

# Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská  
Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



## Návrh dřevostavby rodinného domu s částečným využitím podkrovního prostoru

Diplomová práce

Autor: Bc. Alžběta Šilhavá

Vedoucí: Ing. Miroslav Gašparík, PhD.

2021/2022

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Alžběta Šilhavá

Dřevařské inženýrství

Dřevařské inženýrství

Název práce

**Návrh dřevostavby rodinného domu s částečným využitím podkrovního prostoru**

Název anglicky

**Design of a wooden family house with partial use of the attic space**

---

### Cíle práce

Cílem práce je návrh dřevostavby rodinného domu s částečným využitím podkrovního prostoru. Návrh obsahuje různé typy provedení dřevostavby rodinného domu s částečným využitím podkrovního prostoru z hlediska její konstrukce, dispozice a použitých materiálů, z kterých je vybrána nejvhodnější varianta. Pro vybranou variantu je vypracována výkresová dokumentace, cenová kalkulace, vizualizace a zmenšený model ve vhodném měřítku.

### Metodika

Metodiku práce je možné rozdělit do následujících bodů dle časového harmonogramu:

- červenec – září 2020: Zpracování literární rešerše o konstrukci a typologii obytných staveb s důrazem na dřevostavby.
- říjen – listopad 2020: Příprava, konstrukční rozbor a návrh různých variant dřevostavby rodinného domu s částečným využitím podkrovního prostoru.
- prosinec 2020 – únor 2021: Vytvoření výkresové dokumentace, vizualizace a zmenšeného modelu dřevostavby rodinného domu s částečným využitím podkrovního prostoru. Výpočty cenových kalkulací pro konkrétní variantu vybrané dřevostavby rodinného domu s částečným využitím podkrovního prostoru.
- březen 2021 – Zpracování výsledků v textové, tabulkové a grafické podobě. Diskuze a závěry.
- duben 2021 – Odevzdání diplomové práce.

## Doporučený rozsah práce

50-70 stran

## Klíčová slova

dřevostavba, podkrovní prostor, rodinný dům, interiérové doplňky

---

## Doporučené zdroje informací

BASTLOVÁ, I. Tvoříme interiér s českou designérkou: Kompletní průvodce při zařizování vašeho domova.

Praha: Grada Publishing a.s., 2018, 224 s. ISBN 978-80-271-0728-5

BHASKARANOVÁ, L. Podoby moderního designu: inspirace hlavních hnutí a stylů pro současný design.

Praha: Slovart, 2007, 256 s. ISBN 978-80-7209-864-4

KOLB, J. Dřevostavby: Systém nosných konstrukcí, obvodové pláště. 3. vydání, 2011, 320 s. ISBN 978-80-247-4071-3

KOŽELOUH, B., KOLB, J. Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-4071-3.

RŮŽIČKA, M. Moderní dřevostavba. Grada Publishing a.s., 2014, 160 s. ISBN 978-80-247-8995-8

ŠTEFKO, J., REINPRECHT, L., KUKLÍK, P., BRAUNŠTEINOVÁ, Z. Dřevěné stavby: konstrukce, ochrana a údržba. Bratislava: Jaga, 2009. ISBN 978-80-8076-080-9.

THOMPSON, J. A. A., BLOSSOM, N. The Handbook of interior design. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2015, 576 s. ISBN 978-1-4443-3628-3

VAVERKA, J., HAVÍŘOVÁ, Z., JINDRÁK, M. a kol. Dřevostavby pro bydlení. Grada Publishing a.s., 2008, 376 s. ISBN 978-80-247-2205-4

---

## Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FLD

## Vedoucí práce

Ing. Miroslav Gašparík, PhD.

## Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Elektronicky schváleno dne 8. 12. 2020

**Ing. Radek Rinn**

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 27. 1. 2021

**prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.**

Děkan

V Praze dne 28. 03. 2022

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „Návrh dřevostavby rodinného domu s částečně využitým podkrovím“ vypracovala samostatně pod vedením Ing. Miroslava Gašparíka, PhD. a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědoma, 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 Plzni, dne .....

.....

Bc. Alžběta Šilhavá



## Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu práce panu Ing. Miroslavu Gašparíkovi, PhD., za jeho pomoc, cenné rady a pochopení při konzultacích. Zároveň bych chtěla poděkovat paní Ing. Pavle Fiřtové ze společnosti Martinice group, za její čas při konzultacích. A nakonec své rodinné, která mi poskytla prostor pro psaní závěrečné práce a podporovala mě v době studia.

## Abstrakt

Práce se zabývá návrhem dřevostavby rodinného domu v systému „two by four“ s částečně využitým podkrovím. Práce mapuje a racionalizuje rozhodovací procesy ve fázi projektování, konkrétně návrh dispozice, volba konstrukčního systému, míra využití podkrovního prostoru a s tím spojená volba nosné konstrukce střechy. Dále je v práci popsáno tepelně technické řešení, statické řešení a technické řešení větrání, vytápění a hospodaření s dešťovou vodou. Objekt je navržen v energetické třídě B, tedy velmi úsporná, této definici odpovídá jak architektonický návrh, tak stavebně technické řešení.

### Klíčová slova:

Dřevostavba, two by four, návrh rodinného domu, využití podkroví, nízkoenergetické budovy.

## Abstract

The diploma thesis examines the process of designing a family house build from lumber by "two by four" building system with an atypic partially used attic. The work describes and rationalizes decision-making processes of designing such as drafting of layouts, choice of structural system, amount of use attic space and timber structure of the roof. Furthermore, the work describes the technical and static solution as well as energetic solution concerning design of insulation and system of ventilating, heating and rainwater management. The building is designed in energy class B - very economical. This demand is projected in all aspects of the building which is architectural design, construction and technical solutions.

### Key words:

Wooden building, two by four, design of family house, use of attic space, building with energetic status very economical.

## Seznam obrázků

Obr. 1: Množství dokončených rodinných domů v letech 2015-2020 dle technologie.....	15
Obr. 2: Konstrukční část hrázděné stavby .....	20
Obr. 3: Rodinný dům zhotoven technologií hrázděných staveb.....	20
Obr. 4: Axonometrické znázornění skeletové stavby.....	22
Obr. 5: Vývoj skladeb stěn srubů.....	22
Obr. 6: Detail CLT panelu v řezu.....	24
Obr. 7: Výroba skříňového CLT panelu.....	24
Obr. 8: Schéma lepeného vrstveného panelu.....	25
Obr. 9: Realizace z vrstveného panelu z interiéru.....	25
Obr. 10: Dřevěné masivní tvarovky STEKO.....	25
Obr. 11: Skladba stěny z tvarovek STEKO.....	27
Obr. 12: Konstrukční schéma systému předchůdce rámových staveb.....	28
Obr. 13: Konstrukční schéma systému rámových staveb.....	29
Obr. 14: Základní tvary šikmých střech.....	30
Obr. 15: Průběh zateplení šikmé střechy.....	31
Obr. 16: Schéma vaznicového krovu.....	32
Obr. 17: Schéma hambalkového krovu.....	33
Obr. 18: Schéma příhradového vazníku.....	34
Obr. 19: Katastrální situace s vyznačeným zájmovým pozemkem.....	36
Obr. 20: Provozní schéma navrhovaného rodinného domu.....	37
Obr. 21: Dispoziční schéma, varianta návrhu 1.....	38
Obr. 22: Dispoziční schéma, varianta návrhu 2.....	39
Obr. 23: Dispoziční schéma, varianta návrhu 3.....	40
Obr. 24: Využití podkrovních prostor, varianta 1 .....	43
Obr. 25: Využití podkrovních prostor, varianta 2.....	43
Obr. 26: Využití podkrovních prostor, varianta 3.....	44
Obr. 27: Půdorys 1NP, schéma umístění plných vazeb krovu varianta I.....	45
Obr. 28: Prostorové schéma řešení krovu, varianta II.....	47
Obr. 29: Vodorovný řez vnitřními stěnami.....	53
Obr. 30: Řez obvodovou stěnou objektu STN-1.....	54
Obr. 31: Skladba podlahy v obytné části objektu POD(z)-5.....	56

Obr. 32: Skladba podlahy v garáži P1 .....	57
Obr. 33: Půdorys objektu s vyznačeným rozdílným zastropením .....	58
Obr. 34: Skladba stropu nad garáží STR-2.....	58
Obr. 35: Skladba stropu pod neobytným podstřeším STR-3 .....	60
Obr. 36: Skladba střechy v části obytného podkroví STR-4 .....	61
Obr. 37: Půdorys 1NP.....	62
Obr. 38: Půdorys podkroví.....	62
Obr. 39: Průběh tlaků vodní páry a teploty v konstrukci STN-1 za leden .....	63
Obr. 40: Průběh tlaků vodní páry a teploty v konstrukci PDL(z)-5 za leden .....	64
Obr. 41: Průběh tlaků vodní páry a teploty v konstrukci PDL(z)-5 za červenec.....	65
Obr. 42: Měsíční akumulace zkondenzované vlhkosti v kritickém místě konstrukce PDL(z)-5 za jeden rok.....	66
Obr. 43: Průběh tlaků vodní páry a teploty v konstrukci STR-2 za leden .....	66
Obr. 44: Průběh tlaků vodní páry a teploty v konstrukci STR-3 za leden .....	67
Obr. 45: Průběh tlaků vodní páry a teploty v konstrukci STR-4 za leden .....	68
Obr. 46: Půdorys 1NP se statickým schématem stropu .....	69
Obr. 47: Výkres krovu s vyznačenými staticky posuzovanými prvky .....	70
Obr. 48: Tesařský spoj osedlání .....	71
Obr. 49 Mapa sněhových oblastí dle ČSN EN 1991-1-3, Eurokód 1 .....	72
Obr. 50: Mapa větrných oblastí dle ČSN EN 1991-1-4, Eurokód 1.....	72
Obr. 51: Schéma složek konečného průhybu na prostém nosníku .....	74
Obr. 52: Krov s vyznačenou posuzovanou vaznicí.....	74
Obr. 53: Půdorys 1NP s vloženým krovem a zobrazenou plochou přenosu zatížení na překlad .....	76
Obr. 54: Zkouška pevnosti vzorků z rostlého a lepeného řeziva.....	77
Obr. 55: Záznam z měření koncentrace CO <sub>2</sub> v panelovém bytě.....	79
Obr. 56: Schéma rekuperátoru.....	81
Obr. 57: Zjednodušený výpočet tepelných ztrát objektem.....	82
Obr. 58: Gradient teploty v místnosti o výšce 2,7 m.....	83
Obr. 59: Půdorys 1NP rozdělený dle systému vytápění.....	84
Obr. 60: Náklady na pořízení a provoz systému dle zdroje vytápění .....	85
Obr. 61: Porovnání produkce CO <sub>2</sub> zdrojů vytápění.....	86

## Seznam tabulek

Tab. č. 1: Dopady zděné stavby a dřevostavby na životní prostředí.....	16
Tab. č. 2: Srovnání zděné stavby a dřevostavby při výstavbě a provozu.....	19
Tab. č. 3: Porovnání výhod a nevýhod návrhů dispozice.....	41
Tab. č. 4: Cenová kalkulace klasického vaznicového krovu, varianta I .....	46
Tab. č. 5: Cenová kalkulace kombinace krovu a příhradových vazníků, varianta II .....	46
Tab. č. 6: Hodnocení vhodnosti systému dřevostavby pro rodinný dům.....	51

## Obsah

1. Úvod.....	12
2. Cíle práce .....	14
3. Teoretická část .....	15
3.1. Volba hlavního konstrukčního materiálu a technologie výstavby.....	15
3.1.1. Dopad na životní prostředí zděné stavby a dřevostavby .....	16
3.1.2. Specifika výstavby zděné stavby a dřevostavby.....	17
3.1.3. Vlastnosti hotové zděné stavby a dřevostavby .....	17
3.1.4. Souhrnné porovnání zděné stavby a dřevostavby.....	18
3.2. Volba konstrukčního systému v rámci dřevostavby .....	19
3.2.1. Hrázděné stavby.....	19
3.2.2. Skeletové stavby .....	21
3.2.3. Srubové stavby.....	22
3.2.4. Stavby z masivního dřeva .....	23
3.2.5. Baloon-Frame, Platform frame .....	27
3.2.6. Rámové stavby.....	28
3.3. Střecha .....	29
3.3.1. Nosná konstrukce střechy .....	31
4. Metodika .....	35
4.1. Charakteristika území a nároky na dispozice .....	35
4.1.1. Provozní schéma.....	36
4.1.2. Dispoziční schéma varianta 1.....	37
4.1.3. Dispoziční schéma varianta 2.....	38
4.1.4. Dispoziční schéma varianta 3.....	40
4.1.5. Hodnocení variant návrhu a výběr nejvhodnější.....	41
4.2. Využití podkroví.....	42
4.3. Krov .....	44
4.3.1. Nosná konstrukce krovu varianta I .....	45
4.3.2. Nosná konstrukce krovu varianta II .....	46
4.3.3. Volba konstrukce krovu .....	48
5. Výsledky .....	50
5.1. Konstrukční a materiálové řešení objektu.....	50

5.1.1. Volba systému výstavby pro navržený RD .....	50
5.1.2. Svislé konstrukce .....	52
5.1.2.1. Vnitřní stěny.....	52
5.1.2.2. Obvodové stěny.....	53
5.1.3. Vodorovné konstrukce.....	55
5.1.3.1. Podlaha ve styku se zeminou .....	55
5.1.3.2. Strop pod obytným podstřeším.....	57
5.1.4. Střešní konstrukce.....	59
5.1.4.1. Strop pod neobytným podstřeším.....	59
5.1.4.2. Střešní plášť nad obytným podstřeším .....	60
5.2. Dispoziční řešení objektu .....	61
5.3. Tepelně technické posouzení konstrukcí .....	62
5.4. Statika .....	69
5.4.1. Posouzení krokve .....	70
5.4.1.1. Zatížení .....	71
5.4.1.2. Posouzení MSÚ a MSP .....	73
5.4.2. Posouzení vaznice .....	74
5.4.3. Posouzení vnitřního překladu .....	75
5.5. Technické zařízení budovy.....	77
5.5.1. Větrání.....	79
5.5.2. Vytápění a ohřev TUV .....	83
5.5.3. Hospodaření s dešťovou vodou.....	87
6. Závěr.....	89
7. Seznam literatury.....	91
8. Přílohy.....	96

## 1. Úvod

Práce se zabývá návrhem rodinného domu na pozemku uprostřed zástavby ve městě Blovice, cca 30 km jihovýchodně od Plzně. Objekt je převážně navržen jako bungalov, slouží k pobytu čtyřčlenné rodiny a disponuje čtyřmi obytnými místnostmi a integrovanou garáží. Podkrovní prostory objektu jsou v části nad garáží a technickou místností navrženy tak, aby zde mohla být umístěna multifunkční místnost. Ta je využívána jako pracovna, sklad, tělocvična, či herna pro děti. Objekt se tak dá pomyslně rozdělit na dvoupatrovou část s obytným podkrovím a na část, která je čistě přízemní. Architektonický návrh zajišťuje orientaci obytných místností na jih a západ, do zahrady. Neobytné místnosti jako koupelny, technická místnost a vstup jsou pak orientovány směrem na sever, kde se nachází komunikace. Dispozičně bude dům dělen na soukromou část s ložnicemi, veřejnou část stávající z obývacího pokoje s kuchyní a vstupu a zázemí, kde bude technická místnost a garáž s dílnou. Díky vhodně zvoleným přesahům střechy bude u obytných místností docházet v zimě k příjemnému proslunění místností a žádoucím tepelným ziskům, v létě pak budou okna stíněna proti přehřívání.

Konstrukce domu bude provedena z roštu tvořeného KVH profily tzv. systém two by four. Skladba stěn je difuzně otevřená. Obvodové stěny jsou tvořeny rámem z profilů 140/70, které jsou vyplněny kamennou vatou. Celková tloušťka stěny je tak 333 mm a součiniteli prostupu tepla dosahuje krásné hodnoty 0,15 W/m<sup>2</sup>K.

Nosná konstrukce střechy bude nad přízemní částí z vazníků, nad patrovou částí se pak bude nacházet vaznicový krov. Obě části budou zatepleny foukanou izolací na bázi dřevního vlákna. V části, kde se nachází vaznicový krov je tepelná izolace v tloušťce 450 mm provedena přímo nad podhledem obytné části. V části, kde se nachází vaznicový krov je provedena izolace o celkové tloušťce 350 mm. Izolace je umístěna v úrovni krokví a nad podhledem směrem do interiéru. Tím je zajištěno vytápění pouze obytné části a zamezí se tak tepelným únikům do neobytného podstřeší.

Dům musí zajišťovat komfort jak z hlediska dispozičního, tak funkčního, ekologického, legislativního i energetického a zároveň nepřekračovat investiční standardy na jeho zhotovení. Hospodárnost objektu je zajištěna využíváním



obnovitelných zdrojů, architektonickým návrhem a technickým řešením s co nejnižší spotřebou energií. V objektu je instalován systém nuceného větrání se zpětným získáváním tepla. Tím byl částečně daný systém vytápění v části bez obytného podkroví, kde se vytápí teplovzdušně pomocí rekuperační jednotky s teplovodním dohřevem vzduchu. V části objektu s využívaným podkrovím a v koupelnách je instalováno teplovodní vytápění, pro dosažení komfortu, jehož zdrojem tepla je kotel na pelety. Na střeše bude instalována fotovoltaická elektrárna s bateriemi pro zajištění ohřevu teplé užitkové vody v době mimo otopnou sezónu a zároveň se sníží potřeba elektrické energie spotřebiči a od rekuperační jednotky na minimum. Panely zde mají ideální podmínky, orientace střechy je na jih o ploše cca 150 m<sup>2</sup>, pod úhlem 35 °.

Celkově se jedná o provázaný systém, kde nebude docházet ke zbytečným přebytkům ani únikům energie. Systém je částečně ostrovní, je ale stále závislý na dodávce pelet a v zimních měsících se předpokládá minimální výkon fotovoltaické elektrárny a dá se předpokládat nutnost odebírat elektřinu ze sítě v nepříznivých slunečních dnech. Spotřeba domu na základě tepelně technických vlastností obálky budovy se předpokládá zhruba kolem 7 kilowatt za rok, díky instalaci zpětného získávání tepla se očekává snížení potřeby tepla na cca 5 kilowatt za rok.

## 2. Cíle práce

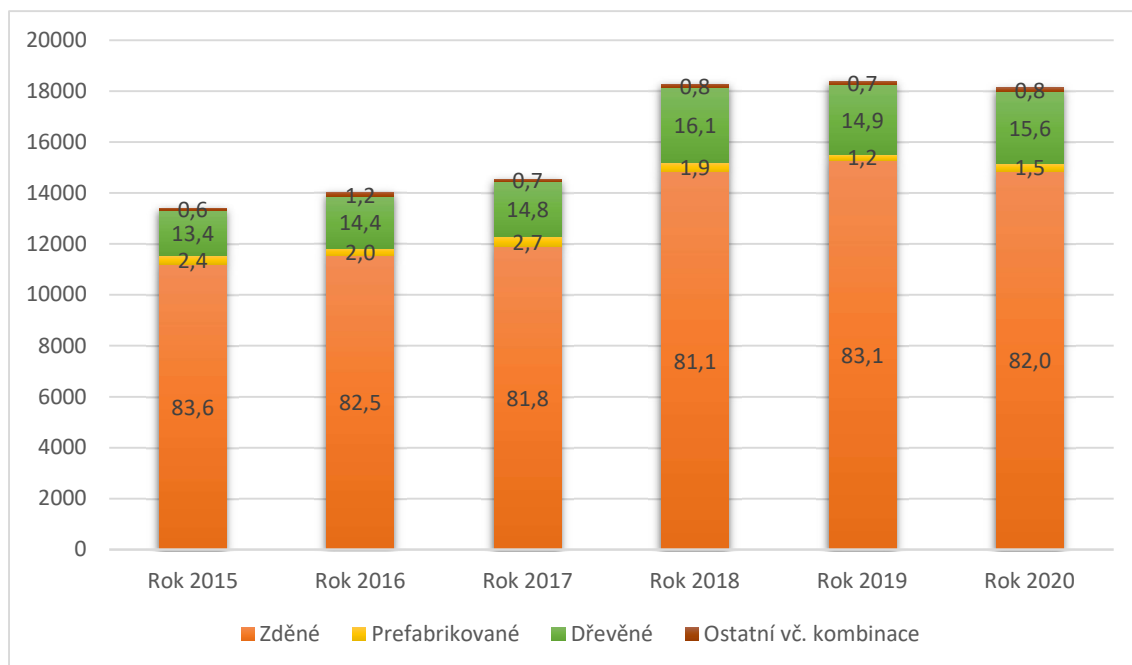
- Rešerše technických a technologických konstrukčních řešení vhodných pro rodinný dům, se zaměřením na dřevostavby.
- Volba konstrukčního řešení na základě srovnání požadavků kladených na projekt a vlastností jednotlivých technologií výstavby.
- Zpracování architektonického návrhu pro konkrétní projekt ve variantním provedení a volba nejvhodnějšího.
- Návrh možných variant konstrukčních řešení zastřešení s ohledem na využití podkroví a volba nejvhodnější z variant.
- Návrh možných variant využití podkrovních prostor a volba nejvhodnější z variant.
- Návrh skladeb obalových konstrukcí a posouzení jejich funkčnosti a tepelně technických vlastností vzhledem k současné legislativě.
- Návrh a statické posouzení atypických nosných prvků konstrukce.
- Studium a volba nejvhodnějšího technického řešení objektu (větrání, vytápění a ohřev teplé užitkové vody, hospodaření s dešťovou vodou).

### 3. Teoretická část

Teoretická část se zabývá zmapováním nejpoužívanějších materiálů a technologií výstavby rodinných domů, které jsou na trhu a následným porovnáním jejich vhodnosti pro navrhovaný objekt.

#### 3.1. Volba hlavního konstrukčního materiálu a technologie výstavby

Na začátku je potřeba rozhodnout, který základní materiál a technologie výstavby s ním spojená, bude na stavbě rodinného domu dominovat. Na výběr je dnes nepřeberné množství technologií a materiálů, které mají své nesporné výhody ale i nevýhody. Pro představu o oblíbě jednotlivých technologií výstavby je níže obrázek 1, ve kterém je vidět množství dokončených staveb v daném roce, rozdělených dle zvoleného typu výstavby. V grafu jsou také uvedena procenta, jež daná technologie představuje z celkové výstavby.



Obr. 1: Množství dokončených RD v letech 2015-2020 dle technologie (CZSO, 2022)

Z obrázku je na první pohled patrné majoritní postavení zděných systémů na našem území. Pro představu, v USA je nejvyužívanějším konstrukčním materiálem dřevo a podíl dřevostaveb tam činí 80 %, v Kanadě ještě více. U nás

se od roku 2018, kdy se výstavba dřevostaveb oproti předchozím obdobím výrazně zvýšila, toto číslo pohybuje kolem 15 % (Růžička, 2006).

Pro náš projekt budeme tedy nejprve vybírat ze dvou nejčastějších technologií výstavby, a to mezi zděným domem a dřevostavbou.

### 3.1.1. Dopad na životní prostředí zděné stavby a dřevostavby

Pro srovnání dopadů zděné stavby a dřevostavby na životní prostředí bylo porovnáno 11 ukazatelů ovlivňujících životní prostředí, a to metodou LCA (life cycle assesement), jež posuzuje celkový životní cyklus budovy, tedy výstavbu, provoz, dopravu a následnou demolici. V tabulce 1 vidíme srovnání výsledků pro zděnou stavbu a dřevostavbu. Pro hodnocení byl použit standardní patrový rodinný dům a dispozici 4+kk o podlahové ploše 98,6 m<sup>2</sup> (RD.Rýmařov.s.r.o., 2021).

Tab. č. 1: Dopady zděné stavby a dřevostavby na životní prostředí (Kočí & Juraj Petřík, 2019)

Hodnocený ukazatel	Zděný dům	Dřevostavba
Úbytek nerostných surovin [kg Sb ekv.]	0,97	1,29
Úbytek fosilních surovin [MJ]	411440	337520
Acidifikace [kg SO <sub>2</sub> ekv.]	91,57	63,05
Eutrofizace [kg PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ekv.]	14,38	13,1
Sladkovodní ekotoxicita [kg DCB ekv.]	488,53	395,49
Globální oteplování (100 let), nezapočtený biogenní uhlík [kg SO <sub>2</sub> ekv.]	33512	27403
Humánní toxicita [kg DCB ekv.]	20411	21528
Úbytek stratosférického ozonu [kg R11 ekv.]	-0,000188	-0,000585
Vznik fotooxidantů [kg S <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ekv.]	6,47	8,91
Půdní ekotoxicita [kg DCB ekv.]	236,19	249,06

Z tabulky 1 je patrné, že dopady na životní prostředí jsou jednoznačně příznivější u dřevostavby. Nutno poznamenat, že hodnocená dřevostavba byla vyhotovena z CLT panelů, což znamená využívání lepidel, jež představují ekologickou zátěž, zároveň komplikují následnou demolici a v neposlední řadě výstavba z CLT panelů vyžaduje těžkou techniku na dopravu a osazení na stavbě. V případě jiné volby konstrukčního systému, např. roubená stavba, nebo systém „two by four“, by šetrnost k životnímu prostředí byla značně vyšší.

### 3.1.2. Specifika výstavby zděné stavby a dřevostavby

Pro zhodnocení výhod při výstavbě zděnou technologií a výstavby dřevostavby je opět nutné rozdělit hodnocení do několika kategorií.

Doba výstavby jasně mluví pro dřevostavbu, svojí rychlostí a vysokou měrou prefabrikace se dostáváme na dobu 3-4 měsíce, v případě modulových systémů (modulů, panelů, CLT panelů) je možné sestavit nosnou kostru za jediný den. Doba výstavby hrubé stavby zděného domu se oproti dřívějším dobám sice značně urychlila současnými materiály (lepení na pěnu, tvárnice velkých rozměrů o nižší hmotnosti), avšak stále se doba výstavby pohybuje v řádech měsíců, za nepřízně počasí i let. To vše se promítne do ceny díla.

Preciznost provedení detailu a přesnost celkové výstavby, je kategorie, díky které často investoři přes všechny pro a proti volí zděnou stavbu. U dřevostavby je nutné už od základové desky požadovat vysokou přesnost. Naopak u zděných staveb lze jisté nerovnosti desky srovnat při zakládání první vrstvy tvárnic, které se kladou do maltové směsi, která může mít výšku až 50 mm. Dále je u dřevostavby potřeba správně provést veškeré detaily a zajistit dokonalé, vzduchotěsné napojení parotěsné vrstvy, aby nedocházelo ke kondenzaci vodních par, což by vedlo k degradaci dřevěných konstrukcí a vzniku plísní. Zděné stavby samozřejmě také vyžadují správné provedení detailů, avšak většina z nich je již léty prověřená a vešly do povědomí stavebníků jako jistý standard. Manipulace a obrábění materiálu nelze komplexně zhodnotit, jelikož každá technologie s sebou přináší mnohé materiálové varianty, kde každá má své výhody a nevýhody.

### 3.1.3. Vlastnosti hotové zděné stavby a dřevostavby

Dřevostavba zajistí vyšší tepelný komfort při nižších výdajích za vytápění, ať už tím, že dosahuje totožného prostupu tepla při konstrukci až o 47 % tenčí, tak faktem, že v dřevostavbě dosáhnete příznivějšího rozložení teploty v místnosti a vyšších povrchových teplot než ve zděném domě. To je dáno vlastnostmi dřeva jako takového a vyřazením mokřých procesů z výroby (Růžička, 2006).

Nevýhodou dřevostaveb je naproti tomu fakt, že je nutné počítat s jistou mírou dotvarování dřeva po zatížení a s následným „pracováním“ řeziva, jako je kroucení, praskání a sesychání. U rámových dřevostaveb, k nimž patří např. často využívaný systém „two by four“ se dá očekávat sedání až o 15 mm na poschodí během prvního roku, dále se tato hodnota snižuje (Šimonová, 2012). Vzniku trhlin se dá často předcházet zabudováním suchého řeziva s vlhkostí okolo 12 % a prováděním detailů dle návrhu a nenapojovat konstrukce, jež budou sedat rozdílně tzv. na pevně, ale pružným spojem (Kolb, 2008).

Zděná stavba naproti tomu vyniká lepšími akustickými vlastnostmi, díky vyšší hmotnosti použitých materiálů a vyšší akumulaci tepla. Tím je dosaženo delší teplotní setrvačnosti v místnosti například při větrání. Naproti tomu v letních měsících je vyšší teplotní akumulace méně vhodná a v noci tak nedochází k tak efektivnímu předchlazení objektu.

#### 3.1.4. Souhrnné porovnání zděné stavby a dřevostavby

Po výše uvedeném výčtu výhod a nevýhod těchto dvou, u nás nejrozšířenějších, technologií výstavby je potřeba položit si nejdůležitější otázku, a to, jaký je rozhodující faktor. Často rozhodovací proces usnadní otázka financí, v případě zděných staveb a dřevostaveb je to ale opět komplikovanější. Při porovnání cen podle ceníku JKSO se dostáváme u zděné stavby na cenu 7.078 Kč/m<sup>3</sup>, u dřevostavby je pak cena překvapivě o málo vyšší a to 7.164 Kč/m<sup>3</sup>. Obě ceny jsou počítány s DPH 15 %, dle ceníků za rok 2019 (3KArchitects.s.r.o., 2020). Jak je to možné, když většina ukazatelů hovoří „pro“ ekonomickou výhodnost dřevostavby? V ceně není zahrnuta doba výstavby, která je značně kratší oproti zděným stavbám, což znamená úspory v době čerpání hypotéky a zároveň, pokud platí investor v současné době nájem, je tato doba zkrácena až na 1/3.

Abychom mohli racionálně rozhodnout mezi těmito dvěma technologiemi bude využita tabulka 2, která stručně zhodnotí nejrozdílnější faktory výstavby a následný provoz budov postavených zděnou technologií a dřevostaveb. V tabulce je vždy bodově ohodnocena míra důležitosti dané vlastnosti technologie od 1 do 10, kdy 10 je nejvýznamnější a 1 nejméně významná.

Tab. 2: Srovnání zděné stavby a dřevostavby při výstavbě a provozu

Zděná stavba		Dřevostavba	
Výhody			
10	Menší nároky na přesnost a odbornost při výstavbě	10	Ekologicky šetrný materiál
6	Dobré akustické vlastnosti	10	Rychlejší výstavba až o 1/3
8	Akumulace tepla v konstrukcích	8	Tenčí konstrukce o 47 % při stejné tepelné prostupnosti
6	Menší míra „sedání“ konstrukcí		
Nevýhody			
- 8	Složitá až nemožná ekologická demolice	- 4	„Sedání“ dřevěných konstrukcí
- 8	Delší doba výstavby závislá na počasí	- 8	Větší nároky na přesnost a odbornost při výstavbě
14	CELKEM	16	CELKEM

Při srovnání výhod a nevýhod dřevostaveb oproti zděným stavbám pomocí bodového systému, který reprezentuje dopady a případnou řešitelnost nejdůležitějších rozdílů mezi těmito dvěma technologiemi výstavby, je zřejmá převaha dřevostavby. Zejména díky své rychlosti výstavby a ekologicky šetrnému materiálu tak bude pro rodinný dům zvolen jeden ze systémů výstavby, založený na konstrukčním materiálu ze dřeva.

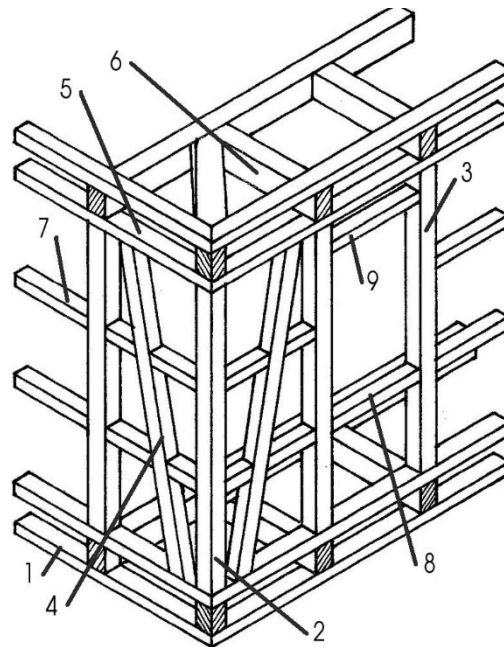
### 3.2. Volba konstrukčního systému v rámci dřevostavby

Pod pojmem dřevostavba se skrývá široká škála materiálů a technologií, kde je primárním nosným materiálem dřevo. Níže si představíme základní konstrukční systémy a následně zhodnotíme jejich vhodnost pro konkrétní projekt rodinného domu.

#### 3.2.1. Hrázděné stavby

Hrázděné stavby se vyznačují nosným rámem ze dřeva, který je ztužený šikmými vzpěrami, tento rám býval v historii vyplněn vyzdívkou, která se dnes nahrazuje sendvičovými stěnami či izolačním trojsklem. Nosná kostra bývala v exteriéru přiznaná, kolem poloviny 19. století se začaly stěny omítat, aby bylo

dosaženo městského vzhledu a zvýšena protipožární odolnost stavby. Na obrázku 2 vidíme schéma dřevěné nosné konstrukce hrázděného objektu, jak byl prováděn dříve.



Obr. 2: Konstruktivní část hrázděné stavby (Koželuh, 2014)

1 – práh, 2 – rohový sloupek, 3 – okenní sloupek, 4 – vzpěrka, 5 – horní rám, 6 – nosník, 7 – příčka, 8 – parapetní příčka, 9 – překladová příčka.

Dnes lze hrázděné stavby najít nejvíce v zemědělství, nebo jako účelové stavby. Zřídka se však najdou i rodinné domy viz obrázek 3.



Obr. 3: RD zhotoven technologií hrázděných staveb (Gradient spol. s.r.o, 2021)

Rodinné domy vystavěné moderní obdobou hrázděných staveb jsou výrazné svojí osobitou architekturou. Za povšimnutí stojí velké přesahy střešní



roviny, která zajišťuje stínění velkých prosklených ploch v letních měsících, čímž zabráňuje přehřívání interiéru. Tyto moderní hrázděné stavby jsou zhotovené z lepených smrkových trámů a nosníků, které jsou spojovány ocelovými svorníky. Výplň pak bývá buď tvořena izolačním trojsklem, nebo sendvičovou skladbou stěny. Ta sestává z opláštění dřevěným obkladem či sádkartonem v interiéru na systémovém roštu, následuje záklop z desek OSB, vrstva minerální izolace, která je následně opláštěna dřevovláknitou deskou typu hobra, na které je buď nanesena vnější povrchová úprava, nebo následuje souvrství provětrávané fasády (Gradient spol. s.r.o, 2021).

### 3.2.2. Skeletové stavby

Skeletový systém výstavby vznikl jako odpověď na současné požadavky staveb, přestože systém využívající sloupových podpor v kombinaci s průvlakem je vůbec nejstarším systémem pro vytvoření obydlí. Skeletový systém nabízí použití materiálů s vysokou pevností, díky čemuž je možné dosáhnout velkých rozponů, proto je systém vhodný pro výstavbu vícepodlažních domů ale i hal, nebo rodinných domů, kde jsou kladeny nároky na otevřené dispozice. Nosný systém tvoří soustava sloupů, průvlaků a trámů, které jsou většinou z lepeného lamelového dřeva, systém bývá často kombinován s ocelovými či železobetonovými prvky.

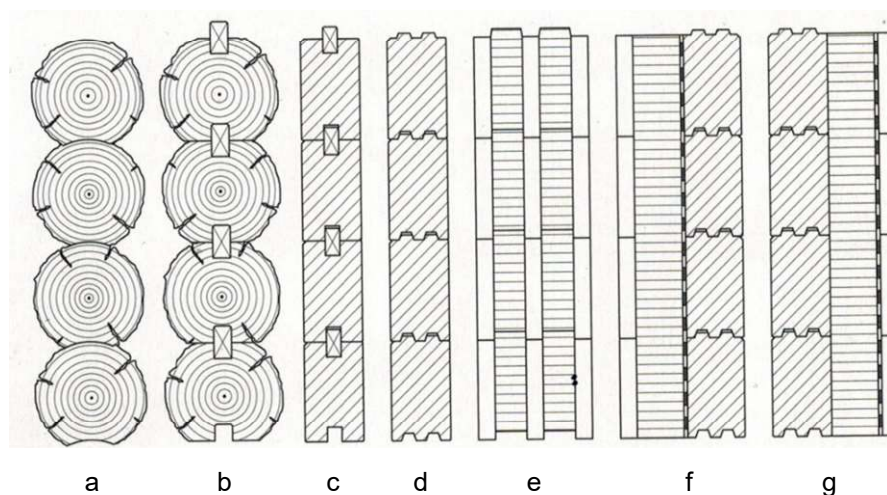
Pro skeletové stavby je charakteristické bodové přenášení zatížení, hlavní složku zatížení přenášejí sloupy do základových patek, čímž dochází k uvolnění stěn. To má za následek uvolnění a variabilitu fasády například pro velkoformátové prosklení. V interiéru pak získáváme velkou flexibilitu pro návrh dispozic, které omezují pouze subtilní sloupy v určitém rastru. Stejně jako u ostatních skeletových systémů, je potřeba, pro ztužení objektu ve vodorovném směru, navrhnout v závislosti na velikosti budovy jedno či více tuhých jader, které budou prostupovat celým objektem viz obrázek 4. Opláštění objektu je pak provedeno buď technologií rámových staveb, tedy pomocí tenkých sloupků, vyplněných tepelnou izolací, které jsou následně oboustranně opláštěny, nebo dřevěnými panely s obalením tepelnou izolací a vnějším opláštěním, případně rámem s izolačním trojsklem (Kolb, 2008).



Obr. 4: Axonometrické znázornění skeletové stavby (Bílek, 2011)

### 3.2.3. Srubové stavby

Jednou z kategorií dřevostaveb jsou srubové stavby, nejnámější je jednovrstvá skladba stěny tvořená opracovanými kulatinami s výrazným rohovým spojem pomocí přeplátování. Vývoj skladeb stěn srubů je patrný z obrázku 5.



Obr. 5: Vývoj skladeb stěn srubů (Kolb, 2008)

a – kulatina, b – kulatina s ložnými plochami a pery v drážkách, c, d – hranoly spojené drážkou a hřebenem, nebo perem, e – prefabrikované sendvičové prvky, f – tepelně izolovaná prefabrikovaná stěna s obkladem z vnitřní strany, g – z vnější strany

Stejně jako vše, i tato historií prověřená konstrukce, se časem vyvíjela a dnes má spíše podobu sendviče, který je tvořen z exteriéru opracovanými

hranoly, které se do sebe zasazují systémem jednoduché či dvojité pero–drážky. Následuje vrstva tepelné izolace, parozábrana, a nakonec záklop z interiéru, připevněný na roštu, díky kterému vznikne prostor pro vedení instalací. Srubové dřevostavby jsou velice architektonicky a řemeslně hodnotné objekty, do městské zástavby se však málokdy hodí a jsou spíše ojedinělé. Díky vysoké míře použitého masivního řeziva dochází u srubových staveb k velké míře sedání, uvádí se 10 až 50 mm na 1 metr výšky (Nešporová, 2017). U takto velké míry sedání je již nezbytné specificky řešit veškeré detaily, které může sedání stavby nepříznivě ovlivnit.

### 3.2.4. Stavby z masivního dřeva

V této kategorii se nachází stavby, jejichž nosnou konstrukci tvoří masivní dřevo, a to alespoň z 50 %. Srubové stavby a roubenky splňují tento požadavek, jsou však díky svému historickému původu zařazené v samostatné kapitole, přestože jsou vlastně předchůdcem moderních staveb z masivního dřeva. Oproti skeletovým stavbám, kde je funkce konstrukce rozdělena na nosnou a výplňovou, přichází stavby z masivního dřeva, kde jsou spojovány plošné elementy, které jsou nosné a zároveň vytvářejí vnitřní prostor. Jedná se o velkoplošné deskové materiály, které jsou tvořeny buď lepeným, či příčně lepeným řezivem, méně často se setkáváme s nosnou konstrukcí tvořenou třískovými či OSB deskami. Takováto nosná konstrukce se následně z exteriéru obaluje tepelnou izolací, buď pomocí standardního kontaktního zateplovacího systému, nebo s předsazenou provětrávanou fasádou. Ze strany interiéru lze následně provést buď obklad ze sádkartonových či sádrovláknitých desek na systémovém roštu, čímž je vytvořen prostor pro vedení instalací, finální úprava na desku pak může být zvolena jako na standardní příčku, tedy malba, či keramický obklad. Nebo může být dřevo v interiéru přiznáno, což lze provést dřevěným obkladem připevněným na roštu v místě instalací, v místě bez vedení instalací lze použít nosné panely s povrchovou úpravou vhodnou do interiéru a ponechat je přiznané, tím získává interiér na architektonické hodnotě. Výhodou staveb z dřevěných panelů je jejich neprůvzdušnost, samotné desky nahradí funkci parobrzdné fólie, postačí překrytí spojů mezi panely.

Panely jsou prováděny v mnoha variantách dle výrobce, v základu je možné rozdělit panely do dvou skupin, a to s plným průřezem a se složeným průřezem. U systémů s plným průřezem se setkáváme s velkoplošnými panely tvořenými vrstvením řeziva spojovaného nejčastěji lepením, ale také hmoždíky, či hřebíky. Největším zástupcem u nás jsou CLT panely neboli cross laminated timber, zobrazené na obrázku 6. Jedná se o křížové lepení jednotlivých desek vytvořených slepením rovnoběžně orientovaných prken. Do panelů jsou již ve výrobě vyřezány otvory pro dveře a okna dle projektové dokumentace. Panely mají speciální zámkový systém spojování, takže na stavbě jsou pouze osazeny pomocí těžké techniky a speciálními zámkami spojeny. Plné panely jsou využívány pro obvodové stěny a příčky, pro stropní a šikmé střešní konstrukce se využívají spíše panely skříňové, viz obrázek 7. Jedná se o rošt z prken o výšce navržené dle zatížení dílce, takovýto rošt je následně oboustranně opláštěn CLT panely.

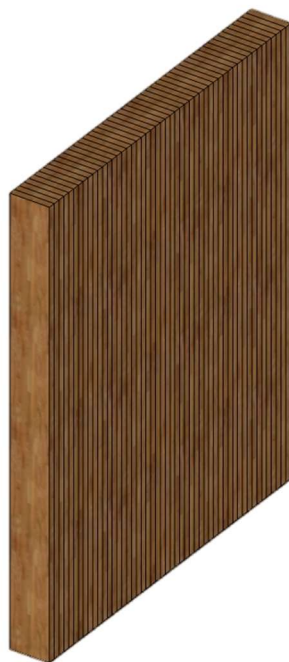


Obr. 6: Detail CLT panelu v řezu (AGROP Nova a.s., 2022)



Obr. 7: Výroba skříňového CLT panelu (AGROP Nova a.s., 2022)

Z panelů se dále často setkáváme s vrstvenými panely, viz obrázek 8, ty jsou také tvořeny prkny, která jsou spojována lepením, hmoždíky či hřebíky, ovšem prkna jsou orientována kolmo k ploše desky, takže panel je jednovrstvý. Na obrázku 9 pak můžeme vidět interiér objektu zhotoveného vrstvenými panely. V místě bez nutnosti vedení instalací jsou panely provedeny v pohledové úpravě, většinou je však nutné provést ze strany interiéru rošt a vytvořit předstěnu.



