

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta lesnická a dřevařská
Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

**Návrh a optimalizace panelové dřevostavby v pasivním
standardu**

Diplomová práce

Autor: Bc. Anika Víchová

Vedoucí práce: Ing. Miloš Pavelek, Ph.D.

2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Anika Víchová

Dřevěné konstrukce a stavby na bázi dřeva

Název práce

Návrh a optimalizace panelové dřevostavby v pasivním standardu

Název anglicky

Design Optimization and Project of a Passive House Using CLT Panels

Cíle práce

Cílem práce je na základě dokončené urbanistické studie vypracovat projektovou dokumentaci pro realizaci stavby pasivního rodinného domu, který bude sloužit pro trvalé bydlení. Objekt bude navržen z konstrukčního systému panelové dřevostavby (panely z křížem vrstveného dřeva).

V první části bude provedena optimalizace základního tvarového, dispozičního, konstrukčního a materiálového provedení objektu s umístěním objektu do konkrétní lokality včetně optimalizace konstrukčních skladeb obvodového pláště v softwaru PHPP.

V druhé části práce bude zpracována projektová dokumentace pro realizaci stavby. Dílčím cílem je návrh, posouzení a optimalizace konstrukčních skladeb a zvolených detailů z hlediska stavební fyziky.

Obsahem projektové dokumentace pro realizaci stavby (architektonicko-stavební řešení) bude (1) technická zpráva, (2) výkresová část, (3) dokumenty podrobností. Součástí práce bude statický posudek dílčí části stavby, výstup dílčí části stavby pro CNC stroje a rozpočet dílčí části stavby.

Metodika

- Literární rešerše
- Optimalizace základního tvarového, dispozičního, konstrukčního a materiálového provedení vč. konstrukčních skladeb obvodového pláště v softwaru PHPP
- Projektová dokumentace dílčího technického řešení pro realizaci stavby – Architektonicko-stavební řešení (technická zpráva, výkresová část, dokumenty podrobností)
- Posouzení a optimalizace konstrukčních skladeb a zvolených detailů z hlediska stavební fyziky
- Statický posudek zvoleného konstrukčního prvku a třech detailů konstrukčních spojů
- Výstup dílčí části stavby pro CNC stroje
- Rozpočet dílčí části stavby
- Závěr

Harmonogram práce:

- červenec – říjen 2023: literární rešerše, optimalizace základního tvarového, dispozičního, konstrukčního a materiálového provedení objektu s umístěním objektu na konkrétním pozemku včetně optimalizace konstrukčních skladeb obvodového pláště v softwaru PHPP.
- listopad – leden 2024: projektová dokumentace dílčího technického řešení pro realizaci stavby – Architektonicko-stavební řešení (technická zpráva, výkresová část, dokumenty podrobností)
- únor – březen 2024: posouzení a optimalizace konstrukčních skladeb a zvolených detailů z hlediska stavební fyziky, statický posudek zvoleného konstrukčního prvku a třech detailů konstrukčních spojů, výstup dílčí části stavby pro CNC stroje, rozpočet dílčí části stavby
- duben 2024: odevzdání závěrečné práce

Doporučený rozsah práce

40 – 60 normostran textu + přílohy

Klíčová slova

Pasivní dům; dřevostavba; panely z masivního dřeva; projektová dokumentace pro realizaci stavby; PHPP.

Doporučené zdroje informací

BLASS, Hans Joachim a Carmen SANDHAAS. Timber Engineering – Principles for Design. 2013. ISBN 3731506734.

HAZUCHA, Juraj. Konstrukční detaily pro pasivní a nulové domy: doporučení pro návrh a stavbu. První vydání. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 9788024745510;8024745518;.

HERZOG, Thomas. Timber construction manual. Boston: Birkhäuser, 2004. ISBN 978-3-7643-7025-1.

CHYBÍK, Josef. Přírodní stavební materiály. Praha: Grada, 2009. Stavitel. ISBN 978-80-247-2532-1.

KOLB, Josef. Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. Vyd. 3., přeprac. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-2275-7.

MÁRTON, Jan. Stavby ze slaměných balíků: slaměné izolace v nízkoenergetických a pasivních domech, návrh staveb šetrných k životnímu prostředí, hliněné omítky, ozeleněné střechy. 2., dopl. a aktualiz. vyd. Liberec: J. Márton, 2014. ISBN 978-80-260-5713-0.

MILLER, Frederic P.; VANDOME, Agnes F.; MCBREWSTER, John. Passive solar building design: Passive solar building design, sun path, building insulation, daylighting, solar water heating, passive house, solar energy, low-energy house, zero-energy building. Beau Bassin: Alphascript Pub, 2009. ISBN 978-613-0046-491.

PAVLAS, Marek. Dřevostavby z vrstvených masivních panelů: Technologie CLT [online].1. elektronické vydání. Praha: Grada, 2016. ISBN 8027100550.

TYWONIAK, Jan. Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.

Zákon č. 183/2006 Sb.: Zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). Parlament České republiky, Praha, Česká republika, 2006. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-183>

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Miloš Pavelek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Elektronicky schváleno dne 25. 6. 2023

doc. Ing. Roman Fojtík, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 28. 7. 2023

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 29. 02. 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „Návrh a optimalizace panelové dřevostavby v pasivním standardu“ vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila, a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 30/04/2024

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala svému vedoucímu diplomové práce Ing. Milošovi Pavelkovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, cenné rady a zároveň velkou ochotou při konzultacích poskytnutých během zpracování této práce. Taktéž bych chtěla poděkovat svým spolužákům, za jejich vstřícnost, ochotu a pomoc při zpracování potřebných informací a podkladů, bez kterých bych se při psaní práce neobešla.

Návrh a optimalizace panelové dřevostavby v pasivním standardu

Abstrakt

Ústředním motivem diplomové práce je návrh rodinné dřevostavby z CLT panelového systému v pasivním standardu. Dvojdomek vychází ze studentské urbanistické studie jejíž hlavním konceptem je návazání na původní infrastrukturu Baťovy zástavby. Spolu s architektonickými nároky jsou na stavbu kladeny i nároky udržitelného rozvoje, díky čemuž je architektonická studie podrobně posuzovaná v PHPP softwaru.

Teoretická část se zabývá typologií Baťových domů konstrukčními systémy, skladbou panelu, nízkoenergetickými standardy a základy stavební fyziky. V praktické části je stavba optimalizována podle doporučených požadavků pro pasivní stavby. Na základě získaných hodnot ze softwaru je provedena optimalizace základního tvarového, dispozičního, konstrukčního a materiálového řešení.

Pro optimalizovanou studii rodinného domu byla v softwaru ArchiCad 25 zpracována dokumentace pro realizaci stavby. Projektová dokumentace obsahuje technickou zprávu, výkresovou část a dokumenty podrobností. Navržené skladby obvodového pláště a konstrukční detaily stavby, jsou pro ověření správnosti řešení z hlediska stavební fyziky vyhodnoceny v softwaru Teplo a Area. Výsledky řešení jsou posouzeny s požadavky pro pasivní stavby dané normou ČSN 73 0540-2 (2011); Tepelná ochrana budov.

Posledním bodem v diplomové práci je specifikace rozpočtu hrubé stavby, která byla vypracována s pomocí softwaru Kros. Pro vytvoření výkresů konstrukčního panelu určených pro CNC stroje byl využit program ArchiCad 25. Statické posouzení jednotlivých částí stavby a konstrukčních spojů pak bylo provedeno pomocí programu FIN FC. Hlavním výstupem práce jsou stavební výkresy spolu s odbornými posudky ve formě protokolů zpracovaných ve specializovaných programech.

Klíčová slova

Pasivní dům; dřevostavba; panely z masivního dřeva; projektová dokumentace pro realizaci stavby; PHPP

Design Optimization and Project of a Passive House Using CLT Panels

Summary

The main theme of the thesis is the design of a family timber construction made of CLT panel system in passive standard. The duplex is based on a student urban study whose main concept is to link to the original infrastructure of the Bata development. Along with the architectural requirements, the building is also subject to sustainable development requirements, which is why the architectural study is assessed in detail in the PHPP software.

The theoretical part deals with the typology of Bata houses, structural systems, panel composition, low-energy standards and basic building physics. In the practical part, the building is optimized according to the recommended requirements for passive buildings. Based on the values obtained from the software, an optimization of the basic shape, layout, construction and material design is performed.

For the optimized study of the house, the documentation for the realization of the building was prepared in the software ArchiCad 25. The project documentation includes a technical report, drawings, and detail documents. The proposed outer casing compositions and construction details of the building are evaluated in the Teplo a Area software to verify the correctness of the design in terms of building physics. The results of the design are assessed against the requirements for passive buildings given in standard ČSN 73 0540-2; Thermal protection of buildings.

The last point in the thesis is the specification of the budget of the rough construction, which was prepared with the help of Kros software. ArchiCad 25 was used to create the construction panel drawings for the CNC machines. The statics design of the individual parts of the building and construction joints was then carried out using FIN FC. The main output of the work are the construction drawings together with expert evaluations in the form of reports prepared in specialized programs.

Keywords

Passive house; timber construction; solid wood panels; project documentation for building construction; PHPP

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů.....	11
1 Úvod.....	12
2 Cíle.....	14
3 Literární rešerše	15
3.1 Urbanistická studie rozvojové lokality v Sezimově Ústí.....	15
3.1.1 Tomáš Baťa a Sezimovo Ústí	15
3.1.2 Typologie staveb rodinných domů	16
3.1.3 Návrhová studie	18
3.2 Konstrukční systémy dřevostaveb	19
3.2.1 Konstrukční systém panelových dřevostaveb.....	21
3.2.2 Systém CLT konstrukce.....	23
3.3 Obvodový plášť budovy	27
3.3.1 Funkční vrstvy	27
3.3.2 Složení panelu.....	29
3.4 Energeticky úsporné domy	34
3.4.1 Základní charakteristika pasivních staveb	34
3.4.2 Optimalizace návrhu pasivního domu	38
3.5 Stavební fyzika	43
3.5.1 Materiálové veličiny	44
3.5.2 Konstrukční veličiny.....	46
3.5.3 Požadavky na konstrukce.....	48
4 Metodika	53
4.1 Teoretická část	53
4.2 Optimalizace pasivního domu	53
4.3 Projektová dokumentace pro realizaci stavby	56
4.4 Stavební fyzika	57

4.4.1	Komplexní hodnocení konstrukčních skladeb	57
4.4.2	Komplexní hodnocení konstrukčních detailů	62
4.5	Statické posouzení dílčí části stavby a konstrukčních spojů	67
4.5.1	Posouzení stropního nosníku	67
4.5.2	Posouzení konstrukčních spojů.....	68
4.6	Výstup dílčí části stavby pro CNC stroje.....	68
4.7	Rozpočet stavby	69
5	Výsledky	70
5.1	Výstupy z PHPP softwaru.....	70
5.2	Tepelně technické výpočty	72
5.2.1	Výstupy ze softwaru Teplo 2017	72
5.2.2	Výstupy ze softwaru Area 2017.....	77
5.3	Posouzení statických výpočtů	83
5.4	Sestavení rozpočtu ze softwaru Kros 4.....	84
6	Diskuse.....	85
7	Závěr	87
	Přehled literatury a použitých zdrojů.....	89
	Seznamy obrázků, tabulek, příloh.....	93

Seznam použitých zkratek a symbolů

Značka	Jednotka	Význam
$1/\alpha_i, 1/\alpha_a$	m^2K/W	odpor při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně konstrukce
A	m^2	plocha
A_f	m^2	plocha rámu výplně otvoru
A_g	m^2	plocha zasklení
$\Delta\Theta$	K	rozdíl vnitřní a venkovní teploty nebo rozdíl teplot vnitřního a vnějšího vzduchu
E	J	tepelná energie (množství přivedeného tepla)
φ	Grad	úhel sklonu okna od vodorovné roviny
Φ_{REK}	%	účinnost výměníku tepla (rekuperační jednotky)
g	%	celková propustnost slunečního záření
G	$kWh/(m^2a)$	globální sluneční záření
η_{ZVT}	%	účinnost zemního výměníku tepla
$\Theta_{ae, max}$	$^{\circ}C$	maximální teplota přírodního vzduchu do interiéru: $52^{\circ}C$
$\Theta_{ae, min}$	$^{\circ}C$	teplota přírodního vzduchu do interiéru bez dohřívání
l	m	délka (např. lineárního tepelného mostu)
λ	W/mK	součinitel tepelné vodivosti (tepelná vodivost)
m	kg	hmotnost materiálu
n_{50}	1/h	intenzita výměny vzduchu budovy při tlakovém rozdílu 50 Pa
Θ	Grad	úhel mezi severem a vodorovnou projekcí normály okna
Q_{1Dim}	W	jednorozměrný tepelný tok
Q_{2Dim}	W	dvojrůzoměrný tepelný tok
Q_{final}	kWh/a	roční konečná potřeba energie
Q_r	kWh/a	roční potřeba tepla (na vytápění a ohřev TV)
F	%	činitel redukce slunečního záření
F_H	-	činitel redukce zastíněním řadou domů
R	$kWh.m^{-2}$	tepelný odpor konstrukce
R_{Si}	$[m^{-2} K.W^{-1}]$	tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně
R_{Se}	$[m^{-2} K.W^{-1}]$	tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně
U	$W/(m^2K)$	součinitel prostupu tepla; U-hodnota
U_{CO_2}	kg/a	roční emise CO_2 (ekvivalent)
U_f	$W/(m^2K)$	součinitel prostupu tepla rámem; U-hodnota rámu
U_g	$W/(m^2K)$	součinitel prostupu tepla zasklením; U-hodnota zasklení
x_{CO_2}	g/kWh	emisní faktor CO_2 (ekvivalent CO_2 na kWh konečné spotřeby energie)
Ψ_a	$W/(mK)$	lineární činitel prostupu tepla, z vnějších rozměrů
$\Psi_{osazení}$	$W/(mK)$	lineární činitel prostupu tepla vlivem osazení okna
$\Psi_{zasklení}$	$W/(mK)$	lineární činitel prostupu tepla vlivem osazení zasklení
Ψ_i	$W/(mK)$	lineární činitel prostupu tepla, z vnitřních rozměrů
r_v	$[kg.m^{-3}]$	objemová hmotnost
δ	-	součinitel difúze vodní páry v materiálu
δ_α	-	součinitel difúze vodní páry v vzduchu
μ	-	faktor difuzního odporu daného výrobku
RH	%	Relativní vlhkost vzduchu

1 Úvod

Navázání novostaveb na urbanistické řešení představuje klíčovou problematiku ve výstavbě a rozvoji měst a obcí. Město jako takové představuje určitý celek, v němž mají novostavby jeho prostředí obohacovat, nikoli ho měnit a narušovat jeho strukturu. Na základě této myšlenky vznikla i urbanistická studie která je navržena v souladu s historickým plánem města a jeho charakteristické zástavbě v Sezimově Ústí II.

Sezimovo Ústí II je jedním ze série takzvaných „Baťových měst“ založených českým výrobcem obuvi Tomášem Baťou převážně v první polovině 20. století. Předmětem řešení studie je lokalita s rozvojovou oblastí, jejímž záměrem je využití plochy pro bydlení podle územního plánu z roku 1939, kdy se firma Baťa rozhodla postavit zde továrnu na výrobu obráběcích strojů. Domky ve funkcionalistickém slohu se zahrádkou a typickou cihlovou fasádou byly domovem dělníků pracujících v Baťových závodech. Záměrem studie bylo navázání na původní strukturu Baťových dvojdomků tak, aby území nenarušovalo charakteristický ráz a urbanistickou harmonii města. Záměrem byla snaha o navržení nových staveb s ohledem na místní architektonický kontext a estetické standardy.

Spolu s architektonickými nároky se v dnešní době klade velký důraz také na to, aby výstavba nových budov respektovala principy udržitelného rozvoje. Proto je třeba při navrhování dbát na energetickou náročnost budov, využívání obnovitelných zdrojů energie, minimalizaci vlivu na životní prostředí a podporu ekologických technologií. Jednou z možností, jak uchopit tuto problematiku, bylo využití dřeva jako hlavního stavebního materiálu. To bylo klíčovým podnětem pro vytvoření této práce, v rámci které vznikl návrh tradičního Baťova dvojdomku jako netradiční pasivní dřevostavby.

Baťův dvoj domek je ikonickou součástí architektonické historie a kultury, tudíž možnost navrhnout ho jako dřevostavbu by mohl být způsob, jak zachovat jeho charakteristický vzhled a zároveň využít moderní technologie a materiály k dosažení vyšší energetické udržitelnosti. Jelikož je dřevo obnovitelný materiál s nízkým uhlíkovým otiskem, jeho použití by mohlo snížit celkový ekologický dopad stavby. Zároveň má celou řadu výhod, přičemž jeho flexibilní vlastnosti umožňují využití nových inovativních designových prvků. Funkcionalistický návrh zajišťuje jednoduché hmotové uspořádání stavby, díky kterému je možné plně využít potenciál pro pasivní návrh budovy, což je jedním z hlavních cílů této diplomové práce.

Teoretická část se zabývá rozborem území rozvojové oblasti, typologií Baťových domků a samotnými panelovými dřevostavbami. Samotný panel pak bude dále zkoumán z hlediska použitých materiálů a funkcí jednotlivých vrstev. Nedílnou součástí je definice nízkoenergetických staveb s doporučeným desaterem pro pasivní domy. V závěru literární rešerše bude kapitola stavební fyziky, která je zásadní pro navazující praktickou část diplomové práce. V praktické části je navržena architektonická studie, podrobně posuzována v softwaru PHPP, který pomohl celý objekt v plné míře optimalizovat pro účely pasivního domu s maximálními solárními zisky a minimálními tepelnými ztrátami. Na základě této studie je posléze vypracována výkresová dokumentace pro realizaci stavby spolu s detaily a skladbami stěn posuzovaných v softwarech pro stavební fyziku. V závěru práce je dílčí část stavby posouzena z pohledu ekonomického, statického a výrobního.

2 Cíle

Cílem práce je na základě dokončené urbanistické studie vypracovat projektovou dokumentaci pro realizaci stavby pasivního rodinného domu, který bude sloužit pro trvalé bydlení. Objekt bude navržen z konstrukčního systému panelové dřevostavby z křížem vrstveného dřeva.

Hlavním cílem práce je optimalizace základního tvarového, dispozičního, konstrukčního a materiálového řešení objektu a jeho umístěním do konkrétní lokality včetně optimalizace konstrukčních skladeb obvodového pláště v softwaru PHPP. V návaznosti na optimalizovaný návrh stavby je v druhé části práce zpracována projektová dokumentace pro realizaci stavby, součástí které je technická zpráva, výkresová část a dokumenty podrobností.

Další z vytyčených cílů je návrh, posouzení a optimalizace konstrukčních skladeb a zvolených detailů z hlediska stavební fyziky.

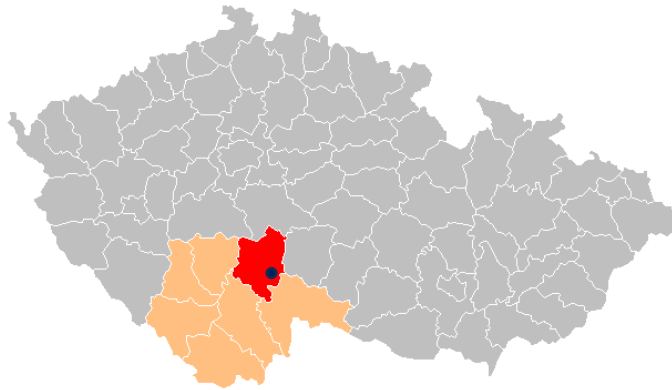
Součástí práce je pro dílčí část stavby vypracován: statický posudek, výstup pro CNC stroje a rozpočet stavby.

3 Literární rešerše

3.1 Urbanistická studie rozvojové lokality v Sezimově Ústí

3.1.1 Tomáš Baťa a Sezimovo Ústí

Sezimovo Ústí II je malé město, které je situováno na jihu Čech v okrese Tábor a je považováno za jedno z „Baťových měst“, jejichž označení nese název po českém výrobcí obuvi Tomášovi Baťovi (obrázek 1). Tomáš Baťa byl zakladatelem obuvnické firmy Baťa a je jedním z nejvýznamnějších podnikatelů a inovátorů své doby. Jeho podnikatelský model měl dlouhodobé dopady na urbanizaci a rozvoj infrastruktury v mnoha městech (Syrový, 1974).



Obrázek 1: Poloha města Sezimova Ústí (Dvořák, 2023)

Město Sezimovo Ústí II vzniklo v roce 1939, připojením historické části města, jehož založení se datuje od dob středověku. Po 1. světové válce se zde Baťa rozhodl postavit továrnu na obrábění strojů, dnes již známou jako Kovosvit MAS. Spolu s rozšířením města začaly vznikat první dělnické kolonie a kulturní společenské centrum. Regulační plán města byl navržen v roce 1939 architektem Richardem Hubertem Podzemným (Čechurová, 2009).

Všechna nová města, která vznikla s rozvojem průmyslu Baťových továren, mají charakteristický urbanistický rys odpovídající plánu ideálního města, které je charakterizováno umístěním společenského centra do osy, podél níž jsou vystavěny obytné čtvrti. Prezentuje tak unikátní propojení moderního a průmyslového urbanismu, které kombinuje principy městského plánování, sociálního inženýrství a využití prostoru pro podnikání a bydlení (Budúcnosť miest s monofunkčným priemyslom, príklady baťových miest, 2006).

3.1.2 Typologie staveb rodinných domů

Baťovy domky jsou charakteristické stavby, které byly postaveny Tomášem Baťou v první polovině 20. století. Nová městská zástavba vznikala nejen na mnoha územích tehdejšího Československa, ale také v různých koutech světa, například v Batanagaru v Indii, Batayporãu v Brazílii a Batadorpu v Nizozemsku (Srový, 1974).

Nicméně nejslavnějším a prvotním městem výstavby Baťových domů je průmyslový Zlín. Zde byl v roce 1915 poprvé podle návrhu architekta Jana Kotěry vypracován regulační plán na zastavění první dělnické kolonie blízkosti továrního areálu obuvnické firmy Baťa, což přispělo k významnému rozvoji městské infrastruktury (Ševeček, 2013).

Po smrti Jana Kotěry v roce 1923 navázal na urbanistický plán jeho žák architekt František Lídie Gahura, jehož cílem bylo navrhnout jednoduchý uniformovaný ale efektivní typ domku, který by šel snadno replikovat. Hlavní inspiraci získal Baťa při svých zahraničních cestách do Holandska a Spojených států amerických, kde vycházeli z lehkých účelných a ekonomických staveb (Culík Končítíková, 2023). Výsledkem byl návrh několika typů rodinných i sociálních budov, který měl několik období, variant a verzí. Ve Zlíně si stavby do dnešní doby zachovaly původní vzhled, a Baťovy domky s cihlovou fasádou a zahrádkou se dostaly do městské památkové zóny (obrázek 2). V jiných městech se ale postupem času vyvíjely a přizpůsobovaly požadavkům současných majitelů až do podoby jaké je známe dnes (Via Aurea s.r.o.).



Obrázek 2: Baťova zástavba ve Zlíně (Růžička, 2011)

Domy vystavěné v Sezimově Ústí II, přestože nesou vliv Baťovského urbanistického dědictví, se odlišují od typických obytných struktur spojených s touto oblastí.

Nezaujímají tradiční podobu s cihlovou fasádou, jakou můžeme spatřit u klasických Baťových domů. Tato odlišnost má svůj původ v iniciativě Jana Antonína Bati, syna průkopníka značky Tomáše Bati (Pechar, 1974).

Jan Antonín Baťa se rozhodl pro nový design, který lépe odpovídal moderním požadavkům a vkusu doby. Jeho rozhodnutí vedlo k vzniku domů s unikátním vzhledem a konstrukcí, které reflektují nové trendy v architektuře. Tyto budovy tak představují jakousi evoluci původního konceptu Baťovských sídlišť, zároveň však zachovávají duch inovace a podnikatelského dědictví, které rodina Baťů reprezentuje. Na obrázku 3 jsou zobrazeny Baťovy domky, vystavěné v Sezimově Ústí II (Čechurová, 2009).







Obrázek 3: Baťova zástavba v Sezimově Ústí II (Šechtl a Voseček, 1947)

Příklady typů objektů Baťovského bydlení

Výběr typu rodinného bydlení, bylo v dělnických koloniích velmi rozmanité. Zaměstnancům bylo podle věku, postavení, nebo rodinného stavu nabízeno několik dostupných variant obytných domů. Proto mladí studenti a učni dostali možnost ubytování na kolejkách, mladí svobodní pracovníci, lékaři a úředníci přespávali ve sdílených komfortních svobodárnách a rodiny s dětmi měli možnost nájemního bydlení v samostatných domech (Ressová, 2012).

Z důvodů velké rozmanitosti ubytovacích objektů je v následující tabulce 1 uvedeno zastoupení nejčastěji se vyskytujících typů rodinných domů.

Tabulka 1: Typologie Baťových domů

TYPY RODINNÝCH OBJEKTŮ V BAŤOVĚ ZÁSTAVBĚ					
Typ objektu	Jednodomek	Dvojdomek	Typ Vítek	Čtyřdomek	
Počet bytových jednotek	1 bytová jednotka	2 bytové jednotky	2 bytové jednotky o dvou etážích se zrcadlovou dispozicí	4 menší bytové jednotky	
Společenské určení	lépe společensky postavení pracovníci, působící v administrativě, školství či zdravotnictví	ženatí pracovníci firmy Baťa; dělnická třída	lépe postavení pracovníci, působící v administrativě, školství či zdravotnictví	ženatí pracovníci firmy; řadový dělník	
Četnost zastoupení v městské zástavbě	15-17 %	71 %	Jediný prototyp;	<200 ks	
Druhy místnosti	Sklep	sušárna; prádelna	sušárna; prádelna	sušárna; prádelna	sušárna; prádelna
	Přízemí	předsíň; pracovní kuchyň; spíž; obývací pokoj v přízemí.	předsíň, kuchyň, obývací pokoj; koupelna s toaletou	vstupní zastřešená předsíň; šatna; obývací pokoj; kuchyň; toaleta; kabinet	kuchyň, obývací pokoj, koupelna; toaleta a spíž
	První patro	rodičovské i dětské ložnice; pokoj pro hosty	samostatné ložnice rodičů a dětí	dvě ložnice; koupelna s WC	kuchyň, ložnice, koupelna; toaletou a spíž
Varianty provedení	jednodomek s verandou, nebo garáží; typ Ríša; učitelský domek	typ 1934; typ 1938	Jedinečný prototyp	čtyřdomek typu A, B	
Cena domu	28 500,00 Kč	38 000,00 Kč	53 000,00 Kč	42 000,00 Kč	

V rámci zachování původní urbanistické infrastruktury, byl architektonický návrh stavby v této diplomové práci inspirován charakteristickým vzhledem Baťových domů.

