

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



**Konstrukční návrh rámové dřevostavby založené metodou  
Crawl Space**

Diplomová práce

Autor: Bc. Michal Vozňák

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

Konzultant: MgA. Štěpán Zápotocký

© 2022 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Michal Vozňák

Dřevěné konstrukce a stavby na bázi dřeva

Název práce

**Konstrukční návrh rámové dřevostavby založené metodou Crawl Space**

Název anglicky

**Project of Timber Frame House Using Crawl Space Method**

### Cíle práce

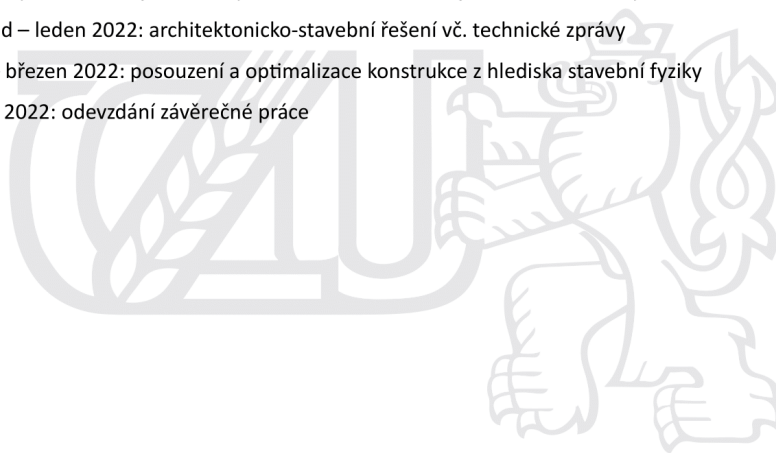
Cílem práce je vypracování projektové dokumentace pro realizaci stavby části architektonicko-stavebního řešení vlastního návrhu rámové dřevostavby s provětrávanou mezerou pod stavbou (metoda Crawl Space) včetně porovnání variant pro rozdílné sklonky pozemku. V první části bude navrženo základní tvarové, dispoziční, konstrukční a materiálové provedení s umístěním objektu do konkrétní lokality včetně optimalizace konstrukčních skladeb obvodového pláště. V druhé části práce bude zpracováno architektonicko-stavební řešení včetně konstrukčních detailů a technické zprávy. Dílčím cílem je návrh, posouzení a optimalizace konstrukčních skladeb a detailů z hlediska stavební fyziky. Obsahem projektové dokumentace bude (1) souhrnná technická zpráva, (2) situační výkresy objektu, (3) dokumentace dílčího technického řešení (architektonicko-stavební řešení) a (4) porovnání navrhované metody Crawl Space s ohledem na svažitost pozemku se standardními způsoby založení (základová deska, základové pásy, apod.) z pohledu stavební fyziky.

### Metodika

- Literární rešerše
- Návrh základního tvarového, dispozičního, konstrukčního a materiálového provedení vč. optimalizace konstrukčních skladeb obvodového pláště
- Souhrnná technická zpráva
- Situační výkresy objektu
- Dokumentace dílčího technického řešení pro realizaci stavby – Architektonicko-stavební řešení
- Posouzení a optimalizace konstrukčních skladeb a detailů z hlediska stavební fyziky
- Porovnání metody Crawl Space s ohledem na svažitost pozemku se standardními způsoby založení z pohledu stavební fyziky
- Závěr

Harmonogram práce:

- červenec – říjen 2021: literární rešerše, návrh základního tvarového, dispozičního, konstrukčního a materiálového provedení objektu vč. optimalizace a osazení objektu na konkrétní parcele
- listopad – leden 2022: architektonicko-stavební řešení vč. technické zprávy
- únor – březen 2022: posouzení a optimalizace konstrukce z hlediska stavební fyziky
- duben 2022: odevzdání závěrečné práce



**Doporučený rozsah práce**

30 – 50 normostran textu + přílohy

**Klíčová slova**

Dřevěný lehký skelet; konstrukční návrh; zakládání dřevostavby; architektonicko-stavební řešení.

---

**Doporučené zdroje informací**

- BLASS, Hans Joachim a Carmen SANDHAAS. Timber Engineering – Principles for Design. 2013. ISBN 3731506734.
- HERZOG, Thomas. Timber construction manual. Boston: Birkhäuser, 2004. ISBN 978-3-7643-7025-1.
- KOLB, Josef. Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. Vyd. 3., přeprac. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-2275-7.
- LAVICKÝ, Miloš a Zuzana MASTNÁ. Problematika dřevostaveb s crawl space. In: Sborník příspěvků konference Expert Forensic Science Brno 2012 [online]. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2012, s. 230-237 [cit. 2021-4-27]. ISBN 978-80-214-4412-6. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/53094>
- RŮŽIČKA, Martin. Moderní dřevostavba. Third edition. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-3298-5.
- Vyhláška č. 268/2009 Sb.: Vyhláška o technických požadavcích na stavby. Ministerstvo pro místní rozvoj, Praha, Česká republika, 2009. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-268>
- Vyhláška č. 499/2006 Sb.: Vyhláška o dokumentaci staveb. Ministerstvo pro místní rozvoj, Praha, Česká republika, 2006. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-499>
- Zákon č. 183/2006 Sb.: Zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). Parlament České republiky, Praha, Česká republika, 2006. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-183>
- 

**Předběžný termín obhajoby**

2021/22 LS – FLD

**Vedoucí práce**

Ing. Miloš Pavelek, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

**Konzultant**

MgA. Štěpán Zápotocký

Elektronicky schváleno dne 29. 7. 2021

**doc. Ing. Roman Fojtík, Ph.D.**

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 10. 2. 2022

**prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.**

Děkan

V Praze dne 10. 04. 2022

---

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „*Konstrukční návrh rámové dřevostavby založené metodou Crawl Space*“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Miloše Paveleka, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze, dne 10. 04. 2022

---

Bc. Michal Vozňák

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval mému vedoucímu práce, panu Ing. Miloši Pavelkovi, Ph.D. za vedení diplomové práce, důvěru, ochotu, profesionalitu, loajalitu a čas strávený při našich konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat jmenovitě mému externímu konzultantovi, MgA. Štěpánu Zápotockému, který mě provázel celým úvodem návrhu studie v architektonicko-stavebním řešení dané práce, přičemž mi poskytl své znalosti a zkušenosti v dané problematice, ze které jsem velice vděčný. Dále bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Romanu Fojtíkovi, Ph.D. a panu Ing. Michalu Bošanskému, Ph.D., kteří mi předali své znalosti a zkušenosti u daném návrhu v oblasti statika a dynamika staveb. Chtěl bych rovněž poděkovat také panu Ing. Jozefu Mitterpachovi, Ph.D. a externímu konzultantovi z praxe, panu Ing. Petru Kejklíčkoví, kteří mi pomohli u předmětné stavby s problematikou v oboru požární bezpečnost staveb. Velice si vážím, že si všichni výše jmenovaní na mne vyhradili čas a když jsem potřeboval radu, tak mi podali pomocnou ruku a podělili se se mnou o své znalosti a zkušenosti. Děkuji z celého srdce své rodině, konkrétně mé mamce a mému kamarádovi za neskutečnou psychickou podporu, provázíte mne studiem a věříte mi po celou tu dobu, bez Vás bych to jistě nezvládl.

## **Konstrukční návrh rámové dřevostavby založené metodou Crawl Space**

### **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem dřevostavby z lehkého rámového skeletu. Stavba je založena nad průlezným prostorem (Crawl Space), na vybrané parcele s ohledem na geomorfologické, hydrogeologické, biotické či abiotické poměry. Na základě celosvětových a místních teoretických či praktických poznatků bylo vyhotoveno základní tvarové, konstrukční a materiálové řešení navržené stavby.

Cílem práce je vypracování projektové dokumentace pro realizaci stavby k uvedenému objektu včetně analýzy a porovnání navržené metody s klasickými způsoby zakládání pro rozdílné sklony pozemku. Nedílnou součástí návrhu je dále posouzení a optimalizace navržené difúzně otevřené skladby vrstev celé obálky budovy včetně podlahového roštu v jednorozměrném teplotním poli při posouzení tepelně-technického výpočtu za stacionárních podmínek pomocí výpočetních metod dle platné české legislativy. Práce se také zabývá návrhem a posouzením pěti vybraných detailů zkoumaného objektu, a to za ustálených okrajových podmínek ve dvourozměrném teplotním poli, kde byla mimo jiné posuzována povrchová a vnitřní kondenzace vody.

Vyhodnocením vlastností obálky budovy v jednorozměrném teplotním poli bylo zjištěno, že v některých vrstvách obsahujících dřevěné prvky dochází ke kondenzaci, a to vlivem zvýšené vlhkosti při dané teplotě vzduchu. Na základě okrajových podmínek a vypočtených vlhkostních hodnot bylo ze sorpční křivky dřeva zjištěno, že celková vlhkost těchto dřevěných prvků na žádném místě nepřekročila kritickou vlhkost 18 %.

V rámci dvourozměrného teplotního pole ve dvou posuzovaných detailech nebylo dosaženo požadovaných hodnot na odpaření zkondenzované vodní páry v oblasti podlahového roštu a stropní konstrukce. Následně byla provedena optimalizace, čímž došlo sice k redukci kondenzace, ale u některých dřevěných prvků překročila vlhkost dřeva jejich kritickou hodnotu. Z výsledků vyplynula skutečnost, že plně difúzně otevřené konstrukce mohou být z hlediska propustnosti vodních par z interiéru do exteriéru značně problematické, a proto byla u nevyhovujících skladeb navržena konkrétní opatření k zabezpečení funkčnosti konstrukce.

**Klíčová slova:** Dřevěný lehký skelet; konstrukční návrh; zakládání dřevostavby; architektonicko-stavební řešení.

# Project of Timber Frame House Using Crawl Space Method

## Abstract

This (Diploma) thesis pursues constructional design of a wooden structure with a light frame skeleton. Construction is based above a crawl space, on a chosen site with regards to geomorphological, hydrogeological, biotic or abiotic conditions. The basic solution of designed construction was manufactured with regards to its shape, construction, and material, all on the basis of global and local theoretical or practical findings.

The goal of this thesis is a worked-out project documentation for implementation of a construction for a stated object. It includes an analysis and comparison of the proposed method with classical ways of foundations for a different inclined estate. Another integral part of the design is a review and optimization of the designed diffusively open composition of layers of the whole construction cover, including the ground grate in a one-dimensional thermal field, all while reviewed under thermo-technical calculation during stationary conditions using computing methods in accordance with valid Czech legislation. The thesis is also pursuing a proposal and assessment of five chosen details of the examined object under stabilized edge conditions in a two-dimensional thermal field, the surface and inner condensation of water was reviewed besides other things.

After reviewing attributes of the construction cover in a one-dimensional thermal field it was discovered that some layers containing wooden elements experience condensation on account of the increased humidity at a certain air temperature. Based on edge conditions and calculated humidity values it was discovered, from the sorption curve in wood, that the overall humidity of those wooden elements did not exceed the critical humidity of 18%.

Within the two-dimensional thermal field in two assessed details the required values were not reached when considering evaporation of condensed water steam in the area of the ground grate and ceiling construction. Subsequently an optimization was done, which led to the reduction of condensation, but in some cases the humidity of wooden elements exceeded its critical value. From the findings emerged the reality that fully diffusively open constructions might be considerably problematic from the point of view of permeability of water fumes from interior to exterior. When it came to unfit composition, concrete measures were proposed in order to ensure safe function of the construction.

**Keywords:** Wooden light skeleton; constructional design; foundation of the wooden building; architectural and construction solution.



## Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>CÍLE PRÁCE</b> .....	<b>21</b>
<b>3</b>	<b>ROZBOR PROBLEMATIKY</b> .....	<b>23</b>
3.1	HISTORIE DŘEVOSTAVEB .....	23
3.2	DŘEVOSTAVBY V 20. STOLETÍ.....	24
3.3	NOVODOBÉ TRENDY DŘEVOSTAVEB.....	25
3.4	ZÁKLADOVÉ KONSTRUKCE.....	28
3.4.1	<i>Geologie zemin</i> .....	28
3.4.2	<i>Základní charakteristika</i> .....	29
3.4.3	<i>Plošné</i> .....	29
3.4.4	<i>Hlubinné</i> .....	32
3.4.5	<i>Odizolování spodní stavby</i> .....	32
3.4.5.1	Hydroizolace .....	32
3.4.5.2	Izolace proti radonu.....	33
3.4.6	<i>Metoda Crawl Space</i> .....	33
3.4.6.1	Základní charakteristika .....	33
3.4.6.2	Historie uzavřeného systému Crawl Space .....	35
3.4.6.3	Metodika uzavřeného systému Crawl Space .....	36
3.4.6.4	Historie otevřeného systému Crawl Space .....	39
3.4.6.5	Metodika otevřeného systému Crawl Space .....	40
3.4.6.6	Specifické problémy dřevostaveb založených metodou Crawl Space.....	42
3.5	VODOROVNÉ KONSTRUKCE DŘEVOSTAVEB .....	44
3.5.1	<i>Dřevěné stropy</i> .....	44
3.5.2	<i>Schodiště</i> .....	45
3.6	KONSTRUKČNÍ SYSTÉMY DŘEVOSTAVEB .....	45
3.6.1	<i>Srubové a roubené stavby</i> .....	45
3.6.2	<i>Konstrukce z masivních stěnových panelů</i> .....	47
3.6.3	<i>Sloupkové konstrukce</i> .....	48
3.6.4	<i>Rámové konstrukce</i> .....	50
3.6.4.1	Fošnový rám .....	52
3.6.4.2	Stěnový rám.....	56
3.6.4.3	Stropní rám.....	60
3.6.4.4	Střešní rám.....	63
3.6.4.5	Zakládání rámových konstrukcí .....	65
3.6.4.6	Alternativní rámové konstrukce .....	66
3.6.4.7	Druhy montáže rámových dřevostaveb.....	72
3.6.5	<i>Skeletové konstrukce</i> .....	76
3.7	KONSTRUKCE STŘECH A MATERIÁLOVÁ KOMPOZICE DŘEVOSTAVEB.....	78
3.7.1	<i>Konstrukční zásady ochrany dřevěných konstrukcí</i> .....	78
3.7.2	<i>Materiálová kompozice</i> .....	79
3.7.3	<i>Konstrukční systémy střech</i> .....	82
3.8	STAVEBNÍ FYZIKA .....	83
3.8.1	<i>Šíření tepla</i> .....	83
3.8.2	<i>Materiálové veličiny</i> .....	85
3.8.3	<i>Konstrukční veličiny</i> .....	86
3.8.4	<i>Požadavky na konstrukce</i> .....	89
3.8.5	<i>Problematika vzduchové neprůvzdušnosti dřevostaveb</i> .....	95
3.9	NORMATIVNÍ POŽADAVKY OBVODOVÝCH KONSTRUKCÍ .....	95
3.9.1	<i>Energetická náročnost budov z pohledu EU</i> .....	95
3.9.2	<i>Budovy s téměř nulovou spotřebou energie</i> .....	96
3.9.3	<i>Pasivní budovy</i> .....	96
3.9.4	<i>Standartní budovy</i> .....	97

<b>4</b>	<b>METODIKA .....</b>	<b>98</b>
4.1	ARCHITEKTONICKÝ NÁVRH STAVBY .....	98
4.1.1	<i>Výběr lokality.....</i>	98
4.1.2	<i>Průzkum regulací na danou parcelu .....</i>	99
4.1.3	<i>Návrh hmotového a dispozičního řešení stavby .....</i>	99
4.1.4	<i>Optimalizace návrhu stavby.....</i>	101
4.2	POSTUP POSOUZENÍ TEPELNĚ TECHNICKÉHO VÝPOČTU.....	103
4.3	POSTUP OPTIMALIZOVÁNÍ TEPELNĚ TECHNICKÉHO VÝPOČTU .....	106
4.4	PŘEDBĚŽNÝ A POLOŽKOVÝ ROZPOČET .....	107
<b>5</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUZE .....</b>	<b>109</b>
5.1	VÝSLEDKY TEPELNĚ TECHNICKÝCH VÝPOČTŮ .....	109
5.1.1	<i>Jednorozměrné teplotní pole.....</i>	109
5.1.2	<i>Dvourozměrné teplotní pole.....</i>	110
5.2	POROVNÁNÍ METODY CRAWL SPACE S OHLEDEM NA SVAŽITOST POZEMKU SE STANDARDNÍMI ZPŮSOBY ZALOŽENÍ Z POHLEDU STAVEBNÍ FYZIKY .....	112
5.2.1	<i>Uzavřený systém.....</i>	116
5.2.2	<i>Otevřený systém.....</i>	117
5.3	POROVNÁNÍ KONSTRUKČNÍCH SYSTÉMŮ ZALOŽENÝCH METODOU CRAWL SPACE.....	120
5.3.1	<i>Srubové konstrukce .....</i>	120
5.3.2	<i>Konstrukce z masivních panelů.....</i>	120
5.3.3	<i>Rámová konstrukce .....</i>	121
5.3.4	<i>Skeletové konstrukce.....</i>	122
5.3.5	<i>Porovnání alternativních rámových konstrukcí.....</i>	122
5.3.6	<i>Porovnání druhů montáže založených metodou Crawl Space.....</i>	123
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>124</b>
	<b>SEZNAM LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>126</b>
	ODBORNÁ LITERATURA .....	126
	LEGISLATIVA .....	129
	<b>SEZNAM INTERNETOVÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>131</b>
	<b>POUŽITÝ SOFTWARE .....</b>	<b>141</b>
	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>142</b>
	TABULKY A GRAFY .....	142
	FOTODOKUMENTACE A OBRÁZKY .....	145
	DOKUMENTACE PRO REALIZACI STAVBY .....	159
	<i>Provozní architektonicko-stavební řešení – Studie .....</i>	159
	<i>Stavební část.....</i>	159
	<i>Statická část.....</i>	160
	<i>Montážní dokumentace.....</i>	160
	<i>Tepeelně technický výpočet.....</i>	160
	<i>Rozpočet stavby.....</i>	160
	ROZBOR ZNALECKÉHO POSUDKU ZAMĚŘENÉHO NA PROBLÉMY DŘEVOSTAVBY S UZAVŘENOU METODOU CS .....	161
	POROVNÁNÍ KONSTRUKČNÍCH SYSTÉMŮ ZALOŽENÝCH METODOU CS .....	165
	POROVNÁNÍ OSTATNÍCH KONSTRUKČNÍCH SYSTÉMŮ A DRUHŮ MONTÁŽE .....	165
	TECHNICKÉ LISTY VÝROBCŮ .....	165

## Seznam tabulek

- Tab. č. 1 Přehled dokončených RD a dřevostaveb v ČR od roku 2000 (ADMD©2018)
- Tab. č. 2 Teplota odpovídající kritickému teplotnímu faktoru vnitřního povrchu  $f_{Rsi}$ ,  $c_r$ , pro návrhovou relativní vlhkost vnitřního vzduchu  $\phi_i = 50 \%$  (ČSN 73 0540-2)
- Tab. č. 3 Požadované a doporučené hodnoty lineárního a bodového činitele prostupu tepla pro budovy s návrhovou vnitřní povrchovou teplotou  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  (ČSN 73 0540 – 2).
- Tab. č. 4 Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro obytné budovy s návrhovou vnitřní povrchovou teplotou od  $18 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  (ČSN 73 0540 – 2).
- Tab. č. 5 Výsledky výpočtu jednorozměrného teplotního pole (Teplo 2017 EDU)
- Tab. č. 6 Výsledky výpočtu dvourozměrného teplotního pole (Area 2017 EDU)
- Tab. č. 7 Porovnání základních metod založení u dřevostaveb (vlastní tvorba)
- Tab. č. 8 Výhody a nevýhody uzavřené metody Crawl Space (vlastní tvorba)
- Tab. č. 9 Výhody a nevýhody otevřené metody Crawl Space (vlastní tvorba)

## Seznam obrázků

- Obr. 1 Dělení plošných základových konstrukcí (Michálek; Novotný 2006)
- Obr. 2 Rozdělení základových pásů podle typu hmot (Hájek a kol. 2005)
- Obr. 3 Typy základových pásů, patky (Hájek a kol. 2005)
- Obr. 4 Dělení hlubinných základových konstrukcí (Michálek; Novotný 2006)
- Obr. 5 Dělení systémů založení u metody CS (Energy star (1)©2013-2016)
- Obr. 6 Napadení podhledu plísněmi vlivem zvýšené vlhkosti v CS (Smola 2021)
- Obr. 7 Mobilní dům usazený na ocelových stojinách a dodatečně dodělaná difúzně uzavřená podezdívka z dřevěného rámu a XPS, uzavřená metoda CS (vlastní foto)
- Obr. 8 Dřevostavba postavená otevřenou metodou CS, uložená na ocelovém roštu a na zemních vrutech, včetně zavětrování (vlastní foto)
- Obr. 9 Rozdělení sloupkových konstrukcí od 19. století v USA (Kolb 2011)
- Obr. 10 Typy Sloupkových staveb – Balloon-Frame (levý), (Pavelek (2019) et. Winter; Okerstrom 2015)
- Obr. 11 Typy Sloupkových staveb – Platform-Frame (pravý), (Pavelek (2019) et. Winter; Okerstrom 2015)

- Obr. 12 Princip provázání kontinuálních dílců na čelní tupý sráz – čelní pohled (Růžička 2014)
- Obr. 13 Princip navázání nároží obvodových stěn pomocí jednoduchého plátování (levá část) a vnitřních stěn pomocí kampaní (pravá část)
- Obr. 14 Pohled na konstrukci rámu včetně otvorů vsazených do rastrové modulace konstrukčních prvků rámu (Růžička 2014)
- Obr. 15 Principy kladení deskových materiálů na rámovou konstrukci (Pohled – horní, Půdorys – dolní), svislé kladení (levá část), (Růžička 2014)
- Obr. 16 Principy kladení deskových materiálů na rámovou konstrukci (Pohled – horní, Půdorys – dolní), vodorovné kladení (pravá část), (Růžička 2014)
- Obr. 17 Příklad realizace rámové konstrukce, systém platform frame, výstavba pomocí staveništní montáže (Růžička 2014)
- Obr. 18 Rámování okenního otvoru v nosné stěně, Obr. 19 Rámování dveřního otvoru v nenosné stěně (Dashöfer 2009)
- Obr. 19 Pohled na spodní líc konstrukční řešení stropního rámu na staveništi včetně trémové výměny u schodiště a překladu u vnitřní nosné stěny (Delbert; Koželouh 2014)
- Obr. 20 (levý) Uložení stropního rámu po celé tloušťce obvodové stěny (Kolb 2011)
- Obr. 21 (pravý) Uložení stropního rámu přes část obvodové stěny (Kolb 2011)
- Obr. 22 (levý) přikotvení stropního rámu na vnitřní část stěnového rámu (levý) (Kolb 2011)
- Obr. 23 (pravý) uložení stropního rámu na přídatném nosném trámu (Kolb 2011)
- Obr. 24 Ukázka Posi-Joist stropního nosníku včetně zavětrování (MITEK(7)©2022)
- Obr. 27 Detail uložení nosníků na obvodové nosné stěně: prosté uložení ad. 1 stropní boční trám (levý; (MITEK(7)©2022),
- Obr. 28 Detail uložení nosníků na obvodové nosné stěně: Nosník zapuštěn do přídatné konstrukce rámu (pravý, MITEK(5)©2022).
- Obr. 31 Rámová dřevostavba realizovaná pomocí staveništní montáže (Jiríček 2012)
- Obr. 32 Půdorys - Hrubá nosná konstrukce rámu (Kolb 2011)
- Obr. 33 Půdorys – Konstrukce rámu s jednostranným opláštěním (Kolb 2011)
- Obr. 34 Půdorys – Konstrukce rámu s vloženou výplní a oboustranným opláštěním (Kolb 2011)
- Obr. 35 Půdorys – Konstrukce rámu s vloženou výplní a opláštěním s vestavěnými prvky, včetně jejich napojení v přípojovací spáře (Kolb 2011)

- Obr. 36 Půdorys – Konstrukce rámu s vloženou výplní a opláštěním s vestavěnými prvky, včetně jejich napojení v přípojovací spáře, předstěn a fasádního systému (Kolb 2011)
- Obr. 37 Dvouplášťové souvrství střechy s deskovým záklopem nad krokviemi (levá část) (Rypl 2010)
- Obr. 38 Tříplášťové souvrství střechy s deskovým záklopem nad krokviemi (pravá část) (Rypl 2010)
- Obr. 39 Schéma tepelných ztrát budov, (zleva: klasické uložení, vytápěný suterén, uzavřená CS, otevřená CS (Tywoniak a kol. 2014)
- Obr. 40 Lokalizace obce Jevany v rámci České republiky (vlastní tvorba)
- Obr. 41 (levý) Průběh vlhkosti v optimalizovaném detailu soklové části (vlastní tvorba; Area 2017 EDU)
- Obr. 42 (pravý) Průběh vlhkosti v optimalizovaném detailu stropní konstrukce (vlastní tvorba; Area 2017 EDU)
- Obr. 43 (levý) Teplotní pole v soklové části, metoda otevřeného CS u diplomového projektu (vlastní tvorba ; Area 2017 EDU),
- Obr. 44 (pravý) Teplotní pole v soklové části, stěnový CLT panel založen na základovém pásu (vlastní tvorba ; Area 2017 EDU)
- Obr. 45 (levý) Oblast kondenzace vodní páry i difúzně otevřené konstrukce v soklové části, metoda otevřeného CS u diplomového projektu (vlastní tvorba ; Area 2017 EDU)
- Obr. 46 (pravý) Oblast kondenzace vodní páry i difúzně uzavřené konstrukce v soklové části, stěnový CLT panel založen na základovém pásu (vlastní tvorba ; Area 2017 EDU)

### **Seznam grafů**

Graf č. 1 Výstavby dřevostaveb podle zvolené technologie za rok 2020 (Trandová 2020)

### **Seznam příloh**

- Příloha č. 1 Aktuální spotřeba emisí při výrobě stavebních materiálů (Puuinfo Ltd. ©2021)
- Příloha č. 2 Spotřeba emisí při výrobě stavebních materiálů k roku 2010 (Kolb 2011)
- Příloha č. 3 Časová osa historie dřevostaveb (vlastní tvorba)
- Příloha č. 4 Železobetonové základové pásy se šikmými náběhy (levý) a se šikmými náběhy tvaru tzv. obráceného T (pravý), (Kubečka; Kubečková 2016)

- Příloha č. 5 Způsoby uložení sloupu do prefabrikované patky pomocí kalichu (levý) a výztuží (pravý) vyobrazené na příčných řezech (Kubečka; Kubečková 2016)
- Příloha č. 6 Klimatické zóny pro upřesnění metodik (ICC©2011)
- Příloha č. 7 Historické budovy z Hovinu a Gransheradu v Tellemarku (Cridland 2020)
- Příloha č. 8 Otevřená metoda CS, prostup kanalizace skrz podlahový rošt, obalen návlekovou izolací na bázi pěnového polyetylenu (vlastní foto)
- Příloha č. 9a Realizace zemních vrtů – vrtání (KRINNER©2021)
- Příloha č. 9b Realizace základového prahu u RD Litultovice – metoda Crawl space – otevřený systém (Zemní vruty KOSTRHOUN (3) ©2020)
- Příloha č. 9c Detail zemního vrtu (vlastní foto)
- Příloha č. 10 Otevřená metoda CS, prostup kanalizace skrz podlahový rošt, detail (vlastní foto)
- Příloha č. 11 Srub založen otevřenou metodou CS na betonovém trámu (Drachovský 2022)
- Příloha č. 12 Příklad konstrukčně vhodného řešení pultové střechy s přesahem, konstrukční difúzně otevřený systému DEKPANEL v kombinaci s těžkým skeletem, obklad: cedrové dřevo, energetický standart: nízkoenergetická stavba (Zeman 2015)
- Příloha č. 13 Příklady spojovacího ocelového prvku: Hmoždík Buldog (Foto: BOVA(1)©2022)
- Příloha č. 14 Příklady spojovacího ocelového prvku: deska s prolisovanými trny (Foto: BOVA(1)©2022)
- Příloha č. 15 (levý-A) Příklady napojení konstrukce stěn a stropního rámu pomocí pásové oceli, (střední-B) Příklad napojení konstrukce stěny a základu pomocí závitové ocelové tyče a ocelového plechu s prolisem, (pravý-C) Příklad napojení konstrukce stěny a základu částečným zabetonováním pásové oceli (Strnad a kol. 2021)
- Příloha č. 16 Příklady používaných ocelových spojovacích materiálů (Strnad a kol. 2021)
- Příloha č. 17 Perspektiva řezu instalační nenosné příčky z dřevěného rámu (Dashöfer 2009)
- Příloha č. 18 Řez napojení svislé a vodorovné nosné konstrukce (Strnad 2020)
- Příloha č. 19 Orientační tloušťky deskových materiálů na hrubou pokládku podlahy (Dashöfer 2009)

- Příloha č. 20 Uložení stropního rámu po celé tloušťce obvodové nosné konstrukce stěny (Dashöfer 2009)
- Příloha č. 21 Manipulace stropních nosníků Posi-Joist na staveništi (prefa-montovaný způsob dodání ; MITEK(6)©2022)
- Příloha č. 22 Nosník Posi-Joist s vloženou stojinou na konci (možnost zkracování, záleží na konkrétním výrobcí), (MITEK(2)©2022)
- Příloha č. 23 Orientační rozměry fošen pro zavětrování (MITEK(4)©2022).
- Přílohy č. 24, 25 Detaily řešení systému Posi-Stud pro svislé stěnové konstrukce: (levý) bez nosníků s dodatečným zavětrováním, (pravý) se stropními nosníky Posi-Joist (MITEK(7)©2022)
- Přílohy č. 26, 27 Detail konstrukčního napojení na pozednici (MITEK(7)©2022).
- Příloha č. 28 LVL nosníky (Koželouh 2016)
- Příloha č. 29 Manipulace stěnového panelu na staveništi (Trandová 2021)
- Příloha č. 30 Příklad konstrukčně nevhodného řešení sedlové střechy bez přesahu, konstrukční difúzně uzavřený systém: zdivo Heluz, krytina: falcový hliníkový plech, obložení dřevo ThermoWood, energetický standart: nízkoenergetická stavba (Veselský 2017)
- Příloha č. 31 Schéma klempířských spojů: jednoduchá příčná (levý-horní), dvojitá příčná (levý-dolní), jednoduchá podélná (pravý-horní), dvojitá podélná (pravý-dolní), (Straka a kol. 2013).
- Příloha č. 32 Schéma souvrství konstrukce pro výpočet (Tywoniak a kol. 2014)
- Příloha č. 33 Druhy vzduchových mezer: levý – uzavřená (nevětraná), prostřední – otevřená (větraná), pravý –polootvřená (částečně větraná) (Tywoniak a kol. 2014)
- Příloha č. 34 Podíl energie z obnovitelných zdrojů pro rok 2017 (Eurostat©2019)
- Příloha č. 35 Energetická náročnost dokončených RD v ČR v roce 2018 (MPO©2019)
- Příloha č. 36 Potřeba primární energie a průměrné hodnoty U v Německu (Krick 2013)
- Příloha č. 37 Sorpční křivka dřeva (Havířová ; Kubů 2005)
- Příloha č. 38 Realizační dokumentace (vlastní tvorba)
- Příloha č. 39 Rozbor znaleckého posudku zaměřeného na problémy dřevostavby s uzavřenou metodou Crawl space (Lavický; Mastná 2012)
- Příloha č. 40 Porovnání konstrukčních systémů založených metodou CS (vlastní tvorba)

Příloha č. 41 Porovnání ostatních konstrukčních systémů a druhů montáže (vlastní tvorba)

Příloha č. 42 Technické listy výrobců (MITEK©2022; STEICOSE©2022).

### Seznam pojmů v problematice stavební fyziky

w	vlhkost dřeva	[%]
q	hustota tepelného toku	[W/m <sup>2</sup> ]
$\alpha_s$	součinitel při přestupu tepla při proudění	[W/m <sup>2</sup> .k]
$\theta_i$	teplota vzduchu	[°C]
$\theta_{ai}$	vnitřní teplota vzduchu	[°C]
$\theta_{si}$	teplota vnitřního povrchu konstrukce	[°C]
$\theta_{se}$	teplota vnějšího povrchu konstrukce	[°C]
fR <sub>si</sub>	teplotní faktor	[-]
$\Delta T$	změna teploty	[K]
$\theta$	teplota spád	[°C]
a	součinitel teplotní vodivosti	[m <sup>2</sup> /s]
q <sub>s</sub>	hustota tepelného toku prouděním	[W/m <sup>2</sup> ]
$\Phi_s$	celkový sálavý tepelný tok, dopad. na konstrukci	[-]
$\rho_v$	objemová hmotnost	[kg/m <sup>3</sup> ]
c	měrná tepelná kapacita	[J/(kg.K)]
Q	množství přidaného tepla	[J]
m	hmotnost daného materiálu	[kg]
n	počet bodových činitelů prostupu tepla	[ks]
A	plocha konstrukce započtená z vnějších rozměrů	[m <sup>2</sup> ]
t	čas	[s]
d	tloušťka daného materiálu	[m]
$\psi$	lineární součinitel prostupu tepla	[W/(m.K)]
L <sup>2D</sup>	lineární tepelná propustnost	[W/m.K]
L <sup>3D</sup>	prostorová tepelná propustnost	[W/m <sup>2</sup> .K]
U <sub>i</sub>	součinitel prostupu tepla i-tou konstrukcí	[W/m <sup>2</sup> .k]
b <sub>i</sub>	rozměr i-té konstrukce geometrického modelu	[m]
$\chi$	bodový součinitel prostupu tepla	[W/K]
L	tepelná propustnost i s potřebnými opravami	[W/K]
R	tepelný odpor pro jednovrstvou konstrukci	[m <sup>2</sup> .K/W]



$R_c$	tepelný odpor pro vícevrstvou konstrukci	$[m^2.K/W]$
$\lambda$	součinitel tepelné vodivosti jednoho materiálu	$[W/m.K]$
$\lambda_{ev}$	ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti	$[W/m.K]$
$R$	tepelný odpor jednoho materiálu	$[m^2.K/W]$
$R_t$	tepelný odpor pro celou konstrukci	$[m^2.K/W]$
$U$	součinitel prostupu tepla	$[W/m^2.k]$
$S_d$	ekvivalentní difúzní tloušťka	$[m]$
$\varphi_i$	návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu	$[\%]$

### Indexy

$A_e$	vnější vzduch
$a_i$	vnitřní Vzduch
$s_e$	vnější povrch
$s_i$	vnitřní povrch
$t$	celkový

### Seznam vzorců

- (1) hustota tepelného toku  
(I. Fickův zákon)
- (2) II. Fickův zákon
- (3) součinitel teplotní vodivosti
- (4) hustota tepelného toku prouděním
- (5) celkový sálavý tepelný tok, dopadající na konstrukci
- (6) objemová hmotnost
- (7) měrná tepelná kapacita
- (8) lineární součinitel prostupu tepla
- (9) bodový součinitel prostupu tepla
- (10) tepelná propustnost i s potřebnými opravami
- (11) tepelný odpor pro jednovrstvou konstrukci
- (12) tepelný odpor pro vícevrstvou konstrukci
- (13) ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti
- (14) tepelný odpor pro celou konstrukci
- (15) součinitel prostupu tepla
- (16) teplotní faktor
- (17) vztah pro požadovaný teplotní faktor
- (18) vztah pro požadavek na lineárního a bodového činitele

- (19) vztah pro požadovanou hodnotu součinitele prostupu tepla  
(20) požadavek na maximální přípustnou vlhkost v konstrukci

### Seznam použitých zkratk a symbolů

BD	bytové domy
BSH	lepené lamelové dřevo (glued laminated timber)
CNC	počítačové numerické ovládání/číslicové řízení počítačem (computer numerical control)
CLT	křížem lepené dřevo, (cross laminated timber)
CS	průlezný prostor (Crawl space)
CPP	cihla plná pálená
ČR	Česká republika
Dekpanel	konstrukční systém z masivních šroubovaných panelů
DHF	paropropustná deska pro opláštění
DN	jmenovitá světlost (diameter nominal)
EPS	expandovaný / pěnový polystyren
EU	Evropská unie
EXT	exteriér
HI	hydroizolace
HPV	hladina podzemní vody
INT	interiér
k. ú.	katastrální území
KVH	masivní konstrukční dřevo (Konstruktionsvollholz, Solid structural timber)
LLD	lepené lamelové dřevo
LVL	lepené vrstvené dřevo (Laminated Veneer Lumber)
NPR	národní přírodní rezervace
OSB	deska s orientovanými vlákny (oriented strand board)
OZE	obnovitelné zdroje energie
P+D	pero a drážka
PBŘ	požárně bezpečnostní řešení

PENB	průkaz energetické náročnosti budovy
PŘ	příčný řez
SDK	sádrokarton
RD	rodinné domy
StavZ	zákon č. 183/2006 Sb.
RD	rodinné domy
TBF	system dva na čtyři palce (system two by four)
TZB	technické zařízení budov
U	součinitel prostupu tepla
USA	Spojené státy americké (United States)
UT	upravený terén
ÚAP	územně analytické podklady
w	vlhkost
XPS	extrudovaný polystyrén
ŽB	železobeton
I.F.Z.	I. Fickův zákon
II.F.Z.	II. Fickův zákon
I. MS	první mezní stav únosnosti,
II. MS	druhý mezní stav použitelnosti

## 1 Úvod

Neustále se zvyšujícím trendem dřevostaveb v oblastech rodinných domů a bytových domů do čtyř nadzemních podlaží se zvyšují nároky na energetickou soběstačnost těchto budov. V současné době EU stále více podporuje a směřuje své členské státy, tedy i domácnosti, firmy aj. k používání obnovitelných zdrojů energie a znovuvyužití již použitých materiálů v oboru stavebnictví, např. aglomerované materiály, což hlavně ve 20. století otevřelo trh novým firmám zaměřující se právě na recyklaci nebo na výrobu aglomerovaných materiálů (viz kapitola 3.3).

V souvislosti s přibývajícími přívalovými srážkami a povodněmi je v poslední době stále více kladem důraz na ochranu dřevostaveb proti zemi vlhkosti a jiným geologickým poměrům. V případě povodní a vniknutí vody do dřevostavby je poškození nosného konstrukčního systému z dřevěných prvků prakticky okamžité, trvalé a případná rekonstrukce takto poškozené dřevostavby bývá velmi nákladná. Z tohoto důvodu v dnešní době vzniká řada alternativních základových staveb, které mají zabránit v případě hrozby kontaktu dřevěných prvků s vodním živlem.

Ve své práci se zabývám návrhem rámové dřevostavby založené na průlezné mezeře tzv. metodou CS. V dnešní době v oboru dřevostaveb existuje celá řada materiálů a nosných systémů. Metoda CS není ještě zcela do detailu prozkoumána a je zde prostor pro budoucí práce, které se mohou zabývat samotným vývojem těchto systémů zakládání prostřednictvím této metody CS. Tato metoda se s ohledem na proudění vzduchu pod budovou dělí na otevřenou (stálé proudění) a uzavřenou (řízené proudění).

V souvislosti s proběhlou pandemií a aktuálně probíhající válkou na východě došlo k výraznému navýšení cen všech stavebních materiálů i prací a jejich časté nedostupnosti. Obecně dřevostavby přišly o cenovou výhodu nad ostatními konkurenčními materiály, a tak je v řadě případů v dnešní době poměrně složité zvolit dominantní typ konstrukčního systému.

V rámci nadcházející zelené dohody pro Evropu by se v následujících sedmi až deseti letech mělo dosáhnout řady zvýhodnění a propagace dřevostaveb v oboru stavitelství jako jediného obnovitelného materiálu v tomto odvětví s řadou výhod. Otevírá se tak prostor pro nové projekty a tyto výše uvedené změny by měly vést k celkovému rozkvětu dřevostaveb, a to jak v ČR, tak v celé EU.

Vzhledem k uvedeným skutečnostem, je řada subjektů, kteří volí alternativní způsoby zakládání dřevostaveb, které v současnosti nejsou stále zcela prozkoumány a otevírá se tak prostor pro hlubší výzkum, který by měl upozornit na nedostatky návrhů a jejich odstranění, čímž by se postupně vytvořily zásady pro konstruování těchto alternativních metod, které jsou pro uvedení do praxe žádoucí.

## 2 Cíle práce

Cílem práce je vypracování projektové dokumentace pro realizaci stavby části architektonicko-stavebního řešení vlastního návrhu rámové dřevostavby s provětrávanou mezerou pod stavbou (metoda CS) včetně porovnání variant pro rozdílné sklony pozemku. V první části bude navrženo a zpracováno základní tvarové, dispoziční, konstrukční a materiálové provedení s umístěním objektu do konkrétní lokality včetně optimalizace konstrukčních skladeb obvodového pláště. V druhé části práce bude zpracováno architektonicko-stavební řešení včetně konstrukčních detailů a technické zprávy. Dílčím cílem je návrh, posouzení a optimalizace konstrukčních skladeb a detailů z hlediska stavební fyziky. Obsahem projektové dokumentace bude (1) souhrnná technická zpráva, (2) situační výkresy objektu, (3) dokumentace dílčího technického řešení (architektonicko-stavební řešení) a (4) porovnání navrhované metody CS s ohledem na svažitost pozemku se standardními způsoby založení plošného založení z pohledu stavební fyziky.

### Přehled plnění dílčích cílů a stanovení otázek (úkolů)

- I. Shrnutí, porovnání a vyhodnocení jednotlivých způsobů zakládání dřevostaveb s ohledem na metodu CS
  - Jaké základové konstrukce můžeme pro založení dřevostavby použít?
  - Jaké jsou výhody a nevýhody pro klasické typy zakládání dřevostaveb v porovnání s metodou CS?
  - Jaké jsou výhody a nevýhody metody CS oproti klasickému založení staveb na plošných základech
  - Jaké konstrukční systémy dřevostaveb jsou vhodné pro založení pomocí metody CS?
  - Jaké jsou zásady návrhu založení dřevostavby metodou CS?
  - Jaký způsob montáže je vhodnější pro založení stavby metodou CS?
- II. Vypracování projektové dokumentace pro realizaci stavby se zaměřením na architektonicko - stavební část
  - Jakým způsobem autor vybíral danou lokalitu pro umístění návrhu stavby? Jaké úvahy použil autor při návrhu daných skladeb?
  - Došlo k optimalizaci obálky konstrukce i za pomoci konstrukčních opatření nebo uspořádání? Pokud ano, tak jaká opatření byla použita?
  - Jakým způsobem byly vybrány materiály na konstrukční návaznost jednotlivých skladeb materiálu?
  - Do jaké míry je první návrh konstrukčních skladeb vhodně navržen z pohledu tepelné techniky v jednorozměrném teplotním poli?

### III. Optimalizace a vyhodnocení navržené rámové konstrukce dřevostavby

- Posouzení vybraných konstrukcí v rámci tepelné techniky ve dvourozměrném teplotním poli na normativní požadavky podle české legislativy.
- V případě, že se naskytne při posouzení problém, jak tento problém autor práce bude řešit, případně jaká opatření navrhuje pro vyřešení daného problému?
- Jaká případná doporučení dalších výpočetních kroků k vyřešení daného problému?

### IV. Závěrečné celkové shrnutí dané problematiky

- Zhodnocení zakládání dřevostaveb předmětným systémem provětrávané vzduchové mezery (CS) v porovnání s dalšími způsoby zakládání staveb s ohledem na stavební fyziku a morfologii terénu.
- Perspektivy pro budoucí využití metody CS.
- Shrnutí doporučených zásad, postupů pro navrhování zakládání dřevostaveb metodou CS.

### 3 Rozbor problematiky

#### 3.1 Historie dřevostaveb

Dřevo má z historického hlediska pro člověka bez pochyby velmi významný přínos, ať už se bavíme o prvotním zdroj tepla, tak rovněž i z hlediska výroby celé řady primitivních nástrojů či obydlí (např. příbytky lovců a rybářů). Postupem času se pozvolně přešlo na stavby určené k zemědělství, a to dokonce i pro trvalé bydlení. Jednalo se převážně o stavby z masivní kulatiny (Zaorálek 2011). Kolb (2011) doplňuje, že forma staveb a způsob stavění jsou už odpradáвна založeny na empirii, zvyklostech a kulturními zvláštnostmi místní civilizace, klimatickými podmínkami aj.

- Starší doba kamenná (do 10.-8. tisíciletí př.n.l.)

V tomto období nastala významná změna pro obor stavitelství a celé stavění, jelikož se lidské tlupy pomalu přesouvali z bezpečných kamenných jeskyní do prvotních lidských obydlí ze dřeva. Jako historicky první dřevěná obydlí se považují zemnice a polozemnice. Jednalo se o zapuštěné či polozapuštěné dřevěné přístřešky, konkrétněji to byly kombinace jednoduché dřevěné konstrukce střechy s využitím lokálního zemského reliéfu. Později tato obydlí sloužila spíše jako nouzová obydlí pro sociálně chudé vrstvy obyvatel (Frolec; Vařeka 1983).

- Středověk (od 6. do 15. století n.l.)

Od 7. století se v Evropě začala rozvíjet teorie těžkých skeletů a hrázděných staveb (Zaorálek 2011). Frolec a Vařeka (1983) doplňují, že od 13. až 15. století byly tyto podzemní objekty zcela nahrazeny nadzemními domy na území dnešní ČR. Příchodem německých osadníků okolo 13. století se i do našich zemí dostala technika hrázděných staveb, tedy propojení dřevěných nosných prvků v kombinaci se zděnou konstrukcí.

Podle Houdka a Koudelky (2013) v této době vzniká základní tradiční dřevěná konstrukce stěn objektů stavěných technikou roubení. Touto technikou se vytvářela soustava masivních, mokrých a hrubě opracovaných trámů, které byly vrstveny horizontálně na sebe. Frolec a Vařeka (1983) pouze doplňují, že se z důvodu záchrany potravin před uhnitím stavěly malé sklepy mimo objekt, často na břehu zahrady, tzv. „kořenové sklepy“.

Houdek a Koudelka (2013) tvrdí, že vznik srubového systému pochází ze Skandinávie. Po propojení se svou technikou výstavby lodí se norským řemeslníkům podařil vymyslet důmyslný systém horizontálně uložených klád na sobě pomocí zámkových spojů. Tento systém se nazývá „laft“ a je považován za jeden z nejpropracovanějších systémů výroby srubů na světě.

Druhým norským systémem pro stavění srubových konstrukcí o větších rozpětí se nazývá „stave“. Tento systém je založen na sloupkové (rámové) konstrukci a dodnes

se dochovala řada sakrálních staveb postavená právě tímto systémem. Velmi často docházelo i ke kombinaci těchto dvou systémů (Houdek; Koudelka 2013).

- Novověk - od 16. století

Za postupný vývoj a expanzi srubových konstrukcí do celého světa vděčí systém srubových staveb hlavně mezikontinentální migraci. V místech, kde byl dostatek dřeva, tam se vyplatilo stavět sruby, které bohužel byly často stavěny jako provizorní stavby a často byly velmi strohé, založeny přímo na vlhké zemi, z tohoto důvodu se jich doposud dochoval pouze zlomek (Houdek; Koudelka 2013).

- Novověk - od 18. století

Dudek (2019) konstatuje, že v reakci na rozsáhlé požáry byl vydán tzv. „Ohňový patent“, který vydala česká královna Marie Terezie v polovině 18. století a stanovoval protipožární zásady při výstavbě domů (Dohnálek; Seidlerová 1991).

- Průmyslová revoluce (od 18. století do 19. století)

Ve druhé polovině 18. století vlivem energetické krize nastal neúměrný odběr dřeva pro palivové účely a pro účely důlních podpěrných konstrukcí. Koncem 18. století byla vystavěna železnice, která poměrně významně propojila a ovlivnila celou nadnárodní dopravu a obchod s materiálem (Sýkora 1998). Kolb (2011) dále konstatuje, že od tohoto období došlo k velkému rozvoji oboru stavitelství a ovlivňuje ho dodnes.

- Novověk - 19. až 20. století, výzkum betonu

Podle Dohnálka a Seidlerové (1991) od konce 18. až do konce 19. století řada evropských výzkumníků pracovala na vývoji propojení tzv. umělého kamene s ocelovými prvky. Výzkum a vývoj betonu probíhal po celé Evropě, a to včetně Anglie. V této době byla veškerá pozornost zaměřena těmto hydraulickým pojivům, přičemž na dřevo jako na hlavní konstrukční stavební materiál nebylo vůbec přihlíženo.

- Novověk - 19. až 20. století, rozvoj dřevostaveb

V druhé polovině 19. století se dřevěné řezivo shánělo pouze na lokálních pilách, kde rozměry jednotlivých řeziv záležely na typu lokální dřeviny, tedy na jejich rozměrech. S tím, jak se zástavba z dřevostaveb v USA koncem 19. století postupně rozvíjela, byly jednotlivé pily donuceny přejít na standardizované rozměry (Smith 2021).

### **3.2 Dřevostavby v 20. století**

V letech 1918 až 1945 se projevil nedostatek všech materiálů. Stavebnictví přešlo na stavbu z lokálně dostupných materiálů, tedy konkrétně na stavbu ze dřeva. Využívalo se v té době na řadu provizorních staveb, ale také na opravu domů či stavbu mostů apod. Po hospodářském útlumu během druhé světové války se



od 50. let 20. století rozvíjel výzkum a vývoj dřevěných alternativních prvků v podobě materiálů na bázi dřeva např. BSH, KVH, OSB apod. (Kolb 2011).

Kolb (2011) navazuje na svou myšlenku tím, že do Evropy se převzaté sloupkové systémy z USA dostaly až na počátku 30. let 20. století, kdy zde datujeme první zrealizované dřevostavby navržené touto metodou. Postupným zdokonalováním těchto technologií za pomoci nejen teoretického rozvoje v oboru stavební fyzika (viz kapitola 3.9), ale také vznikem celé řady nových materiálů, jejich úprav a široké škály moderních spojovacích prostředků, došlo až poslední desetiletí k velkému rozvoji dřevostaveb nejen v Evropě ale i v ČR (viz kap. 3.3). Velmi důležitým mezníkem bylo také zavedení prefabrikace u rámových dřevostaveb (viz kapitola 3.6.3) s myšlenkou co nejvíce urychlit realizaci výsledné stavby (Kolb 2011).

Slovák (2013) navazuje tím, že v poválečném období stavby postupem času dostávaly opět jiné technické požadavky s postupnou podporou energetické úspornosti a nenáročnosti staveb. Kolb (2011) ho doplňuje, že tato podpora měla uspokojit stále se zvětšující nároky obyvatel naší země na komfort a pohodlí. Počátkem 18. století byl patrný postupný pokles trendu dřeva ve všeobecném povědomí obyvatel. Stavitel Grubenmann ohromil tehdejší veřejnost návrhem stavby dřevěných mostů o velkém rozpětí. V 30. letech 20. století bylo totiž vynalezeno LLD, přičemž v 2. polovině 20. století nastal progresivní vývoj v oboru stavební fyziky. Ve 21. století se zvyšuje tlak na obnovitelnost materiálů, časovou a technickou vyspělost, anebo na architektonické řešení (Kolb 2011).

Cílem při návrhu a výstavbě je co nejúsporněji koncipovat nosný systém stavby, doplňkové materiály a energeticky úsporné souvrství staveb takovým způsobem, abychom se přiblížili co nejvíce myšlenke trvalého vývoje. Nutno podotknout, že dřevo jako jeden z mála obnovitelných materiálů, které se ve stavebnictví používají, má k principu trvalého vývoje nejbližší. Nemůžeme opomenout přispívání architektů, kteří jakožto zástupci nové kultury a trendu přispěli k přirozenému rozvoji přírodních materiálů mezi stávající a dodnes používané zažité materiály. Dřevěné konstrukce se pro ně staly stálou a přirozenou volbou, přičemž plnohodnotně splňují požadavky společnosti dnešní doby (Kolb 2011).

### **3.3 Novodobé trendy dřevostaveb**

- Výhledy dřevostaveb v 20. - 21. století

Dřevostavby za svou dobu ušly nepochybně velký kus cesty od manuální výroby s velkými odchylkami přes efektivní industrializaci v rámci zpracování polotovarů až k preciznímu předpřipravení jednotlivých výrobků pro zvýšení rychlosti montáže na stavbě. Tesařské mistry s ručně opracovávaným dřevem postupně nahradily moderní a neustále se vyvíjející technologické stroje (Kolb 2011).

Autoři Klein a Leckart (2016) upozorňují na to, že se menší skupiny investorů a stavebníků po celém světě opět vrací zpět ke klasickému stavění dřevostaveb podle historických technologií svépomocí. Tyto hostely či rekreační objekty s drobným

hospodářstvím jsou situovány na loukách, pláních a lesích mimo civilizaci. Koncem 20. století totiž řada nadšenců odkoupila několika akrové pozemky v Severní Americe, kde za pomoci klasických tesařských spojů vytvořila řadu obydlí pouze za pomoci ručních nástrojů a místního materiálu. Inspirace přišla pravděpodobně ze 17. století z Anglie, kde docházelo k řadě výzkumných experimentů a dá se říci, že se jednalo o prvopočátky systému TBF.

Pro nosnou část konstrukce byly použity výhradně lokální kulatiny jehličnatého dřeva. Tyto objekty jsou zakládány bez pomoci betonu ani jiných anorganických materiálů. Jedná se zpravidla o roubené (srubové) dřevostavby, ale i klasické sloupkové (rámové) konstrukce TBF (viz kap. 3.6.1, 3.6.3). Je však nutné říci, že zde stavebníci odmítají použít jakékoli konstrukční či materiálové moderní technologie. Dřevostavby jsou často uloženy bez kontaktu se zemí a nejsou žádným způsobem zatepleny, čímž dochází k velkým únikům tepla. Tyto energetické ztráty se vyrovnávají pomocí krbů na fosilní paliva, tedy na dřevo (Klein a Leckart 2016).

- Statistika nového tisíciletí

Již od 18. století započala výroba anorganických materiálů, které mají do současné doby nedozírné negativní důsledky na životní prostředí (viz kapitola 3.1). V současnosti na území EU existuje řada neziskových organizací usilujících o podporu využívání dřeva, a to jak ve stavebnictví, tak i v interiérových designech apod. Cílem je zocelit a navýšit poptávku po dřevěných výrobcích napříč všemi obory. Např. finská organizace Puuinfo Ltd. zpřístupnila výzkum, který se týká porovnání pohlcení či uvolnění emisí oxidu uhličitého (dále jen CO<sub>2</sub>) při výrobě jednotlivých stavebních materiálů (viz Příloha č. 1), (Puuinfo Ltd. ©2021).

Kolb (2011) zmiňuje, že v současné době rámové dřevostavby od původních systémů Balloon-frame a Platform-frame (viz kapitola 3.6.3) došly k velkému konstrukčnímu zdokonalení, a to nejen v USA a Kanadě, ale také ve skandinávských zemích (v EU). Tento nosný konstrukční systém je v současné době hojně využíván, odhadem se v zámoří v 90 % staví z tohoto systému u jedno a dvoupodlažních domů. Ve střední Evropě trvale vzrůstá zájem o tento konstrukční systém, a to již od konce 20. století. Jasným důkazem toho je řada publikací, které byly vydány v EU.