Obr. 8: Schéma lepeného vrstveného panelu



Obr. 9: Realizace z vrstveného panelu z interiéru (Gunßer, 2020)

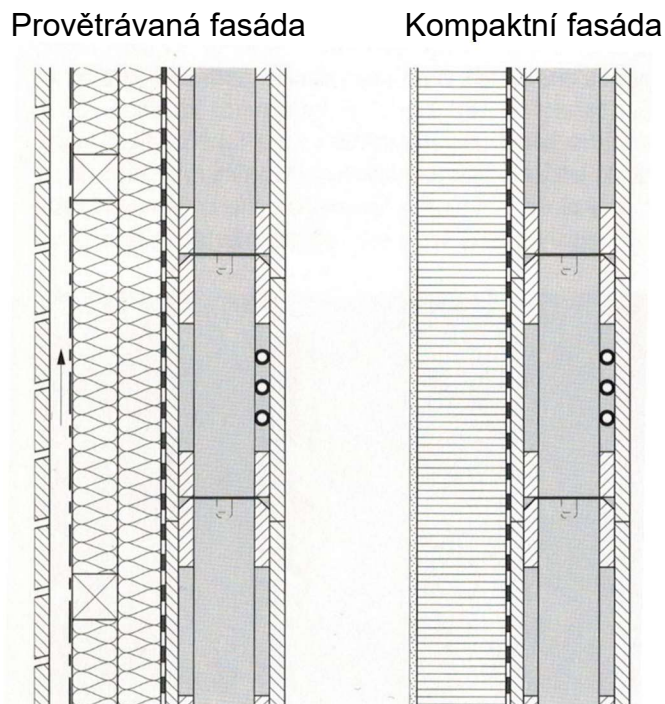


Další skupinu staveb z masivního dřeva zastává výstavba z masivních tvarovek zobrazených na obrázku 10. Tento typ výstavby je u nás zatím spíše ojedinělý, jedná se o tvarovky, tvořené z vnitřního a vnějšího opláštění deskami z lepeného řeziva, které jsou spojeny žebry o určité délce. Délka žebra udává tloušťku tvárnice, a tedy nosné části stěny. Dřevěné tvárnice se následně kladou na sebe na vazbu, podobně jako klasické tvárnice.



Obr. 10: Dřevěné masivní tvarovky (STEKO Holz-Bausysteme AG, 2022)

Výhodou dřevěných masivních tvárnic je jejich nízká hmotnost a zámkový spoj jak na ložné, tak na styčné spáře. Při výstavbě tak není potřeba dílce lepit k sobě. Tvárnice jsou řešeny tak, že mezi žebry, na kterých je připevněna povrchová vrstva, lze pohodlně vést instalace, proto není potřeba řešit ze strany interiéru předstěny a dřevěný vzhled tvárnic může být součástí architektonicky hodnotného interiéru. Dutý prostor uvnitř tvárnice se po vyzdění vyplňuje tepelnou izolací, nejčastěji foukanými celulózovými vlákny. Ze strany exteriéru je pak stěna obalena parobrzdou fólií a opět vrstvou tepelné izolace zakončenou kontaktní či provětrávanou fasádou. Z interiéru pak lze bloky obložit deskami na bázi dřeva, sádrovláknitými, či sádrokartonovými viz obrázek 11. Lze také použít dílce s povrchem vhodným do interiéru, předstěna tak není nutná, jelikož instalace jsou vedeny prostorem uvnitř bloku.



Obr. 11: Skladba stěny z tvarovek STEKO (Kolb, 2008)

Zleva: fasáda dle typu skladby, tepelná izolace, parobrzdná fólie, nosná konstrukce z tvarovek vyplněná celulóзовou izolací včetně rozvodů.

### 3.2.5. Baloon-Frame, Platform frame

Tyto dvě metody výstavby by se dali pojmenovat jako sloupkové stavby. Jejich vznik započal v USA v 50. letech 19. století, kdy byly kladeny nároky na rychlost a nižší cenu výstavby. U nás jsou tyto metody téměř nepoužívané, důležité však je, že jsou předchůdcem rámových staveb, mezi které patří metoda „two by four“, která je u nás nejčastěji využívána. Poznávacím znakem tohoto typu výstavby je subtilní kostra ze svislých hranolů neboli sloupků, která získává svoji stabilitu až po opláštění deskami na bázi dřeva či sádry. Tento subtilní rám je vyplněn tepelnou izolací. Typ Baloon-frame je charakteristický svými stěnovými sloupky, které jsou průběžné přes celou výšku stěny, většinou přes dvě podlaží, což bývá 5,5 – 6 metrů, systém lze použít i pro vícepodlažní objekty (Loferski, 2015). Typ Platform-frame disponuje stejnými subtilními sloupky blízko u sebe, jejich výška se však rovná výšce jednoho podlaží. V místě stropní konstrukce jsou sloupky přerušeny vodorovnými ztužujícími prvky viz obrázek 12 (Kolb, 2008).



Obr. 12: Konstrukční schéma systému předchůdce rámových staveb (ThinkWood, 2022)  
vlevo: Platform-frame, vpravo: Balloon-frame

### 3.2.6. Rámové stavby

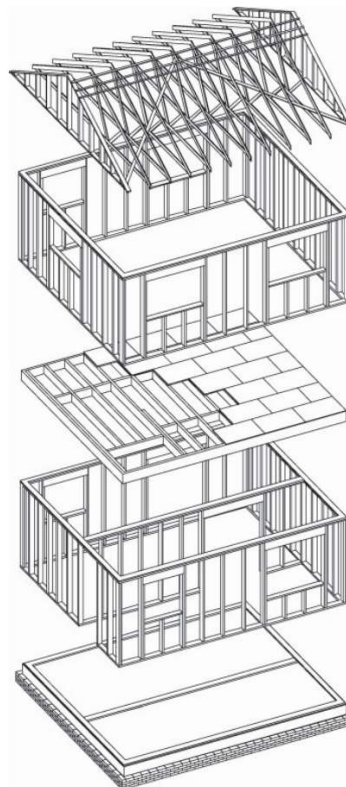
Rámové stavby se vyvinuly z technologie výstavby Platform-frame popsané výše. Princip výstavby spočívá v rámové konstrukci, kdy na základový beton je připevněn hranol, který tvoří spodní práh, často tlakově impregnovaný, na který jsou dále montovány svislé sloupky. Ty pak společně s vodorovnými prvky v úrovni stropu, či pozednice tvoří rám, který se vyplňuje tepelnou izolací. Rám je nutné oplástit z obou stran deskami, protože až po opláštění získává konstrukce svoji pevnost a stabilitu. Desky mohou být používány buď na bázi dřeva (OSB, překližky), nebo sádrovláknité či sádrokartonové, schéma konstrukce je patrné z obrázku 13. Konstrukce má výhodu, že se buď může sbíjet na stavbě, nebo je provedena v hale a na stavbu se doveze již jako hotový panel, jež se osadí na základový práh pomocí těžké techniky. Takovýto typ výstavby dřevostaveb je u nás nejčastější a například v roce 2019 u nás tvořil 84 % celkové výstavby ze dřeva, stejně tak je systém oblíbený v celé Evropě. Po opláštění rámu deskami a nanesení povrchových úprav je stavba na první pohled jen těžko rozeznatelná od zděné výstavby (Kolb, 2008).

Původně byli jako sloupky využívány hranoly o rozměrech 2 x 4 palce (odtud název metody „two by four“), v metrické soustavě to je cca 50 x 100 mm,



po vzdálenosti 400–700 mm. Nejčastěji se volí osová vzdálenost mezi sloupky 625 mm z důvodu snadného opláštění deskami, jejichž šířka bývá 1250 mm, tedy 2 x 625 mm. Postupně se díky zvyšujícím nárokům na tepelnou izolaci obálky budovy začaly rozměry sloupků, jež udávají tloušťku tepelné izolace uvnitř sendviče, zvyšovat na 120, 140 mm a více. Další metodou, jak zvýšit tepelný odpor konstrukce je dodatečné provedení tepelné izolace ze strany exteriéru bud' pomocí kontaktního zateplovacího systému, nebo provětrávanou fasádou. Tím je docíleno souvislého obalení tepelnou izolací s minimem systémových tepelných mostů, které vytváří dřevěný rám.

System je velice flexibilní, lze současně použít pro stěny, stropy i střechy. Zároveň je využíván pro ty nejmenší stavby jako zahradní domky, či garáže až po několika podlažní obytné domy.

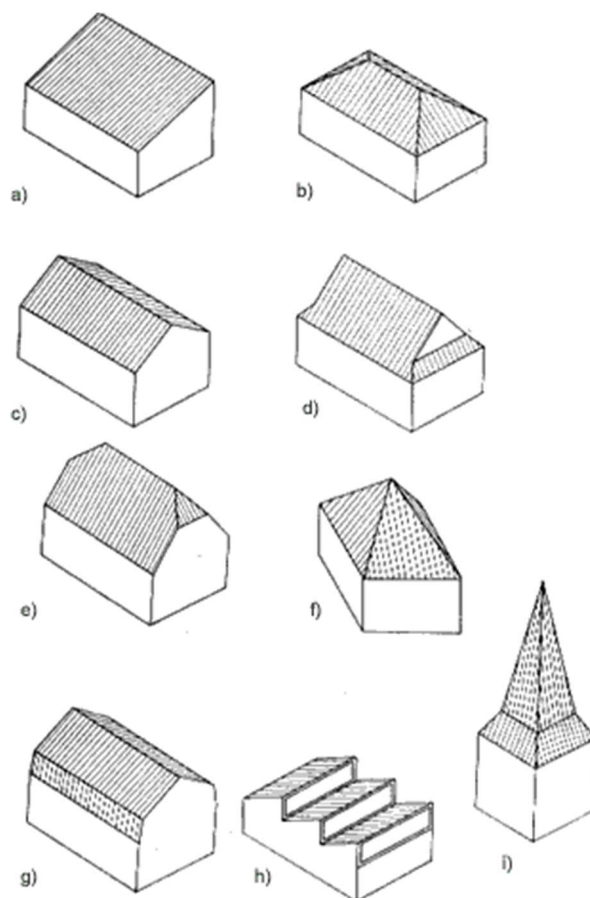


Obr. 13: Konstrukční schéma systému rámových staveb (CTI and TRADA Ltd., 2020)

### 3.3. Střecha

Pro zastřešení objektu je v dnešní době dostupné velké množství variant, jak materiálových, tak technologických. Pro zmapování nabízené škály systémů

je nejdříve nutné rozdělit si konstrukce dle určitých kritérií. Střechy se v první řadě dělí dle sklonu na ploché, se sklonem do 5°, šikmé se sklonem 5–45° a strmé, tyto střešní roviny mají sklon více jak 45° (Ing. J. Remeš, 2017). Šikmé střechy dále dělíme dle tvaru viz obrázek 14, kde jsou vyobrazeny základní tvary střech. V dnešní době je již používáno mnoho dalších variant střešních rovin a jejich kombinací. Zejména na moderních objektech můžeme najít zastřešení ve tvaru rotačních hyperboloidů a paraboloidů či zborcené plochy. Pro současné rodinné domy jsou však nejpoužívanější tvary pultové, sedlové, valbové či polovalbové.

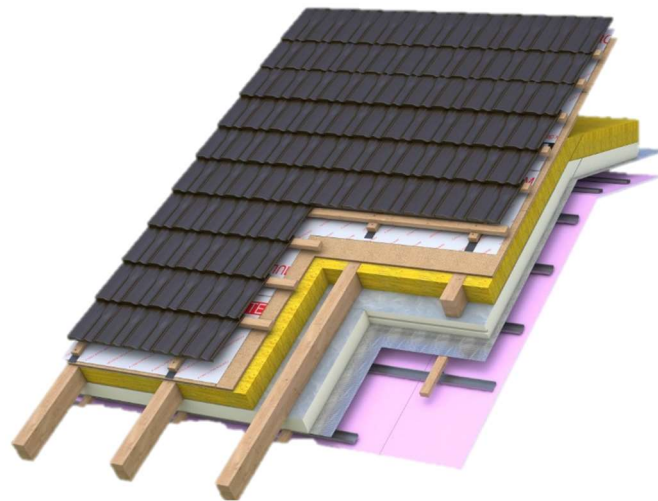


Obr. 14: Základní tvary šikmých střech (anua s.r.o., 2012)

a – pultová, b – valbová, c – sedlová, d – s opačnou polovalbou, e – polovalbová, f – stanová,  
g – mansardová, h – pilová, i – věžová

Další možné dělení střech je dle skladby pláště, dělíme je na nezateplené, jednoplášťové, dvouplášťové, či víceplášťové střechy. Nezateplené střechy se nacházejí na nevytápěných objektech. Skladba střechy jednoplášťové sestává z interiéru z pohledu, parotěsné fólie, tepelné izolace v úrovni krovu, pojistné hydroizolace a krytiny, jednotlivé vrstvy jsou v kontaktu a nevzniká provětrávání

mezera. Dvouplášťová střecha je tvořena z interiéru podhledem, parotěsnou fólií, tepelnou izolací, paropropustnou pojistnou hydroizolací a provětrávanou mezerou vymezenou kontralatěmi, nad kterou se nachází laťování a střešní krytina. Tento typ střešního pláště je vidět na obrázku 15, na rodinných domech je nejčastěji využívána právě dvouplášťová střecha s provětrávanou mezerou. Aby docházelo k požadovanému proudění vzduchu v mezeře osazuje se v úrovni okapu větrací mřížka, kterou dochází k přísávání vzduchu. Pod hřebenem je pak nutné umístit speciální větrací tašky. Z obrázku je patrné zalomení tepelné izolace nad vodorovným podhledem, tím je zaručeno co nejefektivnější vytápění obytných prostor, teplo se nešíří do nevyužívaného prostoru pod hřebenem střechy. Současně se snižuje spotřeba tepelné izolace při realizaci.



Obr. 15: Průběh zateplení šikmé střechy (Dek a.s., 2022)

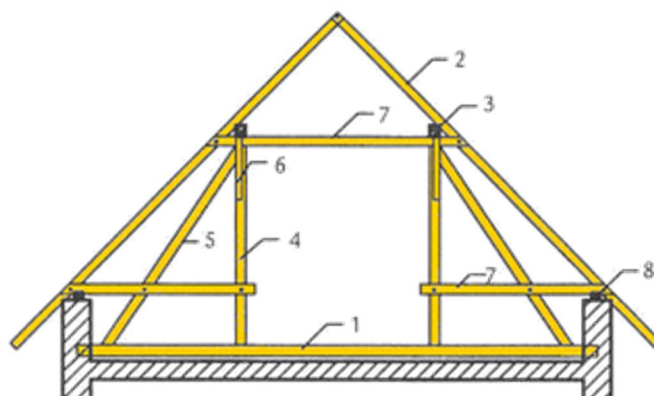
### 3.3.1. Nosná konstrukce střechy

Nosná konstrukce střešního pláště se nazývá krov. Dle použitého materiálu dělíme krovy na dřevěné, kovové, železobetonové a jejich kombinace. Na rodinných domech jsou téměř výhradně využívány dřevěné krovy z masivního dřeva, nejčastěji smrkového. Za účelem překlenutí větších rozponů při subtilních rozměrech prvku lze využít kombinaci krovu z masivního řeziva s ocelovými prvky, nebo s lepeným řezivem. U dřevěných krovů se setkáváme s velkým množstvím velice složitých systémů propojení trámů, vzpěr, kleštin a sloupků, které se vyvíjeli již od dob gotiky. Konstrukce krovu se od těch dob znatelně

změnila, dřevo je však i dnes nejrozšířenějším materiálem pro výrobu krovů na rodinných domech. Díky požadavkům na uvolnění dispozice současně s rostoucími rozpony se vyvinuly moderní systémy krovu. Na obrázcích níže je patrný rozdíl mezi historickým vaznicovým krovem obrázek 16., jehož podkroví je značně omezeno nosnými prvky krovu a dnešním hambalkovým krovem obrázek 17, kde je dispozice maximálně uvolněna (Ruman, 2008).

### Vaznicový krov

Nejrozšířenější konstrukcí krovu je krov vaznicový. Tento krov je s mírnými obměnami využíván do dnes. Je charakteristický vaznicemi, na které se usazují krokve. Na obrázku 15 je vyobrazené schéma krovu se středovými vaznicemi, dle rozponu a sklonu střechy lze navrhnout vaznicí pouze v hřebeni, nebo naopak vaznici do hřebene přidat. Tato varianta krovu je zastaralejší, dnešní obdobou je vaznicový krov bez vazného trámu, kleštin nad pozednicí a vzpěr. Takový krov omezuje dispozici pouze svými sloupky. Celý krov pak sestává z jalových vazeb, zde probíhají pouze vaznice a pozednice, na nichž jsou usazeny krokve, lze doplnit kleštinami pro snadné zavěšení podhledu a z plných vazeb, kde jsou vaznice podepřeny sloupky. Plné vazby se umísťují ve vzdálenosti asi 4-5 m od sebe, tato vzdálenost pak určuje spolu se zatížením krovu profil vaznice (Kuklík a Studnička, 2008).



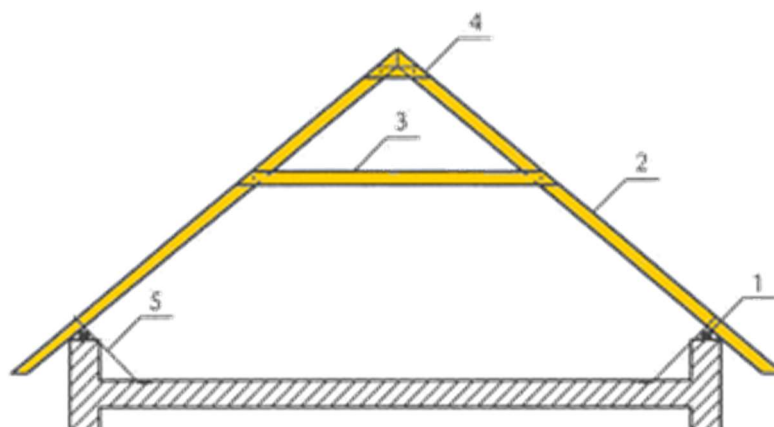
Obr. č. 16: Schéma vaznicového krovu (Kadaně, 2022)

1 – vazný trám, 2 – krokev, 3 – vaznice, 4 – sloupek, 5 – vzpěra, 6 – pásek, 7 – kleštiny, 8 – pozednice

### Hambalkový krov

Díky zmíněným nárokům na otevření dispozice a užívání podkroví byl vyvinut hambalkový krov. Ze schématu na obrázku 17 je patrné odstranění

veškerých svislých prvků konstrukce oproti vaznicovému krovu, které vnitřní prostředí omezují. Krov sestává pouze z krokví, které jsou spojeny kleštinami a jsou usazené na pozednice, všechny vazby tohoto krovu jsou plné, tedy s kleštinami. Veškeré vodorovné a svislé síly tak přechází přes pozednici do obvodové stěny. Z toho důvodu jsou kladeny vysoké nároky na ztužující věnec pod pozednicí a kotvení pozednice ke stěně. Ekonomické je využití hambalkového krovu pro rozpony 6–9 m, lze použít až do rozponu mezi pozednicemi do 11 metrů, vodorovné síly v místě kotvení pozednice jsou však již značné a je třeba provést statický návrh věnce pod pozednicí, aby nedošlo k porušení objektu (Kuklík a Studnička, 2008).



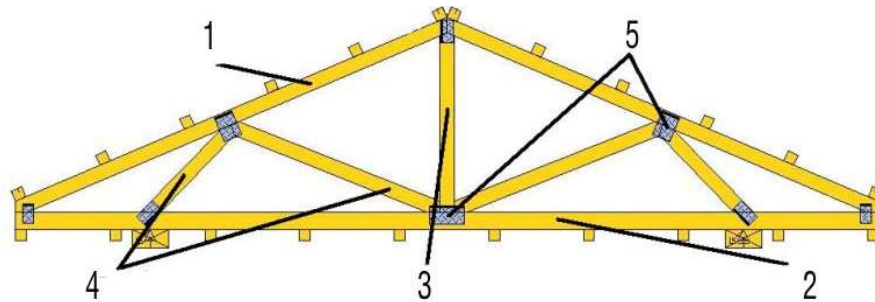
Obr. 17: Schéma hambalkového krovu (Kadaně, 2022)

1 – pozednice, 2 – krokev, 3 – hambalek, 4 – příložka, 5 – táhlo

### Příhradové vazníky

Se zvyšujícími se náklady na výstavbu a touhou nových generací žít samostatně se mění trendy ve stavebnictví a velké oblibě se začínají těšit přízemní domky nazývané bungalovy. Takovéto rodinné domy nemají obytné podkroví, a tak odpadají požadavky na otevření prostoru. Naopak je zde žádoucí překlenutí poměrně velkých rozponů, bez vnitřních podpor a samozřejmě co nejekonomičtěji. Ideálním řešením jsou dřevěné příhradové vazníky. Jedná se o hraněné řezivo subtilních rozměrů, které je spojováno pomocí styčnickových desek. Každý vazník sestává z obvodových pásových prutů, které jsou vyplněny příhradovinou, tedy svislými a šikmými pruty viz schéma příhradového nosníku na obrázku 18. Tyto pruty lze nadimenzovat a navrhnout tak, aby i podkroví bylo částečně využitelné. Vazníky bývají připravovány v dílně a

následně se dovezou na stavbu, kde se pomocí jeřábu postaví v roztečích 0,9 – 1,1 m vedle sebe a spojí provizorními vzpěrami. Celá konstrukce je stabilní až po připevnění průběžných latí, případně desek pro realizaci krytiny. Dřevěné vazníky spojované styčnickými deskami jsou schopné překlenout rozpory od 6 do 30 m. Nevýhodou vazníků je možnost použití pouze pro jednodušší tvary střech, to však při použití pro domy typu bungalov nebývá omezující (Strechy92, s.r.o., 2022).



Obr. 18: Schéma příhradového vazníku (Nevděk-vazníky s.r.o., 2022)

1 – horní pás, 2 – dolní pás, 3 – svislice, 4 – diagonála, 5 – styčnickové desky s trny

## 4. Metodika

Tato část práce se zabývá architektonickým a stavebně technickým návrhem konkrétního rodinného domu. Postup popsany v kapitolách níže by měl být prováděn pro každý návrh objektu v následujícím sledu:

- Stanovení okrajových podmínek daných stavebním objektem, místními podmínkami a legislativou.
- Stanovení nároků na dispozice – počet a druh místností a jejich návaznost vyjádřená v provozním schématu.
- Stanovení rozložení, velikosti a rozmístění místností v objektu vyjádřené dispozičním schématem ve variantním provedení.
- Zhodnocení jednotlivých variant a volba nejvhodnější dispoziční kombinace.
- Volba konstrukčního systému.
- Detailní rozpracování architektonicko-stavebního návrhu s ohledem na zvolený konstrukční systém objektu.

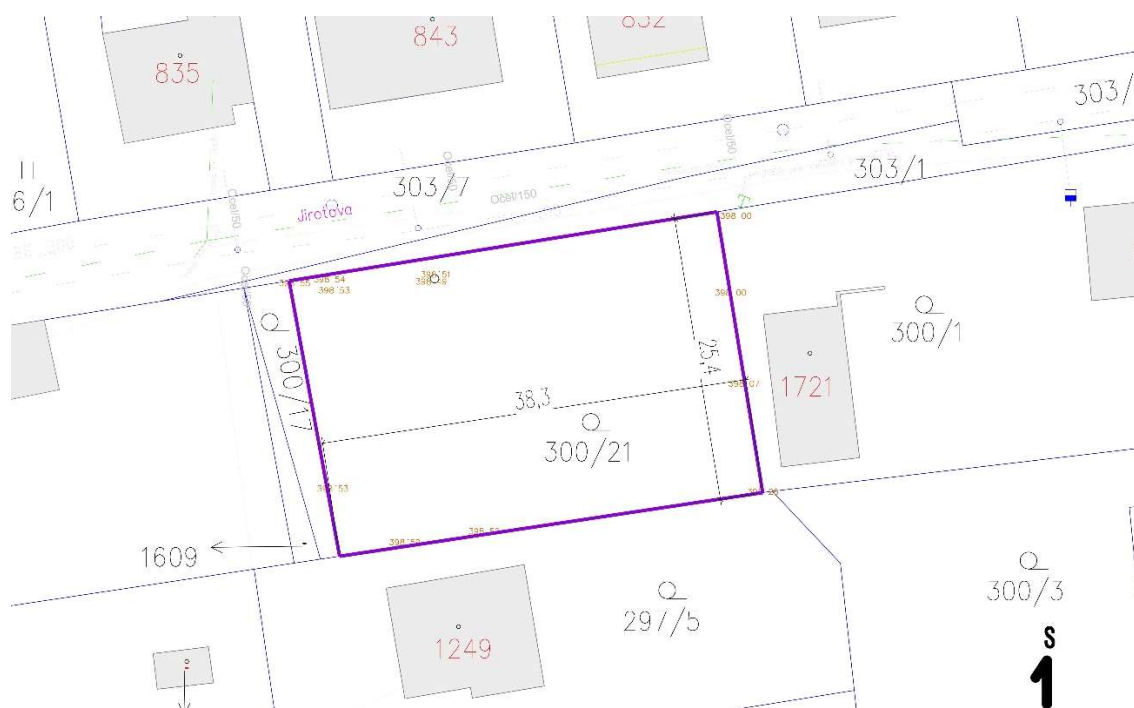
### 4.1. Charakteristika území a nároky na dispozice

Rodinný dům se nachází na pozemku v zastavěné části obce Blovice, asi 30 kilometrů jihovýchodně od Plzně. Parcela se nachází v katastrálním území obce Blovice 605735, pod parcelním číslem 300/21. Pozemek je rovinný, mírně svažité na východní stranu, má obdélníkový tvar o rozměrech asi 38 x 25 m. Na delší straně ze severu je pozemek lemován ulicí Jirotova, která strategicky spojuje místní vlakové nádraží a vede na náměstí obce. Z ulice Jirotova bude rovněž umožněn vjezd a vstup na pozemek. Orientace pozemku je patrná z katastrální situace na obrázku 19.

Díky podmínkám pozemku bude objekt koncipován tak, aby na severní stranu, kde se nachází rušnější ulice, byly umístěny místnosti, které neslouží pro pobyt, jako koupelny, technická místnost, vstup apod. Na jižní stranu se potom nabízí orientovat obytné místnosti, které tak budou v zimě příjemně vyhřívány sluncem a nabízí výhled do klidné zahrady. V létě ovšem hrozí přehřívání místností, které bude muset být řešeno pasivními a aktivními opatřeními. Návrh



je koncipován pro fiktivního investora, jímž je pár s dvěma dětmi. Podmínkou návrhu je umístit veškeré prostory využívané v denním provozu do přízemí. V objektu je uvažováno s integrovanou garáží a jako nadstandard bude v objektu umístěn takzvaně multifunkční prostor, který bude sloužit jako ložnice pro hosty, herna pro děti, úložný prostor a v době nepřítomnosti ostatních členů rodiny jako pracovna.



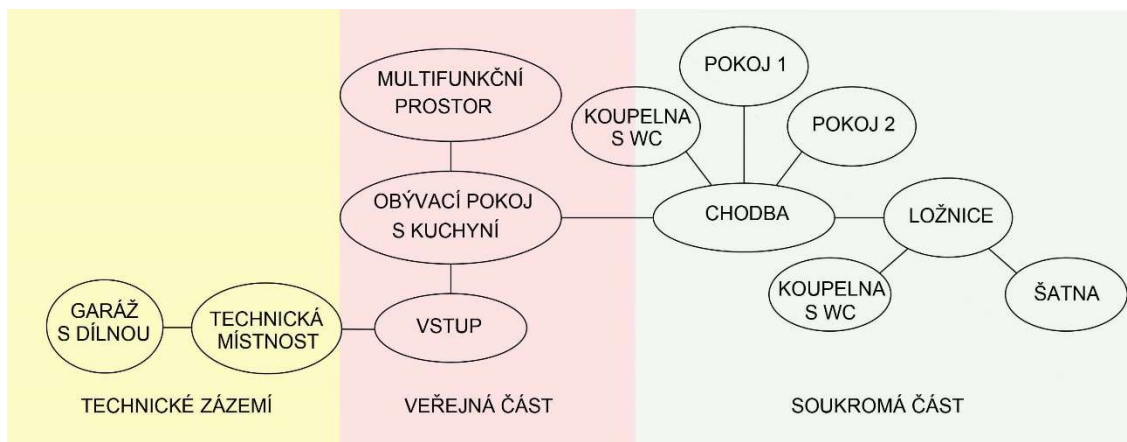
Obr. 19: Katastrální situace s vyznačeným zájmovým pozemkem

#### 4.1.1. Provozní schéma

Pro prvotní stanovení návazností jednotlivých místností a rozdělení objektu do zón je potřeba zkonstruovat provozní schéma viz obrázek 20. Ze schématu jsou patrné veškeré provozní a funkční zóny. Jako další krok bude stanovena velikost a uspořádání místností s ohledem na orientaci ke světovým stranám a bude vytvořeno dispoziční schéma v několika variantách. Jak již bylo zmíněno výše, logicky se nabízí na severní stranu, kde se nachází vjezd a vstup na pozemek umístit místnosti, které neslouží jako pobytové, tedy vstup, technickou místnost, koupelnu apod. Na jižní stranu, která je otočena do zahrady bude snaha umístit obytné místnosti: obývací pokoj s kuchyní a jídelnou a pokoje. Rozloha místností vychází z ČSN 734301 (2004) o Obytných budovách, která uvádí



minimální a doporučené plochy jednotlivých místností a dále z publikace Neuferts Architects' data (Neufert, 2019).



Obr. 20: Provozní schéma navrhovaného rodinného domu

#### 4.1.2. Dispoziční schéma varianta 1

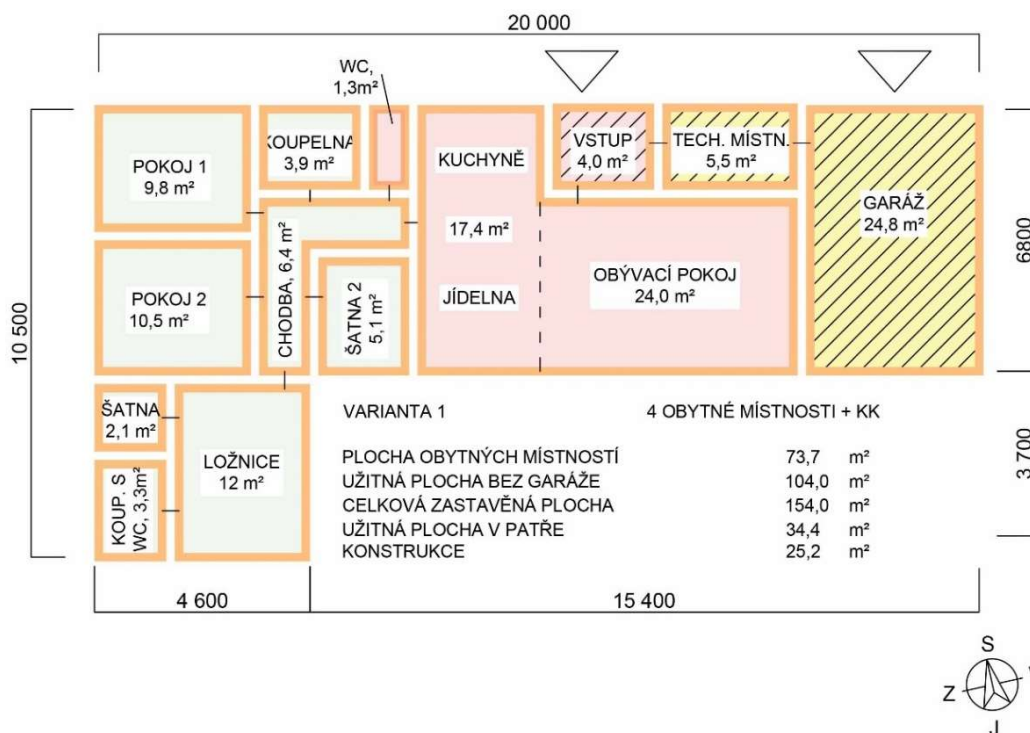
V první variantě návrhu je celkový tvar objektu L, návrh jasně ctí danou systematiku umístit místnosti technického rázu na severní rušnou stranu a obývací pokoj s jídelnou se tak otevírá do prosluněné jižní strany, kde nabízí výhled do zahrady. Stejně tak ložnice je orientovaná do zahrady, na jihovýchod, tím je docíleno proslunění ložnice ráno po probuzení a následně celý den, večer pak zase západní slunce nebude místnost přehřívat.

Ve variantním návrhu číslo 1 se nacházejí menší pokoje směrem na západ, menší velikost pokojů je kompenzována společnou šatnou nacházející se naproti přes chodbu. Orientace pokojů na západ zajistí dostatečné proslunění pokoje, při zapadajícím letním slunci však hrozí večerní přehřívání místnosti. Proto je vhodné na okna umístit vnější stínící prvky, ideálně blackoutové, zajišťující večer dostatečný chlad a tmu pro usínání, zejména pro malé děti. Multifunkční místnost, která byla na začátku návrhu požadována se nachází v prostoru nad garáží a je na ni umožněn vstup po schodišti z obývacího pokoje.

Ze schématu na obrázku 21 je na první pohled patrné logické a komfortní sdružení pokojů podle jejich funkcí do zóny veřejné (červená), soukromé (zelená) a technické (žlutá). Dále se ve schématu nachází šikmá šrafa, která vyznačuje

dvoupodlažní část objektu, tato plocha se rovná ploše, jež zabírá požadovaná multifunkční místnost.

Z navržené dispozice vyplývá, že plocha zabraná konstrukcemi činí 25,2 m<sup>2</sup> z celkových 154 m<sup>2</sup>, což činí 16,4% celkové plochy.



Obr. 21: Dispoziční schéma, varianta návrhu 1

#### 4.1.3. Dispoziční schéma varianta 2

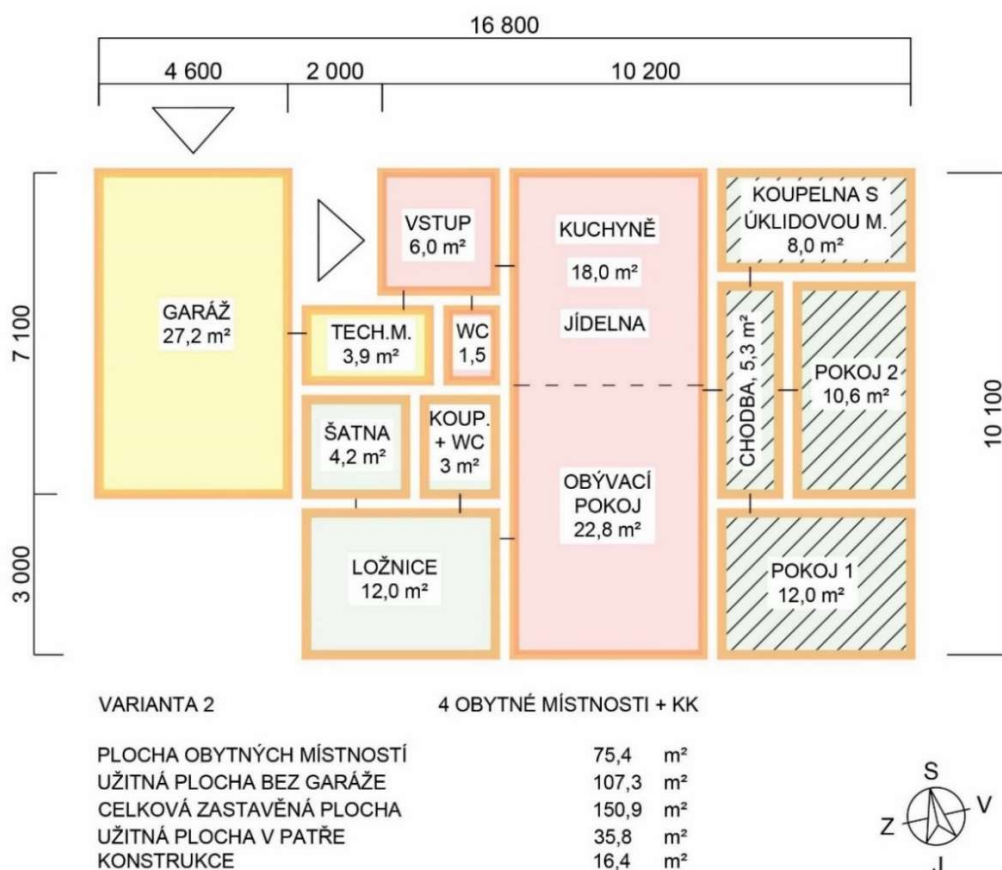
V druhé variantě znázorněné na obrázku 22 je na první pohled zřejmé méně důsledné oddělení zóny soukromé a veřejné, jelikož se však jedná o ložnici rodičů, může tento typ dispozice přinášet i výhody, zvláště v případě, že v pokojích budou dospívající členové domácnosti. Vzdáleností mezi ložnicí a pokoji a zároveň umístění samostatné koupelny pro obě tyto jednotky tak vzniknou dva samostatné celky, jejichž provoz se nemusí křížit.

Menší nevýhodou návrhu je umístění jídelny uprostřed poměrně úzké místnosti, kde světlo bude přicházet pouze z jihu, takže jídelna bude méně prosluněna. Dále stojí za zmínku garáž, která již není přímo přístupná z interiéru, ale vstupuje se do ní přes již zmiňované závětrří. Multifunkční místnost se nachází

v podkrovním prostoru nad pokoji a koupelnou, na východní straně objektu, přístup bude řešen po schodišti z obývacího pokoje.

Méně vhodné je ve variantě číslo 2 také umístění technické místnosti, do které budou muset být některé sítě z přilehlé komunikace vedeny skrz základy pod vstupem. V případě havárie tak nebudou přístupné.

Velkou výhodou této varianty návrhu je orientace pokojů, které jsou směřovány okny na jihovýchod. Ložnice je orientovaná směrem na jihozápad, z důvodu přehřívání místnosti bude nutné navrhnout stínící prvky, které mohou mít podobu předokenních stínících rolet či žaluzií, nebo lze řešit dostatečným přesahem střechy. Další výhodou je vstupní prostor, který je zapuštěný do dispozice, a tak vzniká příjemné zívění, které bude vnímáno zejména v zimním období.



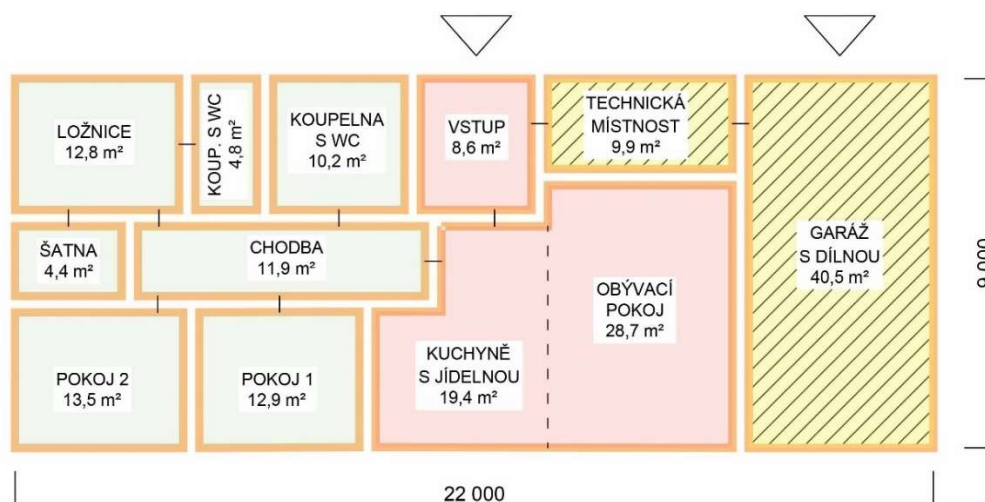
Obr. 22: Dispoziční schéma, varianta návrhu 2

V této variantě je potřeba vyzdvihnout ekonomičnost návrhu, kde při menší zastavěné ploše oproti předchozí variantě, tedy 150,9 m<sup>2</sup> získáváme užitnou plochu místností 107,3 m<sup>2</sup>. Konstrukce zde činí pouhých 16,4 m<sup>2</sup> a tvoří tak 11 % z celkové zastavěné plochy.

#### 4.1.4. Dispoziční schéma varianta 3

V tomto návrhu, zobrazeném na obrázku 23 je půdorys objektu prostý obdélník, takto kompaktní tvar umožňuje jednodušší a zároveň ekonomické řešení střešní konstrukce. Současně tak získáváme půdorys s minimem komplikovaných detailů, čímž zajistíme minimální riziko vzniku tepelných mostů.

Tato dispozice důsledně dodržuje rozdělení místností do jednotlivých funkčních zón, zároveň umožňuje ideální míru separace ložnice od pokojů, které spolu nesousedí, zároveň jsou však vzdáleny pouze přes chodbu. Největším plusem návrhu je orientace veškerých obytných místností s výjimkou ložnice na prosluněný jih s výhledem do zahrady a umístění místností nesloužících k pobytu na rušnou severní stranu. Tvar místnosti kuchyně, jídelny a obývacího pokoje nabízí velice příjemné a prosluněné prostředí s množstvím tepelných zisků v zimě. V létě budou tato okna stíněna přesahem střechy, v oknech orientovaných na západ budou instalovány předokenní stínící prvky zabraňující přehřívání pokojů.



VARIANTA 2 4 OBYTNÉ MÍSTNOSTI + KK

PLOCHA OBYTNÝCH MÍSTNOSTÍ	87,3	m <sup>2</sup>
UŽITNÁ PLOCHA BEZ GARÁŽE	137,1	m <sup>2</sup>
CELKOVÁ ZASTAVĚNÁ PLOCHA	198,0	m <sup>2</sup>
UŽITNÁ PLOCHA V PATŘE	50,4	m <sup>2</sup>
KONSTRUKCE	20,4	m <sup>2</sup>



Obr. 23: Dispoziční schéma, varianta 3

Tato varianta nabízí na první pohled nejvelkorysejší prostory jak pro rodinu, tak v garáži, kde se může nalézat i dílna, či sklad zahradního vybavení.

Díky své kompaktnosti však lze předpokládat například oproti variantě číslo 2 řádově stejné náklady, jelikož odpadne řešení složitějších detailů a celkový rozpon pro zastřešení je menší. Díky větším místnostem a jednoduchosti půdorysu tvoří plochu konstrukcí pouze 20,4 m<sup>2</sup>, což při zastavěné ploše 198 m<sup>2</sup> znamená pouhých 10,3 %.

#### 4.1.5. Hodnocení variant návrhu a výběr nejvhodnější

Pro přehledné zhodnocení jednotlivých variant jsou veškeré výhody a nevýhody zaneseny do tabulky 3, kde je vždy v prvním sloupci uvedeno hodnocené kritérium a následně je zeleně vyznačena varianta, která dopadla v hodnocení nejlépe, případně ty varianty, které kritérium splnily.

Tab. 3: Porovnání výhod a nevýhod návrhů dispozice

	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Funkční zóny	ANO	NE	ANO
Počet pokojů orientovaných na jih	3	3	4
Vstup ze závěťí	NE	ANO	NE
Plocha KČI k zastavěné ploše	16,4 %	11 %	10,3 %
Maximální rozpon pro KČI zastřešení	6,8 m	10,1 m	9,5 m
Průměrná velikost obytné místnosti	14,74 m <sup>2</sup>	15,08 m <sup>2</sup>	17,5 m <sup>2</sup>

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že v hodnocení vychází nejhůře varianta 2. Tato varianta nedodržela dělení na funkční zónu soukromou a veřejnou a zároveň se řadí do nejméně hospodárneho návrhu svým rozponem 10,1 metru, který bude muset být překlenut při zastřešování.

Varianta 1 dle tabulky skončila na druhém místě, dodržela podmínku o dělení na soukromou a veřejnou zónu, a zároveň nabízí nejmenší rozpon pro zastřešení, nabízí však pokoje o nejmenší průměrné ploše 14,74 m<sup>2</sup> a plocha jež zabírají konstrukce tvoří nejvyšší podíl z vytvořených variant, a to 16,4 %.

Nejlépe pak v hodnocení dopadla varianta 3, která dodržuje rozdělení na soukromou a veřejnou zónu. Celkem čtyři obytné místnosti z pěti jsou orientované na jih a zároveň nabízí pokoje o průměrné ploše 17,5 m<sup>2</sup>, a to vše

při ploše jež zabírají konstrukce pouhých 10,3 %. Varianta také nabízí velice prostornou garáž a technickou místnost, kde bude umístěna pračka, případně sušička a místnost tak může sloužit pro domácí práce. Zároveň je možné přes technickou místnost projít z garáže rovnou do vstupní haly, takže při příjezdu, či odjezdu autem není potřeba vstupovat do exteriéru. Všichni členové domácnosti pak ocení prostorné pokoje s dostatečným místem pro úložný prostor. Jako nadstandard pak slouží multifunkční místnost v patře, jejíž funkce jsou popsané v kapitole 4.2. využití podkroví.

