

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

**Konstrukční návrh
pasivního rodinného domu z CLT panelů**

Diplomová práce

Daniel Mareš

Ing. Martin Sviták, Ph.D.

2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Daniel Mareš

Dřevěné konstrukce a stavby na bázi dřeva

Název práce

Konstrukční návrh pasivního rodinného domu z CLT panelů

Název anglicky

Structural design of a passive family house made of CLT panels

Cíle práce

Cílem práce je vytvořit návrh nosné dřevěné konstrukce a konstrukčních skladeb za použití CLT panelů objektu jednopodlažního rodinného domu v obci Dírná, který bude zpracován ve formě realizační projektové dokumentace vybraných částí. Na základě existující studie bude koncept projektu vypracován do úrovně vybraných částí projektové dokumentace s odpovídajícím provedením skladeb celé obálky budovy a částecné stavebně konstrukční části u vybraných prvků. Projektová dokumentace bude tedy řešit komplexní přístup z hlediska tvarového, dispozičního, konstrukčního i materiálového provedení, vč. umístění objektu. Bude se jednat o technické, souhrnné a průvodní zprávy, situační schémata, půdorysy nadzemních podlaží, řezy objektu, pohledy a detaily obvodové stěny, styk se střešní konstrukcí nebo základovou konstrukcí. Zvolený návrh bude podložen také posouzením a optimalizací konstrukčních skladeb obálky budovy z hlediska stavební fyziky. V části statického posouzení bude řešena nosná část obvodové stěny, uložení střešní konstrukce a posouzení vybraného střešního prvku. V praktické části bude vytvořen 3D BIM model stavby v programu CadWork. Z tohoto modelu bude exportována výrobní, realizační a montážní dokumentace dřevěné nosné části s výstupem pro CNC výrobu. Dále bude vypracováno porovnání založení objektu s příslušnými detaily pro betonovou desku, zemnicími vruty a pěno-skla, vč. tepelných posudků. Každá z variant bude posouzena z hlediska harmonogramu výstavby, náročnosti výroby, pořizovací ceny a logistiky. Součástí práce bude rozpočet na výše uvedené části a vizualizace.

Metodika

Literární rešerše – zakládání staveb, materiálové a konstrukční možnosti, legislativa. Termín zpracování od 04/2023 do 07/2023.

Návrh nosné konstrukce a konstrukčních skladeb z CLT panelů vč. základního tvarového, dispozičního, konstrukčního a materiálového provedení a optimalizace konstrukčních skladeb obvodového pláště budovy. Termín zpracování od 06/2023 do 09/2023.

Stavebně konstrukční řešení vybraných částí obvodové stěny, uložení střešní konstrukce a posouzení vybraného střešního prvku. Termín zpracování od 08/2023 do 10/2023.

Vytvoření 3D BIM modelu stavby v programu CadWork s exportem výrobní, realizační a montážní dokumentace nosné části obvodové stěny. Termín zpracování od 09/2023 do 11/2023.

Porovnání založení objektu z hlediska harmonogramu výstavby, náročnosti výroby, pořizovací ceny a logistiky s příslušnými detaily pro betonovou desku, zemnicích vrutů a pěno-skla, vč. tepelných posudků. Termín zpracování od 10/2023 do 11/2023.

Rozpočet stavby na vybrané části. Termín zpracování od 11/2023 do 12/2023.

Grafická vizualizace. Termín zpracování od 12/2023 do 01/2024.

Závěr a přínos návrhu. Termín zpracování do 03/2024.



Doporučený rozsah práce

40 stran textu, výkresová a textová část PD

Klíčová slova

Dřevostavba, rodinný dům, výrobní dokumentace, konstrukční detaily, zakládání stavby, vizualizace

Doporučené zdroje informací

- BLASS, Hans Joachim a Carmen SANDHAAS; Timber Engineering – Principles for Design; Pub, 2013; ISBN 3731506734.
- HERZOG, Thomas; Timber construction manual; Boston: Birkhäuser; Pub, 2004; ISBN 978-3-7643-7025-1.
- Hugo S. L. Hens; Building Physics: Heat, Air and Moisture; Ernst & Sohn; 2nd edition; Pub, 2012; ISBN 3433030278.
- KARACABEYLI, Erol, Douglas Brand; Cross Laminated Timber Handbook; Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory 2013; ISBN 978-0-86488-553-1.
- KOLB, Josef; Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště; Vyd. 1; Praha: Grada, 2008; ISBN 978-80-247-2275-7.
- KOŽELUH, Bohumil; Dřevěné konstrukce podle eurokódu 5: navrhování a konstrukční materiály; Vyd. 1; Praha: ČKAIT, 2004; ISBN 80-867-6913-5.
- MASOPUST, Jan; Zakládání staveb 1; Vyd. 1; Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2015; ISBN 8001058379;9788001058374.
- MATĚJKA, Petr a kol.; Základy implementace BIM na českém stavebním trhu; Praha: FinEco, 2012; ISBN 978-80-86590-10-3.
- MILLER, Frederic P; Passive solar building design; Beau Bassin: Alphascript; Pub, 2009; ISBN 61300464993.
- TYWONIAK, Jan; Nízkoenergetické domy: principy a příklady; Vyd. 1; Praha: Grada, 2005, 193 s.; ISBN 80-247-1101-x.
-

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Martin Sviták, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Elektronicky schváleno dne 29. 6. 2023

doc. Ing. Roman Fojtík, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 28. 7. 2023

prof. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 31. 03. 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Konstrukční návrh pasivního rodinného domu z CLT panelů vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil, a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, 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 vědom, 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 03.04.2024



Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Martinu Svitákovi, Ph.D. za věcné připomínky, odborné vedení a vstřícné jednání. Dále chci poděkovat svým rodičům za to, že mi vytvořili příznivé podmínky a měli se mnou trpělivost nejenom v době tvorby této práce, ale především v čase celého studia.

Abstrakt

Diplomová práce zpracovává konstrukční návrh pasivního rodinného domu z CLT panelů. Hlavním bodem práce je zaměření se na konstrukční návrh skladeb obvodové obálky s dodržení pasivních standardů. Projektová dokumentace definuje tvarové dispoziční konstrukční a materiálové provedení, tak aby splňovaly technické, estetické a funkční požadavky. Součástí projektu jsou technické, souhrnné a průvodní zprávy, situační schémata, půdorysy, řezy, pohledy a detaily obvodových stěn a styku s ostatními konstrukcemi. Kompletní stavba je vypracována ve 3D konstrukčním programu, což usnadňuje přesnou vizualizaci i analýzu a také přenos dat mezi jednotlivými fázemi projektu.

V rámci literární rešerše jsou řešené základové konstrukce pod dřevostavby v kontextu s pasivními stavbami. Dále je definováno křížem lepené dřevo. Konstrukční možnosti systému a materiály se kterými se kombinuje. Práce se zaměřuje na základní principy návrhu a uplatňování pravidel systému křížem lepeného dřeva.

Klíčová slova: dřevostavba, rodinný dům, výrobní dokumentace, konstrukční detaily, zakládání stavby, vizualizace

Abstract

The thesis deals with the structural design of a passive family house made of CLT panels. The main point of the thesis is focused on the structural design of the envelope compositions with compliance to passive standards. The design documentation defines the shape layout structural and material design to meet the technical, aesthetic and functional requirements. The design shall include technical, summary and accompanying reports, site diagrams, floor plans, sections, views and details of the envelope walls and contact with other structures. The complete structure is developed in a 3D design program, which facilitates accurate visualization and analysis as well as data transfer between project phases.

The literature search addresses the foundation structures under timber buildings in the context of passive buildings. Furthermore, cross-laminated timber is defined for its structural possibilities and the materials with which it is combined. The work focuses on the basic principles of design and working with this system cross laminated timber.

Keywords: wooden building, family house, production documentation, construction details, building foundation, visualization

Obsah

1	Úvod.....	12
2	Cíle práce	13
3	Literární rešerše	14
3.1	Pasivní domy	14
3.1.1	Požadavky normy na pasivní stavby dle součinitele prostupu tepla .	15
3.1.2	Definice pasivních domů	15
3.1.3	Větrání a zpětné získávání tepla při větrání	16
3.1.4	Detaily, co dělají pasivní dům	17
3.1.5	Konstrukční systémy dřevostaveb jako pasivních domů.....	17
3.1.6	Technické požadavky na stavby	18
3.1.7	Legislativa tepelně technických požadavků na stavby	19
3.2	Křížem lepené dřevo – CLT – cross laminated timber.....	20
3.2.1	Vstupní materiál pro výrobu CLT	20
3.3	Výroba panelů křížem lepených	21
3.3.1	Třídění, sušení vstupního materiálu,	21
3.3.2	Případné odstranění vad v řezivu, vyhodnocení pevnosti	21
3.3.3	Skládáním lamel do desek vznikají jednotlivé vrstvy panelů	21
3.3.4	Křížové orientování desek s použitím lepidla mezi vrstvy	22
3.3.5	Lisování	22
3.3.6	Opracování hrubého panelu dle potřeb.....	22
3.3.7	Balení a export.....	23
3.3.8	Legislativa výrobku	23
3.4	Výhody přinášené používáním CLT panelů	23
3.4.1	Vázání uhlíku ve stavbě.....	23
3.4.2	Požární odolnost	23
3.4.3	Seismická odolnost.....	24
3.5	Vybrané CLT konstrukční systémy	24
3.5.1	CLT systém křížem lepený.....	24
3.5.2	CLT spojované mechanicky	25
3.5.3	CLT systém s dřevěnými kolíky.....	25
3.6	Izolační materiály pro dokončování CLT.....	26
3.6.1	Dřevovláknité izolační desky	26
3.6.2	Celulóza foukaná	26
3.6.3	Kamenná vlna	27
3.6.4	Polystyrén extrudovaný XPS.....	27
3.6.5	Polystyrén expandovaný EPS.....	28

3.6.6	Štěrk z pěnového skla	28
3.7	Konstrukční materiály pro dokončování CLT	28
3.7.1	KVH – Konstruktionsvollholz	28
3.7.2	LVL	28
3.7.3	I nosníky dřevěné	29
3.7.4	BSH – Brettschichtholz	29
3.7.5	Desky OSB	29
3.7.6	Desky sádrovláknité	29
3.8	Použití systému CLT ve stavbě	30
3.8.1	Konstrukční principy spoje CLT panelů	31
3.8.2	Mechanické spojovacími prostředky ve spoji CLT	32
3.8.3	Vybrané detaily CLT stavby	33
3.9	Zakládání pasivních dřevostaveb	36
3.9.1	Základové pasy a deska	36
3.9.2	Plovoucí deska	36
3.9.3	Zemní vruty – crawl space	37
3.10	BIM modelování	38
4	Metodika	40
5	Výsledky	41
5.1	Výchozí studie	41
5.2	Průvodní, souhrnné a technické zprávy	42
5.3	Situační schémata	43
5.4	Konstrukční skladby rodinného domu	44
5.4.1	Obvodová stěna	44
5.4.2	Vnitřní příčka	44
5.4.3	Strop	45
5.4.4	Podlaha na terénu	45
5.5	Střecha s vazníky	46
5.6	Optimalizace skladeb s tepelně technickými posudky	47
5.6.1	Obvodová stěna	48
5.6.2	Strop	51
5.6.3	Podlaha na terénu	52
5.7	Stavebně konstrukční řešení zvolených částí	53
5.7.1	Zatížení konstrukce	53
5.7.2	Posouzení vazníku	55
5.7.3	Uložení střešní konstrukce	57
5.7.4	Posouzení obvodové stěny CLT panelu	57
5.8	BIM model v programu CadWork	58

5.8.1	Realizační dokumentace	59
5.8.1.1	Výkresy	59
5.8.1.2	Detaily	59
5.8.2	Export dat na CNC	60
5.8.3	Výrobní dokumentace	61
5.8.4	Montážní dokumentace	63
5.8.5	Grafická vizualizace	64
5.9	Rozpočet stavby	65
5.10	Porovnání metod založení stavby	66
5.10.1	Skladba železobetonové desky se základovými pasy	67
5.10.2	Skladba železobetonové plovoucí desky	68
5.10.3	Skladba Crawl – Space s použitím zemních vrutů.....	69
5.10.4	Zhodnocení porovnávaných systémů základových konstrukcí	70
6	Diskuze	72
7	Závěr	73
8	Zdroje.....	74
8.1	Literatura.....	74
8.2	Online zdroje	78
8.3	Použité normy.....	85
8.4	Použité zákony	86
9	Seznam obrázků	87
10	Samostatné přílohy.....	89
10.1	Soubory	89

1 Úvod

Moderní pasivní bydlení se stalo významným tématem vzhledem k rostoucím cenám energií a zvyšujícímu se povědomí o energetické účinnosti budov. Člověk tráví stále více času uvnitř budov, což zahrnuje práci, zábavu, povinnosti i komunikaci s přáteli, a tato situace vyžaduje optimální nastavení parametrů prostředí, ve kterém žijeme. Je klíčové zajistit, aby tento prostor byl zdravý a příjemný, aby nezpůsobil žádné zdravotní problémy a aby byl pobyt v něm co nejpohodlnější (Mirela et al. 2017).

Lidé se cítí nejlépe, když mají pohodlní, a proto je důležité minimalizovat ztráty tepla v domě, což vede k nižším nákladům na vytápění a zvýšení celkového komfortu. Dle Domljan & Mamić (2023) je dřevo přirozený materiál, který je člověk zvyklý vnímat svými smysly, včetně jeho vůně a vzhledu, je přirozenou volbou jako stavební materiál. Navíc podmínky, které jsou pro udržení dřeva v dobrém stavu, jsou často podobné těm, které jsou příznivé pro člověka.

Spojením konceptu pasivního bydlení s použitím dřeva jako hlavního stavebního materiálu vzniká synergický efekt, který je prostředím, jež je příjemné pro pobyt a zároveň šetrné k životnímu prostředí. Jak říká Buchanan (2007), tímto způsobem můžeme vytvářet domovy, které jsou energeticky účinné, pohodlné k životu a respektující přírodu.

V budoucnu se očekává, že poptávka po snižování energetické spotřeby bude stále narůstat. Tento trend směřuje k budování domů s nulovou až pozitivní energetickou bilancí. Zdůrazňuje to myšlenku, že není nezbytně nutné stavět domy s výhledem na stovky let, protože se mění potřeby a preference lidí v průběhu času (Kuchařová, 2024).

V tomto kontextu je dle Nawari (2012) klíčová budoucnost stavebnictví, která se stále více přesouvá do výrobních hal. Představuje to trend směrem k efektivnímu využití materiálních a lidských zdrojů prostřednictvím přípravy a prefabrikace, což umožňuje dosáhnout vysoké kvality výsledné práce. Digitalizace stavebnictví je dalším významným krokem vpřed, většina staveb je již dnes připravována digitálně, nejčastěji pomocí platformy BIM (Building Information Modeling). Tyto trendy jsou v souladu s moderními dřevostavbami, které se stávají stále více populárními a ekonomicky i ekologicky výhodnými.

2 Cíle práce

Cílem práce je efektivní využití konstrukčního systému CLT panelů při stavbě pasivního rodinného domu. Na základě existující architektonické studie bude koncept projektu vypracován do úrovně realizačního projektu s odpovídajícím provedením a důrazem na správnost skladeb celé obálky budovy a částečné stavebně konstrukční části u vybraných prvků.

Cílem práce je:

- Detailní realizační projektové dokumentace tvarového, dispozičního, konstrukčního i materiálového provedení, včetně umístění objektu.
- Optimalizace konstrukčních skladeb obálky budovy z hlediska stavební fyziky.
- Vytvoření 3D BIM modelu stavby v programu CadWork.
- Výrobní, realizační a montážní dokumentace s výstupem pro CNC výrobu.
- Sestavit rozpočet projektu.
- Vytvořit vizualizace stavby.
- Porovnání možností založení objektu pro betonovou desku, zemní vruty a pěno-skla.

V literární rešerši je cílem získat přehled o pasivních standardech definování takového stavění a jeho samotné požadavky. Rozebrat zakládání těchto staveb s dodržením pasivních postupů. Porozumění základům digitalizace a implementace do BIM (Building Information Modeling) modelování.

Následující práce se soustředí na tyto cíle s cílem dosáhnout co nejlepšího výsledku, ale neklade si to za jedinou podmínku.

3 Literární rešerše

Literární rešerše zpracovaná s cílem získat ucelený přehled o zakládání staveb, materiálových a konstrukčních možnostech, pasivních domech, BIM modelování a případné související legislativě. Dále materiálové a konstrukční možnosti používání CLT ve stavbě nejen pasivních dřevostaveb. Během procesu se prováděla analýza relevantních informací z dostupných pramenů, s důrazem na jejich aplikaci v kontextu daného projektu. Výsledky literární rešerše jsou zpracovány do formy srozumitelného a komplexního dokumentu.

3.1 Pasivní domy

Klíčová organizace definující standardy pasivních domů je Passive House Institute. Institut se zaměřuje na vývoj, výzkum a šíření informovanosti o pasivních stavbách. Dále organizace zajišťuje certifikace definovaných kritérií. Díky výzkumu a spolupráci jsou architekti stavaři a developeři schopni stavět energeticky účinné a komfortní stavby (Passive House Institute, 2015).

Dle Millera (2009) termín pasivní budovy označuje stavby, které vyžadují pouze malé množství energie na vytápění a chlazení. V tomto standardu lze stavět novostavby rodinných nebo bytových domů, škol, veřejných budov či obchodů. Lze také rekonstruovat již stávající stavby, aby splňovaly tyto požadavky.

V pasivní domy mají velmi omezené zdroje vytápění. To z důvodu že potřebná energie na vytápění je opravdu nízká. Pomocí optimalizace jižních prosklených ploch dokážou podstatnou část potřebné energie získat ze slunečního záření. Oproti nízkoenergetickým domům je nutné instalovat technologie na zpětný zisk tepla při větrání, ale zase není nutnost akumulčních nádob (Humm, 1999).

Pasivní domy poskytují vysoký komfort bydlení. Vzhledem k velmi přísným nárokům na tepelně technické vlastnosti obálky budovy dochází vlivem prostupu tepla jen k malým ztrátám. Návrh nuceného větrání s tepelným výměníkem zajistí zdravé prostředí pro život a minimální ztráty tepla. Výhody pasivních domů (Centrum pasivního domu, 2023):

- Vyšší životní komfort
- Nízké náklady na vytápění
- Kontrolovaný přístup čerstvého vzduchu
- Optimální teploty v létě i zimně

Protichůdné názory z pohledu architektury můžou znesnadnit uplatňování základních pravidel na pasivní stavby z pohledu stavební fyziky. V ideálním případě by měl již architektura vytvářet vhodné podmínky pro jednoduché používání těchto principů (Hugo, 2012)

3.1.1 Požadavky normy na pasivní stavby dle součinitele prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla je současně základní veličina pro hodnocení materiálů a konstrukcí. Charakterizují vlastnost materiálu tepelně izolovat. V celkovém pohledu stavby hodnotíme průměrný součinitel prostupu tepla, který energeticky hodnotí budovu jako celek (Kulhánek et al. 2014).

Doporučené hodnoty pro pasivní budovy – Upas,20 (ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky):

- Stěna vnější = $0,18-0,12 \text{ W/m}^2 \text{ K}^{-1}$
- Střecha strmá do se sklonem nad $45^\circ = 0,18-0,12 \text{ W/m}^2 \text{ K}^{-1}$
- Střecha plochá a šikmá sklonem 45° včetně = $0,15-0,10 \text{ W/m}^2 \text{ K}^{-1}$
- Strop s podlahou nad venkovním prostorem = $0,15-0,10 \text{ W/m}^2 \text{ K}^{-1}$
- Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace) = $0,15-0,10 \text{ W/m}^2 \text{ K}^{-1}$
- Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině = $0,15-0,10 \text{ W/m}^2 \text{ K}^{-1}$

3.1.2 Definice pasivních domů

Z evropské směrnice o energetické náročnosti budov vychází standard pro Českou republiku, ten definuje legislativní pojem: NZEB (nearly zero energy building). Jedná se o jediný termín známý legislativou. Standard definuje, že spotřeba energie budovy je velmi nízká a zároveň využívá většinu energie z obnovitelných zdrojů (Čejka, Antonín, 2024).

Dle Bohuslávka (2023) byl stanoven cíl na bezemisní fond budov v roce 2050 a to nejen pro novostavby ale i stávající budovy, včetně památkově chráněných. Přesné provedení těchto požadavků zatím nebylo specifikováno.

Pasivní dům (dále PD) oproti nízkoenergetickému domu (dále NED) má dle hodnocení daleko přísnější požadavky na měrnou potřebu tepla vytápění, neprůvzdušnost a měrnou potřebu primární energie. Následuje porovnání hodnotících kritérií (Hudec et al. 2013):

- Měrná potřeba tepla na vytápění: PD=15 [kWh/(m²a)]; NED=30 [kWh/(m²a)]
- Neprůvzdušnost konstrukce: PD=0,6 [h⁻¹]; NED=1 [h⁻¹]
- Měrná potřeba primární energie: PD=120 [kWh/(m²a)]; NED=150 [kWh/(m²a)]

Tyto hodnoty odpovídají požadavkům normy: *TNI 73 0329 Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – Rodinné domy*.

Měrná potřeba tepla na vytápění

Základní ukazatel pro zhodnocení kvality obálky. Hodnotí kolik je třeba dodat tepla na metr čtvereční užité plochy za rok užívání stavby (Centrum pasivního domu, 2008).

Neprůvzdušnost

Jedná se o parametr stavby, který udává celkovou celistvost vzducho-těsnicí vrstvy. Testování toho parametru se experimentálně provádí při tlakovém rozdílu 50 Pa [h^{-1}] a následně se porovnávají s normovými požadavky (Tywoniak, 2005).

Měrná potřeba primární energie

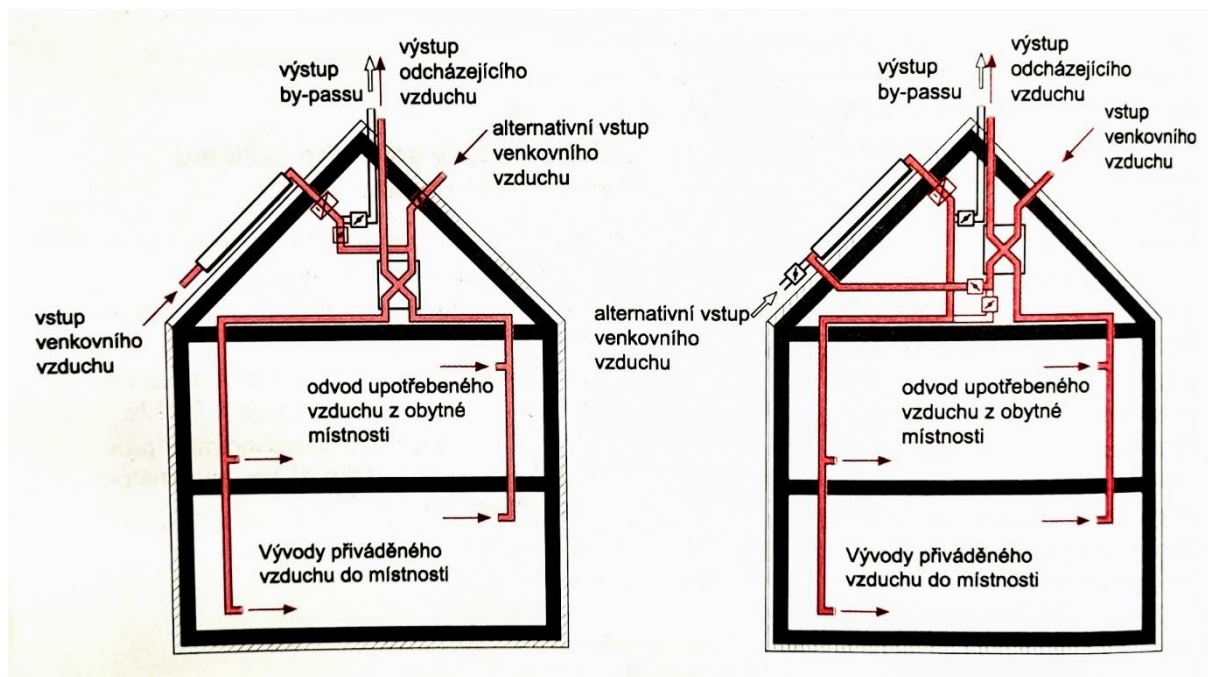
Primární energie z neobnovitelných zdrojů je součet hodnot energií na vytápění, provoz, ohřev teplé vody. Každé jednotlivé hodnoty násobíme koeficientem dle jejich faktoru energetické přeměny. Výsledná hodnota jest měrná primární energie z neobnovitelných zdrojů za rok na metr čtvereční, udává se v hodnotách $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ (Tywoniak, 2012).

3.1.3 Větrání a zpětné získávání tepla při větrání

Během pobytu lidí v místnosti dochází ke spotřebování kyslíku a vzniku vodní páry. Vodní pára a její nasycení ve vzduchu je třeba udržovat v daných mezích. Používáním konstrukcí stěn, stropů a střech takzvaně "difuzně otevřených" nepřispíváme k větrání, ale pouze zajišťujeme části vodní páry možnost prostupu do exteriéru skrz konstrukci. Větrání musí být zajištěno otvory nebo řízeným systémem (Pregizer, 2009).

Větrání způsobuje ztráty tepla, proto vznikají technologie na zpětný zisk tepla z odváděného vzduchu. Výměníky zpětného zisku tepla dělíme na rekuperační a regenerační. Rekuperační předávají teplo přes deskový výměník nebo tekutinu a nedochází k přímému kontaktu vzduchu na přívodu a odvodu. Regenerační výměníky předávají teplo přes akumulaci rotační hmoty a vzduch na přívodu se částečně mísí s odcházejícím vzduchem. To přináší výhodu zpětného zisku vlhkosti, u rekuperačních výměníků se zpětný zisk vlhkosti dohání pomocí membrán (entalpijní výměníky) (Zmrhal, 2014).

Zpětný zisk tepla, zobrazen na obrázku 1, lze v určitých případech kombinovat i se solárním ohřevem přiváděného vzduchu. V takovém případě přivodní vzduch prochází skrz venkovní kolektor, který ho předehřívá. Následující obrázek zobrazuje dva systémy zapojení kolektoru před nebo za regenerační jednotku (Filleux, Gütermann, 2006).



Obrázek 1 Využití kolektoru při řízené výměně vzduchu (Filleux, Gütermann, 2006)

3.1.4 Detaily, co dělají pasivní dům

Stavbu je optimální orientovat obytnými místnostmi na jih, a tudíž i maximalizovat jižní prosklené plochy díky tomu získáme pasivní solární zisky ze slunce, které jsou nejvíce podstatné v zimních měsících. Prosklené plochy by neměly být zastíněné v zimních měsících, ale v letních měsících je to více než vhodné (Hudec et al. 2013).

Pasivní solární zisky jsou velmi podstatným zdrojem v pasivních budovách. Jejich velikost se odvíjí od místa, orientace prosklených ploch a vlastností prosklených ploch. Hodnotící veličiny prosklených ploch jsou jejich schopnost propouštět sluneční energii a skutečná velikost zasklení po odečtení vnějších a vnitřních rámu, případně jejich omezení kvůli zastínění (Tywoniak, 2008).

