



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

TEPELNĚ TECHNICKÉ POSOUZENÍ STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

THERMAL TECHNICAL ASSESSMENT OF BUILDING STRUCTURES

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ing. JAROSLAV PAĐOUK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. MILOŠ KALOUSEK, Ph.D.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s kombinovanou formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav pozemního stavitelství

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Ing. Jaroslav Paďouk
Název	Tepelně technické posouzení stavebních konstrukcí
Vedoucí diplomové práce	doc. Ing. Miloš Kalousek, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2015
Datum odevzdání diplomové práce	15. 1. 2016

V Brně dne 31. 3. 2015

.....
prof. Ing. Miloslav Novotný, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,
MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Studie dispozičního řešení stavby, katalogy a odborná literatura, Zákon č. 183/2006 Sb. ve znění zákona č. 350/2012 Sb., Vyhláška č. 499/2006 Sb. ve znění vyhlášky č.

62/2013 Sb., Vyhláška č.268/2009 Sb., Vyhláška č.398/2009 Sb., platné ČSN, Směrnice děkana č. 19/2011 a dodatky.

Zásady pro vypracování

Zadání VŠKP: Teoretická práce v oblasti domů s téměř nulovou spotřebou energie na vytápění. Projektová dokumentace stavební části k provedení novostavby Rodinného domu. Včetně posouzení splnění specifických požadavků.

Cíl práce: vyřešení dispozice pro daný účel, návrh vhodné konstrukční soustavy, nosného systému a vypracování výkresové dokumentace včetně textové části a příloh podle pokynů vedoucího práce. Textová i výkresová část bude zpracována s využitím výpočetní techniky. Výkresy budou opatřeny jednotným popisovým polem a k obhajobě budou předloženy složené do desek z tvrdého papíru potažených černým plátnem s předepsaným popisem se zlatým písmem. Dílčí složky formátu A4 budou opatřeny popisovým polem s uvedením seznamu příloh na vnitřní straně složky.

Požadované výstupy dle uvedené Směrnice:

Textová část VŠKP bude obsahovat kromě ostatních položek také položku h) Úvod (popis námětu na zadání VŠKP), položku i) Vlastní text práce (textová část projektové dokumentace dle vyhlášky č. 499/2006 Sb. ve znění vyhlášky 62/2013 Sb.) a položku j) Závěr (zhodnocení obsahu VŠKP, soulad se zadáním, změny oproti původní studii). Příloha textové části VŠKP v případě, že diplomovou práci tvoří konstruktivní projekt, bude povinná a bude obsahovat výkresy pro provedení stavby (technická situace, základy, půdorysy řešených podlaží, konstrukce zastřešení, svíslé řezy, pohledy, detaily, výkresy sestavy dílců popř. výkresy tvaru stropní konstrukce, specifikace, tabulky skladeb konstrukcí – rozsah určí vedoucí práce), zprávu požární bezpečnosti, stavebně fyzikální posouzení stavebních konstrukcí včetně zadané specializované části. O zpracování specializované části bude rozhodnuto vedoucím DP v průběhu práce studenta na zadaném tématu.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....
doc. Ing. Miloš Kalousek, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Tato diplomová práce je teoretickou prací zabývající problematikou domů s nulovou spotřebou energie. Záměrem diplomové práce je vyhodnotit vybrané stavební konstrukce z hlediska jejich vlivu na splnění energetických požadavků a aplikovat závěry této analýzy v návrhu domu s téměř nulovou spotřebou energie.

Práce popisuje jednotlivé faktory ovlivňující energetickou náročnost domů s nulovou spotřebou energie, hodnotí jednotlivé druhy zateplovacích systémů pro střešní konstrukce, analyzuje detaily oken, spodní části stavby (sokl) a napojení střešní a stropní konstrukce na obvodovou stěnu. Základním hodnotícím kritériem je splnění tepelně technických požadavků a dále se jsou zohledněny i náklady na provedení a spotřebu energie pro danou konstrukci nebo detail.

Ve specializované části se práce zabývá návrhem a porovnáním 2 typů krovových soustav - vaznicové a hambalkové soustavy. I zde je hodnocena vhodnost těchto soustav pro budovu s téměř nulovou spotřebou energie.

Výsledkem práce je návrh variant domu s téměř nulovou spotřebou energie, jejich dispoziční řešení, návrh vhodné konstrukční soustavy, nosného systému a vypracování výkresové dokumentace. Výstupem je i průkaz energetické náročnosti budovy.

Klíčová slova: Dům s téměř nulovou spotřebou energie, střešní konstrukce, tepelně technické požadavky, detail okna, sokl, hambalková soustava, vaznicová soustava, průkaz energetické náročnosti budovy.

Abstract

This theoretical diploma thesis deals with „nearly zero energy buildings“. The aim of the thesis is to evaluate building constructions based on their impact on thermal requirements fulfillment and apply results of the evaluation on a design of the nearly zero energy building.

The thesis describes individual factors impacting energy consumption of a nearly zero energy building, evaluates individual types of insulations systems for roof constructions, analyses window details, foundation details and connection of roof and external wall or the floor structure and external wall. The basic criteria for the evaluation is the fulfillment of the thermal requirements as well as the costs of the construction itself and energy consumption for the individual construction or detail.

The specialization part of the thesis deals with design and comparison of 2 types of timber roof truss systems, the purlin roof and the collar roof. The suitability of the roof systems for nearly zero energy building is evaluated as well.

The result of the thesis is the proposal of solutions for the nearly zero energy building. The proposal consists of layout solutions, design of suitable construction system, load-bearing system including drawings. The output is also Energy Performance Certificate.

Keywords: nearly zero energy house, timber roof construction, thermal requirements, window detail, foundation, collar roof, purlin roof, Energy Performance Certificate

Bibliografická citace VŠKP

PAĎOUK, Jaroslav. *Tepelně technické posouzení stavebních konstrukcí*. Brno, 2016. 146 s., 225 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí práce doc. Ing. Miloš Kalousek, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 3.1.2016

.....
podpis autora
Ing. Jaroslav Paďouk

Poděkování

“Děkuji především vedoucímu mé diplomové práce Doc. Ing. Miloši Kalouskovi Ph.D za odborné vedení, nasměrování, cenné rady, podnětné připomínky, vstřícnost a trpělivost při konzultacích.

Dále děkuji Ing. Milanovi Šmakovi Ph.D. za odborné vedení ve specializované části diplomové práce.”

Obsah

1	Úvod.....	11
2	Legislativní rámec.....	12
2.1	Energetické požadavky	12
2.2	Technické požadavky	12
2.3	Požadavky normy ČSN 73 0540-2	13
2.3.1	Závazné požadavky	13
2.3.2	Nezávazné požadavky	15
3	Předpoklady pro úspěšný návrh	17
3.1	Tvarové řešení budovy	17
3.2	Postavení ke světovým stranám.....	17
3.3	Alternativní zdroje energie	18
3.4	Dispoziční řešení budovy	19
3.5	Konstrukční řešení budovy	19
3.6	Vytápění nízkoenergetických budov	20
4	Analýza střešních zateplovacích systémů šikmých střech.....	21
4.1	Přehled střešních zateplovacích systémů.....	21
4.1.1	Nadkrokevní systémy	21
4.1.2	Konstrukční systémy s izolací pod a mezi krokvemi	22
4.1.3	Kombinace nadkrokevního systému, mezi a pod krokvemi	23
4.1.4	Zateplení stropu posledního podlaží	23
4.2	Hodnocení z hlediska kondenzace vodní páry v konstrukci.....	23
4.2.1	Zateplení mezi a pod krokvemi	26
4.2.2	Zateplení nad krokvemi.....	29
4.2.3	Zateplení nad stropem posledního podlaží.....	31
4.3	Vlivy působící na vytvoření kondenzační oblasti	33
4.3.1	Difuzní odpor jednotlivých vrstev konstrukce	33
4.3.2	Vliv tepelné vodivosti jednotlivých vrstev	35
4.3.3	Vliv venkovní teploty	36
4.3.4	Vliv vnitřní teploty	37
4.3.5	Závěry k vlivům na kondenzaci uvnitř konstrukce	38
4.4	Hodnocení z hlediska nákladovosti	39
4.5	Hodnocení z hlediska vzduchové neprůzvučnosti.....	43
4.6	Vyhodnocení zateplovacích systémů šikmých střech	44
4.6.1	Nadkrokevní systém vs. zateplení pod a mezi krokvemi	44
4.6.2	Zateplení stropu nejvyššího patra vs. zateplení pod a mezi krokvemi..	45
5	Tepelně technické posouzení jednotlivých konstrukcí a detailů	46

5.1	Součinitel tepelné vodivosti	46
5.2	Součinitel prostupu tepla	48
5.3	Lineární činitele prostupu tepla pro tepelné vazby.....	54
5.3.1	Lineárního činitele prostupu pro napojení střechy a obvodové stěny.....	56
5.3.2	Lineární činitel prostupu tepla pro styk obvodové stěny a podlahy.....	61
5.3.3	Lineární činitel prostupu tepla pro okna	68
5.4	Vliv tepelných vazeb na celkovou tepelnou bilanci	74
6	Hodnocení rizika kondenzace v obvodové stěně	76
7	Hodnocení budov z hlediska tepelné stability v letním období	80
7.1	Posouzení podle ČSN 730540-2.....	82
7.2	Vliv materiálových charakteristik a objemu místnosti	83
7.3	Vliv stínění	83
7.4	Vliv světové strany	84
7.5	Závěry k tepelné stabilitě.....	84
7.6	Stanovení přesahu střešní konstrukce.....	85
8	Energetické hodnocení budov	88
8.1	Terminologie	88
8.2	Parametry budovy zadané do ENERGIE 2015	89
8.3	Hodnocení budov z pohledu splnění požadavků vyhl.č. 78/2013 Sb.	89
8.4	Porovnání budovy s půdní vestavbou a dvoupodlažní budovy	94
8.5	Další úvahy k potřebě tepla na vytápění.....	96
9	Statika krovu střešní konstrukce (specializace)	99
9.1	Zatížení	99
9.1.1	Zatížení větrem.....	99
9.1.2	Zatížení sněhem	102
9.1.3	Zatížení vlastní tíhou.....	104
9.1.4	Zatížení užité.....	105
9.1.5	Zatížení fotovoltaickými panely	105
9.1.6	Kombinace zatížení.....	106
9.2	Modelování krovů ve SCIA ENGINEER.....	107
9.2.1	Hambalkový krov	108
9.2.2	Vaznicový krov	109
9.3	Výpočet reakcí, vnitřních sil a deformací programem SCIA ENGINEER	110
9.3.1	Přehled výsledků	110
9.3.2	Vizualizace průběhů vnitřních sil a průhybů	113
9.4	Statické posouzení prvků hambalkového krovu.....	117
9.4.1	Posouzení krokví a kleštín na ohyb (včetně klopení) a vzpěr.....	117

9.4.2	Statické posouzení spoje krokev – pozednice	123
9.4.3	Statické posouzení spoje krokev – kleštiny	130
9.5	Statické posouzení vaznice.....	133
9.5.1	Statické posouzení na mezní stav únosnosti	133
9.5.2	Statické posouzení na mezní stav použitelnosti	135
9.6	Závěry ke statice krovu střešní konstrukce	137
10	Závěr	139
11	Seznam použité literatury	141
12	Seznam použitých symbolů	144
13	Přílohy.....	146

1 Úvod

Tato diplomová práce je teoretickou prací zabývající se problematikou budov s téměř nulovou spotřebou energie.

Cílem práce je návrh budovy s téměř nulovou spotřebou energie, který splňuje legislativní požadavky a zároveň zohledňuje ekonomické hledisko při provádění stavby i v průběhu života stavby. Zároveň je kladen důraz na odstranění rizik spojených s řemeslným prováděním stavby.

Záměrem práce je tedy analyzovat vybrané stavební konstrukce z hlediska jejich vlivu na splnění energetických požadavků, vyhodnotit jednotlivé varianty a aplikovat závěry této analýzy v návrhu budov s téměř nulovou spotřebou energie. Práce reaguje na situaci, kdy se konstrukční řešení pasivních domů zdá složité, nadbytečně náročné, jsou používány drahé materiály, propracovávány poměrně složité detaily, často i bez znalosti jejich skutečného vlivu na spotřebu energie nebo návratnosti investice do nich vložené. Zároveň je také reakcí na často nedbale prováděné detaily střešních konstrukcí, zejména vyloženě chybně provedené spoje parozábran či jejich protřzení a ponechání bez opravy. To má pak fatální důsledky pro nosnou konstrukci bez možnosti včasného odhalení a korekce.

V úvodních kapitolách práce je popsán legislativní rámec staveb s téměř nulovou spotřebou energie, rozlišuje, které požadavky jsou povinné a u kterých lze aplikovat čistě ekonomické hledisko.

Čtvrtá kapitola se zabývá jednotlivými druhy zateplovacích systémů pro střešní konstrukce a hodnotí je z pohledu tepelně technických vlastností, zvukové neprůzvučnosti a investičních nákladů.

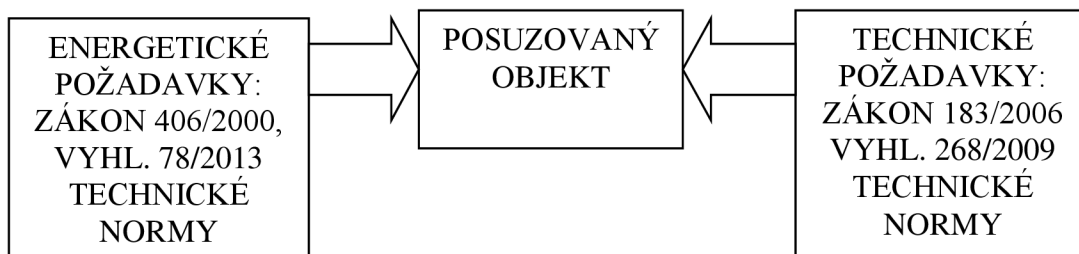
Další kapitoly hodnotí okenní konstrukce, spodní stavbu a napojení střešní a stropní konstrukce na obvodovou stěnu. Pro každou konstrukci je vytvořen model v programu AREA 2010 a je vypočítán lineární činitel prostupu tepla. Dále je posouzena možnost kondenzace na površích těchto detailů. Je zde provedena i energetická analýza, tj. vliv jednotlivých prvků na energetickou bilanci a to jak v energetických jednotkách (KWh) tak i v peněžním vyjádření. Zároveň je v této části analyzována tepelná stabilita kritických místností a navržen vhodný přesah střechy z pohledu co největšího využití solárních zisků při zachování efektivního stínění.

Záměrem osmé kapitoly je celkové energetické zhodnocení variant stavby a to za podpory programu ENERGIE 2015. Výstupem je průkaz energetické náročnosti budovy.

Specializovaná část práce pojednává o konstrukcích krovu pro rodinné domy. Je zde porovnáván hambalkový krov s krovem vaznicovým a to při srovnatelných parametrech – stejných základních rozměrech a stejném zatížení. Je proveden detailní výpočet jednotlivých prvků konstrukce hambalkového krovu včetně spojů, u vaznicového krovu je proveden výpočet a návrh vaznice. V závěru kapitoly jsou oba systémy celkově zhodnoceny a posouzeny z hlediska vhodnosti pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Pro statické výpočty byl použit program SCIA ENGINEER, ve kterém byly modelovány oba typy krovu.

2 Legislativní rámec

Současná legislativa v oblasti energetické náročnosti budov lze zjednodušeně charakterizovat obrázkem 1.1.



Obr. 1.1: Schéma legislativních požadavků

2.1 Energetické požadavky

Základním dokumentem v oblasti energetické náročnosti budov je zákon o hospodaření s energií č. 406/2000 Sb., který odráží akty práva EU, Směrnici Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU, o energetické náročnosti budov. Prováděcím předpisem je vyhláška č.78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov, která nahradila vyhlášku č.148/2007 Sb. V §7 odst.1c zákona č. 406/2000 Sb. se uvádí:

„V případě výstavby nové budovy je stavebník povinen plnit požadavky.....na náročnost **budovy s téměř nulovou spotřebou energie**, a to v případě budovy s celkovou energeticky vztažnou plochou větší než 1500 m² od 1. ledna 2018, v případě budovy s celkovou energeticky vztažnou plochou větší než 350 m² od 1. ledna 2019 a v případě budovy s celkovou energeticky vztažnou plochou menší než 350 m² od 1. ledna 2020”.

Vyhl. č. 78/2013 Sb. konkretizuje požadavky na energetickou náročnost budov, mimo jiné stanovuje výpočtovou metodu energetické náročnosti, uvádí vzor a obsah průkazu energetické náročnosti budovy a zavádí pojem referenční budova. Podle této vyhlášky splňuje budova definici budovy s téměř nulovou spotřebou pokud její *neobnovitelná primární energie za rok, celková dodaná energie za rok a průměrný součinitel prostupu tepla* budou menší než tyto parametry u referenční budovy. Vyhláška stanovuje i způsob započítání primární energie vyrobené technickými systémy (např. fotovoltaické panely) umístěnými v budově.

2.2 Technické požadavky

Obecně platí, že normy jsou nezávazné. Závaznými se stávají tehdy, pokud na ně odkazuje právní norma. Děje se tak v případě, že jde o “výrobky, které by mohly ve zvýšené míře ohrozit zdraví nebo bezpečnost osob, majetek nebo životní prostředí, popřípadě jiný veřejný zájem“ dle zákona č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky. Tento zákon tak stojí na vrcholu legislativní pyramidy požadavků na výrobky a tedy i pozemní stavby. Zákon vytváří rámec pro tvorbu technických norem. Právní normou, která se v oblasti pozemních staveb odkazuje na příslušné

normy technické je vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby, která je prováděcím předpisem k zákonu č.183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). Vyhláška většinou obecně popisuje základní požadavky na stavby s tím, že na konkrétní hodnoty se odvolává v technických normách. V § 16 Úspora energie a tepelná ochrana v odst. 3 výslovně uvádí: „Požadavky na tepelně technické vlastnosti konstrukcí a budov jsou dány normovými hodnotami“. Podobně se odvolává na normové hodnoty tepelně technických vlastností při prostupu tepla, prostupu vodní páry a vzduchu u stěn, podlah, stropů a střech.

Základními normami jsou:

ČSN 73 0540-1 Tepelná ochrana budov - Část 1: Terminologie

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

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

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

ČSN EN ISO 13790 Energetická náročnost budov - výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení

TNI 73 0331 Energetická náročnost budov - Typické hodnoty pro výpočet

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

ČSN EN ISO 13788 Tepelně-vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků - Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce - Výpočtové metody

2.3 Požadavky normy ČSN 73 0540-2

2.3.1 Závazné požadavky

Norma 730540-2 (dále jen norma) stanovuje následující **závazné požadavky** pro navrhování a ověřování budov.

Pozn: norma označuje teplotu Θ , nicméně v diplomové práci budu pro teplotu nadále používat označení “t”.

1) Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce

Konstrukce musí splňovat následující podmínky:

$$f_{Rsi} > f_{Rsi,N} \quad (2.1)$$

$$t_{si} > t_{si,N} \text{ (ověření zejména pro kritické detaily konstrukcí)}$$

kde: f_{Rsi} – teplotní faktor vnitřního povrchu [-]

$f_{Rsi,N}$ – teplotní faktor vnitřního povrchu, požadovaná hodnota [-]

t_{si} – vnitřní povrchová teplota [°C]

$t_{si,N}$ – vnitřní povrchová teplota, požadovaná hodnota [°C]

Podmínky a vztahy pro výpočet teplotního faktoru, jeho požadované hodnoty a jim odpovídající hodnoty teploty vnitřního povrchu uvádí norma.

Pozn: Změna normy v roce 2012 vyjmula výplně otvorů z části požadavků a přesunula je do části informativní. Znamená to, že posouzení kondenzace na výplních otvorů již není povinné.

2) Součinitel prostupu tepla

Konstrukce vytápěných prostor musí splňovat následující podmínku:

$$U > U_N \quad (2.2)$$

kde: U – součinitel prostupu tepla [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

U_N – požadovaný součinitel prostupu tepla [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

Norma uvádí podmínky platnosti vztahu, požadované hodnoty tabeluje pro návrhovou teplotu 18-22 °C jako požadované, doporučené a doporučené pro pasivní budovy.

3) Lineární a bodový činitel prostupu tepla

Lineární a bodový činitel prostupu tepelných vazeb mezi konstrukcemi musí splňovat podmínku:

$$\Psi \leq \Psi_N \quad \chi \leq \chi_N \quad (2.3)$$

kde: Ψ – Lineární činitel prostupu tepla [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$]

Ψ_N – Lineární činitel prostupu tepla [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$]

χ – Bodový činitel prostupu tepla [W/K]

χ_N – Požadovaná hodnota bodového činitele prostupu tepla [W/K]

Požadované hodnoty jsou pro jednotlivé druhy stavebních konstrukcí tabelovány normou v rozdělení na požadované, doporučené a doporučené pro pasivní domy.

4) Pokles dotykové teploty podlahy

Norma třídí podlahy do 4 kategorií a každé kategorii přiřazuje požadovanou hodnotu poklesu teploty ve °C. Pokles dotykové teploty podlahy stanoví ČSN 730540-4 na základě tepelné jímavosti podlahy a vnitřní teploty povrchu.

5) Zkondenzovaná vodní pára uvnitř konstrukce

a) Pro stavební konstrukce, u kterých by zkondenzovaná vodní pára mohla ohrozit její požadovanou funkci nesmí dojít ke kondenzaci vůbec.

$$M_c = 0$$

b) Pro stavební konstrukce, u kterých kondenzace vodní páry neohrozí její požadovanou funkci se požaduje omezení ročního množství zkondenzované vodní pary uvnitř konstrukce tak, aby splňovalo podmínku:

$$M_c \leq M_{c,N} \quad (2.4)$$

kde: M_c – roční množství zkondenzované vodní páry ($\text{kg}/\text{m}^2\text{a}$)

$M_{c,N}$ – požadovaná hodnota ročního množství zkondenzované vodní páry ($\text{kg}/\text{m}^2\text{a}$)

Norma uvádí požadované hodnoty podle typu konstrukce.

6) Celková průvzdušnost obálky budovy

Celková průvzdušnost obálky budovy nebo její ucelené části se ověřuje pomocí celkové intenzity výměny vzduchu n_{50} [h^{-1}] při tlakovém spádu 50 Pa.

$$n_{50} \leq n_{50,N} \quad (2.5)$$

kde: $n_{50,N}$ – doporučená hodnota celkové výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa [h^{-1}]

Doporučené hodnoty stanoví norma v závislosti na druhu větrání v budově.

7) Intenzita větrání užívané místnosti

V době, kdy je místnost užívána, musí intenzita větrání v místnosti n [h^{-1}] splňovat požadavek:

$$n \leq n_N \quad (2.6)$$

kde: n_N – požadovaná intenzita větrání v místnosti, stanovená z potřebných minimálních průtoků čerstvého vzduchu stanovených ve zvláštních předpisech [h^{-1}] (pro obytné budovy obvykle 0,3-0,6 h^{-1})

8) Pokles výsledné teploty v místnosti v zimním období

Požaduje se, aby kritická místnost na konci doby chladnutí vykazovala pokles výsledné teploty v místnosti v zimním období Δt_v [$^{\circ}\text{C}$] podle vztahu:

$$\Delta t_v \leq \Delta t_{v,N} \quad (2.7)$$

kde: $\Delta t_{v,N}$ – požadovaná hodnota poklesu výsledné teploty v místnosti v zimním období [$^{\circ}\text{C}$]

Norma uvádí požadované hodnoty v závislosti na druhu místnosti.

9) Tepelná stabilita místnosti v letním období

Kritická místnost musí vykazovat nejvyšší denní teplotu vzduchu v místnosti v letním období $t_{ai,max}$ [$^{\circ}\text{C}$], podle vztahu.

$$t_{ai,max} \leq t_{ai,max,N} \quad (2.8)$$

kde: $t_{ai,max,N}$ – požadovaná nejvyšší denní teplota vzduchu v místnosti v letním období [$^{\circ}\text{C}$]. Norma uvádí požadované hodnoty v závislosti na druhu budovy

2.3.2 Nezávazné požadavky

Kromě výčtu uvedených závazných požadavků definuje ČSN 73 0540-2 pojem **pasivní budova** a uvádí vlastnosti podle tabulky 2.1.

Tab. 2.1: Vlastnosti pasivní budovy podle ČSN 73 0540-2

		Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/(m ² ·K)]	Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/(m ² ·a)]	Měrná potřeba energie na chlazení [kWh/(m ² ·a)]	Měrná potřeba primární energie [kWh/(m ² ·a)]
Obytná budova	Rodinný dům	≤ 0,25 požadováno ≤ 0,20 doporučeno	≤ 20 požadováno ≤ 15 doporučeno	0 ²⁾	≤ 60
	Bytový dům	≤ 0,35 požadováno ≤ 0,30 doporučeno	≤ 15	0 ²⁾	≤ 60
Neobytná budova s převažující teplotou 18 °C – 22 °C		≤ 0,35 ¹⁾	≤ 15	≤ 15	≤ 120
Ostatní budovy		Požadavky stanoveny individuálně s využitím aktuálních poznatků odborné literatury			≤ 120
POZNÁMKY					
1) Uvedená hodnota je doporučená, nejvýše však musí být rovna odpovídající hodnotě $U_{em,rec}$ podle 5.3.2.					
2) Stavební řešení musí být takové, aby strojní chlazení nebylo potřebné. Pokud by výjimečně bylo dodatečně použito, musí být odpovídajícím způsobem zahrnuto do hodnocení primární energie, a to i kdyby se jednalo o individuální jednotky považované za elektrické spotřebiče.					

V informativní části dále norma zmiňuje pojem **nulová budova** a uvádí vlastnosti podle tab. 2.2.

Tab. 2.2: Vlastnosti nulové budovy

Závaznost kritéria		Požadovaná hodnota	Doporučená hodnota	Požadovaná hodnota podle zvolené úrovně hodnocení	
		Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/(m ² ·K)]	Měrná potřeba tepla na vytápění E_A [kWh/(m ² ·a)]	Měrná roční bilance potřeby a produkce energie vyjádřená v hodnotách primární energie z neobnovitelných zdrojů PE_A [kWh/(m ² ·a)]	
				Úroveň A	Úroveň B
Obytné budovy	Nulový	Rodinné domy ≤ 0,25	Rodinné domy ≤ 20	0	0
	Blízký nulovému	Bytové domy ≤ 0,35	Bytové domy ≤ 15	80	30
Neobytné budovy ²⁾	Nulový	≤ 0,35 ¹⁾	≤ 30	0	0
	Blízký nulovému			120	90
1) Uvedená hodnota je doporučená, nejvýše však musí být rovna odpovídající hodnotě $U_{em,rec}$ podle 5.3.2.					
2) Neobytné budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou 18 °C až 22 °C včetně, Pro jiné budovy není stanoveno,					

Tyto parametry nejsou závazné. Jediným závazným limitem jsou vypočtené energie *referenční budovy* podle vyhlášky č. 78/2013.

Od roku 2012 je nezávazný i požadavek na vnitřní povrchovou teplotu průsvitných konstrukcí.

3 Předpoklady pro úspěšný návrh

Faktory ovlivňující tepelně technické a energetické vlastnosti budovy:

- Vhodný tvar budovy
- Postavení ke světovým stranám
- Použití vhodných alternativních zdrojů energie
- Dispoziční řešení budovy
- Konstrukční řešení
- Vhodný druh vytápění pro nízkoenergetické budovy

3.1 Tvarové řešení budovy

Základním parametrem tvaru budovy je **objemový faktor** budovy, což je poměr povrchu ochlazovaných konstrukcí budovy k jejímu obestavěnému objemu. Faktor v sobě zahrnuje:

- kompaktnost budovy, tj. nejlépe tvar bez arkýřů, střešních vikýřů, různých zalomení fasád
- poměr rozměrů konstrukcí, nejlépe tvar blízký se krychli
- celkovou velikost budovy, čím větší budova, tím lepší (menší) hodnota objemového faktoru

S tvarovým řešením úzce souvisí počet podlaží, při obvyklých půdorysech se tvaru krychle dosáhne vyšším počtem podlaží. V oblasti rodinných domů lze dosáhnout tvar krychle jen velmi obtížně, většinou ani půdorys nemá vzhledem k dispozičnímu řešení tvar čtverce. Proto je obecně vhodný tvar kvádrů s delší stranou orientovanou k jihu.

3.2 Postavení ke světovým stranám

Při orientaci objektu jako celku ke světovým stranám je nutné vzít do úvahy tyto faktory:

- Maximalizace solárních zisků
- Možnost využití střešní konstrukce k instalaci solárních panelů nebo fotovoltaiky
- Možné přehřívání v letním období

Pro sedlovou střechu je ideální umístění podélnou osou ve směru západ-východ s tím, že na střeše budou umístěny fotovoltaické panely. U budov s půdní vestavbou je to sice na úkor oken ve 2. patře, ale využití fotovoltaických panelů je mnohem větší a plně kompenzuje ztrátu solárních zisků, kdyby byla budova natočena k jihu štítovou stěnou.

Ideální tvar střechy je střecha sedlová se sklonem 35°. Jak uvádí [1], je sklon 35° ideálním sklonem pro fotovoltaické panely, viz tabulka 3.1.

Tab. 3.1: Využití dopadajícího záření pro různý sklon a orientaci panelů (Praha) – model Meeonorm [1]

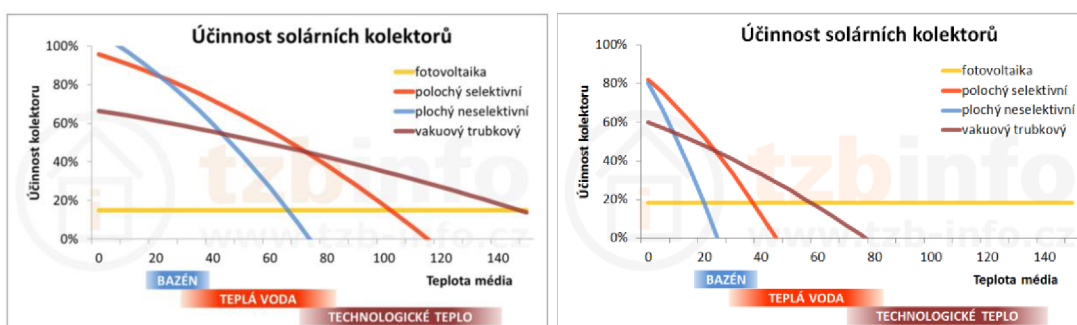
Meeonorm		Sklon					
orientace		0°	20°	35°	45°	60°	90°
Z	90°	91,3%	91,0%	87,8%	84,5%	78,1%	60,5%
ZJZ	67,5°	91,3%	94,8%	93,7%	91,2%	85,3%	66,4%
JZ	45°	91,3%	97,8%	98,1%	96,3%	90,6%	70,2%
JJZ	22,5°	91,3%	99,2%	100,3%	98,6%	92,9%	71,2%
J	0°	91,3%	99,0%	100,0%	98,2%	92,3%	70,0%
JJV	-22,5°	91,3%	97,4%	97,5%	95,4%	89,2%	67,5%
JV	-45°	91,3%	94,4%	93,0%	90,4%	83,8%	63,3%
VJV	-67,5°	91,3%	90,5%	87,3%	83,8%	76,9%	58,0%
V	-90°	91,3%	86,5%	81,2%	77,0%	69,7%	52,4%

3.3 Alternativní zdroje energie

Jako alternativní zdroj energie jsou vhodné fotovoltaické panely z následujících důvodů:

Fotovoltaické panely versus solární kolektory

- Několikanásobně vyšší účinnost solárních kolektorů, ale silná závislost na rozdílu teplot média a vnějšího okolí. Na obr. 3.1 je zřetelně vidět rozdíl v účinnostech fotovoltaiky a solárních kolektorů a jejich závislost na teplotách (při teplotě vnějšího okolí 25 °C a 0 °C).



Obr. 3.1: Porovnání účinností solárních kolektorů a fotovoltaiky při vnějších teplotách 25 °C - pravý graf a 0°C- levý graf [2]

Je zřejmé, že při teplotách 0 °C bude solární kolektor při dohřevu vody (červená křivka, levý graf) nad 40 °C pracovat s menší účinností než fotovoltaika.

- Solární kolektor lze použít pouze pro dohřev vody a pro topení (v případě, že se jedná o teplovodní rozvod).
- Energii z fotovoltaiky lze dodávat do veřejné sítě, tedy i přebytky v případě, kdy se energie spotřebovává přímo.
- Napojením na veřejnou rozvodnou síť se zajistí lepší sezonní využití (zima – léto, nebo i v situaci, kdy uživatel domu po část období nemůže využívat teplou vodu např. dovolená).
- Lze navrhnout budovu i s menším sklonem střechy (menší půdní prostor = menší náklady). Menší sklon = lepší využití solární energie v létě, přebytek energie je možno dodat do veřejné sítě.

Fotovoltaické panely versus tepelné čerpadlo

- V porovnání s tepelným čerpadlem jednoduší systém, rozvod energie pomocí elektrické instalace.
- Při velmi malých potřebách na vytápění se nevyužije plného výkonu tepelného čerpadla, u ohřevu TUV lze očekávat nižší topný faktor (cca 2-3).
- Tepelné čerpadlo dodává pouze tepelnou energii, nelze využít na pokrytí potřeby elektrické energie.
- Po určitou část roku může být budova při použití fotovoltaických panelů nezávislá na vnějším zdroji energie.

Celkové ekonomické srovnání pro daný subjekt zaleží na konkrétních podmínkách a přístupu státu (dotace, cenová podpora, daňové zvýhodnění apod.)

3.4 Dispoziční řešení budovy

Orientace jednotlivých místností budovy by měla respektovat zejména účel, ke kterému slouží.

Denní, společenská zóna – obývací pokoj, jídelna kuchyně, kuchyňský kout by měla být situována na jižní straně, kde je největší prosklená plocha, zajišťující maximální tepelné zisky ze slunečního záření. Tato zóna má také největší požadavky na teplotní komfort. Zároveň tato oblast zajišťuje vizuální i reálnou komunikaci s vnějším prostředím – terasa, zahrada.

Technická, komunikační zóna – zahrnuje komunikace, technickou místnost, šatnu, zádveří. Tyto prostory jsou bez výrazného požadavku na tepelný komfort. Koupelny a WC sice vyžadují vyšší tepelný komfort, nicméně bez výraznějšího nároku na okenní otvory. Z tohoto důvodu může být tato zóna umístěna v severní části budovy.

Klidová zóna – ložnice, pracovna, dětský pokoj – ideálně opět jižní strana, reálně však nelze mít vše na jih. Většinou jsou na tyto prostory kladeny menší nároky na vyšší teploty po stejně dlouhý časový interval jako u denní zóny. Ložnici a dětský pokoj je dobré situovat na východ, aby v letních měsících nedocházelo k přehřívání pokojů od odpoledního slunce, zároveň nebude slunce v odpoledních hodinách oslňovat (dětský pokoj) při psaní domácích úkolů, práci na počítači. Pokud má pokoj okno na západ, je třeba jej vybavit venkovními roletami.

3.5 Konstrukční řešení budovy

- Střešní zateplovací systémy (podrobně kapitola 4)
- Nosná konstrukce střechy (podrobně kapitola 4)
- Prosklené plochy, jejich velikost, druh rámu oken, izolační schopnost skel, solární propustnost zasklení (podrobně kapitola 5)
- Stínící prvky, přesahy střechy (podrobně kapitola 7)
- Spodní stavba – sokl (podrobně kapitola 5)
- Spojení obvodové střechy a střešní nebo stropní konstrukce (kapitola 5)
- Použité materiály – materiály s větší tepelnou kapacitou mají významný vliv na tepelnou stabilitu a na využití solárních zisků

3.6 Vytápění nízkoenergetických budov

U budov s téměř nulovou spotřebou energie je možno volit systém vytápění co nejjednodušší. Rozvod centrálního teplovodního vytápění zvyšuje náklady, je spojen s náklady na údržbu a s rizikem oprav. Pokud tedy bude mít budova rozvod větrání s rekuperací, která zajistí snížení potřeby tepla na vytápění na hodnoty kolem 10 kWh/m², je možné volit elektrické vytápění např. typu EKOSUN panelů. Jakýkoliv jiný druh vytápění by stejně vyžadoval pomocnou elektrickou energii na regulaci, či dopravu, tzn. byla by stejná závislost těchto zařízení na elektrické energii, jako při přímé dodávce elektrické energie. Nízkoteplotní panely EKOSUN lze montovat na stěny nebo strop. Panely předávají teplo sáláním, konvenční složka je u nich potlačena, mají velmi vysokou účinnost – 96% (výroba x distribuce x sdílení tepla).

4 Analýza střešních zateplovacích systémů šikmých střech

V této kapitole budou hodnoceny střešní zateplovací systémy a to z těchto hledisek:

- Kondenzace uvnitř konstrukce
- Neprůzvučnost
- Investiční náklady

U zateplovacích systémů střešních konstrukcí je kritickým místem návrh a řemeslné provedení parozábrany. Skutečnost, že nosná část střešní konstrukce není viditelná a není tedy kontrolovatelná, může v průběhu používání způsobit, že degradace nosných prvků v konstrukci se často projeví až příliš pozdě s fatálními důsledky. Proto budu v následujícím textu věnovat pozornost především tomuto požadavku a to jak z pohledu vlastního návrhu konstrukce, tak po stránce vlastního provedení, s cílem identifikace možných problémů.

4.1 Přehled střešních zateplovacích systémů

Střešní zateplovací systémy pro šikmé střechy lze rozdělit:

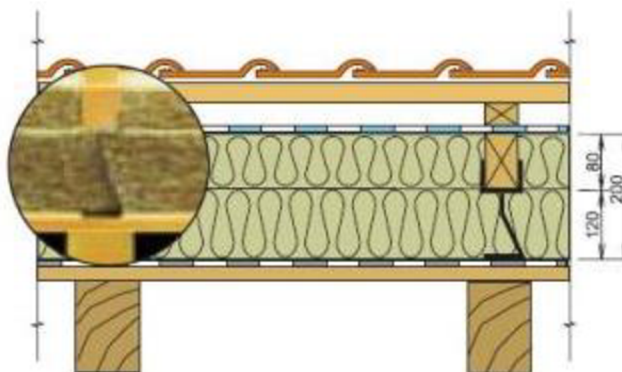
- Nadkroevní systémy
- Zateplení pod a mezi krokve
- Kombinace nadkroevního systému, mezi a pod krokve
- Střešní konstrukce bez zateplovacího systému, tedy zateplení stropu posledního podlaží

4.1.1 Nadkroevní systémy

Nadkroevní systémy lze rozdělit do dvou variant:

Kontralatě jsou provedeny na sekundárním nosném systému

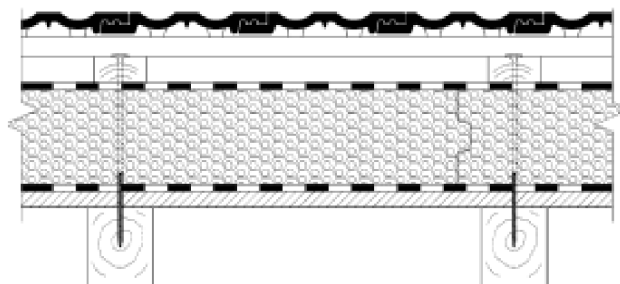
Sekundárním nosným systémem mohou být speciální držáky (obr. 4.1) nebo nosný rošt, tvořený dřevěnými trámky, popř. hranoly z XPS (obr. 4.5).



Obr. 4.1: Nadkroevní systém TOPROCK [14]

Kontralatě jsou neseny tepelnou izolací

Příkladem této konstrukce je systém TOPDEK, kde tepelně izolační vrstvu tvoří desky polyisokyanurátové pěny (PIR) s velmi nízkým, výrobcem deklarovaným součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 0,022 \text{ W/m.K}$. Skladba konstrukce – na bednění z prken, palubek nebo OSB desek je položena hydroizolace z asfaltového pásu. Na hydroizolaci je speciálními vruty ukotvena deska PIR, na ní je umístěna pojistná hydroizolace, následují kontralatě a střešní latě (obr. 4.2).



Obr. 4.2: Nadkroevní systém TOPDEK [12]

4.1.2 Konstrukční systémy s izolací pod a mezi krokve

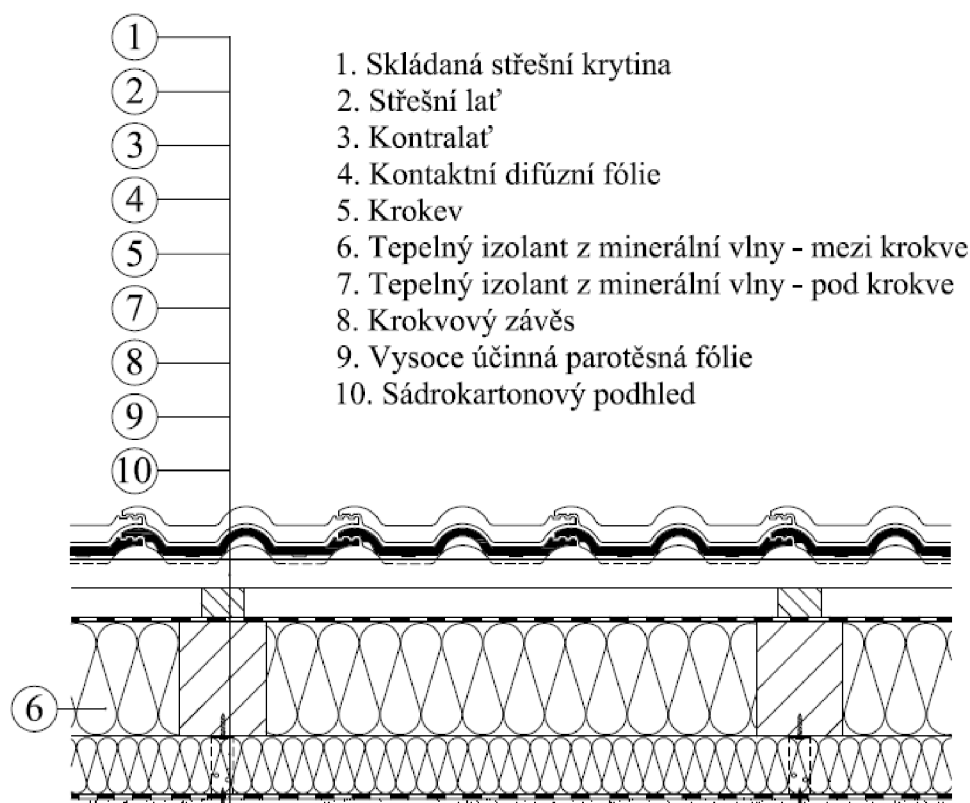
V současné době nejběžnější, konstrukce jsou v zásadě stejného principu. Rozdíly jsou v umístění parozábrany v konstrukci.

Parozábrana mezi nosným roštem a podhledem (obr. 4.3)

Nosná konstrukce zateplení je tvořena krokve, krokrovým závěsem, na který je připevněn nosný vodorovný rošt z CD profilů (u některých konstrukcích se používá také dřevěný hranol). Izolace se vkládá mezi a pod krokve do nosného roštu. Nevýhodou je proděravění parozábrany velkým množstvím spojovacích prvků k upevnění podhledu. Často eliminováno různými utěšňovacími páskami nalepenými na parozábraně v místech předpokládaného kotvení podhledových desek k nosnému roštu. Při průchodu vrutu se materiál pásky namotává na závit a zároveň dotěšňuje i přitlakem SDK k roštu.

Parotěsná folie je přilepena na vnější líc CD profilů prvního (vodorovného) roštu

Na první nosný rošt se navíc montuje přímý závěs a svislý rošt, který tvoří nosnou konstrukci pro SDK podhled. Další vrstva izolace mezi vodorovný a svislý rošt se může a nemusí vkládat. Tloušťka této vrstvy může být max. cca 25 % celkové tloušťky izolace, aby kondenzační oblast vycházela za každých podmínek nad parotěsnou zábranou. Tato konstrukce umožní instalaci elektroinstalace bez porušení parotěsné folie. Zároveň není folie perforována velkým množstvím vrutů k připevnění SDK (obr. 4.5).



Obr. 4.3: Izolace mezi a pod krokve, parozábrana mezi roštem a podhledem

4.1.3 Kombinace nadkrokovního systému, mezi a pod krokve

Jde většinou o systémy s dvojitým roštem tvořeným krokve a druhou sekundární konstrukcí, na které jsou umístěny kontralatě. Parotěsná zábrana je montována buď v úrovni spodní hrany krokví nebo podobně jako u podkrokových systémů na nosný rošt.

4.1.4 Zateplení stropu posledního podlaží

Střešní konstrukce není zateplena. Zateplení je provedeno položením tepelné izolace na vnější líc stropu. Může být provedeno jako pochozí nebo nepochozí.

4.2 Hodnocení z hlediska kondenzace vodní páry v konstrukci

K hodnocení byl vytvořen model v aplikaci MS Excel. Model umožňuje poměrně pružně měnit vstupní data a zároveň ihned zobrazuje výsledek v grafické podobě. Správnost modelu jsem prokázal srovnáním výsledků jednotlivých stavů s výsledky programu TEPLA. Výpočtová část modelu vychází z [3] a [4]. Jde o jednorozměrný model, tedy o určité zjednodušení. Lze však předpokládat, že vzhledem k účelu použití, je tento model plně dostačující. Striktně jsou dodrženy stejné podmínky hodnocení pro jednotlivé konstrukce. Všechny výpočty hodnocených konstrukcí jsou tedy zatíženy stejnou chybou, proto lze provést porovnání s poměrně velkou přesností. Hodnotí se skutečnost, zda v konstrukci ke kondenzaci dochází a přibližná oblast, nikoliv bilance

zkondenzované vodní páry. Podle ČSN 730540-2, pro stavební konstrukce, u kterých by zkondenzovaná vodní pára mohla ohrozit její požadovanou funkci, nesmí ke kondenzaci docházet vůbec.

Vztahy použité v modelu:

Podmínka vzniku kondenzace:

$$p''(x) \leq p(x) \quad (4.1)$$

kde: $p''(x)$ – částečný tlak nasycené vodní páry v místě x [Pa]

$p(x)$ – částečný tlak vodní páry v místě x [Pa]

Vztah vyjadřuje skutečnost, že ke kondenzaci dojde pouze v případě, že částečný tlak vodní páry dosáhne stavu nasycení.