## 4.2. Využití podkroví

Podkroví bude využito pro multifunkční místnost, která bude sloužit jako pracovna v době nepřítomnosti ostatních členů domácnosti, sklad, tělocvična, herna pro děti, či pokoj pro hosty. Jelikož se jedná o příležitostné aktivity, které nebudou nastávat každý den a téměř nikdy současně, bude dispozice prostoru podkroví řešena jako otevřená a tím bude dosaženo příjemného prostoru vhodného pro všechny z činností, každou v jiném čase.

Pro multifunkční místnost bude využit podkrovní prostor objektu, čímž je docíleno umístění místnosti v dosahu obývacího pokoje, který je centrem aktivit a setkávání členů rodiny. Při využití podkroví současně získáme prostory s příjemným pocitem útulnosti, díky jeho nižší světlé výšce a částečně přiznané dřevěné konstrukci krovu. Multifunkční místnost přístupná z obývacího pokoje zaručí částečné oddělení prostor, avšak nedochází k separaci činností, či členů domácnosti, jak je tomu u pokojů umístěných v soukromé části dispozice, které slouží pro klid a odpočinek jednotlivých členů.

### **Varianta 1**

Pro multifunkční místnost budou využity prostory podkroví nacházející se nad kuchyní, vstupem a částečně nad koupelnou, viz vyšrafovaná oblast na obrázku 24. Využití těchto prostor splňuje požadavek možnosti přístupu z obývacího pokoje. Nicméně je méně vhodné díky umístění na stěně sousedící s jedním z pokojů, kam hrozí přenos hluku. Dále bude nutné technicky vyřešit uložení stropů v místě koupelny, kde je dispozice bez podpory cca 3 metry a

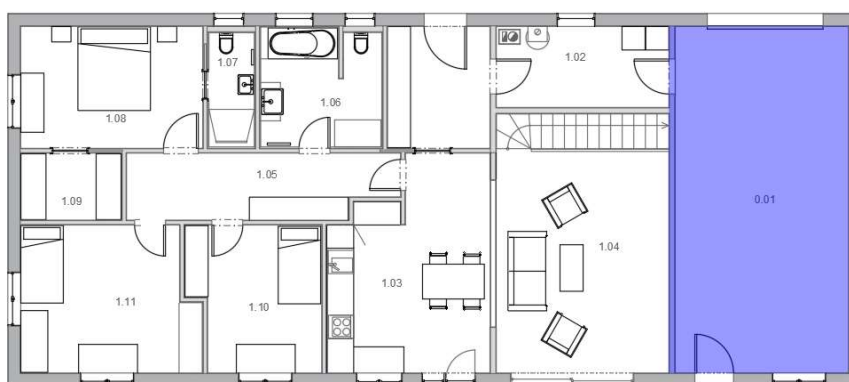
překlenout otvor v příčce mezi obývacím pokojem a kuchyní, který činí 3,85 m, současně se zde předpokládá sloupek od krovu. Využitá plocha činí 34,5 m<sup>2</sup>.



Obr. 24: Využití podkrovních prostor, varianta 1

### Varianta 2

Pro multifunkční místnost je využit prostor nad garáží, prostor je opět přístupný z obývacího pokoje, ve variantě na obrázku 25 je ovšem značně jednodušší řešení podepření stropu, který je po celém obvodu podepřen stěnami. Zároveň lze umístit okna do štítové stěny, aby docházelo k prosvětlení místnosti i v jejím středu, ne pouze v krajních částech, jak by tomu bylo v případě využití pouze střešních oken ve variantě 1. Varianta je vhodná i z důvodu nižších nároků na světlost výšku v garáži, proto lze strop v tomto místě snížit a získáme tak menší výšku, kterou bude potřeba překonat v případě výstupu do místnosti. Řešení nabízí využitelnou plochu 41,7 m<sup>2</sup>.



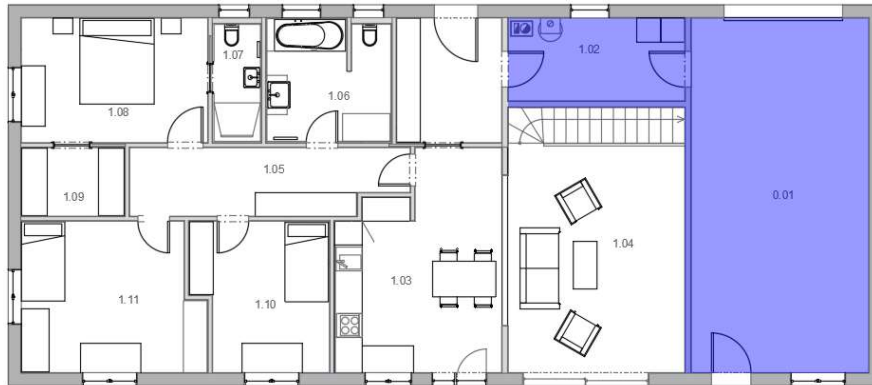
Obr. 25: Využití podkrovních prostor, varianta 2

### Varianta 3

Využitý prostor v podkroví se nachází nad místností garáže jako v případě varianty 2, ale navíc je zde využit prostor nacházející se nad technickou místností



viz obrázek 26. Varianta nabízí na první pohled největší plochu o rozloze 51,8 m<sup>2</sup>, současně poskytuje výhody, jako varianta 2, v návrhu je ovšem daleko příjemnější a přirozenější otevření prostoru v úrovni obývacího pokoje přes celou šířku objektu. Další značnou výhodou varianty, je maximální využití prostoru, kde nosnou konstrukci střechy tvoří krov a neomezuje tak dispozice a umožňuje řešit zastřešení zbývajících částí podkroví ekonomičtější variantou, tedy vazníky.



Obr. 26: Využití podkrovních prostor, varianta 3

### **Volba míry využití podkrovního prostoru**

Díky snížené světlé výšce v garáži a technické místnosti byla vyloučena varianta 1. Z variant 2 a 3 je zvolena varianta 3, která nabízí totožné výhody o větší ploše místnosti. Dále je v podkroví odstraněna architektonicky nevhodná stěna mezi technickou místností a obývacím pokojem.

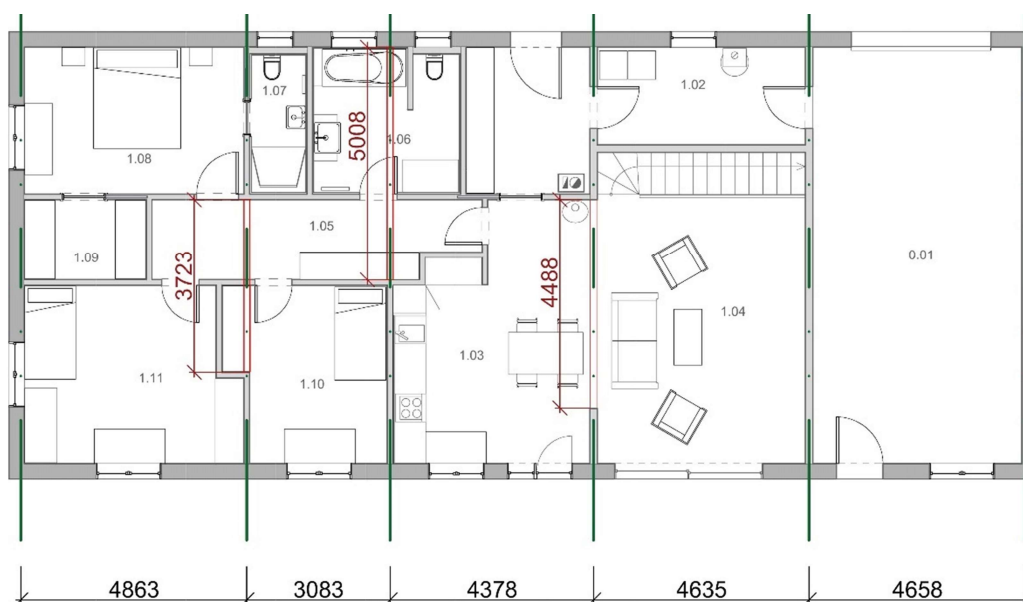
### **4.3. Krov**

Objekt je rozdělen na dvě sekce, s rozdílnými požadavky na nosnou konstrukci střechy. Nad obývacím pokojem a multifunkční místností, tedy v prostoru obytného podstřeší je kladen nárok na využitelnost podkroví. Ve zbytku objektu, tedy nad částí pokojů včetně kuchyně se pak nachází podkrovní část, jenž nebude využívána jako obytná, nicméně její přístupnost by byla výhodou a umožnila by využití půdních prostor ke skladování. Současně tato část objektu svojí roztržitou a měnící se dispozicí nenabízí mnoho vhodných míst k umístění svislých podpor. Díky uvedeným rozdílným požadavkům se nabízejí dvě varianty řešení nosné konstrukce střechy.



### 4.3.1. Nosná konstrukce krovu varianta I

Provedení klasického vaznicového krovu v celém objektu. Toto řešení je nezbytné pro část obytného podstřeší, kde jsou kladeny požadavky na maximální otevření prostoru a oproštění od prvků krovu, které budou při použití klasického vaznicového krovu sestávat pouze ze sloupků v plné vazbě. Dispozice nabízí řešení stěny mezi obývacím pokojem a garáží jako nosné, tím se rozdělí překlenovaný prostor na dvě stejně široké sekce o rozpětí cca 4,6 m. Tato vzdálenost mezi plnými vazbami je vyhovující, pro navrhovaný vaznicový krov, maximální rozpon mezi plnými vazbami činí 5 polí po 0,9 – 1,2 m tedy 4,5 – 6 m. V části neobytného podkroví je již umístění plných vazeb, a tedy podepření sloupků problematictější, díky již zmíněné roztroušené dispozici. Na obrázku 27 vidíme schéma půdorysu přízemí s naznačeným možným umístěním plných vazeb krovu. Z půdorysu je patrné, že bude potřeba řešit překlenutí prostorů kde není možné umístit v přízemí svislou podporu. Nosníky budou provedeny z lepeného řeziva typu BSH, kvůli svojí vysoké pevnosti v ohybu. U Nosníků se předpokládá velké zatížení, jelikož přenášejí zatížení od stropní konstrukce a současně od sloupků krovu.



Obr. 27: Půdorys 1NP, schéma umístění plných vazeb krovu varianta I  
(zeleně – osy plných vazeb, červeně – nosníky pro překlenutí otevřených prostor)

Pro porovnání jednotlivých variant je nezbytná alespoň orientační kalkulace ceny za dílo vyobrazená v tabulce č. 4. Do kalkulace není zahrnuta cena za provedení nosných interiérových stěn v místě plných vazeb, tento cenový rozdíl bude zanedbatelný. Veškeré uvedené ceny jsou bez DPH. V ceně není zahrnuta montáž stropu, ani krovu, jelikož ceny montáží jsou velice rozdílné v závislosti na zvolené firmě.

Tabulka č. 4: Cenová kalkulace klasického vaznicového krovu, Varianta I

Název položky	Množství [m <sup>3</sup> ]	Cena za jednotku [Kč]	Celkem [Kč]
Stropní KVH trámy	3,65	14 734	53 783
Nosníky BSH	0,45	24 661	11 103
Konstrukce krovu	11,8	6 000	70 800
<b>Celkem</b>			<b>135 686 Kč</b>

Výhody:

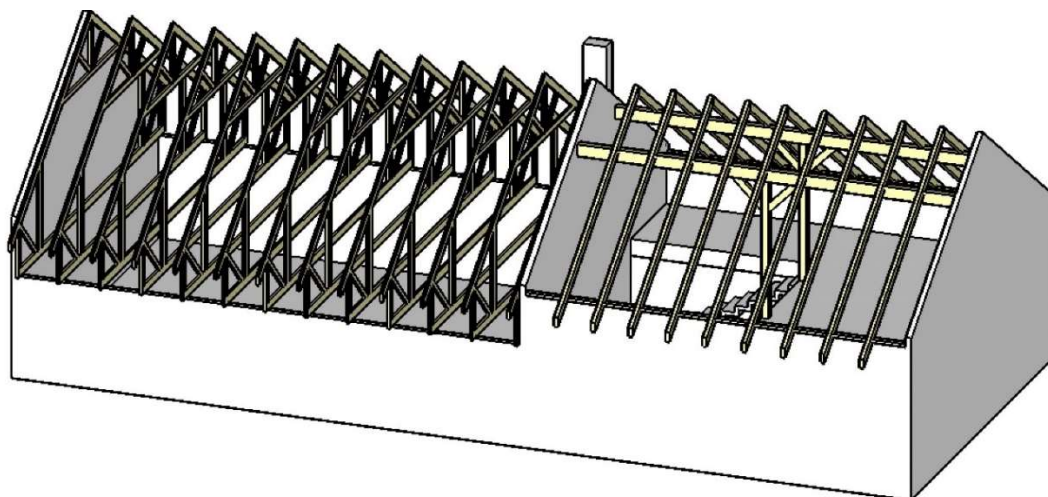
- Maximální využití podkrovního prostoru v neobytné části podkroví pro skladovací prostory, v budoucnu možnost využití například pro samostatný byt.
- Jednotný nosný systém střešní konstrukce na celém objektu. Nehrozí nestejně chování konstrukce po zatížení, či mírné odchylky ve sklonu krokví.

Nevýhody:

- Řešení přenosu zatížení ze sloupků do míst bez svislé podpory trámy (na obrázku 27 znázorněno červeně) pro rozpony 3,7; 4,5 a 5 m. Zejména u rozponu 5 m bude pravděpodobně nejvhodnější řešení pomocí dvojice ocelových válcovaných nosníků.
- Pod částí neobytného podstřeší bude nutné zbudovat nosný rám pro zavěšení podhledu v přízemí.

#### 4.3.2. Nosná konstrukce krovu varianta II

Pro navržený objekt s nestejnými požadavky na nosnou konstrukci zastřešení se nabízí kombinace vaznicového krovu v části obytného podstřeší a systému příhradových vazníků v části neobytného podstřeší. Řešení je patrné z prostorového schéma na obrázku 28.



Obr. 28: Prostorové schéma řešení krovu, varianta II

Pro ideální dodržení požadavků a zajištění ekonomičnosti návrhu je ve variantě II krov rozdělen na dvě sekce, z nichž jedna je tvořena klasickým vaznicovým krovem s dvěma středovými vaznicemi osazenými na sloupcích a nosných štítových stěnách. Sloupky jsou opřeny do středové nosné stěny. Na nosnou konstrukci tvořenou vaznicemi a pozednicemi jsou následně osazeny krokve. Zbývající část střešní konstrukce je tvořena příhradovými vazníky spojovanými pomocí styčnickových desek, které nemají nároky na vnitřní podpory. Vazníky jsou kladeny v části neobytného podstřeší, konstrukce vazníků bude řešena tak, aby umožňovala využití půdního prostoru alespoň pro skladování věcí.

V tabulce č. 5 níže je uvedena předpokládaná cena nosné konstrukce krovu dle variantního návrhu II. Tabulka slouží pro srovnání nákladů na provedení konstrukce krovu s variantou I. uvedené v tabulce č. 4. Cena je proto kalkulována pouze pro porovnání ekonomické náročnosti jednotlivých variant, cena nezahrnuje položky, které budou totožné, nebo srovnatelné, například doprava, montáž, podbití palubkami, či laťování apod. Veškeré ceny jsou uvedeny bez DPH.

Tabulka č. 5: Cenová kalkulace kombinace krovu a příhradových vazníků, Varianta II

Název položky	Množství	Cena za jednotku [Kč]	Celkem [Kč]
Příhradové vazníky	132,7 m <sup>2</sup>	700	92 876
Konstrukce krovu	5,2 m <sup>3</sup>	6 000	31 284
<b>Celkem</b>			<b>124 160 Kč</b>

Výhody:

- Optimální volba nosné konstrukce střechy pro prostory s rozdílnými požadavky.
- Odpadá nutnost vnitřních podpor pod neobytným podstřeším.
- Kratší doba výstavby zejména díky nahrazení nosného stropu pouze podhledem v prostorech vazníků.
- Nižší pořizovací cena o 11.500 Kč bez DPH, po započtení DPH je tedy rozdíl ještě větší, ve variantě I navíc přibude položka montáže trémového stropu.

Nevýhody:

- Kombinace různých typů konstrukcí vyžaduje vyšší přesnost při provádění, aby nedošlo k nepřesnostem způsobeným například mírným rozdílem ve sklonu krokví a horního pásu vazníku.
- Pokud by mělo být v budoucnu neobytné podkroví využíváno, bude prostor značně omezen.

### 4.3.3. Volba konstrukce krovu

Po zvážení výhod a nevýhod obou variant řešení nosné konstrukce krovu byla s přihlédnutím k ekonomičnosti realizace zvolena varianta II, tedy kombinace klasického vaznicového krovu a příhradových vazníků.

Za povšimnutí stojí především fakt, že při kalkulaci krovu z rostlého řeziva, bez započtení ceny za hoblování (přesahy nejsou viditelné) vychází cena konstrukce krovu srovnatelně s příhradovými vazníky. Je to zejména stropní konstrukce, která musí přenést zatížení ze sloupků a umožnit provedení sádkartonového podhledu, která dělá klasické provedení krovu s vaznicovým systémem v našem případě neekonomickou. Obecně lze říci, že ani jedna z variant nelze označit jako levnější, či naopak, jelikož jsou to právě konkrétní požadavky objektu a detaily, které o ceně za dílo rozhodují.

Bude nutná součinnost výrobců klasického krovu a výrobců příhradových vazníků, ideální bude zvolit pro provádění společnost, která má zkušenosti s výrobou obou typů konstrukcí. Tím by mělo být docíleno minimálních odchylek

mezi sklony a délkami jednotlivých prvků krovu, zároveň tak bude současně řešena doprava a montáž pro příhradové vazníky i klasický krov.

## 5. Výsledky

V části práce výsledky jsou prezentovány konkrétní zvolená řešení a jejich detailní návrh a popis, vycházející z poznatků uvedených v teoretické a metodické části práce. Výsledky jsou rozděleny dle odvětví, do kterého se řadí, na: konstrukční a materiálové řešení, tepelně technické posouzení obalových konstrukcí, statické posouzení vybraných prvků a technické řešení zařízení budovy.

### 5.1. Konstrukční a materiálové řešení objektu

#### 5.1.1. Volba systému výstavby pro navržený RD

Pro zodpovědnou volbu nejvhodnějšího systému pro konkrétní navržený rodinný dům je potřeba si nejprve sestavit seznam požadavků, které má vybraný systém splňovat, podle toho pak bude vybrán systém, který nároky splňuje nejlépe. Požadavky byly sestaveny do tabulky 6. V tabulce se nachází v levém sloupci nároky na dopravu, stavbu, jež zahrnuje jak nároky na výstavbu, tak na hotový dům a následnou demolici. Požadavky jsou uvedeny buď tučně, tyto vlastnosti jsou klíčové pro volbu systému dřevostavby, nebo jsou kurzívou, takové požadavky jsou pouze výhodou, nejsou však pro volbu stěžejní. Prvním klíčovým požadavkem je výstavba bez nutnosti využití těžké techniky, tento požadavek je zadán zejména díky vedení elektrických kabelů na sloupech podél přilehlé komunikace, ze které je stavba přístupná. Veškeré prvky by se tak na stavbu museli přendávat přes toto elektrické vedení, což není neproveditelné, je to však zásadní nevýhodou systému v tomto konkrétním případě a realizace se může prodražit. Další požadavek je standardní fasáda s okny a dveřmi bez masivních prosklených ploch, tento požadavek prakticky vyřazuje hrázděné stavby, jelikož je fasáda z velké části otočená na jih, docházelo by k přehřívání interiéru díky skleníkovému efektu. Sedání stavby znevýhodnilo srubovou výstavbu, kde je sedání významné a je již nutné řešit detaily napojení konstrukcí specificky, částečně je tak tomu i u staveb typu two by four, ovšem v našem

případě jednopodlažního objektu nebude mít sedání tak velký význam. Posledním, klíčovým hodnoceným kritériem byla ekologická likvidace stavby, zde jsou v nevýhodě lepené materiály.

V tabulce 6 nejsou hodnoceny systémy Baloon-frame a platform-frame, jelikož tyto systémy se u nás téměř nepoužívají, zástupcem těchto systémů je Two by four, který je u nás nejrozšířenější a vychází z předchozích dvou systémů. Dále není v tabulce hodnocen systém skeletové výstavby, jelikož jeho primární vlastností je maximální otevření dispozic, vhodné pro haly, či veřejné prostory. Pro rodinný dům s menšími dispozicemi jsou takové nároky zbytečné a ekonomicky nevýhodné.

Tab. č. 6: Hodnocení vhodnosti sst dřevostavby pro RD

	Požadavky na systém	Hrázděné stavby	Srubové stavby	Masivní stavby – panely	Masivní stavby – tvarovky	Rámové stavby – two by four
Doprava	<b>Bez nutnosti těžké techniky</b>	X	X	X	✓	✓
	<i>Lokální dodavatel</i>	X	✓	✓	X	✓
Stavba	<i>Výstavba svépomocí</i>	X	X	X	X	✓
	<b>Bez prosklených ploch fasády</b>	X	✓	✓	✓	✓
	<b>Bez nutnosti řešení sedání stavby</b>	✓	X	✓	✓	✓
	<i>Bez parotěsné fólie</i>	✓	X	✓	X	X
Demolice	<b>Ekolog. likvidace, opětovné využití</b>	X	✓	X	X	✓

Z tabulky výše vyplývá, že nejlépe hodnocený systém výstavby dřevostavby pro rodinný dům s dispozicemi viz kapitola 4.1.5. je systém two by four, spadající do kategorie rámové stavby. Tento systém byl pro moderní výstavbu rodinných domů vyvinut a již několik desetiletí je používán a optimalizován. Dalším nejlépe hodnoceným systémem byla výstavba z masivních dřevěných tvarovek, tento typ výstavby je pro navržený objekt taktéž velice vhodný, díky jeho možnosti výstavby bez nutnosti těžké techniky, lokálně je však téměř nedostupný. Jako nejméně vhodné systémy pro hodnocený objekt pak dopadla výstavba z masivních panelů, srubové stavby a hrázděné stavby.

Pro objekt byl zvolen nosný systém rámový, nejčastěji označovaný jako „two by four“, pro svoji flexibilitu a možnost výstavby na staveništi. Tento systém bude v místě velkých rozponů zkombinován s principy skeletových staveb.

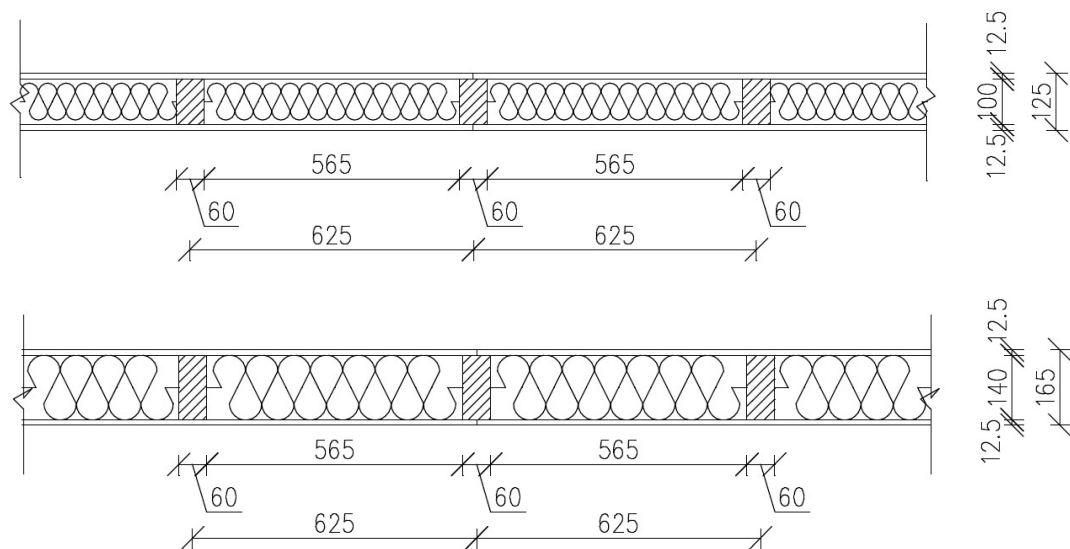
### 5.1.2. Svislé konstrukce

Konstrukce stěn sestává z rámu, který je tvořen KVH profily uspořádanými na výšku. Pro spojení základové konstrukce s konstrukcí stěny se využívá prahový profil. Je nezbytné, aby byl prahový profil vyrovnán po celé své délce do naprosté roviny, toho je dosaženo uložením na dilatační podložky, do lóže z malty o vysoké pevnosti v tlaku. Profil je následně kotven ocelovými kotvicími prvky do základové desky. Profil musí být tlakově impregnovaný, aby odolával případné vlhkosti. Do tohoto prahu jsou následně kotveny sloupky, které jsou tvořeny KVH profily umístěné v rozteči maximálně 625 mm. Horní část sloupku je ukončena vodorovným prahem pod pozednicí, který je tvořen dvěma vrstvami KVH profilů, sloužících jako ztužující věnec objektu. Profily jsou kladeny tak, aby vrchní vrstva překrývala spoje profilů vrstvy pod sebou. Takovýto uzavřený rám musí být podepřen, aby byla zajištěna jeho stabilita do chvíle, než bude opláštěn deskovými prvky a získá svoji prostorovou tuhost.

#### 5.1.2.1. Vnitřní stěny

Interiérové stěny jsou rozděleny na nosné a nenosné, Nosné vnitřní stěny jsou tvořeny KVH profily o rozměrech 80 x 140 mm, rám je vyplněn tepelnou izolací na bázi dřevních vláken tloušťky 140 mm, dle tloušťky sloupku. Rám je oboustranně opláštěn sádrovláknitými deskami Fermacell tloušťky 12,5 mm. U nenosných vnitřních stěn, příček, jsou sloupky tvořeny KVH profily o rozměrech 60 x 100 mm a stejně jako u nosných stěn je rám vyplněn izolací na bázi dřevních vláken, v případě příček je tloušťka izolace snížena na 100 mm. Rám je taktéž opláštěn deskami Fermacell. V případě vnitřních dělících stěn má izolace funkci akustickou, jelikož dělí prostory se stejnou vnitřní teplotou. Řez konstrukcemi je patrný z obrázku 29.





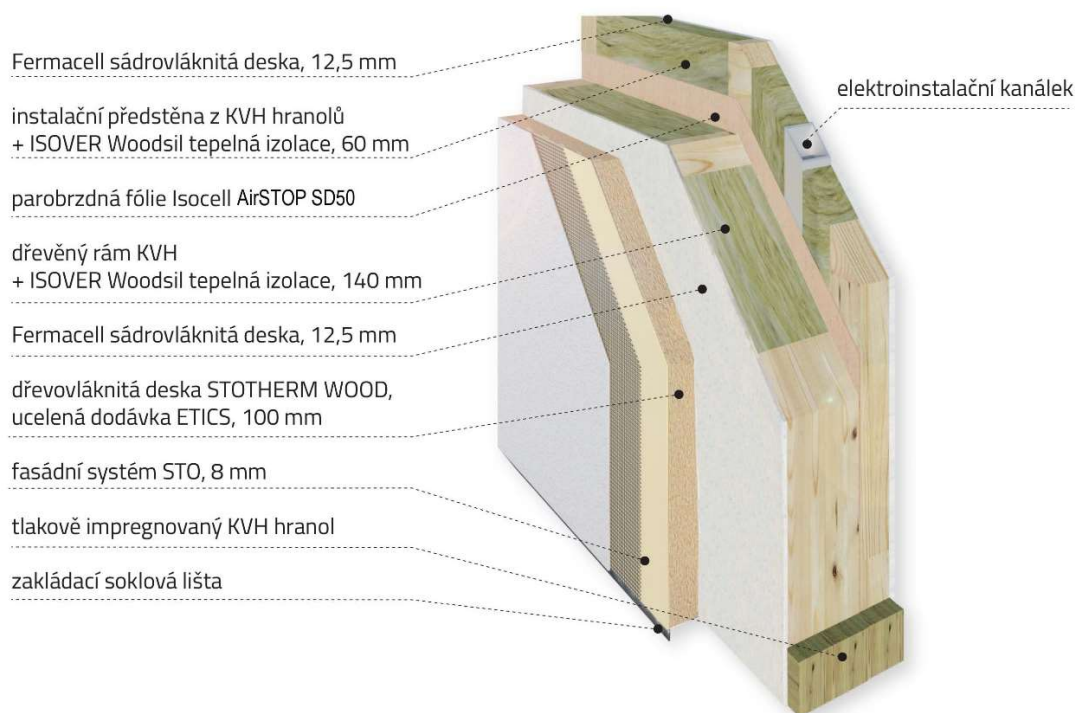
Obr. č. 29: Vodorovný řez vnitřními stěnami  
nenosná stěna (nahore), nosná stěna (dole)

#### 5.1.2.2. Obvodové stěny

Skladba obvodové stěny je řešena jako difuzně otevřená, to znamená, že na straně interiéru je umístěna parotěsná vrstva proti vnikání vlhkosti do konstrukce a směrem do exteriéru difuzní odpor vrstev, tedy její vzduchotěsnost, klesá. Tím je zajištěno odvětrání vlhkosti v případě nedokonalého provedení vzduchotěsné vrstvy. V navrženém rodinném domě se nacházejí dva vzduchotěsné celky, obytná část a garáž, podle toho bude provedena vzduchotěsná vrstva. Ta musí být provedena co nejdokonaleji, veškeré prostupy fólií musí být utěsněny nejlépe pomocí speciálních vzduchotěsných manžet, případně oblepeny parotěsnou páskou. Před vzduchotěsnou vrstvou je umístěna instalační předstěna, za účelem omezení prostupů a potenciálních zdrojů poškození vzduchotěsné vrstvy na minimum. Pro správnou funkci vnitřního zařízení je nezbytné, aby byl objekt po dokončení dokonale těsný, to prokáže provedení takzvaného blower-door testu, při kterém dojde k natlakování vzduchu v objektu na určitou hranici a následně se sleduje, zda vzduch neuniká (Hudec a kol, 2013).

Nosný rám obvodových stěn je tvořen KVH profily o rozměrech 80 x 140 mm vyplněné tepelnou izolací na bázi dřevních vláken v tloušťce sloupku, tedy 140 mm, stejně jako u vnitřních nosných stěn. Ze strany interiéru

je na rámu provedena parotěsná fólie a předstěna pro vedení instalací. Tu tvoří opět rošt z KVH hranolů vyplněných tepelnou izolací o tloušťce 60 mm. Rám je následně opláštěn sádrovláknitou deskou tloušťky 12,5 mm, jež tvoří pohledovou vrstvu ze strany interiéru. Spojení desek a otvory po kotvení desek k roštu budou přetmeleny speciální sádrokartonářskou sádrovou, zbrúšeny a následně bude aplikována vnitřní malba. Z exteriéru je pak nosný rošt obložen opět sádrovláknitými deskami tloušťky 12,5 mm a následně tepelně izolačními dřevovláknitými deskami StoTherm Wood včetně systémové skladby minerálních omítek vhodné pro kontaktní zateplení fasád. Systém StoTherm Wood byl vybrán z důvodu jeho ekologických parametrů, desky jsou vyrobeny z dřevních vláken a při použití systémových minerálních omítek je biologicky odbouratelný. Fasádní souvrství bude provedeno armovací vrstvou – StoLevell Uni, následuje armovací síťovina – Sto-Glasfasergewebe F, mezinátěr – StoPrep Miral a povrchová úprava – StoSilco (sto, s.r.o., 2022). Skladba obvodové stěny je patrná z obrázku 30, včetně popisů jednotlivých vrstev.



Obr. 30: Řez obvodovou stěnou objektu STN-1 (Pila Martinice s.r.o., 2022)

### 5.1.3. Vodorovné konstrukce

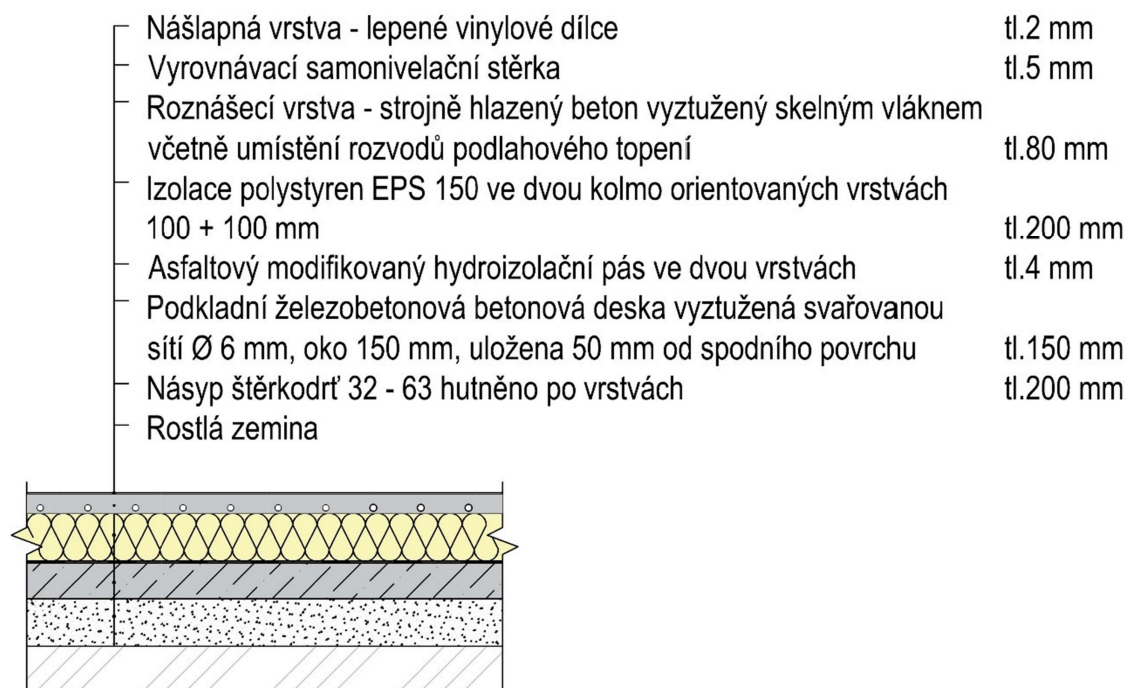
Objekt je koncipovaný jako přízemní bungalov s výjimkou prostor garáže a technické místnosti, kde je díky mírně svažitému pozemku snižená úroveň podlahy v garáži o 180 mm, aby byl rozdíl výšky přilehlé komunikace a garážového stání co nejmenší. Snižením podlahy v garáži současně dochází ke snížení výškové úrovně stropní konstrukce nad garáží a technickou místností. Světlá výška technické místnosti je stanovena na 2,17 m, čímž splňuje minimální světlou výšku místností pro domovní vybavení v rodinných domech, tedy 2,1 m dle ČSN 73 4301 (2004) Obytné budovy. V garáži pak světlá výška činí 2,32 m dle ČSN 73 6058 (2011) pro jednotlivé, řadové a hromadné garáže je minimum opět 2,1 m. Rezerva bude využita pro pojezd vrat a pro případ že by se zajíždělo s vyšším autem, či úložným boxem umístěným na střeše vozidla (Remeš a kol., 2017)

#### 5.1.3.1. Podlaha ve styku se zemínou

V objektu se nacházejí dvě výškové úrovně podlahy, v obytné části s technickou místností je úroveň podlahy osazena na lokálně zvolenou úroveň  $\pm 0,000$  m což je v globálním výškovém systému B. p. v. (Balt po vyrovnání) 398,5 m n. m. Mezi technickou místností a garáží je výškový rozdíl, jelikož garáž se nachází na úrovni -0,180 m. Podloží pod provedením podlahy bude zhutněno a bude zde proveden násyp štěrkodrtě o frakci 32-63 v minimální tloušťce 200 mm, násyp bude hutněn po vrstvách vibrační deskou.

Skladba podlahy v obytné části je zobrazena na obrázku 31. Podlaha je tvořena nosnou částí, kterou zajišťuje podkladní železobetonová deska. Ta musí být vyztužena svařovanou ocelovou sítí o průměru 6 mm při spodním povrchu, aby nedocházelo k porušení betonu, díky jeho nízké pevnosti v tahu. Síť bude umístěna na distančních podložkách ve výšce 50 mm od spodního líce betonu, aby nedošlo k pronikání vlhkosti betonem a následnému porušení vyztuže. Na betonové desce jsou navařeny asfaltové modifikované pásy ve dvou vrstvách pro dokonalé odizolování stavby od spodní vody, která proniká vztlínáním základovými konstrukcemi. Tepelná izolace je provedena podlahovým

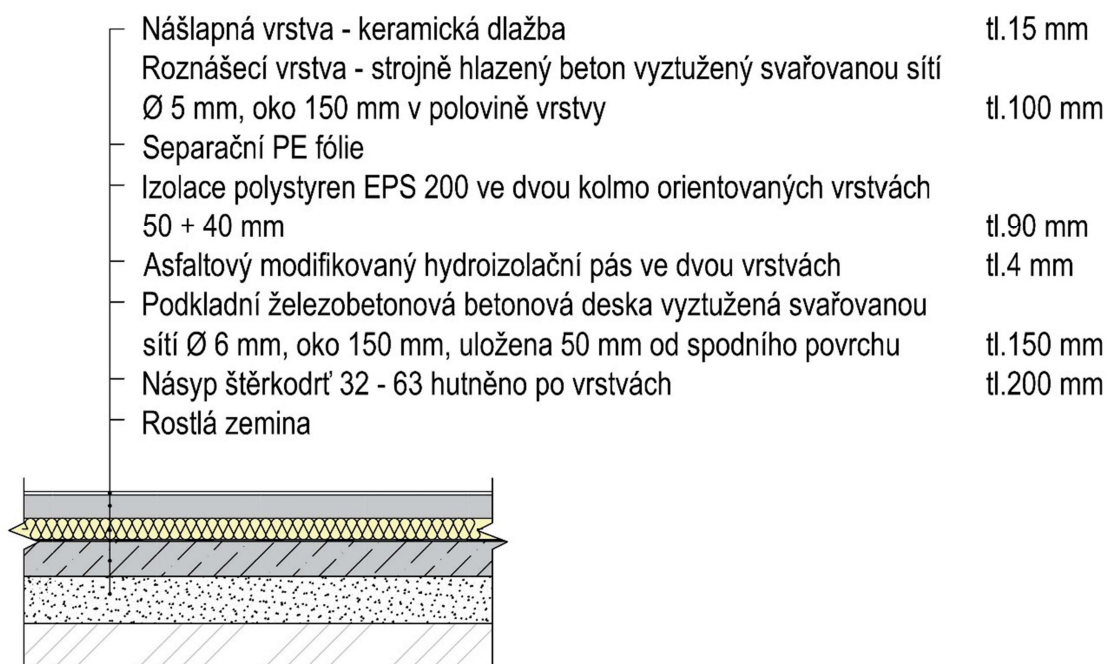
polystyrénem s vyšší pevností EPS 150, položeným ve dvou vrstvách tloušťky 100 mm, vrstvy budou vzájemně kolmé, aby byly překryty styčné spáry. Na polystyren bude umístěna systémová deska pro instalaci potrubí podlahového vytápění a následně bude zalita betonem se směsí sklených vláken pro dostatečné ztužení a rovnoměrné roznesení zatížení přecházející do vrstvy polystyrenu. Pro co nejlepší vyrovnaní betonové vrstvy a zajištění celistvosti povrchu bude beton po vylití strojně vyhlazen neboli zgleťován. Pro dokonalou rovinnost a celistvost povrchu bez prachu a nečistot musí být provedena pod povlakovou krytinu samonivelační vrstva, na kterou je pak nanášeno lepidlo a lepeny dílce vinylové nášlapné vrstvy.



Obr. 31: Skladba podlahy v obytné části objektu POD(z)-5

V garáží jsou požadavky na podlahu poněkud odlišné, jelikož se nejedná o obytný prostor, bude tepelná izolace snížena na 90 mm, izolace je opět provedena ve dvou kolmo orientovaných vrstvách. Naopak se předpokládá vyšší lokálně působící zatížení od aut, proto bude roznášecí vrstva provedena z betonu o tloušťce 100 mm a bude vyztužena svařovanou sítí v polovině vrstvy o průměru 6 mm a velikosti oka 150 mm. Sítě budou kladeny s přesahem 300 mm. Mezi tepelnou izolací a roznášecí železobetonovou deskou bude položena polyetylenová fólie, která zabrání vnikání vlhkosti při lití betonu do tepelné izolace viz skladba podlahy garáže obrázek 32. Jako pochozí vrstva je v garáži zvolena

dlažba s vysokou otěruvzdorností, protiskluzná, s nízkou nasákavostí, která zaručí odolnost proti mrazu.



Obr. 32: Skladba podlahy v garáži P1

### 5.1.3.2. Strop pod obytným podstřeším

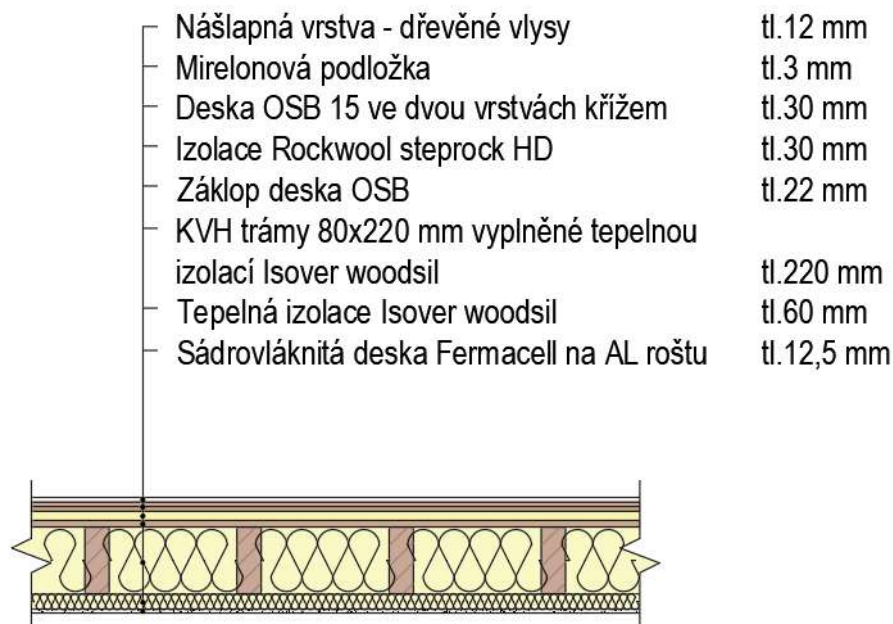
Z obrázku 33 je patrné, kde se nachází neobytné podstřeší (červená), které bude řešeno pouze sádkartonovým podhledem se zateplením a kde se nachází obytné podstřeší (šedá), kde bude proveden nosný strop v úrovni +2,53 m, který bude pochozí. Nad obývacím pokojem (bílá) je pak prostor otevřen až do úrovně střešní roviny.

V části obytného podkroví je strop řešen dřevěným trámovým stropem viz obrázek 34. Nosnými prvky jsou trámy z KVH profilů o rozměrech 80 x 220 mm v osové vzdálenosti 500 mm, vyplněné tepelnou izolací. Z vrchu je trámový strop zaklopen OSB deskami tloušťky 22 mm orientovanými kolmo na stropní trámy. Na spodní straně je zavěšen na systémovém roštu podhled ze sádkartonových desek. Skladba podlahy je pak tvořena speciální vatou Rockwool steprock HD v tloušťce 30 mm, vhodnou pro akustickou izolaci pro lehkou skladbu podlah. Pro roznesení zatížení na izolaci jsou navrženy OSB desky tl. 15 mm ve dvou vrstvách, které jsou na sebe orientované kolmo tak, aby byly překryty spoje

v první vrstvě. Tak vznikne pevná vrstva, která se neprohýbá a má srovnatelné pevnostní vlastnosti v podélném i příčném směru, současně bude vrstva OSB desek sloužit jako parozábrana proti vnikání vlhkosti z interiéru do konstrukce. Na takto připravenou roznášecí vrstvu je položena akusticky izolační podložka mirelon v tloušťce 3 mm, na kterou jsou následně pokládány dřevěné vlysy.