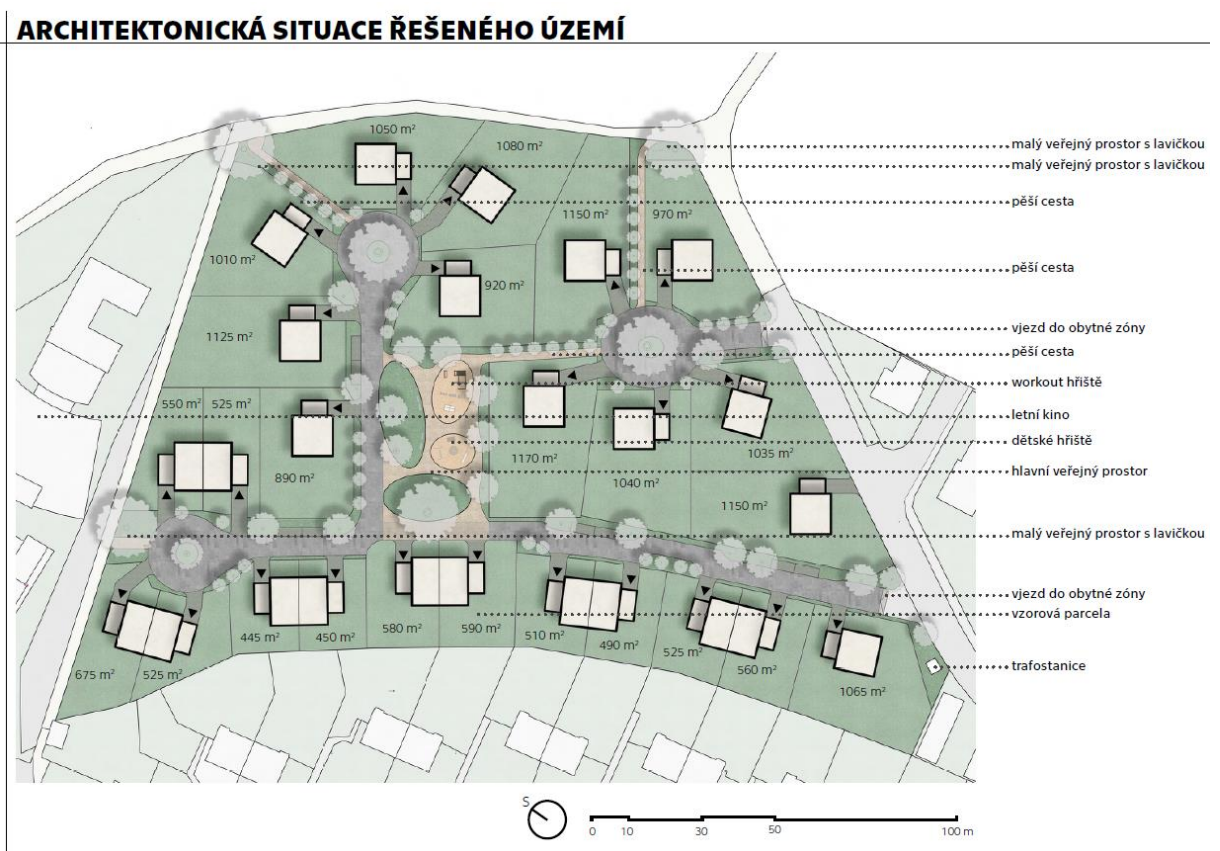
3.1.3 Návrhová studie

Předmětem urbanistického návrhu, ze kterého diplomová práce vychází je lokalita Sezimova Ústí II. Vybrané území je podle územního plánu rozvojovou oblastí se záměrem využití plochy pro bydlení. Práce obsahuje a zpracovává funkční a prostorové uspořádání rodinných domů a jejich parcelaci (Dvořák, 2023).

Řešené území se nachází v severovýchodní oblasti městské části Sezimova Ústí II. V současné době se jedná o oblast určenou pro zástavbu nízkopodlažních budov určených

pro bydlení v rámci I. etapy územního plánu. Lokalita je z jihozápadní strany obestavěna původní zástavbou Baťových domků a z východní strany je ohraničena moderní zástavbou. Hlavním záměrem bylo navrhnout novou infrastrukturu, která by propojovala historickou a novodobou zástavbu, s ohledem na původní urbanistický návrh města.

Na obrázku 4 je ukázka schématického zobrazení urbanistické studie, která zahrnuje prostorové uspořádání rodinných domů a jejich parcelaci. Konkrétně jde o 19 rodinných domů - 13 solitérních, 6 dvojdomů. Práce se dále zabývá tvorbou veřejného prostranství v řešeném území. Návrh se snaží respektovat zadané území a zachovávat aspekty města (Dvořák, 2023).



Obrázek 4: Schéma urbanistické studie Sezimova ústí (Dvořák, 2023)

3.2 Konstrukční systémy dřevostaveb

Dřevěné konstrukční systémy jsou rozděleny primárně podle typu a charakteru svislých nosných prvků zaručujících stabilitu a celistvost konstrukce. Systémy je možné rozdělovat na základě stupně prefabrikace, energetického standardu, nebo druhu materiálu. Do dnešní doby není stanovená jednotná klasifikace, která by mohla být normalizována, to může být zapříčiněné nepřetržitým vývojem nových materiálů, technologií, nebo také

regionálními rozdíly (Hájek, 1997). Jedna z možností klasifikace konstrukčních systémů, včetně jejich charakteristických vlastností, je uvedena v tabulce 2.

Tabulka 2: Přehled konstrukčních systémů (Autor, 2024)

Přehled konstrukčních systémů				
Název	Rozdělení	Charakteristika	Přednosti	Nedostatky
Stěnové konstrukce	srubové	vysoká řemeslná dovednost; umělecké rohové spoje;	estetický dojem; využití větších průměrů kulatiny	objemové a tvarové změny stavby; vyšší montážní pracnost; vyšší cena
	roubené stavby	sesedání stěny;		
	Stavby z panelů z křížem vrstveného dřeva	nosná vrstva z masivní desky; systém velkorozměrových plošných dílců; jednovrstvé systémy spojované hřebíky	maximální finalizace ve výrobě; automatizace uzlů výroby; rychlá hrubá nebo finální montáž stavby;	potřeba dopravní techniky ve výrobě a při montáži; omezená výstavba; vyšší režie
	Systémy z OSB desek	EUROPANEL; složen z pláště a jádra; nízké zatížení základové spáry; velké formáty panelů	nízká hmotnost panelů; dobré izolační vlastnosti; velká pevnost; rychlá výstavba	složitá výrobní technologie; přeprava a manipulace s dílci ve výrobě i na staveništi;
	Bedničkové systémy	jednotlivé části spojené lepením; dílce vysoce rozměrově stálé; dutiny slouží pro izolaci	možnost výstavby svépomocí; rychlá montáž; nenáročná doprava	vyšší náročnost výroby
Skeletové (sloupkové) konstrukce	Hrázděné stavby	viditelná nosná konstrukce; patrová výstavba; čisté spoje dřeva s čepy; zapuštěnými a plátováním; jednoduchá montáž	architektonický výraz; menší nároky na montážní a dopravní techniku; lepší akumulací vlastnosti	větší výrobní náročnost (opracování dřeva tesařské spoje apod.); vysoký podíl dokončovacích prací při montáži
	Rámové konstrukce	volnost architektonického řešení; jednoduchý konstrukční systém i dostupnost materiálu; poschodová výstavba;	výrobní a montážní technická nenáročnost; pružné řešení problémů a změn při montáži odbourání vysoké režie výroby	výroba a montáž na staveništi; konstrukce vystavená povětrnostním vlivům; potřebná vyrovnaná plocha na staveništi
	Skeletové konstrukce	variabilní; nosný skelet a stěny ohraničující prostor zůstávají vzájemně nezávislé; dřevěný skelet viditelný nebo zakrytý;	ekonomičtější zakládání; variabilnost uspořádání příček; možnost vytvoření velkých vnitřních prostorů	potřeba náročnější techniky při montáži, vyšší pracnost při montáži, vyšší nároky na dřevěné nosné prvky
Kombinované systémy	Kombinace dřev. konstrukčních systémů	kombinace dřevěných systémů, využívání předností obou, složitější architektonické návrhy	vysoký poměr objemu budovy k ploše; velkorysé interiéry; nižší hmotnost; přirozená izolace	složitější instalace, větší montážní tým, složitější návrhy
	Kombinace dřeva se stavebními materiály	spojení dřeva s nedřevěnými materiály (ocel, zdivo, beton), pokrokové konstrukce, dobrá požární bezpečnosti	statické zajištění celého objektu, prostorová tuhost, zlepšení tepelné stability interiéru,	doba výstavby, zimní technologická omezení a také velké množství „zabudované“ vlhkosti v interiéru stavby

Jedním z klíčových hledisek, které určují efektivitu a rychlost samotné výstavby, je stupeň prefabrikace. Níže jsou uvedeny hlavní způsoby výstavby rámových konstrukcí, přičemž každý z těchto přístupů přináší své specifické výhody a výzvy, které budou dále rozebrány.

Způsob výstavby

Staveništní montáž

Stavba probíhá přímo na staveništi, kde se nejprve založí základová deska, na které se postaví svislá nosná konstrukce, která se posléze zaizoluje a opláštíuje. Tento způsob výstavby je vhodný v místech, kde je pozemek hůře dostupný pro těžkou techniku. Mezi výhody patří flexibilita a možnost provádění změn během výstavby. Naproti tomu je nutné počítat se závislostí na počasí, časovou náročností a technologickými nedostatky (Steiger, 2020).

Panelová výstavba

Hlavní podstata panelových montovaných dřevostaveb spočívá v prefabrikaci ve výrobních halách a posléze montáži na staveništi, přičemž v praxi se setkáváme s různým stupněm prefabrikace. Je možné dovážet pouze základní stěnové konstrukce s otvory pro výplně stavebních otvorů, nebo se v hale zhotoví i s okny a elektroinstalací. Za nespornou výhodu panelových dřevostaveb je považována rychlost výstavby, preciznost a přesnost výroby v suché hale za ustálených podmínek. Mezi nevýhody patří nutnost využití těžké techniky. Problematika panelové dřevostavby je detailněji rozebráné v následující kapitole (Breyer, 2007).

Modulární výstavba

V případě modulárních dřevostaveb, se kompletní výroba odehrává ve výrobních halách a na pozemek se dováží už jako hotový objekt. Moduly se usazují na předem zhotovené vruty, nebo na základovou desku. Tento typ dřevostaveb je navrhován jako malý objekt pro rodinné nebo rekreační bydlení. Velkou výhodou je rychlost výstavby a relativně nízká pořizovací cena, je zde ale potřeba brát zřetel na přístupnost těžké techniky a relativně neadaptabilní dispoziční řešení (Kuklík, 2005).

3.2.1 Konstrukční systém panelových dřevostaveb

Panelové dřevostavby využívají širokou škálu konstrukčních systémů a technologií, což umožňuje jejich modulární a prefabrikovanou výstavbu. Mezi hlavní patří sloupková konstrukce, systém z prefabrikovaných tvarovek a CLT panely. Každý z těchto systémů má své vlastní charakteristiky a výhody, což umožňuje přizpůsobit se různým potřebám a požadavkům stavebních projektů (Herzog, 2012).

Tyto moderní konstrukce získávají stále větší popularitu díky své rychlosti, efektivitě a udržitelnosti. Důležitým faktorem při jejich realizaci je rozváž flexibilita a modularita, což umožňuje rychlou a snadnou montáž, demontáž a přestavbu podle potřeby (Opderbecke, 1995).

Rozhodující část výroby panelových dřevostaveb probíhá ve výrobních halách, kde se odehrává většina produkčního procesu. Konstrukce je tak po celou dobu výroby chráněna před nepříznivými vnějšími vlivy (Herzog, 2004). Ve výrobních závodech se připravují prefabrikáty, které se skládají z konstrukčních desek tvořících stěny. Stěna dřevostavby se skládá z dřevěných rámu, které jsou zaklopeny deskovým materiálem a vyplněny tepelnou izolací. Integrace tepelné izolace přímo do nosné konstrukce stěny umožňuje minimalizaci její tloušťky. Panely mohou být již ve výrobní hale vybaveny okny nebo dokonce fasádou (Blaß, 2017).




Poté jsou převezeny na staveniště, kde jsou během chvíle smontovány, přičemž vytvoří kostru domu. Dále se na objekt implementují vodorovné nosné konstrukce včetně střechy a zakončí se dokončovacími pracemi. Ekonomická výroba spočívá v opakovatelnosti výroby jednotlivých prvků ve velkých sériích, což umožňuje výrobu desítek až stovek domů za rok (Thoemen, 2010).

Výhody

- Nízké náklady na vytápění díky dobrým izolačním vlastnostem
- Krátká doba realizace; hrubá stavba může být dokončena během několika týdnů a dům na klíč za několik měsíců.
- Efektivní využití zastavěné plochy díky minimalizaci tloušťky stěn a zastavěného prostoru.
- Jeden dodavatel; firmy nabízejí kompletní servis od návrhu až po realizaci domu
- Jistota dodaného produktu, díky certifikovaným stěnovým systémům, které garantují investorovi vlastnosti, které byly deklarovány dodavatelem.

V následující tabulce 3 jsou uvedeny konstrukční systémy panelových dřevostaveb.

Tabulka 3: Typy panelových dřevostaveb

PANELOVÉ KONSTRUKCE			
Název	Panely z křížem vrstveného dřeva	Systém z prefabrikovaných tvarovek	Sloupkové panely
Charakteristika	účinný přenos vysokých zatížení; vyrobeny z několika vrstev dřeva spojených křížově; poskytují vysokou pevnost a stabilitu; vynikající izolační vlastnosti; ekologicky šetrné;	používá předem vyrobené dřevěné prvky; umějí být rychle a efektivně instalovány; nabízí širokou škálu designových možností; ekologicky šetrný; vhodný pro různé typy staveb dutiny slouží pro izolaci	jednoduchý konstrukční systém i dostupnost materiálu; Využívají dřevěné sloupky a panely; přírodní vzhled a udržitelnost; různých typech budov; Vyžadují pravidelnou údržbu
Výhody	Účinný přenos vysokých zatížení; rozměrová stabilita panelu; rychlost výstavby; akumulární schopnosti; vysoká pevnost a stabilita; dobré izolační vlastnosti; ekologická udržitelnost; estetické možnosti; široké využití	Montáž nevyžaduje složité mechanické dopravní prostředky; rychlá montáž; svépomocí; rychlá instalace; široká designová variabilita; udržitelnost; nižší náklady; vysoká kvalita	montážní a technická nenáročnost; rychlá výstavba, nižší hmotnost konstrukce, dostupnost materiálu, dlouhodobá tradice; flexibilita v designu; dobré izolační vlastnosti; vhodné pro různé typy budov
Nevýhody	Vyšší hmotnost; náklady na přepravu; vyšší cena; větší tloušťky kontaktní izolace; absence lokálních výrobců	omezená flexibilita v rozměrech a tvarech; logistické obtíže při přepravě; nutnost správné montáže pro zachování stability; možná kratší životnost než u tradičních metod; potřeba zvláštní ochrany před vlhkostí, hmyzem a požárem	Vyšší náklady; konstrukce vystavená povětrnostním vlivům; Vyžadují pravidelnou údržbu; nižší odolnostv porovnání s jinými materiály; potenciálně vyšší náklady; omezenější odolnost vůči požáru a mechanickému poškození

3.2.2 Systém CLT konstrukce

V rámci zadání diplomové práce je v této kapitole podrobně popsán systém z masivních lepených panelů neboli systém z panelů z křížem lepeného lamelového dřeva (CLT – cross laminated timber) (Thoemen, 2010).

Charakteristické vlastnosti CLT panelu

CLT panely je možné charakterizovat jako plošné dílce z křížem lepeného dřeva, které díky svým nosným vlastnostem utvářejí obytný prostor a umožňují mnohostranné využití pro stěny, stropy a střechy. Jejich hlavní smysl spočívá v jeho schopnosti poskytovat vysokou pevnost, stabilitu a nosnost. Konstrukční prvky se skládají z konstrukčních desek z masivního dřeva, umístěných v ortogonálně se střídajících směrech. CLT panely jsou vyráběny v lichých počtech nejběžněji po 3 až 7 vrstvách (Thoemen, 2010). Tloušťka jednotlivých desek se může pohybovat od 16 do 51 mm a šířka může být přibližně od 60

do 240 mm. Řezivo určené pro výrobu panelů je především ze smrkového nebo jedlového dřeva vysušeného na 12 % vlhkost. Dřevo je vizuálně hodnoceno nebo strojově testováno na pevnost. Na obrázku 5 jsou zobrazeny tři typy panelu s odlišným počtem vrstev. Části jsou slepovány nebo spojovány mechanickými prostředky (dřevěnými kolíky, hmoždíky nebo hřebíky), a otočeny o 90°, aby se eliminovalo chování ortotropního materiálu a tím se dosáhlo maximálních mechanických vlastností (Karacabeyli, 2013).



Obrázek 5: Typy CLT panelových konstrukcí (Novatop, 2024)

Velikosti panelů se liší podle výrobce, šířka se pohybuje okolo 0,6 m, 1,2 m, 2,4 m a 3 m, zatímco délka však může dosahovat až 18 m. Výjimečně může být tloušťka až 508 mm, přičemž typické tloušťky jsou 105 mm, 175 mm a 245 mm při použití v budovách. Přepavní předpisy mohou být omezující omezení velikosti CLT panelů (Breyer, 2007).

Historický kontext

System se začal vyvíjet v polovině 90. let 20. století především na území Rakouska a Německa. Velké zásluhy za vývoj CLT technologie se připisují výzkumnému institutu dřevěných konstrukcí – TU Graz v úzké spolupráci s rakouskou společností KLH Massivholz GmbH. Tato společnost, která byla založena v roce 1999, si připisuje prvenství ve výrobě masivních dřevěných panelů. Dodnes se v některé literatuře označení firmy KLH označuje jako obecné označení technologie CLT panelu (Karacabeyli, 2013).

Neustálý vývoj nových technologií vedl v posledních dvaceti letech k neustálému zdokonalování a vylepšování, přičemž celý proces nejvíce ovlivnila možnost prefabrikované výroby. Kontrolované tovární prostředí vedlo ke zvýšení přesnosti a konzistenci panelů, díky čemuž se významně zkrátila doba výstavby a tím se snížili náklady na montáž (Hájek, 1997).

Možnosti spojování vrstev dílce

Lepené spoje jednotlivých vrstev

Možnosti spojování vrstev panelů jsou rozmanité. V současné době je nejvíce používán způsob celoplošného lepení, který využívá jednosložková lepidla, jako jsou polyuretanová, fenolická, kopolymerní disperzní lepidla. Lepení probíhá při nízkých teplotách a pod vysokým tlakem a může být prováděno dvěma způsoby. Jednou z možností je lepit jednotlivé lamely a vrstvy tak, aby bylo dosaženo maximální neprůvzdušnosti panelu. Druhá možnost je umožňuje lepení lamel v rámci jedné vrstvy, kdy jsou lepeny pouze sousedící vrstvy, zatímco lamely uvnitř zůstávají neprolepené (Breyer, 2007).

Mechanické spoje na bázi dřeva

Alternativou jsou dřevěné mechanické spojovací prvky, které fungují na bázi efektu podsušenoého pera. Dřevěné spojovací kolíky, obvykle vyrobené z buku nebo dubu fungují na principu rozdílné vlhkosti dřeva, kdy do hlavníku prvku o vlhkosti $12 \% \pm 2 \%$, jsou vyvrtány otvory, do nichž jsou vlisovány kolíky předsušené na vlhkost 6–8 % (Herzog, 2004).

Mechanické kovové spoje

Poslední možností spojování vrstev panelů jsou mechanické kovové spoje, jako jsou hliníkové drážkové hřebíky, nebo kolíky. Využívá se tak systému MHM (Masiv-Holz28 Mauer), který propojuje tři vrstvy lamel různých šířek, umožňující tak vrstvení panelů do větší tloušťky a počtu vrstev (Smola, 2011).

Výstavba z CLT konstrukce

U výstavby z CLT panelů je nespornou výhodou vysoký stupeň prefabrikace, díky kterému je možné stavět efektivně, s vysokou přesností a v relativně krátkém čase. Panely tak přijdou na staveniště předpřipravené, v přesných formátech s vybranými konstrukčními spoji a s otvory pro okna a dveře. Záleží na stupni prefabrikace, ale ve většině případů jsou zapracovány i trasy pro rozvody, nebo akustické či tepelné izolace.

Na obrázku 6 je zobrazena panelová dřevostavba z CLT panelu od firmy Novatop (Steiger, 2020).



Obrázek 6: Ukázka panelové dřevostavby (Novatop)

Konstrukce je pomocí L profilů kotvena na zaizolovanou základovou desku, což zajišťuje stabilitu nosných panelů. Velký důraz se klade na kvalitní provedení a utěsnění všech spojů. Pro zajištění vzduchové neprůvzdušnosti se spoje utěsňují vzduchotěsnými pásky a tmely, což rovněž zaručuje pružnost a těsnost spoje. Vzhledem k velké hmotnosti panelů se k montáži používá těžká technika. Dále jsou otvory ve stavební konstrukci osazeny výplněmi otvorů a aplikuje se izolace a povrchová úprava (pokud to není součástí výrobní prefabrikace) (Crawley, 2021).

Výhody staveb z CLT panelu:

- + rychlost a jednoduchost výstavby nosné konstrukce;
- + estetičnost pohledového masivního dřevěného panelu v interiéru;
- + vzduchotěsnost zaručena samotným konstrukčním panelem;
- + difuzně otevřené skladby stěn;
- + dobrý fázový posun díky akumulačním vlastnostem masivního dřeva;
- + účinný přenos vysokého zatížení;
- + vysoká požární odolnost – plošné dřevěné prvky odhořívají pomalu;
- + velké množství použitého masivního dřeva uchovává vysoké množství CO₂;

3.3 Obvodový plášť budovy

Nedílnou součástí každé budovy je obvodový plášť, který hraje klíčovou roli ve vzhledu, funkci a energetické náročnosti. Funguje jako takzvaný ochranný obal budovy, oddělující vnitřní a vnější prostředí. Jeho hlavní úlohou je chránit vnitřní prostor budovy před nepříznivými vnějšími vlivy, a zajistit tak komfortní podmínky pro život uvnitř budovy. Z důvodů střídání ročních období se v našem klimatickém podnebí setkáváme s různými teplotními podmínkami, což klade vysoké nároky na schopnost obvodového pláště vyrovnávat teplotní rozdíly. V současné době je kladen velký důraz na to, aby správně navržené pláště výrazně snižovaly energetickou náročnost budov a s použitím vhodných typů materiálů i emise skleníkových plynů CO₂. Následující kapitoly jsou zaměřeny na funkci, složení a skladbu obvodových plášťů (Kopecký, 2016).

3.3.1 Funkční vrstvy

Pro optimální fungování je důležité porozumět jednotlivým funkcím obvodového pláště tak, aby bylo navrženo správné pořadí a typ materiálu jednotlivých vrstev. Materiály v sendvičové konstrukci plní buď jednu nebo více funkcí.

Rozdělení ochranných funkcí podle J. Kolba:

- ochrana proti povětrnosti
- tepelná ochrana;
- ochrana proti vlhkosti;
- neprůvzdušnost;
- zvuková izolace;
- ochrana proti požáru.

Z pohledu stavební fyziky patří mezi hlavní: funkce vzduchotěsnící, tepelně-izolační, parotěsnící a tepelně-akumulační.

Vzduchotěsnící funkce

Hlavním úkolem vzduchotěsnící funkce je zabránění nekontrolovaného průniku vzduchu mezi venkovním a vnitřním prostředím. To zajišťuje tepelný komfort uvnitř budovy, minimalizuje tepelné ztráty a snižuje tak celkové náklady na vytápění a chlazení. Správné provedení vzduchotěsnící funkce snižuje riziko vzniku nežádoucí vlhkosti, která by mohla vést k fatálnímu poškození konstrukce, nebo tvorbě plísní. Pro zajištění správné

funkce se využívají speciální izolační materiály, vzduchotěsnící pásy, nebo těsnící membrány. Je třeba také dbát na správné provedení konstrukčních spojů a výplní (Smola, 2011).

Tepelně-izolační funkce

Tepelně-izolační funkce odděluje vnitřní a vnější prostředí, převážně pomocí fasádní izolace, která je charakterizována součinitelem tepelné vodivosti λ . V zimě je nezbytná pro minimalizaci tepelných ztrát, v létě zase chrání budovu před přehříváním, což přispívá ke snížení energetických nákladů. Kvalitní tepelná izolace napomáhá k příjemnému vnitřnímu prostředí, ve kterém na povrchu konstrukce nedochází ke kondenzaci (Herzog, 2004).

Parotěsnící funkce

Člověk produkuje značné množství vodní páry, která přechází do okolního vzduchu a má tendenci pronikat obvodovými konstrukcemi ve směru vlhkostního gradientu. Hlavním účelem parotěsnící funkce je regulace vlhkosti jak uvnitř budovy, tak uvnitř konstrukce. Díky této funkci je možné zabránit difuzi vodní páry z vnitřního prostředí do konstrukce. Správné fungování parotěsné vrstvy zajišťují parotěsné fólie nebo membrány, snižující riziko vzniku kondenzace, která by mohla vést k růstu plísní a porušení konstrukce (Gong, 2022).

Tepelně akumuláční funkce

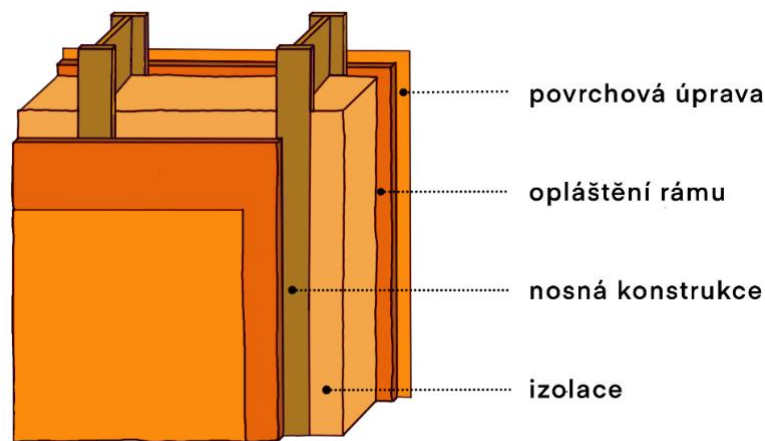
Akumulace tepla, známá také jako hromadění tepla v tělese, vyjadřuje schopnost stavební konstrukce při zvýšené teplotě absorbovat teplo, zato při poklesu teploty teplo uvolnit. Jinak řečeno využívá přirozených zdrojů tepla a chladu, jako jsou například solární zisky a noční chlad k regulaci vnitřního prostoru. Pro maximální využití je třeba zvolit vhodné materiály s dostatečnou tepelnou akumuláční kapacitou a zároveň zohlednit fázový posun neboli, schopnost konstrukce zpožďovat průchod maximální teploty (Breyer, 2007).

Celkově jsou funkční vrstvy obálky budovy prvkem, který při návrhu energeticky efektivních a udržitelných budov může přispět k efektivnímu využití energie a ke zvýšení komfortu obyvatel. Je však třeba navrhnout vhodné řešení a provést pečlivou analýzu s ohledem na konkrétní podmínky a požadavky budovy (Kuklík, 2005).

3.3.2 Složení panelu

Sendvičový panel dřevostavby se skládá z několika vrstev a částí, přičemž každý má svoji vlastní funkční úlohu. Podoba jednotlivých komponentů se může odlišovat podle konkrétních požadavků a specifikací dané stavby (Tywoniak, 2005). Pro správnou funkci obvodového pláště je zásadní dodržovat pořadí složení hlavních vrstev v panelu (viz obrázek 7), mezi které patří:

- Nosná konstrukce
- Tepelná/akustická izolace
- Opláštění rámu
- Povrchové vrstvy



Obrázek 7: Grafické znázornění vrstev panelu (Autor, 2024)

V následujících kapitolách jsou podrobněji rozepsány jednotlivé části panelu, z hlediska možnosti použitých materiálů, které se používají při výstavbě pasivních staveb.


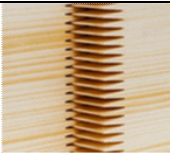


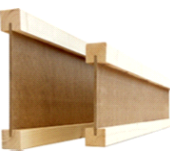
Nosná konstrukce

Nosná konstrukce je základním prvkem, který nese celou váhu stavby a přenáší ji do základů. Jsou navrhovány tak, aby vydržely statické a dynamické namáhání a zajistili tak stabilitu a bezpečnost celé stavby. Pro splnění těchto požadavků je zásadní použití kvalitního konstrukčního řeziva nebo stavebních materiálů. Svoji funkci tak musí plnit po celou dobu své životnosti, za daných podmínek a s minimálním poškozením. Toto řezivo musí splňovat přísné normy a kritéria kvality (Růžička, 2006).

Pro nosné dřevěné konstrukce existuje široká škála stavebních materiálů na bázi dřeva, která se používá v závislosti jejich použití. Řezivo je možné kategorizovat jako

dřevo s převážně nosnou funkcí (konstrukční řezivo), nebo jako dřevo s nenosnou funkcí (obkladové, dělicí, nebo výstužné), nazývané jako pohledové (Kolb, 2011). Konstrukční řezivo zaštiťuje norma ČSN EN 338 „Konstrukční dřevo – Třídy pevnosti“, která rozděluje dřevo do pěti kvalitativních tříd: C20, C24, C27, C35, C45, přičemž se nejběžněji v praxi setkáváme s třídou pevnosti C24, vizuálně tříděné a s normální pevností (ČSN EN 338, 2016). V uvedené tabulce 4 je stručný přehled stavebních materiálů s nosnou funkcí.