Teplota v místě x :

$$t(x) = t_i - \frac{R_{s,i} + R(x)}{R_{s,i} + R + R_{s,e}} (t_i - t_e) \quad (4.2)$$

kde: $t(x)$ – teplota v místě x [°C]

t_i – vnitřní teplota [°C]

t_e – venkovní teplota [°C]

$R_{s,i}$ – odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [$m^2 \cdot K/W$]

$R_{s,e}$ – odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [$m^2 \cdot K/W$]

$R(x)$ – tepelný odpor v místě x [$m^2 \cdot K/W$]

R – tepelný odpor konstrukce [$m^2 \cdot K/W$]

Parciální tlak syté páry:

$$p''(x) = 610,5 e^{\frac{17,269 t(x)}{237,3+t(x)}} \quad \text{pro } t(x) > 0 \quad [\text{Pa}] \quad (4.3)$$

$$p''(x) = 610,5 e^{\frac{17,269 t(x)}{237,3+t(x)}} \quad \text{pro } t(x) < 0 \quad [\text{Pa}] \quad (4.4)$$

Tepelný odpor v místě x :

$$R(x) = \frac{d}{\lambda} + R(x-1) \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}] \quad (4.5)$$

kde: λ – tepelná vodivost [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]

d – tloušťka vrstvy [m]

Parciální tlak vodní páry v místě x :

$$p(x) = p_i - \frac{R_d(x)}{R_{d(\text{tot})}} (p_i - p_e) \quad [\text{Pa}] \quad (4.6)$$

kde: $p(x)$ – parciální tlak vodní páry v místě x [Pa]

p_i – parciální tlak vodní páry ve vnitřním prostředí [Pa]

p_e – parciální tlak vodní páry ve venkovním prostředí [Pa]

$R_d(x)$ – difuzní odpor konstrukce v místě x [m/s]

$R_{d(\text{tot})}$ – celkový difuzní odpor konstrukce [m/s]

Difuzní odpor v místě x :

$$R_d(x) = \frac{d}{\delta} + R_d(x - 1) \quad [\text{m/s}] \quad (4.7)$$

kde: d – tloušťka vrstvy [m]

δ – součinitel difúzní vodivosti [s]

Součinitel difuzní vodivosti:

$$\delta = \frac{\delta a}{\mu} \quad [\text{s}] \quad (4.8)$$

kde: μ – činitel difuzního odporu [–]

δa – součinitel difúzní vodivosti vzduchu [s]

Jelikož mnozí výrobci uvádí místo činitele difuzního odporu ekvivalentní difuzní tloušťku, uvádím ještě vztah pro přepočet těchto dvou charakteristik difuzního odporu:

$$\mu = \frac{s_d}{d} \quad (4.9)$$

kde: s_d – ekvivalentní difuzní tloušťka [m]

Činitel difuzního odporu vyjadřuje kolikrát má daný materiál větší difuzní odpor než vzduch a to při stejné tloušťce.

Ekvivalentní difuzní tloušťka vyjadřuje tloušťku vzduchu odpovídající tloušťce daného materiálu se stejným difuzním odporem.

Jednotlivá pole modelu, okrajové podmínky a materiálové charakteristiky popisují tabulky tab. 4.1, 4.2 a 4.3. Hodnoty jsou uváděny v jednotkách výše uvedených vztahů.

Tab. 4.1: Popis modelu v Microsoft Excelu

Poř.	$p(x)$	$p''(x)$	$t(x)$	$R(x)$	x	λ	$R(dx)$	δ	Materiál
0	1367,3	2322,3	19,9	0,3	0				
1	1217,8	2288,0	19,7	0,3	0,01	0,22	5,74E+08	2E-11	SDK
2	1195,7	2165,8	18,8	0,5	0,02	0,040	6,59E+08	9E-11	min.vlna
3	1168,0	2021,2	17,7	0,8	0,03	0,040	7,65E+08	9E-11	min.vlna
4	1140,3	1885,0	16,6	1,0	0,04	0,040	8,71E+08	9E-11	min.vlna
5	1112,7	1757,0	15,5	1,3	0,05	0,040	9,77E+08	9E-11	min.vlna
6	1085,0	1636,7	14,4	1,5	0,06	0,040	1,08E+09	9E-11	min.vlna
7	1057,3	1523,6	13,3	1,8	0,07	0,040	1,19E+09	9E-11	min.vlna
8	1029,6	1417,5	12,2	2,0	0,08	0,040	1,30E+09	9E-11	min.vlna

Tab. 4.2: Okrajové podmínky modelu

R_{si}	R_{se}	t_i	t_e	p_i	p_e	φ_i	φ_e
0,25	0,04	21	-13	1367,3	166,3	55	84
K.m ² /W	K.m ² /W	°C	°C	Pa	Pa	%	%

kde: φ_i – relativní vlhkost ve vnitřním prostředí [%]

φ_e – relativní vlhkost ve vnitřním prostředí [%]

Ostatní parametry a jejich jednotky jsou patrné z popisu vztahů výše

Tab. 4.3: Charakteristiky použitých materiálů

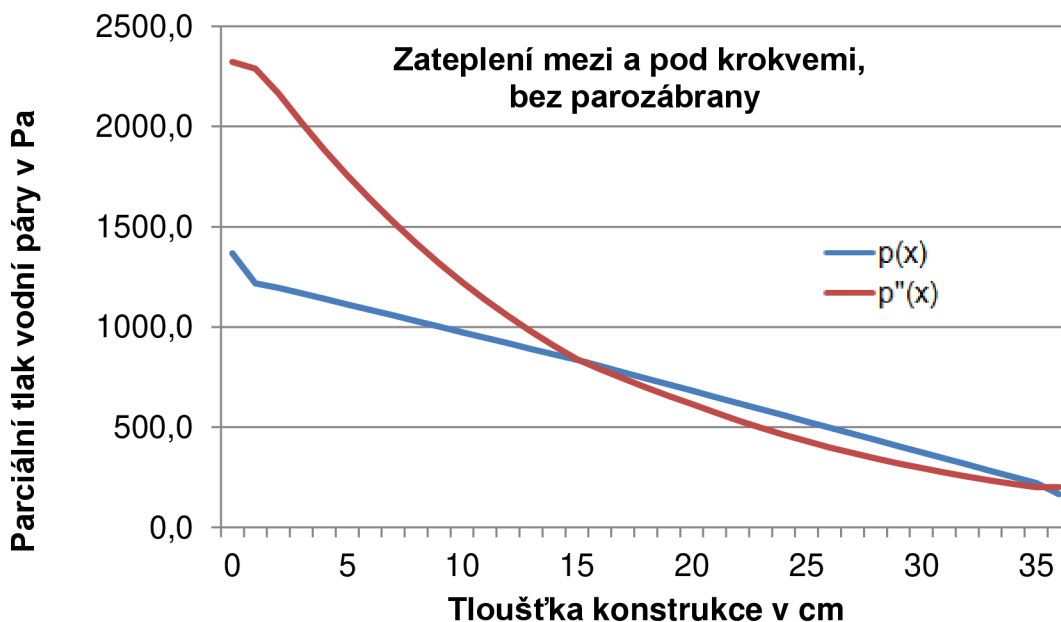
δ_{vzduchu}	μ_{vlna}	$\mu_{\text{dřevo}}$	μ_{SDK}	$\mu_{\text{dif.folie}}$	$\mu_{\text{parotěs}}$	$\lambda_{\text{dřevo}}$	λ_{vlna}	$\lambda_{\text{dif.folie}}$	$\lambda_{\text{parotěs}}$
1,882E-10	2	157	9	100	50 000	0,15	0,04	0,3	0,3
s	-	-	-	-	-	W/m.K	W/m.K	W/m.K	W/m.K

Porovnání jednotlivých zateplovacích systémů bylo provedeno za těchto jednotných podmínek:

- Výsledný součinitel prostupu tepla $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{.K}$ pro všechny systémy a to včetně přírážky na systematické tepelné mosty $\Delta U = 0,02 \text{ KW/m}^2\text{.K}$ (u zateplení stropu MIAKO $\Delta U = 0,00 \text{ W/m}^2\text{.K}$)
- Šířka krokví 100 mm, osová vzdálenost mezi krokvemi 1000 mm, výška krokví 200 mm
- U minerální vlny byl všude použit jednotný součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,04 \text{ W/m.K}$. U PIR byla použita hodnota deklarovaná výrobcem $\lambda = 0,022 \text{ W/m.K}$.

4.2.1 Zateplení mezi a pod krokvemi

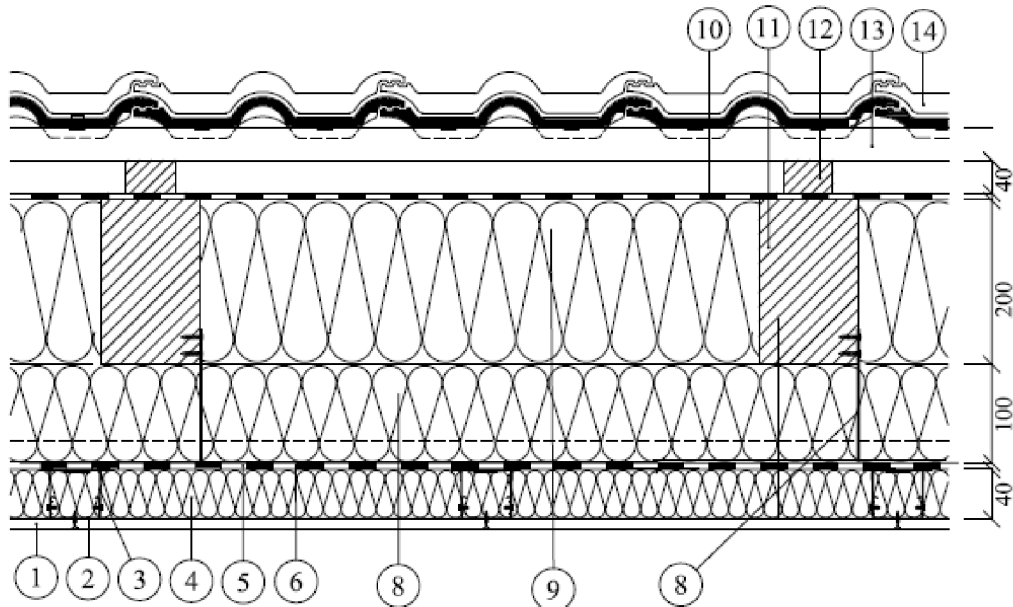
Rozměry konstrukčního řešení pro výpočet vlhkostních charakteristik jsou patrné z obr. 4.5. V modelu **není použita parozábrana**. Výstup modelu je zobrazen na obr. 4.4.



Obr. 4.4: Kondenzace v konstrukci – zateplení pod a mezi krokvemi

Z podmínky (4.1) vyplývá, že ke kondenzaci v konstrukci dojde v okamžiku, kdy křivka $p(x)$ leží na nebo nad křivkou $p''(x)$, tj. mezi průsečíky obou křivek. Vymezení oblasti sice není úplně přesné (chování vodní páry v okolí těchto bodů popisuje např. [8]), nicméně lze tvrdit, že bez parozábrany, nebo pokud dojde k jejímu porušení, dochází v konstrukci za daných podmínek vždy ke kondenzaci. Z tohoto důvodu je

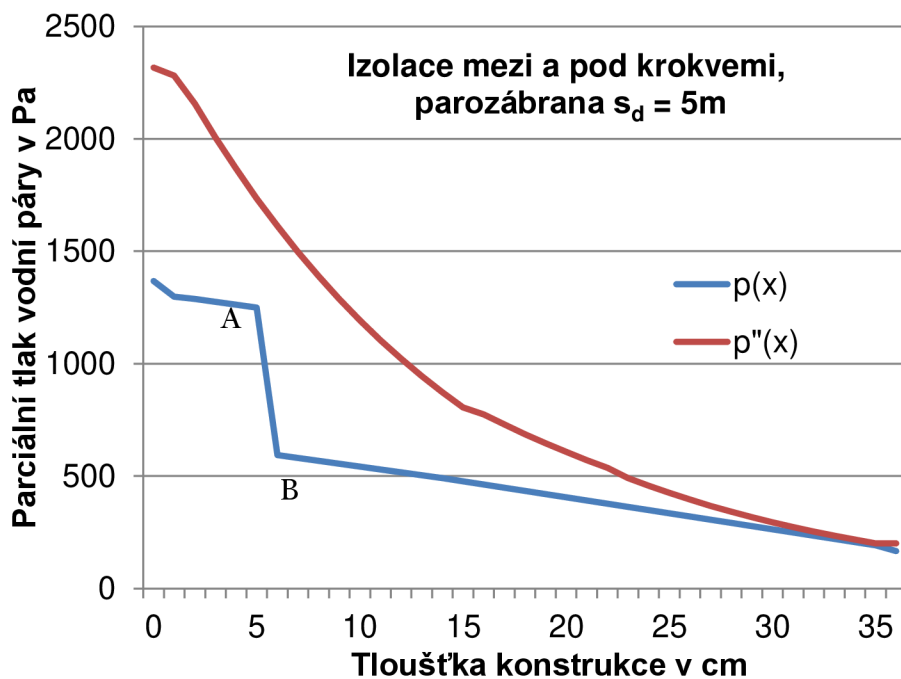
nezbytné, aby parozábrana byla montována s maximální pečlivostí. Pravděpodobnost porušení parozábrany při její montáži nebo při následných operacích (např. manipulace s SDK deskami) je jednou z hlavních nevýhod tohoto zateplovacího systém. Zároveň zde není možná kontrola během užívání stavby, což může mít pro nosnou konstrukci fatální důsledky.



1. Sádkartonová konstrukce
2. Přímý závěs pro CD 60 x 27 - osová rozteč jednotlivých prvků je max. 500 mm
3. Konstrukce z CD profilů
4. Tepelný izolant z minerální vlny - pod krokve
5. Konstrukce z CD profilů
6. Parotěsná fólie
7. Tepelný izolant z minerální vlny - pod krokve
8. Krokvový závěs pro CD 60 x 27 - osová rozteč jednotlivých prvků je max. 800 mm
9. Tepelný izolant z minerální vlny - mezi krokve
10. Kontaktní difúzní fólie
11. Krokev
12. Kontralat'
13. Střešní lat'
14. Skládaná střešní krytina

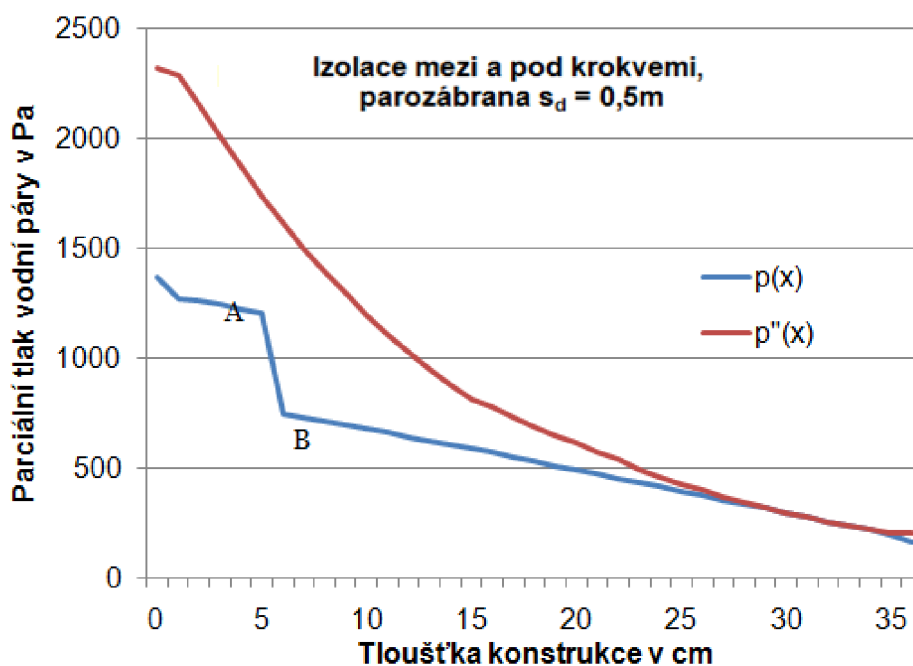
Obr. 4.5: Zateplení pod a mezi krokve, parozábrana na prvním roštu

Problematika porušení parozábrany je popsána v [6]. Uvedený zdroj doporučuje simulovat proděravění parozábran redukcí difuzního odporu parozábrany na $s_{d}=5$ m (odpovídá hodnotě $\mu = 18519$). Na obr. 4.2 je zřetelně vidět zlom v bodech A a B, tj. umístění parotěsné folie v konstrukci. Křivky aktuálního tlaku vodní páry a tlaku syté vodní páry se sice k sobě přibližují, nicméně v konstrukci ke kondenzaci docházet nebude.



Obr. 4.6: Kondenzace v konstrukci – parozábrana $s_d = 5m$

Pokud je hodnota snížena dále na 0,5m ($\mu = 1852$) – obr. 4.7, je vidět, že v horní části konstrukce bude ke kondenzaci docházet (obě křivky se překrývají).



Obr. 4.7: Kondenzace v konstrukci – parozábrana $s_d = 0,5m$

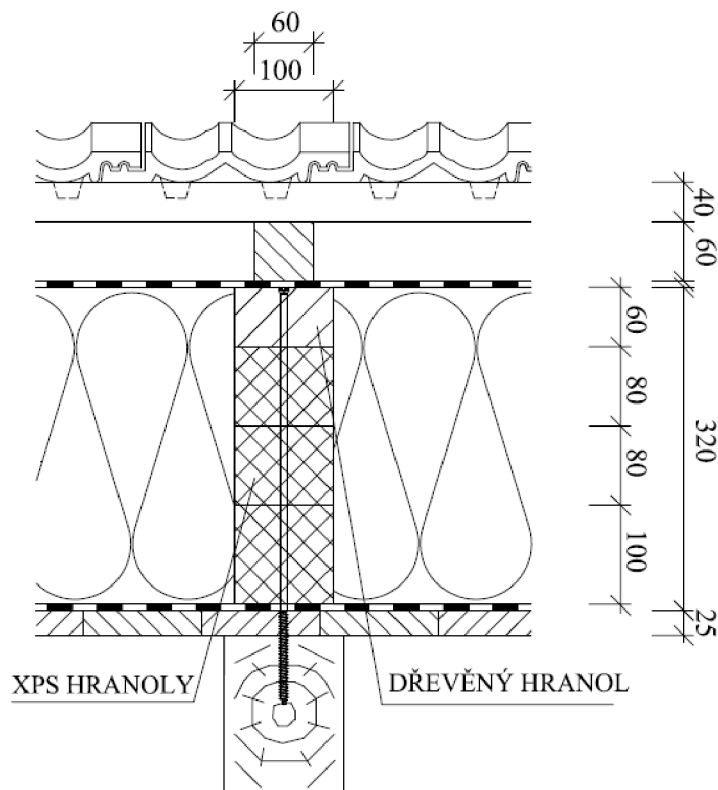
Součinitele prostupu tepla $U=0,15 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ bylo u tohoto konstrukčního systému dosaženo při tloušce izolace 34 cm.

4.2.2 Zateplení nad krokviemi

Kontralatě jsou provedeny na sekundárním nosném systému

Rozměry konstrukčního řešení pro výpočet vlhkostních charakteristik zateplení nad krokviemi jsou patrné z obr. 4.8 (pro účely testu bez parozábrany).

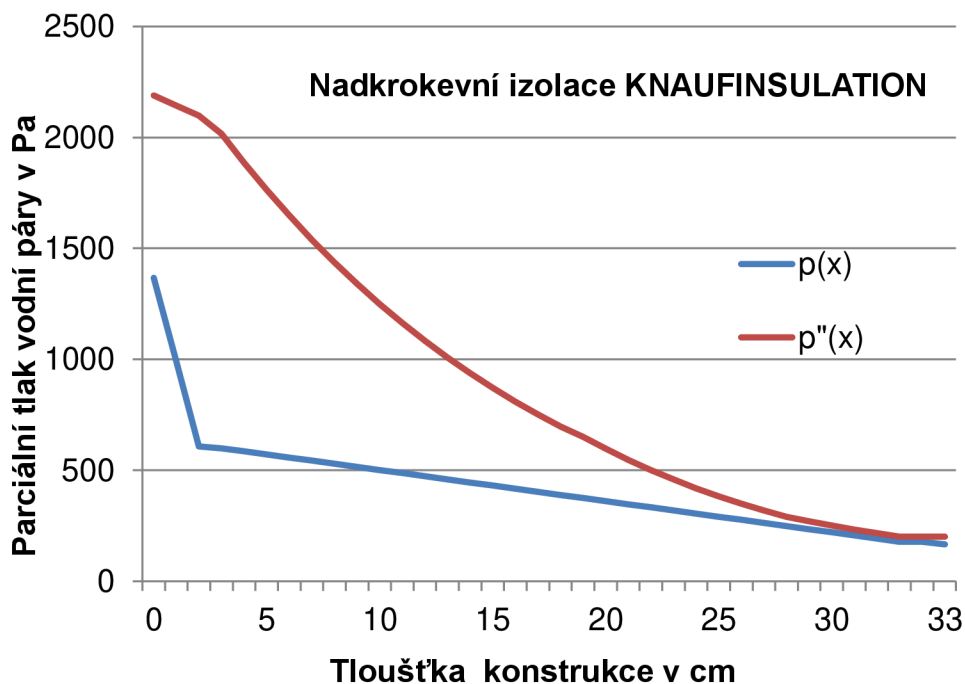
Výstup modelu je patrný z obr. 4.9, kde je zřejmé, že kondenzace v konstrukci nenastane. Je to způsobeno dřevěným záklopem nad krokviemi. Dřevo má poměrně velký součinitel difúzního odporu $\mu=157$, nicméně je třeba počítat s tím, že pokud se použijí palubky na pero-drážku, mohou v ploše podhledu vznikat ve spojích netěsnosti. Literatura [7] uvádí, že u takovýchto spojů lze brát součinitel difúzního odporu hodnotou $\mu=50$. Tato hodnota je použita v modelu a odpovídá při tloušťce podhledu 25 mm hodnotě $s_d=1,25\text{m}$, což řádově odpovídá stavu proděravělé parozábrany u podkrokovní izolace (obr. 4.6 a 4.7), kdy ke kondenzaci docházelo až při hodnotách $s_d < 1\text{ m}$.



Obr. 4.8: Nadkroevní izolace systému KNAUFINSULATION [15]

Řešení detailů u palubkového podhledu je pak z hlediska vytvoření určité formy parozábrany poměrně jednoduché. Palubkový podhled probíhá po celé rovině horních hran krokví, z hlediska průniku vodní páry do střešní konstrukce se tedy nemusí řešit detail u pozednice ani u štitových stěn. Je třeba řešit jen spoje palubek a to jak v podélném, tak příčném směru.

Celková vrstva tepelné izolace pro dosažení $U=15\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ je 32 cm.



Obr. 4.9: Kondenzace v nadkrokevní izolaci KNAUFINSULATION

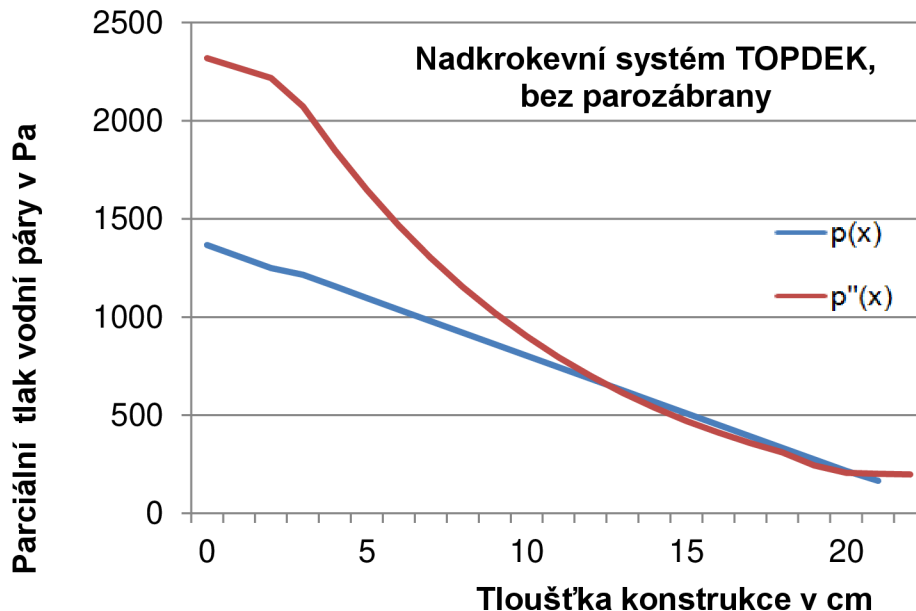
Na obr. 4.10 je systém TOPROCK. Vrstva izolace potřebná k dosažení srovnávací hodnoty $U=0,15\text{W/m}^2\text{K}$ je 320 mm, nicméně výrobce dodává systém pouze do vrstvy 300 mm. Z obrázku jsou patrné maximální rozměry vrstvy izolace – 180mm dané výškou držáku + 120 mm dané velikosti dřevěného hranolu pod kontralatí. Průběh křivek parciálního tlaku vodní páry je shodný jako u systému KNAUFINSULATION. Rozdíl oproti KNAUFINSULATION je v použitém nosném systému, kde místo XPS hranolů jsou použity speciální držáky, na kterých je umístěn dřevěný hranol jako podpora kontralatě.



Obr. 4.10: Systém TOPROCK [14]

Systém využívající celoplošné tepelné izolace jako nosné konstrukce

Pro hodnocení byl vybrán systém TOPDEK, kde výrobce standardně dodává PIR desky o maximální tloušťce 160mm. Pro dosažení srovnatelného $U=0,15\text{W/m}^2\text{K}$ by bylo třeba 180mm (při $\lambda=0,022\text{W/m.K}$). Jako vstupní parametr do modelu byla z důvodu srovnatelnosti výsledků použita tloušťka 180 mm. Složení konstrukce je patrné z obr. 4.2, pro účely testu bez parozábrany. Výstupem modelu je obr. 4.11.



Obr. 4.11: Kondenzace v konstrukci - nadkroevní systém TOPDEK

Oblast kondenzace bude ležet uvnitř PIR desky, vzhledem k velkému difuznímu odporu však bude kondenzující vodní páry uvnitř desky minimum a nebude ohrožena nosná konstrukce. Ke kondenzaci by mohlo docházet pouze v místech průniku kotevních prvků, kde došlo k otláčení PIR desky. Je proto třeba, aby kotevní prvky odolávaly korozi. Rizikem pro nosnou konstrukci by mohl být kondenzát stékající po spojovacích prvcích.

Rozdíl oproti zateplení skelnou vlnou je v tom, že PIR má mnohem větší difuzní odpor.

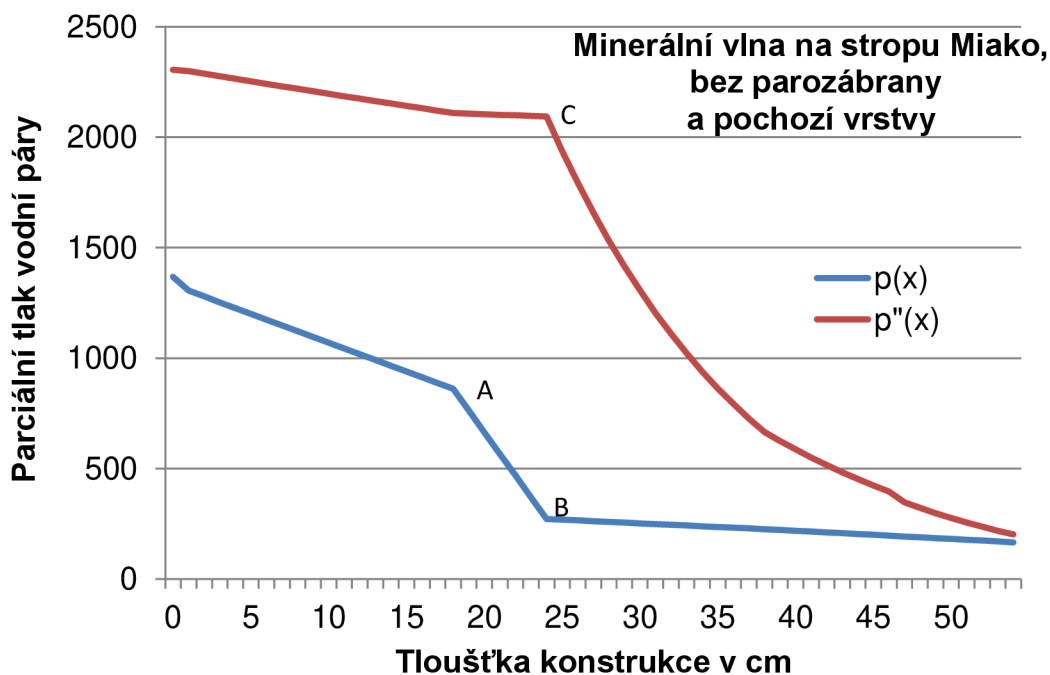
4.2.3 Zateplení nad stropem posledního podlaží

Pro posouzení byl vybrán systém MIAKO výrobce HELUZ. Strop je tvořen keramickými stropními vložkami, keramicko-betonovými stropními nosníky vyztuženými prostorovou svařovanou výztuží a betonovou vrstvou. Tepelná izolace je položena v první vrstvě volně na strop. Druhá vrstva je u pochozích variant vložena do vytvořeného roštu. Za standardních podmínek je na stropě položena parozábrana, která prochází pod pozednicemi až k vnějšímu líci obvodových stěn, pro účely testu parozábrana uvažována není. Na roštu může nebo nemusí být položena pochozí vrstva z prken nebo OSB desek. Porovnání bude provedeno pro tyto varianty:

- Nad vrstvou tepelné izolace není pochozí vrstva
- Nad vrstvou izolace je hydroizolace a pochozí vrstva z prken

Nad vrstvou tepelné izolace není pochozí vrstva

Výstup modelu je patrný z obr. 4.12. V konstrukci za testových podmínek nedojde ke kondenzaci. Za zmínku stojí zlomy u obou křivek. Zlom v bodě C představuje změnu materiálů beton – minerální vlna (parciální tlak syté páry závisí pouze na teplotě, v uvedeném bodě se prudce mění gradient teploty). Bod A křivky aktuálního tlaku vodní páry reprezentuje přechod keramická vložka – beton a bod B přechod beton – minerální vlna. Je to dané tím, že aktuální tlak vodní páry je závislý na difuzní vodivosti dané části konstrukce. Beton má nejmenší difuzní vodivost v (řádech 10^{-12} s), keramická vložka menší (10^{-11} s) a největší je u minerální vlny (10^{-10} s).

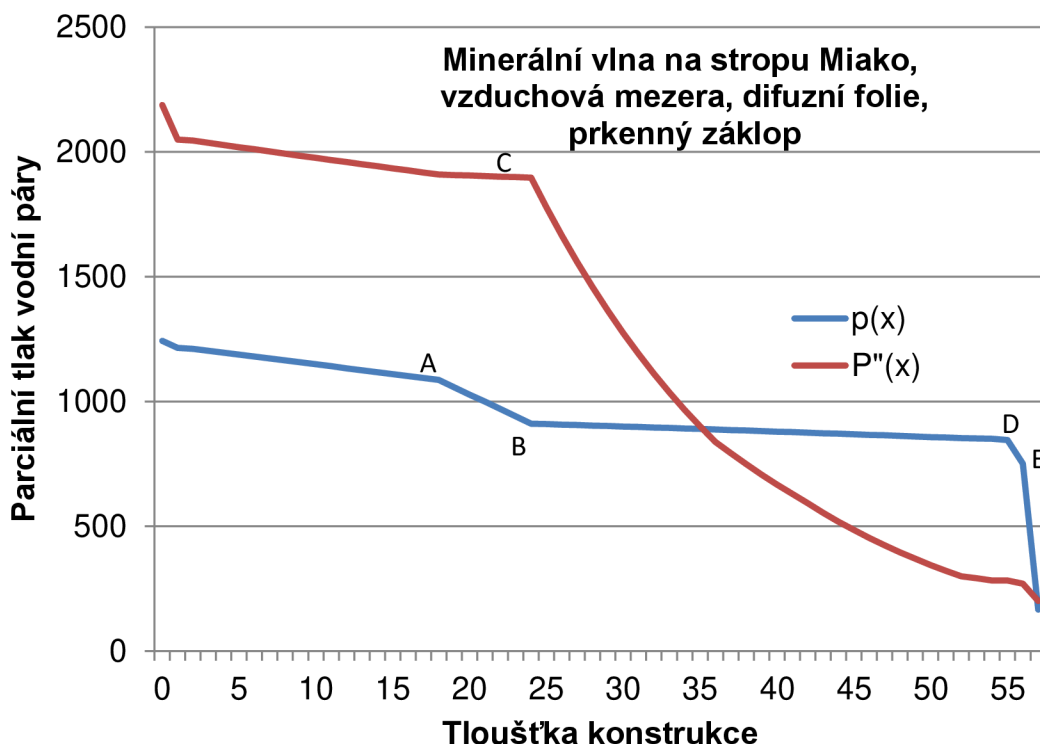


Obr. 4.12: Kondenzace při zateplení stropu MIAKO bez pochozí vrstvy

Nad vrstvou izolace je pojistná hydroizolace a pochozí vrstva z prken

Posouzení zateplení stropu, kde na roštu je pochozí vrstva z prken, je na obr. 4.13. Mezi poslední vrstvou minerální vlny a pochozí vrstvou je 2cm vzduchová mezera a dále difuzní folie. Difuzní folie zde plní funkci ochrany proti prachu, prach je hygroskopický a může v izolaci vázat vlhkost, čímž de facto neguje hydrofobizaci izolace.

U této konstrukce je vysvětlení bodů A, B, C shodné jako u konstrukce bez pochozí vrstvy. Bod D představuje přechod minerální vlna – difuzní folie a bod E, přechod difuzní folie – prkená pochozí vrstva. Je zřejmé, že v konstrukci bude ke kondenzaci docházet. Je to způsobeno zejména prkenou pochozí vrstvou, která má poměrně velký difuzní odpor. Svůj vliv má i difuzní folie, jejíž působení bude vysvětleno dále. Pokud se předpokládá využití půdního prostoru a vrstva nad tepelnou izolací je pochozí, doporučuji, aby mezi prkny byly záměrně ponechávány mezery kvůli odvětrání. V případě OSB desky vyvrtat otvory.



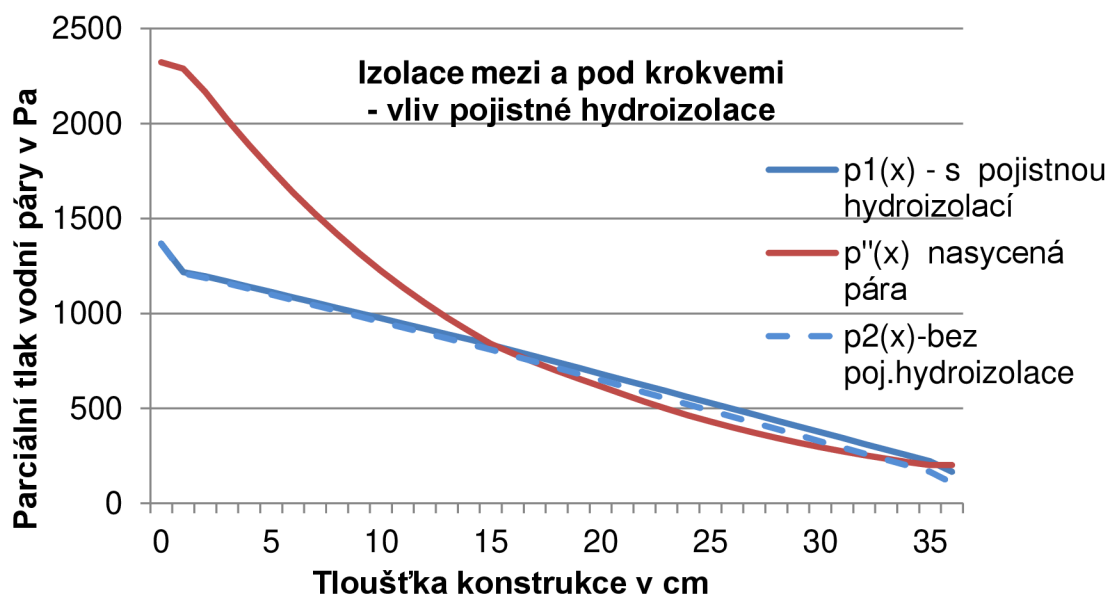
Obr. 4.13: Kondenzace při zateplení stropu MIAKO s pochozí vrstvou

Součinitele prostupu tepla $U=15\text{W/m}^2\text{K}$ je u tohoto zateplení dosaženo vrstvou 28 cm. Tato poměrně malá tloušťka vrstvy je dána především skutečností, že částečný, byť malý, tepelný odpor má i vlastní konstrukce stropu MIAKO a dále skutečnost, že první vrstvou izolace neprocházejí žádné spojovací prostředky a tedy $\Delta U = 0\text{W/Km}^2$ (nikoliv $0,02\text{W/Km}^2$).

4.3 Vlivy působící na vytvoření kondenzační oblasti

4.3.1 Difuzní odpor jednotlivých vrstev konstrukce

Není pochyb o tom, že parozábrana na vnitřní straně konstrukce je ve většině střešních konstrukcí s tepelnou izolací nepostradatelná. Je však nutné, aby byla dobře namontována. Příklady nadkroevních systémů ukazují, jaký vliv hraje přiznaný palubkový podhled, kde díky velkému difuznímu odporu dřeva nemusí v konstrukci ke kondenzaci vůbec docházet i bez použití parozábrany. To samé, ale v opačné (negativní) pozici platí o dřevěném záklopu nad zateplením stropu MIAKO. Jeli použita jako tepelná izolace minerální plst', je její difuzní odpor zanedbatelný ($\mu = 1-2$). Velký difuzní odpor má tepelná izolace PIR (cca $\mu=60$), její vliv je dobře patrný z kap. 4.2.2. a obr. 4.11. Poměrně překvapivý je však difuzní odpor pojistné (difuzní) hydroizolace. Už pojem "difuzní" znamená, že by měla velmi účinně propouštět vodní páru, nicméně její faktor difuzního odporu $\mu=100$, což je poměrně velké číslo v porovnání např. s cihelným zdívem, kde je cca $\mu=10$ viz [7] a tak i při malých tloušťkách ovlivňuje kondenzaci v oblasti tepelné izolace, jak je zřejmé z obr. 4.14.

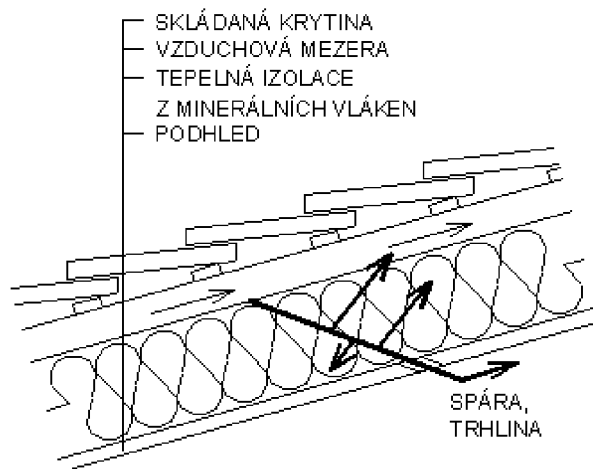


Obr. 4.14: Kondenzace v konstrukci – vliv pojistné hydroizolace

Vliv pojistné hydroizolace (difuzní folie) na kondenzaci ve stavební konstrukci je sice poměrně malý, nikoliv však zanedbatelný.

Hydroizolace plní následující funkce:

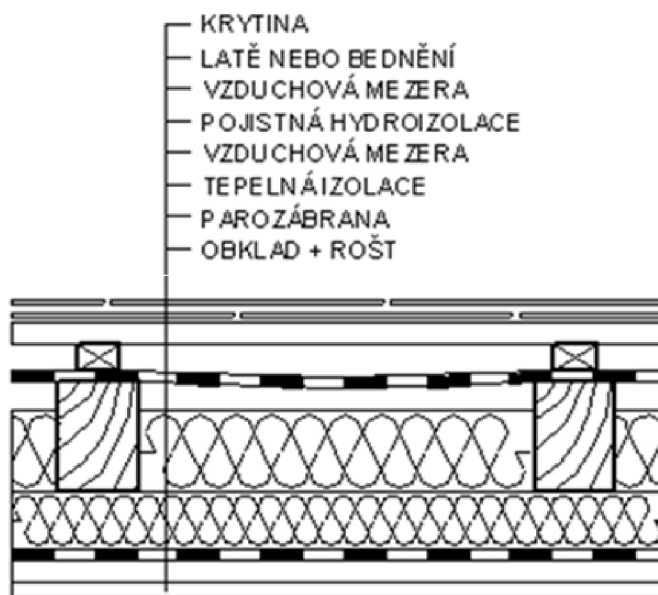
- Chrání před vodou, která se dostane přes vrchní plášť (zavanutý sníh...)
- Chrání před prachem – hygroskopický prach může vázat vlhkost a prakticky negovat hydrofobizaci tepelné izolace
- Působí jako vzduchotěsná vrstva. Důvody uvádí [7] :
 1. Množství tepla, které unikne skrze netěsnosti konstrukcí (spárami, trhlinami) a skrze pronikání venkovního vzduchu do tepelné izolace (pokud je tvořena vláknitými materiály) bývá obvykle vysoké. Tento účinek může být ještě zvýšen, jestliže je objekt situován v zeměpisné oblasti s intenzivním působením větru.
 2. Venkovní vzduch o nízké teplotě, který pronikne do tepelné izolace má také negativní vliv na tepelnou a vlhkostní bilanci ve střešním plášti.



Obr. 4.15: Schematické znázornění vlivu venkovního vzduchu pronikajícího do tepelné izolace [7]

Zde vyvstává otázka, do jaké míry je vhodné použití tříplášťové střechy (obr. 4.16), kde mezi tepelnou izolací a pojistnou hydroizolací je provětrávaná vzduchová mezera.

Pokud je mezi vnějším lícem tepelné izolace a hydroizolací provětrávaná mezera, může tato mezera eliminovat **funkce ochrany proti prachu a vzduchotěsnost**. Tento důsledek je možné omezit malou tloušťkou provětrávané mezery. Zde pak nedojde k výraznějšímu proudění vzduchu a mezera má pozitivní vliv na vyrovnání tlaku vodní páry pod pojistnou hydroizolací, čímž dochází k vyloučení možnosti její kondenzace na dolním povrchu pojistné hydroizolace. Působí tedy jako expanzní (mikroventilační) vrstva [7].

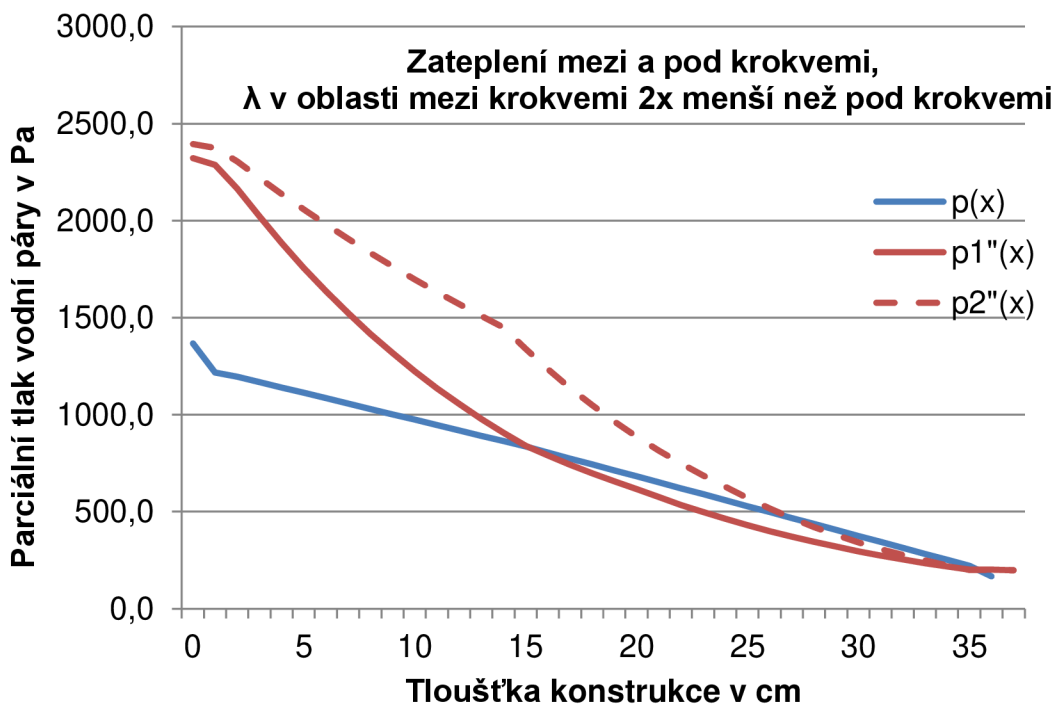


Obr. 4.16: Tříplášťová střecha [7]

S ohledem na jednodušší montáž a dále bezproblémové plnění uvedených funkcí se zdá být výhodnější použití hydroizolace umístěné přímo na vnějším líci tepelné izolace a to i přes zmiňovanou nevýhodu zvýšené možnosti kondenzace na vnitřním povrchu hydroizolace.

4.3.2 Vliv tepelné vodivosti jednotlivých vrstev

Tepelná vodivost v jednotlivých vrstvách konstrukce ovlivní především teplotu po celé tloušťce konstrukce a tedy i průběh parciálního tlaku syté páry. Na obr. 4.17 je znázorněna situace, kdy λ je v oblasti mezi krokviemi 2x nižší (tedy 0,02W/m.K) než izolace pod krokviemi.