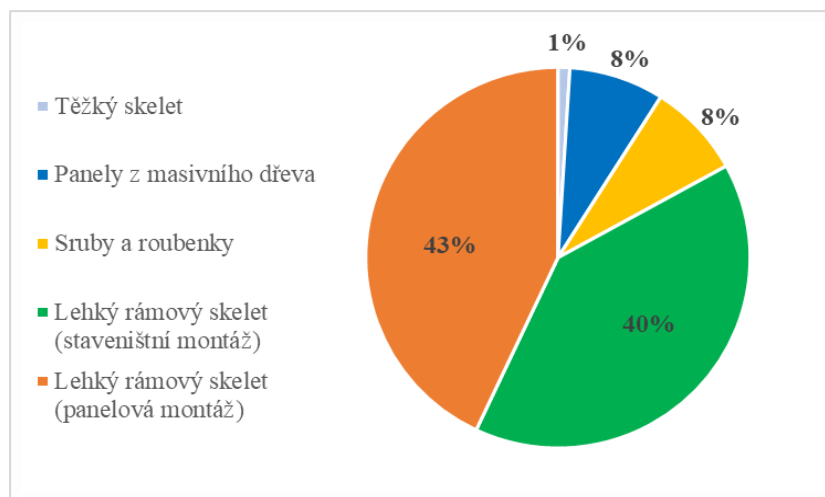
V roce 2018, před krizí COVID-19, bylo podle ADMD (2018) stavebnictví na vrcholu. Dřevostavby se stávají stále oblíbenější variantou nosných systémů staveb do maximálně 4 nadzemních podlaží, tedy do výšky 12 m (ČSN 73 0833). Procentuální zastoupení dřevostaveb z celé ČR za rok 2018 vyšplhalo na 16,1 %. Lze tedy pozorovat z dlouhodobého hlediska neustále se rozvíjející se trend viz Tab. č. 1 (ADMD©2018).

Tab č. 1 Přehled dokončených RD a dřevostaveb v ČR od roku 2000 (ADMD©2018)

Rok	RD dokončené v ČR celkem [ks]	Dřevostavby dokončené v ČR [ks]	Podíl dřevostaveb na trhu RD v ČR [%]
2000	9 701	133	<b>1,4</b>
2004	12 681	332	<b>2,6</b>
2008	18 930	1 008	<b>5,3</b>
2012	16 929	1 699	<b>10,0</b>
2016	14 015	2 013	<b>14,4</b>
2017	14 548	2 159	<b>14,8</b>
2018	18 287	2 945	<b>16,1</b>

Podle ADMD (2018) lze říci, že dřevostavby evidují dlouhodobě rostoucí podíl na českém trhu. Nejnižší procentuální podíl byl v roce 2000 pouze 1,4 %. Nejvyšší přírůstek evidujeme v roce 2018, kde byl podíl až 16,1 % (viz Tab. č. 1). Z pohledu konstrukčních systémů dřevostaveb evidujeme v roce 2018 největší procentuální zastoupení pomocí lehkého rámového skeletu realizované pomocí: staveništní (40 %) a panelové montáže (44 %). Nejmenší podíl z konstrukčních systémů evidujeme u těžkého skeletu a panelů z masivního dřeva (3 %), z důvodu vyšší ceny CLT panelů je poměrně vysoká (viz Příloha č. 2). Z grafu č. 1 vyplývá, že k roku 2020 došlo k největší změně u panelů z masivního dřeva, kde z původních 3 % (2018) tvoří v roce 2020 s 8 % přímou konkurenci roubenkám.

Graf č. 1 Výstavby dřevostaveb podle zvolené technologie za rok 2020 (Trandová 2020)



Poznámka autora: Součástí rozboru problematiky historie dřevostaveb, byly veškeré poznatky shrnuty a důležité mezníky vyobrazeny na časové ose podle aktuálního trendu (%) v Příloze č. 3.

### 3.4 Základové konstrukce

#### 3.4.1 Geologie zemin

Nedílnou součástí pro zpracování projektové dokumentace, a tedy správný návrh základové konstrukce, je nutné znát složení a vlastnosti dané půdy, a to jak pod samotnou navrženou stavbou, ale i v okolí dané stavby (viz dále). Tyto údaje můžeme zjistit pomocí hydrogeologického a geologického průzkumu. Tím získáme klíčové informace pro správné umístění stavby v návaznosti na celkovou únosnost a stlačitelnost půdy v základové spáře. Dále na základě průzkumu můžeme určit vliv podzemní vody na navrhované základové konstrukce, v některých případech nám průzkum dokonce může odkrýt jaký vliv bude mít náš nový návrh na konstrukce okolních staveb apod. Stupeň podrobnosti zkoumání dané půdy, a tedy přesnosti daného geologického průzkumu, závisí na požadovaném záměru daného díla. Rozlišujeme předběžné, ale i podrobné průzkumy nebo sondovací práce aj. (Steiger 2020).

Hájek a kol (2005) navazují tím, že se velmi často pro založení RD používají sondovací práce, kde se vyhloubí požadovaný počet sond na dané parcele. Pokud se při hloubení sond prokáže, že HPV by mohla negativně ovlivnit konstrukci dané stavby, a to i s ohledem na rozdílné kolísání HPV během celého roku, pak přichází na řadu hydrogeologický průzkum. Zde se odebírají pravidelně vzorky vody a na základě výzkumu chemického složení se určuje, jaký vliv by mohla mít na ohrožené konstrukce stavby. Pomocí poznatků se zpracovává závěrečná zpráva o výsledcích průzkumu, kde se v závěru uvádí klíčové fyzikální a mechanické vlastnosti dané půdy pro další profese. Poté můžeme navrhnout vhodný typ základové konstrukce a způsob jejího založení.

Kohout a kol. (1996) doplňuje, že u pozemního stavitelství je nutné zajišťovat u výkopů stabilitu stěn výkopů. Nejčastěji tuto problematiku řešíme při zemních pracích např. odkopávání terénu při velkých sklonech, zahlubování staveb do podzemí apod. Problematika řešení zpevnění svahu u nesoudržných zemin je poměrně rozsáhlá, přičemž řada moderních zpevňujících konstrukcí zeminy vychází již z historie. Při daném výkopu musí investor počítat s vyšší cenou za stavební dílo, především prostřednictvím víceprací u pomocných konstrukcí a cenou za těžkou techniku. Stavebník musí také počítat s řešením odtoku dešťové a podzemní vody uvnitř výkopu.

Hájek a kol. (2005) odvodňovací technologie dělíme na povrchové a hloubkové. Důležitým podkladem pro volbu dané odvodňovací technologie je hydrogeologický průzkum. Povrchové jsou založeny na spádovosti daného výkopu a používají se nejčastěji v soudržné zemině. Hloubkové odvodnění je založeno na odčerpání podzemní vody z hloubky a zabránění vniknutí do výkopu, následné odvedení vody povrchovou drenáží (Hájek a kol. 2005).

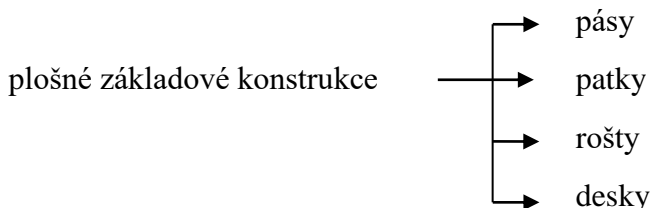
### 3.4.2 Základní charakteristika

Podle Michálka a Novotného (2006) základy tvoří nosnou konstrukci, která přenáší veškeré zatížení od všech svislých a vodorovných nosných i nenosných konstrukcí stavby do základové spáry (resp. do základové půdy). Základovou spáru můžeme chápat jako vodorovnou rovinu mezi základovou konstrukcí a zeminou, kde vzniká napětí. Kubečka a Kubečková (2016) kolegy doplňují, že základovou spáru zásadně navrhujeme do nezámrazné hloubky (min. 800 mm od UT), která je jedním z hlavních parametrů při návrhu základových konstrukcí, přičemž tato hloubka převážně závisí na zeměpisných a geologických podmínkách dané oblasti. Nezámrazná hloubka zamezí zamrznání vody v základové spáře (půdě). Pokud by nezámrazná hloubka byla zanedbána, tak by došlo v zimních obdobích k celkovému zvýšení objemu dané půdy v oblasti základové spáry, a tedy nadzvedávání základů, důsledkem čehož by bylo celkové narušení statiky (I. a II. MS) u všech nosných konstrukcí. (Kubečka; Kubečková 2016).

Napětí je podle obecných vztahů pružnosti a pevnosti síla na jednotku plochy. Pokud stavba důsledkem zatížení produkuje v úrovni základové spáry napětí větší, než je napětí od vlastní tíhy zeminy, poté se do základové půdy (aktivní zóny) dostává přídatné napětí od konstrukce. Samotným důsledkem toho je pak deformace půdy formou sedání, čemuž se chceme vyvarovat. Správným návrhem chceme zajistit, aby se jednotlivá napětí v základové spáře rovnala podílu součtu zatížení od konstrukce objektu a efektivní plochy základu, v důsledku čehož se jednotlivá napětí vzájemně vyrovnají (Jelínek a kol. 2012).

Podle Michálka a Novotného (2006) základy dělíme na plošné a hlubinné, přičemž to, jaký druh použijeme záleží výhradně na vlastnostech podloží, konstrukčním systému budovy (viz kapitola 3.6, 3.7), velikosti zatížení a na zeměpisných podmínkách. Plošné základy použijeme v případech, pokud se základová půda s dovolenou pevností v tlaku na danou plochu nachází v bezprostřední blízkosti spodní části budovy, což zjistíme pomocí geologických průzkumů (viz výše).

### 3.4.3 Plošné

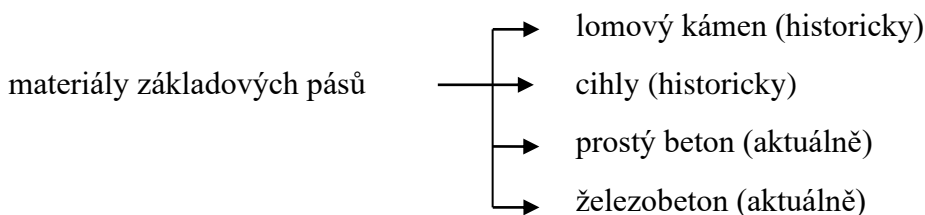


Obr. 1 Dělení plošných základových konstrukcí (Michálek; Novotný 2006)

- Základový pás

Základový pás je podlouhlý prvek, přičemž spojitě prochází pod všemi svislými nosnými konstrukcemi stěn, sloupů o malých osových vzdálenostech a pod nástupním stupněm schodiště. (Hájek a kol. 2005). Kubečka a Kubečková (2016)

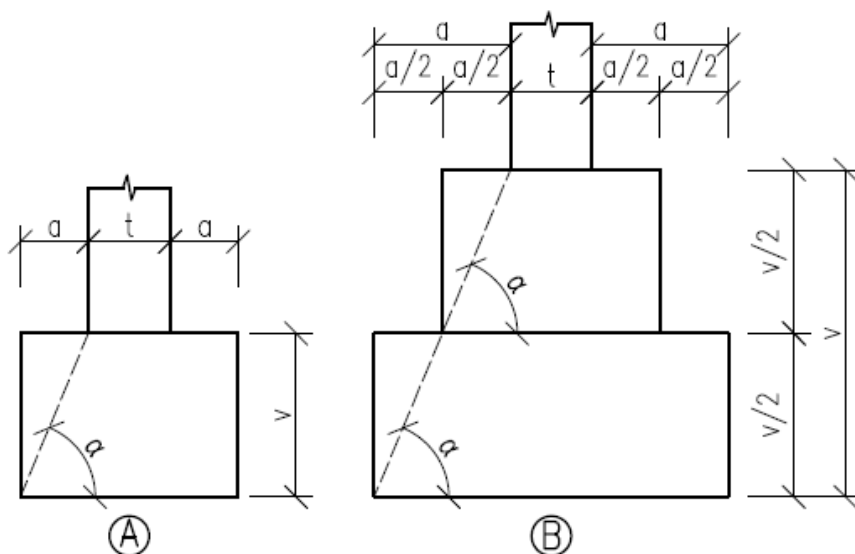
doplňují, že se jedná o prvky s obdélníkovým průřezem s poměrem délky a šířky ( $L/B \geq 6$ , kde však platí, že  $B \leq L$ ) (Kubečka; Kubečková 2016).



Obr. 2 Rozdělení základových pásů podle typu hmot (Hájek a kol. 2005)

Hájek a kol. 2005 navazují tím, že šířka základového pásu závisí na velikosti zatížení a je stanovena zpravidla statickým výpočtem. Výška pásu se navrhuje na základě dané šířce pásu, respektive dvou odstupů hrany základů k hraně stěny (ozn.  $a$ ), aby nedošlo jak vlivem reakce zeminy k jeho usmyknutí, tak ale i z pohledu proveditelnosti napojení HI pásů ve spodní stavbě. Pro návrh výšky základového pásu (ozn.  $h$ ) se uvažuje roznášecí úhel (ozn.  $\alpha$ ), jenž vede od spodní hrany pásu k hraně přilehlé strany stěny či sloupu. Tento úhel závisí na vlastnostech konkrétního daného materiálu. Běžný jednostupňový tvar základového pásu (patky) můžeme vidět v řezu na Obr. 3 (ozn. A).

Obr. 3 Typy základových pásů, patky (Hájek a kol. 2005)



Hájek a kol (2005) tvrdí, že pokud výška základu je z ekonomického hlediska nevyhovující, lze základ vytvarovat do obráceného písmene „T“ (ozn. B), přičemž na mezistupni zůstane odstupový úhel zachován (viz Obr. 3). V tomto případě se jedná o dvoustupňový základ. Podle Kubečka a Kubečkové (2016) je  $\text{tg } \alpha = 1,5 - 2,0$  ( $\sim 56,3 - 63,43^\circ$ ) u prostého betonu a  $\text{tg } \alpha = 0,5 - 1,0$  ( $\sim 26,57 - 45^\circ$ ) u ŽB. Oproti klasickým mají ŽB základové pásy relativně menší výšku a na horní hraně zkosení o max  $35^\circ$  při dodržení roznášecího úhlu (ozn.  $\alpha$ ). Základové pásy se ve většině případů provádí na stavbě monolitickou technologií. V praxi se můžeme setkat i s ŽB pásy se sešikmenými náběhy (viz Příloha č. 4).

Z důvodu částečného podsklepení nebo v hůře přístupných terénech o velkých sklonech se základové pásy řeší dvěma způsoby. První možností je postupné stupňování základu, kde se, pod úhlem  $> 45^\circ$  a s výškou stupňů min. 500 mm, vedou stupně ve schodišťovém tvaru. Druhou možností je vykonzolování ŽB základového pasu do rámu tvaru Z, kde dojde k vzájemnému provázání výztuží. Veškeré tyto úpravy jsou provedeny s ohledem na nezámraznou hloubku. V případě výstavby RD v pasivním či nízkoenergetickém standardu se musí základová deska a místa napojení na okolní konstrukce vhodně upravit (Kubečka; Kubečková 2016).

- Základové patky

Podle Michálka a Novotného (2006) se navrhuje převážně pro těžké skeletové konstrukce. Půdorys patky kopíruje půdorys sloupu z toho důvodu, aby bylo dodrženo centrické zatížení v základové spáře. U patek z prostého betonu se vychází prakticky identickým parametrům, jaké jsou u základových pásů (viz Obr. 3) s dodržáním roznásecích úhlů (ozn.  $\alpha$ ). Kubečka a Kubečková (2016) doplňují, že u klasické obdélníkové patky se navíc vyskytují kotevní vruty. V případě, že není možné udělat osově souměrnou patku, je nutné ji řádně předem vyztužit. V praxi se můžeme setkat s řadou nových konstrukčních provedení monolitických patek oproti základovým pásům, jakými jsou např. patky třístupňové, tvaru komolého jehlanu či excentrické patky apod.

Kubečka a Kubečková (2016) dále uvádějí, že dalším typem základových patek jsou patky prefabrikované (montované). Tyto patky se nejčastěji používají u montovaných skeletových konstrukčních systémů, tedy u výškových staveb. Mohou se ale vyskytovat i u lehkých nízkopodlažních konstrukcí jakými jsou např. RD či BD. Konstrukční propojení patky se sloupem může být řešeno vhodnou úpravou vrchního dílce patky pomocí tzv. „kalichu“ či zásuvných komor pro výztuž (viz Příloha č. 5).

- Základové rošty

V některých případech, hlavně u skeletových konstrukčních systémů, mohou být základové pásy navrženy a orientovány vzájemně vůči sobě pod úhlem  $90^\circ$ . V takovém případě je nazýváme rošty, které nám ztužují celou spodní stavbu. Používají se převážně pro zatížené skeletové konstrukční systémy. Vhodné vzájemné uspořádání jednotlivých pásů může napomoci rovnoměrně rozloženému sedání celé konstrukce (Kubečka; Kubečková 2016). Hájek a kol (2005) doplňuje, že v případě ŽB provedení se jedná zpravidla buď o obdélníkový či žebrový průřez obráceného tvaru T, obdobně jako je tomu u klasických základových pásů.

- Základové desky

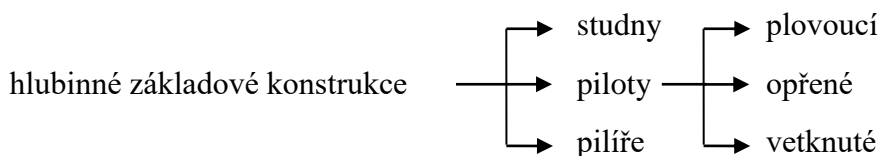
Jedná se o vodorovný prvek, který se navrhuje v případě malé a nerovnoměrné únosnosti daného podloží (Michálek; Novotný 2006). Podle Kubečka a Kubečkové (2016) prostřednictvím těchto desek dochází k celému horizontálnímu ztužení konstrukce v základové spáře a tím i snížení kontaktního napětí v základové půdě.

Dále dojde ke snížení nerovnoměrného sedání, a tedy eliminaci nepříznivého pootočení u svislých nosných konstrukcí. Michálek a Novotný (2006) navazují, že jsou na desku tedy umísťovány veškeré svislé a vodorovné (nosné i nenosné) konstrukce po celé ploše např. stěny, sloupy, schodišťové nástupní stupně apod. V případě zakládání pod HPV se propojí nejčastěji ŽB deska s ŽB stěnou do tzv. „bílé či černé vany“.

Hájek a kol. (2005) navazuje tím, že se základová deska staticky chová jako obrácená stropní deska, přičemž na ní působí reakce od zeminy. Tento typ konstrukce se navrhuje u výškových staveb, u nichž by byl jiný způsob zakládání značně neekonomický. Dále se tento způsob založení vyskytuje u staveb členitých a kombinovaných, u kterých by v případě použití jiného typu konstrukce bylo založení značně složité. Základová deska z ŽB se nejčastěji používá pro stěnové konstrukční systémy, přičemž samotná tloušťka desek se pohybuje v rozmezí 600 – 1200 mm.

### 3.4.4 Hlubinné

Jedná se o vertikálně orientované základové konstrukce, které se přenášejí do větších hloubek z důvodu nedostatečně únosného terénu v těsné blízkosti pod zemským povrchem (Michálek; Novotný 2006). Hájek a kol. (2005) dodávají, že tento typ základů se obvykle volí až když by plošné základy bylo prakticky nemožné či ekonomicky velmi nákladné zrealizovat. Principem hlubinného zakládání je přenést zatížení od svislých nosných konstrukcí do únosné zeminy ve větších hloubkách. Provádí se to pomocí hloubkových ŽB základových překladů v podobě studny, pilotu šachtových pilířů (Hájek a kol. 2005).



Obr. 4 Dělení hlubinných základových konstrukcí (Michálek; Novotný 2006)

### 3.4.5 Odizolování spodní stavby

#### 3.4.5.1 Hydroizolace

Podle Michálka a Novotného (2006) jde o druh izolace zabraňující jakémukoli prostupu zemní vlhkosti či jakékoli formě vody z exteriéru do interiéru. Kubečka a Kubečková (2016) doplňují, že návrh hydroizolace RD v pasivním a nízkoenergetickém standardu vyžaduje znalosti zemního prostředí a hydrofyzikálního namáhání stavebních konstrukcí. Tento druh izolace je jedním z nejdůležitějších izolací na konstrukci, jelikož se jedná o jedno z nejvíce namáhaných a exponovaných míst na celé konstrukci. Proto je velmi důležité, aby



tato izolace byla v projektu důkladně navržena včetně její ochrany s ohledem na problematické dodatečné odstraňování potíží v případě havárií, a to z pohledu realizační, ale také i finanční zátěže všech účastníků realizace.

Podle Kubečka a Kubečkové (2016) důsledkem nesprávného odizolování spodní stavby proti vlhkosti, s ohledem na konstrukční systém dřevostavby, mohou totiž vzniknout plísně, dřevokazné houby nebo případné vzlínání vody v nosných konstrukcích apod. Michálek a Novotný (2006) doplňují, že tuto izolaci mohou na stavbě tvořit asfaltové navařované pásy, kotvené či lepené fólie nebo různé druhy nátěrů, postřiků a tmelů.

### **3.4.5.2 Izolace proti radonu**

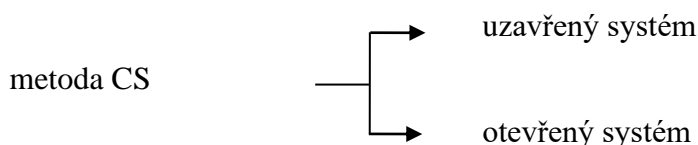
Radon, jakožto radioaktivní plyn, se nekontrolovatelně uvolňuje z podloží. Jeho výskyty se v různých lokalitách liší a již v přípravné fázi daného projektu je důležité si zjistit veškeré podrobnosti týkající se výskytu radonu včetně vhodného návrhu spodní stavby k jeho eliminaci bez ohrožení budoucích obyvatel stavby (Kubečka; Kubečková 2016). Konkrétní návrh protiradonového řešení je obsažen v jednotlivých přílohách vyhlášky 499/2006 Sb. Tyto informace jsou veřejně dostupné buď na mapách České geologické služby (ČGS©2021) nebo v ÚAP příslušného pořizovatele podle § 27 odst. 1 StavZ. Kubečka a Kubečková (2016) doplňují, že nejčastěji ochranu proti radonu tvoří asfaltové či fóliové (plastové) vrstvy izolace ve spodní stavbě. Případně může být protiradonová izolace doplněna systémem odvětrání např. systémem vzduchových kanálků aj. (Kubečka; Kubečková 2016).

### **3.4.6 Metoda Crawl Space**

#### **3.4.6.1 Základní charakteristika**

Průlezný prostor je definován jako prostor mezi spodním patrem budovy (podlahovým roštem) a zemí pod ní, ve kterém je možné prolézat. Tento prostor tedy zvedá objekt nad upravený terén a jeho hlavní funkce je možnost revize veškerých instalací a údržbě služeb, jakými jsou např. rozvody elektřiny, plynu, vody, kanalizace apod. V případě uzavřeného systému CS se může jednat částečně i o tepelně izolační vrstvu. Systém průlezné mezery je typický hlavně v oblasti USA (Designing Buildings©2022).

Způsob zakládání dřevostaveb metodou CS je již desítky let aplikován v USA. Jedná se o specifický způsob systémového založení dřevostavby nad terénem prostřednictvím subtilní základové konstrukce, např. pomocí základové stěny či pilíře. Tím dochází k vytvoření vzdušné mezery mezi konstrukcí podlahy v přízemí a okolním venkovním prostředím (Lavický; Mastná 2020).



Obr. 5 Dělení systémů založení u metody CS (Energy star (1)©2013-2016)

Podle Åberga (1995) tuto předmětnou metodu můžeme dále dělit na: založení na soklu, vnitřní prostor trvale odvětrávaný venkovním vzduchem, prostor odvětrán ventilačním systémem s vnitřním okruhem, nevětraný vnitřní prostor a částečně odvětrávaný prostor (zavěšené základy). Podle Burkeho (2019) je založením na soklu myšlen otevřený systém CS, kde podlahový rošt leží na základových pilířích, přičemž zateplení stěn kontinuálně přechází pod objekt, takže tloušťka tepelného izolantu na stěnách a pod podlahovým rostem je identická. Trvale odvětrávaný prostor z EXT se ukázal jako méně vhodnou variantou, v případě kolísání teplot (zimní a letní extrémy) může docházet ke kondenzaci, a proto musí být podlahové nosníky řádně odizolovány od vnitřního prostoru. Åberg (1995) tvrdí, že u uzavřeného systému CS s vnitřním okruhem se pomocí rekuperační jednotky v prostoru pod podlahovým rostem udržuje stálá teplota, proto lze předpokládat, že nedojde ke kondenzaci vody na soklových stěnách, avšak otázkou zůstává, jestli zvýšené náklady na vytápění nevyužitý prostor nejsou zbytečné.

Burke (2019) tvrdí, že v případě uzavřeného systému CS bez jakéhokoli přísunu vzduchu sice investor nemusí vynaložit žádné vícenáklady, avšak dochází k problému s výskytem vyšší relativní vlhkosti vzduchu. Åberg (1995) u tohoto systému doplňuje, že na základě studií se zvyšuje požadavek odolnosti konstrukcí na vyšší vlhkostní zatížení. Výsledek studie také ukázal, že teoreticky tento typ založení je o 30 % levnější než venkovní typ založení, avšak nikdo není schopen říci, co se po určité době s vnitřním prostorem bude bez jakékoliv revize dít a jakou částku případně bude stát sanace v případě havárie. Burke (2019) doplňuje, že zavěšenými základy u posledního typu metody CS je z historického hlediska založení na hromadě uložených kamenů.

Poznámka autora: s ohledem na to, že se dnes navrhuje principiálně dva typy založení metody CS (viz výše), bude se tato problematika zaobírat pouze metodou založením na soklu (tzv. „otevřená metoda CS“) a s typem založení na uzavřeném prostoru, který je částečně odvětrávan (tzv. „uzavřená metoda CS“).

Kupříkladu program Energy star, který je provozovaný Agenturou pro ochranu životního prostředí USA a ministerstvem energetiky USA, shrnuje problematiku odizolování suterénních prostor do čtyř odvětví: Nedokončené sklepy, Hotové sklepy, metoda CS a další zdroje. Ke každé z nich zmiňuje veřejně přístupné zdroje metodik, které se v současnosti v USA praktikují (Energy star©2013-2016).

Uzavřený systém, který je od EXT odizolovaných pomocí základových stěn zabraňující průchodu vodní páry směrem do konstrukce. Otevřený systém je odizolován od EXT pomocí samotného podlahového roštu a k proudění vzduchu

může tedy docházet v tomto případě po celé ploše podlahové konstrukce. Lze konstatovat, že pomocí obou těchto systémů založení je dřevostavba po celé její ploše oddělena vzduchovou mezerou od okolního UT (viz předchozí kapitoly; Energy star (1)©2013-2016).

#### **3.4.6.2 Historie uzavřeného systému Crawl Space**

Jayroe (2015) tvrdí, že předchůdce moderního suterénu v USA byl historicky využíván tzv. „kořenový sklep“. Jednalo se o prostor pod zemí, nejčastěji mimo objekt, kde v nezámrzné hloubce byla poměrně ustálená teplota, a to po celý rok, a tím docházelo k uchování potravin (viz kapitola 3.1). Na přelomu 19. a 20 století byla řada sklepů později stavěna v USA hlavně z důvodu ochranných úkrytů, a to převážně v oblastech s velkým výskytem tornád a bouří. Tyto chladné sklepy byly později stavebně upravovány a využívány jako úložné prostory pod domem, přičemž v pol. 20. století tyto sklepy začaly plnit i funkci bydlení.

Sklep jako součást objektu začal být velice populární, nejen že se zvyšuje obytná plocha a celkový komfort obyvatel, ale zvyšuje se tím pádem i jeho hodnota. Řada těchto prostor byla a je dodnes konstruována výhradně kvůli snadnému přístupu rozvodů TZB, v tomto případě se jedná o temperované prostředí, kde se s ohledem na nízkou světelnou výšku nepředpokládá s jiným použitím (tepelně izolační a revize). Nicméně kvůli nesprávnému navrhování sklepních prostor začal být problém s plísněmi, které zde vznikaly nadbytečnou vlhkostí. S ohledem na neustále se zvyšující hygienické podmínky pro bydlení to začal být velký problém. Proto musely být nové návrhy konstruovány tak, aby zaručily sucho v daném provozu (Jayroe 2015).

Průlezný prostor (CS) původem vznikl jako jeden z typů suterénního základu v podobě postavení dřevostavby na pilířích a základových patkách. Tento systém byl částečně zapuštěn. Bavíme se zde tedy o uzavřeném systému CS, kde se zpravidla nachází zvýšená vlhkost, což je potencionální problém (viz Obr. 6). Desítky let se běžně navrhovalo přirozené odvětrání tohoto prostoru, čímž chtěli konstruktéři změnit teplotu rosného bodu a tím zamezit vzniku kondenzace vody uvnitř prostoru. Bohužel měl tento návrh spíše negativní efekt na tento systém, protože přívody vzduchu naopak nekontrolovatelně zvyšovali relativní vlhkost okolního vzduchu a tím z tohoto důvodu docházelo k častější kondenzaci (Jayroe 2015).



Obr. 6 Napadení podhledu plísněmi vlivem zvýšené vlhkosti v CS (Smola 2021)

Aktuálně je však situace jiná, jelikož se v současnosti průlezné prostory pod budovami v USA běžně navrhují, jsou tyto prostory stále novým úkazem s ohledem na prostor pro výzkum moderních technologií, resp. jednotek řízeného vzduchu se senzory. Tedy jakým efektivním způsobem jsou tyto prostory v dnešní době konstrukčně navrhovány, stavěny a využívány. Řada současných majitelů objektů s uzavřenou metodou CS často rádo zapomíná na pravidelné inspekční kontroly těchto prostor, případné opravy a zaizolování a s tím spojené vícenásledky na údržbu. To má však v častých směrech mnohdy fatální vliv na nosné konstrukce podlahového roštu nebo nosných trámů podlahy, kde se oprava provádí následně velmi problematičticky za zcela jinou sumu peněz, než preventivní revize (Jayroe 2015).

Jayroe (2015) dále popisuje základní koncepci metody uzavřeného systému CS v USA. Pod podlahou v úrovni přízemí ( $\pm 0,000$ ) se nachází podlahové nosníky, které slouží jako stropní konstrukce průlezného prostoru (CS). Pod podlahovými nosníky se nachází základový nosník (orientace  $90^\circ$ ), který je podepřen základovými sloupy. Jedná se nejčastěji o zděné či betonové pilíře kvádrového či válcového tvaru. Tyto pilíře jsou vedeny do základových patek. Okolí suterénní stěny průlezného prostoru, ze strany EXT) je nejčastěji zahozeno zásypem s případnými světlíky pro přívod vzduchu.

#### **3.4.6.3 Metodika uzavřeného systému Crawl Space**

Na základě poznatků a výzkumů vznikla řada veřejně dostupných metodik, které mohou sloužit jako obecný podklad nebo jako přesná metodika pro návrh této metody na specifickém klimatickém regionu Severní Ameriky (Energy star (1)©2013-2016).

Například univerzální metodiky pojednávají o ideálních podmínkách, které by měli v průlezném prostoru nastat, zároveň by se podle nich tyto prostory měli navrhovat jako tzv. „mini-suterény“. Tedy s takovou světlou výškou, aby bylo možné manipulace člověka při revizi a výměně TZB pod budovou, ale není potřeba, aby

v tomto případě vzniklo pod budovou další podlaží. Budovy by měli mít podlahy neodizolované, přičemž obvodové stěny v průlezném prostoru by měly být odizolovány a vzduchotěsně odděleny od okolního prostředí. Dále je vhodné do těchto prostor umístit klimatizace s vnitřním oběhem vzduchu (Energy star (2)©2015).

Z tohoto důvodu je velmi důležité, aby byl zamezen přísun vzduchu z exteriéru do interiéru, a to jak přes otvory ve vnější stěně, ale také i přes řadu malých průduchů, díky nimž se dostává do průlezné mezery vlhkost, plísně ale i živočišní škůdci. Systémy TZB se nedoporučují umístit mimo objekt, tato varianta by měla přijít až na úplně posledním místě. Jsou zde však některé metodiky, které uvádí možnost vedení TZB v průlezném prostoru, tedy výduchy pro topení a klimatizaci jsou vyvedeny z podlahového roštu 1.NP do INT (Energy star (2)©2015).

K zamezení přísunu vzduchu je potřebné, aby měl průlezný prostor souvisle uzavřený zemní pokryv včetně utěsnění obvodových stěn proti difúzní propustnosti vodních par přes konstrukci (viz kapitola 3.8.2). Toho můžeme dosáhnout pomocí materiálů zamezujících propustnost vodních par, např. difúzních pásků, polyethylenových fólií. Přitom je vhodné na tuto fólii z bezpečnostních důvodů nalít ochrannou vrstvu betonu včetně obvodových kontrolních zapečetěných spojů (Energy star (2)©2015).

Stejně jako u suterénu v případě, že úroveň podlahy průlezného prostoru je pod úrovní UT je více než žádoucí umístit obvodovou drenáž, která svede nežádoucí vodu z fólie přes obvodovou stěnu v nezámrazné hloubce do vsakovacích prostor. Může se jednat jak o vodu vzniklou netěsnostmi vodovodního potrubí, ale také i o vodu vniklou násilně s příchodem povodní apod. Dále metodika v případě uzavřeného systému CS uvádí, že by konstrukce podlahy a průlezného prostoru neměly být odizolovány. Daleko účinnější je metoda odizolování obálky budovy včetně obvodových stěn průlezného prostoru, kde dochází k výrazně teplejšímu a suššímu prostředí (eliminace vlhkosti). Obvodové stěny průlezné mezery by měly být odizolovány voděodolnou izolací, kupříkladu XPS (Energy star (2)©2015).

Proudění vlhkého vnitřního vzduchu, hlavně v letních měsících, po dotyku se studeným povrchem způsobí kondenzaci. Studeným povrchem mohou být kupříkladu záklopy stěn, spodní hrany podlahových nosníků, betonové pilíře izolované ze strany interiéru v přímém kontaktu se zemí apod. Vnitřní izolační systémy proto bezpodmínečně musejí zachovávat co největší vzduchotěsnost. Nejvhodnější jsou pěnové izolace, přičemž by měly umožnit základové zdi vyschnout směrem z exteriéru do interiéru (Energy star (2)©2015). Podle Lstiburka (2004) se izolační materiály podle propustnosti vodních par klasifikují do I. - IV. třídy. Obecně přitom platí, že čím větší je propustnost stavebního materiálu (nízký  $\mu$ ), tím více dochází k vnitřnímu vysušování a tím je i nižší riziko nadměrné akumulace vlhkosti (Energy star (2)©2015).

Obecná metodika dále upozorňuje, že se návrh CS neobejde bez protipožárního opatření v podobě ochranných nátěrů, ochranných bariér (podhledů a předstěn), ale také i aplikace protipožární izolace potažené fólií. Pokud použijeme navíc parotěsnících obkladů na vnitřní straně izolace, může dojít mezi izolací a stěnou, z hlediska vysokého faktoru difúzního odporu, ke kondenzaci vody. V případě vzniku kondenzátu musíme zajistit vzduchotěsnou obálku tohoto prostoru, aby nedošlo k proudění vzduchu mezi tímto vlhkým místem a jakýmkoli místem v objektu. Pro celkový návrh této metody je vhodnější, aby vzduch z obytných místností v budově cirkuloval do průlezného prostoru, což má napomoci odstranění všech malých náhodných zdrojů vlhkosti v místě průlezné mezery, tomu se říká podmíněný CS (Energy star (2)©2015).

V závěru metodika uvádí řadu doporučení formou detailu s referenčním souvrstvím materiálu. Kupříkladu poukazuje na důležitost kapilární přestávky u fólie, která je nainstalována na horní části patky, mezi základem a obvodovou stěnou, kde se nesmí opomenout kapilární zlom mezi základovou stěnou a rámováním. Klimatické oblasti mají obrovský vliv v Severní Americe na jednotlivá doporučení u uzavřené metody CS (viz Příloha č. 6). Například se výrazně doporučuje, aby v oblastech záplavových či pobřežních nebo oblastech suchého podnebí byl průlezný prostor izolován ze strany exteriéru. V těchto případech se proto raději stavby zakládají pomocí otevřené metody CS na základových patkách (Energy star (2)©2015).

Při plánování jakéhokoli zlepšení domácnosti (rekonstrukce), tak ale hlavně při návrhu novostavby založené na metodě CS je důležité vzít v potaz specifické podnebí a povětrnostní vlivy. Některé metodiky jsou totiž přímo uzpůsobeny pro danou klimatickou oblast, kde se stavba bude nacházet. Pomocí prakticky identických okrajových podmínek zajišťují již odzkoušené metody a principy pomocí, kterých to ve výsledku stavebníkovi či investorovi ušetří čas a peníze (Energy star (1)©2013-2016).

Podle mezinárodní rady se dělí např. Severní Amerika na celkem sedm klimatických zón (viz Příloha č. 6), přičemž celý kontinent ještě rozdělen do tří kategorií (námořní, suchý a vlhký), kde jsou namíchány jednotlivé zóny podle klimatu. Na stupnici od 1. do 7. zóny se jedná od nejteplejší po nejchladnější zónu. Na základě charakteristiky zón, včetně kategorií, mezinárodní rada prostřednictvím mezinárodního kodexu stanovuje doporučení vhodná pro odizolování a ochranu objektů (nejčastěji dřevostaveb) proti termitům (ICC©2011).

Wing (2021) upozorňuje na fakt, že jsou hlavně pro začínající rodiny v dnešní době, zejména v USA a Velké Británii, velice oblíbené domy na kolech, tzv. „mobilheimy“, které jsou nejčastěji založeny na ocelových rostech uložených základových patkách, u nichž může být použita buď provětrávaná vzduchová mezera trvale (otevřený CS) či vzduchová mezera zcela pod objektem uzavřena (uzavřený CS, viz Obr. 7). Nutno podotknout, že v případě uzavřeného systému CS se jedná spíše o doplňkové rámové konstrukce přidělané pod objekty, přičemž z hlediska dilatace i jiných aspektů je poměrně složité dosáhnout úplné vzduchotěsnosti.

Obr. 7 Mobilní dům usazený na ocelových stojinách a dodatečně dodělaná difúzně uzavřená podezdívka z dřevěného rámu a XPS, uzavřená metoda CS (vlastní foto)



Poznámka autora: V tomto případě se jednalo o dodatečně zateplený objekt, u kterého tvoří nosný podlahový rošt ocelové příhradové konstrukce, které byly dodatečně zatepleny kamennou vlnou a obaleny difúzně uzavřenou parozábranou.

#### **3.4.6.4 Historie otevřeného systému Crawl Space**

Historie staveb založených pomocí této metody sahá až do 12. století, kde je v norských Lofotech nechal vystavět pro rybáře tehdejší vladař. V současnosti plní využití turistických ubytovacích zařízení, kde tyto stavby byly dodatečně zatepleny (Povýšilová 2021). Další příklad z 18. století můžeme uvést historickou osadu v norském Tellemarku (viz Příloha č. 7), kde byl použit tento systém, pravděpodobně hlavně z důvodu klimatických hrozeb (přivalové deště, sněhové závěje). Z tohoto století pochází také dřevostavby založené na dřevěných pilotách nad mořskou hladinou ve švédském městě Trondheim. Tyto stavby byly dodatečně zatepleny a stojí zde dodnes (Staňková 2020).

Prakticky všechny severské státy mají nějaké historické dřevostavby, které jsou založeny touto metodou nad skalními útesy poblíž moře. Kupříkladu v Norsku mají stavby, tzv. Rorbu, tedy rybářské chaty a sklady, kde tepelná technika nebyla prakticky nijak řešena. Až od poloviny 20. století se s rozvojem stavební fyziky začaly stavby založené otevřeným systémem CS zateplovat. S přímořskými nově postavenými dřevostavbami, bez zateplení, se dnes můžeme setkat již pouze v tropických oblastech, např. Maledivy, přičemž nejčastěji jsou založeny na betonových pilotách (Kučař 2019). Burke (2019) tvrdí, že ve Švédsku se obecně metoda CS propagovala hlavně ve 40. a dále v 60. letech 20. století, kde se využívá dodnes. Postupem času se ale tato metoda začíná objevovat i v ostatních státech EU. Lidé postupně odstraňují předsudky proti objektům ve vzduchu.



### 3.4.6.5 Metodika otevřeného systému Crawl Space

Další metodika uvádí principy u založení stavby metodou otevřeného systému CS. Na rozdíl od uzavřeného systému je u tohoto systému důležité, aby byl podlahový rošt zcela vzdušně utěsněn. Pokud podlahový rošt řádně utěsníme, vytvoříme tím vzduchovou bariéru a zajistíme, aby izolace z podlahy byla v plném kontaktu s touto vzduchovou bariérou. Můžeme tomu napomoci tak, že veškeré mezery a otvory pod podlahou utěsníme pomocí parotěsnících pásek, anebo montážní nízko-expanzní pěnou. Izolace musí být do podlahových nosníků instalována bez stlačení, mezer či dutin, kde by mohlo posléze docházet prouděním vzduchu ke kondenzaci (viz kapitola 3.8.4). Pro volný kontakt izolace se vzduchovou mezerou použijeme vhodnou podpěru, tedy pro minerální izolaci kovové tyčové podpěry a pro foukanou izolaci síťovinu. Izolace z rozprašované pěny může také sloužit jako vzduchová bariéra, pokud sprej s otevřenými buňkami dosahuje alespoň tloušťky 13,9 cm (5,5 palce), pokud jde o izolaci z rozprašované pěny s uzavřenými buňkami musí mít tloušťka nánosu alespoň 3,81 cm (1,5 palce), (Energy star (3)©2016).

Podle dané metodiky podlahy obecně tvoří 1/4 – 1/3 povrchu budovy, při závadě na vzduchové bariéře, existuje-li nad ní izolační systém, výrazně negativně ovlivňuje a snižuje povrchovou teplotu podlah v přízemích. Nedostatečným pokrytím celé vzduchové mezery pak dochází pomocí vedení tepla rámových prvků a prouděním tepla u existenčních mezer (např. mezi tepelnou izolací a SDK deskou) ke snižování tepelně izolačních materiálů celého podlahového roštu. Aby se těmto tepelným ztrátám předešlo metodika doporučuje dbát na souvislost tepelné izolace se vzduchovou mezerou (bariérou), která odděluje objekt od okolního prostředí (EXT), (Energy star (3)©2016).



Obr. 8 Dřevostavba postavená otevřenou metodou CS, uložená na ocelovém roštu a na zemních vrutech, včetně zavětrování (vlastní foto)



Metodika dále doporučuje, že pokud se v chladných oblastech (severské státy) pod domem bude nacházet jak např. rekuperační jednotka (teplo, chlad), tak také vodovod, je nejvhodnějším řešením použít uzavřeného systému CS, tedy odizolování stěn a nikoli stropní konstrukce. To má významný vliv na celou obálku budovy, která je složena ze spojitě vzduchové mezery pod objektem, tepelné bariéry podlah, stěn a stropů včetně základů. Pokud se tato zařízení nenachází přímo pod objektem, je vhodnější použít otevřený systém CS s odizolovanou konstrukcí podlahy (Energy star (3)©2016).

Jak odizolovat a utěsnit podlahu se dá shrnout v následujících krocích: 1) instalace podkladu u horní strany podlahového nosníku (tvořící vzduchovou bariéru), který je obvykle z překližky či podlahového opláštění OSB spojených na P+D. 2) Utěsnění podlahových nosníků ze spodu pomocí tuhé vzduchové bariéry, přičemž musíme utěsnit veškeré spáry (rozvody a okraje), které procházejí skrz podlahový rošt pomocí stříkané nízko-expanzní pěny či tmele. Ráfkové nosníky se mohou odizolovat pomocí stříkací pěny, tloušťky 5,5 a 1,5 palce (viz výše), 3) Instalace izolace do podlahových nosníků by měla být nařezána tak, aby přiléhala na těsno mezi podlahové nosníky bez stlačení, mezi rozvody elektrické energie apod. Lze použít i pěnu ve spreji nad plazivým prostorem. Jedná se o rychlou a efektivní aplikaci s vysokou hodnotou tepelného odporu (viz kapitola 3.8). Pokud chceme u tohoto izolačního materiálu dosáhnout hodnot vzduchové bariéry, opět závisí na tloušťce nánosu a na otevřenosti (5,5 palce) či uzavřenosti (1,5 palce) buněk (Energy star (3)©2016).

Poznámka autora: v USA existuje řada metodik schválených tamním ministerstvem energetiky, zabývající se touto problematikou. Po nahlédnutí do řady z nich docházelo k velmi malým odchylkám v použitých typech a v tloušťkách materiálů, a to s ohledem jak na klimatickou oblast dané konkrétní firmy, tak také ale i předem sjednané subdodávky s lokálními firmami daných materiálů. Pro tento případ jsem z každé dané metody CS vybral reprezentativní metodiky, které nejlépe poslouží pro účelnost této dané diplomové práce pro její zkoumání.

Podle Ovchinnikova (2022) se v dnešní době zakládání staveb pomocí otevřené metody CS týká převážně lehkých dřevostaveb, nejčastěji z lehké rámové konstrukce. Principiálně se jedná o to, že podlahový rošt je obalen pojistnou hydroizolací, která je kontinuálně přenesena ze stěnového rámu pod objekt a zde je provázána spodní pojistnou hydroizolací. Velmi často se jedná o difúzně otevřené konstrukce, ale můžeme se setkat i s difúzně uzavřenými konstrukcemi založenými touto metodou. Difúzně otevřenou metodou CS se zabývá již devět let firma Dubldom, jenž pochází z Ruska, která v dnešní době expanduje do Evropy i celého světa. Jedná se o modulární výstavbu se středním stupněm prefabrikace a jsou to výhradně menší jednopodlažní objekty, zpravidla dvou až třípokojevé. Tento systém deklaruje rychlou výrobu, montáž a kompletaci, která by neměla trvat déle než měsíc. Velice často se tento systém kombinuje s usazením na ocelovém roštu založeném na zemních vrtech (viz Příloha č. 8).

### 3.4.6.6 Specifické problémy dřevostaveb založených metodou Crawl Space

Podle Lavického a Mastné (2020) v dnešní době kolují mezi odborníky různé názory o zakládání dřevostaveb. Podle nich bychom se totiž neměli upínat na jednotné plošné zakládání všech typů staveb dohromady. Ale mělo by se rozlišovat, jestli se bavíme o masivních betonových či zděných stavbách anebo dřevostavbách. Na rozdíl od masivních zděných či betonových staveb totiž dřevostavby dosahují zcela jiných hmotnostních charakteristik např. vlastní tíhy konstrukce na objemovou jednotku. Proto je podle nich vhodné lehké dřevostavby zakládat pomocí této metody. Podle Růžičky (2014) jsou důležité pro správný návrh u založení stavby bodovým způsobem, tedy pomocí metody CS, následující kroky:

- Kvalitně odvětraný prostor pod objektem

Pro otevřený systém CS je klíčová výška dřevěných prvků od UT. Pro uzavřený systém CS je klíčová správná dimenze provětrávaných otvorů. Kvalitně odvětraný CS je nejlepší konstrukční ochrana dřevěných prvků pod budovou.

- Zabránění průtoku povrchové a podpovrchové vody pod objektem

Pro otevřený systém je klíčová drenáž v dostatečné hloubce. Pro uzavřený systém je klíčové, kromě kvalitně provedené drenáže, také kvalitní odizolování základových stěn.

- Zabránění vzlínání vlhkosti na dřevěné prvky

Pro otevřený systém je klíčové umístění a přitížení (např. šterkem) parotěsnicí fólie na UT s vyložení vně zastavěnou plochu stavby (rezerva  $\pm 1$  m). Dále pak opatření základových pilířů nátěrem proti vzlínající vlhkosti. Pro uzavřený systém je klíčové, kromě umístěné parotěsnicí fólie na čistou podlahu, také kvalitní provedení HI (Česká 2021).

Podle Lavického a Mastné (2020) se u systémů zakládání metodou CS pro základové konstrukce nejčastěji navrhuje buď základové pasy se základovými stěnami (po celém obvodu stavby) nebo základové patky se základovými pilíři (bodové podpěry) nebo také jejich kombinace. Jaký způsob založení se použije záleží hned na několika faktorech, a to např. klimatické podmínky, geologie a hydrogeologie dané zeminy (pevnost a soudržnost zeminy), HPV (viz kapitoly 3.4.1, 3.4.2).

V dnešní době řada výrobců nabízí inovativní řešení v podobě zakládání na mikropilotech, stojkách nebo na zemních vrutech (viz Příloha č. 9, bod a, b, c). Nejčastěji se jedná o lehké konstrukce dřevostaveb, kontejnerové dočasné stavby nebo doplňkové dřevěné konstrukce apod. (Zemní vruty KOSTRHOUN (4) ©2020).

Základové stěny či sloupy tvoří podpůrnou konstrukci jak pro vodorovnou nosnou konstrukci stropu u prvního nadzemního podlaží, tak ale i podpůrnou konstrukci od zatížení všech ostatních svislých a vodorovných konstrukcí, jenž musí přenést sílu od tohoto zatížení do základových konstrukcí. Horní stavba je tak teoreticky ochráněna od zemní vlhkosti, a to z pohledu odizolování od vlhkosti z terénu

odvětrávanou mezerou, ale také odizolování objektu od základových stěn či pilířů pomocí hydroizolačních pásů. Základové stěny se optimálně umísťují do výšky 750 mm (min. 500 mm). Tato hodnota je uváděna na základě empirických hodnot z pohledu funkčnosti a proveditelnosti zateplení podlahového roštu při realizaci, možnosti údržby aj. (Lavický; Mastná 2020).

V CS jsou totiž umístěny veškeré rozvody kanalizačních a vodovodních sítí, dále pak elektroinstalace, případně vzduchotechnika. Ke všem těmto TZB se může kdokoli pomocí průlezu dostat a výška základové stěny tedy musí odpovídat minimálním požadavkům na pracovní prostor u případné revize či výměny těchto zařízení. Velkou výhodou je pak potenciální bezporuchovost izolačních vlastností uzavřeného vzduchu (v případě uzavřeného CS), který se nemá, jak oslabit či degradovat a dále určitá ekonomická úspora (Lavický; Mastná 2020).

Odpůrci naopak zpochybňují ekonomickou výhodnost tohoto systému, jelikož se domnívají, že k vytvoření tohoto prostoru pod budovou obnáší určitou řadu vícenáskladů ve formě větší spotřeby materiálu ve formě funkčně nevyužívaném prostoru. Vybudování stropní konstrukce musí navíc splňovat nové tepelně izolační požadavky a ochranu proti degradaci. CS je podle nich temný a vlhký prostor, tedy ideální místo pro vznik plísní a mikroorganismů, které v první řadě zapříčiňují onemocnění nebo alergie. V druhé řadě z technického pohledu je potenciální riziko výskytu dřevokazných hub, které způsobují degradaci dřeva (Lavický; Mastná 2020). Otázkou tak zůstává, jestli není výhodnější založit dřevostavbu klasickým způsobem (viz kapitoly 3.4, 3.8)

Výskyt radonu je v případě uzavřeného CS nutné řešit, a naopak v případě otevřeného CS tuto problematiku řešit nemusíme. Velmi diskutované je provětrávání mezery (dutiny) pomocí větracích otvorů, které umožňují únik vlhkosti. Odpůrci namítají, že snížením relativní vlhkosti vzduchu dochází k potenciální kondenzaci vodní páry na potrubí TZB. Aby v případě uzavřeného systému CS nedocházelo ke kondenzaci, a naopak u otevřeného systému nedocházelo k zamrznání vodovodu a kanalizace, musí být potrubí velice dobře odizolované od okolního prostředí (Česká 2021).

V praxi se může jednat o potrubí obalené návlekovou izolací na bázi pěnového polyetyleny, syntetického kaučuku nebo kamennou vlnou obalenou hliníkovou fólií. Tyto návlekové izolace dosahují průměru daného průřezu od 10 do 140 mm a vyrábí se v různých délkách. V případě otevřeného systému CS může být izolace v oblasti vniknutí pod UT do nezámrazné hloubky obalena kastlíkem z XPS (viz Příloha č. 10), [GEROtop©2022; Izoltech (1,2)].

Další nevýhodou, při uzavřené metodě CS, je ochlazování prostoru pod budovou v zimě a oteplování v létě, tím vzrůstají náklady na vytápění a ochlazování celé budovy. Největším problémem bývá zpravidla prosakování dešťové vody z okolí stavby pod základovými pasy do podlahy průlezně uzavřené odvětrávané mezery, čímž zde dochází ke zvýšení relativní vlhkosti vzduchu. Další negativní vlastností

této metody je fakt, že se do tohoto prostoru mohou dostat biotičtí škůdci, např. mravenci, dřevokazný hmyz, hlodavci a ojediněle i termiti. V ČR je z hlediska velkého kolísání teplot (rozdíly až 20 °C/den) největší problém se zamrzáním kanalizačních a vodovodních sítí (Lavický; Mastná 2020).

Pro odstranění či eliminaci byly na základě těchto zmíněných problémů vytvořeny celé řady různých moderních technologií, které mají odstranit vhodné podmínky pro vznik abiotických a biotických škůdců v oblasti dřevostaveb a materiálů používaných pro spodní stavbu u tohoto systému. Mezi tyto technologie patří např. řízené větrání, systém odvodnění, hydroizolační dutiny a tepelné izolování potrubí aj. (Lavický; Mastná 2020).

Nevhodné provedení realizace uzavřeného systému CS z praxe nám uvádí Lavický a Mastná (2012), kteří vyhotovili znalecký posudek na dřevostavbu založenou uzavřeným systémem CS. Zde byl problém ve vzlínající vlhkosti u podlahy v kontaktu se základovou stěnou v průlezném prostoru. V průběhu zkoumání se přišlo na nesoulad projektové dokumentace a realizace stavby, kde došlo ke změně, kdy z původních základových pasů, které měly být pod zdivem řádně odizolovány (dle projektové dokumentace), byla ve skutečnosti vybetonovaná základová tenká betonová deska, kde nastal problém v absenci H.I., která nebyla ani na základové desce a ani pod základovou stěnou. Přitom původní odhad byl, že dochází k nadměrné kondenzaci vody na povrchu ztraceného bednění z XPS. Znalecký posudek je komplexně shrnut v doplňujících přílohách.