Tabulka 4: Materiály pro nosné konstrukce

KONSTRUKČNÍ DŘEVO					
OZNAČENÍ		CHARAKTERISTIKA	TŘÍDY PEVNOSTI	PRŮŘEZY [mm]; DÉLKA [m]	UKÁZKA
ROSTLÉ DŘEVO	Řezivo	Hranoly; získané podélným rozřezáním vhodných pilařských výřezů	C24	60/80 až 240/300; 8 až 12 (ojediněle)	
	KVH - Konstrukční rostlé dřevo	vysušené rostlé dřevo; délkově nastavované zubovým spojem(cinky); zpravidla hoblované; vysušené 15 % ± 3%	C24	80/100 až 120/200; až 12 - 18	
LEPENÉ DŘEVO	Duo a Trio - Nosníky Duobalken, Duplex, Triobalken	lepené dřevo ze 2-3 hranolů nebo fošen; lepení rovnoběžně s vlákny v obrácené poloze letokruhů; vlhkost 15 %	C24	60/60(100) až 140/240; až 12–18	
LEPENÉ LAMELOVÉ DŘEVO	BHS = lepené lamelové dřevo	vzájemné boční lepení čtyř a více lamel; délkově nastavování zubovitým spojem; melaminové lepidlo; vysušeno na 12%;	GL24h	80/100 až 260/2000; až 18–40	
NOSNÍKY	I – nosníky	nosníky z technicky vysušených fošen/hranolů; složené pásnice (KVH hranol) + stojina (MDF/OSB); nastavení zub. spojem;	C24	60/80 až 240/300; až 12–18	

Tepelná/akustická izolace

U dřevostaveb navržených pro pasivní standard hrají izolační systémy důležitou roli. Izolace je navržena tak, aby minimalizovala tepelné ztráty a chránila před nežádoucími účinky vnějšího prostředí, jako je například mráz, přehřívání, nebo také hluk z ulice. Hlavním cílem izolace je vytvoření bariéry bránící průniku tepla, nebo hluku skrze konstrukce (Mamlouk, 2014).






Tepelná izolace může být z přírodních nebo syntetických materiálů. Izolace z přírodních materiálů pocházejí z obnovitelných zdrojů, mají výborné izolační a tepelně

akumulační vlastnosti, ale mohou být náchylnější vůči vlhkosti. Syntetické izolace je možné rozdělit na materiály celulární, ty fungují na bázi dvoukomponentní pěnové polymerní směsi s otevřenou nebo uzavřenou buněčnou strukturou, a materiály minerální, které se skládají z recyklovaných minerálních vláken (Chybík, 2009).

Syntetické izolace se vyznačují konstrukční stabilitou, jednoduchou instalací, nebo také lepší odolnost vůči vlhkosti. Mezi nejčastěji používané syntetické materiály patří expandovaný (EPS) a extrudovaný (XPS) pěnový polystyren, nebo také skelná a čedičová vata (Salvan, 1986).





V následujících tabulkách je zpracován přehled nejpoužívanějších izolací v současném stavitelství. V první tabulce 5 je uveden přehled izolací z přírodních materiálů, s průměrnými hodnoty objemové hmotnosti, součinitele tepelné vodivosti, měrné tepelné kapacity a faktoru difuzního odporu.

Tabulka 5: Přehled izolačních materiálů

PŘÍRODNÍ IZOLACE							
NÁZEV	CHARAKTERISTIKA	FYZIKÁLNÍ VELIČINY				UKÁZKA	
		ρ [kg.m ⁻³]	λ [W/(m.K)]	C [J/kg.K]	μ [-]		
ROSTLINNÝ	Dřevovláknité desky	z recyklovaného dřeva; ekologické; ošetřeny proti plísním, hmyzu; snadná instalace; dobrá pevnost	30–45	0,045–0,055	2000	1 až 2	
	Konopí	tepelné izolační vlastnosti; možnost spojení s ekologickým polymerem PLA; kompostovatelná; nízký celkový vznik CO2	20–25	0,04	1600	1 až 2	
	Celulóza	výroba z recykl., rozemletého, rozvlákněného, papíru/dřeva + příměsí; 4 druhy aplikace: sypaná, foukaná, stříkaná a desková.	40–50	0,040 - 0,050	2000	1 až 3	
	Sláma	málo používaná -> nedostatek materiálu; ideální m=90 kg; musí splňovat mnoho požadavků; nízkou schopnost akumulace tepla -> hliněné přízdívky;	90–180	0,044 - 0,066	2000	2	
ŽIVOČIŠNÝ	Ovčí vlna	recyklovatelná; kompostovatelná; hygroskopický materiál; schopnost absorbovat a vydávat vzdušnou vlhkost	20–25	0,038 - 0,050	1700	1 až 2	

V tabulce 6 je zpracován přehled izolací ze syntetických materiálů se stejnými fyzikálními veličinami, jako v předešlé tabulce.

Tabulka 6: Přehled syntetických izolačních materiálů

SYNETICKÉ IZOLACE							
NÁZEV		CHARAKTERISTIKA	FYZIKÁLNÍ VELIČINY				UKÁZKA
			ρ [kg.m ⁻³]	λ [W/(m.K)]	C [J/kg.K]	μ [-]	
FIBRÓZNÍ (MINERÁLNÍ)	Skelná vata	Hlavní výrobní složkou písek a odpadové (recyklované) sklo 80 %; nehořlavé; ekologické izolace	15–35	0.046	940	2,5	
	Minerální vlna	převážně z vyvřelých hornin: vulkanického diabasu, čediče a dolomitu; nehořlavé; ekologické izolace	150-300	0,030 - 0,079	880	1,10 - 3,0	
CELULÁRNÍ (BUŇKOVÉ)	Expandovaný polystyrén EPS	se vyrábí expandací granulí polystyrenu za vysokých teplot a tlaku; uzavřená buněčná struktura; lehký termoplastický polymer;	15-35	0.030 - 0,04	1500	20-100	
	Extrudovaný polystyren XPS	se vyrábí extruzí polystyrenového polymeru za vyšších teplot a tlaku; uzavřená buněčná struktura; odpojný vůči vlhkosti; lehký termoplastický polymer	28-45	0,028 - 0,035	1500	80-200	



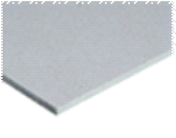


Opláštění rámu

Opláštění se obvykle provádí z důvodu konstrukčního vyztužení rámu dřevostavby. Slouží k posílení stěn, zajišťuje ochranu proti povětrnostním vlivům, požáru nebo hluku. Podle potřebného zatížení se může navrhovat jako jednostranné, nebo oboustranné (Hrázský, 2004).

Využívají se převážně kompozitní materiály, které jsou vytvářeny převážně lisováním dřevní třísky nebo dřevních vláken, pojené minerálními pojivy, a přírodními nebo syntetickými pryskyřicemi, které zajišťují pevnost a stabilitu. Deskové materiály jsou děleny podle druhu použitého materiálu, pojiva a způsobu použití v konstrukci, díky čemuž mohou sloužit různým účelům a aplikacím (Sandberg, 2018).

Základní přehled kompozitních desek je uveden v tabulce 7.

Tabulka 7: Přehled plošných materiálů

PLOŠNÉ MATERIÁLY				
OZNAČENÍ		CHARAKTERISTIKA	MATERIÁL	UKÁZKA
SE STATICKOU FUNKCÍ	OSB - Oriented Strand Board	plošně lisované desky z orientovaných velkoplošných třísek; pojivo z umělých pryskyřic; skvělé rozměrové a pevnostní vlastnosti.	velkoplošné dřevěné štěpky	
	DTD - Dřevotřískové desky	směs rozmělněné dřevní třísky ze surového dřeva; odpad z pilařské výroby; koberec náhodně orientovanými třískami; močovino/melamino-formaldehyd	dřevěné třísky	
BEZ STATICKÉ FUNKCE	STD - Sádrotřískové desky	vysoká hustota, dobrá protipožární, akustická odolnost; pevná vazba s lepšími mechanickými vlastnostmi; vnitřní pláště, dřevěné nosné kce, konstrukční pláště	sádra; papír; dřevěné třísky	
	SVD - Sádrovláknité desky		sádra; papír; dřevní vlákna	
	SKD - Sádrokartonové desky	lisovaná sádrová hmota opláštěná dvěma silnými kartony papíru; lehké; zelené sádrokartony napuštěné silikonem, učeny do vlhkého prostředí; stavby příček	sádra; karton	
	DVV - Desky z dřevité vlny	50 cm dlouhé hobliny spojené minerálním pojivem; Kombinace minerální vlny, nebo s polystyrénu s dřevní vlnou; vysoká měrná tepelná kapacita a akustické vlastnosti	dřevní vlákna; minerální vlna	

Povrchové vrstvy

Povrchová úprava pláště domu je poslední vrstvou ochrany, která uzavírá skladbu panelu a chrání ho před vnějšími vlivy. Povrchová vrstva má především funkci estetickou, jelikož dotváří celkový vzhled domu. Musí ale být i dostatečně odolná vůči mechanickému poškození a povětrnostním vlivům (Rehberger, 2023). Materiály pro povrchovou úpravu jsou velice různorodé, proto je volba povrchové vrstvy závislá na charakteru prostředí, preferenci investorů, nebo architektonickému návrhu. Plášť domu je považován za vizitku celého objektu, proto jsou na něj kladeny vysoké nároky. V případě použití fasády je možné použít obklad ze dřeva, kovu nebo desek na bázi cementovláknů. Mnohé z těchto materiálů lze použít v kombinaci s bezkontaktní fasádou, která napomáhá k lepší cirkulaci vzduchu a regulaci vlhkosti (Rehberger, 2023).

V interiéru plní povrchová vrstva především pohledovou funkci. Výjimkou mohou být například prostory se zvýšenou vlhkostí, jako je koupelna nebo kuchyň, kde se používají keramické obklady, které chrání konstrukci před zvýšenou vlhkostí a mechanickému namáhání (Márton, 2014).

3.4 Energeticky úsporné domy

Koncept energeticky úsporných domů je budoucností moderního stavitelství. Představují šetrné řešení pro bydlení s cílem minimalizovat energetickou náročnost a co nejvíce využít pasivní energetické zisky. Vyjímaje ekologického aspektu, mají úsporné stavby oproti tradičním domům, celou řadu výhod, například v podobě nižších provozních nákladů, nebo většího komfortu pro obyvatele (Hudec, 2008). Hlavními pilíři koncepce energeticky úsporných domů jsou energetická náročnost, environmentální odpovědnost, návratnost investice, komfortní bydlení a technologický pokrok a inovace. V tabulce 8 je uvedeno rozdělení staveb podle J. Tywoniaka na základě roční měrné energie na vytápění:

Tabulka 8: Základní rozdělení budov podle měrné potřeby tepla na vytápění (Tywoniak, 2012)

Kategorie	Roční měrná potřeba tepla na vytápění kWh. (m ² .a ⁻¹)
Starší budovy (70. - 80. let)	> 200
Současná novostavba	80–140
Nízkoenergetická budova	≤ 50
Pasivní budova	doporučená: <15
	požadovaná: <20
Budova blízká budově energeticky nulové	požadavek jako pro pasivní budovu, nejvýše o 20% vyšší, pokud odborně zdůvodněně nejde lepší hodnoty dosáhnout
Energeticky nulová budova	
Budova energeticky nezávislá (soběstačná)	
Energeticky pozitivní budova	

Každá z těchto kategorií má specifické požadavky a cíle, které pomáhají posunout stavebnictví směrem k udržitelnějšímu a energeticky efektivnějšímu budování. V následujících kapitolách je podrobněji rozepsaná problematika týkající se pasivních staveb.

3.4.1 Základní charakteristika pasivních staveb

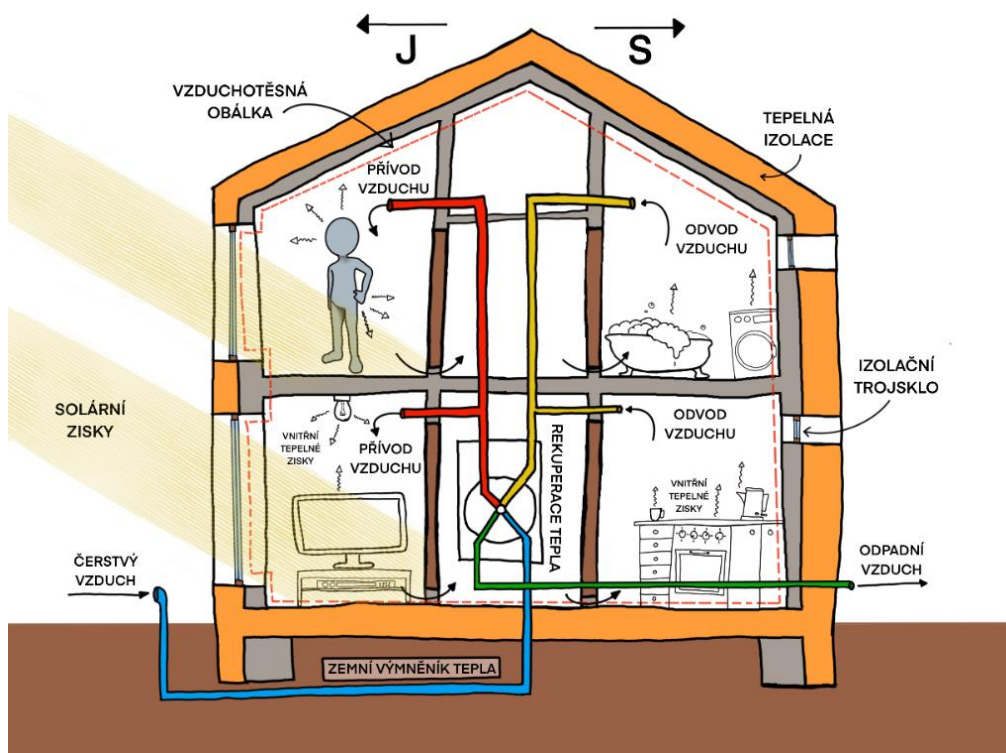
Základní charakteristika

Název Pasivní dům byl odvozen, od schopnosti využití pasivních tepelných zisků. Jedná se o objekt, jehož spotřeba energie je optimalizací klíčových prvků snížena na tak nízkou úroveň, že budova téměř nepotřebuje žádné vytápění, chlazení, zvlhčování nebo odvlhčování, aby splňovala předem stanovené klimatické a komfortní podmínky. Základní vlastností je využití minimálního množství energie pro vytápění a chlazení, jinak řečeno, je navržena tak, aby byla schopná se vytopit téměř sama za pomoci slunečního záření a vnitřních tepelných zisků (osoby, zařízení atd.) (Bere, 2013).

Koncept pasivního domu je založený na několika hlavních pilířích podle J. Hazuchy:

- vysoce izolovaná obálka pro budovy pro snížení tepelných ztrát;
- konstrukce bez tepelných mostů;
- využívání solárních zisků;
- neprůvzdušnost obálky;
- zpětný zisk tepla z odpadního vzduchu;
- optimalizace vnitřního prostředí a užitého komfortu.

Na obrázku 8 je graficky znázorněn princip fungování pasivního domu.



Obrázek 8: Schématické zobrazení pasivního domu (Autor, 2024)

Při návrhu je nezbytné dbát na dosažení komfortních teplot a vyvarovat se vzniku tepelných mostů. Současně je nutné zajistit, aby maximální teplota nepřesahovala 25 °C, po dobu kratší než 10 % celkového času. Tímto opatřením je zaručena vysoká kvalita stavby bez poruch a vynikající klimatické podmínky jak v zimě, tak i v létě.

V následující tabulce 9 jsou uvedeny základní kritéria pro pasivního domu (Hazucha, 2016).

Tabulka 9: Základní parametry pasivních domů

Základní parametry pasivního domu	
Potřeba tepla na vytápění	max. 15 kWh/ (m ² .a)
Maximální topný výkon	10 W/m ²
Potřeba energie na chlazení	max. 15 kWh/ (m ² .a)
Celková spotřeba primární energie	max. 120 kWh/ (m ² .a)
Neprůvzdušnost n ₅₀	max. 0,6 h ⁻¹
Topná zátěž	max. 10 W/m ²
Vzduchotechnická jednotka s rekuperací s účinností vyšší než	75 %
Okna s hodnotou U _w	0,8 W/ (m ² .K)
Se sklem o hodnotě g ³ 50 %	
Součinitel prostupu tepla u všech plných obvodových konstrukcí U	15 W/ (m ² .K)
Četnost překročení nejvyšší teploty vzduchu >25 °C	max. 10 %

Jednotlivé parametry jsou přísně hodnocené, a získávají se ze specializovaných výpočetních softwarů. Jednou z možností je kontrola pomocí PHPP (Passive House Planning Package) softwaru, jehož výpočty už byly ověřeny na tisících pasivních domech (Centrum pasivního domu, 2028).

Evropská legislativa

Pasivní dům je mezinárodně uznávaný termín pro domy, splňující kritéria Passivhaus Institutu v Darmstadtu. Tato definice je založena na určitých požadavcích energetické účinnosti a tepelné pohody, které musí objekty splňovat, aby byly označeny jako pasivní. Mezi kritéria evropské definice pasivního domu patří měrná spotřeba energie na vytápění, která nesmí překročit maximální hodnotu 15 kWh/ (m².a); celková průvzdušnost n₅₀ měřená testem neprůvzdušnosti, která určuje parametr těsnosti stavby ≤ 0,6 h⁻¹ a maximální roční celková měrná potřeba primární energie pasivního domu (vytápění, teplá voda, pomocná energie, domácí spotřebiče a osvětlení) nepřekročí ≤ 120 kWh/ (m².a) (Bere, 2013).

Česká legislativa

Zavedení evropských směrnic vyvolalo nutnost změn národních předpisů. V českých podmínkách se jednalo pouze o zákon o hospodaření energií č. 406/2000 Sb. a v dalších navazujících vyhláškách. Vzhledem k dlouhým lhůtám a náročnosti přípravy potřebných podkladů bylo v roce 2011 přijato nové znění technické normy pro tepelnou ochranu budov ČSN 73 0540-2, s názvem „Technická normalizace energetických vlastností“,

příčemž splnění kritérií v norem odpovídalo i splnění stavebního zákona (Tywoniak, 2012). V tabulce 10 jsou zobrazeny hodnoty součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou intervalu 18 až 22° (ČSN 73 0540-2, 2011)

Tabulka 10: Hodnoty součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou intervalu 18 až 22° (ČSN 73 0540-2, 2011)

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla (W.m-2.K-1)		
	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy
Stěna vnější	0,3	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,3	0,2	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	0,3	0,2	0,15 až 0,10
Stěna k nevytápěné půdě (se střechou bez tepelné izolace)	0,3	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,3	0,22 až 0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,6	0,4	0,30 až 0,20
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru	0,75	0,5	0,38 až 0,25
Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí	0,75	0,5	0,38 až 0,25
Podlaha a stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině	0,85	0,6	0,45 až 0,30
Stěna mezi sousedními budovami	1,05	0,7	0,5
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10° včetně	1,05	0,7	
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10° včetně	1,3	0,9	
Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5° včetně	2,2	1,45	
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5° včetně	2,7	1,8	
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,5	1,2	0,8 až 0,6
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,4	1,1	0,9
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,7	1,2	0,9
Výplň otvoru vedoucí z vytápěného do temperovaného prostoru	3,5	2,3	1,7
Výplň otvoru vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	3,5	2,3	1,7
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	2,6	1,7	1,4

3.4.2 Optimalizace návrhu pasivního domu

Statusu pasivního domu není možné dosáhnout pouze tepelnou izolací a těsností konstrukce, jde o komplexní přístup k návrhu, který vyžaduje individuální posudek v závislosti na specifických podmínkách a potřebách jednotlivých objektů a předběžné koncepci. Jinak řečeno, pasivní dům nedostaneme pouhým spojením vhodných prvků, ale jejich vzájemnou optimalizací. Ta zahrnuje mnoho aspektů jako je například orientace objektu ke světovým stranám, maximální využití tepelných zisků, návrh obvodového pláště, vyloučení tepelných mostů a další (Hudec, 2008).

Již ve fázi studie se pomocí softwaru (nejčastěji PHPP software – Passive House Planning Package) pro energetickou optimalizaci, vyhodnotí energetická bilance objektu. Na základě přesných výpočtů se provede materiálové, dispoziční nebo konstrukční opatření, díky čemuž je možné vyhnout se nekoncepčním krokům, které by mohly vést k prodražení stavby či ke snížení komfortu bydlení. V následujícím schématu 9 jsou uvedeny jednotlivé kroky pro výslednou optimalizaci pro pasivní stavby (Smola, 2011).



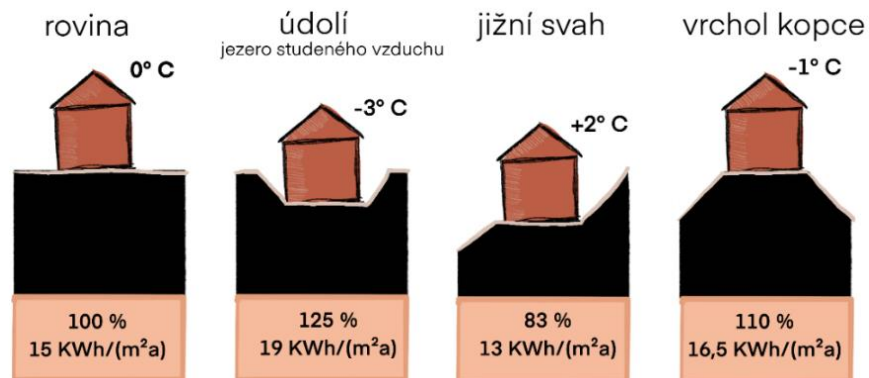
Obrázek 9: Doporučené desatero pro pasivní domy (Autor, 2024)

V následujících podkapitolách jsou podrobně rozepsané body potřebné pro optimalizaci.

1. Souvislosti v území

Optimalizace objektu v souvislosti s jeho umístěním, zahrnuje analýzu a využití specifických charakteristik daného místa a okolního prostředí k maximalizaci energetické efektivity a komfortu bydlení. Umístění a poloha pasivního domu může ovlivnit

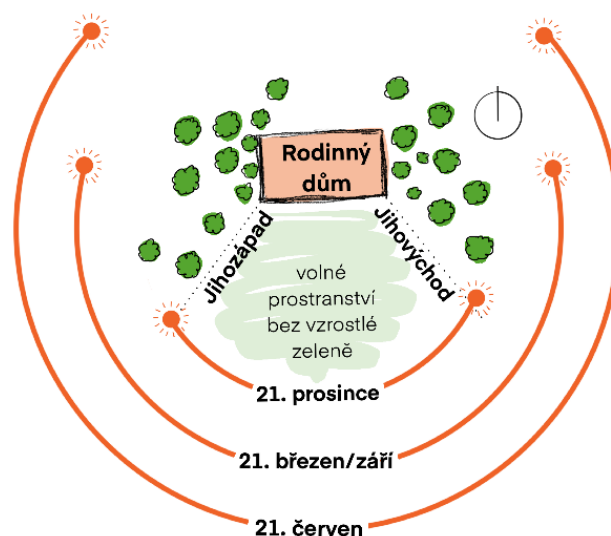
energetickou bilanci tepla pro vytápění až o 40 %. Mezi klíčové faktory patří volba pozemku a situování stavby, orientace stavby s okolním prostředím, a tvarová optimalizace A/V (velikost plochy A/ velikosti objemu budovy V) (Tywoniak, 2012). Výhody umístění objektu v závislosti situování stavby v terénu je graficky znázorněno na obrázku 10.



Obrázek 10: Situování stavby v terénu (Autor, 2024)

2. Orientace ke světovým stranám

Orientace stavby ke světovým stranám má významný vliv pro energetické zisky vlivem slunečního záření. Je tedy zásadní, aby hlavní fasáda byla orientována od jihovýchodu po jihozápad, kde jsou po celý rok největší zisky slunečního záření, které se podílejí přibližně na 1/3 pokrytí tepelných ztát. Míra slunečního záření v průběhu roku je znázorněna na obrázku 11. Důležité je dbát na to, aby na perspektivní straně nebyla umístěná vzrostlá zeleň a nezastiňovala tak objekt. Rovněž je třeba myslet na to, že odklon orientace od ideální jižní strany procentuálně snižuje solární zisky (Petrtýl, 2012).

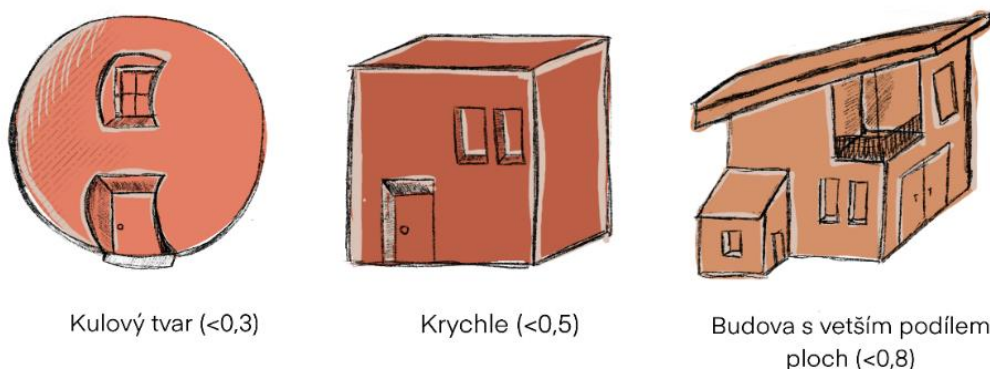


Obrázek 11: Teorie oslunění v průběhu modelového roku (Autor, 2024)

3. Tvarová kompaktnost / optimalizace tvaru

Pasivní dům je zásadní navrhnut tak, aby byl jeho tvar co nejkompaktnější. Stavby s jednoduchým geometrickým tvarem (kvádr, krychle) vykazují příznivější poměr objemu A/V než budovy s mnoha výčnělky a tím pádem i větší plochou ve vztahu k objemu (Details for passive houses: renovation, 2017). Jednotlivé rozdíly mezi odlišnými tvary jsou graficky znázorněny na obrázku 12.

Zásadní je také poměr mezi plochou obálky „ A “ (stěny stropy, střechy, a okna) a objemem budovy „ V “ (obestavěného prostoru), neboli poměru A/V . Z toho vyplývá, že čím větší je poměr A/V tím větší je spotřeba energie na m^2 . Výhodné hodnoty A/V mají i větší budovy, které dosahují poměru 0,2, zato malé rodinné domy mají obvykle hodnoty okolo 0,7 – 1,0, kvůli tomu je zásadní navrhnut adekvátní tloušťku tepelné izolace. Pro pasivní domy by maximální hodnota měla dosahovat poměru maximálně 0,8, aby vyhověla požadavkům, na maximální spotřebu energie 15 kWh/ m^2 a (International Passive House Association).



Obrázek 12: Tvarové typy objektů v souvislosti A/V (Autor, 2024)

4. Tepelné zónování dispozice

Díky zónování je možné rozdělit objekt do několika funkčních užitných zón s ohledem na tepelné charakteristiky a potřeby. Obytné místnosti jako obývací pokoj, jídelna, ložnice jsou orientovaný na jižní stranu opatřenou velkými okny z důvodu většího přísunu denního světla a lepší možnosti větrání. Technické prostory jako kuchyň a koupelna je sdružována v severní část budovy, jednak kvůli minimální potřebě přirozeného světla a dále kvůli nutnosti sdružování z důvodu dosahu vodovodního a odpadního potrubí. Stejně tak je tomu u komunikačních prostor (chodba, zádveří a schodiště) a u nevytápěných prostor, jako garáž, která se nachází mimo tepelnou obálku (Breyer, 2007).

