,2	0	90,00
Kombinace				
Varianta 3A	0,241	15,9	0	55,53
Varianta 3B	0,241	15,9	0	28,32
Varianta 3C	0,241	15,9	0	24,64
pas standard	≤0,30	≤15	0	-

Finální návrh uvažuje s variantou 3C, na základě které lze dosáhnout nejlepších hodnot průměrného součinitele prostupu tepla, měrné potřeby tepla na vytápění i měrné potřeby primární energie na vytápění a přípravu TV. Pro výslednou variantu je v příloze 9 zpracována vybraná výkresová dokumentace.

5 POSOUZENÍ LETNÍ TEPELNÉ STABILITY OBJEKTU

Zlepšení tepelně technických parametrů obvodových konstrukcí, a především náhrada výplně otvorů za prvky s lepším zasklením zvyšuje riziko letního přehřívání v interiéru vlivem tepelných zisků od slunečního záření. V návrhu je tedy nutné zohlednit i opatření zajišťující tepelnou stabilitu místnosti v letním období [2].

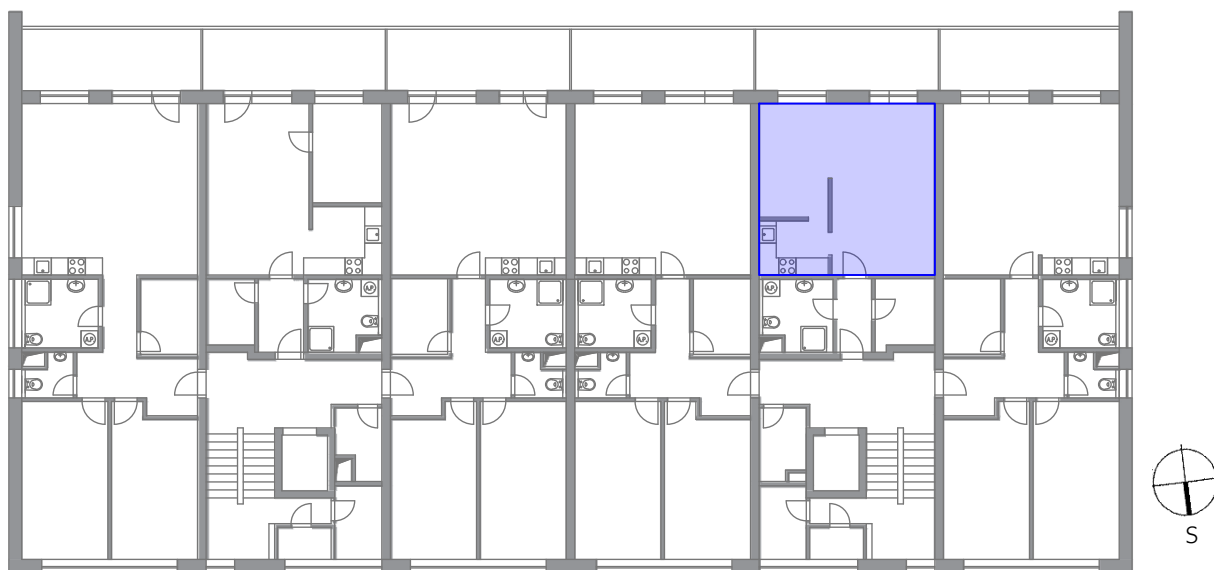
Omezení solárních zisků je možné dosáhnout vnitřními i vnějšími stínícími prvky. Vnější ochrana před sluncem je účinnější, protože je zabráněno dopadu slunečních paprsků na plochu okna. Mohou být využita pevná opatření jako jsou přesahy střech, balkony či pergoly, nebo přechodné stínící prvky, ke kterým patří například vnější žaluzie, rolety nebo posuvné okenice. Vnitřní stínění pomocí závěsů, rolet nebo vnitřních žaluzií je méně účinné, výhodou je však vyloučení přímých povětrnostních vlivů [1].

Hodnocení tepelné stability místnosti v letním období je prováděno v kritické místnosti, což je místnost s největší plochou přímo osluněných výplní otvorů s orientací na Z, JZ, J, JV a V. „Kritická místnost musí vykazovat nejvyšší denní teplotu vzduchu v místnosti v letním období $\theta_{ai,max}$ [°C] podle vztahu: $\theta_{ai,max} \leq \theta_{ai,max,N}$ “ [29] dle ČSN 73 0540-2 [24].

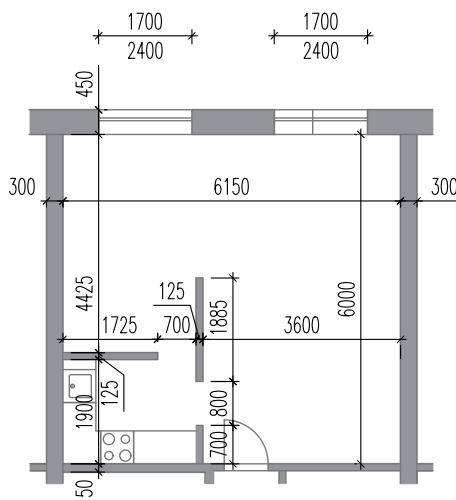
Tabulka 22 - Požadované hodnoty nejvyšší denní teploty vzduchu v místnosti v letním období [24]

Druh budovy	Nejvyšší denní teplota vzduchu v místnosti v letním období $\theta_{ai,max,N}$ [°C]
Nevýrobní	27,0

Kritická místnost se nachází ve 4. NP s osluněnými otvory orientovanými na jih.



Obrázek 56 - Vyznačení kritické místnosti v půdorysu 4. NP



Obrázek 57 - Kritická místnost

Výpočet byl proveden pomocí aplikace Letní přehřívání [34]. Pro porovnání vlivu renovačních úprav na riziko letního přehřívání bylo hodnocení tepelné stability místnosti provedeno pro stávající stav objektu, stav po úpravě obálky dle doporučených hodnot pro pasivní budovy i optimalizaci systému TZB, následně s vlivem nočního větrání a návrhem vnějších stínících prvků.