### **3.5 Vodorovné konstrukce dřevostaveb**

#### **3.5.1 Dřevěné stropy**

Podle Kohouta a kol. (1996) je stropní konstrukce definovaná jako horizontální konstrukce, která je spojena či uložena na nosných stěnách. Jejím hlavním úkolem je přenést stálé a proměnné zatížení z daného podlaží do nosných stěn či sloupů a následně do základových konstrukcí. Podle Kolba (2011) se dnes využívají hlavně u menších objektů, tedy dřevostaveb do výšky 12 m. Stropní konstrukce můžeme dělit podle následujících hledisek:

- statického působení konstrukce: deskové, nosníkové (Kolb 2011)
- historické: povalové, kazetové, trámový strop s příznanými trámy, trámový strop s příznanými trámy se zapuštěným záklopem, trámový strop s podhledem, dřevěný trámový strop s rákosníky (Kohout a kol. 1996)
- moderní: deskové panely z CLT, trámové stropy z LLD (BSH), trámové roštové stropy (KVH), kombinované (spřažené dřevo-betonové desky), (Kolb 2011)
- dle PBŘ: spalné (příznané trámy) a polospalné (s podhledem), (VŠB©2008).

### 3.5.2 Schodiště

Schodiště je stupňovitá nosná konstrukce spojující různé výškové úrovně ve vertikálním i v horizontálním směru, mající sklon od 7° do 45°. U RD se nejčastěji setkáme s běžným schodištěm o sklonu od 25° do 35°. Rampa je šikmá rovinná nosná konstrukce, sloužící pro překonání výšky pro pěší i automobilový provoz, mající sklon od 0° do 7° (VŠB©2008). Schodiště můžeme dělit podle:

- umístění: INT, EXT
- funkce: hlavní, vedlejší, pomocné, vyrovnávací, mobilní
- počtu ramen: jednoramenné, dvouramenné, tří a víceramenné
- směr otáčení: přímé, pravotočivé, levotočivé
- materiálu: dřevěná, kovová, zděná, betonová, prefabrikovaná
- tvar ramene: přímá, zakřivená, vetknutá smíšená
- statické působení: desková, zavěšená, vřetenová

Minimální šířka schodišťového ramene je:

- u RD 900 mm (hlavní), 850 mm (pomocné)
- u BD 1100 mm + požadavky PBŘ (min. průchozí pruh 550 mm), (VŠB©2008).

Základními požadavky na schodiště řeší norma ČSN 73 4130 Schodiště a šikmé rampy.

## 3.6 Konstrukční systémy dřevostaveb

### 3.6.1 Srubové a roubené stavby

- Základní charakteristika

Podle Jelínka (2012) nosný systém stěn u srubových staveb tvoří tesaná kulatina, lepené frézované profily či hraněné řezivo. Průřez kulatin či trámů se zpravidla pohybuje mezi 180 až 220 mm, o minimální tloušťce 150 mm (zabránění promrzání), a to za předpokladu, že jsou ložné spáry mezi jednotlivými prvky zcela utěsněny. Podle Kohouta a kol. (1996) se historicky spáry utěsňovaly např. pomocí mechu a dřevité vlny, které se pretíraly směsí hlíny a vápna. Spojování jednotlivých prvků nosných stěn probíhalo pomocí tesařských spojů, např. přeplátování s kolíkem, přeplátování s rybinou (tzv. roubení), přeplátování s přečnávajícím zhlavím kulatin (tzv. sruby).

Houdek a Koudelka (2013) doplňují, že s ohledem na daného výrobce srubových staveb nebo na danou technologii výroby a montáž, mohou mít jednotlivé díly konstrukce nosné stěny různé tvary průřezů, např. obdélník, čtverec, elipsa, kruh apod. Jelínek (2012) navazuje tím, že v některých případech může srubová

konstrukce sloužit pouze jako nenosné opláštění jiného nosného systému (panelů či sloupkové konstrukce, aj.), u kterého tvoří pouze pohledovou vrstvu sendvičové konstrukce. V tomto případě jsou dřevěné prvky obdobně kladeny na sebe pomocí jednoduché či dvojité P+D.

- Materiálová kompozice

Sruby a roubenky se podle Houdka a Koudelky (2013) v dnešní době nejčastěji navrhují ze smrkového, borovicového, modřínového nebo jedlového dřeva. Pojetí moderní průmyslová technologie výroby srubových staveb podle nich zaručuje požadovanou kvalitu na kulatinu či řezivo např. optimální vlhkost dřeva (w max. do 20 %), požadovanou přesnost jak předem stanovených rozměrů, tak rovněž i předem připravených tesařských spojů na CNC strojích. S tím úzce souvisí časté použití vysušených lepených frézovaných BSH profilů, které se vyznačují poměrnou rozměrovou stálostí. Tyto frézované profily jsou na sebe vzájemně kladeny, a to na jednoduchou, zdvojenou či ztrojenou P+D.

Javorský (2015) z praktických zkušeností radí, že pro dosažení nízkoenergetického standardu je vhodné navrhovat roubené stavby buď s vnitřní předstěnou (tepelně izolační vrstva) nebo lépe konstrukci dvojitého roubení s vyplněnou tepelně izolační vrstvou. U novostaveb by se mělo jednat výhradně o předem vysušené konstrukční prvky z důvodu eliminace dodatečných nadměrných objemových změn. Houdek a Koudelka (2013) tvrdí, že u tohoto typu konstrukce není závažná kondenzace vodní páry v zimních obdobích. Nejdůležitější je podle nich u srubových konstrukcí vzduchotěsnost ložné spáry mezi kládami za použití vhodných těsnících materiálů. Jelínek (2012) navazuje tím, že se nyní ložné spáry nejčastěji vyplňují vláknitými izolacemi a hrany stykových ploch se vkládají pružné tzv. paměťové pásky.

Houdek a Koudelka (2013) doplňují, že je v rozích a ložných spárách u srubu přípustná absence parotěsné fólie, která není podle zkušeností techniků nezbytná. V případě vzniku kondenzátu ve spojích totiž dojde k okamžitému pohlcení vlhkosti samotnými dřevěnými prvky a postupně se kondenzát dřevem dostane k hraně konstrukce blíže INT, kde se odpaří. Opakem jsou duté konstrukce u srubových staveb, např. střešní a stropní konstrukce, u kterých je naopak nutností zabránit vzniku kondenzátu pomocí umístění parotěsné fólie na teplou stranu vnitřní izolace.

- Zakládání srubových konstrukcí

Historicky se nám dochovalo v EU pár konstrukčních skvostů ze zakládání dřevostaveb. Významným příkladem je dodnes dochovaná osada tvořená z části srubovými konstrukcemi v norském Telemarku. Základovou konstrukci tvoří kamenné pilíře, o které jsou opřeny základové prahy z masivních kulatin, které jsou propojeny do základového roštu o čtvercovém tvaru. Tento práh je zapuštěn do masivních dřevěných pilířů, které navyšují výšku podélných povalů, obvodových stěn a konstrukce podlahy od okolního UT. Konstrukci obvodových stěn převážně představují kulatiny tvořící srubové či roubené stavby, v některých případech těžký rámový skelet. Konstrukci podkroví a doplňkových staveb tvoří kombinace

konstrukčních systémů. Střešní plášť konstrukce tvoří krokve, dřevěný záklop, na němž je umístěna vrstva hlíny s intenzivní zelenou střechou (viz Příloha č. 7), (Cridland 2020).

Houdek a Koudelka (2013) dále tvrdí, že v dnešní době mají roubenky oproti alternativním stavbám velkou výhodu v nižší hmotnosti nadzemní části konstrukce, proto lze plošné základové konstrukce dimenzovat na výrazně nižší stálé zatížení. V současné době se tyto konstrukce zakládají na betonové pasy, kde je vhodné odizolovat základový práh proti zemní vlhkosti klasickým způsobem pomocí tepelné izolace odolávající vlhkosti (např. XPS), včetně použití hydroizolace (obdobně jako u zděných staveb). U tohoto typu založení této konstrukce se nevyžaduje kotvení srubových stěn k základům s ohledem na povětrnostní podmínky v ČR.

V případě použití metody CS se sruby zakládají na betonové pasy nebo pilíře. Na podlahovou konstrukci lze použít buď rošt přímo z povalů nebo podlahový rošt tvořený z dřevěných styčnicků a opláštění pomocí překližek či OSB desek. Pokud bude v souvrství podlahy navržena roznášecí betonová vrstva, je nutné, k eliminaci vlhkosti pod obvodovými stěnami provést základový věnec o šířce 200 mm (viz Příloha č. 11), o výšce rovnoběžné s niveletou podlahy (Houdek; Koudelka 2013).

Houdek a Koudelka (2013) dále tvrdí, že se v současné době tyto konstrukce zakládají na betonové pasy, kde je vhodné odizolovat základový práh proti zemní vlhkosti klasickým způsobem pomocí tepelné izolace odolávající vlhkosti (např. XPS), včetně použití hydroizolace (obdobně jako u zděných staveb). U tohoto typu založení této konstrukce se nevyžaduje kotvení srubových stěn k základům s ohledem na povětrnostní podmínky v ČR. Naopak, pokud je stěna přikotvena dochází v ní k nadměrným a nežádoucímu napětí. Založení prahové klády musí proběhnout s naprostou přesností, jednotlivé prvky musí do sebe precizně zapadnout.

### **3.6.2 Konstrukce z masivních stěnových panelů**

Podle Kolba (2011) je hlavní nosná část tohoto systému vždy složena z nosného jádra, které tvoří lamely z masivního dřeva nebo desek na bázi dřeva. Používá se výhradně jako nosný systém, který působí pouze plošně. Prostupy přes panely se vyřezávají předem při výrobě daného panelu nebo dodatečně na stavbě. Podle Pavlase (2016) vrstva panelů tvoří vzduchotěsnící vrstvu, proto se tepelná izolace dává výhradně z vnější strany panelu (směrem k EXT). Dělí se v zásadě na dva typy:

- Lepené panely, CLT

Jedná se o panely, které jsou lepené buď pouze po ploše lamel nebo i mezi nimi za tepla a pod vysokým tlakem se lisují do celistvých panelů. Následně se vyřezávají okenní a dveřní otvory (Pavlas 2016). Tyto panely se příkládají v rozích na sráz a jsou spojovány pomocí vrutů po předem stanovených vzdálenostech. Systém CLT panelů tvoří systém nejen pro stěnové, ale i pro: stropní, schodišťové i střešní konstrukce (Kocvár 2018).

- Šroubované panely, Dekpanel

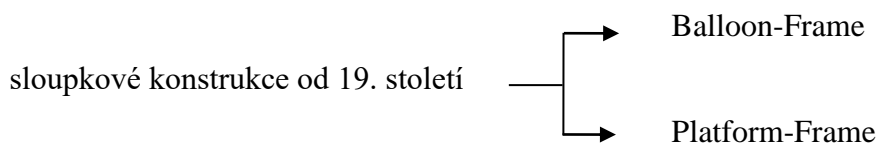
Podle Pavlase (2016) se v případě Dekpanelu jedná o křížem kladené masivní šroubované stěnové panely. Umisťují se obdobně jako u předchozího systému na sráz, nicméně u šroubovaných panelů bývá nekvalitní vzduchová neprůvzdušnost, proto se spoje vytmelují pomocí difúzně uzavřených pásků nebo tekuté parozábrany. Podle Kutnara (2020) je hlavní výhodou těchto panelů to, že se nemusí nejprve slepit dohromady pod tlakem a následně řezat, ale lamely se rovnou pokládají ve zkrácené podobě do otvorů, takže je poměrně značný úbytek odpadu při výrobě.

Pavlas (2016) tvrdí, že je nevýhodou větší paropropustnost, kde se vyskytuje problém z hlediska nedostatečné parotěsnosti celé obálky budovy pro dosažení vysokého energetického standartu budovy. Pavlas (2016) doplňuje, že výroba panelů je prováděna na CNC stroji předem v hale, následuje přeprava na staveniště a uložení pomocí těžké techniky. Jelikož se jedná o poměrně velké liniové namáhání základových konstrukcí, je vhodné stavby z těchto panelů zakládat na základové desky, případně na základové pasy (viz kapitola 3.4.2). Panely se ukládají na základový práh. Kotvení k základové desce probíhá pomocí ocelových kotev tvaru „L“ s prolisem (Pavlas 2020).

Poznámka autora: Příklad konstrukčně vhodného řešení nízkoenergetické dřevostavby s kombinovaným systémem Dekpanelu a těžkého skeletu naleznete v Příloze č. 12.

### 3.6.3 Sloupkové konstrukce

Podle Kolba (2011) byly v roce 1850, manuální techniky realizace dřevostaveb prakticky nahrazeny strojovou masovou výrobou. Tu pravděpodobně způsobila velká a náhlá poptávka po dřevostavbách včetně požadavku na rychlou výstavbu. V této době vznikly v Severní Americe, za pomoci průmyslové výroby hřebíkových spojů, nové konstrukce dřevostaveb.



Obr. 9 Rozdělení sloupkových konstrukcí od 19. století v USA (Kolb 2011)

- Balloon-Frame

Podle Kolba (2011) se jedná o žebrový dřevěný stavební konstrukční systém, který je tvořen z řady stěnových sloupků o pravidelných krátkých osových vzdálenostech, které jsou zavětrovány z prken či záklapových desek na bázi dřeva (např. OSB či DHF desky aj.). Nejběžnějším spojovacím prostředkem jsou zde hřebíkové spoje. Tento systém spočívá v tom, že stěnové sloupky prochází průběžně stropní konstrukcí přes dvě i více nadzemní podlaží. Spodní a horní uzavření tvoří horizontálně orientovaná prkna, tedy základový práh (spodní pás) a vaznice (horní pás).

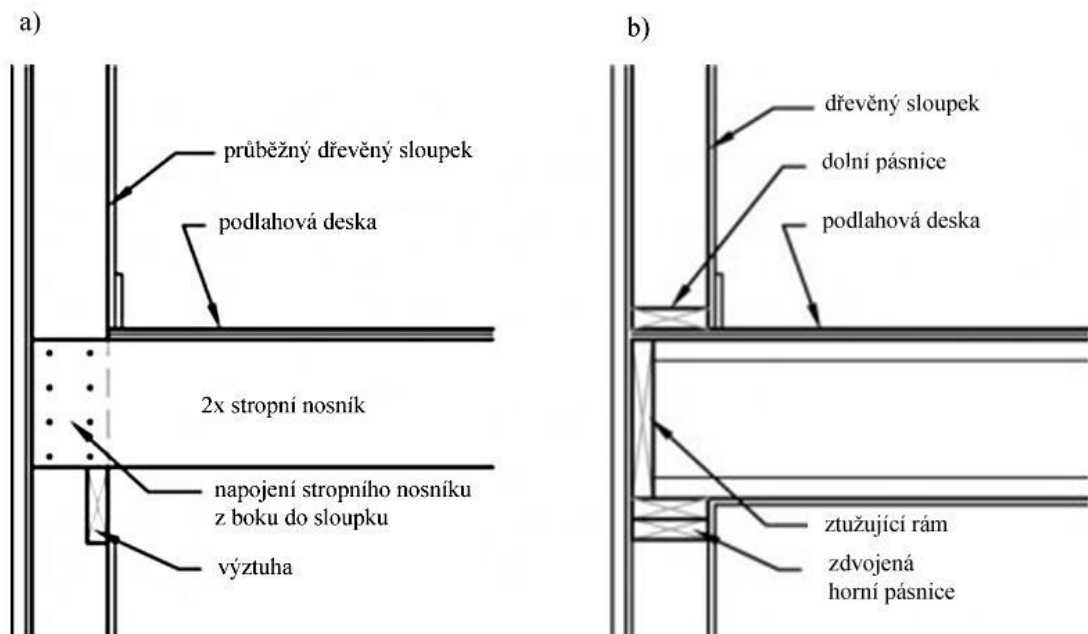


Kolb (2011) dále popisuje, že v místě styku stropních nosníků a svislých stěnových sloupků je umístěna stojatá fošna, která je částečně zapuštěna do zářezu stěnových sloupků. Tato fošna je umístěna přímo pod stropními nosníky, přičemž je od nich orientována pod úhlem 90° a tím tvoří těmto stropním nosníkům podpěru. Zároveň přenáší zatížení od stropní konstrukce do stěnových sloupků.

- Platform-Frame

Na rozdíl od předchozího systému se Platform-Frame vyznačuje poschodovou skladbou, kde jsou jednotlivá podlaží oddělena stropní konstrukcí. Plošina se po celou dobu stavby používá jako pracovní plocha a zároveň jako výrobní místo. Tento systém je v dnešní době stále používán pro jedno a dvoupodlažní stavby (RD apod.), přičemž umožňuje také standardizaci či prefabrikaci, včetně použití normalizovaných konstrukčních prvků. Lze konstatovat, že tato metoda nabízí poměrně širokou flexibilitu, ať už z hlediska konstrukce (u jednotlivých prvků), tak rovněž i z hlediska architektonického řešení (Kolb 2011).

Osová vzdálenost mezi jednotlivými stěnovými sloupky dosahuje podobných hodnot jako u předchozího systému. Na tyto sloupky se pokládá zdvojená horní ztužující pásnice, na kterou je přímo uložena stropní konstrukce (trám či deska). Tím je systém ukončen, přičemž na stropní desku se následně ukotví dolní pásnice, jakožto základna pro stěnové sloupky v dalším podlaží (Kolb 2011).



Typy Sloupkových staveb – Obr. 10 Balloon-Frame (levý), Obr. 11 Platform-Frame (pravý), (Pavelek (2019) et. Winter ; Okerstrom 2015)

### 3.6.4 Rámové konstrukce

- Základní charakteristika

Kolb (2011) tvrdí, že rámovou stavbu tvoří nosná kostra stěn, která je tvořena z obdélníkového rámu, přičemž jeden rámový prvek je tvořen ze spodního a horního dřevěného prahu (neboli pásnice) s okrajovými sloupky. Těchto celistvých prvků je ve stěně tohoto systému zpravidla více než jeden.

Růžička (2014) doplňuje, že základním konstrukčním prvkem tohoto systému je fošna, která je orientovaná v horizontálním a vertikálním směru kolmo na sebe, čímž vytváří tuhý rovinný rám. Kolb (2011) však upozorňuje, že se v žádném případě rám nechová z pohledu statického působení jako rámová stavba. Prutová kostra přenáší veškeré svislé zatížení (stálé a proměnné) do základové konstrukce, respektive do základové spáry (viz kapitola 3.4.1).

Podle Růžičky (2014) nelze jednoznačně říci, že je systém TBF postaven na striktních zásadách a pravidlech. Systém TBF má na jednu stranu pevné zásady a pravidla, na druhou stranu nabízí nespočetné množství variant a různých aplikací, jak systém přizpůsobit každé stavbě jinak, např. kombinace s jinými konstrukčními systémy apod. Podle Růžičky (2014) můžeme jednotlivé prvky rámové konstrukce dělit na:

- **Fošnový rám** (viz kapitola 3.6.4.1),
- **Stěnový rám** (viz kapitola 3.6.4.2),
- **Stropní rám** (viz kapitola 3.6.4.3),
- **Střešní rám** (viz kapitola 3.6.4.4)

Podle Dashöfera (2009) se tento konstrukční systém principiálně skládá ze spodního prahu, který umístíme na hranu vnitřního obrysu stěny (svislých sloupků). Horní práh je umístěn v totožné poloze ve světlé vzdálenosti cca 2,5 m. Tato hodnota se liší v závislosti na počtu prahů (někdy více nežli jeden), s ohledem na požadavky:

- světlé výšky místnosti (s ohledem na okenní a dveřní otvory),
- konstrukční výšky (tloušťka a konstrukční řešení stropu)
- výšky podlaží (výpočet schodiště, celková výška budovy)

Ve vertikálním směru dochází k vyskládání sloupků v daných osových vzdálenostech (viz dále), jejichž skutečné délky jsou obvykle kratší o 150 mm, než skutečná výška konstruovaného rámu daného podlaží. Přičemž každý horizontální prvek v rámu má nominální výšku 50 mm. Pokud uvažujeme na jeden tento rám: spodní práh, horní práh, věnec, je potřebné navrhnout vertikální sloupek o 3x 50 mm, tedy o 150 mm kratší, než je celková výška rámu bez započítání tesařských spojů (viz kapitola 3.6.4.1) pro propojení sloupku a prahů (Dashöfer 2009).

- USA

Podle Smitha (2021) tyto konstrukce tvoří soubor rozměrových řeziv, které se hoblují na všech čtyřech stranách prvku ve standardizovaných rozměrech a velikostech. Míry jednotlivých prvků jsou v USA udávány v palcích a ve většině ostatních zemí v milimetrech, např. v Evropě.

Kolb (2011) uvádí, že je tento systém v EU označován jako TBF, a to podle původního průřezu řeziva uváděného v USA v palcích. Podle Růžičky (2014) byl USA v druhé polovině 19. století vyvinut fošnový rámový systém TBF, který je dodnes nejpoužívanějším systémem v oboru moderních dřevostaveb (viz dále). Většina nových prefabrikovaných systémů, např. obdobných systémů z materiálů na bázi dřeva, vychází právě z TBF.

Smith (2021) doplňuje pro USA standartní parametry dílců tvořící systém TBF, které upřesňují, o jaký systém se jedná. Systém TBF totiž tvoří fošny o šířce a výšce dva palce na čtyři palce (5,08 cm na 10,16 cm). Délka záklopových desek se pak může pohybovat od 6 do 24 stop (1,82 m x 7,31 m). Jedná se přitom nejčastěji o měkké dřevotřískové desky, které se považují za základní prvek tohoto nosného systému (zavětrování). Naopak pro podlahy se kvůli plošnému zatížení nejčastěji používají ve standardních rozměrech desky tuhé a tvrdé (Smith 2021).

- EU

Podle Růžičky (2014) lze konstatovat, že se v dnešní době v EU snažíme modernizovat CNC stroje, které bez lidské zručnosti umí vyřezat z trámu požadované tesařské spoje. Nevýhodou však může být snižování počtu pracovních míst, závislost jednoho stroje na několika stavbách (porucha, revize) a snižování kvalifikace dělníků na stavbě. Na rozdíl od toho v USA stále částečně zůstávají na klasickém pojetí systému TBF při zachování kvalifikace pracovníků na dané stavbě, a to také s ohledem na vyšší riziko předčasné demolice staveb kvůli častým živelným pohromám (vichřice, tornáda aj.).

Smith (2021) v závěru uvádí, že bez standardizovaných rozměrů by byla realizace jakékoli dřevostavby velice náročná. Nejen, že by se každý dřevěný prvek musel dodatečně opracovávat, ale také by se všechny stěnové otvory, a to včetně TZB musely navrhovat na jedinečnou míru daného objektu. Tato skutečnost by velice prodloužila dobu realizace a o to víc navýšila celkovou cenu za stavební dílo. Rámová konstrukce je v dnešní době zpravidla tvořena z řeziv KVH či BSH. Pro lepší stabilitu je vhodnější BSH, ovšem za vyšší cenu výrobku. Základní rozměr sloupku je 60 x 120 mm. Oba tyto rozměry jsou přitom variabilní a mohou se měnit v závislosti na statických a tepelně technických požadavcích konstrukce.

### 3.6.4.1 Fošnový rám

- Základní charakteristika

Podle Růžičky (2014) se jedná o rovinný konstrukční prvek, který tvoří soustava fošen, které jsou vzájemně na sebe kolmo orientovány. V horizontální podobě se bavíme o prahu a ve vertikálním směru o tzv. stojkách (stojinách). Tato konstrukce je sama o sobě poměrně nesoudržná (v podélném směru), proto je nutné ji zavětrovat pomocí diagonálních prken nebo deskových materiálů. Podle Kohouta a kol. (1996) se prkna používaly hlavně v počátcích (před vznikem deskových materiálů na bázi dřeva), dnes se používají pouze jako dočasná ztužidla při staveništní montáži (viz dále), která se při zaklápění deskovým materiálem demontují.

Podle Steigera (2020) se dnes zavětrování provádí pomocí deskových materiálů, které mají různé fyzikální a mechanické vlastnosti. To, jaký záklop o daných vlastnostech použijeme do návrhu souvrství nám určí propustnost vodní páry danou konstrukcí.

Podle Korce (2021) se souvrství dané sendvičové stěny liší v závislosti na konkrétní parcele, umístění stavby, odstupových vzdálenostech a s tím spojených protipožárních opatření (volby materiálu z hlediska PBŘ). Dále pak závisí na klimatických a geologických podmínkách, tedy napojení obvodových stěn na základové konstrukce apod. Volbou materiálu, i to v jakém pořadí jsou materiály v konstrukci seřazeny, zajistíme buď difúzní otevřenost či uzavřenost dané konstrukce, viz kapitola 3.8.

- Materiálová kompozice

Korec (2021) říká, že systém TBF se v dnešní době navrhuje převážně z KVH hranolů, nejčastěji se v ČR jedná o rozměry 60 x 120 cm či 60 x 180 cm. Kolb (2011) doplňuje, že jsou oba tyto rozměry variabilní, a tudíž se mohou měnit v závislosti na statických a tepelně technických požadavcích konstrukce. Dále uvádí, že pro celkové zlepšení stability rámu můžeme použít BSH hranoly, které nám ovšem prodraží celkovou cenu stavby. Podle Dashöfera (2009) se princip tohoto konstrukčního systému skládá ze základového prahu, který umístíme na hranu vnitřního obrysu stěny (spodní pásnice).

- Konstrukční zásady

Kolb (2011) shrnuje tyto konstrukční zásady a prvky, které se nejčastěji u rámových dřevostaveb v praxi používají, do následujících bodů:

- Nosná konstrukce: KVH nebo BSH řezivo
- Dřevo: smrk, jedle
- Vlhkost řeziva 12 % ( $\pm 2$  %)
- Rastrový rozměr nosných sloupků (fošen): 400 – 700 mm (optimálně 625 mm)

Růžička (2014) doplňuje, že maximální rozměry otvoru pro použití jedné podpěrné zkrácené fošny (na každé straně) pod konstrukcí překladu činí 1,5 m (Růžička 2014).

Podle Dashöfera (2009) základní rastrový modul osově vzdálenosti sloupků je odvozen od rozměrů konstrukčního opláštění rámu pomocí deskových materiálů. Tyto desky mají základní rozměr 1250 x 2500 mm, z čehož vyplývá, že ať už je jakákoli orientace, tak v případě vertikálního kladení vychází dva sloupky na krajích a třetí uprostřed v osově vzdálenosti 625 mm od sebe (1250 mm na dvě pole). U horizontálního kladení je tento princip zachován s tím rozdílem, že se jedná o dva krajní sloupky a tři vnitřní sloupky o totožné osově vzdálenosti 625 mm (2500 mm na čtyři pole).

Tyto rozměry jsou podle Kolba (2011) při návrhu konstrukce uzpůsobeny tak, aby docházelo k co největší návaznosti sloupkového rastru a daných výrobních rozměrů deskového materiálu bez nutnosti tyto materiály dodatečně na stavbě zkracovat. Dashöfer (2009) v závěru uvádí, že tyto hodnoty nemusí být bezpodmínečně dodrženy, pomocí tohoto konstrukčního systému mohou vznikat, např. při osově vzdálenosti 500 mm i atypicky umístěné prvky (různá dispozice objektu) v konstrukci stěny za cenu zbytkového materiálu a větší pracnosti.

Růžička (2014) uvádí, že rastrová modulace rámu je dodržena, a to i za předpokladu, že je narušena dveřními či okenními otvory (viz dále). Systém TBF má totiž vlastní vnitřní modulový řád, aniž by ohrozil související prvky stavby (např. prostupy). Pokud dojde k narušení modulového řádu např. vlivem přerušení stojek, je potřebné navrhnout taková doplňková konstrukční opatření (prvky), která bezpečně přenesou zatížení do okolních nejbližších nosných prvků rámu (viz kapitola 3.6.4.2). Steiger (2020) doplňuje, že deskové materiály a dimenze fošnových prvků nám totiž ovlivňují osovou vzdálenost jednotlivých fošen. Pokud není rastrová modulace dodržena, může vlivem velkého množství odřezů dojít k dodatečnému navýšení ceny stavby.

Kolb (2011) v závěru shrnuje, že se tím navíc zredukuje nežádoucí nepřesnosti při prořezech, čímž navíc přispíváme ke snížení vzduchové neprůvzdušnosti dané konstrukce, čehož chceme dosáhnout (viz kapitola 3.8). Dále se tím zkrátí celkový čas montáže konstrukce na stavbě a tím dochází k úspoře financí. Podle Růžičky (2014) tuhost rámu a jeho schopnost přenášet zatížení jak ve své rovině stavby, tak v rámci prostorové konstrukce stavby závisí na těchto parametrech: návrhu dimenze a tuhosti spojení jednotlivých fošnových prvků, návrhu dimenze a tuhosti opláštění a tuhosti propojení fošnového rámu s opláštěním. Tyto parametry by měli být ve vzájemné harmonii. Návrh konstrukce musíme provést jak s ohledem na tuhost jednotlivých prvků konstrukce, tak také na tuhost jednotlivých spojů s ohledem na to, jaké prvky k sobě připojujeme.

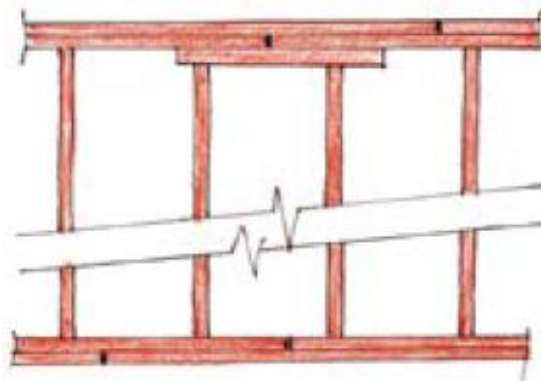
- Vazby konstrukce

Růžička (2014) uvádí, že nejčastěji se pro TBF používá v praxi princip převazování a provazování jednotlivých prvků konstrukce, přičemž to přispívá k celkové tuhosti a spojitosti dané konstrukce. Tento princip lze shrnout do následujících zásad a opatření:

- Principy spojování nosných prvků rámové konstrukce

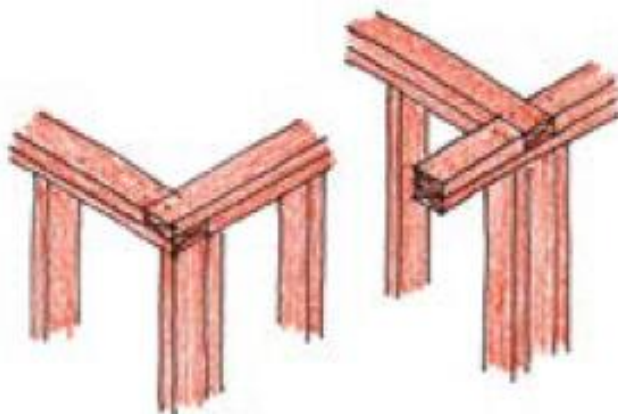
Jednotlivé spoje musí být vzájemně prostřídány u po sobě jdoucích vrstev. Tedy veškeré stykové spáry, např. čelní tupý sráz, u dvou kontinuálních prvků položených na sobě (např. horních pásnic, viz Obr. 12) nesmějí být přerušeny v jednom místě (Růžička 2014). Steiger (2020) doplňuje, že princip převazování je aplikován i pro napojování deskových materiálů na bázi dřeva, které se vzájemně zpravidla mezi sebou propojují pomocí vazby P+D. Tyto zásady se používají jak při aplikaci záklopu na stěnových rámech (vertikální kladení), tak i při aplikaci záklopu na stropních konstrukcích (horizontální kladení).

Obr. 12 Princip provázání kontinuálních dílců na čelní tupý sráz – čelní pohled (Růžička 2014)



Tyto principy převazání aplikujeme dále i např. na obvodové stěny, které jsou provázány, buď s vnitřními nosnými i nenosnými stěnami, dále také pro více vrstev tepelné izolace, pro dřevěné rošty apod. Pokud zvolíme prefabrikovanou montáž, obzvlášť o vysoké prefabrikaci u systému TBF, nelze tyto principy napojení zcela dodržet. Nejméně ve styku jednotlivých prefabrikovaných dílů je nutné zajistit takovou vazbu, která bude splňovat, jak potřebnou spojitost a tuhost konstrukce, tak rovněž i spojitost a funkčnost některých důležitých vrstev konstrukce např. o parotěsnosti či paropropustnosti, hydroizolační funkci apod. (Růžička 2014).

Obr. 13 Princip navázání nároží obvodových stěn pomocí jednoduchého plátování (levá část) a vnitřních stěn pomocí kámpování (pravá část)



Růžička (2014) v závěru dodává, že i tyto principy lze za určitých okolností porušit, pouze za předpokladu, pokud se budou aplikovat dodatečná opatření.

- Spojovací prostředky
  - Mechanické spojovací prostředky

Podle Strnada a kol. (2021) se v dnešní době na trhu vyskytuje široké spektrum ocelových spojovacích materiálů, které mohou mít nejrůznější tvary, tloušťky a materiálové provedení či povrchové úpravy. V praxi je tento druh spoje poměrně často využíván, přičemž záleží na konkrétní situaci dvou a více připojovaných dřevěných prvků na stavbě k sobě (viz Příloha č. 13). Kolb (2011) doplňuje, že v případě propojení stropní konstrukce a stěny, např. rámové konstrukce formou Platform-Frame, mohou být menší požadavky na tuhost konstrukce. Pro ukotvení těchto nosných prvků můžeme použít např. průběžné pásové oceli (viz Příloha č. 14).

Prísne požadavky na nejtuzší spoje jsou orientovány u základových konstrukcí, kde je spodní líc dřevěné konstrukce kotven ke konstrukci základu, přičemž závisí na konstrukčním systému nosného systému dřevostavby i konstrukčním řešení základové konstrukce. Princip však zůstává prakticky stejný. Základový práh nosné konstrukce stěny je zpravidla kotven buď pomocí závitové ocelové tyče a ocelového plechu s prolisem (viz Příloha č. 15) nebo pomocí pásové oceli (částečně zabetonována, viz Příloha č. 16) do základové betonové konstrukce (Strnad a kol. 2021).

Nejčastějšími základními spojovacími prostředky jsou hřebíky a vruty. Spojovací prostředky pro střešní dřevěné konstrukce krovu (např. vaznicové a vazníkové systémy) využít např. bodových hmoždíků a plošných ocelových desek s prolisovanými trny, tzv. Gang-Nail (viz Příloha č. 13). Obecně platí, že čím více těchto prostředků použijeme do konkrétního spoje, tím dosáhneme pevnější a tužší konstrukce s ohledem na dimenzi spojovacího prostředku, který nesmíme předdimenzovat (oslabení průřezu) ani poddimenzovat (porušení spojovacího prostředku), (Strnad a kol. 2021).

- Tesařské vazby

Podle Kohouta a kol. (1996) se jedná o nejstarší spoje dřevěných konstrukcí. V dnešní době je jejich použití poměrně omezené. Využívají se jako spoje nosných konstrukčních prvků u dřevostaveb, konstrukcí krovů a doplňkových konstrukcí např. altánů, pergol apod. Herzog (2004) doplňuje, že jejich největší nevýhodou je pracnost a statické oslabení průřezu, realizují se pomocí: ručních a motorových pil (rychlé, u motorové pily nepřesné), dláty (pomalé, spíše historické stavby) a pomocí CNC strojů (rychlé, velmi drahé).

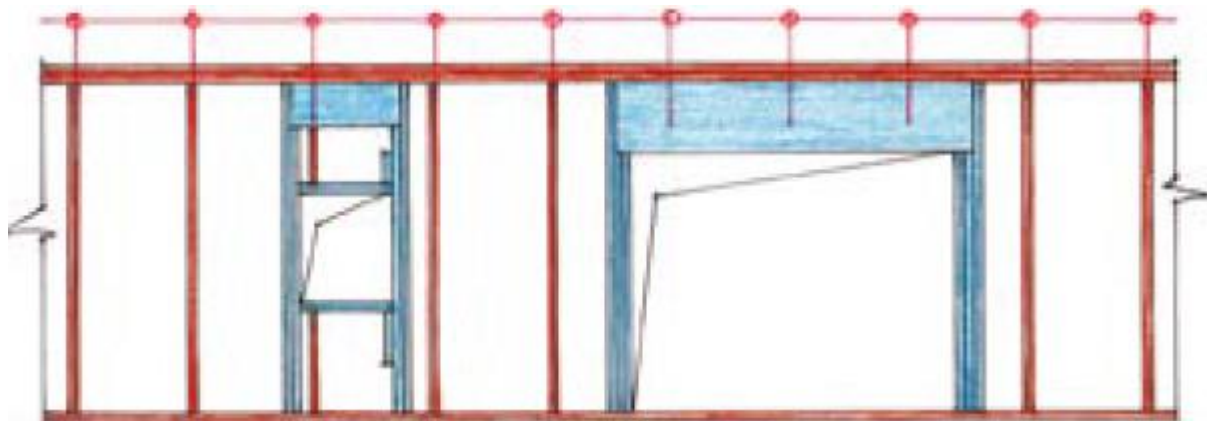
U rámových konstrukcí se nejčastěji můžeme setkat u rámové konstrukce: Čelní sraz tupý/šikmý (pásnice/základový práh), Plátování jednoduché, Zapuštění (90°), Lípnutí rovnočelné (90°) nebo šikmočelné, Čepování (90°, šikmé). U konstrukce krovu se můžeme setkat dále s Čepováním rohovým šikmým (ostřih), osedláním apod. U deskových materiálů se nejčastěji můžeme setkat se spojením P+D nebo na čelní sraz Steiger (2020).

#### 3.6.4.2 Stěnový rám

- Popis konstrukčních prvků

Stěnový rám je podle Růžičky (2014) svislá konstrukce obvodových a vnitřních stěn. Pokud se bavíme o nosných stěnách, tak jejich hlavní funkcí je přenést svislé zatížení od stropní konstrukce, stěn vyšších podlaží a konstrukce střechy. Fošnové prvky konstrukce stěnového rámu tvoří ve vertikálním směru tzv. stojky a v horizontálním směru jej tvoří tzv. „prahy“ (viz Obr. 14). Podle Steigera (2020) jsou stojkové (sloupkové) fošny namáhány převážně na tlak, tudíž je patrné, že se tyto prvky při návrhu musí posuzovat na vzpěrný tlak a v případě návrhu prahových prvků (horizontální směr) na otláčení.

Obr. 14 Pohled na konstrukci rámu včetně otvorů vsazených do rastrové modulace konstrukčních prvků rámu (Růžička 2014)





Tento rám je pro dosažení tuhosti následně opláštěn z obou stran záklopem, který je tvořen zpravidla deskovým materiálem na bázi dřeva či rostlého dřeva. Ze strany EXT je zpravidla rám doplněn o kontaktní zateplení včetně omítkového systému. Ze strany INT je rám zpravidla doplněn o předstěnu, a to z důvodu vedení elektroinstalací či TZB. Předstěnu mohou tvořit buď dřevěné fošny zaklopené deskou na bázi dřeva, sádrovláknitou deskou či SDK deskou. Na tyto desky je poté zpravidla nanesena finální úprava v podobě omítání, natírání či tapetování (Kolb 2011).

- Princip záklopů

Podle Růžičky (2014) rozlišujeme u stěnového rámu tři základní způsoby kladení desek:

#### a. Svislé kladení

Podle Růžičky (2014) se zpravidla jedná o desky formátu na celou výšku stěny bez jakékoli úpravy, bez provázané vazby. Tyto desky se spojují s rámem pomocí mechanických spojovacích prostředků (např. hřebíků, vrutů) na stojce. Šířka stojky musí splňovat minimální požadavky a připojení desek, přičemž se udává, že min. šířka stojky činí 60 mm. Lze konstatovat, že ze statického hlediska není zpravidla nutná taková šířka po celé tloušťce stěny, což může mít, např. u šíření tepla v konstrukci z hlediska stavební fyziky, negativní dopad na celkovou skladbu prvků. Kolb (2011) doplňuje, že pro vyztužení pláště stěn a podlah, resp. záklopů je vhodné použít např. třívrstvé desky, desky OSB, desky MDF, třískové desky či překližky.

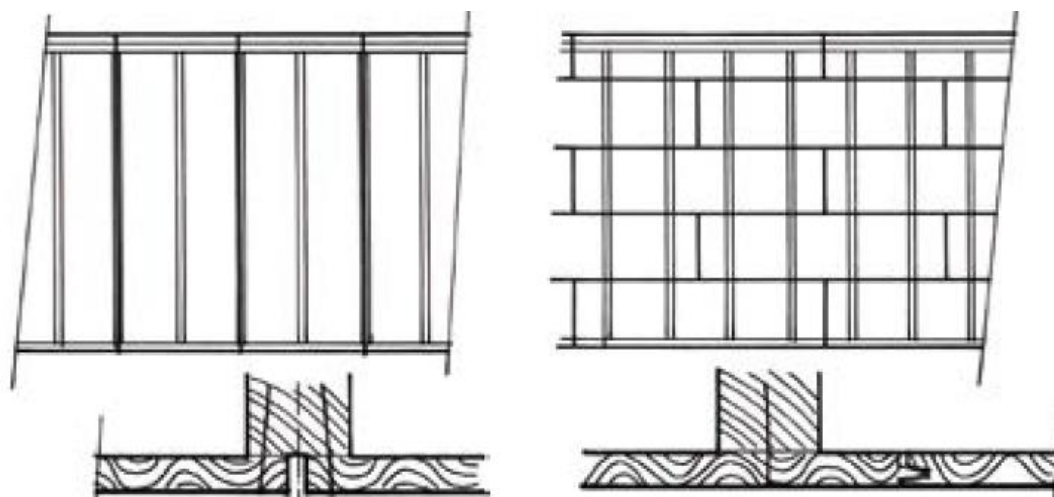
Svisle kladené desky musí být vždy spojeny na stojce rámu, kde musí být dodržena i potřebná úložná plocha mezi hranou stojky a desky. Některé deskové materiály se ve svislé spáře lepí pomocí předepsaného lepidla, pak nastává otázka, zdali nejsou stojky pod místy, kde se desky nekotví zbytečně široké (Steiger 2020).

#### b. Vodorovné kladení

Tyto desky jsou zpravidla kladeny po celém obvodu pomocí vazby P+D, přičemž tento spoj nemusí být přímo podepřen prvkem rámu (stojkou). Svislou napojovací spáru dvou deskových dílců je potřeba vystřídat minimálně přes jedno pole. Výhodou je, že se u tohoto směru kladení desek svislé spoje nemusí kotvit na stojkách (na rozdíl od svislého), tudíž se formát desek nemusí nutně vázat na přesnou rozteč stojek od rámu. Tento způsob vytváření opláštění je v praxi používán velmi často (Růžička 2014).

Velmi často jsou v tomto případě deskové materiály ve všech spojkách (P+D) lepeny, nejen že to výrobci zpravidla požadují, ale zároveň to vyplývá i z požadavku na vzduchovou neprůvzdušnost dané konstrukce (viz kapitola 3.8). Po slepení vytváří desky kontinuální plošný prvek, který zvyšuje tuhost spoje, a navíc rovnoměrně přenáší zatížení do konstrukce rámu, čímž se zvyšuje jeho celková tuhost (Růžička 2014).

Principy kladení deskových materiálů na rámovou konstrukci (Pohled – horní, Půdorys – dolní), Obr. 15 Svislé kladení (levá část) Obr. 16 Vodorovné kladení (levá část), (Růžička 2014)



Důležitým aspektem pro návrh konstrukčních prvků rámu je tzv. míra sesednutí, která je určena počtem a rozměry konstrukčních prvků v konstrukci rámu orientovaných v horizontálním směru. Jedná se o problematiku bobtnání a sesychání při tlaku kolmo na vlákna, což trápilo převážně srubové a roubené stavby v minulosti (viz kapitola 3.6.1). Obecně se udává, že pro novostavbu je potřeba navrhovat celkovou tloušťku horizontálních prvků (prahy, vazníky, vaznice, nosníky, překlady) mezi 240 až 500 mm na jedno podlaží, a to za předpokladu, uvažujeme-li o suchých dřevěných prvcích.

#### c. Vodorovné kladení velkoformátových desek

Podle Růžičky (2014) se jedná o velkoformátové desky, které se kladou na sraz (bez P+D) v horizontální rovině. Je však nutné všechny hrany podepřít dodatečnými svlaky podepřít (na prvcích rámu i mimo něj), přičemž tyto úpravy jsou tak složité a pracné, že se v praxi tento způsob prakticky nepoužívá.

Obr. 17 Příklad realizace rámové konstrukce, systém platform frame, výstavba pomocí staveništní montáže (Růžička 2014)



- Konstrukce předstěn

Podle Kolba (2011) se pro vnitřní obklad stěn používá zpravidla laťový rošt, který současně slouží jako prostor pro vedení TZB, přičemž se umísťuje k neprůvzdušné vrstvě (viz kapitola 3.8.6) ze strany INT. Tím jsou instalace TZB bezpečně vedeny v INT budovy, aniž by byla neprůvzdušná vrstva porušena.

Dashöfer (2009) tvrdí, že orientace fošen může být buď v horizontálním nebo vertikálním směru. Tato orientace nám udává, jak povedeme vedení TZB, buď skrz stojky příčky (viz Příloha č. 17) nebo podél fošen rámu (otočená orientace), (viz Příloha č. 18). Další možností je vedení skrz stojky bez nutnosti frézování. Jedná se o alternativní rámové konstrukce příček z alternativních rámových konstrukcí (viz kapitola 3.6.4.6). Kolb (2011) doplňuje, že by předstěny měly mít minimální tloušťku volné vnitřní vrstvy 30 až 60 mm. U těchto vrstev se předpokládá vedení drobných instalací jako je např. elektroinstalace, vedení topenářských trubek apod.

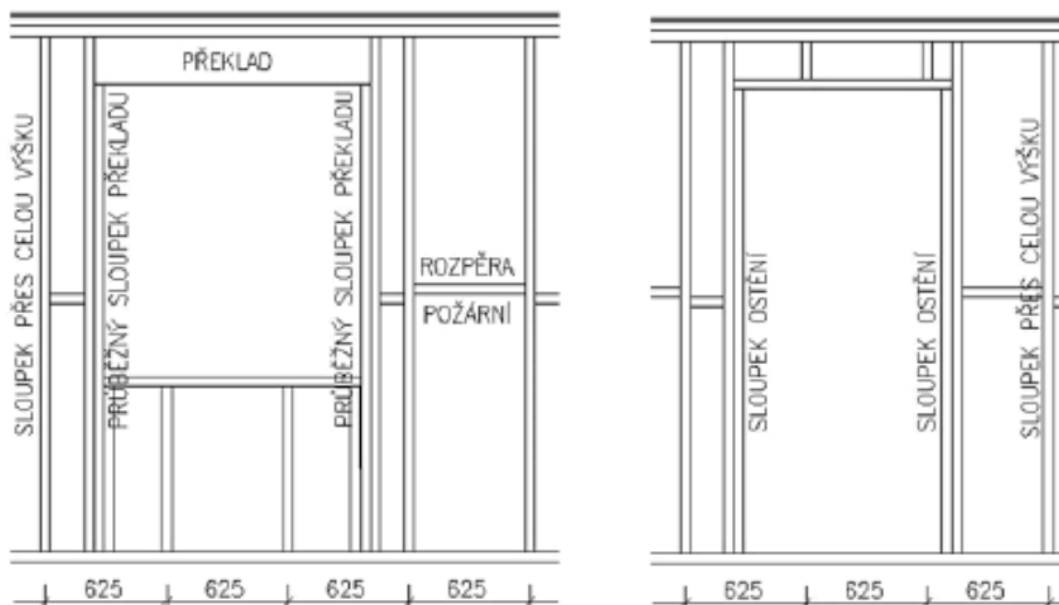
Podle Vrány (2008) se u instalací, jako je např. vodovod či kanalizace, musí počítat s navýšením min. tloušťku vnitřní vrstvy na 100 až 150 mm v souvislosti s dimenzí daného připojovacího potrubí. Zbylý nevyužitý prostor se v předstěně zpravidla vyplní tepelně izolačním (u vnějších stěn) či akusticky izolačním materiálem (u vnitřních stěn). Vedení TZB v nenosné rámové konstrukci je vyobrazeno v Příloze č. 18.

- Konstrukce otvorů

Podle Dashöfera (2009) vychází rámování dveřních a okenních otvorů ze sloupků, které vynáší překlád. Tyto sloupky jsou dodatečně přidány k rastru stěnových sloupů, přičemž konstrukční řešení nadpraží závisí na konkrétní požadované únosnosti dané stěny. U nenosných stěn postačí rastr stěnových sloupků vynést pomocí prahu v nadpraží, naopak u nosných stěn musíme nad otvorem zkonstruovat překlád.

V tomto případě se jedná o stojaté pásnice v horizontálním směru se záklopem. Počet přidaných sloupků závisí na světlosti otvoru. Při konstruování např. okenního otvoru u obvodové stěny je poměrně výhodné otvor umístit v těsné blízkosti pod horní zdvojený práh nosné stěny konstrukce kvůli tuhosti, případně kvůli dodatečnému rozšíření otvoru.

Obr. 18 Rámování okenního otvoru v nosné stěně, Obr. 19 Rámování dveřního otvoru v nenosné stěně (Dashöfer 2009)



Nepsaným pravidlem je podle Růžičky (2014) navrhování nejširších okenních otvorů do míst v konstrukci, kde dochází k nejkritičtějšímu zatížení a namáhání. Požadavky na překlady v obvodových stěnách u okenních otvorů se mohou týkat např. kastlíků žaluzií či rolet. Tyto prvky působí v konstrukci, hlavně u staveb kolaudovaných v pasivním standardu, relativně problémový detail, kde se střetává hned několik protichůdných požadavků.

### 3.6.4.3 Stropní rám

- Základní charakteristika

Podle Růžičky (2014) se jedná o vodorovný typ konstrukce, tedy prvky vedené v horizontálním směru, které přenáší primárně svislé zatížení z celé plochy daného podlaží do vnitřních a obvodových nosných stěn. Fošnové prvky stropního rámu jsou z pravidla namáhány na smyk a ohyb, případně pokud se jedná např. o úzké stojiny, mohou být kromě předchozích druhů tyto prvky namáhány i na klopení.

Obr. 19 Pohled na spodní líc konstrukční řešení stropního rámu na staveništi včetně trémové výměny u schodiště a překládu u vnitřní nosné stěny (Delbert; Koželouh 2014)



- Popis konstrukce

Jeho konstrukci tvoří zpravidla stropnice, které jsou v čelech stropu uzavřeny věncovou (stropní) fošnou neboli můstkem. Přes stropnice se vždy z horní strany (případě z obou stran) připevní zákloповé velkoformátové desky, obdobně jako u stěnového rámu, u kterých se však mohou lišit tepelně technické a akustické požadavky nebo požadavky na požární odolnost konstrukce apod. (Steiger 2020).

Dashöfer (2009) doplňuje, že v případě použití jedné horní zákloповé desky se jedná o deskové materiály o větší tloušťce v závislosti na použitém typu a materiálu desek. K tomu nám může napomoci tabulka se základními a orientačními rozměry těchto desek s ohledem na osové vzdálenosti stropních nosníků (viz Příloha č. 19). V případě, že však tyto velkoformátové desky o větší tloušťce nejsou k dispozici můžeme desky o klasických tloušťkách zdvojit pokládkou na sebe a pootočením o 90° vůči sobě.

Stropnice jsou uloženy na vnitřních i vnějších nosných stěnách takovým způsobem, aby bylo zajištěno dostatečné ztužení podpěr (stěnového rámu), (viz Příloha č. 20). Toho můžeme dosáhnout kupříkladu pomocí zdvojeného horního prahu (u stěny v 1.NP). Po položení těchto stropnic se založením nového stěnového rámu pomocí dolní pásnice (u stěny 2.NP) a po jejich vzájemném propojení dosáhneme stabilního bloku konstrukce, který zajišťuje tuhost konstrukce ve všech směrech (Steiger 2020).

Směr vedení stropních trámů nám při komplexním návrhu objektu může způsobit jisté kolize např. protnutí schodišťového prostoru, komínového tělesa aj. Pokud se tomuto řešení nelze vyhnout použijeme způsob tzv. trémové výměny, který je znám

především u šikmých střech např. kolize trámů s komínovým tělesem (viz technický list výrobce, část d) apod. (VŠB©2008). Na trhu dřevostaveb se můžeme setkat se systémovými prvky tvořených pomocí alternativních sloupkových konstrukcí na bázi dřeva jednotlivých firem např. Mitek či Steico, viz kapitola 3.6.4.6 (MITEK1.2©2022;STEICO(1)©2022). Příklady řešení trámové výměny u těchto systémů naleznete v technickém listu výrobce, část d).

- Detaily uložení stropního rámu na nosnou konstrukci stěny

Podle Kolba (2011) dochází při napojení stropní konstrukce rámu na obvodovou stěnu ke kolizi stropního rámu se vzduchotěsnicí neprůvzdušnou vrstvou či vrstvou s vysokým faktorem difúzního odporu (dále jen „těsnění“). Proto se v praxi tento detail v zásadě řeší obalením tohoto těsnění kolem celé stopní konstrukce rámu, tedy kolem celého uložení na obvodovou nosnou stěnu s tím, že se toto těsnění vytáhne do nadcházejícího nadzemního podlaží a napojí se s těsněním v tomto podlaží. Uložení stropního rámu může být:

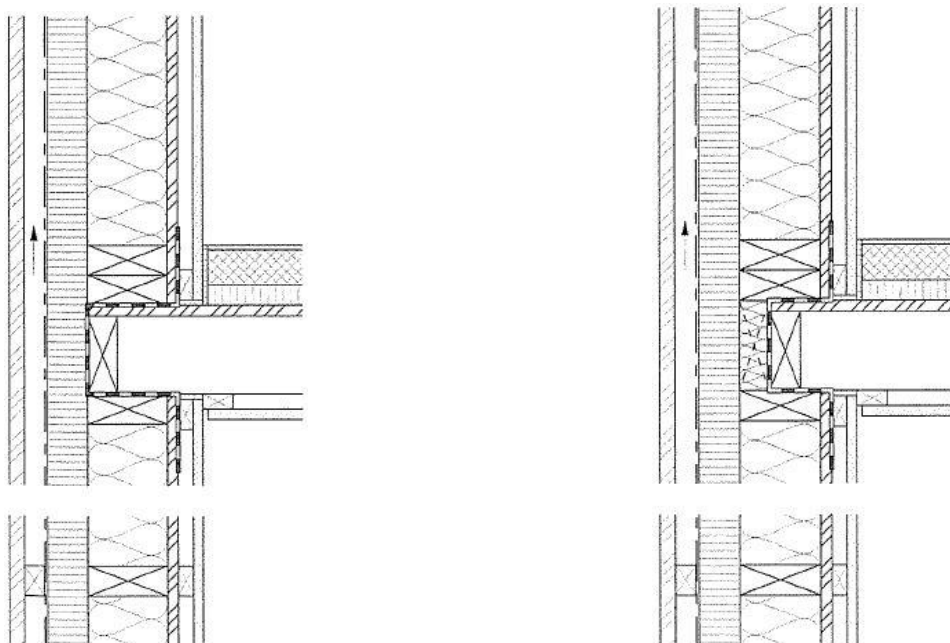
- po celé tloušťce obvodové konstrukce stěny (viz. Obr. 20)

Těsnící vrstva je přetažena přes celku stěnového rámu.