5. Návrh obvodového pláště

Obvodový plášť se skládá z nosné konstrukce, která by měla být ideálním případě lehká s vysokou pevností, z účinné tepelně izolační obálky. Před návrhem tepelné obálky je třeba provést podrobnou analýzu s výpočty tepelné fyziky, na základě kterých se rozhodne o vhodném materiálu, použití a tloušťce izolace (Izolace-info, 2008). Důležité je, aby obálka disponovala nízkým součinitelem tepelné vodivosti od 0,032 – 0,04 W/(m.K), jednoduchou montáží a neutvářela prostor pro tepelné mosty (Tywoniak, 2005).

6. Vyloučení pasivních mostů

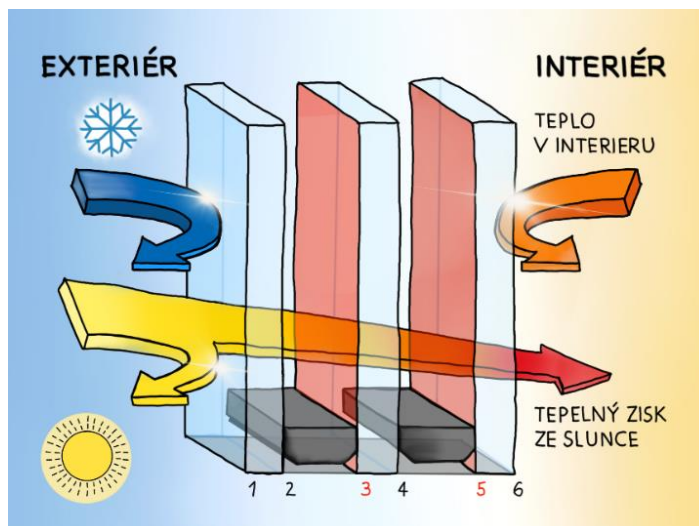
Tepelné mosty jsou místa ve stavbě, kde dochází k většímu průniku tepla, přestože jsou všechny konstrukce stejně zaizolovány. Aby bylo možné dosáhnout nejúčinnější optimalizaci návrhu, je nutné zajistit, aby byla všechna tato místa eliminována. Toho je možné dosáhnout propracovaným návrhem kritického konstrukčního detailu, zaizolováním případných netěsností, nebo přerušením tepelného mostu vhodným izolačním materiálem (Šubrt, 2011).

7. Výplně otvorů

Výplně otvorů jsou důležitou součástí procesu vytváření energeticky účinného a komfortního prostředí v pasivním domě. Pro minimalizaci tepelných ztrát je klíčové pečlivě zvážit vhodný stavebně truhlářský prvek, a poté zajistit jeho správnou instalaci a utěsnění (Hudec, 2008).

Základním parametrem pro posouzení oken je z pohledu stavební fyziky součinitel prostupu tepla U_w , který označuje prostup celým oknem. Dále je možné posuzovat tepelné vlastnosti rámu U_f a prostup tepla zasklením U_g , charakterizující pouze tepelně izolační vlastnosti izolačního zasklení. Okna určená pro pasivní domy musí splňovat nejpřísnější parametry, přičemž hodnoty celkového součinitele prostupu tepla U_w by neměly překročit hodnotu 0,8 W/m²K. U dveří se posuzuje hodnota U_d která značí prostup tepla celých dveří, zahrnující dveřní profil, dveřní výplň a tepelně izolační vlastnosti dveřního prahu (Petrtyl, 2012).

V rámci optimalizace je důležité zvážit i další faktory, jako je adekvátní velikost oken v závislosti na orientaci, využití stínících prvků (markýzy, žaluzie, rolety), nebo přeizolování rámu okna (Gonzalo, 2014). Z hlediska energetické bilance i komfortu jsou okna zásadním prvkem, jehož princip fungování je zobrazen na obrázku 13.



Obrázek 13: Grafické zobrazení izolačního trojstakla (Autor, 2024)

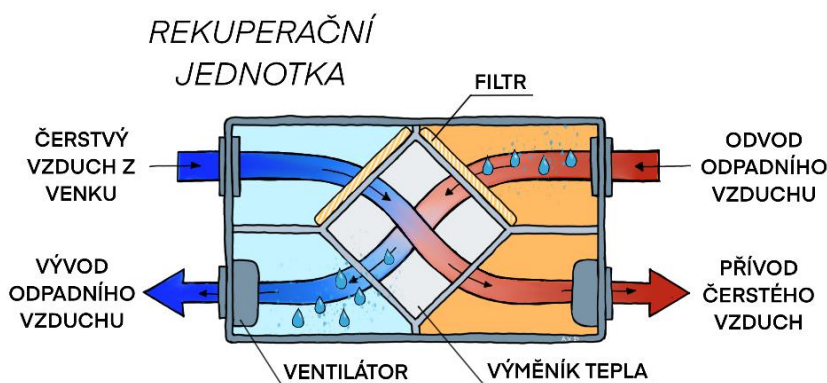
8. Neprůvzdušnost konstrukce/ vzduchotěsnosti

Neprůvzdušnost je jedním ze základních kritérií pasivního domu a je zásadní pro dosažení vysoké energetické účinnosti, pohodlí a kvality vzduchu. Pro správné fungování musí být všechny stavební otvory důkladně zaizolovány a utěsněny, aby minimalizovali průnik vzduchu. Větrání musí být zajištěno účinným systémem (rekuperací tepla), který zajišťuje dostatečný přísun čerstvého a odvod odpadního vzduchu. Kontrola kvality vzduchotěsnosti probíhá pomocí Blower-door testu, přičemž požadovaná hodnota je $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$ (Kolb, 2011).

9. Řízené větrání s rekuperací tepla

Rekuperace je důležitou součástí větracího systému v pasivním domě, je nezbytná pro výměnu vzduchu s minimálními tepelnými ztrátami. Odvádí škodliviny a pachy z celého objektu a zároveň zajišťuje neustálý přísun čerstvého přefiltrovaného vzduchu bez překračování koncentrace CO_2 1500 ppm (bez prachů a alt. I pylů). S rekuperací je možné větrat i se zavřenými okny, díky čemuž nevzniká uvnitř domu průvan, zajišťuje kontinuální odvod vlhkosti. Moderní rekuperační jednotky jsou vybaveny vysokou účinností výměníku tepla, úspora může být až 75–90 % (Mamlouk, 2014).

Princip fungování rekuperace je graficky znázorněn na obrázku 14.



Obrázek 14: Grafické schéma rekuperační jednotky (Autor, 2024)

10. Zdroj a distribuce tepla

V pasivním domě je vhodné zvolit efektivní a udržitelný zdroj tepla, což může zahrnovat tepelná čerpadla (vzduch – voda, voda – voda, země – voda), solární tepelné systémy, biomasy nebo kombinace těchto zdrojů. Důležité je správně dimenzovat vytápěcí systém s ohledem na velikost a funkci jednotlivých místností. V rámci úspory spotřebované energie je objekt navržen tak, aby využíval maximálních solárních zisků (Hazucha, 2016).

3.5 Stavební fyzika

Stavební fyzika je obor, který se zabývá zkoumáním fyzikálních jevů a procesů v souvislosti s budovami a jejich prostředím. Pod tento pojem spadají obory, jako jsou tepelná ochrana budov, akustika, energetika, osvětlení oslunění a diagnostika staveb. Pomocí těchto aspektů je možné zajistit co nejlepší podmínky pro život v budovách určených k pobytu. Díky ověřovacím výpočtům a dodržováním předepsaných norem je možné zlepšovat stávající řešení tak, aby byly navrhovány hospodárně, s nízkými provozními náklady a dlouhou životností (Kulhánek, 2011).

Stavební fyzika je klíčovým prvkem ve smyslu legislativy týkající se energetické účinnosti budov. Podle ČSN 73 0540; Tepelná ochrana budov jsou stanoveny požadavky na tepelně technické vlastnosti budov, které mají za cíl minimalizovat energetickou náročnost budov a zlepšit komfort uživatelů.

Norma je rozdělena do několika částí, které se zabývají různými aspekty tepelně technických vlastností budov, a to:

- Část 1: Termíny, definice a veličiny pro navrhování a ověřování
- Část 2: Funkční požadavky
- Část 3: Výpočtové hodnoty veličin pro navrhování a ověřování
- Část 4: Výpočtové metody pro navrhování a ověřování

3.5.1 Materiálové veličiny

Objemová hmotnost

Stavební inženýrství rozlišuje při popisu vlastností stavebních materiálů hustotu $[\rho]$ a objemovou hmotnost $[\rho_v]$. Objemová hmotnost se definuje jako poměr hmotnosti tělesa ku objemu tělesa včetně póru, mezer a dutin. Tedy objem stanovený z tzv. vnějších rozměrů. (Izolace-info, 2008)

Objemová hmotnost se značí symbolem ρ_v a udává se v kilogramech na metr krychlový $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$. Veličina je závislá na vlhkosti materiálu. Pokud jsou póry vyplněny jen vzduchem, jedná se o objemovou hmotnost materiálu v suchém stavu. Pokud je část póru vyplněna vodou, tak je třeba vždy uvést konkrétní vlhkost materiálu. (Kaňka, 2004)

Výpočet objemové hmotnosti ze vzorce 1:

$$\rho_v = \frac{m}{V} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (1)$$

Kde	ρ_v	objemová hmotnost
	m	hmotnost materiálu [kg]
	V	objem materiálu včetně dutin a pórů $[\text{m}^3]$

Měrná tepelná kapacita

Měrná tepelná kapacita je množství tepelné energie, kterou je třeba dodat při stálém tlaku, vzorku materiálu o definované vlhkosti a hmotnosti 1 kg, aby se jeho teplota zvýšila o 1 K (Vaverka, 2000). Na ohřátí různého množství stejných látek potřebujeme vždy rozdílné množství tepla. Tato rozdílnost se nazývá jako tepelná kapacita. Při ohřátí látky o známé hmotnosti se používá tzv. Měrná tepelná kapacita, značí se malým písmenem c a vyjadřuje se joule na kilogram a kelvin $[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$. (Izolace-info, 2008)

Měrná tepelná kapacita je definována vztahem 2:

$$c = \frac{E}{m \cdot \Delta\theta} \text{ [J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (2)$$

Kde E tepelná energie (množství přivedeného tepla) [J]
m hmotnost [kg]
 $\Delta\theta$ přírůstek teploty [K]

Faktor difuzního odporu

Faktor difuzního odporu vyjadřuje poměr mezi součinitelem difuze vodní páry ve vzduchu a v materiálu neboli jak silnému tlaku vodní páry materiál odolá, než dojde k difuzi (šíření) páry v materiálu. Přitom se jedná o bezrozměrnou veličinu, která udává, kolikrát lépe propouští vodní páru nehybná vrstva vzduchu než stejná tloušťka daného materiálu. Pro nehybnou vrstvu vzduchu platí, že $\mu = 1$

$$\mu = \frac{\delta_\alpha}{\delta} \quad (3)$$

Kde δ součinitel difuze vodní páry v materiálu
 δ_α součinitel difuze vodní páry v vzduchu

Pro porovnání různých materiálů z hlediska schopnosti zabránit difuzi vodní páry je hodnota jejich *ekvivalentní difuzní tloušťky* Sd . Ta vyjadřuje, jaká by měla být tloušťka vzduchové vrstvy, aby měla stejný difuzní odpor jako vrstva zkoumaného materiálu. Její velikost je dána součinem hodnoty faktoru difuzního odporu μ a vlastní tloušťky daného materiálu. Čím vyšší hodnoty dosáhneme, tím menší množství vodní páry přes tento materiál difunduje. (Kaňka, 2004)

Výpočet ekvivalentní difuzní tloušťky Sd podle vztahu 4:

$$Sd = \mu \cdot d \text{ [m]} \quad (4)$$

Kde μ faktor difuzního odporu daného výrobku [-]
d tloušťka výrobku [m]

3.5.2 Konstrukční veličiny

Součinitel tepelné vodivosti

Tato veličina vyjadřuje schopnost materiálu, který je při dané střední teplotě (v případě návrhových materiálů závisí též na jejich vlhkosti (schopen vést teplo). Udává tepelný výkon, který projde plochou homogenního materiálu o velikosti jednoho m² do vzdálenosti 1 m při teplotním rozdílu 1 K. Závisí na různých vlivech, nejdůležitější z nich jsou vlhkost, objemová hmotnost, teplota a směr teplotního toku v anizotropních látkách. Vyjadřuje se ve wattech na metr krát kelvin [W/m. K] a označuje se řecký písmenem lambda [λ]. (Izolace-info, 2008)

Součinitel tepelné vodivosti λ je obecně velmi důležité kritérium pro porovnávání kvality tepelných izolací. Udává, jak materiál vede teplo. Čím je hodnota nižší tím je kvalita tepelné izolace vyšší a teplo uniká přes takový materiál pomaleji. (Tepelná ochrana budov, 2008)

Výpočet součinitele teplotní vodivosti:

$$\lambda = \frac{\vec{q}}{-grad\theta} \quad [W. m^{-1}. K^{-1}] \quad (4)$$

Kde q vektor hustoty ustáleného tepelného toku sdíleného vedením, proudícího stejným izotropním materiálem [W.m⁻²]

$grad\theta$ gradient teploty [K.m⁻¹]

Gradient teploty je vektor směřující z nižší k vyšší teplotě, to znamená opačným směrem, než je přenáшено teplo. (Kaňka, 2004)

Součinitel prostupu tepla

Jedná se o základní veličinu charakterizující tepelně izolační vlastnosti stavebních konstrukcí. Tato hodnota nám určuje celkovou výměnu tepla mezi prostory oddělenými od sebe určitou stavební konstrukcí neboli množstvím tepla, které projde plochou 1 m² stavební konstrukce při rozdílu teplot prostředí před a za konstrukcí 1 K. Čím je hodnota menší, tím jsou lepší tepelně izolační vlastnosti konstrukce. Pro výpočet tepelných ztrát je potřeba znát hodnotu součinitele prostupu tepla U a jednotka je watt na metr čtvereční

krát kelvin [$\text{m}^{-2} \text{K/W}$]. Součinitel prostupu tepla U a tepelný odpor konstrukce R jsou základními veličinami, které charakterizují tepelně izolační vlastnosti.

Samotný tepelný odpor vrstvy konstrukce značí schopnost klást odpor průchodu tepla. Do hodnoty R se započítávají ty vrstvy konstrukce, které jsou účinně chráněny před účinky vlhkosti, tudíž u těch dvouplášťových se započítávají pouze vrstvy vnitřního pláště (Šubrt, 2011).

Výpočet se provede z celkového tepelného odporu z vzorce 5:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} + \Delta U \quad [\text{m}^{-2} \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (5)$$

kde R tepelný odpor konstrukce v $\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$
 R_{si} tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně [$\text{m}^{-2} \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]
 R_{se} tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně [$\text{m}^{-2} \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]
 ΔU přírážka na systematické tepelné mosty [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]

Tepelný odpor konstrukce

Tepelný odpor neboli tepelněizolační vlastnost vrstvy materiálu vyjadřuje, jakou plochou konstrukce a při jakém rozdílu teplot na jejích površích dojde k přenosu 1 Wattu. Udává míru odporu proti pronikání tepla, tudíž čím vyšší je tepelný odpor, tím pomaleji teplo prochází. (Izolace-info, 2008)

Stanovuje se podle vzorce 6:

$$R = \sum \frac{d}{\lambda} \quad [\text{m}^{-2} \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (6)$$

kde d tloušťka jednotlivých vrstev konstrukce [m]
 λ tepelná vodivost jednotlivých vrstev konstrukce [$\text{m}^{-2} \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]

Odpor při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně konstrukce R_{si} , R_{se}

tepelný odpor mezní vzduchové vrstvy přiléhající bezprostředně k vnitřní/vnější straně konstrukce, je definován vztahem:

$$R_{si} = \frac{1}{h_i} \quad ; \quad R_{se} = \frac{1}{h_e} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})] \quad (7)$$

Kde h_i součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]
 h_e součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]

3.5.3 Požadavky na konstrukce

Tepelná stabilita místnosti v letním a zimním období

Tepelná stabilita místnosti se odkazuje na schopnost udržet stabilní teplotu v daném prostoru bez výrazného kolísání teploty. Je tak klíčovým faktorem pro dosažení tepelného komfortu a efektivního využití energie vytápění či chlazení. Místnost považujeme za tepelně stabilní, pokud její tepelný stav zůstává v daném čase v dolních mezích. Stabilitu mohou ovlivňovat izolační materiály obvodových konstrukcí, obklopující danou místnost. Hodnocení místností z hlediska tepelné stability se provádí pro zimní a letní období na základě neustáleného teplotního stavu, přičemž určení tepelné stability vychází z podmínek tepelné pohody (Kopecký, 2016)

Tepelná stabilita v letním období

Týká se schopnosti udržet přijatelnou teplotu v interiéru bez nadměrného ohřívání a zajištění komfortních podmínek pro obyvatele. Pro posouzení tepelné stability v letním období je nutné najít tzv. kritickou místnost. Jedná se o místnost s největší plochou přímo osluněných oken orientovaných na západ, jihozápad, jih, jihovýchod, nebo východ, a to v poměru k podlahové ploše. Když podmínkám vyhoví kritická místnost, tak vyhoví i všechny ostatní (Vaverka, 2000).

Tepelná stabilita v zimním období

Tepelná stabilita v zimním období se zaměřuje na udržení přijatelné teploty v interiéru a minimalizaci úniku tepla ven, aby bylo dosaženo pohodlí obyvatel a snížily se náklady na vytápění. Určuje se na základě neustáleného teplotního stavu. Hlavním požadavkem je, aby po přerušení dodávky energie zůstala teplota v dovoleném rozmezí. Výpočet je stejně jako v letním období proveden přes kritickou místnost, která je charakterizována největším počtem prosklených ploch (Šubrt, 2011).

Teplota rosného bodu

Jedná se o důležitý parametr při hodnocení rizika kondenzace vlhkosti v budovách. Teplota rosného bodu je teplota, při které je vzduch maximálně nasycen vodními parami (relativní vlhkost vzduchu dosáhne 100 %). Pokud teplota klesne pod tento bod, nastává kondenzace. Tomuto nežádoucímu stavu je možné předejít v případě kdy je konstrukce navržena tak, aby byla její povrchová teplota vždy vyšší. Pokud budou dodrženy normové

požadavky pro součinitel prostupu tepla, minimální povrchová teplota neprůsvitných konstrukcí bude splněna i minimální povrchová teplota (Petřtyl, 2012).

Nejnižší povrchová teplota

Vnitřní nejnižší povrchové teploty je dosaženo v takovém případě, kdy vlhkost vzduchu u vnitřního povrchu nepřesáhne 80 %, což je hodnota, při které dochází k růstu plísní. U výplně stavebních otvorů je tento požadavek nižší, zde se uvažuje s přípustnou relativní vlhkostí vzduchu do 100 %. Tuto skutečnost je nutno řešit, aby nedocházelo ke vzniku tepelných mostů. Splnění normou daných požadavků pro součinitel prostupu tepla zaručuje, že na povrchu konstrukce bude vnitřní povrchová teplota vyhovující (Šubrt, 2011).

Při posuzování konstrukčních detailů pomocí výpočtů dvou – či trojrozměrného stacionárního teplotního pole se obvykle vychází z konkrétních vnitřních a vnějších teplot. Pro větší přesnost a aplikaci vypočtených povrchových teplot na jiné podmínky exteriéru či interiéru se v praxi používá teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} (Kulhánek, 2011).

Teplotní faktor

Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} (-), vyjadřuje vliv konstrukce a přestupů tepla v daném místě povrchu na vnitřní povrchovou teplotu. Od roku 2007 hodnotíme vnitřní povrchovou teplotu φ_{si} jako teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} (Kaňka, 2004). Stavební konstrukce v prostorech s návrhovou relativní vlhkostí vnitřního vzduchu $\varphi_{si} \leq 60$ % musí v zimním vykazovat v každém místě takovou vnitřní teplotu podle vztahu 8:

$$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N} \quad (8)$$

Kde f_{Rsi} teplotní faktor vnitřního povrchu [-]

$f_{Rsi,N}$ požadovaná hodnota nejnižšího teplotního faktoru vnitřního povrchu [-]

Splnění požadavku je prevencí rizika povrchové kondenzace u výplní otvorů a růstu plísní u stávajících konstrukcí, přičemž $f_{Rsi} = f_{Rsi,cr}$ (Kopecký, 2016).

Kritický teplotní faktor vnitřního povrchu $f_{Rsi,cr}$ je hodnota při které by vnitřní vzduch s návrhovou s návrhovou relativní vlhkostí φ_i dosáhl u vnitřního povrchu kritické vnitřní povrchové vlhkosti $\varphi_{i,cr}$ (Vaverka, 2000).

Lineární a bodový činitel

Zvýšení tepelného toku se vyjadřuje pomocí lineárního činitele. Veličiny znázorňují rozdíl mezi zjednodušeným jednorozměrným a dvoj-či trojrozměrným vedením tepla se započtením tepelných ztrát konstrukce, které zohledňuje geometrii detailů, různou tepelnou vodivost a nehomogenitu materiálů (Petrtyl, 2012). Určením vybraných lineárních činitelů je možné stanovit orientačními hodnotami tabulky, danou normou ČSN EN ISO 14683, přičemž je nutné zatížit výpočty chybou až cca 20 %. Pro přesnější stanovení lze činitel, na který působí dvě okrajové podmínky, spočítat ze vztahu 9:

$$\psi = L \cdot \sum U_j \cdot b_j \quad [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})] \quad (9)$$

Kde L vypočtená tepelná propustnost hodnoceným detailem [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
 U_j součinitel prostupu tepla j -té dílčí plošné konstrukce [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
 b_j šířka j -té konstrukce [m]

Pro upřesnění lineární činitel nevyjadřuje, kolik energie detailem proudí, tvoří pouze nutnou korekci výpočtů tepelných ztrát detailu pro rozdílnou geometrii v konstrukci (Šubrt, 2011).

Vlhkost v konstrukci

Vyloučení kondenzace uvnitř konstrukce, resp. omezení kondenzátu na přijatelnou úroveň je klíčové pro udržení optimálního stavu stavebních prvků. Vlivem rozdílné koncentrace vlhkostí vzduchu uvnitř a vně stavební konstrukce dochází k průchodu vodních par. Správné řazení vrstev v plošných konstrukcích a jejich správné napojení v konstrukčních detailech zásadně ovlivňuje splnění nebo nesplnění této podmínky. Zvýšená vlhkost představuje potenciální riziko ohrožení funkčnosti dřevěných konstrukcí, protože plynná vodní pára může kondenzovat v místech s nižší teplotou v konstrukci (Kulhánek, 2011).

V zimním období je vzduch uvnitř budov obvykle více nasycený než venku, což vede k pokusům vyrovnat rozdílné koncentrace vodní páry mezi interiérem a exteriérem, vyjádřených pomocí částečných (parciálních) nasycených a nenasycených tlaků vodní páry. Kondenzace v konstrukci může nastat, pokud vypočítaný částečný tlak vodní páry dosáhne hodnoty nasyceného tlaku vodní páry. Mechanické vlastnosti materiálů se zvyšující se vlhkostí klesají, což zdůrazňuje důležitost řešení problému kondenzace a kontroly vlhkosti uvnitř konstrukce (Kaňka, 2004).

Tři klíčové požadavky pro dřevěné konstrukce:

1. Roční množství zkondenzované vodní páry v konstrukci nesmí překročit hodnotu $0,1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ za rok
2. Veškerý kondenzát musí v ročním klimatickém cyklu opět vyschnout
3. Hmotnostní vlhkost dřevěných prvků nesmí podle ČSN 73 0540–2 překročit hodnotu max 16 %

Pokles dotykové teploty podlahové konstrukce

Při kontaktu lidské nohy s povrchem podlahy dochází k ochlazení nohy, což závisí na teplotě povrchu podlahové konstrukce a schopnosti této konstrukce odvádět teplo. Hodnotí se množství odmítaného tepla při dotyku mírně chráněného lidského těla s chladnějším povrchem stavební konstrukce (Bere, 2013).

Hodnota poklesu povrchové teploty podlahové konstrukce Δt_{10} , je stanovena normou. Podle požadovaných hodnot se kategorie člení do čtyř kategorií, které jsou uvedeny v tabulce 11.

Tabulka 11 Kategorie povrchu podlah z hlediska dotykové teploty

Kategorie podlahy	Pokles dotykové teploty podlahy $\Delta\theta_{10}$, N [°C]
I. Velmi teplé	do 3,8 včetně
II. Teplé	do 5,5 včetně
III. Méně teplé	do 6,9 včetně
IV. Studené	od 6,9

Průvzdušnost konstrukcí na systémové hranici

Jelikož se montované dřevostavby skládají z mnoha vrstev a konstrukčních dílů, disponují objekty velkým množstvím spár, které je nezbytné dobře utěsnit a izolovat, aby nebyla porušena souvislá vzduchotěsnicí vrstva. Kromě tepelných ztrát chrání tato vrstva konstrukci před působením vlhkosti, která se šíří přes netěsnosti (Vaverka, 2000).

Vláknité izolace se často používají pro svou vysokou průvzdušnost, což znamená, že umožňují proudění vzduchu ve směru tlakového spádu. Tlakový spád vzniká z různých důvodů, jako jsou teplotní rozdíly, působení větru na budovu nebo mechanické větrání.

Například místnosti s přívodem čerstvého vzduchu jsou udržovány v mírném přetlaku, zatímco místnosti s odvodem odpadního vzduchu jsou v podtlaku (Kaňka, 2004).

Pokud vnitřní teplý a vlhký vzduch pronikne netěsnostmi do obvodové konstrukce, dochází k jeho ochlazení na vnějším povrchu. Tato kondenzace nadbytečné vlhkosti může vést ke vzniku problémů, jako jsou tepelné ztráty a růst vlhkosti v konstrukci budovy. Celková průvzdušnost obálky budovy n_{50} se ověřuje experimentální metodou podle ČSN EN 13829 pomocí celkové intenzity výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa (h^{-1}). Čím menší je stanovená hodnota, tím vzduchotěsnější vrstva je, přičemž hodnota je stanovena na $0,6 \text{ h}^{-1}$ (Šubrt, 2011).

4 Metodika

Ústředním motivem diplomové práce je návrh panelové dřevostavby v pasivním standardu. Jedná se o rodinný dvojdoměk z CLT systému, který je součástí urbanistické studie, úzce navazující na původní zástavbu Baťovy infrastruktury. Hlavním cílem bylo navrhnout budovu v souladu s doporučeným desaterem pro pasivní stavby tak, aby vyhovovala všem požadavkům daných normou ČSN 730540-2. V následujících podkapitolách je podrobně popsán princip dosažení těchto cílů.

4.1 Teoretická část

První část práce obsahuje literární rešerši, ve které je nastíněna historie a struktura Baťových měst spolu s typologií typových domů, podle kterých je stavba navržena. Druhá podkapitola se věnuje konstrukčním systémům panelových dřevostaveb, se zaměřením na systém CLT, ze kterého je objekt navržen. Dále jsou pak z materiálového hlediska rozebrané jednotlivé vrstvy sendvičového panelu, spolu s jejich funkcí v obvodovém plášti. Nedílnou součástí je kapitola věnovaná pasivním stavbám, která je důležitá pro výslednou optimalizaci objektu, spolu s úzce navazující stavební fyzikou, kde jsou vysvětleny jednotlivé pojmy, spolu s veličinami, vzorci a jednotkami, které se v práci vyskytují.

4.2 Optimalizace pasivního domu

V samotném úvodu praktické části byla klíčovým prvkem architektonická studie, ze které vychází projektová dokumentace pro realizaci stavby spolu s dílčími body práce. Z toho důvodu byla její přesná a detailní analýza nezbytná pro zajištění optimálního funkčního a energetického výkonu budov v souladu s požadavky pro pasivní standardy, které kladou důraz na minimalizaci spotřeby a maximalizaci efektivity využití energie z obnovitelných zdrojů.