5.1 Stávající stav

Tabulka 23 - Vstupní parametry konstrukcí pro výpočet tepelné stability - stávající stav

	Součinitel prostupu tepla U [$W/m^2 \cdot K$]	Plocha konstrukce A [m^2]
Vnější konstrukce na rozhraní s venkovním prostředím		
obvodová stěna SO5	0,262	18,6
střecha SST1	0,184	36,9
Vnitřní konstrukce na rozhraní s jinou zónou se stejnou teplotou		
vnitřní stěna mezibytová	0,905	31,6
příčka	1,35	16,2
podlaha	0,405	36,9
Vnitřní konstrukce zcela zanořené do hodnocené zóny		
příčka	1,548	17,9

Tabulka 24 - Vstupní parametry výplně otvorů pro výpočet tepelné stability - stávající stav

	Plocha A_w [m^2]	Plocha zasklení A_{glz} [m^2]	Součinitel prostupu tepla U_w [$W/m^2 \cdot K$]	Energetická propustnost g [-]	Činitel stínění F_{sh} [-]
balkonové dveře	8,16	5,82	1,26	0,75	0,73

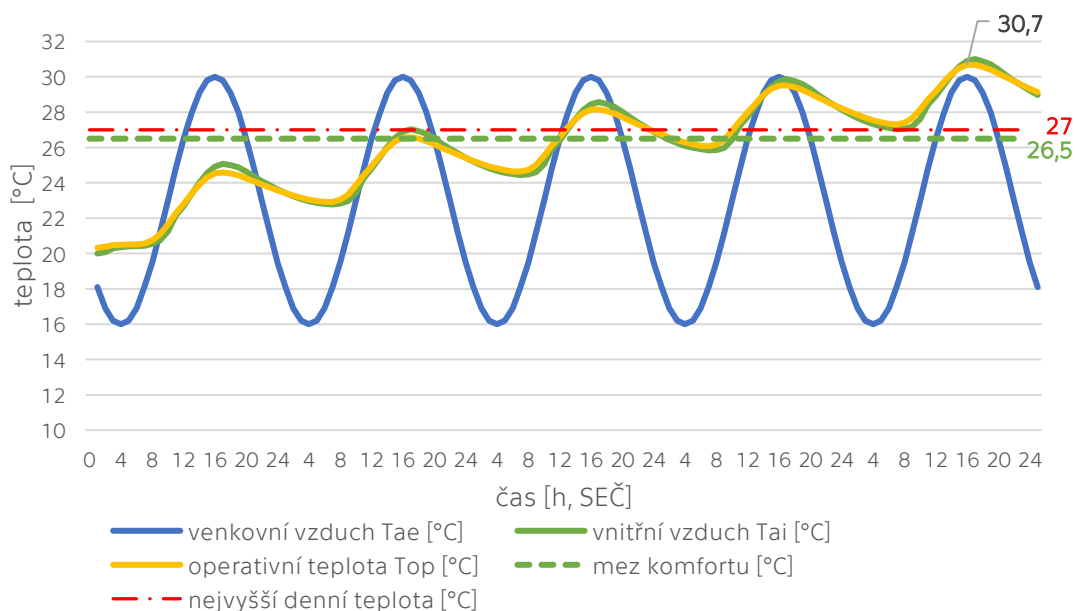


Tabulka 25 - Vstupní parametry větrání pro výpočet tepelné stability – stávající stav

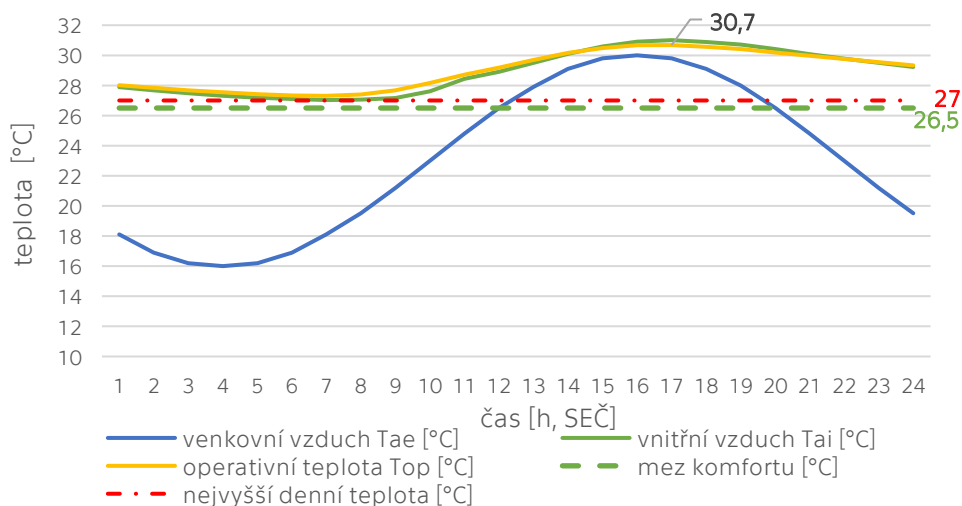
	Násobnost větrání [h ⁻¹]
denní 7-22h	0,9
noční 23-6 h	0,9

Tabulka 26 Vstupní parametry vnitřních tepelných zisků pro výpočet tepelné stability – stávající stav

	Vnitřní tepelné zisky Qi [W]
7-8 h	150
8-16 h	80
16-19 h	215
19-21 h	150
21-7 h	95



Graf 8 - Průběh teplot v kritické místnosti během pěti dnů – stávající stav [34]



Graf 9 - Průběh teplot v kritické místnosti během 5. dne – stávající stav [34]

5.2 Varianta 3 + optimalizace TZB

Tabulka 27 - Vstupní parametry konstrukcí pro výpočet tepelné stability – VAR3+optimalizace TZB

	Součinitel prostupe tepla U [$W/m^2 \cdot K$]	Plocha konstrukce A [m^2]
Vnější konstrukce na rozhraní s venkovním prostředím		
obvodová stěna S05	0,156	18,6
střecha SST1	0,136	36,9
Vnitřní konstrukce na rozhraní s jinou zónou se stejnou teplotou		
vnitřní stěna mezibytová	0,905	31,6
příčka	1,35	16,2
podlaha	0,405	36,9
Vnitřní konstrukce zcela zanořené do hodnocené zóny		
příčka	1,548	17,9

změna parametru oproti stávajícímu stavu

Tabulka 28 - Vstupní parametry výplně otvorů pro výpočet tepelné stability – VAR3+optimalizace TZB

	Plocha A_w [m^2]	Plocha zasklení A_{glz} [m^2]	Součinitel prostupe tepla U_w [$W/m^2 \cdot K$]	Energetická propustnost g [-]	Činitel stínění F_{sh} [-]
balkonové dveře	8,16	5,82	0,64	0,54	0,73

změna parametru oproti stávajícímu stavu

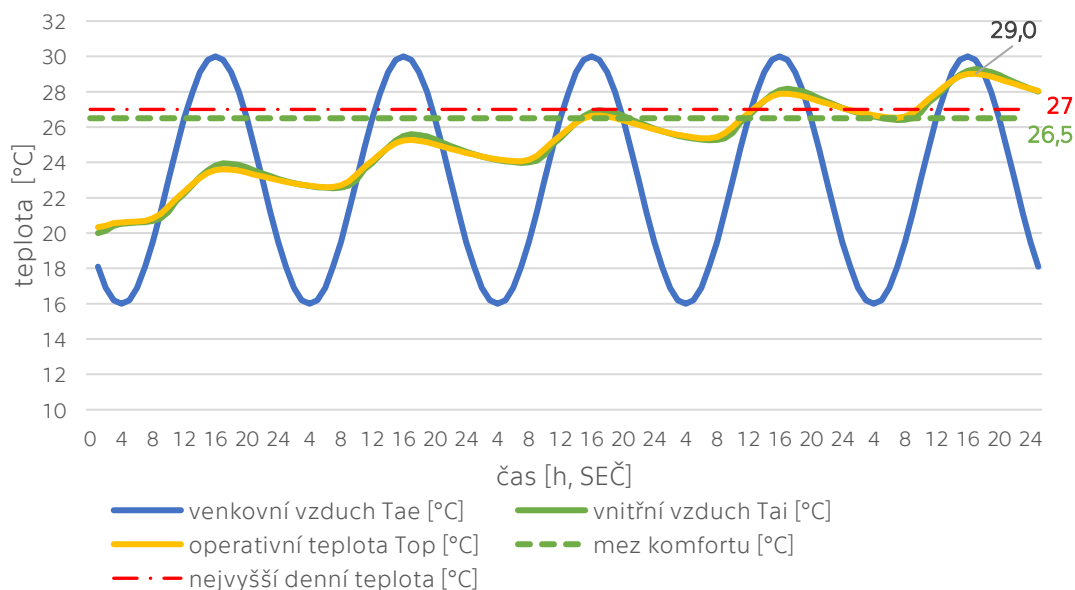
Tabulka 29 - Vstupní parametry větrání pro výpočet tepelné stability – VAR3+optimalizace TZB