Tvar stavby je jedním z nejjednodušších postupů ke snížení tepelných ztrát. Pokud optimalizujeme poměr ochlazované plochy a vnitřního objemu dosáhneme tím menších tepelných ztrát prostupem tepla konstrukcí. Výhodu v tomto směru mají větší kompaktnější tvary co nejvíce přibližující se kouli nejčastěji však krychle. V případě kombinací s požadavkem na tepelné zisky, nejlépe hodnocený je kvádr (Hudec, 2008)

3.1.5 Konstruktivní systémy dřevostaveb jako pasivních domů

V novodobých pasivních dřevostavbách se v technické oblasti s ohledem na skladbu a uspořádání vrstev pláště budovy projevují nová a výhodná řešení. V podstatě se pasivní stavění od nízkoenergetického v mnohém neodlišuje. Hlavním rozdílem je rozdílný výsledek finální

spotřeba tepla budovou. Lepšího výsledku oproti standardním stavbám lze dosáhnout optimalizací (Smola, 2011).

Základní stavební systémy jsou (Kolb, 2007):

- Hrázděné stavby
- Srubové stavby
- Platform-Frame, Balloon-Frame
- Skeletové stavby
- Rámové stavby
- Stavby z masivního dřeva
 - o Křížově spojované dřevo (lepené, spojované kolíky/hřebík)
 - o Lamelově spojované dřevo (lepené, spojované kolíky/hřebíky)
 - o Plošně lisované desky a materiály na bázi dřeva

V současné době jsou převážně používané konstrukční systémy pasivních staveb konstrukce rámové, skeletové a stavby z masivního dřeva (Smola, 2011).

3.1.6 Technické požadavky na stavby

Nařízení vlády č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby je klíčový právní předpis v oblasti stavebnictví v České republice. Tato vyhláška definuje základní technické standardy a požadavky, které musí stavby splňovat, aby byly považovány za bezpečné, funkční a trvanlivé. Mezi hlavní informace, které tato vyhláška definuje (ČESKO. Vyhláška č. 268/2009 Sb):

- **Konstrukční požadavky:** Nařízení stanoví minimální požadavky na konstrukci budov a dalších staveb včetně použitých materiálů, postupů konstrukce a bezpečnostních opatření.
- **Technické normy:** Vyhláška odkazuje na platné technické normy a standardy, které se mají při stavbě dodržovat. Tyto normy mohou zahrnovat různé aspekty, jako jsou materiály, izolace, nosnost konstrukcí, elektrické instalace apod.
- **Požadavky na energetickou účinnost:** Nařízení obsahuje ustanovení týkající se energetické účinnosti budov a stanovuje požadavky na minimální energetický výkon a spotřebu energie.
- **Bezpečnost a ochrana před požárem:** Vyhláška určuje opatření a normy týkající se bezpečnosti a ochrany před požárem, včetně požární odolnosti konstrukcí, umístění a dostupnosti hasicích prostředků a podmínek pro evakuaci.
- **Přístupnost a užitkovost:** Nařízení obsahuje ustanovení týkající se přístupnosti budov pro osoby s omezenou schopností pohybu nebo orientace, jako jsou například přístupné vchody, výtahy, toalety apod.
- **Ochrana životního prostředí:** Vyhláška může obsahovat také ustanovení týkající se ochrany životního prostředí při stavebních činnostech, včetně odpadového hospodářství, ochrany přírodních zdrojů a minimalizace environmentálního dopadu.

Tato základní ustanovení a požadavky jsou klíčové pro zajištění kvality, bezpečnosti a udržitelnosti staveb v souladu se současnými technickými standardy a legislativou v České republice. Nařízení vlády č. 268/2009 Sb. tak je důležitý nástroj pro regulaci a kontrolu stavební činnosti a zajištění ochrany veřejného zájmu.

3.1.7 Legislativa tepelně technických požadavků na stavby

Řada podmínek a požadavků, které musí budovy splňovat z hlediska energetické účinnosti, je stanovena ve Vyhlášce č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov. Podmínky (ČESKO, Vyhláška č. 264/2020 Sb):

- Maximální hodnoty tepelného průchodu opláštění budov: Maximální hodnoty tepelného průchodu opláštění budov jsou stanoveny vyhláškou, což způsobuje omezení ztrát tepla z budov a zvýšení jejich energetické účinnosti.
- Požadavky na tepelnou izolaci: Určité požadavky na tepelnou izolaci stěn, stropů, podlah a oken musí být splněny budovami, což přispívá k minimalizaci úniků tepla a snižuje energetickou náročnost budovy.
- Povinnost využívání obnovitelných zdrojů energie: Povinnost využívání obnovitelných zdrojů energie, jako jsou solární panely, tepelná čerpadla nebo biomasa, pro pokrytí části energetických potřeb budov, může být stanovena vyhláškou.
- Požadavky na vytápění a chlazení: Budovy musí splňovat určité standardy v oblasti vytápění a chlazení, například využíváním účinných a ekologicky šetrných systémů vytápění a klimatizace.
- Energetická certifikace budov: Povinnost energetické certifikace budov, která poskytuje informace o energetické náročnosti budovy a umožňuje porovnání její energetické účinnosti s jinými budovami, může být stanovena vyhláškou.
- Kontrola a dodržování požadavků: Vyhláška může obsahovat ustanovení týkající se kontroly a dodržování stanovených energetických požadavků, včetně postupů pro ověření splnění těchto požadavků a sankcí za jejich nedodržení.

Povinnost energetického průkazu budov (PENB) je zavedena jako součást legislativy zaměřené na zlepšení energetické účinnosti staveb a snížení emisí skleníkových plynů. Tato povinnost vyžaduje, aby majitelé budov poskytovali informace o energetické náročnosti svých nemovitostí prostřednictvím energetických průkazů. Povinnost tohoto průkazu přesně definuje zákon (ČESKO, zákon 406/2000 Sb).

Energetický průkaz budovy je dokument, který poskytuje informace o energetické náročnosti budovy, tedy o tom, jak moc je budova energeticky náročná a jak je efektivní z hlediska spotřeby energie. Průkaz obsahuje také doporučení pro zlepšení energetické účinnosti budovy. PENB se týká jak nových, tak stávajících budov, a je vyžadován při prodeji, pronájmu nebo stavbě budovy. Majitel budovy je povinen zajistit zpracování PENB a poskytnout ho potenciálním zájemcům nebo úřadům příslušným k vydání stavebního povolení. Cílem povinnosti energetického průkazu budov je informovat veřejnost o energetické účinnosti budov, podpořit investice do energetických úspor a obnovitelných zdrojů energie a přispět tak ke

snižování spotřeby energie a emisí skleníkových plynů v oblasti stavebnictví. Energetický průkaz je určen jako nástroj pro podporu udržitelného rozvoje a ochranu životního prostředí prostřednictvím zlepšení energetické účinnosti budov (ČESKO, Zákon č. 406/2000 Sb).

3.2 Křížem lepené dřevo – CLT – cross laminated timber

Křížově spojované řezivo, dřevěné panely z vrstveného dřeva (CLT cross laminated timber) je inovativním konstrukčním systémem. Poprvé se objevil v Rakousku a Německu na začátku 90. let 20. století. Systém vyniká vysokou prostorovou tuhostí a únosností díky svému křížovému uspořádání vrstev (Karacabeyli, Brand, 2013).

Schopnost dřeva reagovat na změny vlhkosti sesycháním a bobtnáním může v konstrukci způsobit poškození vedoucí až k ztrátě tuhosti. Tvarové změny lze významně omezit křížením a spojením jednotlivých vrstev. Kromě statické funkce nám tato deska zajišťuje zároveň vzduchotěsnou obálku a zlepšuje fázový posun (Kolb, 2007).

Klíčové faktory, které konstrukčnímu systému získaly popularitu:

- Nahrazení tradičních materiálů: Systém CLT byl představen s potenciálem náhrady betonu a zděných konstrukcí. To systému přilepšilo s vývojem a rostoucím zájmem o ekologické stavebnictví.
- Rozšíření do dalších regionů: Poté co byl systém uveden na trh v Rakousku a Německu se rozšířil do dalších evropských zemí, a to především do Skandinávie. Na půdě severoamerického kontinentu také získal určitou oblibu, však tradiční sloupkový systém nenahradil.
- Konkurenceschopnost na trhu: CLT je považován za ekonomicky efektivní alternativu ve srovnání s jinými stavebními materiály. Díky tomu že zvládne kombinovat výhody lehkého a těžkého skeletu získáme ekonomickou efektivitu.

V celkovém kontextu lze říct, že CLT stavební systém ukazuje významný posun v oblasti dřevěných konstrukcí, kombinující výhody dřeva jako tradičního stavebního materiálu s moderními požadavky na prostorovou stabilitu, únosnost a ekologickou udržitelnost (Pavlas, 2016).

3.2.1 Vstupní materiál pro výrobu CLT

Základním materiálem pro výrobu křížem lepeného dřeva je (CLT) je Smrk ztepilý známý také jako *Picea abies*. S ohledem na změnu skladby lesů a snižování množství využití Smrku ztepilého ve stavebnictví, probíhá výzkum na větší využívání jiných jehličnatých jako jsou Smrk černý (*Picea mariana*), Smrk omorika (*Picea omorika*), Smrk modrý (*Picea pungens Engelm*). Tlak na snížení závislosti na smrku ztepilém je zapříčiněn jeho velkou citlivostí na aktuální klimatické změny (Zeidler et al. 2024).

Na příkladu studie z technické univerzity Zvolen publikované kolektivem autorů ohledně používání Topolového dřeva. Konkrétně se zabývala dřevinou *Populus tremula*, pro výrobu CLT. Studií bylo shledáno srovnatelných vlastností, při použití

správného lepidla, s tradiční jehličnatou surovinou. Přičemž bylo podstatné použití vhodného lepidla a dodržení lisovacích podmínek (Das at al. 2023).

Ohledně používání bukového dřeva nebo kombinací se smrkovým určité studie naráží na problém s delaminací jednotlivých lepených vrstev. Při použití běžných lepidel na bázi polyuretanu nebo melamin močovino formaldehydu nebylo dosaženo požadovaných hodnot pevnosti lepené spáry (Brunetti et al. 2020).

Určitý potenciál ukazuje i rychle rostoucí Jedle čínská (*Cunninghamia lanceolata*), kde studie na ní provedená ukazuje rozdílné vlastnosti celkového panelu vzhledem k pevnosti vstupní dřeviny. Celkově však shledává dřevinu vhodnou k dalšímu výzkumu (Yin et al. 2024).

3.3 Výroba panelů křížem lepených

Postup výroby lze následovně zjednodušeně definovat (Brandner, 2013):

- Třídění, sušení vstupního materiálu,
- Případné odstranění vad v řezivu, vyhodnocení pevnosti
- Následné spojení výřezů pomocí mikro ozubů do nekonečné lamely
- Rozdělení nekonečných lamel na požadované délky
- Skládáním lamel do desek vznikají jednotlivé vrstvy panelů
- Křížové orientování jednotlivých vrstev s použitím lepidla mezi vrstvy
- Lisování souboru
- Opracování hrubého panelu dle potřeb
- Expedice

3.3.1 Třídění, sušení vstupního materiálu,

Vstupním materiálem jsou většinou fošny tloušťky 50 mm nebo prkna tloušťky 25 mm šířky v 2 - 4násobku tloušťky. Vlhkost vstupního materiálu musí být snížena na $12\pm 2\%$. Toho dosáhneme kontrolovaným sušením dřeva v nízko teplotních sušárnách. Materiál před začátkem sušení optimálně obsahuje 27 % vlhkosti. Snížení na požadovaných 14 % zabere při optimální rychlosti sušení šest dní (Julien, 2010).

3.3.2 Případné odstranění vad v řezivu, vyhodnocení pevnosti

Řezivo použité v panelu má třídu pevnosti C16 nebo C24. Jednotlivé výřezy, které nevyhovují kvůli nepřípustným vadám, jsou vady vymanipulovány krácením a přířez je délkově nastaven pomocí mikro ozubu. Požadavek spoje je že musí být zhotoven v čisté a zdravé části dřeva (Brandner, 2013).

3.3.3 Skládáním lamel do desek vznikají jednotlivé vrstvy panelů

Jeden ze způsobů přípravy vrstev masivního panelu je že jednotlivé vrstvy se nejdřív bočně spojí pomocí lepidla za daného lisovacího tlaku. Tyto desky buď podélně dělí, aby se

mohli využít na příčné vrstvy nebo dále pokračují na skládání do souboru (Karacabeyli, Brand, 2013).

Pokud tyto jednotlivé vrstvy slepíme jednotlivě zvýšíme celkovou kvalitu panelu. Z pohledu estetiky, vzduchotěsnosti a protipožárním vlastnostem dosáhneme díky rovnému a celistvému povrchu panelu (Brandner, 2013).

3.3.4 Křížové orientování desek s použitím lepidla mezi vrstvy

Spojování panelů probíhá pomocí různých druhů lepidla. Studené procesy vytvrzování umožňují lepidla na bázi polyuretanů (PUR) nebo emulsní polymery síťované izokyanáty (EPI). Lisovací tlak je v tomto případě od desítek minut po několik hodin. To značně prodlužuje technologickou výrobu. Z toho důvodu se vyhledává lepidla, která dokážou vytvrzovat působením tepla. Za tepla vytvrzující lepidlo například fenol formaldehyd (PF) zkrátí technologický úkon lisování na 15 minut (Karacabeyli, Gagnon, 2019).

Vhodný technologický způsob plošného nanášení lepidla je poléváním (Julien, 2010).

3.3.5 Lisování

Lisování probíhá v plošných hydraulických lisech nebo vakuových lisech. Důležitým faktorem při lisování je i vytvoření dostatečného lisovacího tlaku z boků. To z důvodu předejití vytváření mezer mezi jednotlivými lamelami v souboru, ty pak negativně ovlivňují výslednou kvalitu (Karacabeyli, Brand, 2013).

Plošné lisování v hydraulických lisech proběhne za tlaku 6 N/mm^2 v časovém rámci 20 minut (Julien, 2010).

3.3.6 Opracování hrubého panelu dle potřeb

Broušení panelů probíhá na egalizačních pásových bruskách velikost úběru z každé plochy je cca 0,25 mm. Tímto procesem získáme tloušťkově egalizovaný materiál (Julien, 2010).

Panely jsou dále opracovány na počítačem řízených strojích (CNC = computer numerical control). Opracování probíhá pomocí řetězových pil a fréz. Cílem opracování je vytvoření otvorů přesné formátování a případně příprava prostupů pro technologie (Julien, 2010).

Problém s opracováním na CNC linkách vzniká v případě, kdy chceme opracovávat některé ostré vnitřní úhly. Nedostatečná flexibilita na rozměrných deskách nebo problém s odsáváním při pohybu rezných vřeten ve stísněných podmínkách pracovního prostoru. Řešení toho problému běžných center je v robotických buňkách navržených pomocí 3D modelování (Martinez et al. 2021).

Výrobce obráběcích center SCM, který pracuje na trhu více než deset let. Neustále vyvíjí nové technologie a stroje. Mezi poslední nevyspělejší stroje patří šestiosé obráběcí centrum Oikos X, dokáže na panelu pracovat ze všech stran bez nutnosti jeho otáčení. Otáčení panelů je z principu velmi složité a technologicky náročné proto je nejlepší se mu vyhnout. Technologie

také pracuje s nástupem průmyslové revoluce 4.0 a tím s implementováním rozšířené reality do výroby, a i do přípravy (Amman, 2019).

3.3.7 Balení a export

Již hotové panely dostávají označení dle jejich dokumentace. Informace na štítku nesou označení panelu, číslo projektu, jméno klienta, název stavby. Postup pro dodržení bezpečnosti při manipulaci = upínací body pro zdvihadí techniku. Panely mohou být opatřeny ochranou fólií (Julien, 2010).

Studiemi ohledně vlivu zatížení CLT panelu povětrnostními podmínkami a následný růst mikroorganismů nejsou zatím moc rozšířené. Nicméně vliv na neochráněný panel působení vlhkosti má nezanedbatelný. V podstatě na většině staveb, kde není materiál ochráněn dochází k růstu mikroorganismů. Tomuto lze zabránit pouze kompletní ochranou proti povětrnostním vlivům. S touto informací není doposud v praxi nakládáno jako s podstatnou (Olsson, 2020).

3.3.8 Legislativa výrobku

CLT panel je kategorizován jako technický výrobek vztahují se na něj legislativní podmínky stanovené zákonem. Při dodávání na českém trhu musí mimo jiné splňovat zákony:

- Zákon 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky
- Zákon 90/2016 Sb., o posuzování shody stanovených výrobků při jejich dodávání na trh

3.4 Výhody přinášené používáním CLT panelů

Technologie křížem lepeného dřeva CLT je osvědčená metoda ve stavebnictví. Přínosy tohoto systému se ověřili používáním v jedno i vícepodlažních budovách na interiérových a konstrukčních prvcích (Causevic et al. 2021).

3.4.1 Vázání uhlíku ve stavbě

Zaměření na snižování emisí ve stavebnictví je opodstatněné. Pouze výroba těchto materiálů má za následek víc jak 10 % emisí skleníkových plynů (Zhong et al. 2021).

Kombinované stavby na bázi CLT dokážou snížit vliv na globální oteplování v porovnání s ocelobetonovými stavbami o 15-26 %. Toho je dosaženo snížením množství cementu ve stavbě (Pierobon et al. 2016).

3.4.2 Požární odolnost

Materiál se při požáru chová celistvě a odhořívá v rámci celé plochy. Tudíž trvá poměrně dlouho, než se dostane pod neúnosný průřez. Oproti běžným sloupkovým dřevostavbám bez protipožárních desek může být rozdíl více než 60 minut (Birgit Östman et al. 2018).

Důležitý princip zvýšení požární ochrany je používat kryté spoje a zamezit přímému přístupu ohně ke kovovým spojovacím prostředkům. Chráněný spoj oproti nechráněnému má

více než dvojnásobnou požární ochranu. Ochranou spoje v takovém případě může být nehořlavý materiál nebo skrytí materiálu do vnitřku dřeva (Lokaj, Varušáková, 2009).

Pokud dřevěné panely opatříme požárně odolnou deskou získáme konstrukci, která funguje i jako požárně dělicí. Po daný čas dokáže odolávat požáru a nepřispívá k rozšíření (Frangi et al. 2008).

3.4.3 Seismická odolnost

Stavby z CLT oproti klasickým dokážou odolat i zemětřesením. V testu institucí IVALSA (Trees and Timber Research Institute of Italy) v Japonsku byly vystaveny dvě budovy seismické o síle obdobné zemětřesení v japonském Kóbe z roku 1995. Obě budovy třípodlažní a sedmipodlažní test zvládly (Cvetkovic et al. 2015).

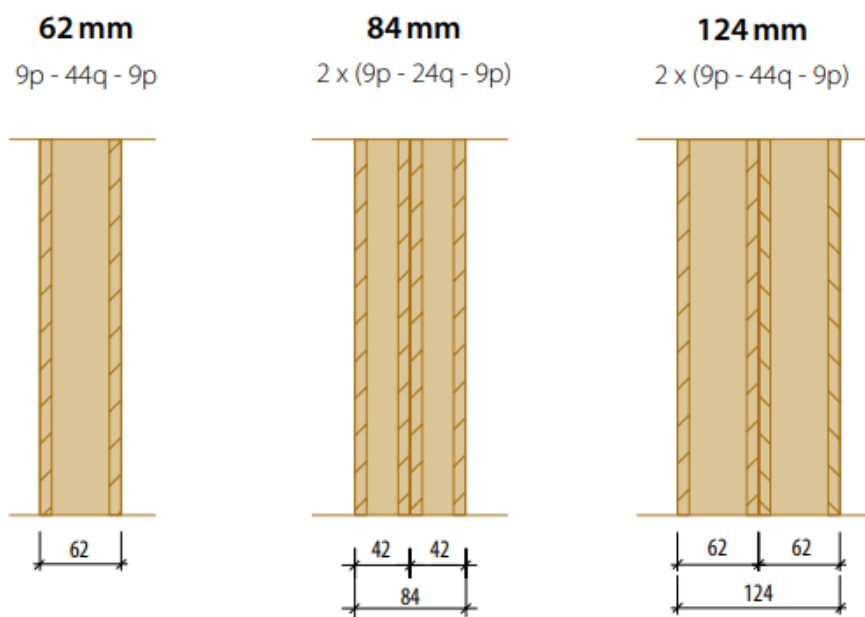
Důležitá je práce s vnitřními smykovými stěnami, které přidávají na odolnosti systému. Přidávání těchto stěn negativně neovlivňuje schopnost panelů kmitat (Lindt et al. 2019).

3.5 Vybrané CLT konstrukční systémy

Na trhu se objevuje několik systémů masivních deskových panelů CLT. Většina drží zásadu symetrie vrstev od neutrální osy, křížem orientovaných. Spojované jsou pomocí mechanických prvků nebo lepidla. Spojování pomocí lepidla je nejčastější (Kuklík et al. 2024).

3.5.1 CLT systém křížem lepený

Stavební systém dodávající kompletní řešení pro stavby. Dodávané podsystémy NOVATOPU jsou: SOLID pro stěny. ELEMENT pro stropy a OPEN pro střechy. Vstupní materiál pro jsou třívrstvé lepené desky s kolmo orientovanými vrstvami je smrkové řezivo. Základní tloušťky dle obrázku 2. jsou 62; 84; 124(2x62). Běžné rozměry panelů 2500x6000 mm a maximální 2950x12000 mm (Agrop Nova, 2024).



Obrázek 2 Varianty CLT pro stěny NOVATOPSOLID (Agrop Nova, 2024)

3.5.2 CLT spojované mechanicky

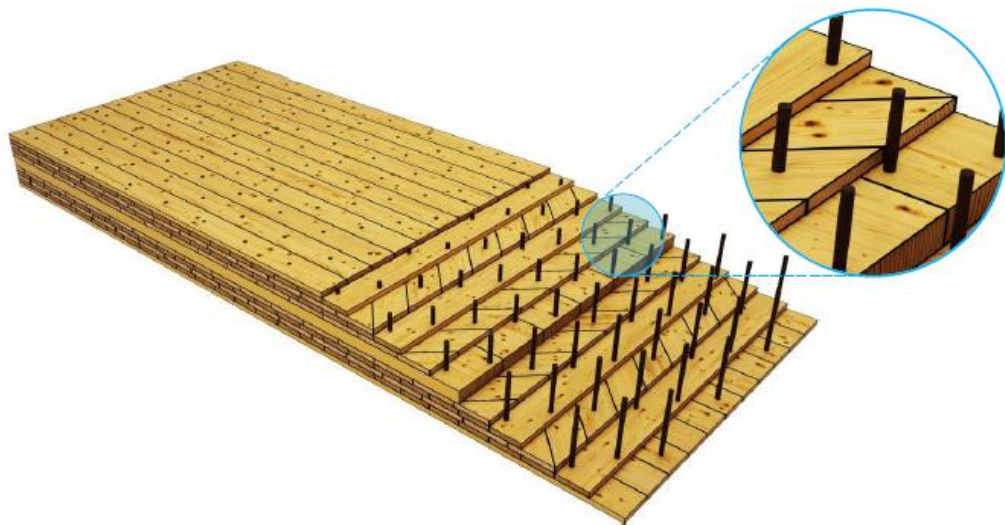
Jedná se o systém bez použití lepidla. Jednotlivé kolmo orientované vrstvy prken se k sobě šroubují pomocí vrtů. Tento systém je jedinečný díky nízké potřebě vstupní energie. Vstupní materiálem jsou egalizované prkna tloušťky 27 mm. Doporučené rozměry panelů jsou 3000x7000mm, maximální 3500x12500. Dodávané tloušťky panelů 81;108;135;189 mm. Opracování na daný rozměr panelů je na CNC linkách, kde zhotoví požadované otvory a příprava pro elektrické rozvody. (Dek, 2024)



Obrázek 3 Nepohledová strana CLT spojovaného vrty (Dek, 2024)

3.5.3 CLT systém s dřevěnými kolíky

Sytém masivních panelů, kdy jednotlivé vrstvy spojují dřevěné kolíky, obrázek 4. Tento systém je bez použití lepidla anebo jiných mechanických kovových spojovacích prostředků. Jednotlivé vrstvy je vhodné orientovat vůči sobě o 45°. Popisovaný systém masivní dřevěné stěny zobrazené na následujícím obrázku je Thoma Holz100. Jedná se o průmyslově vyráběný materiál společností Thoma (Buck et al. 2018).



Obrázek 4 Schéma jednotlivých vrstev CLT panelu Thoma Holz100 (Buck et al. 2018)

Jednotlivé vrstvy jsou vzájemně orientované v úhlu 0° a 90°. Tento způsob skládání do souboru je nejběžnějším postupem. Pokud jednotlivé vrstvy v panelu orientujeme pod vzájemným úhlem 45° dokážeme vytvořit daleko pevnější a stabilnější desku. V pevnostech tlaku je nárůst o 30 % v porovnání s běžným způsobem. To by vedlo ke snížení potřeby materiálu na danou konstrukci vzhledem ke statickému návrhu (Buck et al. 2018).

3.6 Izolační materiály pro dokončování CLT

Masivní deskové panely jsou vzhledem ke svým vlastnostem a materiálu ze kterého jsou zhotoveny již částečně tepelně izolační. V porovnání s železobetonem, se kterým si konkurují má v tomto pohledu náskok. Tento fakt vede ke snížení množství izolace před nosnou konstrukcí, a tudíž získáme větší užitný prostor (Pavlas, 2016)

3.6.1 Dřevovláknité izolační desky

Jedná se o izolační materiál vyrobený z dřevního vlákna s přídavkem parafinu případně vodního skla. Využívají se jako výplně mezi konstrukcí, a to zejména ty o nižší objemové hmotnosti (50 kg/m³). Desky s objemovou hmotností kolem 250 kg/m³ vyhovují ke kotvení větraných fasád. Díky hydrofobizačním přísadám tento materiál odolává působení vlhkosti. (Tzbinfo/3, 2024).

Izolačního materiál je definovaný dle harmonizované normy: ČSN EN 13171+A1.

Technické vlastnosti výrobku STEICOflex038 (Steico, 2024):

- součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$
- měrná tepelná kapacita $c = 2100 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$
- faktor difuzního odporu $\mu = 2$
- objemová hmotnost $\rho = 50 \text{ kg/m}^3$
- třída reakce na oheň E

Technické vlastnosti výrobku PAVATEX Isolair multi (Pavatex, 2024):

- součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,041 \text{ W/mK}$
- měrná tepelná kapacita $c = 2100 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$
- faktor difuzního odporu $\mu = 3$
- objemová hmotnost $\rho = 150 \text{ kg/m}^3$
- třída reakce na oheň E

3.6.2 Celulóza foukaná

Materiál získaný recyklací papíru. Při výrobě se přidává určité množství pojiv a retardéry hoření. Materiál je možné aplikovat suchou nebo mokrou metodou, kdy suchá je vhodná pro foukání do dutin a mokrá při foukání na plochu. Při mokré aplikaci se přidává malé množství vody, které se po aplikaci odpaří a celulóza si drží tvar bez sedání. Velká výhoda tohoto materiálu je jeho vyšší měrná tepelná kapacita přibližující se izolacím z dřevního vlákna

$c=1907 \text{ J/Kg}\cdot\text{K}$. Rychlá a spolehlivá aplikace v různých rozmezí tlouštěk a bez problémů s komplikovanými prostory (Štefko, 2004).