Obr. 4.17: Kondenzace v konstrukci - vliv tepelné vodivosti jednotlivých vrstev

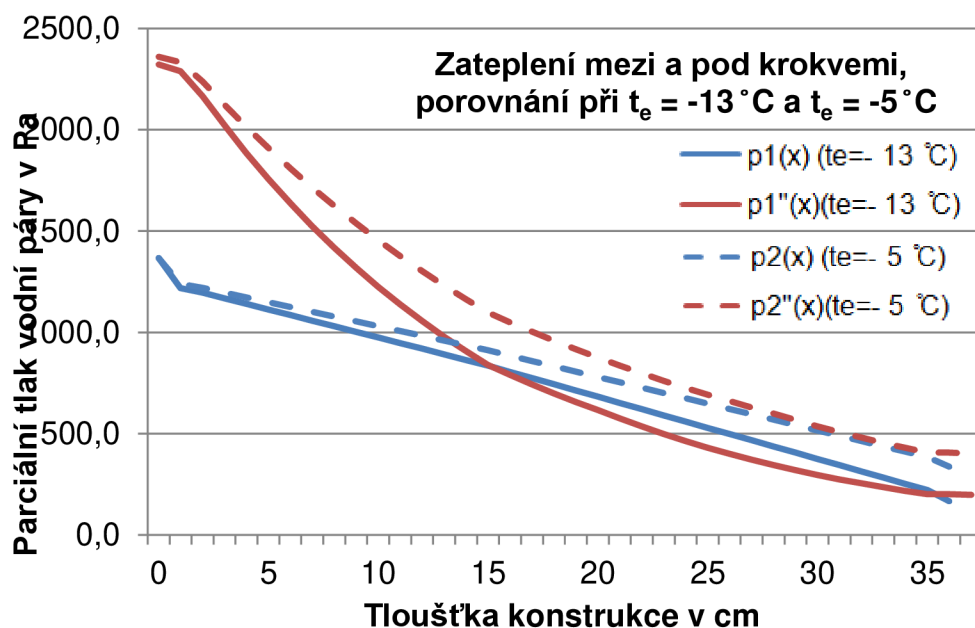
Křivka aktuálního parciálního tlaku závisí pouze na difuzních vlastnostech materiálu, není závislá na tepelných vlastnostech materiálů, proto je stejná. Změní se pouze křivka parciálního tlaku syté páry, kde $p_2(x)$ znázorňuje situaci se součinitelem λ 2x menším v oblasti mezi krokviemi. Je vidět, že kondenzace nastane až u vnějšího povrchu tepelné izolace, zdánlivě je tedy situace příznivější. Kondenzace tam však za daných okrajových podmínek nastane vždy, i kdybychom dále zmenšovali tepelnou vodivost v oblasti mezi krokviemi. Navíc ve stavební praxi bude ve většině případů situace opačná, tj. na vnější straně konstrukce bude tepelná vodivost větší než na vnitřní straně (nosné prvky pod střešní krytinou). Výjimkou jsou systémy s izolací mezi a nad krokviemi.

Výše uvedené vlivy vyplývají z charakteristik materiálů nebo z geometrie konstrukce. Jsou tedy ovlivnitelné projektantem.

Největším externím vlivem „mimo dosah“ projektanta je vnější a vnitřní teplota.

4.3.3 Vliv venkovní teploty

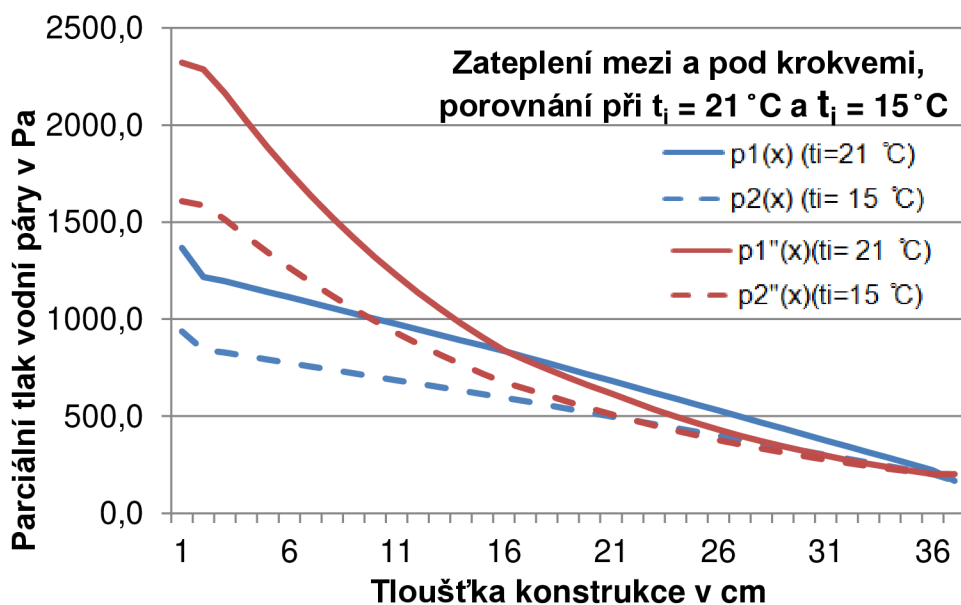
Výsledek modelu hodnotícího vliv venkovní teploty je na obr. 4.18. Obě křivky parciálních tlaků (aktuální i syté vodní páry) jsou závislé na venkovní teplotě. Aktuální parciální tlak v konstrukci závisí na venkovní teplotě prostřednictvím parciálního tlaku páry ve venkovním prostředí. Parciální tlak syté páry v konstrukci je ovlivňován pouze teplotou v konstrukci a ta závisí na venkovní teplotě. Z grafu vyplývá, že při venkovní teplotě -5°C nedojde v konstrukci ke kondenzaci, blízkost obou křivek však napovídá, že při dalším snížení venkovní teploty dojde patrně v konstrukci ke kondenzaci. Naopak zvyšováním venkovní teploty se budou křivky dále oddalovat, tzn. ke kondenzaci nebude docházet. V našich klimatických podmínkách tedy po většinu roku ke kondenzaci docházet nebude.



Obr. 4.18: Kondenzace v konstrukci – závislost na venkovní teplotě

4.3.4 Vliv vnitřní teploty

Vnitřní teplota ovlivňuje kondenzaci podobně jako venkovní teplota, jen obráceně. Při jinak stejných podmínkách s klesající vnitřní teplotou klesá pravděpodobnost kondenzace v konstrukci a naopak (obr. 4.19).



Obr. 4.19: Kondenzace v konstrukci – závislost na vnitřní teplotě

4.3.5 Závěry k vlivům na kondenzaci uvnitř konstrukce

- Nejvýznamnější charakteristikou materiálu ovlivňující kondenzaci v konstrukci je difuzní odpor.
- Nejúčinněji lze kondenzaci ovlivnit vhodným umístěním jednotlivých vrstev izolace, tedy směrem zevnitř materiály s větším difuzním odporem postupně se snižujícím k vnějšímu líci tepelné izolace.
- Hodnoty tepelné vodivosti v různých vrstvách konstrukce ovlivňují oblast kondenzace, nemá však vliv na to, zda ke kondenzaci dojde nebo ne. V uvedeném příkladě se vlivem nižší tepelné vodivosti vrstvy mezi krokvemi sice posune a zmenší oblast kondenzace, ale vždy ke kondenzaci dojde.
- Vnější teplotu nemůže projektant ovlivnit, platí, že se zvyšující se venkovní teplotou klesá riziko kondenzace uvnitř konstrukce.
- Vnitřní teplotu je možno ovlivnit jen málo. Např. instalací podlahového topení, sálavého zdroje, kde při nižší vnitřní teplotě dosahujeme stejné úrovně tepelné pohody jako např. vytápěním radiátory. Platí, že čím nižší vnitřní teplota, tím menší riziko kondenzace uvnitř konstrukce.

Poznámky k výpočetnímu modelu a podmínkám testu

- Simulace stavu protržení parotěsné folie tím, že folii odejmeme, není úplně přesná, neboť v místě protržení folie dochází ke koncentraci vodní páry. Popis tohoto chování lze nalézt např. v [6].
- Výpočetní model je zjednodušením Glaserovy metody. Skutečný parciální tlak vodní páry bude vždy nižší nebo roven parciálnímu tlaku syté páry, jeliko „nadbytečná“ pára zkondenzuje. Hranice kondenzační oblasti tedy nejsou přesné. Blíže v [4] a [8].
- Jde o jednorozměrný model.

Pro účely porovnání jednotlivých variant a pro vyvození závěrů je i přes uvedená zjednodušení tento model naprosto dostačující.

4.4 Hodnocení z hlediska nákladovosti

Posouzení bylo provedeno v programu RTS v cenách r. 2014. Posuzovány jsou pouze položky, které jsou v konstrukcích rozdílné. Rozpočty tedy nejsou kompletní a jsou použitelné pouze pro srovnání. Výsledné ceny jsou v Kč na jednotku plochy půdorysu.

Tab. 4.4: Položkový rozpočet pro strop MIAKO (výstup z programu RTS)

Konstrukce :		Miako strop				
Objekt :		Dvoupodlažní budova				
P.č.	Číslo položky	Název položky	MJ	Poměr plocha/ půdorys	Cena / MJ	Celkem (Kč)/m ² půdorysné plochy
Díl: 4		Vodorovné konstrukce				
1	411 16- 7125.RT3	Strop HELUZ, OVN 50, tl. 23 cm, nosník 5,25 - 6 m s Kari sítí KA 17 drát 4 mm oko 150x150 mm	m ²	1,00	1 425,00	1 425,00
2	417 32- 7112.R00	Ztužující žebro stropu Heluz tl. 21 cm, OVN 50 cm	m ²	1,00	139,00	139,00
	<i>Celkem za</i>	<i>4 Vodorovné konstrukce</i>				1 564,00
Díl: 61		Upravy povrchů vnitřní				
3	611 42- 1133.R00	Omítka vnitřní stropů rovných, MVC, štuková	m ²	1,00	377,50	377,50
	<i>Celkem za</i>	<i>61 Upravy povrchů vnitřní</i>				377,50
Díl: 713		Izolace tepelné				
4	713 10- 0010.RAD	Izolace tepelné volně položené Orsil Unirol tloušťka 16 cm	m ²	1,00	249,00	249,00
5	713 10- 0030.RAE	Izolace tepelné volně položené Orsil Unirol tloušťka 12 cm	m ²	1,00	195,00	195,00
	<i>Celkem za</i>	<i>713 Izolace tepelné</i>				444,00
Díl: 765		Krytiny tvrdé				
6	765 90- 1102.R00	Fólie podstřešní paropropustná Tuning Fol - N	m ²	1,00	58,40	58,40
	<i>Celkem za</i>	<i>765 Krytiny tvrdé</i>				58,40
Celkem						2 443,90

Tab. 4.5: Položkový rozpočet zateplení pod a mezi krokvelemi (výstup z programu RTS)

Konstrukce :		Zateplení pod a mezi krokvelemi				
Objekt :		Budova s půdní vestavbou				
P.č.	Číslo položky	Název položky	MJ	Poměr plocha/půdorys	Cena / MJ	Celkem (Kč)/m ² půdorysné plochy
Díl: 4		Vodorovné konstrukce				
1	447 11-3121.RZ1	Podkroví SDK,OK CD, záv.krokv.izolace,1xRB tl.12,5 bez dodávky a montáže izolace	m ²	1,11	607,00	673,77
	Celkem za	4 Vodorovné konstrukce				673,77
Díl: 713		Izolace tepelné				
2	713 11-1211.RK6	Montáž parozábrany krovů spodem s přelepením spojů Jutafol N AL170 speciál	m ²	1,11	94,80	105,23
3	713 11-1121.RT1	Izolace tepelné stropů rovných spodem, drátem 1 vrstva - materiál ve specifikaci	m ²	1,11	77,60	86,14
4	713 11-1130.RT1	Izolace tepelné stropů, vložené mezi krokve 1 vrstva - materiál ve specifikaci	m ²	1,11	72,00	79,92
5	713 11-11	Orsil Unirol 180	m ²	1,11	278,00	308,58
6	713 11-11	Orsil Unirol 120	m ²	1,11	195,00	216,45
	Celkem za	713 Izolace tepelné				796,31
Díl: 765		Krytiny tvrdé				
7	765 90-1122.R00	Fólie podstrešní paropropustná Jutafol D 140	m ²	1,11	53,40	59,27
	Celkem za	765 Krytiny tvrdé				59,27
Díl: 784		Malby				
8	784 16-5821.R00	Malba tekutá Hetline pro SDK, barva, bez pen.,1 x	m ²	1,11	32,10	35,63
	Celkem za	784 Malby				35,63
Celkem						1 564,99

Tab. 4.6: Položkový rozpočet pro nadkroevní zateplení PIR (výstup z programu RTS)

Konstrukce :		Nadkroevní s PIR				
Objekt :		Budova s půdní vestavbou				
P.č.	Číslo položky	Název položky	MJ	Poměr plocha/půdorys	cena / MJ	celkem (Kč)/m ² půdorysné plochy
Díl	713	Izolace tepelné				
1	713 11-1212	TOPDEK parotěsná folie AL BARRIER	m ²	1,27	140,00	177,80
2	713 11-1211.RK6	Montáž parotěsné folie AL BARRIER (přilepením)	m ²	1,27	15,50	19,69
3	713 11-14	TOPDEK PIR 022	m ²	1,27	800,00	1 016,00
	<i>Celkem za</i>	<i>713 Izolace tepelné</i>				1 213,49
Díl	762	Konstrukce tesařské				
4	762 33-2120.RT2	Montáž přesahů - námětků krovů včetně dodávky řeziva, hranoly 10/16	m ²	1,27	95,00	120,65
5	762 34-2204.RT4	Upevnění izol. vrstvy přes kontralatě dodatečné náklady	m ²	1,27	10,00	12,70
	<i>Celkem za</i>	<i>762 Konstrukce tesařské</i>				133,35
Díl	765	Krytiny tvrdé				
6	765 90-1001.R00	Montáž podstřešní fólie	m ²	1,27	31,90	40,51
7	765 90-1122	Difuzní folie TOPDEK	m ²	1,27	125,00	158,75
	<i>Celkem za</i>	<i>765 Krytiny tvrdé</i>				199,26
Díl	766	Konstrukce truhlářské				
8	766 42-1212	Palubky SM 24 x116	m ²	1,27	252,00	320,04
9	766 42-1212.R00	Obložení podhledů jednod. palubkami SM š. do 8 cm	m ²	1,27	197,50	250,83
	<i>Celkem za</i>	<i>766 Konstrukce truhlářské</i>				570,87
Díl	783	Nátěry				
10	783 65-1102.R00	Nátěr epoxidový truhlářských výrobků 2x lak	m ²	1,27	181,50	230,51
	<i>Celkem za</i>	<i>783 Nátěry</i>				230,51
Celkem						2 347,47

Tab. 4.7: Položkový rozpočet pro nadkroevní izolaci minerální vlnou (výstup z programu RTS)

Konstrukce :		Nadkroevní izolace s minerální vlnou				
Objekt :		Budova s půdní vestavbou				
P.č.	Číslo položky	Název položky	MJ	Poměr plocha /půdorys	Cena / MJ	Celkem (Kč)/m ² půdorysné plochy
Díl:	713	Izolace tepelné				
1	713 11-1211.RK6	Montáž parozábrany krovů spodem s přelepením spojů Jutafol N AL170 speciál	m ²	1,27	94,80	120,40
2	713 11-11	Orsil Unirol 160	m ²	1,27	249,00	316,23
3	713 11-11	Orsil Unirol 160	m ²	1,27	249,00	316,23
	Celkem za	713 Izolace tepelné				752,86
Díl:	762	Konstrukce tesařské				
4	762 71-2120.RT2	Montáž vázaných konstrukcí hraněných do 224 cm2 včetně dodávky řeziva, hranoly 12/14	m ²	1,27	778,00	988,06
	Celkem za	762 Konstrukce tesařské				988,06
Díl:	765	Krytiny tvrdé				
5	765 90-1122.R00	Fólie podstřešní paropropustná Jutafol D 140	m ²	1,27	53,40	67,82
	Celkem za	765 Krytiny tvrdé				67,82
Díl:	766	Konstrukce truhlářské				
6	766 42-1212.R00	Obložení podhledů jednod. palubkami SM š. do 8 cm	m ²	1,27	197,50	250,83
7	766 42-1212	palubka SM 24x146 mm			252,00	
	Celkem za	766 Konstrukce truhlářské				250,83
Díl:	783	Nátěry				
8	783 65-1102.R00	Nátěr epoxidový truhlářských výrobků 2x lak	m ²	1,27	181,50	230,51
	Celkem za	783 Nátěry				230,51
CELKEM						2 290,06

Nejlevněji vychází zateplení pod a mezi krokvemi, největší investicí je naopak konstrukce se stropem MIAKO nad 2. nadzemním podlažím (nejsou započítány vyšší konstrukce stěn). Investice do zateplení nad krokvemi je jen o málo nižší než konstrukce se stropem MIAKO (tab. 4.4–4.7).

4.5 Hodnocení z hlediska vzduchové neprůzvučnosti

Hodnocení je provedeno na základě vážené laboratorní neprůzvučnosti R_w . Hodnoty jsou převzaty z dokumentací výrobců těchto konstrukcí (tab. 4.8).

Tab. 4.8: Vážená neprůzvučnost hodnocených konstrukcí

Vážená neprůzvučnost	Zateplení mezi a pod krokvemi [11]	Zateplení nad krokvemi skelnou vlnou [11]	Zateplení nad krokvemi PIR [12] ¹	Zateplení na stropní konstrukci MIAKO [13]
Vážená neprůzvučnost R_w (dB)	55	55	30	57

1- Výrobce udává použitelnost pro nejvyšší ekvivalentní hladinu akustického tlaku 2 m před fasádou v denní době 60 dB, v noční době 50dB. Hodnota v tabulce je pro srovnání odvozena z normy [10] a odpovídá vážené stavební neprůzvučnosti.

Norma [10] uvádí požadavky na zvukovou izolaci (tab. 4.9) v závislosti na ekvivalentní hladině akustického tlaku ve vzdálenosti 2m před fasádou a to pro denní dobu 6:00–22:00 a noční dobu 22:00–6:00.

Tab. 4.9: Požadavky normy [10] na zvukovou izolaci obvodových pláštů budov

Požadovaná zvuková izolace obvodového pláště v hodnotách $R'_{w,T}$ nebo $D_{nT,w}$, dB							
Druh chráněného vnitřního prostoru	Ekvivalentní hladina akustického tlaku v denní době 06:00 h – 22:00 h ve vzdálenosti 2 m před fasádou $L_{A,eq,2m}$, dB **)						
	≤ 50	> 50 ≤ 55	> 55 ≤ 60	> 60 ≤ 65	> 65 ≤ 70	> 70 ≤ 75	> 75 ≤ 80
Obytné místnosti bytů, pokoje v ubytovnách (koleje, internáty apod.)	30	30	30	33	38	43	48
Pokoje v hotelech a penzionech	30	30	30	30	33	38	43
Nemocniční pokoje	30	30	30	33	38	43	(48)
Druh chráněného vnitřního prostoru	Ekvivalentní hladina akustického tlaku v noční době 22:00 h – 06:00 h ve vzdálenosti 2 m před fasádou $L_{A,eq,2m}$, dB **)						
	≤ 40	> 40 ≤ 45	> 45 ≤ 50	> 50 ≤ 55	> 55 ≤ 60	> 60 ≤ 65	> 65 ≤ 70
Obytné místnosti bytů, pokoje v ubytovnách (koleje, internáty apod.)	30	30	30	33	38	43	48
Pokoje v hotelech a penzionech	30	30	30	30	33	38	43
Nemocniční pokoje	30	30	33	38	43	48	(53)

Nejlépe z hodnocených zateplovacích systémů vychází zateplení na stropní konstrukci MIAKO. Kromě zateplení nad krokvemi PIR splňují všechny hodnocené konstrukce požadavky na nejvyšší hodnoty ekvivalentních hladin akustického tlaku s určitou rezervou na korekci pro vedlejší cesty šíření zvuku (pro přepočítání laboratorní a stavební vážené neprůzvučnosti).

4.6 Vyhodnocení zateplovacích systémů šikmých střech

4.6.1 Nadkrokevní systém vs. zateplení pod a mezi krokve

Výhody nadkrokevního systému oproti zateplení pod a mezi krokve:

- Pokud je použita parozábranou asfaltový pás, což bývá u těchto systémů obvyklé, je tento asfaltový pás jednou z nejlepších variant parozábrany, hodnocení lze nalézt v [16], příkladem může být systém TOPDEK (obr. 4.19).
- Pokud je kvalitně proveden podhled (např. palubky, spoje PD v podélném i příčném směru), má tento pohled vysoký difuzní odpor sám o sobě, což je důležité zejména při výrazném porušení parozábrany.
- Primární nosný systém, tj. krokve, je pod kontrolou, jakékoliv poruchy konstrukce jsou ihned identifikovatelné a je možno provést příslušná opatření.
- Opravy, výměny střešního pláště je možné provádět bez narušení interiéru.
- U rekonstrukcí, kde je výška krokví předem dána, umožňuje lépe využít podkrovní prostor zvýšením světlé výšky v podkroví.
- Přiznané krokve působí v interiéru esteticky.
- V případě střechy bez přesahu krokví umožní souvislé zateplení téměř bez tepelných mostů – plynulý přechod na zateplení svislých konstrukcí.
- Podhled (OSB, palubky) stabilizuje konstrukci šikmé střechy v podélném směru.



Obr. 4.19: Parotěsná vrstva a umístění podpor přesahu střechy zateplovacího systému TOPDEK [12]

Nevýhody nadkrokevního systému oproti zateplení pod a mezi krokve:

- Omezená výška tepelné izolace, výrobci většinou deklarují max. výšku 30cm a to zejména s ohledem na únosnost sekundárního nosného systému. Tato tloušťka izolace odpovídá horní hranici součinitele prostupu tepla doporučeného pro pasivní domy.
- Montáž zateplení vystavena venkovním klimatickým podmínkám.
- Obtížná kontrolovatelnost na místě stavby. Fyzicky hůře přístupné pro stavební dozor v porovnání s podkrokevní izolací. Zejména pojistná hydroizolace těsně před pokládkou střešní krytiny je obtížně kontrolovatelná.

- Zateplení musí proběhnout po celé délce krokve, aniž se obvykle plně využije k zateplení podkroví, čímž vznikají dodatečné náklady.
- Celkové náklady na pořízení jsou vyšší, zejména pokud jsou krokve a záklop přiznané (cca 2300 Kč/m² : 1600 Kč/m² půdorysné plochy).
- Deklarovaná únosnost sekundárního nosného systému závisí na prohlášení výrobce. Často nutné statické ověření.
- Použitím jiné parozábrany než asfaltového pásu je zde velké riziko, že pracovníci provádějící montáž parozábranu poškodí při následných pracích.
- U systému TOPDEK je nižší hodnota vzduchové neprůzvučnosti, ostatní systémy jsou srovnatelné.

Z uvedeného plyne, že pro stavbu budovy s téměř nulovou spotřebou energie bude vhodnější **zateplení střechy pod a mezi krokvemi**. Omezená tloušťka zateplení, nutnost statického posudku a vyšší náklady u nadkroevních systémů jsou poměrně zásadní nevýhody. Pro zateplení mezi a pod krokvemi je zásadním požadavkem správný návrh a řemeslné provedení parotěsné folie. Tato podmínka bude nejlépe splněna u varianty, kdy parotěsná folie je přilepena na vnější líc CD profilů prvního (vodorovného) roštu. Pak je parotěsná folie perforována pouze spojovacími prvky k upevnění přímého závěsu.

Varianta **kombinace zateplení nad, mezi a pod krokvemi** umožňuje provedení velké tloušťky izolace, ale ztrácí hlavní výhody nadkroevních systémů – kontrolovatelnost během života konstrukce a lépe dosažitelnou vzduchotěsnost.

4.6.2 Zateplení stropu nejvyššího patra vs. zateplení pod a mezi krokvemi

Výhody zateplení stropu nejvyššího patra oproti zateplení pod a mezi krokvemi:

- Vysoký difuzní odpor konstrukce stropu sám o sobě znemožňující kondenzaci uvnitř zateplovací vrstvy.
- Kontrolovatelnost kondenzace během života budovy, umožňující korektivní opatření.
- I když ke kondenzaci dojde, nemá fatální důsledky (sníží tepelný odpor konstrukce, ale nesníží únosnost konstrukce).
- Možnost zateplit ve větších tloušťkách bez tepelných mostů (izolace bude volně uložena).
- Lepší tepelná stabilita v letním období (viz kapitola 7).

Nevýhody zateplení stropu nejvyššího patra oproti zateplení pod a mezi krokvemi:

- Vyšší náklady na pořízení (cca 2500 Kč/m² : 1600 Kč/m² půdorysné plochy).
- Možnost konfliktu s územním plánem obce (výška, tvar budovy).
- Architektonické řešení působí méně esteticky.
- Horší lineární činitel prostupu tepla napojení stropu a obvodové stěny (podrobněji kapitola 6).

Z uvedeného vyplývá, že konstrukce dvoupatrní budovy se zateplením stropu druhého patra je pro dům s téměř nulovou spotřebou energie nejvhodnějším technickým řešením. Budova s půdní vestavbou je levnější variantou a při zajištění neporušení parotěsné folie je i toto řešení přijatelné.

V dalším textu budou v konkrétních návrzích porovnávány tyto 2 konstrukční systémy.

5 Tepelně technické posouzení jednotlivých konstrukcí a detailů

5.1 Součinitel tepelné vodivosti

Základní charakteristikou pro posuzování tepelně technických vlastností stavebních konstrukcí je tepelná vodivost běžně vyjadřovaná součinitelem tepelné vodivosti λ (W/m.K). S tím, jak ve stavební praxi roste význam co možná nejpřesnějšího výpočtu stavební konstrukce z hlediska tepelně technických vlastností, roste i význam určení správné výpočtové hodnoty. V běžně používaných výpočtových modelech je λ zadávána jako konstantní hodnota, což neodpovídá skutečnosti. Reálně je tepelná vodivost závislá například na teplotě, vlhkosti, tloušťce materiálu apod.

Ve stavební praxi se můžeme setkat s různě definovanými hodnotami tepelné vodivosti. Přehled těchto definic uvádí literatura [23] a [24]:

Deklarovaná hodnota λ_D

Deklarovaná hodnota je hodnota stanovená výrobcem podle příslušné výrobní normy (např. ČSN EN 13162 – průmyslově vyráběné výrobky ze skelné vlny, ČSN EN 13163 – průmyslově vyráběné výrobky z polystyrenu, ČSN EN 13164 – průmyslově vyráběné výrobky z extrudované polystyrénové pěny) při definovaných podmínkách. Deklarovaná hodnota je uváděna v ES Certifikátu shody, ES Prohlášení o shodě, na štítku s označením CE umístěném na materiálu nebo na obalu materiálu a obvykle v technických listech vydávaných distributorem nebo výrobcem.

Naměřená hodnota λ_m

Naměřená hodnota je hodnota statisticky vyhodnocená z naměřených hodnot z dostatečné četnosti zkoušek. Naměřená hodnota je vázaná na stanovené referenční podmínky při měření a stavu vlhkosti výrobku. Např. λ_{10} je hodnota součinitele tepelné vodivosti naměřená při střední teplotě 10 °C. Z logiky věci vyplývá, že nelze porovnávat součinitele s různými referenčními podmínkami.

Pokud referenční podmínky a stav určují vlastnost výrobku zabudovaného v konstrukci, lze naměřenou hodnotu použít přímo do výpočtu.

Charakteristická hodnota λ_k

Charakteristická hodnota je odvozena pro stanovenou charakteristickou hodnotu vlhkosti $u_{23/80}$. Charakteristická hmotnostní vlhkost $u_{23/80}$ je rovnovážná sorpční hmotnostní vlhkost materiálu, stanovená za podmínek teplota vzduchu 23 ± 2 °C a relativní vlhkost vzduchu $80 \% \pm 3 \%$. Charakteristická hodnota je výchozí hodnotou pro stanovení návrhové hodnoty postupem podle ČSN 730540-3. Charakteristickou hodnotu součinitele tepelné vodivosti lze stanovit z deklarované hodnoty součinitele tepelné vodivosti (hodnota stanovená v suchém stavu) dle vztahu [23]:

$$\lambda_k = \frac{\lambda_D}{1 - Z_u \cdot w_{mk}} \quad (5.1)$$

kde:

λ_D – deklarovaná hodnota součinitele tepelné vodivosti dle příslušné normy výrobku

Z_u – vlhkostní součinitel dle přílohy A1 v ČSN 730540-3

W_{mk} – charakteristická vlhkost materiálu, obvykle $u_{23/80}$

POZNÁMKA: Postup stanovení charakteristické hodnoty součinitele tepelné vodivosti stanoví ČSN 72 7014 Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu, vyhodnocení zkoušek.

Ve stavební praxi však výrobci v technické dokumentaci obvykle neuvádí charakteristickou hodnotu stanovenou pro konkrétní výrobky (pro účel uvedení na evropský trh obvykle stačí uvádět pouze deklarovanou hodnotu).

Návrhová hodnota λ_u

Návrhová hodnota je odvozena pro určené teplotní a vlhkostní podmínky, popř. mechanické namáhání. Určené tepelné a vlhkostní podmínky musí odpovídat tepelnému a vlhkostnímu namáhání a způsobu zabudování výrobku do stavby a užívání dané konstrukce, čímž se zajišťuje bezpečný návrh stavebních konstrukcí.

Návrhové hodnoty vlastností vybraných běžných stavebních výrobků lze převzít bez dalších úprav z normových tabulek ČSN 730540-3 nebo z hodnověrných podkladů výrobců, pokud částečný tlak vodní páry ve vnitřním vzduchu nepřesahuje hodnotu 1538 Pa. Pro vnitřní konstrukce, v nichž nedochází ke kondenzaci vodní páry, lze přitom použít **charakteristickou tepelnou vodivost**, zatímco pro vnější konstrukce je vždy nutné použít její **návrhovou hodnotu**. Pokud je materiál v kontaktu s vlhčím vnitřním prostředím (částečný tlak vodní páry nad 1538 Pa), je nutné tepelnou vodivost stanovit **výpočtem** – buď podle ČSN 730540-3, nebo podle ČSN EN ISO 10456 [7].

Výpočet podle ČSN 73 0540-3 na základě běžně dostupných údajů výrobců se od reality liší více než o 7 %, v některých případech o více než 10 % [26]. Přímé stanovení návrhové hodnoty z tabulek ČSN 73 0540-3 je často problematické, protože zde nejsou uváděny konkrétní případy a hodnoty jsou podhodnoceny s tím, že je nutné být na straně bezpečné.

“Výpočet podle ČSN EN ISO 10456 je poměrně přesnou metodou, který navíc umožňuje výpočet z deklarovaných hodnot. V přepočtu je uvažováno s převodním teplotním faktorem F_T , převodním vlhkostním faktorem F_m , s přirozeným prouděním tepla v izolačním materiálu R_{am} a částečně také se stárnutím materiálu. Tento postup více odpovídá reálným návrhovým hodnotám. Postup je srozumitelný, jednoduchý, zbytečně nezatěžuje výrobce stavebních hmot a je jednotný napříč státy EU” [26].

Závěr

Trend zvyšující se poptávky po nízkoenergetických a pasivních domech nutí výrobce tepelných izolací neustále vylepšovat tepelněizolační schopnost vyráběných materiálů. V tomto ohledu jsou na místě velmi přesné výpočty s velmi přesnými čísly. Na druhé straně řemeslné provedení stavebního detailu, např. nesprávně provedená parozábrana, mohou naprosto degradovat velmi přesný výpočet s λ na 4 desetinná místa. Problémem je také většinou to, že pro tyto výpočty nejsou pro většinu materiálů

k dispozici potřebné údaje. Proto je třeba vždy zvážit reálnou situaci a provést výpočet s rozumnou přesností.

Pro účely této práce, kde hlavním předmětem je porovnávat různé přístupy, materiály a konstrukce, volím postup výpočtu návrhové hodnoty tepelné vodivosti z deklarovaných hodnot výrobců a procentní přírážkou podle druhu konstrukce (zejména vlhkostního působení), viz tabulka 5.1 [27].

Tab. 5.1.: Přírážky k součiniteli tepelné vodivosti

Materiál	% λ
Dřevo	7,0 %
Cihelné zdivo	5,0 %
Polystyren	4,0 %
Skelná vlna	7,0 %

5.2 Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla je vypočítán z návrhového součinitele tepelné vodivosti, tloušťky materiálů a součinitelů přestupu tepla na vnitřní a vnější straně konstrukce. Dále je připočtena přírážka na:

- Tepelné mosty, např. kotvicí prvky
- Tepelné vazby – může být připočtena přímo jako ΔU (např. 0,02 W/m²K pro konstrukce s téměř nezmenšenou tloušťkou izolační vrstvy) nebo mohou být do celkové energetické bilance započítány lineární a bodové vazby konstrukcí prostřednictvím lineárního/bodového činitele prostupu tepla Ψ (W/m.k) / (W/K). Bodový činitel tepelné propustnosti bude v této práci zanedbán.

Při dalších výpočtech budou používány jako přírážky na tepelné mosty hodnoty uvedené v tabulce 5.2. U tepelných vazeb budou do celkové energetické bilance započteny vypočtené hodnoty lineárních činitelů prostupu tepla. U oken bude lineární činitel prostupu tepla v oblasti distančního rámečku Ψ_g použit pro výpočet součinitele prostupu tepla okna U_w . Lineární činitel prostupu tepla mezi rámem a konstrukcí obvodové stěny Ψ_f bude použit přímo ve výpočtu celkové energetické bilance.

Tab. 5.2: Přírážky k součiniteli prostupu tepla

Konstrukce	ΔU (W/m ² K)	Poznámka
Obvodová stěna + Baunit Open reflect	0,01	Talířové hmoždinky překryté zátkou
Obvodová stěna + Baunit Austrotherm	0,00	Bez kotevnicích prvků
Zateplení podkroví	0,03	Krokvové, přímé závěsy, rošt z CD profilů
Podlaha	0,00	Bez kotvicích prvků
Okna	0,00	Tepelné mosty již započteny ve výpočtu U_w

Výpočty součinitelů tepla jednotlivých stavebních konstrukcí jsou provedeny v tabulkách Excel, výpočet lineárních činitelů v programu AREA 2010. Jsou vypočteny všechny tepelné vazby obou budov, podrobný výpočet je uveden jen pro detail soklové části, detail styku okeního rámu a obvodové stěny a detail pozednice. Pro ostatní vazby jsou uvedeny přímo výsledky.

Při výpočtu **součinitele prostupu tepla** jsou použity následující vztahy:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} \quad (5.2)$$

kde: R_{si} – tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [W/ K. m²]
 R_{se} – tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [W/ K. m²]
 R – celkový tepelný odpor vrstev konstrukce

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \dots + R_n \quad [\text{K} \cdot \text{m}^2/\text{W}] \quad (5.3)$$

kde: $R_1 \dots R_n$ – odpory jednotlivých vrstev konstrukce **řazených za sebou**

Odpory jednotlivých vrstev se vypočítají podle následujícího vztahu:

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j} \quad (5.4)$$

kde: d_j – tloušťka j-té vrstvy [m]
 λ_j – návrhová hodnota součinitele tepelné vodivosti [W/K. m]
 jednotlivých vrstev

U **paralelně řazených vrstev** je postup následovný:

- Vypočte se celkový součinitel propustnosti tepla **paralelně řazených vrstev** jako vážený průměr hodnot součinitelů propustnosti tepla jednotlivých vrstev. Váhami průměru jsou plochy jednotlivých vrstev.
- Vypočte se celkový tepelný odpor jako převrácená hodnota celkového součinitele propustnosti tepla U :

$$R = \frac{1}{U} \quad (5.5)$$

- Dále se pokračuje výpočtem podle původního vztahu započtením R_{si} a R_{se} .

Při výpočtu **součinitele prostupu tepla stavebních otvorů** U_w byl použit následující vztah.

$$U_w = \frac{\sum A_g \cdot U_g + \sum A_f \cdot U_f + \sum l_g \cdot \Psi_g}{\sum A_g + \sum A_f} \quad (5.6)$$

kde: A_g – plocha zasklení [m^2]

U_g – součinitel propustnosti tepla prosklené plochy [$W/K m^2$]

A_f – plocha rámu [m^2]

U_f – součinitel propustnosti tepla rámu prosklené plochy [$W/K m^2$]

l_g – obvod prosklení v místě distančního rámečku [m]

Ψ_g – lineární činitel prostupu tepla v místě distančního rámečku [$W/K m$]

Tepelné vazby mezi rámem a obvodovou stěnou budou započteny do celkové energetické bilance prostřednictvím lineárního součinitele prostupu tepla rámu:

Měrný tepelný tok tepelnou vazbou rámu:

$$H_f = l_f \cdot \Psi_f \quad [W/K] \quad (5.7)$$

kde: l_f – obvod prosklení v místě distančního rámečku [m]

Ψ_f – lineární činitel prostupu tepla rámu okna [$W/K.m$]

Dále jsou uvedeny vypočtené hodnoty **součinitelů prostupu tepla** jednotlivých konstrukcí:

- Přehled odporů při přestupu tepla použitých u neprůsvitných konstrukcí (tab. 5.3.)
- Skladby u neprůsvitných konstrukcí včetně výsledných hodnot U (tab. 5.4)
- Přehled konstrukcí včetně rozměrů (tab. 5.5)
- Charakteristiky průsvitných konstrukcí – převzato od výrobce (tab. 5.6) [28]
- Přehled průsvitných konstrukcí (tab. 5.7)

Tab. 5.3: Odpor při přestupu tepla - neprůsvitné konstrukce

Tepelný odpor při přestupu tepla R_{si}, R_{se}	Hodnota	Jednotka
Vnitřní svislá konstrukce (vodorovný tepelný tok)	0,13	m^2K/W
Vnitřní vodorovná konstrukce (tepelný tok zdola nahoru)	0,10	m^2K/W
Vnitřní vodorovná konstrukce (tepelný tok shora dolů)	0,17	m^2K/W
Vnější konstrukce	0,04	m^2K/W

Tab. 5.4: Skladba neprůsvitných konstrukcí včetně vypočtených součinitelů U

Konstrukce	Součinitel prostupu tepla U (W/m^2K)	Tloušťka (m)	Součinitel tepelné vodivosti deklarovaná hodnota λ_d (W/mK)	Součinitel tepelné vodivosti, návrhová hodnota λ_n (W/mK)
Stěna obvodová S7 (výkres D.1.1.03)				
1. BAUMIT OPEN reflect		0,200	0,031	0,032
2. Cihly Heluz PLUS 400		0,400	0,135	0,142
3. Jádrová omítka vnitřní VPC		0,010	1,000	1,050
Součinitel prostupu tepla stěny U	0,109			
včetně přírážky na tepelné mosty ΔU	0,119			
Stropní konstrukce S5 (výkres D.1.1.03)				
1. Prkená podlaha půdního prostoru		0,025	0,220	0,235
2. Skelná vlna UNIFIT 32		0,200	0,032	0,034
2. Krokve		0,200	0,150	0,161
3. Skelná vlna UNIFIT 32		0,180	0,032	0,034
4. SDK deska		0,012	0,220	0,231
Celkový součinitel přestupu tepla U	0,102			
včetně přírážky na tepelné mosty ΔU	0,122			
Konstrukce šikmin S6 (výkres D.1.1.03)				
1. Skelná vlna UNIFIT 32		0,200	0,032	0,034
2. Krokve		0,200	0,150	0,161
3. Skelná vlna		0,180	0,032	0,034
4. SDK deska		0,012	0,220	0,235
Celkový součinitel přestupu tepla U	0,103			
včetně přírážky na tepelné mosty ΔU	0,123			
Konstrukce podlahy S1 (výkres D.1.1.03)				
1. Podlahový polystyren		0,250	0,031	0,032
2. Roznášecí betonová deska		0,050	1,300	1,365
3. Nášlapná vrstva		0,020	1,010	1,061
Celkový součinitel přestupu tepla U	0,125			
včetně přírážky na tepelné mosty ΔU	0,125			
Strop MIAKO (S5 na D.1.1.04)				
1. Skelná vlna UNIFIT 32		0,160	0,031	0,034
2. Rošt půdní podlahy		0,160	0,070	0,074
3. Skelná vlna UNIFIT 32		0,240	0,031	0,034
4. Vyztužený beton MIAKO stropu		0,040	1,580	1,659
5. Vložky MIAKO		0,190	0,500	0,525
Celkový součinitel přestupu tepla U	0,084			
včetně přírážky na tepelné mosty ΔU	0,084			

Tab. 5.5: Přehled neprůsvitných konstrukcí včetně rozměrů

Budova	Označení	Název	Celková plocha včetně vyplň otvorů ² (m ²)	Součinitel přestupu tepla U (W/mK ²)	Přirážka na tepelné mosty ΔU^1 (W/m ² K)	Celkový součinitel přestupu tepla U (W/m ² K)
Budova s půdní vestavbou	S71	Jižní obvodová stěna	55,71	0,109	0,010	0,119
	S72	Severní obvodová stěna	55,71	0,109	0,010	0,119
	S73	Východní štítová stěna	50,73	0,109	0,010	0,119
	S74	Západní štítová stěna	50,73	0,109	0,010	0,119
	S5	Stropní konstrukce	70,96	0,102	0,030	0,132
	S6	Šikminy	52,84	0,103	0,030	0,133
	S7	Podlaha	114,24	0,125	0,000	0,125
Dvoupodlažní budova	S71	Jižní obvodová stěna	71,12	0,109	0,010	0,119
	S72	Severní obvodová stěna	71,12	0,109	0,010	0,119
	S73	Východní štítová stěna	64,77	0,109	0,010	0,119
	S74	Západní štítová stěna	64,77	0,109	0,010	0,119
	S5	Stropní konstrukce	114,24	0,084	0,000	0,084
	S7	Podlaha	114,24	0,125	0,000	0,125

Pozn:

1– Vliv kotvení fasádních desek

2 – Výplně otvorů budou odečteny programem ENERGIE 2015 při výpočtu celkové energetické bilance

Zvolený typ oken: Solid Comfort, výrobce Slavona s.r.o. Pro okna s rámem SC92 vybráno jednotné zasklení pro maximalizaci tepelných slunečních zisků: Trojsklo SGG - LUX se solárními zisky, rámeček 18-18 SWS U, součinitel propustnosti slunečního záření $g = 0,62 \%$ a $U_g = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$. Alternativou pro umístění oken na jinou než jižní světovou stranu je použití oken s $g = 0,54$ a $U_g = 0,5$, také v nabídce Slavona s.r.o. [28].

Druhy oken:

- O1 - dvoukřídlé okno, obě křídla stejných rozměrů, otevíratelná, bez středového sloupku, ventilace pouze pravé křídlo
- O2 - jednokřídlá okna otevíratelná, ventilace

Tab. 5.6: Charakteristiky průsvitných konstrukcí

Charakteristiky oken	Hodnota	Jednotka
Součinitel prostupu tepla výplně U_g	0,600	$\text{W/m}^2 \text{ K}$
Součinitel prostupu tepla rámu U_f	0,880	$\text{W/ m}^2 \text{ K}$
Liniový součinitel prostupu tepla distančního rámečku Ψ_g	0,031	W/ m K
tloušťka rámu včetně křídla	0,115	m
tloušťka rámu křídla okna (2 x při zavřeném oknu)	0,125	m
Šířka mezery mezi rámem a zdí- vyplněno polyuretanovou pěnou	0,015	m
Součinitel propustnosti slunečního záření g	0,620	-
Charakteristiky dveří	Hodnota	Jednotka
Součinitel prostupu tepla dveří U_d	1,200	$\text{W/m}^2 \text{ K}$

Tab. 5.7: Přehled průsvitných konstrukcí včetně vypočteného U_w

Druh oken	Počet	Šířka (m)	Výška (m)	Plocha zasklení A_g (m^2)	Plocha rámu A_f (m^2)	Obvod rámečku l_g (m)	Obvod rámu l_f (m)	Součinitel prostupu tepla U_w ($\text{W/m}^2\text{K}$)
O1	2	2,00	1,50	2,08	0,92	10,00	7,00	0,79
O1	3	2,00	1,25	1,62	0,88	9,00	6,50	0,81
O2	3	0,75	1,25	0,53	0,40	2,75	4,00	0,81
O2	2	0,50	0,75	0,14	0,24	1,75	2,50	0,92
O2	1	1,00	2,35	1,70	0,65	4,35	6,70	0,73
O2	1	1,12	2,10	0,00	2,36	0,00	6,45	1,20

5.3 Lineární činitele prostupu tepla pro tepelné vazby

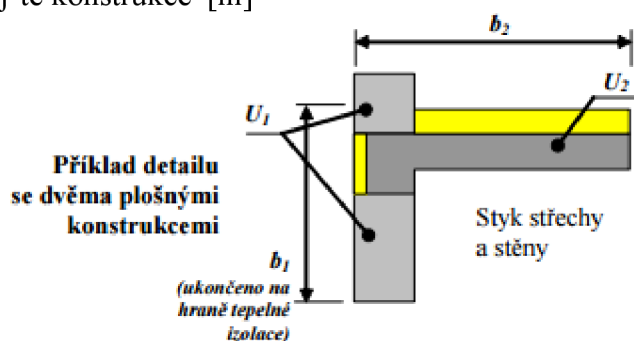
Lineární činitel prostupu tepla Ψ [W/(m.K)] lze podle [29] stanovit ze vztahu:

$$\Psi = L - U_j b_j \quad (5.8)$$

kde: L – vypočtená tepelná propustnost hodnoceným detailem [W/m.K]

U_j – součinitel prostupu tepla j -té dílčí plošné konstrukce [W/m².K]

b_j – šířka j -té konstrukce [m]



Obr. 5.1: Výpočet ψ - detail s vyznačením zadávaných parametrů [29]

Výpočet lze slovně formulovat jako rozdíl tepelného toku detailem, od kterého se odečtou ty části konstrukcí, které jsou již obsaženy ve výpočtech tepelných toků těmito konstrukcemi (potřeby tepla na vytápění).

Požadavky na lineární činitel prostupu tepla uvádí ČSN 730540-2 v čl. 5.4. Pro každou tepelnou vazbu mezi konstrukcemi musí být splněna podmínka

$$\Psi \leq \Psi_N$$

kde: ψ – vypočtený lineární činitel prostupu tepla tepelné vazby [W/(m.K)]

ψ_N – normou požadovaná hodnota [W/(m.K)]

Tabulka 5.8: Požadovaný lineární činitel prostupu tepla podle ČSN 730540

	Požadované hodnoty ψ_N	Doporučené hodnoty ψ_{rec}	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy ψ_{pas}
	[W/(m.K)]	[W/(m.K)]	[W/(m.K)]
Styk vnější stěny a další konstrukce s výjimkou výplně otvoru (např. styk se základem, stropem, jinou stěnou, střechou, balkonem apod.)	0,20	0,10	0,05
Styk vnější stěny a výplně otvoru (parapet, ostění, nadpraží)	0,10	0,03	0,01
Styk střechy a výplně otvoru (střešní okno, světlík apod.)	0,30	0,10	0,02

Při výpočtech bude používán tiskový výstup z program AREA 2010. Hodnoty U_j jsou přebírány z tabulky 5.4, a to bez přírážky ΔU . Zároveň s komentářem k lineárnímu činiteli prostupu bude u neprůsvitných konstrukcí hodnocena i možnost kondenzace na vnitřním povrchu konstrukce a to srovnáním **teplotního faktoru a teploty vnitřního povrchu** s hodnotami požadovanými normou ČSN 730540-2 : 2011– kritický teplotní faktor $f_{R_{si,cr}}$ [-] (rovná se požadovanému teplotnímu faktoru $f_{R_{si,N}}$ [-]) a tomu odpovídající teplota vnitřního povrchu $t_{si,N}$.