	Násobnost větrání [h^{-1}]
denní 7-22h	0,5
noční 23-6 h	0,5

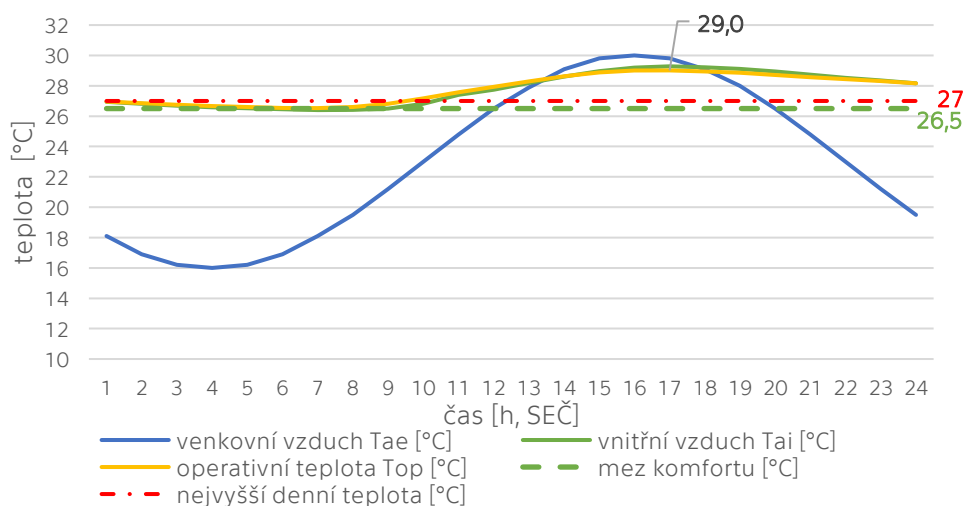
změna parametru oproti stávajícímu stavu

Tabulka 30 Vstupní parametry vnitřních tepelných zisků pro výpočet tepelné stability – VAR3+optimalizace TZB

	Vnitřní tepelné zisky Q_i [W]
7-8 h	150
8-16 h	80
16-19 h	215
19-21 h	150
21-7 h	95



Graf 10 - Průběh teplot v kritické místnosti během pěti dnů – VAR3+optimalizace TZB [34]



Graf 11 - Průběh teplot v kritické místnosti během 5. dne – VAR3+optimalizace TZB [34]

Předpokládala jsem, že vlivem zlepšení tepelně izolačních vlastností obálky objektu dojde ke zvýšení vnitřní teploty v kritické místnosti. Průběh teplot znázorněný v grafech výše však tento předpoklad nepotvrdil. Došlo dokonce k mírnému poklesu maximální teploty z 30,7 °C na 29 °C. Velký vliv na snížení maximální teploty má zlepšení energetické propustnosti okna g z hodnoty 0,75 na hodnotu 0,54. V případě, že by nově instalovaná okna měla stejnou energetickou propustnost jako okna stávajícího objektu, maximální teplota by vzrostla na 31,4 °C. Zlepšení tepelně izolačních vlastností obálky objektu má za následek zploštění křivky průběhu teploty vnitřního vzduchu a operativní teploty, viz graf 11. Znamená to, že při zlepšení průměrného součinitele prostupu tepla obálku je nárůst a pokles teploty v interiéru pomalejší a teplota je tedy více stabilní.

5.3 Noční větrání

Tabulka 31 - Vstupní parametry konstrukcí pro výpočet tepelné stability – noční větrání

	Součinitel prostupu tepla U [$W/m^2 \cdot K$]	Plocha konstrukce A [m^2]
Vnější konstrukce na rozhraní s venkovním prostředím		
obvodová stěna S05	0,156	18,6
střecha SST1	0,136	36,9
Vnitřní konstrukce na rozhraní s jinou zónou se stejnou teplotou		
vnitřní stěna mezibytová	0,905	31,6
příčka	1,35	16,2
podlaha	0,405	36,9
Vnitřní konstrukce zcela zanořené do hodnocené zóny		
příčka	1,548	17,9

změna parametru oproti stávajícímu stavu

Tabulka 32 - Vstupní parametry výplně otvorů pro výpočet tepelné stability – noční větrání

	Plocha A_w [m^2]	Plocha zasklení A_{glz} [m^2]	Součinitel prostupu tepla U_w [$W/m^2 \cdot K$]	Energetická propustnost g [-]	Činitel stínění F_{sh} [-]
balkonové dveře	8,16	5,82	0,64	0,54	0,73

změna parametru oproti stávajícímu stavu

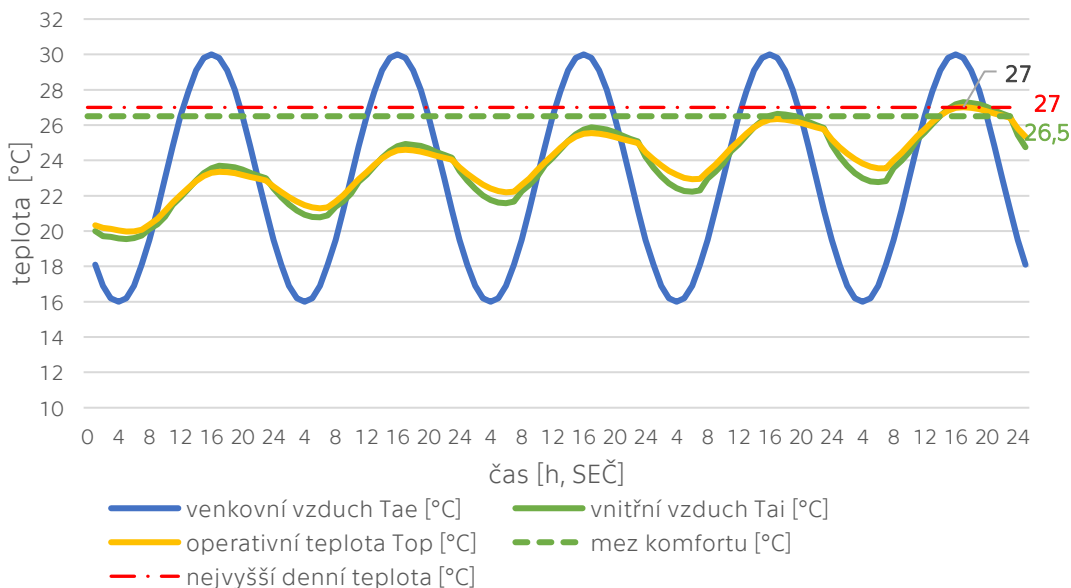
Tabulka 33 - Vstupní parametry větrání pro výpočet tepelné stability – noční větrání