- přes část obvodové konstrukce stěny (viz. Obr. 21)

Těsnící vrstva je přetažena přes část stěnového rámu.

Obr. 20 (levý) Uložení stropního rámu po celé tloušťce obvodové stěny, Obr. 21 (pravý) Uložení stropního rámu přes část obvodové stěny (Kolb 2011)



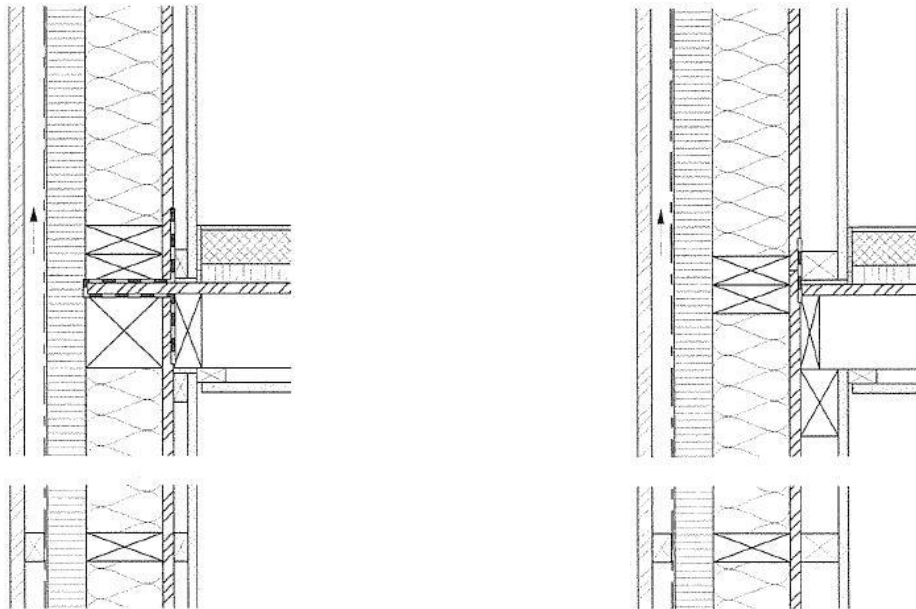
- vnitřní připojení na rám stěny

U tohoto principu je těsnicí vrstva přerušena kotvením přídavné konstrukce horní pásnice stěnového rámu, kde dochází k navýšení dimenze horní pásnice stěnového rámu (viz Obr. 22).

- vnitřní uložení na přídavný nosný trám (průvlak), těsnicí vrstva je vedena pouze na vnitřním opláštění (záklopu) stěnového rámu

U tohoto principu je stropní rám podepřen o dodatečnou konstrukci, která je připevněna k stěnovému rámu (nutné dodatečné statické posouzení). Těsnicí vrstva je vedena pouze na vnitřním opláštění (záklopu) stěnového rámu (viz Obr. 23)

Obr. 22 (levý) přikotvení stropního rámu na vnitřní část stěnového rámu (levý),  
Obr. 23 (pravý) uložení stropního rámu na přídavném nosném trámu (Kolb 2011)



Kolb (2011) v závěru uvádí, že pokud je těsnicí vrstva vedena blíže k EXT., tedy blíže k chladnější části konstrukce, je nutné použít z vnější strany opláštění tepelně izolační vrstvu v tomto místě s min. tloušťkou 50 mm. Nejen, že dojde ke zlepšení tepelně izolačních vlastností, tedy snížení celkového U, ale také tím zabraňujeme riziku vzniku kondenzační w uvnitř konstrukce v oblasti styku stropního rámu (viz kapitola 3.8).

#### 3.6.4.4 Střešní rám

Podle Straky a kol. (2013) má vlastní tíha střešní konstrukce, tedy od nosné konstrukce ale i jednotlivých souvrství střešního pláště, významný vliv na návrh celého nosného systému objektu. Jelikož se jedná o nejvýše položenou konstrukci, z které přenáší všechny svislé nosné konstrukce její zatížení do základů (základové spáry), (viz kapitola 3.4.1). Podle spádu střešních rovin můžeme dělit střechy



na: ploché (se sklonem  $0 \leq 5^\circ$ ), šikmé (se sklonem  $5 \leq 45^\circ$ ), strmé (se sklonem  $45 \leq 90^\circ$ ).

Podle Růžičky (2014) se jedná o prakticky (principiálně) identický rám jako u stropní konstrukce (viz kapitola 3.6.4.3) s tím rozdílem, že je v tomto případě rám uložen pod určitým úhlem, tedy sklonem. Přenáší převážně svislé a dále tako vodorovné zatížení (stálé a proměnné) v kombinaci se zatížením od klimatických jevů (sněhu a větru). Z hlediska namáhání jednotlivých prvků lze konstatovat, že jsou jednotlivé fošnové prvky v rámu namáhány svislou silou a ohybovým momentem, v překladu lze konstatovat, že střešní rám je kombinací stěnového a stropního rámu.

Podle Straky a kol. (2013) můžeme dělit šikmé střechy podle tvaru na: sedlové, pultové, valbové, polovalbové, stanové, mansardové, pilové a na zakřivené střešní plochy.

#### ▪ Sedlové střechy

Skládají se ze dvou zrcadlově položených střešních rovin, zpravidla o stejném sklonu, ohraničených na koncích buď podokapními žlaby a dvěma štíty. Průnik těchto dvou střešních rovin tvoří hřeben. Lze konstatovat, že tento tvar střech je u nás nejvíce rozvinut, převážně v řadové zástavbě (okapová, štítová orientace), (Straka a kol. 2013).

#### ▪ Pultové střechy

Podle Straky a kol. (2013) se tento typ střech skládá pouze z jedné roviny ohraničené jedním podokapním žlabem a hřebenem. Po stranách je ohraničena rovnoběžnými sešikmenými bočními štíty a hřebenovým štítem. Nejčastěji se používá, kromě architektonického hlediska, také u objektů postavených na samotné hranici pozemku, u konstrukcí s malým rozpětím nebo u doplňkových konstrukcí (přístřešky, přístavky aj.). Podle Šnajdarové (2020) si musíme dát u návrhu konstrukce krovu u tohoto typu střechy pozor na návrh střešní krytiny, který má jiné požadavky na sklon. Kupříkladu u plechové hladké povlakové krytiny se udává doporučený sklon střešní roviny  $7^\circ$ , kdežto u krytiny z pálených tašek je doporučený sklon  $30^\circ$  (Straka a kol. 2013).

Podle Šnajdarové (2020) se pultové stavby nejběžněji navrhují ve sklonech od  $15^\circ$  do  $45^\circ$ , tento sklon může být snížen až na  $7^\circ$ , přičemž je obvykle v podkroví zavěšen SDK podhled, tím vznikne stropní rovina po celém 2.NP. Podkrovní (půdní) prostor je u tohoto typu zastřešení, na rozdíl od sedlových a valbových střech, zpravidla nevyužíván, a to z důvodu nevhodných proporcí půdního prostoru. Na druhou stranu použití pultových střech má své výhody:

- rychlá a jednoduchá realizace
- eliminace problémových detailů
- finanční úspora
- revize a dostupnost



### 3.6.4.5 Zakládání rámových konstrukcí

Dřevostavby se s ohledem na jejich maximální podlažnost a na jejich objemovou hmotnost nejčastěji navrhují na plošných základech, a to s ohledem na lokálních geologických a hydrogeologických podmínkách. Velice často se navrhují v nejrůznějších kombinacích např. základové stěny ze ztraceného bednění apod. (Kubečka a Kubečková 2016). Podle Michálka a Novotného (2006) se u dřevostaveb používá kombinace základového pásu s nadbetonováním ŽB desky, a to z důvodu kotvení ocelových profilů k desce, kde dojde k zamezení porušení HI, který leží na základu.

Podle Kubečka a Kubečkové (2016) je plovoucí deska speciálním příkladem pro zakládání lehkých jednopodlažních staveb (např. dřevostaveb). Principiálně se jedná o tenkou ŽB základovou konstrukci, která je pomocí tepelné izolace v horizontálním a vertikálním směru zcela oddělena od okolního horninového podloží. Tento typ konstrukce podle nich umožňuje komplexní a celoplošnou aplikaci izolace proti podzemní vodě a izolace proti radonu (viz kapitola 3.4.5), (Kubečka; Kubečková 2016).

U metody CS se můžeme setkat nejčastěji se základovým roštem prostě uloženým ve vzduchu (uzavřená metoda CS) na základových stěnách, které jsou vedeny do základových pasů. Dále se můžeme setkat s kombinací, základových stěn po obvodě a vnitřních podpěrných pilířů se základovým prahem. Podle Růžičky (2014) u otevřené metody CS se nejčastěji setkáme s uložením na základovém prahu uloženém základových sloupech a vedených do základových patek (kvůli vztlínání vody).

Podle Růžičky 2014 se používá pro oddělení základové konstrukce (vlhké prostředí) a vrchní konstrukcí rámu základový práh, jenž je navržen z odolnější dřeviny (např. modřín, dub) a je velmi často impregnován. V případě alternativních sloupkových systémů (tvar „I“) se používá pro základový práh z aglomerovaných materiálů na bázi dřeva (např. Ultralam), tedy ze staticky únosnější prvků. Tyto základové prahy by měli být podloženy pásy, které by měly být měkké, pružné a měli by zajišťovat funkci: hydroizolační, vyrovnávací a těsnící. Vyrovnávací funkci spíše plní základový práh, jelikož u založení na desce se můžeme setkat s poměrně velkými výškovými odchylkami. Práh se nejčastěji kotví pomocí trnových kotev, které prochází dřevěným prvkem a jsou tuze spojeny se základem třemi způsoby: předem zabetonování kotvy, předvrtaný otvor – zatloukání kotvy, předvrtaný otvor – chemická kotva.

Wing (2021) doplňuje, že v případě metody CS se závitová tyč kotví přímo do základové stěny. Dále poukazuje na to, že je vhodné zamýšlet se u tohoto specifického zakládání nad založením této metody s využitím telefonních sloupů, jenž jsou z velmi odolných dřevin a nemají dnes už žádné využití. U metody CS je důležité nezanedbat působení větru vlivem klopení, tedy nepodcenit, hlavně u otevřeného CS, ukotvení podlahového roštu k základu. V závěru uvádí, že jsou

v cizině velice populární mobilní domy na bázi pojízdných jednotek, které se velmi často přestavují na obytné jednotky. Z hlediska malé hmotnosti dochází u těchto konstrukcí k velkému namáhání větrem, proto je zde nutné přikotvit obvod podlahového roštu pomocí přitlačné ocelové desky a zavětrování pod stavbou pomocí hloubkových šnekových kotev (Wing 2021).

#### **3.6.4.6 Alternativní rámové konstrukce**

Růžička (2014) na úvod uvádí, že systém TBF je možné, a v některých případech vhodnější, kombinovat se systémovými alternativními konstrukcemi, např. sloupky tvaru „I“, které můžeme dělit na nosníky z materiálu na bázi dřeva, příhradových nosníků nebo příhradových nosníků s ocelovými diagonálami. Tyto systémy tvoří komplexní stavební konstrukce, které můžeme použít pro nosný systém stěn, stropních a střešních konstrukcí. Moderní spojovací technologie zajišťují výrobu štíhlých, lehkých průřezů, které jsou tuze spojeny a při vhodném návrhu jsou schopny přenést zatížení s příznivým průhybem a dotvarováním, především pokud jde o ohybové namáhání (Růžička 2014).

Neustálým vzrůstajícím nákladům na energie se stále zvyšují požadavky na obytný komfort a vzrůstají energetické účinnosti budov (viz kapitola 3.9). S pomocí vysoce kvalitních tepelně izolačních systémů se postupně projevují plné průřezy (např. KVH), u rámové konstrukce, čím dál tím více z tepelně technického hlediska obálky budovy jako nedostatečné. Tyto masivní prvky pak představují v konstrukci nežádoucí tepelné mosty. Jedním způsobem, jak tyto tepelné mosty omezit je možnost použití nosních alternativních rámových konstrukcí (MITEK(1.1)©2022).

- Mitek – Posi Joist - Základní charakteristika

Na českém trhu v oboru dřevostaveb můžeme v dnešní době nalézt řadu firem, jenž se zabývají alternativními rámovými konstrukcemi. Jednou z těchto firem můžeme uvést např. společnost MITEK INDUSTRIES spol s r.o., jenž se zabývá návrhem technologií (neboli projekcí), výrobou a montáží vazníkových konstrukcí u stropních, stěnových i střešních konstrukcí. Jedná se o mezinárodní firmu, která vytváří prostřednictvím moderních technologických strojových linek inovativní konstrukční prvky, které vznikají za pomoci dřevěných diagonál (konstrukční řezivo KVH apod.), které jsou spojované pouze pomocí ocelových spojovacích prvků (bez jakýchkoliv lepidel), např. Gang-Nailu či hmoždíků (viz kapitola 3.6.4.1 ; MITEK(1.2)©2022). Mezi jejich dominantní a zároveň nejčastěji používané konstrukční prvky patří: Vazníkové konstrukce střeš, Posi-Joist stropní (viz Obr. 24), stěnové a střešní nosníky (MITEK(2)©2022).

Obr. 24 Ukázka Posi-Joist stropního nosníku včetně zavětrování (MITEK(7)©2022)



- Konstrukční zásady

Výrobce udává následující nutná opatření pro správnou funkčnost systému Posi-Joist:

- Nesmí se řezat ani odstraňovat ocelové diagonály
- Nesmí se řezat prostup/y skrz dolní či horní dřevěný pás
- Nesmí se vrtat díry, otvory, zářezy do dolních či horních dřevěných pásů

Výrobce udává tyto doporučená opatření pro správnou funkčnost systému Posi-Joist:

- Doporučuje se manipulovat s nosníky od vyrobení pouze v předepsané svislé poloze (obdobně jako u vazníků)
- Skladování prvků podle instrukcí, ochrana před nepříznivými klimat. vlivy
- Dodržovat maximální osové vzdálenosti, dostatečné zavětrování proti klopení
- Využívat maximálního potenciálu nosníků (vedení TZB skrz ně, dodržet předurčený rozpon daného nosníku na základě statického výpočtu od výrobce)
- Využívat vhodných koncových detailů nosníků pro předurčené použití na stavbě.

Růžička (2014) doplňuje, že je obecně klíčové pro tento typ konstrukčního systému nutné zohledňovat a navrhovat vhodná opatření proti klopení nosníků, např. pomocí velkoformátových desek, zavětrování apod., dále je vhodné umisťovat otvory do zón s minimálním smykovým napětím (Růžička 2014). Z pohledu požární bezpečnosti se jedná u těchto prvků o velice citlivé téma, jelikož samotná požární odolnost spalného materiálu, který je spojován pomocí ocelových prvků je v řádu pěti až deseti minut. Výrobce však udává, že v případě použití vhodného záklopového či podhledového materiálu s třídou reakcí na oheň A1 či A2 je požární odolnost sendviče konstrukce dřevostaveb po dobu 30 minut dostatečná (MITEK(1.1)©2022).

- Vazníkové konstrukce

Jedná se o lehké prefabrikované příhradové konstrukční dílce z konstrukčního řeziva spojovaných pomocí styčnickových desek, které tvoří desky s prolisovanými trny, které funkčně připomínají hřebíkový spoj, přičemž tento spoj tvoří poměrně dokonale tuhou vazbu ve styčnicku. Výroba probíhá v hale, pod vysokým tlakem jsou desky natlačeny na styčnickový spoj a pomocí moderních technologií (s laserovým zaměřováním apod.) dosahuje tato metoda velké přesnosti daných spojů na milimetry. Konstrukční dílce jsou smontovány a převezeny na stavbu, kde se pomocí těžké techniky uloží na požadované místo v konstrukci a pomocí dalších spojovacích ocelových prostředků se tuze spojí s danou konstrukcí (MITEK(3)©2022).

- Posi-Joist stropní, stěnové a střešní nosníky

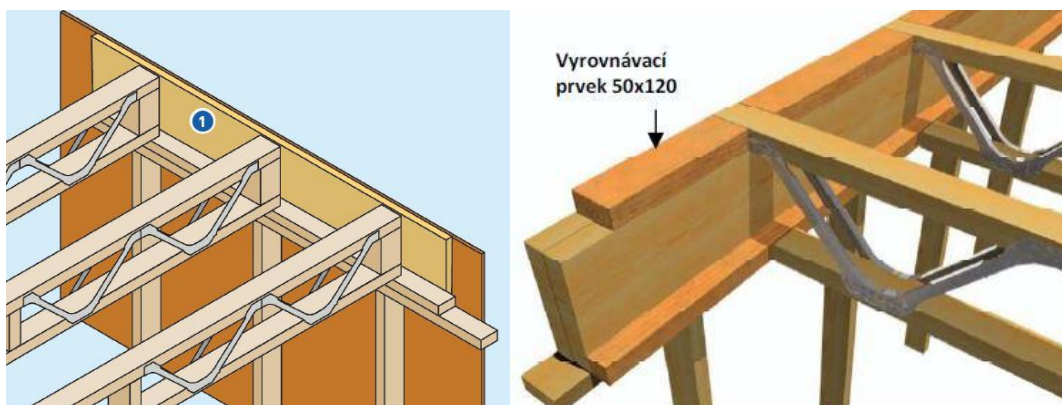
Ve všech případech se jedná o nosníky, které tvoří dřevěné pásy bez stojiny spojené pomocí ocelových diagonál. Obecně lze konstatovat, že se jedná o ocelový spojovací prostředek na principu ocelových desek s prolisovanými trny, tedy jedná se o téměř dokonale tuhý spoj. Nosníky se doporučuje ve všech typech konstrukcí umísťovat v osové vzdálenosti 625 mm z důvodu statických a montážních požadavků na únosnost a jednoduchou proveditelnost konstrukce při realizaci. Tento typ konstrukce se opět montuje předem v hale (obdobně jako u vazníků), zpravidla se poté převez na staveniště, kde se montuje v komplexní dílce (panely) s určitou úrovní prefabrikace (viz kapitola 3.6.4.3), nejčastěji s kleštinami, které jsou doplněny záklopem na vrchním líci desky (proti klopení). Během montáže dochází také k případné dodatečné úpravě či ořezání konců daných nosníků. Následně se tyto panely, za pomoci těžké techniky, osazují na požadované a předem určené místo, viz Příloha č. 21 (MITEK(2,4)©2022).

Nosníky jsou dodávány v šesti standardizovaných rozměrech s ozn. PS8 – PS16N, kde se nosníky liší v jednotlivých rozměrech a dimenzích dřevěných prvků v návaznosti na celkové rozpětí a umístění daného konstrukčního prvku, což úzce souvisí s požadavky na tento prvek z hlediska bezpečného přenesení statického zatížení do základové konstrukce. Rozměrovou variabilitu předběžného návrhu dimenze nosníku s ohledem na šíři podpory, velikost zatížení a velikost navrhovaného průřezu můžeme nalézt v technickém listu výrobce, části b). Minimální rozměr průřezu pásů činí 80x50 mm (š x v), přičemž šíře 80 mm zajišťuje bezpečné kotvení záklopů k pásům příhradového nosníku, aniž by došlo k výraznému porušení průřezu pásu, a tudíž nedochází k ohrožení destrukce dané konstrukce (MITEK(4)©2022).

Uložení nosníků na obvodové stěny probíhá buď přímo kontaktně na plochu fošny nebo za pomoci kotevních profilů tvaru „U“ bezkontaktně. To výhradně záleží na tom, jaký typ sloupkové konstrukce je pro danou stavbu navržen (Balloon-Frame či Platform-Frame, viz kapitola 3.6.3. U varianty Platform-Frame, u které jsou sloupky obvodové stěny přerušeny stropní konstrukcí, lze vyřešit detail napojení

stropních trámů dvěma způsoby, a to buď pomocí prostého uložení na stěnovou horní fošnu (Obr. 27) anebo lze nosník do obvodové stěny částečně zapustit (viz Obr. 28; MITEK(5)©2022).

Obr. 27, 28 Detail uložení nosníků na obvodové nosné stěně: Obr. 27 Prosté uložení ad. 1 stropní boční trám (levý; (MITEK(7)©2022), Obr. 28 Nosník zapuštěn do přídatné konstrukce rámu (pravý, MITEK(5)©2022).



Lze konstatovat, že druhý systém je úspornější, dochází totiž k částečnému zapuštění Posi-Joist nosníku do obvodové konstrukce tvořené z fošen. Tím dochází k výrazné redukci výšky stropní konstrukce, tedy k redukci výšky podlaží a k celkové finanční úspoře za celou stavbu. Na druhou stranu je tento způsob však pracnější na přípravu podkladu, seřezávání nosníků, zapouštění pomocí tesařských spojů (viz kapitola 3.6.4.1). Dále tím vznikají různé odchylky apod., (viz Příloha č. 22). Alternativou pro druhý způsob může být použitím speciálního nosníku, který má konce až do vzdálenosti 600 mm doplněny o vnitřní stojinu. Tento způsob je spíše uzpůsoben na rekonstrukce, dá se libovolně zakracovat, řezat a to až do vzdálenosti 600 mm (MITEK(2)©2022). Růžička (2014) navazuje na to, že stojina v nosníku, tedy v okolí podpory nebo u osamělých břemen, částečně řeší problematiku nedostatečné únosnosti profilu na smykovou sílu, která je pro tento typ štíhlých nosníků tvaru „I“ na bázi dřeva tak charakteristická (viz Příloha č. 22).

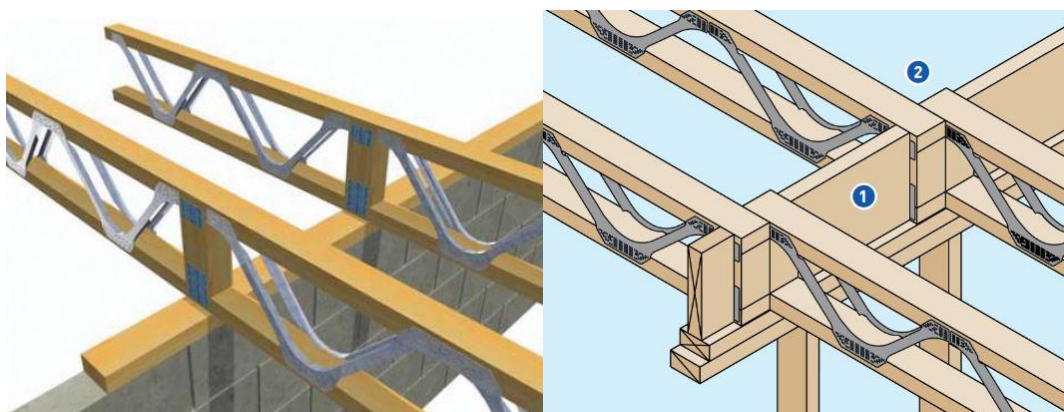
- Vnitřní nosná stěna a zavětrování

Detail napojení vnitřních stěn probíhá buď tak, že jsou nosníky dovedeny na nosné vnitřní stěny čely na sraz, v této variantě se zde neuvažuje s průběžným věncem (vertikálně orientovanou fošnou). Fošna musí být tudíž umístěna do pole v blízkosti podpory (proti klopení). V druhé variantě jsou nosníky dovedeny na sraz boční stranou nosníku k sobě a jsou tuze spojeny pomocí dřevěné fošny, která je vertikálně orientovaná (průřez) a horizontálně probíhající (skrz nosníky) fošny (věnc). Tím vzniká tuhé spojení nosníků s vnitřní nosnou stěnou a významně to zabraňuje klopení nosníku (viz Obr. 30). Orientační rozměry těchto ztužujících fošen lze nalézt



v Příloze č. 23. Tyto rozměry úzce souvisí s rozměry použitých typů nosníků Posi-Joist (MITEK(4)©2022).

Obr. 29, 30 Detail uložení nosníků na vnitřní nosné stěně: Obr. 29 Kontinuální bez věnce (levý; (MITEK(5)©2022), Obr. 30 Bočnicemi k sobě s věncem (pravý) ad. 1 Dřevěná probíhající fošna (věncem), ad. 2 Posi-joist nosník (MITEK(7)©2022).



- Stěnový systém

Pro svislé nosné konstrukce lze využít systémového řešení nosníků s názvem Posi-Stud (viz Přílohy č. 24 a 25). Jedná se o obdobný princip nosníků, jako tomu bylo u stropních konstrukcí s tím rozdílem, že jsou prvky tlačeny ve směru vláken dřevěných prvků, proto dochází k vedení ocelových příhradových diagonál křížem, jsou tedy orientovány zrcadlově pod úhlem 180°. Tloušťky stěn odpovídají pak výškám daných nosníku, a tudíž rozměrům průřezu, které opět vychází ze statického zatížení daných prvků pro přenos sil do základové konstrukce. Zatížit lze buď jen jeden ze dvou pásů nebo oba. Způsob kotvení stěn k základové konstrukci je prakticky identické, jako u klasického stěnového rámu sloupkové konstrukce, viz kapitola 3.6.4.1, 3.6.4.5 (MITEK(4)©2022).

Na trhu se pohybují rozměry tlouštěk těchto stěn (výšek průřezu) od 208 mm do 524 mm (viz technický list výrobce, přílohy a, b, c). V případě potřeby (např. při vysokém zatížení) se u nosníků dají zdvojit ocelové pásnice (dvě za sebou) nebo se sloupky zdvojují či ztrojují vedle sebe nebo se dají přidělovat dodatečně ztužující dřevěné fošny (zavětrovací kleštiny apod.) z KVH řeziva (MITEK(4)©2022).

- Střešní konstrukce

Pro zastřešení stavby lze použít systémový konstrukční prvek s názvem X – Rafter. Jedná se prakticky o identické nosníky, které se používají pro stěnový systém, s tím rozdílem, že se vnitřní prostor mezi diagonálám odizolovává od okolního materiálu. Výrobce udává, že tím dochází k eliminaci tepelného mostu. Při výšce 300 mm dochází k velmi solidním výsledkům součinitele prostupu tepla (0,11W/m<sup>2</sup>K). Tento

system lze realizovat jak ve staveništní montáži, tak i ve vysokém stupni prefabrikace (MITEK(2)©2022). Pro běžné použití se využívá detailu tzv. „TopHung“, ke kterému se pomocí Gang-nailu přidělávají dodatečné bočnice (viz Přílohy č. 26 a 27), a to kvůli dosednutí nosníku na pozednici (MITEK(7)©2022).

- Stavební systém Steico

Dalším příkladem alternativních rámových konstrukcí na trhu může být německá firma STEICO SE, která je na mezinárodním trhu dřevostaveb synonymem ekologie a hospodárnosti, protože se zaměřuje výhradně na výrobky ze dřeva, a to od dřevovláknité izolace pro zateplovací systémy fasád až po komplexní systémové konstrukce tvořené z nosníku a desek (STEICO(1)©2022). Lze konstatovat, že je tento systém založen na velice podobném principu jako předchozí systém Posi-Joist. Jedná se o systém ze štíhlých nosníků tvaru „I“ na bázi dřeva (viz technický list e), které jsou, na rozdíl od předchozího systému tvořeny horním a dolním pásem z LVL či KVH, které jsou následně spojeny s dřevovláknitou deskou pomocí lepidla (STEICO(2)©2022). V případě vysokých nároků na únosnost daného prvku lze použít trámy z LVL (viz Příloha č. 28). Pro použití střešních a stropních nosníků byl vyvinut systém STEICOjoist, který je optimalizován s ohledem na použití v horizontálním směru, pro použití stěnových nosníků lze využít systém STEICOWall ve vertikálním směru (STEICO(3)©2022).

Výšky nosníků tvaru „I“ bez ohledu na to, o jaký systémový prvek se jedná, se pohybují od 160 mm do 500 mm, a to vzhledem ke tvaru průřezu, na velikosti a typu zatížení. Obecně tento typ nosníků vychází velice výhodně v poměru únosnosti k váze daného prvku. Prvky z LVL jsou rozděleny na typ R (nosník, převažuje výška prvku) a typ X (deska, převažuje plošné rozměry), a to s ohledem na orientaci jednotlivých vrstev podle typu a velikosti namáhání. Pro zavětrování a horizontální prvky jsou použity desky LVL – X. Nosníky tvaru „I“ disponují speciálním dílcem izolovaného čela stojiny z dřevovláknité izolace. Výrobce udává, že jeho hořlavé výrobky (třídy reakce na oheň B) z hlediska požární bezpečnosti dokážou odolávat vhodnou úpravou, např. záklopovým materiálem třídy reakce na oheň A1, A2 (SDK protipožární, až 90 minut do porušení I. mezního stavu únosnosti, ozn. F90 - B (STEICO(3)©2022).

Podle technického listu výrobce umožňují stropní nosníky být v případě vysokých bodových zatížení od stropní desky prostě uloženy na obvodové konstrukci stěny (horním pásem fošny stěnového rámu). Z toho vyplývá, že se jedná o sloupkový systém Platform-Frame. Dalším typem může být způsob uložení nosníků za pomoci kotevních profilů tvaru „U“ bezkontaktně (viz Příloha č. 16), což znamená, že se jedná o sloupkový systém Balloon-Frame, viz kapitola 3.6.3. Lze konstatovat, že pro šikmé vedení nosníků u šikmých střech jsou využívány systémové koncové dílce, které jsou uzpůsobeny tak, aby byly nosníky STEICOjoist seřezávány minimálně. Tento systém dovoluje seříznutí nosníku i pod jiným úhlem než pouze 90° od osy těžiště daného průřezu. Nosníky jsou zpravidla vedeny v místě pozednice buď

do předem upravených systémových kapes nebo po desce LVL jsou svedeny na přesah mimo obvodovou stěnu. Na rozdíl od systému Posi-Joist tento systém žádným jiným způsobem úpravy čel nosníků kupříkladu pomocí seřiznutí a následného zapuštění na ozub neumožňuje (STEICO(3)©2022).

#### **3.6.4.7 Druhy montáže rámových dřevostaveb**

Kolb (2011) tvrdí, že dříve se na staveništi dodávaly jednotlivé prvky, které se opracovávaly a montovaly až přímo na staveništi. Lze říci, že se tato forma montáže používá nadále. Dnes jsou však tyto prvky, z důvodu požadavku zkrácení času celkové výstavby, zpravidla předem vyráběny a montovány do plošných konstrukčních celků v předem stanoveném stupni prefabrikace neboli montáže.

Trandová (2021) říká, že v dnešní době je nejdůležitější otázka pro investora stavebního díla si stanovit jakou formou bude jeho objekt smontován. To však úzce souvisí s prvopočátečním návrhem konstrukčního systému, tedy od vyprojektování konstrukčních spojů a detailů z hlediska napojení jednotlivých konstrukčních nosných i nenosných prvků až po výrobu a přípravu nosné konstrukce. Dnes dělíme montáže dřevostaveb do dvou forem:

- a. Staveništní montáž
- b. Panelová montáž

Trandová (2021) doplňuje, že nelze jednoznačně říct, která z těchto dvou forem montáže je dnes používanější. Za rok 2020 bylo postaveno 16 % dřevostaveb oproti konkurenčním materiálům. Přičemž z Tab. č. 1 (viz kapitola 3.3) vyplývá, že za rok 2020 se postavil přibližně stejný počet novostaveb ze dřeva pomocí panelové a staveništní montáže. Obě tyto technologie výstavby mají své klady a zápory, liší se ve způsobu přípravy a realizace, nicméně při správném návrhu a precizním provedení by měly dojít k stejnému výsledku.

Trandová (2021) uvádí, že se v ČR se mohou investoři při výběru realizační firmy spolehnout na certifikaci Dokumentace národní kvality, která kontroluje použitý materiál, kvalitu provedení celé konstrukce od dané stavební firmy, a to bez ohledu na zvolený druh montáže. Podle Matuškové (2020) můžeme rámové konstrukce rozdělit podle následujících druhů montáže na: a. Staveništní, b. Panelovou, c. Modulovou. Podle Kolba (2011) lze říci, že modulový systém je v podstatě nejvyšším stupněm možné dosažené prefabrikace, tedy, že celý modul se kompletně smontuje v hale a převez se na stavbu hotový objekt, včetně podlah, stěn, stropů a povrchových úprav.

- a. Staveništní montáž

Podle Matuškové (2020) celý proces výstavby probíhá přímo na staveništi. Trandová (2021) tvrdí, že se veškerý materiál po jednotlivých kusech přiveze na staveništi, kde se upravuje, zkracuje a sestavuje do jednotného celku, rámu. Tento způsob montáže



je tedy vhodný pro hůře přístupné parcely, u kterých není splněn požadavek na min. šíři příjezdové komunikace, tedy místa nepřístupné pro těžkou techniku.

Obr. 31 Rámová dřevostavba realizovaná pomocí staveništní montáže (Jiříček 2012)



Podle Matuškové (2020) je hlavní výhodou neustálá kontrola nad průběhem realizace stavby. Mezi hlavní nevýhody patří to, že jsou veškeré konstrukční prvky a materiály po převážnou část výstavby vystaveny okolnímu prostředí (biotiční a abiotičtí činitelé) a dochází k větším nepřesnostem ve spojích a detailech konstrukce.

Trandová (2021) navazuje tím, že u tohoto systému může být složitější i logistika přivezeného materiálu, a to nejen z hlediska uskladnění (ochrany) materiálu, ale hlavně z hlediska objednání a dodání materiálu v předstihu. Rychlost výstavby touto metodou je přímo závislá na schopnostech a počtu jednotlivých dělníků (tesařů) s přihlédnutím také na vliv počasí, které může stavbu v klíčových fázích poměrně významně prodloužit. S přihlédnutím všech vstupujících faktorů lze konstatovat, že rychlost celkové montáže hrubé stavby se pohybuje okolo 4 – 5 týdnů.

#### b. Panelová montáž

Podle Trandové (2021) se v zastřešené výrobní hale, která je vybavena těžkou technikou pro manipulaci a montování celostěnových panelů, včetně technologie sušení, likvidace odpadů aj. Výsledné výrobky se expedují pomocí dopravních prostředků na staveniště, kde se pomocí těžké techniky smontují do jednotného celku (viz Příloha č. 29). Stupeň prefabrikace je odlišný v závislosti na dané firmě, jejich technických a technologických možnostech dané ověřené konstrukce včetně používané technologie materiálu či napojování jednotlivých panelů apod. Kolb (2011) doplňuje, že z hlediska rastru konstrukčního provedení, můžeme tyto druhy montáží rozdělit na:

- Bedničkové systémy - malé moduly v rastrovém systému

Jedná se o snadno ovladatelný systém tvarovek, v rastru např. 160 mm, které se řadí jednoduchým způsobem vedle sebe. Dodatečně bývají ztužené přídatnými hranoly. Tyto moduly používají podobné konstrukční zásady jako zděné konstrukce (Kolb 2011).

- Stěnové dílce v rastrovém rozměru

Jedná se o dílce vyráběné na výšku celého konstrukčního podlaží (až po stropní konstrukci), které se na sebe v rastrovém rozměru 1000 – 1250 mm. Výslednou stěnu tvoří řada stěnových prvků, které jsou vzájemně propojeny v řadě za sebou (Kolb 2011).

- Stěnové panely – v rozměru místnosti, půdorysu objektu

Délka jednoho dílce se vztahuje na celou délku místnosti či půdorysu objektu. Výška dílců je rovna výšce podlaží. U tohoto principu dochází k redukci spojovacích míst, tedy k redukci potenciálních hrozeb u problematiky vzduchové neprůvzdušnosti staveb (Kolb 2011).

- Prostorový (modulový) systém

Tento systém, oproti přechozím, se kompletně sestavuje v dílně, včetně podlahové, stěnové a stropní konstrukce. Zvyšují se zde požadavky na manipulaci a samotnou přepravu, u které jsou také stanovené maximální rozměry pro přepravované prvky. Moduly se poté na stavbě skládají vedle sebe a na sebe, po propojení modulů pomocí dveřních otvorů (v horizontálním směru) a schodišťovým prostorem (ve vertikálním směru) dochází ke vzniku poměrně variabilní konstrukce (Kolb 2011). Matušková (2020) doplňuje, že je tento systém vhodný jak pro menší stavby, např. RD, tak pro nízkonákladové občanské stavby.

Kolb (2011) tvrdí, že rozdílné stupně prefabrikace či výroby závisí na zadání stavby od investora a technologii realizační firmy. Tedy jaké rozpracovanosti a celkovém stavu konstrukční prvky opouští výrobní závod daného výrobce. Před samotnou montáží do jednotného konstrukčního systému se nabízí otázka znečištění a rizika poškození hotových panelů. Obecně jsou konstrukční prvky, které jsou již opatřené finální povrchovou úpravou, oproti surovým stavebním prvkům citlivější na klimatické vlivy např. déšť, vlhkost, ultrafialové záření. Proto je nezbytné tyto prvky chránit po celou dobu převozu a montáže. Trandová (2021) uvádí, že se proto panely po celou dobu montáže na stavbě musejí před těmito negativními vlivy chránit např. pomocí fólií aj.

Kolb (2011) v zásadě rozděluje stupně prefabrikace do následujících kategorií:

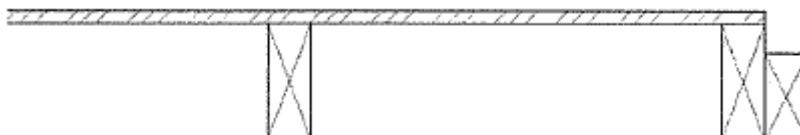
- I. Montáž hrubé nosné konstrukce rámu (jednotlivých tyčových částí)

Obr. 32 Půdorys - Hrubá nosná konstrukce rámu (Kolb 2011)



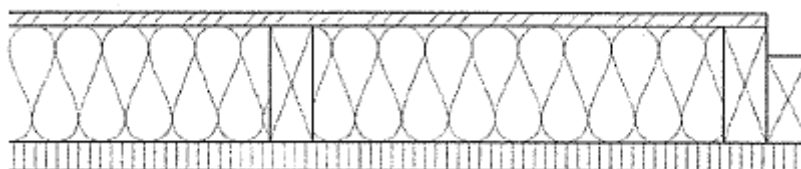
- II. Montáž konstrukce rámu včetně jednostranného opláštění a dodatečných prvků

Obr. 33 Půdorys – Konstrukce rámu s jednostranným opláštěním (Kolb 2011)



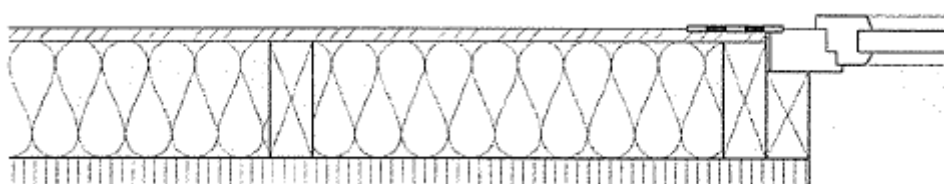
- III. Montáž konstrukce rámu s vloženou výplní stěnového panelu včetně oboustranného opláštění

Obr. 34 Půdorys – Konstrukce rámu s vloženou výplní a oboustranným opláštěním (Kolb 2011)



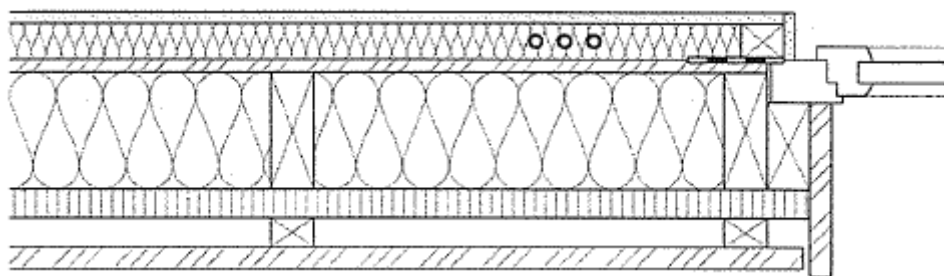
- IV. Montáž rámu, vnitřní výplně a opláštění, s vestavěnými prvky okenních, dveřních a zasklených otvorů včetně přípravy napojení těchto prvků pomocí otevřené a uzavřené difúzní pásy v přípojovacích spárách na dané ostění

Obr. 35 Půdorys – Konstrukce rámu s vloženou výplní a opláštěním s vestavěnými prvky, včetně jejich napojení v přípojovací spáře (Kolb 2011)



- V. Montáž rámu, vnitřní výplně a opláštění s výplněmi otvorů (včetně napojení) a navíc s již namontovanými předstěnami, do nichž jsou předem umístěné ocelové trubky pro vedení TZB, včetně finálních povrchových úprav ze strany INT a ze strany EXT namontovaný fasádní systém včetně pohledových palubek.

Obr. 36 Půdorys – Konstrukce rámu s vloženou výplní a opláštěním s vestavěnými prvky, včetně jejich napojení v přípojovací spáře, předstěn a fasádního systému (Kolb 2011)



Poznámka autora: Číslování je vzestupné, tzn. že I. kategorie dosahuje nejmenšího stupně prefabrikace, kde jsou spojovány pouze fošny a pásnice do hrubého rámu. Naopak V. kategorie je nejvyšší stupeň možné dosažené prefabrikace, tedy stěnový panel s výplněmi otvorů, včetně finálních povrchových úprav a hotového opláštění.

Trandová (2021) v závěru uvádí, že každý panel vyrobený ve výrobní lince má svou předepsanou certifikaci (podle zákona), čímž se docílí požadované kvality výsledného výrobku. Výrobní linky mají poměrně velkou kapacitu produkce, nicméně je nutné v dané době dodání výrobku počítat od uzavření smlouvy s časem od výkupu materiálu, výrobu v hale až po montáž na stavbě. Rychlost montáže v hale činí od 1 do 3 týdnů a montáž hrubé stavby na staveništi je poté velice rychlá (1 - 2 týdny).

Trandová doplňuje, že definitivní rozhodnutí o tom, jaký systém montáže použijeme pro danou stavbu by však neměl mít vliv na výsledné kvalitě provedení dané dřevostavby. U obou těchto používaných systémů vstupuje v průběhu výstavby totiž nutnost montáže a řemeslného dokončení dané konstrukce do výsledné podoby dané stavby. Rozdílnost těchto systémů je tedy hlavně ve výši celkové částky za stavební dílo, jiné technologie výroby, dopravy a času nutného k zrealizování hrubé stavby na staveništi.

### 3.6.5 Skeletové konstrukce

- Základní charakteristika

Podle Kolba (2011) se jedná o nosný konstrukční systém z masivních sloupů (vertikální směr) a průvlaků (horizontální směr), které tvoří tuhé nosné rámy. Sekundární složku tvoří zpravidla nenosné stěny, případně výplně otvorů, např. okenní rámy aj. Průvlaky přenášejí zatížení od střechy, stropů a stěn do sloupů a ty je roznášejí bodově do základových konstrukcí. Oba tyto prvky jsou přitom jednodílné a leží ve stejné rovině. Velkou výhodou, je možnost připojení průvlaků na sloup ze všech čtyř stran buď v jedné rovině anebo v libovolné výšce.

Steiger (2020) tvrdí, že je nosný rám vhodnější umístit na vnitřní stranu pláště budovy, resp. tepelná izolace ho zpravidla obaluje z vnější strany EXT. Pokud jsou součástí návrhu pergoly nebo balkóny, jedná se většinou o předsazené konstrukce

kvůli zamezení tepelných mostů. V případě návrhu střešních přesahů se mohou vykonzolovat pouze střešní latě. Podle Herzoga (2004) můžeme nosný rám kotvit dvěma způsoby:

- Mechanické kotvení

Sloupy nejčastěji probíhají průběžné po celé výšce stavby a průvlaky jsou pomocí ocelových kotev přichyceny ke sloupům, resp. jsou na sloupy prostě uloženy. U vícepodlažních budov, kde se zvyšují požadavky na požární odolnost a estetičnost dané konstrukce můžeme využít zakrytých spojů, které tvoří např. profilovaný plech, příchytka nosníku a rýhované hřebíky či desky z ploché oceli a přesných svorníků. V případě menších budov, např. RD, můžeme kotvit průvlaky ke sloupům pomocí trámového třmene Kolba (2011).

- Tesařské spoje

Jsou stále používanými spoji, které jsou na rozdíl od minulosti v současné době frézovány pomocí CNC strojů s velkou přesností. Jedná se převážně o čepy, zapuštění, osedlání, přeplátování apod. Můžeme se s nimi setkat zejména u méně namáhaných staveb, jako např. pergoly, garáže, RD apod. U vícepodlažních budov se můžeme setkat s tzv. vidlicovými sloupy, kde průvlak prochází sloupem, což zajišťuje stabilitu a menší objemové změny (Herzog 2004).

Poznámka autora: tesařské spoje, které jsou vyrobeny s velkou přesností se v praxi stejně musí dotahovat pomocí vrutů tak, aby byl spoj dotažen po celém jeho průřezu. Příklad čepových spojů na těžkém skeletu, které tvoří BSH profily jsou vyobrazeny v Příloze č. 16. U méně namáhaných prvků je možné propojit těžký skelet a základ pomocí dodatečně zabetonované kotevní patky.

Speciálním případem jsou tzv. vidlicové sloupy, kde průvlak prochází skrz sloup, což zajišťuje stabilitu a menší objemové změny. U vícepodlažních budov se přenáší zatížení bočními patkami vidlicového sloupu (Herzog 2004).

- Zakládání skeletových konstrukcí

Podle Kubečka a Kubečkové (2016) se v případně vícepodlažních budov, tedy budovy do 12 m, používá pro jejich založení nejčastěji z plošných základů: monolitické vícestupňové patky, prefabrikované patky (viz kapitola 3.4.3). V méně únosných zeminách se použijí hlubinné základy, resp. piloty (viz kapitola 3.4.4).

Poznámka autora: U menších staveb (RD, garáže) se můžeme potkat s tímto systémem ojediněle, a to hlavně v případě zvýšených architektonických a estetických požadavků. Pokud se tak stane, musíme brát při dimenzování základových prvků zřetel na větší bodové zatížení než u ostatních konstrukčních systémů, přičemž je vhodné tyto základy správně staticky posoudit a nadimenzovat.

### 3.7 Konstrukce střech a materiálová kompozice dřevostaveb

#### 3.7.1 Konstrukční zásady ochrany dřevěných konstrukcí

Konstrukční ochrana všech dřevěných konstrukcí a prvků musí být provedena tak, aby byla zajištěna ochrana proti abiotickým a biotickým činitelům. Dosáhneme toho např. pomocí řady impregnačních nátěrů, vhodným návrhem typu dřeva pro dané prostředí apod. Cílem je zamezit dlouhodobé působení vody na povrchu dřeva, což úzce souvisí s konstrukční ochranou dřevěného prvku k zabránění nadměrné počáteční vlhkosti dřevěného prvku na stavbě při jeho umístění (Houdek; Koudelka 2013).

Podle Růžičky (2014) ochranu dřeva (dřevěných konstrukcí) zajistíme tím, že ho ochráníme před jakoukoli formou vlhkosti a před slunečným svitem. Z hlediska praxe tomu můžeme napomoci vhodným návrhem konstrukce pomocí konstrukčních zásad mezi které patří:

- dostatečné přesahy střech

Poznatek o tom, že je vhodné svést vodu pomocí dodatečných konstrukcí (žlabů, vtoků) mimo objekt. Přesah střechy navíc chrání částečně či zcela fasádní palubky z dřeva před přímým kontaktem s dešťovými kapkami a chrání je také před přímým slunečním zářením, případně zajišťuje částečné stínění oken v podkroví apod. Záleží na materiálové kompozici fasádního systému a lze tedy obecně konstatovat, že např. dřevo oproti oceli bude potřebovat zcela jiný stupeň ochrany. Architektonicky přívětivé, z praxe dosti používané, řešení bez přesahových střech není příliš vhodné pro naše klimatické podmínky (viz Příloha č. 30). upravený terén v okolí stavby (Růžička 2014).

Podle Růžičky (2014) pro zajištění konstrukční ochrany je zásadou, že se navrhuje pata dřevěné konstrukce (spodní líc základového prahu) a obkladu, včetně vytažení HI, od UT v min. 300 mm. To však neplatí v případech, kdy je spodní hrana stavby prakticky zcela oddělena (vzduchová mezera) od UT jako je tomu v případě otevřeného systému CS. V praxi se často tato jednoduchá zásada porušuje a důsledky mohou být v případě dřevostaveb fatální. Pokud je požadavek na navýšení UT pod minim. hranici, je nutné konstrukčně vyřešit detail řádného odizolování dřevěné konstrukce proti vlhkosti, ale to se však netýká fasádního dřevěného pláště, který by měl požadavek dodržet vždy.

- vhodné odvětrání a proudící vzduch.

Podle Růžičky (2014) nejsou ve střešních pláštích vhodné uzavřené prostory u dřevostaveb. Je zde potenciální riziko kondenzace vodní páry, které se snažíme zabránit řádným odvětráním. Odvětrání zajišťujeme pomocí prostého odvětrání daného prostoru, kde s co největším výškovým rozdílem umístíme vstupní a výstupní otvory pomocí nichž je buď trvale nebo v daných intervalech prostor pravidelně odvětráván. Druhým způsobem je v případě odvětrání u obvodového

či střešního pláště využití tzv. komínového efektu, jenž funguje na principu rozdílu výšek, tlaků a teplot vstupní a výstupního otvoru.

Podle Straky a kol. (2013) musí být návrh střechy uzpůsoben tak, aby došlo k rychlému a bezpečnému transportu střešních splavenin od dešťové vody do předem určeného místa (oblasti) vsaku na parcele. Směr toku je vždy po největším sklonu, kolmo k podokapnímu žlabu. Místa vsaku v praxi nejvíce zajímají úřady, a proto jsou často řešeno v rámci Katastrálního či Koordinačního situačního výkresu podle předem určeného stupně dokumentace, podle vyhlášky 499/2006 Sb. Podle ČSN 73 1901 je u střechy uveden min. bezpečný sklon 3°, přičemž šikmé střechy tento požadavek splňují.

### 3.7.2 Materiálová kompozice

Podle Straky a kol. (2013) se u šikmých střech nejčastěji jedná buď o systém klempířských výrobků nebo systémy z plastu. Watts (2004) doplňuje, že nejčastěji se používá oplechování z mědi, olova či zinku. Z hlediska stálosti se jeví použít ušlechtilou ocel, která je sice velmi odolná, ale na druhou stranu je velmi problematická aplikace. Každý materiál má své výhody i nevýhody, např. zinek je trvanlivější než olovo, ale zároveň je křehčí apod.

Dimenze těchto systémů je ovlivněna: plochou a sklonem střechy, množstvím odváděné vody v jeden okamžik podle materiálu, klimatickými jevy, způsobem svedení dešťové vody mimo objekt a rizikem zanášení odvodňovacího systému. U šikmých střech se nejčastěji používají liniové žlaby umístěné v: podokapní, nadokapní, římsové, za-atikové a mezistřešní části konstrukce střechy. U žlabu je uvažován min. sklon 0,5 %, aby byl zajištěn tok vody předem určeným směrem (Straka a kol. 2013).

Watts (2004) uvádí, že velmi častým a žádoucím konstrukčním řešením je kombinace oplechování střech a fasád na jednom objektu. Vzniká tak dobrá konstrukční ochrana staveb (vůči abiotickým škůdcům), ale také velmi zajímavé architektonické detaily. V případě dřevostaveb se nejčastěji jedná o provětrávané fasádní systémy, tedy na klasické latě se upevní velkoformátový deskový materiál (např. OSB) a pomocí kotvení: nekonečných pásů, překrývajících se pásů a zapuštění spojů, vytváří souvislou plochu. Nekonečné pásy se spojují na stojatou drážku, která je ukotvena k deskovému materiálu pomocí příponek. Ve spojích vnějších rohů se použije buď překrytí pomocí stojaté drážky nebo speciálního rohového dílce pomocí ležaté drážky.

Reinprecht (2008) doplňuje, že již desítky let se velice často používají fasádní systémy z termicky modifikovaného dřeva (tzv. „termo-dřeva“), pro které se používají typicky méně odolné dřeviny, které touto modifikací sice ztratí velkou část fyzikálních vlastností, ale na druhou stranu získají velkou trvanlivost oproti klasickému dřevu.

- Krytina

Hlavním úkolem všech střech je zajištění, aby nedošlo ke kontaktu konstrukcí s vodou, což nám zajišťuje primárně hlavní a doplňková hydroizolační vrstva, ale i povrchová vrstva (krytina) střešního pláště (Straka a kol. 2013).

#### Hlavní vodotěsnící vrstva

Hlavní nepropustnost vody zajišťuje krytina, kterou můžeme dělit na skládanou a povlakovou krytinu. Skládaná krytina zachycuje pouze vodu v kapalném skupenství, část vody se dostane vlivem povětrnosti aj. pod ní a je nutné pod tuto krytinu navrhnout doplňkovou H.I. Povlaková krytina zachycuje vodu jak v pevném, tak i v kapalném skupenství, případně může tvořit u jednoplášťových typů střech vzduchotěsnící vrstvu pláště (zachycuje vodní páru). Hlavní HI vrstva zabraňuje jakémukoli pronikání vody do střešního pláště (Straka a kol. 2013).

Skládaná krytina je nejčastěji používanou krytinou u šikmých střech, přičemž je složena z množiny maloplošných rovinných či tvarovaných prvků, které se skládají na horizontálně orientované latě na sebe. Kotvení probíhá pomocí hřebíkových spojů, u těžkých krytin není kotvení zapotřebí. Je celá řada materiálové kompozice této skupiny, přičemž mezi nejznámější patří buď pálené střešní tašky zavěšené na ozuby nebo plechová krytina hladká na drážky či lišty (Kohout a kol. 1996).

V případě hladké plechové skládané krytiny se jedná o množinu rovinných desek spojovaných pomocí jednoduchých či dvojitých podélných (stojatých) nebo příčných (ležatých) drážek, tedy pomocí klempířských spojů (viz Příloha č. 31). Kotvení probíhá pomocí tzv. ocelových příponek (pevné, posuvné), které se kotví pomocí vrutů k podkladu střešní roviny, např. k OSB desce (Steiger 2020).

Podle Straky a kol. (2013) je hladká plechová krytina vyrobena z vysoce kvalitní oceli (měď, hliník, zinek a jejich kombinací), který odolává i bez povrchových úprav poměrně dobře klimatickým jevům. V tomto případě se mohou použít i speciální těsnící úpravy drážek, které ještě více podpoří odolnost konstrukce proti intenzivnější vodě (např. horské oblasti). Tloušťka plechu se u této krytiny pohybuje v rozmezí 0,5 až 1 mm, přičemž min. bezpečný sklon střechy je výrobcí uváděn  $> 7^\circ$  (Straka a kol. 2013).