Tabulky 5.9. a 5.10. uvádí přehled kritických faktorů pro zadaný rozsah venkovních teplot a teplot vnitřního vzduchu a k nim odpovídajícím teplotám vnitřního povrchu. Hodnoty platí pro $\varphi_i = 50\%$, už včetně přírážky $\Delta \varphi_i = 5\%$ podle [30].

Tab. 5.9. Kritický teplotní faktor podle ČSN 730540-2 : 2011

Konstrukce	Návrhová teplota vnitřního vzduchu θ_{ai} [°C]	Návrhová venkovní teplota θ_e [°C]								
		-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21
		Kritický teplotní faktor vnitřního povrchu $f_{Rsi,cr}$								
Stavební konstrukce	20,0	0,748	0,746	0,744	0,751	0,757	0,764	0,770	0,776	0,781
	20,3	0,750	0,747	0,745	0,752	0,759	0,765	0,771	0,777	0,782
	20,6	0,751	0,749	0,747	0,754	0,760	0,766	0,772	0,778	0,783
	20,9	0,753	0,751	0,748	0,755	0,762	0,768	0,773	0,779	0,784
	21,0	0,753	0,751	0,749	0,756	0,762	0,768	0,774	0,779	0,785

Tab. 5.10. Požadovaná teplota vnitřního povrchu podle ČSN 730540-2 : 2011

Konstrukce	Návrhová teplota vnitřního vzduchu θ_{ai} [°C]	Návrhová venkovní teplota θ_e [°C]								
		-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21
		Teplota odpovídající kritickému teplotnímu faktoru vnitřního povrchu $f_{Rsi,cr}$								
Stavební konstrukce	20,0	11,68	11,36	11,04	11,02	11,02	11,02	11,02	11,02	11,02
	20,3	11,98	11,62	11,30	11,30	11,30	11,30	11,30	11,30	11,30
	20,6	12,23	11,92	11,59	11,58	11,58	11,58	11,58	11,58	11,58
	20,9	12,53	12,21	11,85	11,86	11,86	11,86	11,86	11,86	11,86
	21,0	12,60	12,29	11,96	11,96	11,96	11,96	11,96	11,96	11,96

Pro splnění normového požadavku musí platit:

$$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N} \quad (f_{Rsi,N} = 0,748)$$












$$t_{si} \geq t_{si,N} \quad (t_{si,N} = 11,68)$$

Pro hodnocení budou používány následující symboly (výstup program AREA 2010):

T	zadaná teplota v daném prostředí [°C]
R_s	zadaný odpor při přestupu tepla v daném prostředí [m ² K/W]
$R_{.H.}$	zadaná relativní vlhkost v daném prostředí [%]
Tep.tok Q	hustota tepelného toku z daného prostředí [W/m], (hodnota je vztažena na 1m délky tepelného mostu, přičemž ztráta je kladná a zisk je záporný)
Propust. L	tepelná propustnost mezi daným prostředím a okolím [W/m.K]
T_w	teplota rosného bodu v daném prostředí [°C]
$T_{s,min}$	minimální povrchová teplota v daném prostředí (odpovídá t_{si}) [°C]
f_{Rsi}	teplotní faktor dle ČSN 730540, ČSN EN ISO 10211-1 a ČSN EN ISO 13788 - rozdíl minimální povrchové teploty a vnější teploty podělený rozdílem vnitřní (20.0 °C) a vnější (-13.0 °C) teploty [-]

KOND	označuje vznik povrchové kondenzace
RH _{max}	maximální možná relativní vlhkost při dané teplotě v daném prostředí, která zajistí odstranění povrchové kondenzace [%]
T _{min}	minimální potřebná teplota při dané absolutní vlhkosti v daném prostředí, která zajistí odstranění povrchové kondenzace [°C]

Tab. 5.11: Barevné značení materiálů v programu AREA 2010

Barva	Materiál	λ_u příčně (W/K.m)	λ_u podélně (W/K.m)
	Cihla HELUZ PLUS 400	0,142	0,425
	Dřevo	0,161	0,161
	Minerální vlna UNIFIT 32	0,034	0,034
	BAUMIT OPEN Reflect, Šedý podlahový polystyren	0,032	0,032
	Vložky MIAKO + stropní nosníky	0,500	0,500
	Vyztužený beton	1,580	1,580
	Extrudovaný polystyren Austrotherm	0,033	0,033
	Zemina (nedefinovaná)	2,000	2,000
	Pórobeton (YTONG)	0,087	0,087
	Cihla plněná polystyrenem	0,060	0,180
	Orsil T-P (podlaha)	0,043	0,043

Tabulka 5.11 uvádí přehled materiálů použitých v programu AREA 2010, včetně barevného značení a součinitelů tepelné vodivosti v příčném i podélném směru.

5.3.1 Lineárního čísel pro napojení střešy a obvodové stěny

Při modelování je v programu AREA 2010 využita pouze pravoúhlá soustava zakreslení šikmých konstrukcí. Nicméně tyto modely jsou na straně bezpečné a zároveň, jak je uvedeno v závěrečném hodnocení, vliv těchto vazeb na celkovou bilanci je nepatrný a tedy i chyba vzniklá tímto zjednodušením je zanedbatelná.

Model použitý k výpočtu se skládá ze dvou částí:

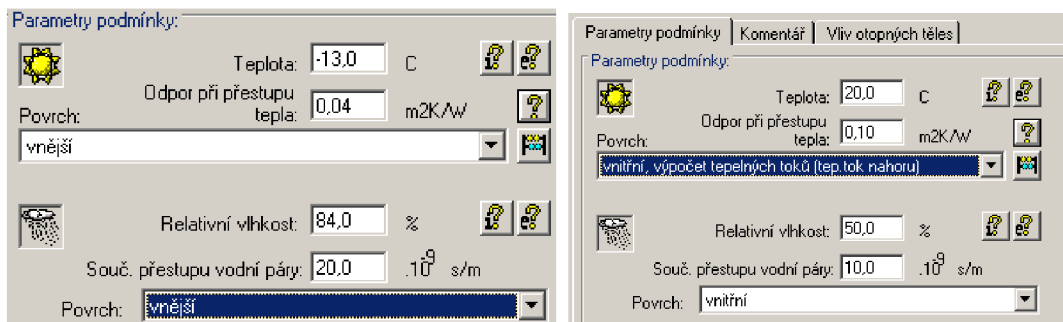
- Příčný řez pozednice v místě mezi krokviemi
- Příčný řez pozednice v místě napojení krokve na pozednici

Modelována je budova s půdní vestavbou i dvoupodlažní budova.

Pro oba modely byly použity okrajové podmínky na obrázcích 5.2 a 5.3.

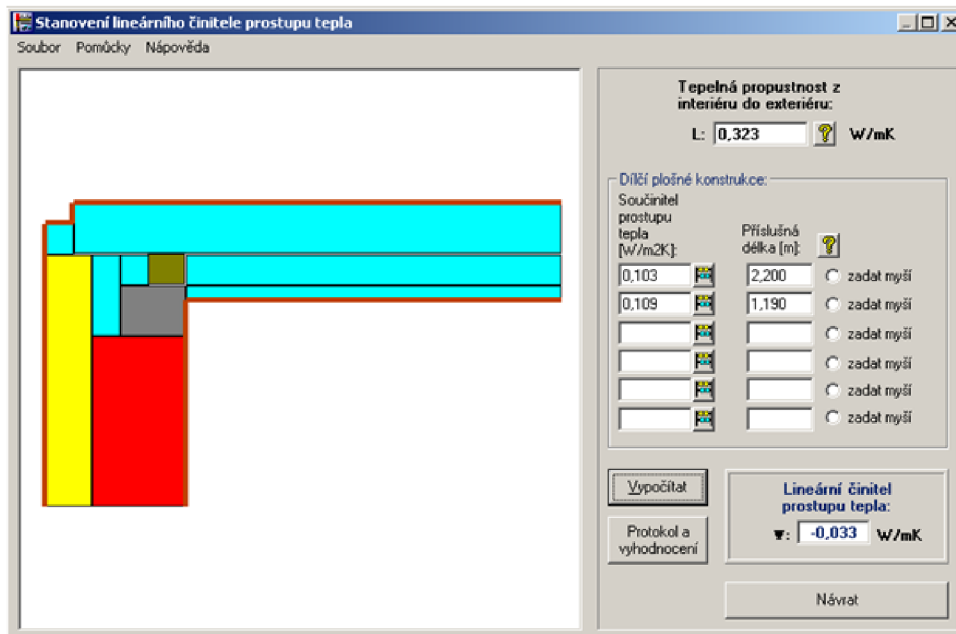


Obr. 5.2: Okrajové podmínky obvodové stěně vnější (levá) a vnitřní (pravá) strana



Obr. 5.3: Okrajové podmínky stropu a šikmin vnější (levá) a vnitřní (pravá) strana

Budova s půdní vestavbou - příčný řez v místě mezi krokvemi



Obr. 5.4: Schéma pozednice v místě mezi krokvemi s vyčísleným lineárním činitelem prostupu tepla – výstup z programu AREA

Tiskový výstup z program AREA 2010 (příčný řez v místě mezi krokviemi):

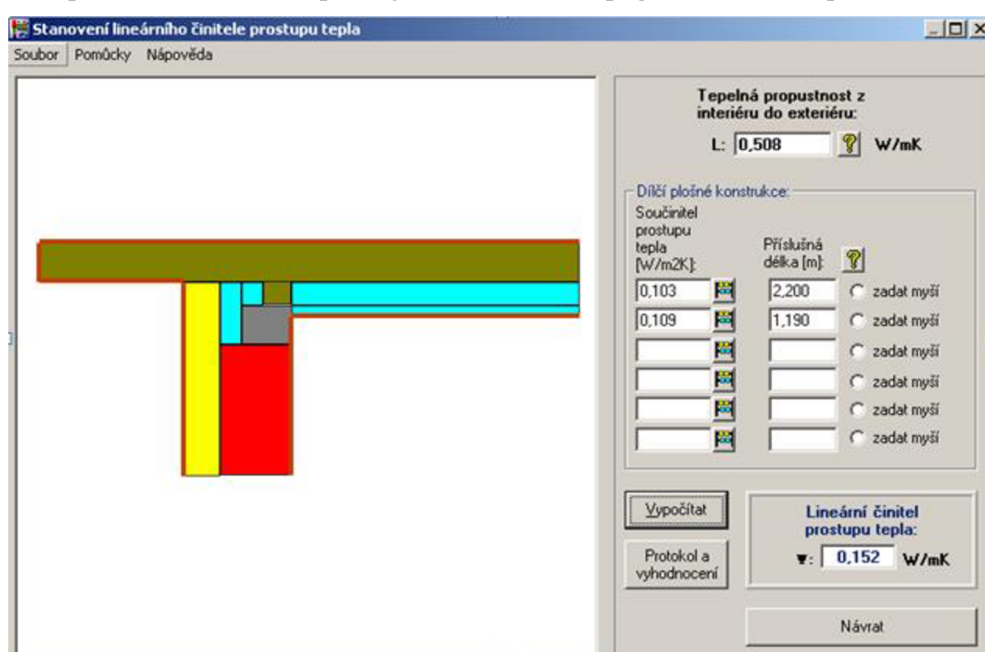
NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty A HUSTOTY TEPELNÉHO TOKU:

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	20.0	0.13	50	18.53	5.85499	0.17742
2	20.0	0.10	50	18.53	4.80362	0.14556
3	-13.0	0.04	84	-13.00	-10.65931	0.32301

NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty, TEPLotNÍ FAKTORy A RIZIKO KONDENZACE:

Prostředí	Tw [C]	Ts,min [C]	f,Rsi [-]	KOND.	RH,max [%]	T,min [C]
1	9.26	18.53	0.956	ne	---	---
2	9.26	18.53	0.956	ne	---	---
3	-14.90	-13.00	1.000	ne	---	---

Budova s půdní vestavbou - příčný řez v místě napojení krokve a pozednice



Obr. 5.5: Schéma řezu v místě napojení krokve a pozednice s vyčísleným lineárním činitelem prostupu tepla - výstup z program AREA 2010

Tiskový výstup z AREA programu 2010 (příčný řez v místě napojení krokve a pozednice):

NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty, TEPLotNÍ FAKTORy A RIZIKO KONDENZACE:

Prostředí	Tw [C]	Ts,min [C]	f,Rsi [-]	KOND.	RH,max [%]	T,min [C]
1	-14.90	-13.00	1.000	ne	---	---
2	9.26	17.16	0.914	ne	---	---
3	9.26	17.16	0.914	ne	---	---

NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty A HUSTOTY TEPELNÉHO TOKU:

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	-13.0	0.04	84	-13.00	-16.76354	0.50799
2	20.0	0.13	50	17.16	8.28286	0.25100
3	20.0	0.10	50	17.16	8.48049	0.25698

Vyhodnocení:

Celkový lineární činitel prostupu tepla bude vypočten jako vážený průměr z hodnot pro oba řezy pro šířku krokve 0,1 a světlou vzdálenost mezi krokvemi 0,9 m tedy:

$$L = 0,9 \times (-0,033) + 0,1 \times 0,152 = -0,0145 \text{ W/m.K}$$

Záporná hodnota znamená, že tepelná vazba vykazuje lepší hodnotu tepelné propustnosti (nižší) než plocha stropní konstrukce šikmin a obvodová stěna. Hodnota bude při výpočtu potřeby tepla na topení odečtena. Zároveň je zřetelný velký rozdíl mezi oblastí mezi krokvemi ($L = -0,033 \text{ W/m}$) a v místě spoje krokve s pozednicí ($L = 0,152 \text{ W/m}$).

Zhodnocení z hlediska požadovaných normových hodnot:

Činitel prostupu tepla:

Normová hodnota: $\psi_N = 0,2 \text{ W/m.K}$

Vypočtená hodnota: $\psi = -0,0145 \text{ W/m.K}$

$0,2 > -0,0145 \Rightarrow$ **VYHOVUJE** (vyhovuje i standardu pro pasivní domy – 0,05).

Teplotní faktor:

Normová hodnota $f, R_{si, N} = 0,748 \text{ W/m}$

Vypočtená hodnota: $f, R_{si} = 0,914 \text{ W/m}$

$0,914 > 0,806 \Rightarrow$ **VYHOVUJE** (na povrchu nebude vznikat kondenzace)

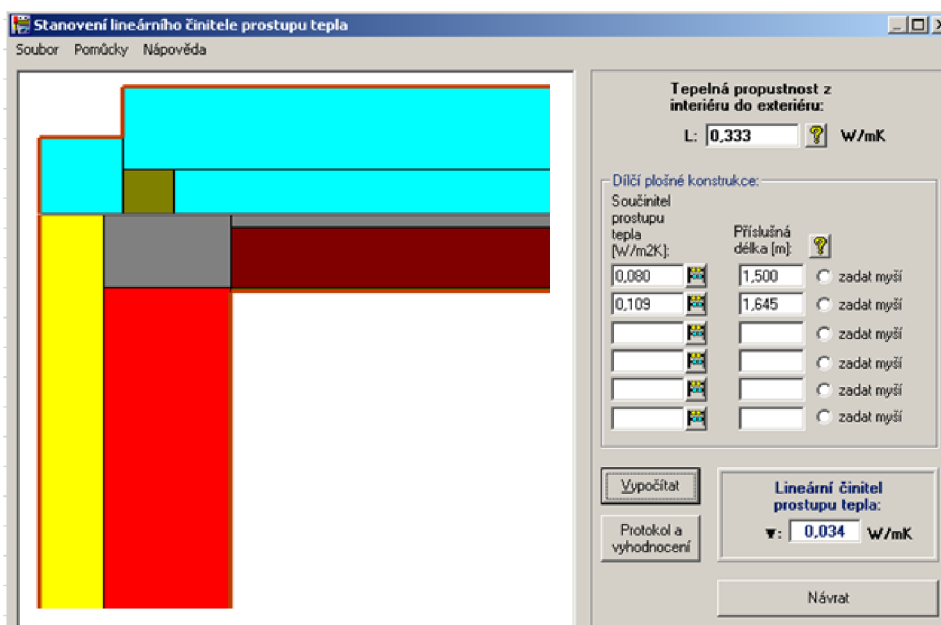
Teplota vnitřního povrchu:

Normová hodnota: $t_{si, N} = 11,48 \text{ °C}$

Vypočtená hodnota: $t_{si} = 17,16 \text{ °C}$

$17,16 > 11,48 \Rightarrow$ **VYHOVUJE** (potvrzení, že na povrchu nebude vznikat kondenzace)

Dvoupodlažní budova - příčný řez v místě mezi krokvemi



Obr. 5.6: Schéma řezu v místě mezi krokvemi s vyčísleným lineárním činitelem prostupu tepla – výstup z programu AREA 2010

Tiskový výstup z programu AREA 2010 (příčný řez v místě mezi krokviemi):

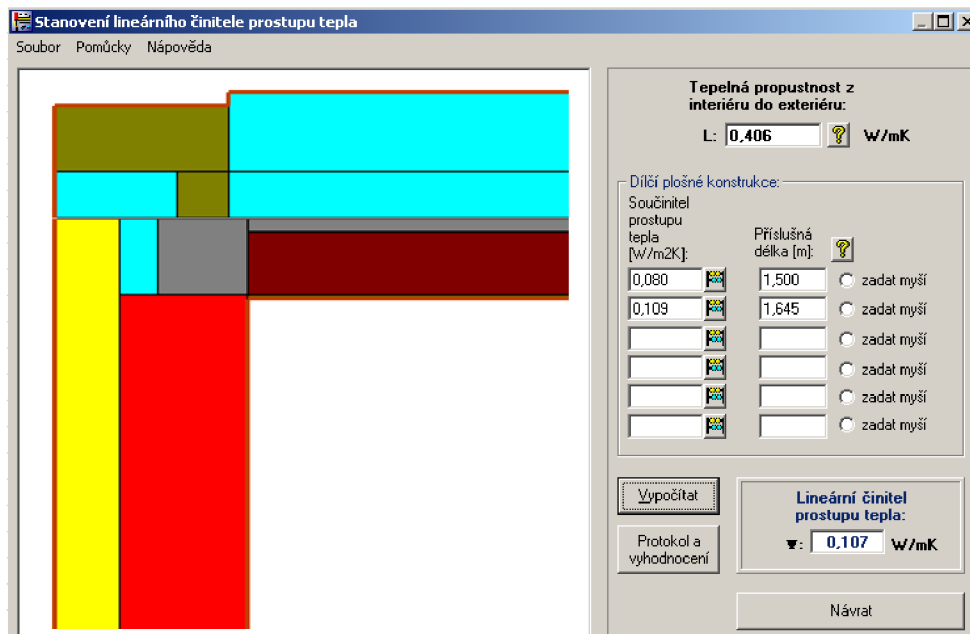
NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty A HUSTOTY TEPELNÉHO TOKU:

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	20.0	0.25	50	18.51	3.26605	0.09897
2	20.0	0.13	50	18.51	7.73823	0.23449
3	-13.0	0.04	84	-13.00	-11.00712	0.33355

NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty, TEPLotNÍ FAKTORY A RIZIKO KONDENZACE:

Prostředí	Tw [C]	Ts,min [C]	f,Rsi [-]	KOND.	RH,max [%]	T,min [C]
1	9.26	18.51	0.955	ne	---	---
2	9.26	18.51	0.955	ne	---	---
3	-14.90	-13.00	1.000	ne	---	---

Dvoupodlažní budova - příčný řez v místě mezi krokviemi



Obr. 5.7: Schéma řezu v místě napojení krokve a pozednice s vyčísleným lineárním činitelem prostupu tepla – výstup z programu AREA 2010

Tiskový výstup z programu AREA 2010 (příčný řez v místě napojení krokve a pozednice):

NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty A HUSTOTY TEPELNÉHO TOKU:

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	20.0	0.10	50	17.92	4.91551	0.14895
2	20.0	0.13	50	17.92	8.47021	0.25667
3	-13.0	0.04	84	-13.00	-13.38642	0.40565

NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty, TEPLotNÍ FAKTORY A RIZIKO KONDENZACE:

Prostředí	Tw [C]	Ts,min [C]	f,Rsi [-]	KOND.	RH,max [%]	T,min [C]
1	9.26	17.92	0.937	ne	---	---
2	9.26	17.92	0.937	ne	---	---
3	-14.90	-13.00	1.000	ne	---	---

Vyhodnocení:

Celkový lineární činitel prostupu tepla bude vypočten jako vážený průměr z hodnot pro oba řezy pro šířku krokve 0,1 m a světlou vzdálenost mezi krokvelemi 0,9 m tedy:

$$\psi = 0,9 \times (0,034) + 0,1 \times 0,107 = 0,0413 \text{ W/mK}$$

Celkově vychází hodnota lineárního činitele prostupu tepla větší u stropu MIAKO než u lehké stropní konstrukce. Je to způsobeno jednak konstrukcí pozedního věnce s pozednicí, který je na vnějším okraji obvodové stěny (menší tloušťka izolace mezi hranou obvodové stěny a vnějším povrchem izolace u krokve), a jednak vlastním MIAKO stropem, který díky větší tepelné vodivosti stropní konstrukce přivádí více tepla k více propustnému detailu u pozednice. Svou roli zde určitě hraje i nepřesná geometrie vlivem použití pravoúhlých souřadnic (na straně bezpečné).

Zhodnocení z hlediska požadovaných normových hodnot:

Činitel prostupu tepla:

Normová hodnota: $\psi_N = 0,2 \text{ W/m}$

Vypočtená hodnota: $\psi = 0,0413 \text{ W/m}$

$0,2 > 0,0413 \Rightarrow$ **VYHOVUJE** (vyhovuje i standardu pro pasivní domy (0,05))

Teplotní faktor:

Normová hodnota: $f, R_{si, N} = 0,748 \text{ W/m}$

Vypočtená hodnota: $f, R_{si} = 0,937 \text{ W/m}$

$0,937 > 0,748 \Rightarrow$ **VYHOVUJE** (v oblasti nebude vznikat kondenzace)

Teplota vnitřního povrchu:

Normová hodnota: $t_{si, N} = 11,48 \text{ }^\circ\text{C}$

Vypočtená hodnota: $t_{si} = 17,92 \text{ }^\circ\text{C}$

$17,16 > 11,48 \Rightarrow$ **VYHOVUJE** (potvrzení, že na povrchu nebude vznikat kondenzace)

Zhodnocení konstrukčního systému lehké stropní konstrukce a stropu MIAKO:

Celkový rozdíl mezi lineárním činitelem tepelné propustnosti v oblasti pozednice je:

$$0,0413 - (-0,0145) = 0,0558 \text{ W/m.}$$

Pokud je tato hodnota zadána do programu ENERGIE 2015 pro výpočet potřeby tepla pro vytápění při délce tepelné vazby (2 x pozednice) 2 x 11m, vyjde rozdílová roční potřeba tepla 361 MJ = cca 100 KWh, při ceně el. energie 3Kč/KWh (tarif AKUMULCE 8) tedy celkový roční rozdíl 300 Kč/rok ve prospěch budovy s půdní vestavbou.

5.3.2 Lineární činitel prostupu tepla pro styk obvodové stěny a podlahy

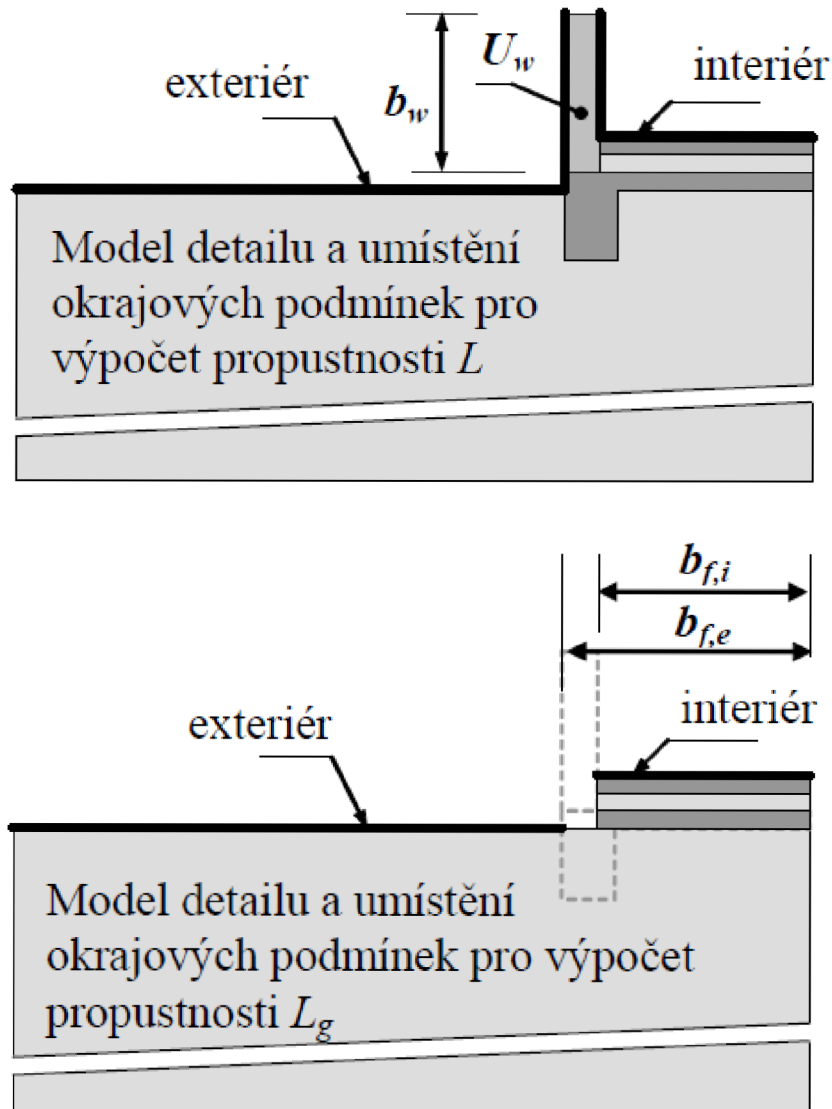
Při výpočtu lineárního činitele propustnosti u tepelných vazeb konstrukcí ve styku se zemí platí specifický postup výpočtu, který je definován v ČSN EN ISO10211 [29]. **Lineární činitel prostupu tepla** tepelné vazby mezi stěnou a podlahou na zemi lze stanovit pro standardní vnější rozměry ze vztahu :

$$\psi = L - U_w \cdot b_w - L_g \frac{b_{f,e}}{b_{f,i}}, \quad [\text{W}/(\text{m.K})] \quad (5.9)$$

propustnost hodnoceným detailem [W/m.K]

kde: L – vypočtená tepelná

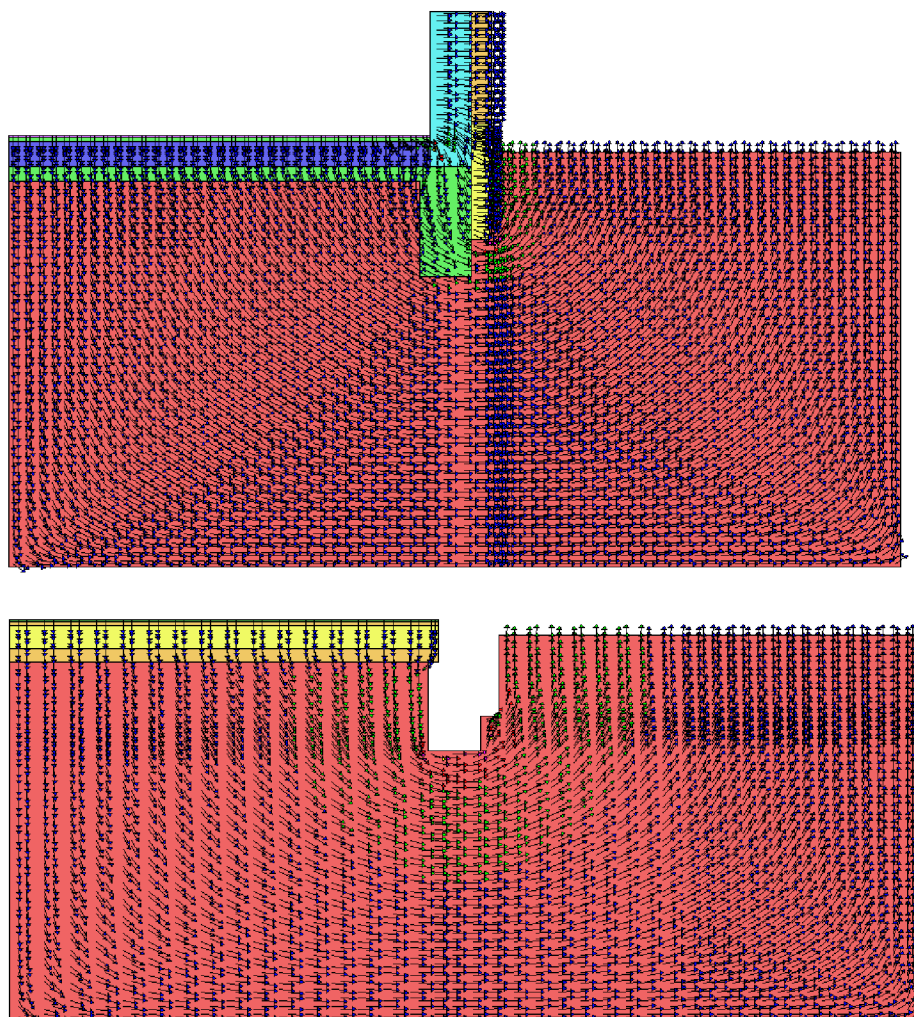
U_w – součinitel prostupu tepla stěn [W/(m².K)]
 b_w – výška stěny měřený z vnější strany [m]
 L_g – tepelná propustnost podlahou včetně vlivu zeminy [W/m.K]
 $b_{f,e}$ – vodorovný rozměr podlahy měřený z vnější strany [m]
 $b_{f,i}$ – vodorovný rozměr podlahy měřený z vnitřní strany [m]



Obr. 5.8: Rozměry výpočtu L konstrukcí při styku se zemínou [29]

Výpočet lze slovně formulovat jako rozdíl tepelného toku detailem 1m širokým, od kterého se odečtou ty části konstrukcí, které jsou již obsaženy ve výpočtech tepelných toků těmito konstrukcemi, přičemž specifickou částí je podlaha na zemině, kdy se odečítá tepelný tok, který prochází přes zeminu. Tento tepelný tok je také počítán 2D programem (spodní obrázek), přičemž je tento tok přepočítán na celou plochu podlahy včetně tloušťky obvodové stěny (proto poměr $b_{f,e} / b_{f,i}$).

Vizualizace tepelných toků zeminou je vidět na konkrétním příkladu kompletního detailu na obr. 5.9.



Obr. 5.9 : Vizualizace tepelných toků konstrukcí ve styku se zeminou

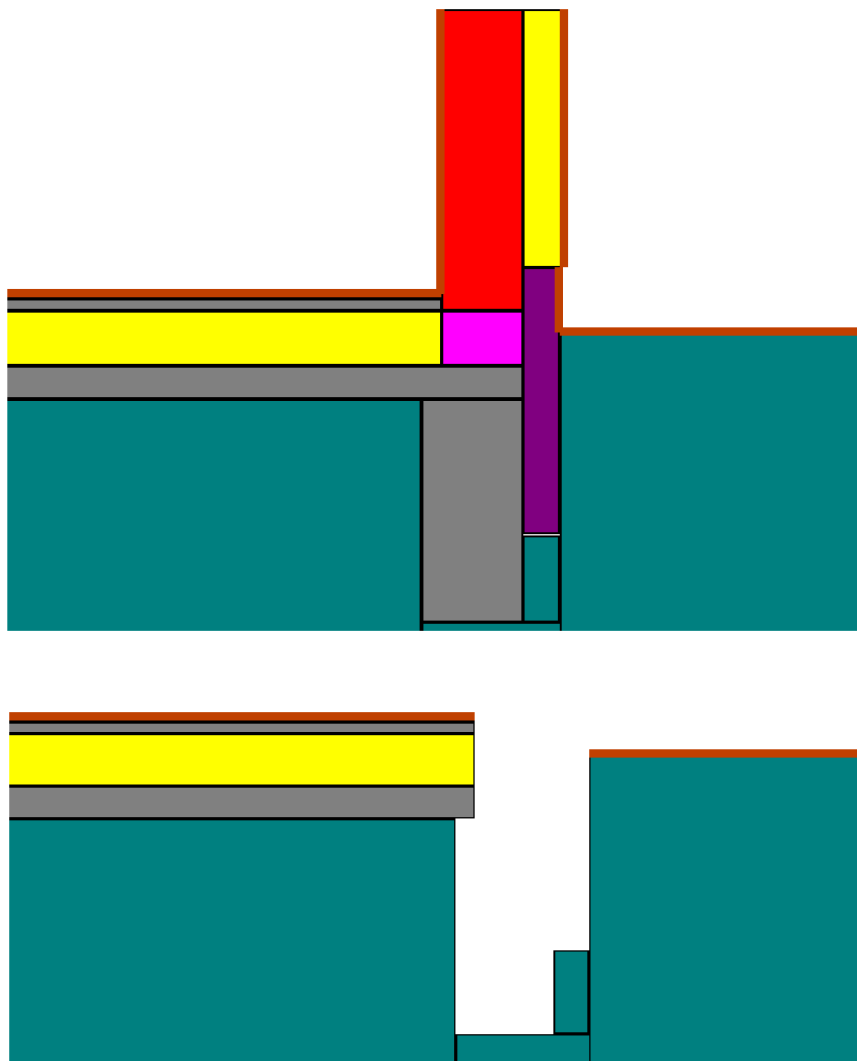
Dále budou hodnoceny detaily konstrukce navrhovaných budov a to:

- Kompletní detail (Ψ_1)
- Detail bez soklového polystyrenu (Ψ_2)
- Detail se soklovým polystyrenem k patě obvodové stěny (Ψ_3)
- Detail bez vlivu 1. řady cihel Heluz s polystyrénem (Ψ_4)
- Detail kde v 1. řadě zdiva je místo Heluz s polystyrénem pěnové sklo stejných rozměrů, tedy 400 x 250mm (Ψ_5)

Jenotlivé varianty jsou zobrazeny na obrázcích 5.10 – 5.13. Detail s pěnovým sklem je stejný jako detail s cihlou Heluz s polystyrénem a nebude samostatně zobrazen.

Zhodnocení z hlediska požadovaných normových hodnot na riziko kondenzace:

Posouzení na nejnižší teplotu povrchu je provedeno pouze u *varianty bez soklového polystyrenu*. Jelikož tato varianta vyhovuje normovým hodnotám, vyhoví i všechny ostatní varianty.



Obr. 5.10: Kompletní detail pro výpočet L konstrukcí ve styku se zemí

Tiskový výstup z programu AREA 2010 (detail bez soklového polystyrenu)

NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty, TEPLOTNÍ FAKTORY A RIZIKO KONDENZACE:

Prostředí	T_w [C]	$T_{s,min}$ [C]	f,R_{si} [-]	KOND.	RH,max [%]	$T_{,min}$ [C]
1	9.26	17.09	0.912	ne	---	---
2	-14.90	-13.00	1.000	ne	---	---

Teplotní faktor:

Normová hodnota: $f,R_{si,N} = 0,748$ W/m

Vypočtená hodnota: $f,R_{si} = 0,912$ W/m

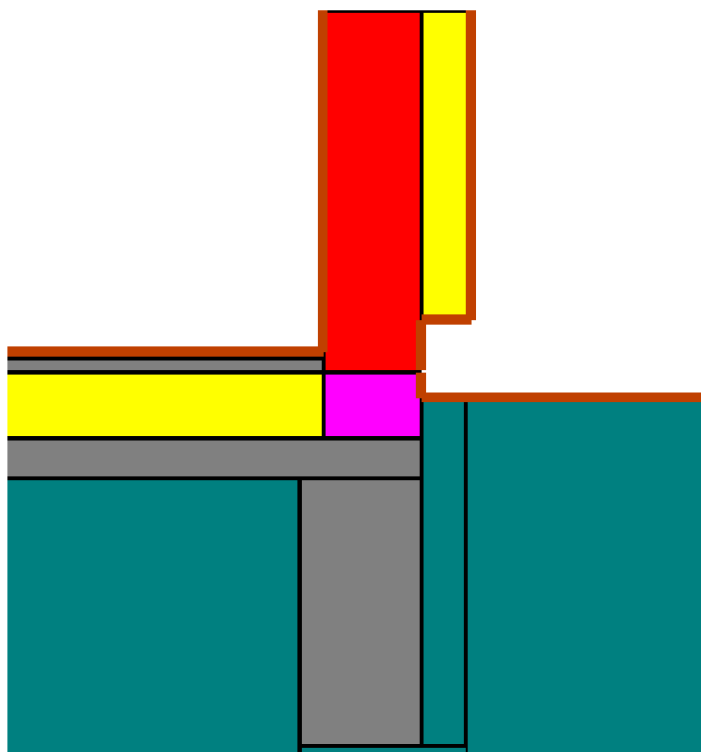
$0,912 > 0,748 \Rightarrow$ **VYHOVUJE** (v oblasti nebude vznikat kondenzace)

Teplota vnitřního povrchu:

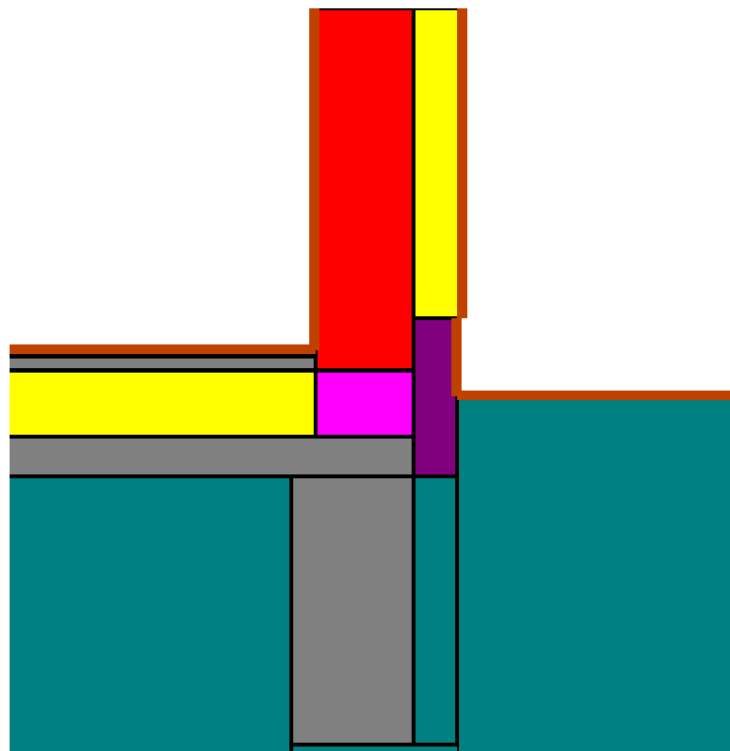
Normová hodnota : $t_{si,N} = 11,48$ °C

Vypočtená hodnota: $t_{si} = 17,09$ °C

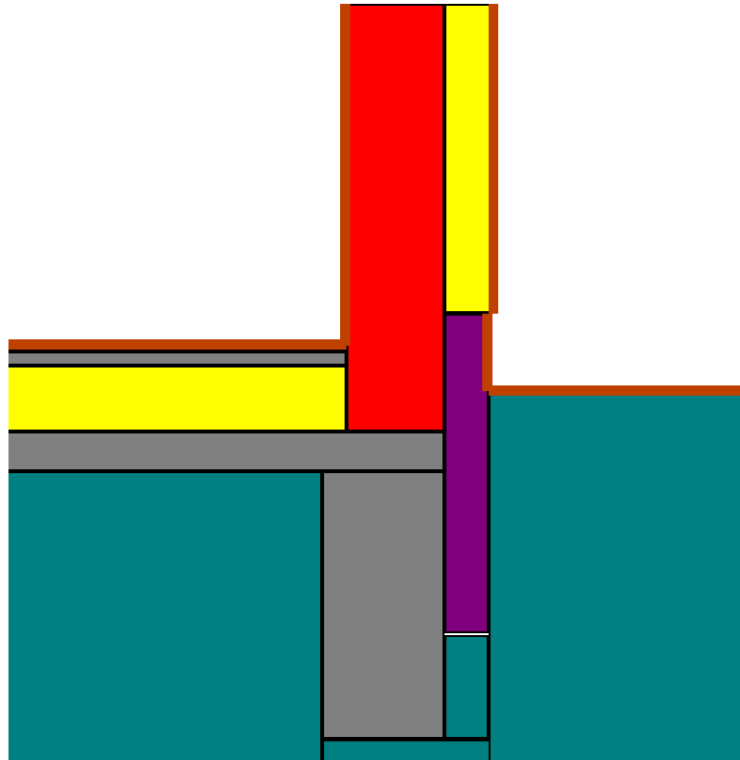
$17,09 > 11,48 \Rightarrow$ **VYHOVUJE** (potvrzení, že na povrchu nebude vznikat kondenzace)



Obr. 5.11: Detail bez soklového polystyrenu



Obr. 5.12: Detail se soklovým polystyrenem k patě základové desky



Obr. 5.13: Detail bez cihel HELUZ s polystyrenem v 1. řadě

Přehled výsledků:

L_1 , L_2 , L_3 , L_4 , L_5 – vypočtené propustnosti (W/mK) jako výstup z programu AREA 2010 pro jednotlivé varianty (např. L_1 je vidět na textovém výstupu kompletního detailu výše). Hodnota L_g je společná pro všechny varianty

Tiskový výstup AREA 2010 pro variantu L_1

NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty A HUSTOTY TEPELNÉHO TOKU:

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	20.0	0.17	50	17.59	19.27991	0.58424
2	-13.0	0.04	84	-12.99	-19.27751	0.58417

Tiskový výstup programu AREA 2010 pro tepelný tok zeminou L_g

NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty A HUSTOTY TEPELNÉHO TOKU:

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	20.0	0.17	50	19.52	11.21866	0.33996
2	-13.0	0.04	84	-12.92	-11.21940	0.33998

Přehled propustností uvádí tabulka 5.12. Význam jednotlivých symbolů je patrný z obrázku 5.8.

Tab. 5.12: Tepelné propustnosti jednotlivých variant

L1	L2	L3	L4	L5	Lg	b _w	b _{fe}	b _{fi}	U _w
0,584	0,623	0,702	0,6145	0,553	0,34	1,46	4,68	4,1	0,109
W/m.K	W/m.K	W/m.K	W/m.K	W/m.K	W/m.K	m	m	m	W/m ² .K

Vypočtené hodnoty lineárních činitelů tepelné propustnosti jsou uvedeny v tabulce 5.13 [W/ m K].

Tab. 5.13: Lineární činitelé propustnosti

Ψ ₁	Ψ ₂	Ψ ₃	Ψ ₄	Ψ ₅
0,037	0,155	0,067	0,076	0,007

Z přehledu výsledků je patrné, že nejhoší hodnoty dosahuje zateplení bez soklového polystyrenu (varianta č. 2). Nicméně všechny hodnoty splní normové požadavky, požadavky na pasivní domy splní pouze kompletní detail (varianta č. 1) a sokl s pěnovým sklem (varianta č. 5) $\psi_N = 0,2$ $\psi_{pas} = 0,05$.

Pro konkrétní představu byly jednotlivé činitelé zadány do programu ENERGIE 2015 a odečteny rozdílové hodnoty, tj. konkrétní vliv na spotřebu tepla na vytápění při účinnosti otopné soustavy 96 % (nizkoteplotní panely EKOSUN) viz tab. 5.14.

Propočet pro jednotlivé detaily při délce detailu $2 \times 11,2 + 2 \times 10,2 = 42,8$ m

Tab. 5.14: porovnání jednotlivých variant z hlediska vlivu na energetickou náročnost a nákladovost (počítáno pro celkovou účinnost systému 96 % (účinnost výroby x účinnost sdílení x účinnost distribuce).

Porovnání variant	Ψ (W/m.K)	Délka (m)	Měrný tepelný tok (W/K)	Roční dodaná energie (KWh/rok)	Roční spotřeba tepla (Kč)
Kompletní detail (v 1. řadě cihel nasýpaný polystyren, plná délka soklového polystyrenu)	0,037	22,40	0,82	105	316
Detail bez soklového polystyrenu	0,155	22,40	3,47	443	1329
Soklový polystyren k patě obvodové stěny	0,067	22,40	1,51	192	577
Bez vlivu polystyrenu nasýpaného v 1. řadě cihel Heluz	0,076	22,40	1,70	217	650
v 1. řadě pěnové sklo	0,007	22,40	0,15	19	58

Z tabulky je zřejmé, že největší ztráta je, pokud soklový polystyren nebude vůbec aplikován – 1 329 Kč. Nejlepší řešení je aplikování kompletního zateplení soklu včetně pokládky 1. řady cihel HELUZ s polystyrenem, roční spotřeba tepla bude činit 316 Kč. Rozumnou variantou může být i varianta se soklovým polystyrenem k patě obvodové zdi, s cihlou FAMILY v 1. řadě. Tato varianta bude ročně dražší o $577-316=261$ Kč. Při výstavbě základů můžeme aplikovat beton přímo do základové rýhy (nebude požadavek na rovný svislý povrch základových pasů). Varianta s pěnovým sklem má roční náklady nejmenší – rozdíl oproti kompletnímu detailu je 258 Kč. Z dostupných zdrojů, např. [31], je cena pěnového skla FOAMGLAS PERINSUL S cca 40.000 Kč/m^3 . Celková potřeba pěnového skla by pro 1. řadu bloků při tloušťce 400 mm byla $4,24 \text{ m}^3$, tj. cca 170 tis Kč. Pokud by byla počítána pouze tloušťka 250 mm, (obvyklý standard pro pasivní domy) vycházela by při stejné logice vyzdívka 1. řady bloků na 106 tis. Kč. To je při srovnání s dosaženým efektem 258 Kč za rok velmi vysoká investice s návratností přesahující životnost budovy (podle Zákona o oceňování majetku č. 151/1997 Sb. 100 let).