Obr. 33: Půdorys objektu s vyznačeným rozdílným zastropěním



Obr. č. 34: Skladba stropu nad garáží STR-2

#### 5.1.4. Střešní konstrukce

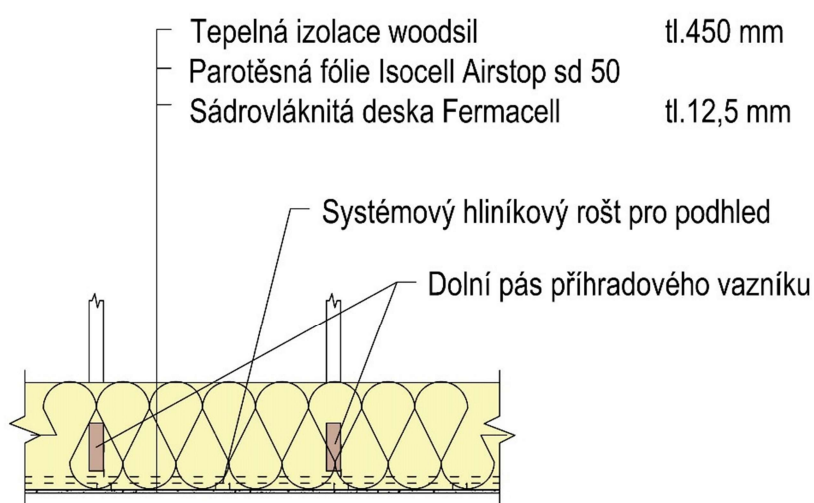
Jak již bylo rozebráno v kapitole 4.3.3. Volba konstrukce krovu, nosná konstrukce střechy je v objektu řešena dvěma způsoby, ze kterých vyplývá i řešení tepelně izolační obálky budovy. V části neobytného podstřeší, tedy v části krovu řešeného příhradovými vazníky je průběh tepelné izolace vodorovný a nad ním se nachází otevřený nevytápěný prostor chráněný pouze střešní krytinou proti dešti a částečně proti větru. Z tepelně izolačního hlediska však nemá tato konstrukce vliv a skladba je posuzována jako dělící mezi interiérem a exteriérem. V druhé části objektu je nosná konstrukce střechy řešena klasickým krovem a průběh tepelné izolace je tedy v úrovni krokví, s doplněnou vrstvou tepelné izolace pod krokvemi, směrem do interiéru. Střešní konstrukce jsou velice důležité z hlediska tepelných úniků, jelikož tudy uniká až 10 % tepla (Fisher-Uhlig, 1998). Současně má návrh skladby střešního pláště velký vliv na tepelnou stabilitu objektu v létě, kdy hrozí přehřívání a dochází k rozpálení střešní krytiny, odkud se teplo následně šíří do interiéru. Přehřívání skrze střešní konstrukci tak zabraňuje v první řadě kvalitně navržená a provedená provětrávaná mezera na úrovni kontralátí. Zde je potřeba dodržet umístění větracího pásu v místě okapové hrany střechy a současně umístění speciálních větracích tašek co nejbližší hřebeni. Tak dochází k proudění vzduchu mezerou směrem nahoru, mezera nesmí být nijak přerušena, jinak by docházelo k nadměrnému ohřevu v místě přerušení mezery díky kumulaci horkého vzduchu. A druhou pojistkou proti vnikání tepla skrze konstrukci střechy je dostatečná tepelná izolace a její kvalitní návrh a provedení minimalizující vliv tepelných mostů. V případě střechy se jedná zejména o řešení tepelných mostů způsobených přerušenou vrstvou tepelné izolace krokvemi z rostlého dřeva, které mají znatelně horší tepelně izolační vlastnosti než přilehlá izolace.

##### 5.1.4.1. Strop pod neobytným podstřeším

Strop je v přízemní části objektu tvořen pouze podhledem zavěšeným na nosné konstrukci krovu, která je řešená příhradovými vazníky viz skladba stropu obrázek 35 a vrstvou tepelné izolace. Podhled bude tvořen z interiéru



sádrovláknitou deskou připevněnou na systémovém roštu z hliníkových profilů, které budou zavěšeny na spodním pásu příhradových vazníků pomocí takzvaných krokrových závěsů. Na spodním líci roštu bude provedena vzduchotěsná vrstva z parotěsné fólie Isocell Airstop SD50, veškeré prostupy a spoje fólie musí být přelepeny speciální parotěsnou páskou. Na takto připravenou konstrukci bude ze strany exteriéru provedena tepelná izolace v tloušťce 450 mm. Podhled bude ze strany interiéru v místě spojů desek a otvorů po kotvení přetmelěn speciální sádrokartonářskou sádrovou a zbroušen do hladka. Na takto připravený povrch bude provedena výmalba.



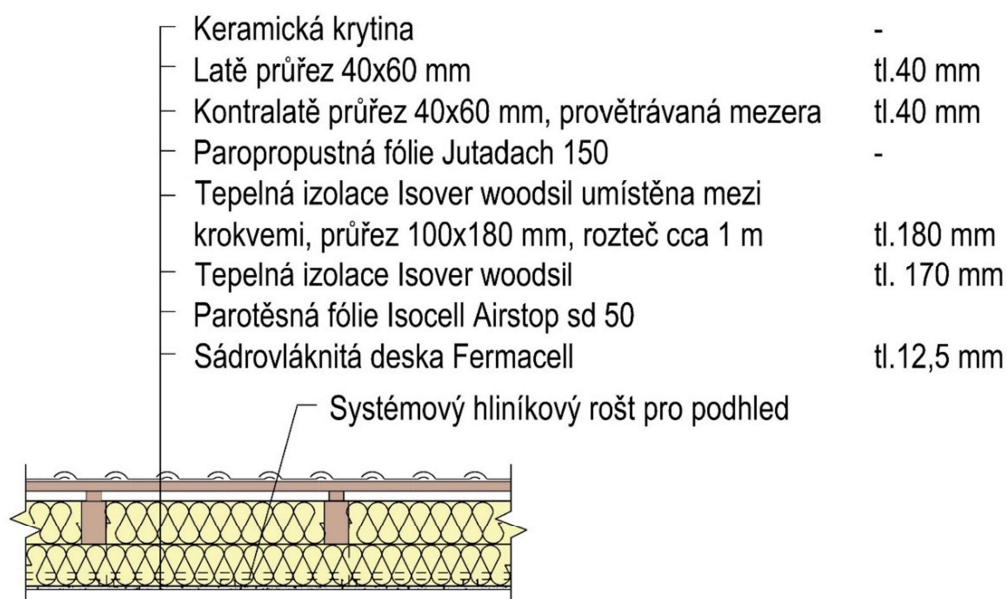
Obr. 35: Skladba stropu pod neobytným podstřeším STR-3

#### 5.1.4.2. Střešní plášť nad obytným podstřeším

Nosná konstrukce střechy nad obytným podstřeším je tvořena klasickým krovem s dvěma středovými vaznicemi, podepřenými sloupky. Skladba střešního pláště zobrazena na obrázku 36 je tvořena od interiéru podhledem ze sádrovláknitých desek, nad kterým je provedena parotěsná vrstva. Podhledové desky jsou upevněny na systémovém hliníkovém roštu, který je zavěšen na nosné konstrukci krovu, tedy krokvicích a kleštinách. Další vrstvou je tepelná izolace v tloušťce 170 mm na vnitřní straně nosné konstrukce, která minimalizuje vliv tepelných mostů tvořených krokvicemi o tloušťce 180 mm, mezi nimiž je taktéž provedena tepelná izolace v totožné tloušťce. Krokve jsou ze strany exteriéru opláštěny paropropustnou vrstvou, která slouží jako pojistná hydroizolace při



zatečení vody přes krytinu. Pojistná hydroizolace je ukončena u okapové hrany tak, aby při zatečení voda stékala do okapového žlabu.



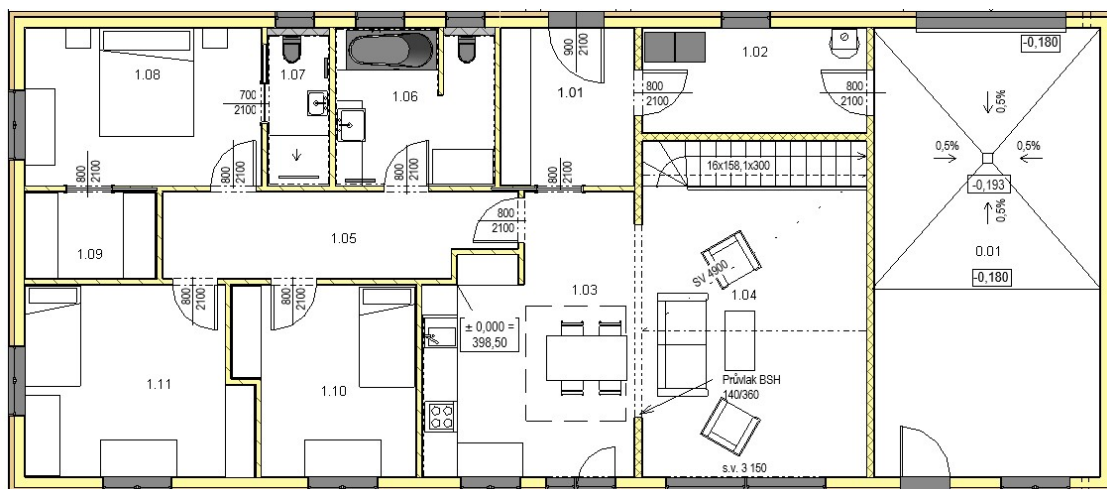
Obr. 36: Skladba střechy v části obytného podkroví STR-4

## 5.2. Dispoziční řešení objektu

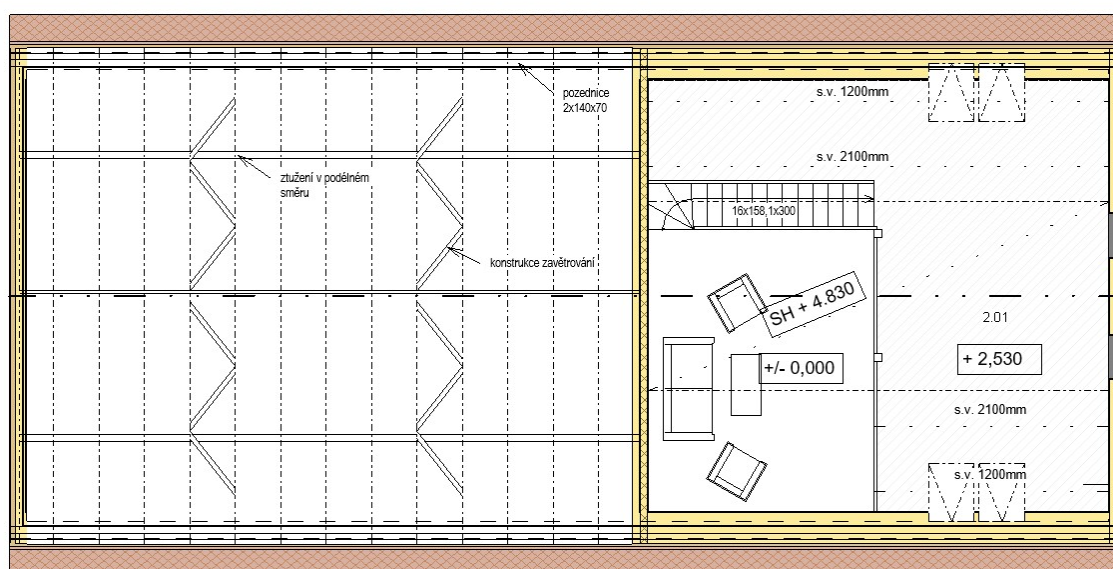
Objekt je řešen jako přízemní bungalov s integrovanou garáží, z obývacího pokoje je pak po schodišti přístupná obytná část podkroví, kde je umístěna multifunkční místnost, sloužící k různorodým činnostem členů domácnosti.

Vstup i vjezd do objektu je umístěn na severní straně z přilehlé komunikace. Na severní stranu objektu je tedy umístěna i vstupní hala a garáž. Po vjezdu do garáže lze přes technickou místnost projít do vstupu a pak dále do domu bez nutnosti vyjít ven. Za vstupem se nachází kuchyně s jídelnou a obývací pokoj. Ty jsou částečně propojeny díky otvoru o šířce 3,85 metru, který lze pomocí posuvných dveří oddělit. Hned vedle vstupních dveří do kuchyně se nachází dveře do chodby, jež vede ke koupelně s WC a vanou, k pokojům a ložnici. K ložnici je pak připojená šatna a soukromá koupelna disponující umyvadlem, sprchovým koutem a WC, rozložení místností je patrné z půdorysu 1NP na obrázku 37. Obývací pokoj je otevřený až po úroveň střechy a nachází se zde schodiště, jež vede do multifunkční místnosti umístěné v podkroví. Obytná část

podkroví se nachází nad prostory garáže a technické místnosti, viz výkres podkroví na obrázku 38.



Obr. 37: Půdorys 1NP



Obr. 38: Půdorys podkroví

### 5.3. Tepelně technické posouzení konstrukcí

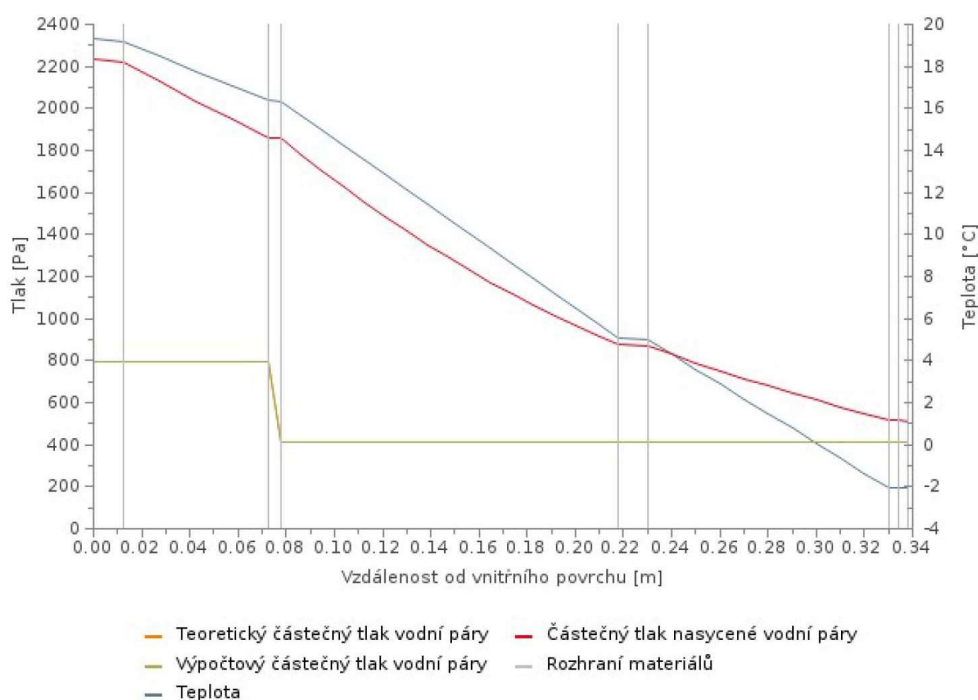
Navržené skladby objektu byly posouzeny z hlediska tepelně technických vlastností a průběhu vodních par v konstrukci viz příloha č. 1 Tepelně technické posouzení obalových konstrukcí pomocí softvéru DEKsoft tepelná technika 1D vyvinutého společností DEK a.s. Veškeré informace související s posouzením

konstrukcí v programu Tepelná technika 1D jsou uváděny dle aktuálně platné legislativy ke dni vydání diplomové práce.

### Obvodová stěna

Při své celkové tloušťce 333 mm má obvodová stěna označená jako STN-1 součinitel prostupu  $U = 1,49 \text{ W/m}^2\text{K}$  a její tepelný odpor  $R$  činí  $6,716 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Dle ČSN 73 0540-2 (2011) Tepelná ochrana budov, stěna splňuje doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla  $U$  pro pasivní domy, která činí  $0,12 - 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Z posouzení dále vyplývá, že konstrukce splňuje požadavky na teplotní faktor vnitřního povrchu, to znamená, že v místech s nejméně příznivými podmínkami, jako jsou vnější rohy, nebo lokální tepelné mosty nebude docházet ke kondenzaci na vnitřním povrchu stěny, ani ke vzniku plísní. V neposlední řadě výpočet dokládá, že ve vrstvě s nosnými dřevěnými prvky a v tepelně izolační vrstvě na straně exteriéru tvořené dřevovláknitou deskou nebude docházet ke kondenzaci vodních par díky použití kvalitní parozábrany na straně interiéru.

Na obrázku 39 vidíme průběh teploty v konstrukci (modrá křivka) dle její tloušťky, která je uvedena na ose  $x$  v metrech. Výpočet uvažuje s vnitřní návrhovou teplotou  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  při relativní vlhkosti vzduchu  $50 \%$ , ta se v průběhu roku mění, v měsíci lednu je uvažovaná hodnota  $34 \%$ .

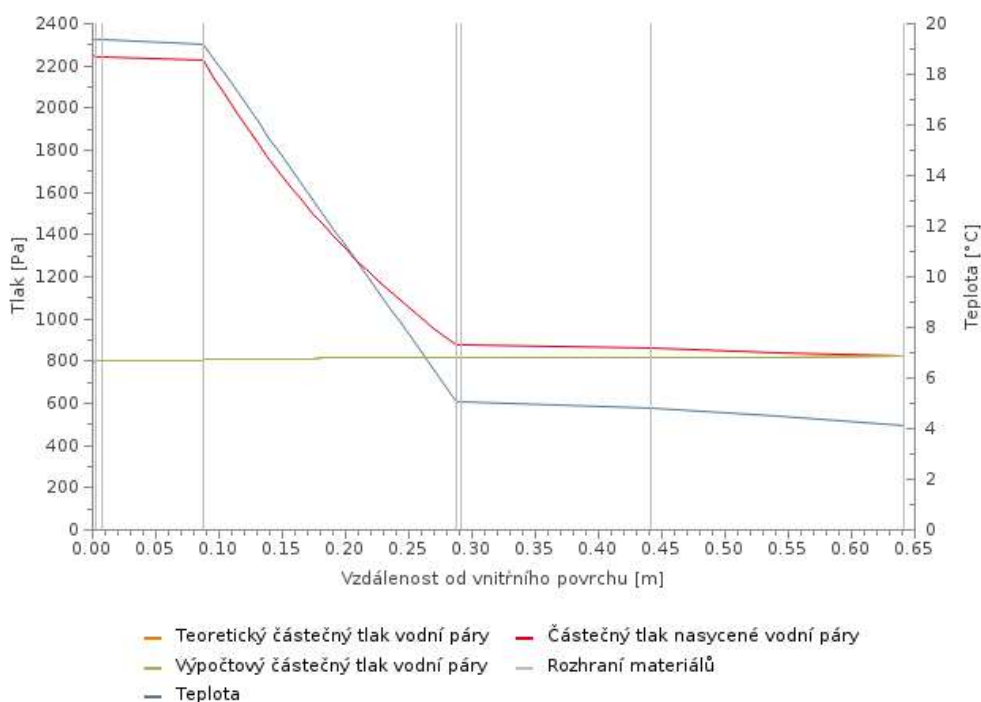


Obr. 39: Průběh tlaků vodní páry a teploty v konstrukci STN-1 za leden (DEKsoft, 2022)

Venkovní okrajové podmínky předpokládají minimální teplotou  $-15\text{ °C}$  při relativní vlhkosti vzduchu  $84\%$ . Pro výpočet jsou použity průměrné hodnoty např. pro leden je uvažována průměrná teplota vzduchu  $-2,2\text{ °C}$  při relativní vlhkosti  $81\%$ . Červená křivka znázorňuje tlak nasycené vodní páry na  $100\%$  a zelená křivka pak představuje skutečný tlak vodní páry v konstrukci. Jelikož se tyto dvě křivky neprotínají, z grafu plyne, že v konstrukci nedojde ke kondenzaci vodních par, jelikož skutečný průběh obsahu vodní páry v konstrukci (zelená křivka) nikdy nepřekročí hodnotu úplného nasycení vodními párami (červená křivka).

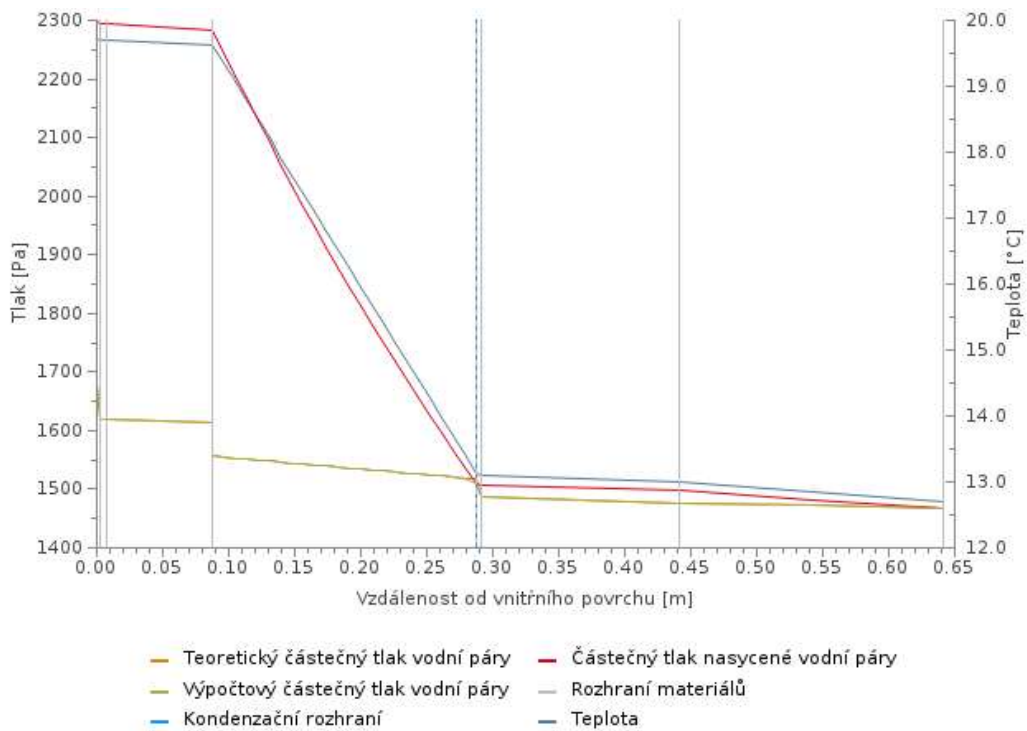
### Podlaha na terénu v obytné části

Podlaha v obytné části objektu označená jako PDL(z)-5 je umístěna na zemině. Skladba podlahy sestává ze železobetonové desky na štěrkovém násypu, na desce je tepelná izolace řešená podlahovým polystyrénem EPS 150 v tloušťce  $200\text{ mm}$ , na který je následně provedena betonová roznášecí vrstva a lepený vinyl. Konstrukce splňuje se svojí hodnotou součinitele prostupu tepla  $U = 0,178\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  doporučené hodnoty pro pasivní domy, které činí  $0,15 - 0,22\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Na obrázku 40 zobrazujícím průběh teplot a tlaku vodní páry konstrukcí je patrné že v konstrukci nedochází v tomto hodnoceném období ke kondenzaci vodních par.



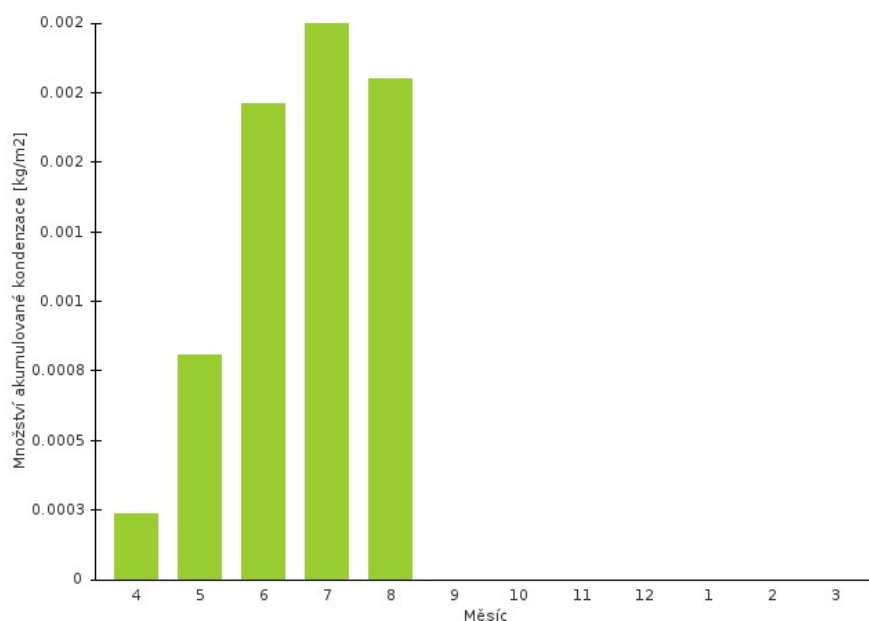
Obr. 40: Průběh tlaků vodní páry a teploty v konstrukci PDL(z)-5 za leden (DEKsoft, 2022)

Je však potřeba vždy hodnotit kritické období pro konstrukci, a to je v případě podlahy v obytné části měsíc červenec, vyobrazený na obrázku 41. V tomto měsíci dochází k nepříznivé kombinaci vysoké vlhkosti v interiéru a poměrně nízkých teplot udržujících se v zemině pod podlahou. Z grafu vyplývá, že v oblasti mezi polystyrenovou tepelnou izolací a hydroizolační vrstvou dochází k nasycení vodní páry nad mez jejího plného nasycení a v konstrukci tak dochází ke kondenzaci.



Obr. 41: Průběh tlaků vodní páry a teploty v konstrukci PDL(z)-5 za červenec (DEKsoft, 2022)

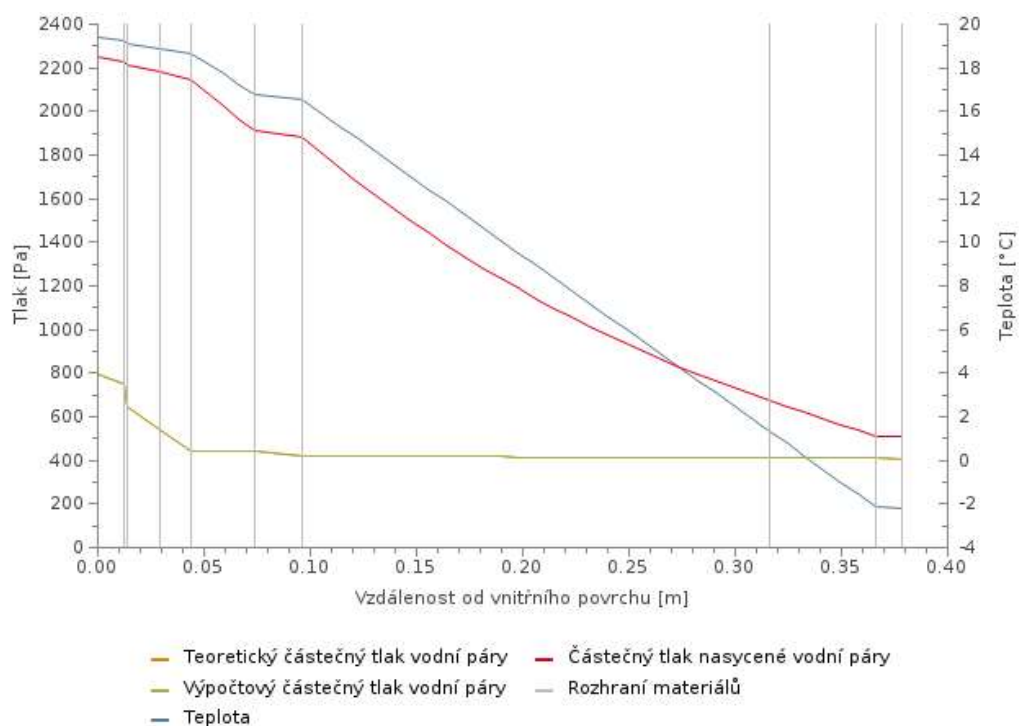
Díky hodnocení konstrukce v každém měsíci zvlášť lze získat množství zkondenzované vodní páry v kritickém místě, stejně jako množství odpařené vodní páry za hodnocené období. Porovnání hodnot zkondenzované vodní páry a odpařené vodní páry je zobrazeno na obrázku 42. Z grafu vyplývá, že v období od dubna do července v konstrukci převažuje množství zkondenzované páry, která se tak v místě hromadí. V červenci je množství zkondenzované páry v konstrukci maximální, díky měsíčním přírůstkům a dosahuje hodnoty 0,002 kg/m<sup>2</sup>. V měsíci srpnu již dochází ke změně poměru těchto dvou hodnot a převažuje odpařování vodních par z konstrukce, díky tomu začíná množství kondenzátu v konstrukci klesat. V měsíci září je již konstrukce suchá a ke kondenzaci nedochází až do měsíce března.



Obr. 42: Měsíční akumulace zkondenzované vlhkosti v kritickém místě konstrukce PDL(z)-5 za jeden rok (DEKsoft, 2022)

### Strop nad garáží

Konstrukce stropu nad prostorem garáže a technickou místností označená jako STR-2 je tvořena trámovým stropem s dodatečným zateplením na spodní, tedy chladnější straně, posouzení viz obrázky 43.



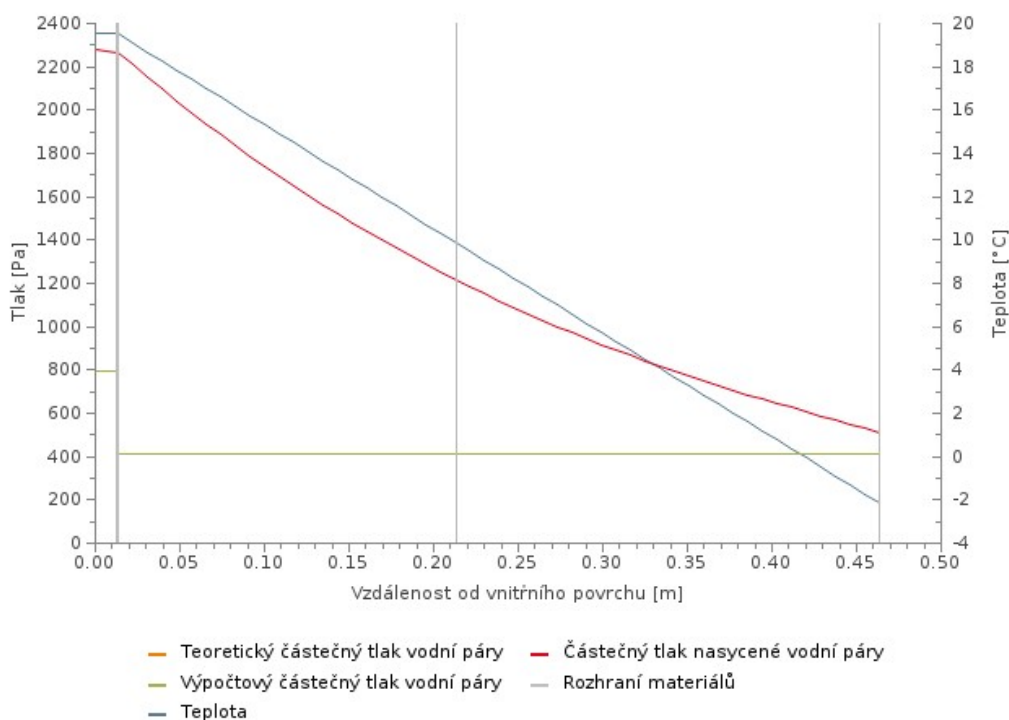
Obr. 43: Průběh tlaků vodní páry a teploty v konstrukci STR-2 za měsíc leden (DEKsoft, 2022)



Při výpočtu je v garáži uvažována minimální teplota  $-2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  a relativní vlhkost 81 %. Tato hodnota je značně nepříznivá, v prostorách garáže se nepředpokládá pokles teploty pod bod mrazu. Vnitřní teplota prostor nad stropní konstrukcí je uvažována jako v ostatních vnitřních prostorách. Tepelný tok konstrukcí se tedy předpokládá směrem dolů, jako u podlahy. Součinitel prostupu tepla konstrukcí  $U = 0,26\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , čímž splňuje doporučenou hodnotu pro pasivní domy  $0,25 - 0,38\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Na obrázku výše můžeme opět vidět průběh teploty v konstrukci, průběh skutečného, výpočtového tlaku vodní páry a průběh nasycené vodní páry. Jelikož křivka výpočtového tlaku vodní páry nepřekročí hodnotu nasycení nedochází v konstrukci ke kondenzaci vodních par.

### Strop nad přízemní částí

Strop nad přízemní částí objektu označený jako STR-3 je díky využití příhradových vazníků jako nosných prvků krovu velice jednoduchý. Sestává pouze ze systémového hliníkového roštu, zavěšeného na spodním pásu vazníků, z interiéru opláštěného parotěsnou vrstvou a sádrovláknitými deskami. Nad podhledem, na straně exteriéru je pak provedena tepelná izolace v tloušťce 450 mm, posouzení konstrukce je patrné na obrázku 44.

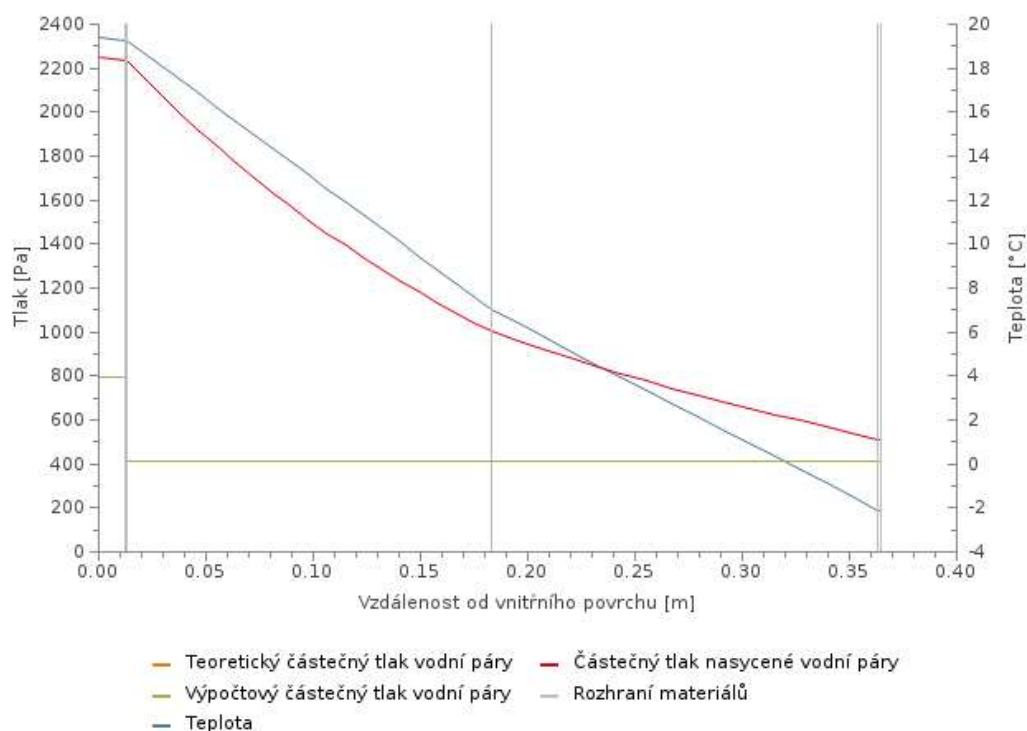


Obr. 44: Průběh tlaků vodní páry a teploty v konstrukci STR-3 za měsíc leden (DEKsoft, 2022)

Takto provedená konstrukce má součinitel prostupu  $U = 0,127 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , čímž splňuje doporučené hodnoty kladené na pasivní stavby, které činí v tomto případě  $0,1 - 0,15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Nejdůležitější součástí konstrukce je dokonale provedená parozábrana mezi hliníkovým roštem a sádrovláknitou deskou, díky této vrstvě nebude v konstrukci docházet ke kondenzaci vodních par. Interiérové podmínky jsou totožné jako v předchozích případech, pro obytné místnosti, vnější podmínky působící na skladbu jsou zvoleny více nepříznivé, ve výpočtu není počítáno se střešní krytinou umístěnou nad stropem, abychom byli při posuzování na straně bezpečnosti.

## Střecha

V posouzení střechy na obrázku 45 je hodnocena šikmá část střešního pláště v oblasti, kde nosnou konstrukci střechy tvoří klasický vaznicový krov pod označením STR-4.



Obr. 45: Průběh tlaků vodní páry a teploty v konstrukci STR-4 za měsíc leden (DEKsoft, 2022)

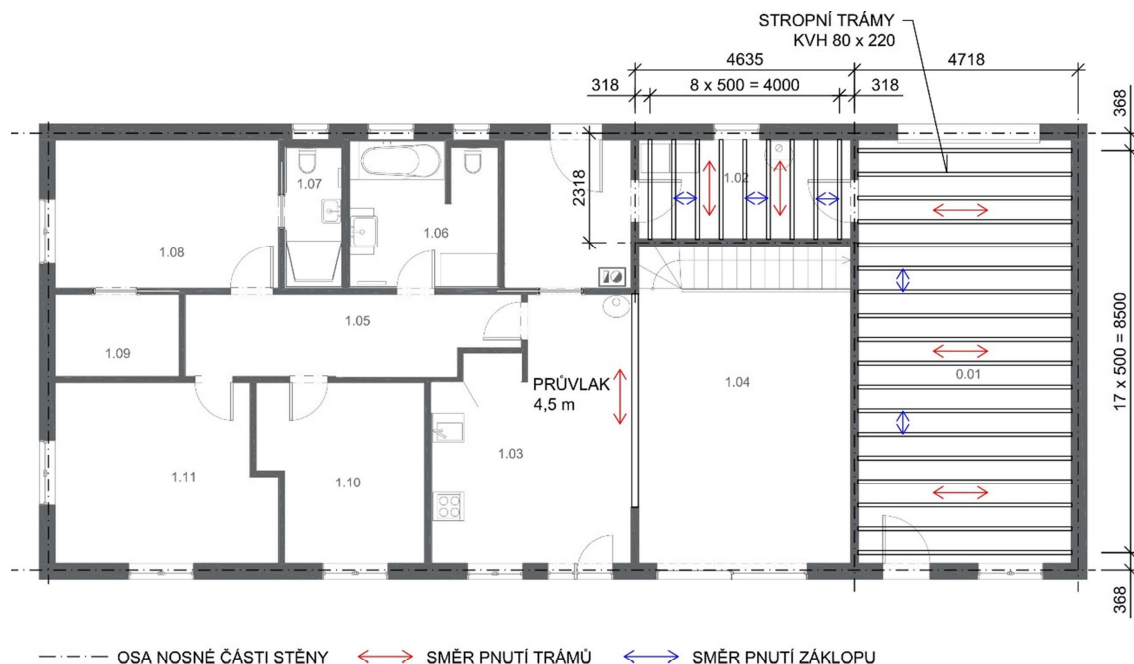
Nosná konstrukce je zde tvořena šikmými krokvemi o rozměrech  $100 \times 180 \text{ mm}$ . Výška krokví udává výšku mezikrokevní tepelné izolace. Tloušťka izolace  $180 \text{ mm}$  je však nedostačující, proto je doplněna vrstvou tepelné izolace tloušťky  $170 \text{ mm}$  na vnitřní straně, kde současně snižuje vliv tepelných mostů



způsobených krokviemi. Směrem do interiéru je provedena parotěsná vrstva, za účelem zamezení vnikání vodních par z interiéru do konstrukce. Na vnějším líci tepelné izolace je pak provedena paropropustná vrstva plnící funkci pojistné hydroizolace. Tímto je opět docíleno systému difuzně otevřené konstrukce, kde difuzní odpor vrstev je směrem do exteriéru klesající. Navržená skladba střešního pláště má součinitel prostupu tepla  $U = 0,135 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , čímž splňuje doporučené hodnoty kladené na pasivní stavby, které činí v tomto případě  $0,1 - 0,15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Z posouzení konstrukce za měsíc leden vyplývá, že v konstrukci nebude docházet ke kondenzaci vodních par. Vrstvy nacházející se nad parotěsnou fólií nejsou ve výpočtu hodnoceny, jelikož vzduchová dutina nad izolací je řešena jako provětrávaná.

## 5.4. Statika

Objekt je celkově řešen jako rámová stavba, kde návrh konstrukčních prvků pramení především ze zkušeností díky četné výstavbě rodinných domů metodou rámových dřevostaveb. Na obrázku 46 je vyobrazen půdorys přízemí s vyznačeným statickým schématem stropní konstrukce, která bude pochozí.

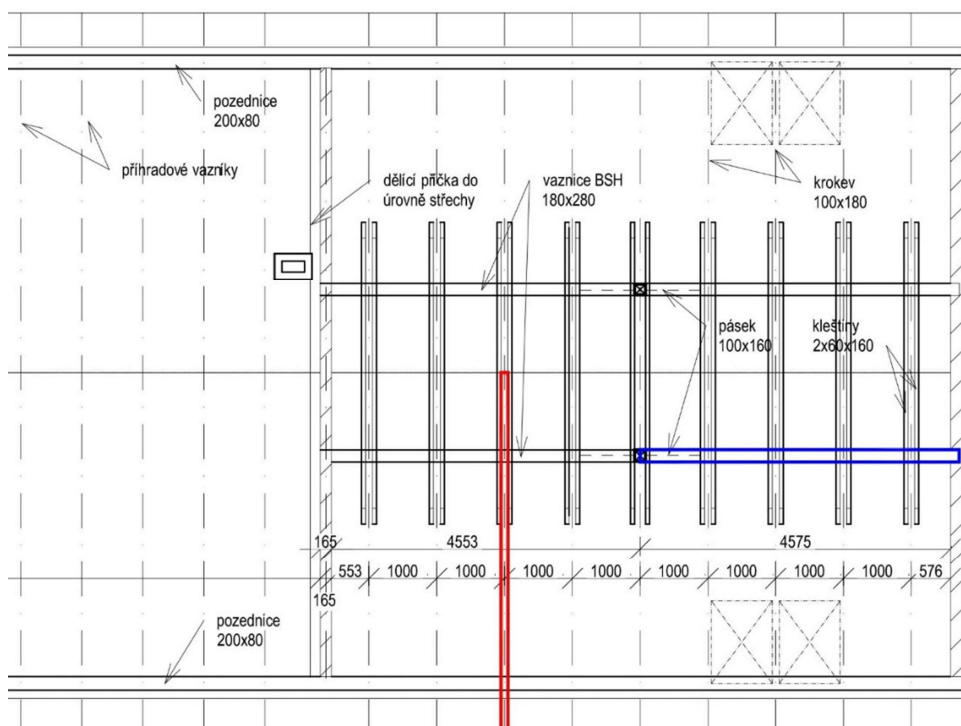


Obr. 46: Půdorys 1NP se statickým schématem stropu

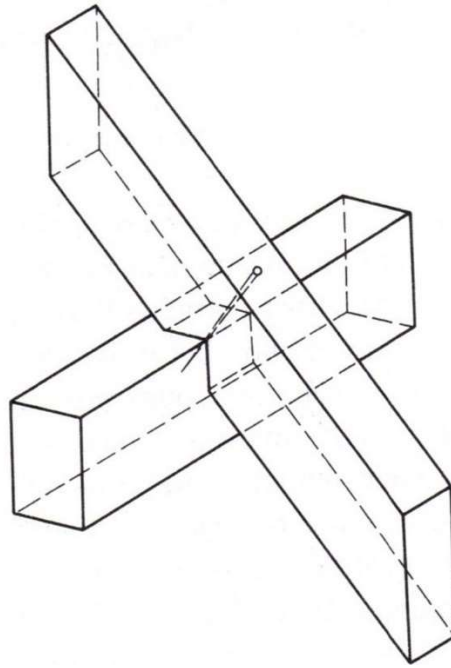
Skladba stropní konstrukce je detailně popsána v kapitole 5.1.3.2. Strop pod obytným podstřeším. Statické posouzení bude provedeno dle ČSN EN 1995 -1-1 (731701), Eurokód 5 (2006) pro prvky krovu, vaznici v místě s největším rozponem a krokve. Návrhem bude také stanoven průřez a materiál překladu, který překlene otvor šířky 3,85 m mezi obývacím pokojem a kuchyní s jídelnou.