	Násobnost větrání [h^{-1}]
denní 7-22h	0,5
noční 23-6 h	4,0

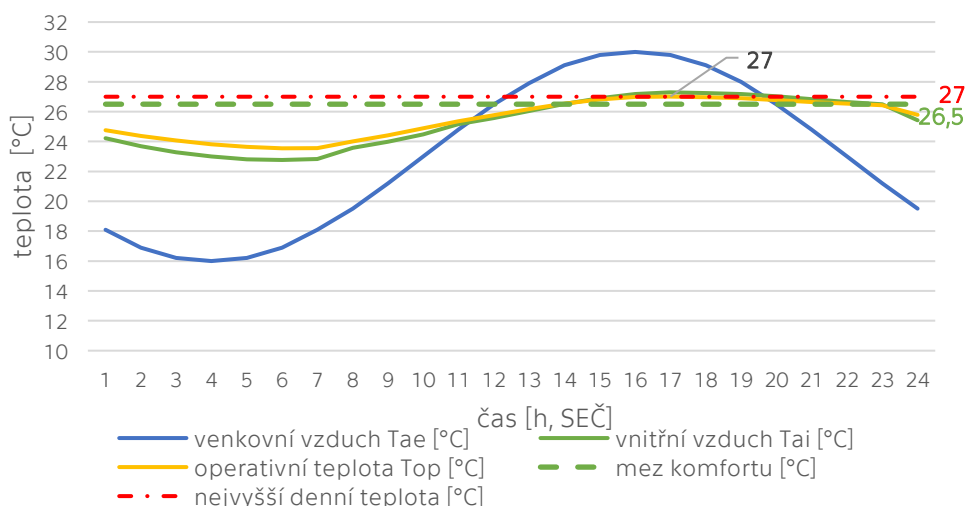
změna parametru oproti stávajícímu stavu

Tabulka 34 - Vstupní parametry vnitřních tepelných zisků pro výpočet tepelné stability – noční větrání

	Vnitřní tepelné zisky Q_i [W]
7-8 h	150
8-16 h	80
16-19 h	215
19-21 h	150
21-7 h	95



Graf 12 - Průběh teplot v kritické místnosti během pěti dnů – noční větrání [34]



Graf 13 - Průběh teplot v kritické místnosti během 5. dne – noční větrání [34]

V této variantně je pro snížení vnitřní teploty využito nucené noční větrání, které funguje na principu předchlazení hmoty konstrukcí studeným nočním vzduchem [29]. Navržená intenzita větrání 4 h^{-1} v době od 22:00 do 7:00 stačí na snížení maximální teploty v interiéru na 27°C . Toto řešení tedy splňuje podmínku požadované nejvyšší teploty vzduchu v místnosti 27°C , ale neodpovídá mezi komfortu $26,5^\circ\text{C}$.

5.4 Vnější stínění

Tabulka 35 - Vstupní parametry konstrukcí pro výpočet tepelné stability – vnější stínění

	Součinitel prostupu tepla U [$W/m^2 \cdot K$]	Plocha konstrukce A [m^2]
Vnější konstrukce na rozhraní s venkovním prostředím		
obvodová stěna S05	0,156	18,6
střecha SST1	0,136	36,9
Vnitřní konstrukce na rozhraní s jinou zónou se stejnou teplotou		
vnitřní stěna mezibytová	0,905	31,6
příčka	1,35	16,2
podlaha	0,405	36,9
Vnitřní konstrukce zcela zanořené do hodnocené zóny		
příčka	1,548	17,9

změna parametru oproti stávajícímu stavu

Tabulka 36 - Vstupní parametry výplně otvorů pro výpočet tepelné stability – vnější stínění

	Plocha A_w [m^2]	Plocha zasklení A_{glz} [m^2]	Součinitel prostupu tepla U_w [$W/m^2 \cdot K$]	Energetická propustnost g [-]	Činitel stínění F_{sh} [-]
balkonové dveře	8,16	5,82	0,64	0,54	0,11

změna parametru oproti stávajícímu stavu

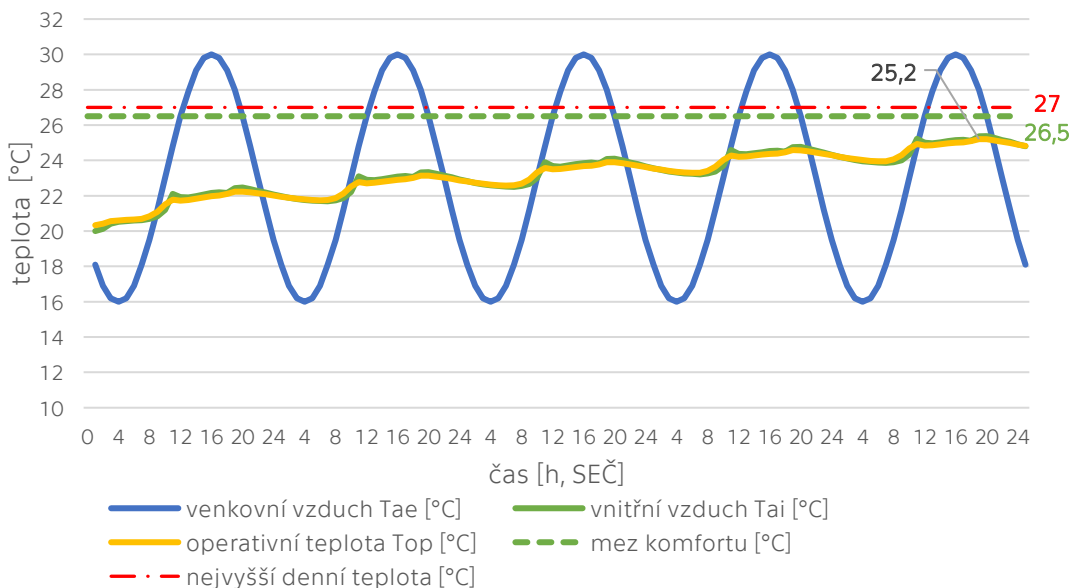
Tabulka 37 - Vstupní parametry větrání pro výpočet tepelné stability – vnější stínění