#### Doplňková vodotěsnící vrstva

Při správném návrhu a provedení, odvádí buď vodu v jakémkoli skupenství proniklou přes svrchní část pláště (povrchovou krytinu) nebo vodu zkondenzovanou na spodním povrchu této vrstvy, např. provětrávaná vzduchová mezera u víceplášťových střech. Z hlediska použitého materiálu se v praxi u tohoto typu vrstvy navrhuje např. fólie či fóliové tkaniny nebo asfaltový pás. Jaký typ materiálu použijeme přímo závisí na: návrhu souvrství konstrukce z pohledu difúzní otevřenosti či uzavřenosti (viz kapitola 3.8), podle spádu střešní roviny a podle souvrství střechy (jednoplášťová/víceplášťová). (Kohout a kol. 1996).



Vodotěsnicí vrstva musí být přitom podepřena po celé ploše, čímž se eliminují defekty, které mohou mít fatální důsledky např. vlivem mrazu. Podepření probíhá v závislosti na typu střechy např. podepření kontralatěmi nebo u plochých střech zasypání fólie kačirkem. Podle způsobu pokládky a řešení napojení jednotlivých spojů řadíme vodotěsnicí vrstvy do tříd těsnosti, kde vyšší spolehlivost vykazují vrstvy podepřené po celé ploše, menší spolehlivost vrstvy nad vzduchovou mezerou (Steiger 2020). Pokud tato vrstva není podepřena po celé ploše, mohou být vhodným řešením kontralatě, kde podle Straky a kol. 2013 řadíme tři možnosti uložení vodotěsnicí vrstvy: pod kontralatěmi (kotvení skrz kontralatě), pod kontralatěmi (prostup kotvení skrz kontralatě je utěsněn), nad kontralatěmi, kotvení kontralatí (perforace vrstvy na navýšeném místě).

- Větraná vzduchová mezera

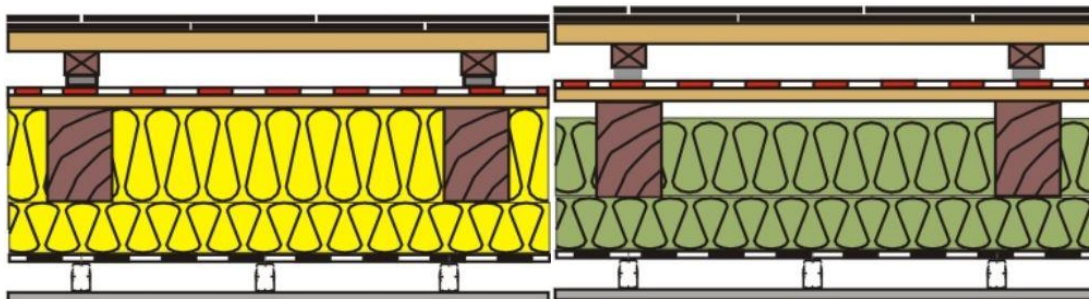
Navrhuje se v místech předpokládané kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce (INT). Stálé proudění vzduchu snižuje riziko kondenzace a v případě vzniku kondenzátu jej odvádí z vnitřního prostředí střechy ven do vnějšího prostředí (EXT). Pro zajištění funkčnosti této vrstvy musí být navržena vhodná tloušťka vrstvy, potřebný počet těchto vrstev (např. podélná orientace latí po 300 mm). Dále musí být zajištěno správné umístění těchto otvorů, protože proudění vzduchu musí být kontinuální a nesmí mu bránit žádná překážka. Dimenze větracích otvorů závisí na: typu střešního pláště (dvouplášťový, tříplášťový, viz dále), na difúzním odporu vzduchotěsnicí doplňkové vrstvy, na délce krokví a sklonu střechy (Straka a kol. 2013).

Podle Kohouta a kol. (1996) můžeme střešní pláště šikmých střech dělit na: jednoplášťové, dvouplášťové a tříplášťové konstrukce. Hlavní rozdíl mezi nimi je ten, že u jednoplášťové střechy, na rozdíl od ostatních, není souvrství pláště odděleno provětrávanou mezerou.

Podle Rypla (2010) rozdíl mezi dvouplášťovou nebo tříplášťovou střechou spočívá v tom, že u dvouplášťové střechy se navrhuje s jednou provětrávanou mezerou (nejčastěji nad) doplňkovou vodotěsnicí vrstvou, která je tvořena zpravidla paropropustnou netkanou textílií z umělých vláken s nízkým faktorem difúzního odporu (viz kapitola 3.8). Obdobnou paropropustnost by měl mít i podkladní (deskový) materiál, např. DHF, na kterém tato vodotěsnicí vrstva leží. V tomto případě výšku vzduchové mezery určuje výška a správná orientace kontralatí (viz Obr. 37, 38).

Obr. 37 Dvouplášťové souvrství střechy s deskovým záklopem nad krokviemi (levá část),

Obr. 38 Tříplášťové souvrství střechy s deskovým záklopem nad krokviemi (pravá část), (Rypl 2010).



Dvouplášťové střechy mají zpravidla podkladní (deskový) materiál, např. OSB, obdobnou paropropustnost jako vodotěsnicí fólie. Z hlediska praxe se doporučuje min. tl. 30 mm u sekundární provětrávané mezery pod záklopem. U primární vzduchové mezery (nad záklopem) určuje tloušťku této mezery opět výška a správná orientace kontralátí (viz Obr. 37, 38), (Rypl 2010).

### 3.7.3 Konstrukční systémy střech

Podle Straky a kol. (2013) se pro běžné konstrukce RD, BD navrhuje konstrukce střech z dřevěného materiálu (např. z KVH), někdy může jít i o kombinaci dřeva a oceli, např. Posi-Joist nosníky nebo v případě zastřešení velkých rozponů (hal) může jít o vazníky (z LLD), případně lepené rámové konstrukce. Podle Blasse a Snadhaase (2017) mezi základní soustavy šikmých střech patří: krokevní, hambalkové a vaznicové soustavy. U prvních dvou typů je základním nosným prvkem hambalek (posuvný, ztužený nosníkem či deskou). U vaznicových soustav tvoří základní nosný prvek vaznice, což je horizontálně orientovaný trám podporující krokve (orientace kolmo na příčnou vazbu krovu) pomocí tuhých příčných vazeb.

- Vaznicové soustavy

Podle Kohouta a kol. (1996) je tento název odvozen od toho, že hlavní nosné prvky, vynášející nosníky (krokve) pomocí tesařského spoje na ozub v plných vazbách (viz výše), tvoří vaznice, které jsou podepřeny pomocí sloupků (pásků), průvlaky, stěnami v plných vazbách max. 4 až 5 m vzdálených od sebe. Pro zkrácení vzpěrné délky vaznice se velmi často navrhuje pásky, orientované pod úhlem 45°, které jsou vetknuty do sloupu či stěny pomocí tesařských spojů (např. na čep, šikmočelné lípnutí) a dodatečně ztužují konstrukci v podélném směru (rovnoběžně s vaznicí). Základní nosná konstrukce vaznicové soustavy tvoří:

- Střešní latě, záklopy (bednění), střešní panely
- Krokve, nosníky a jiné alternativní nosné dřevěné roštové systémy z dřeva, např. Posi-joist nosníky (viz kapitola 3.6.4.6)

- Pozednice
- Příčné (plné) vazby – střešního pláště, krokví, vaznic do vodorovných (stropních) a svislých (stěnových) nosných konstrukcí
- Valby a polovalby – pouze u valbových a polovalbových střech
- Vazné trámy nebo výztužné prvky – horizontální trám nahrazují ocelové pásky přikotvené k pozednici a stropní konstrukci
- Kleštiny – zajišťují tuhost konstrukce v příčném směru v oblasti vaznic

Podle Straky a kol. (2013) jsou z pohledu stavební fyziky dva principy umístění tepelně izolační vrstvy do souvrství střešního pláště: mezi krokevní a nad krokevní.

- Zastřešení pultových střech

Podle Šnajdarové (2020) pultové střechy se zpravidla prakticky konstruují pomocí vaznicové soustavy do rozponu cca 8 m. Vaznice přitom mohou být stojaté, ležaté či vřadlové, přičemž jsou opřeny o plné vazby konstrukce a slouží zároveň jako pozednice. V podélném směru konstrukce krovu dochází ke ztužení pomocí kleštin či vzpěr. Další variantou je volba vazníkové konstrukce, která je složena z dolní, horní pásnice a diagonál. Pro RD se nejčastěji navrhuje vaznice do 12 m, přičemž v případě dřevěných konstrukcí může být rozpon vhodnou úpravou vazníku navýšen až na 30 m.

### 3.8 Stavební fyzika

Základní terminologie, týkající se problematiky stavební fyziky, je uvedena v ČSN 73 0540-1. Požadavky stanovené na konstrukce nalezneme v ČSN 73 0540-2. Návrhové hodnoty a veličiny pro posouzení jednotlivých konstrukcí jsou stanoveny v ČSN 73 0540-3. Výpočtové metody jsou obsaženy v ČSN 73 0540-4.

Podle Kulhánka (2011) při návrhu jednotlivých prvků obálky budovy nebo při hodnocení energetických vlastností objektu je prvním krokem určení parametrů venkovního prostředí v dané lokalitě. Mezi tyto parametry patří: teplota, vlhkost vzduchu, rychlost a směr větru nebo parametry slunečního záření. Pro tepelně technický výpočet uvažujeme průměrné hodnoty těchto parametrů, zde se jedná o tzv. ustálených (stacionárních) podmínkách.

#### 3.8.1 Šíření tepla

Teplo je druh energie, která se šíří v libovolném prostředí, a to za předpokladu, pokud jsou v tomto prostředí místa s rozdílnými teplotami. Vzhledem k snaze vyrovnání těchto dvou rozdílů se teplo šíří z míst s vyšší teplotou (INT) do míst s nižší teplotou (EXT). V závislosti na tom, v jakém prostředí se teplo šíří a na základě jakých fyzikálních zákonů se toto šíření uskutečňuje dělíme šíření do třech skupin: vedení, proudění a sálání (Kulhánek 2011).

- Vedení

Podle Kulhánka (2011) k šíření tepla vedením dochází primárně v pevných látkách, proto je tento způsob šíření tepla nejběžnějším z pohledu stavební praxe. Základní fyzikální zákony, které popisují vedení tepla, se nazývají první a druhý Fourierův zákon (dále jen I., II. F.Z.). I.F.Z. definuje závislost tepelného toku na gradientu teploty. Tento zákon vychází z ustáleného (stacionárního) teplotního pole, kde se rozložení teplot v tělese v závislosti na čase nemění. Dalším předpokladem je homogenita materiálu a izotropie tělesa. Podle Kopeckého (2014) vyjadřuje I.F.Z. hustotu tepelného toku, která je přímo úměrná teplotnímu gradientu (spádu), přičemž má hustota tepelného toku opačný směr než teplotní spád. I.F.Z. lze vyjádřit matematicky takto:

$$q = -\text{grad } \theta = -\lambda \frac{d\theta}{dx} \text{ [W/m}^2\text{]}, \quad (1)$$

q ... hustota tepelného toku [W/m<sup>2</sup>]  
 grad θ ... teplotní spád [K/m]  
 λ ... součinitel tepelné vodivosti [W/m.K]  
 x ... vzdálenost [m]

Kopecký (2014) doplňuje, že λ se v praxi velmi zjednodušeně uvažuje jako konstantní hodnota. Jeho hodnota však může být u určitých materiálů různá ve směru souřadných os např. u dřeva rovnoběžně s vlákny vykazuje přibližně dvakrát až třikrát vyšší hodnotu λ, než ve směru kolmo na vlákna.

Kulhánek (2011) tvrdí, že I.F.Z. platí pro jednorozměrné teplotní pole a stacionární teplotní stav, zatímco II.F.Z. popisuje vztah mezi časovou a místní změnou teploty, což znamená, že se zde bavíme o nestacionárním (časově proměnném) teplotním poli v trojrozměrném prostoru. Tento jev se v praxi nevyskytuje a lze ho vyjádřit takto:

$$\frac{d\theta}{dt} = a \left( \frac{d^2\theta}{dx^2} + \frac{d^2\theta}{dy^2} + \frac{d^2\theta}{dz^2} \right) \quad \text{Kulhánek (2011);} \quad a = \frac{\lambda}{\rho v \cdot c} \quad \text{Svoboda a kol. (2004)}$$

θ ... teplota spád [°C] (2) (3)  
 t ... čas [s]  
 x,y,z ... souřadné osy trojrozměrného prostoru  
 a ... součinitel teplotní vodivosti [m<sup>2</sup>/s]  
 λ ... součinitel tepelné vodivosti [W/m.K]  
 c ... měrná tepelná kapacita [J/kg.K]  
 ρv ... objemová hmotnost materiálu [kg/m<sup>3</sup>]

- Proudění

Podle Kulhánka (2011) k tomuto jevu dochází v kapalných a plynných látkách, kde rozlišujeme proudění přirozené, u kterého dochází přemísťováním částic různé

hmotnosti při teplotním ohřevu látky. Druhým typem je nucené proudění, které je vyvoláno vnějšími cizími vlivy. V praxi se může jednat o čerpadlo nebo ventilátor. Při výpočtu proudění vycházíme z Newtonova fyzikálního zákona, jenž popisuje hustotu tepelného toku při proudění:

$$q_s = \alpha_s \cdot (\theta_i - \theta_{si}), \quad (4)$$

$q_s$	...	hustota tepelného toku prouděním [ $W/m^2$ ]
$\alpha_s$	...	součinitel při přestupu tepla při proudění [ $W/m^2.K$ ]
$\theta_i$	...	teplota vzduchu [ $^{\circ}C$ ]
$\theta_{si}$	...	teplota vnitřního povrchu konstrukce [ $^{\circ}C$ ]

- Sálání

Kulháněk (2011) tvrdí, že se jedná se o přenos elektromagnetického záření, resp. infračerveného záření, které vydává každé těleso, jenž má vyšší teplotu než 0 K. Takovéto těleso nejen záření vydává, ale částečně i pohlcuje, odráží a propouští. Pak lze odvodit následující rovnici:

$$\Phi_s = \Phi_A + \Phi_R + \Phi_T, \quad (5)$$

$\Phi_s$	...	celkový sálavý tepelný tok, dopadající na konstrukci
$\Phi_A$	...	část energie konstrukcí pohlcená
$\Phi_R$	...	část energie konstrukcí odražená
$\Phi_T$	...	část energie konstrukcí procházející

Měrné tepelné toky prostupem tepla a větráním jsou stanoveny v ČSN EN ISO 13789.

### 3.8.2 Materiálové veličiny

- Faktor difúzního odporu ( $\mu$ )

Prostup vodních par skrz materiály je charakterizován v součiniteli difuze vodní páry, resp. ve faktoru difuzního odporu, jenž je bezrozměrnou jednotkou. Udává, kolikrát předmětný materiál je méně propustný pro vodní páru než pro nepohyblivý vzduch. V návaznosti na tuto veličinu se používá ekvivalentní difúzní tloušťka, ozn.  $S_d$  [m], která je definovaná jako součin  $\mu$  a tloušťky daného materiálu. Pokud tuto hodnotu roznásobíme danou konstantou  $N$  ( $5,315 \cdot 10^9 [1/s]$ ), dostaneme difuzní odpor vrstvy ( $R_d$ ), jenž můžeme spočítat pro každou vrstvu zvlášť (Tywoniak a kol. 2014).

- Objemová hmotnost ( $\rho_v$ )

Podle Svobody a kol. (2004) se jedná o objem celého kusu materiálu včetně všech dutin a pórů. Spočítá se jako poměr mezi hmotností [kg] a objemem [ $m^3$ ], včetně pórů (6).

- Měrná tepelná kapacita (c)

Svoboda a kol. (2004) tvrdí, že se jedná se o množství tepelné energie, kterou je potřeba dodat danému materiálu (pod konstantní rychlostí) o dané teplotě, vlhkosti a hmotnosti 1 [kg], aby se jeho teplota zvýšila o 1 kelvin. Můžeme jej následovně:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \text{ [J/(kg.K)]}$$

c	...	měrná tepelná kapacita [J/(kg.K)],	(7)
Q	...	množství přidaného tepla [J],	
m	...	hmotnost daného materiálu [kg],	
$\Delta T$	...	změna teploty [K].	

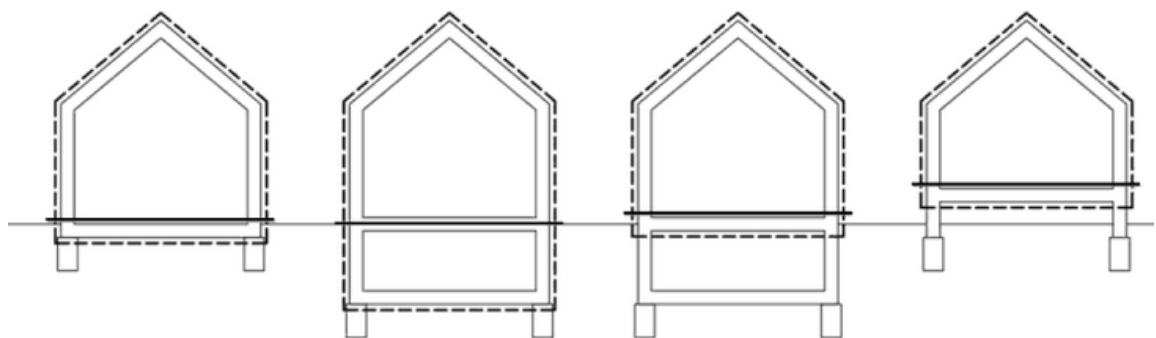
### 3.8.3 Konstrukční veličiny

Podrobné výpočetní metody pro měrné tepelné toky prostupem tepla a větráním jsou obsaženy v ČSN EN ISO 13789. Výpočet součinitele prostupu tepla je uveden v ČSN EN ISO 10777-2.

- Tepelný most a tepelná vazba

Podle Tywoniaka a kol. (2014) se jedná o místo v konstrukci, kde se střetává jeden a více konstrukčních prvků, kde v tomto místě dochází k nadbytečným tepelným únikům tepla (ztrátám), než ve zbytku obálky budovy (např. nedoražené izolační desky na sraz apod.). Tepelná vazba je v obdobně oslabeném místě, kde se střetávají dva a více plošných prvků (např. vazba stěna a okno). V místech těchto dvou prvků vzniká zvýšený tepelný tok, jenž se stal důležitým po-té co byly v rámci rekonstrukcí veškeré plošné konstrukce obohaceny o nové tepelně izolační materiály o daných TL. K vyjádření tohoto zlepšení použijeme výpočtu vícerozměrného vedení tepla, přičemž k vyjádření se užije lineární a bodový činitel prostupu tepla Tywoniak a kol. (2014). Schématický přehled tepelných ztrát budov viz Obr. 39. V němž je hranice vytápěné zóny znázorněna čárkovanou čarou.

Obr. 39 Schéma tepelných ztrát budov, (z leva: klasické uložení, vytápěný suterén, uzavřená CS, otevřená CS (Tywoniak a kol. 2014))



- Lineární součinitel prostupu tepla ( $\psi$ )

Podle Kulhánka (2011) jde o korekci tepelných toků prostupem přes rovinné konstrukce v místě jejich tepelné vazby. Tuto veličinu tedy můžeme stanovit na základě dvourozměrného teplotního pole geometrického styku konstrukcí, a to ve vztahu:

$$\psi = L^{2D} - \sum(U_i \cdot b_i), \quad (8)$$

$\psi$	...	lineární součinitel prostupu tepla [W/m.K]
$L^{2D}$	...	lineární tepelná propustnost [W/m.K]
$U_i$	...	součinitel prostupu tepla i-tou konstrukcí [W/m <sup>2</sup> .K]
$b_i$	...	rozměr i-té konstrukce geometrického modelu [m], (Kulhánek 2011).

- Bodový součinitel prostupu tepla ( $\chi$ )

Podle Svobody (2008) se tato veličina stanoví pro bodovou tepelnou vazbu či most, a to na základě vyhodnocení trojrozměrného teplotního pole prostorového modelu styku konstrukcí ze vztahu:

$$\chi = L^{3D} - \sum(U_i \cdot b_i), \quad (9)$$

$\chi$	...	bodový součinitel prostupu tepla [W/K]
$L^{3D}$	...	prostorová tepelná propustnost [W/m <sup>2</sup> .K]
$U_i$	...	součinitel prostupu tepla i-tou konstrukcí [W/m <sup>2</sup> .K]
$b_i$	...	rozměr i-té konstrukce geometrického modelu [m], (Svoboda 2008).

Výpočet tepelné propustnosti se započtením potřebných koeficientů se vypočítá takto:

$$L = \sum(U \cdot A) + \sum(\psi \cdot l) + \sum(\chi \cdot n), \quad (10), \quad (\text{Kulhánek 2011})$$

$L$	...	tepelná propustnost vztažená na jednotkový teplotní spád [W/K]
$U$	...	součinitel prostupu tepla konstrukce [W/m <sup>2</sup> .K]
$A$	...	plocha konstrukce započtená z vnějších rozměrů [m <sup>2</sup> ]
$\psi$	...	lineární součinitel prostupu tepla z vnějších rozměrů [W/m.K]
$\chi$	...	bodový součinitel prostupu tepla [W/K]
$l$	...	délka liniových tepelných vazeb [m]
$n$	...	počet bodových činitelů prostupu tepla [ks]

- Součinitel tepelné vodivosti ( $\lambda$ )

Podle ČSN 73 0540 - 3 můžeme dělit tento součinitel na hodnotu: Normovou, Charakteristickou, Návrhovou a Deklarovanou. Výrobci stavebních materiálů uvádějí nejčastěji návrhovou hodnotu, kde proběhlo naměření hodnot za deklarováných podmínek. Pro výpočet je proto nutné tuto hodnotu přepočítat na návrhovou, tedy zvýšit (zhoršit) tuto hodnotu v rádech 3 až 5 %, u minerální vlny dokonce o 10 %

(ČSN 73 0540 – 3). Některé softwary umí tento přepoččet automaticky nabídnout nebo jejich katalogy materiálů již obsahují návrhovou hodnotu (např. Teplo 2017 EDU).

- Tepelný odpor (R)

Podle Kulhánka (2011) je tento pojem odvozen pro jednorozměrné teplotní pole za předpokladu stacionárních teplotních podmínek. Pokud se jedná o jednovrstvé stavební konstrukci, jenž rozděluje dvě prostředí s vůči sobě různými, ale samostatně konstantními teplotami. Rozdělení teplot v konstrukci musí být konstantní a libovolný bod v konstrukci (o souřadnici x) lze jednoznačně definovat. Tepelný odpor vyjadřuje schopnost konstrukce odolávat teplu, resp. udává míru odporu proti pronikání tepla. Čím vyšší je tepelný odpor materiálu či konstrukce, tím pomaleji teplo prochází. V praxi se snažíme, aby hodnota tepelného odporu byla co nejvyšší, tedy aby tepelný tok procházel co nejpomaleji. Můžeme tuto hodnotu vyjádřit pomocí vzorce:

$$R = \frac{d}{\lambda} [\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}], \quad (11.1)$$

R ... tepelný odpor [m<sup>2</sup>.K/W]  
 λ ... součinitel tepelné vodivosti [W/m.K]  
 d ... tloušťka daného materiálu [m]

Tento vztah platí za předpokladu, pokud se jedná o jednovrstvou homogenní konstrukce, kde platí kolmost směru tepelného toku. V případě, že se jedná o vícevrstvou konstrukci, s čímž se v praxi spíše setkáme, použijeme tento vztah:

$$R_c = \sum_{j=1}^{j=n} R_j = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n = \sum_{j=1}^{j=n} \frac{d_j}{\lambda_j}, \quad (12)$$

Pokud souvrství konstrukce obsahuje nehomogenní vrstvu, např. stěnová či střešní sloupková sendvičová konstrukce (tepelná izolace + dřevěné sloupky, krokve) je nutné přepočítat hodnotu součinitele tepelné vodivosti, resp. vážený průměr jednotlivých materiálů podle poměru plošného zastoupení v nehomogenním materiálu. Tomu říkáme ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti a můžeme ho vypočítat z vztahu:

$$\lambda_{ev} = \frac{\lambda_1 \cdot A_1 + \lambda_2 \cdot A_2 + \lambda_3 \cdot A_3}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} [\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}], \quad (13)$$

λ<sub>ev</sub> ... ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti [W/m.K]  
 λ<sub>1</sub> ... λ<sub>n</sub>..... součinitele tepelné vodivosti jednotlivých materiálů vrstvy [W/m.K]  
 A<sub>1</sub> ... A<sub>n</sub> je plocha materiálů v charakteristickém výseku nehomogenní vrstvy [m<sup>2</sup>]

Podle Tywoniaka a kol. (2014) určitý tepelný odpor se projevuje i při površích konstrukce, resp. odporu při přestupu tepla v INT (R<sub>i</sub>) a odporu při přestupu tepla



v EXT (Re), viz Příloha č. 32. Souvislé vzduchové mezery, s ohledem na jejich případné zahrnutí do výpočtu, dělíme na nevětrané, větrané a slabě větrané (viz Příloha č. 33).

Podle Tywoniaka a kol. (2014) se celkový tepelný odpor, ozn.  $R_t$ , se vypočítá jako součet všech tepelných odporů jednotlivých souvrství dané konstrukce, které jsou sečteny s  $R_i$  a  $R_e$ , tedy:

$$R_t = R_c + R_i + R_e \text{ [m}^2 \cdot \text{K/W]}, \quad (14)$$

- Součinitel prostupu tepla ( $U$ )

Podle Tywoniaka a kol. (2014) je definován součinitel prostupu tepla jako převrácená hodnota tepelného odporu, tedy:

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{(R_c + R_i + R_e)} \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}, \quad (15)$$

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

Tato veličina udává množství tepelné energie, které proteče daným materiálem o ploše  $1 \text{ m}^2$  při teplotním rozdílu  $1 \text{ Kelvin}$  (Kulhánek 2011).

- Okrajové podmínky
  - Stacionární teplotní podmínky,

Podle Kulhánka (2011) se jedná o průměrné hodnoty roční teploty, z kterých je patrné, že se v závislosti na čase nemění.

- Nestacionární teplotní podmínky

Podle Kulhánka (2011) se bavíme o teoretické bázi. Tyto podmínky jsou zahrnuty v II.F.Z., kde je výpočet vztahu mezi teplotní změnou a změnou v čase je poměrně náročný. Podle Reinprechta a Pánka (2016) u dřevěných konstrukcí ve skutečnosti nastává komplikace, protože z hlediska jejich molekulární stavby dřeva nelze striktně říci, že jsou fyzikální hodnoty tohoto materiálu s rozdílnou vlhkostí, hustotou materiálu a povrchovou teplotou stejné ve všech směrech. Tohoto vlivu si můžeme všimnout, že např. u součinitele tepelné vodivosti, součinitele přestupu tepla vodní páry apod.

### 3.8.4 Požadavky na konstrukce

Veškeré požadavky na stavební konstrukce jsou shrnuty v ČSN 730540-2,4.

- a) Teplota – pohoda uvnitř stavby

Tepelnou stabilitu budov, jako celku, hodnotíme prostřednictvím vybraných místností pro: zimní a letní stabilitu místnosti. Zimní stabilita je zajištěna tehdy, pokud teplota v místnosti neklesne pod normou stanovený požadavek na konci přestávky ve vytápění. Například pro obytnou budovu, která je vytápěna otopnými tělesy, nesmí být pokles teploty větší než  $3 \text{ }^\circ\text{C}$ . Závěrem je zhodnocení, jestli se bude

jednat o přerušované vytápění či nikoli. Letní stabilita vyhovuje, zdali výpočtem stanovená teplota v dané místnosti nepřekročí za letního dne s intenzivním slunečním zářením požadovanou hodnotu 27 °C (Tywoniaka a kol. 2014).

#### b) Teplota rosného bodu

Podle Tywoniaka a kol. (2014) k tomuto jevu dochází tehdy, pokud u jakéhokoli daného bodu na konstrukci, jenž jej obklopuje vzduch, dojde ke kondenzaci vodní páry. Tato veličina tedy určuje teplotu, při níž by okolní vzduch, jenž má danou teplotu a vlhkost, právě dosáhl bodu nasycení, resp. jeho relativní vlhkost by byla 100 %. Tomu se při návrhu snažíme zabránit tím, že konstrukci navrhujeme tak, aby v jakémkoli místě (s ohledem na kolísání teplot, vzdušné vlhkosti) byla povrchová teplota vždy vyšší. Budou-li normové požadavky na U splněny, bude splněna i minimální povrchová teplota pro neprůsvitné konstrukce. Nutné je brát zřetel také a tepelné mosty a vazby, přičemž kondenzace vodní páry na okenních a dveřních otvorech je také nežádoucí.

#### c) Teplotní faktor

Jedná se o proměnnou veličinu, která vyjadřuje lokální vlastnost dané konstrukce (styku konstrukcí) včetně jejich přestupů tepla na vnitřní (Rsi) a vnější (Rse) straně. Tato veličina však nezávisí na přilehlých teplotách. Můžeme ji vyjádřit z vztahu

$$fR_{si} = 1 - \frac{\theta_{ai} - \theta_{si}}{\theta_{ai} - \theta_{se}} [-] , (16), (\text{ČSN } 73\ 0540-2)$$

fRsi	...	teplotní faktor [-]
θai	...	vnitřní teplota vzduchu [°C]
θsi	...	vnitřní povrchová teplota [°C]
θse	...	vnější povrchová teplota [°C]

Podle Šály (2006) lze konstatovat, že se jedná o doplňkovou veličinu k součiniteli prostupu tepla při charakterizování chování dané konstrukce při prostupu tepla. Zatímco součinitel prostupu tepla vyjadřuje celkový energetický účinek dané konstrukce, tak hodnota teplotního faktoru charakterizuje lokální extrémní hodnoty prostupu tepla. Podle ČSN 73 0540-2 vyplývají pro daný typ konstrukce následující hodnoty:

Tab. č. 2 Teplota odpovídající kritickému teplotnímu faktoru vnitřního povrchu  $f_{Rsi, cr}$ , pro návrhovou relativní vlhkost vnitřního vzduchu  $\phi_i = 50 \%$  (ČSN 73 0540-2)

Konstrukce	Návrhová teplota vnitřního vzduchu $\theta_a$ [°C]	Návrhová venkovní teplota $\theta_a$ [°C]								
		-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21
		Teplota odpovídající kritickému teplotnímu faktoru vnitřního povrchu $f_{RaLcr}$								
Stavební konstrukce	20,0	11,68	11,36	11,04	11,02	11,02	11,02	11,02	11,02	11,02
	20,3	11,98	11,62	11,30	11,30	11,30	11,30	11,30	11,30	11,30
	20,6	12,23	11,92	11,59	11,58	11,58	11,58	11,58	11,58	11,58
	20,9	12,53	12,21	11,85	11,86	11,86	11,86	11,86	11,86	11,86
	21,0	12,60	12,29	11,96	11,96	11,96	11,96	11,96	11,96	11,96
Výplň otvoru podle 3.4.	20,0	8,35	8,03	7,72	7,36	7,05	6,70	6,35	6,00	5,65
	20,3	8,61	8,30	7,98	7,67	7,32	6,97	6,62	6,28	5,89
	20,6	8,91	8,59	8,25	7,94	7,59	7,24	6,90	6,55	6,16
	20,9	9,17	8,86	8,51	8,21	7,86	7,52	7,17	6,79	6,44
	21,0	9,27	8,96	8,62	8,27	7,97	7,62	7,24	6,90	6,51

Pro posouzení dané konstrukce, zdali splňuje daná kritéria, vyplývá následující vztah:

$$f_{Rsi, N} \geq f_{Rsi, cr}, \quad (17)$$

$f_{Rsi, N}$  ... návrhová hodnota teplotního faktoru [-]

$f_{Rsi, cr}$  ... požadovaná (kritická) hodnota teplotního faktoru [-], (ČSN 73 0540-2).

d) Lineární a bodový činitel prostupu tepla

Podle ČSN 73 0540-2 vyplývají pro daný typ konstrukce následující hodnoty:

Tab. č. 3 Požadované a doporučené hodnoty lineárního a bodového činitele prostupu tepla pro budovy s návrhovou vnitřní povrchovou teplotou 20 °C ČSN 73 0540 – 2.

Typ lineární tepelné vazby	Lineární činitel prostupu tepla $\Psi$ [W/(m·K)]		
	Požadované hodnoty $\Psi_N$	Doporučené hodnoty $\Psi_{rec}$	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $\Psi_{pas}$
Vnější stěna navazující na další konstrukci s výjimkou výplně otvoru, např. na základ, strop nad nevytápěným prostorem, jinou vnější stěnu, střechu, lodžii či balkon, markýzu či arkýř, vnitřní stěnu a strop (při vnitřní izolaci), aj.	0,20	0,10	0,05
Vnější stěna navazující na výplň otvoru, např. na okno, dveře, vrata a část prosklené stěny v parapetu, bočním ostění a v nadpraží	0,10	0,03	0,01
Střecha navazující na výplň otvoru, např. střešní okno, světlík, poklop výlezu	0,30	0,10	0,02
Typ bodové tepelné vazby	Bodový činitel prostupu tepla [W/K]		
	$Z_N$	$Z_{rec}$	$Z_{pas}$
Průnik tyčové konstrukce (sloupy, nosníky, konzoly, apod.) vnější stěnou, podhledem nebo střechou	0,4	0,1	0,02

Pro posouzení dané konstrukce, zdali splňuje daná kritéria, vyplývá následující vztahy:

$$\psi_V \leq \psi_N \quad ; \quad \chi_V \leq \psi_N, \quad (18)$$

- $\psi_V$  ... návrhová hodnota lineárního součinitele prostupu tepla [W/m.K]  
 $\psi_N$  ... požadovaná hodnota lineárního součinitele prostupu tepla [W/m.K]  
 $\chi_V$  ... návrhová vypočítaná hodnota bodového součinitele prostupu tepla [W/K]  
 $\chi_N$  ... požadovaná hodnota bodového součinitele prostupu tepla [W/K], (ČSN 73 0540-2).

#### e) Součinitel prostupu tepla

Normové hodnoty součinitele prostupu tepla  $U_{N,20}$  jednotlivých konstrukcí jsou stanoveny podle ČSN 73 0540-2, kde se dělí na požadované a doporučené hodnoty a doporučené hodnoty pro pasivní domy tohoto součinitele, a to pro budovy s převažující vnitřní teplotou od 18 °C do 22 °C včetně (budovy obytné). Tento součinitel je následně klíčovým parametrem pro hodnocení celkové energetické náročnosti obálky budovy, což je stanovené na řadě faktorů, přičemž jedním z nich je tzv. průměrný součinitel prostupu tepla  $U_m$ . Princip vstupujících parametrů je následující:

Tab. č. 4 Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro obytné budovy s návrhovou vnitřní povrchovou teplotou od 18 do 22 °C ČSN 73 0540 – 2.

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m <sup>2</sup> ·K)]		
	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy
	$U_{N,20}$	$U_{rec,20}$	$U_{pas,20}$
Stěna vnější	0,30 <sup>1)</sup>	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,30	0,20	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop s podkladou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	0,20	0,15 až 0,10
Stěna k nevytápěné půdě (se střechou bez tepelné izolace)	0,30 <sup>1)</sup>	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině <sup>4),6)</sup>	0,45	0,30	0,22 až 0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40	0,30 až 0,20
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Podlaha a stěna temperovaného prostoru přiléhá k zemině <sup>6)</sup>	0,85	0,60	0,45 až 0,30
Stěna mezi sousedními budovami <sup>3)</sup>	1,05	0,70	0,50

Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10°C včetně	1,05	0,70	
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,30	0,90	
Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,20	1,45	
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,70	1,80	
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,50 <sup>2)</sup>	1,20	0,8 až 0,6
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,40 <sup>7)</sup>	1,10	0,90
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,70	1,20	0,90
Výplň otvoru vedoucí z vytápěného do temperovaného prostoru	3,50	2,30	1,70
Výplň otvoru vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	3,50	2,30	1,70
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	2,60	1,70	1,40
Lehký obvodový plášť (LOP) hodnocený jako smontovaná sestava včetně nosných prvků, s poměrnou plochou průsvitné výplně otvoru	$f_w \leq 0,50$	$0,3 + 1,4 \cdot f_w$	$0,2 + f_w$
$f_w = A_w / A$ , v m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> , kde			
A je celková plocha lehkého obvodového pláště (LOP), v m <sup>2</sup> ,			
$A_w$ plocha průsvitné výplně otvoru sloužící převážně k osvětlení interiéru včetně příslušných částí rámu v LOP, v m <sup>2</sup>	$f_w > 0,50$	$0,7 + 0,6 \cdot f_w$	$0,15 + 0,85 \cdot f_w$
Kovový rám výplně otvoru	-	1,80	1,00
Nekovový rám výplně otvoru <sup>5)</sup>	-	1,30	0,90 - 0,70
Rám lehkého obvodového pláště	-	1,80	1,20

Z daných hodnot je patrné, jaké požadované, doporučené a doporuč. hodnoty pro pasivní domy u součinitele prostupu tepla pro tepelný výpočet jsou klíčové. Pro posouzení dané konstrukce, zdali splňuje daná kritéria, vyplývá následující vztah:

$$U_v \leq U_{n20}, \quad (19)$$

$U_v$  ... výsledný navržený součinitel prostupu tepla pro danou konstrukci [W/m<sup>2</sup>.K]

$U_{n20}$  ... požadovaná maximální hodnota součinitele prostupu tepla pro danou konstrukci [W/m<sup>2</sup>.K], (ČSN 73 0540-2).

#### f) Vlhkost v konstrukci

Ve stavební konstrukci vlivem rozdílné koncentrace vlhkostí obklopujícího vzduchu (v INT a EXT) dochází k průchodu vodních par. Z plynného skupenství vodní páry vznikne zkondenzovaná voda v místech, kde je teplota v konstrukci nízká. V zimním období se v INT pohybuje více nasycený vzduch než v EXT chladný vzduch. Přírodným důsledkem se snaží vyrovnat rozdílné koncentrace vodní páry, jenž se vyjadřují pomocí částečných (parciálních) nasyceného a nenasyceného tlaků vodní páry Tywoniak a kol. 2014). Kulhánek (2011) doplňuje, že v konstrukci dochází

ke kondenzaci za předpokladu, pokud vypočtený částečný tlak vodní páry dosahuje hodnot nasyceného tlaku vodní páry.

Tywoniak a kol. 2014 navazuje tím, že je tímto jevem vyvolán prostup, resp. difúze vodních par jednotlivých materiálů v obálce budovy. Kondenzace vodní páry v konstrukci, je však nežádoucím jevem, jelikož výrazně snižuje životnost, hygienické podmínky a další vlastnosti konstrukce. Podle ČSN 730540-4 nesmí dojít uvnitř konstrukce ke kondenzaci vodní páry, resp. nesmí tuto konstrukci ohrozit.

Obecně lze říci, že je návrh souvrství konstrukce vyhovující, pokud v ní nedochází ke kondenzaci. Pokud k ní dochází, můžeme konstrukci považovat za vyhovující, pokud:

- množství zkondenzované vodní páry v konstrukci nesmí překročit za 1 rok hodnotu  $0,1 \text{ kg/m}^2$
- celkové množství zkondenzované vody  $\leq$  množství vyschlé vody v ročním cyklu
- hmotnostní vlhkost dřevěných prvků (prvků na bázi dřeva)  $\leq 18 \%$ , analýza sorpční křivky daného materiálu (viz kapitola 4.2 ; ČSN 730540-4)

Poznámka autora: pro první bod je výše uvedená hodnota specifikována pro dřevostavby (pro ostatní je max. hodnota  $0,5 \text{ kg/m}^2$ ). Pro první dva body můžeme použít klasické výpočetní postupy podle ČSN 73 0540 a ČSN EN ISO 13788. Pro posouzení vlhkosti materiálu je třeba posoudit pokročilejší metodu (např. WIFO, Delphin aj.).

Zvýšená vlhkost zvyšuje potenciální ohrožení funkce dřevěné konstrukce, a to z pohledu: objemových změn (bobtnání sesychání), biotických a abiotických škůdců a poklesem mechanických vlastností (modul pružnosti a pevnost materiálu), (Reinprech; Pánek 2016).

#### g) Vzduchotěsnost

Kolb (2011) tvrdí, že pokud zabráníme svévolnému proudění vzduchu skrz konstrukci, tak nejen že zabraňujeme nežádoucímu zkondenzování uvnitř konstrukce, ale také jsou menší tepelné ztráty z pohledu nízkoenergetických požadavků na budovy.

#### h) Akustika

Zvuk je definován jako mechanické kmitání částic pružného prostředí, které můžeme vnímat lidským sluchem. V rámci prostorové akustiky se bavíme o kročejové a vzduchové neprůzvučnosti. Kročejový zvuk je zvuk přenášen do konstrukce pomocí mechanických impulzů. Vyjadřujeme ho podle vážené normové hladiny akustického tlaku kročejového zvuku ( $L_{n',w} [\text{dB}]$ ). U vzduchové neprůzvučnosti je zvuk přenášen vzduchem, tudíž je ovlivněna jednotlivými dělicími prvky mezi místnostmi (objem materiálu, schopností odražení/pohlcení zvukové vlny apod.), (Tywoniak a kol. 2014).

Požadavky na stavební konstrukce z pohledu Akustiky jsou stanoveny v ČSN 73 0532.

### **3.8.5 Problematika vzduchové neprůvzdušnosti dřevostaveb**

Podle Kolba (2011) by měl být principiálně plášť budovy při uzavřených větracích otvorech prakticky neprůvzdušný, a to jak u difúzně otevřených, tak difúzně uzavřených souvrství. V prvním případě je ze strany INT umístěna parobrzdňá vrstva (např. OSB deska), která je zalepena a utěsněna difúzně uzavřenou páskou, přičemž faktor difúzního odporu ze strany INT do strany EXT klesá. V druhém případě je ze strany INT i EXT použita parozábrana (vysoká hodnota  $\mu$ ), která zabraňuje jakémukoli šíření, ale i odpaření případné zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce. Pro zajištění čerstvého vzduchu v INT poslouží přirozené větrání okenními a dveřními otvory nebo v případě pasivních domů VZT.

## **3.9 Normativní požadavky obvodových konstrukcí**

Problematikou hospodaření energií se zabývá zákon č. 406/2000 Sb., který dále specifikuje vyhláška č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov. Technické parametry pro jednotlivé budovy upravuje vyhláška č. 406/2000 Sb.

### **3.9.1 Energetická náročnost budov z pohledu EU**

EU neustále zpřísňuje požadavky na energetickou náročnost budov v souvislosti s ochranou ovzduší od jedovatých plynů (např. CO<sub>2</sub>) a energetickou soběstačností samotných budov. Podle směrnice Evropského parlamentu a rady 2010/31/EU od 1. 1. 2020 musí všechny stavby při projektování a realizaci (kolaudaci) splňovat požadavky budov s téměř nulovou spotřebou energie. Tato budova by měla přitom splňovat velmi nízkou energetickou náročnost pomocí OZE. Jedná se především o stavby soukromníků a developerských firem. ČR již tento požadavek musí splňovat od roku 2016 a to převážně výškové a občanské budovy vlastněné státem (Evropská Unie©2010).

Požadavek Evropské rady byl transponován do novely zákona č. 406/2006 Sb., o hospodaření s energiemi v ČR, ve znění pozdějších předpisů. Neznamená to ovšem, že všechny stavby musí splňovat nejpřísnější kritéria pro pasivní budovy nebo, že by tyto nové stavby musely splňovat prakticky nulovou bilanci spotřebované energie (MPO©2019). Růžička (2014) doplňuje, že všechny stavby v ČR v průměru spotřebují 40 % své energie. Přičemž je v této hodnotě započtena spotřebovaná energie jak při výrobě stavebního materiálu a realizace stavby, tak energie vynaložená samotným provozem staveb. EU má stanovit, v rámci nového klimaticko-energetického balíku (tzv. „Fit for 55“), do budoucna určité kroky (nástroje) pro jednotlivé státy k naplnění klimatické neutrality EU v roce 2050.

Jedním z těchto nástrojů je decentralizace OZE na menší energeticky soběstačné celky, tedy velký počet zdrojů o malém výkonu (Janoušek 2019). Jakým způsobem si

stály v rámci OZE členských států EU a dalším vybraným v roce 2017 je uvedeno včetně komentáře v Příloze č. 34 (Eurostat©2019). V ČR se od roku 2013 povinně zavedly PENB, které musejí být součástí každé projektové dokumentace pro stavební povolení. Na vyobrazeném grafu v Příloze č. 35 je patrné, že za rok 2018 bylo postaveno 62 % RD ve velmi úsporné energetické náročnosti budov (třída B) a nejméně bylo postaveno 6 % RD v mimořádně úsporné energetické náročnosti budov, tedy v energetické třídě A (ADMD©2018).

### **3.9.2 Budovy s téměř nulovou spotřebou energie**

Podle Tywoniaka a kol. (2012) se jedná o budovy s nízkou spotřebou tepla na vytápění, které je dosaženo zejména optimálním řešením obálky budovy s návrhovou pokojovou teplotou od 18 ° do 22 °C. Spadají sem budovy, jejichž roční spotřeba tepla na vytápění je výrazně nižší, než aktuální požadavek národních předpisů, ze kterých vyplývá, že měrná potřeba tepla na vytápění nepřesáhne 50 [kWh/(m<sup>2</sup>.a)]. Lze předpokládat, že se tato hodnota do budoucna bude pravděpodobně zpříšňovat v souladu se základním požadavkem na klasické budovy nebo jednou tento termín zcela vymizí.

Krick (2013) uvádí, že používání primární potřeby energie užitečné, jelikož se dnes do energetické bilance budovy započítávají i energetické ztráty technickým zařízením, návaznost dodávaných paliv nebo pomocná energie potřebná pro výrobu tepla. Kupříkladu v Německu jsou, již z devadesátých let 20. stol, zapracovány a neustále vyvíjeny požadavky na pasivní domy, které se za posledních dvacet let nemusely prakticky nijak zpříšňovat. Pokud porovnáme u nich potřebu primární energie s průměrnými hodnotami U (U<sub>em</sub>) podle jejich zákonů v závislosti na čase, je zřejmá závislost na neustálém poklesu potřeby energie v návaznosti na energetickou soběstačnost budov. Pro představu by se do roku 2025 měla průměrná hodnota U v Německu pohybovat okolo 0,17 [W/m<sup>2</sup>.k], viz Příloha č. 36. V ČR je podle vyhlášky 264/2020 Sb. je požadovaná hodnota U<sub>em</sub> 0,417 [W/m<sup>2</sup>.k], kde první úroveň pro pasivní domy splňují objekty s U<sub>em</sub> 0,243 [W/m<sup>2</sup>.k].

### **3.9.3 Pasivní budovy**

Podle Brewa (2013) se jedná o budovy s minimální potřebou energie, které je potřeba pro zajištění požadovaného stavu vnitřního prostředí budov a minimální potřebou primární energie z neobnovitelných zdrojů na jejich provoz za pomoci optimalizace obálky budovy a dalším opatřením. Podle Tywoniaka a kol. (2012) se hodnoty potřeby tepla na vytápění, energie dodané na vytápění a energie potřebné na chlazení jsou stanoveny v ČSN EN ISO 730336. s využitím vstupních údajů z TNI 73 0329, která dále stanovuje hodnoty dodané elektrické energie pro systémy ohřevu vody nebo pro provoz dalších energetických systémů v dané budově (např. provoz fotovoltaických panelů). Povinně hodnoceným hlediskem je celková průvzdušnost obálky budovy podle ČSN EN ISO 730577 a TNI 73 0329, které



stanovují, že celková intenzita výměny vzduchu, ozn. n50, při tlakovém rozdílu 50 Pa nesmí být větší, než 0,6 za jednu hodinu.

Podle Billa a Maryho (2016) existuje pro správný návrh pasivního domu sedm základních nástrojů: 1) řádné obalení všech konstrukcí tepelně izolačním materiálem o dostatečné tloušťce, 2) eliminovat veškeré tepelné mosty a vazby v konstrukci, 3) navrhnout vzduchotěsnou obálku budovy k zamezení proudění vzduchu, 4) návrh automatizovaného větrání s rekuperací vzduchu v závislosti na klimatickém prostředí, 5) navrhovat pouze vysoko izolační dveřní a okenní výplně otvorů, 6) minimalizovat energetické ztráty a maximalizovat energetické zisky (orientace k světovým stranám), 7) pro přesný návrh použít softwarových modelovacích nástrojů.

#### **3.9.4 Standartní budovy**

Do této kategorie spadají všechny ostatní budovy, které nesplňují požadavky z kapitoly 3.9.2 a 3.9.3.

## 4 Metodika

### 4.1 Architektonický návrh stavby

Při prvotním návrhu jsem se zaměřil na typ staveb, které jsou architektonicky poměrně zajímavě řešeny s ohledem na způsob založení otevřenou metodou CS, která byla navržena pro konkrétní parcelu na základě výzkumu a vzájemném porovnání obou metod (uzavřené i otevřené) CS, viz dále kapitola (4.6). V případě otevřené metody CS mě velice zaujaly návrhy z daných předloh, které v sobě zahrnovaly např. atria, stromy v předsazených terasách, ale i samotných INT obytných budov. Na základě průzkumu architektonických prací jsem se zaměřil na samotný návrh konkrétní stavby.

#### 4.1.1 Výběr lokality

Pozemek se nachází v obci Jevany, která leží ve Středočeském kraji, tedy asi třicet čtyři kilometrů jihovýchodně od hl. města Prahy. Obec je situována na okraji NPR Voděradské bučiny a její nadmořská výška činí 380 m n. m. V obci žije 784 osob s trvalým bydlištěm, ale obec má poměrně velký počet chatových objektů určených k rekreaci. Výběr parcely, na které jsem umístil předmětnou navrhovanou stavbu, nebyl náhodný. Jelikož máme v této obci chatu, tak jsem si jako mladý hrával nejen v blízkém okolí dané parcely, ale i na dané parcele.

Obr. 40 Lokalizace obce Jevany v rámci České republiky (vlastní tvorba)



Tato parcela byla původně dlouhá léta zalesněna, přičemž se jednalo o pozemek určený k plnění funkce lesa. Před dvěma lety byl na daném pozemku vytěžen smrkový porost, a to z důvodu kůrovcové kalamity a teď zde vzniká obnova smíšeného lesa. Tehdejší majitel parcely, Česká zemědělská univerzita, navrhla tuto parcelu k odkoupení a dala do dražby, přičemž parcela byla zapsána v rámci aktualizace územního plánu do skupiny parcel, které jsou vyjmuty z ochrany lesních pozemků v rámci lesního zákona (z. č.289/1995 Sb.), a pro které je přípustná i obytná funkce s přísnými regulacemi.

Při výběru lokality pro svou diplomovou práci jsem si proto řekl, že bych rád do této parcely navrhl stavbu RD, který zachová a esteticky podpoří obnovu a růst okolních porostů. Lze konstatovat, že jsem si ji na základě smluvní domluvy se skutečným majitelem, který nedávno parcelu zakoupil. Tato diplomová práce by mu mohla do budoucna posloužit z velké části jako přípravná dokumentace pro získání stavebního povolení v případě, že by investor chtěl na dané parcele chtěl postavit skutečný objekt.

#### **4.1.2 Průzkum regulací na danou parcelu**

Obec Jevany využívá aktuální platný územní plán, který nabyl účinnosti v lednu v roce 2008. Objednatelem byla v té době obec Jevany a pořizovatelem byl úřad územního plánování Říčany. V současné době dochází k schvalování nově navrženého územního plánu. Nový územní plán by měl být schválen podle úřadu územního plánování mezi lety 2023 až 2024. Veškeré regulace vztahující se k tomuto diplomovému projektu proto vyplývají z aktuálního územního plánu. Pozemek předmětné parcely s číslem 300/190 dosahuje výměry 1413 m<sup>2</sup> je zapsán v katastrálních mapách jako druh ostatní plocha se způsobem využití zeleň (ČÚZK©2022). Podle platného územního plánu (OÚ Jevany ©2008) se jedná o zastavitelnou plochu č. I03 Bydlení na zalesněných pozemcích, z kterého vyplývají tyto následující regulace:

- nízkopodlažní individuální obytné zástavby
- maximálně 2 nadzemní podlaží (podkroví)
- novostavby musí mít vestavěné nebo samovolně stojící garážová stání
- zpevněná plocha pozemku nesmí překročit 10 %
- souvislá zpevněná plocha u novostaveb max. 220 m<sup>2</sup>
- tvar střechy šikmý (pultový, valbový, aj.)
- orientace hřebene s ohledem na okolní zástavbu

Tyto regulace jsou vztaženy na obytnou funkci. Koordinační výkres nezadal pro danou parcelu žádné další odstupové vzdálenosti od pozemků určených k plnění funkce lesa.

#### **4.1.3 Návrh hmotového a dispozičního řešení stavby**

Na základě výše zmíněných regulačních požadavků z hlediska územně plánovací dokumentace jsem započal se samotným návrhem objektu, tedy s jeho umístěním na předmětnou parcelu, a to tak, aby objekt zabral severní chladnou část zahrady, a tedy aby byla jižní prosluněná část zahrady v maximální míře využívána investorem. V raných fázích jsem uvažoval čistě o jednopodlažní objekt, kde výška hřebene střechy byla přibližně v 3,5 m, aby objekt co nejméně zasahoval do krajiny.

Návrh jsem chtěl ozvláštnit atriem, které bylo umístěno přibližně do samotného středu budovy.

Snažil jsem se tedy navrhnout dispoziční řešení na jednopodlažní objekt pro tříčlennou rodinu s atriem. Veškeré dispoziční řešení bylo uzpůsobeno tak, aby okenní a dveřní otvory do obytných místností byly orientovány na jihovýchod, jih a jihozápad. S ohledem na to, že se parcela nachází v lesnaté oblasti v blízkosti nedaleké soustavy vodních ploch, je relativní vlhkost vzduchu vždy vyšší než ve městech, proto jsem nebral zřetel na teplotní pře akumulování obytných místností v letním období. Největším problémem při návrhu dispozice se stal požadavek na celkovou zastavěnost na dané parcele. Musel jsem tedy návrh uzpůsobit tak, aby se celková zastavěnost, tedy půdorysný průmět střechy RD, garáže a veškerých ploch teras, nepřekročila 141,3 m<sup>2</sup>. Podle platného územního plánu muselo být garážové stání součástí návrhu. Nakonec se mi i s ohledem na přísnou zastavěnost podařilo navrhnout dispozici objektu, a tedy obytné místnosti na minimální požadované plochy místností, nicméně jsme se s mým konzultantem i vedoucím práce rozhodli udělat objekt dvoupatrový se zachovaným atriem, aby mohly být plochy místností optimalizovány na komfortní hodnoty.