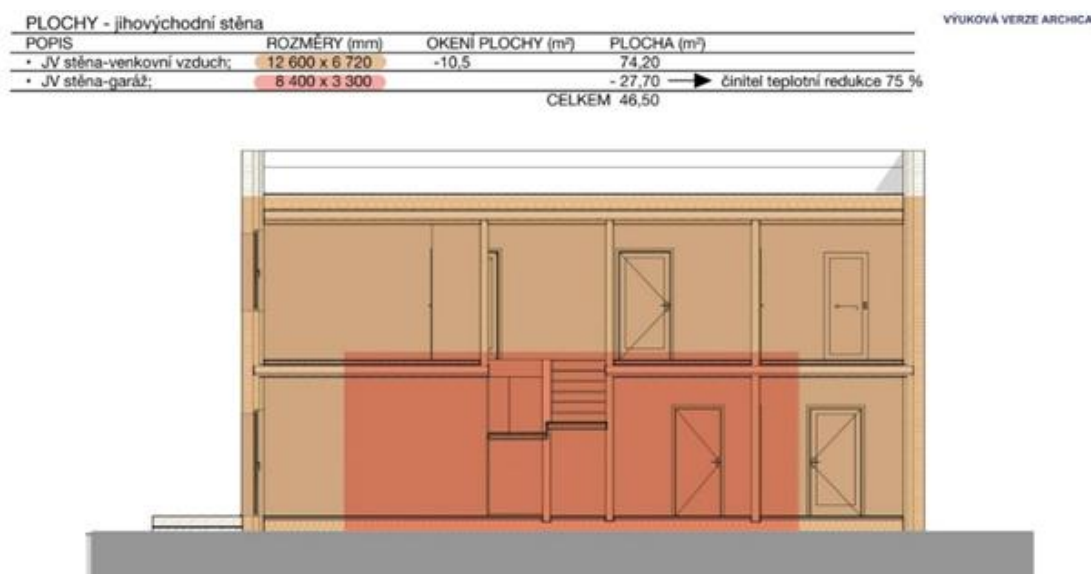
PHPP software

Architektonická studie byla podrobena důkladnému posouzení pomocí softwarového nástroje PHPP verze 8.5 2013 (Passive House Planning Package). Jedná se o softwarový nástroj vyvinutý německou společností Passivhaus Institut pro plánování energeticky efektivních a pasivních domů. Jeho hlavním cílem je poskytnout prostředky pro výpočet

energetické bilance budov s minimální spotřebou energie. Návrhový nástroj PHPP kombinuje různé výpočty a funkce v prostředí tabulkového editoru MS Excel OpenOffice. Software má definovanou strukturu listů, které obsahují informace o budově a výpočty. Listy jsou barevně odlišeny, přičemž pro řešení diplomové práce byly využity pouze kategorie týkající se optimalizace stavby ve fázi architektonické studie. Mezi tyto listy patří:

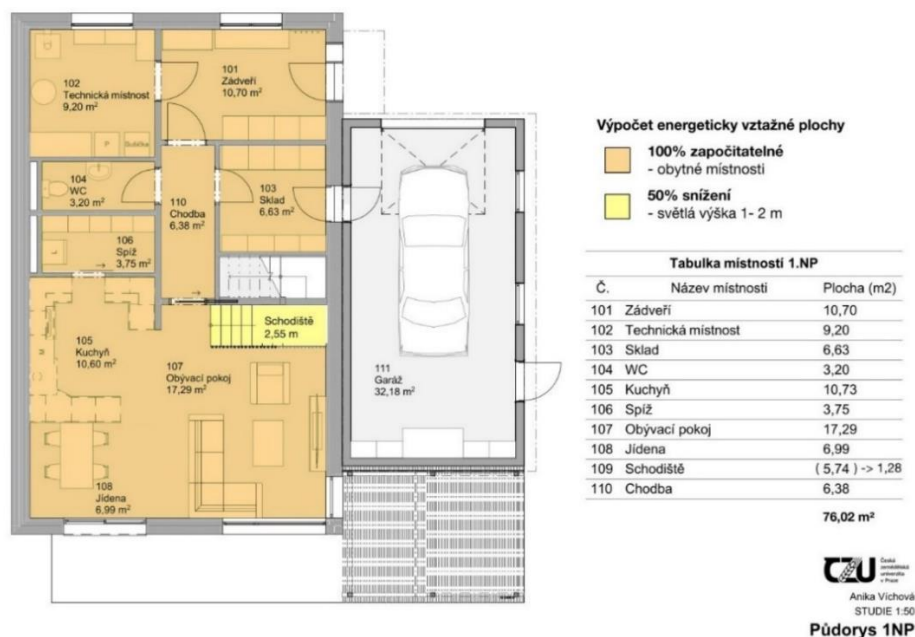
- hodnocení
- přehled
- klima
- U-hodnoty
- plochy
- zemina
- prvky
- okna
- zastínění
- větrání
- vytápění sezonní
- tepelný výkon

Do určených buněk byla zadána vstupní data, která zahrnují základní informace o stavbě, geometrii budovy, skladbě stěn, izolačních materiálech, typu výplní stavebních otvorů, systému vytápění a větrání a další. Klíčovým bodem bylo zadání rozměrů jednotlivých obvodových stěn do listu plochy, kde se muselo postupovat na základě stanovených pravidel, daných vývojáři programu. Pro kontrolu a přehlednost jsou vybrané plochy graficky znázorněny na jednotlivých pohledech a řezech stavby, které jsou zobrazeny v příloze 7.2 a 7.4 pro optimalizovanou verzi. Vzhledem k tomu že posuzovaná stavba je součástí dvojdomu a má přistavěnou garáž, bylo nutné pro přesnosti výpočtu uvažovat s korekčními koeficienty. Na jihovýchodní straně objektu se v rozmezí plochy přistavěné garáže počítalo s činitelem teplotní redukce o 75 %, zato u sdílené mezibytové stěny se po celé délce uvažovaly nulové tepelné ztráty. Příklad grafického znázornění je uveden na obrázku 15.



Obrázek 15: Grafické zobrazení výpočtu ploch (Autor, 2024)

Do výpočtu energeticky vztažné plochy (EVP) se 100 % započítaly pouze obytné místnosti (obývací pokoj, ložnice, kuchyně atd.), vedlejší místnosti (technické místnosti, spíž) a komunikační plochy (chodba). Z 50 % se uvažovalo schodiště, jelikož jeho světlá výška byla pod 2 m. Pro výpočet (EVP) se uvažovaly pouze podlahové plochy místností, uvnitř tepelné obálky, díky čemuž se garáž do výpočtu nezapočítala. Příklad grafického znázornění výpočtu je uveden na obrázku 16.



Obrázek 16: Grafické znázornění výpočtu energeticky vztažné plochy (Autor, 2024)

Mezi neopomenutelné vstupní informace patří i skladby obvodových stěn, ty jsou podrobně rozebrány v kapitole 4.4.1. Komplexní hodnocení konstrukčních skladeb. Další technické specifikace potřebné pro výpočty jak před optimalizací, tak po optimalizaci jsou uvedeny v protokolu PHPP v příloze 7.1. a 7.3. Po zadání vstupních údajů PHPP automaticky provádí výpočty na základě definovaných výpočetních vzorců. To zahrnuje výpočet měrné potřeby tepla na vytápění, tepelný výkon, výměna vzduchu při zkoušce neprůvzdušnosti, analýzu energetické efektivity a komfortu budovy a další.

Výstupy v podobě výpočtů, včetně grafů, tabulek a grafických vizualizací, pomáhají interpretovat výsledky analýzy. Výsledky jsou posuzovány podle evropských standardů, jako je Evropská norma EN 13790, poskytující rámec pro výpočet energetické spotřeby budov. Vše je zpracováno do protokolů, na základě kterých je možné posoudit energetickou efektivitu navržené budovy a provádět případné optimalizace a úpravy pro dosažení požadovaných cílů v oblasti energetické účinnosti a komfortu. Konkrétní výsledky jsou rozebrány v kapitole 5.1 Výstupy z PHPP softwaru.

4.3 Projektová dokumentace pro realizaci stavby

V návaznosti na optimalizované řešení byla připravena projektová dokumentace pro realizaci stavby, která se skládá z technické zprávy, výkresové dokumentace a dokumentů podrobností. Součástí je rovněž celkový situační výkres (příloha 1), který je zasazený do prostředí urbanistické studie. Jelikož se jedná pouze o návrh a území dosud není zaneseno do katastrální mapy, není momentálně možné poskytnout koordinační výkres ani situační výkres širších vztahů. Výkres je v měřítku 1:100 a poskytuje přehledné zobrazení umístění stavby v prostoru, včetně terénu, inženýrských sítí a okolní infrastruktury.

Technická zpráva je k nahlédnutí v příloze 2, a je zpracována v souladu s vyhláškou č. 499/2006 Sb., poskytující podrobný popis technických aspektů stavby, včetně konstrukce, technologií a použitých materiálů. Dále je zde detailní dokumentace stavebního objektu, která se nachází v příloze 3, zahrnující půdorysy jednotlivých podlaží, 1.NP, 2.NP, střechy a základů v měřítku 1:50. Dále jsou zpracovány jihozápadní, severovýchodní, jihovýchodní a severozápadní pohledy a řezy A-A' a B-B' v měřítku 1:50. V závěru jsou v příloze 4 vypracovány výkresy detailů podrobností, které jsou dále posuzovány v kapitole 4.4.2 Komplexní hodnocení konstrukčních detailů. Konkrétně se jedná o detail rohového okna, uložení mezibytové stěny, atiky a napojení garáže v měřítku 1:10.

Všechny výkresy a dokumenty podrobností jsou vytvořeny pomocí softwaru ArchiCAD 2025. ArchiCAD je profesionální BIM (Building Information Modeling) software vyvinutý speciálně pro architekty a designéry. Jednou z klíčových výhod ArchiCADu je jeho schopnost pracovat s 3D modely, což umožňuje vytvářet komplexní digitální modely budov obsahující veškeré potřebné informace pro plánování, vizualizaci a dokumentaci. 3D model byl v na závěr aplaudován do programu Lumion, kde byly vytvořeny finální vizualizace (obrázek 17)



Obrázek 17 Vizualizace řešeného objektu (Autor, 2024)

4.4 Stavební fyzika

Skladby a konstrukční detaily byly posouzeny z hlediska stavební fyziky s cílem zhodnotit a případně optimalizovat tepelnou obálku budovy a současně doložit, že stavba splňuje požadavky na pasivní budovu. Výpočty základního tepelně technického posouzení skladby obvodových konstrukcí z hlediska prostupu tepla a vodní páry byly provedeny v programu Teplo 2017 a pro komplexní hodnocení stavebních detailů z hlediska dvourozměrného stacionárního vedení tepla a vodní páry byl použit software Area 2017. Oba programy pracují pomocí konečné prvkové metody se stacionárními v souladu s postupy a požadavky ČSN 730540-2 z roku 2011, STN 730540 a EN ISO 10211.

Stanovení okrajových podmínek

Všechny výpočty proběhly v prostředí ustálených stacionárních okrajových podmínek. Hodnoty vnitřní a vnější teploty a odpory při přestupu tepla jsou převzaty z tabulek uvedené v normě ČSN 73 0540-3.

Tabulka 12 Stacionární okrajové podmínky pro výpočet

Návrhové teploty vnějšího vzduchu dle ČSN 73 0540-3		
Místo	Nadmořská výška h [m.n.m.]	Návrhová teplota venkovního vzduchu v zimním období θ_e [°C]
Tábor	437	-17
Návrhová vnitřní teplota v zimním období a návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu dle ČSN 73 0540-3		
Druh místnosti s požadovaným stavem vnitřního prostředí	Návrhová vnitřní teplota v zimním období θ_i [°C]	Relativní vlhkost vnitřního vzduchu ϕ_i [%]
Obývací místnosti	20	50
Garáže a jiné místnosti chráněné proti mrazu	5	80

4.4.1 Komplexní hodnocení konstrukčních skladeb

Pro zachování stavby v pasivním standardu je nezbytné spočítat hodnoty navržených skladeb obvodových konstrukcí a porovnat je s požadavky dané normou ČSN 73 0540-2. Komplexní posouzení konstrukčních skladeb bylo provedeno v programu Teplo 2017 od pana doc. Dr. Ing. Zbyňka Svobody. Součástí protokolu, který je k nahlédnutí v příloze 8, jsou podrobné výpočty tepelného odporu, součinitele prostupu tepla, vnitřních povrchových teplot, distribuce teplot a tlaků vodní páry v konstrukci, lokalizaci oblastí kondenzace a roční bilanci kondenzované vodní páry.

Z hlediska postupu tepla byly nejprve vybrány skladby obvodových konstrukcí, které byly zásadní pro posouzení stavby:

- obvodová stěna;
- obvodová stěna u garáže;
- podlaha na terénu;
- plochá střecha
- mezibytová stěna.

Pro každou skladbu byly zvoleny stavební materiály s příslušnými konstrukčními veličinami, potřebnými pro výpočet. Dále se určila třída vlhkosti a na základě umístění stavby byly stanoveny stacionární okrajové podmínky pro vnější prostředí, z čehož byl definován tepelný odpor při přestupu tepla, návrhové povrchové teploty a měsíční průměrná bilance vlhkosti. Vyhodnocený protokol byl na závěr porovnán s normou ČSN 73 0540-2 a výsledky byly zpracovány do přehledných tabulek, které jsou uvedeny v kapitole 5.2. Výstupy ze softwaru Teplo 2017.

Obvodová stěna

Skladba stěny

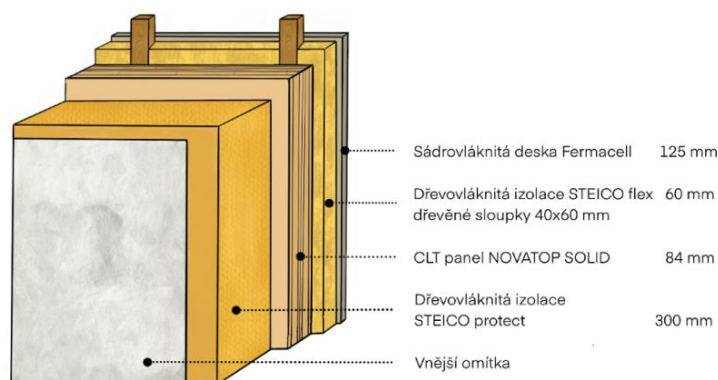
Skladba obvodové konstrukce je převzata od firmy Novatop. Nosným prvkem jsou velkoformátové masivní panely z křížem lepeného dřeva Novatop Solid. Ve skladbě jsou použity panely ze smrkového dřeva se standardními rozměry 6000 x 2500 mm s tloušťkou stěny 84 mm (42/42), v nepohledové kvalitě C. CLT panel je z vnější strany opláštěn dřevovláknitou izolací STEICO protect. Z vnitřní strany je montovaná předstěna vyplněná dřevovláknitou izolací STEICO flex, s dřevěnými sloupky 60 x 40 mm. Z pohledové strany je sádrovláknitá deska fermacell. Skladba je difuzně otevřená a navržena pro pasivní standard. Skladba stěny je graficky znázorněna na *obrázku 18*.

Okrajové podmínky

Tabulka 13 Okrajové podmínky obvodové stěny

Parametr	Hodnota
Návrhová vnitřní teplota T_i	20,0°C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ai}	20,3°C
Návrhová venkovní teplota T_{ae}	-17,0°C
Relativní vlhkost v interiéru R_{Hi}	55%

Graficky znázorněná skladba obvodové stěny



Obrázek 18: Skladba obvodové stěny (Autor, 2024)

Obvodová stěna u garáže

Skladba stěny

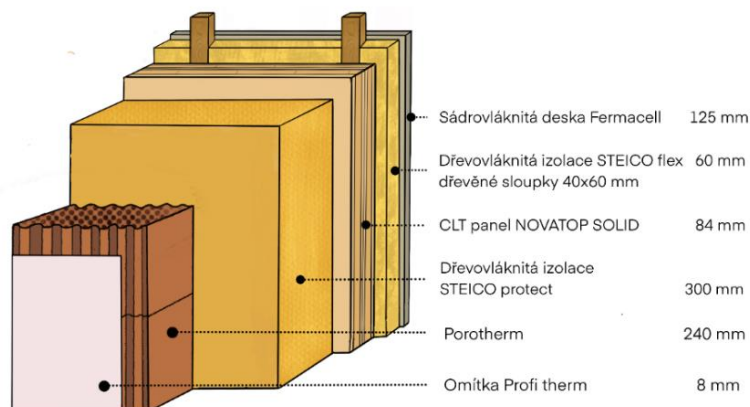
Skladba obvodové konstrukce ve styku s garáží se shoduje s převažující obvodovou konstrukcí objektu. V místě dotyku je připojená nosná stěna z pálených cihel firmy Portherm. Z vnitřní strany garáže je nanesena minerální vápencová malta Porotherm Universal. Skladba stěny je graficky znázorněna na obrázku 19.

Okrajové podmínky

Tabulka 14: Okrajové podmínky skladby stěny u garáže

Parametr	Hodnota
Návrhová vnitřní teplota T_i	20,0°C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ai}	20,3°C
Návrhová venkovní teplota T_{ae}	5°C
Relativní vlhkost v interiéru R_{Hi}	55%

Graficky znázorněná skladba obvodové stěny



Obrázek 19: Skladba obvodové stěny u garáže (Autor, 2024)

Podlaha na zemině

Skladba stěny

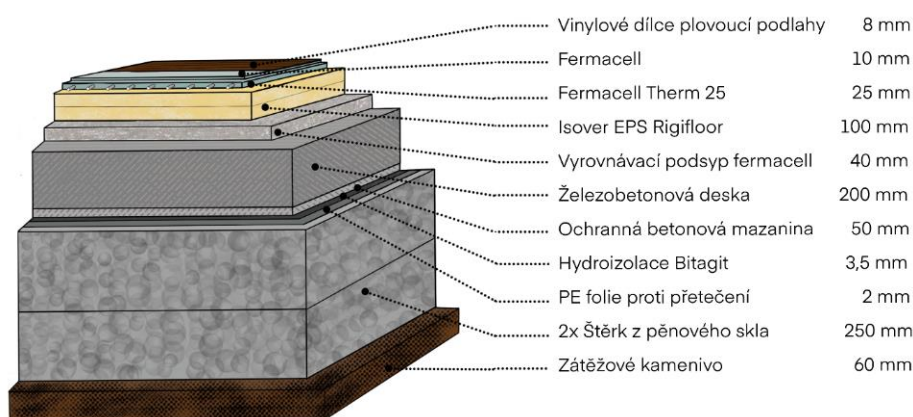
Objekt je založen na progresivním systému založeném na vyztužené železobetonové desce na únosném šterku z pěnového skla. Sokl lehké sloupkové konstrukce je proveden nenasákovou izolací XPS. Skladba podlahy pochozí vrstvy je převzata od firmy Fermacell. Jedná se o suchou lehkou skladbu s podlahovým topením s dílci plovoucí vinylové podlahy. Skladba stěny je graficky znázorněna na *obrázku 20*.

Okrajové podmínky

Tabulka 15: Okrajové podmínky podlahy na zemině

Parametr	Hodnota
Návrhová vnitřní teplota T_i	20,0°C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ai}	20,6°C
Návrhová venkovní teplota T_{ae}	7,9°C
Relativní vlhkost v interiéru R_{Hi}	55%

Graficky znázorněná skladba obvodové stěny



Obrázek 20: Skladba podlahy na zemině (Autor, 2024)

Plochá střecha

Skladba stěny

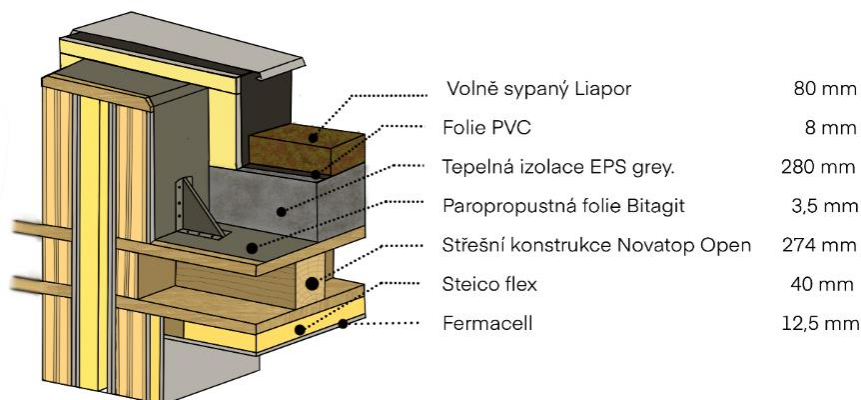
Skladba ploché střechy je převzata od firmy Novatop. Jedná se o jednoplošťovou plochou střechu s volně sypaným násypem. Skladba je certifikována a navržena pro pasivní standard. Nosným prvkem je masivní dřevěný strop Novatop Open od firmy Novatop. Spádování střechy je dosaženo plošnými izolačními dílci Isover EPS grey, a hydroizolace je tvořena asfaltovými pásy Bitagit. Podhled stropu je vyplněný dřevovláknitou izolací Steico flex a opláštěný sádrovláknitou deskou Fermacell. Skladba stěny je graficky znázorněna na *obrázku 21*.

Okrajové podmínky

Tabulka 16 Okrajové podmínky ploché střechy

Parametr	Hodnota
Návrhová vnitřní teplota T_i	20,0°C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ai}	20,6°C
Návrhová venkovní teplota T_{ae}	-17,0°C
Relativní vlhkost v interiéru R_{Hi}	55%

Graficky znázorněná skladba obvodové stěny



Obrázek 21 Skladba ploché střechy (Autor, 2024)

Mezibytová stěna

Skladba stěny

Skladba mezibytové konstrukce je převzata od firmy fermacell. Vlivem zvýšených požadavků na požární bezpečnost bylo nutné vzít v úvahu certifikace jednotlivých skladeb uvedených v katalogových listech. Z tohoto důvodu uvedená skladba vznikla spojením dvou certifikovaných skladeb, takže odolá požadavkům požární bezpečnosti dle normy ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb, a to DP2 REI 30, a zároveň tak požadavkům akustické normy ČSN 73 0532:2020.

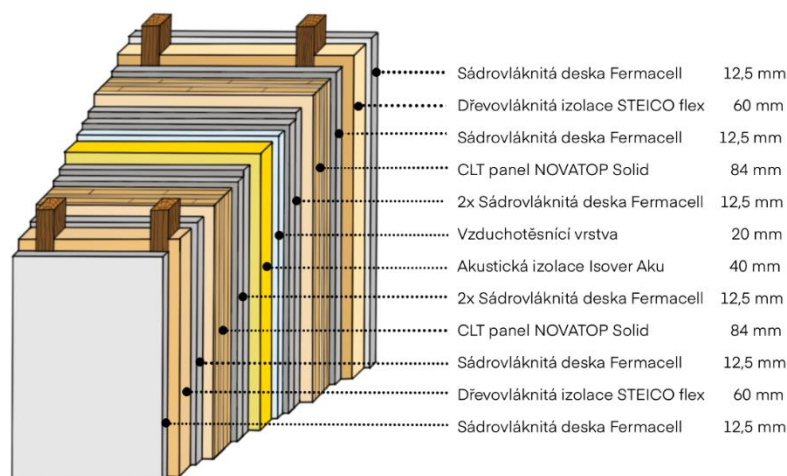
Z důvodů již zmíněné požární bezpečnosti je objekt rozdělen do dvou samostatných požárních okruhů, díky čemuž jsou ve skladbě dva samostatné nosné konstrukční prvky Novatop solid. CLT panely jsou dvojitě opláštěny sádrovláknitými deskami fermacell. Mezi nosnými prvky se nachází rám s akustickou izolací Isover Aku a spolu s uzavřenou vzduchovou mezerou zajišťuje výhodně akusticky izolační vlastnosti skladby. Skladba stěny je graficky znázorněna na obrázku 22.

Okrajové podmínky

Tabulka 17: Okrajové podmínky mezibytové stěny

Parametr	Hodnota
Návrhová vnitřní teplota T_i	20,0°C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ai}	20,6°C
Návrhová venkovní teplota T_{ae}	20,6°C
Relativní vlhkost v interiéru R_{Hi}	55%

Graficky znázorněná skladba obvodové stěny



Obrázek 22 Skladba mezibytové stěny (Autor, 2024)

4.4.2 Komplexní hodnocení konstrukčních detailů

Pro komplexní zhodnocení konstrukčních detailů, zejména tepelných mostů a vazeb z hlediska dvourozměrného stacionárního vedení tepla a vodní páry byl použit program Area 2017 a od společnosti Svoboda software. Vypracované protokoly jsou uvedeny v příloze 9, a obsahují výpočty nejnižších vnitřní povrchových teplot, teplotní faktor vnitřního povrchu, tepelné toky detailem, lineární činitel prostupu tepla, oblasti kondenzace vodní páry a roční bilanci zkondenzované a vypařené vodní páry v detailu.

Pro namodelování a provedení konečného výpočtu bylo nezbytné provést analýzu a výběr detailů, které vycházejí z příložené výkresové dokumentace pro realizaci stavby (příloha 4). Tyto detaily zahrnují:

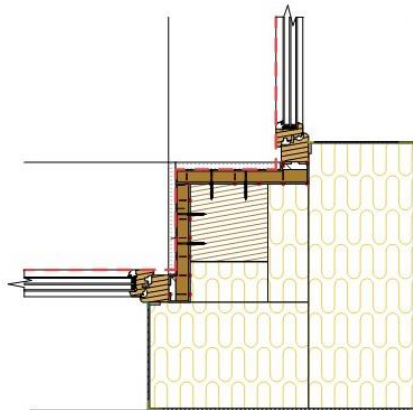
- detail napojení rohových oken v místě ostění;
- detail uložení mezibytové stěny na základové desce;
- detail atiky;
- detail napojení obvodové zdi a garáže.

Pro hodnocení obvodových konstrukcí byl dalším důležitým krokem výběr a skladba materiálů. Tyto konstrukce byly posouzeny v návaznosti na předchozí kapitolou v programu Teplo 2017, ze kterého byly získány hodnoty prostupu tepla konstrukcí (U-hodnoty). Z hlediska postupu bylo nutné výkresy jednotlivých detailů zjednodušit a převést na formát souboru DXF, který se dále nahrál do programu Meshgen Area 2018, jenž je určen pro přípravu vstupních dat pro software Area 2017.

Pro správné provedení výpočtu a simulaci tepelného pole bylo nezbytné určit rozměry výpočetního modelu a definovat okrajové podmínky. Následně bylo možné dokončit samotný výpočet 2D teplotního pole, lineárního činitele prostupu tepla a nejnižší povrchové teploty. Na základě vygenerovaných protokolů bylo provedeno vyhodnocení jednotlivých konstrukčních variant, které bylo na závěr porovnáno s normou ČSN 73 0540-2; Tepelná ochrana budov. Část 2: Funkční požadavky. Výsledky byly zpracovány do přehledných tabulek, které jsou uvedeny v kapitole 5.2.2 Výstupy ze softwaru Area 2017.

Detail napojení rohového okna

Nákres konstrukčního detailu



Obrázek 23: Detail napojení rohových oken (Autor, 2024)

Výkres detailu napojení rohových oken je k nahlédnutí v příloze 4.1.

Technické parametry použitých oken

- Součinitel prostupu tepla rámem $U_f = 0,65 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Zasklení izolačním trojsklem (4/18/4/18/4) $U_g = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g = 54\%$
- Zasklení se solárními zisky; $U_g = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g = 60\%$

Popis řešení

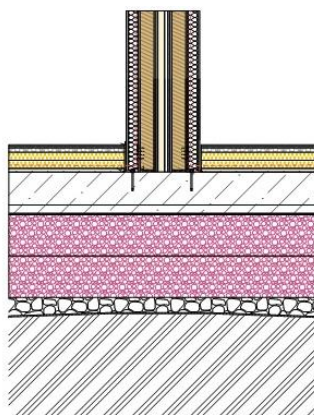
Napojení rohových oken typu Progression od firmy Slavona je řešeno přes dřevěný nosný sloup z KVH hranolu o rozměrech 180 x 180 mm upevněného do betonových patek na základové desce. Sloupek, spolu s okenním rámem je zaizolován dřevovláknitou izolací Steico protect a vzduchotěsnost je zajištěna komprimační páskou, která zajišťuje těsné spojení mezi rámem a stavebními konstrukcemi. Rám okna je pevně ukotven do konstrukčních SWP desek od společnosti Novatop, poskytujících stabilní a pevnou oporu pro montážní konstrukci oken. Ukotvení je prováděno pomocí speciálních upevňovacích vrutů. Po ukotvení je důležité zajistit dodatečnou izolaci a těsnost spoje mezi rámem a okolními stavebními konstrukcemi, případně vyplnit mezery izolační pěnou nebo jiným vhodným materiálem pro zajištění tepelné izolace a těsnosti spoje.