	Násobnost větrání [h^{-1}]
denní 7-22h	0,5
noční 23-6 h	0,5

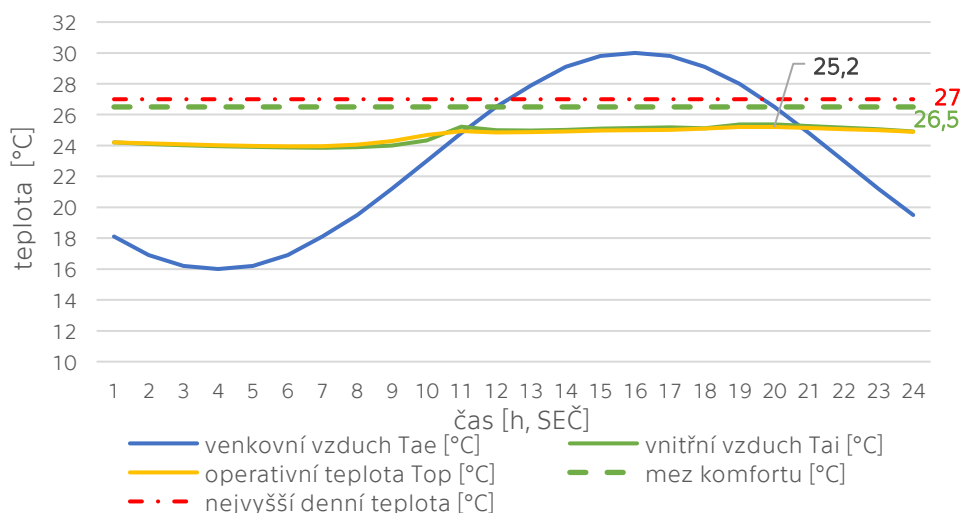
změna parametru oproti stávajícímu stavu

Tabulka 38 - Vstupní parametry vnitřních tepelných zisků pro výpočet tepelné stability – vnější stínění

	Vnitřní tepelné zisky Q_i [W]
7-8 h	150
8-16 h	80
16-19 h	215
19-21 h	150
21-7 h	95



Graf 14 - Průběh teplot v kritické místnosti během pěti dnů – vnější stínění [34]



Graf 15 - Průběh teplot v kritické místnosti během 5. dne – vnější stínění [34]

Poslední hodnocená varianta zahrnuje stínění vnějšími žaluziemi. Okna jsou ve stávajícím stavu stíněna pouze bočními konstrukcemi, které oddělují jednotlivé balkony. Doplněním návrhu o vnější žaluzie je snížena maximální teplota v místnosti na 25,2 °C. Toto opatření není nutné kombinovat s nočním větráním.

Finální návrh počítá s instalací vnějších žaluzií na okna jižní fasády. Výhodou této varianty je nejen zamezení rizika letního přehřívání v interiéru, ale také zlepšení vizuálního komfortu obyvatel.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byl návrh energeticky efektivní renovace bytového domu v Českých Budějovicích včetně zhodnocení navržených renovačních variant a posouzení letní tepelné stability objektu.

Základem pro návrh vhodných renovačních opatření bylo zkompletování dostupných technických podkladů a výkresové dokumentace křešenému bytovému domu. Na základě těchto dokumentů bylo následně zpracováno energetické posouzení stávajícího stavu objektu. V posouzení byly detailně popsány konstrukce na hranici vytápěné zóny, jejich umístění, skladba i tepelně technické parametry. Do posudku byl zahrnut také současný stav technických zařízení budov. Z výpočtů vyplynulo, že největší tepelné ztráty jsou způsobené větráním, prostupem tepla okny a obvodovými stěnami.

Další část diplomové práce se zaměřuje na návrh renovačních opatření vedoucích k energetické sanaci objektu. Cílem bylo dosáhnout co nejlepších hodnot ukazatelů energetické náročnosti se zaměřením na měrnou potřebu tepla na vytápění E_A , průměrný součinitel prostupu tepla obálkou U_{em} a měrnou potřebu energie z neobnovitelných zdrojů. Návrh byl rozdělen na úpravu obálky a optimalizaci systémů TZB a obě tyto části byly řešeny ve variantách. V rámci varianty 1 byly navrženy nové skladby obvodových konstrukcí a výplně otvorů dle doporučených hodnot, ve variantě 2 byly řešeny stejné konstrukce, avšak dle doporučených hodnot pro pasivní budovy. Nejkomplexnější úprava obálky byla provedena ve variantě 3, kde byly dle doporučených hodnot pro pasivní budovy upraveny nejen obvodové stěny a výplně otvorů, ale také skladba střech a vnitřních stěn na hranici vytápěné zóny. Optimalizace systémů TZB byla cílena na změnu způsobu větrání a výměnu zdroje tepla. Varianta A počítá s nuceným rovnotlakým větráním s rekuperací tepla a s centrální VZT jednotkou umístěnou pod konstrukcí pultové střechy. Ve stejné variantě bylo místo stávajících plynových kotlů navrženo centrální zásobování teplem. Varianty B a C taktéž zahrnují nucené rovnotlaké větrání, jako zdroj tepla jsou však uvažována tepelná čerpadla vzduch – voda. Poslední zmíněné varianty se liší druhem doplňujícího zdroje energie. Ve Variantě B byly navrženy solární kolektory, ve variantě C naopak fotovoltaické panely. Největších energetických úspor bylo dosaženo kombinací varianty 3 a varianty C. Toto řešení bylo následně zpracováno ve formě výkresové dokumentace.

V závěrečné kapitole diplomové práce je návrh doplněn o posouzení letní tepelné stability objektu. Riziko přehřívání bylo zhodnoceno pro stávající stav bytového domu, stav po zahrnutí renovačních opatření dle kombinace variant 3C a následně se započítáním nočního větrání a instalace vnějších stínících prvků. Z posouzení vyplynulo, že využití nočního větrání není dostatečně účinný způsob snížení vnitřní teploty vzduchu. Finální návrh tedy počítá s instalací vnějších žaluzií, pak bude vnitřní teplota snížena pod hodnotu meze komfortu 26,5 °C i požadovanou hodnotu nejvyšší denní teploty vzduchu v místnosti 27 °C. S vnějšími stínícími prvky není nutné využívat noční větrání.

Hlavní motivací pro zpracování této diplomové práce je aktuálnost řešené problematiky. V souvislosti s končící životností technických zařízení domu (plynové kotle) a také energetickou krizí řeší majitelé bytového domu varianty energetické sanace objektu. Energetické posudky prokázaly, že nejvhodnější je komplexní renovace spojená se zlepšením kvality vnitřního prostředí. Dále však bude muset být řešeno i ekonomické porovnání variant a případné využití dotačních programů. Uvedený příklad může posloužit jako pilotní projekt pro návrh komplexní renovace obdobných objektů.