5.3.3 Lineární činitel prostupu tepla pro okna

Byly hodnoceny okna Slavona s.r.o Solid Comfort a Progression v detailech u parapetu (Solid Comfort), ostění (Solid Comfort, Progression) a nadpraží (Solid Comfort).

Vzhledem ke skutečnosti, že výrobci k oknům udávají přímo součinitele prostupu rámu U_g a U_f , je nutno přepočítat tyto součinitele na součinitele tepelné vodivosti λ jednotlivých částí podle tloušťek konstrukce. U rámu zahrnuje U_f jak vlastní materiál tak i konstrukci těsnící zavírání, těsnících manžet a vzduchových mezer. U_f je výsledkem zkoušek celého rámu. Proto je nutné jej přepočítat jako celek. Podobně je nutné provést přepočet i u prosklené části. Postup přepočtu na součinitele tepelné vodivosti:

- hodnoty U_f , U_g převést na příslušné tepelné odpory R_g , R_f
- odečíst odpory při přestupu tepla R_{se} , R_{si} od hodnot R_f , R_g
- pomocí tloušťek materiálů přepočítat upravené R_f a R_g na součinitele tepelné vodivosti

Parametry oken jsou uvedeny v tabulkách 5.6 a 5.7.

Detail umístění okna v konstrukci je na výkrese č. D.1.2.02.

Výpočet lineárního činitele prostupu tepla:

$$\Psi = L - U_g b_g - U_f b_f - U_s b_s \quad [\text{W/m.K}] \quad (5.10)$$

kde: L – vypočtená tepelná propustnost hodnoceným detailem $[\text{m.K}]$

U_g – součinitel prostupu tepla prosklené plochy $[\text{W/m}^2.\text{K}]$

b_g – šířka prosklené plochy $[\text{m}]$

U_f – součinitel prostupu tepla rámu $[\text{W/m}^2.\text{K}]$

b_f – šířka rámu $[\text{m}]$

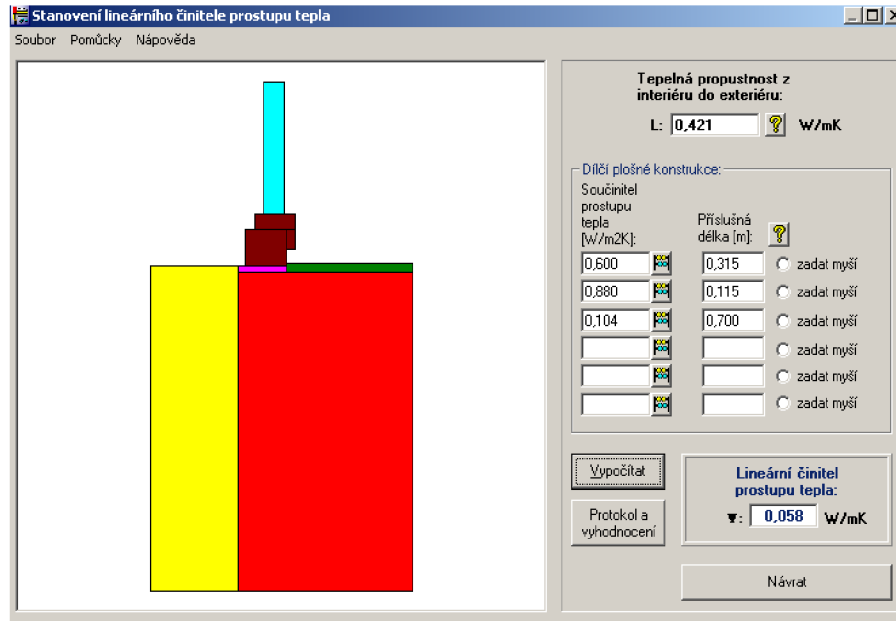
U_s – součinitel prostupu tepla obvodové zdi $[\text{W/m}^2.\text{K}]$

b_s – šířka obvodové zdi $[\text{m}]$

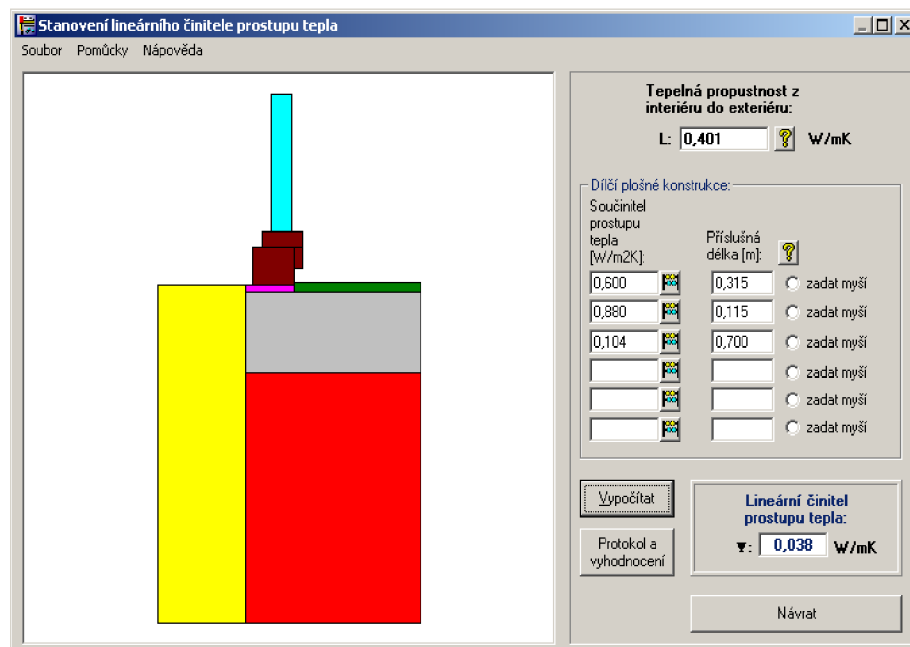
Barevné značení jednotlivých materiálů v programu AREA 2010 včetně hodnot λ v příčném i podélném směru uvádí tabulka 5.11.

Detail okna u parapetu je proveden v těchto variantách:

- S vyzdívkou standardních cihelných bloků HELUZ pod rámem okna (obr. 5.14)
- S vyzdívkou jedné řady bloků YTONG s příznivějším součinitelem tepelné propustnosti a to v obou směrech, $\lambda_{ti} = 0,087 \text{ W/m.K}$ (obr. 5.15)



Obr. 5.14: Výpočet Ψ a detail parapetu s vyzdění HELUZ



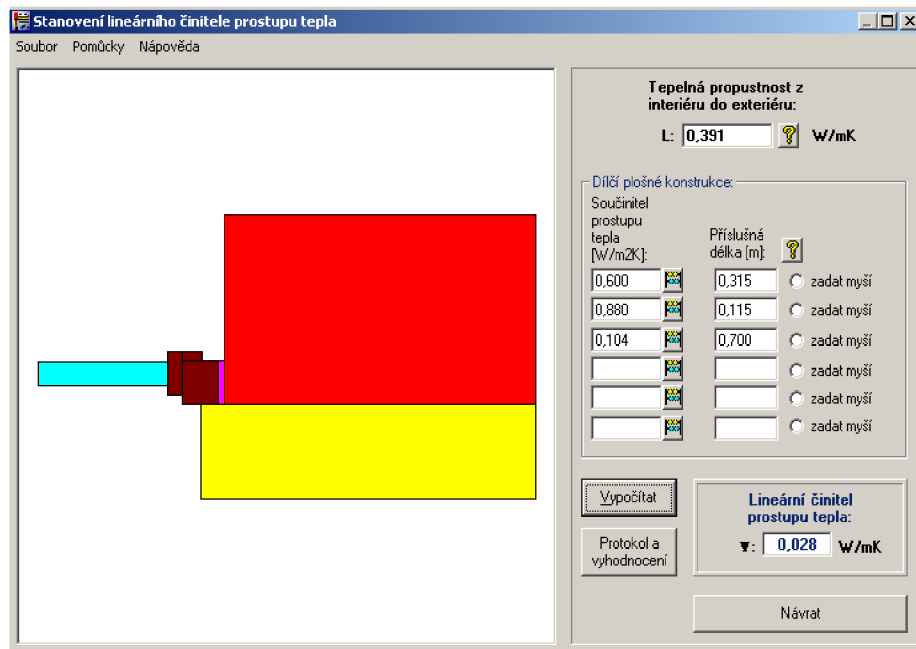
Obr. 5.15: Výpočet Ψ a detail parapetu s vyzdění YTONG

Z výše vedeného plyne, že Ψ sice splní **normovou hodnotu** (0,1 W/K.m) ale nikoliv **doporučenou** (0,03 W/K.m) a to ani v jenom případě. Použitím bloku YTONG lze poměrně výrazně hodnotu snížit při malých nákladech na provedení tohoto detailu, nicméně ani tak se nesplní doporučená hodnota. Splnění doporučené hodnoty nebo

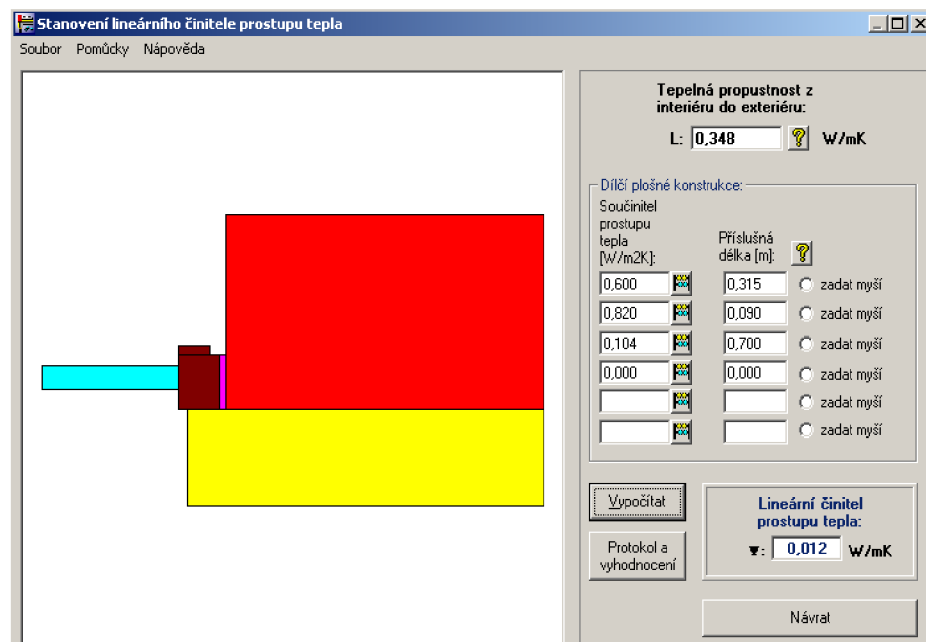
hodnoty vhodné pro pasivní domy lze dosáhnout pouze umístěním oken do tepelné izolace.

Detail okna u parapetu proveden v těchto variantách:

- Pro standardní okno Solid comfort
- Pro okno Progression nabízené stejným dodavatelem Slavona s.r.o s úpravou pro pasivní domy (velmi nízký rám upravený pro dotažení izolace téměř k prosklení)



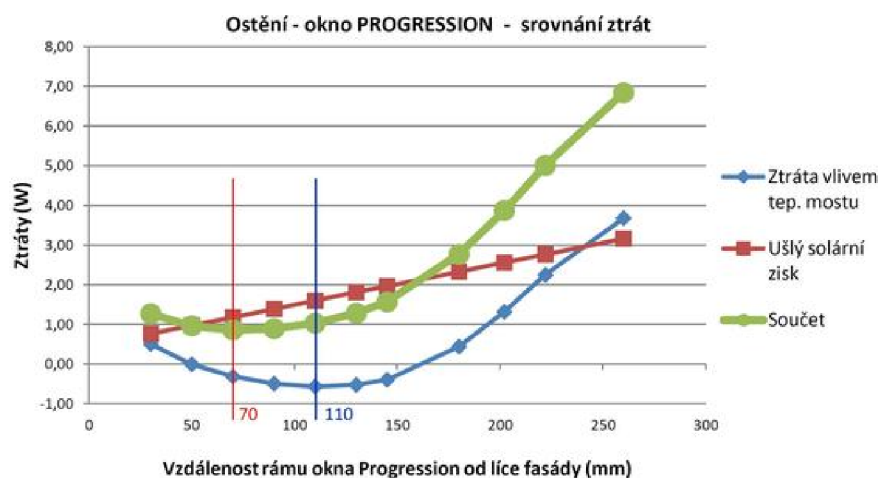
Obr. 5.16: Výpočet Ψ a detail ostění Solid Comfort



Obr. 5.16: Výpočet f_{Rsi} , Ψ a detail ostění Progression

Z výsledků vyplývá, že obě varianty dosáhnou hodnot **doporučených** normou (0,03 W/K.m), nikoliv však hodnot **vhodných pro pasivní domy** (0,01 W/K.m). Rozdíl mezi oběma variantami je velmi malý: 0,028-0,012 = 0,016 W/m.K. U oken Progression navíc dochází vlivem dotažení zateplení až k prosklené ploše ke ztrátám tepelných zisků

stíněním. Rozdíl této ztráty k ziskům zvýšeným zateplením uvádí obrázek 5.17. Při ostění cca 200 mm dosahuje tento rozdíl záporných hodnot. Obrázek byl převzat ze zdroje [32].



Obr. 3: Ztráty - tepelný most a ztracené tepelné zisky. Hodnoty viz tab.2:

Vzdálenost okna od líce fasády*	mm	30	50	70	90	110	130	145	180	202	222	260
Ψ ostění	W/(mK)	0,003	-0,001	-0,004	-0,006	-0,007	-0,007	-0,006	0,000	0,006	0,012	0,018
Ψ parapet	W/(mK)	0,006	0,005	0,004	0,003	0,004	0,006	0,008	0,017	0,027	0,038	0,070
Ztráta vlivem tep. mostu**	W	0,50	-0,01	-0,32	-0,50	-0,57	-0,53	-0,40	0,44	1,31	2,24	3,68
Zastíněná plocha nárožím	m ²	0,10	0,12	0,15	0,17	0,20	0,23	0,24	0,29	0,32	0,35	0,39
Ušlý solární zisk***	W	0,76	0,97	1,18	1,39	1,60	1,80	1,96	2,33	2,56	2,76	3,16
součet ztrát (Ψ a Solár)	W	1,26	0,96	0,86	0,89	1,03	1,28	1,56	2,76	3,87	5,01	6,84
$t_{s,min1}$ (konstrukce)	°C	17,27	17,52	17,73	17,92	18,14	18,41	18,61	18,66	18,57	18,48	18,37
$t_{s,min2}$ (zasklení)	°C	15,04	15,12	15,17	15,22	15,25	15,29	15,33	15,47	15,57	15,65	15,72

Pozn:

* 145mm - okno je osazeno do roviny izolace (viz schéma). 260 mm - vnější líc rámu je zarovnan se zdíven.

** Znázorňuje součet tepelných mostů pronásobený teplotním gradientem: Ztráta = $\Delta t \cdot \sum(\Psi \cdot l_i)$; kde $\Delta t = 23^\circ\text{C}$ je rozdíl teploty interiéru a průměrné teploty venkovního prostředí v daném měsíci (leden). Okno šířky 1,2m a výška 1,5m. (li jsou délky tepelných mostů - tedy parapet 1,2m; ostění 4,2m; tep. most v nadpraží uvažují stejný jako v ostění)

*** energie, která by prošla do interiéru zastíněnou plochou, kdyby nároží nestínilo a paprsky by dopadaly na zasklení $E = 8,01 \cdot S_{zastínění} \cdot \text{rohem}$

Obr. 5.17: Solární zisky versus tepelný most pro různé hloubky ostění okna

Detail okna v nadpraží přibližuje obr. 5.18. Z obrázku je zřejmé, že na vnitřním líci okna je tepelná izolace z polystyrenu (žlutý pruh). Takto volená izolace je nevhodná neboť může nepříznivě ovlivnit tepelný tok z interiéru k rámu okna a může způsobit kondenzaci. Nicméně z pohledu statiky nelze zaměnit polohu vnějšího překladu (šedý pruh) a polystyrenu. Jedinou možností je dát místo polystyrenu překlad, to je však podstatně dražší. Jelikož výstup z AREA 2010 prokázal, že na rámu nebude docházet ke kondenzaci, lze ponechat detail tomto stavu: Tiskový výstup ukazuje, že pro prostředí 5 (kouty oken) vykazuje nižší hodnoty t_{si} a f, R_{si} než pro ostatní prostředí, nicméně ještě splňuje **normou doporučené hodnoty**:

Tiskový výstup z AREA 2010:

NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty, TEPLOTNÍ FAKTORY A RIZIKO KONDENZACE:

Prostředí	T _w [C]	T _{s,min} [C]	f,R _{si} [-]	KOND.	RH,max [%]	T _{min} [C]
1	9.26	14.30	0.827	ne	---	---
2	-14.90	-13.00	1.000	ne	---	---
3	9.26	19.41	0.982	ne	---	---
4	9.26	19.56	0.987	ne	---	---
5	9.26	13.95	0.817	ne	---	---

Teplotní faktor:

Normová hodnota: $f,R_{si,N} = 0,647 \text{ W/m}$ (převzato z normy ČSN 730540: 2011 se změnou 2012, tab. D1 – pouze informativní)

Vypočtená hodnota: $f,R_{si} = 0,817 \text{ W/m}$

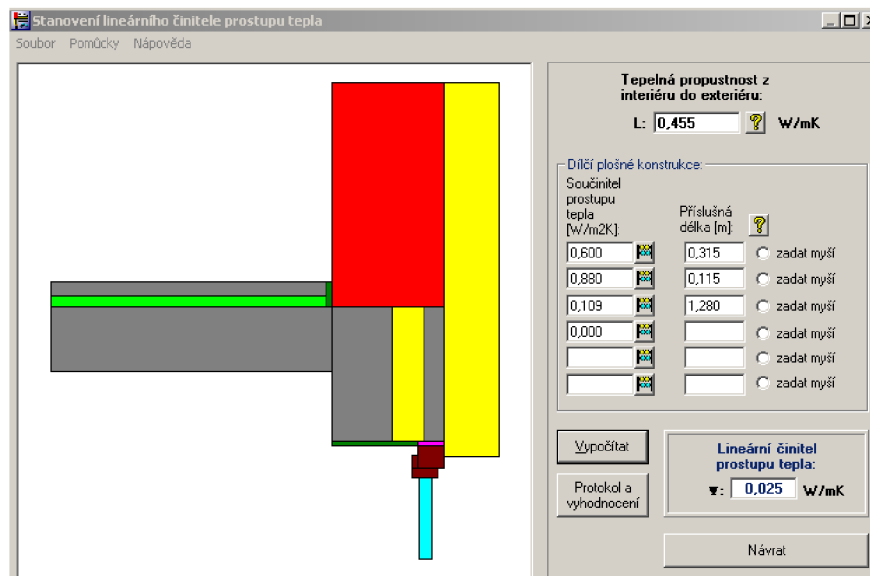
$0,817 > 0,647 \Rightarrow$ **VYHOVUJE** (v oblasti nebude vznikat kondenzace)

Teplota vnitřního povrchu:

Normová hodnota : $t_{si,N} = 8,35\text{C}$ (převzato z normy ČSN 730540: 2011 se změnou z r. 2012, tab. D2 – pouze informativní)

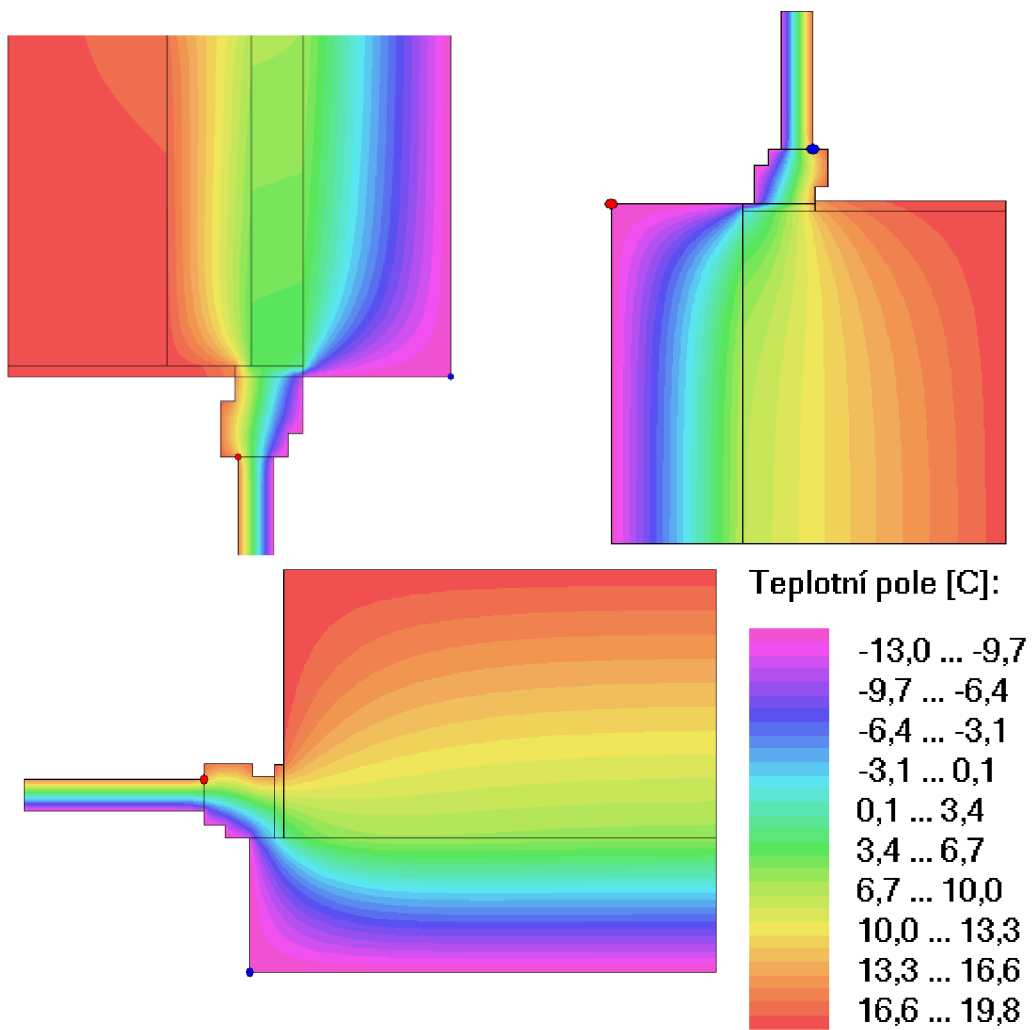
Vypočtená hodnota: $t_{si} = 13,95\text{°C}$

$13,95 > 11,48 \Rightarrow$ **VYHOVUJE** (potvrzení, že na povrchu nebude vznikat kondenzace)



Obr. 5.18.: Výpočet Ψ a detail nadpraží Solid Comfort

Lineární činitel prostupu tepla sice dosahuje **doporučených hodnot** (0,03 W/K.m), nikoliv však hodnot **vhodných pro pasivní domy** (0,01 W/K.m).



Obr.5.19: Vizualizace průběhu teplot detailem okna, nadpraží (Solid Comfort), ostění (Solid Comfort), parapet (Solid Comfort + Ytong)

5.4 Vliv tepelných vazeb na celkovou tepelnou bilanci

Podobně jako u okenních otvorů, spodní stavby a spojení obvodové stěny a střešní nebo stropní konstrukce byly dopočítány lineární činitele i pro ostatní tepelné vazby a to:

- Roh dvou přiléhajících stěn
- Vnitřní příčky na podlaze přilehlé k zemině
- Spoj stropní konstrukce a štítové stěny
- Zakončení schodiště na podlaze přilehlé k zemině.

Seznam lineárních činitelů prostupu tepla všech tepelných vazeb v obou budovách včetně jejich vlivu na tepelnou bilanci uvádí tabulky 5.15 a 5.16. Je uvažována účinnost zdroje tepla 96 %. Pro přepočet tepelné energie na náklady byla uvažována sazba 3 Kč/KWh.

Tab. 5.15: Tepelné toky tepelnými vazbami v budově s půdní vestavbou

Tepelné vazby pro budovu s půdní vestavbou	Lineární činitel prostupu tepla Ψ (W/m.K)	Délka (m)	Měrný tepelný tok (W/K)	Roční dodaná energie (KWh/rok)	Roční náklady na vytápění (Kč)
Sokl	0,037	42,80	1,58	105	316
Roh obvodových stěn	-0,075	17,68	-1,33	-88	-265
Spojení obvodové stěny a střechy	-0,015	22,40	-0,32	-22	-65
Spojení štítové stěny a stropu 2.podlaží	0,027	12,67	0,34	23	68
Okna-parapet	0,038	15,25	0,58	39	116
Okna-ostění	0,028	32,70	0,92	61	183
Okna-nadpraží	0,025	15,25	0,38	25	76
Vnitřní nosné zdi a příčky	0,037	23,00	0,85	57	170
Schody	0,675	1,00	0,68	45	135
Celkem			3,68	245	734

Celkové roční náklady na tepelné vazby jsou 734 Kč, z čehož tepelné vazby oken představují 375 Kč (116+183+76). Snížení těchto nákladů až na teoretickou nulu by bylo možné jen, pokud by okna byla umístěna v rovině izolace, což předpokládá použití konzol k uchycení okenních rámců. Tato varianta je náročná na řemeslné provedení, kontrolu montáže a s tím spojené vyšší riziko nekvalitního provedení a tím i vyšší náklady. Podle mého názoru jsou náklady ve výši 375 Kč ročně přijatelnější než výše uvedená rizika.

Vyšší roční dodaná energie u dvoupodlažní budovy je způsobena tepelnými vazbami obvodové stěny a stropní konstrukce. O důvodech pojednávala kapitola 5.3.1.

Tab. 5.16: Tepelné toky tepelnými vazbami v dvoupodlažní budově

Tepelné vazby pro budovu se stropem Miako	Lineární činitel prostupu tepla Ψ (W/m.K)	Délka (m)	Měrný tepelný tok (W/K)	Roční dodaná energie (KWh/rok)	Roční náklady na vytápění (Kč)
Sokl	0,037	42,80	1,58	105	316
Roh obvodových stěn	-0,075	22,78	-1,71	-111	-334
Spojení obvodové stěny a stropu	0,041	22,40	0,93	60	181
Spojení štítové stěny a stropu 2.podlaží	0,027	22,40	0,60	40	121
Okna-parapet	0,038	15,25	0,58	39	116
Okna-ostění	0,028	32,70	0,92	61	183
Okna-nadpraží	0,025	15,25	0,38	25	76
Vnitřní nosné zdi a příčky na podlaze	0,037	22,25	0,82	57	170
Schody	0,675	1,00	0,68	45	135
Celkem			4,78	320	962

Celkově lze říci, že další pokusy o snižování už tak malých ročních nákladů na tepelné vazby povedou k výrazně větším nákladům na provedení detailů těchto vazeb.

6 Hodnocení rizika kondenzace v obvodové stěně

Aplikace relativně malé zateplovací vrstvy na stěnu s nízkým součinitelem tepelné propustnosti (HELUZ 40cm má $U=0,142 \text{ W/m}^2\text{K}$) má svá rizika v možnosti vzniku oblasti kondenzace už v průřezu cihelného zdiva. Dále bude porovnán zateplovací systém **Baumit OPEN** (včetně k tomu určené silikátové omítky s poměrně vysokou paropropustností) se zateplovacím systémem **šedého polystyrenu** (bude použita akrylátová omítka). Pro účely porovnání bude použit stejný součinitel tepelné vodivosti λ . Hodnocení je provedeno podle metodologie uvedené v kapitole 4. Okrajové podmínky jsou patrné z tabulky 4.2.

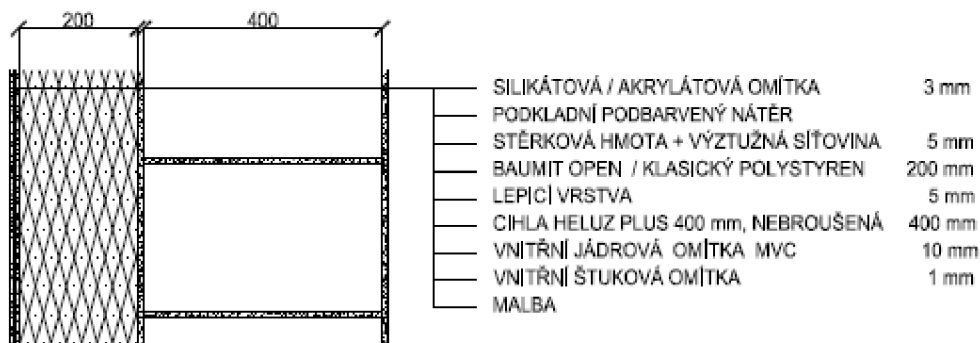
Charakteristiky materiálů jsou v tabulkách 6.1 a 6.2. (součinitel tepelné vodivosti uváděn ve W/K.m , součinitel difuzního odporu μ je bezrozměrný)

Tab. 6.1: Součinitele difuzního odporu materiálů obvodové stěny

$\mu_{\text{stěrka}}$	μ_{silikat}	μ_{akrylat}	μ_{cihla}	$\mu_{\text{Baumit Open}}$	$\mu_{\text{klasický polystyren}}$	$\mu_{\text{lepídlo}}$	$\mu_{\text{vc omítka}}$
18	25	120	7	10	50	18	18

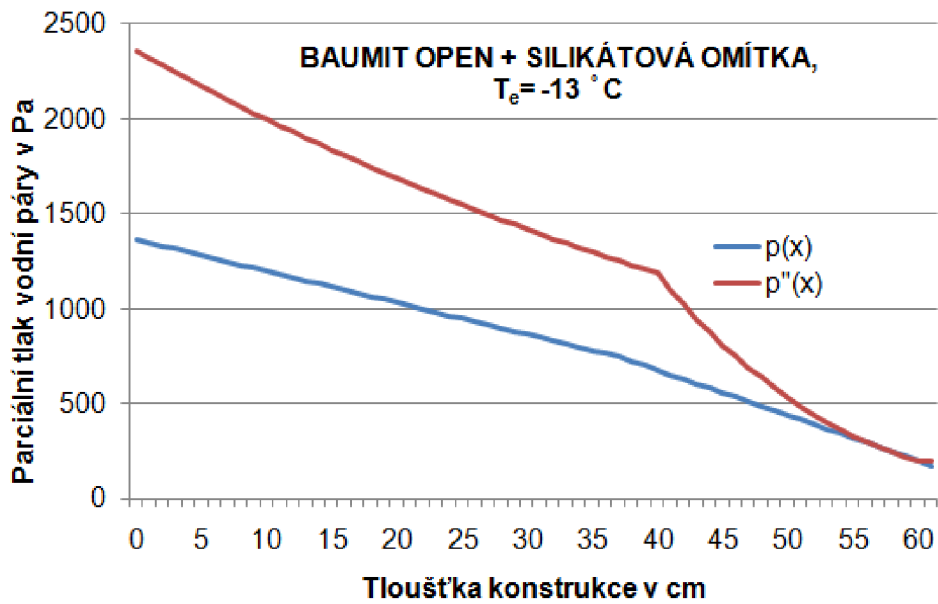
Tab. 6.2: Součinitele tepelné vodivosti materiálů obvodové stěny

$\lambda_{\text{stěrka}}$	λ_{silikat}	λ_{akrylat}	λ_{cihla}	$\lambda_{\text{Baumit Open}}$	$\lambda_{\text{klasický polystyren}}$	$\lambda_{\text{lepídlo}}$	$\lambda_{\text{vc omítka}}$
0,8	0,8	0,8	0,142	0,032	0,032	0,8	1

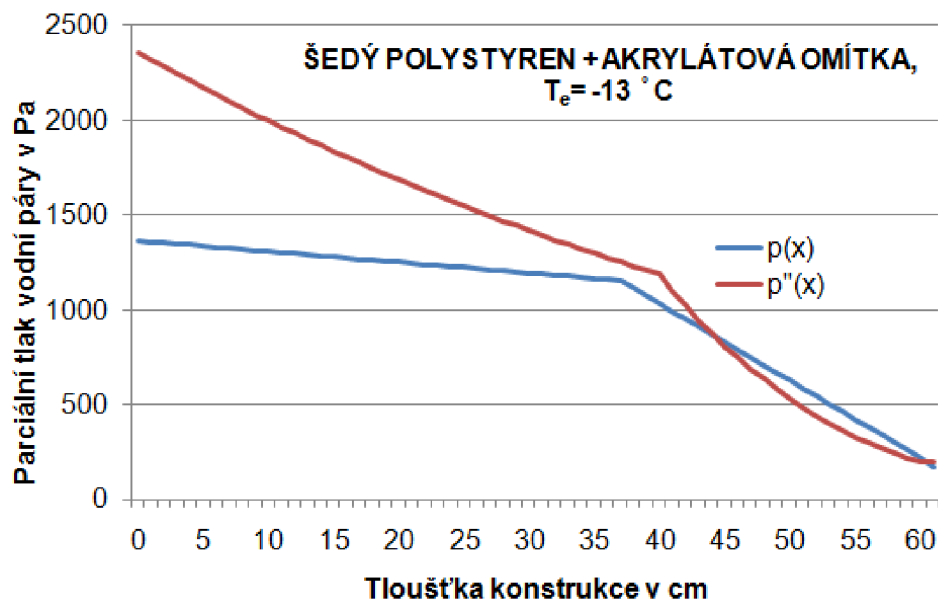


Obr. 6.1: Detail obvodové stěny

Dále jsou uvedeny průběhy parciálních tlaků pro zateplení BAUMIT OPEN a klasický polystyren při teplotách -13°C a -20°C .

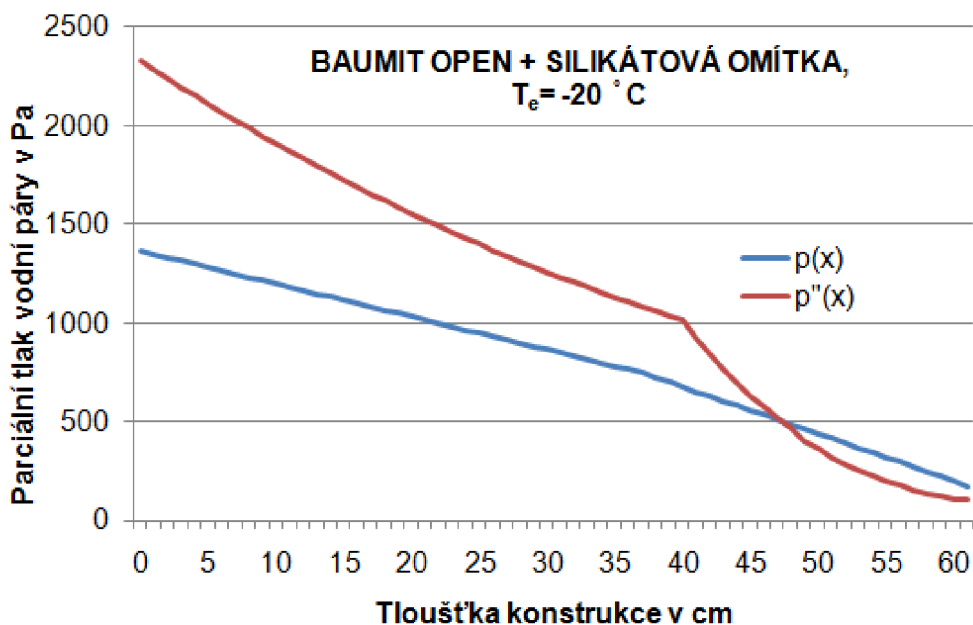


Obr. 6.2: Oblast kondenzace pro BAUMIT OPEN, $-13 \text{ } ^\circ\text{C}$

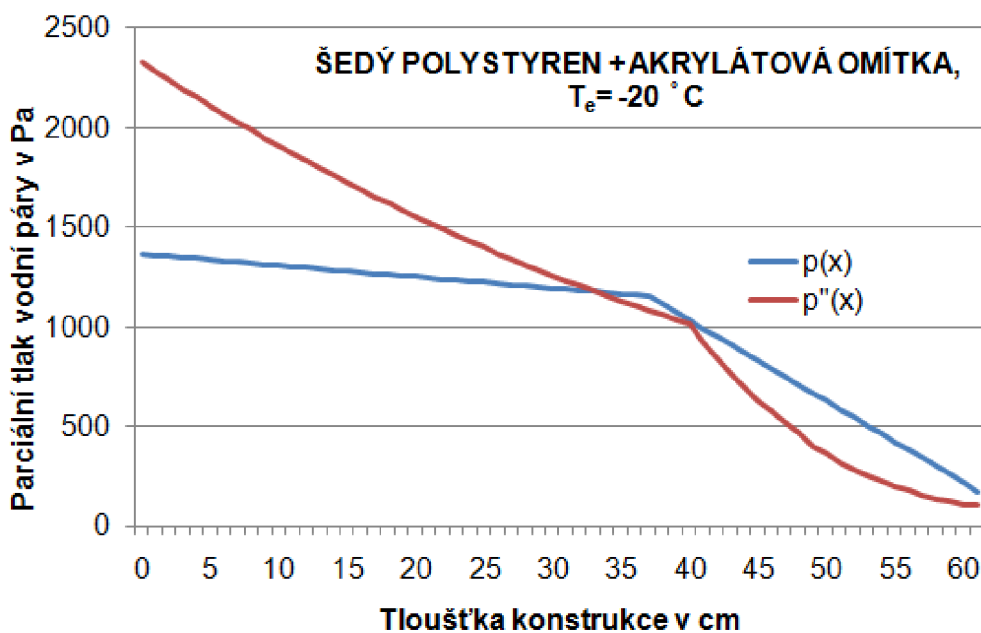


Obr. 6.3: Oblast kondenzace pro šedý polystyren, $-13 \text{ } ^\circ\text{C}$

Oblast kondenzace vychází v obou případech v průřezu polystyrenu, u BAUMIT OPEN je tato oblast nepatrná.



Obr. 6.4: Oblast kondenzace pro BAUMIT OPEN, $-20 \text{ } ^\circ\text{C}$



Obr. 6.5: Oblast kondenzace pro šedý polystyren, $-20 \text{ } ^\circ\text{C}$

Z grafů je zřejmé, že při teplotách okolo $-20 \text{ } ^\circ\text{C}$ vychází oblast kondenzace pro BAUMIT OPEN ještě v průřezu polystyrenu, u šedého polystyrenu však už přechází do cihelného zdiva, nebezpečná je oblast v okolí lepicí vrstvy.

Závěr:

Použití šedého polystyrenu bude při normových venkovních teplotách (tedy cca – 13 °C) vyhovovat, oblast kondenzace je ve vrstvě polystyrenu. Při teplotách nižších však může dojít k přesunu této oblasti do nosné konstrukce, což je chybné. Jedním z možných důsledků může být narušení lepicí vrstvy kondenzující párou.

Použitím zateplovacího systému Baunit OPEN nedojde ke kondenzaci mimo oblast polystyrenu ani při teplotách kolem -20 °C.

V této souvislosti je třeba uvést, že někteří výrobci uvádí ve své dokumentaci možnost připevnění fasádních desek pouze lepením **bez kotvení** (pouze u novostaveb). Pro normové hodnoty vnější teploty okolo –13 ° C nenastane ve většině případů problém. Při teplotách nižších však může docházet ke kondenzaci v okolí lepeného spoje a může dojít k narušení tohoto spoje. Proto doporučuji vždy kotvit.

7 Hodnocení budov z hlediska tepelné stability v letním období

ČSN 730540-2 udává **požadavky na tepelnou stabilitu** nevýrobních budov a to parametrem nejvyšší teplota vzduchu v místnosti $t_{ai,max}$ (viz kapitola 2.3.1, bod 9). Tato teplota nesmí přesáhnout 27 °C (normovou hodnotu $t_{ai,max,N}$).

Výpočtové postupy pro hodnocení tepelné stability v letním období uvádí evropské normy ČSN EN ISO 13791 a ČSN EN ISO 13792. Používají se okrajové podmínky podle ČSN 730540-3.

Posouzení tepelné stability budovy je provedeno pomocí programu SIMULACE 2010 pro budovu s půdní vestavbou i pro dvoupodlažní budovu. Účelem posouzení je zhodnocení těchto vlivů:

- Posouzení podle ČSN 730540-2
- Vliv použitých materiálů (tepelná kapacita) a objemu místnosti
- Vliv stínění
- Vliv světové strany

Pro posouzení je použit model RC (analogie s el. obvodem). Je hodnocena místnost č. 2.01 (výkresy D.1.1.01 a D.1.1.02), tedy místnost ve 2. nadzemním podlaží na západní straně. Tvar místnosti i půdorys je pro obě varianty stejný, rovněž i rozměry stavebních otvorů jsou stejné. Rozdíl je v konstrukci stropu, poloze okenních otvorů (jih, západ), stínění a objemu místnosti (menší u půdní vestavby). Okno v místnosti u budovy s půdní vestavbou není stíněno vůbec, je umístěno ve štítové stěně. Stínění okna pro dvoupodlažní budovu je na obr. 7.3. Předpokládá se, že tato místnost je z hlediska tepelné stability nejhůře umístěna.

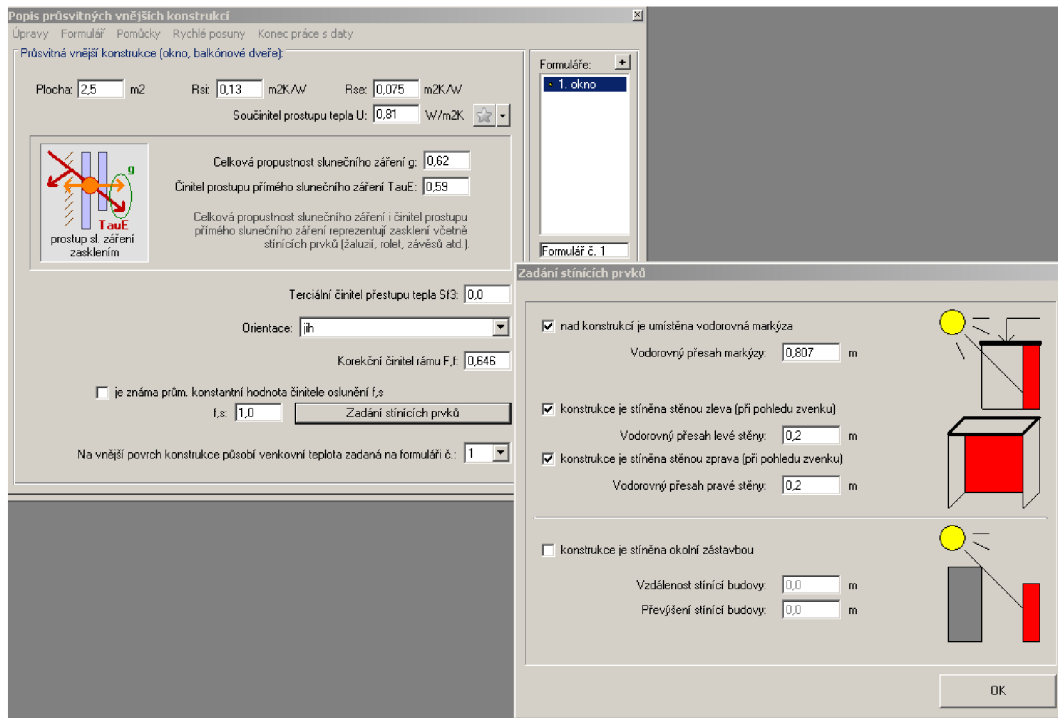
Při výpočtu jsou použity okrajové podmínky z ČSN 730540-3, tedy soubor vnějších teplot a intenzit slunečního záření – tabulka H8 normy.

Větrání je převážně v noci a je použito časové schéma na obr. 7.1.