Grafický výsledek dvourozměrné simulace

Při výpočtu rohového napojení oken v programu Area byl detail modelu vhodným způsobem zjednodušen. Hlavním cílem je posouzení vlivu umístění a napojení okna v rámci tepelně technických vlastností detailu. Konstrukce okenního rámu a zasklení je homogenizována a brána jako celek s tím že jsou zanedbány vrstvy těsnění a lepidla. Pro výpočet jsou použity parametry okna Slavona Progression $U_f = 0,65 \text{ W/m}^2\text{K}$. Během modelace je důležité brát v úvahu odlišné okrajové podmínky, které se odlišují od běžných neprůsvitných konstrukcí. Spolu s okrajovými podmínkami jsou jiné i požadavky, které jsou v souladu s normou ČSN 73 0540-2.

Detail uložení mezibytové stěny

Nákres konstrukčního detailu



Obrázek 24: Detail uložení mezibytové stěny

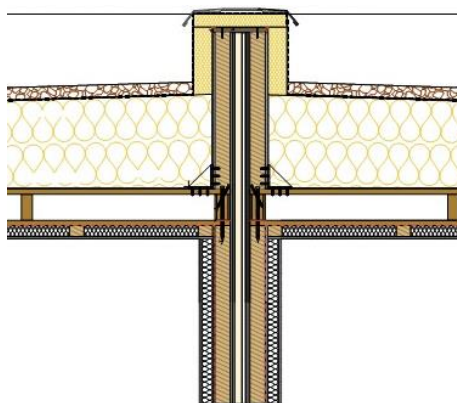
Výkres detailu DO2 uložení mezibytové stěny na základové desce je k nahlédnutí v příloze 4.2.

Popis řešení

Konstrukční detail D02 zobrazuje uložení mezibytové stěny na základové desce. Jedná se o progresivní systém založení vyztužené železobetonové desky na únosné izolaci – šterku z pěnového skla. Nosná konstrukce masivní stěny z CLT panelu Novatop Solid je založena na dřevěném prahu, který je uložen do maltového lože, jež zajišťuje srovnání podkladu. Skladba nášlapné vrstvy je zajištěna izolační páskou fermacell z minerální vlny v místech kontaktu s nosnou stěnou. Vzduchotěsné napojení je provedeno lepícím tmelem nebo komprimační páskou ve spáře pod panelem.

Detail atiky

Nákres konstrukčního detailu



Obrázek 25: Detail ploché střechy (Autor, 2024)

Výkres detailu DO3 atiky je k náhlénutí v příloze 4.3.

Popis řešení

Konstrukční detail D03 zobrazuje atiku střechy, která je tvořena kombinací teplé střechy a obrácené skladby. Na nosné vodorovné konstrukci střechy Novatop open je natažená parotěsná folie, která je vytažena přes atiku střechy. Sklon střechy je vytvořen spádovými klíny, na kterých je umístěna izolace EPS Izolace grey o tloušťce 300 mm. Skladba střechy je spolu s atikou je přetažena PVC hydroizolací, která tvoří takzvanou izolovanou vanu na jejímž dně je uložena roznášecí vrstva 50–100 mm XPS. Výhodou je zvýšená ochrana hydroizolace proti mechanickému poškození i proti teplotním výkyvům. Poslední pochozí vrstvu obrácené skladby tvoří volně sypaný Liapor.

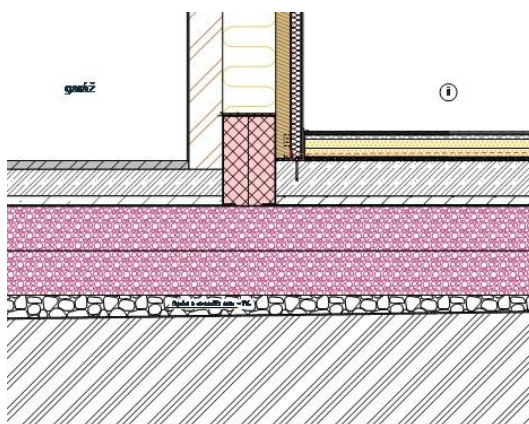
Jelikož se jedná o detail v místě dotyku dvou sousedních objektů, jsou na detail kladeny zvýšené požadavky na požární bezpečnost. Atiky obou objektů jsou odděleny vzduchovou mezerou a jsou tvořeny z CLT panelů od Novatop Solid. Panely jsou z hlediska požární bezpečnosti opláštěny sádrovláknitou deskou fermacell Firepanel A1, přičemž jsou zaklopeny SWP deskou. Z důvodů regulace kondenzace vodní páry je konstrukce obalena vodotěsnou tepelnou izolací Pure PIR plus, která je přetažena PVC hydroizolací. V rámci konstrukční ochrany je atika oplechována. Všechny prostupy fasádní izolací (svod do kotlíku) musí být spolehlivě těsněny proti zatečení srážkové vody například komprimační páskou.

Konstrukční řešení detailu

V prvním návrhu byla navržena atika bez přeizolování tepelnou izolací, avšak při tomto řešení docházelo v místě atiky ke značné kondenzaci vodní páry. Jednou z variant bylo natažení parotěsné folie mezi sousedícími objekty, což by zamezilo pronikání vodní páry do konstrukce atiky. Z hlediska konstrukčního provedení se sice jevilo navržené řešení detailu jako vhodné, bylo však v rozporu s požárními předpisy platnými pro konstrukci mezibytové stěny. Bylo nutné zachovat průběžnou vzduchovou mezeru mezi nosnými prvky konstrukce, která je součástí skladby mezibytové stěny certifikované výrobcem třídy DP2 REI 30 podle normy ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb. Z tohoto důvodu byl detail optimalizován pomocí tepelné izolace Pure PIR plus, která redukuje kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce.

Detail napojení garáže na obvodovou stěnu

Nákres konstrukčního detailu



Obrázek 26: Detail napojení garáže (Autor, 2024)

Výkres detailu DO4 napojení garáže na obvodovou stěnu je k nahlédnutí v příloze 4.4.

Popis řešení

Konstrukční detail D03 zobrazuje napojení obvodové stěny na zděnou přístavbu garáže. Nosná konstrukce obvodové stěny je z CLT panelu Novatop Solid s izolací z dřevovláknitých desek Steico protect. Předstěna je tvořena dřevovláknitou izolací Steico flex a opláštěním ze sádrovláknité desky fermacell. Z vnější strany obvodové konstrukce je napojena nosná stěna garáže z nosných cihelných tvárnic Porotherm s vnitřní povrchovou úpravou Porotherm universal. CLT panel je posazen na dřevěném prahu, uloženém do maltového lože, které zajišťuje srovnání podkladu na základové železobetonové desce. Ta je založena na únosné izolaci z pěnového skla. Jelikož se výkopové práce neprovádí do nezámrazné hloubky, navrhuje se přesah tepelné izolace, tzv. protimrazová clona, v šířce asi 60 cm od okraje železobetonové desky. Přesah tepelné izolace má minimální vliv na lineární činitel prostupu tepla, eliminuje však riziko podmrzáání paty zdiva. Sokl lehké sloupkové konstrukce je proveden nenasákavou izolací XPS. Těsné napojení soklu na navazující fasádu musí být provedeno jako dilatační spoj pomocí komprimační pásky.

4.5 Statické posouzení dílčí části stavby a konstrukčních spojů

V další části práce se nachází statický posudek zvoleného konstrukčního prvku a konstrukčních spojů, který je doložením o statické únosnosti a stabilitě stavby. Statický posudek a posouzení detailů bylo provedeno v softwaru FIN EC, kde byla posuzována únosnost nosníku stropní konstrukce spolu s posouzením otláčení spoje a zatížením vrutu v podhledu a v předstěně.

4.5.1 Posouzení stropního nosníku

Pro výpočet statické únosnosti dílčí části byla posuzována únosnost stropního nosníku, který je součástí konstrukční desky Novatop Open. Je překlenutý přes místnost 1.1. a 1.2. v 1 NP. Nosník je vyroben BSH lepeného nosníku GL24c, s navrženou velikostí průřezu 220 x 60 mm a délkou 7,5 m. Zatížení, složené z vlastní tíhy nosníku, stropní konstrukce a užitého zatížení, bylo spočítáno v programu FIN FC, kde byl následně posouzeno, zda nosník o navržených rozměrech dokáže unést vypočítané zatížení. Protokol je k nahlédnutí v příloze 10.1, s tím že výsledek řešení je uveden v kapitole 5.3.1. Posouzení statických výpočtu.

4.5.2 Posouzení konstrukčních spojů

Pro posouzení konstrukčních spojů bylo vybráno otláčení spoje stropního nosníku a zatížením vrutu v podhledu a v předstěně. Výpočet pro posouzení otláčení spoje stropního nosníku v místě uložení na obvodovou stěnu je proveden podle ČSN EN 1995-1-1 (731701) a ČSN EN 338 (731711), přičemž posuzovaná úložná plocha 60 x 220 mm stropního nosníku na obvodové stěně vyhovuje na otláčení dřeva ve směru kolmo na vlákna.

Výpočet zatížení vrutu v podhledu byl proveden v softwaru FIN FC, byla spočítaná návrhová hodnota zatížení, která působí na rozmezí 1 x 0,625 m. Pro výpočet zatížení vrutu bylo nutné uvažovat i se zatížením latí a sádrovláknité desky, v místě, kde je vrut v desce kotvený. Zatížení bylo přepočítáno na rozteč jednotlivých latí, díky čemuž bylo možné vypočítat sílu, která působí na jeden vrut.

Pro tento výpočet byl zvolen vrut od firmy Rothoblas s rozměry $\varnothing 4 \times 80$ mm, pro který bylo nutné spočítat návrhovou únosnost. Výsledná hodnota návrhové únosnosti jednoho vrutu byla porovnána s působícím zatížením, přičemž bylo vyhodnoceno, zda spojovací prvek vyhovuje.

Při výpočtu únosnosti jednoho vrutu v předstěně bylo postupováno stejným způsobem, jako u předešlého popisu. Rozdílná byla ale volba navrženého vrutu s rozměry $\varnothing 5 \times 120$ mm. Protokoly s podrobnými výpočty jsou k nahlédnutí v příloze 10.2., spolu s výsledky, které jsou uvedeny v kapitole 5.3.2. Vyhodnocení posouzení konstrukčních spojů.

4.6 Výstup dílčí části stavby pro CNC stroje

K vytvoření výkresu dílčí části stavby pro CNC stroje byl na základě výkresové dokumentace zpracován výkres CLT panelu. Konkrétně se jedná o nosný konstrukční CLT panel s názvem Novatop Solid, který se nachází v druhém nadzemním podlaží na severovýchodní straně objektu, kde plní funkci svislé obvodové konstrukce. Panel je navržen, vyroben, i montován firmou Novatop, díky čemuž veškeré fáze výkresové i výrobní dokumentace podléhají technickým i formálním požadavkům společnosti. Na základě technické dokumentace panelu Novatop Solid bylo naddimenzováno požadované zatížení, pohledová kvalita, požární odolnost a zvukově izolační vlastnosti. CLT panel byl navržen ve standardní tloušťce a rozměrech z technického listu, a to tloušťce 84 mm, standardním

formátu 7060 x 2 950 mm a v pohledové kvalitě C. Únosnost stěny byla určena pomocí tabulky předběžného dimenzování dle ETA-17/0004. Přesto že je celá skladba obvodové konstrukce navržena z katalogu konstrukčních detailů Novatop, a bude se na stavbu dodávat včetně předstěny, výkresová dokumentace obsahuje pouze návrh konstrukčního CLT panelu z masivního dřeva, jakožto první fáze výrobního procesu prefabrikace. Výkres dílčí části pro CNC stroje obsahuje podrobné rozkreslení a rozdělení konkrétního panelu na jednotlivé části. Do výkresu je v měřítku 1:30 zanesena celková soustava, včetně řezů a zakótovaných staveních otvorů. V legendě je graficky znázorněné umístění panelu spolu s technickými specifikacemi panelu a pravoúhlé axonometrie. Výkres dílčí části stavby pro CNC stroje je k nahlédnutí v příloze 6.

4.7 Rozpočet stavby

Posledním bodem praktické části je kalkulace rozpočtu hrubé stavby v softwaru KROS 4. V programu je vytvořen položkový rozpočet, který zahrnuje kalkulaci hlavních konstrukčních prvků objektu. Před zpracováním rozpočtu bylo třeba zohlednit několik klíčových faktorů. I přesto, že se jedná o dvojdům, byl posuzován pouze jeden z nich, s ohledem na to, že budoucí investoři by mohli mít rozdílné požadavky ohledně preferencí na vybavení domu. Součástí kalkulace jsou i poplatky za dodávky a montáž na staveništi, které jsou v rozpočtu uvedeny samostatně.

Kalkulace rozpočtu obsahuje několik hlavních částí, jimiž jsou výkopové práce, zahrnující vykopání základových jam pro budoucí stavbu, odvoz a odstranění vykopaného materiálu a případné terénní úpravy. Následně založení domu na pěnovém skle se základovou železobetonovou deskou. Dále je do kalkulace zahrnuta obvodová konstrukce s nosnými a nenosnými vnitřními stěnami. Dalším důležitým prvkem je montáž ploché střechy, která zahrnuje instalaci izolace, hydroizolace a následně povrchové úpravy. K tomu patří také schodiště, které je namontováno mezi jednotlivá patra domu. Dodatečně jsou instalovány výplně stavebních otvorů, jako jsou okna a dveře.

Kalkulace tohoto rozpočtu je prováděna s ohledem na stanovení jednotkových nákladů na každou položku, včetně materiálů a práce, a následně na výpočet celkových nákladů pro každou část stavby. Celkový rozpočet hrubé stavby je pak získán sečtením nákladů všech položek, včetně dodávky, montáže a rezerv. Slepý rozpočet stavby je uveden v kapitole 5.4. Sestavení rozpočtu v programu Kros 4 s tím, že kompletní položkový rozpočet je k nahlédnutí v příloze 11.1.

5 Výsledky

Následující kapitola prezentuje hlavní klíčové výsledky a analýzu dat získaných během zpracování diplomové práce. Cílem této části je poskytnout jasný a systematický přehled o získaných informacích a porovnání dílčích hodnot s normou ČSN 73 0540-2; Tepelná ochrana budov. Část 2: Funkční požadavky.

5.1 Výstupy z PHPP softwaru

K vypočítání energetické bilance budovy byl použit software PHPP verze 8.5. K výpočtu byly použity vztahy z kapitoly 4.2 Optimalizace pasivního domu. V následující tabulce je zpracován přehled klíčových výsledků z protokolu v příloze 7.1 a 7.3. V tabulce 18 je uveden souhrn výsledků ze softwaru PHPP.

Tabulka 18: Vyhodnocení výsledků ze softwaru PHPP

Hodnocení pasivního domu v PHPP softwaru						
Ukazatele podle hodnocení pasivního domu			Původní		Optimaliovaný	
			Hodnoty	Požadavky splněny?	Hodnoty	Požadavky splněny?
Vytápění	Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/(m ² a)]		18	Ne	13	Ano
	Tepelný výkon [kWh/(m ² a)]		16	Ne	14	-
Neprůvzdušnost	Výměna vzduchu n ₅₀ při zkoušce neprůvzdušnosti n _{so} [1/h]		0,6		0,6	
Technické parametry oken	tepla U [W/m ² K]	rámu U _f	0,8		0,82	
		zasklení U _g	0,73		0,5	
	Solární faktor g [-]		0,62		0,5	

V prvotní fázi návrhu posuzovaný objekt nesplňoval požadavky pro hodnoty pasivního domu. Z tohoto důvodu bylo nezbytné provést podrobnou analýzu, na základě které byla provedena optimalizace v souladu se zásadami doporučeného desatera pro pasivní budovy. V návaznosti na kapitolu 3.4.2 Optimalizace návrhu pasivního domu, jsou rozepsané klíčové body optimalizovaného řešení.

V následující tabulce 19 je zpracovaný přehled doporučeného desatera pro pasivní domy.

Tabulka 19: Přehled doporučeného desatera pro pasivní domy

Optimalizace v souladu s pasivním desaterem	
1. Souvislost v území	Stavba je umístěná v mírném svahu
2. Orientace ke světovým stranám	Hlavní obytné místnosti jsou orientovaná na jižní světovou stranu, s maximálními prosklenými plochami pro efektivní využití pasivních solárních zisků
3. Optimalizace tvaru	Objekt má díky jednoduchému tvaru bez vyčnížících konstrukčních prvků
4. Tepelné zónování	Obytné místnosti jsou orientované na jih a oddělené od nevytápěných místností izolovanými příčkami
5. Návrh obvodového pláště	Všechny skladby jsou optimalizované na hodnoty pasivní stavby v softwaru Teplo 2017
6. Vyloučení pasivních mostů	Tepelné mosty byly eliminovány díky návrhu a optimalizaci v softwaru Area 2017
7. Výplně otvorů	Výplně otvorů byly vybrány na základě parametrů výrobce určených pro pasivní stavby
8. Neprůvzdušnost konstrukce	Neprůvzdušnost konstrukce byla stanovena na požadovanou hodnotu $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$
9. Řízené větrání s rekuperací tepla	Pro řízené větrání byla navržena rekuperační jednotka s účinností 92 %
10. Zdroj a distribuce tepla	Zdroj tepla je zajištěn tepelným čerpadlem a alternativními zdrojem vytápění v podobě solárních panelů

Po finálních úpravách stavby byla optimalizována klíčová kritéria pro energetickou bilanci budovy. Konkrétně se jednalo o zlepšení technických parametrů a rozměrů oken, zvýšení účinnosti rekuperační jednotky a dispozičního řešení z důvodů tepelného zónování.

Pro optimalizované řešení byla zvolena okna, která byla vhodná pro pasivní standard s parametry zasklení $U_g 0,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Rovněž byla zvětšena plocha oken na jižní straně stavby a zmenšena, nebo úplně eliminována ze strany severní. Dále byla zvolena rekuperační jednotka Comfort Vent G 90-200, která je vhodná do oblastí v mírném klimatickém pásmu, rozsah průtoku vzduchu od $60 \text{ m}^3/\text{h}$ do $150 \text{ m}^3/\text{h}$ s reálnou účinností rekuperace tepla 92 %. Úpravy týkající se tepelného zónování zahrnovaly v dispozičním řešení otočení směru schodišťového prostoru, který byl přepažen ze stany obývacího pokoje, aby nedocházelo k úniku tepla do nevytápěných prostorů.

Po optimalizovaném řešení stavba vyhovovala požadavkům pasivního domu z hlediska měrné tepelné kapacity. Pro posouzení tepelného výkonu by bylo třeba provést dodatečné výpočty přesahující rámec architektonické studie.

5.2 Tepelně technické výpočty

5.2.1 Výstupy ze softwaru Teplo 2017

Výsledků bylo dosaženo pomocí softwaru Teplo 2017, přičemž podrobnosti postupu výpočtu, včetně skladeb, které jsou rozepsány v kapitole 4.4.1 Komplexní hodnocení konstrukčních skladeb.

V následujících tabulkách jsou pro každou skladbu obvodové konstrukce uvedeny přehledy s klíčovými výsledky, které jsou porovnány normou ČSN 73 0540-2; Tepelná ochrana budov. Část 2: Funkční požadavky. Konkrétně se jedná o požadavek na teplotní faktor, součinitel prostupu tepla U a šíření vlhkosti konstrukcí.

Obvodová stěna

Skladba stěny

Tabulka 20: Součinitel prostupu tepla

Obvodová konstrukce		
Materiály	d (m)	λ ($W.m^{-1}.K^{-1}$)
Sádrovláknitá deska - Fermacell	0,0125	0,320
Dřevovláknitá izolace - STEICO flex	0,0600	0,048*
CLT panel - Novatop Solid	0,0840	0,180
Dřevovláknitá deska - STEICO protect	0,3000	0,045
Vnější omítka - AEC - Putz 300	0,0080	0,800
Celková tloušťka (m)	0,465	
U_T ($W.m^{-2}.K^{-1}$) - vypočtená hodnota konstrukce	0,116	
$U_{N,20}$ ($W.m^{-2}.K^{-1}$) - standardní budovy požadovaná hodnota	0,3	
$U_{rec,20}$ ($W.m^{-2}.K^{-1}$) - standardní budovy doporučená hodnota	těžká: 0,25	lehká: 0,20
$U_{pas,20}$ ($W.m^{-2}.K^{-1}$) - pasivní budovy doporučená hodnota	0,18 - 0,12	

Technické parametry – porovnání s ČSN 73 0540–2

Tabulka 21: I. Požadavek na teplotní faktor

Typ konstrukce	Teplotní faktor (-)		
	Vypočtená průměrná hodnota $f_{Rsi, m}$ (-)	Požadovaná hodnota $f_{Rsi, N} = f_{Rsi, cr}$ (-) pro max. přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80%	
Obvodová stěna	0,971	0,75	splněno

Tabulka 22: II. Požadavek na součinitel prostupu tepla

Typ konstrukce	Součinitel prostupu tepla ($W.m^{-2}.K^{-1}$)			
	Vypočtená hodnota U_T ($W.m^{-2}.K^{-1}$)	Požadovaná hodnota $U_{N,20}$ ($W.m^{-2}.K^{-1}$)	Doporučená hodnota $U_{N,20}$ ($W.m^{-2}.K^{-1}$)	Doporučená hodnota pro pasivní budovy $U_{pas,20}$ ($W.m^{-2}.K^{-1}$)
Obvodová stěna	0,116	0,3	0,2	0,18 – 0,12
		splněno	splněno	splněno

Tabulka 23: III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí

Požadavky	Požadavek splněn / nesplněn
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce	splněno
2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu	splněno
3. Roční množství kondenzátu $M_{c,a}$ musí být nižší než $0,1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{rok}$ nebo 3-6 % plošné hmotnosti materiálů (nižší z hodnot)	splněno

Kompletní protokol je k nahlédnutí v příloze 8.1.

Obvodová stěna garáže

Skladba stěny

Tabulka 24: Optimalizace součinitele prostupu tepla

Obvodová konstrukce u garáže		
Materiály	d (m)	$\lambda \text{ (W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$
Sádrovláknitá deska - Fermacell	0,013	0,320
Dřevovláknitá izolace - STEICO flex	0,060	0,048*
CLT panel - Novatop Solid	0,084	0,180
Dřevovláknitá deska - STEICO protect	0,300	0,045
Porotherm TM	0,240	0,200
Profi Therm	0,008	0,130
Celková tloušťka (m)	0,7045	
$U_T \text{ (W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$ - vypočtená hodnota konstrukce	0,102	
$U_{N,20} \text{ (W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$ - standardní budovy požadovaná hodnota	0,3	
$U_{rec,20} \text{ (W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$ - standardní budovy doporučená hodnota	těžká: 0,25	lehká: 0,20
$U_{pas,20} \text{ (W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$ - pasivní budovy doporučená hodnota	0,18 - 0,12	

Technické parametry – porovnání s ČSN 73 0540–2

Tabulka 25: I. Požadavek na teplotní faktor

Typ konstrukce	Teplotní faktor (-)		
	Vypočtená průměrná hodnota $f_{Rsi, m}$ (-)	Požadovaná hodnota $f_{Rsi, N} = f_{Rsi, cr}$ (-) pro max. přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80%	
Obvodová stěna u garáže	0,971	0,412	splněno

Tabulka 26: II. Požadavek na součinitel prostupu tepla

Typ konstrukce	Součinitel prostupu tepla $\text{(W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$			
	Vypočtená hodnota U_T $\text{(W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$	Požadovaná hodnota $U_{N,20}$ $\text{(W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$	Doporučená hodnota $U_{N,20}$ $\text{(W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$	Doporučená hodnota pro pasivní budovy $U_{pas,20}$ $\text{(W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$
Obvodová stěna u garáže	0,1	0,3	0,2	0,18 – 0,12
		splněno	splněno	splněno

* Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů

Tabulka 27: III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí

Požadavky	Požadavek splněn / nesplněn
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce	splněno
2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu	splněno
3. Roční množství kondenzátu $M_{c,a}$ musí být nižší než $0,1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{rok}$ nebo 3-6 % plošné hmotnosti materiálů (nižší z hodnot)	splněno

Kompletní protokol je k nahlédnutí v příloze 8.2.

Skladba podlahy na terénu

Skladba podlahy

Tabulka 28: Optimalizace součinitele prostupu tepla

Podlaha založení na pěnoskle		
Materiály	d (m)	$\lambda \text{ (W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$
Vinylové dílce - plovoucí podlaha	0,0080	0,170
Fermacell	0,0100	0,320
Fermacell therm 25 (systém podlahového vytápění)	0,0250	0,320
Isover EPS RigiFloor 4000	0,1000	0,044
Vyrovnávací podsyp fermacell	0,0200	0,130
Železobetonová deska	0,2000	1,400
Ochranná betonová mazanina	0,0500	1,230
Hydroizolace - Bitagit	0,0035	0,210
Separáčnı vrstva - PE folie proti protečení	0,0001	0,350
Štěrka z pěnového skla	0,5000	0,077
Štěrkopısek	0,0600	0,650
Celková tloušťka (m)	0,9766	
$U_T \text{ (W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$ - vypočtená hodnota konstrukce	0,102	
$U_{N,20} \text{ (W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$ - standardnı budovy požadovaná hodnota	0,3	
$U_{rec,20} \text{ (W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$ - standardnı budovy doporučená hodnota	těžká: 0,25	lehká: 0,20
$U_{pas,20} \text{ (W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$ - pasivnı budovy doporučená hodnota	0,18 - 0,12	

Technické parametry – porovnání s ČSN 73 0540–2

Tabulka 29: I. Požadavek na teplotnı faktor

Typ konstrukce	Teplotnı faktor (-)		
	Vypočtená průměrná hodnota $f_{Rsi, m}$ (-)	Požadovaná hodnota $f_{Rsi, N} = f_{Rsi, cr}$ (-) pro max. přípustnou vlhkost na vnitřnım povrchu 80%	
Podlaha na zemině	0,974	0,292	splněno

Tabulka 30: II. Požadavek na součinitel prostupu tepla

Typ konstrukce	Součinitel prostupu tepla $\text{(W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$			
	Vypočtená hodnota U_T $\text{(W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$	Požadovaná hodnota $U_{N,20}$ $\text{(W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$	Doporučená hodnota $U_{N,20}$ $\text{(W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$	Doporučená hodnota pro pasivnı budovy $U_{pas,20}$ $\text{(W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$
Podlaha na zemině	0,106	0,3	0,2	0,18 – 0,12
		splněno	splněno	splněno

* Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů

Tabulka 31: III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí

Požadavky	Požadavek splněn / nesplněn
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce	splněno
2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu	splněno
3. Roční množství kondenzátu $M_{c,a}$ musí být nižší než $0,1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{rok}$ nebo 3-6 % plošné hmotnosti materiálů (nižší z hodnot)	splněno

Kompletní protokol je k nahlédnutí v příloze 8.3.