Technické vlastnosti výrobku STEICOzell (Steico, 2024):

- součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,038 \text{ W/mK}$
- měrná tepelná kapacita $c = 2100 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$
- faktor difuzního odporu $\mu = 1-2$
- objemová hmotnost $\rho = 32-38$ (volné uložení) / $35-45$ (vyplnění dutin) kg/m^3
- třída reakce na oheň E

3.6.3 Kamenná vlna

Kamenná vlna se vyrábí ve dvou standardech, a to jako deska nebo role. Desky mají obecně vyšší pevnost a z toho důvodu se využívají na kontaktní fasády nebo do provětrávaných konstrukcí fasád. Rohože jsou měkčí, a to se využije především při vyplňování mezi dřevěnou konstrukcí a za potřeby lepšího akustického útlumu. Vlna také dosahuje výborných výsledků jako protipožární materiál s nízkou reakcí na oheň. (Tzbinfo/4, 2024).

Izolačního materiál je definovaný dle harmonizované normy: ČSN EN 13162+A1.

Technické vlastnosti výrobku Isover UNI (Isover, 2024):

- součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$
- měrná tepelná kapacita $c = 800 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$
- faktor difuzního odporu $\mu = 1$
- objemová hmotnost $\rho = 40 \text{ kg/m}^3$
- třída reakce na oheň A1

3.6.4 Polystyrén extrudovaný XPS

Materiál označený EXP a číslem udávající pevnost při 10 % stlačení. Výhoda tohoto materiálu oproti jiným druhům polystyrénu je vyšší pevnost a uzavřená buněčná struktura. Použití je tedy vhodné na detaily soklů v přechodu mezi zemí a stěnou stavby. Zde využijeme přednosti tohoto materiálu. Materiál se nevyznačuje dobrými požárními vlastnostmi. (Tzbinfo/1, 2024).

Izolačního materiál je definovaný dle harmonizované normy: ČSN EN 13164+A1.

Technické vlastnosti výrobku FIBRANxps 300-L (Fibran, 2024):

- součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$
- faktor difuzního odporu $\mu = 150$
- objemová hmotnost $\rho = 30$ až 150 kg/m^3
- třída reakce na oheň E

3.6.5 Polystyrén expandovaný EPS

Jeden z nejpoužívanějších typů izolace ve stavebnictví s širokým polem působení. Používá se na izolaci podlah pochozích střech anebo fasád. Hodnota uvedená za označením EPS udává pevnost při 10 % stlačení (Tzbinfo/1, 2024).

Izolačního materiálu je definovaný dle harmonizované normy: ČSN EN 13163+A2.

Technické vlastnosti výrobku EPS 100 (ISOVER, 2024):

- součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,037 \text{ W/mK}$
- měrná tepelná kapacita $c = 1270 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$
- faktor difuzního odporu $\mu = 30-70$
- objemová hmotnost běžně užívaného EPS $\rho = 18-20 \text{ kg/m}^3$
- třída reakce na oheň E

3.6.6 Štěrk z pěnového skla

Drcené pěno sklo se vyrábí ze surového nového skla nebo recyklát z vytríděného skla. Jedná se o nenasákavý materiál výborných protipožárních vlastností. S využitím při rekonstrukcích podlah nebo u novostaveb při zhotovování plovoucích desek na izolaci (Tzbinfo/2, 2024).

Izolačního materiálu je definovaný dle harmonizované normy: ČSN EN 13055-2.

Technické vlastnosti výrobku drceného pěno skla REFAGLASS (REFAGLASS,2024):

- součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,075 \text{ W/mK}$
- faktor difuzního odporu – zrna parotěsná, zásyp jako celek zcela prodyšný
- sypná hmotnost $\rho = 145-165 \text{ kg/m}^3$
- třída reakce na oheň A1

3.7 Konstrukční materiály pro dokončování CLT

3.7.1 KVH – Konstruktionsvollholz

Konstrukční dřevo tzv. KVH (Konstruktionsvollholz) je nejčastěji používaný konstrukční materiál. Jedná se o tříděné hoblované dřevěné lamely spojené mikro ozubem. Dle označení máme dvě kvality pohledové označujeme Si a nepohledové označujeme NSi. Použití materiálu je na většinu běžných konstrukcí stropu, stěn a střech (Herzog et al. 2012).

3.7.2 LVL

Jedná se o materiál vyrobený ze smrkové dýhy tloušťky 3 mm. Pásky dýh se na sebe vrství s vzájemným překrýváním spojuje se lepidlem. Oproti KVH zde není mikro ozubový spoj a materiál je certifikovaný na větší přípustné napětí. U toho průmyslově vyráběného materiálu dokážeme snížit jeho ortotropní vlastnosti a navrhovat prvky s větší efektivitou (Herzog, 2004).

3.7.3 I nosníky dřevěné

Nosník složený z horní a spodní pásnice a stojny do tvaru písmene I, z toho odvozený název I – nosník. Pásnice jsou zhotoveny nejčastěji z KVH či LVL konstrukčního materiálu. Stojna je z deskového (OSB, DHF) nebo z KVH. Spojování těchto tří částí se realizuje lepeným, sbíjeným, nebo případně šroubovým spojem. Výhoda tohoto materiálu je především vyšší pevnost vůči hmotnosti v daném průřezu. Zmenšením průřezu v oblasti stojny, kde nám průřez přenáší převážně smykové napětí, vznikne prostor pro izolaci a tím snižuje systematické tepelné mosty skladby (Jelínek, 2012).

3.7.4 BSH – Brettschichtholz

Konstrukční materiál BSH neboli glulam (glued laminated timber) česky lepené lamelové dřevo. Jednotlivé lamely jsou délkově a tloušťkově nastavovány, a to do minimálně třech vrstev, přičemž krajní lamely mají z pravidla vyšší pevnost. Povrch je dokončený frézováním případně broušením. Běžné dimenze tloušťky 60-220 mm a výšky průřezu 100-2000 mm délka dle možností výroby a přepravy 13 m nebo až 30-60 m. Materiál je možné vyrobit s proměnou výškou průřezu nebo jako lomený či s jiným požadovaným tvarem. Využití najde především u větších a pohledových nosnících. V tomto ohledu eliminuje materiál růstové vady běžné v rostlém masivním dřevě a zároveň oproti KVH umožňuje i stabilitu větších průřezů. (Herzog et al. 2012)

3.7.5 Desky OSB

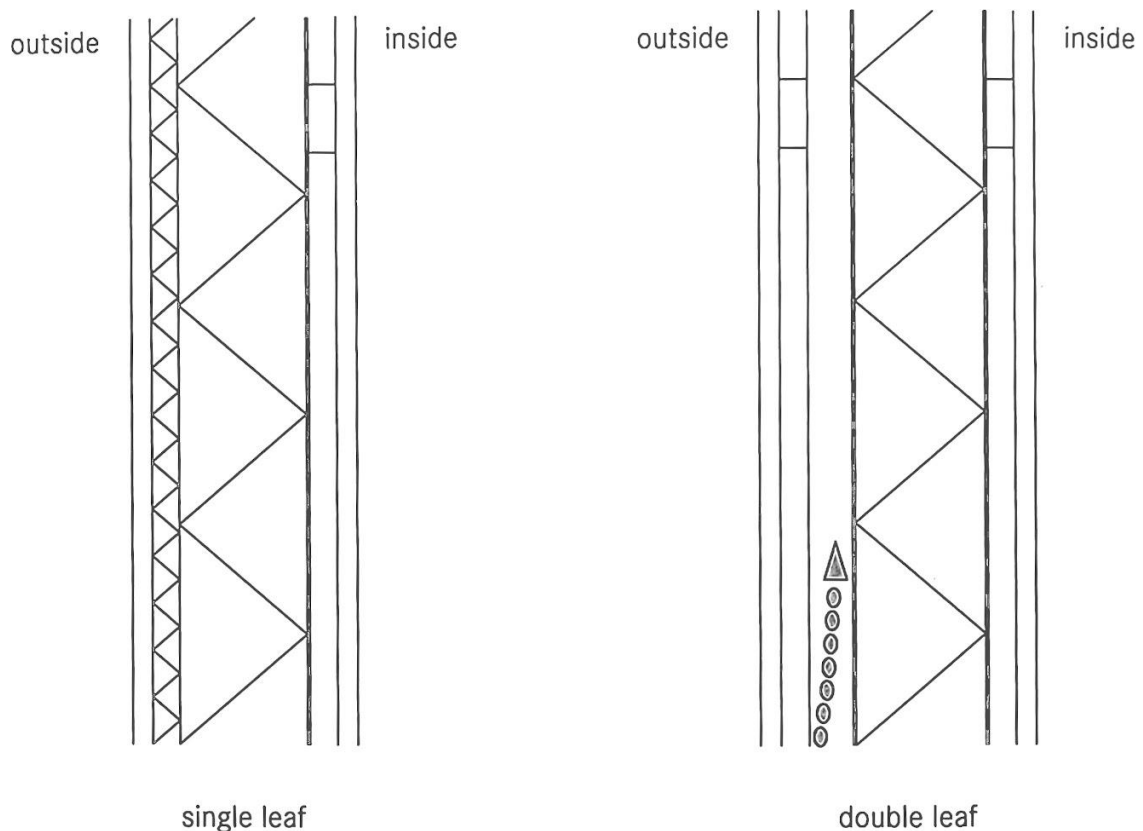
Velkoplošný konstrukční materiál vyráběný orientováním jednotlivých větších třísek do souboru následně lisování s použitím malého množství lepidla. Název této desky vychází z anglického Oriented Strand Board (OSB) deska s orientovanými třísky. Materiál, který najde své uplatnění v konstrukcích podlah stěn i stropů a střeche. Přednosti jsou: dobré mechanické vlastnosti (horší než překližka ale lepší než dřevotřísková deska), dokáže přenášet smykové zatížení, dobrá opracovatelnost a spojovatelnost. (Štefko et al. 2006)

3.7.6 Desky sádrovláknité

Velkoplošný deskový konstrukční materiál, základní vstupní surovinou je celulózové vlákno a sádra. Materiál se vyznačuje skvělými protipožárními vlastnostmi a také dobrými konstrukčními vlastnostmi. Deska má využití jako konstrukční nebo ji lze uplatit i jako finální interiérovou po dokončení vnitřní omítky. Oproti běžnějším sádrokartonům se vyznačují vyšší objemovou hmotností a pevností. Tyto vlastnosti vedou k lepšímu výsledku z pohledu akustiky a letního přehřívání stavby, zároveň deska přenesení větší zatížení od zavěšených břemen jako jsou kuchyňské linky, různé poličky či knihovny (Zahradníček, Horák, 2011).

3.8 Použití systému CLT ve stavbě

Jeden ze způsobů, jak dělit exteriérové konstrukce je podle počtu pláští, a to na jednoplášťové (single leaf) nebo dvouplášťové (double leaf). Kdy plášť má vždy definovanou funkci ochrany stavby. Vnitřní plášť z vnitřního (inside) pohledu má funkci nosnou, tepelně izolační, vzduchotěsnou, proti větrovou. Vnější plášť z venkovního (outside) pohledu ochraňuje proti vodě, povětrnostním vlivům a ventiluje vodní páru difundovanou konstrukcí. V případě jednoplášťových konstrukcí je vnitřní a vnější část spojená bez větrané mezery. Dvouplášťové konstrukce jsou v tomto pohledu dokonalejší a oddělují jednotlivé pláště větranou mezerou, konstrukce jsou zobrazené na obrázku 5 (Steiger et al.2020).

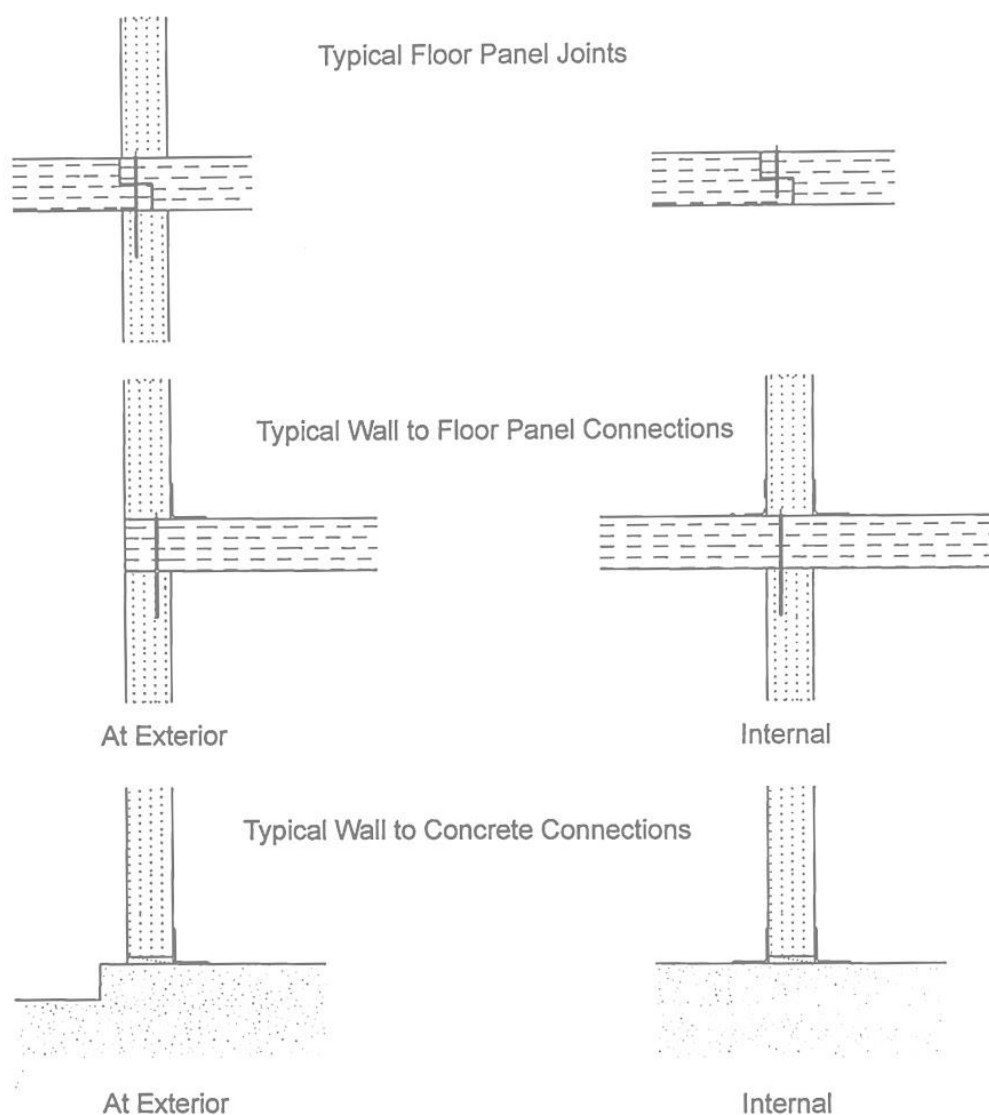


Obrázek 5 Jednoplášťové a dvouplášťové konstrukce stěn (Steiger et al. 2020)

Z masivních dřevěných panelů se zhotovují nosné konstrukce pro stěny stropy a střechy. Panely reprezentují vzduchotěsnou rovina konstrukce, pokud jsou vzájemně dostatečně propojeny. Následně se provádějí vrstvy izolační a ochranné. Rozumné je vést instalace připravenými otvory v masivních panelech dle požadavků. Alternativa k masivním dřevěným panelům je vytvoření bloku pomocí dvou desek a vnitřních žebek. Tento systém je vhodný pro použití pro všechny konstrukce, přednostně se využívá pro stropy a střechy. Ve stropech je možné v dutinách vést instalace a dutiny jsou dle potřeby vyplněné izolačním materiálem (Vaverka, 2008).

3.8.1 Konstrukční principy spoje CLT panelů

Masivní dřevěné panely se prefabrikují a následně dováží na stavbu z toho důvodu je jejich velikost omezena přepravními možnostmi. Panely se dále na stavbě spojují konstrukčními inženýrskými spoji, které mají definované tuhosti v návaznosti na statický výpočet. Na následujícím obrázku 6. jsou zobrazeny základní detaily řešené při spojování těchto panelů mezi sebou a k ostatním konstrukcím jako jsou základové desky (Mayo et al. 2015).



Obrázek 6 Řešené konstrukční spoje CLT panelů (Mayo, 2015)

Popis obrázku 6.:

- Typical Floor Panel Joints = typický spoj panelů podlahy. Pomocí definovaných vrutů ve volném prostoru nebo pod příčkou.
- Typical Wall to Floor Panel Connection = typický spoj panelu stěny a podlahy. Pomocí definovaných vrutů a ocelových úhelníků.
- Typical Wall to Concrete Connection = typický spoj stěny a betonové desky. Detail proveden pomocí úhelníků v exteriéru (At Exterior) a interiéru (Internal).

3.8.2 Mechanické spojovacími prostředky ve spoji CLT

Základní rozdělení spojů s mechanickými spojovacími prostředky je na dvě skupiny. První je spojovací prostředky kolíkového typu, jedná se především o hřebíky sponky, svorníky, kolíky a vruty. Tyto spoje jsou při namáhání zatlačeny do dřeva a ohýbány. Druhá skupina spojovací prostředky povrchového typu, kdy se jedná především o desky, desky s prolisovanými trny a hmoždíky. K přenosu zatížení na tomto typu spoje dochází při povrchu daného konstrukčního dílu. Tyto prvky jsou zalisovány nebo vloženy do dřeva (Kuklík, 2005).

Vzhledem k charakteru masivní dřevěných panelů je nutné při montáži jejich vzájemné spojení. Vhodné spojovací prostředky jsou ocelové desky nebo úhelníky s tím spojené vruty, hřebíky nebo kolíky další možností jsou dlouhé samořezné vruty (Karacabeyli, Brand, 2013).

Vruty

Spoje s vruty využívají závit na dřívku, takže oproti hřebíkovým vynikají vyšší pevností na tah (Štefko, 2004).

Únosnost spoje s vruty lze navrhnout dle normy ČSN 731702. Posouzení a stanovení pevnosti závisí na několika proměnných. Posuzované vlastnosti (Krämer et al. 2011):

- pevnost materiálu, otláčení stěn otvoru
- mez kluzu, pevnost v tahu ocele
- únosnost dřevěných prvků
- rozštěpení dřevěných prvků
- lanový efekt spoje, schopnost odolávat vytažení, závisí na hustotě dřeva a velikosti hlavy spojovacího prostředku, případně na délce jeho závitu

Hřebíky

Příčně namáhané hřebíkové spoje rozdělujeme na dvě skupiny, a to hřebíky jednostřížné a dvojstřížné. Pokud máme dřevěný materiál s větší hustotou než 500 kg/m^3 spoj by měl být předvrtaný. Minimální hloubka zaražení hřebíku do připojovaného materiálu je 8 průměrů u hladkého hřebíku a 6 průměrů u kroužkového (Kuklík, 1997).

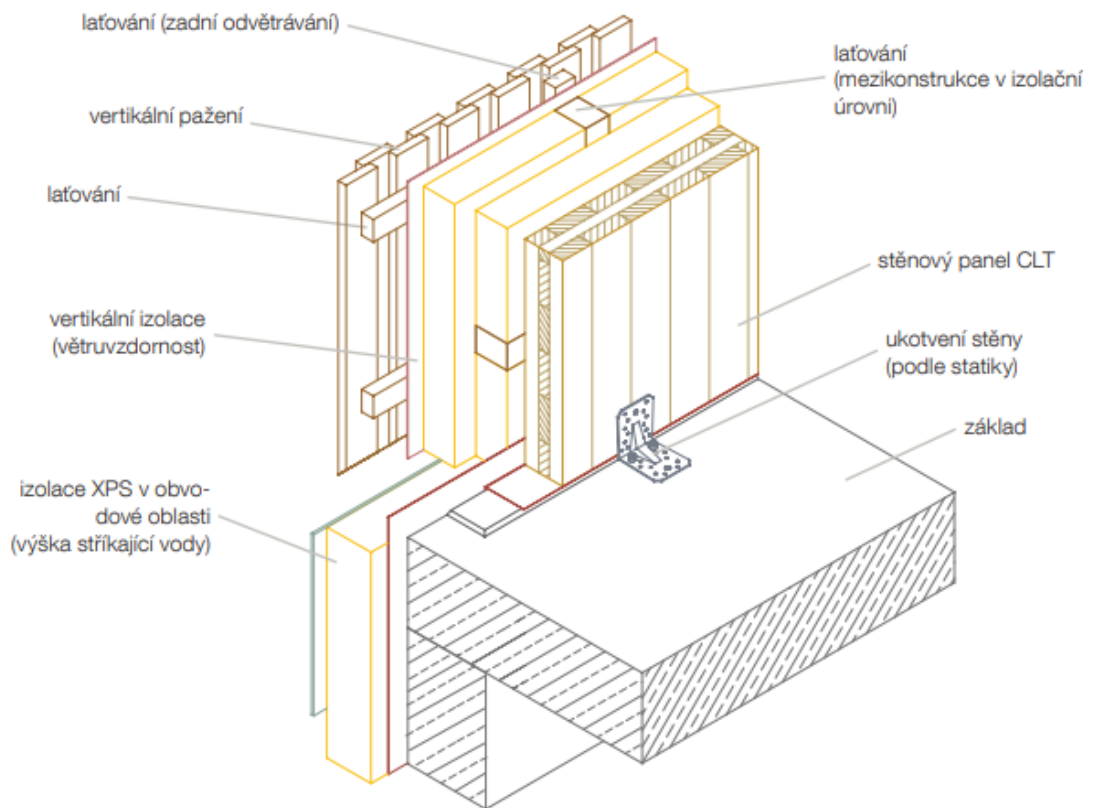
Ocelové desky nebo plechy

Používají se jako skryté nebo viditelné spoje. Z estetického hlediska je lepší použití plechu do drážky. S dřevěným materiálem je ideální kombinovat pomocí ocelových kolíků (Štefko, 2004).

V případě viditelných spojů, které jsou exponované povětrnostním vlivům je podstatné učinit opatření proti vnikání vody do dřeva. Případně je nutné posoudit, zda kov lze použít s daným materiálem a jeho povrchovou úpravou při působení vyšší vlhkosti (Koželouh, 2007).

3.8.3 Vybrané detaily CLT stavby

Detail založení u paty stavby obrázek: 7



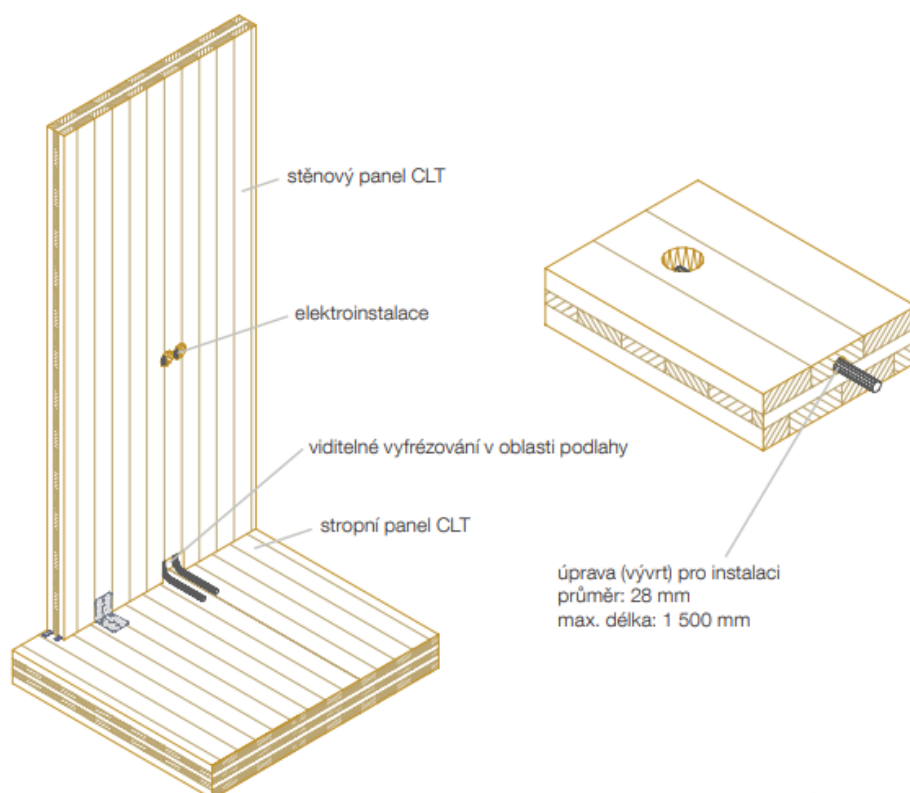
Obrázek 7 Detail založení CLT na železobetonové desce (Storaenso, 2012)

Provedení průstupů elektroinstalace v praxi obrázek: 8



Obrázek 8 Příprava elektro-instalace zhotovená na CNC stroji (autor)

Provedení prostupů elektroinstalace – teoretické obrázek: 9



Obrázek 9 Příprava zhotovená na CNC stroji pro prostup elektroinstalace (Storaenso, 2012)

Akustické řešení ve spojkách stěna a strop pomocí podložky obrázek: 10

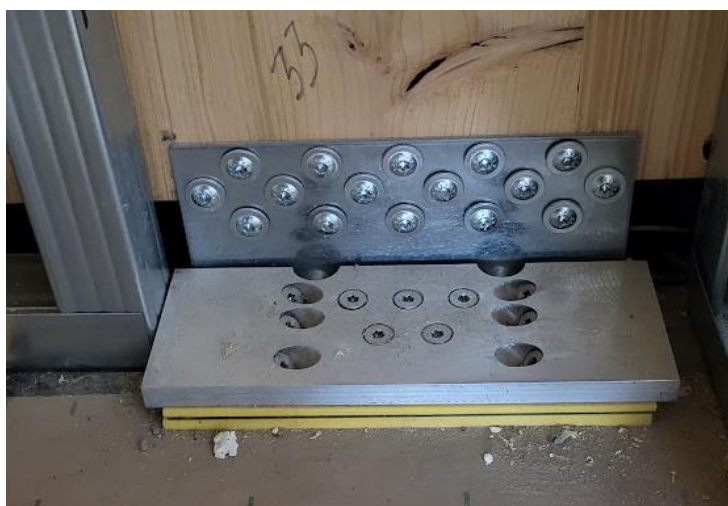


Obrázek 10 Vložení podložky do napojení vodorovných svislých konstrukcí (autor)

Kotvení CLT panelů pomocí mechanických kotev obrázek: 11;12;13



Obrázek 11 Detail použití tahové kotvy (autor)



Obrázek 12 Detail použití smykové kotvy (autor)



Obrázek 13 Detail rohového spojení dvou panelů s akustickou podložkou (autor)

3.9 Zakládání pasivních dřevostaveb

Zakládání staveb je klíčovým prvkem stavebního procesu, který má zásadní vliv na stabilitu a dlouhodobou udržitelnost stavby. Úlohou základových konstrukcí je přenášet zatížení stavby přes základovou spáru do únosného podloží. Další funkcí je izolace proti vodě radonu a samotná tepelná izolace zabraňující tepelným ztrátám objektu (Remeš, 2014).