Nová dispozice umožnila veškeré obytné místnosti situovat do 2.NP, s tím, že zde vznikla ložnice pro dvě dospělé osoby a dva samostatné dětské pokoje, tedy návrh byl uzpůsoben pro čtyřčlennou rodinu. Zároveň byly umístěny v 2.NP dvě koupelny pro větší komfort obyvatel a pro vertikální komunikaci mezi jednotlivými podlažími bylo umístěno na severovýchodní stranu fasády schodnicové smíšenocharé schodiště. V přízemí (1.NP) je situován otevřený prostor, který zajišťuje komfort v obývacím pokoji s pohledem na krb, dále s jídelnou kuchyňským koutem s výhledem do krajiny. S ohledem na tyto skutečnosti byly navrženy okenní a dveřní otvory tak, aby byl INT maximálně propojen s EXT, tedy s výhledem do krajiny. Orientace pultové střechy byla uzpůsobena již stávající zástavbě a otevírá zároveň vizuální kontakt INT a rozhledu do krajiny. Ve všech důležitých komunikačních uzlech v INT slouží atrium se zelení nejen jako esteticky zajímavý prvek, ale má také důležitou funkci případného odvětrání vnitřního prostoru objektu otevíravými okny.

Balkónové konstrukce byly rovněž orientovány tak, aby byl zajištěn výhled do krajiny a aby zároveň byla alespoň jedna strana balkónu částečně zakryta přímému působení slunečního záření ze západu. Z hlediska propojení 1.NP a UT byly navrženy z balkónu schodnicové schodiště, se schodnicí uprostřed, aby byly pohodlně překonány výškové rozdíly. Severní fasáda kvůli zvýšené vlhkosti (malý vliv slunečního záření), ale také kvůli nedostatečné odstupové vzdálenosti mezi fasádou RD a garáže byla pokryta falcovanou povlakovou krytinou, která zajišťuje menší odstupovou vzdálenost RD a garáže, než je tomu u spalného materiálu fasádního systému. Konstrukce garáže byla koncipována podobně jako hmotové řešení objektu.

- Zeleň v atriu

Založení budovy pomocí metody CS umožňuje architektům navrhnout a projektantům vytvořit propojení prostředí INT s venkovní zelení. V poslední době se jedná o velmi oblíbený a žádaný prvek u potenciaálních investorů, kteří chtějí mít ve svém domě něco nevídaného. Takovýmto prvkem může být například strom v obývacím pokoji. Jedná se o to, že se hledem na metodu založení CS, u které se bavíme hlavně o otevřené metodě. Je možné uprostřed objektu umístit kupříkladu nízko zeleň, v některých případech dokonce i stromový prvek. S ohledem na proveditelnost se nejčastěji jedná atrium, tedy o venkovní prostor, na který působí abiotičtí a biotičtí činitelé s přísunem čerstvého vzduchu. Prostor atria můžeme v podstatě dělit na dva typy, a to na:

#### Přístupné

Jedná o výřez objektu, čtvercového, obdélníkového či kruhové tvaru, jenž nám umožňuje vstoupit z INT do EXT na podlahový rošt, tzv. „vnitřní terasu“ pod nebem.

#### Nepřístupné

Slouží pouze k estetickému dojmu a k přísunu čerstvého vzduchu do INT.

Z tepelně technického hlediska je atrium prostor, kde dochází k přerušení obálky budovy v podlahové, stropní a střešní konstrukci, přičemž na tyto konstrukce působí vnější okrajové podmínky (při výpočtu) a tedy uvnitř atria vznikají požadavky stejné jako požadavky na vnější obálku budovy. V případě této práce byl návrh stavby velmi omezen přísným požadavkem na maximální zastavěnost dané parcely do 12 %. Proto se návrh dále zabíral pouze nepřístupným atriem, kde vznikla volná plocha 2,47 m<sup>2</sup> (1,57 x 1,57 m) na níž je velmi problematické umístit vysokou zeleň.

Po konzultaci s odbornicí paní Ing. Evou Voženílkovou, z odboru adaptace na klimatickou změnu, Ministerstva životního prostředí, stále není jasné, jaký přesný typ dřeviny zvolit, a to i s ohledem na blízkou Národní přírodní rezervaci Voděradské bučiny, v níž dominují listnaté monokultury. Podle paní Voženílkové bude existence pro strom v takovém prostoru s nedostatkem přímého slunečního světla velice problematická. Spíše by doporučila řešit tuto problematiku popínavou rostlinou umístěnou v odděleném substrátu (nádobě) od okolního terénu z důvodu zabránění nekontrolovatelnému rozrůstání pod stavbou. Bylo by vhodné použít např. Břečťan popínavý (*Hedera helix*). V závěru uvedla, že pro takto malý prostor by mohl připadat v úvahu jedině z úzko korunných, tzv. „pyramidálních“ kultivarů borovice lesní (*Pinus sylvestris*), javor mléč 'Columnare' (*Acer platanoides* 'Columnare') nebo jinan dvoulaločný 'Fastigiata' (*Ginkgo biloba* 'Fastigiata').

#### **4.1.4 Optimalizace návrhu stavby**

Původním záměrem autora bylo vytvoření architektonicky zajímavé stavby, která měla např. prostupující stropní konstrukci skrz obálku budovy, vystupující plášť

z obvodové konstrukce aj. Tyto poměrně zajímavé architektonické prvky byly záhy zredukovány, a to na základě optimalizace obálky budovy. Jednalo se totiž především o tepelné mosty a tepelné vazby, které bylo nutné v prvních počátcích návrhu zredukovat. Nelze tvrdit, že je nemožné tyto architektonicky zajímavé detaily v praxi realizovat, avšak z hlediska maximální redukce tepelných ztrát s ohledem na navrhování nízkoenergetických staveb, které by měly být energeticky úsporné (viz kapitola 3.9), tedy bez výrazných tepelných ztrát, byla tato původní konstrukce obálky budovy optimalizována, a to zejména v těchto významných částech:

- Předsazené konstrukce balkonů a terasy

Původní vystupující podlahový rošt byl přerušen a nahrazen okolní předsazenou konstrukcí z dřevěných KVH hranolů založených na pilířích (ztracené bednění) a na základových samostatných či spojených betonových patkách.

- Přerušení vystupujícího pláště konstrukce střechy

Původní vystupující plášť byl ukončen na hranách konstrukčního sloupkové rámu dané stěny a dále byl vyveden pouze dřevo - ocelový rošt, jenž tvoří v dvouplášťové střeše provětrávanou vzduchovou mezeru.

Řešení pro původní návrhy bylo jinak muselo být takové, že by došlo k obalení těchto vystupujících konstrukcí tepelnou izolací po celém obvodě, jenže u těchto detailů vznikají poměrně složité detaily napojení zateplovacího systému a dále se nám tloušťka těchto konstrukcí ztrojnásobuje, což výrazně negativně ovlivňuje estetický dojem z celé stavby. Proto se v praxi s těmito konstrukcemi, které jsou obaleny tepelnou izolací ze všech stran setkáme hlavně u rekonstrukcí nebo u staveb, u kterých je kladen estetický dojem před energetickou úsporností dané stavby.

- Vhodnější umístění okenních a dveřních rámu v stěnovém rámu

Původní umístění bylo přibližně na polovině osy rámové konstrukce, a to s ohledem na konstrukční provedení uchycovacích ocelových kotev, estetiku (INT, EXT) a provedení vnějšího okapového plechu. Okenní a dveřní rámy jsou uchycovány místo pásových kotev na purenitový hranol, jenž je roven tloušťce rámu s ohledem na jeho cenu. Rámy jsou umístovány na vnější líc stěnového rámu, tudíž k redukci tepelného mostu postačí protažení fasádního zateplení o  $\pm 30$  mm k zasklívací spáře. Pásky difúzně otevřené a difúzně uzavřené jsou vytaženy až po vnější či vnitřní záklop stěnového rámu.

- Difúzní paropropustnost stěnového sendviče

Z původního návrhu, kde se uvažovalo obalit stěnový rám parotěsnicí fólií (tzv. „parozábranou“) s vysokým faktorem difúzního odporu, a to po celé obálce budovy, byla tato fólie použita jen u problematičtějších detailů jako je např. obalení stropní konstrukce a u napojení průvlaku (těžký skelet) na okenní rám u atria. Na jiných částech konstrukce byla použita jen parobrzdňá vrstva ve formě velkoplošných desek OSB P+D, které mají hrany přelepeny vzduchotěsnicí páskou.

- Obalení okenních rámců a nároží u konstrukce atria

Původním záměrem bylo vytvoření architektonicky zajímavého vnitřního prostředí v INT s ohledem na to, že by skrz prosklené stěny atria (těžkého skeletu) byl vidět jak příslušný soliterní strom (pyramidální úzko korunný listnatý kultivar) či popínavá rostlina na ocelovém laně (břečťan).

## 4.2 Postup posouzení tepelně technického výpočtu

Výpočetní metody pro tepelně-vlhkostní chování stavebních konstrukcí jsou uvedeny v ČSN EN ISO 13788, výpočetní metody pro otvory zahrnuje ČSN EN ISO 1077-2.

Pro návrh, optimalizaci a posouzení konstrukčních detailů byly použity freewarové verze softwarových programů Teplo 2017 EDU a Area 2017 u nichž byly vypočteny, posouzeny a zhodnoceny normativní požadavky na obvodové konstrukce. Ve výpočtech nejčastěji uvažujeme a stanovujeme stacionární okrajové podmínky. Pro vědecké a výzkumné práce, kde nejsou výrazně omezeny časem, lze využít nestacionárních okrajových podmínek, u kterých používáme poměrně složitějších a časově náročnějších metod získání výsledků, avšak se jedná o nejpřesnější stanovení vlhkostního a teplotního pole v dané konstrukce, kterého vůbec můžeme v dnešní době dosáhnout.

- Stacionární (ustálené) podmínky

Tyto hodnoty využíváme v praxi pro méně přesné, ale však velmi rychlé tepelně technické výpočty obálky budovy, ve kterých můžeme zjistit, zda v konstrukci dochází ke kondenzaci a jakých hodnot součinitele prostupu tepla souvrství konstrukce dosahuje. Dosahujeme toho pomocí softwarových výpočtových programů Teplo EDU a Area EDU od pana doc. Dr. Ing. Zbyňka Svobody z ČVUT, fakulty stavební. Tyto programy pracují s knihovnými prvky a přednastavenými okrajovými podmínkami, které lze však ručně přenastavit na individuální okrajové podmínky.

Program Teplo 2017 EDU stanovuje součinitel prostupu tepla, tepelný odpor, nejnižší povrchovou teplotu, teplotní faktor, pokles dotykové teploty a roční bilanci zkondenzované a vypařené vodní páry podle EN ISO 6946, EN ISO 13788, ČSN 730540 a STN 730540.

Area 2017 EDU pracují s posouzením dvourozměrných stavebních detailů z hlediska prostupu tepla, difúze vodní páry. Tohoto posouzení dosahuje pomocí metody konečných prvků. Dále stanovuje vnitřní nejnižší povrchovou teplotu, teplotní faktor, měrný tepelný tok, hustotu tepelného toku vodní páry a roční bilanci zkondenzované a vypařitelné vodní páry podle EN ISO 10211, EN ISO 13788, ČSN 730540 a STN 730540.

- Nestacionární (neustálené) podmínky

Jedná se o nejpřesnější výpočty z tepelné techniky, kterých docílíme pomocí parciálních diferenciálních rovnic druhého řádu, přičemž je nutné tyto rovnice ručně vypsát do speciálních softwarových programů jakým je např. FlexPDE7. Tento

proces nám po zavedení geometrie a průřezových charakteristikách daného materiálu umožní vidět průběh teplot i vlhkostního pole v jakémkoli okamžiku z celého roku. U dřevěných konstrukcí je problém, že z hlediska jejich molekulární stavby nelze striktně říci, že jsou fyzikální hodnoty tohoto materiálu s vlivem vlhkosti konstantní. Jedná se o nejpřesnější výpočty v této dané problematice. Problémem nastává s časovou a teoretickou náročností daných výpočtů, a proto v praxi se tento způsob zatím nevyužívá.

- Posouzení pomocí softwaru Teplo 2017 EDU

Navržené předmětné materiály o stanovených tloušťkách jsem zadal do softwaru Teplo 2017 EDU. Zde jsem zadal stacionární okrajové podmínky pro danou oblast Kutná Hora (v blízkosti obce) Jevany ve Středočeském kraji. Na základě těchto okrajových podmínek a na základě známé třídy vnitřní vlhkosti (třída 2) se automaticky zadaly hodnoty pro: tepelný odpor při přestupu tepla, návrhové povrchové teploty a měsíční průměrná bilance vlhkosti. Poté jsem pro každou konstrukci zadal typ směr tepelného toku (typ konstrukce) a vyplnil jsem jednotlivé materiály v pořadí jakém byly navrženy. Některé materiály jsem zadal z knihovny Svoboda softwaru s normově ověřenými vlastnostmi.

Některé materiály jsem si dohledal u jednotlivých výrobců zvláště. Pro daný výpočet byly zapotřebí tyto veličiny: tloušťka materiálu, součinitel tepelné vodivosti (návrhová hodnota), měrná tepelná kapacita, objemová hmotnost. V případě součinitele tepelné vodivosti jsem dopočítával pro nehomogenní souvrství materiálu hodnoty ekvivalentní. V případě dohledaných materiálů jsem musel dané charakteristické hodnoty přepočítat (navýšit), tedy zhoršit tepelně technické vlastnosti materiálu o pět až deset procent v závislosti na typu materiálu. V případě použití ekvivalentního součinitele tepelné vodivosti jsem již nepočítal s korekcí součinitele prostupu tepla. Takto jsem postupoval u všech výše zmíněných materiálů, na základě ověření jsem provedl ruční výpočet za pomoci MS Office 2016 (excel), kde jsem na základě zadání vzorců potvrdil shodu obou výpočtu součinitele prostupu tepla (viz kapitola 4.3).

Pomocí tohoto softwaru jsem provedl posouzení u jednotlivých konstrukcí na normativní tepelně technické požadavky stanovené podle ČSN 73 0540 – 2. Jedná se zejména o posouzení požadovaných hodnot těchto veličin: součinitele prostupu tepla, teplotního faktoru, bilance zkondenzované vodní páry a dodatečného posouzení projektantem jestli kondenzace ohrožuje konstrukci. K posouzení kondenzace projektantem dochází na základě grafu rozložení relativní vlhkosti vzduchu v místě konstrukce v % (při teplotě vzduchu 20 °C), kde software vyhodnotí tuto vlhkost nad 80 %, je potencionální riziko, že celková vlhkost daného materiálu přesáhne kritickou hodnotu 18 %, kde začínají dřevěné prvky napadat biotičtí činitelé. Prakticky jsem převzal relativní vlhkost vzduchu z předmětného grafu, našel jsem si sorpční křivku daného materiálu a stanovil jsem výslednou hodnotu vlhkosti daného materiálu v %. Při stanovení tohoto posouzení jsem bral na zřetel, jestli se



jedná o dřevěné materiály nosné či nenosné konstrukce s ohledem na to, jakých důsledků by zvýšená vlhkost mohla mít.

- Posouzení pomocí softwaru Area 2017 EDU

Poté co jsem navrhl pro předmětné konstrukce obálky budovy dané materiály a posoudil je v rámci jednorozměrného teplotního pole v softwaru Teplo 2017 EDU jsem rozkreslil pět reprezentativních detailů: detail soklové části, detail stropní konstrukce, okenního rámu, střechy - jižní fasáda, detail atiky – atria. Jelikož se v detailech střešních konstrukcí nacházejí šikmé vazby, musel jsem použít v programu Area EDU 2017 model detailu s obecně křivočarými hranicemi oblastí. Zadávání hmoty konstrukcí a zadávání samotných okrajových podmínek se od modelu s pravoúhlými hranicemi oblastí (tradičního modelu) poměrně značně liší.

Musel jsem nejprve vymodelovat dopodrobna geometrii detailů v softwaru Archicad 2021, kde jsem jednotlivé detaily dopodrobna rozkreslil a tím jsem graficky definoval vstupní údaje složené dvourozměrným polem souhrnem bodů a čar. Rozkreslení jsem provedl na požadovanou minimální vzdálenost od hrany detailu 1 m na každou stranu. Pro rámy a výplně okenních a dveřních otvorů jsem velmi zjednodušil geometrii na obdélníkové tvary a výplně těchto materiálů (vzduchové dutiny zanedbány). Následně jsem z Archicadu 2021 vyexportoval soubory pracující s softwarem Autocad 2018 s příponou dxf. Tyto soubory jsem nejprve nahrál do softwaru Autocadu 2018, kde jsem poměrně dopodrobna zkoumal a opravoval nepřesnosti rýsování s přesností na 0,01 mm. Tento krok byl poměrně klíčový (viz dále). Následně jsem vyexportoval jednotlivé detaily ve formátu dxf a nahrál je do přídatného softwaru Meshgen Area 2017 EDU, který slouží jako převodník mezi dxf a samotným softwarem Area 2017 EDU pro model detailu s obecně křivočarými hranicemi oblastí.

V softwaru Meshgen Area 2017 EDU jsem po nahrání souborů opravil chyby geometrie pomocí automatických nástrojů. Pokud automatické nástroje nefungovaly, musel jsem pomocí nástrojů tohoto programu tedy pomocí bodů a křivek dotvarovat předmětnou hranici materiálu. Ukázalo se, že tento software je velmi citlivý na sebemenší nepřesnosti. Body byly tedy definovány pomocí x-ových a y-nových souřadnic. Po opravení geometrie jsem zadal automatické vyplnění výplní materiálu. Tam kde se materiály sami nevyplnily jsem musel přistoupit k ručnímu zadávání pomocí metody kliknutí na příslušnou hraniční křivku. Následně jsem plochám přidělil materiál, přičemž jsem pro každý stanovil jméno, barvu a plochy kterých se daný materiál týkal.

Dále jsem stanovil okrajové podmínky pro dané hrany, rozdělil jsem primárně na podmínky v INT a EXT a dále jsem je přerozdělil na hrany: vodorovné, svislé, u okenních rámu a dále hrany, které byly u provětrávaných vzduchových mezer. V závěru jsem nechal vykreslit trojúhelníkovou diagonální síť o maximálním počtu uzlů 40000, která přenesla s sebou požadované informace. Vygeneroval jsem soubory v textovém formátu, které jsem následně nahrál do softwaru Area 2017.

V předmětném softwaru jsem nejprve musel v geometrii pro každý daný materiál stanovit skutečné vlastnosti materiálu k tomu jsem použil opět knihoven od Svoboda software, kde jsem přidal ke každému materiálu požadované návrhové hodnoty součinitele tepelné vodivosti a měrné tepelné kapacity. U dveřních a okenních otvorů (rámy, skelní a dveřní výplně) jsem převzal hodnoty součinitele prostupu tepla charakteristické a přepočítal je z vztahu součinitele prostupu tepla s použitím korekcí, tedy na základě známých tloušťek, kde jsem si dopočítal charakteristické hodnoty součinitele tepelné vodivosti, které jsem přepočítal na návrhové (o 5 až 10 % vyšší hodnoty). Mimo těchto hodnot jsem tam také musel pro každou okrajovou podmínku stanovit její hodnoty působení (INT, EXT) a také to jakým směrem působí tepelný tok (vodorovný, zdola nahoru, shora dolů).

Poté jsem provedl výpočet a vygeneroval se protokol, kde je vyobrazena tepelná propustnost mezi prostředím a okolím, kterou použijeme pro výpočet lineárního činitele prostupu tepla, pro jehož výpočet je dále zapotřebí součinitel prostupu tepla a délka daného výseku konstrukce. Pro sendvičové konstrukce jsem použil vypočítané hodnoty ze softwaru Tepla 2017 EDU. Hodnota se zadává pro celý výsek konstrukce (1 x 1 m) přičemž okenní a dveřní rámy a výplně je tato hodnota zadávána zvlášť. Na tuto veličinu jsou vztaženy opět normativní požadavky (viz kapitola 3.8.4). V protokolu se dále dočteme, zda dochází v konstrukci ke kondenzaci či nikoli a pokud ano je klíčové to, aby množství kondenzující vodní páry bylo menší než množství odpařitelné vodní páry v [kg/m.s ].

### **4.3 Postup optimalizování tepelně technického výpočtu**

Optimalizace konstrukce obvodového pláště, konstrukce podlahového roštu a konstrukce střeš proběhla pomocí softwaru Teplo 2017 EDU. Na základě přechodných zkušeností z předchozích školních i praktických projektů jsem si rozvrhl hrubé a orientační dimenze tloušťek daných materiálů jednotlivých souvrství předmětných sendvičových konstrukcí. Tyto konstrukce jsem si rozdělil na:

- podlahový rošt
- stěnovou sendvičovou konstrukci
- střešní sendvičovou konstrukci
- stěnovou sendvičovou konstrukci v atriu

Postupoval jsem tak, že jsem si nejprve udělal průzkum materiálů na stavebním trhu, jaké existují materiály, jaké mají fyzikální a mechanické vlastnosti, kolik stojí peněz apod. Na základě tohoto průzkumu trhu jsem stanovil užší výběr, kde jsem podle svého nejlepšího mínění a svědomí stanovoval nejvhodnější materiálovou kombinaci. Nicméně v tomto případě došlo k pár dodatečným úpravám, např. se jednalo o užší výběr deskového materiálu spodního záklopu, který bude v přímém kontaktu se vztlínající vlhkostí, tedy s prostředím s vyšší relativní vlhkostí vzduchu pod budovu. Mezi materiály jsem vybíral na základě bočních úprav desek (P+D, na sraz), dále

podle tlouštěk materiálu, faktoru difúzního odporu, třídy reakce na oheň a podle ceny.

Dále došlo ke změně, tedy k odstranění původní parotěsnicí fólie ze strany INT, která měla zabránit pronikající vlhkosti z INT do konstrukce, a to hlavně v místnostech s potencionální zvýšenou vlhkostí, konkrétně v koupelnách a v kuchyňském koutu. Předmětná parotěsnicí vrstva vytvořila v stěnové a střešní konstrukci difúzně nepropustnou vrstvu. Návrh celé konstrukce stavby byl přitom zamýšlen jako difúzně otevřená skladba celé obálky budovy, a to i v soklové části, což je v praxi s klasickými způsoby plošného zakládání staveb prakticky nemožné. Pro zachování difúzní otevřenosti konstrukce byla proto parotěsnicí vrstva obálky budovy nahrazena parobrzdným deskovým materiálem a odstraněna až na problematická místa, zejména napojení stropní konstrukce na obvodovou stěnu, kde dochází k obalení stropní desky od deskového materiálu z 1NP. Do 2.NP.

Parotěsnicí vrstva byla také zachována u napojení střešní konstrukce na průvlak těžkého skeletu. V místnostech s potencionálně vyšší relativní vlhkostí vzduchu a případné hrozby kondenzace vodní páry byly umístěny od předstěn speciálně upravené deskové materiály z SDK s použitím do vlhkostních prostředí. V rámci optimalizace proběhla po vypočítání součinitele prostupu tepla a vygenerování tabulek relativní vlhkosti v konstrukci v optimalizování jednotlivých vrstev konstrukce, např. byl vyřazen ze stěnové, podlahové a střešní konstrukce deskový materiál druhého vnějšího záklopu, kde docházelo k mírné kondenzaci. Dále z technologického hlediska byla nahrazena na fasádním zateplení dřevovláknitá deska steico flex 038 méně houževnatou deskou steico therm dry. Dále byly upraveny tloušťky tepelných izolací vnějšího pláště natolik, aby hodnoty součinitele prostupu tepla všech konstrukcí splňovali normativní požadavky pro pasivní domy s co nejnižšími teplenými ztrátami obálky budovy (viz kap. 4.2).

Druhá optimalizace proběhla při hodnocení dvourozměrného teplotního pole, kde docházelo po odstranění parotěsnicí fólie z oblasti základového soklu a stropní konstrukce k povrchové kondenzaci u některých materiálů. V těchto dvou detailech bylo celkové množství zkondenzované vodní páry vyšší než množství odpařitelné vodní páry. Proto bylo nutné navrhnout další optimalizaci těchto detailů, včetně jejich vyhodnocení, viz kapitola 5.1.2.

#### **4.4 Předběžný a položkový rozpočet**

Součástí diplomové práce je nacenění objektu, které se skládá ze dvou částí. V rámci předběžného orientačního rozpočtu ze softwaru Kubix, kde na základě obestavěného prostoru a podlahové plochy byla stanovena předběžná cena. Dále byl objekt dopodrobna naceněn položkovým rozpočtem, který byl proveden pomocí softwaru Kros 4 (viz Příloha Rozpočet stavby), kde se jednalo o podrobně sestavený rozpočet, včetně všech materiálů, stavebních a projekčních prací apod. Tento rozpočet byl vytvořen v rámci předmětu Rozpočtování staveb, jenž jsem v rámci svého studia

absolvoval v třetím semestru pod vedením pana doc. Ing. Mgr. Romana Sloupa, Ph.D.

Součástí předmětu byla i závěrečná semestrální obhajoba práce. Nacenění proběhlo v listopadu v roce 2021 a zahrnovalo aktuální ceny na předmětnou dobu. Předběžná cena objektu z předběžného rozpočtu činila **7.515.884,11,- Kč s DPH** a výsledná cena z položkového rozpočtu vyšla **8.174.397.70,- Kč s DPH**. Následně byl položkový rozpočet upraven s ohledem na výsledný stav objektu.

## 5 Výsledky a diskuze

### 5.1 Výsledky tepelně technických výpočtů

#### 5.1.1 Jednorozměrné teplotní pole

K vypočítání a zhodnocení výsledků jednorozměrného teplotního byl použit software Teplo 2017 EDU. Ve výpočtu byly použity vztahy z kapitoly 3.8. Postup výpočtu je sepsán v kapitole 4.2 (viz výše). Výpočet byl proveden v souladu s ČSN 730540-2.

Tab. č. 5 Výsledky výpočtu jednorozměrného teplotního pole (Teplo 2017 EDU)

	Detail	Obvodová stěna	Podlahový rošt	Pultová střecha	Stěna atria	Jednotky [-]
Fyzikální veličina	Součinitel prostupu tepla	0,159	0,09	0,102	0,161	[W/m <sup>2</sup> .K]
	Je splněna požadovaná hodnota U,N	ANO	ANO	ANO	ANO	[-]
	Tepelný odpor	6,135	10,855	9,636	6,044	[m <sup>2</sup> .K/W]
	Hodnota teplotního faktoru	0,961	0,978	0,975	0,961	[-]
Je splněn min. požadavek na Ø teplotní faktor (0,751)?		ANO	ANO	ANO	ANO	[-]
Splnění minim. hodnoty U pro Upas?		ANO	ANO	ANO	ANO	[-]
Dochází v konstrukci ke kondenzaci ?		NE	NE	ANO	NE	[-]
Je množství kondenzátu menší než odpařené vodní páry?		ANO	ANO	ANO	ANO	[-]
Dochází v konstrukci k vyšší relativní vlhkosti vzduchu než 80%?		ANO	ANO	ANO	ANO	[-]
Pokud ano, ohrožuje tato vlhkost dřevěné prvky v nosné konstrukci?		NE	NE	NE	NE	[-]
Jsou splněny požadavky na šíření vlhkosti v konstrukci podle ČSN 730540-2		ANO	ANO	ANO	ANO	[-]

Na základě prvního stupně návrhu souvrství jednotlivých konstrukcí byla navržena optimalizace, u které byly posouzeny na normativní požadavky fyzikální veličiny, které jsou obsaženy v Tab. č. 5. Z předmětné tabulky je patrné, že v konstrukci Pultové střechy dochází k mírné kondenzaci. Způsobuje to umístěna pojistná HI na vnějším líci konstrukce, která má poměrně rozdílný (vyšší) faktor difúzního odporu oproti předchozím dřevovláknitým konstrukcím. Nicméně množství zkondenzované vodní páry činí 0,0046 kg/m<sup>2</sup> za rok je o tři řády nižší než množství

odpařitelné vodní páry, které činí 8.2638 kg/m<sup>2</sup> za rok. Podmínka je pro to splněna. Ve všech konstrukcích jsou jinak veškeré normativní požadavky splněny, a to i přesto, že v každé konstrukci přesáhla hodnota relativní vlhkosti materiálu nad 80 % po dobu max. 90 dní. Musel jsem proto vyhodnotit a posoudit na základě sorpční křivky daného materiálu jeho hmotnostní vlhkost, která nepřesáhla 18 % (viz Příloha č. 37). Jelikož se jednalo pouze o vnější tepelně izolační materiály (v případě střechy i paro-propustná DHF deska) lze konstatovat, že zmíněná nadměrná vlhkost neohrožuje nosnou část dřevěných prvků konstrukce. Lze konstatovat, že jsou všechny normativní požadavky podle ČSN 730540-2 splněny.

### 5.1.2 Dvourozměrné teplotní pole

K vypočítání a zhodnocení výsledků jednorozměrného teplotního byly použity softwary Meshgen Area 2017 EDU a Area 2017 EDU. Ve výpočtu byly použity vztahy z kapitoly 3.8. Postup výpočtu je sepsán v kapitole 4.2 (viz výše). Výpočet byl proveden v souladu s ČSN 730540-2.

Tab. č. 6 Výsledky výpočtu dvourozměrného teplotního pole (Area 2017 EDU)

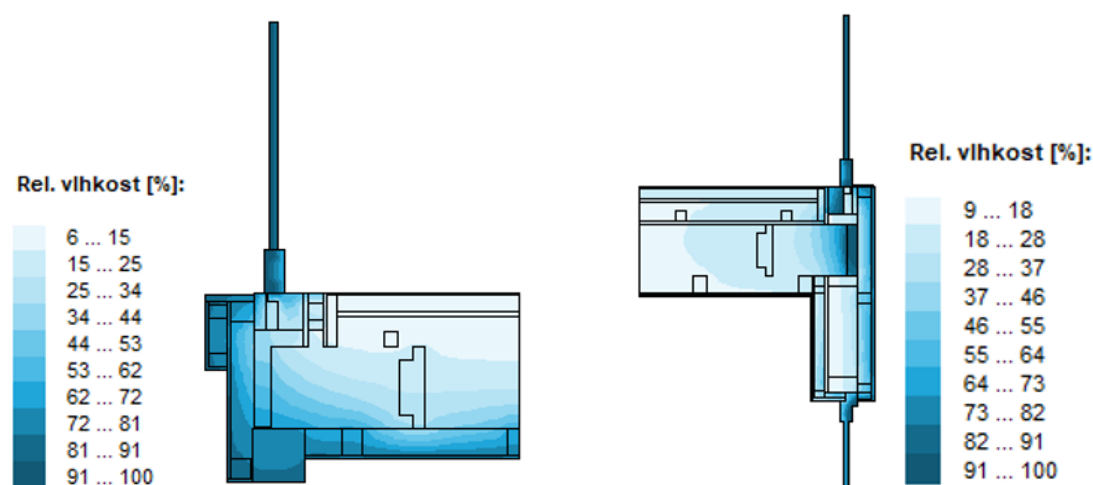
	Detail	Soklové části	Stropní konstrukce	Okenního rámu	Střechy (jižní část)	Střechy (atrium)	Jednotky
	Příloha	A-SŘ 16	A-SŘ 17	A-SŘ 18	A-SŘ 19	A-SŘ 20	[-]
Fyzikální veličina	Prům. hodnota teplotního faktoru, $f_{Rsi,m}$	0,844	0,914	0,807	0,77	0,77	[-]
	Je splněna požadovaná hodnota, $f_{Rsi,cr}$	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	[-]
	Min. povrchová teplota v prostředí, $T_{s\ min.}$	7,10	7,10	12,63	18,76	12,72	[°C]
	Nejnižší teplota rosného bodu, $T_w$	10,18	10,18	10,18	10,18	10,18	[°C]
	Pokud dochází k povrchové kondenzaci ohrožuje to funkčnost nosné kce?	NE	NE	[-]	[-]	[-]	[-]
	Vypočtená hodnota z vnějších rozměrů, $\psi_e$	0,092	0,18	-0,06	-0,137	-0,095	[W/mK]
	Byla splněna max. požadovaná hodnota $\psi_{N=0,2}$ ?	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	[W/mK]
	Byla splněna doporučená hodnota $\psi_{N=0,1}$ ?	ANO	ANO	ANO	NE	ANO	[W/mK]

	Byla splněna doporučená hodnota pro pasivní budovy $\psi_{Pas}=0,05$ ?	NE	NE	NE	NE	NE	[W/mK]
	Dochází v konstrukci na základě nejnižší povrchové teploty ke povrchové kondenzaci?	ANO	ANO	NE	NE	NE	[-]
	Pokud ano, ohrožuje tato vlhkost dřevěné prvky v nosné konstrukci? (1. vlhkostní požad.)	NE	ANO	NE	NE	ANO	[-]
	Naplnuje k-ce vlhkostní požadavek, že roční množství kondenzátu < roční kapacita odparu? (2. vlhkostní požadavek)	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	[-]
	Jsou splněny požadavky na šíření vlhkosti v konstrukci podle ČSN 730540-2?	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	[-]

Na základě druhého posouzení jednotlivých detailů ve dvourozměrném teplotním bylo zjištěno, že docházelo v případě detailu soklové části a stropní konstrukce k nadměrné povrchové kondenzaci. V případě soklové části, která je umístěna nad trvale provzdušněným vzdušným prostorem docházelo i ke kondenzaci vnitřní. Nepomohla tomu ani optimalizace konstrukce v podobě obalením soklového základového prahu pomocí minerální vlny k zamezení šíření kondenzace. Bylo totiž zjištěno, že vlhkost, která zde kondenzuje pochází z interiéru, kde byla mezi vstupními parametry zadána relativní vlhkost vzduchu 50 % (v praxi ověřená vlhkost vzduchu pouze 40 % v INT). V případě, že došlo k odebrání vzduchotěsnicí fólie (parozábrany) o vysokém faktoru difúzního odporu a jejímu nahrazení za parobrzdnu vrstvu v podobě OSB desky, nebyl její účinek dostatečný a z INT se vlhkost z konstrukce dostala do souvrství, kde měla problém s odpařením, protože v případě soklové části došlo k utěsnění fasádní strany pomocí dřevěných prvků konstrukce podlahového roštu. V případě spodního líce došlo k utěsnění použitím deskového materiálu Fermacell, který má rovněž vyšší faktor difúzního odporu než materiály pouze na bázi dřeva. Nicméně byl tento deskový materiál zde umístěn záměrně, protože v tomto prostoru dochází k vzlínání zemské vlhkosti a vyšší koncentrace vlhkosti vzduchu v závislosti na ročním období, než navrhovaných 80 %.

V případě stropní konstrukce došlo prakticky k tomu samému problému, který byl zmíněn u detailu soklové části, nicméně s tím rozdílem, že kolem stropní konstrukce byla natažena parotěsnicí fólie, která měla ochránit stropní konstrukci od okolního prostředí (EXT). V praxi se s tímto návrhem můžeme běžně setkat, stejně jak uvádí Kol (2011) v kapitole 3.6.4. Parotěsnicí fólie měla v tomto případě opačný účinek, tudíž zabráňovala uvolnění vlhkosti z INT do EXT. Celkové množství zkondenzované vodní páry v obou případech bylo vyšší než odpařitelné.

Obr. č. 41 (levý) Průběh vlhkosti v optimalizovaném detailu soklové části (vlastní tvorba ; Area 2017 EDU), Obr. č. 42 (pravý) Průběh vlhkosti v optimalizovaném detailu stropní konstrukce (vlastní tvorba ; Area 2017 EDU)



V případě optimalizace soklové části byla navržena parotěsnicí fólie ze strany podlahy (INT), která výrazně zredukovala kondenzaci na požadovanou hodnotu (viz Obr. 41). V případě stropní konstrukce nepomohlo ani odebrání parotěsnicí fólie (viz Obr. 42). Nutno podotknout, že jsou hodnoty množství zkondenzované a odpařené vodní páry prakticky totožné, tudíž navrhuji veškeré dřevěné prvky impregnovat povrchovým nátěrem proti případné vznikající vlhkosti. Detaily byly také vyhodnoceny v případě povrchové kondenzace, ke které docházelo k výše zmíněným dvěma detailům. Kde byla posouzena na základě vstupních údajů, tedy relativní vlhkosti vzduchu v INT, min. povrchové teploty vzduchu ze sorpční křivky dřeva maximální hmotnostní vlhkost pro dřevěné prvky (viz Příloha č. 37). V případě soklové části, kde min. povrchová teplota činila  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  a relativní vlhkost vzduchu činila 50 % (v praxi 40 %), byla max. vlhkost dřevěných prvků stanovena na 15 %. Stropní konstrukce byla posouzena stejným principem, u které došlo k max. vlhkosti 20 %, z čehož vyplývá, že je nutné dřevěné prvky v tomto místě impregnovat a chránit proti potencionálnímu vzniku plísní a dřevokazných hub. Lze konstatovat, že ostatní detaily vyhověly na povrchovou i vnitřní kondenzaci i na požadovanou hodnotu lineárního činitele prostupu tepla a teplotní faktor. U všech detailů nebyla dosažena hodnota lineárního činitele prostupu tepla pro pasivní budovy.

## 5.2 Porovnání metody Crawl Space s ohledem na svažítost pozemku se standardními způsoby založení z pohledu stavební fyziky

- Porovnání metody CS a klasického způsobu zakládání dřevostaveb

Podlahový rošt u uzavřené metody CS je principiálně uložen na základových stěnách (pasech) nad UT. Tento prostor je z pohledu tepelné techniky temperován, protože vzduch je do určité míry také částečným izolantem a pomocí řízených jednotek, tedy řízeném proudění vzduchu do a vně uzavřeného prostoru se dá regulovat vlhkost vzduchu uvnitř uzavřeného prostoru, tak aby nevznikla riziková rel. vlhkost vzduchu.



Otevřená metoda CS je založena nejčastěji na základových prazích, které jsou uloženy na základových pilířích (patkách). Tato metoda je vhodná pro sklonité pozemky v povodňových oblastech, u nichž při dostatečné výšce nad UT (min. 500 mm) dosahujeme kvalitní ochrany dřevěné konstrukce v podobě kvalitního a neustálého provětrání celé spodní stavby. Výškovým rozdílem vzniká tak ochrana i před přívalovým deštěm (drobnými povodněmi). Obálka budovy tedy končí u podlahového roštu, proto se zvyšují nároky na tepelně technické požadavky podlahového roštu, kde je prakticky tloušťka tepelně izolačního materiálu prakticky identická s tloušťkou tohoto materiálu u obvodové stěny.

V porovnání mezi metodou CS a klasickým způsobem plošného zakládání dřevostaveb vidíme z Tab. č. 7 poměrně značné rozdíly. Založení pomocí metody CS nabízí řadu inovativních přínosů. Pokud nechťejí podsklepený objekt nabízí se toto alternativní řešení založení stavby, které si zakládá na různorodosti materiálové kompozice v podobě tepelných zisků, dále pak zajišťuje tento způsob založení ochranu podlahového roštu od potencionálního rizika výskytu radonu, zemní vlhkosti, přívalových dešťů apod. Avšak za vyšší cenu pořizovacích nákladů v podobě nevyužívaného obestavěného prostoru, pořízením řízených jednotek odvětrání či senzorů vlhkosti (uzavřená metoda CS). V případě otevřené metody připadá problém s estetickou hodnotou stavby, s přístupným prostorem pod stavbou, jenž by se neměl ničím vyplňovat (např. vyskládané dřevo apod.). Naopak nabízí tato metoda v případně řádného provedení bezpečnost nosné konstrukce (podlahového roštu) před zemní vlhkostí, možností vedení TZB a případné revize a sanace nosné konstrukce podlahy.

Tab. č. 7 Porovnání základních metod založení u dřevostaveb

Metoda založení	Otevřená metoda CS	Uzavřená metoda CS	Uzavřená metoda CS
Redukce tepelných ztrát v soklové části základové konstrukce	5	5	3
Možnost umístění TZB pod stavbu v návaznosti na cenu za provedení	3	5	1
Propustnost vodní páry v soklové části (hrozba kondenzace)	5	3	2
Problém s odizolováním spodní stavby proti vodě (náročnost provedení)	4	2	2
Problém s odizolováním spodní stavby proti radonu (náročnost provedení)	5	3	1
Použití na rovinatých terénech (sklon do 2 %)	2	5	5
Použití na méně sklonitých terénech (sklon od 2 do 10 %)	4	3	2
Vhodnost použití na velmi sklonitých terénech (sklon od 10 %)	5	2	1

Použití v oblastech s častým výskytem přívalových dešťů	5	3	1
Vhodnost použití tohoto založení u menších staveb (RD)	5	5	4
Vhodnost použití tohoto založení u velkoformátových staveb (BD, Haly)	2	3	5
Estetický dojem stavby s ohledem na zvyklosti a zažitá principy	1	3	5
Možnosti použití materiálové kompozice pro základové konstrukce	4	3	4
Možnosti revize a případně sanace pod podlahové části roštu	5	3	1
Cenová náročnost na odvětrání	5	2	3
Rozdíly v pořizovacích nákladech (výkopy, materiál, pracnost)	4	3	3
<b>Celkem bodové ohodnocení</b>	<b>64</b>	<b>53</b>	<b>43</b>
Pozn: Hodnocení 5 bodů nejvíce vhodné, 1 bod nejméně vhodné			

Výsledná předmětná tabulka nemá vyzdvihnout pouze jednu z těchto tří zkoumaných metod založení, ale spíše upozornit na rozdíly, výhody či nedostatky mezi jednotlivými systémy. Nelze totiž konstatovat, že jedna metoda je vhodná na všechny druhy parcel. Každý objekt či parcela je svým způsobem jedinečná, a to jak z pohledu: sklonitosti a velikosti parcely, geologickými poměry, klimatickými podmínkami apod. Na druhou stranu nám z tabulky vyplynulo, že kupříkladu otevřená metoda CS je vhodná na více sklonité terény a jedná se o jedinou metodu založení, která má difúzně otevřený podlahový rošt. Zde jsem shledal největší shodu v oblasti posuzovaných okruhů.

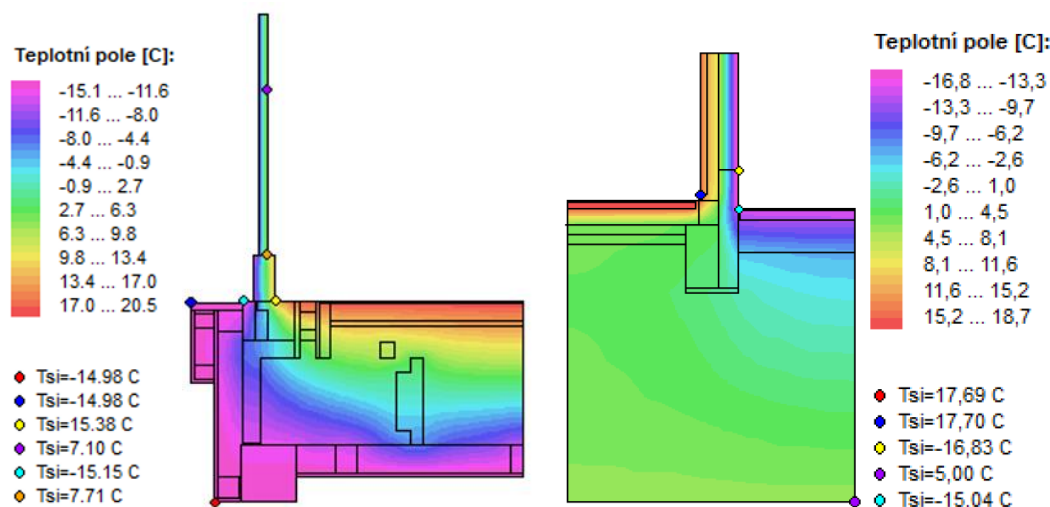
Uzavřená metoda CS je tedy vhodná pro méně sklonité a rovinnaté pozemky, s tím že je vhodnější např. pro vedení TZB oproti otevřené metodě CS. V případě plošného klasického zakládání (patky, desky, pasy) lze konstatovat, že tato metoda je vhodná pro spíše rovinnaté a mírně sklonité pozemky, bez výskytu radonu. Poměrně zajímavou alternativou plošného zakládání může být založení na plovoucí desce, kde jsou zpravidla vyřešeny tepelné mosty, nicméně se stále jedná o difúzně uzavřenou konstrukci. U zakládání dřevostaveb vzniká však problém v soklovém detailu, kde vzniká se střetávají tři prostředí, které působí na danou posuzovanou vazbu a také případná zkondenzovaná voda se nemá zpravidla kam odpařit a vzniká zvýšená hmotnostní vlhkost (>18 %), tedy vzniká riziko napadení dřeva biotickými činiteli.

- Porovnání otevřené metody CS a klasického založení z pohledu stavební fyziky

V případě otevřeného systému CS se jedná o systém, který má trvale otevřenou spodní stavbu, tudíž dochází k samovolnému proudění vzduchu po celou dobu. Konstrukce podlahového roštu je zpravidla obalena pojistnou HI, a to z důvodu

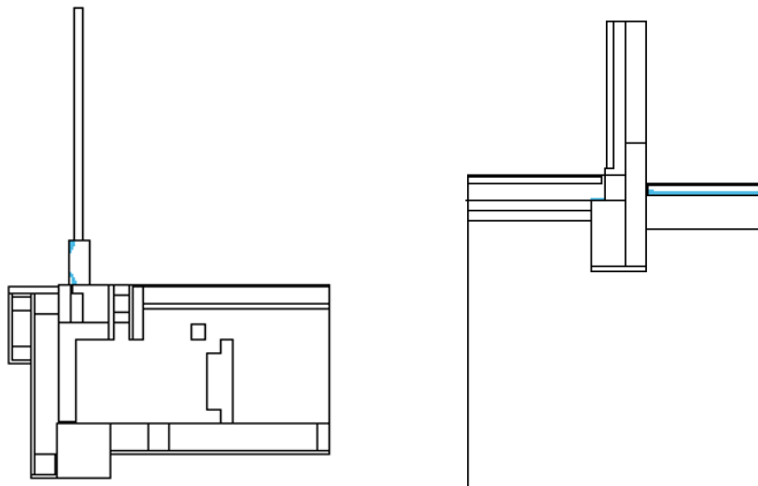
ochrany konstrukce proti vztlínající zemi vlhkosti, Zde se bavíme zpravidla o difúzně otevřených konstrukcích s tím, že ale v případě použití pojistné HI musíme z důvodu vyššího faktoru difúzního odporu počítat s vznikající vlhkostí. Proto se u této metody zdá vhodnější variantou použití alternativních aglomerovaných deskových materiálů na bázi pojiv (např. deska Fermacell), které jsou difúzně otevřenější a zároveň odolné vůči vztlínající vlhkosti. V tomto případě je však nutné udělat kvalitní odvodnění a povrchové vodě zabránit vniknout do spodní stavby.

Obr. č. 43 (levý) Teplotní pole v soklové části, metoda otevřeného CS u diplomového projektu (vlastní tvorba ; Area 2017 EDU), Obr. č. 44 (pravý) Teplotní pole v soklové části, stěnový CLT panel založený na základovém pásu (vlastní tvorba ; Area 2017 EDU).



Zde vidíme rozdíl mezi otevřeným systémem CS (viz Obr. 43), kde je průběh teplot v dané konstrukci pozvolný a nedochází k žádným výrazným změnám v okrajových podmínkách a nerovnoměrným průběhem teplot, kde nám vstupuje do výpočtů i zemi vlhkost (tři okrajové podmínky), (viz Obr. 44).

Obr. č. 45 (levý) Oblast kondenzace vodní páry i difúzně otevřené konstrukce v soklové části, metoda otevřeného CS u diplomového projektu (vlastní tvorba ; Area 2017 EDU), Obr. č. 46 (pravý) Oblast kondenzace vodní páry i difúzně uzavřené konstrukce v soklové části, stěnový CLT panel založený na základovém pásu (vlastní tvorba ; Area 2017 EDU)



Zde vidíme rozdíl mezi otevřeným systémem CS (viz Obr. 45) a základovým pásem (viz Obr. 46), kde je zkondenzovaná vodní pára pouze u základového pásu. Na boční hranu základu je z důvodu zemní vlhkosti a ochrany HI pásů zpravidla umístěn XPS s vysokým faktorem difúzního odporu. Bohužel se u tohoto typu difúzně uzavřené konstrukce v soklové části konstrukce kondenzace nemá prakticky kam odpařit a tím přímo ohrožuje dřevěnou nosnou konstrukci stěny. U otevřené metody CS ke kondenzaci dochází jen ve dveřním rámu, kde se odpaří. Pokud by k ní však u tohoto typu konstrukce docházelo, zkondenzovaná voda by se bez problému odpařila.

### 5.2.1 Uzavřený systém

Výhody a nevýhody tohoto systému založení staveb byly zaznamenány v Tab. č. 8.

Tab. č. 8 Výhody a nevýhody uzavřené metody Crawl Space

Výhody	
+	vzduchová vrstva je potenciální další tepelný izolant
+	estetika - prostor pod budovou je zakryt základovými stěnami, výsledek budova s nepatrně zvednutou soklovou částí
+	není nutné řešit přebytečné dimenze izolace TZB rozvodů
+	potenciální bezporuchovost vedení TZB (snadná revize, výměna)
	vhodné na rovinaté případně méně sklonité pozemky
Nevýhody	
-	nutné řešit řádné odizolování základ. stěn a spodní stavby vůči zemní vlhkosti
-	při velkých výkyvech teplot dochází v uzavřeném prostoru k vícenákladům na vytápění či chlazení obytného prostoru
-	velké tepelné technické a hydroizolační nároky na základové stěny

-	vícenáklady s vybudováním nevyužitého prostoru (oproti obytnému)
-	vícenáklady v podobě pořízení autonomního systému rekuperační jednotky a senzorů vlhkosti
-	temný a vlhký prostor s vyšší potencionální vlhkostí vzduchu (ideální podmínky pro vznik kondenzace, riziko napadení abiotickými škůdci)
-	nutná správná dimenze a umístění vstupních větracích otvorů
-	v případě poddimenzování je zde potencionální riziko s vznikem kondenzátu, při předdimenzování jsou to vícenáklady na pořízení a údržbu těchto zařízení
-	méně vhodné pro sklonité parcely a parcely v povodňových oblastech
-	nutné řešit problematiku výskytu radonu (odvedení z konstrukce)
-	nutné řádné odizolování základových stěn od spodní stavby (zabránění vztlínání vody v INT, dodatečné drenáže v okolí stavby v EXT)
-	velmi konstrukčně a finančně náročné odstupňování základové konstrukce
-	u velkoformátových staveb nutné řešit nedostatečné provětrání (je nutné do budovy umístit určitý počet otevřených komínových prostupů, které podpoří sání pomocí komínového efektu a proudění vzduchu bude kontinuální)

### Vyhodnocení uzavřené metody CS

Na základě výše zmíněných poznatků lze konstatovat, že uzavřená metoda CS je vhodná pro použití na rovinatých pozemcích, kde nehrozí trvalé ohrožení povrchové (stojaté) a podzemní vody proti vztlínání skrz základové stěny k podlahovému roštu. Tato metoda založení není vhodná na sklonitých pozemcích, pozemcích v povodňových oblastech nebo na pozemcích, kde hrozí riziko vyššího výskytu radonu. Na tyto parametry musíme při návrhu uzavřené metody CS důrazně dbát. Zde je nutné zalamovat (odstupňovat) základové pásy při velkém sklonu, což vede k složitým a nákladným konstrukčním detailům.

### **5.2.2 Otevřený systém**

Výhody a nevýhody tohoto systému založení staveb byly zaznamenány v Tab. č. 9.

Tab. č. 9 Výhody a nevýhody otevřené metody Crawl Space

	<b>Výhody</b>
+	budovu lze umístit na sklonité i velmi sklonité terény, skalní podloží bez nutnosti zásahů do půdy ( $\alpha > 10\%$ )
+	poměrně jednoduchá konstrukce, návrh i její realizace (zemních prací)
+	jednoduché zakládání, zemní vruty, pilíře z ztraceného bednění apod.
+	v případě použití betonových základových pilířů jednoduché výkopové práce pro plošný základ (základová pátky)
+	není nutné řešit riziko výskytu radonu
+	jediná konstrukce, která dokáže být difúzně otevřená i v oblasti soklu
+	trvalé odvětrání, redukce vlhkosti
+	jediný způsob umožňující výstavbu nad hladinou vody (viz kapitola 3.4.6.3)
	<b>Nevýhody</b>
-	negativní estetický dojem (vysoké základy)

-	proudění vzduchu musí být kontinuální (vysoké základy se nesmí vyplňovat)
-	výška UT od podlahového roštu min. 500 mm - zachování kontinuál. proudění
-	podlahový rošt vysoko nadzemí (problematický bezbariérový přístup)
-	nutné zachovat dostatečný odstup fasády od okolních budov (překážek) pro řádné provětrání
-	subtilní základové konstrukce je nutné zavětřovat (např. zemní vruty)
-	vyšší tepelně technické požadavky na podlahový rošt (tloušťka konstrukce)
-	vícenáklady spojené s řádnou drenáží prostoru pod budovou, dodatečného odizolování vůči vztlínání vody od UT, vhodné umístit parozábranu na UT
-	méně vhodné pro rovinaté pozemky -> použití spíše uzavřeného systému CS
-	přímé působení biotických (např. mrazu) a abiotických škůdců na spodní stavbu
-	nutné řádné odizolování rozvodů TZB (vodovod, kanalizace, aj.)

### Vyhodnocení otevřené metody CS

Na základě výše zmíněných poznatků lze konstatovat, že otevřená metoda CS je vhodná pro použití na více sklonitých pozemcích (> 3-5 %), na pozemcích s velkým výskytem radonu a na pozemcích u kterých hrozí povodně ve formě přívalových dešťů (povodňové oblasti). Jedná se o jediný způsob založení, který dosahuje difúzní otevřenosti dané konstrukce v oblasti podlahové roštu (v soklové části).