Plochá střecha

Skladba střechy

Tabulka 32: Optimalizace součinitele prostupu tepla

Střecha		
Materiály	d (m)	$\lambda \text{ (W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$
Fermacell	0,0125	0,320
Steico flex	0,0400	0,038
Novatop Open	0,0270	0,180
Uzavřená vzduchová mezera	0,2200	0,548
Novatop Open	0,0270	0,180
Bitagit	0,0035	0,210
Tepelná izolace EPS Grey	0,2800	0,032
Folie PVC	0,0005	0,160
Volně sypaný Liapor	0,0800	0,100
Celková tloušťka (m)	0,6905	
$U_T \text{ (W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$ - vypočtená hodnota konstrukce	0,089	
$U_{N,20} \text{ (W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$ - standardní budovy požadovaná hodnota	0,3	
$U_{rec,20} \text{ (W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$ - standardní budovy doporučená hodnota	těžká: 0,25	lehká: 0,20
$U_{pas,20} \text{ (W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$ - pasivní budovy doporučená hodnota	0,18 - 0,12	

Technické parametry – porovnání s ČSN 73 0540–2

Tabulka 33: I. Požadavek na teplotní faktor

Typ konstrukce	Teplotní faktor (-)		
	Vypočtená průměrná hodnota $f_{Rsi, m}$ (-)	Požadovaná hodnota $f_{Rsi, N} = f_{Rsi, cr}$ (-) pro max. přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80%	
Střecha	0,978	0,76	splněno

Tabulka 34: II. Požadavek na součinitel prostupu tepla

Typ konstrukce	Součinitel prostupu tepla $\text{(W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$			
	Vypočtená hodnota U_T $\text{(W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$	Požadovaná hodnota $U_{N,20}$ $\text{(W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$	Doporučená hodnota $U_{N,20}$ $\text{(W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$	Doporučená hodnota pro pasivní budovy $U_{pas,20}$ $\text{(W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$
Střecha	0,089	0,3	0,2	0,18 - 0,12
		splněno	splněno	splněno

* Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů

Tabulka 35: III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí

Požadavky	Požadavek splněn / nesplněn
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce	splněno
2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu	splněno
3. Roční množství kondenzátu $M_{c,a}$ musí být nižší než $0,1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{rok}$ nebo 3-6 % plošné hmotnosti materiálů (nižší z hodnot)	splněno

Kompletní protokol je k nahlédnutí v příloze 8.4.

Mezibytová stěna

Skladba stěny

Tabulka 36: Optimalizace součinitele prostupu tepla

Mezi bytová stěna		
Materiály	d (m)	$\lambda \text{ (W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}\text{)}$
Fermacell	0,0125	0,310
Steico flex	0,0600	0,048
Fermacell	0,0125	0,320
CLT panel Novatop Solid	0,0840	0,180
Fermacell	0,0125	0,320
Fermacell	0,0125	0,320
Uzavřená vzduchová mezera	0,0200	0,094
Akustická izolace - Isover Aku	0,0400	0,044
Fermacell	0,0125	0,320
Fermacell	0,0125	0,320
CLT panel - Novatop Solid	0,0840	0,180
Fermacell	0,0125	0,320
Steico flex	0,0600	0,046
Fermacell	0,0125	0,320
Celková tloušťka (m)	0,448	
$U_T \text{ (W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}\text{)}$ - vypočtená hodnota konstrukce	0,193	
$U_{N,20} \text{ (W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}\text{)}$ - standardní budovy požadovaná hodnota	0,3	
$U_{rec,20} \text{ (W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}\text{)}$ - standardní budovy doporučená hodnota	těžká: 0,25	lehká: 0,20
$U_{pas,20} \text{ (W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}\text{)}$ - pasivní budovy doporučená hodnota	0,18 - 0,12	

Technické parametry – porovnání s ČSN 73 0540–2

I. Požadavek na teplotní faktor

Teplota na vnější straně konstrukce je vyšší nebo rovna teplotě vnitřního vzduchu. Požadavek na teplotní faktor není pro tyto podmínky definován a jeho splnění se proto neověřuje. V případě potřeby lze provést ručně srovnání vypočtené povrchové teploty s kritickou povrchovou teplotou podle ČSN 730540-2 (2005).

Tabulka 37: II. Požadavek na součinitel prostupu tepla

Typ konstrukce	Součinitel prostupu tepla ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)			
	Vypočtená hodnota UT ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	Požadovaná hodnota UN,20 ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	Doporučená hodnota UN,20 ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	Doporučená hodnota pro pasivní budovy Upas,20 ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)
Mezibytová stěna	0,195	0,3 splněno	0,2 splněno	0,18 – 0,12 nesplněno

Přestože součinitel prostupu tepla mezibytové stěny nevyhovuje požadavkům pro pasivní budovy, není nutné obvodovou konstrukci dále optimalizovat, jelikož stěna nepodléhá exteriérovým podmínkám, ale je napojená na sousední objekt dvojdomu. Stěna je primárně navržena tak, aby vyhovovala požadavkům požární odolnosti, zvukové neprůzvučnosti, statické únosnosti a odolnosti proti šíření vlhkosti.

Tabulka 38: III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí

Požadavky	Požadavek splněn / nesplněn
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce	splněno
2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu	splněno
3. Roční množství kondenzátu $M_{c,a}$ musí být nižší než $0,1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{rok}$ nebo 3-6 % plošné hmotnosti materiálů (nižší z hodnot)	splněno

Kompletní protokol je k nahlédnutí v příloze číslo 8.5.

Souhrnné vyhodnocení výsledků

Ze výsledků vygenerovaných protokolů ze softwaru Teplo 2017 vyplývá, že navržené obvodové konstrukce splňují všechny normativní požadavky definované normou ČSN 730540-2. V žádné z těchto konstrukcí nedochází ke kondenzaci vodní páry, která by mohla mít negativní vliv na funkci konstrukce. Rovněž byl splněn požadavek týkající se ročního množství kondenzátu, který je nižší než roční kapacita odparu.

5.2.2 Výstupy ze softwaru Area 2017

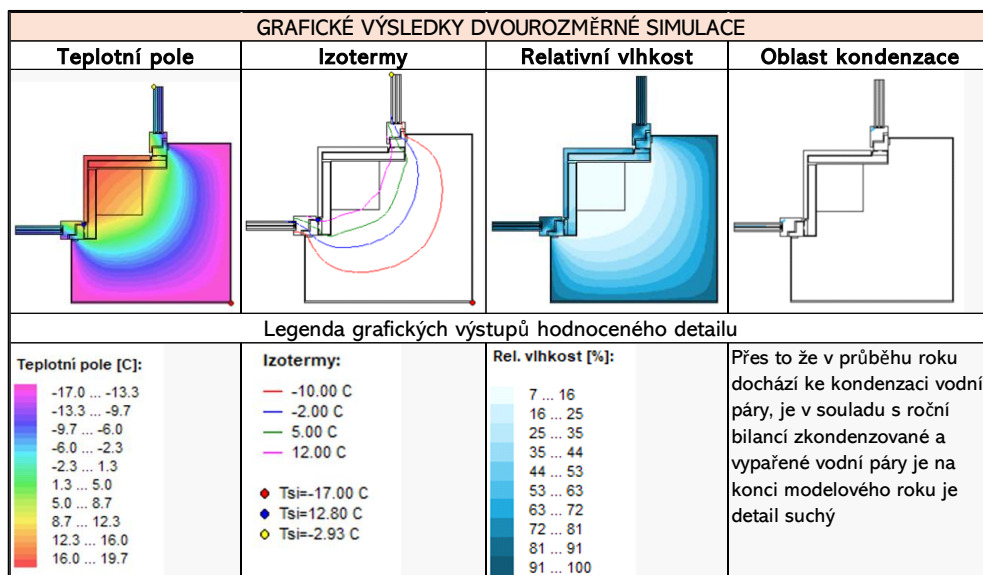
Výsledků komplexního hodnocení stavebních detailů bylo dosaženo pomocí softwaru Area 2017, přičemž podrobnosti k postupu výpočtu, včetně skladeb jsou rozepsány v kapitole 4.4.2 Komplexní hodnocení konstrukčních detailů.

Níže jsou uvedeny výsledky pro každý konstrukční detail v podobě grafického zobrazení dvourozměrné simulace teplotního pole, průběhu izoterm, relativní vlhkosti a oblasti kondenzace vodní páry. V tabulkách jsou dále zpracované vypočtené technické parametry detailu a výsledky porovnané s požadavky normy ČSN 73 0540-2.

Detail napojení rohového okna

Grafický výsledek dvourozměrné simulace

Tabulka 39: Grafický výstup pro napojení rohových oken



Technické parametry

Tabulka 40: Vypočtené technické parametry

Parametr	Vypočtená hodnota	
Teplotní faktor f_{Rsi} (-)	0,799	
Vnitřní minimální povrchová teplota °C pro teplotu vzduchu v interiéru 20°C a exteriérové teplotě -17 °C:	12,8 °C	> teplota rosného bodu: 9,54
Lineární činitel prostupu tepla z vnějších rozměrů ψ_e (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	0,087	

Porovnání s ČSN 73 0540-2

Tabulka 41: I. požadavek na teplotní faktor

Typ hodnoceného povrchu	Exteriérová teplota (°C)	Teplotní faktor (-)	
		Vypočtená hodnota f_{Rsi} (-)	Požadovaná hodnota $f_{Rsi, N} = f_{Rsi, cr}$ (-) pro max. přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80%
Styk vnější stěny a výplně otvoru	-17	0,799	0,759 splněno

Tabulka 42: II. Požadavek na šíření vlhkostí konstrukcí

Požadavky	Požadavek splněn / nesplněno
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce	splněno
2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu	splněno
3. Roční množství kondenzátu $M_{c,a}$ musí být nižší než 0,5 (0,1) kg/m ² .rok	nehodnoceno pro detaily

Tabulka 43: III. Požadavek na lineární činitel prostupu tepla

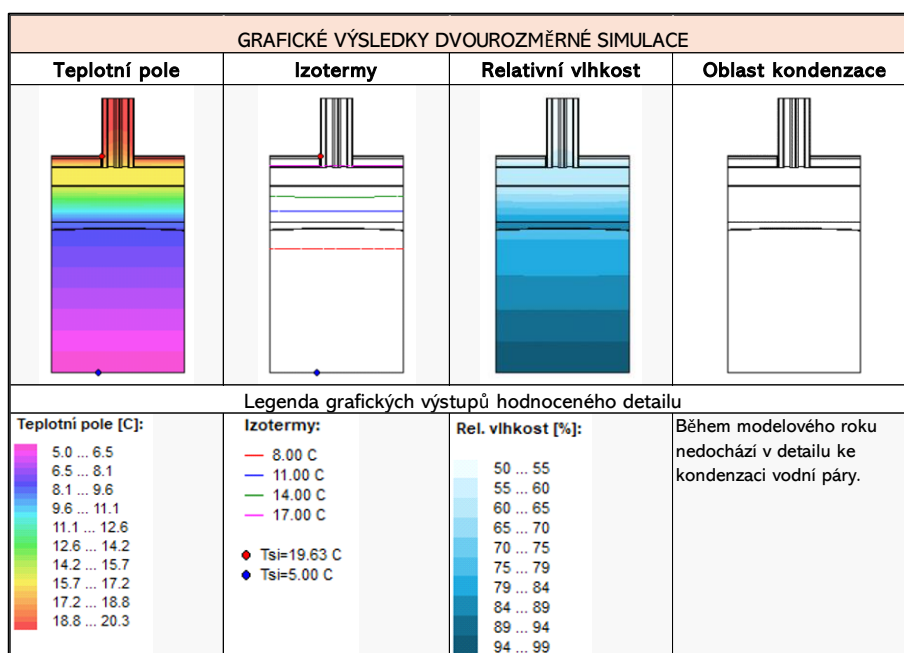
Typ lineární tepelné vazby	Lineární činitel prostupu tepla (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)			
	Vypočtená hodnota z vnějších rozměrů ψ_e (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	Požadovaná hodnota ψ_N (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	Doporučená hodnota ψ_{rec} (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	Doporučená hodnota pro pasivní budovy ψ_{pas} (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)
Styk vnější stěny a výplně otvoru (parapet, ostění, nadpraží)	0,087	0,1 splněno	0,03 nesplněno	0,01 nesplněno

Výsledky výpočtu hodnoceného detailu, spolu s vyhodnocením výsledků podle ČSN 730540-2 a výpočtem lineárního činitele je uveden v příloze 9.1.

Detail uložení mezibytové stěny

Grafický výsledek dvourozměrné simulace

Tabulka 44: Grafický výstup uložení mezibytové stěny



Technické parametry

Tabulka 45: Vypočtené technické parametry

Parametr	Vypočtená hodnota	
Teplotní faktor f_{Rsi} (-)	0,956	
Vnitřní minimální povrchová teplota °C pro teplotu vzduchu v interiéru I. 20°C a sousední vnitřní teplotě interiéru II. 20°C:	19,63	> teplota rosného bodu: 9,54

Porovnání s ČSN 73 0540-2

Tabulka 46: I. požadavek na teplotní faktor

Typ hodnoceného povrchu / Typ prostoru	Exteriérová teplota (°C)	Teplotní faktor (-)		
		Vypočtená hodnota f_{Rsi} (-)	Požadovaná hodnota $f_{Rsi, N} = f_{Rsi, cr}$ (-) pro max. přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80%	
Neprůsvitná stavební konstrukce / Ostatní prostory	20	0,956	0,412	splněno

Tabulka 47: II. Požadavek na šíření vlhkostí konstrukcí

Požadavky	Požadavek splněn / nesplněn
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce	splněno
2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu	splněno
3. Roční množství kondenzátu $M_{c,a}$ musí být nižší než 0,5 (0,1) kg/m ² .rok	nehodnoceno pro detaily

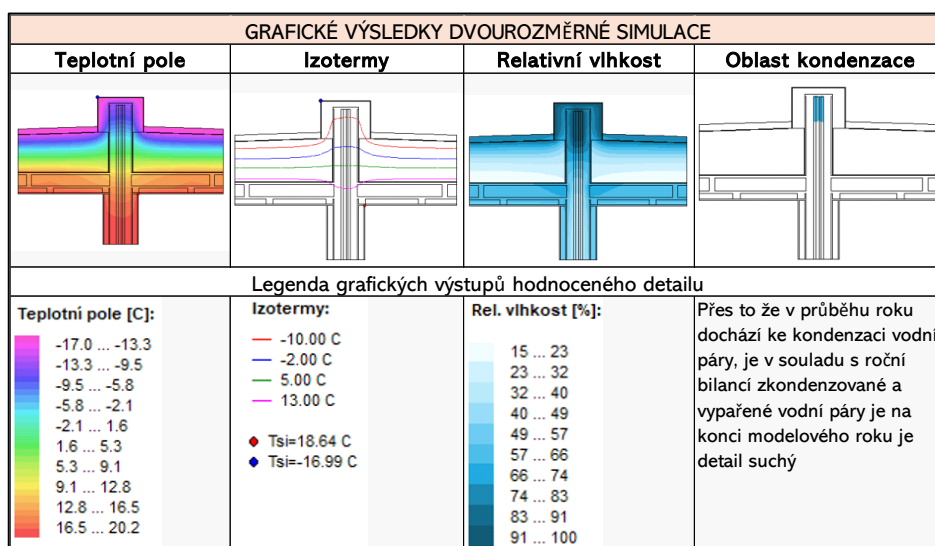
III. Požadavek na lineární činitel prostupu tepla

Teplota na vnější straně konstrukce je vyšší nebo rovna teplotě vnitřního vzduchu. Výpočet lineárního činitele prostupu tepla proto není pro tyto podmínky definován a jeho splnění se neověřuje. Výsledky výpočtu hodnoceného detailu, spolu s vyhodnocením výsledků podle ČSN 730540-2 a výpočtem lineárního činitele je uveden v příloze 9.2.

Detail atiky

Grafický výsledek dvourozměrné simulace

Tabulka 48: Grafický výstup atiky střechy



Technické parametry

Tabulka 49: Vypočtené technické parametry

Parametr	Vypočtená hodnota	
Teplotní faktor f_{Rsi} (-)	0,956	
Vnitřní minimální povrchová teplota °C pro teplotu vzduchu v interiéru 20°C a exteriérové teplotě -16,99 °C:	18,64	> teplota rosného bodu: 9,54
Lineární činitel prostupu tepla z vnějších rozměrů ψ_e (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	0,049	

Porovnání s ČSN 73 0540-2

Tabulka 50: I. požadavek na teplotní faktor

Typ hodnoceného povrchu / Typ prostoru	Exteriérová teplota (°C)	Teplotní faktor (-)		
		Vypočtená hodnota f_{Rsi} (-)	Požadovaná hodnota $f_{Rsi, N} = f_{Rsi, cr}$ (-) pro max. přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80%	
Neprůsvitná stavební konstrukce / Ostatní prostory	-16,99	0,956	0,759	splněno

Tabulka 51: II. Požadavek na šíření vlhkosti konstrukcí

Požadavky	Požadavek splněn / nesplněn
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce	splněno
2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu	splněno
3. Roční množství kondenzátu $M_{c,a}$ musí být nižší než $0,5 (0,1) \text{ kg/m}^2 \cdot \text{rok}$	nehodnoceno pro detaily

Tabulka 52: III. Požadavek na lineární činitel prostupu tepla

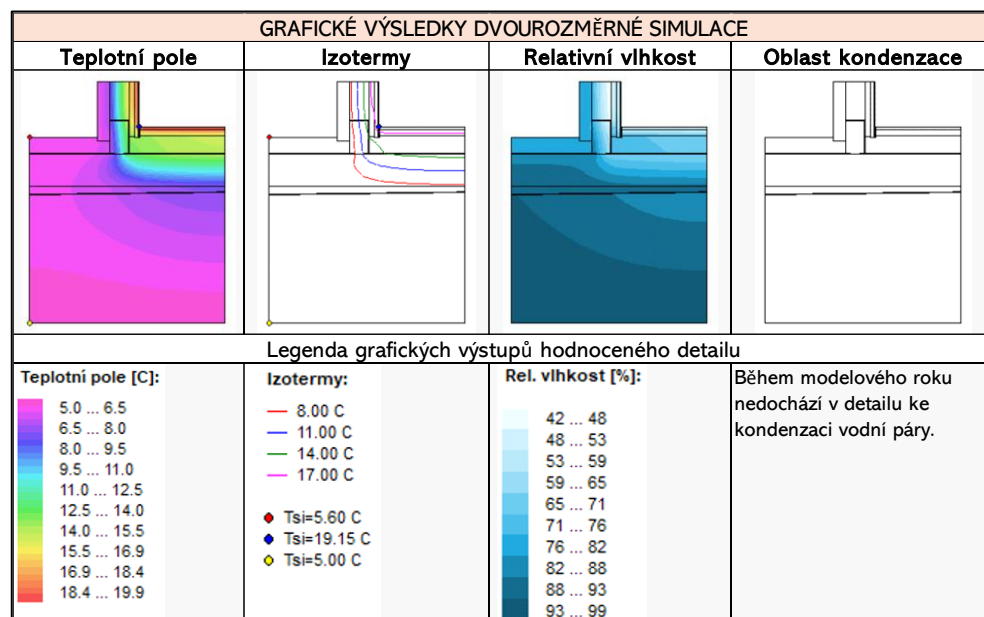
Typ lineární tepelné vazby	Lineární činitel prostupu tepla ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)			
	Vypočtená hodnota z vnějších rozměrů ψ_e ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	Požadovaná hodnota ψ_N ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	Doporučená hodnota ψ_{rec} ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	Doporučená hodnota pro pasivní budovy ψ_{pas} ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
Vnější stěna navazující na jinou konstrukci s výjimkou výplně otvoru	0,049	0,2	0,1	0,05
		splněno	splněno	splněno

Výsledek výpočtu hodnoceného detailu, spolu s vyhodnocením výsledků podle ČSN 730540-2 a výpočtem lineárního činitele je uveden v příloze číslo 9.3.

Detail napojení garáže na obvodovou stěnu

Grafický výsledek dvourozměrné simulace

Tabulka 53: Grafický výstup napojení garáže



Technické parametry

Tabulka 54: Vypočtené technické parametry

Parametr	Vypočtená hodnota	
Teplotní faktor f_{psi} (-)	0,925	
Vnitřní minimální povrchová teplota °C pro teplotu vzduchu v interiéru 20°C a teplotě v nevytápěné garáži 5°C:	19,15	> teplota rosného bodu: 9,54
Lineární činitel prostupu tepla z vnějších rozměrů ψ_e ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	0,011	

Porovnání s ČSN 73 0540-2

Tabulka 55: I. požadavek na teplotní faktor

Typ hodnoceného povrchu / Typ prostoru	Exteriérová teplota (°C)	Teplotní faktor (-)		
		Vypočtená hodnota f_{Rsi} (-)	Požadovaná hodnota $f_{Rsi, N} = f_{Rsi, cr}$ (-) pro max. přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80%	
Neprůsvitná stavební konstrukce / Ostatní prostory	5	0,925	0,412	splněno

Tabulka 56: II. Požadavek na šíření vlhkosti konstrukcí

Požadavky	Požadavek splněn / nesplněn
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce	splněno
2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu	splněno
3. Roční množství kondenzátu $M_{c,a}$ musí být nižší než 0,5 (0,1) kg/m ² .rok	nehodnoceno pro detaily

Tabulka 57: III. Požadavek na lineární činitel prostupu tepla

Typ lineární tepelné vazby	Lineární činitel prostupu tepla (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)			
	Vypočtená hodnota z vnějších rozměrů ψ_e (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	Požadovaná hodnota ψ_N (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	Doporučená hodnota ψ_{rec} (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	Doporučená hodnota pro pasivní budovy ψ_{pas} (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)
Vnější stěna navazující na jinou konstrukci s výjimkou výplně otvoru	0,011	0,2	0,1	0,05
		splněno	splněno	nesplněno

Výsledky výpočtu hodnoceného detailu, spolu s vyhodnocením výsledků podle ČSN 730540-2 a výpočtem lineárního činitele je uveden v příloze 9.4.

Souhrnné vyhodnocení výsledků

Výsledky programu Area 2017 poskytly důležité poznatky o chování vlastnostech a tepelných parametrech konstrukčních detailů. Všechny hodnocené detaily (napojení rohového okna, detail uložení mezibytové stěny, detail atiky a napojení garáže na obvodovou stěnu) vykazala pozitivní výsledky v porovnání s požadavky na teplotní faktor.

Co se týče šíření vlhkosti, i přes vznik kondenzace u detailu napojení rohového okna a detailu atiky, zůstaly na konci modelového roku konstrukce suché. Tento stav zajišťuje, že kondenzace vodní páry nede stabilizuje integritu konstrukce. Roční množství kondenzátu bylo nižší než roční kapacita odparu, z čeho vyplývá že požadavky na šíření vlhkosti byly také splněny. Požadovanou výši lineárního činitele 0,2 W.m⁻¹.K⁻¹, splňují všechny uvedené detaily (vyjma detailu uložení mezibytové stěny pro kterou se lineární činitel nepočítá). U detailu napojení garáže na obvodovou konstrukci dosahuje hodnota lineárního činitele 0,011 W.m⁻¹.K⁻¹ pouze na doporučené hodnoty 0,1 W.m⁻¹.K⁻¹, avšak už ne pro doporučenou hodnotu pro pasivní domy což je 0,05 W.m⁻¹.K⁻¹. Stejný problém nastal i u detailu napojení rohových oken, kde se požadované hodnoty styku vnější stěny a

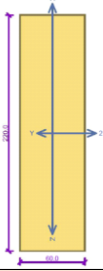
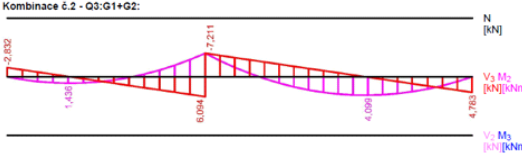
výplně otvoru trochu odlišují od typických konstrukcí. U tohoto detailu hodnota lineárního činitele činí $0,087 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, přičemž tato hodnota nespĺňuje ani doporučenou hodnotu která je stanovena $0,03 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Tím pádem nevychází ani pro doporučenou hodnotu pro pasivní budovy, která je $0,01 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

5.3 Posouzení statických výpočtů

Výpočet statického posudku zvoleného konstrukčního prvku

Výsledky ze statického posouzení pro stropní nosník byly vypracovány v softwaru FIN FC. Postup výpočtu ke statickému posouzení je uveden výše v kapitole 4.5 Statické posouzení dílčí části stavby a konstrukčních spojů. V následující tabulce 58 je zpracován přehled výsledků z protokolu, jenž je přiložen v příloze 10.1. Výpočty byly provedeny v souladu s normou ČSN EN 1995-1-1 (731701) a ČSN EN 338 (731711).

Tabulka 58: Přehled výpočtu z programu FIN

Norma EN 1995 1 1/Česko		Kritický řez dílce	CELKOVÉ POSOUZENÍ
Třída provozu	2		Rozhodující zatěžovací případ: Kombinace č.2 Q3:G1+G2
Rozměry	h = 220 mm b = 60 mm		Vnitřní síly:
Materiál	GL24c lepené		N = 0,000kN
Druh dřeva	rostlé		$M_y = -5,219\text{kNm}$
Základní kombinace zatížení γ_M	1,250		$M_z = 0,000\text{kNm}$
Mimořádná kombinace zatížení γ_M	1,000		$V_z = 6,094\text{kN}$
			$V_y = 0,000\text{kN}$
Materiálové charakteristiky			Posudek ohybu:
Pevnost v ohybu f_m, k	24,0 Mpa	Únosnosti	$M_{y,R} = 7,155 \text{ kNm}$
Pevnost v tahu ve směru vláken $f_t, 0, k$	17,0 Mpa		$(-0,729+0,0) = (-0,729) < 1$
Pevnost v tlaku ve směru vláken $f_c, 0, k$	21,5 Mpa	Vyhovuje	
Pevnost ve smyku f_v, k	3,5 Mpa	Posudek smyku od posouvajících sil:	
Pevnost v tahu kolmo na vlákna $f_{t,90}, k$	0,5 Mpa	Únosnost:	$V_R = 11,556 \text{ kN}$
Pevnost v tlaku kolmo na vlákna $f_{c,90}, k$	2,5 Mpa		$0,527 < 1$
			Vyhovuje
Modul pružnosti E_0, mean	11000,0 Mpa		
5 %kvantil modulu pružnosti $E_{0,05}$	9100,0 Mpa		
Modul pružnosti ve smyku G_{mean}	650,0 Mpa		
Charakteristická hodnota hustoty ρ_k	365,0 kg/m^3		

Vyhodnocení posouzení konstrukčních spojů

Protokoly s podrobným postupem výpočtu jsou k nahlédnutí v příloze 10.2. Statické posouzení dílčí části konstrukce, včetně všech třech konstrukčních spojů vyhovuje uvažovanému zatížení.

5.4 Sestavení rozpočtu ze softwaru Kros 4

Výsledkem slepého rozpočtu jsou předběžné odhady nákladů na stavbu. Kalkulace nákladů na hrubou stavbu zahrnuje odhad nákladů na základní stavební práce a materiály potřebné pro postavení základní kostry a konstrukce budovy. Podrobný popis sestavení rozpočtu je uveden v kapitole 4.7 Rozpočet dílčí části stavby. V následujícím přehledu je uveden slepý rozpočet nákladu na stavbu.

REKAPITULACE ROZPOČTU

Stavba: Dvojdomek
Objekt: Hrubá stavba

Zpracoval: Bc. Anika Vichová
Datum: 10.03.2024

Místo: Sezimovo Ústí

Kód	Popis	Dodávka	Montáž	Cena celkem	Hmotnost celkem	Suť celkem
HSV	Práce a dodávky HSV	6 210,00	212 368,70	218 578,70	10,000	0,000
1	Zemní práce	6 210,00	212 368,70	218 578,70	10,000	0,000
2	Zakládání	283 033,58	14 184,73	297 218,31	53,517	0,000
D7	Podlaha na terénu	153 049,72	94 091,41	247 141,13	4,613	0,000
P2	Podlaha 2.NP	220 624,80	217 727,79	438 352,59	8,564	0,000
S	Strop	161 059,91	187 461,47	348 521,38	7,526	0,000
D16	Střecha	230 008,00	215 782,26	445 790,26	14,026	0,000
D15	Obvodová stěna - bez před předstěny	459 045,04	193 873,44	652 918,48	4,063	0,000
D10	Předstěna	76 312,66	69 352,22	145 664,88	1,089	0,000
D13	Mezibytová stěna	629 984,40	245 260,56	875 244,96	14,488	0,000
D11	Vnitřní nosná stěna	329 962,40	196 155,97	526 118,37	10,346	0,000
D17	Nenosná příčka	66 349,53	109 038,80	175 388,33	4,370	0,000
D14	Dveře, okna, schody	383 511,25	92 656,72	476 167,97	1,870	0,000
	Celkem	2 365 466,79	1 285 945,61	3 651 412,40	111,140	0,000

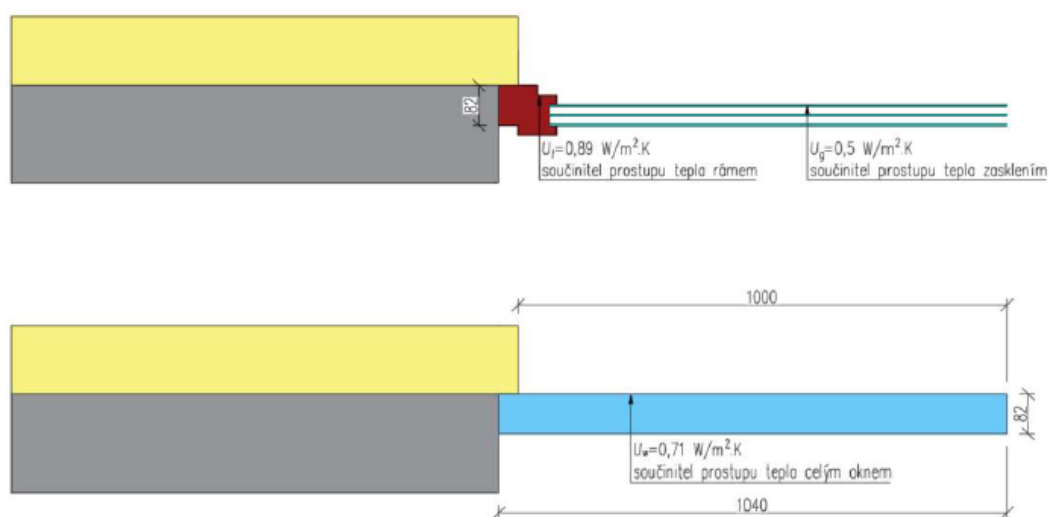
Obrázek 27: Slepý rozpočet ze softwaru Kros (Autor, 2024)

Kompletní položkový rozpočet je uveden příloze 11.1.