Existuje několik různých metod zakládání pasivních staveb, z nichž každá má své vlastní charakteristiky a výhody. Následující kapitola se zaměřuje na tři hlavní způsoby zakládání dřevěných pasivních staveb: železobetonovou desku s pásy, plovoucí železobetonovou desku a crawl space s použitím zemních vrutů. Každá z těchto metod má své specifické vlastnosti, které je důležité zvážit při plánování a realizaci stavby (Brotánek, 2010).

3.9.1 Základové pasy a deska

Železobetonová deska s pásy je tradičním způsobem zakládání, který poskytuje pevný a stabilní základ. Při této metodě jsou pod základy stavby umístěny betonové pasové základy, které jsou podpora pro desku samotnou. Tento způsob je vhodný do většiny základových podmínek. Pro dřevěné konstrukce je většinou naddimenzovaný svým potenciálem (Růžička, 2014).

Tento způsob zakládání není již vzhledem k novějším způsobům vždy ten nejefektivnější a nejlevnější, při zakládání pasivních staveb. V určitých případech vede nevhodné řešení založení stavby tímto systémem k zvýšení potřeby tepla na vytápění o 10-15 %. Problematické jsou především detaily u paty založení, v místě příček nebo schodiště. Prvky, které tyto problémy eliminují výrazně prodražují stavbu případně přidávají na technologické problematice provedení daného detailu (Hazucha, 2016).

3.9.2 Plovoucí deska

Plovoucí železobetonová deska je modernějším přístupem k zakládání dřevěných staveb, který se v regionálních podmínkách zřídka používá. Při této metodě je základová deska stavby umístěna na izolaci. Izolační vrstva je zhotovena dvojitým způsobem, a to jako deskový materiál například tvrzený polystyrén XPS nebo jako drcené pěno sklo ve formě granulátu. Vhodné použití především pro rovinaté pozemky nebo je nutnost podstatných zemních prací (Růžička, 2014).

Na základě provedení inženýrskogeologického a hydrogeologického průzkumu se navrhne tloušťka základové desky v rozmezí 200–300 mm. V případě použití izolace drceným pěnovým sklem je nutné zhuštění na požadovanou únosnost. U deskových izolací se používá materiál o pevnosti v tlaku 300kPa. Únosnost izolačního materiálu stejně jako únosnost zeminy musí být podložena statickým výpočtem. Tyto systémy zejména s drcenou izolací nejsou vhodné pro realizaci v jílovitém podloží kvůli stahování vody do izolace. To by mělo za následek snížení schopnosti izolovat (Kubečková, Kubečka, 2016).

Drcený granulát pěnového skla má součinitel tepelné vodivosti 0,075 W/mK a únosnost až 1,3 MPa. Tyto vlastnosti jsou více než vhodné k použití na izolování spodních staveb. Pokud je terén upraven a vyspádován je materiál funkční drenážní vrstvou (Bohuslávek, 2011).

Využití pěnového skla není problém ani pro větší stavby. Příklad využití založení pasivní stavby mateřské školky Slivenec na pěno skle. Konstrukční systém stavby je železobeton opláštěný dřevěnými sloupky s izolací. Na realizaci se potvrdila vhodnost materiálu i pro rozlohou větší stavby oproti rodinným domům, důraz byl kladen na správné hutnění a provedení hydroizolační vrstvy v rámci železobetonové desky (Čech, 2013).

3.9.3 Zemní vruty – crawl space

Termín "crawl space" neboli "prostor pro plížení" označuje prostor pod budovou, který je určen k inspekci a případným opravám konstrukcí a instalací provedených v tomto prostoru. Je zásadní, aby tato oblast splňovala specifické požadavky týkající se minimální výšky, která je obvykle stanovena kolem 60 cm. Tato výška umožňuje efektivní přístup pro provádění kontrol a údržby. Nicméně, normy a standardy mohou stanovit odlišné minimální výšky s ohledem na další faktory, jako jsou požadavky na ventilaci, celkový typ pozemku a charakteristická vlhkost zeminy v daném místě. Navzdory zdánlivé jednoduchosti přináší tento systém některé problémy, které je třeba uvažovat. Mohou se vyskytnout problémy, jako je hromadění vlhkosti, růst plísní a škůdci, zejména pokud není prostor "pro plížení" správně navržen, instalován nebo udržován. Mohou existovat nejasnosti ohledně jeho účinnosti v určitých podmínkách prostředí, zejména ve složitém terénu nebo v oblastech náchylných k záplavám (Šála, Smola, 2013).

Využití systému "crawl space" spočívá vytvoření provětrávané mezery mezi stavbou a terénem, čímž se minimalizuje jejich kontakt.

Zemní vruty představují inovativní alternativu k tradičnímu způsobu zakládání dřevěných staveb na základové desce. Podobně jako základové patky umožňují zemní vruty vytvoření pevného a stabilního základu pro stavbu, avšak s mnoha dalšími výhodami a přizpůsobivostí různým podmínkám. Tato metoda založení se využívá ve spojení s konceptem crawl space. Díky umístění stavby nad terénem odpadá potřeba hydroizolace a jinak potřebné ochrany proti radonu. Další výhodou této metody je ekologický a udržitelný přístup k zakládání staveb. Minimalizací kontaktu stavby s terénem se snižuje potenciální škodlivý vliv na okolní prostředí. Zemní vruty rovněž umožňují snadnou demontáž a recyklaci, což je v souladu s moderními ekologickými trendy ve stavebnictví (Růžička, 2014).

Hlavní výhodou se jeví rychlost založení. Nemusí se čekat na vytvrzení betonu a montáž proběhne během jednoho dne, tím se minimalizují náklady na přepravu oproti tradičním metodám. Nevýhoda toho systému je, že není vhodný pro všechny typy půd, protože mění své vlastnosti v ohledu na únosnost zeminy a musí se to zohlednit při návrhu. Před stavbou je nutné provést „zemní tahovou zkoušku“ v daném místě stavby. Tato zkouška nahrazuje geologický průzkum půdy a je vyhodnocována dle normy Eurokód 7: EN1997-1. Mimo jiné zemní vruty mohou sloužit i jako hromosvod. (Kinner, 2018).

Rozdělení zemních vrutů lze provést do dvou hlavních kategorií: ruční zemní vruty a vruty vyžadující odbornou montáž. Ruční zemní vruty jsou vhodné pro menší konstrukce jako jsou ploty, terasy nebo pergoly a instalují se pomocí ručního náradí. Druhá kategorie, vruty vyžadující odbornou montáž jsou určeny pro náročnější stavby a instalují se pomocí speciální techniky a mobilních strojů. Tyto vruty jsou vhodné pro podstavby pod rodinné domy, rekreační objekty nebo chaty a poskytují vyšší únosnost a stabilitu. Části zemního vrutu jsou obdobné klasickým vrutům: závit, dřík a hlava. Závit ovlivňuje únosnost vrutu při spojení se zeminou a také náročnost na jeho zašroubování. Dřík ovlivňuje únosnost vrutu jako takového dále případné náběhy a změny průměru ovlivňují také únosnost v zemině. Typ hlavy se volí v návaznosti na připojovanou konstrukci (Bez betonu, 2024).

3.10 BIM modelování

Informační modelování budov (BIM) představuje revoluční přístup ve stavebnictví, který zásadně mění způsob plánování, navrhování, výstavby a správy budov a infrastruktury. Tento koncept přesahuje pouhé 3D modely budov a zahrnuje vytváření digitálních informačních modelů, které integrují relevantní data a informace o budovách od jejich návrhu až po provoz a údržbu. BIM je proces, který umožňuje stavebním odborníkům, včetně stavitelů, architektů, inženýrů a dalších, spolupracovat na jednotném digitálním modelu budovy. Tento model obsahuje nejen geometrické informace, ale také údaje o materiálech, časových plánech, nákladech, energetické účinnosti a dalších aspektech. BIM proto usnadňuje zlepšení efektivity, kvality a udržitelnosti ve všech fázích životního cyklu budovy. Projektování v BIM není o jediném programu, ale o sdílení informací ve všech potřebných částech stavby (Matějka et al. 2012).

Využití ve stavebnictví (Dufek et al. 2018) (Calquin et al. 2024) (Gharaibeh et al. 2023):

- Plánování a projektování: BIM umožňuje architektům a projektantům vytvářet komplexní digitální modely budov již v raných fázích projektu. To umožňuje lepší vizualizaci, analýzu a simulaci různých variant návrhu, což vede k informovaným rozhodnutím a optimalizaci nákladů.
- Koordinační řízení: Díky BIM je snadné koordinovat různé obory a odborníky zapojené do projektu. Elektrické, mechanické a konstrukční prvky lze integrovat do jediného modelu, což minimalizuje konflikty a umožňuje lepší plánování výstavby.
- Kontrola kvality: BIM usnadňuje analýzu a simulaci různých scénářů, čímž pomáhá identifikovat a řešit potenciální problémy již v rané fázi projektu. Tím se snižuje riziko chyb a zlepšuje celková kvalita výsledné stavby.
- Řízení a dokumentace: BIM poskytuje komplexní digitální dokumentaci o stavbě, která je snadno aktualizovatelná a přenositelná. To zefektivňuje správu budovy během provozu a údržby a umožňuje rychleji a efektivněji reagovat na změny a potřeby.
- Udržitelnost a energetická účinnost: BIM umožňuje provádět analýzy energetické účinnosti a optimalizovat návrhy budov tak, aby byly energeticky účinnější a šetrnější k životnímu prostředí. To pomáhá snižovat provozní náklady a zlepšuje udržitelnost budov.

Nejpoužívanější přenosový typ souboru je IFC. IFC je zkratka pro Industry Foundation Classes a v kontextu informačního modelování budov (BIM) označuje standardizovaný formát souborů používaný pro výměnu a sdílení dat mezi různými softwarovými aplikacemi BIM. Jednou z klíčových vlastností standardu IFC je jeho schopnost reprezentovat stavební prvky a jejich vlastnosti neutrálním a na platformě nezávislým způsobem. To znamená, že bez ohledu na software použitý k vytvoření nebo zobrazení souboru IFC budou data přesně interpretována a zobrazena. Soubory IFC mohou obsahovat informace o geometrii budovy, prostorových vztazích, materiálech, vlastnostech a další. Jsou využívány jako společný jazyk, který umožňuje různým zúčastněným stranám, jako jsou architekti, inženýři, dodavatelé a správci budov, vyměňovat si informace bez ztráty věrnosti dat nebo problémů s kompatibilitou (Sacks et al. 2018).

Budoucnost BIM projektování je neustále se vyvíjející technologie a její význam ve stavebnictví roste. S rostoucím důrazem na efektivitu, udržitelnost a digitalizaci ve stavebnictví se očekává, že se používání BIM ještě více rozšíří a stane se nezbytnou součástí každého stavebního projektu. Je pravděpodobné, že BIM se bude dále integrovat s dalšími technologiemi (umělá inteligence, internet) aby se dále zvýšila efektivita a kvalita ve stavebnictví. V budoucnu se předpokládá že stavby budou pomocí online prostředí schopny komunikace a sdílení potřebných dat o svém aktuálním stavu (Ingram, 2020).

Závěrem, BIM představuje skutečnou revoluci ve stavebnictví, revoluci, kterou nazýváme jako průmysl 4.0. Mění paradigma plánování, projektování a řízení staveb. Jeho využití přináší řadu výhod, včetně vyšší efektivity, kvality a udržitelnosti ve stavebnictví, a je klíčovým faktorem úspěchu moderních stavebních projektů. Jeho integrace s dřevěnými konstrukcemi a CNC technologií navíc otevírá nové možnosti pro udržitelné a efektivní stavební postupy (Rahimian et al. 2022).

Dle legislativy České republiky se původně mělo zavést povinné implementování BIMu od roku 2024 do veřejných zakázek (dle zákona č. 134/2016 Sb.). Však datum se z důvodu technické nepřipravenosti posune minimálně o rok. V domácím prostředí je zatím způsob BIM modelování a spolupráce doménou větších korporátních firem (Foral, 2022).

4 Metodika

Na základě výchozí studie byl proveden návrh nosné konstrukce a konstrukčních skladeb z CLT panelů. S ohledem na požadavky tvarové, dispoziční, konstrukční a materiálové.

Prvně byl zhotoven návrh daných konstrukčních skladeb s posouzením tepelně technických vlastností. Posouzení bude jednodimenzionální v programu TEPLO Svoboda 2017.

Stavebně konstrukční řešení střešní konstrukce bude proveden návrh zastřešení a následné posouzení jednotlivých prvků. Posouzení bude provedeno s ohledem na vlastní zatížení konstrukce a zatížení definované místem stavby (sníh, vítr). Statický posudek se doporučuje provést v programu FINE EC.

Celá stavba bude součástí 3D BIM modelu v programu CadWork. Tento proces zahrne vytvoření komplexního digitálního modelu, který bude sloužit jako základ pro výrobní, realizační a montážní dokumentaci nosné části obvodové stěny, přičemž bude zajištěna kompatibilita s dalšími softwarovými nástroji a standardy.

Na projektu není vypracovaná dokumentace technického zařízení budov. Projekt se jimi nezbývá, ale zároveň jejich doplnění je technicky možné. Konstrukční systém lze kombinovat s moderními nároky na technické zařízení budov. Projekt dále nenese všechny požadavky na výkresovou dokumentaci dle vyhlášky č. 499-2006 Sb a to především z účelu projektové dokumentace. Požadavky jsou kladené na dokumentaci pro stavební povolení a dokumentaci pro provedení stavby nikoliv však pro realizační dokumentaci. Z důvodu přehlednosti a zavedených standardů se od těchto požadavků realizační dokumentace odklání minimálně.

Sestavení rozpočtu stavby na vybrané části projektu byl proveden na základě detailních propočtů nákladů a zahrnutí potřebných materiálů a pracovních sil. Tento proces zahrnuje systematické zhodnocení finančních potřeb projektu s ohledem na jeho specifické požadavky a parametry.

Grafická vizualizace projektu byla realizována s cílem poskytnout přehlednou prezentaci vzhledu navrhované stavby. Tento proces zahrnul vytvoření grafických vizualizací, jako důležitý nástroj pro komunikaci a prezentaci projektu.

Porovnání založení objektu z hlediska harmonogramu výstavby, náročnosti výroby a pořizovací ceny bylo provedeno s důkladným zohledněním relevantních faktorů. Tento proces zahrne analýzu betonové desky, zemnicích vrutů a pěno-skla, včetně tepelných posudků a logistiky, s cílem identifikovat nejvhodnější možnosti pro daný projekt.

Celkově tento metodický postup poskytuje strukturovaný a systematický rámec pro provedení jednotlivých fází projektu s důrazem na detailnost, přesnost a efektivitu v každém kroku procesu.

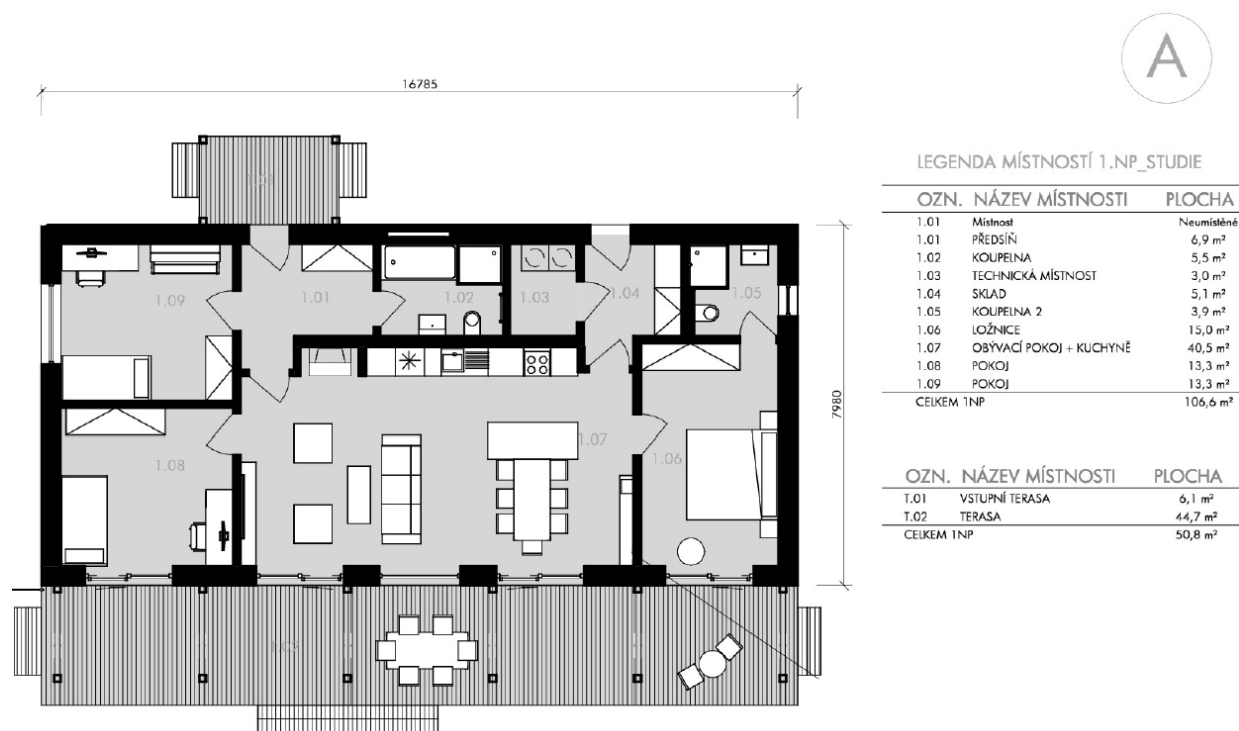
5 Výsledky

Kapitola výsledků popisuje části, kterými se práce zabývá a odkazuje na přílohy. Dále zhodnocuje dosažené výsledky, případně porovnává předložené možnosti. Práce byla založena na dané studii s cílem vytvoření projektu pro realizaci stavby. S tím souvisejících posudků daných konstrukcí a detailů.

Záměrem diplomové práce je vytvoření 3D BIM modelu v programu CADWORK. Práce v BIM prostředí spolu s přenosem jednotlivých dat mezi externími programy.

5.1 Výchozí studie

Studie, koncept domu firmy VESPERHOMES s.r.o, byla využita jako zadání práce. Projekt z ní vycházel a byl vypracován do formy realizační dokumentace stavby, podle které je možné daný objekt zhotovit. Na obrázku 14. dispoziční půdorys 1.NP s perspektivním pohledem v příloze [A_STUDIE]. Tyto podklady jsou důležité dodržet k zachování celkového rázu budovy.



Obrázek 14 Studie 1.NP řešené stavby (příloha A_STUDIE)

5.2 Průvodní, souhrnné a technické zprávy

Část dokumentace pro stavební povolení technický text a popis stavby. Tato část dokumentace je nezbytná pro podání stavebního povolení, dle vyhlášky 499/2006 Sb. V rámci DP jsou tyto zprávy zpracované pro tento účel. Zprávy jsou přiloženy v přílohách [B_ZPRÁVY]. Zde jsou uvedeny základní informace o stavbě z průvodní zprávy.

Zprávy odkazují na technické vyhlášky a podrobnosti stavby které nejsou čitelné z výkresové dokumentace. Z toho důvodu jsou nedílnou důležitou částí práce.

Název akce: RD DÍRNÁ

Stavebník: Jan Novák
Norská 420/2, 395 01 Pacov
Pavλίna Nováková
Norská 420/2, 395 01 Pacov

Místo stavby: parcela
obec: Dírná [552208]
kat. území: Dírná [626091]

Zodpovědný projektant: Daniel Mareš
Dobrovodská 200
395 01 Pacov

5.3 Situační schémata

Projekt je situován v k.ú. Dírná [626091] na parcele č.: 235/4 více na obrázku 15. Dané místo lze dohledat pomocí globálních souřadnic GPS: 49.2465183N, 14.8468369E.

Dokumentace zohledňuje místní předpisy a požadavky. Jedná se o oblast určenou k výstavbě rodinných domů. Rovinatý pozemek vhodný pro přízemní domy. V rámci požadavků na pasivní domy je stavba orientovaná obytnými místnostmi s okny na jižní stranu. Přílohy s jednotlivými výkresy [C_SITUAČNÍ VÝKRESY].



Obrázek 15 Katastrální snímek řešeného území (mapy.cz) (příloha C_SITUAČNÍ VÝKRESY)

5.4 Konstrukční skladby rodinného domu

Kapitola konstrukčních skladeb definuje použité skladby a jejich umístění v konstrukci. Při výběru bylo dbáno na použití přírodních materiálů. Přírodní materiály jsou rozuměny takové materiály, které jsou z podstatné části ze dřeva jako vstupní suroviny. Investor s danou myšlenkou souzní a je srozuměn, že dosažení těchto podmínek bude navyšovat cenu stavby.

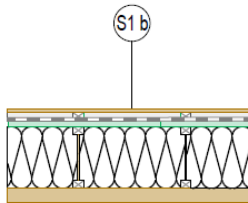
Podrobný popis části vybraných skladeb byl vypracován pro potvrzení správnosti použitých materiálů. Pasivní a ekologicky šetrné stavby mají využívat materiály, které jsou technicky vhodné a efektivní v procesu k dosažení těchto výsledků.

Vybrané skladby jsou blíže definovány v rámci jednotlivých vrstev a jejich účelu. Je zde určena izolační vrstva, vzduchotěsná rovina a případně ochranná vrstva z exteriéru.

Posouzení skladeb z tepelně technického hlediska a splnění podmínek pasivních konstrukcí bylo vypracováno v následující kapitole 5.6.

5.4.1 Obvodová stěna

Hlavní nosnou částí stěny je CLT panel. Prvek NOVATOP SOLID od výrobce AGROP NOVA a.s. dále zajišťuje vzduchotěsnou rovinu z toho důvodu musí být všechny spoje řádně spojeny a pro lepené případně opatřené příslušnou páskou. Další vrstva směrem do exteriéru je hlavní izolační část. Rozměr udává I profil STEICO JOIST, který je vyplněný foukanou izolací STEICO zell. Navazuje vrstva Dřevovláknité izolace STEICO UNIVERSAL DRY s pojišťující vrstvou difuzní folie. Provětrávaná mezera z KVH latí 40x60 zajišťuje dostatečný prostor pro proudění vzduchu. Vodorovný modřínový obklad z palubky s perem a drážkou. Tato poslední vrstva dělá architekturu celé stavby a propůjčuje jí přírodní charakter.

S1 b POPIS SKLADBY		ŘEZ SKLADBOU	
OBVODOVÁ STĚNA S POHLEDOVÝM CLT	538	mm	
MODŘÍNOVÝ OBKLAD VODOROVNÝ	19	mm	
LATĚ SVISLÉ KVH 40x60	40	mm	
DIFUZNÍ FOLIE STEICOmulti UDB	0	mm	
STEICO UNIVERSAL DRY	35	mm	
STEICO WALL + STEICO ZELL	360	mm	
CLT NOVATOP	84	mm	
POHLEDOVÉ DOKONČENÍ BROUŠENÍ + LAZURA		mm	

Obrázek 16 Popis skladby obvodové stěny (příloha D)

5.4.2 Vnitřní příčka

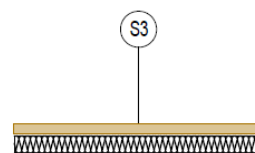
Vnitřní příčky zajišťují prostorovou tuhost celé stavby, a to především z důvodu použití CLT panelu NOVATOP SOLID. Příčky rozdělují prostor na jednotlivé místnosti a umožňují vedení technologií po stavbě. Pro rozvody lze využít samostatnou předstěnu z CW 100. Na rám z profilů lze kotvit desky dle užití přilehlého prostoru. V tomto případě je zvolené dvojité opláštění deskami na bázi sádry.

Hlavní výhodou této skladby je vyšší hodnota akustického útlumu, a to díky odděleným konstrukcím a dilatační mezeře. Zvuk se v tomto případě nemůže přenést jednoduše dotykem jednotlivých vrstev.

S3 POPIS SKLADBY

— VNITŘNÍ STĚNA S PŘEDSTĚNOU SDK DESKA	197	mm
— POHLEDOVÉ DOKONČENÍ BROUŠENÍ + LAZURA		mm
— CLT NOVATOP	62	mm
— DILATAČNÍ MEZERA	10	mm
— CW 100 + KNAUF NATUROLL	100	mm
— FERMACELL	12,5	mm
— SÁDRO KARTONOVÁ DESKA	12,5	mm
— VNITŘNÍ MALBA/OBKLADEK		

ŘEZ SKLADBOU



Obrázek 17 Popis skladby vnitřní stěny (příloha D)

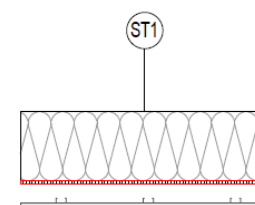
5.4.3 Strop

Stropní konstrukce kotvená do spodních pasů vazníku. Hlavní izolace této skladby je tvořená foukanou celulózou nad a mezi spodní pás vazníků. OSB deska s potvrzeným difuzním odporem Egger TOP 4, která má přelepené spoje zajišťuje vzduchotěsnou obálku v této části. Zavěšený rošt z CD/UD profilů umožňuje vedení rekuperace případně jiných rozvodů. Sádrokartonová deska s protipožární úpravou, dokončeným přebroušením a natřeným povrchem pohledovou část.

ST1 POPIS SKLADBY

— STROP	570	mm
— STEICO ZELL	400	mm
— OSB EGGER TOP 4 P+D VZDUCHOTĚSNÉ PŘELEPENÍ	15	mm
— INSTALČNÍ MEZERA-REKUPERACE/aku izo. 40mm	86	mm
— PROFIL CD/UD	27	mm
— PROFIL CD/UD - KŘÍŽEM	27	mm
— SÁDROKARTONOVÁ DESKA PROTI POŽÁRNÍ	15	mm

ŘEZ SKLADBOU



Obrázek 18 Popis skladby stropu (příloha D)

5.4.4 Podlaha na terénu

Suchá skladba podlahy na terénu. Pochozí vrstva dlažby s lepidlem na systémovém dílci podlahový Fermacell. Izolace ISOVER EPS 100Z určený do skladeb podlah je hlavní tepelná izolace. Nerovnosti na desce jsou řešené vyrovnávacím podsypem od dodavatele celé skladby.

Konstrukce železobetonové desky je zdvojená. Hydroizolace je chráněná mezi dvěma železobetonovými deskami. Výhoda tohoto systému je že při montáži nedojde k porušení hydroizolace běžným pohybem. Při kotvení stěn a příček také nenarušíme tuto vrstvu. Vzduchotěsnou rovinu ze stěny v tomto případě propojujeme s vrchní železobetonovou deskou.