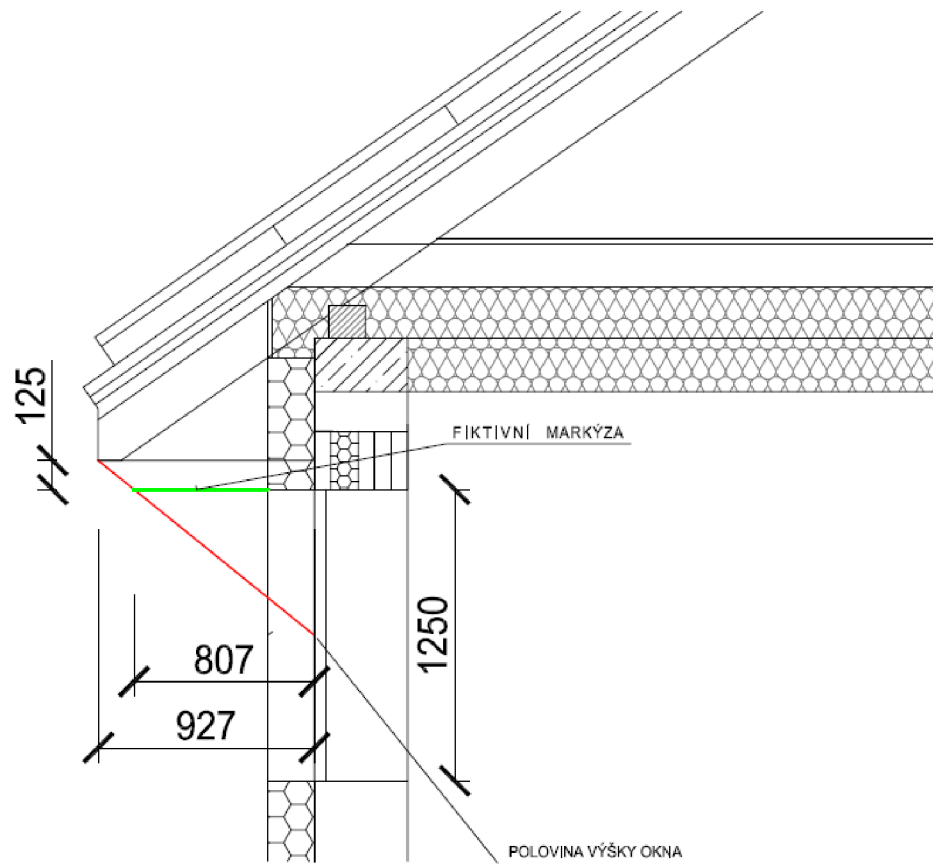
Násobnost výměny vzduchu v místnosti:
Počáteční okamžik pro data na tomto formuláři ... i = 0 h

Výměna v čase i+1:	<input type="text" value="2,5"/>	1/h	Výměna v čase i+13:	<input type="text" value="0,5"/>	1/h
Výměna v čase i+2:	<input type="text" value="2,5"/>	1/h	Výměna v čase i+14:	<input type="text" value="0,5"/>	1/h
Výměna v čase i+3:	<input type="text" value="2,5"/>	1/h	Výměna v čase i+15:	<input type="text" value="0,5"/>	1/h
Výměna v čase i+4:	<input type="text" value="2,5"/>	1/h	Výměna v čase i+16:	<input type="text" value="0,5"/>	1/h
Výměna v čase i+5:	<input type="text" value="2,5"/>	1/h	Výměna v čase i+17:	<input type="text" value="0,5"/>	1/h
Výměna v čase i+6:	<input type="text" value="2,5"/>	1/h	Výměna v čase i+18:	<input type="text" value="0,5"/>	1/h
Výměna v čase i+7:	<input type="text" value="2,5"/>	1/h	Výměna v čase i+19:	<input type="text" value="0,5"/>	1/h
Výměna v čase i+8:	<input type="text" value="2,5"/>	1/h	Výměna v čase i+20:	<input type="text" value="0,5"/>	1/h
Výměna v čase i+9:	<input type="text" value="2,5"/>	1/h	Výměna v čase i+21:	<input type="text" value="2,5"/>	1/h
Výměna v čase i+10:	<input type="text" value="0,5"/>	1/h	Výměna v čase i+22:	<input type="text" value="2,5"/>	1/h
Výměna v čase i+11:	<input type="text" value="0,5"/>	1/h	Výměna v čase i+23:	<input type="text" value="2,5"/>	1/h
Výměna v čase i+12:	<input type="text" value="0,5"/>	1/h	Výměna v čase i+24:	<input type="text" value="2,5"/>	1/h

Obr. 7.1: Výměna vzduchu v místnosti



Obr. 7.2: Zadání stínění v SIMULACI 2010



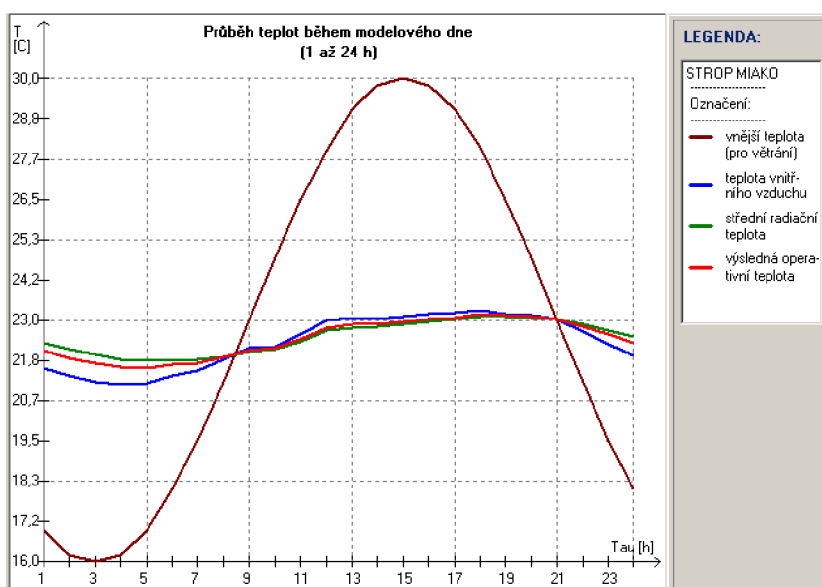
Obr. 7.3: Způsob určení délky fiktivní markýzy

Výpočet je proveden pro 21. srpen. Zadání stínících prvků do SIMULACE 2010 je zřejmé z obr. 7.2. Je uvažována fiktivní markýza (na horním okraji okna), jejíž délka je stanovena z úhlu spojnice konce střechy a středu okna viz obr. 7.3 (hodnota přesahu fiktivní markýzy je 0,807 m). Ve schématu není zobrazen okap. Umístění okapu je patrné z výkresu D.1.1.11 a vzhledem k jeho poloze je jeho vliv zanedbatelný.

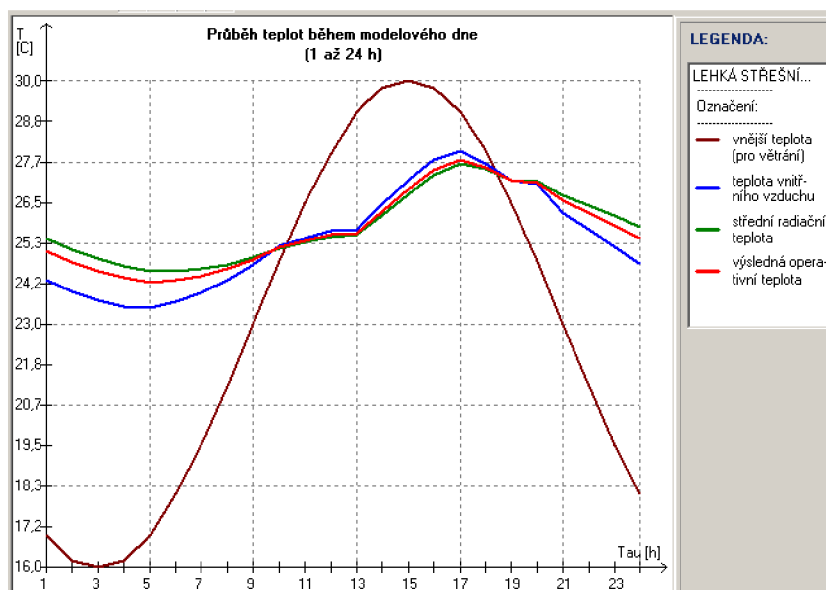
Porovnávány budou průběhy teplot v obou místnostech.

7.1 Posouzení podle ČSN 730540-2

Zadání podle výše uvedených podmínek, obě varianty podle skutečných hodnot.



Obr. 7.4: Průběh teplot vzduchu u dvoupodlažní budovy

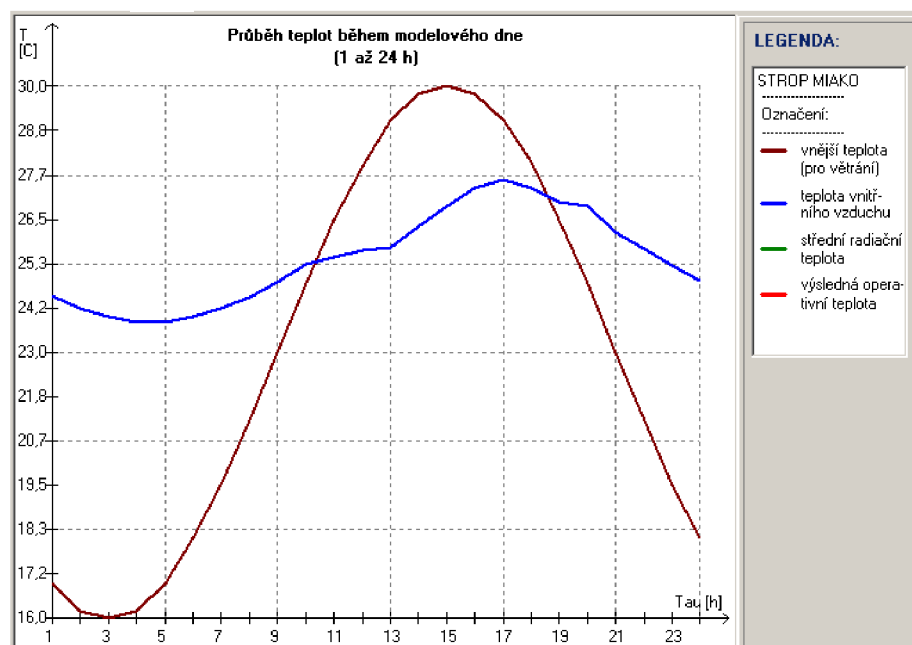


Obr. 7.5: Průběh teplot vzduchu u budovy s půdní vestavbou

Z obou obrázků je zřetelně vidět, že u dvoupodlažní budovy max. teplota vzduchu nepatrně přesahuje 23°C a **splňuje tak normové hodnoty**. U budovy s lehkým stropním pláštěm dochází k nárůstu na hodnoty kolem 28 °C v odpoledních hodinách a budova tak **nesplňuje normovou hodnotu (27 °C)**. Hodnoty střední radiační teploty a výsledné operativní tepoty pouze kopírují teplotu vnitřního vzduchu a nemají pro toto porovnání žádný význam, proto nebudou nadále zobrazovány.

7.2 Vliv materiálových charakteristik a objemu místnosti

Uvažovanou materiálovou charakteristikou je zejména tepelná kapacita. Vliv může mít i rozdílný součinitel prostupu tepla stropní (střešní) konstrukce. Pro účely tohoto porovnání bude okno u dvoupodlažní budovy fiktivně umístěno na západní stranu místnosti a bude bez jakéhokoliv stínění. Tím budou podmínky pro porovnání vlivu použitých materiálů totožné.



Obr. 7.6: Průběh teplot vzduchu u dvoupodlažní budovy s fiktivním oknem na západ

Max. teplota vzduchu je v tomto případě cca 27,5°C, což je **pouze o 0,5 °C méně** než u budovy s půdní vestavbou. To znamená, že vliv použitých materiálů konstrukcí stropu (střechy), rozdíl v zateplení stropu (střechy) a objemu místnosti je v porovnání se stíněním a polohou místnosti malý.

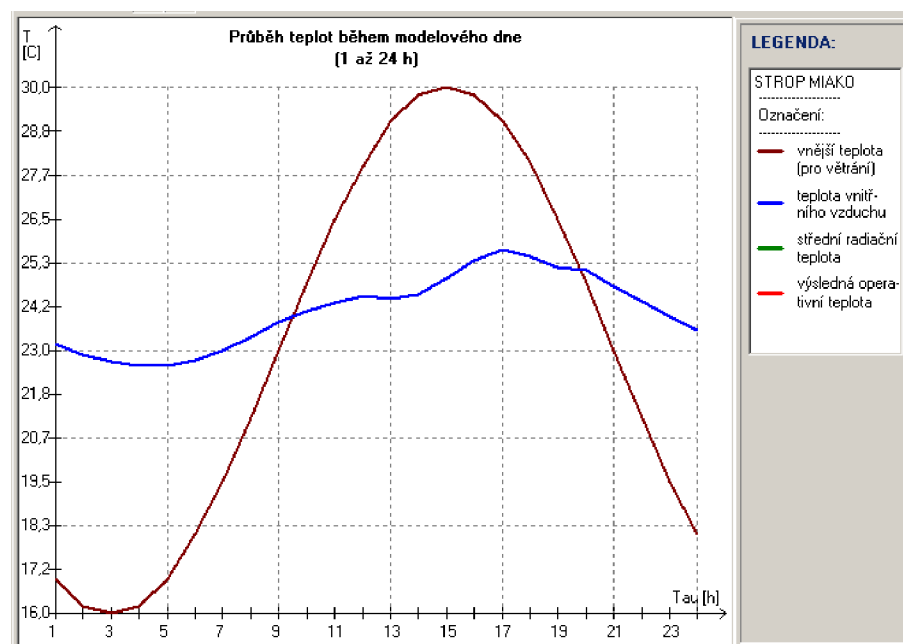
7.3 Vliv stínění

Pro účely porovnání bude fiktivní okno navíc vybaveno markýzou o stejné délce jako u okna na jižní straně (bude však na západní straně i u dvoupodlažní budovy). Délka

markýzy je 0,807 m. Průběh teplot je znázorněn na obrázku 7.7. Je zřejmé, že max. teplota vzduchu je cca 25,5 °C, což představuje **pokles o 2 °C**, oproti stavu bez stínění.

7.4 Vliv světové strany

Vliv světové strany je možno posoudit z porovnání grafu na obrázku 7.7 (dvoupodlažní budova s okny na západ, stínění) a grafu na obrázku 7.4 (dvoupodlažní budova okna na jih, stejné stínění). Z porovnání vyplývá, že oproti oknu na západ při stejném stínění a ostatních podmínkách, vykazuje okno na jih o **cca 2,5 °C** nižší hodnoty. U východní strany je maximální teplota cca o 1 °C nižší než u strany západní, rozložení teplot v průběhu dne nevykazuje takové kolísání a teplotní špičky (viz obr. 7.8)



Obr. 7.7: Průběh teplot vzduchu u dvoupodlažní budovy, fiktivním oknem na západ a stíněním stejným jako u jižního okna

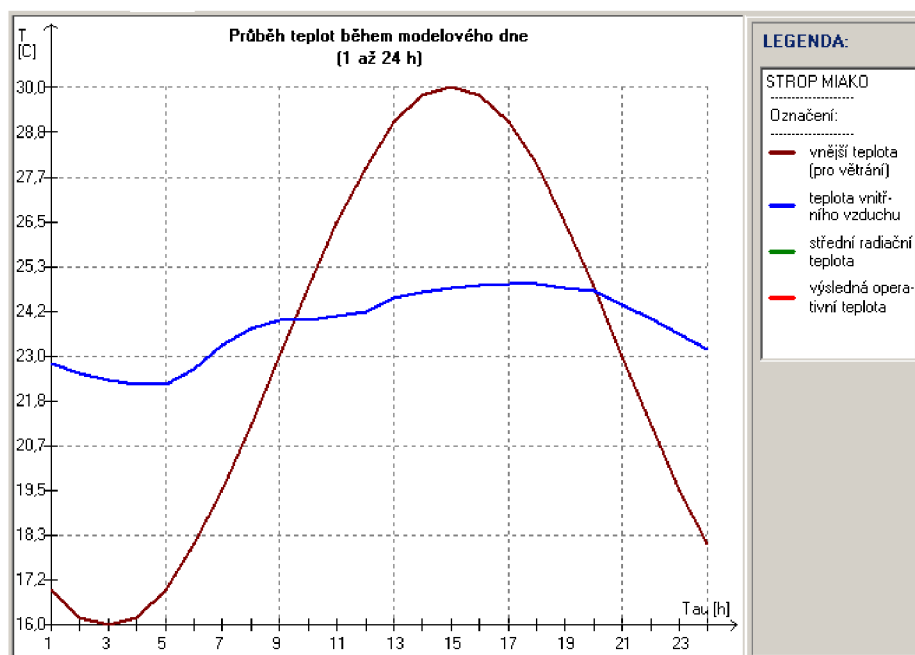
7.5 Závěry k tepelné stabilitě

Z porovnání obou variant je zřejmé, že dvoupodlažní budova nad druhým podlažím bude vykazovat lepší tepelnou stabilitu v letním období a to i bez stínících prvků (rolety, žaluzie) než budova s půdní vestavbou. Západní okno hodnocené místnosti bude muset být vybaveno stínícími prvky (žaluzie, rolety), jinak bude docházet k přehřívání místnosti v letním období nad normové hodnoty. Analýza ukázala, že **celkový teplotní rozdíl 5 °C** má následující příčiny:

- Vliv světových stran 50 % (jižní vs. západní)
- Vliv stínění přesahem střechy 40 %
- Vliv materiálových charakteristik (tepelná kapacita), rozdílů v zateplení stropu (střechy) a objemu místnosti 10 %

Z tohoto pohledu je výhodnější dvoupodlažní budova, neboť i při zachování možnosti instalace fotovoltaických panelů na jižní část střechy umožňuje umístit okna

v 2. podlaží na jižní stranu. Zároveň využívá efektivního stínění přesahem střechy. Méně významnou roli hraje použití materiálů s větší tepelnou kapacitou u stropní konstrukce a větší vrstva tepelné izolace bez tepelných mostů nad stropem 2. patra.



Obr. 7.8: Průběh teplot vzduchu u dvoupodlažní budovy, fiktivním oknem na východ a stíněním stejným jako u jižního okna

7.6 Stanovení přesahu střešní konstrukce

Požadavky na přesah střechy:

- Úkryt před povětrnostními vlivy – co největší přesah
- Stínění – co největší přesah
- Maximální solární zisky oken – co nejmenší přesah

Pro stanovení optimálního přesahu jsou přijaty tyto zjednodušující předpoklady:

- pouze pro okna na jižní straně
- pro polohu slunce ve 12:00 hod. vždy k 21. dni daného měsíce

Pro zadanou výšku rámu a šířku nadpraží byly určeny různé přesahy střechy a podle výšky slunce nad obzorem ve 12:00 hod. vždy k 21. daného měsíce bylo určeno % zastínění okna. Stanovení úrovně přesahu střechy bylo provedeno pro budovu s půdní vestavbou, nicméně logika platí obecně. Schéma je na obr. 7.9. Obrázek 7.10 ukazuje pro čtyři úrovně přesahů % zastínění okna v jednotlivých měsících. Pro porovnání a vizualizaci jsou v jednotlivých měsících uvedeny potřeby tepla na vytápění (převzato z Průkazu energetické náročnosti budovy – program ENERGIE 2015), dále je uveden součinitel využití solárních zisků.

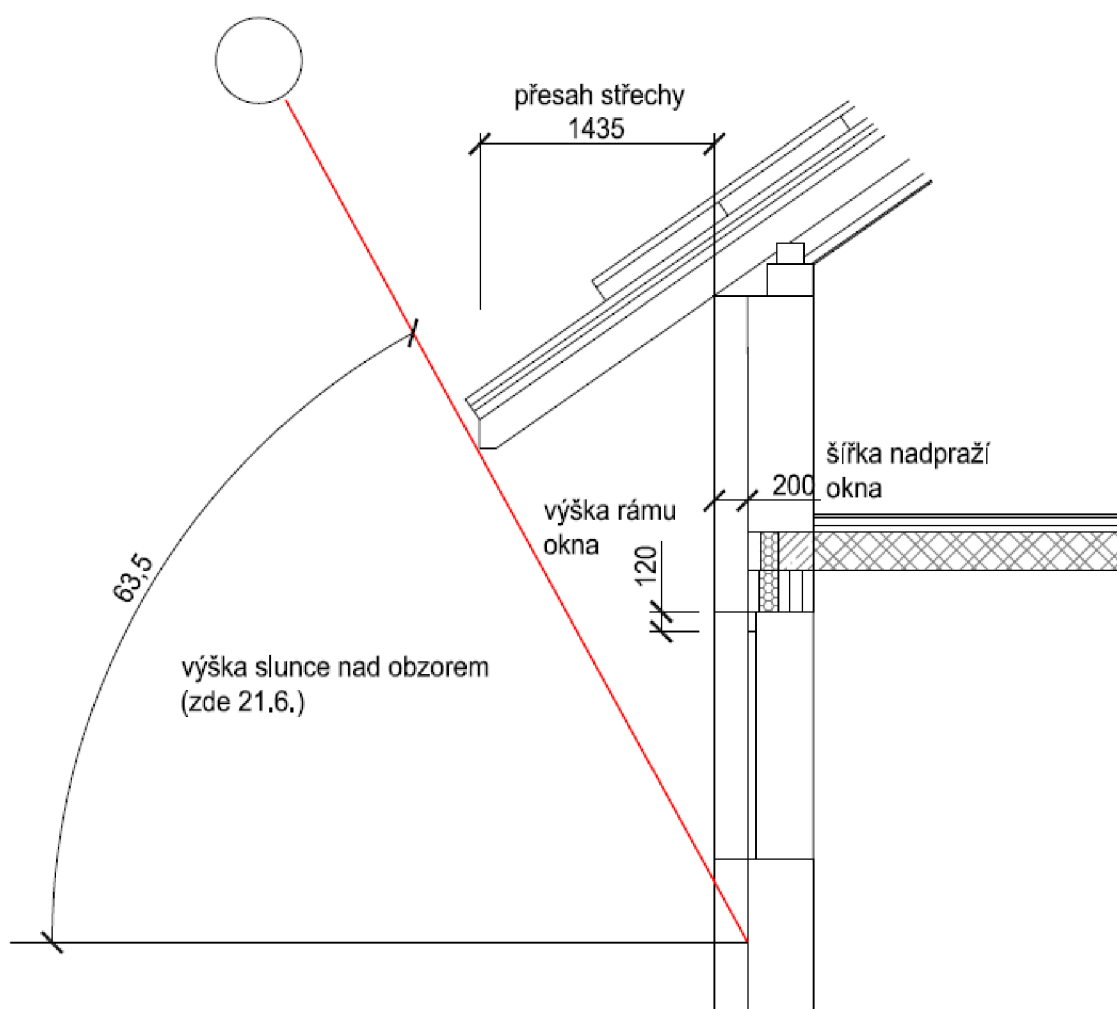
Žlutá křivka znázorňuje nejmenší přesah, modrá největší. Kritické měsíce jsou březen a srpen. V březnu je třeba plného využití solárních zisků, v srpnu naopak maximálního stínění. Zde je třeba najít kompromis. Pro budovu navrhuji přesah střechy 1435 mm. To znamená 21.3. bude ve 12:00 hod. zastíněno cca 8%. Z trajektorie slunce lze odhadnout, že v období kolem rovnodennosti bude toto zastínění ve 12:00 největší.

V srpnu bude stínění cca 65 %. Pro období jeden měsíc do rovnodennosti lze předpokládat, že po zbytek dne bude stínění zhruba stejné. Výška slunce nad obzorem je sice dopoledne a odpoledne menší než ve 12:00 hod., to ale bude částečně kompenzováno jeho severnějším postavením.

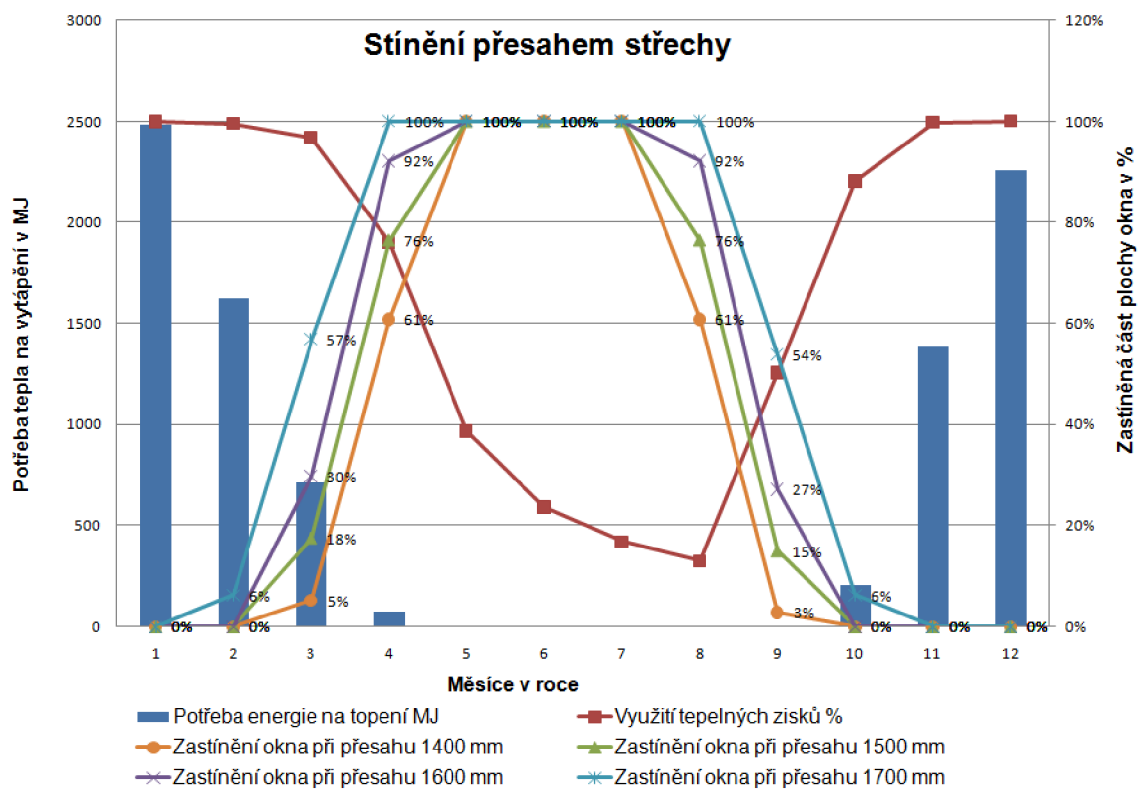
V období kolem letního slunovratu bude ve 12:00 hod. zastíněně 100 % plochy a lze předpokládat, že tomu tak bude i po zbytek dne (slunce bude níže nad obzorem, ale severněji). Naopak v zimě okolo zimního slunovratu bude stínění rovno nule po celý den.

Závěr:

Stínění přesahem střechy na jižní straně je velmi efektivní. Podobná geometrie stínění je aplikována i na dvoupodlažní budovu a to přesahem střechy ve 2. podlaží a přístřeškem v 1. podlaží. Tepelná stabilita v letním období byla ověřena. Pro stínění tedy není nutno používat venkovní rolety a žaluzie s jejich negativním vlivem na tepelné mosty. Plně postačí vnitřní žaluzie k omezení oslnění.



Obr. 7.9. Schéma přesahu střechy a jeho vlivu na stínění



Obr. 7.10. Vliv přesahu střechy na zastínění plochy okna

8 Energetické hodnocení budov

V této kapitole je provedeno energetické zhodnocení a porovnání obou budov a je vystaven **Průkaz energetické náročnosti budov** za použití programu ENERGIE 2015.

8.1 Terminologie

V dalším textu bude používána následující terminologie, která je používána vyhláškou 78/2013 Sb. [34]:

potřeba energie (tepla/chladu)	Energie potřebná na daný účel (vytápění, chlazení, příprava teplé vody...) za předpokladu 100 % účinnosti všech technických systémů. Jde o teoretickou hodnotu bez vlivu energetických ztrát v technických systémech.
vypočtená spotřeba energie	Energie potřebná na daný účel s vlivem účinností všech technických systémů. Vypočte se z potřeby energie a zahrnuje vliv účinnosti zdrojů, distribuce a sdílení energie.
pomocná energie	Energie potřebná pro provoz pomocných technických systémů (např. čerpadel, regulace či řízení).
dodaná energie	Předpokládaná celková spotřeba energie na daný účel. Stanoví se jako součet vypočtené spotřeby energie a pomocné energie. Tato hodnota se může více či méně blížit skutečné spotřebě energie v budově.
celková dodaná energie	Součet všech dílčích dodaných energií do budovy.
neobnovitelná primární energie	Předpokládaná neobnovitelná část energie z přírody, která je dodávána do budovy jednotlivými energonositeli a která neprošla žádným procesem přeměny.
celková primární energie	Předpokládané celkové množství energie z přírody, které je dodáváno do budovy jednotlivými energonositeli a které neprošlo žádným procesem přeměny. Je součtem obnovitelné a neobnovitelné primární energie.

Pro účely této práce zahrnuje celková dodaná energie (podle vyhl. 78/2013 Sb.) následující dílčí energie:

- dodaná energie na vytápění
- dodaná energie na nucené větrání
- dodaná energie na přípravu teplé vody
- dodaná energie na osvětlení

8.2 Parametry budovy zadané do ENERGIE 2015

Podmínky pro výpočet zadané do programu ENERGIE 2015:

1. Hodnoty tepelně technických charakteristik konstrukcí – tabulka 5.5
2. Plochy jednotlivých konstrukcí – tabulka 5.5
3. Tepelné vazby zadány podle tab. 5.15 a 5.16
4. Průměrné měsíční hodnoty teplot a dopadající sluneční energie podle TNI730331
5. Výpočet v souladu s vyhl. č. 78 / 2013 Sb.
6. Rekuperace – křížový deskový výměník WHR 950, průtok 600 m³/h, účinnost 75 %
7. Vytápění INFRAPANELY EKOSUN, účinnost distribuce 100 %, účinnost výroby energie 100 %, účinnost sdílení tepla 96 %
8. Bez chlazení
9. Ohřev TUV, elektrický ohřivač DRAŽICE OKCE 200 l, účinnost 94 %
10. FOTOVOLTAIKA – panely OMP POLYKRISTAL 250 W, účinnost 15,2 %, plocha 68 m², orientace: JIH, sklon střechy 35 °, bez stínění
11. Energonositel: elektřina
12. Ostatní parametry (vnitřní zisky, osvětlení, objem vzduchu na osobu, výměna vzduchu a další) nastaveny v souladu s požadavky programu NOVÁ ZELENÁ ÚSPORÁM
13. Pro podlahu na zemině proveden podrobný výpočet podle EN ISO 13370, součinitel tepelné vodivosti zeminy 2 W/m.k (neznámá zemina), přídatná tepelná izolace podél soklu do hloubky 0,91 m.

8.3 Hodnocení budov z pohledu splnění požadavků vyhl.č. 78/2013 Sb.

Požadavky vyhlášky 78/2013 (dále jen „vyhláška“) jsou uvedeny v § 6 odst. 1:

„Požadavky na energetickou náročnost nové budovy a budovy s téměř nulovou spotřebou energie, stanovené výpočtem na nákladově optimální úrovni, jsou splněny, pokud hodnoty ukazatelů energetické náročnosti hodnocené budovy uvedené v § 3 odst. 1 písm. b), c) a e) nejsou vyšší než referenční hodnoty ukazatelů energetické náročnosti pro referenční budovu“.

Zmiňované body b), c) a e) znamenají **neobnovitelnou primární energii za rok, celkovou dodanou energii za rok a průměrný součinitel prostupu tepla:**

Hodnocení podle výše uvedeného požadavku (převzato z energetického průkazu budovy) je v tabulce 8.1. Tabulka srovnává pouze energie vztažené na jednotku půdorysné plochy (228,48 m²), jelikož i absolutní čísla by byla ve stejném poměru. Je zřejmé, že obě budovy s rezervou splňují požadavek na dům s téměř nulovou spotřebou energie. Větší rezervy má dvoupodlažní budova, je to dáno většími rozměry, celkovým povrchem ochlazovaných konstrukcí a větším objemem vzduchu. Tyto parametry musí referenční budova kopírovat a při horších jednotkových parametrech (např. součinitel prostupu tepla) jsou pak větší celkové rozdíly.

Pro posouzení přísnosti vyhlášky je budově s půdní vestavbou „odejmuta“ rekuperace i fotovoltaické panely. Vytápění i ohřev TUV zemním plynem, jinak stejné podmínky. Výsledek ukazuje tabulka 8.2

Tab. 8.1. Posouzení splnění požadavků na budovu s téměř nulovou spotřebou energie

Budova	Měrná potřeba energie na vytápění (KWh/m ² ·rok)	Měrná dodaná energie (KWh/m ² ·rok)	Měrná neobnovitelná energie (KWh/m ² ·rok)	Průměrný součinitel prostupu tepla (KWh/m ²)
Budova s půdní vestavbou	10,6	36	-7	0,16
Referenční budova	31,7	89	84	0,26
Hodnocení		Vyhovuje	Vyhovuje	Vyhovuje
Dvoupodlažní budova	10,0	35	-8	0,15
Referenční budova	42,8	109	121	0,3
Hodnocení		Vyhovuje	Vyhovuje	Vyhovuje

Budova vyhovuje požadavkům vyhlášky i v tomto případě, přestože měrná potřeba energie na vytápění dosahuje hodnot 26 KWh/m² a měrná dodaná energie je 79 KWh/m² za rok. Průměrný součinitel prostupu tepla zůstal stejný neboť nedošlo ke změně zateplení obálky. Změna celkové dodané energie je ovlivněna odebráním rekuperace (cca 15 KWh/m² za rok), zhoršením účinnosti otopné soustavy (z EKOSUN panelů na teplovodní centrální vytápění) a zvýšením pomocné energie na vytápění (přibylo čerpadlo). Celková neobnovitelná energie byla navíc výrazně ovlivněna odebráním fotovoltaických panelů (negativně) a změnou druhu vytápění (pozitivně). Na měrnou potřebu energie mělo vliv pouze odebrání rekuperace.

Pokud by bylo sníženo zateplení obálky budovy (např. odebráním izolace podlahy z $R=8 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ na teoretických $0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$) při zachování vytápění plynem, zvýšila by se celková dodaná energie. Jelikož faktor primární neobnovitelné energie za plyn je 1,1 a ten zůstal stejný, změní se celková neobnovitelná energie na 109 KWh/m² za rok a budova nevyhoví požadavkům vyhlášky (viz tab. 8.3). Změna zdroje k vytápění na dřevěné peletky (faktor primární neobnovitelné energie 0,2) sníží měrnou neobnovitelnou energii na 52 KWh/m² (na obr. 8.3 červeně) a budova vyhoví požadavkům, měrná dodaná energie je stejná. Na obrázku 8.4 jsou hodnoty faktorů celkové obnovitelné energie a neobnovitelné energie pro různé energonositele zadávané do programu ENERGIE 2015.

Tab. 8.2. Budova s půdní vestavbou bez rekuperace, vytápění i ohřev TUV plynem, bez fotovoltaických panelů

Budova	Měrná potřeba energie na vytápění (KWh/m ² .rok)	Měrná dodaná energie (KWh/m ² .rok)	Měrná neobnovitelná energie (KWh/m ² .rok)	Průměrný součinitel prostupu tepla (W/Km ²)
Budova s půdní vestavbou	26,1	79	89	0,16
Referenční budova	46,9	115	103	0,26
Hodnocení		Vyhovuje	Vyhovuje	Vyhovuje

Tab. 8.3. Budova s půdní vestavbou bez rekuperace, vytápění i ohřev TUV plynem, bez fotovoltaických panelů, podlaha s R=0,5K.m²/W, červené hodnoty pro vytápění peletkami

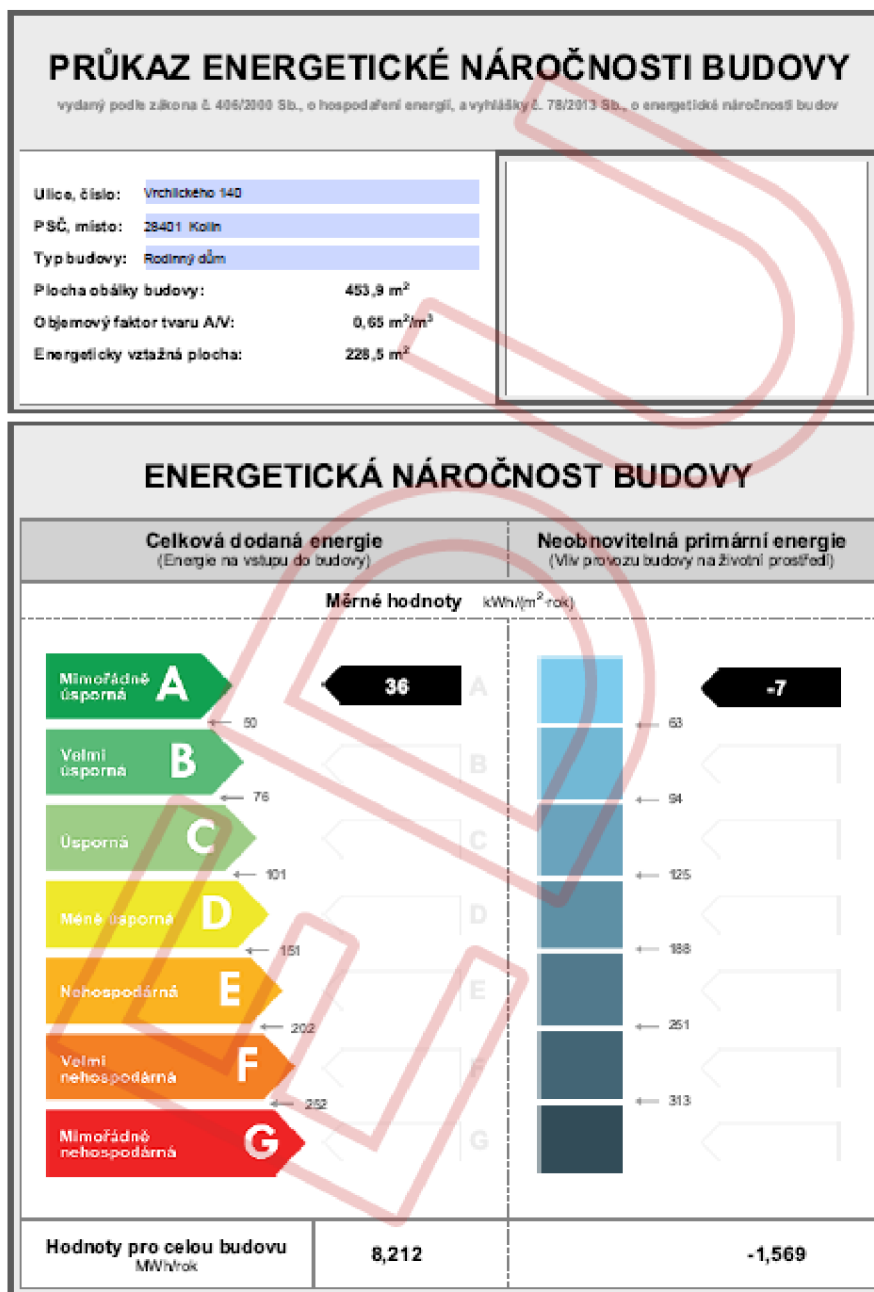
Budova	Měrná potřeba energie na vytápění (KWh/m ² rok)	Celková dodaná energie (KWh/m ² . rok)	Celková neobnovitelná energie (KWh/m ² .rok)	Průměrný součinitel prostupu tepla (W/Km ²)
Budova s půdní vestavbou	36,4	89	109(52)	0,22
Referenční budova	46,9	115	103	0,26
Hodnocení		Vyhovuje	Nevyhovuje (Vyhovuje)	Vyhovuje

The screenshot shows the 'ENERGIE2015' software interface. At the top, there are tabs for 'Základní popis zóny', 'Vnitřní zisky a osvětlení', 'Větrání zóny, ventilátory a úprava vlhkosti', 'Chlazení zóny', and 'Zdroje tepla'. Below these are sub-tabs for 'Zdroje chladu', 'Příprava teplé vody', 'Solární systémy', 'Energonositele, primární energie a emise', and 'Zdroje tepla'. A checkbox 'vypočítat primární energii a emise CO2' is checked. The main area is titled 'Spotřeba energie (vytápění, chlazení...)' and 'Výroba energie (solární systémy a kogenerace)'. It features a table for selecting energy sources: 'Energonositel' (zemní plyn, elektrina ze sítě, dřevěné peletky, nevyužitý). Below this is a table for 'Faktor neobnovitelné primární energie' and 'Faktor celkové primární energie' for each source. A section 'Podíl z dílčích potřeb energie připadající na jednotlivé energonositele v %' shows the percentage contribution of each source to different energy needs: Vytápění, Chlazení a úprava vlhkosti, Příprava teplé vody, Osvětlení, and Pomocné energie (ventilátory, čerpadla...).

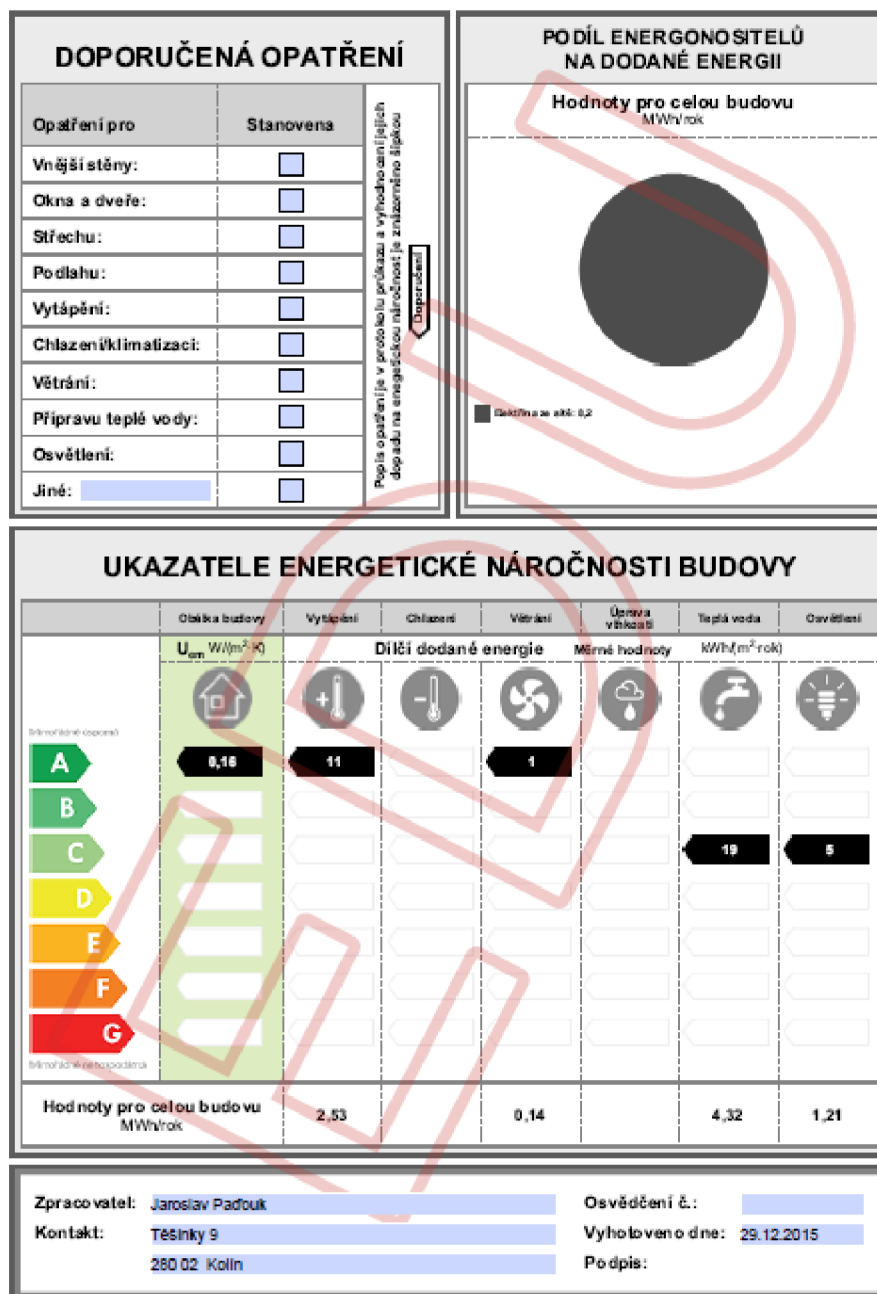
Obr. 8.4. Hodnoty faktorů celkové primární energie a neobnovitelné energie zadávané do programu ENERGIE2015 pro různé energonositele

Závěr:

Požadavky vyhlášky jsou velmi citlivé na používaný energonositel (celková neobnovitelná energie). Požadavek na celkovou dodanou energii a tomu odpovídající potřeba energie na vytápění a průměrný součinitel prostupu tepla (celkové zateplení obálky budovy) jsou však dosažitelné v i současné době běžným standardem. Hodnoty celkové dodané energie kolem 80 KWh/m² za rok a měrné potřeby energie na vytápění kolem 40 KWh/m² za rok jsou čísla, která jsou hodně vzdálena pojmu budova s téměř nulovou spotřebou energie.



Obr. 8.5: Průkaz energetické náročnosti budovy pro budovu s půdní vestavbou – 1.část



Obr. 8.6: Průkaz energetické náročnosti budovy pro budovu s půdní vestavbou – 2.část

8.4 Porovnání budovy s půdní vestavbou a dvoupodlažní budovy

Porovnání je provedeno pouze pro potřebu tepla na vytápění. Účinnosti zdrojů a spotřeby ostatních druhů energií jsou stejné.