### 5.4.1. Posouzení krokve

Pro statický návrh a následné posouzení byla vybrána krokev v typickém poli mezi rozpony o velikosti 1 m ve výkresu krovu obrázek 47 je označena červeně. Posouzení vyznačené krovky bude platné pro všechny obdobné prvky krovu, jelikož statické podmínky působení jsou srovnatelné. Krokev je usazena pod úhlem 35° na vaznici a pozednici pomocí tesařského spoje osedlání, zobrazeném na obrázku 48. V místech osedlání jsou ve statickém schématu uvažovány podpory. Osedlání je provedeno maximálně do hloubky 1/3 krovky, spoj je navíc zajištěn tesařským vrutem s talířovou hlavou (Kunecký a kol., 2015).



Obr. 47: Výkres krovu s vyznačnými staticky posuzovanými prvky



Obr. 48: Tesařský spoj osedlání (Smutný, 2022)

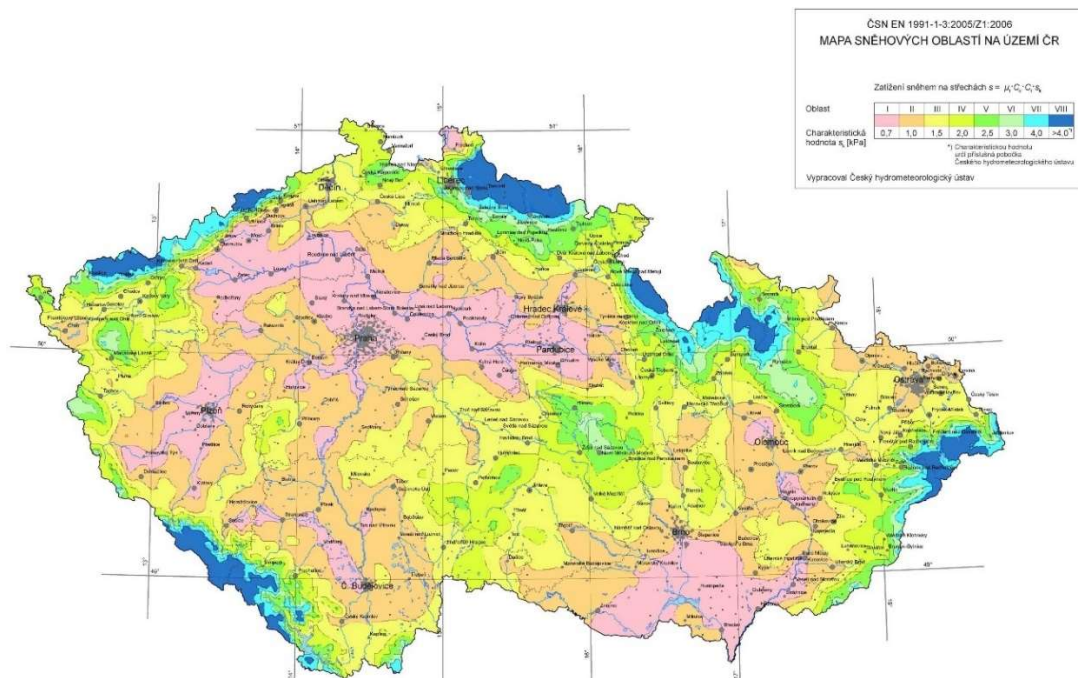
#### 5.4.1.1. Zatížení

Pro výpočet bylo nejdříve dle ČSN EN 1991-1-1, Eurokódu 1 (2006) stanoveno stálé zatížení konstrukce, tedy vlastní hmotností prvku a zatížení od skladby konstrukce na 1 m běžný krokve. Pro stanovení vlastní tíhy krokve byla na základě empirie navržena krokev o průřezu 100 x 180 mm, která bude dále posuzována. Jelikož rozpon mezi krovkami je 1 metr, vypočtené zatížení na jeden metr běžný odpovídá zatížení na jednu krokev při zatěžovací šířce 1 m.

Dále bylo stanoveno užité zatížení pro střechu rodinného domu, která bude přístupná pouze pro opravy a spadá tak do kategorie H, kdy spojitě zatížení činí 0-1 kN/m<sup>2</sup>. Pro konkrétní návrh střechy je zvolena střední hodnota spojitěho zatížení  $q_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$ .

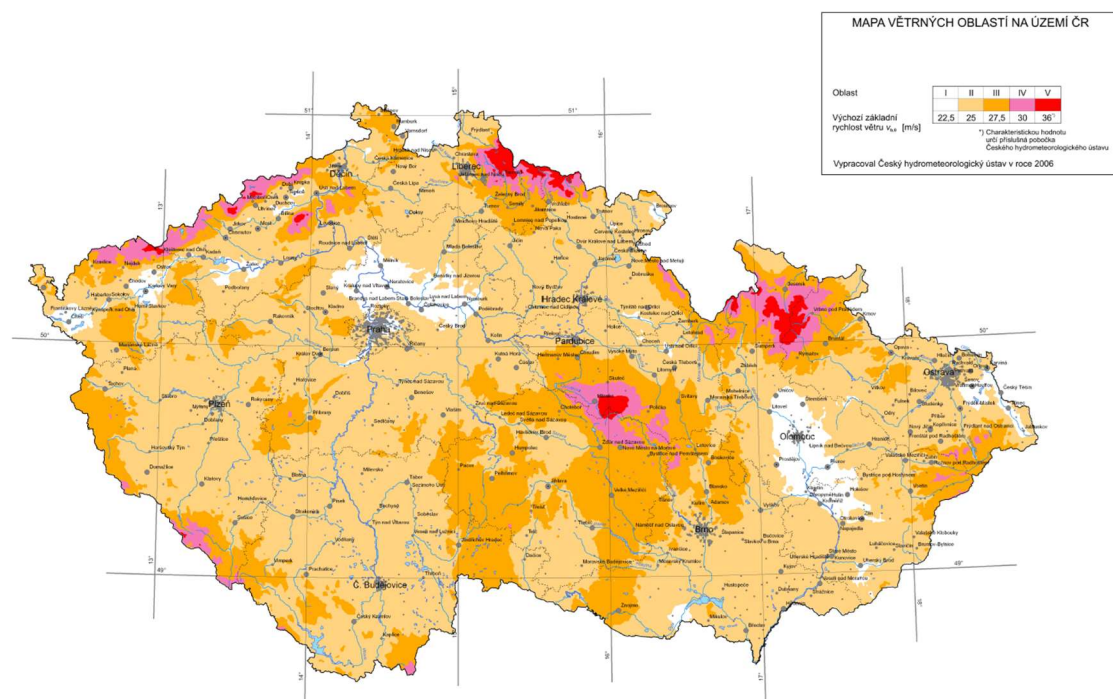
V návrhu je potřeba zohlednit také zatížení sněhem dle ČSN EN 1991-1-3 (2005). Velikost zatížení ovlivňuje tvar střechy, expozice objektu vzhledem k okolní zástavbě, prostup tepla konstrukcí střechy, který se obvykle volí roven jedné a charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi, která je stanovena mapou sněhových oblastí na obrázku 49. Sníh způsobuje dva způsoby zatížení, a to zatížení nenavátým sněhem, jde o zatížení statickým těžkým sněhem, kdy

tíhu sněhu ovlivňuje pouze tvar střechy. Druhý způsob zatížení je navátým sněhem, jedná se o zatížení, které se může působením větru přemisťovat.



Obr. č. 49: Mapa sněhových oblastí dle ČSN EN 1991-1-3, Eurokód 1 (Štička, 2022)

Další proměnnou veličinou zatěžující střešní plášť je vítr. Výpočet vlivu větru na navrhovaný prvek je stanoven v ČSN 1991-1-4 (2007), pro výpočet se uvažuje se střední rychlostí větru z mapy větrných oblastí na obrázku 50.



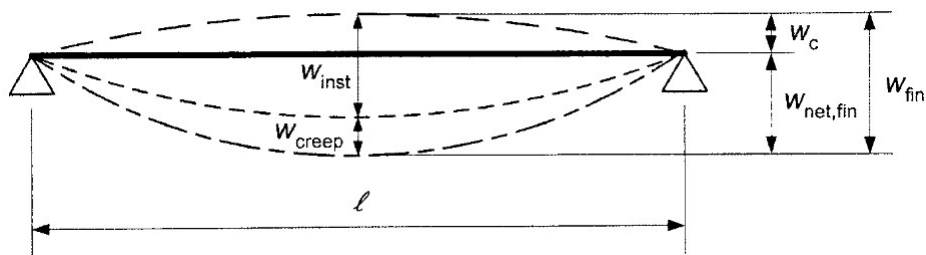
Obr. 50: Mapa větrných oblastí dle ČSN EN 1991-1-4, Eurokód 1 (Štička, 2022)

Zatížení větrem je velice komplexní obor, kde je potřeba brát v potaz mnoho neznámých, jako jsou dynamické účinky větru, sání větru na závětrné straně objektu, výška objektu či drsnost povrchu na nějž vítr působí. Současně dochází k velkému množství jednotlivých zatěžovacích stavů, jelikož rychlost, směr i povaha větru se mohou rychle měnit. Pro náš výpočet bude použit zjednodušený vztah, který uvažuje pouze tlak větru a je ovlivněn střední rychlostí větru, součinitelem expozice objektu, který zahrnuje i vliv výšky objektu nad přilehlým terénem a součinitelem aerodynamického tlaku.

#### 5.4.1.2. Posouzení MSÚ a MSP

Mezní stav únosnosti je stav, kdy je vnější zatížení neboli napětí  $\sigma$  rovno vlastní pevnosti materiálu  $f$ . Jakmile by byla tato mez překročena, dochází teoreticky k porušení a kolapsu konstrukce (Kuklík, 2007). V praxi k porušení prvku dochází až při značném překročení navrhovaného zatížení díky mnoha součinitelům, které posouvají návrh směrem k bezpečnosti pomocí součinitelů  $\gamma$ . Součinitele redukuje teoretickou pevnost materiálu způsobenou vadami, pro rostlé dřevo je tato hodnota 1,3, pro lepené lamelové dřevo 1,25. Současně se koeficienty využívají na vytvoření rezervy při výpočtu zatížení, dle ČSN EN 1991-1-1, Eurokódu 1 (2006) stálé zatížení je násobeno koeficientem 1,3 a užitné neboli nahodilé koeficientem 1,5.

Mezní stav použitelnosti představuje deformace konstrukce vlivem zatížení, může se jednat o vznik trhlin, či vibrace, při posuzování dřevěných konstrukcí se však jedná téměř výhradně o maximální průhyb. Posouzení probíhá porovnáním vypočteného průhybu konstrukce vlivem zatížení, které musí být menší než maximální dovolená hodnota, která je stanovena jako poměr rozponu prvku ku stanovené konstantě. Ve výpočtu průhybu se uvažuje konečný průhyb, na obrázku 51 označení  $w_{fin}$ , složený z jednotlivých složek průhybu. Nadvýšení  $w_c$ , které připadá v úvahu například pro předpjaté stropní panely. Dále průhyb od dotvarování  $w_{creep}$ , které zahrnuje dotvarování nosníku v určitém časovém úseku, výpočet se provádí pomocí součinitele dotvarování  $\phi$ . V našem případě se jedná o kombinaci okamžitého průhybu  $w_{inst}$  vynásobeného součinitelem dotvarování  $k_{def}$ , zvětšeným o jednu (Kuklík, 2007).

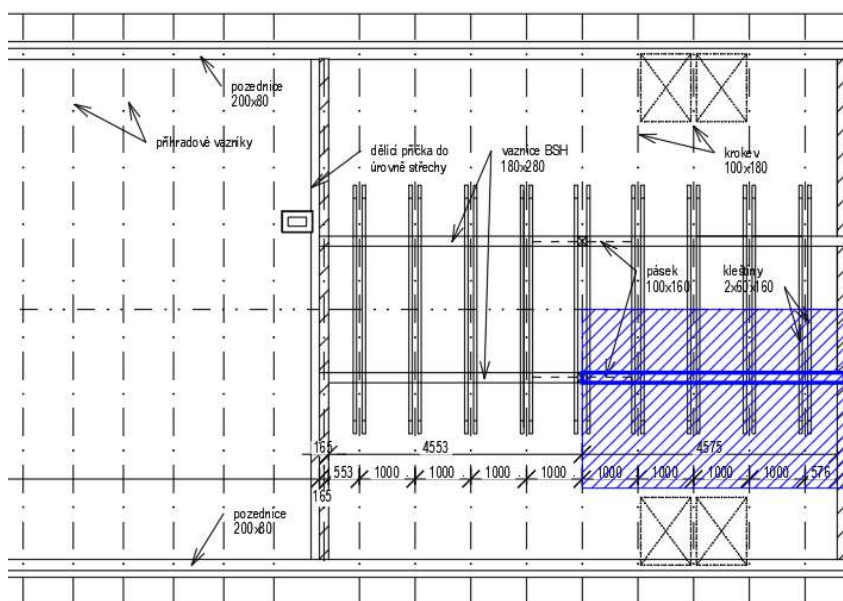


Obr. 51: Schéma složek konečného průhybu na prostém nosníku (Kuklík, 2007)

Z výpočtů viz příloha č. 2 – Statické posouzení vybraných prvků vyplývá, že navržená krokev z rostlého smrkového dřeva C24 o průřezu šířka x výška 100 x 180 mm vyhovuje zatížení, které na ní bude působit a splňuje tak podmínky únosnosti a použitelnosti.

#### 5.4.2. Posouzení vaznice

Dalším posuzovaným prvkem krovu je vaznice, v krovu se nacházejí dvě středové vaznice přes dvě pole, které budou zatíženy totožně. Postup výpočtu je obdobný jako u posouzení krokve. Zatížení stanovené pro krokve je použito pro výpočet zatížení vaznice, ke kterému je připočtena vlastní tíha vaznice. V zatížení od krokve je již zahrnuta hodnota užitého a klimatického zatížení. Velikost zatížení je přepočítána na plochu, která se přenáší přes krokve na posuzovanou vaznici viz obrázek 52.



Obr. 52: Krov s vyznačenou posuzovanou vaznicí.



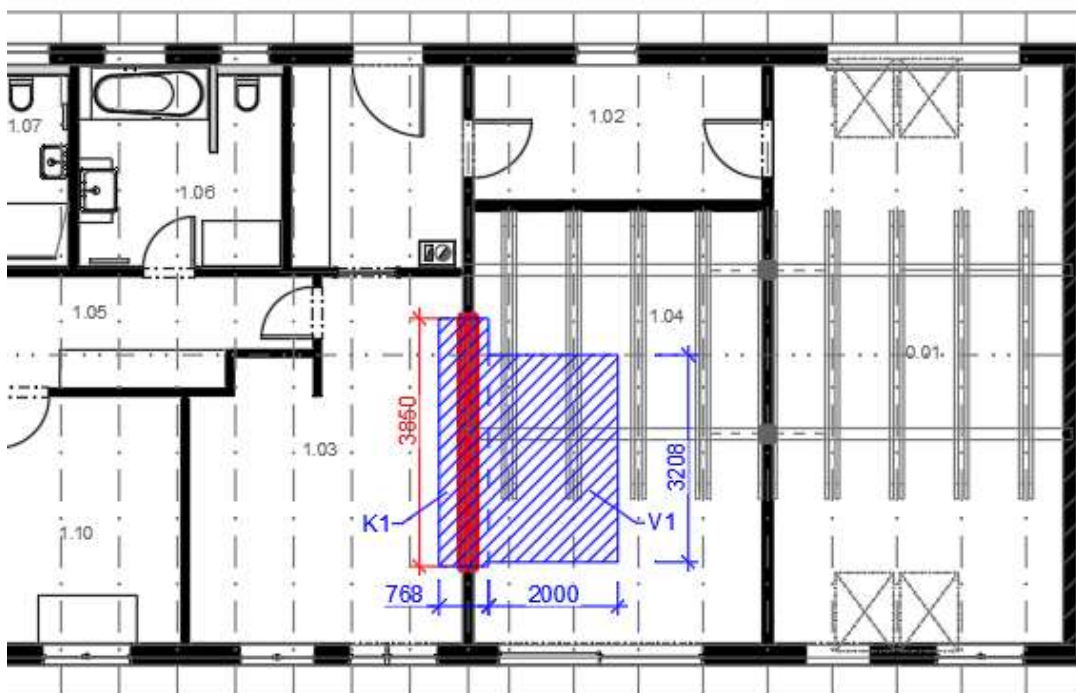
Na základě empirických zkušeností je posuzovaná vaznice navržena v průřezu 180 x 280 mm z rostlého smrkového dřeva. Výpočty v příloze č. 2 prokazují, že navržený průřez vyhoví jak z hlediska pevnosti, viz posouzení na mezní stav únosnosti, tak z hlediska deformace, posouzení mezního stavu použitelnosti.

### 5.4.3. Posouzení vnitřního překladu

Mezi obývacím pokojem označeným č. 1.04 a kuchyní s jídelnou 1.03 se nachází ve vnitřní nosné stěně, ve výšce 2,1 metru otvor o šířce 3,85 metru. Otvor se nachází pod místem, kde je v podkroví uložena vaznice, výpočet tedy předpokládá velké zatížení od střechy, které se projeví jako spojitě zatížení. Zatížení bude rovnoměrně rozneseno na překlad díky vodorovnému prvku, který se nachází v úrovni stropní konstrukce a plní funkci věnce.

Prvním krokem návrhu a posouzení je stanovit velikost a povahu zatížení, které na posuzovaný překlad bude působit. V případě překladu se jedná o zatížení od střechy, které sestává ze zatížení stálého, vlastní tíha a užitého, které se skládá ze zatížení nahodilého při údržbě a opravách a klimatického zatížení větrem a sněhem. Zatížení je rozděleno dle prvku, jež jej přenáší na zatížení od krokve označené K1 a od vaznice V1. Veškeré zatížení od střechy je počítáno na plochu zobrazenou v obrázku 53, kde je na výkres půdorysu promítnut výkres krovu. Současně na překlad působí zatížení konstrukce stěny nad překladem, jenž je ve statickém výpočtu označeno jako KCE. Na obrázku je červeně vyobrazen posuzovaný překlad, ve výkresu krovu je modrou šrafovou znázorněna půdorysná plocha zatížení od střechy, které je přenášeno překladem. Čistý rozměr otvoru je 3,85 metru, pro statický výpočet však bude jako podpora uvažován střed plochy, na které je trám uložen. Jelikož uložení trámu bude 150 mm na každé straně, bude uvažované rozpětí trámu 4 metry.

Pro výpočet zatížení vlastní tíhy překladu je třeba odhadnout dimenzi a provedení překladu. Pro předběžné dimenzování byla použita data z webu APA - The Engineered Wood Association (2022). Na základě stanoveného zatížení a rozponu překladu byl navržen průřez  $b \times h = 0,14 \times 0,36$  m z lepeného lamelového dřeva z pevnostní třídy GL32c.

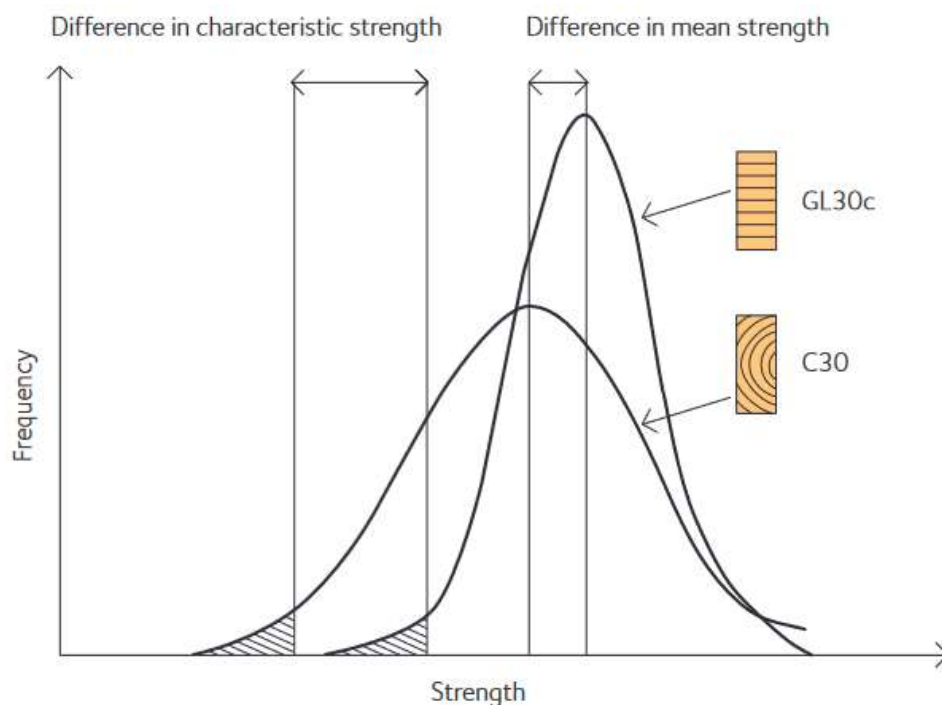


Obr. 53: Půdorys 1NP s vloženým krovem a zobrazenou plochou přenosu zatížení na překlad

Překlad přenáší návrhové zatížení  $f_d$  27,2 kN/m', z toho je 81 % zatížení, tedy 22 kN/m' přenášeno přes vaznici V1. Díky takto vysokému spojitému zatížení byl jako konstrukční materiál překladu zvolen lepený lamelový nosník v pevnostní třídě GL32c, jehož charakteristická únosnost v ohybu je 32 MPa. Díky vysoké kvalitě lepeného dřeva je příznivější i součinitel materiálu a únosnosti  $\gamma_M$ , který je pro lepené lamelové dřevo snížený o 0,05 oproti rostlému řezivu a jeho hodnota je 1,25 (Borgström, 2016 - b).

Na obrázku 54 je patrný rozdíl při zatěžování vzorků rostlého dřeva a vzorku z lepeného lamelového dřeva. Vyšrafovaná oblast představuje 5 % kvantil zkoušených vzorků, které mají pevnost nižší, než jaká je stanovená třída pevnosti. Z grafu je patrná vyšší spolehlivost a kvalita řeziva, způsobená lepením různě orientovaných dílů dřeva k sobě, čímž dochází ke zvýšení homogenity materiálu a zejména k odstraňování vad v řezivu a jejich následnému vyplnění. Tuto vlastnost lepeného dřeva pokrývá ve výpočtech snížený koeficient spolehlivosti materiálu  $\gamma_M$ , jehož hodnoty jsou uvedeny výše.





Obr. 54: Zkouška pevnosti vzorků z rostlého a lepeného řeziva (Borgström, 2016 - a)

Následující posouzení dle mezních stavů únosnosti a použitelnosti bylo provedeno obdobně jako u posuzování prvků krovu. Z posouzení mezního stavu únosnosti vyplývá, že navržený překlád vyhoví a je schopen přenést zatížení. V posouzení použitelnosti je díky nižšímu modulu pružnosti, jímž je lepené dřevo charakteristické, dosaženo nejpřísnějších limitů na deformaci, tedy průhybu menšímu, než je hodnota  $1/500$  rozpětí. Nosník tak spolehlivě vyhovuje limitu nejmírnějšímu, tedy  $1/300$ . Současně nosník vyhovuje limitu pro konečný průhyb, který je roven  $1/150$  rozpětí. Jelikož se jedná o nosník v interiéru, na němž je uložen prvek střechy, je dodržení minimálního průhybu prvku nezbytné jak z hlediska estetického, pro přiznaný trám v interiéru, tak z hlediska funkčního, kdy nebude docházet ke zvýšenému sedání prvků krovu.

## 5.5. Technické zařízení budovy

Návrh kvalitního hospodárného objektu stojí na několika pilířích, které musí být v rovnováze, jen tak lze docílit výsledného funkčního celku. Prvním pilířem pro návrh a realizaci úsporné budovy je kvalitní architektonický návrh, druhým je

kvalitně a chytře zvolené technické zařízení budovy a posledním pilířem je ekonomické hledisko.

Architektonický návrh, který byl rozebrán v předchozích kapitolách musí být zvolen tak, aby podporoval hospodárnost budovy, například kompaktností obálky, orientací ke světovým stranám, mírou prosklení fasády, přesahy střechy. Velký vliv má také stavební částí budovy, tepelně technické vlastnosti navržených skladeb, jako součinitel prostupu tepla, tepelná akumulace a současně výběr ekologických materiálů z obnovitelných zdrojů a opět jejich ekonomická dostupnost na trhu. V této oblasti není tak těžké se orientovat, existuje mnoho studií a srovnání jednotlivých materiálů a vlivu jejich životního cyklu na naše prostředí.

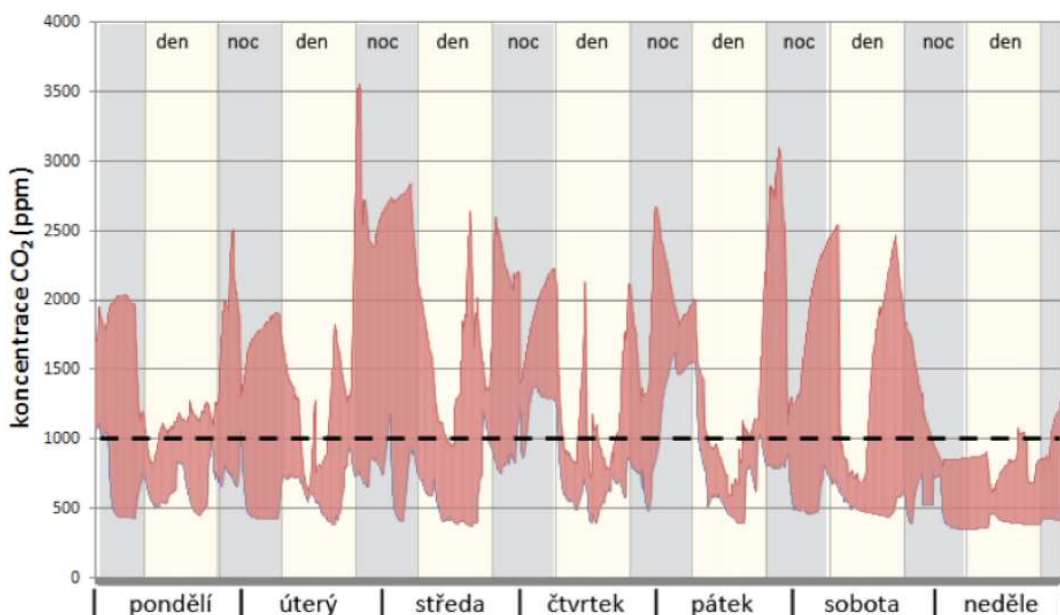
Komplikovanější otázkou je technické vybavení budovy. Nelze obecně říci, který systém je nejvhodnější, je potřeba vždy návrh přizpůsobit konkrétnímu objektu s jeho specifickými tepelnými ztrátami. Hospodaření s energiemi v objektu se dá rozdělit do několika skupin, a to spotřeba na vytápění, ohřev teplé užitkové vody (dále TUV), větrání a osvětlení. Pro hospodárny návrh budovy je nezbytné tyto skupiny energetických činitelů řešit komplexně a provázaně. Samostatným oddílem, jež nesouvisí s energetickou náročností budovy, avšak je neméně důležitý je pak hospodaření s vodou.

Posledním pilířem je ekonomická část návrhu. U architektonického návrhu se jedná o tzv. pasivní řešení, to znamená že mají energetický přínos pro budovy bez jejich přičinění. Například dobře navržený přesah střechy bude zajišťovat v létě ochranu před přehříváním budovy a v zimě nebude bránit oslunění. Navíc je takovéto řešení cenově srovnatelné s řešením bez přesahu. Složitější začíná být situace u návrhu hospodárného a ekonomického řešení systému technického zařízení budovy. Zde se dá říci, že vstupní náklady na pořízení energeticky hospodárného systému jsou vždy násobně vyšší než pořizovací náklady standardního vybavení budovy. Tento nepoměr vyrovnává jednak fakt, že v horizontu několika let by se měla vstupní investice vrátit na ušetřené energii a zadruhé pomocí státních dotací, které tak mohou udávat trendy ve výstavbě.

### 5.5.1. Větrání

Kvalitním návrhem obálky budovy jsme snížily tepelné úniky prostupem na minimum, stále je však nutné pokrýt také tepelné ztráty budovy větráním, které mohou představovat až polovinu celkové spotřeby na vytápění (TZB.info, 2022). Při volbě vhodného systému větrání je však důležité nejen ekonomické hledisko, ale velice důležité je i výsledné vnitřní mikroklima. Větrání lze řešit několika způsoby, přirozeně, otevřením oken, nebo nuceně, pomocí systému řízeného větrání s, nebo bez zpětného získávání tepla pomocí rekuperátoru.

Přirozené větrání dnes již téměř ztrácí smysl, přestože legislativně je stále možné větrat objekt pouze okny. Díky kvalitnímu provedení obálky budovy, zejména výplní otvorů se objekt stává téměř neprůvzdušným, jediný přívod čerstvého vzduchu je tedy zajištěn pomocí otevřeného okna v určitých časových intervalech. Problém však nastává v době spánku, kdy člověk v klidu vyprodukuje až 13 litrů oxidu uhličitého za hodinu a po dobu spánku se nepředpokládá, že by větral okny (Hejhálek a Hejhálek ml., 2021). Tento fakt dokazuje záznam měření koncentrace oxidu uhličitého CO<sub>2</sub> v ložnici, v bytě staršího panelového domu s novými plastovými okny na obrázku 55.



Obr. 55: Záznam z měření koncentrace CO<sub>2</sub> v panelovém bytě (Beranovský, 2017)

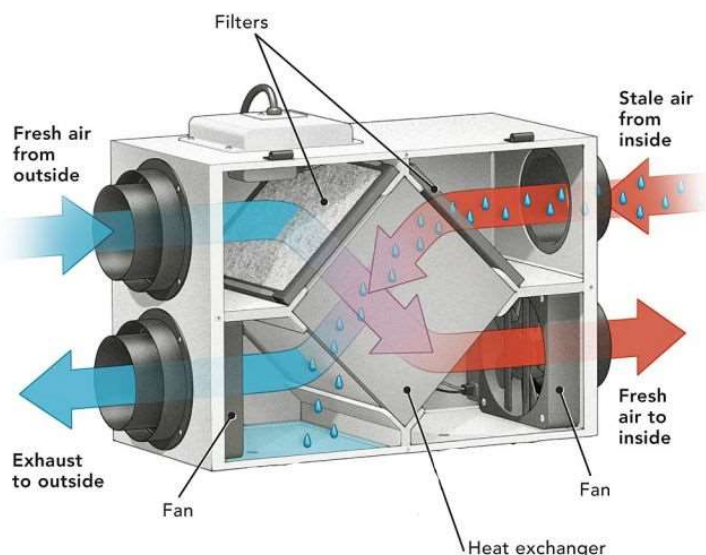
Záznam je rozdělen na měření ve dne a v noci, kde je jasně vidět, že v noci dosahuje hodnota koncentrace CO<sub>2</sub> maximálních hodnot až 3500 ppm (parts-

per-million, počet jednotek na milion), optimální hodnotu 1000 ppm dokonce překračuje v 60-70 % doby nočního měření. Koncentrace CO<sub>2</sub> v obytných místnostech není však jediným problémem, člověk svojí činností produkuje také vodní páry, které zvyšují vlhkost v místnosti, jakmile relativní vlhkost vzduchu vzroste nad 60 % začínají se v prostředí množit viry, bakterie a zejména plísně, které mohou být zdraví škodlivé. Jedná se o takzvaný syndrom nemocných budov, kdy dlouhodobý pobyt v takovémto vnitřním prostředí může být pro člověka zdraví škodlivý (Multi-VAC, 2020).

Potíž s nedostatečným větráním způsobeným těsností obálky budovy se dá snadno vyřešit systémem nuceného větrání. Takové větrání však může být energeticky nákladné, zejména v zimních měsících, kdy ohřátý vzduch z interiéru vypouštíme do vnějšího prostředí a namísto něj přivádíme do objektu čerstvý, avšak chladný vzduch z exteriéru. Tuto problematiku pak řeší umístění rekuperátoru na odvodní a přívodní potrubí větracího vzduchu, jež zajišťuje takzvané zpětné získávání tepla. Rekuperaci lze řešit lokálně, pro každý pokoj zvlášť, nebo centrálně, kdy je přívod i odvod větracího vzduchu z celého objektu sveden do centrální rekuperační jednotky sloužící pro celý objekt. Systém lokální rekuperace je vhodný spíše pro byty, nebo rekonstrukce, kde není možné umístit rozvody vzduchu, pro novostavbu rodinného domu je vhodná centrální jednotka umísťovaná do prostor nad podhled tak, aby byla přístupná pro případný servis a výměnu filtrů. Na obrázku 56 je znázorněn schématický řez rekuperační jednotkou, kde ve výměníku dochází k předání tepelné energie z teplého odpadního vzduchu z interiéru na přiváděný čerstvý, avšak chladný vzduch z exteriéru. Takto předeštěný čerstvý vzduch se může dále upravovat dohřátím na požadovanou teplotu v interiéru, pak hovoříme o teplovzdušném vytápění, případně lze zvlhčovat, či jinak upravovat a následně je přiváděn potrubím, přes výústky do interiéru. Účinnost rekuperační jednotky, tedy schopnost předat tepelnou energii z teplého odpadního vzduchu na čerstvý přiváděný vzduch činí dle konkrétního výrobku 50-90 %.

Díky zdravotním výhodám nuceného větrání a rizikům plynoucím z větrání přirozeně okny bude pro objekt instalováno zařízení pro nucené větrání s rekuperační jednotkou umístěnou nad podhledem pro zpětné získávání tepla, které zároveň zajistí značné snížení potřeby energie na vytápění viz obrázek 57. Rekuperační jednotka bude navržena tak, aby spolehlivě zajistila přísun

větracího a odvod odpadního vzduchu ve všech místnostech rodinného domu. Dále bude disponovat teplovodním výměníkem pro dohřev přiváděného vzduchu do obytných místností.



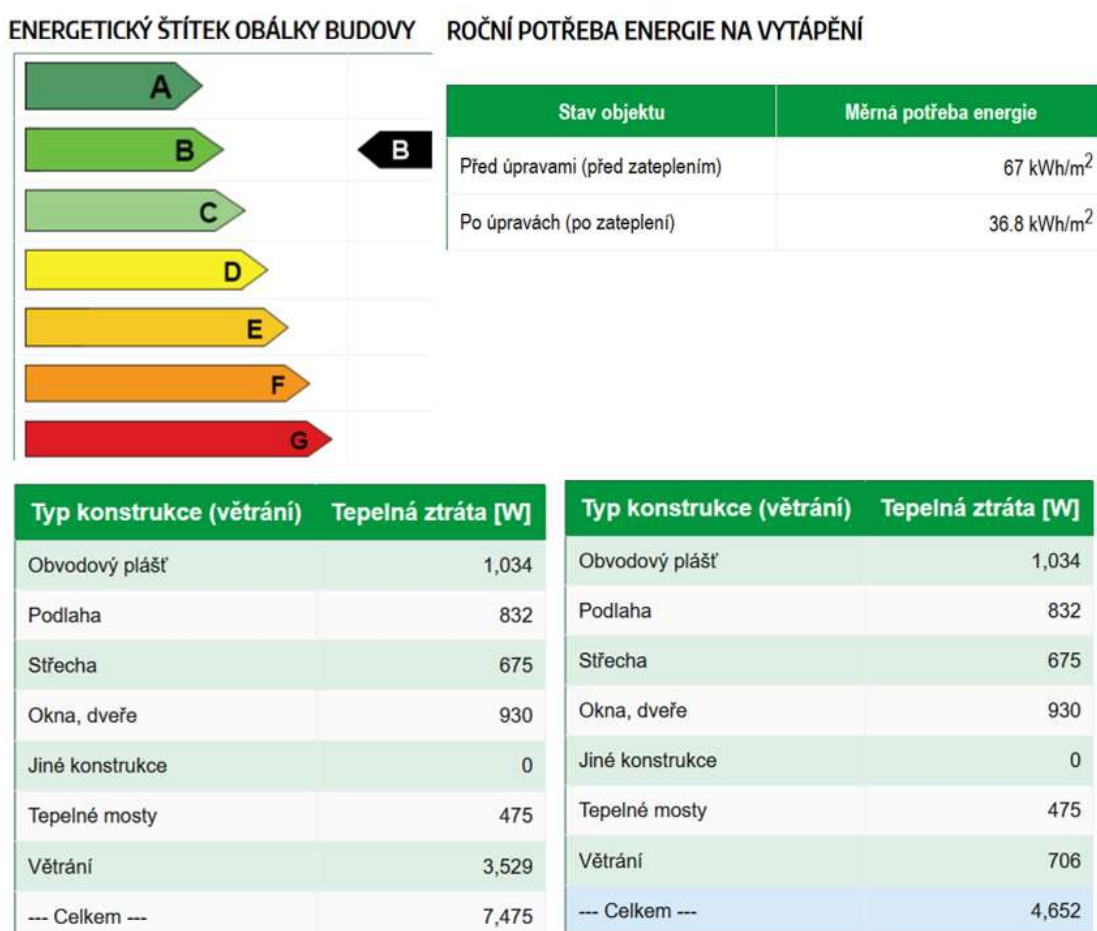
Obr. 56: Schéma rekuperátoru (Airwoods Ltd, 2022)

Systém je navržen jako dvouokruhový. Primární okruh je rovnotlaký cirkulační systém, který slouží zároveň k větrání a teplovzdušnému vytápění. Okruh disponuje vyústěním přívodního vzduchu mřížkami v podlaze pod okny v dětských pokojích, ložnici, obývacím pokoji a kuchyni. Do těchto místností je přiváděn teplý čerstvý vzduch, který zajišťuje tepelnou pohodu v místnosti a zároveň dostatečný přívod větracího vzduchu. V chodbě a obývacím pokoji je pak ve stropě umístěna odtahová mřížka, která nasává odpadní vzduch, který proudí pode dveřmi pokojů, čímž dochází k vzduchovému proplachu místnosti. Odtud je vzduch veden do rekuperátoru, kde je z něj teplo předáno čerstvému vzduchu a následně je vzduch vyfukován do exteriéru.

Sekundární okruh pak sestává pouze z odtahů z kuchyně a dvou koupelen s WC. Tento vzduch se z hygienických důvodů nikdy nemísí s odpadním vzduchem z pokojů. Vzduch je odsáván větracími mřížkami v podhledu a putuje do rekuperátoru, kde předává své teplo čerstvému vzduchu a je dále vyfukován do exteriéru. Tento objem vzduchu musí být navíc přiváděn do místností pokojů a ložnice, aby nedocházelo ke vzniku podtlaku. V kuchyni je současně umístěna digestoř, která je řešena jako cirkulační s uhlíkovým filtrem pro zachycení pachů.

Cirkulační digestoř je volena proto, aby při spuštění nenarušila systém rozložení tlaku v objektu.

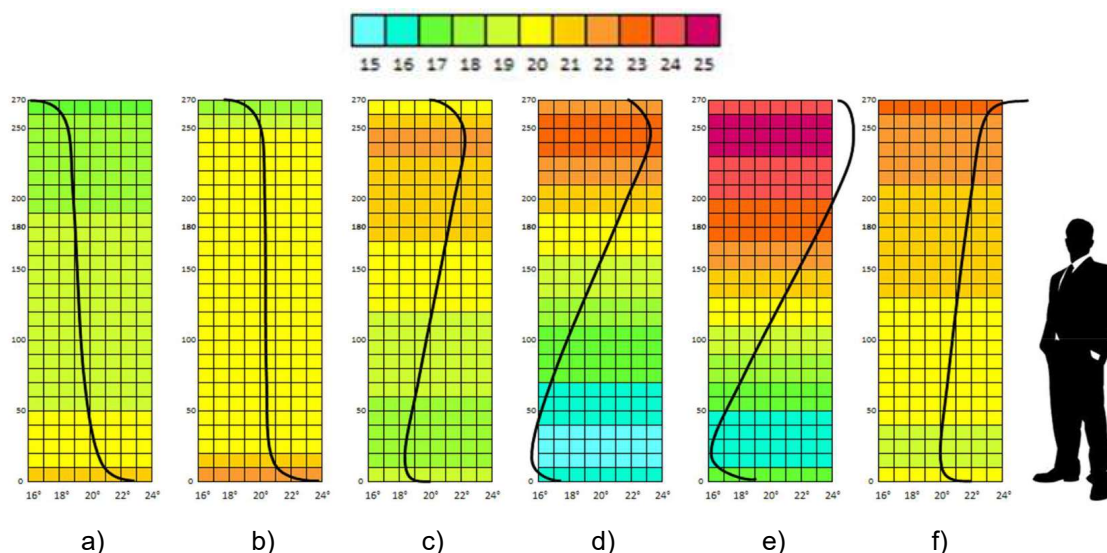
Pro zjednodušené srovnání úspor při instalování rekuperační jednotky byl využit kalkulační nástroj pro výpočet tepelných ztrát objektu. Z vypočtených tepelných ztrát před a po instalaci rekuperátoru se zpětným získáváním tepla viz obrázek 57 je patrné snížení potřeby energie z původních 67 kWh/m<sup>2</sup> na 36,8 kWh/m<sup>2</sup>, což činí úsporu 45 %. Současně se tak objekt zařadí do kategorie B – základ v dotačním programu Nová zelená úsporám, který nabízí na domy s nízkou energetickou náročností dotaci až 200 000 Kč (SFZB, 2021)



Obr. 57: Zjednodušený výpočet tepelných ztrát objektem (Reinberk a kol, 2022)  
 Tepelné ztráty: vlevo před úpravami (bez rekuperace), vpravo po úpravách (s rekuperací)

## 5.5.2. Vytápění a ohřev TUV

Jelikož je v objektu nainstalováno nucené větrání ze zdravotního hlediska viz kapitola 5.5.1. Větrání, je pro náš objekt nejvhodnější volba vytápění pomocí již instalované rekuperační jednotky pouze za pomoci přidaného teplovodního výměníku, který vzduch přiváděný do místností dohřeje na potřebnou teplotu. Druhým specifickým pro vytápění pomocí teplého větracího vzduchu je vedení přívodních kanálů v podlaze a jejich vyústění pod okny. Jelikož se jedná o novostavbu není problém s návrhem kanálů v podlaze, v objektu budou instalována obdélníková potrubí o výšce 50 mm. Teplovzdušné vytápění však není nejvhodnější volbou pro obývací pokoj, kde světlá výška místnosti dosahuje až 4,8 m viz obrázek 58.



Obr. 58: Gradient teploty v místnosti o výšce 2,7 m (TZB.info, 2022)

a - ideální průběh teplot, b - podlahové vytápění, c - vytápění radiátory umístěnými na obvodové stěně, d - vytápění radiátory umístěnými na vnitřní stěně, e - teplovzdušné vytápění podlahovými konvektory, f - stropní vytápění

Z obrázku výše je patrné nevhodné rozložení teplot po výšce místnosti u vytápění konvektory umístěnými u země. Nejvyšší teplota v místnosti se nachází těsně pod stropem, což by mělo za následek neefektivní přetápění prostor za účelem dosažení tepelné pohody v přízemí a nebylo by tak možné dosáhnout příjemné teploty v multifunkční místnosti nacházející se v patře, kde by byla teplota naopak příliš vysoká. Z grafů průběhu teplot dále vyplývá, že podlahové vytápění, ať už elektrické, nebo teplovodní je naopak pro tento prostor



nejpříznivější, zaprvé průběhem teplot, který se nejvíce přibližuje ideálu a zadruhé, jelikož jako jediný systém dosahuje nejvyšších teplot u podlahy, kde předává své teplo ze 45 % sáláním a z 55 % konvekcí (Petráš a kol., 2004).

Vytápění v objektu tedy bude řešeno dvěma systémy viz obrázek 59, a to teplovzdušně, konvektory umístěnými u podlahy. Teplý vzduch bude dodáván pomocí rekuperační jednotky s dohřevem vzduchu pomocí teplovodního výměníku, který bude napojen z hlavního zdroje tepla v objektu. V obývacím pokoji a koupelnách bude navíc instalováno podlahové teplovodní vytápění, tento prostor činí plochu 44,5 m<sup>2</sup>. V koupelnách budou současně umístěny dva kombinované topné žebříky, které budou v době otopné sezóny ohřívány teplovodně, v době, kdy bude teplovodní zdroj neaktivní poběží na elektřinu.