P1 POPIS SKLADBY			ŘEZ SKLADBOU
— <u>PODLAHA NA TERÉNU DLAŽBA</u>	530	mm	
— DLAŽBA	5	mm	
— LEPIDLO	10	mm	
— Podlahová deska Fermacell (2E11/2E22)	25	mm	
— Isover EPS 100Z	120	mm	
— Isover EPS 100Z	120	mm	
— FERMACELL VYROVNÁVACÍ PODSYP	20	mm	
— ŽELEZOBENOVÁ DESKA	150	mm	
— HYDROIZOLAČNÍ VRSTVA		mm	
— ŽELEZOBENOVÁ DESKA	80	mm	
— ZHUTNĚNÝ NÁSYP			
— PŮDOVNÍ ZEMINA			

Obrázek 19 Popis skladby podlaha na terénu (příloha D)

5.5 Střecha s vazníky

Střešní konstrukce tvořená příhradovým vazníkem. Vazník je určující prvek stavby a dává jí charakter díky svému tvaru. Spodní pásnice mimo jiné nese podhled. Horní pásnice vrstvy střešní krytiny, která chrání celou stavbu. Prkenný záklop s difuzní fólií jsou pojistnou vrstvou. Laťování zajišťuje provětrávání konstrukce a odvod nahromaděné vlhkosti. Záklop z OSB s fólií pod plechové střechy jako rovný podklad pro falcovanou krytinu.

ST3 POPIS SKLADBY			ŘEZ SKLADBOU
— <u>STŘECHA S VAZNÍKY</u>	255	mm	
— KRYTINA PLECHOVÁ FALCOVANÁ	1	mm	
— FOLIE POD FALCOVANÉ KRYTINY	8	mm	
— OSB P+D	22	mm	
— LAŤOVÁNÍ KVH 40x60	40	mm	
— PODSTŘEŠNÍ FOLIE		mm	
— PRKENNÝ ZÁKLOP 120X24	24	mm	
— VAZNÍKOVÁ KONSTRUKCE	160	mm	

Obrázek 20 Popis skladby střecha (příloha D)

5.6 Optimalizace skladeb s tepelně technickými posudky

Posouzení chování skladeb jako souboru jednotlivých vrstev bylo ověřeno v následující podkapitole. Posudek se zaměřuje na tepelný odpor konstrukce, difuzní odpor konstrukce a s tím spojená možnost kondenzace vodní páry.

Všechny skladby byly hodnocené z pohledu požadavků normy ČSN 730540-2 (2011). Hodnocení skladby stěny stropu a podlahy na terénu bylo vypočtené v programu: Teplo 2017 EDU, (c) 2016 Svoboda Software.

Kompletní protokoly přiložené v příloze kapitola [F_TEPelnĚ TECHNICKÉ POSUDKY]. V následujících podkapitolách byly blíže specifikovány skladby objektu.

Na schématu obrázek 21 je zobrazenou určení obvodových skladeb. Použití jednotlivých skladeb bylo důležité řešit s ohledem na okolní podmínky. Kdy v každé variantě jsou jiné koeficienty prostředí.



Obrázek 21 Axonometrie obálky stavby (autor)

Tyto tři skladby a jejich úpravy určují hlavní obálku budovy, hlavní izolační materiál je celulóza a podlahový polystyrén. Používané materiály jsou blíže specifikovány v kapitole 3.7. Vzduchotěsnou rovinou je asfaltový pás v desce, CLT panel jako stěna a OSB na podhledu. U všech těchto vrstev je důležité dodržení jejich souvislosti bez přerušování a poškození.

Výsledkem bylo posouzení navržených pasivních skladeb. Z hlediska náročných požadavků pro pasivní budovy Upas,20. Zde jsou uvedené doporučené hodnoty dle ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov – Část 2.:

- Vnější stěna 0,18-0,12 [W/(m²·K)]
- Strop k nevytápěné půdě 0,15-0,10 [W/(m²·K)]
- Podlaha přilehlá k zemině 0,22-0,15 [W/(m²·K)]

5.6.1 Obvodová stěna

Text blíže uvádí vyhodnocení výsledků podle kritérií ČSN 730540-2 (2011). Obrázek 22 je zde vložen z přílohy [F_TEPelnĚ TECHNICKÉ POSUDKY], pro zjednodušení v přehlednosti.

VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730540-2 (2011)				
Název konstrukce:	S1_OBVODOVÁ STĚNA			
Rekapitulace vstupních dat				
Návrhová vnitřní teplota T_i :	20,0 C			
Převažující návrhová vnitřní teplota T_{IM} :	20,0 C			
Návrhová venkovní teplota T_{ae} :	-17,0 C			
Teplota na vnější straně T_e :	-17,0 C			
Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ai} :	20,6 C			
Relativní vlhkost v interiéru RHI:	50,0 % (+5,0%)			
Skladba konstrukce				
Číslo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	CLT Novatop	0,084	0,130	200,0
2	I-pásnice_STEICOzell	0,045	0,048	2,0
3	I-stojna_STEICOzell	0,270	0,042	2,0
4	I-pásnice_STEICOzell	0,045	0,048	2,0
5	STEICO universal dry	0,035	0,045	3,0
6	STEICOmulti UDB	0,0001	0,350	300,0
I. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)				
Požadavek: $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} =$	0,842			
Vypočtená průměrná hodnota: $f_{Rsi,m} =$	0,975			
Kritický teplotní faktor $f_{Rsi,cr}$ byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).				
Průměrná hodnota $f_{Rsi,m}$ (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce. Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnosti plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.				
II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)				
Požadavek: $U_N =$	0,30 W/m ² K			
Vypočtená hodnota: $U =$	0,100 W/m ² K			
$U < U_N$... POŽADAVEK JE SPLNĚN.				
Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. krokví v zateplené šikmé střeše).				
III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)				
Požadavky:	1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce. 2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu. 3. Roční množství kondenzátu $M_{c,a}$ musí být nižší než 0,1 kg/m ² .rok, nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).			
Vypočtené hodnoty:	V kc nedochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.			
POŽADAVKY JSOU SPLNĚNY.				
Teplo 2017 EDU, (c) 2018 Svoboda Software				

Obrázek 22 Vyhodnocení obvodové stěny (příloha F_TEPelnĚ TECHNICKÉ POSUDKY)

Na konstrukci je kladen požadavek splnění pasivních standardů skladby. Dle ČSN 73 0540-2:2011.

Doporučené hodnoty pro pasivní skladbu: Stěna vnější

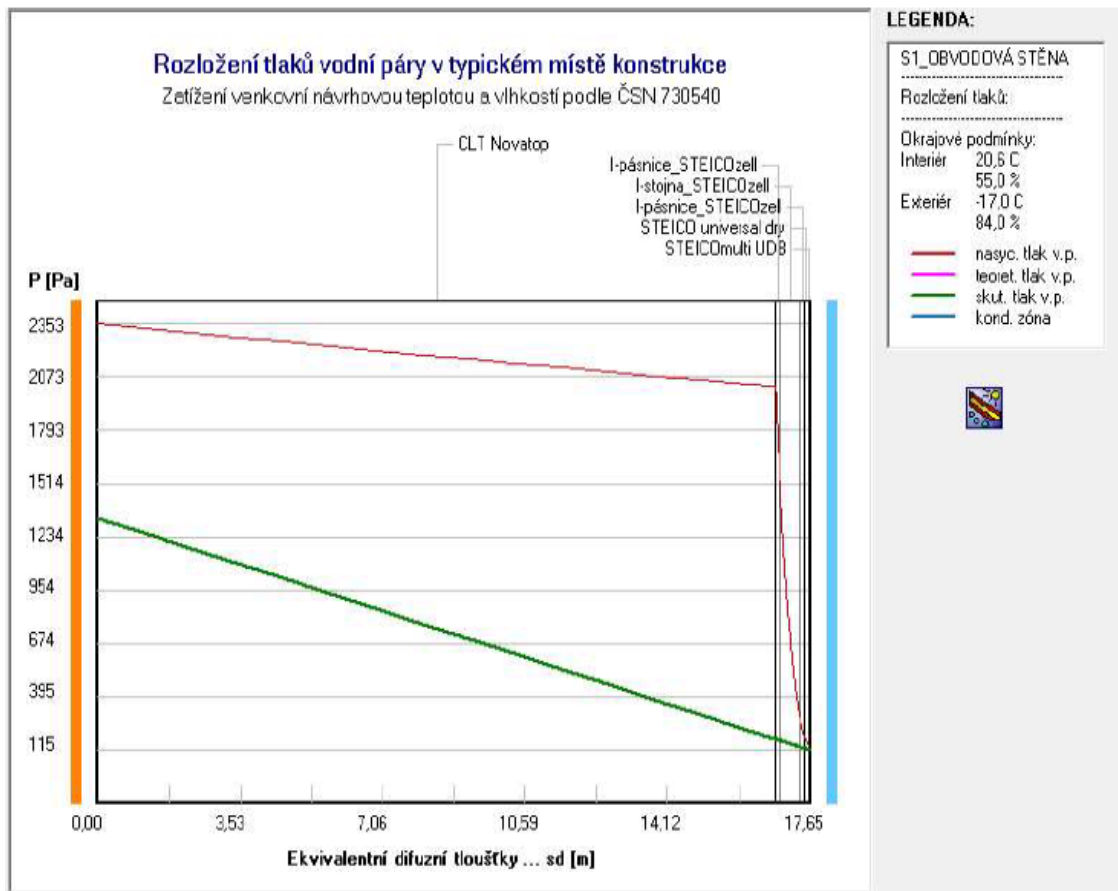
- U_{pas20} : 0,18-0,12 W/m²K

Vypočtené hodnoty:

- U : 0,10 W/m²K

Je splněna doporučená U hodnota pro pasivní stavby.

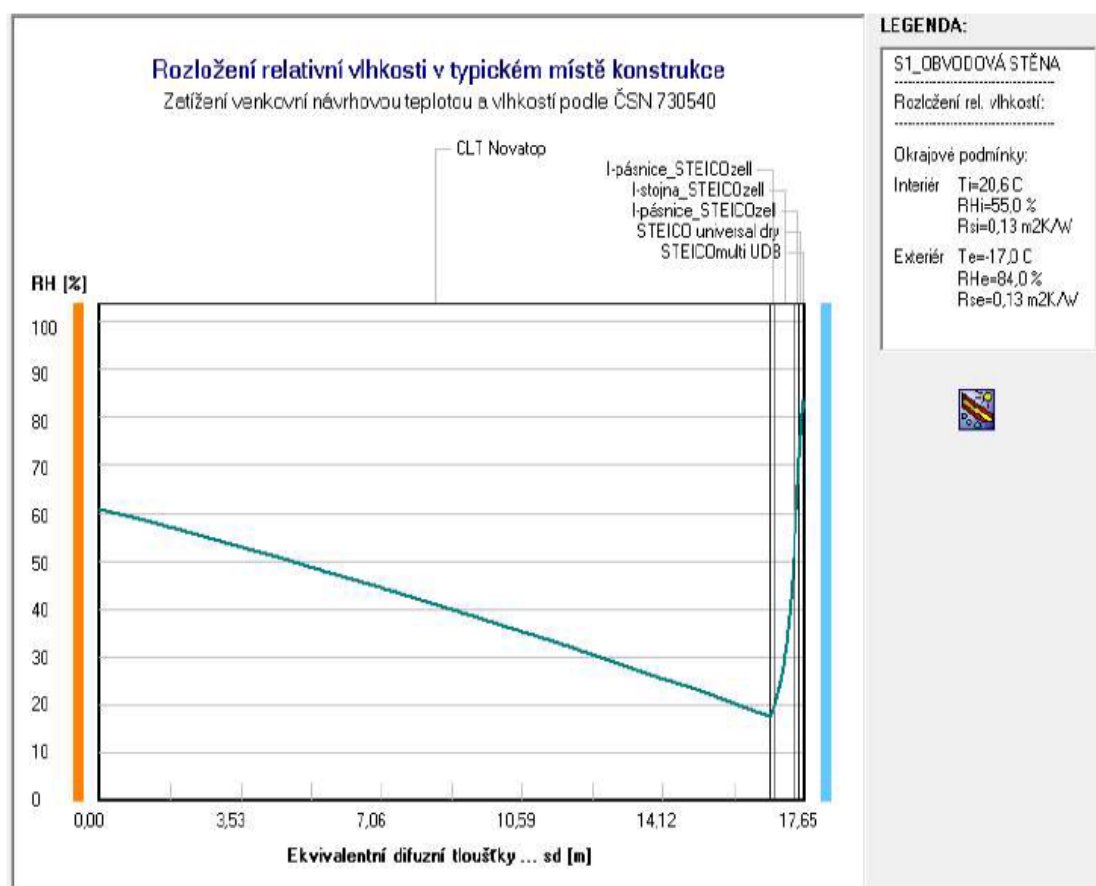
V obrázku 23 pozorujeme, zda nedochází v rámci grafu k protnutí křivek nasycených tlaků vodní páry a skutečných tlaků vodní páry. To by znamenalo vznik kondenzační zóny.



Obrázek 23 Rozložení tlaku vodní páry v typickém místě konstrukce (příloha F_TEPelnĚ TECHNICKÉ POSUDKY)

V daném případě je skladba navržena s ekvivalentem difuzního odporu klesajícího do exteriéru a s teplotním odporem materiálu rostoucího do exteriéru. Toto pravidlo je dodrženo, takže nevzniká v konstrukci žádná kondenzační zóna. Všechna vlhkost, co se dostane do konstrukce bezpečně difunduje do exteriéru.

Na obrázku 24 rozložení relativní vlhkosti v typickém místě konstrukce sledujeme v grafu, zda nedochází ke zvýšení vlhkosti nad 80 % v místě dřevěných prvků. Tato hranice je pro dřevo nebezpečná dle sorpční křivky pro daný typ dřeva je tato hodnota ekvivalentní hmotnostní vlhkosti dřeva 18 %. Dosažení této hranice výrazně zvyšuje působení hmyzu a hub. Porušením této zásady nedodržíme požadavek normy ČSN 730540-2 na maximální hmotnostní vlhkost dřeva.



Obrázek 24 Rozložení relativní vlhkosti v typickém místě konstrukce (příloha F_TEPelnĚ TECHNICKÉ POSUDKY)

V daném případě nedochází k ohrožení dřevěné konstrukce CLT panelu dlouhodobým zvýšením vlhkosti. Konstrukce je z tohoto pohledu bezpečná. Zvýšení vlhkosti je naměřené až v okrajové desce STEICO universal dry, tato deska je na případné zvýšení vlhkosti koncipovaná s odvoláním na technické listy výrobce.

5.6.2 Strop

Text blíže uvádí vyhodnocení výsledků podle kritérií ČSN 730540-2 (2011). Obrázek 25 z přílohy [F_TEPELNĚ TECHNICKÉ POSUDKY], pro zjednodušení v přehlednosti.

VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730540-2 (2011)

Název konstrukce: ST1_STROP

Rekapitulace vstupních dat

Návrhová vnitřní teplota T_i : 20,0 C
Převažující návrhová vnitřní teplota T_{iM} : 20,0 C
Návrhová venkovní teplota T_{ae} : -17,0 C
Teplota na vnější straně T_e : -17,0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ai} : 20,6 C
Relativní vlhkost v interiéru RH_i : 50,0 % (+5,0%)

Skladba konstrukce

Číslo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	Rigips RB/RBI/RF/MA (sádrokart	0,015	0,210	10,0
2	Knauf Classic 035	0,040	0,039	3,2
3	Egger OSB4 TOP	0,015	0,130	200,0
4	STEICO zell	0,400	0,040	2,0

I. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)

Požadavek: $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0,842$
Vypočtená průměrná hodnota: $f_{Rsi,m} = 0,978$

Kritický teplotní faktor $f_{Rsi,cr}$ byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

Průměrná hodnota $f_{Rsi,m}$ (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce. Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnosti plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)

Požadavek: $U_{,N} = 0,30$ W/m²K
Vypočtená hodnota: $U = 0,088$ W/m²K

$U < U_{,N}$... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. krokví v zateplené šikmé střeše).

III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

Požadavky:

1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
3. Roční množství kondenzátu $M_{c,a}$ musí být nižší než 0,1 kg/m².rok, nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Vypočtené hodnoty: V kc nedochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

POŽADAVKY JSOU SPLNĚNY.

Teplo 2017 EDU, (c) 2016 Svoboda Software

Obrázek 25 Vyhodnocení stropu (příloha F_TEPELNĚ TECHNICKÉ POSUDKY)

Požadavek na konstrukci je splněn dle minimálních požadavků normy. Na konstrukci je kladen požadavek splnění pasivních standardů skladby. Dle ČSN 73 0540-2:2011.

Doporučené hodnoty pro pasivní skladbu: Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace):

- U_{pas20} : 0,15-0,10 W/m²K

Vypočtené hodnoty:

- U : 0,88 W/m²K

Je splněna doporučená U hodnota pro pasivní stavby.

5.6.3 Podlaha na terénu

Text blíže uvádí vyhodnocení výsledků podle kritérií ČSN 730540-2 (2011). Obrázek 26 z přílohy [F_TPELNĚ TECHNICKÉ POSUDKY], pro zjednodušení v přehlednosti.

Skladba konstrukce (od interiéru):

Číslo	Název	D [m]	Lambda [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	Ro [kg/m3]	Mi [-]	Ma [kg/m2]
1	Vlysy_pochozí	0,0150	0,1800	2510,0	600,0	157,0	0.0000
2	Fermacell	0,0250	0,3200	1100,0	1150,0	13,0	0.0000
3	Isover EPS 100	0,2400	0,0370	1270,0	20,5	50,0	0.0000
4	základová desk	0,1500	1,4300	1020,0	2300,0	23,0	0.0000
5	hydroizolace	0,0040	0,2100	1470,0	1200,0	30000,0	0.0000
6	podkladní desk	0,0800	1,4300	1020,0	2300,0	23,0	0.0000
7 †	Zemina vlhká	2,0000	2,3000	920,0	2000,0	2,0	0.0000

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

† vrstva se neuvažuje při výpočtu tep. odporu, součinitele prostupu tepla a teplotního faktoru

I. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)

Požadavek: $f_{Rsi}, N = f_{Rsi}, cr = 0,551$
 Vypočtená průměrná hodnota: $f_{Rsi}, m = 0,965$

Kritický teplotní faktor f_{Rsi}, cr byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

Průměrná hodnota f_{Rsi}, m (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce.

Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnosti plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)

Požadavek: $U, N = 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$
 Vypočtená hodnota: $U = 0,143 \text{ W/m}^2\text{K}$

$U < U, N$... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. krokví v zateplené šikmé střeše).

III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

Požadavky:

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

Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí: $0,144 \text{ kg/m}^2, \text{rok}$ (materiál: hydroizolace).

Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu: $0,100 \text{ kg/m}^2, \text{rok}$

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

Roční množství zkondenzované vodní páry $M_{c,a} = 0,0121 \text{ kg/m}^2, \text{rok}$

Roční množství odpařitelné vodní páry $M_{ev,a} = 0,1005 \text{ kg/m}^2, \text{rok}$

Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

$M_{c,a} < M_{ev,a}$... 2. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

$M_{c,a} < M_{c,N}$... 3. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Obrázek 26 Vyhodnocení podlahy na terénu (příloha F_TPELNĚ TECHNICKÉ POSUDKY)

Požadavek na konstrukci je splněn dle minimálních požadavků normy. Na konstrukci je kladen požadavek splnění pasivních standardů skladby. Dle ČSN 73 0540-2:2011.

Doporučené hodnoty pro pasivní skladbu: Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině:

- $U_{pas20}: 0,22-0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vypočtené hodnoty:

- $U: 0,143 \text{ W/m}^2\text{K}$

Je splněna doporučená U hodnota pro pasivní stavby.

5.7 Stavebně konstrukční řešení zvolených částí

Posudek stavby byl proveden částečně v programu FINEC 2024 a dle technického listu NOVATOP. V programu *FINEC 2024* byla posouzena střešní konstrukce tvořená vazníkem. Pro učení zatížení byl použit pod program *FINEC zatížení*. Model byl vytvořen v podprogramu *2D* a dimenzování bylo spočítáno pomocí *dimenzování dřeva*. Vazník určuje hlavní nosnou část střechy a také je určen pro kotvení štítové konstrukce stěny.

5.7.1 Zatížení konstrukce

Metodika postupu výpočtu zatížení střešní konstrukce v programu *FINEC zatížení*, celý protokol v příloze [E_ KONSTRUKČNÍ ČÁST].

Ve výpočtu zatížení střešní konstrukce je uvažováno s celou konstrukcí střechy a konstrukcí podhledu s izolací. Zatěžovací šířka 1 m dle obrázku 27.

1 Protokol zatížení: krytina

Stálé zatížení	Charakt. [kN/m ²]	Souč. [-]	Návrh. [kN/m ²]
Ostatní stálé zatížení			
falcovaný plech včetně bednění	0,20	1,35	0,27
kontra laťování (0,01 / 0,500)	0,02	1,35	0,03
OSB (8,00 × 0,022)	0,18	1,35	0,24
Součet: Ostatní stálé zatížení	0,40	1,35	0,54
Součet: Stálé zatížení	0,40	1,35	0,54
Součet zatížení	0,40	1,35	0,54

2 Protokol zatížení: podhled s izolací

Stálé zatížení	Charakt. [kN/m ²]	Souč. [-]	Návrh. [kN/m ²]
Ostatní stálé zatížení			
celulóza (0,60 × 0,400)	0,24	1,35	0,32
OSB (6,20 × 0,015)	0,09	1,35	0,12
SDK 1x15,0 mm včetně konstrukce	0,18	1,35	0,24
Součet: Ostatní stálé zatížení	0,51	1,35	0,69
Součet: Stálé zatížení	0,51	1,35	0,69
Součet zatížení	0,51	1,35	0,69

Obrázek 27 Protokol zatížení konstrukcí (příloha E_ KONSTRUKČNÍ ČÁST)

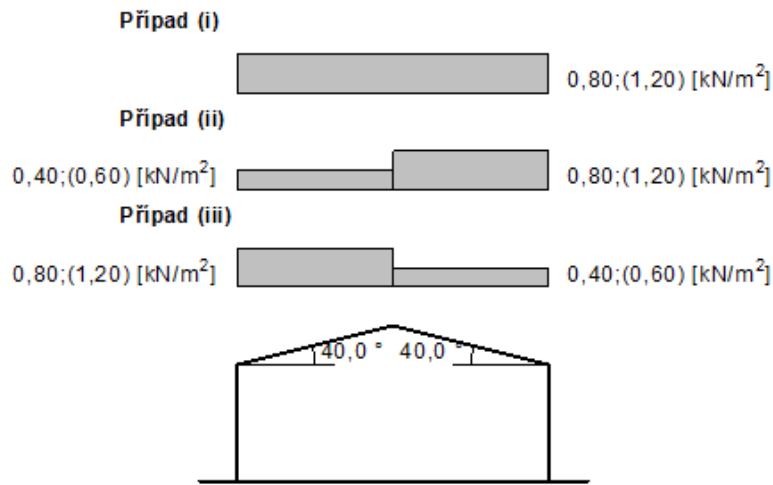
Stavba se nachází v obci Dírná z toho vychází zatížení sněhem a větrem pro danou oblast zobrazeno na obrázku 28.

3 Protokol zatížení: Zatížení sněhem

Zatížení podle ČSN EN 1991-1-3	
Sněhová oblast:	III
Charakteristická hodnota zatížení s_k	= 1,50 kN/m ²
Typ krajiny:	normální
Součinitel expozice C_e	= 1,00
Tepelný součinitel C_t	= 1,00
Součinitel zatížení ψ_f	= 1,50
Tvar zastřešení: sedlová střecha	
Sklon střechy α_1	= 40,0 °
Sklon střechy α_2	= 40,0 °
Tvarový součinitel $\mu_1(\alpha_1)$	= 0,53
Tvarový součinitel $\mu_1(\alpha_2)$	= 0,53
Charakteristické hodnoty zatížení (v závorce návrhové hodnoty)	
Případ (i) - zatížení nenavátým sněhem:	
s_1	= 0,80 kN/m ² (1,20 kN/m ²)
s_2	= 0,80 kN/m ² (1,20 kN/m ²)
Případ (ii) - zatížení navátým sněhem:	
s_1	= 0,40 kN/m ² (0,60 kN/m ²)
s_2	= 0,80 kN/m ² (1,20 kN/m ²)
Případ (iii) - zatížení navátým sněhem:	
s_1	= 0,80 kN/m ² (1,20 kN/m ²)
s_2	= 0,40 kN/m ² (0,60 kN/m ²)

Obrázek 28 Protokol zatížení sněhem (příloha E_ KONSTRUKČNÍ ČÁST)

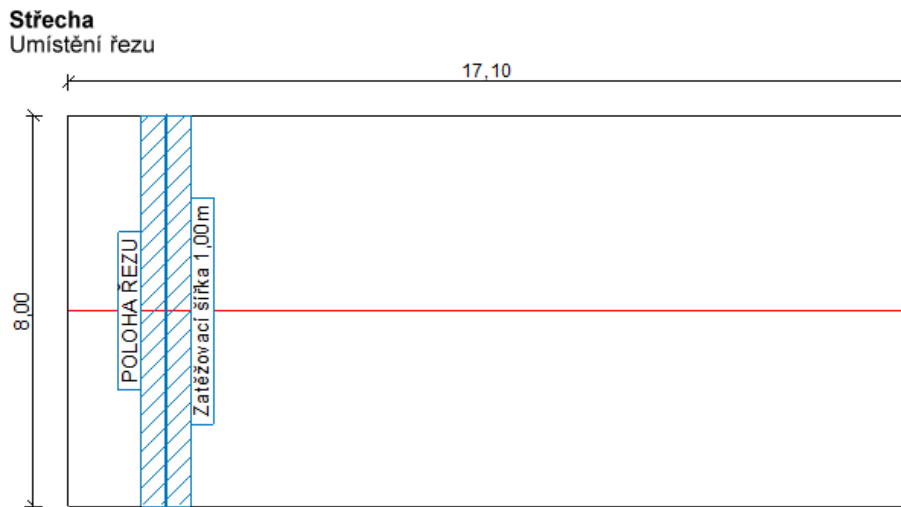
Ve výpočtu bylo uvažováno s variantou zatížení sněhem případ i a případ ii na obrázku 29. Konstrukce je symetrická, proto je přitížena kombinacemi pouze jedna strana.



Obrázek 29 Případy zatížení sněhem (příloha E)

Zatížení větrem je lokalizováno do nejvíce exponované části viz obrázek 30.