### Zásady návrhu uzavřené metody CS

Při návrhu uzavřené metody CS bychom měli dbát na těchto ukazatelích:

- Navrhovat pouze na rovinné a mírně sklonité pozemky (sklon do cca 5 %)
- Navrhovat pouze do oblastí s nízkým výskytem přívalových dešťů a v blízkosti vodních ploch
- Min. světlá výška uzavřeného prostoru je rovna 500 mm
- Řádné odizolování tohoto prostoru od zemské vlhkosti (HI na podkl. betonu)
- Řádné odvětrání přebytečné vlhkosti pomocí řízeného větrání (dimenze otvorů)
- Kontrola a řízení vzdušné vlhkosti v prostoru
- U velkoformátových staveb podpořit proudění vzduchu komínovým efektem
- Řádně odizolovat základové stěny uvnitř prost. (povlak z difúzně uzavřené fólie)
- Pravidelné revize uzavřeného prostoru (zpřístupnění tohoto prostoru)
- Řádné odizolování podlahového roštu od uzavřeného prostředí s vyšší vlhkostí (desky na bázi pojiv, parozábrana, aj.)
- Řádné odizolování TZB rozvodů (hrozba povrchové kondenzace)
- Řádné odvedení povrchové vody pomocí drenáží směrem od budovy do vsaku

## Zásady návrhu otevřené metody CS

Při návrhu uzavřené metody CS bychom měli dbát na těchto ukazatelích:

- Navrhovat na mírně sklonité a sklonité pozemky (sklon od 5 %)
- Je možné navrhovat i do oblastí s nízkým výskytem přívalem dešťů a v blízkosti vodních ploch (povrchové odvodňovací koridory do vsak. jám)
- Min. světlá výška otevřeného prostoru od UT je rovna 500 (ideálně 600 mm)
- Řádné odizolování tohoto prostoru od zemské vlhkosti (HI na podkl. betonu)
- Pod podlahovým roštem, ani v blízkém okolí stavby nesmí být žádné překážky pro zajištění trvale odvětrávaného prostoru
- Je zakázáno zahlubování stavby pod terén (zapušťování stavby pod UT)
- Jsou zakázány zářezy v terénu blízkém okolí stavby (po celé délce)
- Pravidelná vizuální kontrola podlahového roštu (porušení od škůdců, apod.)
- Řádně odizolovat základové pilíře proti vztlínající vlhkosti (HI nátěry)
- Nutné umístit pod stavbu parobrzdnou (difúzně uzavřenou) fólii včetně odvodnění proti vztlínající zemní vlhkosti (je vhodné fólii přitížit kačirkem)
- Řádné odizolování podlahového roštu od otevřeného prostředí s vlhkostí vzduchu EXT (desky na bázi pojiv, pojistná HI, aj.)
- Řádné odizolování TZB rozvodů (proti námraze)
- Řádné odvedení povrchové vody pomocí drenáží směrem od budovy do vsaku

## Výhledové zkoumání metody Crawl Space do budoucna

Zakládání dřevostaveb pomocí metody CS umožňuje specifický způsob založení dřevěného podlahového roštu bez kontaktu se zemní vlhkostí. Pro budoucí využití doporučuji v případě otevřené metody CS použití parotěsnicí fólie z strany INT v oblasti podlahového roštu a stropní konstrukce. V praxi se velmi často můžeme setkat s tím, že podlahový rošt je ze strany EXT obalen pojistnou HI, čímž nastane poměrně vysoký skok faktoru difúzního odporu na konečném materiálu. Paradoxně tak vzniká potencionální riziko, že případná zkondenzovaná voda se nebude mít kam odpařit. Na světě tato metoda ještě není zcela dopodrobna prozkoumána a proto doporučuji, aby se metoda v praxi navrhovala s ohledem na paropropustnost vlhkosti z INT do EXT, tak aby faktor difúzního odporu co nejvíce měl klesající hodnoty v tomto směru. Více by se měl do budoucna využívat potenciál difúzně otevřené skladby podlahového roštu. V případě uzavřené metody CS doporučuji se zaměřit na výzkum tepelných zisků předmětného uzavřeného prostoru s ohledem na změny

teplot v INT a EXT v závislosti na ročním období s hlediskem na regulaci relativní vlhkosti vzduchu v tomto prostoru.

### 5.3 Porovnání konstrukčních systémů založených metodou Crawl Space

#### 5.3.1 Srubové konstrukce

Výhody a nevýhody srubové konstrukce s ohledem na založení pomocí metody CS byly zpracovány v Příloze č. VPK 1.

##### Vyhodnocení srubových konstrukcí s ohledem na založení pomocí metody CS

Zakládání srubových konstrukcí metodou CS není v dnešní době tolik využíváno. V případě volby systému založení CS u těchto konstrukcí totiž dochází k řadě komplikací. S vyšší celkovou hmotností dané konstrukce po celé ploše základů dochází k nutnosti zvýšení dimenzí pilířů, které nemohou být po delších vzdálenostech jako je tomu u lehčích konstrukcí (viz kapitola 3.6.2, 3.6.3). Navíc v určitých případech musí dojít k přidání ŽB věnce pod nosné stěny v úrovni podlahy.

Z hlediska proveditelnosti konstrukce, včetně vhodného řešení detailů v soklové části stavby a estetického dojmu z EXT doporučuji pro tento typ konstrukcí navrhovat pouze metodu CS uzavřenou, kde se předejde řadě problémových míst s ohledem tepelné techniky. I s ohledem na použití praxe, kde se přibližně z 95 % navrhují srubové konstrukce prakticky bez podsklepení či bez provětrávané mezery **doporučuji** tento typ konstrukčního systému založit pomocí uzavřené metody CS s nuceným odvětráním.

#### 5.3.2 Konstrukce z masivních panelů

S ohledem na velmi podobné objemové, statické i fyzikální veličiny, a to i s ohledem na to, že tento konstrukční systém nebyl předmětem této diplomové práce nebyly výhody a nevýhody této konstrukce s ohledem na založení metody CS zpracovány.

Místo toho byly rovnou zpracováno vyhodnocení s předmětným doporučením (viz níže).

##### Vyhodnocení konstrukcí z masivních panelů s ohledem na založení pomocí metody CS

Konstrukce panelů je velmi náchylná na případnou vlhkost, rekonstrukce (sanace) stěnového panelu je velmi časově i finančně velmi náročná. Navíc s vyšší objemovou tíhou panelů, která působí liniově po celé délce základu, je nutné plochu a dimenzi základů a základových pilířů (stěn) navýšit (viz kapitola 3.6.2). Vhodný typ pro založení těžkých panelů je proto uzavřený systém CS se základovými zdmi a pásy po celé ploše. Tento konstrukční systém tedy **doporučuji** pro uzavřenou metodu CS, a to za předpokladu, že dojde k dostatečnému utěsnění podlahového roštu na základových stěnách. V případě otevřené metody CS **doporučuji** řádné statické posouzení zakládacího prahu i dimenze jednotlivých základových pilířů a patek.



### 5.3.3 Rámová konstrukce

Výhody a nevýhody rámové konstrukce s ohledem na založení pomocí metody CS byly zpracovány v Příloze č. VPK 2.

#### Vyhodnocení rámových konstrukcí s ohledem na založení pomocí metody CS

Zakládání rámových konstrukcí metodou CS je s ohledem na nízkou hmotnost, schopnost variability v dnešní době velmi často využíváno, a to hlavně pro drobné stavby, např. RD a nízkopodlažní BD., kde nejsou velké požadavky na zatížení. S relativně malou objemovou tíhou, která působí liniově po dané konstrukci základu není nutné nijak výrazně předdimenzovat základové konstrukce (viz kapitola 3.6.2, 3.6.3). Naopak u otevřené metody CS bylo zjištěno, že pro dvoupodlažní RD postačí navrhnout, pro roznesení rámové konstrukce pomocí základového prahu profil z BSH 200x200 mm, při osové vzdálenosti podpor 1,5 m (viz statický výpočet). U uzavřené metody CS dochází sice k výhodnějšímu statickému působení v oblasti přechodu základového prahu na základovou stěnu. Vzniká tím však poměrně složitý detail z hlediska vedení parotěsné fólie, která je velice náchylná na protržení.

V případě volby systému založení CS pro velkoformátové budovy dochází k řadě komplikací, a to převážně u uzavřeného systému CS. U velkých prostor pod budovou totiž dochází k nedostatečnému odvětrání, protože komínový efekt od určité vzdálenosti od provětrávacích otvorů slábne. Je nutné pro tyto rozlehlé prostory CS umísťovat skrz budovy prostupy, které podpoří komínový efekt, a to jak u otevřeného, tak uzavřeného systému metody CS. Z hlediska proveditelnosti konstrukce, požadavků TZB a nedostatečného odvětrání, včetně vhodného řešení detailů v soklové části stavby a estetického dojmu z EXT doporučuji pro tento typ konstrukčního systému u rozměrnějších objektů (BD) navrhovat pouze metodu CS uzavřenou, kde se musí zohlednit nedostatečné odvětrání např. pomocí přídatných řízených hnacích jednotek. U menších staveb (RD) navrhuji naopak otevřený systém CS, kde s ohledem na hmotnost rámové konstrukce nedochází k nadbytečnému rozměru základových stěn pod objektem. S ohledem na rozměry stavby a architektonické řešení je i možné skrz objekt vést Atrium, či jiné zařízení podporující komínový efekt. Pokud se tyto požadavky řádně zohlední, **doporučuji** tento typ konstrukce pro založení metodou CS.

Z hlediska proveditelnosti konstrukce, požadavků TZB a nedostatečného odvětrání, včetně vhodného řešení detailů v soklové části stavby a estetického dojmu z EXT doporučuji pro tento typ konstrukčního systému u rozměrnějších objektů (BD) navrhovat pouze metodu CS uzavřenou, kde se musí zohlednit nedostatečné odvětrání např. pomocí přídatných řízených hnacích jednotek. U menších staveb (RD) navrhuji naopak otevřený systém CS, kde s ohledem na hmotnost rámové konstrukce nedochází k nadbytečnému rozměru základových stěn pod objektem. S ohledem na rozměry stavby a architektonické řešení je i možné skrz objekt vést Atrium, či jiné zařízení podporující komínový efekt. Pokud se tyto požadavky řádně zohlední, **doporučuji** tento typ konstrukce pro založení metodou CS.

### 5.3.4 Skeletové konstrukce

Výhody a nevýhody skeletové konstrukce s ohledem na založení pomocí metody CS byly zpracovány v Příloze č. VPK 3.

#### Vyhodnocení skeletových konstrukcí s ohledem na založení pomocí metody CS

Zakládání skeletových konstrukcí metodou CS není v dnešní době tolik využíváno. V případě volby systému založení CS pro velkoformátové budovy dochází k řadě komplikací. U velkých prostor pod budovou dochází k nedostatečnému odvětrání, protože komínový efekt od určité vzdálenosti od provětrávacích otvorů slábne. Je nutné pro tyto rozlehlé prostory CS umísťovat skrz budovy prostupy, které podpoří komínový efekt, a to jak u otevřeného, tak uzavřeného systému metody CS. V případě, že se jedná o stavby administrativní, u kterých se předpokládá, že budou obohaceny vzduchotechnikou, je vhodné užít spíše uzavřený systém CS. S vyšší objemovou tíhou, která působí bodově na dané konstrukce je nutné plochu a dimenzi základů a základových pilířů navýšit (viz kapitola 3.6.3).

Při použití tohoto nosného systému u menších staveb, např. RD, je vhodné z hlediska většího bodového namáhání základové patky vhodně naddimenzovat. Z hlediska proveditelnosti konstrukce, požadavků TZB a nedostatečného odvětrání, včetně vhodného řešení detailů v soklové části stavby a estetického dojmu z EXT doporučuji pro tento typ konstrukcí u výškových staveb navrhovat pouze metodu CS uzavřenou, kde se musí zohlednit nedostatečné odvětrání např. pomocí přídavných řízených hnacích jednotek. U menších staveb navrhuji naopak otevřený systém CS, kde není potřeba pod budovu umísťovat rekuperační jednotku ani žádnou jinou jednotku, u které by byla ohrožena funkčnost v případě volného proudění vzduchu. S ohledem na rozměry stavby a architektonické řešení je i možné skrz objekt vést Atrium, či jiné zařízení podporující komínový efekt. Pokud se tyto požadavky řádně zohlední, tak **doporučuji** tento typ konstrukce pro založení metodou CS.

### 5.3.5 Porovnání alternativních rámových konstrukcí

- **Systém Posi-Joist**

Výhody a nevýhody alternativních nosníků Posi-Joist oproti klasické rámové konstrukci KVH a systému Steico byly zpracovány v Přílohách č. VPK 4, 5, 6.

U dvou reprezentativních konstrukčních alternativních systémů byly analyzovány jejich, které byly vytvořeny na základě teoretické části (viz kapitola 3.6.4.6) a s ohledem na to, že je stavba uvažována a navrhována jako pasivní (vedení TZB) a s ohledem na převažující výhody systému Posi-Joist doporučuji tento systém použít do předmětné diplomové práce. U systému Steico jsou u nosníků prostupy skrz stojinu velmi diskutabilní, muselo by dojít k značnému navýšení podhledů v nadzemních podlažích. Volím jako vhodnější variantu z alternativních stropních a podlahových lehkých konstrukcí variantu systému Posi-Joist. Koncové zpracování navrhuji zkracovatelné konce s plnostěnnou dřevěnou stojinou, a to z důvodu

výhodnějšího roznesu smykových sil v místě podpory. Roštový strop z KVH hranolů pro případ otevřené metody CS nedoporučuji, a to z důvodu poměrně velké plošné hmotnosti, horších fyzikálních vlastností vlivem většího objemu řeziva a dále problematičností z hlediska vedení prostupů skrz stropní konstrukci v případě TZB. Pro stavbu garáže bude použit totožný systém, tedy stěnová rámová konstrukce z KVH a střešní nosníky Posi-joist se zkracovatelnými konci.

### 5.3.6 Porovnání druhů montáže založených metodou Crawl Space

- **Staveništní montáž**

Výhody a nevýhody staveništní montáže s ohledem na založení pomocí metody CS byly zpracovány v Příloze č. VPK 7.

- **Panelová montáž**

Výhody a nevýhody panelové montáže s ohledem na založení pomocí metody CS byly zpracovány v Příloze č. VPK 8.

#### Vyhodnocení druhů montáže s ohledem na založení pomocí metody CS

Je poměrně složité říci, která z těchto dvou hlavních druhů montáží je výhodnější. Pokud si investor zvolí rámovou dřevostavbu, tak pro rozhodnutí, jakou montáží se objekt zrealizuje vystupuje zde hned několik faktorů, např. lokalita pozemku, rozloha pozemku, finanční a časové možnosti investora, nabídka lokálních ověřených dodavatelů staveb, např. z ADMD apod. Věčnou otázkou pak zůstává fakt, že pokud investor zvolí staveništní montáž, bude hrubá stavba zrealizovaná za cca 4 – 5 týdnů. Oproti tomu montáž panelová je rychlejší na stavbě ale v porovnání s výslednou cenou a celkovou dobou od výroby po realizaci hrubé stavby (až 5 týdnů) je velice diskutabilní jaký druh montáže se investorovi ve finále vyplatí.

Z pohledu vhodnějšího řešení montáže u rámové dřevostavby založené metodou CS **doporučuji**, aby se u uzavřeného typu metody CS použila panelová montáž, kde na základových stěnách poměrně snadno dosáhneme prakticky dokonalé roviny z pohledu kontinuálního průběhu těchto základových stěn. U otevřené metody CS bych **doporučil** spíše staveništní montáž (případně kombinaci s panelovou), kde mohou vznikat např. při realizaci jednotlivých pilířů mírné odchylky, které se u hotových dovezených panelů, včetně hotového fasádního systému problematicky dodatečně řeší.

Nicméně doporučuji, aby staveništní montáž byla i tak uzpůsobena k co nejefektivnější prefabrikaci, tedy aby byly jednotlivé prvky již předem částečně smontovány v souvislosti s pohodlnou, efektivní a bezpečnou manipulací a umístěním jednotlivých dílců na staveništi pomocí lehké techniky (první a druhá fáze prefabrikace). S ohledem na šíři přilehlé pozemní komunikace, tedy zhoršené dostupnosti dané parcely i s ohledem na omezené poloměry otáčení u napojení předmětné účelové pozemní lesní komunikace na hlavní pozemní komunikace doporučuji diplomovou práci řešit pomocí **staveništní montáže**.

## 6 Závěr

Práce obsahuje analýzu a porovnání konstrukcí pro založení dřevostaveb, a to s ohledem na konstrukční systém dřevostaveb, morfologii a hydrologii terénu, klimatické podmínky daného prostředí. Pro konkrétní parcelu byla vybrána s ohledem na všechny skutečnosti otevřená metoda CS, u které je největší výhodou pro daný svažité terén to, že je dřevostavba zcela oddělená od zemní vlhkosti a celou obálku budovy lze navrhnout jako difúzně otevřenou.

V práci je rovněž uvedena analýza uzavřené metody CS, u které však bylo vyhodnoceno, že pro předmětnou sklonitou parcelu není použití této metody vhodné. Tato metoda naopak využívá izolační uzavřené vzduchové mezery, u které je nutné monitorovat a řídit vlhkost vzduchu uvnitř prostoru. Metoda je vhodná pro rovinný terén, kde nedochází k ohrožení stavby povrchovou a podzemní vodou.

Z výsledků porovnání založení pomocí metody CS a klasického založení staveb pomocí plošných základů vyplynula skutečnost, že metoda CS zajišťuje primární ochranu základového roštu od zemní vlhkosti, neboť při užití obou metod CS nedochází k přímému kontaktu podlahového roštu s okolním terénem (zemní vlhkostí). Nevýhodou metody CS je nezbytnost kvalitního odizolování podlahového roštu a vedení TZB, kde vzniká potencionální riziko problému (vzlínání zemní vlhkosti, kondenzace vodní páry na potrubí TZB, zamrzání vedení TZB, riziko poškození biotickými škůdci).

Z vyhodnocení konstrukčních systémů dřevostaveb a jejich montáží vyplynulo, že pro metodu CS jsou vhodnější systémy s malou plošnou hmotností (lehké rámové konstrukce), aniž by muselo dojít k nadměrným rozměrům základové konstrukce. Na základě posouzení montážních technologií bylo zjištěno, že nelze jednoznačně říci, které ze dvou uvedených způsobů montáží je vhodnější pro použití založení metodou CS.

Po vyhodnocení skladby konstrukce v rámci jednorozměrného teplotního pole lze konstatovat, že v některých částech, které obsahují dřevěné prvky, dochází k povrchové kondenzaci vody. Z vyhodnocení sorpční křivky (viz Příloha č. 37) dřeva a ze skutečnosti, že se nejednalo o prvky nosné konstrukce lze konstatovat, že není ohrožena funkčnost nosného systému navržené budovy.

Při druhém posouzení skladby ve dvourozměrném teplotním poli u předmětných detailů a při odstranění parotěsnicí fólie ze strany INT došlo v konstrukci ke kondenzaci vody v oblasti soklové části a v části stropní konstrukce. Po provedení nápravných opatření, tedy navrácení parotěsnicí fólie ke straně INT, došlo sice k výrazné redukci kondenzace vody, nicméně v oblasti stropní konstrukce byl stále její výskyt potvrzen. Na základě těchto skutečností byla navržena další opatření k celkové ochraně nosných konstrukčních prvků.

Ze všech teoreticky zjištěných a výpočty ověřených skutečností vyplývá, že plně difúzně otevřená skladba nemusí být nejvhodnějším řešením i v případě založení podlahového roštu pomocí otevřené metody CS.

Pro případné navazující dizertační práce navrhuji realizovat podrobnější a hlubší analýzu vlivu vzduchové mezery na tepelně technické parametry obálky budovy s ohledem na způsob založení metodou CS (otevřená metoda, uzavřená metoda).

## Seznam literatury a použitých zdrojů

### Odborná literatura

BILL James; MARY, James. Passive house in different climates: The Path to Net Zero, 1.st ed.. London : Routledge, 2016. 216 s. ISBN 978-1-138-90403-3.

BLASS, Hans Joachim a Carmen SANDHAAS. Timber Engineering - Principles for Design. German: Scientific Publishing, 2017. 658 s. ISBN 978-3-7315-0673-7.

BREW, James S. Reinventing Fire : Passivhaus role in getting one nation completely off coal, oil and nuclear by 2050. In BÁRTA, Jan (ed.). Pasivní domy 2013. 1. vyd. Brno: Centrum pasivního domu, 2013, s. 18-24. ISBN 978-80-904739-3-5.

DOHNÁLEK, Jiří; SEIDLEROVÁ, Irena. Dějiny betonového stavitelství v Českých zemích do konce 19. století. Praha : Historický ústav ČSAV, 1991. 396 s. ISBN 80-85268-08-6.

FROLEC, Václav; VAŘEKA, Josef. Lidová architektura. 1. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1983. 360 s.

HÁJEK, Petr a kol. Pozemní stavitelství I: pro 1. ročník SPŠ stavebních. Vyd. 6. Praha : Sobotáles, 2005. 110 s. ISBN 80-86817-12-1.

HERZOG, Thomas. Timber construction manual. Boston : Birkhäuser, 2004. 376 s. ISBN 978-3-7643-7025-1.

HOUDEK, Dalibor; KOUDELKA, Otakar. Srubové domy z kulatin. 5. vydání. Slavkov u Brna: JoshuaCreative, s. r. o., 2013. 172 s. ISBN 978-80-904414-6-0.

JELÍNEK, Lubomír. Dřevěné a kovové konstrukce podle ČSN EN 1995-1-1 a ČSN EN 1993-1-1. Volyně : Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola, 2012. 144 s. ISBN 978-80-86837-42-0.

JELÍNEK, Lubomír a kol. Stavební mechanika. Klatovy: Dragon press s.r.o., 2012. 154 s. ISBN 978-80-86837-45-1.

KLEIN, Zach; LECKART, Steven. Cabin Porn: Inspiration for Your Quiet Place Somewhere. London: Penguin Books, 2016. 336 s. ISBN 978-0-141-98214-4.

KOHOUT, Jaroslav a kol. Tesařství – tradice z pohledu dneška. Praha : Grada Publishig, a.s., 1996. 228 s. ISBN 978-80-716-9413-7.

KOLB, Josef. Dřevostavby : systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. Vyd. 3., přeprac. Praha : Grada Publishig, a.s., 2011. 320 s. ISBN 978-80-247-4071-3.

KRICK, Benjamin. Budovy s téměř nulovou spotřebou energie? Pasivní dům nabízí odpověď. In BÁRTA, Jan (ed.). Pasivní domy 2013. 1. vyd. Brno: Centrum pasivního domu, 2013, s. 18-24. ISBN 978-80-904739-3-5.

KUBEČKA, Karel; KUBEČKOVÁ, Darja. Základy rodinných domů tradiční i moderní typy zakládání. Praha : Grada Publishig, a.s., 2016. 104 s. ISBN 978-80-271-9419-3.

KULHÁNEK, František. Stavební fyzika II: Stavební tepelná technika. Praha : Česká technika, nakladatelství ČVUT, 2011. 157 s. ISBN 978-80-01-04957-0.

LAVICKÝ, Miloš; MASTNÁ, Zuzana. Problematika dřevostaveb s crawl space. In: Sborník příspěvků konference Expert Forensic Science Brno 2012 [online]. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2012, s. 230-237 [cit. 2021-4-27]. ISBN 978-80-214-4412-6. Dostupné z: <<http://hdl.handle.net/11012/53094>>.

MICHÁLEK, Josef; NOVOTNÝ, Jan. Pozemní stavitelství v kresbách: pro 1. a 4. ročník SPŠ stavebních. Vyd. 1. Praha : Sobotáles, 2006. 112 s. ISBN 80-86817-16-4.

PAVELEK, Miloš. Analýza stavebních obvodových konstrukcí na bázi dřeva z hlediska tepelných vlastností. Praha, 2019. Disertační práce (Ph.D.). Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra zpracování dřeva a biomateriálů, 2019-07-30.

PAVLAS, Marek. Dřevostavby z vrstvených masivních panelů: Technologie CLT. Praha : Grada Publishig, a.s., 2016. 96 s. ISBN 978-80-271-0055-2.

REINPRECHT, Ladislav. Ochrana dřeva : vysokoškolská učebnica. Zvolen : Technická univerzita, 2008. 453 s. ISBN 978-80-228-1863-6.

REINPRECHT, Ladislav; PÁNEK, Miloš. Trvanlivost a ochrana dřeva. Praha : Česká zemědělská univerzita, 2016. 131 s. ISBN 978-80-213-2660-6.

RŮŽIČKA, Martin. Moderní dřevostavba. Vyd. 3. Praha : Grada Publishig, a.s., 2014. 160 s. ISBN 978-80-247-3298-5.

STEIGER Ludvik. Basic Timber Construction. Switzerland : SpringerWienNewYork, 2020. 200 s. ISBN 3035621268.

STRAKA, Bohumil a kol. Konstrukce šikmých střech. Vyd. 1. Praha : Grada Publishig, a.s., 2013. 232 s. ISBN 978-80-247-4205-2.

SVOBODA, Luboš a kol. Stavební hmoty. Bratislava : Jaga group, s.r.o., 2004. 471 s. ISBN 80-8076-007-1.

SÝKORA, Jaroslav. Venkovský prostor, 1. díl: Historický vývoj vesnice a krajiny. 1. vydání. Praha: ČVUT, 1998. 62 s. ISBN 9788001018262.

TYWONIAK, Jan a kol. Nízkoenergetické domy 3. Praha : Grada Publishig, a.s., 2012. 204 s. ISBN 978-80-247-3832-1.

TYWONIAK, Jan a kol. Pozemní stavitelství VI: Stavební fyzika, zdravotní nezávadnost a požární bezpečnost. Praha : Grada Publishig, a.s., 2014. 148 s. ISBN 978-80-247-5102-3.

WATTS Andrew. Modern Constuction Facades. New York : SpringerWienNewYork, 2004. 200 s. ISBN 978-3211006382.

WING, Charlie. The tiny house handbook. New Jersey, Hoboken: John Wiley & Sons, 2021. 261 s. ISBN-13: 978-111958187-1.

WING, Charlie. The visual Handbook of Building and Remodeling: The Only Guide to Choosing the Right Materials and Systems for Every Part of Your Home. Expanded professional edition. Pennsylvania: Emmaus. St. Martin's Press, 1990. 498 s. ISBN-13: 978-0878579013.



## Legislativa

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

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

Vyhláška č. 264/2020 Sb.: Vyhláška o energetické náročnosti budov. Ministerstvo průmyslu a obchodu, Praha, Česká republika, 2020.

Dostupné z: < <https://www.mpo.cz/cz/energetika/energeticka-ucinnost/vyhlaska-c--264-2020-sb---o-energeticke-narocnosti-budov--255330/> >.

ČSN EN ISO 52016-1 (730336). Energetická náročnost budov - Potřeba energie na vytápění a chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní tepelné výkony - Část 1: Výpočtové postupy. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019. 200 s.

ČSN EN ISO 9972 (730577). Tepelné chování budov - Stanovení průvzdušnosti budov - Tlaková metoda. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018. 32 s.

ČSN 73 1901 – 1. Navrhování střech - Část 1: Základní ustanovení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020. 32 s.

ČSN 73 4130. Schodiště a šikmé rampy - základní požadavky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. 28 s.

ČSN 73 0540 – 1. Tepelná ochrana budov - Část 1: Terminologie. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005. 68 s.

ČSN 73 0540 – 2. Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 56 s.

ČSN 73 0540 – 3. Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005. 89 s.

ČSN 73 0540 – 4. Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005. 60 s.

ČSN EN ISO 13788. Tepelně-vlhkostní chování stavebních konstrukcí a stavebních prvků - Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a

kondenzace uvnitř konstrukce - Výpočtové metody. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019. 44 s.

ČSN EN ISO 13789. Tepelné chování budov - Měrné tepelné toky prostupem tepla a větráním - Výpočtová metoda. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019. 32 s.

ČSN EN ISO 10211. Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích - Tepelné toky a povrchové teploty - Podrobné výpočty. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020. 60 s.

ČSN EN ISO 10077-2. Tepelné chování oken, dveří a okenic - Výpočet součinitele prostupu tepla - Část 2: Výpočtová metoda pro rámy. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019. 76 s.

TNI 73 0329. Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - Rodinné domy. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. 16 s.

Zákon č. 183/2006 Sb.: Zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). Parlament České republiky, Praha, Česká republika, 2006.

Dostupné z: < <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-183> >.

Zákon č. 17/1992 Sb.: Zákon o životním prostředí, ve znění účinném k 1.7.2017. Federální shromáždění České a Slovenské Federativní republiky, Praha, Česká republika, 1992.

Dostupné z: < <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-17> >.

Zákon č. 406/2000 Sb.: Zákon o hospodaření energií. Parlament České republiky, Praha, Česká republika, 2000. Dostupné z: < <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-406> >.

Zákon č. 289/1995 Sb.: Zákon č. 289/1995 Sb., o lesích a o změně a doplnění některých zákonů (lesní zákon). Parlament České republiky, Praha, Česká republika, 1995. Dostupné z: < [https://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-MZe\\_uplna-zneni\\_zakon-1995-289-viceoblasti.html](https://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-MZe_uplna-zneni_zakon-1995-289-viceoblasti.html) >.

## Seznam internetových zdrojů

JAYROE, Kate. A Comprehensive Guide to Crawl Space History and Terminology Monday [online]. Knoxville: Master Services, Crawl Space and foundation repair, 2015 [cit. 2021-08-17]. Dostupné z WWW: < <https://www.masterservicestn.com/about-us/news-and-events/16624-a-comprehensive-guide-to-crawl-space-history-and-terminology.html> >.

SLOVÁK, Karel. Historie dřevostaveb: odjakživa reagují na trendy své doby [online]. Brno : Netion, s.r.o., 05.06.2013 [cit. 2021-08-17]. Dostupné z WWW: < <https://www.drevostavitel.cz/clanek/drevostavby-reaguji-na-trendy-doby> >.

ZAORÁLEK, Ondřej. Dřevostavby: tradice a historický vývoj [online]. Praha : Pro Vobis, s.r.o., 18.07.2011 [cit. 2021-08-17]. Dostupné z WWW: < <https://www.drevoastavby.cz/dum-na-bazi-dreva/151-o-drevostavbach/1231-drevostavby-tradice-a-historicky-vyvoj> >.

ČESKÁ, Dagmar. Výhody a úskalí založení domu způsobem crawl space [online]. Praha : Pro Vobis, s.r.o., 2021 [cit. 2022-02-02]. Dostupné z WWW: < <https://www.drevoastavby.cz/vse-o-drevostavbach/stavba-drevostavby/zaklady/6645-crawl-space-zalozeni-domu-nad-terenem-s-provetravanou-fasadou> >.

DUDEK, Karel. Jak a z čeho stavět a další protipožární opatření: Důkladná reforma Marie Terezie byla nutná [online]. Praha : A11 s.r.o., 08.12.2019 [cit. 2021-08-18]. Dostupné z WWW: < <https://nasregion.cz/jak-a-z-ceho-stavet-a-dalsi-protipozarni-opatreni-dukladna-reforma-marie-terezie-byla-nutna-141931/> >.

LSTIBUREK, Joseph. Understanding Vapor Barriers [online]. Georgia: ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2004 [cit. 2021-08-30]. Dostupné z WWW: < <https://energy-models.com/understanding-vapor-barriers> >.

Evropská Unie. Směrnice Evropského parlamentu a rady 2010/31/EU : o energetické náročnosti budov [online]. Brusel : Evropský parlament a Evropská rada, 19.05.2010 [cit. 2021-08-24]. Dostupné z WWW: < <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=CS> >.

Eurostat, Statistics Explained. Archive : Statistika obnovitelných zdrojů energie [online]. Lucembursko : Eurostat, 16.08.2019 [cit. 2021-08-24]. Dostupné z WWW:< [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Statistiky\\_obnoviteln%C3%BDch\\_zdroj%C5%AF\\_energie&oldid=446284](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Statistiky_obnoviteln%C3%BDch_zdroj%C5%AF_energie&oldid=446284) >.

Česká geologická služba. Mapová aplikace, verze 1B.2: mapa radonového indexu podloží 1:500 000 [online]. Praha : Česká geologická služba, Státní úřad pro jadernou společnost, Český úřad zeměměřický a katastrální, 2021 [cit. 2021-08-27]. Dostupné z

WWW:<

[http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show\\_map.php?mapa=radon500&y=670000&x=1070000&r=250000&s=0](http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=radon500&y=670000&x=1070000&r=250000&s=0)>.

ADMD. Aktuality: Dřevostavby opět lámou rekordy [online]. Brno : Asociace dodavatelů montovaných domů, z.s., 2018 [cit. 2021-08-29]. Dostupné z

WWW:< <https://www.admd.cz/aktuality/drevostavby-opet-lamou-rekordy#> >.

Energy star (1). Basement & Crawlspace Air Sealing and Insulating Project [online]. Washington, DC : U.S. Environmental Protection Agency (EPA) and U.S. Department of Energy (DOE), 2013-2016 [cit. 2021-08-29]. Dostupné z

WWW:< [https://www.energystar.gov/campaign/seal\\_insulate/basement\\_crawlspace](https://www.energystar.gov/campaign/seal_insulate/basement_crawlspace) >.

Energy star (2). BSC Information Sheet 512: Crawlspace Insulation for all Climates [online]. Washington, DC : U.S. Department of Energy (DOE), 2015 [cit. 2021-08-29]. Dostupné z

WWW:< <https://www.energystar.gov/sites/default/files/asset/document/BSC%20Information%20Sheet%20512%20Crawlspace%20Insulation%20for%20all%20Climates.pdf> >.

Energy star (3). Floor Above Unconditioned Basement or Vented Crawlspace [online]. Washington, DC : U.S. Department of Energy (DOE), 2016 [cit. 2021-08-30]. Dostupné z

WWW:< <https://www.energystar.gov/sites/default/files/asset/document/Floor%20Above%20Unconditioned%20Basement%20or%20Vented%20Crawlspace.pdf> >.

ICC. International energy conservation code 2012 [online]. International code council, Inc., 2011 [cit. 2021-08-30]. Dostupné z

WWW:< <https://archive.org/details/gov.law.icc.iecc.2012/page/n3/mode/2up> >.

SMITH, Jordan. Dimensional Lumber: Types, Sizes, History [online]. San Francisco : M.T. Copeland Technologies, Inc, 2021 [cit. 2021-09-04]. Dostupné z

WWW:< <https://mtcopeland.com/blog/dimensional-lumber-types-sizes-history/> >.

KOREC, Rudolf. 2by4 systém [online]. Praha : STAVBYKOREC s.r.o., 2021 [cit. 2021-09-04]. Dostupné z

WWW:< <http://www.drevostavbykorec.cz/konstrukce-a-technologie/2by4> >.

KRINNER. Project process for a foundation construction with ground screws [online]. Straßkirchen in Lower Bavaria : Krinner Schraubfundamente GmbH, 2021 [cit. 2021-10-04]. Dostupné z

WWW:< <https://www.krinner.io/en/foundation-construction/project-process/> >.

Zemní vruty KOSTRHOUN (1). Ceník KRINNER 2017 - ruční vruty [online]. Opava : Kostrhoun výhradní zástupce Krinner Schraubfundamente GmbH, 2020 [cit. 2021-10-04]. Dostupné z

WWW:< <http://www.zemnivruty-krinner.cz/pdf/rucni-vruty.pdf> >.

Zemní vruty KOSTRHOUN (2). Ceník KRINNER 2017 - vruty s odbornou montáží [online]. Opava : Kostrhoun výhradní zástupce Krinner Schraubfundamente GmbH, 2020 [cit. 2021-10-04]. Dostupné z

WWW:< <http://www.zemnivruty-krinner.cz/pdf/expert.pdf> >.

Zemní vruty KOSTRHOUN (3). Galerie - Dřevostavby - RD [online]. Opava : Kostrhoun výhradní zástupce Krinner Schraubfundamente GmbH, 2020 [cit. 2021-10-04]. Dostupné z

WWW:< <http://www.zemnivruty-krinner.cz/velke-profi-stavby> >.

Zemní vruty KOSTRHOUN (4). Základy budoucnosti [online]. Opava : Kostrhoun výhradní zástupce Krinner Schraubfundamente GmbH, 2020 [cit. 2021-10-04]. Dostupné z

WWW:< <http://www.zemnivruty-krinner.cz/pdf/pr.pdf> >.

Zemní vruty KOSTRHOUN (5). Kontakt [online]. Opava : Kostrhoun výhradní zástupce Krinner Schraubfundamente GmbH, 2021 [cit. 2021-10-04]. Dostupné z

WWW:< <http://www.zemnivruty-krinner.cz/kontakt> >.

JAVORSKÝ, David. Roubenky v nízkoenergetickém standardu [online]. Tábor : Kanadské sruby Tábor s.r.o., 2015 [cit. 2021-10-07]. Dostupné z

WWW:< [https://www.sruby-tabor.cz/files/sar\\_4\\_2015\\_nizkoenergeticke-roubenky2.pdf](https://www.sruby-tabor.cz/files/sar_4_2015_nizkoenergeticke-roubenky2.pdf) >.

WINTER, Dastin ; OKERSTROM, Eric. Structural Systems Wood Platform Framing: Balloon Framing and Platform Framing [online]. 2015 [cit. 2021-10-10]. Dostupné z

WWW:<

[https://static1.squarespace.com/static/5313b826e4b02a8d25126c66/t/552d6abce4b05dc92592aa35/1429039804616/33471-82504+-+Dustin+Winter+-+Mar+5%2C+2015+813+PM+-+A-3Wood+Platform+Framing\\_DW\\_EO.pdf](https://static1.squarespace.com/static/5313b826e4b02a8d25126c66/t/552d6abce4b05dc92592aa35/1429039804616/33471-82504+-+Dustin+Winter+-+Mar+5%2C+2015+813+PM+-+A-3Wood+Platform+Framing_DW_EO.pdf) >.

TRANDOVÁ, Lenka. Jak se staví dřevostavby? [online]. Brno : Asociace dodavatelů montovaných domů, z.s., 2021 [cit. 2021-10-25]. Dostupné z

WWW: < <https://www.admd.cz/o-drevostavbach/jak-se-stavi-drevostavby#> >.

MATUŠKOVÁ, Barbora. Velké srovnání dřevostaveb: výhody, nevýhody a ceny jednotlivých konstrukčních systémů [online]. Brno : NETION, s.r.o., 15.10.2020 [cit. 2021-11-03]. Dostupné z WWW: < <https://www.drevostavitel.cz/clanek/srovnani-drevostaveb> >.

JIRÍČEK, Petr. Stavba dřevostavby systémem two by four [online]. Brno : NETION, s.r.o., 08.03.2012 [cit. 2021-11-03]. Dostupné z

WWW: < <https://www.drevostavitel.cz/clanek/two-by-four-system> >.

STRNAD, Karel a kol. Tesařské kování používané u moderních dřevostaveb [online]. Praha : VALDA, Vojtěch, I.Č. 88678083, 2021 [cit. 2021-11-14]. Dostupné z

WWW: < <http://www.venkovskydum.cz/spojovaci-material-kovani-a-tesarske-spoje-drevostavby/> >.

STRNAD, Karel a kol. Foto: řez napojení vodorovné a svislé nosné konstrukce dřevostavby [online]. Praha : VALDA, Vojtěch, I.Č. 88678083, 2020 [cit. 2021-11-14]. Dostupné z

WWW: < <https://venkovskydum.cz/skladba-steny-drevostavby/> >.

VŠB, Technická univerzita Ostrava. E-learningové prvky pro podporu výuky odborných a technických předmětů: Pozemní stavitelství II, Stropní konstrukce [online]. Ostrava : Vysoká škola báňská Technická univerzita Ostrava, 2006-2008 [cit. 2021-11-14]. Dostupné z

WWW: < <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FAST/PS2/stropni-konstrukce.html> >.

ŠNAJDAROVÁ, Helena. Pultová střecha – stavba, konstrukce, sklon [online]. Praha : Stavíme - bydlíte s.r.o., 2020 [cit. 2021-11-22]. Dostupné z

WWW: < [https://stavimbydlim.cz/pultova-strecha-stavba-sklon/#formular\\_rekonstrukce\\_strechy](https://stavimbydlim.cz/pultova-strecha-stavba-sklon/#formular_rekonstrukce_strechy) >.

MITEK INDUSTRIES, spol s r.o. (1.1). Moderní technologie „POSI“ pro pasivní a nízkoenergetické stavby [online]. Praha : Topinfo s.r.o., 2012 [cit. 2022-01-23]. Dostupné z

WWW:< <https://stavba.tzb-info.cz/drevene-konstrukce/8579-moderni-technologie-posi-pro-pasivni-a-nizkoenergeticke-stavby> >.

DASHÖFER, Verlag. Montované nosné konstrukce - dřevěné konstrukce [online]. Praha : Topinfo s.r.o., 2009 [cit. 2022-01-23]. Dostupné z

WWW:< <https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/5455-montovane-nosne-konstrukce-drevene-konstrukce> >.

HAVÍŘOVÁ, Zdeňka; KUBŮ, Pavel. Stupně namáhání vlhkostí jsou definovány v EUKÓDU EC5: Graf závislosti vlhkosti jehličnatého dřeva na relativní vlhkosti a teplotě prostředí [online]. Brno : Lesnická a dřevařská fakulta MZLU v Brně, 2005 [cit. 2022-01-23]. Dostupné z

WWW:< <https://www.tzb-info.cz/2825-stavby-21-stoleti-stavby-ze-dreva-ix> >.

VRÁNA, Jakub. Základní informace k problematice vnitřní kanalizace [online]. Praha : Topinfo s.r.o., 2008 [cit. 2022-01-23]. Dostupné z

WWW:< <https://voda.tzb-info.cz/kanalizace-splaskova/5118-zakladni-informace-k-problematice-vnitřni-kanalizace> >.

DELBERT, Christian; KOŽELOUH, Bohumil. Montované domy na bázi dřeva (část 4): Zásady navrhování na účinky zatížení [online]. Praha : Topinfo s.r.o., 2014 [cit. 2022-01-20]. Dostupné z

WWW:< <https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/11075-montovane-domy-na-bazi-dreva-cast-4-zasady-navrhovani-na-ucinky-zatizeni> >.

LAVICKÝ, Miloš; MASTNÁ, Zuzana. Specifické problémy dřevostaveb s průleznou dutinou [online]. Praha : Topinfo s.r.o., 2020 [cit. 2022-02-26]. Dostupné z

WWW:< <https://stavba.tzb-info.cz/izolace-proti-vode-a-radonu/21384-specificke-problemy-drevostaveb-s-pruleznou-dutinou> >.

GEROtop spol. s r.o. Izolační hadice ze syntetického kaučuku o délce 2 m [online]. Liberec : GEROtop spol. s r.o., 2022 [cit. 2022-02-26]. Dostupné z

WWW:< <https://www.ekg-gerotop.cz/izolacni-hadice-ze-syntetickeho-kaucuku-o-delce-2-m> >.

Izoltech spol. s r.o. (1). Ceník minerálních pouzder ISOVER [online]. Praha : Izoltech spol. s r.o., 2022 [cit. 2022-02-26]. Dostupné z

WWW:< <https://www.izoltech.cz/wp-content/uploads/2020/10/cenik-mineralni-pouzdra-isover-orstech-65.pdf> >.

Izoltech spol. s r.o. (2). Ceník K-Flex ST hadice 2 m [online]. Praha : Izoltech spol. s r.o., 2022 [cit. 2022-02-26]. Dostupné z

WWW:< <https://www.izoltech.cz/wp-content/uploads/2017/05/cenik-kflex.pdf> >.

MITEK INDUSTRIES, spol s r.o. (1.2). MITEK INDUSTRIES: základní informace o společnosti [online]. Brno : MITEK INDUSTRIES, spol s r.o., 2022 [cit. 2022-01-20]. Dostupné z

WWW:< <https://www.mitek.cz/download/mitek-industries/> >.

MITEK INDUSTRIES, spol s r.o. (2). Posi stropy, střechy, stěny [online]. Brno : MITEK INDUSTRIES, spol s r.o., 2022 [cit. 2022-01-20]. Dostupné z

WWW:< [https://www.mitek.cz/download/posi\\_stropy\\_steny\\_strechy-pdf/](https://www.mitek.cz/download/posi_stropy_steny_strechy-pdf/) >.

MITEK INDUSTRIES, spol s r.o. (3). Technologie prefabrikace [online]. Brno : MITEK INDUSTRIES, spol s r.o., 2022 [cit. 2022-01-20]. Dostupné z

WWW:< <https://www.mitek.cz/download/technologie-prefabrikace/> >.

MITEK INDUSTRIES, spol s r.o. (4). Posi-Joist Stropy: Podklady pro navrhování [online]. Brno : MITEK INDUSTRIES, spol s r.o., 2022 [cit. 2022-01-20]. Dostupné z

WWW:< <https://www.mitek.cz/download/podklady-pro-navrhovani-posi-joist/> >.

MITEK INDUSTRIES, spol s r.o. (5). Zásady montáže [online]. Brno : MITEK INDUSTRIES, spol s r.o., 2022 [cit. 2022-01-20]. Dostupné z

WWW:< <https://www.mitek.cz/download/posi-joist-zasady-montaze/> >.

MITEK INDUSTRIES AB (6). Home: Engineered joists with a focus on economy and flexibility [online]. Tranås: MITEK INDUSTRIES AB, 2022 [cit. 2022-01-20]. Dostupné z



WWW:< <https://www.posi-joist.se/en/home> >.

MITEK UK and Ireland (7). The world of Posi Technology: The Posi-Joist Technical Handbook-Issue 7. [online]. Birmingham : MITEK UK and Ireland, 2022 [cit. 2022-01-20]. Dostupné z WWW:< <https://www.mitek.co.uk/download/the-world-of-posi-technology/> >.

STEICO SE (1). Stavební materiály ze dřeva šetrné k životnímu prostředí [online]. Feldkirchen : STEICO SE, 2022 [cit. 2022-01-21]. Dostupné z

WWW: < [https://web.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Marketing/Czech/STEICO\\_Imag\\_e\\_cz\\_i.pdf](https://web.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Marketing/Czech/STEICO_Imag_e_cz_i.pdf) >

STEICO SE (2). Stavební systém STEICO: Inovativní stavební systém-konstrukce a izolace [online]. Feldkirchen : STEICO SE, 2022 [cit. 2022-01-21]. Dostupné z

WWW: < <https://web.steico.com/cz/steico-vyhody/stavebni-system-steico/> >.

STEICO SE (3). Konstruktionsheft: Stegträger [online]. Feldkirchen : STEICO SE, 2022 [cit. 2022-01-21]. Dostupné z

WWW: < [https://www.steico.com/fileadmin/user\\_upload/importer/downloads/planungs-und\\_konstruktionshefte/STEICO\\_Konstruktionsheft\\_Stegtraeger\\_de\\_i.pdf](https://www.steico.com/fileadmin/user_upload/importer/downloads/planungs-und_konstruktionshefte/STEICO_Konstruktionsheft_Stegtraeger_de_i.pdf) >.

MPO. Požadavky na energetickou náročnost budov se stavebním povolením od 1. 1. 2020 [online]. Praha : Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2019 [cit. 2022-02-24]. Dostupné z

WWW: < <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/energeticka-ucinnost/2019/11/NZEB-pozadavky-web-MPO.pdf> >.

JANOUSĚK, Radek. Od centralizace k decentralizaci v energetice: výrobní i vlastnické [online]. Brno : EnviWeb s.r.o., 2021 [cit. 2022-02-24]. Dostupné z

WWW: < <https://www.enviweb.cz/119612> >.

KOCVÁR, Andrej. CLT - Materiál pro moderní dřevostavbu [online]. Vyškov : JAF HOLZ spol. s r.o., 2018 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z

WWW: < <https://www.jafholz.cz/produkty/materialy-pro-drevostavby/clt-panely> >.

KUTNAR, Vít. Dekpanel: o výrobě dekpanelu, technologie výroby [online]. Praha : DEK a.s., 2020 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z

WWW: < <https://dekwood.cz/dekpanel/o-systemu> >.

ŠÁLA, Jiří. Teplotní faktor vnitřního povrchu fRsi pro ČSN 73 0540-2 [online]. Praha : Topinfo s.r.o., 2006 [cit. 2022-01-23]. Dostupné z

WWW:< <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/3560-teplotni-faktor-vnitriho-povrchu-frsi-pro-csn-73-0540-2> >.

SVOBODA, Zbyněk. Tepelné efekty bodových kotev zavěšených fasádních obkladů [online]. Praha : Topinfo s.r.o., 2008 [cit. 2022-01-23]. Dostupné z

WWW:< <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/4737-tepelne-efekty-bodovych-kotev-zavesenych-fasadnich-obkladu> >.

ZEMAN, Martin. Foto: Dům se sloupy z douglasky [online]. Jílové u Prahy : Dřevostavby Biskup s.r.o., 2015 [cit. 2021-11-18]. Dostupné z

WWW: < <http://www.drevostavbybiskup.cz/nase-drevostavby/230/dum-se-sloupy-z-douglasky.html?pg=1> >.

VESELSKÝ, Dano. Foto: Dům v romantické dolině Javorníků ctí zásady skandinávské architektury [online]. Praha : Jaga Media, s.r.o., 2017 [cit. 2021-11-18]. Dostupné z

WWW: < [https://homebydleni.cz/dum/navstevy-domu/dum-v-romanticke-doline-javorniku-cti-zasady-skandinavske-architektury/attachment/02\\_danov\\_2513/](https://homebydleni.cz/dum/navstevy-domu/dum-v-romanticke-doline-javorniku-cti-zasady-skandinavske-architektury/attachment/02_danov_2513/) >.

BOVA Březnice spol. s r.o (1). Foto: Hmoždík Buldog 95/36 13-03 [online]. Březnice : BOVA Březnice spol. s r.o. 2021 [cit. 2022-01-20]. Dostupné z

WWW: < <http://bova-nail.cz/produkt/hmozdik-buldog-9536-13-03/>>.

BOVA Březnice spol. s r.o (2). Foto: Styčnicková deska BV15 01-02 [online]. Březnice : BOVA Březnice spol. s r.o. 2021 [cit. 2022-01-20]. Dostupné z

WWW: < <http://bova-nail.cz/produkt/stycnikova-deska-bv15-01-02/> >.

KOŽELOUH, Bohumil. Foto: STEICOjoist [online]. Praha : Business Media One, s. r. o. 2016 [cit. 2022-01-21]. Dostupné z WWW: < [https://www.imaterialy.cz/rubriky/materialy/konstrukcni-material-vrstvene-drevo\\_43529.html](https://www.imaterialy.cz/rubriky/materialy/konstrukcni-material-vrstvene-drevo_43529.html) >.

MITEK INDUSTRIES, spol s r.o. (8). Detaily Posi-Joist [online]. Brno : MITEK INDUSTRIES, spol s r.o., 2022 [cit. 2022-01-23]. Dostupné z

WWW:< <https://docplayer.cz/17281607-Detaily-posi-joist-obsah-ulozeni-posi-joist-do-nosniku-2.html> >.

Designing Buildings. Crawl space [online]. United Kingdom : Designing Buildings Ltd., 2022 [cit. 2022-02-26]. Dostupné z

WWW:< [https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Crawl\\_space](https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Crawl_space) >.

TRANDOVÁ, Lenka. Posel dobrých zpráv: Statistika výstavby dřevostaveb 2020 [online]. Praha : Česká komora lehkých obvodových plášťů, 2021 [cit. 2022-01-23]. Dostupné z

WWW:< <https://www.cklop.cz/aktualita/243-cz-posel-dobrych-zprav-statistiky-vystavby-drevostaveb-2020> >.

KOPECKÝ, Pavel. Materiál a konstrukce: Šíření tepla, vzduchu a vlhkosti v budovách a stavebních prvcích [online]. Praha : Česká technika, nakladatelství ČVUT, 2014 [cit. 2022-02-27]. Dostupné z

WWW: < [http://tzb2.fsv.cvut.cz/vyucujici/16/oppa/124mtib\\_kopecky.pdf](http://tzb2.fsv.cvut.cz/vyucujici/16/oppa/124mtib_kopecky.pdf) >.

KUCHAŘ, Marek. Dřevostavby, které nemají konkurenci. Vodní vily na Maledivách vám učarují [online]. Praha : Pro Vobis, s.r.o., 2019 [cit. 2022-02-27]. Dostupné z

WWW: < <https://www.drevostavitel.cz/clanek/drevostavby-maledivy> >.

STAŇKOVÁ, Radka. Trondheim: Co navštívit v bývalém hlavním městě Norska? [online]. Oslo : Norwana a.s., 2020 [cit. 2022-02-27]. Dostupné z

WWW: < <https://realcamplife.com/trondheim-co-navstivit/> >.

POVÝŠILOVÁ, Gabriela. Malebné norské domky Rorbu už nejsou jen pro rybáře [online]. Praha : Magazín Living.cz s.r.o., 2021 [cit. 2022-02-27]. Dostupné z

WWW: < <https://www.living.cz/malebne-norske-domky-rorbu-uz-nejsou-jen-rybare/> >.

SMOLA, Josef. Dřevostavba založená nad terénem s provětrávanou dutinou: jakým chybám se vyvarovat u crawl space [online]. Praha : Topinfo s.r.o., 2021 [cit. 2022-02-27]. Dostupné z

WWW: < <https://www.estav.cz/cz/9429.drevostavba-zalozena-nad-terenem-s-provetravanou-dutinou-jakym-chybam-se-vyvarovat> >.

CRIDLAND, James. Foto: Historické budovy z Hovinu a Gransheradu v Telemarku [online]. Oslo : Norsk Folkemuseum, 2020 [cit. 2022-02-27]. Dostupné z

WWW: < <https://www.flickr.com/photos/zug55/10352622836/in/photostream/> >.

OVCHINNIKOV, Ivan. Dubldom: Modular houses, design and production [online]. Ekaterinburg : Dubldom, 2022 [cit. 2022-02-27]. Dostupné z

WWW: < <https://dubldom.com/eu#rec39603323> >.

BURKE, Stephen. Advantages and Risks Associated with Crawl Space Foundations [online]. Sweden : Lund Institute of Technology, 2019 [cit. 2022-02-27]. Dostupné z

WWW: < <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.576.1877&rep=rep1&type=pdf> >.

Åberg, O. Kryprumsgrunder: Byggeforskningsrådet (Crawl space foundations, in Swedish) [online]. Stockholm : Bygg and teknik, 1995 [cit. 2022-02-27]. Dostupné z

WWW: < [https://www.fuktcentrum.lth.se/fileadmin/fuktcentrum/Publikationer/Bygg-Teknik/5\\_02\\_20.pdf](https://www.fuktcentrum.lth.se/fileadmin/fuktcentrum/Publikationer/Bygg-Teknik/5_02_20.pdf) >.

DRACHOVSKÝ, Jiří. Foto: Holiday Home MB Ranch [online]. Londýn : Airbnb Payments UK Ltd., 2022 [cit. 2022-02-27]. Dostupné z

WWW: < [https://www.airbnb.cz/rooms/13089282/photos/157311005?source\\_impression\\_id=3\\_1633458871\\_Kt3mrmjZRUS3CRf6&guests=1&adults=1](https://www.airbnb.cz/rooms/13089282/photos/157311005?source_impression_id=3_1633458871_Kt3mrmjZRUS3CRf6&guests=1&adults=1) >.

OÚ Jevany. Územní plán: Platný územní plán [online]. Jevany : Obecní úřad Jevany, 2008 [cit. 2022-02-28], dostupné z < <https://www.obecjevany.cz/urad-2/uzemni-plan/platny-uzemni-plan/> >.

ČÚZK. Nahlížení do katastru nemovitostí: Informace o pozemku [online]. Praha : Český úřad zeměměřický a katastrální, 2022 [cit. 2022-02-28], dostupné z < [https://nahliznidokn.cuzk.cz/ZobrazObjekt.aspx?encrypted=xq9SIEeME8pIyOW\\_ZxCjk4zhuUEWWkJzljPasCqpNdJ-ZVmtn-KbFKcACrwN62I6ZEC1\\_9yIr7IW6IjyaTKEk6cmh7h\\_ItBMcCq7J\\_hqY0N0sWzm8yB\\_qUJdoWwcFd9sWTbjaFTCRWiDZfYUxg9Zpw7lGIJS1JU6kcvK6cXA6ZzHgopdAcooX8prfIiRBtu](https://nahliznidokn.cuzk.cz/ZobrazObjekt.aspx?encrypted=xq9SIEeME8pIyOW_ZxCjk4zhuUEWWkJzljPasCqpNdJ-ZVmtn-KbFKcACrwN62I6ZEC1_9yIr7IW6IjyaTKEk6cmh7h_ItBMcCq7J_hqY0N0sWzm8yB_qUJdoWwcFd9sWTbjaFTCRWiDZfYUxg9Zpw7lGIJS1JU6kcvK6cXA6ZzHgopdAcooX8prfIiRBtu) >.