6 Diskuse

V této kapitole je provedena diskuse nad výsledky a jejich interpretací, zejména v souvislosti s neúspěšným výpočtem lineárního činitele u rohového napojení oken, který nedosahuje hodnot pro pasivní stavby dané normou ČSN 730540-2. Cílem této diskuse je analyzovat příčiny neúspěchu výpočtu, zhodnotit vliv proměnných faktorů ovlivňujících tento výsledek a navrhnout možné řešení problémů v budoucím výzkumu nebo praxi

Postup výpočtu lineárního činitele byl proveden podle zjednodušeného řešení, kdy nebyla rozlišena konstrukce rámu a skla. Pro zhomogenizovaný prvek byly použity hodnoty součinitele prostupu tepla izolačního trojskla. Podobný postup byl rovněž zvolen v bakalářské práci Ivany Bažantové (2019), kdy byla použita úprava základních vztahů dle ČSN 6946. Na obrázku 28 je graficky znázorněn postup výpočtu.



Obrázek 28: Grafické znázornění zjednodušení výpočtu (Bažantová 2019)

Jedním z možných důvodů, proč u výpočtu lineárního činitele detailu nebylo dosaženo očekávané přesnosti, mohlo být zapříčiněno konstrukčně složitým napojením rohového okna. Použitá metoda zjednodušení řešeného prvku do jednoho homogenizovaného materiálu není adekvátním přístupem pro přesné modelování tepelného chování oken, a tudíž se nehodí pro přísné požadavky pro pasivní stavby.

Vhodnější by bylo zvolit postup popsáný v diplomové práci Pavla Kasla (2019), kdy se předchází chybám způsobeným nepřesnostmi v modelování okenních prvků, výpočtem součinitele prostupu tepla přímo z výpočetního modelu, aniž by bylo nutné se spolehat na hodnoty poskytované výrobcem okna. Výpočet součinitele prostupu tepla okna

pro účely lineárního činitele se provede v softwaru pro stanovení tepelného toku přes použitý výpočetní model okna.

Takto získaný tepelný tok se dosadí do příslušného vzorce a vypočtený součinitel prostupu tepla se následně použije ve vybraném vztahu:

$$U_{okno} = (\frac{\Phi_{okno}}{\Delta\theta})/b_{okno}$$

U_{okno} součinitel prostupu tepla okna [W/ (m² .K)]

Φ_{okno} tepelný tok přes výpočetní model okna za ustáleného stavu [W/m]

$\Delta\theta$ rozdíl teplot mezi vnitřním a vnějším prostředím [K]

b_{okno} šířka výpočetního modelu okna [m]

Po zpětném hodnocení je použita metodika zjednodušeného výpočtu součinitele tepelné vodivosti rámců a skel nedostačující pro výpočty zahrnující výpočtu lineárního činitele o dostatečně podloženo a mělo za následek nepřesné výsledky. Pro další výzkum je třeba zvážit sofistikovanější přístupy k modelování tepelných vlastností oken, které lépe zachycují jejich skutečnou strukturu a chování.

7 Závěr

Diplomová práce staví na komplexní urbanistické studii, úzce navazující na původní zástavbu Bařovy infrastruktury. Hlavním motivem návrhu vybraného území bylo navrhnout rozvojovou oblast spolu s novou výstavbou pro bydlení, která by respektovala historické a urbanistické koncepty města Sezimova Ústí II a zároveň by vyhovovala moderním standardům udržitelného rozvoje.

Navržený pasivní rodinný dům z CLT panelů, vycházející ze známého Bařova dvoudomku, představuje syntézu mezi zachováním historického kontextu a implementací inovativních stavebních technologií. Velký důraz byl kladen na respektování principů udržitelného rozvoje, který zahrnoval energetickou účinnost a využití obnovitelných zdrojů energie. Použití dřeva jako hlavního stavebního materiálu bylo jednou z možností k dosažení vyšší energetické udržitelnosti a zároveň k zachování historického charakteru budov.

Hlavním cílem bylo za použití softwaru PHPP provést detailní analýzu architektonické studie objektu z hlediska energetické bilance. Jelikož objekt nevyhovoval pasivním požadavkům, bylo nutné provést optimalizaci na základě doporučeného desatera pro pasivní stavby. Konečné úpravy umožnily dosáhnout vysoké úrovně pasivního standardu a minimalizovat energetickou náročnost budovy, díky čemuž byly sníženy náklady na provoz a údržbu budovy v dlouhodobém horizontu.

Díky optimalizované architektonické studii bylo možné zpracovat výkresovou dokumentaci pro realizaci stavby. Důraz byl kladen nejen na architektonické a estetické hledisko, ale také musel splňovat náležité technické požadavky dané stavebním zákonem č. 283/2021 Sb. Výkresová dokumentace byla vypracována v programu ArchiCad 25, v souladu se všemi náležitostmi podle vyhlášky č. 499/2006 sb., přičemž poskytuje kompletní a detailní informace pro realizaci projektu.

Na základě dílčích cílů byly vypracovány části projektu vycházející z výkresové dokumentace, zahrnující stavební fyziku, statiku a rozpočet stavby. Hlavním důvodem vypracování podkladů pro stavební fyziku bylo ověření a posouzení navržených skladeb a konstrukčních detailů s normou ČSN 73 0540-2; Tepelná ochrana budov. Část 2: Funkční požadavky. Pro zachování požadované energetické bilance budovy byly všechny skladby obvodového pláště v softwaru Teplo 2017 posouzeny a případně optimalizovány na

hodnoty požadované pro pasivní stavby. Stejně tak tomu bylo u posuzování stavebních detailů jen s tím rozdílem, že pro výpočty dvourozměrného stacionárního vedení tepla a vodní páry byl použit software Area 2017. Všechny detaily vyhověly požadavkům pro teplotní faktor a šíření vlhkosti konstrukcí. Požadované hodnoty pro lineární činitel prostupu tepla byly pro všechny detaily splněny (vyjma detailu uložení mezibytové stěny, pro kterou se neuvažuje), avšak přísnějších kritérií doporučených pro pasivní stavby dosáhl pouze detail atiky střechy.

Statické posouzení dílčí části konstrukce, včetně posouzení třech konstrukčních spojů bylo zpracováno v softwaru FIN FC. Všechny posuzované prvky vyhověly uvažovanému zatížení, což potvrzuje stabilitu konstrukce.

Při zpracování výrobní dokumentace pro CNC stroje byla zpracována dílčí část masivního CLT panelu, a to podle požadavků výrobce panelu Novatop. Na závěr byla v softwaru Kros 4 podle projektové dokumentace provedena kalkulace nákladů za materiál, dodávku a montáž, díky které bylo možné zpracovat rozpočet hrubé stavby.

Veškeré uvedené kroky vedly ke zpracování klíčových bodů, na jejichž základě je diplomová práce postavena. Celkově lze tedy konstatovat, že navržený rodinný dvojdomek z CLT panelů nejenže respektuje historickou identitu místa, ale také reaguje na současné požadavky na udržitelný a ekologický rozvoj a splňuje přísné podmínky pro pasivní domy.

Tato práce by mohla sloužit jako inspirace pro budoucí iniciativy v oblastech, kde bude nutné navrhnout nová urbanistická území s moderní zástavbou, jež reflektuje současné potřeby a zachovává kulturní dědictví regionu.

Přehled literatury a použitých zdrojů

Odborná literatura

BERE, Justin, 2013. *An introduction to passive house*. London: RIBA. ISBN 978-1-85946-493-9

BLASS, Hans Joachim a Carmen SANDHAAS, 2017. *Timber Engineering: Principles for Design*. Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie. ISBN 978-3-7315-0673-7.

BREYER, Donald E, Kenneth FRIDLEY, Kelly E. COBEEN a David G. POLLOCK, 2007. *Design of Wood Structures*. Sixth Edition. United States of America: RR Donnelley. ISBN 978-0-07-145539-8.

CRAWLEY, NIC, 2021. *CROSS LAMINATED TIMBER: A DESIGN-STAGE PRIMER*. 66 Portland Place, London: RIBA. ISBN 978 1 85946 922 4.

CULÍK KONČITÍKOVÁ, Gabriela, Jakub MALOVANÝ a Zdeněk POKLUDA, 2023. *Tvůrci fenoménu Baťa: ti, jenž proslavili jméno Baťa napříč světem*. Zlín: Nadace Tomáše Bati. Baťa. ISBN 978-80-908563-7-0.

ČECHUROVÁ, Jana, c2009. *Vila: Vila Hany a Edvarda Benešových v Sezimově Ústí = Hana and Edvard Beneš's Villa in Sezimovo Ústí*. [Praha]: WWA photo. ISBN 978-80-903963-2-6.

GONG, Meng, 2022. *Engineered Wood Products for Construction*. Canada: IntechOpen. ISBN 978-1-83962-772-9.

GONZALO, Roberto a Rainer VALLENTIN, 2014. *Passive house design: planning and design of energy-efficient buildings*. Munich: Institut für internationale Architektur-Dokumentation. Edition Detail green books. ISBN 978-3-95553-220-8.

HÁJEK, Václav, 1997. *Stavíme ze dřeva*. Praha: Sobotáles. ISBN 80-85920-44-1.

HAZUCHA, Juraj, 2016. *Konstrukční detaily pro pasivní a nulové domy: doporučení pro návrh a stavbu*. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-4551-0.

HERZOG, Thomas Herzog, Julius NATTERER, Roland SCHWEITZER, Michael VOLZ, 2004. *Timber construction manual*. Boston: Birkhäuser. ISBN 978-3-7643-7025-1.

HRÁZSKÝ, Jaroslav a Pavel KRÁL, 2004. *Kompozitní materiály na bázi dřeva*. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. ISBN 80-7157-751-0.

HUDEC, Mojmir, 2008. *Pasivní rodinný dům: proč a jak stavět*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-2555-0.

CHYBÍK, Josef, 2009. *Přírodní stavební materiály*. Praha: Grada. ISBN 8024725320.

KAŇKA, Jan a Zbyněk SVOBODA, 2004. *Stavební fyzika 31*. Praha: ČVUT. ISBN 80-01-02861

KARACABEYLI, Erol Karacabeyli a Brad Douglas, DOUGLAS, 2013. *CLT handbook: cross-laminated timber*. Washington, D.C.: AWC. ISBN 978-0-86488-554-8.

KOLB, Josef, 2011. *Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště*. 2., aktualiz. vyd. v České republice. Přeložil Bohumil KOŽELOUH. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4071-3.

- KUKLÍK, Petr, 2005. *Dřevěné konstrukce*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT. ISBN 80-01-03310-4.
- KULHÁNEK, František, 2011. *Stavební fyzika II: stavební tepelná technika*. 5., přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické. ISBN 978-80-01-04957-0.
- MAMLOUK, Michael S. a John P. ZANIEWSKI, c2014. *Materials for civil and construction engineers*. 3rd ed. Harlow: Pearson. Pearson new international edition. ISBN 978-1-292-02605-3.
- MÁRTON, Jan a Aleš BROTÁNEK, 2014. *Stavby ze slaměných balíků: slaměné izolace v nízkoenergetických a pasivních domech, návrh staveb šetrných k životnímu prostředí, hliněné omítky, ozeleněné střechy*. 2., dopl. a aktualiz. vyd. Liberec: J. Márton. ISBN 978-80-260-5713-0
- OPDERBECKE, Adolf, 1995n. 1. *DAS HOLZBAUBUCH*. 2nd. Hannover. ISBN 3-88746-339-0
- PECHAR, Josef, 1974. *Vývoj architektury v 19. a 20. století*. Praha: České vysoké učení technické.
- PETRÝL, Zdeněk a Roman ŠUBRT, 2012. *Moderní okna: [zasklení a úspora tepla, vzduchotěsnost a průvzdušnost, výměna, montáž a reklamace]*. Praha: Grada. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-4286-1.
- REHBERGER, Miloš a Ondřej VÁPENÍK, 2023. *Provětrávané fasády: konstrukční detaily v kontextu informačního modelování*. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-5151-1.
- RESSOVÁ, Jitka, 2012. *Můj baťovský domek: současné rekonstrukce baťovských domků = My Bata house : contemporary reconstructions of Bata houses*. V Praze: Jitka Ressová ve spolupráci s Vysokou školou uměleckoprůmyslovou. ISBN 978-80-86863-61-0.
- RŮŽIČKA, Martin, 2006. *Stavíme dům ze dřeva*. Praha: Grada. ISBN 80-247-1461-2.
- RŮŽIČKA, Martin, 2014. *Moderní dřevostavba*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-3298-5.
- SALVAN, George, 1986. *ARCHITECTURAL BUILDING MATERIALS*. 3rd. 388 Quezon Avenue, Quezon City: JMC PRESS. ISBN 971-11-0321-4.
- sborník referátů z mezinárodní vědecké konference pořádané Spolkom architektov Slovenska, 2006. *Budúcnosť miest s monofunkčným priemyslom, príklady baťových miest*. Bratislava. ISBN 80-88757-38-X.
- SMOLA, Josef, 2011. *Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů*. Praha: Grada. ISBN 9788024729954.
- STEIGER, Ludwig, [2020]. *Basic timber construction*. Third edition. Přeložil Michael ROBINSON, přeložil Hartwin BUSCH. Basel: Birkhäuser. Basics. ISBN 978-3-0356-2126-6.
- SYROVÝ, Bohuslav, 1974. *Architektura – svědectví dob: přehled vývoje stavitelství a architektury*. Praha: SNTL. Řada stavební literatury.
- ŠEVEČEK, Ondřej a Martin JEMELKA, ed., [2013]. *Company towns of the Baťa concern: history - cases - architecture*. Stuttgart: Franz Steiner. Economic history. ISBN 978-3-515-10376-3.
- ŠUBRT, Roman, 2011. *Tepelné mosty: pro nízkoenergetické a pasivní domy : 85 prověřených a spočítaných stavebních detailů*. Praha: Grada. Stavitel. ISBN 978-80-247-4059-1.

THELANDERSSON, Sven a Hans J. LARSEN, 2003. *Timber engineering*. Chichester: Wiley. ISBN 0470844698.

THOEMEN, Heiko, Mark IRLE a Milan SERNEK, 2010. *Wood-Based Panels*. Brunel: Brunel University Press. ISBN 978-1-902316-82-6.

TYWONIAK, Jan, 2012. *Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další*. Praha: Grada. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.

TYWONIAK, Jan, 2005. *Nízkoenergetické domy: principy a příklady*. Praha: Grada. Stavitel. ISBN 80-247-1101-X.

TYWONIAK, Jan, 2008. *Nízkoenergetické domy 2: principy a příklady*. Praha: Grada. Stavitel. ISBN 978-80-247-2061-6.

VAVERKA, Jiří, Josef CHYBÍK a František MRLÍK, 2000. *Stavební fyzika: Stavební tepelná technika: Stavební tepelná technika*. Brno: VUTIUM. ISBN 8021416491.

Details for passive houses: renovation: a catalogue of ecologically rated constructions, [2017]. Basel: Birkhäuser. ISBN 978-3-0356-0953-0.

Internetové zdroje

KOPECKÝ, Pavel a Kateřina SOJKOVÁ, 2016. Agregované tepelné charakteristiky budov = Aggregated thermal characteristics of buildings. Part 1: Motivation and derivation of the main characteristics. *Vytápění větrání instalace*. **25**(2), 100-103. ISSN 1210-1389.

INTERNATIONAL PASSIVE HOUSE ASSOCIATION. International Passive House Association. *Index* [online]. [cit. 2024-04-03]. Dostupné z: <https://passivehouse-international.org/index.php>

Izolace-info: informační portál [online], 2008. Praha: Izolace-info [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/>

LETIGEB, Jan. Jaký tvar objektu je pro pasivní dům nejvhodnější? *Nenalezený vydavatel* [online]. [cit. 2024-04-01]. Dostupné z: https://www.e-genius.at/fileadmin/user_upload/lernfelder/energieeffiziente_gebaeudekonzepte/alt/cz/web/jak_tvar_objektu_je_pro_pasivn_dm_nejvhodnj.html

VIA AUREA S.R.O. Zlínský architektonický manuál. *Nenalezený vydavatel* [online]. [cit. 2024-04-01]. Dostupné z: <https://zam.zlin.eu/>

Technické normy

ČSN 73 0540-1: Tepelná ochrana budov – Část 1: Terminologie. Český normalizační institut. Praha, Česká republika., 2005.

ČSN 73 0540-2: Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Český normalizační institut. Praha, Česká republika., 2011.

ČSN 73 0540-3: Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin. Český normalizační institut. Praha, Česká republika., 2005.

ČSN 73 0540-4: Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody. Český normalizační institut. Praha, Česká republika., 2005.

ČSN EN ISO 10 211: Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích – Tepelné toky a povrchové teploty - Podrobné výpočty. Český normalizační institut. Praha, Česká republika, 2018.

ČSN EN ISO 14 683: Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích – Lineární činitel prostupu tepla - Zjednodušené metody a orientační hodnoty. Český normalizační institut. Praha, Česká republika, 2018.

Legislativní dokumenty

Vyhláška č. 499/2006 Sb.: Vyhláška o dokumentaci staveb. Ministerstvo pro místní rozvoj, Praha, Česká republika, 2006.

Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-499>

Vyhláška č. 78/2013 Sb.: Vyhláška o energetické náročnosti budov. Ministerstvo pro místní rozvoj, Praha, Česká republika, 2013.

Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2013-78>

Akademické práce

BAŽANTOVÁ, Ivana, 2019. *Výpočtová analýza tepelných vlastností stavebních detailů*. Praha. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.

DVOŘÁK, Matyáš, 2023. *ROZVOJOVÁ LOKALITA BYDLENÍ V RODINNÝCH DOMECH, SEZIMOVO ÚSTÍ II*. Praha. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.

KASAL, Pavel, 2019. *Předsazená montáž oken*. Praha. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze.

Zdroje obrázků

NOVATOP, 2024. Standartní tloušťky panelů. In: *Novatop* [online]. [cit. 2024-04-01]. Dostupné z: <https://novatop-system.cz/produkt/solid/>

NOVATOP. Aplikace Novatop Solid. In: *Novatop* [online]. [cit. 2024-04-01]. Dostupné z: <https://novatop-system.cz/reference/solid-aplikace/>

RŮŽIČKA, Martin, 2011. Baťovy domky ve Zlíně. In: *IDnes* [online]. [cit. 2024-04-02]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/zlin/zpravy/prvni-batovske-domky-ve-zline-vyrostly-v-roce-kdy-se-potopil-titanic.A110422_153713_zlin-zpravy_toi

ŠECHTL A VOSEČEK, 2024. Sezimovo Ústí, baťovy domy. In: *Šechtl a Voseček* [online]. [cit. 2024-04-01]. Dostupné z: <https://sechtl-vosecek.ucw.cz/cml/fotografie/foto0649.html>

Použitý software

MS Office 2016 (word, excel)

Archicad 25 - výuková verze

Autocad 2021 - výuková verze

PHPP software (verze 8) 2013

Teplo 2017 (Svoboda Software)

Area 2017 (Svoboda Software)

FIN EC

Kros 4

Seznamy obrázků, tabulek, příloh

Seznam obrázků

Obrázek 1: Poloha města Sezimova Ústí.....	15
Obrázek 2: Bařova zástavba ve Zlíně	16
Obrázek 3: Bařova zástavba v Sezimově Ústí II	17
Obrázek 4: Schéma urbanistické studie Sezimova ústí	19
Obrázek 5: Typy CLT panelových konstrukcí	24
Obrázek 6: Ukázka panelové dřevostavby.....	26
Obrázek 7: Grafické znázornění vrstev panelu	29
Obrázek 8: Schématické zobrazení pasivního domu	35
Obrázek 9: Doporučené desatero pro pasivní domy	38
Obrázek 10: Situování stavby v terénu	39
Obrázek 11: Teorie oslunění v průběhu modelového roku.....	39
Obrázek 12: Tvarové typy objektů v souvislosti A/V	40
Obrázek 13: Grafické zobrazení izolačního trojskla	42
Obrázek 14: Grafické schéma rekuperační jednotky	43
Obrázek 15: Grafické zobrazení výpočtu ploch	54
Obrázek 16: Grafické znázornění výpočtu energeticky vztažné plochy.....	55
Obrázek 17: Vizualizace řešeného objektu.....	56
Obrázek 18: Skladba obvodové stěny.....	59
Obrázek 19: Skladba obvodové stěny u garáže	59
Obrázek 20: Skladba podlahy na zemině.....	60
Obrázek 21 Skladba ploché střechy	61
Obrázek 22 Skladba mezibytové stěny	62
Obrázek 23: Detail napojení rohových oken	63
Obrázek 24: Detail uložení mezibytové stěny	64
Obrázek 25: Detail ploché střechy	65
Obrázek 26: Detail napojení garáže.....	66
Obrázek 27: Slepý rozpočet ze softwaru Kros.....	84
Obrázek 28: Grafické znázornění zjednodušení výpočtu	85

Seznam tabulek

Tabulka 1: Typologie Baťových domů.....	18
Tabulka 2: Přehled konstrukčních systémů	20
Tabulka 3: Typy panelových dřevostaveb	23
Tabulka 4: Materiály pro nosné konstrukce	30
Tabulka 5: Přehled izolačních materiálů	31
Tabulka 6: Přehled syntetických izolačních materiálů	32
Tabulka 7: Přehled plošných materiálů	33
Tabulka 8: Základní rozdělení budov podle měrné potřeby tepla na vytápění.....	34
Tabulka 9: Základní parametry pasivních domů	36
Tabulka 10: Hodnoty součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou intervalu 18 až 22°	37
Tabulka 11 Kategorie povrchu podlah z hlediska dotykové teploty	51
Tabulka 12 Stacionární okrajové podmínky pro výpočet.....	57
Tabulka 13 Okrajové podmínky obvodové stěny	58
Tabulka 14: Okrajové podmínky skladby stěny u garáže.....	59
Tabulka 15: Okrajové podmínky podlahy na zemině.....	60
Tabulka 16 Okrajové podmínky ploché střechy	61
Tabulka 17 Okrajové podmínky mezibytové stěny	62
Tabulka 18: Vyhodnocení výsledků ze softwaru PHPP	70
Tabulka 19: Přehled doporučeného desatera pro pasivní domy	71
Tabulka 20: Součinitel prostupu tepla	72
Tabulka 21: I. Požadavek na teplotní faktor	72
Tabulka 22: II. Požadavek na součinitel prostupu tepla	72
Tabulka 23: III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí	73
Tabulka 24: Optimalizace součinitele prostupu tepla.....	73
Tabulka 25: I. Požadavek na teplotní faktor	73
Tabulka 26: II. Požadavek na součinitel prostupu tepla	73
Tabulka 27: III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí	74
Tabulka 28: Optimalizace součinitele prostupu tepla.....	74
Tabulka 29: I. Požadavek na teplotní faktor	74
Tabulka 30: II. Požadavek na součinitel prostupu tepla	74

Tabulka 31: III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí	75
Tabulka 32: Optimalizace součinitele prostupu tepla.....	75
Tabulka 33: I. Požadavek na teplotní faktor	75
Tabulka 34: II. Požadavek na součinitel prostupu tepla	75
Tabulka 35: III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí	76
Tabulka 36: Optimalizace součinitele prostupu tepla.....	76
Tabulka 37: II. Požadavek na součinitel prostupu tepla	77
Tabulka 38: III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí	77
Tabulka 39: Grafický výstup pro napojení rohových oken	78
Tabulka 40: Vypočtené technické parametry	78
Tabulka 41: I. požadavek na teplotní faktor	78
Tabulka 42: II. Požadavek na šíření vlhkostí konstrukcí.....	78
Tabulka 43: III. Požadavek na lineární činitel prostupu tepla	78
Tabulka 44: Grafický výstup uložení mezibytové stěny	79
Tabulka 45: Vypočtené technické parametry	79
Tabulka 46: I. požadavek na teplotní faktor	79
Tabulka 47: II. Požadavek na šíření vlhkostí konstrukcí.....	79
Tabulka 48: Grafický výstup atiky střechy	80
Tabulka 49: Vypočtené technické parametry	80
Tabulka 50: I. požadavek na teplotní faktor	80
Tabulka 51: II. Požadavek na šíření vlhkostí konstrukcí.....	81
Tabulka 52: III. Požadavek na lineární činitel prostupu tepla	81
Tabulka 53: Grafický výstup napojení garáže	81
Tabulka 54: Vypočtené technické parametry	81
Tabulka 55: I. požadavek na teplotní faktor	82
Tabulka 56: II. Požadavek na šíření vlhkosti konstrukcí.....	82
Tabulka 57: III. Požadavek na lineární činitel prostupu tepla	82
Tabulka 58: Přehled výpočtu z programu FIN	83

Seznam příloh

- Příloha 1:** Celkový situační výkres
- Příloha 2:** Technická zpráva
- Příloha 3:** Výkresová dokumentace
 - Příloha 3.1.** Půdorys 1.NP
 - Příloha 3.2.** Půdorys 2.NP
 - Příloha 3.3.** Půdorys střecha
 - Příloha 3.4.** Půdorys základů
 - Příloha 3.5.** Jihozápadní; severovýchodní pohled
 - Příloha 3.6.** Jihovýchodní; severozápadní pohled
 - Příloha 3.7.** Řez A–A´
 - Příloha 3.8.** Řez B–B´
- Příloha 4:** Dokumenty podrobností
 - Příloha 4.1.** Detail ostění
 - Příloha 4.2.** Detail uložení mezibytové stěny
 - Příloha 4.3.** Detail atiky
 - Příloha 4.4.** Detail napojení garáže
- Příloha 5:** Tabulka výplní stavebních otvorů
 - Příloha 5.1.** Tabulka výpisu oken
 - Příloha 5.2.** Tabulka výpisu dveří
- Příloha 6:** Výkres pro CNC stroje
- Příloha 7:** PHPP software
 - Příloha 7.1.** Protokoly PHPP
 - Příloha 7.2.** Grafické znázornění výpočtů ploch
 - Příloha 7.3.** Protokoly PHPP – Optimalizace
 - Příloha 7.4.** Grafické znázornění výpočtů ploch – Optimalizace
- Příloha 8:** Protokol z programu Teplo
- Příloha 9:** Protokol z programu Area
- Příloha 10:** Statický posudek
 - Příloha 10.1.** Statický posudek včetně zatížení
 - Příloha 10.2.** Posouzení konstrukčních spojů
- Příloha 11:** Kros
 - Příloha 11.1.** Položkový rozpočet
 - Příloha 11.2.** Slepý rozpočet