SEZNAM ZDROJŮ

- [1] GABRIEL, Ingo, Heinz LADENER a kolektiv. Od staré stavby k nízkoenergetickému a pasivnímu domu: Sanace budov, nové energetické normy, plánování a stavební praxe. Ostrava: HEL, 2013. ISBN 978-80-86167-30-5.
- [2] HAZUCHA, Juraj. Konstrukční detaily pro pasivní a nulové domy: Doporučení pro návrh a stavbu. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-4551-0.
- [3] HAZUCHA, Juraj a Jan BÁRTA. Analýza rekonstrukce rodinných domů na pasivní standard [online]. Centrum pasivního domu, 2008 [cit. 2023-01-04]. Dostupné z: https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/8102_Rekonstrukce_RD_CPD.pdf.
- [4] Statutární město České Budějovice: Stručná historie města České Budějovice [online]. VOATT [cit. 2022-11-12]. Dostupné z: <https://www.c-budejovice.cz/strucna-historie-mesta-ceske-budejovice>.
- [5] Český úřad zeměměřický a katastrální: Nahlížení do katastru nemovitostí [online]. ČÚZK, 2022 [cit. 2022-11-12]. Dostupné z: https://nahlizeni.dokn.cuzk.cz/ZobrazObjekt.aspx?encrypted=NAHL~wDZUgiEQF5AHT7NIwzqhOdOG-uh46qy6HBy1Z_IW5q-7IXQ3Dx2qEyr9loF-DcexDKgZ.
- [6] IKatastr [online]. OpenStreetMap, CARTO, ČÚZK [cit. 2022-11-12]. Dostupné z: <https://www.ikatastr.cz/#kde=48.97462,14.45959,16&mapa=zakladni&vrstvy=bodpole&info=48.97374,14.45791>.
- [7] MERTENOVÁ, Kateřina. Fotodokumentace. České Budějovice, 2022.
- [8] ATELIÉR KROČÁK - ARCHITEKT. Bytové domy - Stromovka: Dokumentace skutečného provedení stavby. České Budějovice, 2007.
- [9] BAŽANT, Zdeněk a Miloš ZICH. Tzbinfo: Poruchy dilatací konstrukcí pozemních staveb [online]. 2015 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/hruba-stavba/13387-poruchy-dilataci-konstrukci-pozemnich-staveb>.
- [10] CEMIX: DECOR ŠABLONA CIHLA [online]. [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://www.klinkercentrum.cz/system-odvetravane-fasady>.
- [11] CENTRUM KLINKER: Systém odvětrávané fasády [online]. [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://www.klinkercentrum.cz/kontakt-ni-zatepovaci-system>.
- [12] CENTRUM KLINKER: Kontaktní zatepovací systém [online]. [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://www.klinkercentrum.cz/kontakt-ni-zatepovaci-system>.
- [13] CENTRUM KLINKER: TECHNICKÁ DOKUMENTACE A TECHNOLOGICKÝ PŘEDPIS [online]. In: . 1.6.2022 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://www.klinkercentrum.cz/media/cache/file/78/Brozura-KZS-Klinker-Centrum-2022.pdf>.
- [14] Geoportál Statutárního města České Budějovice - Mapový portál pro veřejnost: MMČB Technická map [online]. Magistrát města České Budějovice, TopGis [cit. 2022-11-18]. Dostupné z: <http://cbgis.c-budejovice.cz/ITC/klient/default.aspx?wmcid=325&SID=>.
- [15] TYWONIAK, Jan a kolektiv. Pozemní stavitelství VI: Stavební fyzika, zdravotní nezávadnost a požární bezpečnost staveb. Praha: Grada Publishing, 2014. ISBN 978-80-247-5102-3.

- [16] Vyhláška č. 264/2020 Sb.: Vyhláška o energetické náročnosti budov. In: . 2020, ročník 2020, 98/2020, 264/2020 Sb. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-264/zneni-20200901>.
- [17] STANĚK, Kamil. Potřebatepla__spj__2018__11__06 [online]. In: . [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&part=vyuuka&sub=druh&type=mgr&kod=124SPB1>.
- [18] ČSN EN ISO 52016-1. Energetická náročnost budov: Potřeba energie na vytápění a chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní tepelné výkony – Část 1: Výpočtové postupy. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2019.
- [19] ČSN 73 0540-3. Tepelná ochrana budov. Část 3: Návrhové hodnoty veličin. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [20] ČSN 73 0540-4. Tepelná ochrana budov. Část 4: Výpočtové metody. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [21] ČSN EN ISO 13370. Tepelné chování budov: Přenos tepla zeminou - Výpočtové metody. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2019.
- [22] ČSN EN ISO 13789. Tepelné chování budov: Měrné tepelné toky prostupem tepla a větráním - Výpočtová metoda. 2019. Praha: Česká agentura pro standardizaci.
- [23] ČSN EN ISO 10077-1. Tepelné chování oken, dveří a okenic: Výpočet součinitele prostupu tepla - Část 1: Obecně. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2019.
- [24] ČSN 73 0540-2. Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [25] Envimat: Katalog materiálů [online]. Envimat.cz, 2022 [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: <http://www.envimat.cz/materialy/>.
- [26] Tospur: Heat Mirror [online]. Tospur - chytře zateplená okna, 2022 [cit. 2022-11-26]. Dostupné z: https://www.tospur.cz/heat-mirror/?gclid=CjwKCAiA7IGcBhA8EiwAFfUDsc17NKgkK30n38XSdlbkFRVs__jSpn3wg-fy1JndFYIbTHYu11j6KuBoCoagQAvD__BwE.
- [27] SORKE: Větrací a rekuperační jednotky [online]. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: <https://www.sorke.cz/vetraci-a-rekuperacni-jednotky/rekuperacni-jednotky-s-rotacnim-vymenikem/rirs-h-eko/rirs-2500-her-eko-3-0-rhx>.
- [28] Tepláma České Budějovice, a.s.: Výroba tepla a elektřiny [online]. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: <https://www.teplama-cb.cz/vyroba-tepla-a-elektriny/>.
- [29] TYWONIAK, Jan a kolektiv. Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasovní a další. Praha: Grada Publishing, 2012. ISBN 978-80-247-3832-1.
- [30] Intama: Solární kolektor FPC1200A [online]. [cit. 2022-12-03]. Dostupné z: <https://solamikolektory.eu/solami-kolektor-fpc1200a/>.
- [31] REINBERK, Zdeněk. TZB info: Zjednodušená bilance solárního kolektoru [online]. [cit. 2022-12-03]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/131-zjednodusena-bilance-solarniho-kolektoru>.

[32] TNI 73 0302. Energetické hodnocení solárních tepelných soustav: Zjednodušený výpočtový postup. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.

[33] PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM: PVGIS - Interactive tools [online]. [cit. 2022-12-04].

[34] KOPECKÝ, Pavel, Kamil STANĚK a Kateřina SOJKOVÁ. Letní přehřívání. Dostupné také z: <https://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&part=vyuka&sub=druh&type=mgr&kod=124SPB1>.

[35] Atrea: Rozvody vzduchu [online]. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: <https://www.atrea.cz/cz/rozvody-vzduchu>.