Obr. č. 59: Půdorys 1NP rozdělený dle systému vytápění

### Zdroj tepla pro vytápění

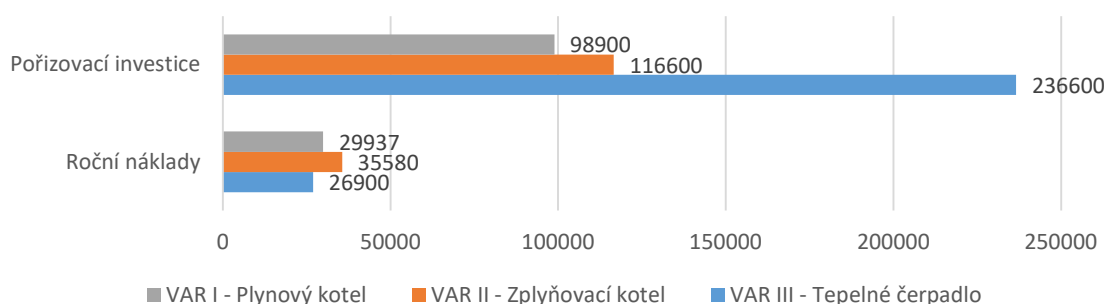
Pro výběr nejvhodnějšího zdroje tepla je nejprve potřeba nastavit hodnotící podmínky. Jelikož celý objekt je řešen tak, aby byl ekologicky šetrný, bude i při volbě zdroje tepla preferována energie pocházející z obnovitelných zdrojů. Provoz zařízení by měl produkovat co nejméně CO<sub>2</sub>, současně by zdroj měl být ekonomický, konkrétně by náklady na jeho pořízení měli být vynahrazeny úsporným provozem a návratností investice v rámci životnosti výrobku.

Pro takto komplexní hodnocení byly využity poznatky ze studie P. Horáka (2019), která se zabývá výběrem vhodného zdroje tepla pro rodinný dům dle energetické náročnosti objektu. Pro posuzovaný dům s tepelnou ztrátou 6,5 kW



jsou posouzeny tři varianty zdroje tepla. První varianta využívá jako zdroj plynový kondenzační kotel, druhá varianta předpokládá zplyňovací kotel na biomasu a třetí varianta pak počítá s tepelným čerpadlem vzduch / voda v kombinaci s elektrickým bojlerem. Výsledky porovnání těchto tří řešení jsou patrné z obrázků níže.

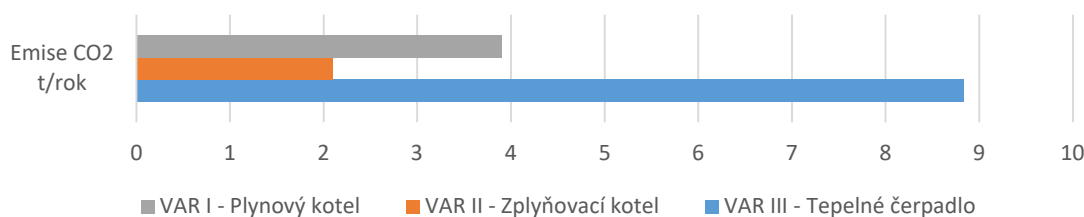
Z obrázku 60 je patrné že za podmínek z roku 2019 je z ekonomického hlediska nejvýhodnější plynový kotel, v roce 2019 kdy byla studie prováděna byla cena za kWh plynu 1,3 Kč, dnes se ovšem cena za kWh pohybuje kolem 2 Kč, což znamená, že roční náklady na vytápění plynem stoupnou z 29.900 Kč na 45.200 Kč za rok. Neekonomičtější variantou je tedy řešení zdroje tepla pomocí zplyňovacího kotle. Tepelné čerpadlo pak vychází jako nejlevnější na provoz, avšak jeho pořizovací náklady jsou nejvyšší. Po aktualizaci ceny za plyn vychází návratnost investice na pořízení tepelného čerpadla v porovnání s plynovým kotlem na 7,5 roku, v porovnání se zplyňovacím kotlem na biomasu je pak návratnost 14 let, záruka na čerpadla však bývá kolem 5 let na zařízení a 10 let na kompresor.



Obr. 60: Náklady na pořízení a provoz sst dle zdroje vytápění (Horák, 2019)

Jak již bylo zmíněno v úvodu kapitoly, při výběru zdroje tepla bude kladen důraz zejména na ekologičnost. Na obrázku 61 je porovnáno množství emisí CO<sub>2</sub> zdrojem tepla při běžném provozu, zplyňovací kotel na biomasu dopadl sice v hodnocení emisí CO<sub>2</sub> výrazně nepříznivěji. Avšak co se týká ostatních škodlivých emisí v porovnání s ostatními uvedenými zdroji nedopadl tak optimisticky.

V hodnocení produkce tuhých znečišťujících látek a prachových částic dopadl kotel na biomasu o několik řádů hůře, hodnota emisí se pohybuje kolem 12 kg/rok, přičemž u plynových kotlů a tepelných čerpadel se hodnoty pohybují v řádech desetin.



Obr. 61: Porovnání produkce CO<sub>2</sub> zdrojů vytápění (Horák, 2019)

Z výše uvedené studie vyplývá, že pokud bude hlavním rozhodovacím kritériem výběr ekologického a zároveň ekonomického zdroje tepla, je nejvhodnější variantou zplyňovací kotel na biomasu. Jeho provoz i pořizovací náklady jsou v porovnání s ostatními zdroji nejnižší, ceny paliva jsou stabilní oproti elektřině a plynu a zároveň se jedná o lokální obnovitelný zdroj. Díky automatizaci podavačů a zásobníků odpadá největší nevýhoda kotlů, a to nutnost obsluhy kotle. Současně lze zvolit ekonomičtější variantu kotle s manuálním přikládáním, dle požadavků provozovatele. Další velkou výhodou je vysoká efektivita spalování, která činí 81–94 %, pomocí ventilátorů. Současné kotle jsou řešeny tak, aby splňovaly dle ČSN EN 303-5 (2021) emisní třídu 5. a podmínky ekodesignu dle vyhlášky č. 319/2019 Sb.

Nevýhodou kotle na biomasu je, i přes dnes již pokročilou automatizaci, jistá míra manuální účasti provozovatele spojená s ukládáním paliva do zásobníku a odebírání popela z kotle. Další nevýhodou je nutnost prostoru splňujícího podmínky pro skladování paliva.

Po zhodnocení ekologických a ekonomických parametrů jednotlivých systémů výroby tepla a ohřevu teplé užitkové vody byl vybrán jako nejvhodnější zdroj pro navržený objekt kotel na pelety z následujících důvodů:

- Pelety jsou obnovitelný zdroj energie, který je lokálně dostupný a díky tomu se dá očekávat stabilní vývoj cen i v budoucnosti.
- Kotel bude zvolen s emisní třídou 5. a certifikací ekodesign.
- Účinnost spalování kotlů na pelety se pohybuje kolem 95 %.
- Pořizovací náklady vycházejí v porovnání s mírou automatizace jako nejvýhodnější.
- Objekt disponuje prostornou garáží a technickou místností, kde lze umístit kotel a sklad paliva.

- Provoz kotle, který v létě nespíná a používá pro ohřev TUV elektřinu je ideální pro využití přebytků ze solárního fotovoltaického systému.

### **Ohřev teplé užitkové vody**

Jelikož v objektu bude jako zdroj vytápění sloužit kotel na pelety, bude v technické místnosti umístěna akumulční nádrž s vodou. Tento objem vody bude v otopné sezóně ohříván pomocí teplovodního výměníku z kotle na pelety. V létě, kdy bude kotel mimo provoz pak bude vody ohřívána elektrickou spirálou pomocí fotovoltaických panelů umístěných na střeše, při nepřízní počasí bude energie brána z baterií nebo z veřejné sítě.

### **Alternativní zdroj elektrické energie**

Navržený systém s kotlem na pelety, který zajišťuje vytápění i ohřev TUV je provázaný a smysluplný, ovšem v období, kdy se přestane vytápět je značně neekonomické až neproveditelné spouštět kotel pouze k ohřívání TUV. Proto bývá v letních měsících voda v nádrži ohřívána topnou spirálou elektrickou energií. Poptávka po elektrické energii v letních měsících, navíc se střešní rovinou ve sklonu 35° orientovaná na jih, přímo vybízí k instalaci fotovoltaické elektrárny. Fotovoltaická elektrárna bude vybavena bateriovým systémem, aby v průběhu roku mohla pokrýt spotřebu na provoz běžných spotřebičů a svícení. V dotačním programu Nová zelená úsporám lze dosáhnout dotace až 200.000 Kč na zřízení fotovoltaické elektrárny s bateriovým systémem, maximálně lze však žádat o částku 50 % nákladů (SFZB, 2021).

### **5.5.3. Hospodaření s dešťovou vodou**

V objektu bude nutné zpracovat dešťovou vodu, jelikož se v dosahu nenachází oddílná kanalizace. Díky zastavěné ploše objektu 213 m<sup>2</sup>, bude dešťové vody nadměrné množství, proto bude u objektu navržena podzemní nádrž o objemu 5 m<sup>3</sup> dle ČSN 75 9010 (2012). Dešťová voda z nádrže bude čerpadly hnána přes filtry a znovu využívána ke splachování dvou WC v objektu a na závlivku zahrady. Na instalaci systému zpětného využívání dešťové vody je

možné čerpat dotaci z programu Nová zelená úsporám ve výši až 65.000 Kč, maximálně však 50 % nákladů (SFZB, 2021).

## 6. Závěr

V práci je zmapován velice důležitý postup, který by měl být počátkem každého úspěšného projektu. Ve zjednodušené formě jsou zde porovnány okrajové podmínky dané umístěním projektu a požadavky kladené na projekt s možnostmi řešení, které vždy v maximální míře podmínky splňuje. Takovému zhodnocení je postupně vystaven každý aspekt návrhu.

Prvním krokem návrhu je stanovení funkčních nároků na projekt a vytvoření dispozičních návrhů, aby bylo možné zvolit takový, který bude splňovat veškerá kritéria. Pro tento konkrétní projekt byla vybrána dispozice s orientací dvou pokojů, kuchyně s jídelnou a obývacím pokojem na jižní stranu, s výhledem do zahrady, která zároveň nabízí nejprostornější pokoje. Samostatně je pak řešen návrh multifunkční místnosti umístěné v části podkroví. Tím získává návrh na originalitě jak architektonické, tak technické, kdy je potřeba k návrhu přistupovat individuálně. V následujícím kroku je na základě navržených dispozic domu zvolena technologie výstavby a konstrukční systém celého objektu. Pro stěny a nosné stropy je zvolen systém „two by four“. Pro konstrukci zastřešení je vybrána kombinace systému vazníků v neobytné části a klasického vaznicového krovu v obytné části podkroví. Kombinací těchto dvou systémů je zajištěno dokonalé splnění nároků na navrhované prostory a ekonomické řešení různorodých požadavků. Další částí návrhu je již detailní návrh skladeb, který zahrnuje specifikaci materiálů, posouzení z hlediska legislativy a tepelně technických vlastností a statické posouzení atypických vybraných prvků. Veškeré materiály jsou volené tak, aby disponovali minimálním dopadem na životní prostředí, ideálně na bázi dřeva, či celulózy, čímž je dosaženo využívání obnovitelných, snadno rozložitelných materiálů s vysokou funkčností a životností. V poslední části se práce okrajově zabývá technickým řešením objektu, to zahrnuje návrh systému větrání, vytápění, ohřev teplé užitkové vody a hospodaření s dešťovou vodou, včetně výběru konkrétních zdrojů tepla.

V celkovém výsledku získáváme díky kvalitnímu a racionalizovanému postupu rozhodování optimalizovaný návrh objektu, který je vysoce funkční a zároveň ekonomicky a ekologicky šetrný. Architektonické řešení zajišťuje solární zisky bez rizika přehřívání v létě. Konstrukce je navržena dokonale vzduchotěsná

a poskytuje minimální úniky tepla, v létě pak u dřevostavby v noci dochází k předchlazení, čímž je sníženo riziko přehřívání. Návrh zajišťuje efektivní využívání energie v kombinaci se získáváním energie z obnovitelných zdrojů. Díky těmto třem navzájem se prolínajícím pilířům návrhu, které jsou zdánlivě oddělené, získáváme energeticky téměř soběstačný dům, jehož výstavba, provoz i demolice jsou ekologicky šetrné a udržitelné. Udržitelnost je to, co je pro objekt do budoucna jeden z nejdůležitějších aspektů a je nezbytné, aby se výstavba jak bytových, tak komerčních či průmyslových objektů přibližovala tomuto cíli.

## 7. Seznam literatury

- 3KArchitects.s.r.o. Kolik peněz stojí realizace rodinného domu? Je drahá?, 2020, Dostupné z: <https://www.3karchitects.cz/blog/kolik-penez-stoji-realizace-rodinneho-domu-je-draha/>
- Airwoods Ltd. *Ventical Heat Recovery Dehumidifier with Plate Heat Exchanger*, 2022, Dostupné z: <https://www.airwoods.com/ventical-heat-recovery-dehumidifier-with-plate-heat-exchanger-product/>
- Anua, s.r.o., Stavební komunita. *Rozdělení střešních konstrukcí*, 2002, Dostupné z: <http://stavebnikomunita.cz/profiles/blogs/rozdeleni-stresnich-konstrukci>
- APA - The Engineered Wood Association. *Glued Laminated Beam Design Tables*. 2020, Dostupné z: <https://www.apawood.org/publication-search?q=s475&tid=1>
- Beranovský a kol., Beranovský J.; Jindrák M.; Bejvlová V. *Efektivní vytápění úsporných domů*. Praha: MPO, 2017, 55 s., ISBN 978-80-87333-14-3.
- Bílek, V., Časopis stavebnictví. *Dřevěné stavění, architektura a trvale udržitelný rozvoj*, 2011, Dostupné z: <https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-drevne-staveni-architektura-a-trvale-udrzitelny-rozvoj.html>
- Borgström, E. a). *Design of timber structures, structural aspects of timber construction, volume 1*, 2016, Stockholm: Swedish Forest Industries Federatio. 316 s. ISBN 978-91-980304-8-8.
- Borgström, E. b). *Design of timber structures, Rules and formulas according to Eurocode 5, Volume 2*, 2016, Stockholm: Swedish Forest Industries Federatio. 64 s. ISBN 978-91-980304-3-3.
- CTI and TRADA Ltd. *Conventional timber frame*, 2020, Dostupné z: <https://timberfirehub.co.uk/3-conventional-timber-frame/>
- CZSO. *Bytová a nebytová výstavba a stavební povolení - časové řady*. Český statistický úřad. 2022, Dostupné z: [https://www.czso.cz/csu/czso/bvz\\_cr](https://www.czso.cz/csu/czso/bvz_cr)
- DEK a.s. Top DEK. *Skladby*. 2022, Dostupné z: <https://topdek.cz/o-systemu/skladby>
- Fisher-Uhlig, H. *Das Buch vom gesunden bauen und wohnen*. Taunusstein: Ebernhard blottner Verlag. 1998, 152 s. ISBN 3893670416.

- Gradient spol. s.r.o. *Vlastnosti domu*, 2021, Dostupné z:  
<https://gradient.cz/vlastnosti-domu/>
- Gunßer, Ch. Bau Maister. *Mehrgenerationen-Wohnanlage in Winterthur*. Georg GmbH & Co. KG: München, 2020, s. 20 - 29, ISSN 0005-674X B1547.
- Hejhálek, J.; Hejhálek, J. ml. *Vydýchaný vzduch a jak správně větrat*. Stavebnictví 3000.cz. 2021, Dostupné z:  
<https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/vydychany-vzduch-a-jak-ho-spravne-vyvetrat>
- Horák, P.; Horák J. *Výběr zdroje tepla pro rodinný dům s ohledem na energetickou náročnost a další faktory*. TZB.info. 2019, Dostupné z:  
<https://vytapeni.tzb-info.cz/19499-vyber-zdroje-tepla-pro-rodinny-dum-s-ohledem-na-energetickou-narocnost-a-dalsi-faktory>
- Hudec, M.; Johanisová, B.; Mansbart, T. *Pasivní domy*. Praha 7: Grada Publishing, a.s. 2013, 160 s. ISBN 978-80-247-4243-4.
- Kadaně, J. *Krovky - střešní konstrukce vázané*, 2022, Dostupné z: <http://k-woodprojekt.sweb.cz/krovky.htm>
- Kočí, V., Petřík, J. *Dřevo versus cihla*. Cihlářský svaz Čech a Moravy, 2019, Dostupné z: <https://cscm.bmone.cz/drevo-versus-cihla/>
- Kolb, J. *Dřevostavby, systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2008, 320 s. ISBN 978-80-247-2275-7.
- Koželuh, B. TZB.info. *Montované domy na bázi dřeva – vývoj a základní typy (1. díl)*. 2014, Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/10919-montovane-domy-na-bazi-dreva-vyvoj-a-zakladni-typy-1-dil>
- Kuklík, P. *Timber structures 1*. Praha: ČVUT. 2007, 168 s. ISBN 978-80-01-03614-3.
- Kuklík, P.; Studnička, J. *Dřevěné a kovové konstrukce*. Praha: INFORMATORIUM, spol. s r.o., 2008, 192 s. ISBN 978-80-7333-047-7.
- Kunecký, J. *Lapped scarf joints for repairs of historical structures*. Prag: Ministry of Culture of Czech Republic. 2015, 72 s. ISBN 978-80-86246-70-4.
- Loferski, J. R. *Light-frame Building Construction with 2 by 4 Lumber – The “New” Old Building System of American Housing*. Virginia. 2015, Dostupné z: [https://www.forum-holzbau.com/pdf/56\\_IHF\\_2015\\_Loferski.pdf](https://www.forum-holzbau.com/pdf/56_IHF_2015_Loferski.pdf)



- Multi-VAC spol. s.r.o. *Větrání rodinných a bytových domů - proč se jím zabývat?*  
TZB.info, 2020, Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/21155-vetrani-rodinnych-a-bytovych-domu-proc-se-jim-zabyvat>
- Nešporová, I. K. *Rozměrové změny srubů a roubenek*. Dřevostavitel, 2017,  
Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/rozmerove-zmeny>
- Neufert, E. *Architects' data*. United states: John Wiley and Sons Ltd. 2019, 640 s. ISBN 978-11-192-8435-2 .
- Nevděk-vazníky s.r.o. *Vazníky*. 2022, Dostupné z:  
<http://www.nevdek.cz/vazniky/366-vazniky>
- Petráš, D.; Koudelková, D.; Kabele, K. *Teplovodní a elektrické podlahové vytápění*. Bratislava: Jaga group, s.r.o.. 2004, 189 s. ISBN 80-88905-97-4.
- Pila Martinice s.r.o.. *Skladba stěny Difuco ECO Energo*. 2022
- RD Rýmařov s.r.o.. *Konstrukce*. RD Rýmařov, 2021, Dostupné z:  
<https://www.rdrymarov.cz/schemata-sten-a-stropu>
- Reinberk, Z; Šubrt, R.; Zelená, L. *Zjednodušený výpočet potřeby tepla na vytápění a tepelných ztrát obálkou budovy*. TZB.info, 2022, Dostupné z:  
<https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-usporam-a-dotaci-zelena-usporam>
- Remeš, J. *Stavební příručka, to nejdůležitější z norem, vyhlášek a zákonů*. Praha: Grada Publishing a.s.. 2017, 248 s. ISBN 978-80-247-5142-9.
- Ruman, D. *Home, Vše o dřevě v interiéru a exteriéru*. Bratislava: Jaga Group, s.r.o., 2008, 160 s. ISSN 1335-9177.
- Růžička, M. *Stavíme dům ze dřeva*. Praha: Grada publishing, a.s.. 2006, 120 s. ISBN 80-247-1461-2.
- SFZB. *Nová zelená úsporám*. Praha, Česká republika. 2021, *Nová zelená úsporám*. Dostupné z: <https://novazelenausporam.cz/>
- Smutný, M. *krytiny-strechy. Tesařské spoje - seriál Krovky a dřevěné konstrukce*. 2022, Dostupné z: [https://www.krytiny-strechy.cz/technicke\\_info-k-navrhovani-strech/serial-tesarske-konstrukce-vlastnosti-dreva-rozdeleni-reziva-tesarske-spoje-2-dil/](https://www.krytiny-strechy.cz/technicke_info-k-navrhovani-strech/serial-tesarske-konstrukce-vlastnosti-dreva-rozdeleni-reziva-tesarske-spoje-2-dil/)
- Strechy92 s.r.o.. *Vazníky se styčnickovými deskami*. 2022, Dostupné z:  
<http://www.strechy92.cz/vazniky-se-stycnikovymi-deskami.html>

- Sto, s.r.o., *StoTherm Wood*. 2022, Dostupné z:  
[https://www.sto.cz/cs/produkty/zateplovaci-systemy/stotherm-wood/stotherm\\_in\\_aevero\\_7.html](https://www.sto.cz/cs/produkty/zateplovaci-systemy/stotherm-wood/stotherm_in_aevero_7.html)
- Šimonová, D. *FAQ - Druhy dřevostaveb*. Dřevo a stavby. 2012, Dostupné z:  
<https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/caste-dotazy?layout=blog>
- Štíčka, D. *Fotovoltaické panely. Větrná a sněhová mapa*. 2022, Dostupné z:  
<http://www.sticka.cz/mapy/>
- ThinkWood. *Timber products - construction types*. 2022, Dostupné z:  
<https://www.thinkwood.com/light-frame-and-prefab>
- Zvolánek, I. *Zatížení*. fce.vutbr, 2022, Dostupné z:  
[https://www.fce.vutbr.cz/BZK/zvolanek.l/vyuka\\_bzk/BL01\\_zatizeni.pdf](https://www.fce.vutbr.cz/BZK/zvolanek.l/vyuka_bzk/BL01_zatizeni.pdf)

## Seznam použitých norem

- ČSN EN ISO 6946. *Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtové metody*. Praha: ČNI, 2020, 44 s. 730558
- ČSN 73 0540-4. *Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody*. Praha: ČNI, 2005, 60 s. 730540
- ČSN 01 3420. *Výkresy pozemních staveb – Kreslení výkresů stavební části*. Praha: ČNI, 2004, 72 s. 013420
- ČSN 73 4301. *Obytné budovy*. Praha: ČNI, 2004, 28 s. 734301
- ČSN 73 6058. *Jednotlivé, řadové a hromadné garáže*. Praha, ČNI, 2011, 35 s. 736085
- ČSN EN 338. *Konstrukční dřevo – Třídy pevnosti*. Praha: ČNI, 2016, 16 s. 731711
- ČSN EN 303-5. *Kotle pro ústřední vytápění*. Praha: ČNI. 2021. 38 s. 075303
- ČSN EN 14080. *Dřevěné konstrukce – Lepené lamelové dřevo a lepené rostlé dřevo*. Praha: ČNI, 2013, 88 s. 732831
- ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1 – Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: ČNI, 2004, 44 s. 730035

- ČSN EN 1991-1-3. Eurokód 1 – Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem. Praha: ČNI, 2005, 52 s. 730035
- ČSN EN 1995-1-1. Eurokód 5 – Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ČNI, 2006, 114 s. 731701
- ČSN EN ISO 13788. Tepelně-vlhkostní chování stavebních konstrukcí a stavebních prvků. Praha: ČNI, 2019, 44 s. 730544
- ČSN 75 9010. Vsakovací zařízení srážkových vod. Praha: ČNI, 2012, 38 s. 759010

## 8. Přílohy

Seznam příloh:

Příloha č. 1 – Tepelně technické posouzení obalových konstrukcí

Příloha č. 2 – Statické posouzení vybraných prvků

Příloha č. 3 – Výkresová dokumentace (samostatná část práce)

Příloha č. 4 – 3D Vizualizace interiéru a exteriéru (samostatná část práce)

## Příloha č. 1

### Tepelně technické posouzení obalových konstrukcí

#### ZÁKLADNÍ ÚDAJE

##### Identifikační údaje o budově

Název budovy:	dřevostavba RD s částečně využitým podkrovím
Ulice:	Jirotova
PSČ:	33601
Město:	Blovice

##### Stručný popis budovy

--

##### Seznam podkladů použitých pro hodnocení budovy

--

##### Identifikační údaje o zpracovateli





Název zpracovatele:	Alžběta Šilhavá
Ulice:	
PSČ:	
Město zpracovatele:	

Datum zpracování:	
-------------------	--

##### Informace o použitém výpočetním nástroji

Výpočetní nástroj:	DEKSOFT Tepelná technika 1D
Verze:	3.1.9
Bližší informace na:	<a href="http://www.deksoft.eu">www.deksoft.eu</a>

STN-1: Obvodová stěna tl. 333 mm												
Vnitřní konstrukce:										NE		
Charakter konstrukce:										Stěna (vodorovný tepelný tok)		
Konstrukce dvouplášťová s větranou vzduchovou vrstvou:										NE		
Konstrukce ve styku se zemínou:										NE		
Součinitel prostupu tepla stanoven:										výpočtem		
<b>Skladba konstrukce od interiéru:</b>												
č.	Název vrstvy	Tloušťka vrstvy	Součinitel tepelné vodivosti		Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost	Faktor difuzního odporu					
			$\lambda$	$\lambda_{ekv}$			$\mu$	$\mu$				
-	-	d	[W/(m.K)]		c	$\rho$	[-]					
-	-	[m]	[W/(m.K)]		[J/(kg.K)]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[-]					
1	FERMACELL Sádrovláknité desky	0,0125	0,340	-	1 100	1 150	13,0					
2	ISOVER Woodsil	0,0600	0,060	-	800	37	1,0					
3	ISOCELL AirSTOP Sd50	0,0005	1,000	-	1	700 000	100 000,0					
4	ISOVER Woodsil	0,1400	0,035	-	800	37	1,0					
5	FERMACELL Sádrovláknité desky	0,0125	0,340	-	1 100	1 150	13,0					
6	Dřevovláknité desky měkké	0,1000	0,040	-	2 100	160	3,0					
7	STO Level UNI	0,0040	0,450	-	900	1 500	25,0					
8	STO Silco K	0,0040	0,700	-	750	1 800	35,0					
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						$R_{si}$	0,25	0,13	m <sup>2</sup> .K/W			
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						$R_{se}$	0,04	0,04	m <sup>2</sup> .K/W			
<b>Okrajové podmínky:</b>												
Návrhová vnitřní teplota						$\theta_i$	20,0	°C				
Návrhová teplota vnitřního vzduchu:						$\theta_{ai}$	20,0	°C				
Relativní vlhkost vnitřního vzduchu:						$\varphi_i$	50	%				
Bezpečnostní vlhkostní přírážka:						$\Delta\varphi_i$	5	%				
Návrhová teplota venkovního vzduchu:						$\theta_e$	-15,0	°C				
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu:						$\varphi_e$	84	%				
Nadmořská výška budovy (terénu):						h	311	m.n.m.				
<b>Okrajové podmínky (průměrné měsíční):</b>												
Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
n	[-]	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	31
$\theta_{e,m}$	[°C]	-2,2	-0,4	3,5	9,0	13,4	16,9	18,0	17,9	13,7	8,8	-0,2
$\varphi_{e,m}$	[%]	81	81	79	77	74	71	70	70	74	77	81
$\theta_{i,m}$	[°C]	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0

$\varphi_{i,m}$	[%]	34	37	42	51	60	69	72	71	61	51	42	37
<p>Pozn.: <math>n</math> ... počet dnů v měsíci; <math>\theta_{e,m}</math> ... návrhová průměrná měsíční teplota venkovního vzduchu; <math>\varphi_{e,m}</math> ... průměrná hodnota relativní vlhkosti venkovního vzduchu; <math>\theta_{i,m}</math> ... průměrná návrhová vnitřní teplota; <math>\varphi_{i,m}</math> ... průměrná relativní vlhkost vnitřního vzduchu.</p>													
<p><b>Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2, ČSN EN ISO 6946 a ČSN 73 0540-4:</b></p>													
Korekce součinitele prostupu tepla:										$\Delta U$	0,020	W/(m <sup>2</sup> .K)	
Odpor při prostupu tepla:										$R_T$	6,716	m <sup>2</sup> .K/W	
<b>Součinitel prostupu tepla:</b>										<b>U</b>	<b>0,149</b>	<b>W/(m<sup>2</sup>.K)</b>	
Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla:										$U_N$	0,30	W/(m <sup>2</sup> .K)	
Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla:										$U_{rec}$	0,20	W/(m <sup>2</sup> .K)	
<b>Hodnocení:</b>	Konstrukce STN-1: Obvodová stěna tl. 333 mm splňuje doporučení ČSN 73 0540-2:2011 na součinitel prostupu tepla.												
<p><b>Teplotní faktor vnitřního povrchu (vnitřní povrchová teplota) dle ČSN 73 0540-4:</b></p>													
Teplotní faktor vnitřního povrchu:										$f_{Rsi}$	0,963	-	
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:										$f_{Rsi,N,80}$	0,744	-	
Povrchová teplota konstrukce:										$\theta_{si}$	18,7	°C	
Požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce:										$\theta_{si,min,80}$	11,0	°C	
<b>Hodnocení:</b>	Konstrukce STN-1: Obvodová stěna tl. 333 mm splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na teplotní faktor vnitřního povrchu.												
<p><b>Teplotní faktor vnitřního povrchu dle ČSN EN ISO 13788:</b></p>													
Požadované hodnoty pro jednotlivé měsíce:													
Měsíc		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\theta_{si,min,80}$	[°C]	6,96	8,13	9,93	12,95	15,52	17,60	18,26	18,19	15,74	12,82	9,87	8,26
$f_{Rsi,min,80}$	[-]	0,413	0,418	0,389	0,359	0,321	0,227	0,132	0,136	0,324	0,359	0,390	0,419
<p>Pozn.: <math>\theta_{si,min,80}</math> ... požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce; <math>f_{Rsi,min,80}</math> ... požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu.</p>													
Kritický měsíc:											12	-	
Teplotní faktor vnitřního povrchu:										$f_{Rsi}$	0,963	-	
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:										$f_{Rsi,N,80}$	0,419	-	
<b>Hodnocení:</b>	Konstrukce STN-1: Obvodová stěna tl. 333 mm splňuje požadavek ČSN EN ISO 13788 na teplotní faktor vnitřního povrchu.												
<p><b>Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN EN ISO 13788:</b></p>													
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:										aktivní			
<b>Hodnocení:</b>	Konstrukce bez vnitřní kondenzace.												

<b>Vyhodnocení rizika ohrožení dřevěných prvků v konstrukci:</b>				
Vrstva s materiálem na bázi dřeva		2	ISOVER Woodsil	
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:				
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci		NE		
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:				
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva		$\varphi_a$	43	%
Teplota v místě maximální vlhkosti		$\theta$	16,4	°C
Kritická relativní vlhkost vzduchu		$\varphi_{cr}$	85	%
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%		NE		
<b>Hodnocení</b> :	V místech s materiálem na bázi dřeva nedochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva nepřekročí 18%.			
Vrstva s materiálem na bázi dřeva		4	ISOVER Woodsil	
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:				
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci		NE		
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:				
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva		$\varphi_a$	48	%
Teplota v místě maximální vlhkosti		$\theta$	5,1	°C
Kritická relativní vlhkost vzduchu		$\varphi_{cr}$	83	%
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%		NE		
<b>Hodnocení</b> :	V místech s materiálem na bázi dřeva nedochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva nepřekročí 18%.			
Vrstva s materiálem na bázi dřeva		6	Dřevovláknité desky měkké	
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:				
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci		NE		
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:				
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva		$\varphi_a$	80	%
Teplota v místě maximální vlhkosti		$\theta$	-2,0	°C
Kritická relativní vlhkost vzduchu		$\varphi_{cr}$	82	%
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%		NE		
<b>Hodnocení</b> :	V místech s materiálem na bázi dřeva nedochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva nepřekročí 18%.			
<b>Pokles dotykové teploty dle ČSN 73 0540-4:</b>				
Tepelná jímavost		B	238,3	$W \cdot s^{0,5} / (m^2 \cdot K)$
Pokles dotykové teploty:		$\Delta\theta_{10}$	2,41	°C



**Poznámka ke konstrukci:**

-

Toto je studentská verze programu.  
Tuto verzi není možné  
používat pro komerční účely.

<b>STR-2: Strop nad garáží</b>													
Vnitřní konstrukce:										NE			
Charakter konstrukce:										Strop nebo střecha (tepelný tok nahoru)			
Konstrukce dvouplášťová s větranou vzduchovou vrstvou:										NE			
Konstrukce ve styku se zemínou:										NE			
Součinitel prostupu tepla stanoven:										výpočtem			
<b>Skladba konstrukce od interiéru:</b>													
č.	Název vrstvy	Tloušťka vrstvy	Součinitel tepelné vodivosti		Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost	Faktor difuzního odporu						
			$\lambda$	$\lambda_{ekv}$									
-	-	d	$\lambda$	$\lambda_{ekv}$	c	$\rho$	$\mu$						
-	-	[m]	[W/(m.K)]		[J/(kg.K)]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[-]						
1	Vícevrstvá dřevěná podlaha	0,0120	0,180	-	2 510	600	157,0						
2	MIRELON pěnový PE	0,0020	0,046	-	970	25	2 247,0						
3	Deska z orientovaných plochých třísek - OSB	0,0150	0,150	-	1 580	630	300,0						
4	Deska z orientovaných plochých třísek - OSB	0,0150	0,150	-	1 580	630	300,0						
5	STEPROCK HD	0,0300	0,039	-	840	100	1,0						
6	Deska z orientovaných plochých třísek - OSB	0,0220	0,220	-	1 580	630	40,0						
7	ISOVER Woodsil	0,2200	0,035	-	800	37	1,0						
8	ISOVER Woodsil	0,0500	0,035	-	800	37	1,0						
9	FERMACELL Sádroláknité desky	0,0125	0,340	-	1 100	1 150	13,0						
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						$R_{si}$	0,25	0,10	$\frac{m^2}{K/W}$				
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						$R_{se}$	0,04	0,04	$\frac{m^2}{K/W}$				
<b>Okrajové podmínky:</b>													
Návrhová vnitřní teplota						$\theta_i$	20,0	°C					
Návrhová teplota vnitřního vzduchu:						$\theta_{ai}$	20,0	°C					
Relativní vlhkost vnitřního vzduchu:						$\varphi_i$	50	%					
Bezpečnostní vlhkostní přírážka:						$\Delta\varphi_i$	5	%					
Návrhová teplota venkovního vzduchu:						$\theta_e$	3,0	°C					
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu:						$\varphi_e$	84	%					
Nadmořská výška budovy (terénu):						h	343	m.n.m.					
<b>Okrajové podmínky (průměrné měsíční):</b>													
Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
n	[-]	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31

$\theta_{e,m}$	[°C]	-2,3	-0,6	3,3	8,9	13,2	16,5	17,8	17,7	13,5	8,6	3,3	-0,3
$\varphi_{e,m}$	[%]	81	81	79	77	74	71	70	70	74	77	79	81
$\theta_{i,m}$	[°C]	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
$\varphi_{i,m}$	[%]	34	37	42	51	60	68	71	71	61	50	42	37

Pozn.: n ... počet dnů v měsíci;  $\theta_{e,m}$  ... návrhová průměrná měsíční teplota venkovního vzduchu;  $\varphi_{e,m}$  ... průměrná hodnota relativní vlhkosti venkovního vzduchu;  $\theta_{i,m}$  ... průměrná návrhová vnitřní teplota;  $\varphi_{i,m}$  ... průměrná relativní vlhkost vnitřního vzduchu.

**Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2, ČSN EN ISO 6946 a ČSN 73 0540-4:**



Korekce součinitele prostupu tepla:	$\Delta U$	0,150	W/(m <sup>2</sup> .K)
Odpor při prostupu tepla:	$R_T$	3,842	m <sup>2</sup> .K/W
<b>Součinitel prostupu tepla:</b>	<b>U</b>	<b>0,260</b>	<b>W/(m<sup>2</sup>.K)</b>
Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla:	$U_N$	0,75	W/(m <sup>2</sup> .K)
Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla:	$U_{rec}$	0,50	W/(m <sup>2</sup> .K)

**Hodnocení:** Konstrukce STR-2: Strop nad garáží splňuje doporučení ČSN 73 0540-2:2011 na součinitel prostupu tepla.

**Teplotní faktor vnitřního povrchu (vnitřní povrchová teplota) dle ČSN 73 0540-4:**



Teplotní faktor vnitřního povrchu:	$f_{Rsi}$	0,935	-
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:	$f_{Rsi,N,80}$	0,776	-
Povrchová teplota konstrukce:	$\theta_{si}$	18,9	°C
Požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce:	$\theta_{si,min,80}$	16,2	°C

**Hodnocení:** Konstrukce STR-2: Strop nad garáží splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na teplotní faktor vnitřního povrchu.

**Teplotní faktor vnitřního povrchu dle ČSN EN ISO 13788:**



Požadované hodnoty pro jednotlivé měsíce:

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\theta_{si,min,80}$	[°C]	6,89	7,99	9,82	12,89	15,38	17,30	18,11	18,03	15,59	12,69	8,20
$f_{Rsi,min,80}$	[-]	0,412	0,417	0,390	0,359	0,320	0,228	0,140	0,143	0,322	0,359	0,419

Pozn.:  $\theta_{si,min,80}$  ... požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce;  $f_{Rsi,min,80}$  ... požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu.

Kritický měsíc:		12	-
Teplotní faktor vnitřního povrchu:	$f_{Rsi}$	0,935	-
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:	$f_{Rsi,N,80}$	0,419	-




**Hodnocení:** Konstrukce STR-2: Strop nad garáží splňuje požadavek ČSN EN ISO 13788 na teplotní faktor vnitřního povrchu.

**Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN EN ISO 13788:**











Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry: aktivní

**Hodnocení:** Konstrukce bez vnitřní kondenzace.

<b>Vyhodnocení rizika ohrožení dřevěných prvků v konstrukci:</b>				
Vrstva s materiálem na bázi dřeva	7	ISOVER Woodsil		
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:				
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci	NE			
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:				
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva	$\varphi_a$	61	%	
Teplota v místě maximální vlhkosti	$\theta$	1,3	°C	
Kritická relativní vlhkost vzduchu	$\varphi_{cr}$	83	%	
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%	NE			
<b>Hodnocení :</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva nedochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva nepřekročí 18%.			
<b>Vyhodnocení konstrukce nad podhledem:</b>				
Hodnocené rozhraní	4 - 5			
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:				
Nad konstrukcí podhledu dochází ke kondenzaci vodní páry	NE			
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:				
Relativní vlhkost vzduchu na spodním líci konstrukce nad podhledem	$\varphi_a$	20	%	
Maximální relativní vlhkost vzduchu pro zabránění růstu plísní	$\varphi_{cr}$	80	%	
Nad konstrukcí podhledu hrozí riziko růstu plísní	NE			
<b>Hodnocení :</b>	V konstrukci nad podhledem nedochází při návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Nad konstrukcí podhledu nehrozí při průměrných návrhových podmínkách riziko růstu plísní.			
<b>Vyhodnocení rizika kondenzace na vnitřním povrchu vrstvy:</b>				
Hodnocená vrstva	7	ISOVER Woodsil		
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:				
Na vnitřním povrchu konstrukce dochází ke kondenzaci vodní páry	NE			
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:				
Na vnitřním povrchu konstrukce dochází ke kondenzaci vodní páry	NE			
<b>Hodnocení:</b>	Na vnitřním povrchu vrstvy nedochází ke kondenzaci vodní páry.			
<b>Pokles dotykové teploty dle ČSN 73 0540-4:</b>				
Tepelná jímavost	B	488,5	W.s <sup>0,5</sup> /(m <sup>2</sup> .K)	
Pokles dotykové teploty:	$\Delta\theta_{10}$	4,09	°C	
<b>Poznámka ke konstrukci:</b>				
-				

STR-3: Strop nad přízemní částí													
Vnitřní konstrukce:										NE			
Charakter konstrukce:										Strop nebo střecha (tepelný tok nahoru)			
Konstrukce dvouplášťová s větranou vzduchovou vrstvou:										NE			
Konstrukce ve styku se zemínou:										NE			
Součinitel prostupu tepla stanoven:										výpočtem			
Skladba konstrukce od interiéru:													
č.	Název vrstvy	Tloušťka vrstvy	Součinitel tepelné vodivosti		Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost	Factor difuzního odporu						
			$\lambda$	$\lambda_{ekv}$									
-	-	d	[W/(m.K)]		c	$\rho$	$\mu$						
-	-	[m]	[W/(m.K)]		[J/(kg.K)]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[-]						
1	FERMACELL Sádrovláknité desky	0,0125	0,340	-	1 100	1 150	13,0						
2	ISOCELL AirSTOP Sd50	0,0005	1,000	-	1	700 000	100 000,0						
3	ISOVER Woodsil	0,2000	0,044	-	800	37	1,0						
4	ISOVER Woodsil	0,2500	0,035	-	800	37	1,0						
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						R <sub>si</sub>	0,25	0,10	m <sup>2</sup> .K/W				
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						R <sub>se</sub>	0,04	0,04	m <sup>2</sup> .K/W				
Okrajové podmínky:													
Návrhová vnitřní teplota						$\theta_i$	20,0	°C					
Návrhová teplota vnitřního vzduchu:						$\theta_{ai}$	20,0	°C					
Relativní vlhkost vnitřního vzduchu:						$\varphi_i$	50	%					
Bezpečnostní vlhkostní přírážka:						$\Delta\varphi_i$	5	%					
Návrhová teplota venkovního vzduchu:						$\theta_e$	-15,0	°C					
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu:						$\varphi_e$	84	%					
Nadmožská výška budovy (terénu):						h	311	m.n.m.					
Okrajové podmínky (průměrné měsíční):													
Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
n	[-]	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$\theta_{e,m}$	[°C]	-2,2	-0,4	3,5	9,0	13,4	16,9	18,0	17,9	13,7	8,8	3,4	-0,2
$\varphi_{e,m}$	[%]	81	81	79	77	74	71	70	70	74	77	79	81
$\theta_{i,m}$	[°C]	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
$\varphi_{i,m}$	[%]	34	37	42	51	60	69	72	71	61	51	42	37
Pozn.: n ... počet dnů v měsíci; $\theta_{e,m}$ ... návrhová průměrná měsíční teplota venkovního vzduchu; $\varphi_{e,m}$ ... průměrná hodnota relativní vlhkosti venkovního vzduchu; $\theta_{i,m}$ ... průměrná návrhová vnitřní teplota; $\varphi_{i,m}$ ... průměrná relativní vlhkost vnitřního vzduchu.													

<b>Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2, ČSN EN ISO 6946 a ČSN 73 0540-4:</b>													
Korekce součinitele prostupu tepla:		$\Delta U$	0,020	W/(m <sup>2</sup> .K)									
Odpor při prostupu tepla:		$R_T$	9,590	m <sup>2</sup> .K/W									
<b>Součinitel prostupu tepla:</b>		<b>U</b>	<b>0,104</b>	<b>W/(m<sup>2</sup>.K)</b>									
Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla:		$U_N$	0,24	W/(m <sup>2</sup> .K)									
Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla:		$U_{rec}$	0,16	W/(m <sup>2</sup> .K)									
<b>Hodnocení:</b>	Konstrukce STR-3: Strop nad přízemní částí splňuje doporučení ČSN 73 0540-2:2011 na součinitel prostupu tepla.												
<b>Teplotní faktor vnitřního povrchu (vnitřní povrchová teplota) dle ČSN 73 0540-4:</b>													
Teplotní faktor vnitřního povrchu:		$f_{Rsi}$	0,974	-									
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:		$f_{Rsi,N,80}$	0,744	-									
Povrchová teplota konstrukce:		$\theta_{si}$	19,1	°C									
Požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce:		$\theta_{si,min,80}$	11,0	°C									
<b>Hodnocení:</b>	Konstrukce STR-3: Strop nad přízemní částí splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na teplotní faktor vnitřního povrchu.												
<b>Teplotní faktor vnitřního povrchu dle ČSN EN ISO 13788:</b>													
Požadované hodnoty pro jednotlivé měsíce:													
Měsíc		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\theta_{si,min,80}$	[°C]	6,96	8,13	9,93	12,95	15,52	17,60	18,26	18,19	15,74	12,82	9,87	8,26
$f_{Rsi,min,80}$	[-]	0,413	0,418	0,389	0,359	0,321	0,227	0,132	0,136	0,324	0,359	0,390	0,419
Pozn.: $\theta_{si,min,80}$ ... požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce; $f_{Rsi,min,80}$ ... požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu.													
Kritický měsíc:											12	-	
Teplotní faktor vnitřního povrchu:		$f_{Rsi}$	0,974										-
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:		$f_{Rsi,N,80}$	0,419										-
<b>Hodnocení:</b>	Konstrukce STR-3: Strop nad přízemní částí splňuje požadavek ČSN EN ISO 13788 na teplotní faktor vnitřního povrchu.												
<b>Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN EN ISO 13788:</b>													
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:		aktivní											
<b>Hodnocení:</b>	Konstrukce bez vnitřní kondenzace.												