4.1 Lokalizace na zatěžovací šířku 1,00 m: Zatížení větrem

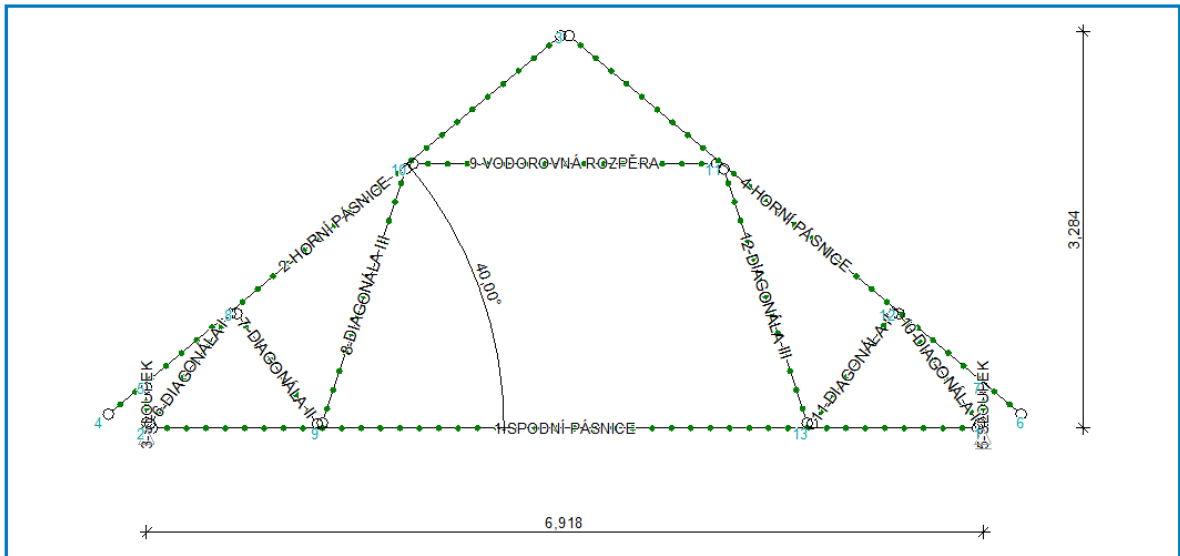


Obrázek 30 Lokalizace zatížení větru (příloha E_ KONSTRUKČNÍ ČÁST)

Ve výpočtu byly uvažovány nejvyšší stavy zatížení větrem pro sání a tlak spolu se sáním. Celý protokol v příloze [E_ KONSTRUKČNÍ ČÁST].

5.7.2 Posouzení vazníku

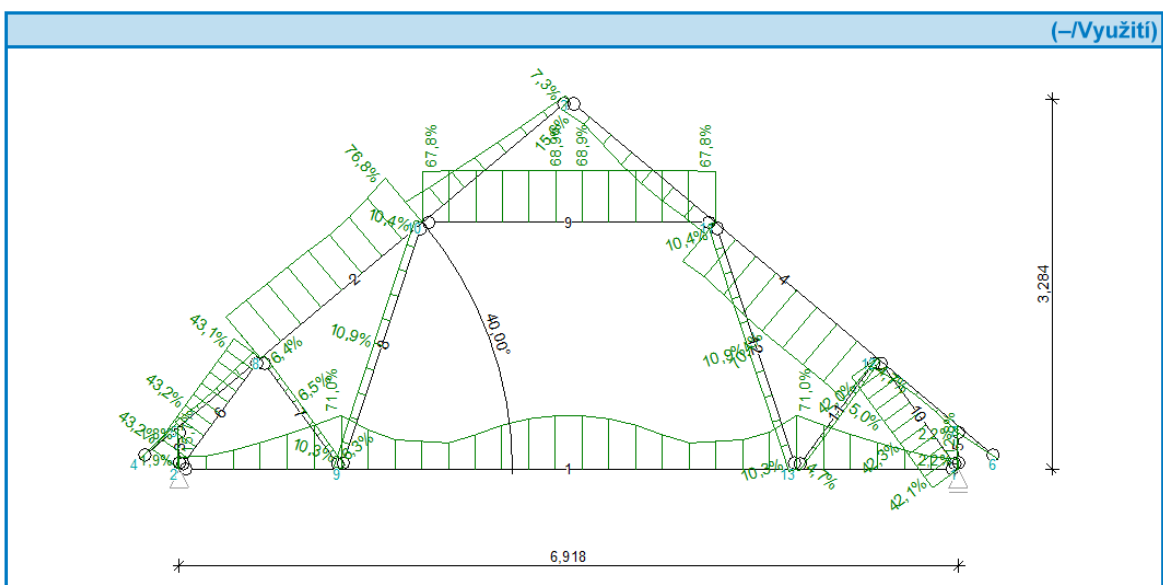
Vazník byl posuzován ve statickém programu FINEC 2024 dle mezních stavů únosnosti a pevnosti. Jsou zohledněné kombinace jednotlivých zatížení a vyloučené spolupůsobení zatěžovacích stavů které se vzájemně vylučují. Na níže uvedeném obrázku 31 je zobrazen posuzovaný vazník s příslušnou terminologií jednotlivých prvků kompletní posudek přiložen v příloze [E_KONSTRUKČNÍ ČÁST].



Obrázek 31 Popis posuzovaných prvků vazníku (příloha E)

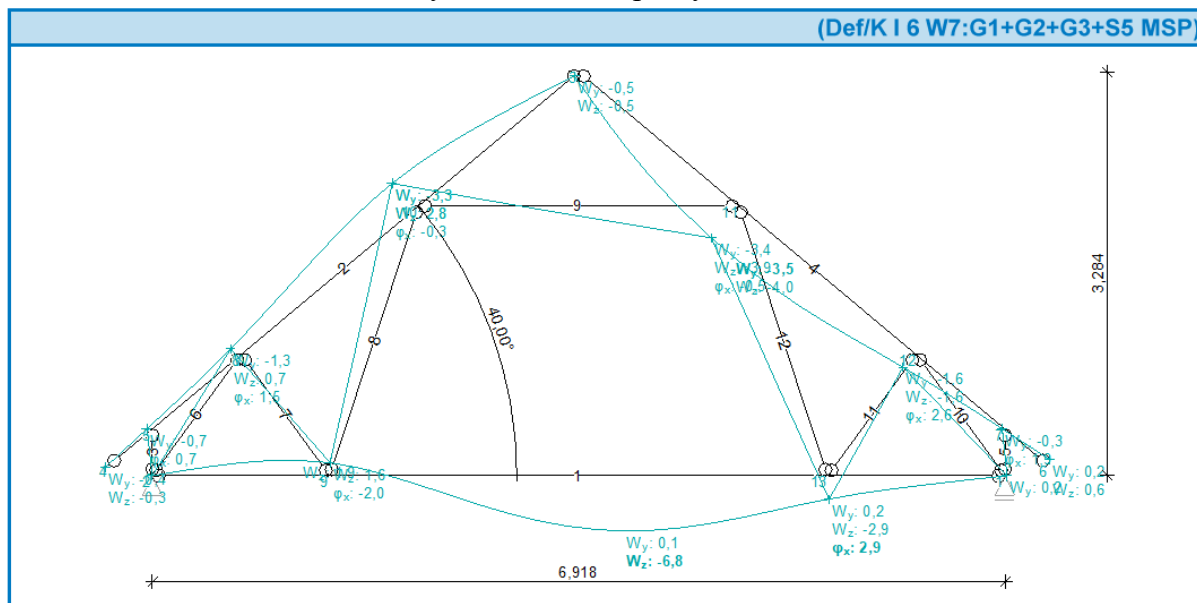
Využití prvků vazníku (na obrázku 32.) je důležitým ukazatelem správné optimalizace jednotlivých prvků. Dalším aspektem je jednoduchost do výroby, proto jsou prvky vazníku navrženy ve třech průřezech:

- Spodní pásnice 50x200 mm (prvek 1)
- Horní pásnice a rozpěra 50x160 mm (prvek 2,4,9)
- Diagonály a sloupky 50x120 mm (prvek 3,5,6,7,8,10,11,12)



Obrázek 32 Využití jednotlivých prvků vazníku (příloha E)

Posudek deformace vazníku (obrázek 33) nezbytný vzhledem k navazujícím konstrukcím je na horní hranici normy. Prvky jsou posouzené na dovolené průhyby $l = 1/400$. Všechny průřezy vyhovují se značnou rezervou. U posuzovaného rozpětí $l = 6918$ mm je maximální dovolený průhyb 17,3 mm.



Obrázek 33 Deformace v posuzovaném vazníku vlivem zatížení (příloha E_KONSTRUKČNÍ ČÁST)

Zde bylo potvrzeno, že vazník vyhovuje i těmto požadavkům, které je třeba vyžadovat například kvůli následným deformacím, které by se projeví na SDK pohledu.

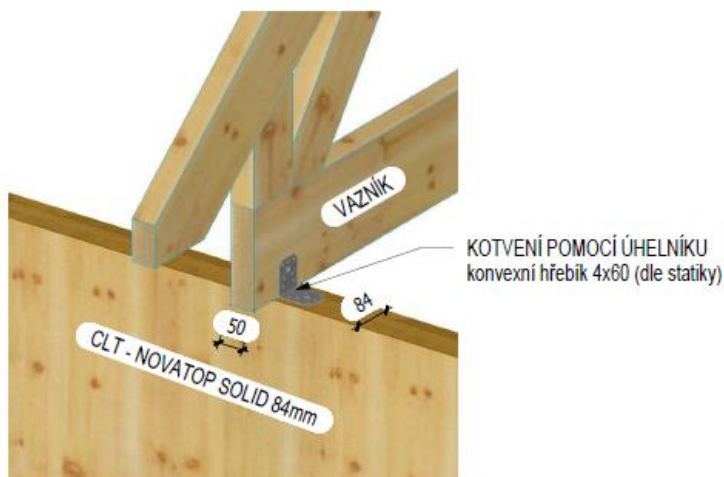
Vnitřní síly ve vazníku: normálové, posouvající, momentové jsou v příloze [E_KONSTRUKČNÍ ČÁST].

Posudky jednotlivých dílů vazníku Jednotlivé prvky vazníku jsou navrženy s ohledem na nejméně příznivé kombinace zatížení. V příloze [E_KONSTRUKČNÍ ČÁST] jsou posudky jednotlivých dílů vazníku všechny jsou navrženy s dostatečnou rezervou a vyhovují navrženému zatížení.

Pro posouzení uložení střešní konstrukce a pro posudek stěny je třeba znát sílu působící od vazníku v místě uložení na CLT panelu. Tato reakční síla byla vypočítaná a určena jako obálka kombinací I. řádu MSP. Reakce vychází z nejméně příznivé kombinace.

5.7.3 Uložení střešní konstrukce

Uložení vazníku na obvodový je posouzeno z hlediska otláčení vazníku. Zde je nejvíce namáhaná plocha na spodní pásnici vazníku, kde máme směr dřeva kolmo na směr vláken.



Obrázek 34 Uložení vazníku (autor)

Pevnost dřeva v tomto směru pro třídu S (10) C24 je $f_{c,90,k} = 2,5$ MPa. Tato hodnota vychází z normy ČSN EN 338. VE výpočtu v příloze [E_KONSTRUKČNÍ ČÁST] je ověřena pevnost dřeva vztažená k ploše s navrhovanou silou z výpočtu v programu FINEC.

Příliš malá návrhová plocha navrženému zatížení nevyhovuje. Plochu vazníku by bylo třeba ztužit pomocí celozátvitových vrtů s ocelovou podložkou. Více se této problematice věnuje například výrobce a dodavatel konstrukčních vrtů SFS Group CZ s.r.o. (odkaz ve zdrojích SFS CZ s.r.o.).

Další variantou bylo zaměnění materiálu spodního pasu z C24 za GL24 lepené lamelové dřevo vyšší třídy pevnosti. Tento materiál dle normy, ČSN EN 338, dovoluje uvažovat pevnost v tahu $F_{c,0,k}=5,5$ MPa. Při porovnání s třídou pevnosti C24 je to více než dvakrát odolnější materiál. Tento materiál vyhovuje danému zatížení ve spoji. Výpočet v příloze [E_KONSTRUKČNÍ ČÁST].

5.7.4 Posouzení obvodové stěny CLT panelu

Vstupní hodnoty pro posouzení stěny CLT panelu jsou reakce od vazníku tvořící zastřešení stavby. Posouzení dle technické dokumentace NOVATOP AGROP NOVA a.s. Výpočet vychází z normy DIN EN 1995-1-1/NA/A1. Stěna byla posouzena na mezní stav únosnosti a použitelnosti. Výpočet byl proveden se zatěžující šířkou 1 m v plné ploše stěny bez oken a dveří. Podrobný výpočet přiložený v příloze [E_KONSTRUKČNÍ ČÁST].

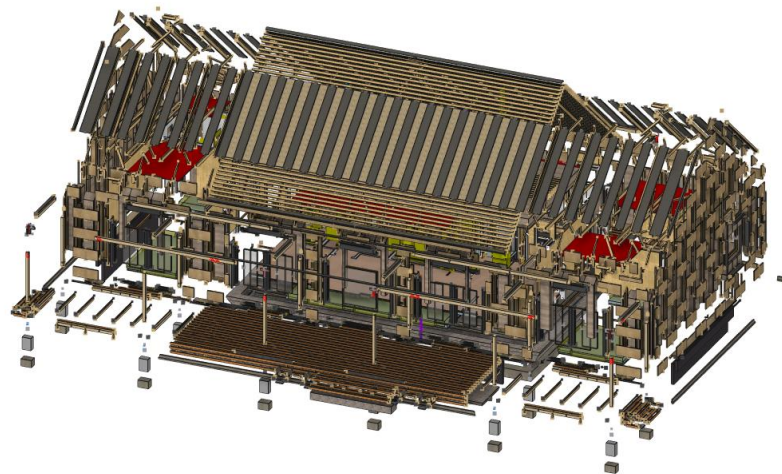
Obvodový panel NOVATOP SOLID 84 vyhovuje navrženému zatížení od vazníků a větru s rezervou.

5.8 BIM model v programu CadWork

CadWork je program pro dřevostavby, dřevěné a kombinované konstrukce, určený především pro návrh konstrukce a realizační dokumentaci staveb.

Jedná se o 3D-CAD/CAM systém. Který je díky exportům a importům schopný komunikace s jinými projekčními programy. Pomocí komplexnímu přístupu k datům, se kterými pracuje, dokáže z daného modelu neboli digitálního dvojčete stavby exportovat různé stupně dokumentace od studie přes stavební povolení, výrobní a realizační až po montážní výkresovou dokumentaci nebo také třeba základní vizualizaci.

Především je však určený pro import dat z architektonických programů jako jsou ArchiCad a Revit následně z těchto tvarů zhotovit dokumentaci pro výrobu realizaci a montáž případně data pro CNC stroje.



Obrázek 35 Náhled na rozlet konstrukce v prostředí CadWork (autor)

Projekt je zhotoven jako BIM projekt neboli informační model budovy. To znamená, že stavba je rozměrově materiálově a technologicky vyřešena v digitální podobě. Navíc tento model je schopný exportu a importu do programů na řešení technologií nebo třeba statiky.

V příloze [D_DOKUMENTACE STAVBY_CadWork] je uložena kompletní dokumentace vyexportovaná z programu CadWork. Bližší části jsou přiblíženy v následujících podkapitolách:

- Realizační dokumentace
- Výrobní dokumentace
- Montážní dokumentace
- Export na CNC
- Grafická vizualizace

5.8.1 Realizační dokumentace

Projektová dokumentace zpracovaná na základě výchozí studie odpovídá požadavkům na realizační dokumentaci domu. Na základě této dokumentace lze stavbu realizovat, však není určena ke stavebnímu povolení, a tudíž nespĺňuje všechny požadavky dané vyhláškou 499/2006 Sb. Odlišnosti oproti této vyhlášce jsou především v použitých měřítkách a barevnosti výkresů. Realizační dokumentace se řídí interními požadavky dané firmy, která stavbu provádí. Podrobnosti a zobrazení jednotlivých detailů je tedy závislé na interních požadavcích.

Realizační část obsahuje dvě hlavní části, a to svislé a vodorovné řezy dále detaily styků jednotlivých konstrukcí. Výkresová dokumentace realizační části je v samostatné příloze: *[D_VÝROBNÍ DOKUMENTACE]*.

5.8.1.1 Výkresy

Realizační dokumentace, obsahuje velkou podrobnost ve výkresech půdorysu řezů a pohledů na stavbu. Tato dokumentace je nutná k specifikaci všech realizovaných návazností v konstrukční části stavby. Výkresová část zobrazuje půdorysy 1.NP, základy, řezy stavbou, popis skladeb, technické pohledy.

Výkresová dokumentace neobsahuje specifikace pro realizaci technologií vnitřního prostředí budov. Nedefinuje řešení vody, vytápění, odpady, větrání elektrické a jiné sítě. Tyto dokumentace jsou běžně zpracovávány specializovanými techniky. Daná práce respektuje náležitosti těchto sítí, ale nedefinuje je.

5.8.1.2 Detaily

Konstrukční detaily určují přesné realizování v určeném místě. Zamezují chybám vzniklým špatným návrhem daného místa či improvizací méně technicky zkušeného dělníka na stavbě. Při podloženém návrhu a kvalitní realizaci je detail funkční.

V přílohách jsou vykreslené detaily u základové spáry napojení na střešní konstrukci a rohové či T spoje panelů. Ostatní návaznosti jsou řešené v modelu.

V konstrukčních detailech byly definovány jednotlivé vrstvy a jejich přesahy. Použité materiály včetně přesné specifikace výrobku. Dále bylo specifikováno kotvení spojovacími prvky v konstrukčních spojích, a to zejména typem, počtem, průměrem a délkou spojovacího prvku.

5.8.2 Export dat na CNC

Model je plně funkční a kompatibilní s CNC stroji na obrábění dřevěných panelů a dílů. Pro CLT panely je to například stroj CNC HUNDEGGER PBA. Pro tyčové dílce a tvarové dílce HUNDEGGER K2i. Na následujícím schématu je zobrazený prvek exportovaný z modelu do centra K2i. Takový prvek má definovaný název, materiál, rozměry, označení, a to ne pouze číslo ale i svazek se kterou se bude nadále spojovat. Tyto informace jsou z BIM modelu.

č.	stavební dílec	požj	je	šířka	výška	délka	svazek	SK	poznámka	profil	st/ech	typ
105	SPODNÍ PÁSNICE	18	0	50	200	7038		VAZNIK	NH S10/INSI SUSENE			
107	VYDREVA	18	0	50	200	1500		VAZNIK	NH S10/INSI SUSENE			
103	HORNÍ PÁSNICE	36	0	50	160	5039		VAZNIK	NH S10/INSI SUSENE			
106	VODORVNA ROZPERA	18	0	50	160	2531		VAZNIK	NH S10/INSI SUSENE			
115	HORNÍ PÁSNICE	6	0	50	120	6750	VETROVACI POLE VODORVNE		NH S10/INSI SUSENE			
108	HORNÍ PÁSNICE	12	0	50	120	4935	VETROVACI POLE SIKME		NH S10/INSI SUSENE			
100	DIAGONALA	36	0	50	120	2157		VAZNIK	NH S10/INSI SUSENE			
109	SLOUPEK	12	0	50	120	1394	VETROVACI POLE SIKME		NH S10/INSI SUSENE			
110	SLOUPEK	12	0	50	120	1345	VETROVACI POLE SIKME		NH S10/INSI SUSENE			
116	SLOUPEK	12	0	50	120	1310	VETROVACI POLE VODORVNE		NH S10/INSI SUSENE			
117	SLOUPEK	6	0	50	120	1262	VETROVACI POLE VODORVNE		NH S10/INSI SUSENE			
101	DIAGONALA	36	0	50	120	1054		VAZNIK	NH S10/INSI SUSENE			
102	DIAGONALA	36	0	50	120	1013		VAZNIK	NH S10/INSI SUSENE			
113	SLOUPEK	6	0	50	120	756	VETROVACI POLE SVISLE		NH S10/INSI SUSENE			
111	SLOUPEK	12	0	50	120	710	VETROVACI POLE SIKME		NH S10/INSI SUSENE			
114	SLOUPEK	12	0	50	120	710	VETROVACI POLE SVISLE		NH S10/INSI SUSENE			
118	SLOUPEK	6	0	50	120	710	VETROVACI POLE VODORVNE		NH S10/INSI SUSENE			
112	HORNÍ PÁSNICE	12	0	50	120	500	VETROVACI POLE SVISLE		NH S10/INSI SUSENE			

zavřít

PŘÍPRAVA Z CADWORK 3D VERZE 23.0 BUILD 348

OK

F2=editovat F4=SP info F9=výbrat SP
 F6=Otočit F7=obrástít Help / ?=optm.

stavební dílec čist

19 pol. 342 ks 728,603 bm 5,440 m³ 4:01 h

0 obrázení

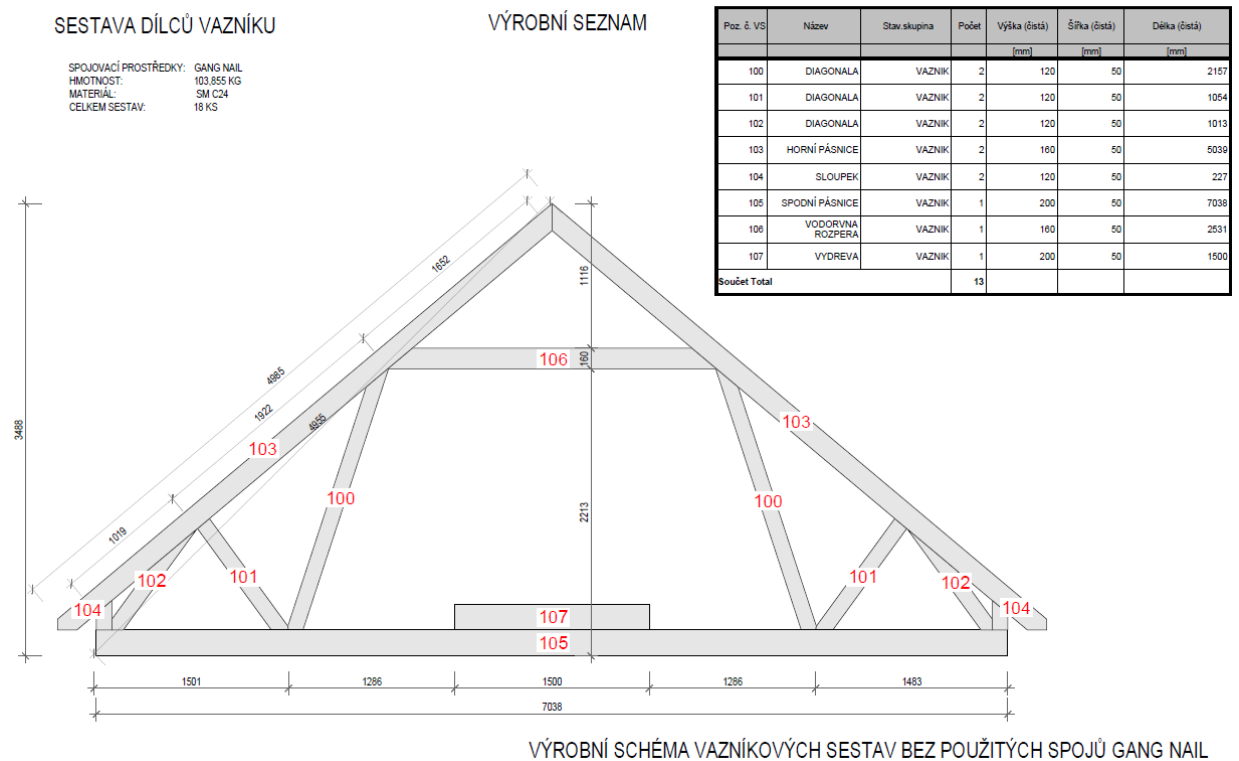
Obrázek 36 Řešený prvek na CNC stroji (autor)

5.8.3 Výrobní dokumentace

Při používání moderních již zmíněných CNC center není nutné připravovat detailní výrobní dokumentaci každého prvku. Tyto informace si mezi sebou předá výpočetní technika.

Na výrobní část tedy zbývá již jen kompletace těchto dílců do daných sestav. K tomu je určena výrobní dokumentace. Zde je uvedena část výrobní dokumentace, která ukazuje pozice obroběných dílů z CNC stroje. V přechodím obrázku je podbarvený prvek v.č.100 který zde má již definovanou pozici.

Kompletní dokumentace v příloze [D_VÝROBNÍ DOKUMENTACE].



Obrázek 37 Schéma pro sestavení vazníku (příloha D)

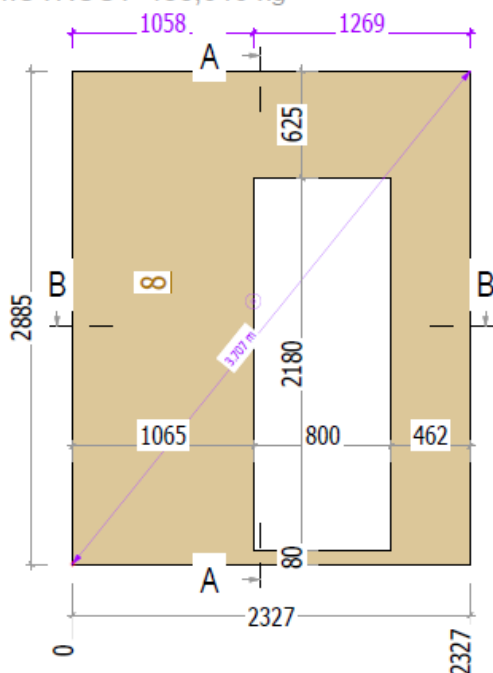
Výřez z výkresu (obrázek 38) zobrazuje výrobní dokumentaci jednoho panelu příčky RD Dírná. Důležité jsou rozměry a otvor pro následné osazení okna či dveří. Poziční a výrobní číslo pro následné zařazení panelu do správné logistiky. Případně pokud je požadováno, povrchové dokončení v daném standartu. Výkres dále definuje pozici panelu v půdorysu v náhledu podlaží, tato informace zlepšuje orientaci výrobnímu technickovi. Určení těžiště panelu je důležité pro správné uchycení transportních kotev, pro stabilní přepravu vztyčeného panelu ve vodorovné poloze.

Kompletní dokumentace v příloze [D_VÝROBNÍ DOKUMENTACE].

RAM - STUL C. 1 (REF. STR.)