SEZNAM POUŽITÝCH NOREM

ČSN EN ISO 10077-1: Tepelné chování oken, dveří a okenic - Výpočet součinitele prostupu tepla - Část 1: Obecně

ČSN EN ISO 13370: Tepelné chování budov - Přenos tepla zeminou - Výpočtové metody

ČSN EN ISO 13789: Tepelné chování budov - Měrné tepelné toky prostupem tepla a větráním - Výpočtová metoda

ČSN EN ISO 52016-1: Energetická náročnost budov – Potřeba energie na vytápění a chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní tepelné výkony – Část 1: Výpočtové postupy

ČSN 73 0540-2: Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky

ČSN 73 0540-3: Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin

ČSN 73 0540-4: Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody

TNI 73 0302: Energetické hodnocení solárních tepelných soustav - Zjednodušený výpočtový postup

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Umístění objektu [6].....	10
Obrázek 2 - Katastrální mapa s vyznačením objektu [5].....	10
Obrázek 3 - Komplex bytových domů [7].....	11
Obrázek 4 - Řešený bytový dům: JZ pohled [7].....	12
Obrázek 5 - Řešený bytový dům: SV pohled [7].....	12
Obrázek 6 - Půdorys 1. PP [8].....	14
Obrázek 7 - Půdorys 2. NP: typické podlaží objektu [8].....	14
Obrázek 8 - Řez objektu vedený schodišťovým prostorem [8].....	15
Obrázek 9 - Prostory 1. PP: viditelné nosné konstrukce [7].....	15
Obrázek 10 - Řešení s lícovými cihlami [11].....	17
Obrázek 11 - Řešení s cihlovými pásky [12].....	17
Obrázek 12 - Řešení pomocí decor šablon [10].....	17
Obrázek 13 - Napojení objektu na inženýrské sítě [14].....	18
Obrázek 14 - Technická místnost [7].....	19
Obrázek 15 – Energetické schéma: stávající stav objektu	20
Obrázek 16 - Hranice vytápěné zóny 1. PP [8].....	22
Obrázek 17 - Hranice vytápěné zóny typického podlaží [8].....	23
Obrázek 18 - Hranice vytápěné zóny v řezu [8].....	23
Obrázek 19 - Skladby konstrukcí na hranici vytápěné zóny v 1. PP [8].....	24
Obrázek 20 - Skladby konstrukcí na hranici vytápěné zóny v 1. NP [8].....	24
Obrázek 21 - Skladby konstrukcí na hranici vytápěné zóny v 2. NP [8].....	25
Obrázek 22 - Skladby konstrukcí na hranici vytápěné zóny v 3. NP [8].....	25
Obrázek 23 - Skladby konstrukcí na hranici vytápěné zóny v 4. NP [8].....	26
Obrázek 24 - Skladby konstrukcí na hranici vytápěné zóny v řezu [8].....	26
Obrázek 25 - Skladba obvodové stěny SO1	27
Obrázek 26 - Skladba obvodové stěny SO2	27
Obrázek 27 - Skladba obvodové stěny SO3	27
Obrázek 28 - Skladba obvodové stěny SO4	27
Obrázek 29 - Skladba obvodové stěny SO5	28
Obrázek 30 - Skladba vnitřní stěny na hranici vytápěné zóny SN1	28
Obrázek 31 - Skladba vnitřní stěny na hranici vytápěné zóny SN2.....	28
Obrázek 32 - Skladba vnitřní stěny na hranici vytápěné zóny SN3.....	28
Obrázek 33 - Skladba vnitřní stěny na hranici vytápěné zóny SN4.....	29



Obrázek 34 - Skladba vnitřní stěny na hranici vytápěné zóny SN5.....	29
Obrázek 35 - Skladba ploché střechy SST1.....	29
Obrázek 36 - Skladba šikmé střechy SST2.....	30
Obrázek 37 - Skladba stropu nad nevytápěnými garážemi SS.....	30
Obrázek 38 - Skladba podlahy na terénu SP1.....	31
Obrázek 39 - Skladba podlahy na terénu SP2.....	31
Obrázek 40 - Schéma variant úpravy obálky [8].....	36
Obrázek 41 - Nová skladba obvodové stěny SO2 dle varianty 2.....	41
Obrázek 42 - Nová skladba obvodové stěny SO3 dle varianty 2.....	42
Obrázek 43 - Nová skladba obvodové stěny SO4 dle varianty 2.....	42
Obrázek 44 - Nová skladba obvodové stěny SO5 dle varianty 2.....	42
Obrázek 45 - Nová skladba vnitřní stěny na hranici vytápěné zóny SN1.....	44
Obrázek 46 - Nová skladba vnitřní stěny na hranici vytápěné zóny SN2.....	44
Obrázek 47 - Nová skladba vnitřní stěny na hranici vytápěné zóny SN3.....	44
Obrázek 48 - Nová skladba vnitřní stěny na hranici vytápěné zóny SN4.....	45
Obrázek 49 - Nová skladba vnitřní stěny na hranici vytápěné zóny SN5.....	45
Obrázek 50 - Nová skladba ploché střechy SST1.....	46
Obrázek 51 - Nová skladba šikmé střechy SST2.....	47
Obrázek 52 - Dostupnost inženýrských sítí [14].....	49
Obrázek 53 - Energetické schéma: Varianta A.....	49
Obrázek 54 - Energetické schéma: Varianta B.....	52
Obrázek 55 - Energetické schéma: Varianta C.....	54
Obrázek 56 - Vyznačení kritické místnosti v půdorysu 4. NP.....	59
Obrázek 57 - Kritická místnost.....	60

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Hodnoty součinitele prostupu tepla konstrukcí na hranici vytápěné zóny.....	32
Tabulka 2 - Vypočítané hodnoty tepelné propustnosti konstrukcí [17].....	32
Tabulka 3 - Vypočítané hodnoty tepelné propustnosti otvorů [17].....	32
Tabulka 4 - Vypočítané měrné tepelné ztráty objektu [17].....	33
Tabulka 5 - Vypočítané hodnoty ukazatelů energetické náročnosti stávající budovy [17].	33
Tabulka 6 - Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou θ_{im} v interiéru 18°C až 22°C včetně [24].....	34
Tabulka 7 - Základní vlastnosti pasivních budov [24].....	34
Tabulka 8 - Souhrn navrhovaných opatření.....	35
Tabulka 9 - Porovnání součinitele prostupu tepla stávajících konstrukcí s požadovanými hodnotami [17; 24].....	37
Tabulka 10 - Návrh tepelné izolace skladby SO2 pro splnění doporučené hodnoty $U_{rec,2} = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	38
Tabulka 11 – Návrh doplňující tepelné izolace skladby SO3, SO4 a SO5 pro splnění doporučené hodnoty $U_{rec,20} = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	38
Tabulka 12 - Posouzení materiálu z pohledu požární odolnosti.....	39
Tabulka 13 - Environmentální posouzení materiálových variant [25].....	39
Tabulka 14 - Vypočítané hodnoty ukazatelů energetické náročnosti budovy po úpravě obálky dle varianty 1 [17].....	40
Tabulka 15 - Návrh tepelné izolace skladby SO2 pro splnění doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20} = 0,18$ až $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	41
Tabulka 16 – Návrh doplňující tepelné izolace skladby SO3, SO4 a SO5 pro splnění doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20} = 0,18$ až $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	41
Tabulka 17 - Vypočítané hodnoty ukazatelů energetické náročnosti budovy po úpravě obálky dle varianty 2 [17].....	43
Tabulka 18 - Návrh doplňující tepelné izolace skladby vnitřních stěn pro splnění doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20} = 0,30$ až $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	44
Tabulka 19 - Návrh tepelné izolace skladby střech pro splnění doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20} = 0,15$ až $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	46
Tabulka 20 - Vypočítané hodnoty ukazatelů energetické náročnosti budovy po úpravě obálky dle varianty 3 [17].....	47
Tabulka 21 - Výsledné hodnoty ukazatelů energetické náročnosti.....	58