Rozdíly měrné potřeby tepla jsou patrné z protokolů ENERGIE 2015 (obr. 8.7. a 8.8)

- Měrný tok tepelnými vazbami je větší u dvoupodlažní budovy z důvodu vyššího Ψ u spojení stropu a obvodové stěny (o důvodech bylo pojednáno kapitole 5), nepatrně je vyšší také měrný tok větráním z důvodu většího objemu budovy
- Tyto ztráty jsou naopak kompenzovány lepším zateplením stropní konstrukce a dále solárními zisky jižních oken (tok do exteriéru plošnými konstrukcemi)

PŘEHLEDNÉ VÝSLEDKY VÝPOČTU PRO CELOU BUDOVU :

Faktor tvaru budovy AV: 0,65 m²/m³

Rozložení měrných tepelných toků

Zóna	Položka	Plocha [m ²]	Měrný tok [W/K]	Procento [%]
1	Celkový měrný tok H:	---	79,864	100,00 %
z toho:	Měrný tok větráním Hv:	---	10,824	13,55 %
	Měrný (ustálený) tok zeminou Hg:	---	10,724	13,43 %
	Měrný tok přes nevytápěné prostory Hu:	---	---	0,00 %
	Měrný tok tepelnými vazbami H,tb:	---	5,219	6,53 %
	Měrný tok do ext. plošnými kcemi Hd,c:	---	53,097	66,48 %
rozložení měrných toků po konstrukcích:				
	Podlaha:	114,2	10,724	13,43 %
	OKNA 2.PODLAZI VÝCHOD:	5,0	3,750	4,70 %
	OKNA ZÁPAD KOUPELNA:	1,9	1,406	1,76 %
	OKNA ZÁPAD WC:	0,8	0,668	0,84 %
	BALKONOVÉ DVĚŘE JIH:	2,4	1,551	1,94 %
	OKNO SEVER:	0,9	0,703	0,88 %
	OKNA 1. PODLAŽÍ JIH:	6,0	4,320	5,41 %
	DVĚŘE:	2,4	2,835	3,55 %
	Štítová - západní:	45,6	4,973	6,23 %
	Strop:	71,0	8,657	10,84 %
	OKNO ZÁPAD PRACOVNA:	2,5	1,875	2,35 %
	OBVODOVÁ-JIŽNÍ:	47,4	5,162	6,46 %
	OBVODOVÁ SEVERNÍ:	52,4	5,713	7,15 %
	ŠTÍTOVÁ - VÝCHODNÍ:	45,7	4,986	6,24 %
	STŘECHA - ŠIKMINY:	52,8	6,499	8,14 %

Obr. 8.7: Protokol ENERGIE 2015 pro budovu s půdní vestavbou

PŘEHLEDNÉ VÝSLEDKY VÝPOČTU PRO CELOU BUDOVU :

Faktor tvaru budovy AV: 0,69 m²/m³

Rozložení měrných tepelných toků

Zóna	Položka	Plocha [m ²]	Měrný tok [W/K]	Procento [%]
1	Celkový měrný tok H:	---	82,239	100,00 %
z toho:	Měrný tok větráním Hv:	---	10,874	13,22 %
	Měrný (ustálený) tok zeminou Hg:	---	10,724	13,04 %
	Měrný tok přes nevytápěné prostory Hu:	---	---	0,00 %
	Měrný tok tepelnými vazbami H,tb:	---	6,686	8,13 %
	Měrný tok do ext. plošnými kceami Hd,c:	---	53,955	65,61 %
	rozložení měrných toků po konstrukcích:			
	Podlaha:	114,2	10,724	13,04 %
	OKNA 2.PODLAZI VÝCHOD:	2,5	1,875	2,28 %
	OKNA ZÁPAD KOUPELNA:	1,9	1,406	1,71 %
	OKNA ZÁPAD WC:	0,8	0,668	0,81 %
	BALKONOVÉ DVĚŘE JIH:	2,4	1,551	1,89 %
	OKNO SEVER:	0,9	0,703	0,85 %
	OKNA 1. PODLAŽÍ JIH:	6,0	4,320	5,25 %
	DVĚŘE:	2,4	2,835	3,45 %
	Obvodová-severní:	67,8	7,392	8,99 %
	Strop:	114,2	9,596	11,67 %
	OKNA JIH 2.PATRO:	5,0	3,750	4,56 %
	OBVODOVÁ-JIŽNÍ:	57,8	6,297	7,66 %
	ŠTÍTOVÁ-VÝCHODNÍ:	62,3	6,787	8,25 %
	ŠTÍTOVÁ ZÁPADNÍ:	62,2	6,774	8,24 %

Obr. 8.8: Protokol ENERGIE 2015 pro dvoupodlažní budovu

Okna byla navržena poměrně konzervativně a plocha oken je malá. Pokud by plochy oken byly na jižní straně zvětšeny o 50 %, což je konstrukčně možné, vypadala by tepelná bilance takto:

Tab. 8.5: Potřeby energií na vytápění a hypotetické zvýšení plochy jižních oken

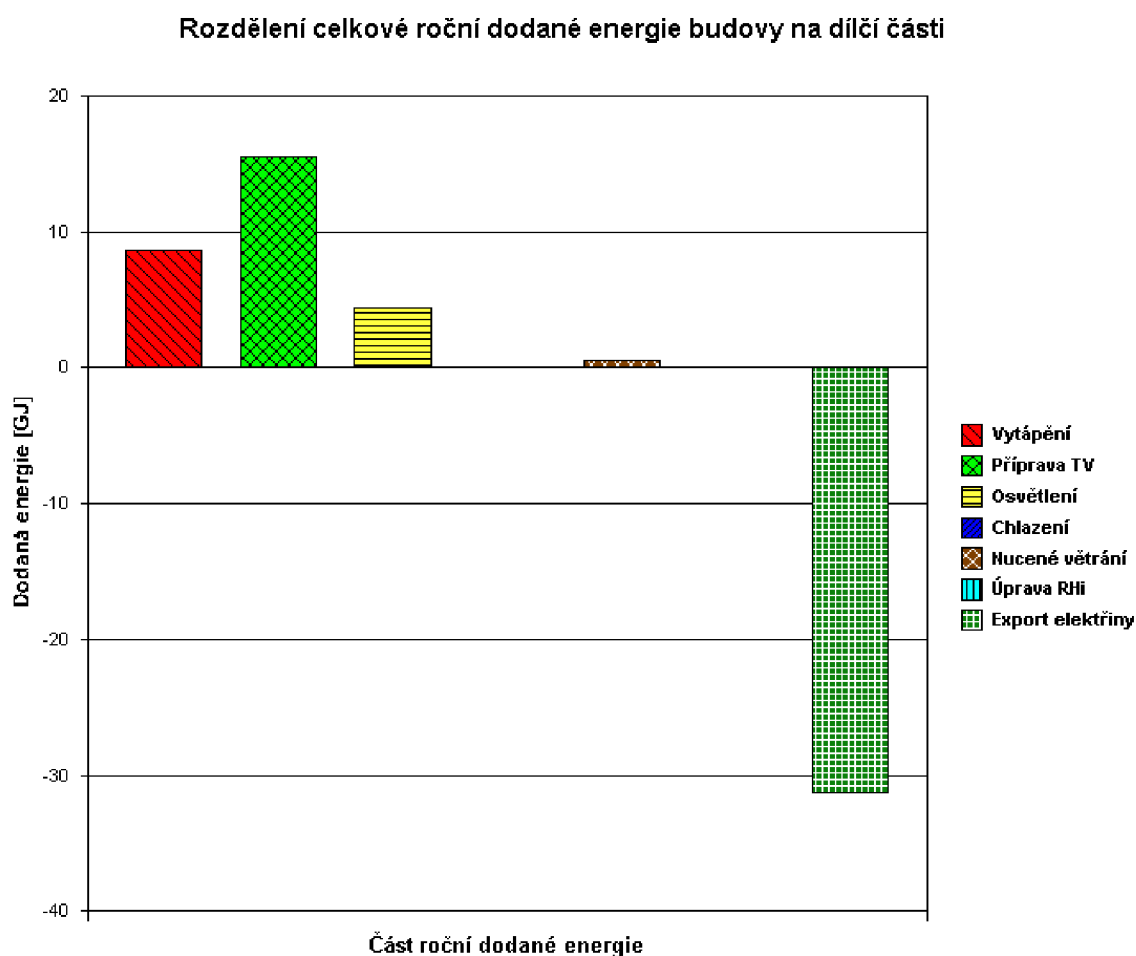
Budova	Současný stav		Plocha jižních oken zvýšena o 50%	
	Měrná potřeba tepla na vytápění (KWh/m ²)	Potřeba tepla na vytápění (KWh/rok)	Měrná potřeba tepla na vytápění (KWh/m ²)	Potřeba tepla na vytápění (KWh/rok)
Budova s půdní vestavbou	10,6	2430	10,1	2303
Dvoupodlažní budova	10,0	2295	8,9	2045

Je vidět poměrně významný pokles potřeby tepla na vytápění (cca 10%) a to zvláště u dvoupodlažní budovy. Rozdíl mezi oběma variantami už je zde patrný. Rozdíl 2303–2045=258 KWh za rok představuje při účinnosti zdroje 96 % náklady cca 800 Kč/rok.

8.5 Další úvahy k potřebě tepla na vytápění

Na obr. 8.9 je rozdělení celkové roční dodané energie na dílčí části – výstup z ENERGIE 2015 pro budovu s půdní vestavbou (téměř shodný výstup jako u dvoupodlažní budovy). Je zřejmé, že dodaná energie na vytápění tvoří cca 28 % celkové dodané energie. Jelikož celková účinnost otopné soustavy je 96 % (panely EKOSUN) a pomocná energie na vytápění je rovna nule, lze tvrdit, že potřeba tepla na vytápění se zhruba rovná celkové dodané energii na vytápění (přesněji dodaná energie dělená účinností otopné soustavy).

Celkově je tedy potřeba energie na vytápění malá.

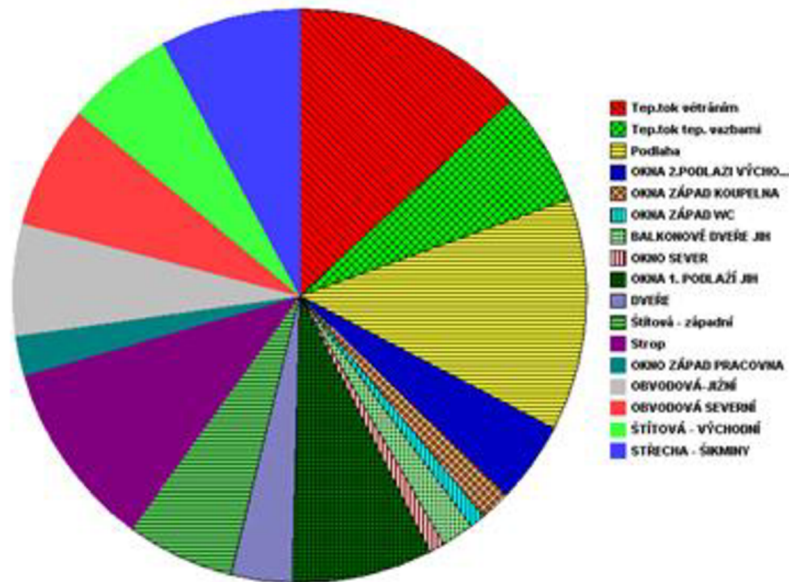


Obr. 8.9: Rozdělení celkové roční dodané energie na dílčí části

Koláčový graf na obr. 8.10 ukazuje proporce měrných tepelných toků (W/K) jednotlivými konstrukcemi budovy s půdní vestavbou (kromě oken téměř shodné s dvoupodlažní budovou). Nejvyšší měrné tepelné toky:

- Podlaha – největší plocha, součinitel přestupu tepla $U=0,125 \text{ W/m}^2\text{K}$, je zde poměrně velké spolupůsobení zeminy, další zvyšování izolační schopnosti nemá smysl (viz obr. 8.11).
- Tepelný tok větráním – daný účinností rekuperace, se zvyšováním účinnosti budou stoupat náklady na pořízení, údržbu, opravy.

- Tepelné vazby. Přehled tepelných vazeb s ročními náklady na vytápění uvádí tabulky 5.15 a 5.16. Ze závěrů kapitoly 5 vyplývá, že není ekonomicky přínosné investovat do těchto detailů a aplikovat např. pěnové sklo do základů.



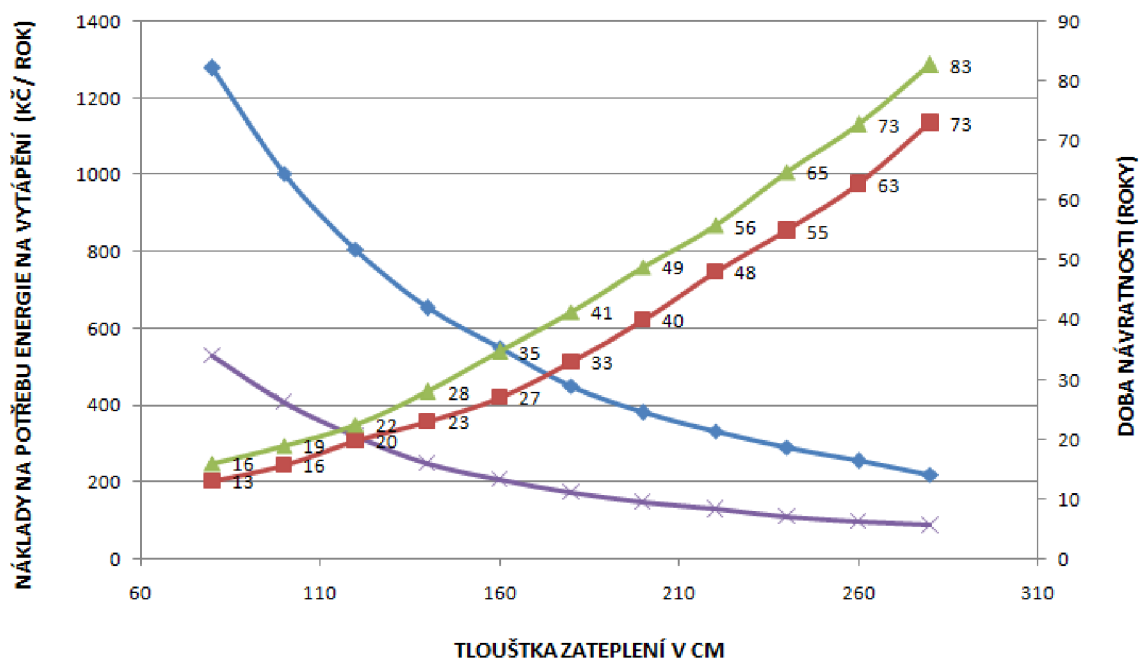
Obr. 8.10: Výstup ENERIE 2015 - měrné tepelné toky

- Obvodové stěny – součinitel prostupu tepla $U=0,119 \text{ W/m}^2\text{K}$ (včetně $\Delta U = 0,01 \text{ Wm}^2\text{K}$), další zvyšování tloušťky izolace nemá smysl.

Obr. 8.11 ukazuje klesající účinnost zvyšující se tloušťky zateplení. Modrá a fialová křivka ukazují klesající úsporu nákladů na vytápění při zateplení obvodové stěny a podlahy. Zelená a červená reprezentují rostoucí dobu návratnosti v závislosti na tloušťce zateplení. Např. při tloušťkách zateplení nad 260 mm se úspora nákladů na vytápění pohybuje u podlahy do 100 Kč za rok při zateplení o dodatečné 2 cm (fialová křivka). Náklady na tyto dodatečné 2cm se vrátí za 65 let. Je zřejmé, že tloušťka zateplení nad cca 250 mm nemá podstatného odůvodnění.

Hodnoty ke grafům byly získány postupným zadáváním různých tloušťek zateplení podlahy a obvodových stěn (po 2 cm) do ENERIE 2015 při jinak stejných podmínkách. Odečítána byla celková dodaná energie na vytápění. Ocenění 1 kWh této energie je 3 Kč (podle současných cen elektrické energie na trhu – odpovídá cca sazbě „akumulace 8“)

Vliv rostoucí tloušťky zateplení na úspoře energie na vytápění a doba návratnosti investice na toto zateplení



- ◆ ÚSPORA NÁKLADŮ ZA ENERGIÍ PŘI ZATEPLENÍ OBVODOVÉ STĚNY O DODATEČNÉ 2 CM
- ✕ ÚSPORA NÁKLADŮ ZA ENERGIÍ PŘI ZATEPLENÍ PODLAHY O DODATEČNÉ 2 CM
- NÁVRATNOST NÁKLADŮ NA ZATEPLENÍ OBVODOVÉ STĚNY O DODATEČNÉ 2 CM
- ▲ NÁVRATNOST NÁKLADŮ NA ZATEPLENÍ PODLAHY O DODATEČNÉ 2 CM

Obr. 8.11: Vliv rostoucí tloušťky zateplení na úspoře energie

9 Statika krovu střešní konstrukce (specializace)

Volba vhodné střešní konstrukce je ovlivněna následujícími faktory:

- Možnost využití prostoru pod konstrukcí střechy
- Náklady na výstavbu a údržbu
- Náchylnost k chybám v řemeslném provedení v průběhu výstavby
- Kontrolovatelnost konstrukčních detailů v průběhu používání
- Architektonická vhodnost – většinou regulováno obcemi v územních plánech (sklon střechy, výška budovy)
- Vhodnost k využití solárních nebo fotovoltaických panelů
- Vhodnost k použití zateplovacího systému

Pro budovu s téměř nulovou spotřebou energie jsou důležité zejména poslední dva faktory.

V dalším textu bude provedena analýza a porovnání nosných konstrukcí šikmých sedlových střech, hambalkového a vaznicového krovu. Bude proveden statický výpočet jednotlivých prvků střešní konstrukce hambalkového krovu. K výpočtu vnitřních sil bude využit program SCIA ENGINEER. U všech případů budou aplikována stejná zatížení, stejné délky krokví, stejný úhel sklonu střechy 35° , stejná osová vzdálenost krokví a stejné rozpětí střechy (vaznicový krov je na výkrese D.1.1.11). Pozn: svíslá osa bude nadále označena z , osa kolmá na rovinu zobrazení y .

9.1 Zatížení

Zatížení střešních konstrukcí bylo uvažováno následovně:

1. Zatížení větrem (II. větrná oblast)
2. Zatížení sněhem (I. sněhová oblast)
3. Zatížení vlastní tíhou
4. Zatížení tíhou fotovoltaického panelu (rovnoměrné 20 kg/m^2)
5. Užité zatížení na hambalku dle ČSN 730035 (75 kg/m^2)

9.1.1 Zatížení větrem

Výpočet byl proveden podle normy ČSN EN 1991-1-4. Výpočtové vztahy jsou zřejmé z tab. 9.1. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tab. 9.2. Oblasti zatížení střechy jsou na z obr. 9.1.

Z přehledu výsledných hodnot je zřejmé, že při příčném větru v případě sání na závětrné i návětrné straně jsou hodnoty sání menší než při podélném větru. Do kombinací zatížení budou tedy vzaty hodnoty při podélném větru a hodnoty příčného větru s tlakem na návětrné straně a sáním na závětrné straně.

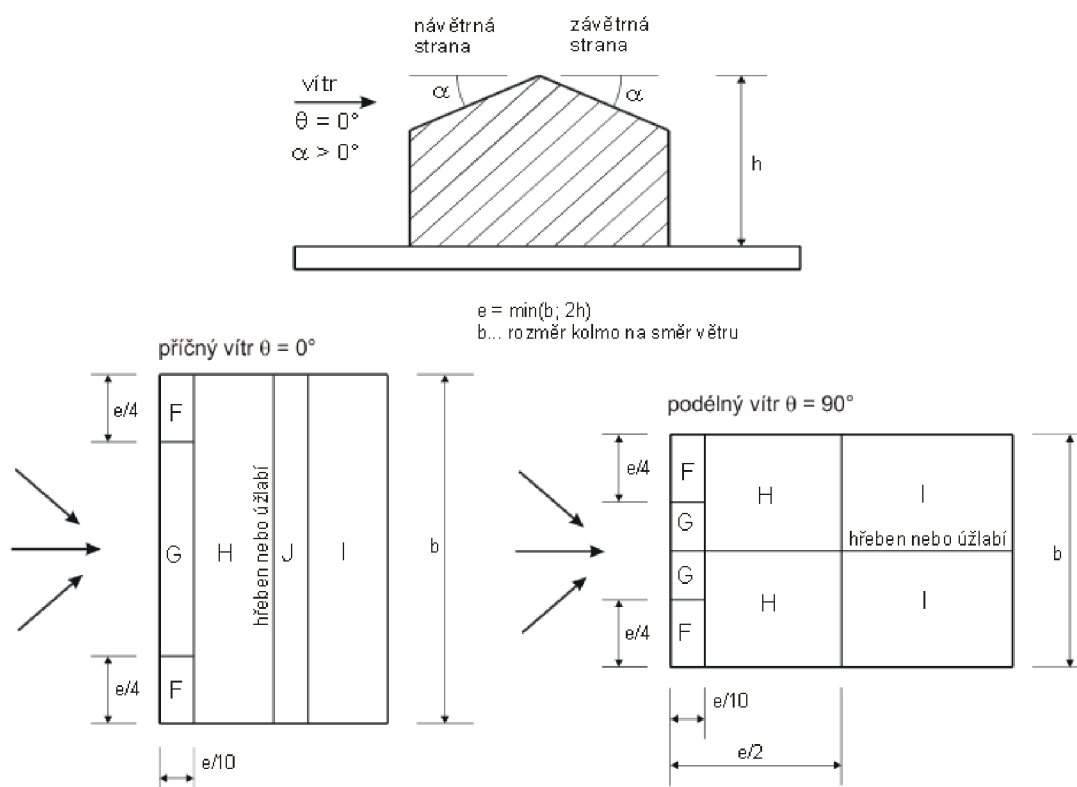
Zatížení větrem je zatížení **proměnné**.

Tab. 9.1: Výpočtové vztahy pro zatížení větrem

Veličina	Označení	Jednotka	Hodnota	Parametr / Vzorec	Poznámka
Výchozí rychlost větru	v_{b0}	m/s	25,00	Parametr	II. větrná oblast
Součinitel směru větru	c_{dir}		1,00	Parametr	
Součinitel ročního období	c_{season}		1,00	Parametr	
Základní rychlost větru	v_b	m/s	25,00	$v_b = c_{season} * c_{dir} * v_{b0}$	
Parametr drsnosti terénu	z_0		0,30	Parametr ($z_{0II} = 0,05$)	III.kategorie terénu
Součinitel terénu	k_r		0,22	$k_r = 0,19 * (z_0 / z_{0II})^{0,07}$	
Výška nad terénem	z_e	m	9,79	Parametr	$z_e = h$
Součinitel drsnosti	c_r		0,75	$c_r = k_r * \ln(z_e / z_0)$	
Součinitel orografie	c_o		1,00	Parametr	
Střední rychlost větru	v_m	m/s	18,77	$v_m = c_r * c_o * v_b$	
Součinitel turbulence	k_I		1,00	Parametr	výraz (4.6) normy [21]
Intenzita turbulence	I_v	m/s	0,29	$I_v = k_I / (c_o * \ln(z_e / z_0))$	
Součinitel expozice	c_e		1,70	$c_e = (1 + 7 * I_v) * (c_o * c_r)^2$	
Hustota vzduchu	ρ	kg/m ³	1,25	Parametr	
Základní tlak větru	q_b	Pa	390,63	$q_b = 1/2 * \rho * v_b^2$	
Max. dyn. tlak větru	q_p	Pa	662,27	$q_p = q_b * c_e$	
Součinitel vnějšího tlaku	c_{pe}		Tab.5.1		
Tlak větru na vnější povrch konstrukce	w_e	Pa	Tab. 5.1	$w_e = q_p * c_{pe}$	oblasti čl.7.2.5. normy [21]

Tab. 9.2: Tlak větru na vnější povrch konstrukce

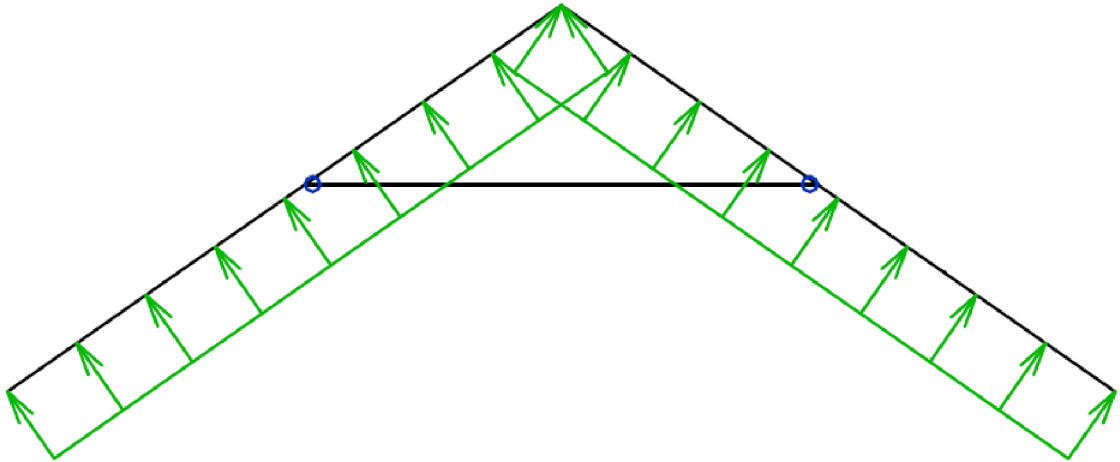
Tlak větru na vnější povrch konstrukce	oblast	C_{pe}	w_e [Pa]	Poznámka
vítr kolmo ke hřebeni, sání na obou stranách	F	-0,33	-220,76	návětrná strana
	G	-0,33	-220,76	návětrná strana
	H	-0,13	-86,10	návětrná strana
	I	-0,37	-245,04	zavětrná strana
	J	-0,43	-284,78	zavětrná strana
vítr kolmo ke hřebeni, tlak na návětrné straně, sání na zavětrné	F	0,70	463,59	návětrná strana
	G	0,70	463,59	návětrná strana
	H	0,47	309,06	návětrná strana
	I	-0,37	-245,04	zavětrná strana
	J	-0,43	-284,78	zavětrná strana
vítr rovnoběžně s hřebenem	F	-1,10	-728,50	
	G	-1,40	-927,18	
	H	-0,83	-549,68	
	I	-0,50	-331,14	



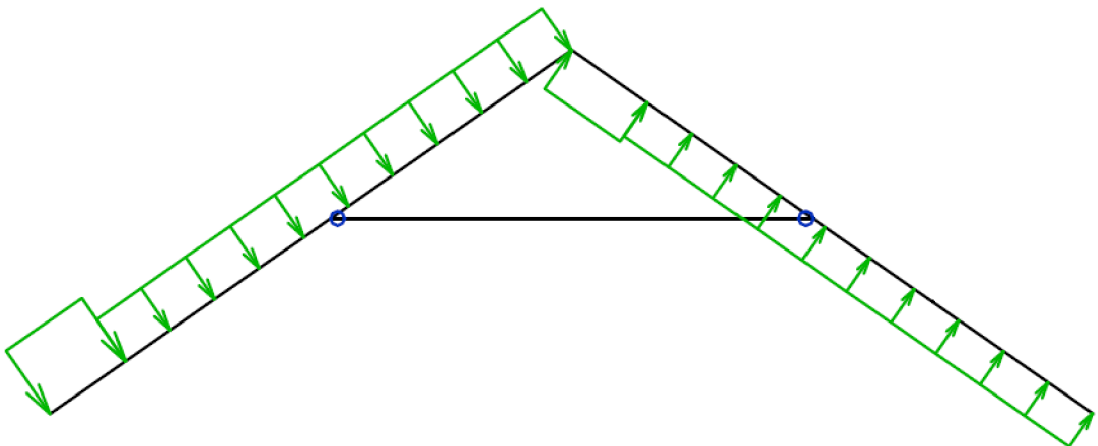
Obr. 9.1: Oblasti střechy při působení příčného a podélného větru

Zatěžovací stavy při zatížení podélným a příčným větrem v programu SCIA ENGINEER jsou znázorněny na obrázcích 9.2 a 9.3. Výsledné zatížení vychází

z tabulky 9.2. Tyto údaje jsou přepočítány na rovnoměrné (délkové v N/m) zatížení podle osového rozpětí krokví 1 m.



Obr. 9.2: Zatížení podélným větrem – výstup ze SCIA ENGINEER



Obr. 9.3: Zatížení příčným větrem – výstup ze SCIA ENGINEER

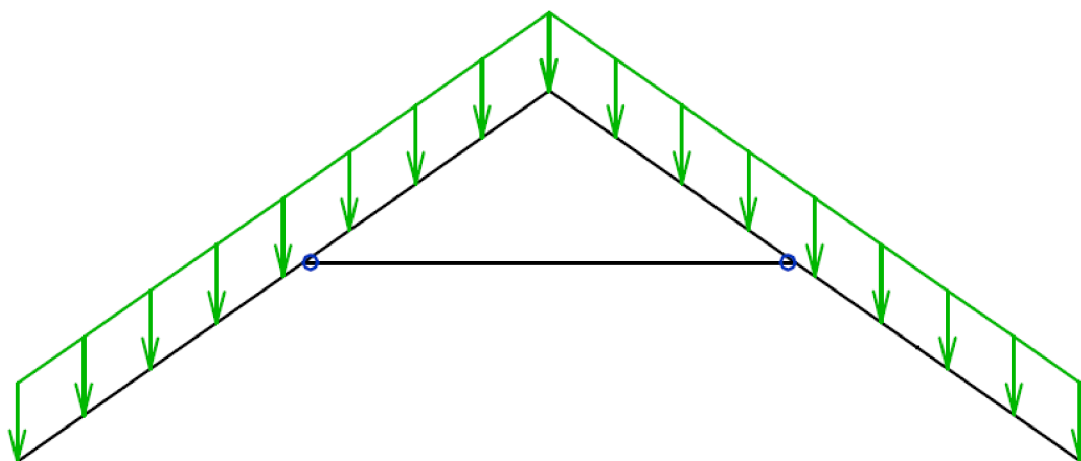
9.1.2 Zatížení sněhem

Výpočet zatížení je proveden podle normy ČSN EN 1991-1-3 pro I. sněhovou oblast. Výpočtové vztahy a parametry jsou v tabulce 9.3.

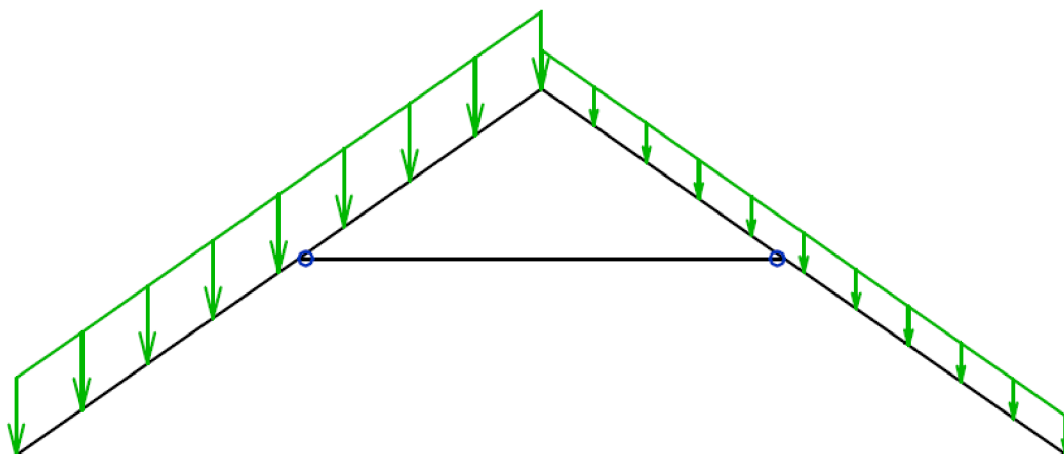
Tab. 9.3: Výpočet zatížení sněhem podle ČSN EN 1991-1-3

Veličina	Označení	Jednotka	Hodnota	Parametr/Vzorec	Poznámka
Charakt. hodnota zatížení sněhem na zemi	s_k	Pa	700	Parametr	I. sněhová oblast
Tvarový součinitel	μ		0,8	Parametr	
Součinitel expozice	C_e		1	Parametr	
Tepelný součinitel	C_t		1	Parametr	
Sklon střechy	α	stupně	35	Parametr	
Zatížení sněhem	s	Pa	458,8	$s=s_k*\mu *C_e*C_t*\cos(\alpha)$	

Do kombinací zatížení budou vzaty hodnoty pro zatížení oboustranné 100 % a dále zatížení na jedné straně střechy 100 % a na straně druhé 50 %. Zatěžovací stavy jsou zřejmé z obr. 9.4 a 9.5. Zatížení sněhem je zatížení **proměnné**.



Obr. 9.4: Oboustranné zatížení střechy 100 % – výstup ze SCIA ENGINEER



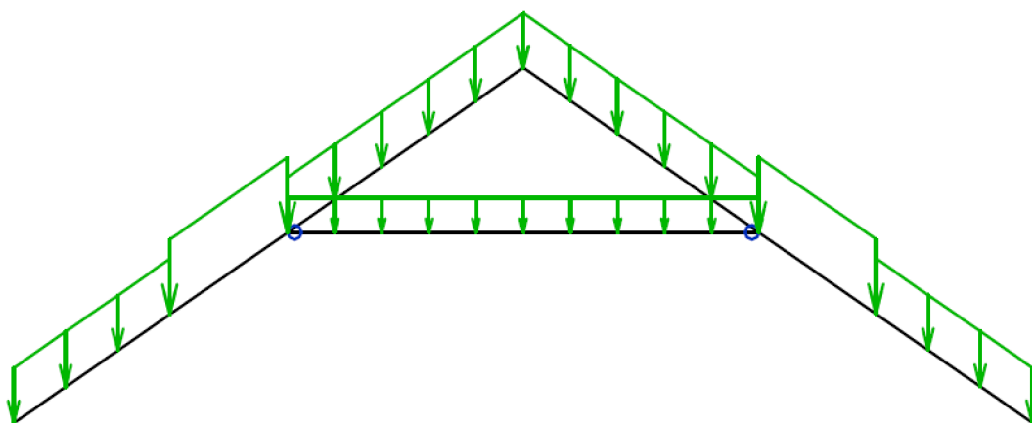
Obr. 9.5: Zatížení střechy 100 % jedna strana 50 % druhá strana – výstup ze SCIA ENGINEER

9.1.3 Zatížení vlastní tíhou

Výpočet zatížení vlastní tíhou vychází z použití systému zateplení skelnou vlnou mezi krokve (200mm) a pod krokve (120+60 mm). Střešní krytina je betonová taška. Výpočet zatížení uvádí tabulka 9.4:

Tab. 9.4: Zatížení vlastní tíhou

Zatížení vlastní tíhou	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Hmotnost na běžný m [kg/m]	Tloušťka vrstvy [m]	Plošná hmotnost [kg/m ²]	Plošná tíha [N/m ²]
SDK			0,01	9,20	92,00
Skelná vlna UNIFIT 32	25,00		0,38	9,50	95,00
Tašky Bramac				43,00	430,00
Laťování (vč. kontralatě)	420,00			4,03	40,32
Krokve 200x100	420,00			8,40	84,00
Cd profily		0,54		2,16	21,60
Celkem				75,79	757,92
Celkem plášť bez zateplení				56,03	560,32
Kleštiny 2x 220x 80	420,00	14,78		14,78	147,84
Skelná vlna UNIFIT 32	25,00		0,38	9,50	95,00
Cd profily		0,54		2,16	21,60
SDK			0,01	9,20	92,00
Celkem zatížení kleštin				35,14	351,44

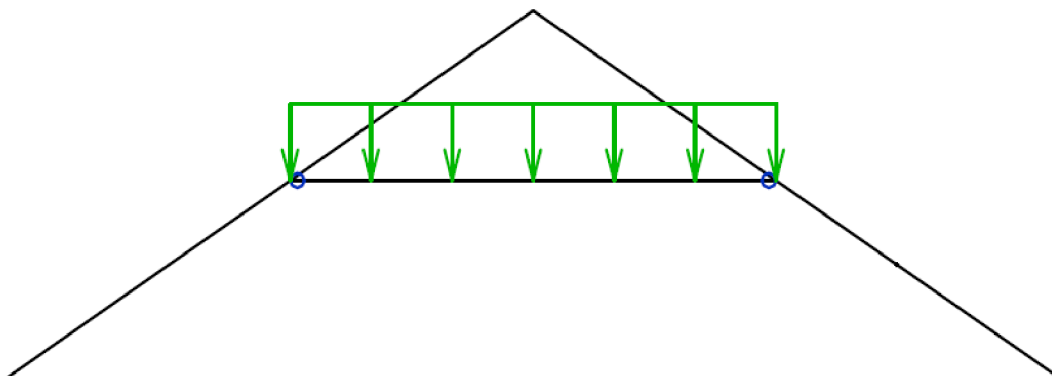


Obr. 9.6: Zatížení vlastní tíhou – výstup ze SCIA ENGINEER

Zatížení vlastní tíhou je zatížení **stálé**.

9.1.4 Zatížení užité

Hambalek je zatížen užitným zatížením 75kg/m^2 podle ČSN 730035. Zatěžovací stav ve SCIA ENGINEER je na obr. 9.7.

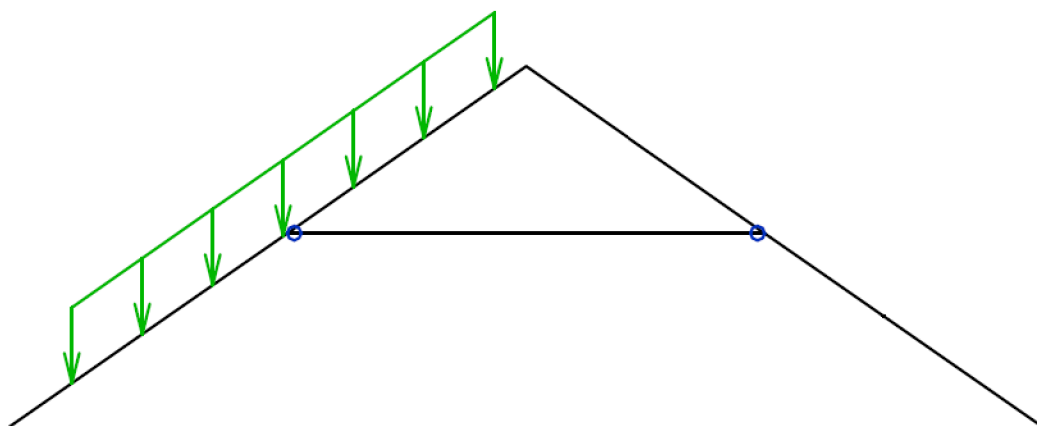


Obr. 9.7: Zatížení hambalku – výstup ze SCIA ENGINEER

Užitné zatížení je zatížení **proměnné**.

9.1.5 Zatížení fotovoltaickými panely

Budova s téměř nulovou spotřebou energie předpokládá využití alternativních zdrojů energie. Z tohoto pohledu je jedním z možných zdrojů využití fotovoltaických panelů. Podle [2] lze uvažovat plošné zatížení střešní konstrukce 20kg/m^2 . Rozložení zatížení je rovnoměrné – v modelu SCIA ENGINEER viz obr. 9.8.



Obr. 9.8: Zatížení fotovoltaickými panely - výstup ze SCIA ENGINEER

Zatížení fotovoltaickými panely je zatížením **stálým**.

9.1.6 Kombinace zatížení

V tabulce 9.5 jsou uvedeny součinitele zatížení a kombinace v souladu s normou ČSN EN 1990.

Tab. 9.5 :Součinitelé zatížení a kombinace podle ČSN EN 1990

Koeficient zatížení	Označení	Hodnota
Stálé	γ_G	1,35
Proměnné nepříznivé	$\gamma_{G,sup}$	1,5
Proměnné příznivé	$\gamma_{G,inf}$	1,0
Kombinace sních	ψ_0	0,5
Kombinace užitné	ψ_0	0,7
Kombinace vítr	ψ_0	0,6

Do SCIA ENGINEER byly zadány kombinace zatěžovacích stavů typu “obálka”. Program generuje kombinace s nejméně příznivým účinkem pro zadané “obálky”. Přehled “obálek” kombinací je uveden v tabulce 9.6.

Kombinace MSÚ jsou používány pro výpočet mezního stavu únosnosti. Kombinace MSP pro výpočet mezního stavu použitelnosti.

Použité **skupiny** zatěžovacích stavů:

- **Stálé** – vlastní tíha konstrukce + zatížení fotovoltaickými panely. SCIA ENGINEER tyto zatěžovací stavy sčítá
- **Vítr** – výběrová skupina, zahrnuje podélný **nebo** příčný vítr
- **Sních** – výběrová skupina, zahrnuje sních rovnoměrně 100 % **nebo** jedna strana 50 % druhá strana 100 %
- **Užitné** – užitné zatížení na hambalku, skupina obsahuje pouze jeden zatěžovací stav

Tab. 9.6 : Obálky kombinací zatěžovacích stavů ve SCIA ENGINEER

Označení kombinace	Kombinace zatěžovacích stavů
MSÚ1	1,35 x stálé +0,9 x vítr příčný +1,5 x sníh 50% ¹ +1,05 x užité
MSÚ2	1,35 x stálé +0,9 x vítr příčný +1,5 x sníh 100% +1,05 x užité
MSÚ3	1 x stálé+1,5 x podélný vítr
MSP1	1 x stálé + 0.6 x vítr příčný + 1 x sníh 50% ¹ + 0,7 x užité
MSP2	1 x stálé + 0,6 x vítr příčný + 1 x sníh 100 % + 0,7 x užité
MSP3	1 x stálé +1 x podélný vítr

¹ Zatížení sněhem podle obr. 9.5, levá strana 100 %, pravá 50 %

Tabulka 9.7 pro názornost uvádí poměr jednotlivých zatížení, měřeno jako součet nejméně příznivých reakcí podpor v ose x (reakce směřující do středu střešní konstrukce) a ose z (kladné reakce).

Tab. 9.7 Poměr jednotlivých druhů zatížení

Zatížení v KN Zastoupení zatížení v %	Zatížení sněhem	Zatížení příčným větrem	Užité zatížení	Vlastní tíha	Tíha fotovoltaiky
Součet reakcí podpor ve směru osy x působících do středu střechy	5,13	1,12	8,05	10,67	2,41
Zastoupení jednotlivých zatížení osa x	19%	4%	29%	39%	9%
Součet reakcí podpor ve směru osy z	9,47	2,18	5,92	15,23	1,70
Zastoupení jednotlivých zatížení osa z	27%	6%	17%	44%	5%

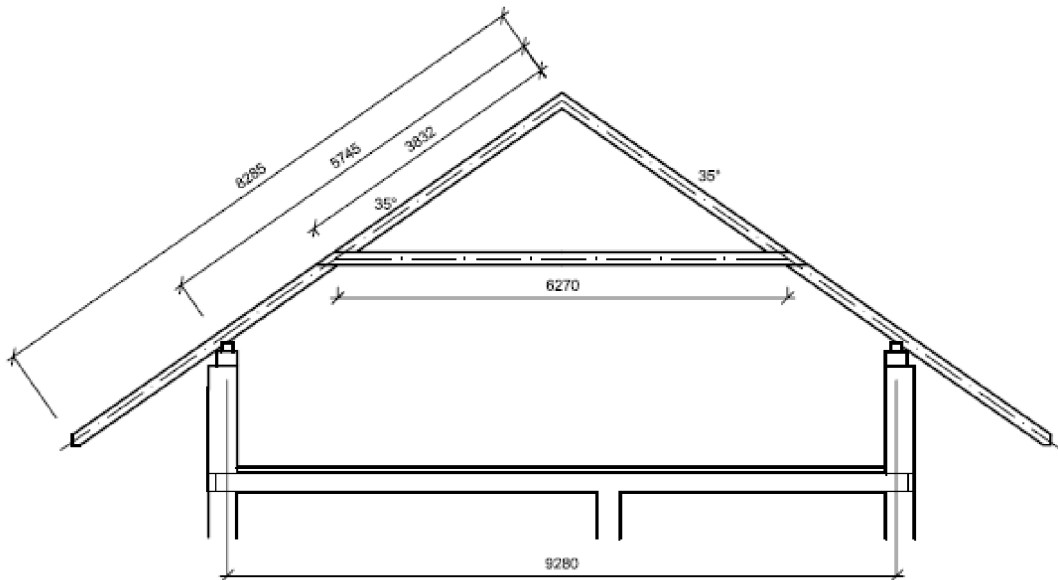
9.2 Modelování krovů ve SCIA ENGINEER

Ve SCIA ENGINEER je modelován hambalkový krov s neposuvným hambalkem a vaznicový krov, kdy vaznice mohou být uloženy na příčných nosných stěnách nebo na sloupcích.

Model je dvourozměrný. Pro vaznicový krov je navíc provedeno modelování vaznice.

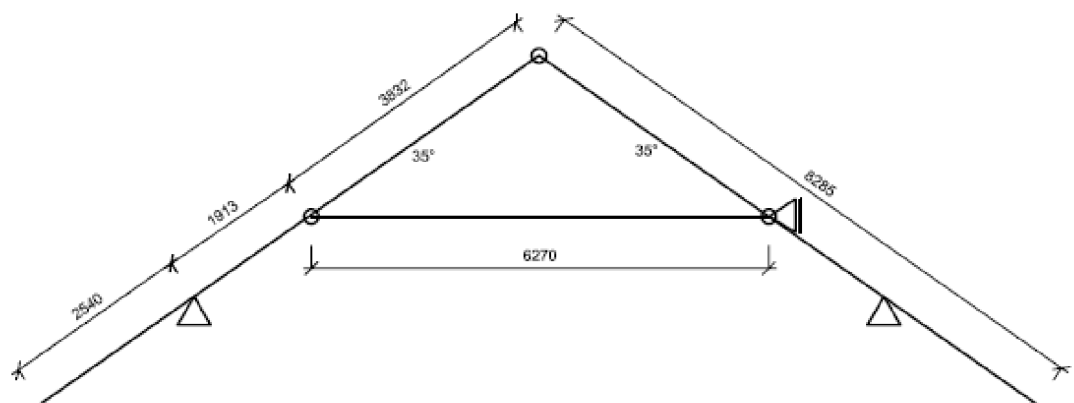
9.2.1 Hambalkový krov

Předpokladem **hambalkového krovu s neposuvným hambalkem** je vytvoření tuhé desky v rovině horních hran hambalků. Zároveň bude tato deska ukotvena do štitových stěn. Deska může být vytvořena použitím OSB desek, prkny (jednotlivá prkna budou v různých délkách kotvena k hambalkům) nebo zavětrovacími pásy BOVA, popř. kombinací uvedených. Schéma hambalkového krovu je na obr. 9.9.



Obr. 9.9: Schéma hambalkového krovu

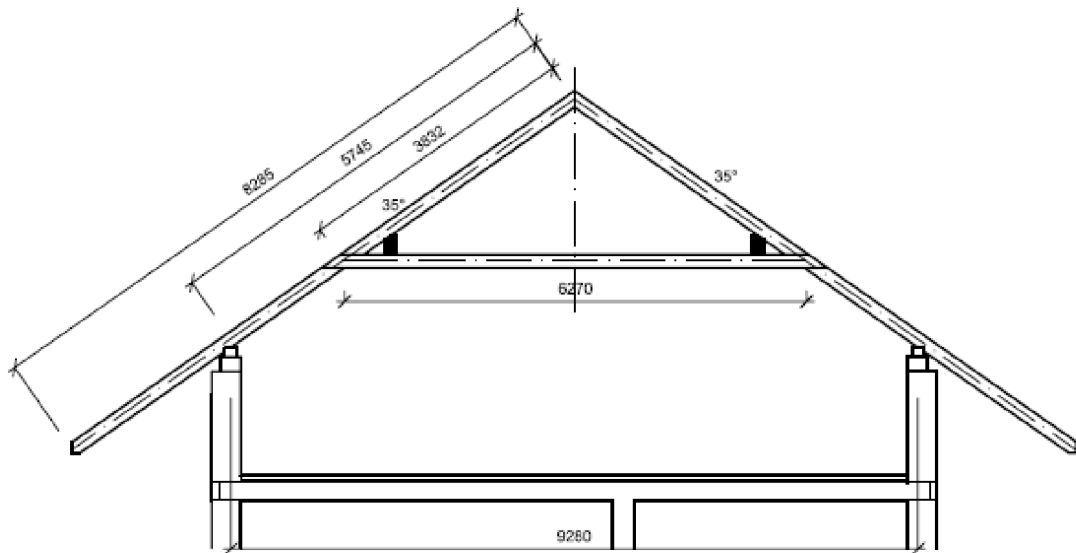
Model hambalkového krovu je tvořen dvěma pevnými podporami (pevnými v osách x i z) a jednou podporou v úrovni hambalku (pevnou v ose x , volnou v ose z), reprezentující pevnou desku ukotvenou do štitových stěn. Model je uveden na obr. 9.10.