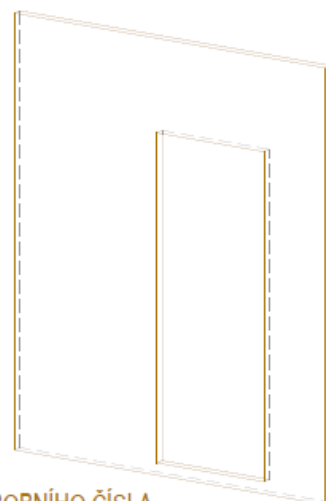
MERITKO 1:30

HMOTNOST 138,646 kg



řez A-A

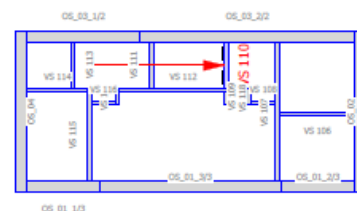
AXONOMETRIE PANELU



SMĚR VLÁKEN POVRCHOVÉ VRSTVY JE DANÝ SMĚREM POPISU VÝROBNÍHO ČÍSLA

řez B-B

PŮDORYSNÝ NÁHLED PODLAŽÍ :



VÝROBNÍ SEZNAM

Poz. č.	VS	Název	Materiál	Počet	Výška (čistá)	Šířka (čistá)	Délka (čistá)
8		CLINOVA TOP SOLID		1	2885	62	2327

TEŽIŠTĚ PANELU - PRO ZÁVĚSNÉ ŠROUBY

Obrázek 38 Výrobní výkres vnitřní příčky (příloha D)

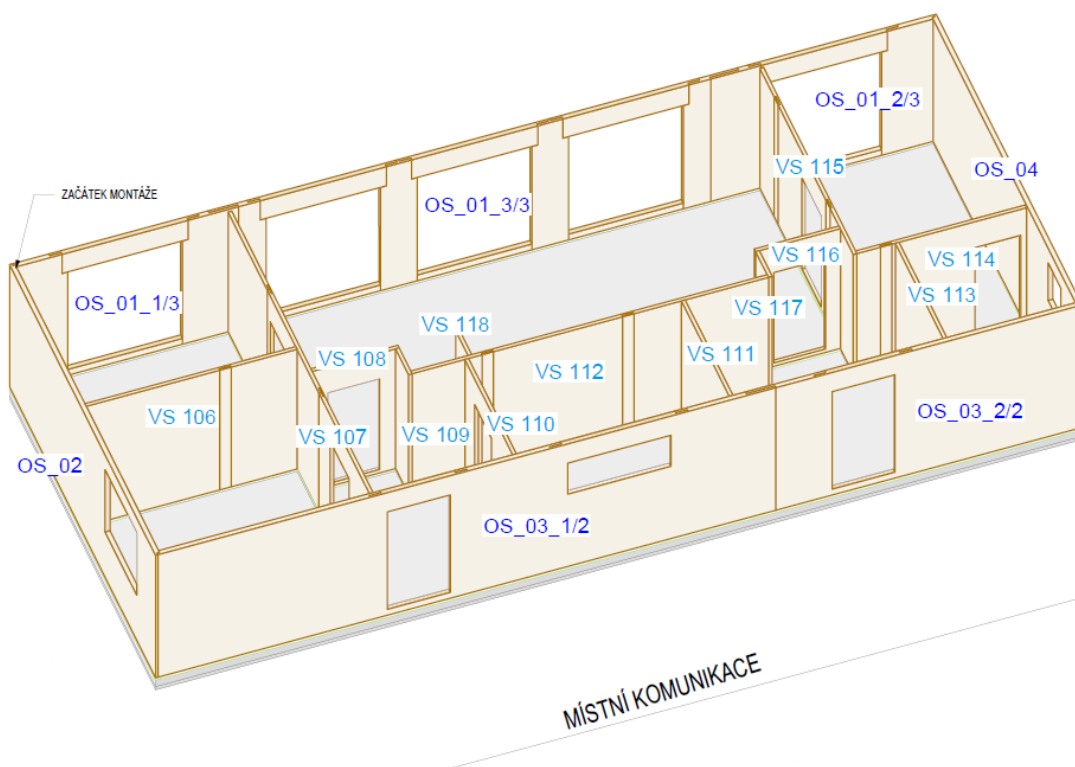
5.8.4 Montážní dokumentace

Jeden z velkých potenciálů dřevostaveb je jejich rychlost výstavby. Proto je nutné zpracovat kvalitní montážní postupy. Tyto dokumenty jsou určující v rychlosti výstavby a kvality následujících detailů. Při technologickém postupu byly bráno na vědomí nutné návaznosti, které by dále ovlivnily kvalitu dokončené stavby. Jedná se především o napojení izolací tepelných, vzducho-těsnících a hydroizolačních.

Tato dokumentace je převážně určená montážním dělníkům v prvních dnech stavby. Na pracovníky provádějící osazení panelů je kladen velký důraz především z hlediska preciznosti osazování panelů svisle a pravouhle. Nedodržení stanovených odchylek by se negativně projevilo v navazujících konstrukcích.

Následující schéma zobrazuje postup montáže obvodových a vnitřních panelů CLT. Panely jsou skládány z návěsu kamionu pomocí jeřábu. Tento způsob je náročný na technologii a dodržení bezpečnosti práce.

Montážní půdorysy, axonometrie a detaily ohledně stěn a vazníků jsou v příloze [D_VÝROBNÍ DOKUMENTACE].



Obrázek 39 Montážní pohled axonometrie (příloha D)

Realizace montáže byla navržena jako prefabrikace nosných CLT panelů a vazníových polí. Ostatní prvky byly definovány jako staveništní přířezy a výřezy, které lze případně délkově vyřezat na CNC stroji. Takový postup by prvku definoval rozměr, délku a číslo. Pomocí určeného čísla a montážního výkresu definujícího pozici by byl prvek osazen na dané místo.

5.8.5 Grafická vizualizace

Poslední dokumentace, která byla zpracována je vizualizace. Poměrně náročný proces pro mnoho klientů však zásadní k snazšímu pochopení celkového výrazu a dojmu stavby. Grafická vizualizace je důležitá pro představení stavby klientovi a případné dotažení požadovaných detailů.

Z programu lze exportovat základní vizualizace s materiálovým řešením. Při exportu do přidružených programů lze stavbu prohlížet i pomocí rozšířené reality.

K zjednodušení komunikace s klientem nebo spolupracující firmou nevyužívající 3D pracovní prostředí je vhodné využít soubor, který lze otevřít bez nutnosti specializovaných softwarů. Takový byl exportován a je přiložen v příloze: [10.1Soubory: Prohlížeč 3D BIM modelu stavby]



Obrázek 40 Vizualizace stavby v programu CadWork (autor)

5.9 Rozpočet stavby

Rozpočet stavby je zpracovaný v programu KROS 4. Téhož programu umožňuje tvorbu rozpočtu a výkazu výměr při čemž pracuje s cenami dle cenové soustavy ÚRS, což je standardní datová soustava v České republice.

Rozpočet na stavbu je v rozsahu podrobnosti rozšířené hrubé stavby. Obsahuje dodávku podlah, oken, dveří a kompletní střešní konstrukce s krytinou, což běžný rozpočet na hrubou stavbu neobsahuje.

Rozpočet je naceňován na základě vypracovaného 3D modelu v programu CadWork. Díky detailnímu zpracování, lze přesně získat potřebný množství materiálu, a to následně nacenit.

V příloze [G_Rozpočet stavby] k nahlédnutí položkový rozpočet na již zmíněné části stavby. Zde na obrázku 41 uveden souhrnný rozpočet, ceny v tabulce jsou uvedené bez DPH.

Datum: 25.10.2023

Kód	Popis	Dodávka	Montáž	Cena celkem	Hmotnost celkem
HSV	Práce a dodávky HSV	415 543,37	151 899,38	567 442,75	140,928
1	Zemní práce	12 420,00	66 508,90	78 928,90	20,000
2	Zakládání	403 123,37	85 390,48	488 513,85	120,928
D3	STĚNA CLT OBVODOVÁ	923 018,61	346 629,07	1 269 647,68	15,456
D8	VAZNIKOVÁ STŘECHA S PODHLEDEM	369 825,25	700 044,18	1 069 869,43	12,860
D9	PODLAHA NA TERENU	263 058,63	93 198,98	356 257,61	6,866
D11	CLT VNITŘNÍ S PŘEDSTĚNOU SDK	255 074,45	84 320,70	339 395,15	2,524
D13	CLT VNITŘNÍ S PŘEDSTĚNOU BIO DESKA	109 731,39	32 350,63	142 082,02	0,335
D14	FASADNÍ VYPLNĚ OTVORŮ	222 307,53	39 659,81	261 967,34	1,017
	Celkem	2 558 559,23	1 448 102,75	<u>4 006 661,98</u>	179,986

Obrázek 41 Tabulka s dílčími skupinami rozpočtu (příloha G)

5.10 Porovnání metod založení stavby

Při každé realizaci stavby se mělo hodnotit vhodné založení stavby z pohledu vhodnosti ceny a proveditelnosti. Většinou se využívají osvědčené dlouhodobé systémy, avšak při optimalizaci se není třeba obávat i modernějších postupů. Následující porovnání bylo cílené na danou stavbu při jejich specifických vlastnostech. Pro každou stavbu se dané vyhodnocení musí provést samostatně. Nelze plošně prohlásit žádný systém za nejlepší.

V této podkapitole byly porovnány techniky založení daného objektu RD Dírná. Jedná se o založení na železobetonové desce s pasy, plovoucí železobetonové desce na vrstvě tepelné izolace z drceného pěno skla a crawl space zhotovený pomocí zemních vrutů.

K porovnání je použito softwaru na posouzení tepelné techniky Teplo Svoboda 2017 dále rozpočtový program Kros 4 a modelový program CadWork. Z 3D model je využit na výpočet objemů a zhotovení příložené zjednodušené dokumentace pro provedení a nacenění.

Teoretické rozebrání konstrukčních systémů zakládání pasivních staveb v kapitole: 3.9.

Porovnání jednotlivých systémů bylo vztaženo k referenční hodnotě pro danou konstrukci z pohledu celkového tepelného součinitele prostupu tepla. Dané součinitele dle normy: ČSN 73 0540-2:2011. Pro kvalitnější a podrobnější výsledek vzhledem k hodnocení tepla by bylo nutné posoudit všechny detaily ve 2D a vypočítat jejich lineární činitele.

Porovnání v rámci logistiky a technologie je vztaženo k množství materiálu který je potřeba na stavbu přemístit případně ho ze stavby odstranit. V potaz je bráno, zda je možné použití techniky nebo je nutná lidská síla.

Všechny konstrukce jsou uváděny včetně kompletně dokončené podlahy, ale technologické postupy a čas odráží pouze nutné úkony před možností realizací svislých konstrukcí. Tento fakt zvyhodňuje v posouzení časové náročnosti desku s pasy. Ta však v rámci času realizace, vzhledem ke zrání betonu, bude stejně nejnáročnější.

5.10.1 Skladba železobetonové desky se základovými pasy

Teoretické rozebrání systému železobetonová deska s pasy se zaobírá kapitola literární rešerše: **3.9 Zakládání pasivních dřevostaveb**, proto se tomu již zde není věnováno.

Nejběžnější způsob zakládání staveb skladba dle obrázku 43. V tomto případě s drobnou odlišností že vrstva hydroizolace je umístěna mezi dvě vrstvy betonu. Tento způsob realizace je vhodný nejen pro dřevostavby z pohledu ochrany hydroizolační vrstvy během stavby. V případě dřevostaveb nedochází k poškození vrstvy tahovými a smykovými kotvami. Napojení vzduchotěsné roviny ze stěny proběhne pro lepením k betonu.

Realizace je poměrně náročná na čas. Zrání betonu pro následující práce je minimálně 48 hodin a plného zatížení dosahuje až po 28 dnech. Tyto technologické vlastnosti přidávají časovou náročnost.

V konstrukci dochází ke kondenzaci na hydroizolaci. Tato skutečnost je běžná u většiny základů realizovaných tímto systémem. Množství kondenzátu norma nevyhodnocuje jako nebezpečný, ale je třeba na něj upozornit.

Poměrně velká část stavby lze zhotovit pomocí techniky, což snižuje potřebu lidské pracovní síly. Oproti plovoucí desce na pěno-skle je však vyšší z pohledu zdění bednicích tvárnic základů a následné izolaci podlahy ve stavbě. Tyto operace však nejsou náročné na detaily a dokáže je realizovat i méně kvalitní lidská síla.

Zvolení této konstrukce pro realizační projekt bylo zejména z důvodů ceny a běžnosti prováděných detailů. To hlavně z pohledu odstupu terénu od dřevostavby.

<u>PODLAHA NA TERÉNU - ŽELEZOBETON DESKA S PASY</u>	<u>530</u>	<u>mm</u>
DLAŽBA	5	mm
LEPIDLO	10	mm
PODLAHOVÁ DESKA FERMACELL (2E11/2E22)	25	mm
ISOVER - EPS 100Z	120	mm
ISOVER - EPS 100Z	120	mm
FERMACELL VYROVNÁVACÍ PODSYP	20	mm
ŽELEZOBENOVÁ DESKA	150	mm
HYDROIZOLAČNÍ VRSTVA		mm
ŽELEZOBENOVÁ DESKA	80	mm
ZHUTNĚNÝ NÁSYP		
PŮDOVNÍ ZEMINA		

Obrázek 42 popis skladby železobetonová deska s pasy

5.10.2 Skladba železobetonové plovoucí desky

Teoretické rozebrání systému železobetonové plovoucí desky se zaobírá kapitola literární rešerše: **3.9 Zakládání pasivních dřevostaveb**, proto se tomu již zde není věnováno.

Skladba základů na obrázku 44. Systém realizace dvouplášťové plovoucí desky. Ukázal velmi dobré výsledky z pohledu objemu lidské práce. V podstatě většina přenosu hmot se realizuje pomocí těžké techniky. Z tohoto pohledu je systém opravdu dobrým řešením, ušetření lidské práce je dnes vítané.

<u>PODLAHA NA TERÉNU - PLOVOUCÍ DESKA</u>	<u>840</u>	<u>mm</u>
DLAŽBA	5	mm
LEPIDLO	10	mm
PODLAHOVÁ DESKA FERMACELL (2E11/2E22)	25	mm
FERMACELL VYROVNÁVACÍ PODSYP	20	mm
ŽELEZOBENOVÁ DESKA	200	mm
HYDROIZOLAČNÍ VRSTVA		mm
ŽELEZOBENOVÁ DESKA	80	mm
GEOTEXTÍLIE 150g/m ²		mm
DRCENÉ PĚNOSKLO	500	mm
ZHUTNĚNÝ NÁSYP ŠTĚRKOPÍSEK (frakce16/32)	30-120	mm
PŮDOVNÍ ZEMINA		

Obrázek 43 popis skladby plovoucí železobetonová deska

Tím, že se jedná o mokrou výstavbu, při které je třeba vyčkat na technologické zrání betonu. Budou muset následující navazující realizace konstrukcí tuto pauzu respektovat a tím se protáhne celková doba stavění.

Hydro izolační rovina je zde navržena mezi dvě železobetonové desky, což danou vrstvu chrání proti poškození během montáže.

Daná konstrukce byla vyhodnocena jako nejnákladnější z finančního pohledu a složitá na provedení detailů. Hlavně z pohledu dodržení bezpečné vzdálenosti terénu od dřevostavby. Z toho důvodu nebyla deska zařazena do realizačního projektu.

5.10.3 Skladba Crawl – Space s použitím zemních vrutů

Teoretické rozebrání systému Crawl – Space s použitím zemních vrutů se zaobírá kapitola literární rešerše: **3.9 Zakládání pasivních dřevostaveb**, proto se tomu již zde není věnováno.

Dle zjednodušeného předběžného návrhu je navrženo 40 zemních vrutů 78*2000 mm. Z výpočtu dle dodavatele Bez Betonu v příloze: *H_Porovnání základů* je vypočtena minimální délka vrutu 1300 mm, po připočtení rezervy na nerovnosti a velikosti provětrávané mezery byl zvolen vrut délky 2000 mm. Zároveň je nutné zdůraznit že vhodnost použití zemních vrutů a systému CLT se musí vždy individuálně staticky posoudit. Tyto dva systémy se ne vždy vhodně kombinují. Častější je použití pro sloupkové nebo panelové konstrukce.

Navržená skladba na obrázku 45 kompletně suché výstavby s možností částečné prefabrikace. Prefabrikaci dílů, kdy se dřevěné prvky opracují pomocí CNC center. Takto přesně opracované díly mají definovaný tvar, rozměr a montážní číslo díky kterému je montáž již pouze pomocí zjednodušených pozičních a číselných schémat. Prefabrikovat by bylo možné v tomto případě i jako celé panely. Na stavbě by se osadily na podkladní hranoly na zemních vrutech. Taková montáž by byla pomocí těžké techniky v rámci hodin. V porovnání je uvažováno s kompletní realizací na staveništi.

<u>PODLAHA NA TERÉNU - CRAWL SPACE</u>	<u>1275</u>	<u>mm</u>
DLAŽBA	5	mm
LEPIDLO	10	mm
PODLAHOVÁ DESKA FERMACELL (2E11/2E22)	25	mm
FERMACELL VYROVNÁVACÍ PODSYP	20	mm
OSB - EGGER TOP 4	25	mm
STEICO JOIST 400 + TEPELNÁ IZOLACE	400	mm
FERMACELL H2O DESKA	10	mm
ROŠT Z HRANOLŮ 160x180	180	mm
ZEMNÍ VRUT 78*2000	450	mm
ZHUTNĚNÝ NÁSYP ŠTĚRKOPÍSEK (frakce16/32)	150	mm
GEOTEXTÍLIE 150g/m2		mm
PŮDOVNÍ ZEMINA		

Obrázek 44 popis skladby crawl space

Ve skladbě bylo počítáno s 600 mm provětrávané mezery což umožní dostatečné proudění vzduchu pod stavbou. Vzlínání vody z terénu je ošetřeno pomocí skrývky ornice do spádů od domu. Vytvoření lože ze štěrku umožní rychlý odvod vody a geotextílie zamezí prorůstání vegetace.

5.10.4 Zhodnocení porovnávaných systémů základových konstrukcí

	ŽELEZOBETONOVÁ BETONOVÁ DESKA S PASY	PLOVOUCÍ ŽELEZOBETONOVÁ DESKA NA PĚNOSKLE	CRAWL SPACE ZEMNÍ VRUTY
VYPOČTENÝ - CELKOVÝ TEPLENÝ SOUČINITEL PROSTUPU TEPLA - U [W/(m ² ·K)]	0,144	0,146	0,099
POŽADOVANÝ - CELKOVÝ TEPLENÝ SOUČINITEL PROSTUPU TEPLA - U [W/(m ² ·K)]L DLE ČSN 73 0540-2:2011	0,22 - 0,15	0,22 - 0,15	0,15 - 0,1
KONDENZACE V KONSTRUKCI DOVOLENÁ NORMOU	ANO	BEZ KONDENZACE	BEZ KONDENZACE
SUCHÁ VÝSTAVBA	NE	NE	ANO
MOŽNOST PREFABRIKACE	NE	NE	ANO
TYPICKÉ DETAILY JEDNODUCHÉ NA PROVEDENÍ	ANO	NE	NE
OBJEM VYTĚŽENÉHO MATERIÁLU - ZEMNÍ PRÁCE [m ³]	100	126	27
OBJEM NAVEZENÉHO MATERIÁLU BETONY, KAMENIVO, IZOLACE UPRAVENÉ TECHNIKOU [m ³]	79	135	68
HMOTNOST NAVEZENÉHO MATERIÁLU BETONY, KAMENIVO, IZOLACE UPRAVENÉ TECHNIKOU [t]	181	136,8	50
OBJEM NAVEZENÉHO MATERIÁLU IZOLAČNÍ A KONSTRUKČNÍ UPRAVENÉ LIDSKOU SILOU [m ³]	50	11	15,3
HMOTNOST NAVEZENÉHO MATERIÁLU IZOLAČNÍ A KONSTRUKČNÍ UPRAVENÉ LIDSKOU SILOU [t]	11	6	13,8
ČASOVÁ NÁROČNOST [TÝDEN]	4-5	4-5	1-2
CENA BEZ DPH [Kč]	751 969,-	945 810,-	878 794,-

Obrázek 45 Vyhodnocovací tabulka skladeb základů

Celkového porovnávání jednotlivých konstrukcí základů dle obrázku 45. Hodnotí konstrukce dle daných kritérií, podle kterých by se investor nebo projektant rozhodoval.

Tradiční varianta deska s pasy měla nejlepší výsledky z ohledu ceny za dílo a jednoduchosti detailu. Ostatní konstrukce jsou atypické a je méně firem které se zaobírají její realizací. Nevýhodou této skladby je vypočtená kondenzace v místě styku betonové desky a podlahového polystyrenu. S daným problémem se potýká většina staveb, a protože kondenzace není v místě nasákového materiálu, který by dočasně zvýšená vlhkost ohrožovala. Nepohlíží se na detail dle normy jako na problémový. Dále měla konstrukce průměrné hodnocení vzhledem k množství lidské práce a mechanizované činnosti. Dále se konstrukce ukázala jako nejtěžší což se hůře spojuje s lehkostí dřevostaveb.

Plovoucí železobetonová deska v posouzení vysoké mechanizace a minimalizování lidské práce vyšla nejlépe. S tím byla spojená i vyšší cena za dílo takové konstrukce. Konstrukce ukázala menší spotřebu betonu a kameniva oproti tradiční variantě. Ale na množství zemních prací vzhledem k nutnosti vytvoření jámy pod celou stavbou se ukázala oproti tradiční metodě nákladnější.

Konstrukce crawl-space za použití zemních vrutů byla vyhodnocena jako časově nejméně náročná, a to především díky vynechání mokrého procesu při stavbě. Z důvodu, že konstrukce nevyužívá přirozených vlastností zeminy jako izolačního materiálu. Pohlíží na konstrukci norma přísněji, a to z pohledu požadovaného celkového koeficientu prostupu tepla. Tato podmínka byla zahrnuta do požadavků na konstrukci. V konstrukci bylo navrženo více izolačního materiálu pro splnění podmínek, to se dále projevilo v ceně. Pokud by byla požadováno co největší snížení doby výstavby objektu byla by to vhodná varianta.

Z celkového porovnávání jednotlivých konstrukcí základů bylo projekčně zvoleno zpracovat tradiční variantu: desku s pasy. Systém měl nejlepší výsledky z ohledu ceny za dílo a jednoduchosti detailu.

6 Diskuze

Navrhované řešení bylo shledáno vhodným při porovnání s technologiemi výstavby firem na českém trhu. Stavba se prokázala jako vysoce kvalitní, jak z pohledu návrhu tepelně technických obálek, tak i v detailech.

Stavba byla řešená jako částečná prefabrikace. Pouze nosné panely stěn a vazníky byly navrženy jako prefabrikáty. Navazující konstrukce stěn byly projektovány jako montážní prvky osazované staveništní montáží. Tato varianta je vhodná zejména z toho důvodu že realizační firma nepotřebuje výrobní halu. Vazníky a clt panely si objedná u výrobce a stavbu do detailu vyřeší na místě s eliminací nepřesností. Tento způsob výstavby uplatňují menší realizační firmy zaměřující se na individuální výstavbu.

Díky přípravě dat v 3D programu se veškeré přířezy dali částečně prefabrikovat, a to z pohledu specifické délky výřezu. Každý prvek v modelu měl definovaný rozměr a délku ta byla vykrácena na CNC stroji a na stavbě pak došlo pouze k osazení pomocí spojovacího prvku. Tento postup aplikuje již menší množství firem, a to především z nutnosti vlastnit nebo spolupracovat s firmou která obsluhuje takové centrum. Prefabrikace dílů se nejvíce ekonomicky vyplatí u dražších prvků, kde s efektem využíváme optimalizaci jednotlivých dílců v sdruženém přířezu a tím snižujeme odpadní materiál. Z této specifikace na dané stavbě by bylo výhodné délkově připravit prvky zhotovené z STEICO wall. Alternativou pro tyto nosníky jsou sbíjené přířezy. Pásnice tvoří stejný prvek KVH lať a stojna je zhotovena z OSB desky připevněné z vnější části pomocí hřebíků či sponek. Toto alternativní řešení lze kompletně připravit na stavbě.

Po porovnání základů došlo ke zvolení klasického způsobu založení na pasech. Tento způsob realizace volí většina firem, především z důvodu ceny a nenáročných detailů. Zvyšující se oblibu získává i zakládání na pěno skle nebo větrané mezeře. Tyto způsoby se ukázaly jako technologicky zajímavé. Do budoucna po zapracování více firmami, získají určitě větší množství realizací a budeme se s nimi setkávat častěji.

Celkově byla stavba navržena za použití běžných technologií, které využívají tuzemské firmy. Kvalita provedených konstrukcí byla odpovídající někde mírně vyšší. Tento aspekt byl především z dvou důvodů. Vysoká konkurence mezi realizačními firmami, a tudíž firmy nevyužívají nadstandardní detaily anebo nedrží krok s novými způsoby a poznatky které se neustále vyvíjí.

7 Závěr

Práce úspěšně splnila stanovené cíle, které směřovaly k efektivnímu využití konstrukčního systému CLT panelů při stavbě pasivního rodinného domu. Koncept projektu byl vypracován do úrovně realizačního projektu s důrazem na správnost skladeb obálky budovy a stavebně konstrukční části. Detailní projektová dokumentace obsahuje tvarové, dispoziční, konstrukční a materiálové provedení domu včetně jeho umístění. Optimalizace konstrukčních skladeb byla provedena s ohledem na požadavky stavební fyziky, což přispělo k vylepšení energetických vlastností domu s pohledem na dané požadavky.

Vytvoření 3D BIM modelu stavby v programu CadWork umožnilo přesné zobrazení a plánování celého projektu. Výrobní, realizační a montážní dokumentace byly připraveny s důrazem na CNC výrobu, což přispělo k efektivitě a kvalitě výrobního procesu. Díky sestavení rozpočtu projektu byla zajištěna finanční transparentnost a kontrola nákladů.

Vizualizace stavby poskytují představu o vzhledu a prostředí domu, což je důležité pro komunikaci s klientem. Porovnání možností založení objektu pro betonovou desku, zemní vruty a pěno-skla přineslo ucelený pohled na možnosti stavebního zakládání v různých podmínkách.

Literární řešerše poskytla přehled o pasivních standardech a postupech, které jsou důležité pro správné stavění a dosažení požadovaných energetických standardů. Získání porozumění základům digitalizace a implementace do BIM modelování přispělo k modernizaci procesů a zvýšení efektivity projektování a realizace staveb.

Celkově lze konstatovat, že práce splnila své cíle a přinesla ucelený a kvalitní návrh pasivního rodinného domu využívajícího konstrukční systém CLT panelů.

8 Zdroje

8.1 Literatura

CENTRUM PASIVNÍHO DOMU; Pasivní domy. Brno: Centrum pasivního domu, 2008; Konferenční sborník: Pasivní domy (konference); OCLC: 190754140

DUFEK, Zdeněk et al. BIM pro veřejné zadavatele. Praha: Leges, 2018. ISBN 8075022858;9788075022851;

FILLEUX, Charles a Andreas GÜTERMANN. Solární teplovzdušné vytápění: koncepce, technika, projektování. 1. české vyd. vyd. Ostrava: HEL, 2006. ISBN 9788086167282;8086167283;

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

HERZOG, Thomas. Timber construction manual. Julius NATTERER et al., eds. 1. vyd. Basel: Birkhäuser,2012; ISBN 3034614632;9783034614634;

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

HUDEEC, Mojmir. Pasivní rodinný dům: proč a jak stavět. 1. vyd. vyd. Praha: Grada, 2008. ISBN 802472555X;9788024725550;

HUDEEC, Mojmir, Blanka JOHANISOVÁ a Tomáš MANSBART. Pasivní domy z přírodních materiálů. 1. vyd. vyd. Praha: Grada, 2013. ISBN 9788024742434;8024742438;

Hugo S. L. Hens; Building Physics: Heat, Air and Moisture; Ernst & Sohn; 2nd edition; Pub, 2012; ISBN 3433030278.

HUMM, Othmar. Nízkoenergetické domy. 1. čes. vyd. vyd. Praha: Grada, 1999. ISBN 9788071696575;8071696579;

INGRAM, Jonathan. Understanding BIM: the past, present and future. First publish. vyd. New York;London;: Routledge, Taylor & Francis Group, 2020. ISBN 0367244136;0367244187;9780367244187;9780367244132;

JELÍNEK, Lubomír. Dřevěné a kovové konstrukce podle ČSN EN 1995-1-1 a ČSN EN 1993-1-1. 1. vyd. vyd. Volyně: Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola, 2012. ISBN 9788086837420;8086837424;

JULIEN, F; Manufacturing cross – laminated Timber (CLT): Technological and economic analysis; Report to Quebec Wood Export Bureau; 201001259-3257AAM; FPIinnovations; Québec, Quebec, Canada; 2010

KARACABEYLI, Erol, Douglas Brand; Cross Laminated Timber Handbook; Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory 2013; ISBN 978-0-86488-553-1.