<b>Vyhodnocení rizika ohrožení dřevěných prvků v konstrukci:</b>				
Vrstva s materiálem na bázi dřeva	3	ISOVER Woodsil		
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:				
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci	NE			
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:				
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva	$\varphi_a$	31	%	
Teplota v místě maximální vlhkosti	$\theta$	11,1	°C	
Kritická relativní vlhkost vzduchu	$\varphi_{cr}$	84	%	
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%	NE			
<b>Hodnocení :</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva nedochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva nepřekročí 18%.			
<b>Vyhodnocení konstrukce nad podhledem:</b>				
Hodnocené rozhraní	1 - 2			
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:				
Nad konstrukcí podhledu dochází ke kondenzaci vodní páry	NE			
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:				
Relativní vlhkost vzduchu na spodním líci konstrukce nad podhledem	$\varphi_a$	35	%	
Maximální relativní vlhkost vzduchu pro zabránění růstu plísní	$\varphi_{cr}$	80	%	
Nad konstrukcí podhledu hrozí riziko růstu plísní	NE			
<b>Hodnocení :</b>	V konstrukci nad podhledem nedochází při návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Nad konstrukcí podhledu nehrozí při průměrných návrhových podmínkách riziko růstu plísní.			
<b>Vyhodnocení rizika kondenzace na vnitřním povrchu vrstvy:</b>				
Hodnocená vrstva	2	ISOCELL AirSTOP Sd50		
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:				
Na vnitřním povrchu konstrukce dochází ke kondenzaci vodní páry	NE			
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:				
Na vnitřním povrchu konstrukce dochází ke kondenzaci vodní páry	NE			
<b>Hodnocení:</b>	Na vnitřním povrchu vrstvy nedochází ke kondenzaci vodní páry.			
<b>Pokles dotykové teploty dle ČSN 73 0540-4:</b>				
Tepelná jímavost	B	231,7	W.s <sup>0,5</sup> /(m <sup>2</sup> .K)	
Pokles dotykové teploty:	$\Delta\theta_{10}$	2,30	°C	
<b>Poznámka ke konstrukci:</b>				
-				



STR-4: Střecha													
Vnitřní konstrukce:										NE			
Charakter konstrukce:										Strop nebo střecha (tepelný tok nahoru)			
Konstrukce dvouplášťová s větranou vzduchovou vrstvou:										ANO			
Konstrukce ve styku se zemínou:										NE			
Součinitel prostupu tepla stanoven:										výpočtem			
Skladba konstrukce od interiéru:													
č.	Název vrstvy	Tloušťka vrstvy	Součinitel tepelné vodivosti		Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost	Faktor difuzního odporu						
			$\lambda$	$\lambda_{ekv}$				$c$	$\rho$	$\mu$			
-	-	d	[W/(m.K)]		[J/(kg.K)]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[-]						
1	FERMACELL Sádrovláknité desky	0,0125	0,340	-	1 100	1 150	13,0						
2	ISOCELL AirSTOP Sd50	0,0005	1,000	-	1	700 000	100 000,0						
3	ISOVER Woodsil	0,1700	0,035	-	800	37	1,0						
4	ISOVER Woodsil	0,1800	0,050	-	800	37	1,0						
5	Fólie účinně propustná pro vodní páru	0,0015	0,390	-	1 700	460	100,0						
6	Slabě větraná vzduchová vrstva, kontralatě	0,0400	0,000	-	0	1	0,0						
7	Latě pod krytinou	0,0400	0,000	-	0	1	0,0						
8	Keramická střešní krytina	0,0400	0,000	-	0	0	0,0						
Poznámka: vrstvy uvedené šedým písmem nejsou ve výpočtu uvažovány.													
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)										$R_{si}$	0,25	0,10	m <sup>2</sup> .K/W
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)										$R_{se}$	0,04	0,10	m <sup>2</sup> .K/W
Okrajové podmínky:													
Návrhová vnitřní teplota										$\theta_i$	20,0	°C	
Návrhová teplota vnitřního vzduchu:										$\theta_{ai}$	20,0	°C	
Relativní vlhkost vnitřního vzduchu:										$\varphi_i$	50	%	
Bezpečnostní vlhkostní přírážka:										$\Delta\varphi_i$	5	%	
Návrhová teplota venkovního vzduchu:										$\theta_e$	-15,0	°C	
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu:										$\varphi_e$	84	%	
Nadmožská výška budovy (terénu):										h	311	m.n.m.	
Okrajové podmínky (průměrné měsíční):													
Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
n	[-]	31	28	31	30	31	30	31	30	31	30	31	
$\theta_{e,m}$	[°C]	-2,2	-0,4	3,5	9,0	13,4	16,9	18,0	17,9	13,7	8,8	-0,2	



$\varphi_{e,m}$	[%]	81	81	79	77	74	71	70	70	74	77	79	81
$\theta_{i,m}$	[°C]	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
$\varphi_{i,m}$	[%]	34	37	42	51	60	69	72	71	61	51	42	37

Pozn.:  $n$  ... počet dnů v měsíci;  $\theta_{e,m}$  ... návrhová průměrná měsíční teplota venkovního vzduchu;  $\varphi_{e,m}$  ... průměrná hodnota relativní vlhkosti venkovního vzduchu;  $\theta_{i,m}$  ... průměrná návrhová vnitřní teplota;  $\varphi_{i,m}$  ... průměrná relativní vlhkost vnitřního vzduchu.

**Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2, ČSN EN ISO 6946 a ČSN 73 0540-4:**



Korekce součinitele prostupu tepla:	$\Delta U$	0,020	W/(m <sup>2</sup> .K)
Odpor při prostupu tepla:	$R_T$	7,409	m <sup>2</sup> .K/W
<b>Součinitel prostupu tepla:</b>	<b>U</b>	<b>0,135</b>	<b>W/(m<sup>2</sup>.K)</b>
Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla:	$U_N$	0,24	W/(m <sup>2</sup> .K)
Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla:	$U_{rec}$	0,16	W/(m <sup>2</sup> .K)

**Hodnocení:** Konstrukce STR-4: Střecha splňuje doporučení ČSN 73 0540-2:2011 na součinitel prostupu tepla.

**Teplotní faktor vnitřního povrchu (vnitřní povrchová teplota) dle ČSN 73 0540-4:**



Teplotní faktor vnitřního povrchu:	$f_{Rsi}$	0,967	-
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:	$f_{Rsi,N,80}$	0,744	-
Povrchová teplota konstrukce:	$\theta_{si}$	18,8	°C
Požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce:	$\theta_{si,min,80}$	11,0	°C

**Hodnocení:** Konstrukce STR-4: Střecha splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na teplotní faktor vnitřního povrchu.

**Teplotní faktor vnitřního povrchu dle ČSN EN ISO 13788:**



Požadované hodnoty pro jednotlivé měsíce:

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\theta_{si,min,80}$ [°C]	6,96	8,13	9,93	12,95	15,52	17,60	18,26	18,19	15,74	12,82	9,87	8,26
$f_{Rsi,min,80}$ [-]	0,413	0,418	0,389	0,359	0,321	0,227	0,132	0,136	0,324	0,359	0,390	0,419

Pozn.:  $\theta_{si,min,80}$  ... požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce;  $f_{Rsi,min,80}$  ... požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu.





Kritický měsíc:		12	-
Teplotní faktor vnitřního povrchu:	$f_{Rsi}$	0,967	-
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:	$f_{Rsi,N,80}$	0,419	-

**Hodnocení:** Konstrukce STR-4: Střecha splňuje požadavek ČSN EN ISO 13788 na teplotní faktor vnitřního povrchu.

**Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN EN ISO 13788:**



Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:	aktivní
<b>Hodnocení:</b>	Konstrukce bez vnitřní kondenzace.

<b>Vyhodnocení rizika ohrožení dřevěných prvků v konstrukci:</b>				
Vrstva s materiálem na bázi dřeva	4	ISOVER Woodsil		
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:				
V místech s materiálem na bázi dřeva dochází ke kondenzaci	NE			
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:				
Maximální vlhkost vzduchu v místě materiálu na bázi dřeva	$\varphi_a$	80	%	
Teplota v místě maximální vlhkosti	$\theta$	-2,1	°C	
Kritická relativní vlhkost vzduchu	$\varphi_{cr}$	82	%	
Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva přesáhne 18%	NE			
<b>Hodnocení :</b>	V místech s materiálem na bázi dřeva nedochází v návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva nepřekročí 18%.			
<b>Vyhodnocení konstrukce nad podhledem:</b>				
Hodnocené rozhraní	1 - 2			
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:				
Nad konstrukcí podhledu dochází ke kondenzaci vodní páry	NE			
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:				
Relativní vlhkost vzduchu na spodním líci konstrukce nad podhledem	$\varphi_a$	36	%	
Maximální relativní vlhkost vzduchu pro zabránění růstu plísní	$\varphi_{cr}$	80	%	
Nad konstrukcí podhledu hrozí riziko růstu plísní	NE			
<b>Hodnocení :</b>	V konstrukci nad podhledem nedochází při návrhových okrajových podmínkách ke kondenzaci vodní páry. Nad konstrukcí podhledu nehrozí při průměrných návrhových podmínkách riziko růstu plísní.			
<b>Vyhodnocení rizika kondenzace na vnitřním povrchu vrstvy:</b>				
Hodnocená vrstva	2	ISOCELL AirSTOP Sd50		
Hodnocení při extrémních návrhových podmínkách:				
Na vnitřním povrchu konstrukce dochází ke kondenzaci vodní páry	NE			
Hodnocení při průměrných návrhových podmínkách:				
Na vnitřním povrchu konstrukce dochází ke kondenzaci vodní páry	NE			
<b>Hodnocení:</b>	Na vnitřním povrchu vrstvy nedochází ke kondenzaci vodní páry.			
<b>Pokles dotykové teploty dle ČSN 73 0540-4:</b>				
Tepelná jímavost	B	226,8	W.s <sup>0,5</sup> /(m <sup>2</sup> .K)	
Pokles dotykové teploty:	$\Delta\theta_{10}$	2,27	°C	
<b>Poznámka ke konstrukci:</b>				
-				

PDL(z)-5: Podlaha na zemině													
Vnitřní konstrukce:											NE		
Charakter konstrukce:											Podlaha (tepelný tok dolů)		
Konstrukce dvouplášťová s větranou vzduchovou vrstvou:											NE		
Konstrukce ve styku se zeminou:											ANO (podlaha na terénu)		
Součinitel prostupu tepla stanoven:											výpočtem		
<b>Skladba konstrukce od interiéru:</b>													
č.	Název vrstvy	Tloušťka vrstvy	Součinitel tepelné vodivosti		Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost	Faktor difuzního odporu						
			$\lambda$	$\lambda_{ekv}$				$c$	$\rho$	$\mu$			
-	-	[m]	[W/(m.K)]		[J/(kg.K)]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[-]						
1	Lepené vinylové dílce	0,0020	0,200	-	1 100	1 380	10 000,0						
2	betonová mazanina	0,0050	1,300	-	1 020	2 200	20,0						
3	Beton hutný (2300)	0,0800	1,360	-	1 020	2 300	23,0						
4	Separáční PE fólie	0,0002	0,350	-	1 470	925	100 000,0						
5	Polystyren pěnový, EPS (60)	0,2000	0,035	-	1 500	53	67,0						
6	SBS modifikovaný asfaltový pás	0,0040	0,210	-	1 470	1 200	2 500,0						
7	Železobeton (2400)	0,1500	1,580	-	1 020	2 400	29,0						
8	Štěrk	0,2000	0,750	-	800	1 650	14,0						
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						$R_{si}$	0,25	0,17	m <sup>2</sup> .K/W				
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						$R_{se}$	0,00	0,00	m <sup>2</sup> .K/W				
<b>Okrajové podmínky:</b>													
Návrhová vnitřní teplota						$\theta_i$	20,0	°C					
Návrhová teplota vnitřního vzduchu:						$\theta_{ai}$	20,0	°C					
Relativní vlhkost vnitřního vzduchu:						$\varphi_i$	50	%					
Bezpečnostní vlhkostní přírážka:						$\Delta\varphi_i$	5	%					
Návrhová teplota venkovního vzduchu:						$\theta_e$	-15,0	°C					
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu:						$\varphi_e$	84	%					
Nadmořská výška budovy (terénu):						$h$	311	m.n.m.					
Návrhová teplota zeminy v zimním období						$\theta_{gr}$	5	°C					
Návrhová relativní vlhkost zeminy						$\varphi_{gr}$	100	%					
<b>Okrajové podmínky (průměrné měsíční):</b>													
Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
$n$	[-]	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$\theta_{gr,m}$	[°C]	4,2	3,2	4,1	6,0	8,8	11,0	12,7	13,3	13,2	11,1	8,7	6,0

$\varphi_{gr,m}$	[%]	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
$\theta_{i,m}$	[°C]	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
$\varphi_{i,m}$	[%]	34	37	42	51	60	69	72	71	61	51	42	37

Pozn.: n ... počet dnů v měsíci;  $\theta_{gr,m}$  ... návrhová průměrná měsíční teplota v zemině;  $\varphi_{gr,m}$  ... průměrná hodnota relativní vlhkosti v zemině;  $\theta_{i,m}$  ... průměrná návrhová vnitřní teplota;  $\varphi_{i,m}$  ... průměrná relativní vlhkost vnitřního vzduchu.

**Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2, ČSN EN ISO 6946 a ČSN 73 0540-4:**



Korekce součinitele prostupu tepla:	$\Delta U$	0,020	W/(m <sup>2</sup> .K)
Odpor při prostupu tepla:	$R_T$	5,625	m <sup>2</sup> .K/W
<b>Součinitel prostupu tepla:</b>	<b>U</b>	<b>0,178</b>	<b>W/(m<sup>2</sup>.K)</b>
Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla:	$U_N$	0,45	W/(m <sup>2</sup> .K)
Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla:	$U_{rec}$	0,30	W/(m <sup>2</sup> .K)

**Hodnocení:** Konstrukce PDL(z)-5: Podlaha na zemině splňuje doporučení ČSN 73 0540-2:2011 na součinitel prostupu tepla.

**Teplotní faktor vnitřního povrchu (vnitřní povrchová teplota) dle ČSN 73 0540-4:**



Teplotní faktor vnitřního povrchu:	$f_{Rsi}$	0,956	-
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:	$f_{Rsi,N,80}$	0,402	-
Povrchová teplota konstrukce:	$\theta_{si}$	19,3	°C
Požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce:	$\theta_{si,min,80}$	11,0	°C

**Hodnocení:** Konstrukce PDL(z)-5: Podlaha na zemině splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na teplotní faktor vnitřního povrchu.

**Teplotní faktor vnitřního povrchu dle ČSN EN ISO 13788:**





Požadované hodnoty pro jednotlivé měsíce:

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\theta_{si,min,80}$ [°C]	6,96	8,13	9,93	12,95	15,52	17,60	18,26	18,19	15,74	12,82	9,87	8,26
$f_{Rsi,min,80}$ [-]	0,177	0,295	0,368	0,497	0,602	0,735	0,762	0,731	0,374	0,194	0,108	0,165

Pozn.:  $\theta_{si,min,80}$  ... požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce;  $f_{Rsi,min,80}$  ... požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu.

Kritický měsíc:		7	-
Teplotní faktor vnitřního povrchu:	$f_{Rsi}$	0,956	-
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:	$f_{Rsi,N,80}$	0,762	-

**Hodnocení:** Konstrukce PDL(z)-5: Podlaha na zemině splňuje požadavek ČSN EN ISO 13788 na teplotní faktor vnitřního povrchu.

Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN EN ISO 13788:														
Měsíc	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3		
1. rozhraní				Vzdálenost od vnitřního povrchu					x	0,2872	m			
$g_c$	[kg/m <sup>2</sup> ]	0,000	0,001	0,001	0,000	-0,000	-0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$M_a$	[kg/m <sup>2</sup> ]	0,000	0,001	0,002	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Povrchová kondenzace														
$M_a$	[kg/m <sup>2</sup> ]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Celkem														
$M_a$	[kg/m <sup>2</sup> ]	0,000	0,001	0,002	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Maximální roční množství zkondenzované vodní páry v konstrukci									$M_{c,N}$	0,240	kg/(m <sup>2</sup> .a)			
Maximální množství kondenzátu v konstrukci									$M_c$	0,002	kg/(m <sup>2</sup> .a)			
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:									aktivní					
<b>Hodnocení:</b>	V konstrukci dochází ke kondenzaci vodní páry v průběhu roku, která se v příznivějších měsících vypaří. Maximální množství kondenzátu splňuje požadavky ČSN 73 0540-2.													
<b>Pokles dotykové teploty dle ČSN 73 0540-4:</b>														
Kategorie podlahy									I. Velmi teplé					
Poznámka: Podlaha s povrchovou teplotou trvale vyšší než 26°C.														
<b>Poznámka ke konstrukci:</b>														
-														

### Souhrnná tabulka - součinitel prostupu tepla (Dle českých technických norem)

Konstrukce		Součinitel prostupu tepla			
		Dle českých technických norem			
Ozn.	Název	$U_N$	$U_{rec}$	U	Hod.
[-]	[-]	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[-]
STN-1	Obvodová stěna tl. 333 mm	0,30	0,20	0,149	x
STR-2	Strop nad garáží	0,75	0,50	0,260	x
STR-3	Strop nad přízemní částí	0,24	0,16	0,104	x
STR-4	Střecha	0,24	0,16	0,135	x
PDL(z)-5	Podlaha na zemině	0,45	0,30	0,178	x

Legenda:  
 ! ... nevyhovuje požadované hodnotě součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2  
 + ... vyhovuje požadované hodnotě součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2  
 x ... vyhovuje doporučené hodnotě součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2  
 U ... vypočtená hodnota součinitele prostupu tepla  
 $U_N$  ... požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2  
 $U_{rec}$  ... doporučená hodnota součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2

### Souhrnná tabulka - teplotní faktor vnitřního povrchu

Konstrukce		Teplotní faktor					
		ČSN 73 0540			ČSN EN ISO 13788		
Ozn.	Název	$f_{Rsi,N}$	$f_{Rsi}$	Hod.	$f_{Rsi,N}$	$f_{Rsi}$	Hod.
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
STN-1	Obvodová stěna tl. 333 mm	0,744	0,963	+	0,419	0,963	+
STR-2	Strop nad garáží	0,776	0,935	+	0,419	0,935	+
STR-3	Strop nad přízemní částí	0,744	0,974	+	0,419	0,974	+
STR-4	Střecha	0,744	0,967	+	0,419	0,967	+
PDL(z)-5	Podlaha na zemině	0,402	0,956	+	0,762	0,956	+

Legenda:  
 ! ... nevyhovuje požadované hodnotě  
 + ... vyhovuje požadované hodnotě

### Souhrnná tabulka - šíření vodní páry v konstrukci

Konstrukce		Šíření vodní páry							
		ČSN 73 0540				ČSN EN ISO 13788			
Ozn.	Název	$M_c$	$M_{c,N}$	Hod.	Bil.	$M_c$	$M_{c,N}$	Hod.	Bil.
[-]	[-]	[kg/(m <sup>2</sup> .a)]	[kg/(m <sup>2</sup> .a)]	[-]	[-]	[kg/(m <sup>2</sup> .a)]	[kg/(m <sup>2</sup> .a)]	[-]	[-]
STN-1	Obvodová stěna tl. 333 mm	-	-	-	-	0,000	0,100	+	+
STR-2	Strop nad garáží	-	-	-	-	0,000	0,100	+	+

### Souhrnná tabulka - šíření vodní páry v konstrukci

Konstrukce		Šíření vodní páry							
		ČSN 73 0540				ČSN EN ISO 13788			
Ozn.	Název	$M_C$	$M_{C,N}$	Hod.	Bil.	$M_C$	$M_{C,N}$	Hod.	Bil.
[-]	[-]	[kg/(m <sup>2</sup> .a)]	[kg/(m <sup>2</sup> .a)]	[-]	[-]	[kg/(m <sup>2</sup> .a)]	[kg/(m <sup>2</sup> .a)]	[-]	[-]
STR-3	Strop nad přízemní částí	-	-	-	-	0,000	0,100	+	+
STR-4	Střecha	-	-	-	-	0,000	0,100	+	+
PDL(z)-5	Podlaha na zemině	-	-	-	-	0,002	0,240	+	+

Legenda:  
! ... nevyhovuje požadované hodnotě / pasivní bilance kondenzace a vypařování  
+ ... vyhovuje požadované hodnotě / aktivní bilance kondenzace a vypařování  
Poznámka: V tabulce jsou uvedeny pouze základní posouzení. Některé další požadavky (např. vlhkost v místě zabudovaného dřeva) jsou hodnoceny v podrobném protokolu.

### Souhrnná tabulka - doplňková hodnocení

Konstrukce		Dřevěné prvky		Podhled		Vnitřní povrch vrstvy	
Ozn.	Název	$\varphi_{extr}$	$u_{prům}$	$\varphi_{extr}$	$\varphi_{prům}$	$\varphi_{extr}$	$\varphi_{prům}$
[-]	[-]	max.99%	max.18%	max.99%	max.80%	max.99%	max.99%
STN-1	Obvodová stěna tl. 333 mm	+	+	-	-	-	-
STR-2	Strop nad garáží	+	+	+	+	+	+
STR-3	Strop nad přízemní částí	+	+	+	+	+	+
STR-4	Střecha	+	+	+	+	+	+

Legenda:  
! ... překračuje maximální hodnotu  
+ ... nepřekračuje maximální hodnotu  
Poznámka: V tabulce jsou uvedeny pouze výsledky nejhorší z vybraných vrstev. Výsledky pro zbylé vrstvy jsou uvedeny v protokolu.

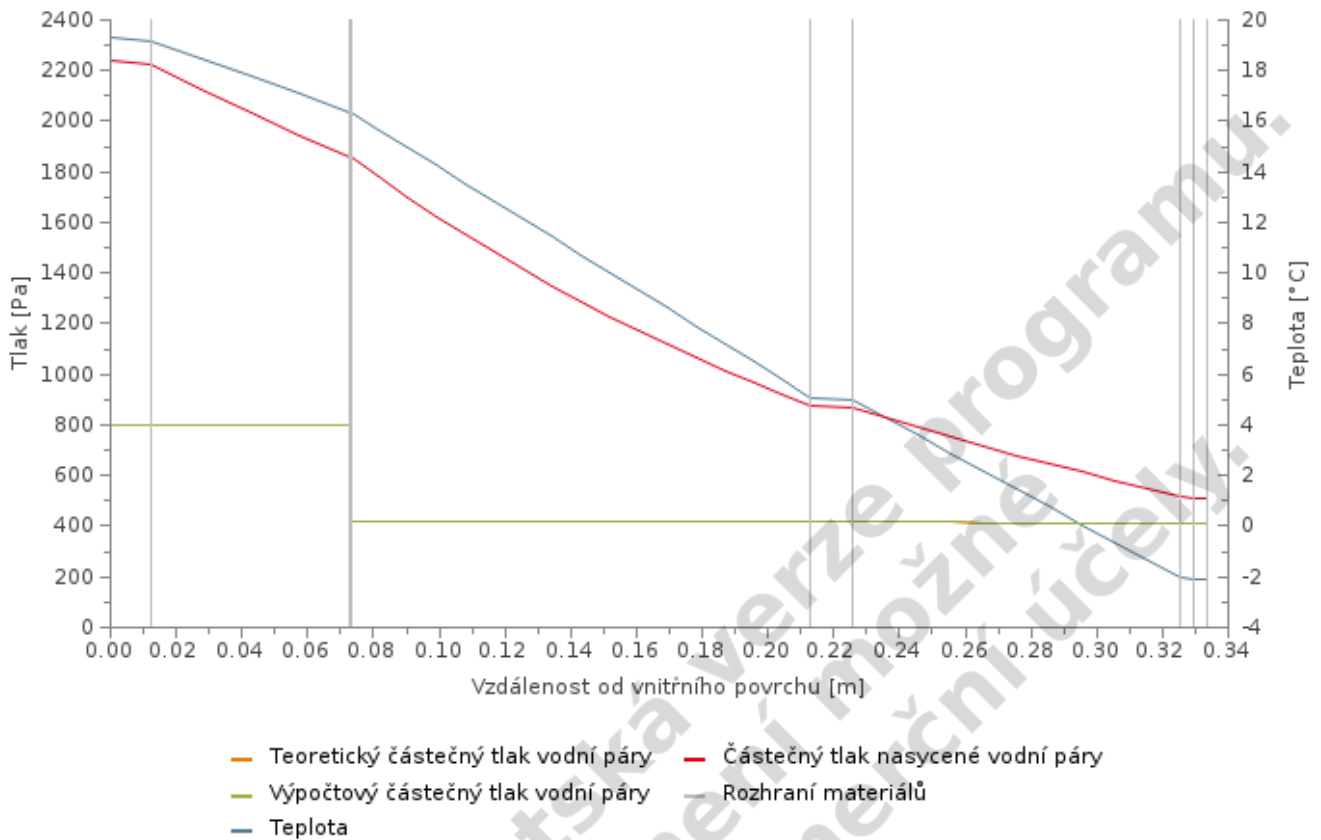
### Souhrnná tabulka - pokles dotykové teploty

Konstrukce		Pokles dotykové teploty		
		ČSN 73 0540-2		
Ozn.	Název	B	$\Delta\theta_{10}$	Kat.
[-]	[-]	[W.s <sup>0,5</sup> /(m <sup>2</sup> .K)]	[°C]	[-]
STN-1	Obvodová stěna tl. 333 mm	238,3	2,41	-
STR-2	Strop nad garáží	488,5	4,09	-
STR-3	Strop nad přízemní částí	231,7	2,30	-
STR-4	Střecha	226,8	2,27	-
PDL(z)-5	Podlaha na zemině	-	-	I.



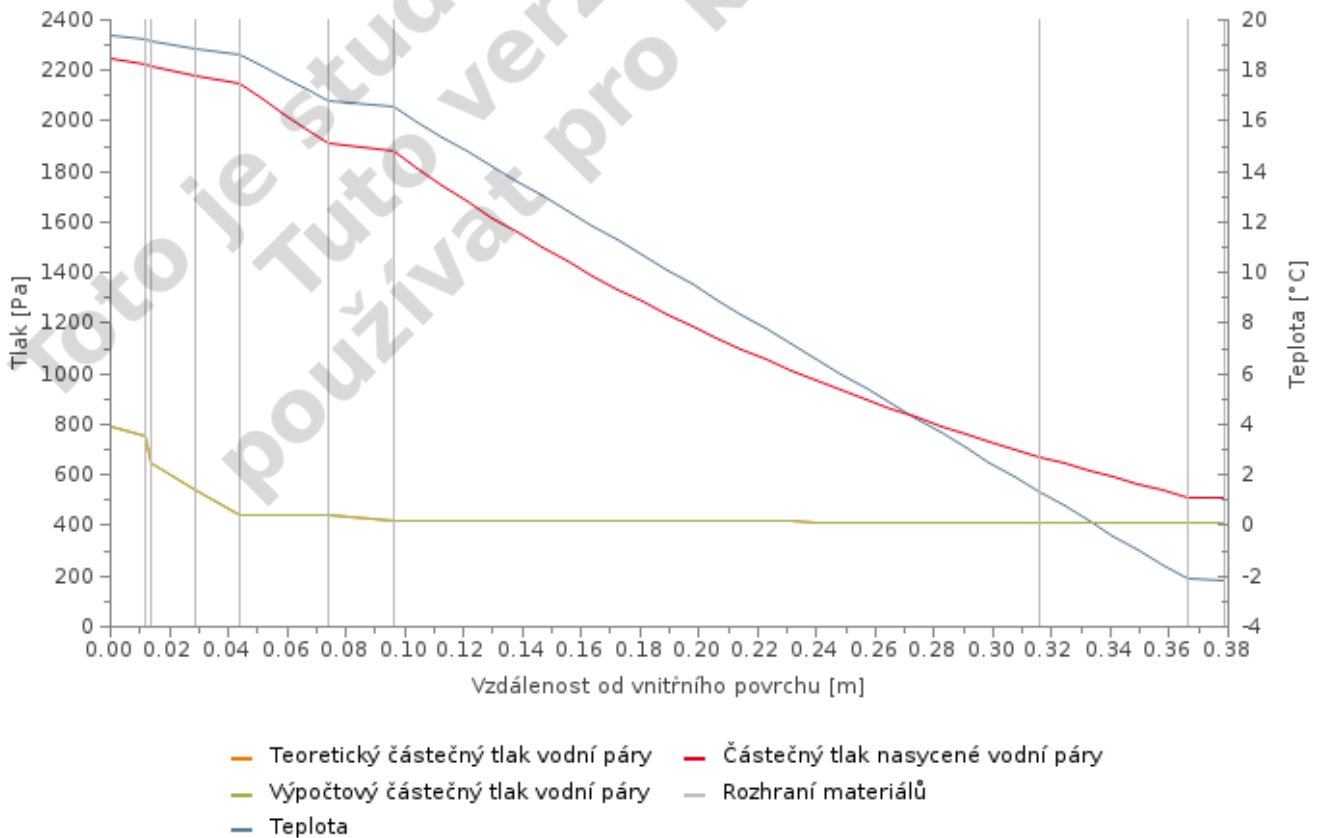
### STN-1 - Obvodová stěna tl. 333 mm

Průběh tlaků vodní páry a teploty v konstrukci - leden



### STR-2 - Strop nad garáží

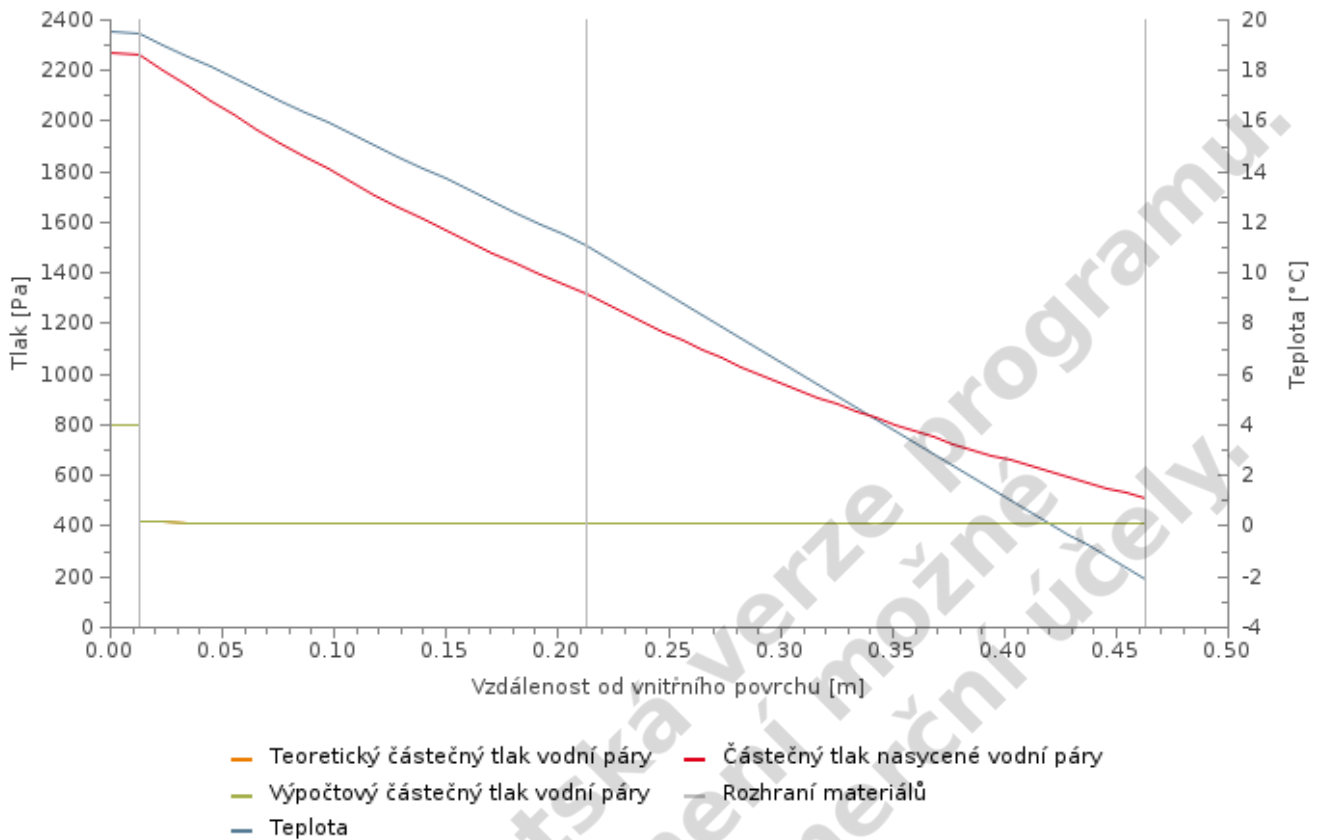
Průběh tlaků vodní páry a teploty v konstrukci - leden





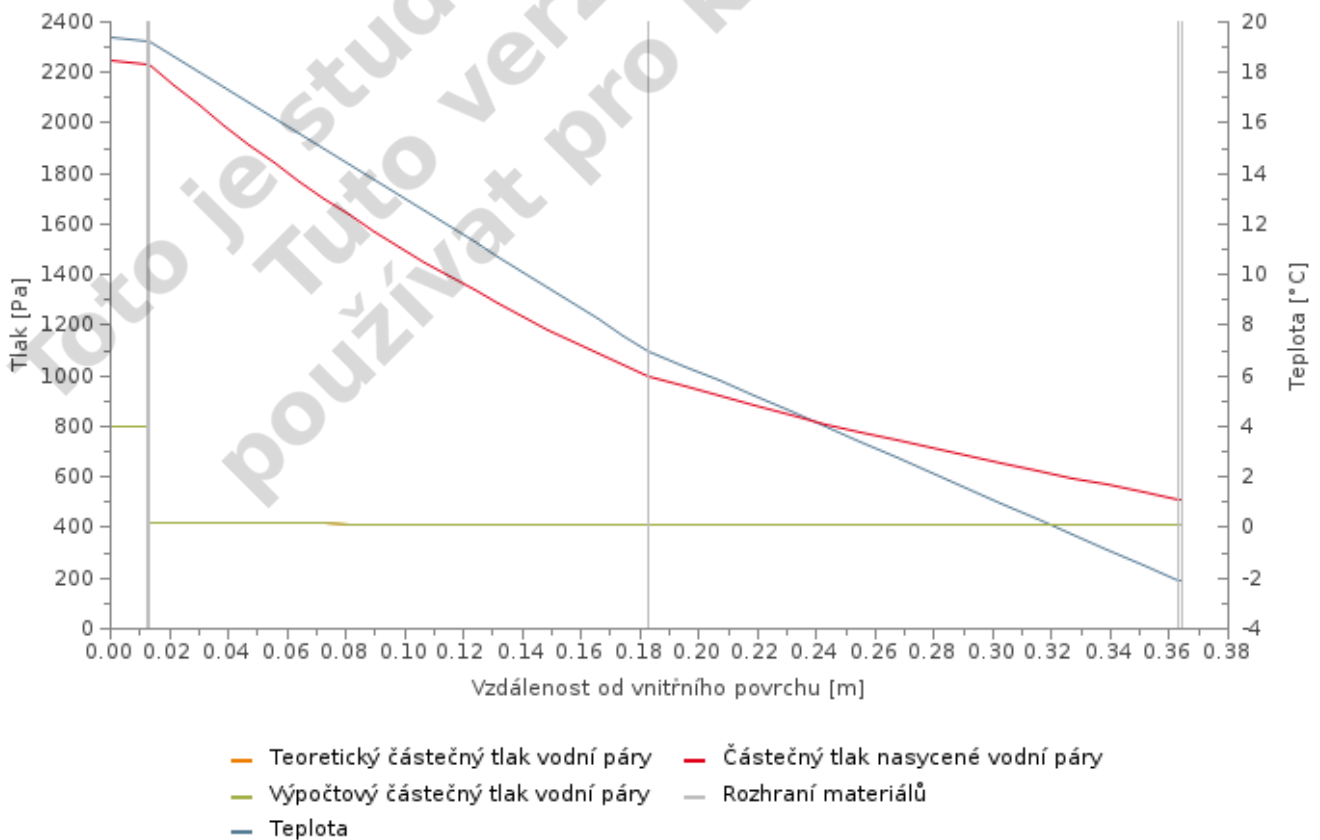
### STR-3 - Strop nad přízemní částí

Průběh tlaků vodní páry a teploty v konstrukci - leden



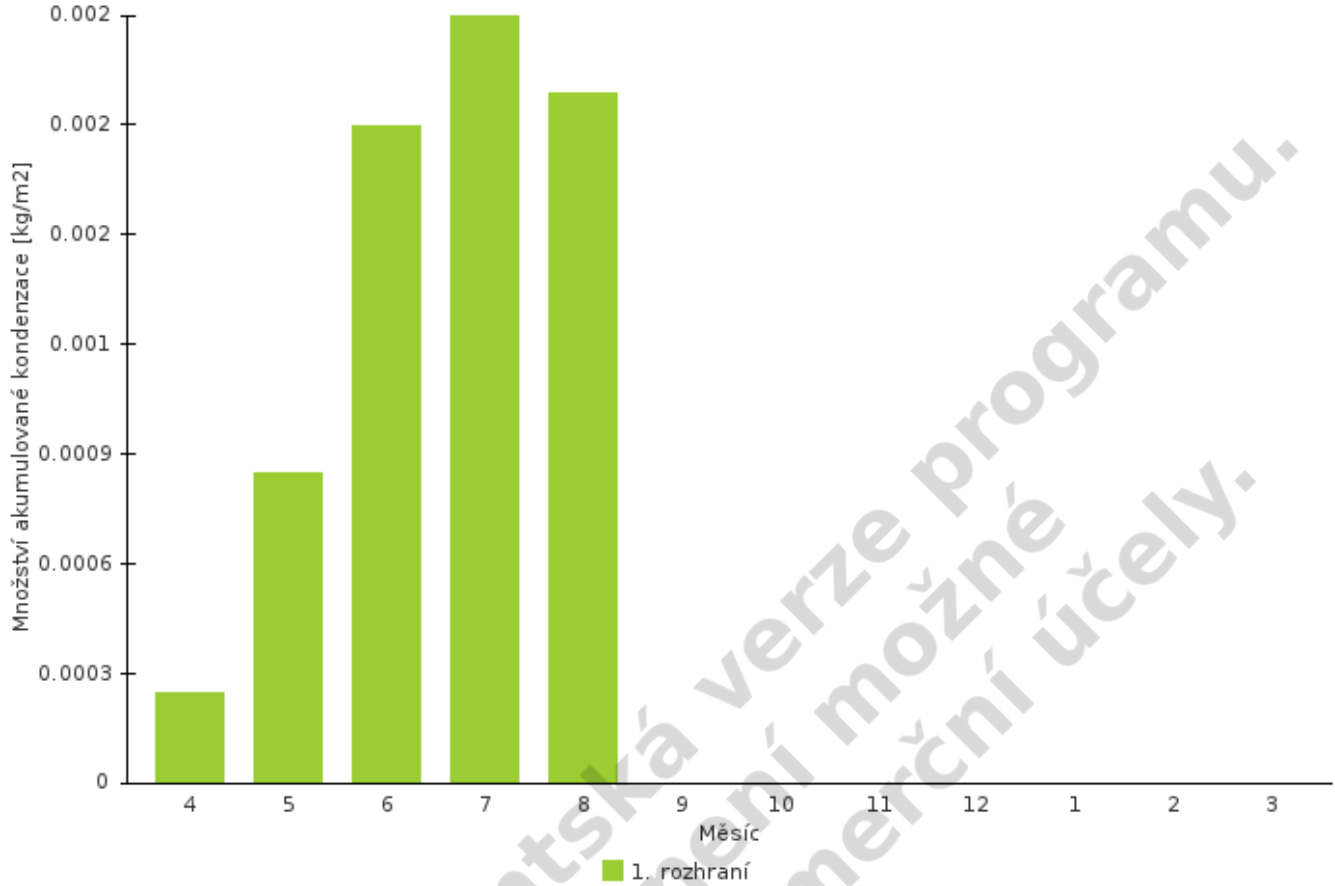
### STR-4 - Střecha

Průběh tlaků vodní páry a teploty v konstrukci - leden

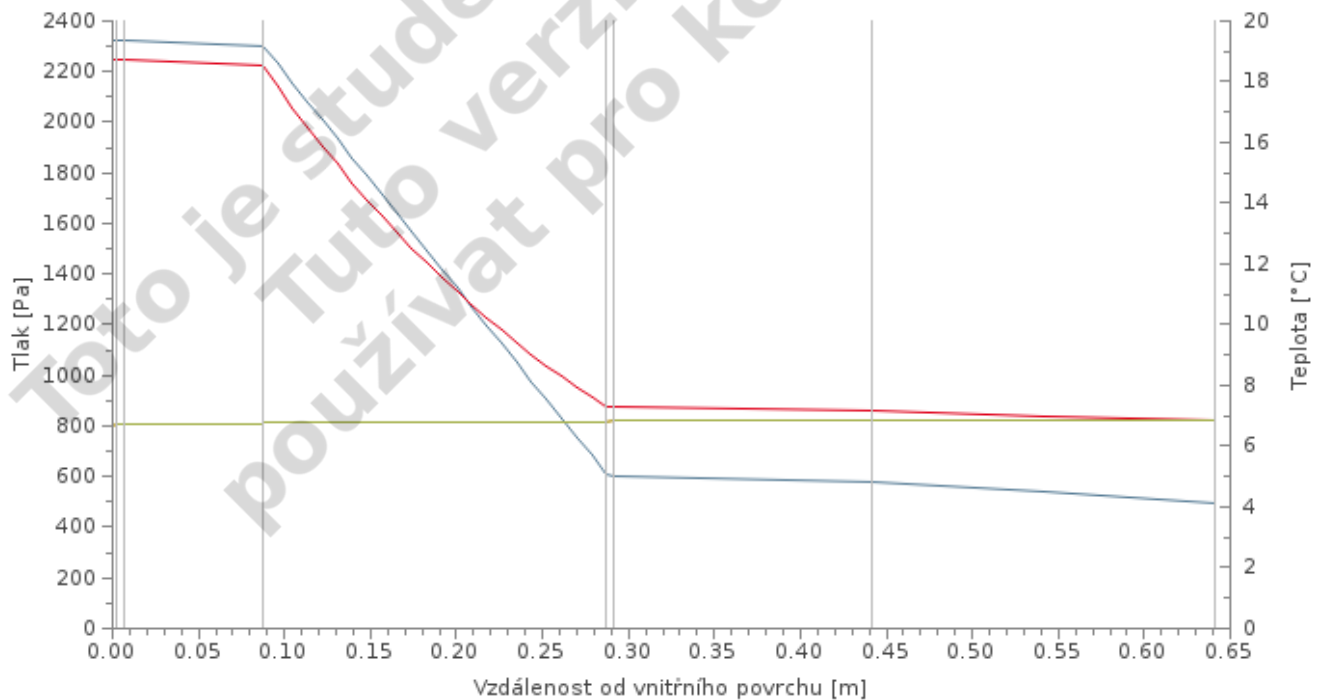


PDL(z)-5 - Podlaha na zemině

Měsíční akumulace zkondenzované vlhkosti na rozhraní

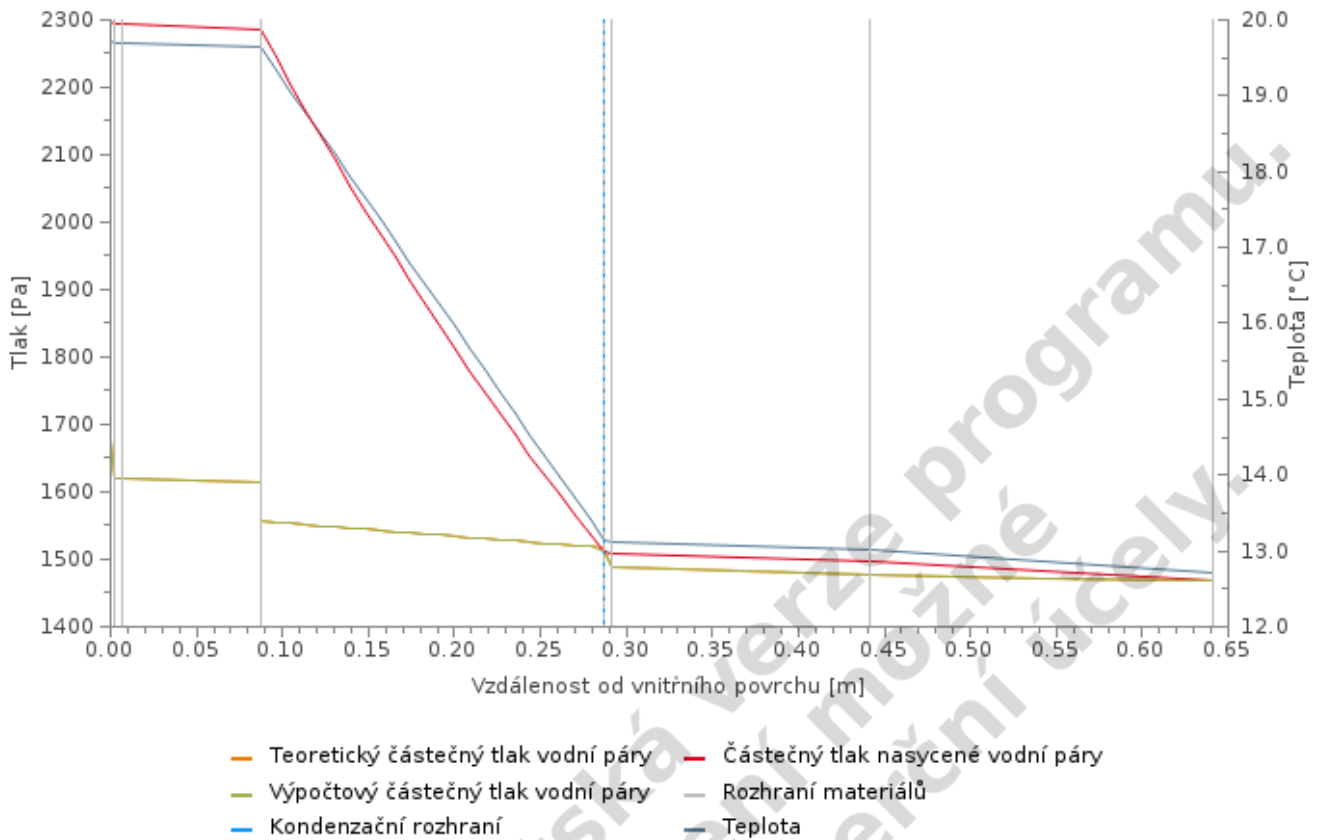


Průběh tlaků vodní páry a teploty v konstrukci - leden



- Teoretický částečný tlak vodní páry
- Výpočtový částečný tlak vodní páry
- Částečný tlak nasycené vodní páry
- Teplota
- Rozhraní materiálů

Průběh tlaků vodní páry a teploty v konstrukci - červenec



## Příloha č. 2 - Statické posouzení vybraných prvků

### 1. Statický návrh krokve

#### Charakteristické hodnoty dle ČSN EN 338 pro konstrukční dřevo:

Pevnost C 24

Třída provozu 2 (vlhkost provozu  $\leq 85\%$ )

Pevnost v ohybu:  $f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$

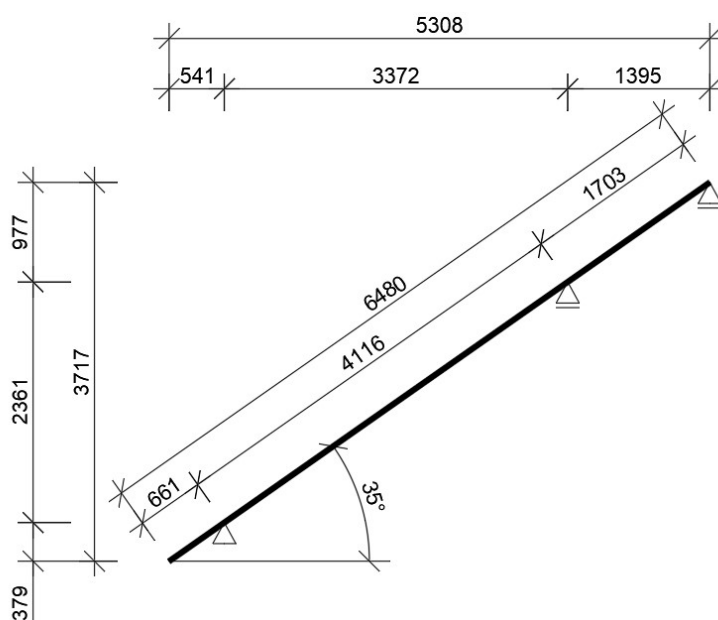
Pevnost ve smyku:  $f_{v,k} = 4,0 \text{ MPa}$

Modifikační součinitel v závislosti na vlhkosti a době zatížení:  $k_{mod} = 0,8$

Součinitel materiálu a únosnosti pro rostlé dřevo:  $\gamma_M = 1,3$

Modul pružnosti rovnoběžně s vlákny:  $E_{mean} = 11 \text{ GPa}$

Součinitel dotvarování:  $k_{def} = 0,8$



Statické schéma krokve



Skladba střešního pláště

## Zatížení stálé

Název vrstvy	Tíha vrstvy [kN/m <sup>3</sup> ]	Průřez [m <sup>2</sup> ]	Zatížení [kN/m']
Krytina	-	-	0,450
Latě	4,6	0,0072	0,033
Kontralatě	4,6	0,0024	0,011
Jutadach 150	2,5	0,0006	0,002
TI Woodsil mezi krokve	0,37	0,180	0,067
TI Woodsil pod krokve	0,37	0,170	0,063
Sádrokartonový podhled včetně AL roštu	-	-	0,3
Vlastní tíha krokve	5	0,018	0,09
<b>Celkem stálé zatížení q<sub>k</sub></b>	-	-	<b>1,016</b>

Charakteristické zatížení stálé:  $q_k = 1,016 \text{ kN/m'}$

Součinitel pro stálé zatížení:  $\gamma_q = 1,3$

Návrhové zatížení stálé se stanoví ze vzorce

$$q_d = q_k \times \gamma_q$$

$$q_d = 1,016 \times 1,3$$

$$q_d = \underline{1,321 \text{ kN/m'}}$$

## Užitné zatížení

Dle ČSN EN 1991-1-1, Eurokód 1, je pro navrženou střechu zvolena střední hodnota užitného zatížení z kategorie H: spojitě zatížení  $q_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$ .