Tabulka 22 - Požadované hodnoty nejvyšší denní teploty vzduchu v místnosti v letním období [24].....	59
Tabulka 23 - Vstupní parametry konstrukcí pro výpočet tepelné stability - stávající stav..	60
Tabulka 24 - Vstupní parametry výplně otvorů pro výpočet tepelné stability - stávající stav	60
Tabulka 25 - Vstupní parametry větrání pro výpočet tepelné stability – stávající stav	61
Tabulka 26 Vstupní parametry vnitřních tepelných zisků pro výpočet tepelné stability – stávající stav.....	61
Tabulka 27 - Vstupní parametry konstrukcí pro výpočet tepelné stability – VAR3+optimalizace TZB	62
Tabulka 28 - Vstupní parametry výplně otvorů pro výpočet tepelné stability – VAR3+optimalizace TZB	62
Tabulka 29 - Vstupní parametry větrání pro výpočet tepelné stability – VAR3+optimalizace TZB.....	62
Tabulka 30 Vstupní parametry vnitřních tepelných zisků pro výpočet tepelné stability – VAR3+optimalizace TZB	62
Tabulka 31 - Vstupní parametry konstrukcí pro výpočet tepelné stability – noční větrání	64
Tabulka 32 - Vstupní parametry výplně otvorů pro výpočet tepelné stability – noční větrání	64
Tabulka 33 - Vstupní parametry větrání pro výpočet tepelné stability – noční větrání.....	64
Tabulka 34 - Vstupní parametry vnitřních tepelných zisků pro výpočet tepelné stability – noční větrání.....	64
Tabulka 35 - Vstupní parametry konstrukcí pro výpočet tepelné stability – vnější stínění	66
Tabulka 36 - Vstupní parametry výplně otvorů pro výpočet tepelné stability – vnější stínění	66
Tabulka 37 - Vstupní parametry větrání pro výpočet tepelné stability – vnější stínění.....	66
Tabulka 38 - Vstupní parametry vnitřních tepelných zisků pro výpočet tepelné stability – vnější stínění.....	66



SEZNAM GRAFŮ

<i>Graf 1 - Měrné tepelné ztráty stávajícího objektu [17].....</i>	<i>33</i>
<i>Graf 2 - Měsíční produkce tepelné energie solárních kolektorů [31].....</i>	<i>50</i>
<i>Graf 3 - Graf měsíční potřeby tepelné energie na přípravu TV [31].....</i>	<i>51</i>
<i>Graf 4 - Měsíční produkce elektrické energie FV systému [33].....</i>	<i>53</i>
<i>Graf 5 - Porovnání průměrného součinitele prostupu tepla.....</i>	<i>55</i>
<i>Graf 6 - Porovnání měrné potřeby tepla na vytápění.....</i>	<i>56</i>
<i>Graf 7 - Porovnání měrné potřeby primární energie na vytápění a přípravu TV.....</i>	<i>57</i>
<i>Graf 8 - Průběh teplot v kritické místnosti během pěti dnů – stávající stav [34].....</i>	<i>61</i>
<i>Graf 9 - Průběh teplot v kritické místnosti během 5. dne – stávající stav [34].....</i>	<i>61</i>
<i>Graf 10 - Průběh teplot v kritické místnosti během pěti dnů – VAR3+optimalizace TZB [34].....</i>	<i>63</i>
<i>Graf 11 - Průběh teplot v kritické místnosti během 5. dne – VAR3+optimalizace TZB [34].</i>	<i>63</i>
<i>Graf 12 - Průběh teplot v kritické místnosti během pěti dnů – noční větrání [34].....</i>	<i>65</i>
<i>Graf 13 - Průběh teplot v kritické místnosti během 5. dne – noční větrání [34].....</i>	<i>65</i>
<i>Graf 14 - Průběh teplot v kritické místnosti během pěti dnů – vnější stínění [34].....</i>	<i>67</i>
<i>Graf 15 - Průběh teplot v kritické místnosti během 5. dne – vnější stínění [34].....</i>	<i>67</i>

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK

A	[m ²]	plocha obalových konstrukcí vytápěné zóny
A _f	[m ²]	podlahová plocha vytápěné zóny
A/V	[-]	objemový faktor tvaru budovy
b	[-]	činitel teplotní redukce
E _A	[kWh/m ² · rok]	měrná potřeba tepla na vytápění
L	[W/K]	tepelná propustnost
n _{os}	[-]	počet osob
n ₅₀	[1/h]	objemový tok vzduchu při Δp = 50 Pa
Q _{ss}	[kWh/rok]	skutečně využitě solární zisky
U	[W/m ² · K]	součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí
U _{em}	[W/m ² · K]	průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy
U _g	[W/m ² · K]	součinitel prostupu tepla zasklením okna
U _f	[W/m ² · K]	součinitel prostupu tepla rámem okna
U _{N,20}	[W/m ² · K]	požadované hodnoty součinitele prostupu tepla konstrukcí
U _{rec,20}	[W/m ² · K]	doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla konstrukcí
U _{pas,20}	[W/m ² · K]	doporučené hodnoty U pro pasivní budovy
V	[m ³]	objem vytápěné zóny
V _a	[m ³]	objem vnitřního vzduchu
η	[-, %]	účinnost rekuperace
θ _{im}	[°C]	převažující návrhová vnitřní teplota



SEZNAM ZKRATEK

CZT	centrální zásobování teplem
DVT	deskový výměník tepla
ENB	energetická náročnost budovy
PENB	průkaz energetické náročnosti budovy
NP	nadzemní podlaží
PP	podzemní podlaží
ZTV	zásobník teplé vody

SEZNAM POUŽITÝCH PROGRAMŮ

Microsoft Word

Microsoft Excel

AutoCAD 2018

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 - Energetické posouzení stávajícího stavu objektu

Příloha 2 - Energetické posouzení navržené kombinace variant 3C

Příloha 3 - Návrh nuceného větrání

Příloha 4 - Návrh zdroje tepla

Příloha 5 - Zjednodušený návrh solárních kolektorů

Příloha 6 - Zjednodušený návrh fotovoltaických panelů

Příloha 7 - Technická zpráva – část statika

Příloha 8 - Předběžný statický výpočet

Příloha 9 - Výkresová dokumentace