## **Použitý software**

MS Office 2016 (word, excel)

Archicad 2021 - výuková verze

Autocad 2018 - výuková verze

Teplo 2017 EDU (Svoboda Software) - freeware verze

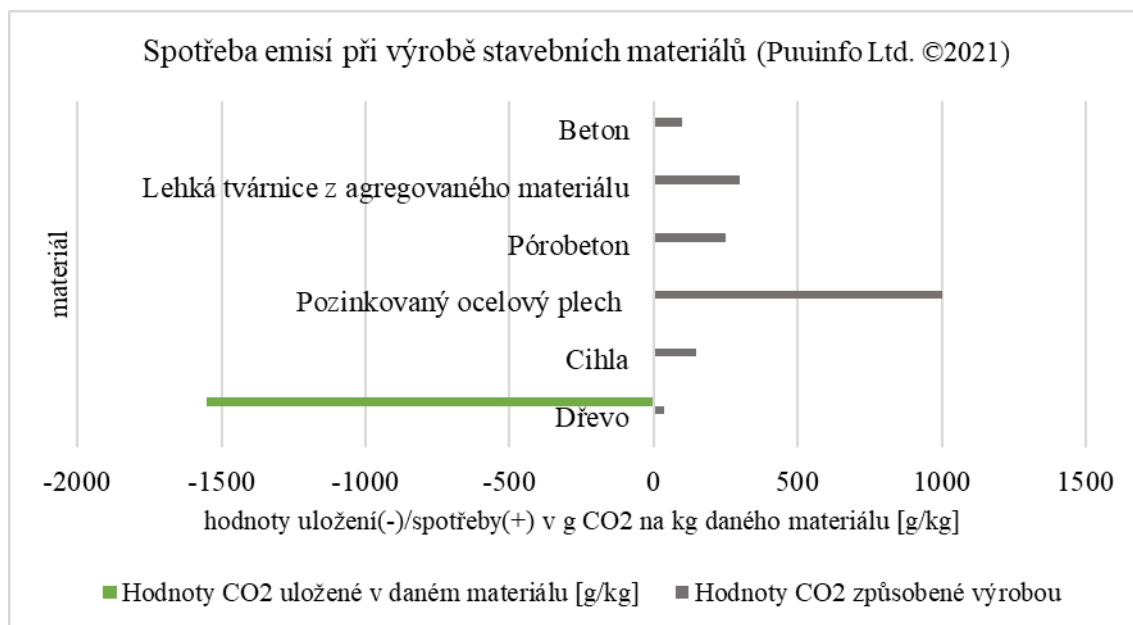
Area 2017 EDU (Svoboda Software) - freeware verze

Meshgen Area 2017 EDU (Svoboda Software) - freeware verze

## Přílohy

### Tabulky a grafy

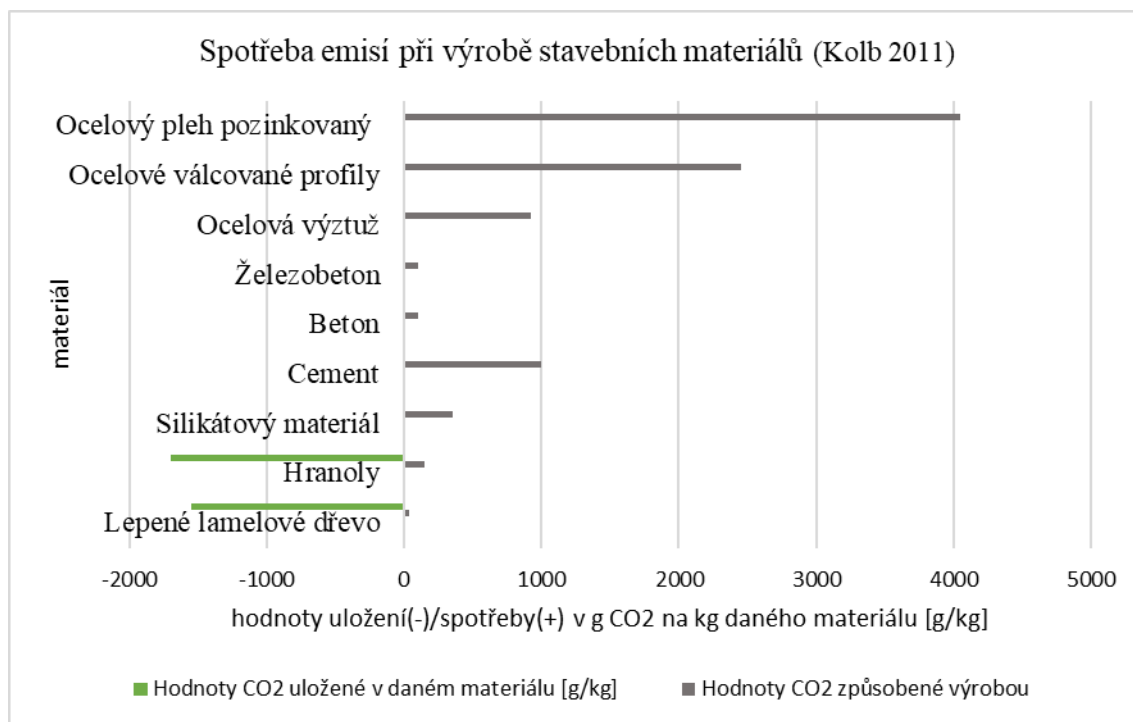
Příloha č. 1 Aktuální spotřeba emisí při výrobě stavebních materiálů (Puinfo Ltd. ©2021)



Na tomto grafu můžeme vidět poměrně zřetelný rozdíl mezi pozinkovanou ocelí, u které je v průměru při výrobě 1 kg materiálu uvolněno do atmosféry uvolněn 1 kg CO<sub>2</sub>. U dřeva naopak vidíme nepatrné uvolňování CO<sub>2</sub>, která vznikne např. při těžbě, opracování výrobku a při následné likvidaci. I přes to je patrné, že dřevo za celou dobu své existence naváže na své struktury více CO<sub>2</sub> ze vzduchu, než je vůbec schopno uvolnit do atmosféry. Navíc bylo zjištěno, že na 1 m<sup>2</sup> stěny (zanedbaná tloušťka) vyplněné pouze dřevem se vytvoří sklad o hmotnosti 52 kg CO<sub>2</sub>. (Puinfo Ltd. ©2021).

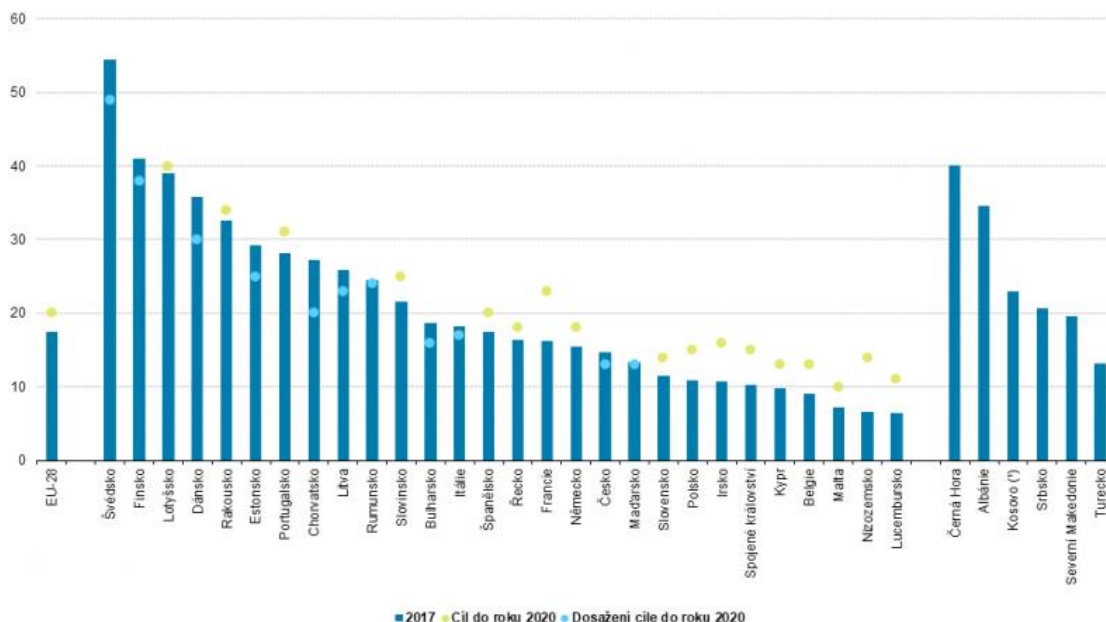
Podle Kolba (2011) hodnoty emisí z roku 2010 na grafu (viz Příloha č. 2), který uvádí ve své publikaci, se s hodnotami od finské neziskové organizace v zásadě neliší. Největší rozdíly byly zaznamenány u oceli, která v roce 2010 dosahovala téměř dvojnásobným hodnotám emise při výrobě oceli oproti předchozímu výzkumu, tedy 4 kg CO<sub>2</sub> na 1 kg materiálu (Kolb 2011). Vidíme, že oproti roku 2010 u výroby oceli došlo k výrazné redukci koncentrace CO<sub>2</sub> do ovzduší, mohou za to pravděpodobně neustále se zpřísnující emisní normy, které stanovuje EU. Stále se jedná o energeticky neúsporné materiály, kde na 1 kg materiálu se uvolní emise v podobě 1 kg CO<sub>2</sub>.

Příloha č. 2 Spotřeba emisí při výrobě stavebních materiálů k roku 2010 (Kolb 2011)



Příloha č. 3 Časová osa historie dřevostaveb (samostatný list A3)

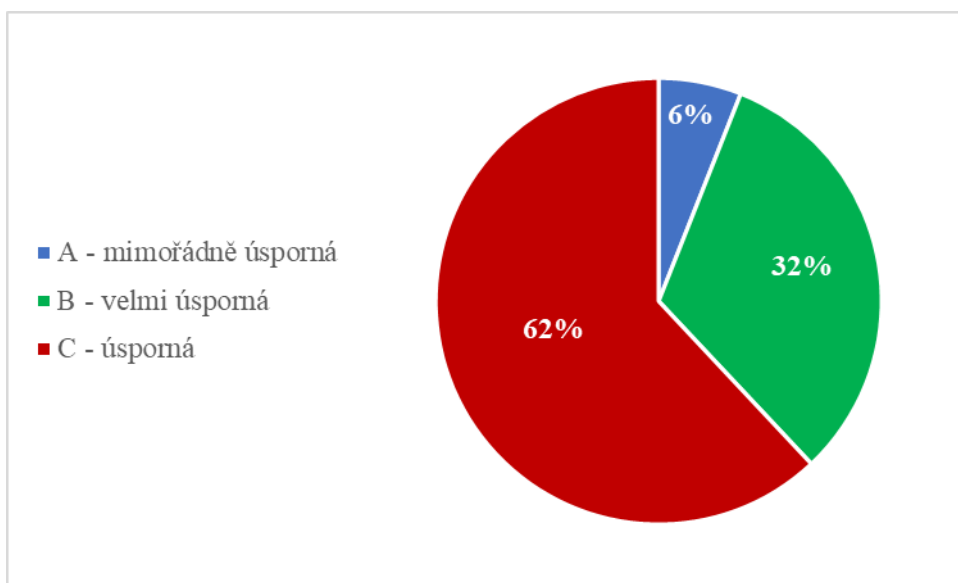
Příloha č. 34 Podíl energie z obnovitelných zdrojů pro rok 2017 (Eurostat©2019)



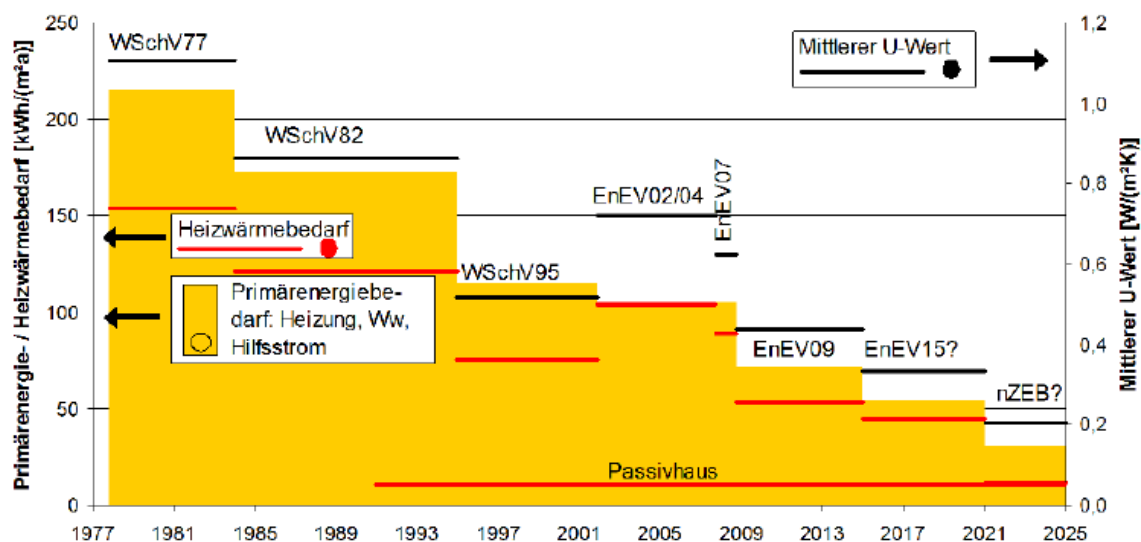
Z tohoto grafu můžeme konstatovat, že nejvyšších hodnot OZE (v %) k roku 2017 dosahovalo Švédsko s hodnotou více jak 50 % OZE, kde již převýšilo stanovenou cílovou hodnotu OZE, který si zadalo do roku 2020. V roce 2017 zde byly čtyři státy, které dosahovaly nejnižších hodnot OZE (<10 %). Průměrná hodnota EU u konečné

spotřeby energie činí 17 % OZE s tím, že cíl do roku 2020 si stanovila 20 % OZE. ČR dosahovala lehce podprůměrných hodnot, 15 % OZE, nicméně, obdobně jako Švýcarsko, již v roce 2017 ČR převýšila stanovený cíl do roku 2020 (Eurostat©2019).

Příloha č. 35 Energetická náročnost dokončených RD v ČR v roce 2018 (MPO©2019)



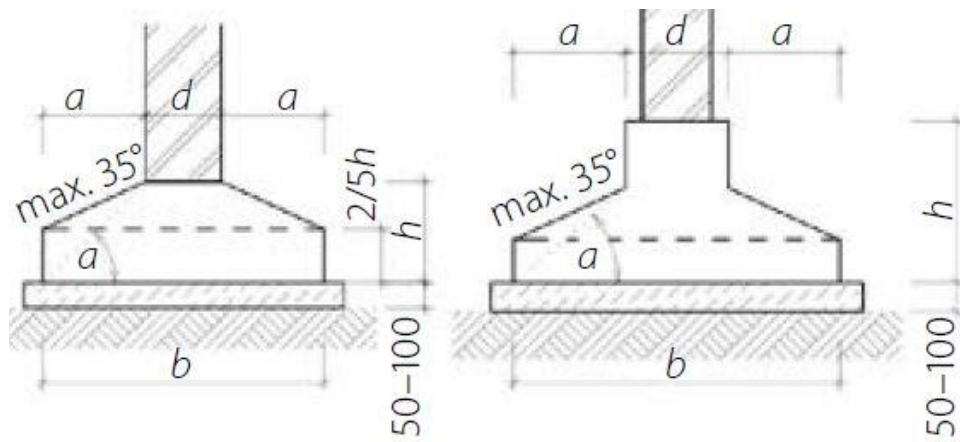
Příloha č. 36 Potřeba primární energie a průměrné hodnoty U v Německu (Krick 2013)



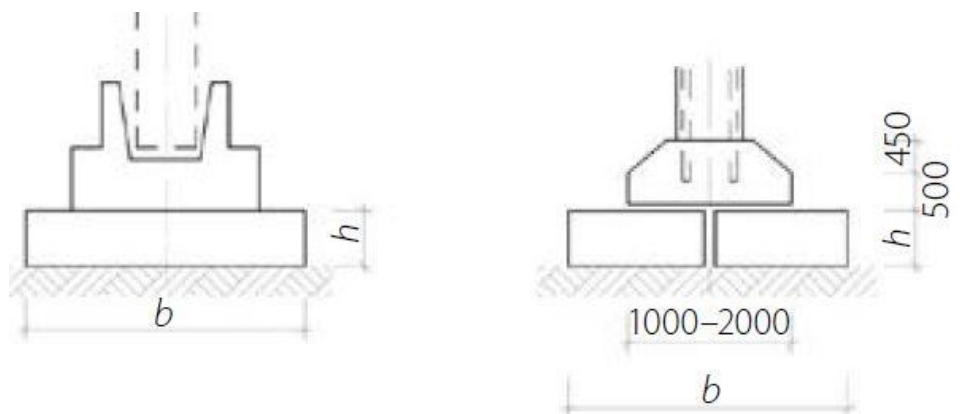


## Fotodokumentace a obrázky

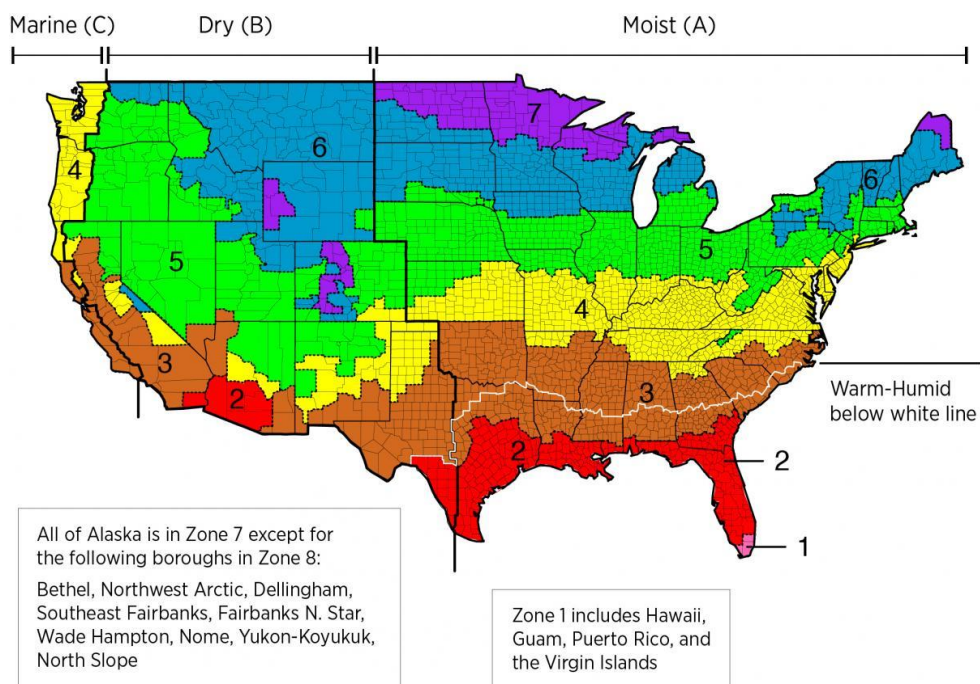
Příloha č. 4 Železobetonové základové pásy se šikmými náběhy (levý) a se šikmými náběhy tvaru tzv. obráceného T (pravý), (Kubečka; Kubečková 2016)



Příloha č. 5 Způsoby uložení sloupu do prefabrikované patky pomocí kalichu (levý) a výztuží (pravý) vyobrazené na příčných řezech (Kubečka; Kubečková 2016)



Příloha č. 6 Klimatické zóny pro upřesnění metodik (ICC©2011)



Příloha č. 7 Historické budovy z Hovinu a Gransheradu v Tellemarku (Cridland 2020)





Příloha č. 8 Otevřená metoda CS, vstup kanalizace skrz podlahový rošt, obalen návlekovou izolací na bázi pěnového polyetylénu (vlastní foto)



Příloha č. 9a Realizace zemních vrtů – vrtání (KRINNER©2021)





Příloha č. 9b Realizace základového prahu u RD Litultovice – metoda Crawl space – otevřený systém (Zemní vruty KOSTRHOUN (3) ©2020)



Příloha č. 9c Detail zemního vrutu (vlastní foto)





Příloha č. 10 Otevřená metoda CS, vstup kanalizace skrz podlahový rošt, detail (vlastní foto)



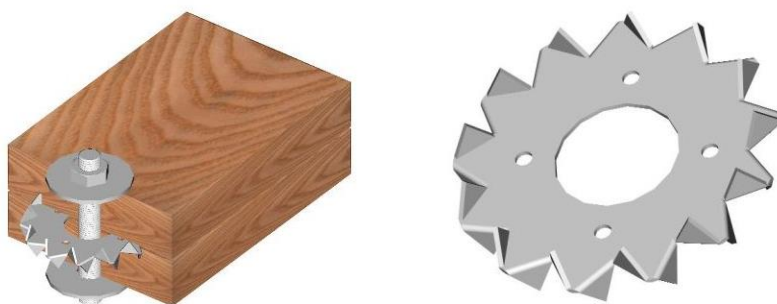
Příloha č. 11 Srub založen otevřenou metodou CS na betonovém trámu (Drachovský 2022)



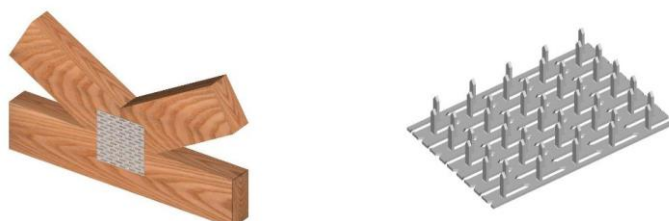
Příloha č. 12 Příklad konstrukčně vhodného řešení pultové střechy s přesahem, konstrukční difúzně otevřený systém DEKPANEL v kombinaci s těžkým skeletem, obklad: cedrové dřevo, energetický standart: nízkoenergetická stavba (Zeman 2015)



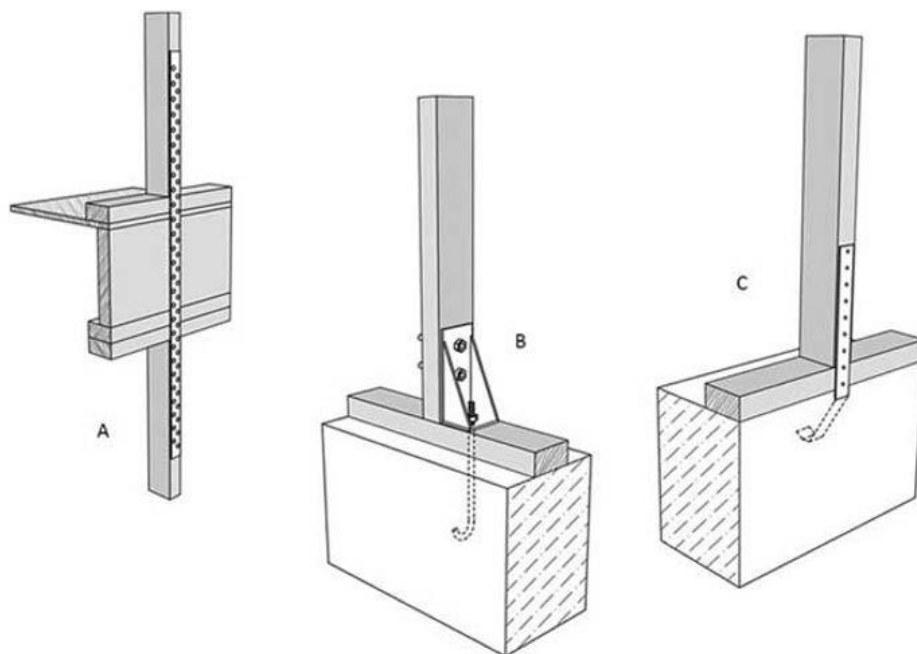
Příloha č. 13 Příklady spojovacího ocelového prvku: Hmoždík Bulldog (Foto: BOVA(1)©2022)



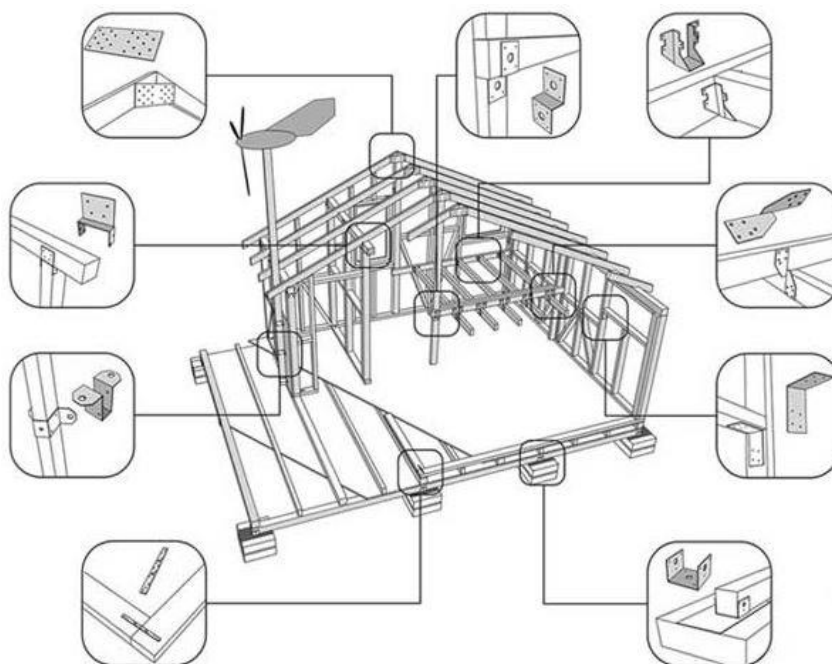
Příloha č. 14 Příklady spojovacího ocelového prvku: deska s prolisovanými trny (Foto: BOVA(1)©2022)



Příloha. 15 (levý-A) Příklady napojení konstrukce stěn a stropního rámu pomocí pásové oceli, (střední-B) Příklad napojení konstrukce stěny a základu pomocí závitové ocelové tyče a ocelového plechu s prolisem, (pravý-C) Příklad napojení konstrukce stěny a základu částečným zabetonováním pásové oceli (Strnad a kol. 2021)

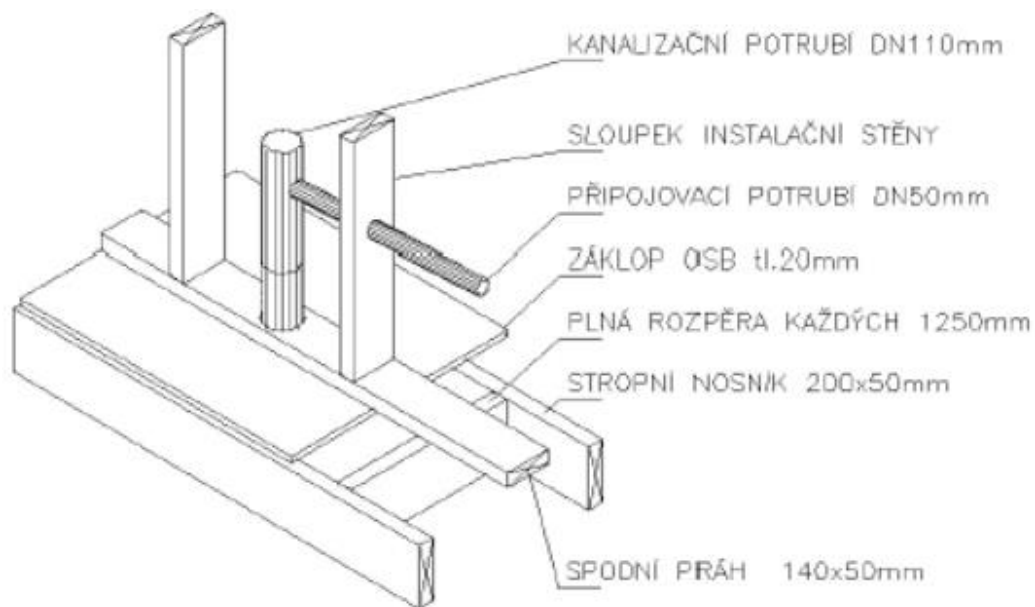


Příloha č. 16 Příklady používaných ocelových spojovacích materiálů (Strnad a kol. 2021)



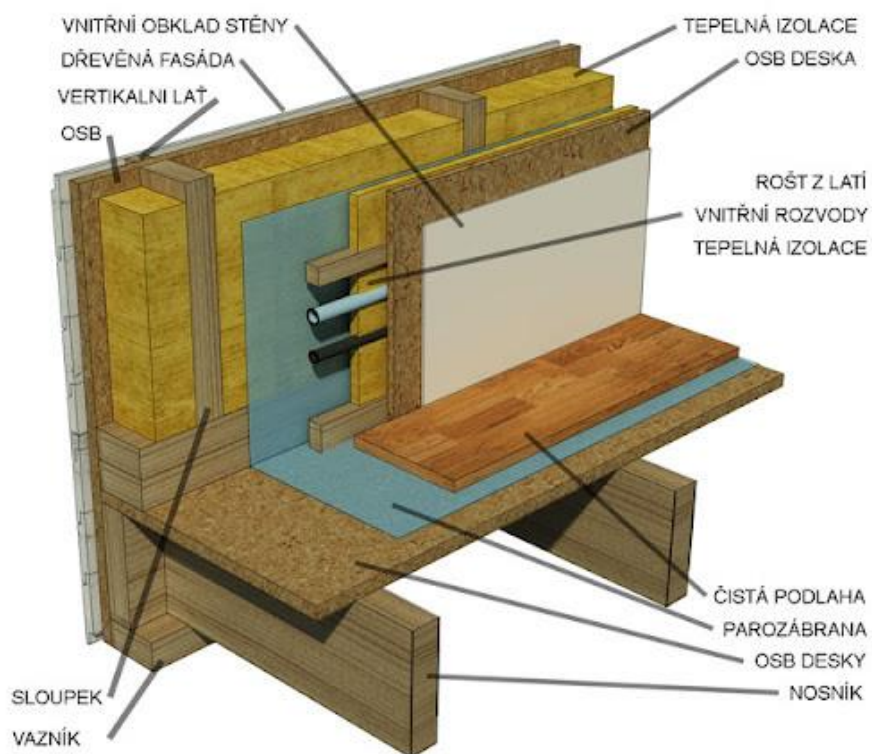


Příloha č. 17 Perspektiva řezu instalační nenosné příčky z dřevěného rámu (Dashöfer 2009)



Příloha č. 18 Řez napojení svislé a vodorovné nosné konstrukce (Strnad 2020)

### SKLADBA STĚNY DŘEVOSTAVBY

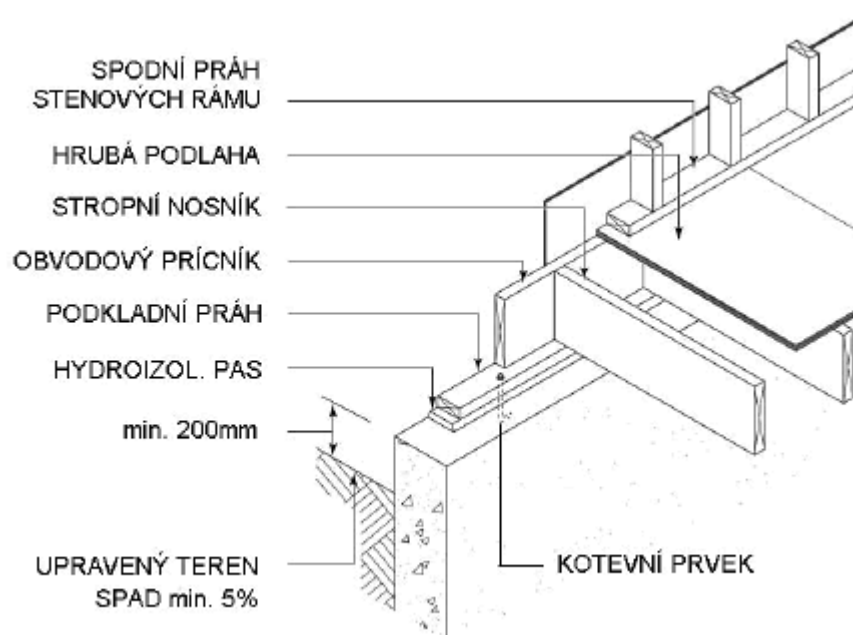




Příloha č. 19 Orientační tloušťky deskových materiálů na hrubou pokládku podlahy (Dashöfer 2009)

Druh záklopu	Tloušťky dle maximální osové vzdálenosti stropních nosníků		
	≤312.5mm	≤417mm	≤625mm
Buková překližka	12	15	20
OSB konstrukční deska	15	20	25
Prkna max. 180mm šířky	16	19	22

Příloha č. 20 Uložení stropního rámu po celé tloušťce obvodové nosné konstrukce stěny (Dashöfer 2009)



Příloha č. 21 Manipulace stropních nosníků Posi-Joist na staveništi (prefa-montovaný způsob dodání ; MITEK(6)©2022)



Příloha č. 22 Nosník Posi-Joist s vloženou stojinou na konci (možnost zkracování, záleží na konkrétním výrobci), (MITEK(2)©2022)



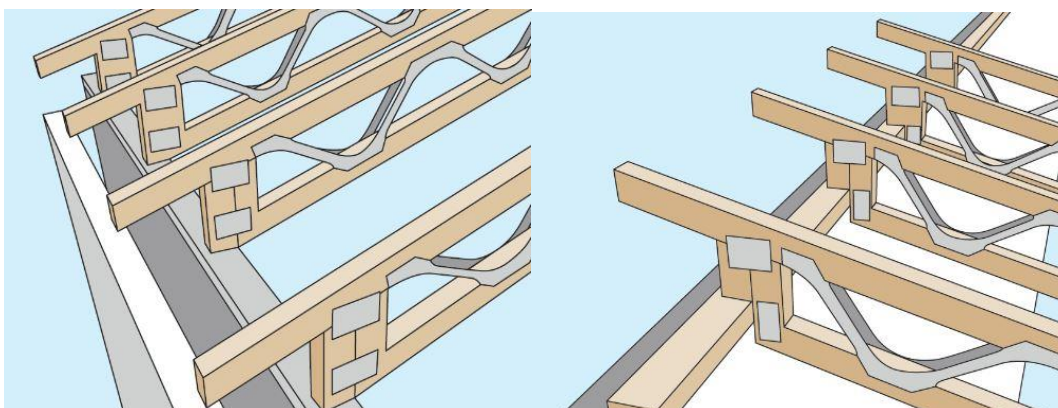
Příloha č. 23 Orientační rozměry fošen pro zavětrování (MITEK(4)©2022)

Velikost diagonály	Minimální rozměry ztužení
PS8	40x80 mm
PS9N	40x100 mm
PS10N	40x120 mm
PS12N	40x140 mm
PS14N	40x180 mm
PS16N	40x200 mm

Přílohy č. 24, 25 Detaily řešení systému Posi-Stud pro svislé stěnové konstrukce: (levý) bez nosníků s dodatečným zavětrováním, (pravý) se stropními nosníky Posi-Joist (MITEK(7)©2022)



Přílohy č. 26, 27 Detail konstrukčního napojení na pozednici (MITEK(7)©2022)



Příloha č. 28 LVL nosníky (Koželouh 2016)





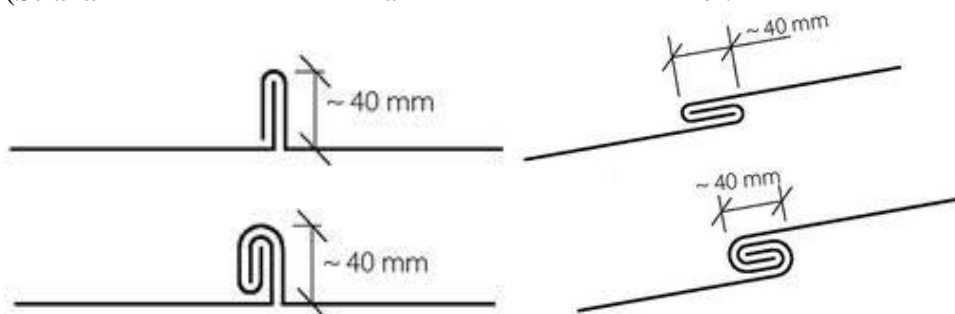
Příloha č. 29 Manipulace stěnového panelu na staveništi (Trandová 2021)



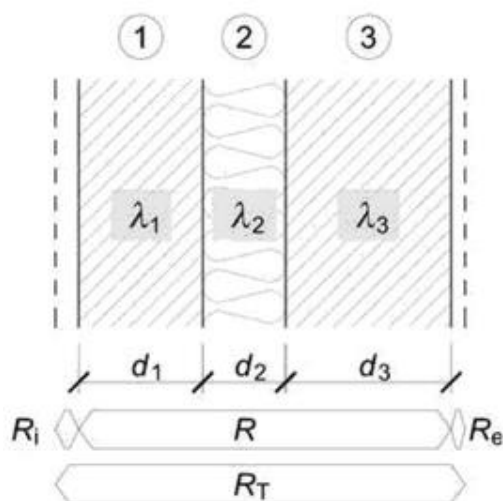
Příloha č. 30 Příklad konstrukčně nevhodného řešení sedlové střechy bez přesahu, konstrukční difúzně uzavřený systém: zdivo Heluz, krytina: falcový hliníkový plech, obložení dřevo ThermoWood, energetický standart: nízkoenergetická stavba (Veselský 2017)



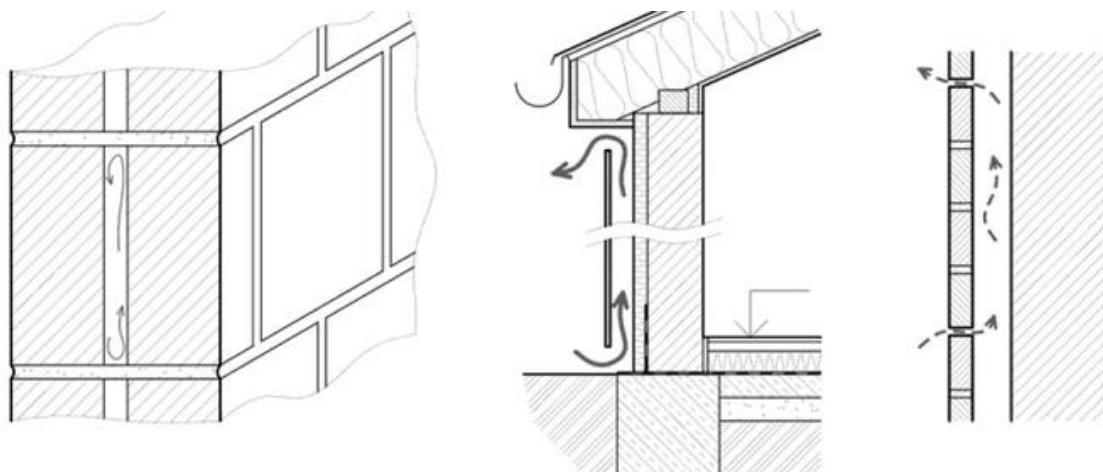
Příloha č. 31 Schéma klempířských spojů: jednoduchá příčná (levý-horní), dvojitá příčná (levý-dolní), jednoduchá podélná (pravý-horní), dvojitá podélná (pravý-dolní), (Straka a kol. 2013).



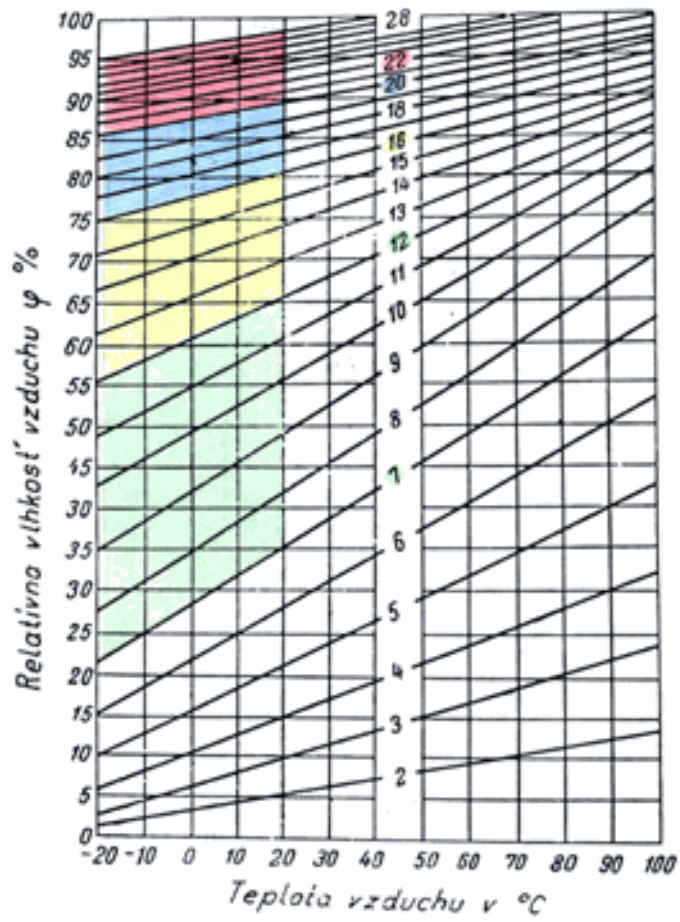
Příloha č. 32 Schéma souvrství konstrukce pro výpočet (Tywoniak a kol. 2014)



Příloha č. 33 Druhy vzduchových mezer: levý – uzavřená (nevětraná), prostřední – otevřená (větraná), pravý – polootevřená (částečně větraná) (Tywoniak a kol. 2014)



Příloha č. 37 Sorpční křivka dřeva (Havířová ; Kubů 2005)



## Dokumentace pro realizaci stavby

Příloha č. 38

### Provozní architektonicko-stavební řešení – Studie

PA-S 1	Půdorys 1.NP	1. list
PA-S 2	Půdorys 2.NP	2. list
PA-S 3	Pohled na střechu	3. list
PA-S 4	Vizualizace	4. list

### Stavební část

SČ 1	Souhrnná technická zpráva	11. list
SČ 2.1	Situační výkres širších vztahů	44. list
SČ 2.2	Katastrální situační výkres	45. list
SČ 2.3	Koordinálně situační výkres	46. list

### Architektonicko-stavební řešení

ASŘ 1	Technická zpráva	47. list
ASŘ 2	Půdorys základů	60. list
ASŘ 3	Půdorys 1NP	61. list
ASŘ 4	Půdorys 2NP	62. list
ASŘ 5	Řez A_A'	63. list
ASŘ 6	Řez B_B'	64. list
ASŘ 7	Řez C_C'	65. list
ASŘ 8	Výkres konstrukce podlahového roštu	66. list
ASŘ 9	Výkres stropní konstrukce	67. list
ASŘ 10	Výkres konstrukce střechy	68. list
ASŘ 11	Pohled východní a západní	69. list
ASŘ 12	Pohled severní a jižní	70. list
ASŘ 13	Skladby konstrukcí	71. list
ASŘ 14	Tabulka okenních výplní otvorů	72. list
ASŘ 15	Tabulka dveřních výplní otvorů	73. list
ASŘ 16	Detaily – úvodní list	74. list
ASŘ 17	Detail soklové části	75. list
ASŘ 18	Detail stropní konstrukce	76. list

ASŘ 19	Detail okenního rámu	77. list
ASŘ 20	Detail střechy – jižní fasáda	78. list
ASŘ 21	Detail střechy - atrium	79. list

## **Statická část**

### Staticky konstrukční řešení

SKŘ 1	Průvodní zpráva	80. list
SKŘ 2	Výpočet zatížení	87. list
SKŘ 2.1	Zatížení od vlastní tíhy	92. list
SKŘ 2.2	Zatížení sněhem	97. list
SKŘ 2.3	Vykreslení vnitřních sil, software Scia Engineer	99. list
SKŘ 2.4	Návrh a posouzení prvku na 1.MSÚ	102. list
SKŘ 2.5	Návrh a posouzení prvku na 2.MSÚ	107. list
SKŘ 2.6	Návrh spoje na otláčení	111. list

## **Montážní dokumentace**

### Konstrukční řešení stěnového panelu na východní fasádě

MD 1	Půdorys východní stěny	112. list
MD 2	Východní stěna 1NP	112. list
MD 3	Východní stěna 2NP	112. list

## **Tepelně technický výpočet**

### Tepelně technické posouzení

TTV 1	Protokol ze softwaru Teplo 2017 EDU	113. list
TTV 2	Protokol ze softwaru Area 2017 EDU	140. list

## **Rozpočet stavby**

### Předběžné a podrobné nacenění stavebního díla

RS 1	Předběžný rozpočet ze softwaru Kubix	185. list
RS 2	Položkový rozpočet ze softwaru Kros4	191. list



## **Rozbor znaleckého posudku zaměřeného na problémy dřevostavby s uzavřenou metodou CS**

Příloha č. 39

### Příklad problémové provedení realizace dřevostavby s provětrávanou mezerou

Jedná se o dvoupodlažní řadový domek, který se skládá z obytného prvního nadzemního podlaží + podkroví. Domek byl vestavěn v proluce, kde oba přilehlé objekty již stály (viz Příloha RZP 1, 2). Byl zde navržen zapuštěný systém (pod UT) provětrávané vzduchové mezery, jejíž konstrukce měla být založena na betonových základových pasech se základovými stěnami (dle projektové dokumentace). Nakonec základovou konstrukci tvořila pouze základová deska s kari-sítí po celé ploše této stavby (dodatečná úprava dokumentace). Odvětrání vzduchové mezery bylo zajištěno z obou stran řadového RD, tedy jak z ulice, tak také i ze zahrady (Lavický; Mastná 2012).

Příloha RZP 1 Pohled na objekt z ulice

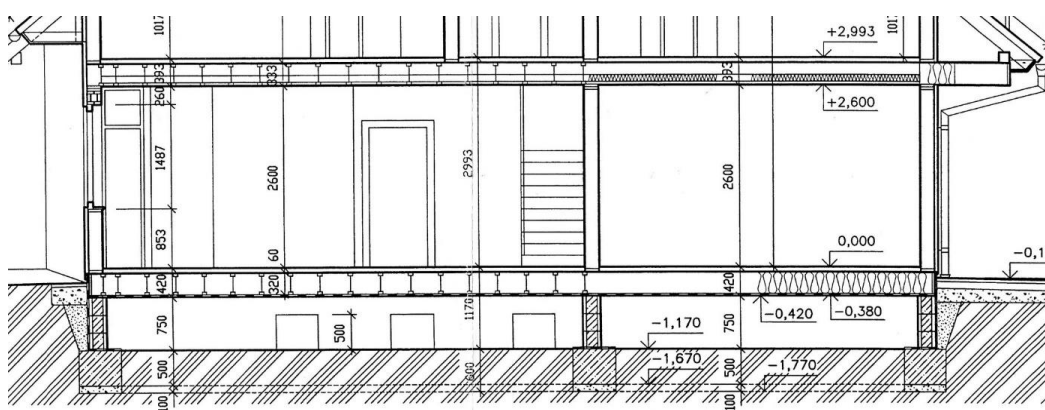


Příloha RZP 2 Realizování větrané mezery, příprava betonáže (Lavický; Mastná 2012)



Základové stěny byly vyhotoveny z polystyrenových tvarovek, které tvořily ztracené bednění a byly monoliticky propojeny s betonovou směsí. Mezi stěnami byl umístěn neizolovaný podkladní beton, jenž nebyl žádným způsobem chráněn proti zemní vlhkosti. Svislou nosnou konstrukci tohoto objektu tvořily prefabrikovaná sloupková rámová konstrukce z I nosníků vyplněných expandovaným polystyrenem. Stropní konstrukci (1.NP, 2.NP) tvořily opět dřevěné I nosníky se záklopem OSB z obou stran a vyplněné polystyrenovými dílci. Vnitřní nosné k-ce tvořila sloupková rámová k-ce z I nosníků s minerální izolací s SDK záklopem z obou stran. Konstrukce obvodové stěny i stropní k-ce v 1.NP nad vzduchovou mezerou byla navržena jako difúzně uzavřená (Lavický; Mastná 2012).

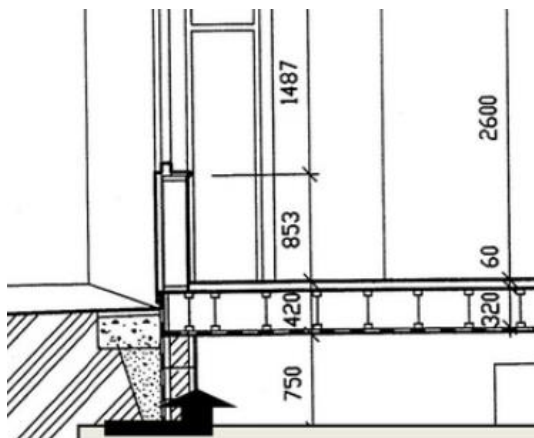
Příloha RZP 3 Příčný řez objektem podle původní projektové dokumentace (Lavický; Mastná 2012)



Spodní stavba byla podle projektové dokumentace odizolována H.I., jak po vnějším líci základových stěn, tak také i po spodní hraně stropní k-ce nad vzduchovou mezerou. Z Příloh RZP 3 a RZP 4 je patrné, že k odizolování stropní konstrukce nedošlo a jsou tam vidět přímo I nosníky s polystyrenovými dílci, tudíž není k-ce žádným způsobem chráněna proti vlhkosti (Lavický; Mastná 2012).

Podle Lavického a Mastné (2012) v tomto případě došlo k nadměrné vlhkosti v provětrávané mezeře dochází pod 1.NP na půdorysném umístění uliční strany domu (na uliční čáře) a levé štítové stěny podél základového zdiva. V tomto místě dochází k nadměrné vlhkosti vlivem nedostatečného odpaření či vysychání ve větrané mezeře.

Příloha RZP 4 Detail řešení odizolování nosných konstrukcí od okolního terénu – směr vniknutí vlhkosti (Lavický; Mastná 2012)



Vlhkost totiž není způsobena kondenzátem, nýbrž vztlínáním spodní vody skrz neodizolovanou základovou deskou (viz Příloha RZP 4, RZP 5). Podle vyvrtané sondy a fotodokumentace pořízené při realizaci základových stěn, bylo usouzeno, že se jedná jednoznačně o dešťovou vodu splavenou z chodníku pokrytého kačirkem skrz ztuhnutou zeminu až po pracovní spáru u základové neodizolované desky (Lavický; Mastná 2012).

Příloha RZP 5 Viditelná vztlínající vlhkost skrz v provětrávané vzduchové mezeře (Lavický; Mastná 2012)



Spodní stavba byla podle projektové dokumentace odizolována H.I. jak po vnější lici základových stěn, tak také i po spodní hraně stropní k-ce nad vzduchovou mezerou. Jako hydroizolace byla ve skutečnosti použita pouze nopová fólie a byla vedena pouze do funkční spáry u základové desky a základových stěn, nikoli přes ní. Z Přílohy RZP 4, RZP 6 je navíc patrné, že k odizolování stropní konstrukce také nedošlo a jsou tam vidět přímo I nosníky s polystyrenovými dílci, tudíž není k-ce žádným způsobem chráněna proti vlhkosti (Lavický; Mastná 2012).

Příloha RZP 6 Pohled na neodizolované vedení TZB a stropní konstrukci ve vzduchové mezeře (Lavický; Mastná 2012)



Tato stavba měla i další problémy jako jsou například nedostatečně odizolované vedení TZB s ohledem na lokalitu, podnebí a průměrnou teplotou vzduchu v zimních prostředích. Zároveň u vedení TZB bylo neodborně provedeno jejich podložení, kotvení k stropní konstrukci závěsy o velkých osových vzdálenostech apod. (viz Obr. 12). Nicméně závěrem bylo v posudku doporučeno, že s ohledem na pronikající dešťovou vodu skrz funkční spáru základové konstrukce a tím zvyšující se vlhkosti, může dojít k potencionálnímu vzniku plísní či jiných dřevokazných činitelů. S ohledem na neodizolování nosné stropní konstrukce od tohoto vlhkého prostředí bylo doporučeno dodatečná terénní úprava a přidání drenážního systému pod ÚT na vnějším líci základových stěn tak, aby došlo k eliminaci dešťové vody (viz Obr. 12, 13), (Lavický; Mastná 2012).

Obr. 13 Pohled na neodborné kotvení TZB a neodizolování stropní konstrukci ve vzduchové mezeře (Lavický; Mastná 2012)



To by mělo být provedeno takovým způsobem, že pronikající srážková voda bude novou šikmo umístěnou nopovou fólií stékat směrem od budovy, nikoli naopak. Dále bude min. osová vzdálenost spodní úrovně nopové fólie min. 600 mm od základové

stěny a voda bude řádně odvedena drenážním systémem od stavby do vsakovacího místa na parcele (Lavický; Mastná 2012).

S ohledem na nesoulad projektové dokumentace a realizace objektu byl pro zmírnění navlhání doporučen výčet dalších opatření: položení nové fóliové hydroizolace na základovou desku provětrávané vzduchové mezery, dále instalace odvlhčovačů s vlhkostními čidly a osazení automatizovaných uzavíratelných klapek s tepelnými čidly. K nestandardnímu uložení TZB bylo doporučeno dodatečné podezdění, u kterého musí být počítáno s dilatací v ose potrubí a doplněné novými závěsy. Dále veškeré rozvody TZB opatřit tepelnou izolací na bázi minerálních vláken s protipožárním vysokým účinkem (Lavický; Mastná 2012).

### **Porovnání konstrukčních systémů založených metodou CS**

Příloha č. 40

VPK 1	Srubové konstrukce založené pomocí metody CS	1. list
VPK 2	Rámové konstrukce založené pomocí metody CS	1. list
VKP 3	Skeletové konstrukce založené pomocí metody CS	1. list

### **Porovnání ostatních konstrukčních systémů a druhů montáže**

Příloha č. 41

VKP 4	Výhody a nevýhody systému Posi-Joist	1. list
VKP 5	Porovnání Posi-Joist a roštový KVH strop	1. list
VKP 6	Výhody a nevýhody systému Steico joist	1. list
VKP 7	Výhody a nevýhody staveništní montáže založené m. CS	1. list
VKP 8	Výhody a nevýhody panelové montáže založené m. CS	1. list

### **Technické listy výrobců**

Příloha č. 42

- a) Posi stropy, střechy, stěny (MITEK(2)©2022)
- b) Posi-Joist Stropy: Podklady pro navrhování (MITEK(3)©2022)
- c) Technologie prefabrikace a zásady montáže (MITEK(3,5)©2022)
- d) The world of Posi Technology: The Posi-Joist Technical Handbook-Issue 7, choice (MITEK UK and Ireland(7)©2022).
- e) Konstruktionsheft: Stegträger, die auswahl (STEICOSE(3)©2022).