KARACABEYLI E., GAGNON S. (2019): Canadian CLT Handbook; FPIinnovations; pp 463; ISBN: 0864885911

KOLB, Josef; Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště; Vyd. 1; Praha: Grada, 2008; ISBN 978-80-247-2275-7.

KOŽELUH, Bohumil; Dřevěné konstrukce podle eurokódu 5: navrhování a konstrukční materiály; Vyd. 1; Praha: ČKAIT, 2004; ISBN 80-867-6913-5.

KRÄMER, Volker a Česká KOMORA AUTORIZOVANÝCH INŽENÝRŮ A TECHNIKŮ ČINNÝCH VE VÝSTAVBĚ. Dřevěné konstrukce: příklady a řešení podle ČSN 73 1702. 1. české vyd. vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2011. ISBN 9788087438169;8087438167;

KUBEČKOVÁ, Darja a Karel KUBEČKA. Základy rodinných domů: tradiční i moderní typy zakládání. První vydání. vyd. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 8024747200;9788024747200;

KULHÁNEK, František, Česká KOMORA AUTORIZOVANÝCH INŽENÝRŮ A TECHNIKŮ ČINNÝCH VE VÝSTAVBĚ a Česká KOMORA AUTORIZOVANÝCH

INŽENÝRŮ A TECHNIKŮ ČINNÝCH VE VÝSTAVBĚ. RADA PRO PODPORU ROZVOJE PROFESE. Tepelná ochrana a energetika budov: TP 1.8.1 : technická pomůcka k činnosti autorizovaných osob. 1. vyd. vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydává Informační centrum ČKAIT, 2014. ISBN 8087438485;9788087438480;

KUKLÍK, Petr. Dřevěné konstrukce. 1. vyd. vyd. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2005. ISBN 9788086769721;8086769720;

KUKLÍK, Petr. Navrhování dřevěných konstrukcí. 1. vyd. vyd. Praha: Český svaz stavebních inženýrů, 1997. ISBN 8086047199;9788086047195;

MATĚJKA, Petr et al.; Základy implementace BIM na českém stavebním trhu; Praha: FinEco, 2012; ISBN 978-80-86590-10-3.

MAYO, Joseph a Česká RADA PRO ŠETRNÉ BUDOVI. Solid wood: case studies in mass timber architecture, technology and design. First publish. vyd. Abingdon;New York;: Routledge, 2015. ISBN 9780415725309;0415725305;

MILLER, Frederic P; Passive solar building design; Beau Bassin: Alphascript; Pub, 2009; ISBN 61300464993.

PAVLAS, Marek. Dřevostavby z vrstvených masivních panelů: technologie CLT. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-271-0055-2.

PREGIZER, Dieter. Zásady pro stavbu pasivního domu. 1. vyd. vyd. Praha: Grada, 2009. ISBN 9788024724317;8024724316;

RAHIMIAN, Farzad P. et al. Industry 4.0 solutions for building design and construction: a paradigm of new opportunities. First publish. vyd. London;New York;: Routledge, Taylor & Francis Group, 2022. ISBN 9780367618803;9780367618780;0367618788;036761880X;

REMEŠ, Josef. Stavební příručka: to nejdůležitější z norem, vyhlášek a zákonů. 2., aktualiz. vyd. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 9788024751429;8024751429;

RŮŽIČKA, Martin. Moderní dřevostavba. 1. vyd. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 802473298X;9788024732985;

SACKS, Rafael et al. BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers. Third. vyd. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2018. ISBN 1119287537;9781119287537;

SMOLA, Josef. Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů. 1. vyd. vyd. Praha: Grada, 2011. ISBN 9788024729954;8024729954;

STEIGER, Ludwig, Michael ROBINSON a Hartwin BUSCH. Basic timber construction. Third. vyd. Basel: Birkhäuser, 2020. ISBN 9783035621266;3035621268;

ŠÁLA, Jiří a Josef SMOLA. Problematika založení současných dřevostaveb nad provětrávaným průlezným prostorem – „crawl space: Foundation of wooden structures above aired crawl space.

Zdroj článku:

ISSN: 1213-0907; Tepelná ochrana budov, Roč. 16, 3 (2013), s. 49-52

ŠTEFKO, Jozef, Ladislav REINPRECHT a Petr KUKLÍK. Dřevěné stavby: konstrukce, ochrana a údržba. 2. české vyd. vyd. Bratislava: Jaga, 2006. ISBN 9788080760809;8080760438;9788080760434;8080760802;

TYWONIAK, Jan; Nízkoenergetické domy: principy a příklady; Vyd. 1; Praha: Grada, 2005, 193 s.; ISBN 80-247-1101-x.

TYWONIAK, Jan. Nízkoenergetické domy 2: principy a příklady. 1. vyd. vyd. Praha: Grada, 2008. ISBN 8024720612;9788024720616;

TYWONIAK, Jan. Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další. 1. vyd. vyd. Praha: Grada, 2012. ISBN 8024738325;9788024738321;

VAVERKA, Jiří. Dřevostavby pro bydlení. 1. vyd. vyd. Praha: Grada, 2008. ISBN 8024722054;9788024722054;

ZAHRADNÍČEK, Václav a Pavel HORÁK. Moderní dřevostavby. Vyd. 2. aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2011. ISBN 8025135683;9788025135686;

ZMRHAL, Vladimír. Větrání rodinných a bytových domů. 1. vyd. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 9788024745732;8024745739;

8.2 Online zdroje

AMMÁN; CNC machining debut for CLT wood building construction; In: *Real Estate Monitor Worldwide* [online]. březen 19, . 2019 ProQuest Central; Dostupné z: https://www.proquest.com/docview/2193538972?parentSessionId=wkwllbkWFuw39X1BYZ_R6ULmk%2BAQyh1OBd2CSgxVhiS4%3D&pq-origsite=summon&accountid=119841&sourcetype=Wire%20Feeds

AGROP NOVA a.s.; Co je NOVATOP; In: novatop-system [online]. [cit. 02-02-2024]. Dostupné z: <https://novatop-system.cz/system-novatop/>

BEZBETONU; 2024; Moderní a ekologický způsob zakládání staveb bez betonu; In: *bezbetonu* [online] Pardubice: zemní základové vruty [cit.17-02-2024] Dostupné z: <http://bezbetonu.cz/>

BOHUSLÁVEK, Petr; 2011; Pěnové sklo REFAGLASS pod základy pasivního domu; In: *stavba.tzb-info* [online] Praha: Topinfo [cit.17-02-2024] Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/7774-penove-sklo-refaglass-pod-zaklady-pasivniho-domu>

BOHUSLÁVEK, Petr; 2024; Revidovaná Směrnice o energetické náročnosti budov s bezemisními budovami v roce 2050; In: *stavba.tzb-info* [online] Praha: Topinfo [cit.11-03-2024] Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/26093-revidovana-smernice-o-energeticke-narocnosti-budov-s-bezemisnimi-budovami-v-roce-2050>

BRANDNER, Reinhard; 2013; Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT): A state-of-the-art Report. Graz; In: *researchgate* [online] [cit.03-02-2024] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/261884030_Production_and_Technology_of_Cross_Laminated_Timber_CLT_A_state-of-the-art_Report

BROTHÁNEK, Aleš; 2009; Praktická řešení při zakládání pasivních domů; In: *stavba.tzb-info* [online] Praha: Topinfo [cit.17-02-2024] Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/nizkoenergeticke-stavby/6342-prakticka-reseni-pri-zakladani-pasivnich-domu>

BRUNETTI, Michele & Nocetti, Michela & Pizzo, Benedetto & Negro, Francesco & Aminti, Giovanni & Burato, Paolo & Cremonini, Corrado & Zanuttini, Roberto. (2020). Comparison of different bonding parameters in the production of beech and combined beech-spruce CLT by standard and optimized tests methods. *Construction and Building Materials*. 265. 120168. 10.1016/j.conbuildmat.2020.120168; In: *researchgate* [online] [cit.04-02-2024] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/343457704_Comparison_of_different_bonding_parameters_in_the_production_of_beech_and_combined_beech-spruce_CLT_by_standard_and_optimized_tests_methods

BUCHANAN, Andy. (2007). Energy and CO 2 Advantages of Wood for Sustainable Buildings. *New Zealand Timber Design Journal*. 15. In: *researchgate* [online] [cit.11-03-2024] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/266439346_Energy_and_CO_2_Advantages_of_Wood_for_Sustainable_Buildings

BUCK, et al.; Compressed angled CLT; 13(2), 4029-4045; In: *BioResources* [online] [cit.04-02-2024] Dostupné z: https://jtatm.textiles.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_13_2_4029_Buck_In_Plane_Compression_Mechanics/6056

CALQUIN, Danny & Mata, Ramón & Correa, Claudio & Nuñez Castellanos, Eduardo & Bustamante, Guillermo & Caicedo, Natalia & Blanco, David & Díaz, Marco & Pulgar, Pablo & Roa, Leonardo. (2024). Implementation of BIM Technologies in Wood Construction: A Review of the State of the Art From a Multidisciplinary Approach. 10.20944/preprints202401.1670.v1. In: *researchgate* [online] [cit.11-03-2024] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/377681161_Implementation_of_BIM_Technologies_in_Wood_Construction_A_Review_of_the_State_of_the_Art_From_a_Multidisciplinary_Approach

CAUSEVIC, Amir; Rustempašić Nerman; 2021. Cross-laminated timber (CLT) application in multi-storey buildings. *Technics Technologies Education Management. TTEM* 15 2020. 96-101; In: *researchgate* [online] [cit.03-02-2024] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/349533027_Cross-laminated_timber_CLT_application_in_multi-storey_buildings

CENTRUM PASIVNÍHO DOMU, z.s.,2023. Co je to pasivní dům? In: *pasivnidomy* [online] [cit.12-10-2023] Dostupné z: <https://www.pasivnidomy.cz/co-je-pasivni-dum/t2?chapterId=1634>

CVETKOVIC Radovan; Stojić Dragoslav; Krasic Sonja; Marković Nemanja. 2015; Innovative structural CLT system in projecting and building of student houses. *Facta universitatis – series: Architecture and Civil Engineering*. 13. 57-64. 10.2298/FUACE1501057C; In: *researchgate* [online] [cit.03-02-2024] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/283740387_Innovative_structural_CLT_system_in_projecting_and_building_of_student_houses

ČECH, Jiří; 2013; Aktuální průběh stavby MŠ Slivenec; In: *stavba.tzb-info* [online] Praha: Topinfo [cit.17-02-2024] Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/9634-aktualni-prubeh-stavby-ms-slivenec>

ČEJKA, Michal; Antonín, Jan; 2024; Energetické standardy budov - NZEB; In: *stavba.tzb-info* [online] Praha: Topinfo [cit.11-03-2024] Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/350-energeticke-standardy-budov-nzeb>

DAS, Sumanta; Gašparík Miroslav; Sethy Anil; Niemz Peter; Lagana, Rastislav; Kytka Tomáš; Sviták Martin; Kamboj Gourav; 2023. Suitability of Aspen (*Populus tremula* L.) for cross-laminated timber (CLT). *Wood Research*. 68. 502-520. 10.37763/wr.1336-4561/68.3.502520; In: *researchgate* [online] [cit.04-02-2024] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/372009957_Suitability_of_Aspen_Populus_tremula_L_for_cross-laminated_timber_CLT

DEK a.s.; O výrobě dekpanelu; In: *dekwood* [online]. [cit. 02-02-2024]. Dostupné z: <https://dekwood.cz/dekpanel/o-systemu>

DOMLJAN, Danijela & Mamić, Domagoj. (2023). Positive Aspects of Using Solid Wood in Interiors on Human WellbeingPozitivni aspekti primjene masivnog drva u interijerima na dobrobit ljudi: A Reviewpregled literature. *Drvna industrija*. 74. 379-391. 10.5552/drvind.2023.0130. In: *researchgate* [online] [cit.11-03-2024] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/374526617_Positive_Aspects_of_Using_Solid_Wood_in_Interiors_on_Human_WellbeingPozitivni_aspekti_primjene_masivnog_drva_u_interijerima_na_dobrobit_ljudi_A_Reviewpregled_literature

FIBRAN, 2024; Katalogy; In: *Fibran* [online]; [cit. 10-02-2024]; Dostupné z: <https://fibran.cz/katalogy/>

FORAL, Martin; Povinnost využívání BIM se prozatím posouvá; In: *tzb-info* [online] Praha: Topinfo [cit.14-02-2024] Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/bim-informacni-model-budovy/24644-povinnost-vyuzivani-bim-se-prozatim-posouva>

FRANGI, Andrea; Bohicchio Giovanna; Ceccotti Ario; Lauriola Marco Pio; 2008; Natural Full-Scale Fire Test on a 3 Storey XLam Timber Building. 10th World Conference on Timber Engineering 2008. 1. 528-535; In: *researchgate* [online] [cit.03-02-2024] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/289641118_Natural_Full-Scale_Fire_Test_on_a_3_Storey_XLam_Timber_Building

GHARAIBEH, Lina & Matarneh, Sandra & Eriksson, Kristina & Lantz, Björn. (2023). Digital transformation of the wood construction supply chain through building information modelling: current state of practice Digital transformation. Construction Innovation. 24. 10.1108/CI-05-2023-0124. In: *researchgate* [online] [cit.11-03-2024] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/376050362_Digital_transformation_of_the_wood_construction_supply_chain_through_building_information_modelling_current_state_of_practice_Digital_transformation

ISOVER, 2024; Katalog produktů; In: *Isover* [online]; [cit. 10-02-2024]; Dostupné z: <https://www.isover.cz/produkty>

KRINNER; 2018; Dřevostavba na zemních vrutech; In: *zemnivruty-krinner* [online] Opava: Krinner [cit.17-02-2024] Dostupné z: <http://www.zemnivruty-krinner.cz/pdf/brozura-11-2018.pdf>

KUCHAŘOVÁ, Martina; 2024; Energetická náročnost budovy a rostoucí požadavky na její snižování; In: *v-system* [online] Benešov: Saint-Gobain Construction Products CZ a.s.; [cit.11-03-2024] Dostupné z: <https://www.v-system.cz/blog/energeticka-narocnost-budovy-a-stupnujici-se-pozadavky/>

KUKLÍK, Petr; Gregorová Anna; Melzerová Lenka; Pokročilé metody pro navrhování konstrukcí z CLT; In: *stavba.tzb-info* [online] Praha: Topinfo [cit.05-02-2024] Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/10314-pokrocile-metody-pro-navrhovani-konstrukci-z-clt>

LINDT, John; Furley Jace; Amini M.; Pei Shiling; Tamagnone Gabriele; Barbosa Andre; Rammer Douglas; Line Philip; Fragiacommo Massimo; Popovski Marjan; 2019; Experimental seismic behavior of a two-story CLT platform building. *Engineering Structures*. 183. 408-422. 10.1016/j.engstruct.2018.12.079; In: *researchgate* [online] [cit.03-02-2024] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/330544835_Experimental_seismic_behavior_of_a_two-story_CLT_platform_building

LOKAJ Antonín, VARUŠÁKOVÁ Kristýna. 2009; Požární odolnost dřevěných střešních nástaveb; In: *old.konstrukce* [online] [cit.03-02-2024] Dostupné z: <http://old.konstrukce.cz/clanek/pozarni-odolnost-drevenych-stresnich-nastaveb/>

MARTINEZ Villanueva, Emanuel & Mamledasai, Harshavardhan & Martinez, Pablo & Poostchi, Peyman & Ahmad, Dr Rafiq. (2021). Design and simulation of an automated robotic machining cell for cross-laminated timber panels. *Procedia CIRP*. 100. 175-180. 10.1016/j.procir.2021.05.026. In: *researchgate* [online] [cit.04-02-2024] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/352067760_Design_and_simulation_of_an_automated_robotic_machining_cell_for_cross-laminated_timber_panels

MIRELA, Mihai; Vladimir Tanasiev; Cristian Dinca; Adrian Badea; Ruxandra Vidu; 2017; Passive house analysis in terms of energy performance; In: *sciencedirect* [online] ISSN: 0378-7788; [cit.11-03-2024] Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778817308290>

NAWARI, Nawari. (2012). BIM Standardization and Wood Structures. 293-300. 10.1061/9780784412343.0037. In: *researchgate* [online] [cit.11-03-2024] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/268586728_BIM_Standardization_and_Wood_Structures

OLSSON, Lars. (2020). Moisture safety in CLT construction without weather protection – Case studies, literature review and interviews. *E3S Web of Conferences*. 172. 10001. 10.1051/e3sconf/202017210001. In: *researchgate* [online] [cit.04-02-2024] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/342583164_Moisture_safety_in_CLT_construction_without_weather_protection_-_Case_studies_literature_review_and_interviews

ÖSTMAN Birgit, et al. 2018; Fire design of CLT in Europe; In: *researchgate* [online] [cit.03-02-2024] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/322991972_Fire_design_of_CLT_in_Europe

PASSIVE HOUSE INSTITUTE; (2015). The Passive House Institute (PHI). In: *passiv* [online] [cit.11-03-2024] Dostupné <https://passiv.de/en/index.php>

PAVATEX, 2024; Technické informace; In: *pavatex* [online]; [cit. 06-02-2024]; Dostupné z: <https://www.pavatex-cz.com/technicke-informace-drevovlakno/>

PIEROBON Pierobon, Monica HUANG, Kathrina SIMONEN, Indroneil GANGULY; 2016. Environmental benefits of using hybrid CLT structure in midrise non-residential construction: An LCA based comparative case study in the U.S. Pacific Northwest, Journal of Building Engineering; In: *sciencedirect* [online] [cit.03-02-2024] Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710219302542>

REFAGLASS, 2024; Přednosti a vlastnosti; In: *Refaglass* [online]; [cit. 10-02-2024]; Dostupné z: <https://www.refaglass.cz/vlastnosti/>

SFS Group CZ s.r.o; 2024; Zesílení_v_tlaku_s_WT_nebo_WR; In: *sfs* [online] [cit. 20-03-2024] Dostupné z: https://cz.sfs.com/content/files/2790%20-%20CZ/1%20Products/Downloads/Zes%C3%ADlen%C3%AD_v_tlaku_s_WT_nebo_WR.pdf

STEICO, 2024; Nabídka materiálů; In: *steico* [online]; [cit. 06-02-2024]; Dostupné z: <https://www.steico.com/cz/produkty>

STORAENSO; 2012; Detaily konstrukce; In: *storaenso* [online] cltcz [cit.17-02-2024] Dostupné z: <https://www.cltcz.info/docs/Detaily-CS.pdf>

TZBINFO/1; 2024; Polystyrénové izolace; In: *tzbinfo* [online] Praha: Topinfo [cit. 06-02-2024]; Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/297-polystyrenove-izolace>

TZBINFO/2; 2024; Pěnové sklo; In: *tzbinfo* [online] Praha: Topinfo [cit. 06-02-2024]; Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/300-penove-sklo>

TZBINFO/3; 2024; Izolace z obnovitelných surovin (dřevo, celulóza, konopí, ovčí vlna, sláma); In: *tzbinfo* [online] Praha: Topinfo [cit. 06-02-2024]; Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/301-izolace-z-obnovitelnych-surovin-drevo-celuloza-konopi-ovci-vlna-slama>

TZBINFO/4; 2024; Minerální izolace; In: *tzbinfo* [online] Praha: Topinfo [cit. 06-02-2024]; Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/298-mineralni-izolace>

YIN, Tianxiao & He, Lei & Huang, Qianzhi & Gong, Yingchun & Wang, Zhiqiang & Gong, Meng. (2024). Effect of lamination grade on bending and shear properties of CLT made from fast-growing Chinese fir. *Industrial Crops and Products*. 207. 117741. 10.1016/j.indcrop.2023.117741. In: *researchgate* [online] [cit.04-02-2024] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/375368565_Effect_of_lamination_grade_on_bending_and_shear_properties_of_CLT_made_from_fast-growing_Chinese_fir

ZEIDLER, Aleš & Borůvka, Vlastimil & Brabec, Pavel & Tomczak, Karol & Bedřich, Jakub & Vacek, Zdenek & Cukor, Jan & Vacek, Stanislav. (2024). The Possibility of Using Non-Native Spruces for Norway Spruce Wood Replacement-A Case Study from the Czech Republic. *Forests*. 15. 10.3390/f15020255; In: *researchgate* [online] [cit.04-02-2024] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/377772213_The_Possibility_of_Using_Non-Native_Spruces_for_Norway_Spruce_Wood_Replacement-A_Case_Study_from_the_Czech_Republic

ZHONG, X., Hu, M., Deetman, S. et al.; 2021. Global greenhouse gas emissions from residential and commercial building materials and mitigation strategies to 2060; *Nat Commun* 12, 6126 (2021); In: *nature* [online] [cit.03-02-2024] Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26212-z>

8.3 Použité normy

ČSN EN 338 Konstrukční dřevo – Třídy pevnosti

ČSN EN 13055-2 „Pórovité kamenivo – Část 2: Pórovité kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové úpravy a pro nestmelené a stmelené aplikace“

ČSN EN 13171+A1: Tepelněizolační výrobky pro budovy – Průmyslově vyráběné dřevovláknité výrobky (WF)

ČSN EN 13162+A1: Tepelněizolační výrobky pro budovy – Průmyslově vyráběné výrobky z minerální vlny (MW)

ČSN EN 13163+A2: Tepelněizolační výrobky pro budovy – Průmyslově vyráběné výrobky z pěnového polystyrenu (EPS)

ČSN EN 13164+A1: Tepelněizolační výrobky pro budovy – Průmyslově vyráběné výrobky z extrudovaného polystyrenu (XPS)

ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky

TNI 73 0329 Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – Rodinné domy.

8.4 Použité zákony

ČESKO. Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010–2024 [cit. 18. 2. 2024]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-406>

ČESKO. Vyhláška č. 264/2020 Sb., o energetické náročnosti budov. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010–2024 [cit. 18. 2. 2024]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-264>

ČESKO. Zákon č. 90/2016 Sb., o posuzování shody stanovených výrobků při jejich dodávání na trh. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010–2024 [cit. 18. 2. 2024]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-90>

ČESKO. Zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010–2024 [cit. 18. 2. 2024]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-22>

ČESKO. Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010–2024 [cit. 19. 2. 2024]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-268>

9 Seznam obrázků

Obrázek 1 Využití kolektoru při řízené výměně vzduchu (Filleux, Gütermann, 2006) .17	17
Obrázek 2 Varianty CLT pro stěny NOVATOPSOLID (Agrop Nova, 2024).....24	24
Obrázek 3 Nepohledová strana CLT spojovaného vruty (Dek, 2024).....25	25
Obrázek 4 Schéma jednotlivých vrstev CLT panelu Thoma Holz100 (Buck et al. 2018)25	25
Obrázek 5 Jednoplášťové a dvouplášťové konstrukce stěn (Steiger et al. 2020).....30	30
Obrázek 6 Řešené konstrukční spoje CLT panelů (Mayo, 2015)31	31
Obrázek 7 Detail založení CLT na železobetonové desce (Storaenso, 2012).....33	33
Obrázek 8 Příprava elektro-instalace zhotovená na CNC stroji (autor).....33	33
Obrázek 9 Příprava zhotovená na CNC stroji pro vstup elektroinstalace (Storaenso, 2012).....34	34
Obrázek 10 Vložení podložky do napojení vodorovných svislých konstrukcí (autor) ...34	34
Obrázek 11 Detail použití tahové kotvy (autor).....35	35
Obrázek 12 Detail použití smykové kotvy (autor).....35	35
Obrázek 13 Detail rohového spojení dvou panelů s akustickou podložkou (autor)35	35
Obrázek 14 Studie 1.NP řešené stavby (příloha A_STUDIE)41	41
Obrázek 15Katastrální snímek řešeného území (mapy.cz) (příloha C_SITUAČNÍ VÝKRESY)43	43
Obrázek 16 Popis skladby obvodové stěny (příloha D).....44	44
Obrázek 17 Popis skladby vnitřní stěny (příloha D).....45	45
Obrázek 18 Popis skladby stropu (příloha D).....45	45
Obrázek 19 Popis skladby podlaha na terénu (příloha D).....46	46
Obrázek 20 Popis skladby střecha (příloha D).....46	46
Obrázek 21 Axonometrie obálky stavby (autor).....47	47
Obrázek 22 Vyhodnocení obvodové stěny (příloha F_TEPelně TECHNICKÉ POSUDKY)48	48
Obrázek 23Rozložení tlaku vodní páry v typickém místě konstrukce (příloha F_TEPelně TECHNICKÉ POSUDKY)49	49
Obrázek 24 Rozložení relativní vlhkosti v typickém místě konstrukce (příloha F_TEPelně TECHNICKÉ POSUDKY)50	50
Obrázek 25Vyhodnocení stropu (příloha F_TEPelně TECHNICKÉ POSUDKY).....51	51

Obrázek 26 Vyhodnocení podlahy na terénu (příloha F_TEPELNĚ TECHNICKÉ POSUDKY)	52
Obrázek 27 Protokol zatížení konstrukcí (příloha E_KONSTRUKČNÍ ČÁST).....	53
Obrázek 28 Protokol zatížení sněhem (příloha E_KONSTRUKČNÍ ČÁST)	53
Obrázek 29 Případy zatížení sněhem (příloha E).....	54
Obrázek 30 Lokalizace zatížení větru (příloha E_KONSTRUKČNÍ ČÁST).....	54
Obrázek 31 Popis posuzovaných prvků vazníku (příloha E)	55
Obrázek 32 Využití jednotlivých prvků vazníku (příloha E).....	55
Obrázek 33 Deformace v posuzovaném vazníku vlivem zatížení (příloha E_KONSTRUKČNÍ ČÁST)	56
Obrázek 34 Uložení vazníku (autor)	57
Obrázek 35 Náhled na rozlet konstrukce v prostředí CadWork (autor).....	58
Obrázek 36 Řešený prvek na CNC stroji (autor)	60
Obrázek 37 Schéma pro sestavení vazníku (příloha D)	61
Obrázek 38 Výrobní výkres vnitřní příčky (příloha D)	62
Obrázek 39 Montážní pohled axonometrie (příloha D)	63
Obrázek 40 Vizualizace stavby v programu CadWork (autor).....	64
Obrázek 41 Tabulka s dílčími skupinami rozpočtu (příloha G).....	65
Obrázek 42 popis skladby železobetonová deska s pasy	67
Obrázek 43 popis skladby plovoucí železobetonová deska	68
Obrázek 44 popis skladby crawl space	69
Obrázek 45 Vyhodnocovací tabulka skladeb základů.....	70

10 Samostatné přílohy

A_STUDIE

B_ZPRÁVY

C_SITUAČNÍ VÝKRESY

D_DOKUMENTACE STAVBY

E_KONSTRUKČNÍ ČÁST

F_TEPelně TECHNICKÉ POSUDKY

G_ROZPOČET STAVBY

H_ZÁKLADY POROVNÁNÍ

10.1 Soubory

Prohlížeč 3D BIM modelu stavby