Kategorie	Použití	Popis	$q_k$ [kNm <sup>-2</sup> ]	$Q_k$ [kN]
H	Střechy nepřístupné s výjimkou údržby a oprav		0 - 1.0	0.9 - 1.5

## Zatížení sněhem

Zatížení se stanoví podle vzorce:

$$s = \mu_i \times C_e \times C_t \times s_k$$

$\mu_i$  – tvarový součinitel zatížení sněhem

$C_e$  – součinitel expozice

$C_t$  – tepelný součinitel (zpravidla roven 1)

$s_k$  – charakteristická hodnota zatížení sněhem na zem dle sněhové mapy

Tvarový součinitel  $\mu_i$  se stanoví dle vztahu uvedeného v tabulce níže pro konkrétní sklon střechy, v našem případě 35 °.

Úhel sklonu střechy	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1$	0,8	$0,8 (60 - \alpha) / 30$	0,0
$\mu_2$	$0,8 + 0,8\alpha / 30$	1,6	---

$$\mu_i = 0,8 \times (60 - 35) / 30$$

$$\mu_i = 0,667$$

Součinitel expozice  $C_e$  se stanoví dle charakteru okolní krajiny. V našem případě se jedná o normální typ krajiny, proto hodnota  $C_e$  bude uvažována 1.

0,8 - Otevřený typ krajiny, rovná plocha bez překážek, otevřená do všech stran, nechráněná okolním terénem, vyššími stavbami nebo stromy

1,0 - Normální typ krajiny, plochy, kde nedochází na stavbách k výraznému přemístění sněhu

1,2 - Chráněný typ krajiny, plochy, kde je uvažovaná stavba výrazně nižší než okolní

terén, stavby či stromy

Hodnota zatížení sněhem na zemi se stanoví ze sněhové mapy, kde je patrné že navrhovaný objekt se nachází v kategorii II, tedy jeho charakteristická hodnota  $s_k = 1$ .

Oblast	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Charakteristická hodnota $s_k$ [kPa]	0,7	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	>4,0 <sup>*)</sup>

\*) Charakteristickou hodnotu určí příslušná pobočka Českého hydrometeorologického ústavu

Vypracoval Český hydrometeorologický ústav

Po dosazení do vzorce získáváme

$$s = 0,667 \times 1 \times 1 \times 1$$

$$s = 0,667 \text{ kN/m}^2$$

## Zatížení větrem

Pro stanovení tlaku větru na konstrukci je potřeba stanovit tlak větru na vnější povrchy  $W_e$ .

$$W_e = q_{pe}(z_e) \times C_{pe}$$

kde  $q_{pe}$  - maximální dynamický tlak  $Nm^{-2}$

$C_{pe}$  – součinitel expozice, z grafu pro objekt do výšky 10 m, v kategorii IV v zastavěném území = 1,18

$$q_{pe} = q_b \times C_e(z)$$

kde  $q_b$  – základní tlak větru  $Nm^{-2}$

$$q_b = \frac{1}{2} \rho \times v_b^2$$

kde  $\rho$  – hustota vzduchu, většinou  $1,25 \text{ kg/m}^3$

$v_b$  – výchozí rychlost větru, dle větrné mapy se navrhovaný objekt nachází v oblasti II, tedy  $v_b = 25 \text{ m/s}$

Oblast	I	II	III	IV	V
Výchozí základní rychlost větru $v_{b,e}$ [m/s]	22,5	25	27,5	30	36 <sup>*)</sup>

\*) Charakteristickou hodnotu určí příslušná pobočka Českého hydrometeorologického ústavu

Vypracoval Český hydrometeorologický ústav v roce 2006

$$q_b = \frac{1}{2} 1,25 \times 25^2$$

$$q_b = 390,63 \text{ N.m}^{-2}$$

$$q_{pe} = 390,63 \times 1$$

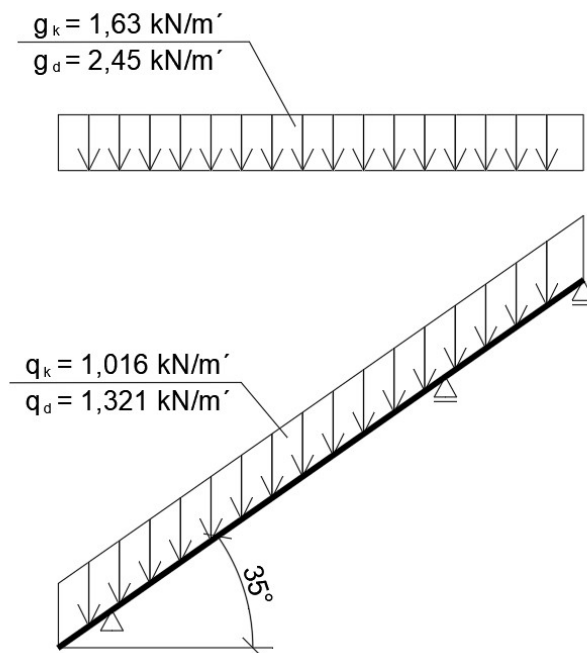
$$q_{pe} = 390,63 \text{ N.m}^{-2}$$

$$W_e = 390,63 \times 1,18$$

$$\underline{W_e = 460,94 \text{ N.m}^{-2} = 0,46 \text{ kN/m}^2}$$

Užitné zatížení			
Název	Charakteristické zatížení $g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Součinitel pro užitné zatížení $\gamma_g$	Návrhové zatížení $g_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Nahodilé kat. H	0,50	1,5	0,75
Sníh	0,67		1,00

Vítr	0,46		0,69
<b>Celkem</b>	<b>1,63</b>	-	<b>2,45</b>



Statické schéma krokve s vykresleným zatížením

Ze statického schématu krokve s vykresleným působením stálého a užitného, klimatického zatížení je patrná rozdílná povaha působení zatížení na prvek, čímž nelze hodnoty sčítat. Proto je potřeba převést zatížení užitné z vodorovné složky na šikmou pomocí trigonometrických funkcí. Šikmý průmět užitného zatížení bude označena písmenem „s“. Pro přepočet použijeme vztah odvozený z pravoúhlého trojúhelníku a to:

$$g_{ks} = g_k \times \cos 35^\circ$$

$$g_{ks} = 1,63 \times 0,819$$

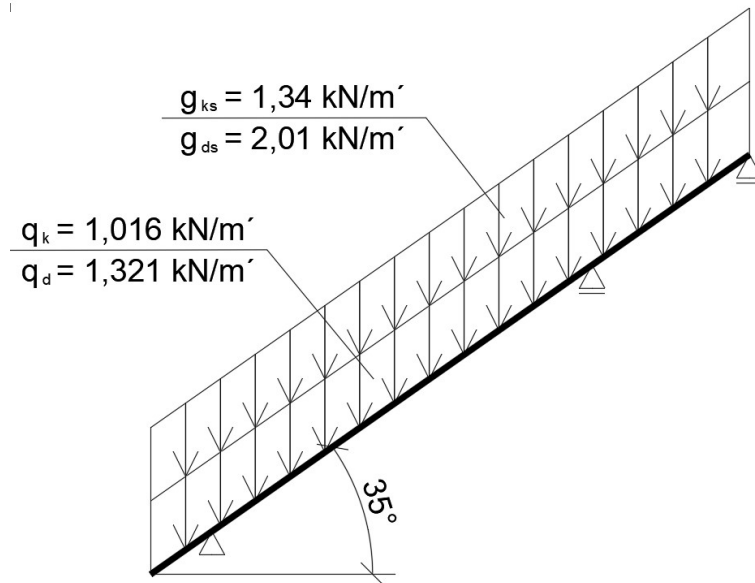
$$\underline{g_{ks} = 1,34 \text{ kN/m'}}$$

$$g_{ds} = g_d \times \cos 35^\circ$$

$$g_{ds} = 2,45 \times 0,819$$

$$\underline{g_{ds} = 2,01 \text{ kN/m'}}$$





Statické schéma krokve s převedeným zatížením působícím na šikmém nosníku

### Celkové zatížení charakteristické $f_k$ a návrhové $f_d$

$$f_k = q_k + g_{ks}$$

$$f_k = 1,016 + 1,34$$

$$\underline{f_k = 2,36 \text{ kN/m'}}$$

$$f_d = q_d + g_{ds}$$

$$f_d = 1,321 + 2,01$$

$$\underline{f_d = 3,33 \text{ kN/m'}}$$

Přepočet zatížení kolmo na zatěžovaný prvek

$$f_{k\perp} = f_k \times \cos \alpha$$

$$f_{k\perp} = 2,36 \times \cos 35^\circ$$

$$\underline{f_{k\perp} = 1,93 \text{ kN/m'}}$$

$$f_{d\perp} = f_d \times \cos \alpha$$

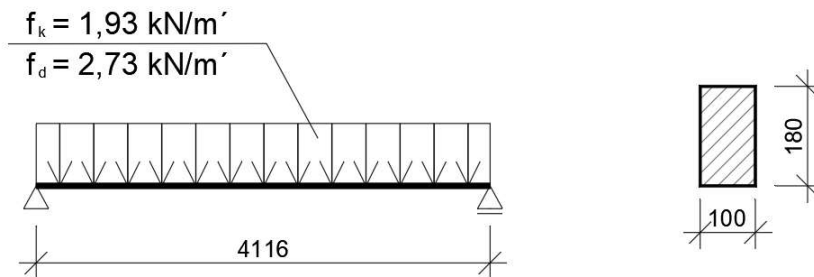
$$f_{d\perp} = 3,33 \times \cos 35^\circ$$

$$\underline{f_{d\perp} = 2,73 \text{ kN/m'}}$$

### Posouzení mezního stavu únosnosti

Pro posouzení bude nosník o třech polích, který je spojitý a staticky neurčitý zjednodušen na jediné pole o délce 4,116 metru, který je prostě podepřen. Zjednodušení odebere záporný moment v podporách, čímž je na

straně bezpečnosti. Posouzení únosnosti bude provedeno porovnáním vnitřního návrhového napětí  $\sigma$  a návrhové pevnosti posuzovaného prvku  $f_{md}$ .



Maximální ohybový moment

$$M_{\max} = 1/8 \times f_d \times l^2 \quad [\text{kNm}]$$

$$M_{\max} = 1/8 \times 2,73 \times 4,116^2$$

$$\underline{M_{\max} = 5,78 \text{ kNm}}$$

Průřezový modul

$$W_y = 1/6 \times b \times h^2 \quad [\text{m}^3]$$

$$W_y = 1/6 \times 0,1 \times 0,18^2$$

$$\underline{W_x = 0,54 \times 10^{-3} \text{ m}^3}$$

Moment setrvačnosti k ose y

$$I_y = 1/12 \times b \times h^3 \quad [\text{m}^4]$$

$$I_y = 1/12 \times 0,1 \times 0,18^3$$

$$\underline{I_y = 48,6 \times 10^{-6} \text{ m}^4}$$

Návrhové napětí v ohybu

$$\sigma_{md} = M_{\max} / W_y \quad [\text{Pa}]$$

$$\sigma_{md} = 5,78 / 0,54 \times 10^{-3}$$

$$\underline{\sigma_{md} = 10\,703 \text{ Pa}; 10,7 \text{ kPa}}$$

Návrhová pevnost v ohybu

$$f_{md} = k_{\text{mod}} \times f_{mk} / \gamma_m \quad [\text{Pa}]$$

$$f_{md} = 0,8 \times 24 \times 10^3 / 1,3$$

$$\underline{f_{md} = 14\,769 \text{ Pa}; 14,8 \text{ kPa}}$$

Posouzení

$$\sigma_{md} / f_{md} \leq 1$$

$$10,7 / 14,8 \leq 1$$

$$\underline{0,723 \leq 1} \rightarrow \text{NOSNÍK VYHOVUJE}$$

## Posouzení mezního stavu použitelnosti

Výpočtem se posuzuje povolený průhyb konstrukce, kde maximální stanovený průhyb je daný ČSN EN 1990 a je porovnán s okamžitým a konečným průhybem nosníku.

Okamžitý průhyb nosníku

$$W_{inst} = 5/384 \times (f_k \times l^4) / (E \times I_y) \quad [m]$$

$$W_{inst} = 5/384 \times (1,93 \times 4,116^4) / (11 \times 10^6 \times 48,6 \times 10^{-6})$$

$$W_{inst} = 0,013 \times 545,37 / 534,6$$

$$\underline{W_{inst} = 0,0132 \text{ m}}$$

Konečný průhyb nosníku

$$W_{fin} = W_{inst} \times (1 + k_{def}) \quad [m]$$

$$W_{fin} = 0,013 \times (1 + 0,8)$$

$$\underline{W_{fin} = 0,0238 \text{ m}}$$

Maximální dovolený okamžitý průhyb nosníku

$$W_{max,inst} = l / 300 \quad [m]$$

$$W_{max,inst} = 4,116 / 300$$

$$\underline{W_{max,inst} = 0,0137 \text{ m}}$$

Maximální dovolený konečný průhyb nosníku

$$W_{max,fin} = l / 150 \quad [m]$$

$$W_{max,fin} = 4,116 / 150$$

$$\underline{W_{max,fin} = 0,0274 \text{ m}}$$

Posouzení

$$W_{max,inst} \geq W_{inst}$$

$$\underline{0,0137 \geq 0,0132} \quad \rightarrow \quad \text{NOSNÍK VYHOVUJE}$$

$$W_{max,fin} \geq W_{fin}$$

$$\underline{0,0274 \geq 0,0238} \quad \rightarrow \quad \text{NOSNÍK VYHOVUJE}$$

## 2. Statický návrh vaznice

### Charakteristické hodnoty dle ČSN EN 338 pro konstrukční dřevo:

Pevnost C 24

Třída provozu 2 (vlhkost provozu  $\leq 85\%$ )

Pevnost v ohybu:  $f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$

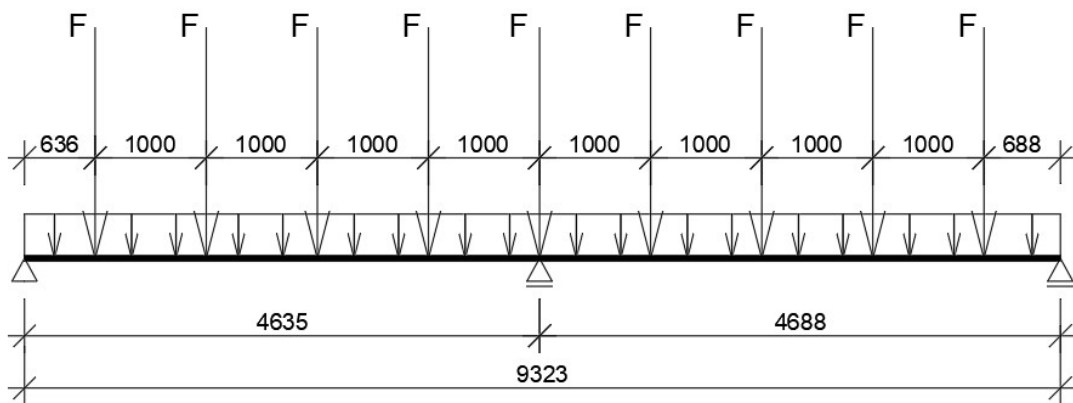
Pevnost ve smyku:  $f_{v,k} = 4,0 \text{ MPa}$

Modifikační součinitel v závislosti na vlhkosti a době zatížení:  $k_{mod} = 0,8$

Součinitel materiálu a únosnosti pro rostlé dřevo:  $\gamma_M = 1,3$

Modul pružnosti rovnoběžně s vlákny:  $E_{mean} = 11 \text{ GPa}$

Součinitel dotvarování:  $k_{def} = 0,8$



Statické schéma vaznice

### Zatížení stálé

Zatížení vaznice je složeno z vlastní tíhy vaznice a zatížení od krokví, které zahrnuje nahodilé a klimatické zatížení. Zatížení od krokví se ve statickém schématu projeví jako osamělé břemeno, o velikosti spojitého zatížení krokve v rozsahu viz schéma zatížení od krokve. Pro provedení výpočtu bude zatížení od krokví převedeno na zatížení spojité. Posouzení bude řešeno pouze pro jedno pole vaznice o délce 4,688 m z důvodu návrhu na straně bezpečnosti.

Zatížení od krokve

$$F_k = (q_k + g_k) \cdot l$$

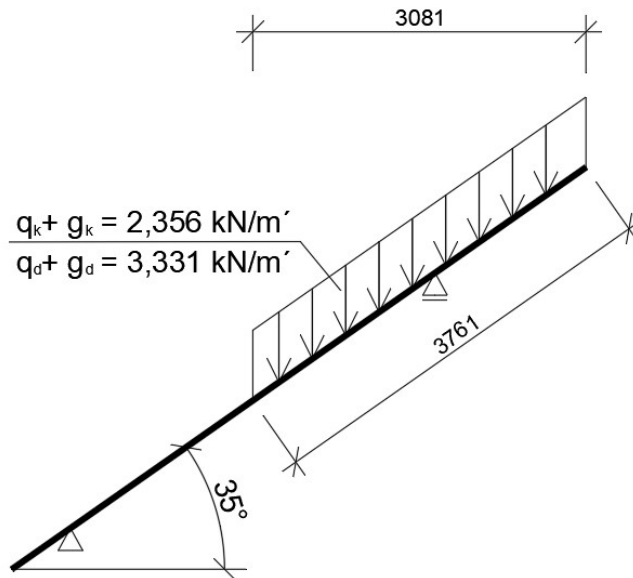
$$F_k = 2,356 \times 3,761$$

$$F_k = \underline{8,861 \text{ kN}}$$

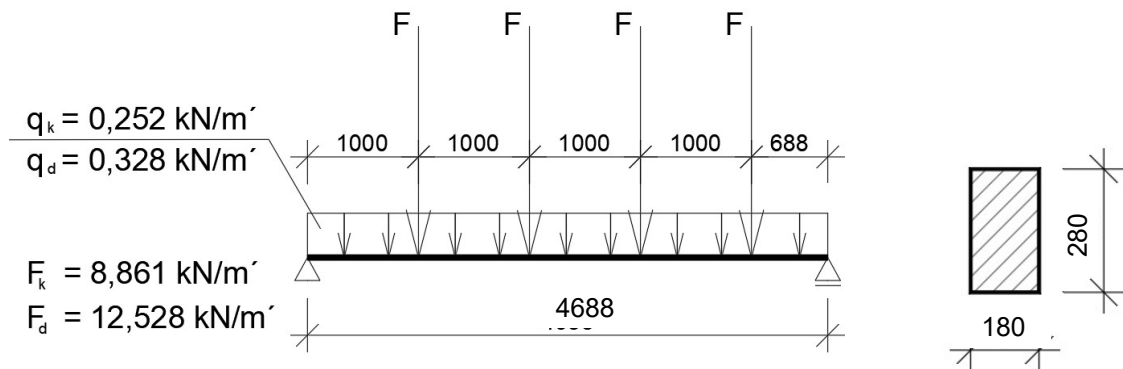
$$F_d = (q_k + g_k) \cdot l$$

$$F_d = 3,331 \times 3,761$$

$$F_d = 12,528 \text{ kN}$$



Statické schéma zatížení krokve přecházející do vaznice



Statické schéma zatížení vaznice krokvi v podobě osamělých břemen

Zatížení od krokve spojitě

$$f_{kk} = F_k \times 4 / l$$

$$f_{kk} = 8,861 \times 4 / 4,688$$

$$f_{kk} = 7,561 \text{ kN/m'}$$

$$f_{kd} = F_d \times 4 / l$$

$$f_{kd} = 12,528 \times 4 / 4,688$$

$$\underline{f_{kd} = 10,689 \text{ kN/m'}}$$

Název vrstvy	Tíha vrstvy [kN/m <sup>3</sup> ]	Průřez [m <sup>2</sup> ]	Zatížení [kN/m']
Vlastní tíha vaznice	5	0,05	0,252
Zatížení od krokví $f_{kk}$	-	-	7,561

Zatížení charakteristické celkem

$$\mathbf{f_k = q_k + g_k}$$

$$f_k = 0,252 + 7,561$$

$$\underline{f_k = 7,813 \text{ kN/m'}}$$

Součinitel pro stálé zatížení:  $\gamma_q = 1,3$

Návrhové zatížení stálé se stanoví ze vzorce

$$\mathbf{q_d = q_k \times \gamma_q}$$

$$q_d = 0,252 \times 1,3$$

$$\underline{q_d = 0,328 \text{ kN/m'}}$$

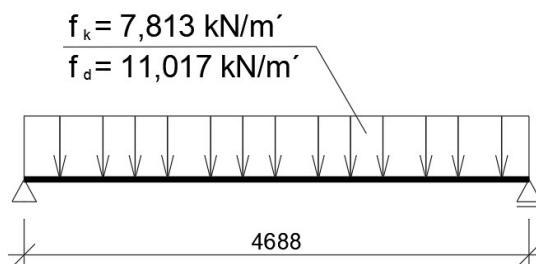
Zatížení návrhové celkem

$$\mathbf{f_d = q_d + f_{kd}}$$

$$f_d = 0,328 + 10,689$$

$$\underline{f_d = 11,017 \text{ kN/m'}}$$

**Posouzení mezního stavu únosnosti**

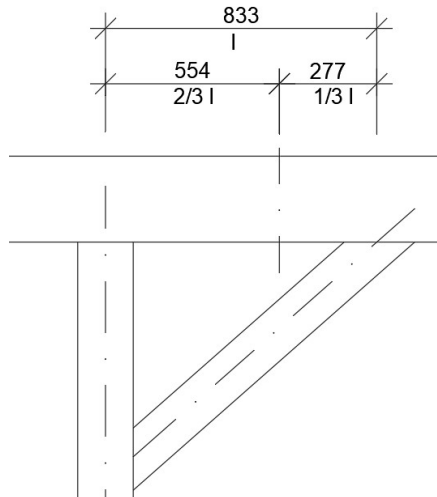


Šířka s vlivem pásků

$$\mathbf{L_0 = l - 0,554}$$

$$L_0 = 4,688 - 0,554$$

$$\underline{L_0 = 4,134 \text{ m}}$$



Znázornění vlivu pásků na statické působení krokve

Maximální ohybový moment

$$M_{\max} = 1/8 \times f_d \times l^2 \quad [\text{kNm}]$$

$$M_{\max} = 1/8 \times 11,017 \times 4,134^2$$

$$\underline{M_{\max} = 23,535 \text{ kNm}}$$

Průřezový modul

$$W_y = 1/6 \times b \times h^2 \quad [\text{m}^3]$$

$$W_y = 1/6 \times 0,18 \times 0,28^2$$

$$\underline{W_y = 2,352 \times 10^{-3} \text{ m}^3}$$

Moment setrvačnosti k ose y

$$I_y = 1/12 \times b \times h^3 \quad [\text{m}^4]$$

$$I_y = 1/12 \times 0,18 \times 0,28^3$$

$$\underline{I_y = 329,3 \times 10^{-6} \text{ m}^4}$$

Návrhové napětí v ohybu

$$\sigma_{\text{md}} = M_{\max} / W_y \quad [\text{Pa}]$$

$$\sigma_{\text{md}} = 23,535 / 2,352 \times 10^{-3}$$

$$\underline{\sigma_{\text{md}} = 10\,006 \text{ Pa}; 10,01 \text{ kPa}}$$

Návrhová pevnost v ohybu

$$f_{\text{md}} = k_{\text{mod}} \times f_{\text{mk}} / \gamma_m \quad [\text{Pa}]$$

$$f_{\text{md}} = 0,8 \times 24 \times 10^3 / 1,3$$

$$\underline{f_{\text{md}} = 14\,769 \text{ Pa}; 14,8 \text{ kPa}}$$

## Posouzení

$$\sigma_{md} / f_{md} \leq 1$$
$$10,01 / 14,8 \leq 1$$
$$\underline{0,676} \leq 1 \rightarrow \text{NOSNÍK VYHOVUJE}$$

## **Posouzení mezního stavu použitelnosti**

Okamžitý průhyb nosníku

$$W_{inst} = 5/384 \times (f_k \times l^4) / (E \times I_y) \quad [m]$$
$$W_{inst} = 5/384 \times (7,813 \times 4,134^4) / (11 \times 10^6 \times 329,3 \times 10^{-6})$$
$$W_{inst} = 0,013 \times 2\,281,92 / 3\,622,3$$
$$\underline{W_{inst} = 0,008 \text{ m}}$$

Konečný průhyb nosníku

$$W_{fin} = W_{inst} \times (1 + k_{def}) \quad [m]$$
$$W_{fin} = 0,008 \times (1 + 0,8)$$
$$\underline{W_{fin} = 0,014 \text{ m}}$$

Maximální dovolený okamžitý průhyb nosníku

$$W_{max,inst} = l / 300 \quad [m]$$
$$W_{max,inst} = 4,134 / 300$$
$$\underline{W_{max,inst} = 0,014 \text{ m}}$$

Maximální dovolený konečný průhyb nosníku

$$W_{max,fin} = l / 150 \quad [m]$$
$$W_{max,fin} = 4,134 / 150$$
$$\underline{W_{max,fin} = 0,0276 \text{ m}}$$

## Posouzení

$$W_{max,inst} \geq W_{inst}$$
$$\underline{0,014} \geq 0,008 \rightarrow \text{NOSNÍK VYHOVUJE}$$

$$W_{max,fin} \geq W_{fin}$$
$$\underline{0,0276} \geq 0,014 \rightarrow \text{NOSNÍK VYHOVUJE}$$



### 3. Statický návrh vnitřního překladu

**Charakteristické hodnoty dle ČSN EN 338 pro lepené lamelové dřevo:**

Pevnost GL32c

Třída provozu 2 (vlhkost provozu  $\leq 85\%$ )

Pevnost v ohybu:  $f_{m,k} = 32 \text{ MPa}$

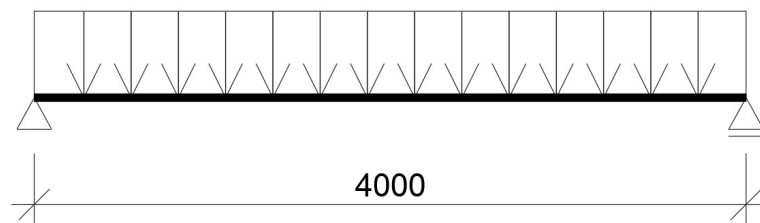
Pevnost ve smyku:  $f_{v,k} = 3,2 \text{ MPa}$

Modifikační součinitel v závislosti na vlhkosti a době zatížení:  $k_{mod} = 0,8$

Součinitel materiálu a únosnosti pro lepené lamelové dřevo:  $\gamma_M = 1,25$

Modul pružnosti rovnoběžně s vlákny:  $E_{mean} = 13,7 \text{ GPa}$

Součinitel dotvarování:  $k_{def} = 0,8$



Statické schéma překladu

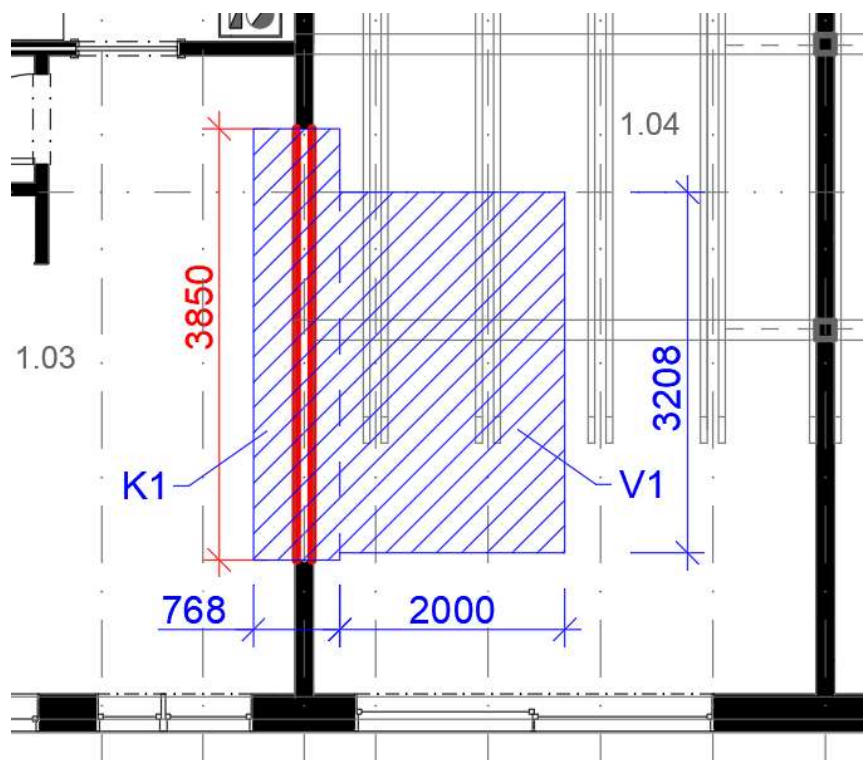


Schéma zatížení od střešní konstrukce působící na překlad, krokev K1, vaznice V1, červeně posuzovaný překlad P

## Uvažované rozpětí překladu I

Překlad je uložen minimálně  $a = 150$  mm na každé straně, pro statické posouzení bude jako podpora uvažován střed úložné plochy.

$$l = l_0 + 2 \times \left( \frac{1}{2} a \right)$$
$$l = 3,85 + 2 \times \left( \frac{1}{2} \times 0,150 \right)$$
$$l = \underline{4,0 \text{ m}}$$

## Zatížení od krokve K1

### Zatížení stálé

Zatížení střechy je převzato ze statického návrhu krokve. Je nutno uvažovat s rozdílem zatěžovací šířky. Pro konkrétní krokve K1 umístěnou nad překladem je zatěžovací šířka 0,768 m, proto bude zatížení zredukováno.

Název vrstvy	Zatížení char. [kN/m']	Zatěžovací šířka [m]	Zatížení char. [kN/m']
Krytina	0,45	0,768	0,346
Latě	0,033		0,025
Kontralatě	0,011		0,008
Jutadach 150	0,002		0,002
TI Woodsil mezi krokve	0,067		0,051
TI Woodsil pod krokve	0,063		0,048
Sádrokartonový podhled včetně AL roštu	0,3		0,234
Tíha krokve	0,09	-	0,09
<b>Stálé zatížení <math>q_{KK1}</math></b>	-	-	<b>0,804</b>

$$q_{dK1} = q_{KK1} \times \gamma_q$$
$$q_{dK1} = 0,804 \times 1,3$$
$$q_{dK1} = \underline{1,045 \text{ kN/m'}}$$

## Zatížení užité

Charakteristické:  $g_{kK1} = 1,63 \times 0,768 = \underline{1,252 \text{ kN/m'}}$

Návrhové:  $g_{dK1} = 2,45 \times 0,768 = \underline{1,878 \text{ kN/m'}}$

## Zatížení od vaznice V1

Na překlád se přenáší polovina celkového zatížení vaznice, které je převzato ze statického návrhu vaznice a upraveno pro konkrétní případ.

Název vrstvy	Zatížení vaznice [kN/m']	Ztěžovací šířka [m]	Zatížení na překlád [kN/m']
Charakteristické zatížení $q_{kV1}+g_{kV1}$	7,813	2	15,626
Návrhové zatížení $q_{dV1}+g_{dV1}$	11,017	2	22,034

## Zatížení od konstrukce a vlastního překládu KCE

Na překlád působí stálé zatížení od konstrukcí umístěných nad překládem. Konkrétně nosná příčka o ploše 14,7 m<sup>2</sup>. Pro výpočet bude plocha rovnoměrně rozdělena po délce překládu, při rozponu 4 m je tak uvažovaná plocha na 1 m' rovna 3,677 m<sup>2</sup>. Dále je započtena vlastní tíha překládu, předběžný návrh dimenze byl proveden dle tabulky pro lepené dřevo, předpokládaný profil překládu je  $b \times h = 0,14 \times 0,36 \text{ m}$ .

Název vrstvy	Objemová hmotnost [kN/m <sup>3</sup> ]	Průřez konstrukce [m <sup>2</sup> ]	Plocha konstrukce [m <sup>2</sup> /m']	Zatížení char. [kN/m']
Dřevěný rošt příčky KVH profil	4,2	$0,14 \times 0,08 = 0,011$	3,677	0,170
Izolace příčky Isover Woodsil	0,37	$0,14 \times 0,92 = 0,129$	3,677	0,176

Opláštění příčky SVD Fermacell	12	$2 \times 0,0125 = 0,025$	3,677	1,103
Vodorovný prvek KVH profil	4,2	$2 \times 0,14 \times 0,08 = 0,0224$	1	0,094
Vlastní tíha překlada BSH	4,5	$0,14 \times 0,36 = 0,039$	1	0,176
<b>Stálé zatížení</b> <b>q<sub>kkCE</sub></b>	-	-	-	<b>1,719</b>

Charakteristické zatížení stálé:  $q_k = 0,804 + 1,719 = 2,523 \text{ kN/m}'$

Součinitel pro stálé zatížení:  $\gamma_q = 1,3$

Návrhové zatížení stálé se stanoví ze vzorce

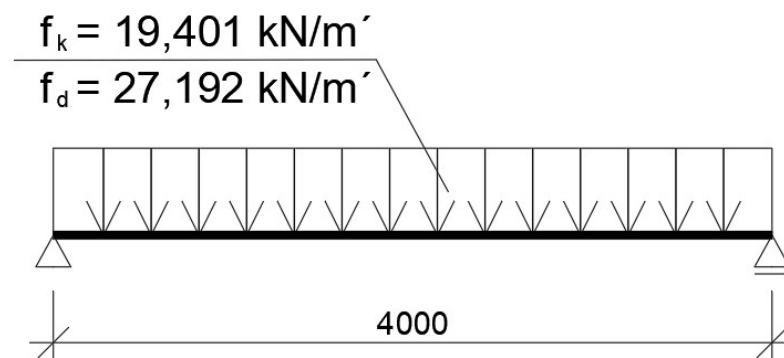
$$q_{dKCE} = q_{kKCE} \times \gamma_q$$

$$q_{dKCE} = 1,719 \times 1,3$$

$$q_{dKCE} = \underline{2,235 \text{ kN/m}'}$$

### Zatížení celkem

Název zatížení	Charakteristické zatížení $q_k + g_k$ [kN/m']	Návrhové zatížení $q_d + g_d$ [kN/m']
Zatížení od krokve K1	$0,804 + 1,252 = 2,056$	$1,045 + 1,878 = 2,923$
Zatížení od vaznice V1	15,626	22,034
Zatížení od konstr. KCE	1,719	2,235
<b>Zatížení CELKEM</b>	<b>19,401 kN/m'</b>	<b>27,192 kN/m'</b>



## Posouzení mezního stavu únosnosti

Maximální ohybový moment

$$\begin{aligned}M_{\max} &= 1/8 \times f_d \times l^2 \quad [\text{kNm}] \\M_{\max} &= 1/8 \times 27,192 \times 4^2 \\M_{\max} &= \underline{54,384 \text{ kNm}}\end{aligned}$$

Průřezový modul

$$\begin{aligned}W_y &= 1/6 \times b \times h^2 \quad [\text{m}^3] \\W_y &= 1/6 \times 0,14 \times 0,36^2 \\W_y &= \underline{2,86 \times 10^{-3} \text{ m}^3}\end{aligned}$$

Moment setrvačnosti k ose y

$$\begin{aligned}I_y &= 1/12 \times b \times h^3 \quad [\text{m}^4] \\I_y &= 1/12 \times 0,14 \times 0,36^3 \\I_y &= \underline{544,3 \times 10^{-6} \text{ m}^4}\end{aligned}$$

Návrhové napětí v ohybu

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{md}} &= M_{\max} / W_y \quad [\text{Pa}] \\ \sigma_{\text{md}} &= 54,384 / 2,86 \times 10^{-3} \\ \sigma_{\text{md}} &= \underline{19\,015 \text{ Pa}; 19,015 \text{ kPa}}\end{aligned}$$

Návrhová pevnost v ohybu

$$\begin{aligned}f_{\text{md}} &= k_{\text{mod}} \times f_{\text{mk}} / \gamma_m \quad [\text{Pa}] \\ f_{\text{md}} &= 0,8 \times 32 \times 10^3 / 1,25 \\ f_{\text{md}} &= \underline{20\,480 \text{ Pa}; 20,48 \text{ kPa}}\end{aligned}$$

Posouzení

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{md}} / f_{\text{md}} &\leq 1 \\ 19,015 / 20,48 &\leq 1 \\ \underline{0,928} &\leq 1 \rightarrow \text{NOSNÍK VYHOVUJE}\end{aligned}$$

## Posouzení mezního stavu použitelnosti

Okamžitý průhyb nosníku

$$W_{inst} = 5/384 \times (f_k \times l^4) / (E \times I_y) \quad [m]$$

$$W_{inst} = 5/384 \times (19,401 \times 4,0^4) / (13,7 \times 10^6 \times 544,3 \times 10^{-6})$$

$$W_{inst} = 0,013 \times 4,967 \times 10^3 / 7,546 \times 10^3$$

$$\underline{W_{inst} = 0,008 \text{ m}}$$

Konečný průhyb nosníku

$$W_{fin} = w_{inst} \times (1 + k_{def}) \quad [m]$$

$$W_{fin} = 0,008 \times (1 + 0,8)$$

$$\underline{W_{fin} = 0,014 \text{ m}}$$

Maximální dovolený okamžitý průhyb nosníku

$$W_{max,inst} = l / 300 \quad [m]$$

$$W_{max,inst} = 4,0 / 300$$

$$\underline{W_{max,inst} = 0,013 \text{ m}}$$

Maximální dovolený konečný průhyb nosníku

$$W_{max,fin} = l / 150 \quad [m]$$

$$W_{max,fin} = 4,0 / 150$$

$$\underline{W_{max,fin} = 0,027 \text{ m}}$$

Posouzení

$$W_{max,inst} \geq w_{inst}$$

$$\underline{0,013 \geq 0,008} \quad \rightarrow \text{NOSNÍK VYHOVUJE}$$

$$W_{max,fin} \geq w_{fin}$$

$$\underline{0,027 \geq 0,014} \quad \rightarrow \text{NOSNÍK VYHOVUJE}$$