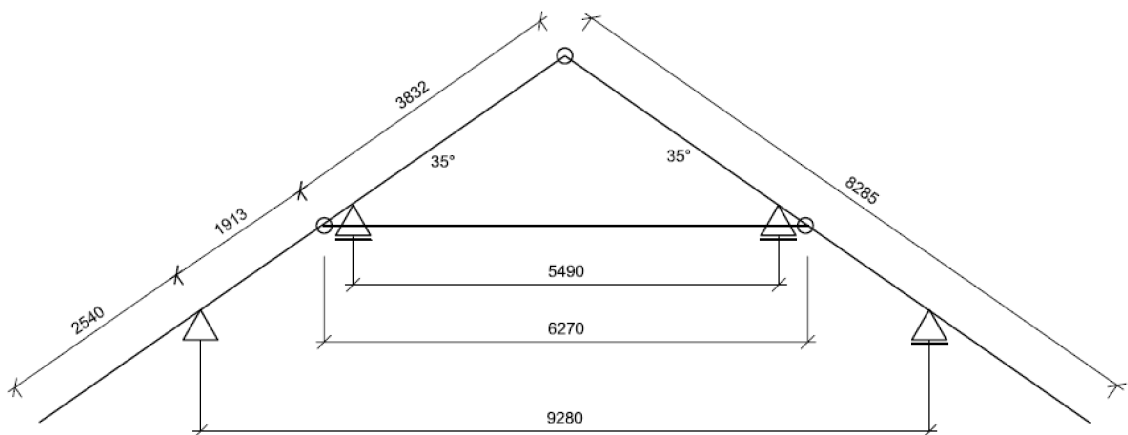
Obr. 9.10: Model hambalkového krovu s tuhým hambalkem

9.2.2 Vaznicový krov

Model vaznicového krovu je tvořen podporami u obou pozednic, z nichž jedna je v ose x pevná, druhá volná. Dále jsou podpory v místě středové vaznice, obě jsou v ose x volné. Tento model vychází ze situace, kdy vaznice jsou podepřeny sloupky nebo obecně nejsou kotveny ve směru osy x . Odborné pojednání k tomuto tématu je uvedeno v [17]. Schéma vaznicového krovu je uveden na obr. 9.11. Model krovu je obr. 9.12.



Obr. 9.11: Vaznicový krov



Obr. 9.12: Model vaznicového krovu

9.3 Výpočet reakcí, vnitřních sil a deformací programem SCIA ENGINEER

Po zadání kombinací zatížení a modelů střešních konstrukcí vygeneroval program SCIA ENGINEER průběhy momentů, posouvajících sil a normálových sil. Přehled maximálních hodnot pro jednotlivé prvky je v tabulkách 9.8 – 9.11.

9.3.1 Přehled výsledků

Tab. 9.8: Přehled reakcí podpor – Hambalkový krov

Zatěžovací stav	Hambalkový krov			
	Reakce v podporách [KN]	Levá pozednice	Podpora hambalku	Pravá pozednice
MSÚ1	Svislá reakce	18,47	0,00	13,23
	Vodorovná reakce	12,50	-3,26	-10,92
MSÚ2	Svislá reakce	18,75	0,00	15,77
	Vodorovná reakce	12,84	-2,37	-12,17
MSÚ3	Svislá reakce	-0,34	0,00	-0,34
	Vodorovná reakce	4,40	0,00	-4,44

Tab. 9.9: Přehled reakcí podpor – vaznicový krov

Zatěžovací stav	Vaznicový krov				
	Reakce v podporách [KN]	Levá pozednice	Levá vaznice	Pravá vaznice	Pravá pozednice
MSÚ1	Svislá reakce	9,40	9,18	6,79	6,55
	Vodorovná reakce	-2,48	0,00	0,00	0,00
MSÚ2	Svislá reakce	9,46	9,37	7,62	8,29
	Vodorovná reakce	-2,64	0,00	0,00	0,00
MSÚ3	Svislá reakce	-1,69	2,82	2,81	-2,14
	Vodorovná reakce	0,00	0,00	0,00	0,00

Tab. 9.10: Přehled max. vnitřních sil a průhybů – hambalkový krov

Hambalkový krov				
Zatěžovací stav	Síly [KN] Momenty [KNm] Průhyby [mm]	Kleštiny	Levá krokev	Pravá krokev
MSÚ1	Maximální ohybový moment	5,84	-5,30	-2,91
MSÚ1	Maximální normálová síla	-8,25	-17,79	-14,62
MSÚ1	Posouvající síla u pozednice		8,49	4,83
MSP1	Maximální průhyb	-15,30	-10,00	-5,65
MSÚ2	Maximální ohybový moment	5,84	-5,29	-3,81
MSÚ2	Maximální normálová síla	-8,26	-18,24	-16,59
MSÚ2	Posouvající síla u pozednice		8,57	6,19
MSP2	Maximální průhyb	-15,30	-10,00	-7,30
MSÚ3	Maximální ohybový moment	1,74	-1,48	-1,48
MSÚ3	Maximální normálová síla	-2,57	-6,28	-6,32
MSÚ3	Posouvající síla u pozednice		2,86	2,88
MSP3	Maximální průhyb	-6,60	-3,80	-4,00

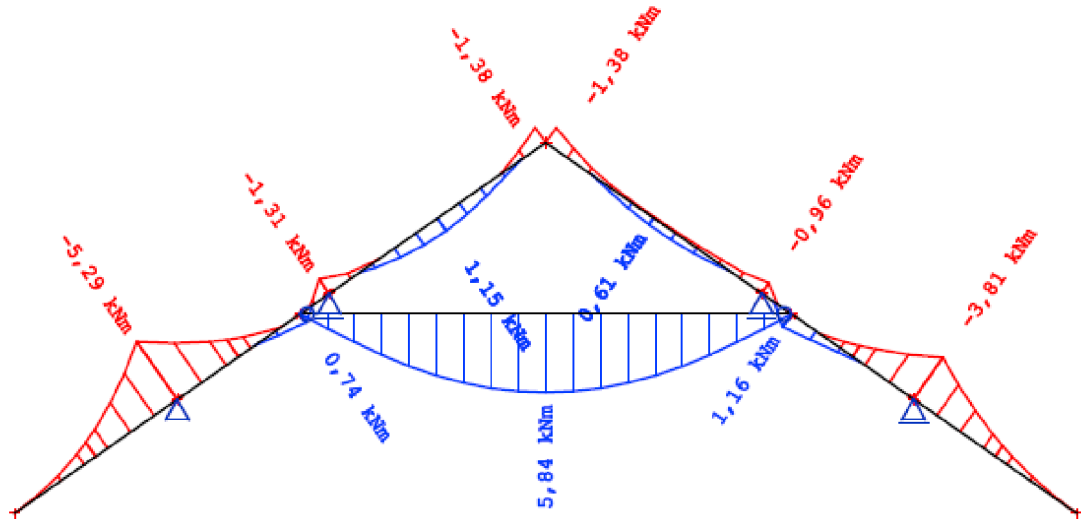
Tab. 9.11: Přehled max. vnitřních sil a průhybů – vaznicový krov

Vaznicový krov				
Zatěžovací stav	Síly [kN] Momenty [kNm] Průhyb [mm]	Kleštiny	Levá krokev	Pravá Krokev
MSÚ1	Maximální ohybový moment	5,84	-5,30	-2,91
MSÚ1	Maximální normálová síla	4,59	-5,87	-5,50
MSÚ1	Posouvající síla u pozednice		9,13	5,37
MSP1	Maximální průhyb	-16,90	-11,40	-6,10
MSÚ2	Maximální ohybový moment	5,84	-5,29	-3,81
MSÚ2	Maximální normálová síla	5,06	-6,40	-6,40
MSÚ2	Posouvající síla u pozednice		9,19	6,79
MSP2	Maximální průhyb	-17,00	-11,40	-8,00
MSÚ3	Maximální ohybový moment	1,74	-1,48	-1,48
MSÚ3	Maximální normálová síla	2,20	3,57	3,58
MSÚ3	Posouvající síla u pozednice		2,69	2,70
MSP3	Maximální průhyb	-7,5	-4,30	-4,30

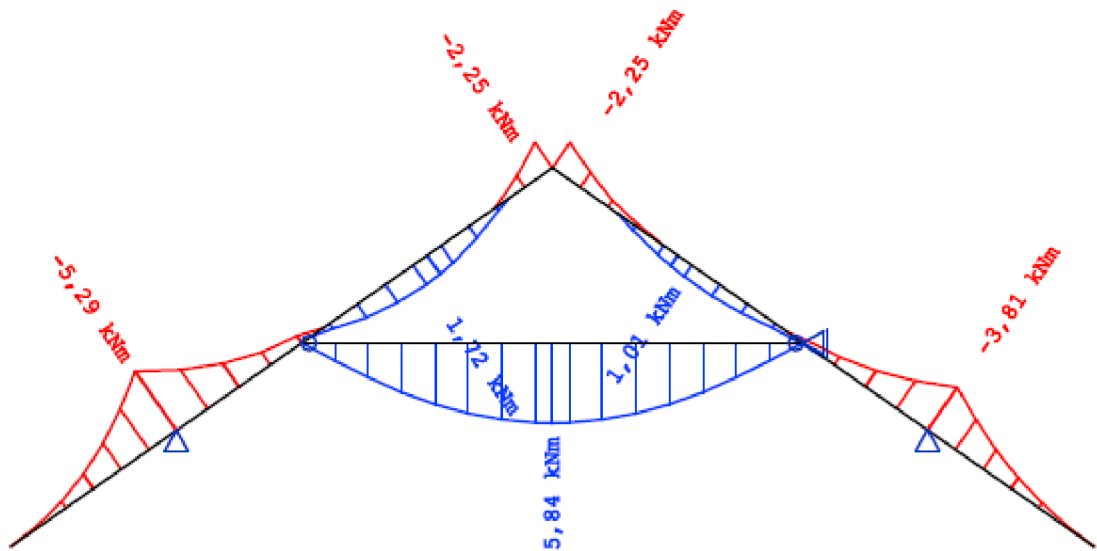
Nejméně příznivý zatěžovací stav je MSÚ2, MSP2. V tabulkách je vyznačen šedě.

9.3.2 Vizualizace průběhů vnitřních sil a průhybů

Ohybové momenty – vaznicový krov (obr. 9.12) a hambálkový krov (obr. 9.13)



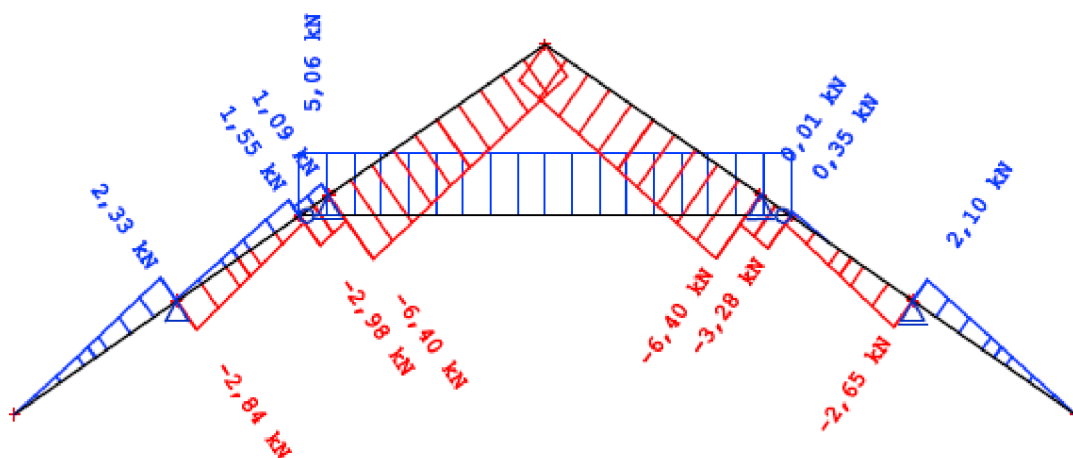
Obr. 9.12 : Průběh ohybových momentů vaznicového krovu (MSÚ2)



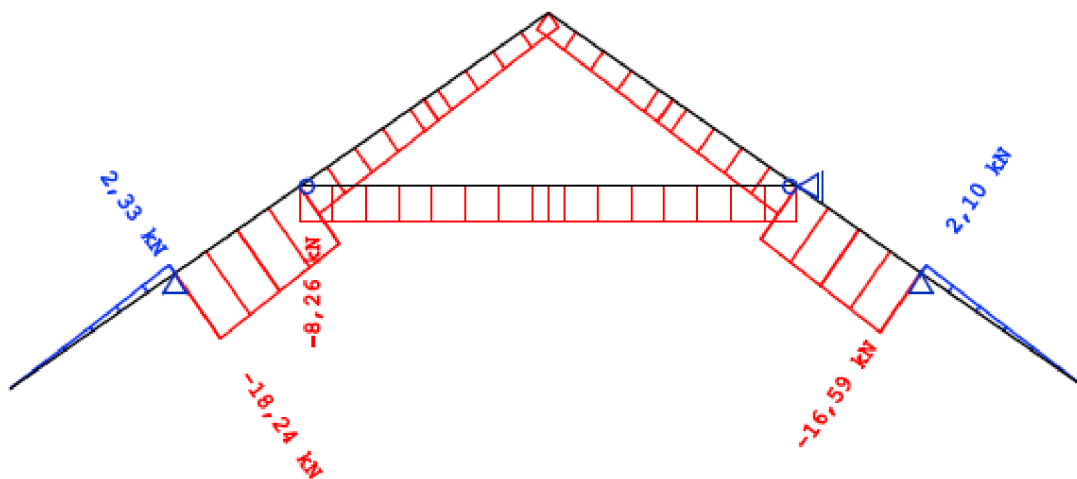
Obr. 9.13 : Průběh ohybových momentů hambálkového krovu (MSÚ2)

Z obrázků je patrné, že ohybové momenty jsou pro vaznicový i hambálkový krov stejné.

Normálové síly – vaznicový krov (obr. 9.14) a hambalkový krov (obr. 9.15)



Obr. 9.14: Průběh normálových sil vaznicového krovu (MSÚ2)

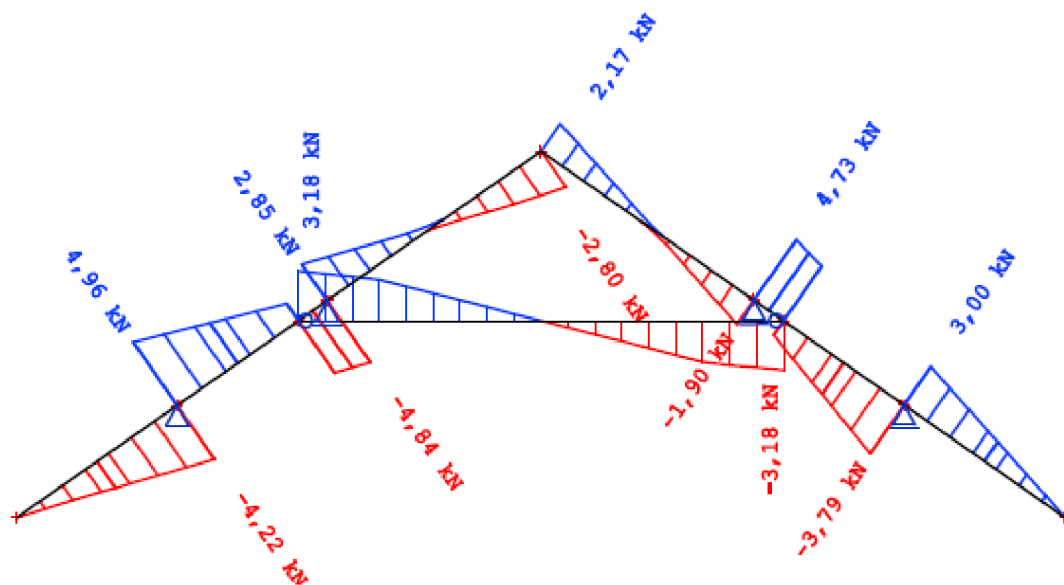


Obr. 9.15: Průběh normálových sil hambalkového krovu (MSÚ2)

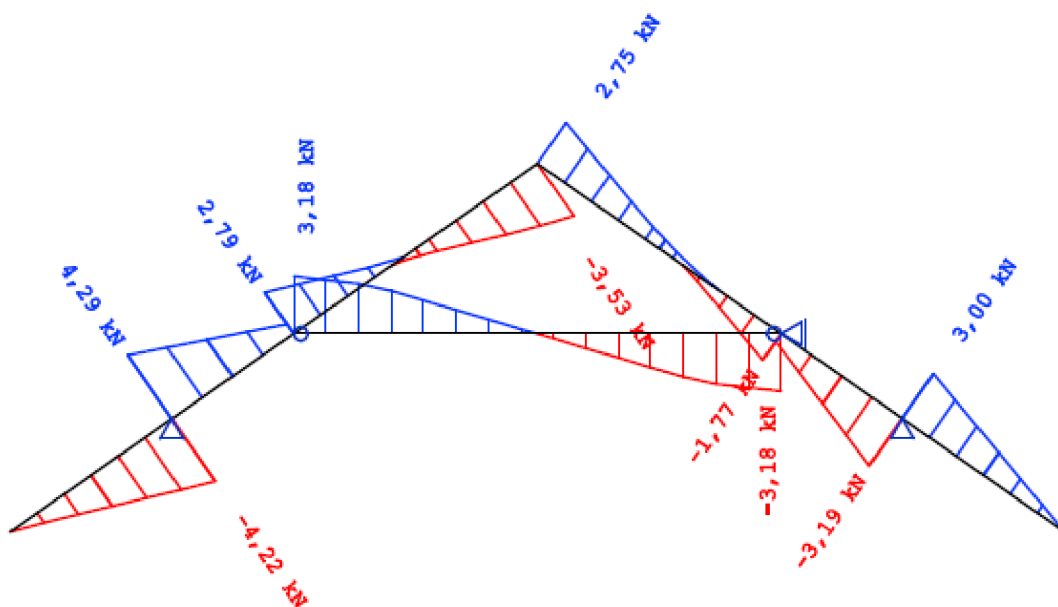
Z průběhu vnitřních sil vyplývá, že normálové síly jsou výrazně větší u hambalkového krovu. Krokve jsou namáhány na kombinaci ohybu včetně klopení a vzpěr.

Z obrázků je také patrný základní **rozdíl mezi hambalkovým a vaznicovým krovem v namáhání kleštín**. U hambalkového krovu jsou kleštiny namáhány na vzpěr, u vaznicové soustavy na tah.

Posouvající síly – vaznicový krov (obr. 9.16) a hambalkový krov (obr. 9.17)



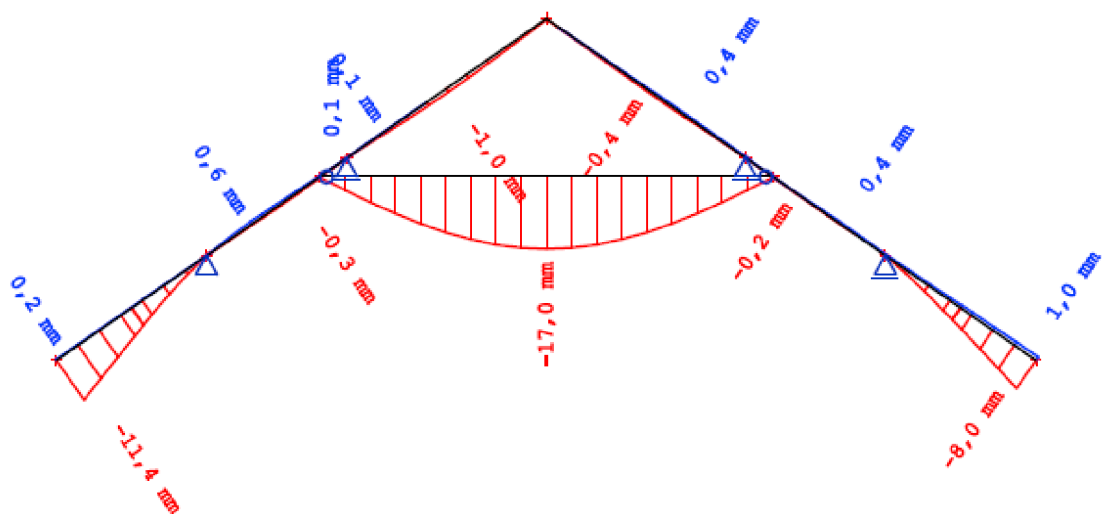
Obr. 9.16: Průběh posouvajících sil vaznicového krovu (MSÚ2)



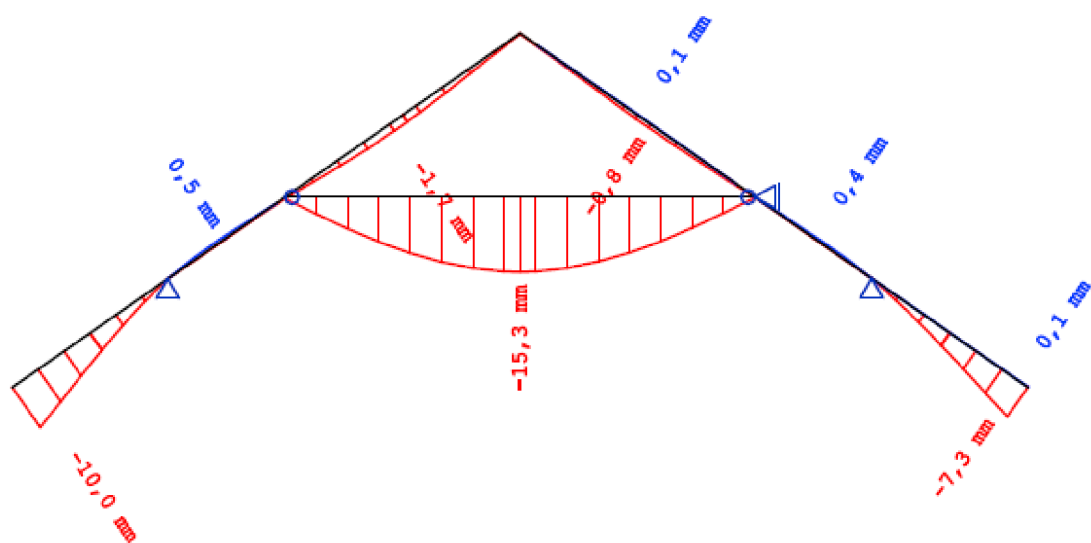
Obr. 9.17: Průběh posouvajících sil hambalkového krovu (MSÚ2)

Co se týče posouvajících sil, není mezi oběma soustavami významný rozdíl.

Okamžité průhyby – vaznicový krov (obr. 9.18) a hambalkový krov (obr. 9.19)



Obr. 9.18: Okamžité průhyby prvků vaznicového krovu (MSP2)



Obr. 9.19: Okamžité průhyby prvků hambalkového krovu (MSP2)

Okamžité průhyby hambalkového a vaznicového krovu nevykazují významnější rozdíl.

Celkově lze říci, že nejvýznamnější **rozdíl mezi vaznicovou a hambalkovou soustavou** je ve velikosti vodorovných reakcí podpor a normálových sil. Zásadní rozdíl je i působení kleštin u obou soustav. Vzhledem ke skutečnosti, že jednotlivé prvky jsou namáhány více u hambalkové soustavy, bude provedeno statické posouzení prvků u této soustavy.

9.4 Statické posouzení prvků hambalkového krovu

Statické posouzení prvků hambalkového krovu je provedeno podle ČSN EN 1995-1-1.

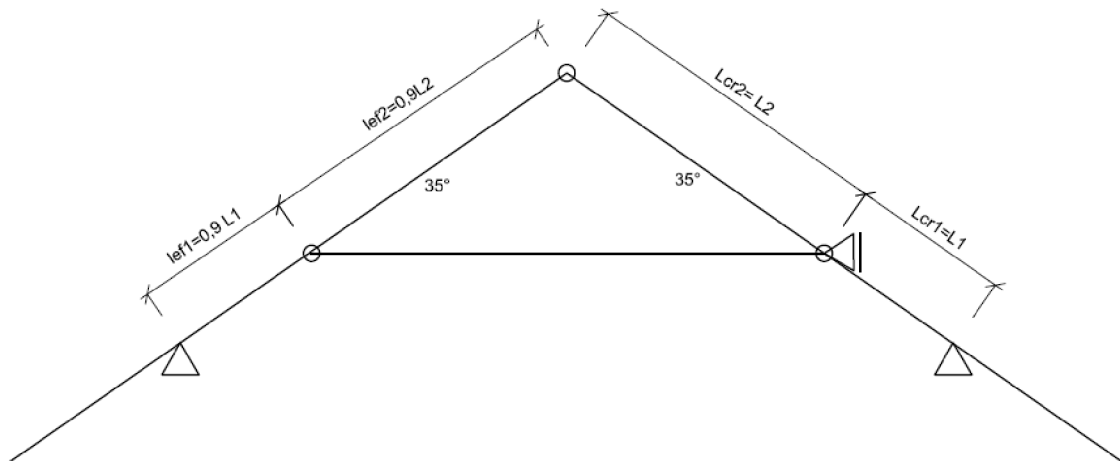
9.4.1 Posouzení krokví a kleštín na ohyb (včetně klopení) a vzpěr

Posouzení krokví

Při posouzení krokve budu respektovat předpoklad, že hambalek je neposuvný. To je zajištěno tuhou vodorovnou deskou probíhající na úrovni horních hran kleštín. Deska bude vytvořena z OSB desek a ukotvena do štitových stěn. Tuhá deska fixuje kleštiny ve vodorovné rovině a zamezuje tak vybočení krokve ve směru slabší osy. Zároveň v tomto směru zamezuje klopení krokve při ohybu. Posouzení tedy bude provedeno na kombinaci ohybu (včetně klopení) a vzpěru na délkách L_1 a L_2 a jim příslušných kritických délkách (vzpěr) a efektivních délkách (klopení) viz obrázek 9.20. Krokve jsou navrženy s výškou 200 mm zejména z důvodu požadované vrstvy tepelné izolace.

Posouzení kleštín

U posouzení kleštín platí stejný předpoklad o tuhé desce v úrovni horních hran kleštín. Tato deska zabráni vybočení kleštiny ve směru slabší osy a zároveň brání klopení kleštín. Proto budou kleštiny posuzovány na kombinaci ohybu (bez vlivu klopení) a vzpěru (vychýlení na silnější osu). Kritická délka bude rovna délce kleštín (obr. 9.10).



Obr. 9.20: Účinná (l_{ef}) a kritická (L_{cr}) délka krokví

Vztahy použité pro statické posouzení krokví a kleštín

Základní posouzení na MSÚ:

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (9.1)$$

kde: $\sigma_{m,d}$ – návrhová hodnota napětí v ohybu [MPa]
 $\sigma_{c,d}$ – návrhová hodnota napětí v tlaku [MPa]
 $f_{m,d}$ – návrhová hodnota pevnosti v ohybu [MPa]
 $f_{c,0,d}$ – návrhová hodnota pevnosti v tlaku ve směru vláken [MPa]
 k_{krit} – faktor zohledňující přídavné napětí způsobené postraním vybočením
 $k_{c,z}$ – součinitel vzpěrnosti

Návrhová hodnota napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W_z} \quad (9.2)$$

kde: M_d – návrhová hodnota ohybového momentu [kNm]

Návrhová hodnota napětí v tlaku:

$$\sigma_{c,d} = \frac{N_{c,d}}{A} \quad (9.3)$$

kde: $N_{c,d}$ – návrhová hodnota tlakové síly v [kN]

Návrhová hodnota pevnosti v tlaku ve směru vláken:

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} \quad (9.4)$$

Návrhová hodnota pevnosti v ohybu:

$$f_{m,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} \quad (9.5)$$

kde: k_{mod} – modifikační faktor trvání zatížení a vlhkosti dřeva [-]
 $f_{m,k}$ – charakteristická hodnota pevnosti v ohybu [MPa]
 $f_{c,0,k}$ – charakteristická hodnota pevnosti v tlaku ve směru vláken [MPa]
 γ_m – součinitel spolehlivosti

Relativní štíhlost (vzpěr):

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (9.6)$$

kde: λ_z – štíhlost vzhledem k ose z
 $f_{c,0,k}$ – charakteristická hodnota pevnosti v tlaku ve směru vláken [MPa]
 $E_{0,05}$ – 5%-ní kvantil modulu pružnosti ve směru vláken [MPa]

$$\lambda_z = \frac{L_{cr}}{i_z} \quad (9.7)$$

kde i_z – poloměr setrvačnosti [mm²]
 L_{cr} – kritická délka [mm]

Součinitel vzpěrnosti $k_{c,z}$:

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad (9.8)$$

$$k_z = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] \quad (9.9)$$

kde:

$$\beta_c = \begin{cases} 0,2 & \text{pro rostlé dřevo} \\ 0,1 & \text{pro lamelové dřevo} \end{cases}$$

Relativní štíhlost při klopení:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \quad (9.10)$$

kde: $f_{m,k}$ – charakteristická hodnota pevnosti v ohybu [MPa]

$\sigma_{m,crit}$ – kritické napětí [MPa] – pro čtvercový průřez a jehličnaté dřevo platí:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 b^2}{h l_{ef}} E_{0,05} \quad (9.11)$$

kde: b, h – šířka, výška krokve [mm]

l_{ef} – účinná délka (viz obr. 9.20)

Součinitel vzpěrnosti:

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{pro: } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} & 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases} \quad (9.12)$$

Charakteristiky krokví pro statické posouzení

Charakteristiky průřezu, materiálové charakteristiky a návrhové hodnoty zatížení jsou uvedeny v tabulce 9.12. Materiálové charakteristiky jsou převzaty z [19], hodnoty l_{ef} a L_{cr} jsou patrné z obr. 9.20. Návrhové hodnoty zatížení jsou převzaty z programu SCIA ENGINEER (hodnoty pro část krokve pozednice – kleština v tab. 9.10: MSÚ2, ohybový moment a normálová síla ve sloupci pro levou krokev; zbylé hodnoty přímo ze SCIA ENGINEER).

Tab. 9.12: Charakteristiky krokví pro statické posouzení

Parametr	Hodnoty pro část krokve pozednice - kleština	Hodnota pro část krokve kleština-hřeben	Jednotky	Poznámka
Průřezové charakteristiky				
Šířka krokve b	100	100	mm	
Výška krokve h	200	200	mm	
Modul průřezu W_y	333333	333333	mm ³	
Modul průřezu W_z	666667	666667	mm ³	
Moment setrvačnosti I_y	16666667	16666667	mm ⁴	
Moment setrvačnosti I_z	66666667	66666667	mm ⁴	
Poloměr setrvačnosti i_y	29	29	mm	
Poloměr setrvačnosti i_z	58	58	mm	
Délka posuzované části	1913	3832	mm	
Vzpěrná délka krokve L_{kr}	1913	3832	mm	
Účinná délka pro klopení l_e	1722	3449	mm	
Materiálové charakteristiky (dřevo jehličnaté C24)				
Charakt. pevnost dřeva v ohybu $f_{m,k}$	24,0	24,0	MPa	
Modifikační součinitel dřeva k_{mod}	0,9	0,9	-	
Charakt. pevnost dřeva v tlaku $f_{c,0,k}$	21,0	21,0	MPa	
Modul pružnosti E0,05	6700,0	6700,0	MPa	
dílčí souč. spolehlivosti γ_M	1,30	1,30	-	
Zatížení				
Ohybový momentu M_y	5,29	2,27	kNm	ze Scia Engineer
Normálová síla N	18,24	7,72	KN	ze Scia Engineer

Výsledné hodnoty statického posouzení krokví

Výsledné hodnoty statického posouzení krokví podle mezního stavu únosnosti uvádí tabulka 9.13. Údaj ve sloupci „Poznámka“ uvádí výpočtový vztah. Posouzení mezního stavu použitelnosti je provedeno pouze pro okamžitou hodnotu průhybu (tab. 9.14.) Výpočet *průhybu s dotvarováním* přesahuje rámec této diplomové práce. Hodnoty okamžitého průhybu převzaty z program SCIA ENGINEER.

Závěr: Navržené krokve staticky vyhovují.

Tab. 9.13: Výsledné hodnoty pro statické posouzení krokvi podle MSÚ

Parametr	Hodnoty pro část krokve pozednice -kleština	Hodnoty pro část krokve kleština-hřeben	Jednotky	Poznámka
Návrhová hodnota pevnosti $f_{c,0,d}$	14,54	14,54	MPa	(9.4)
Návrhová hodnota pevnosti $f_{m,d}$	16,62	16,62	MPa	(9.5)
Vzpěr				
Štíhlost λ_z	28,16	56,42	-	(9.7)
Štíhlost λ_y	56,33	112,83	-	(9.7)
Relativní štíhlost $\lambda_{rel,z}$	0,50	1,01	-	(9.6)
Relativní štíhlost $\lambda_{rel,y}$	1,00	2,01	-	(9.6)
Součinitel k_z	0,65	1,08	-	(9.9)
Součinitel k_y	1,07	2,69	-	(9.9)
Součinitel $k_{c,z}$	0,95	0,68	-	(9.8)
Součinitel $k_{c,y}$	0,69	0,22	-	(9.8)
napětí v tlaku $\sigma_{c0,d}$	0,94	0,39	MPa	(9.3)
Klopení				
Kritické napětí $\sigma_{m,crit}$	151,77	75,77	MPa	(9.11)
Relativní štíhlost $\lambda_{rel,m}$	0,40	0,56		(9.10)
Součinitel k_{crit}	1,00	1,00		(9.12)
napětí při ohybu $\sigma_{m,d}$	7,95	3,41	MPa	(9.2)
Posouzení na MSÚ - osa z:	0,30	0,08	<1	VYHOVUJE
Posouzení na MSÚ - osa y:	0,33	0,16	<1	VYHOVUJE

Tab. 9.14: Výsledné hodnoty pro statické posouzení krokvi podle MSP

Posouzení na MSP (průhyb):	Délka části krokve L(mm)	Podmínka L/300	Okamžitý průhyb w_{inst} (mm)	Posouzení
Část od konce krokve k pozednici	2540	8,5	>7,1	VYHOVUJE
Část od konce pozednice-kleština	1913	6,4	>0,4	VYHOVUJE
Část krokve kleština - hřeben	4000	13,3	>13	VYHOVUJE

Charakteristiky kleštín pro statické posouzení

Charakteristiky průřezu, materiálové charakteristiky a návrhové hodnoty zatížení jsou uvedeny v tabulce 9.15. Materiálové charakteristiky jsou převzaty z [19], hodnota L_{cr} se rovná délce kleštiny (obr. 9.10). Návrhové hodnoty zatížení jsou převzaty z program SCIA ENGINEER (tab. 9.10: MSÚ2, ohybový moment a normálová síla ve sloupci pro kleštiny).

Tab. 9.15: Charakteristiky pro statické posouzení kleštín

Parametr	Hodnota	Jednotky	Poznámka
Průřezové charakteristiky			
Šířka kleštiny b	70	mm	
Výška kleštiny h	200	mm	
Modul průřezu W_y	163333	mm ³	
Modul průřezu W_z	466667	mm ³	
Moment setrvačnosti I_z	4666667	mm ⁴	
Poloměr setrvačnosti i_z	58	mm	
Délka kleštiny	6290	mm	
Vzpěrná délka kleštiny	6290	mm	
Materiálové charakteristiky (dřevo jehličnaté C24)			
Charakt. pevnost dřeva v ohybu f_{mk}	24	MPa	[19]
Modifikační součinitel dřeva k_{mod}	0,9		[19]
Charakt. pevnost dřeva v tlaku f_{c0k}	21,0	MPa	[19]
Modul pružnosti $E_{0,05}$	6700	MPa	[19]
Dílčí souč. bezpečnosti γ_M	1,3		[18]
Zatížení			
Ohybový momentu M_y	5,84	kNm	
Normálová síla N	8,26	KN	

Výsledné hodnoty statického posouzení kleštín

Výsledné hodnoty statického posouzení kleštín podle mezního stavu únosnosti uvádí tabulka 9.16. Údaj ve sloupci poznámka uvádí výpočtový vztah. Posouzení mezního stavu použitelnosti je provedeno pouze pro okamžitou hodnotu průhybu (tab. 9.17.) Výpočet *průhybu s dotvarováním* přesahuje rámec této diplomové práce. Hodnoty okamžitého průhybu převzaty s program SCIA ENGINEER.

Kleštiny jsou namáhány zejména užitným zatížením, které vede k poměrně velkým průhybům. Řešením může být zavěšení kleštín k hřebeni střechy prostřednictvím táhla. Návrh a posouzení je mimo rámec této diplomové práce.

Závěr: Kleštiny staticky vyhovují.

Tab. 9.16: Výsledné hodnoty statické posouzení kleštín podle MSÚ

Parametr	Hodnota	Jednotky	Poznámka
Návrhová hodnota pevnosti f_{c0d}	14,54	MPa	(9.4)
Návrhová hodnota pevnosti f_{md}	16,62	MPa	(9.5)
Vzpěr			
Štíhlost λ_z	108,95		(9.7)
Relativní štíhlost $\lambda_{rel,z}$	1,94		(9.7)
Součinitel k_z	2,55		(9.9)
Součinitel $k_{c,z}$	0,24		(9.8)
Napětí v tlaku $\sigma_{c0,d}$	0,66	MPa	(9.3)
Klopení			
Kritické napětí $\sigma_{m,crit}$			
Relativní štíhlost $\lambda_{rel,m}$			
Součinitel k_{crit}	1,00		
Napětí při ohybu $\sigma_{m,d}$	12,51	MPa	(9.2)
Posouzení MSÚ	0,74	< 1	VYHOVUJE

Tab. 9.17: Výsledné hodnoty pro statické posouzení kleštín podle MSP

Posouzení na MSP (průhyb):	Délka kleštiny (mm)	Podmínka L/300	Okamžitý průhyb w_{inst} (mm)	Posouzení
Kleština	6270	20,9	<16,9	VYHOVUJE

9.4.2 Statické posouzení spoje krokev – pozednice

Schéma spoje krokve a pozednice je na obr. 9.21.

Vztahy použité pro statické posouzení krokví a kleštín

Základní posouzení:

$$F_{vR,d} \geq F_{vE,d} \quad (9.13)$$

kde: $F_{vR,d}$ – návrhová únosnost spoje [N]

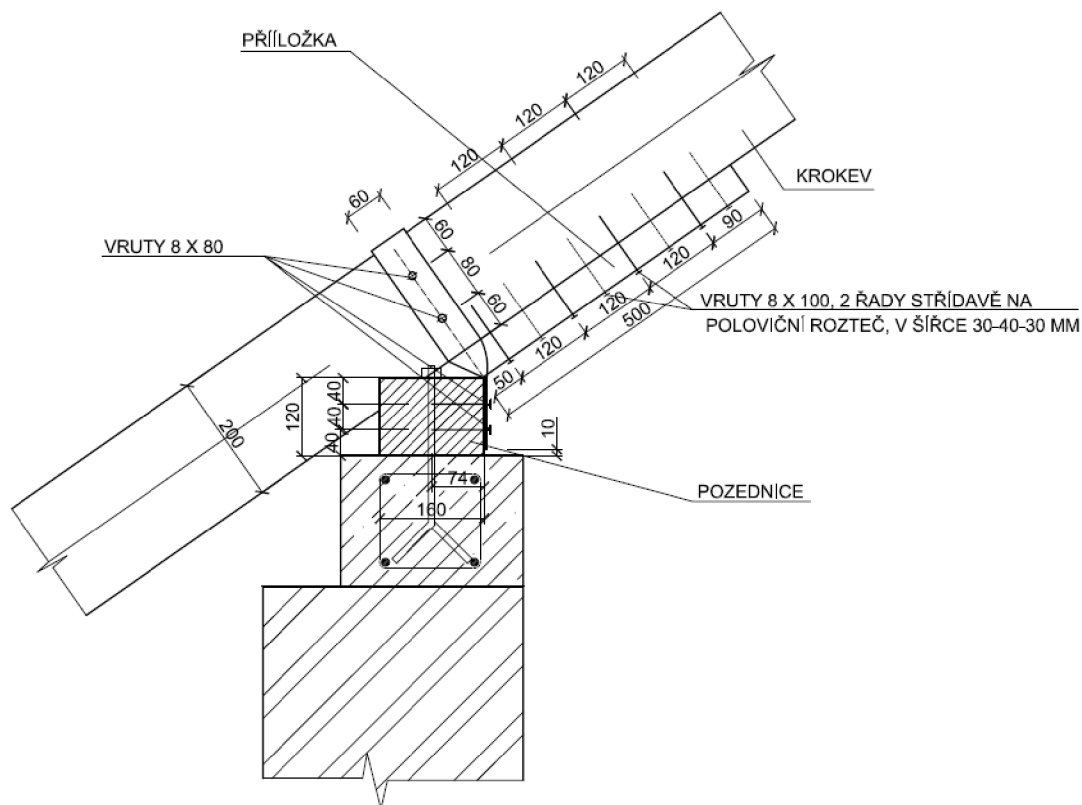
F_d – návrhové zatížení spoje [N]

Návrhová únosnosti :

$$F_{vR,d} = \frac{F_{vR,k}}{\gamma_M} \cdot k_{mod} \quad (9.14)$$

γ_M – součinitel spolehlivosti dřeva [-]

k_{mod} – modifikační součinitel trvání zatížení [-]



Obr. 9.21: Spoj krokve s pozednicí

a) Připoj pásoviny ke krokvi

Únosnosti průřezu pásoviny $F_{R,d}$ [N]

$$F_{R,d} = \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M,o}} \quad (9.15)$$

kde: A_{eff} – účinný průřez [mm²]

f_y – charakteristická hodnota pevnosti oceli na mezi kluzu [MPa]

$\gamma_{M,o}$ – součinitel spolehlivosti oceli [-]

Charakteristická hodnota plastického momentu vřutu $M_{y,Rk}$ [Nmm]

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6} \quad (9.16)$$

kde: $f_{u,k}$ – charakteristická hodnota meze pevnosti vřutu [MPa]

d – průměr vřutu [mm]

Charakteristická hodnota pevnosti stěn otvorů ve dřevě ve směru vláken $f_{h,0,k}$ [MPa]

$$f_{h,0,k} = 0,082 (1 - 0,01 d) \rho_k \quad (9.17)$$

kde: ρ_k – měrná hmotnost dřeva [kg/m³]

Charakteristická hodnota pevnosti stěn otvorů ve dřevě $f_{h,\alpha,k}$ s ohledem k úhlu působení zatížení vzhledem k vláknům [MPa]

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (9.18)$$

Kde: α – úhel působení zatížení vzhledem k vláknům

Charakteristická únosnost spoje $F_{v,Rk}$ [N]

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{hk} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{hk} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{hk} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ f_{hk} t_1 d \end{cases} \quad (9.19)$$

kde: $F_{ax,Rk}$ – charakteristická odolnost vrutu proti vytáhnutí [N]

výraz $\frac{F_{ax,Rk}}{4}$ je příspěvek k únosnosti spoje od účinku sepnutí a má se podle normy [18] brát pro vruty hodnotou 100% z prvního členu prvního výrazu
 t_1 – hloubka vniknutí vrutu [mm]

Návrhové zatížení n 1 vrut [kN]

$$F_{v1,Ed} = \frac{F_{v,Ed}}{n_s n_r n_n} \quad (9.20)$$

kde: $F_{v,Ed}$ – návrhové zatížení [N]

n_s – počet rovin stříhu

n_r – počet řad vrutů

n_n – počet vrutů v 1 řadě

Odolnost proti štípnání $F_{90,R,k}$ [N]

$$F_{90,R,k} = 14 b w \sqrt{\frac{h_e}{1 - \frac{h_e}{h}}} \quad (9.21)$$

kde: w – modifikační faktor (pro jiné spoje než kovové desky s prolisovanými trny $w=1$)

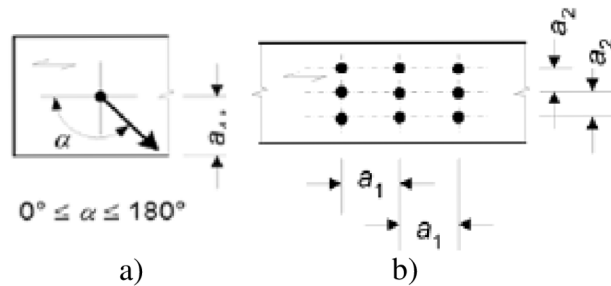
h_e – odstup nejvíce vzdáleného spojovacího prostředku od namáhaného okraje [mm]

h – výška konstrukčního prvku

b – šířka konstrukčního prvku

Nejmenší vzdálenosti [mm]

- Mezi vruty ve směru vláken a_1
- Mezi vruty ve směru kolmo na vlákna a_2
- Od zatíženého okraje $a_{4,t}$



Obr. 9.22: Nejmenší vzdálenosti a) od zatíženého okraje pro úhel α mezi zatížením a směrem vláken, b) mezi vruty ve směru a kolmo na směr vláken

Pro 1 řadu vrutů kolmo na směr vláken a zatížení kolmo na směr vláken ($\alpha=90^\circ$) platí následující vztahy:

$$a_2 = 4d \quad (9.22)$$

$$a_{4,t} = \max[(2+2\sin\alpha) \cdot d; 3d]$$

b) Přípoj pásoviny k pozednici – platí stejné vztahy jako pro přípoj pásoviny ke krokvi.

c) Příložka ke krokvi

Pro jednostřížné spoje:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} \frac{f_{h,1k} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,05 \frac{f_{h,1k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,05 \frac{f_{h,1k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{cases} \quad (9.23)$$

kde: t_1 – tloušťka dřeva na straně hlavy vrutu [mm]

t_2 – hloubka vniknutí [mm]

$M_{y,Rk}$ – char. hodnota plast. momentu [Nmm]

β – vzájemný poměr pevnosti stěn otvorů prvků

$f_{h,i,k}$ – pevností stěn otvorů [MPa]

$$\beta = \frac{f_{h,2k}}{f_{h,1k}}$$

Tab. 9.18: Charakteristiky pro statické posouzení spoje pozednice krokev

Parametr	Hodnota	Jednotka	Poznámka
Průřezové charakteristiky			
Krokev			
Šířka krokve b	100,0	mm	
Výška krokve h	200,0	mm	
Pásovina S235, 4 x 40			
Účinný průřez A_{eff}	128,0	mm ²	průměr děr 8 mm
Vruty 8 x 80, šestihranná hlava (spoj pozednice -krokev)			
Průměr vrutu d	8,0	mm	
Modul průřezu vrutu W	50,2	mm ³	
Hloubka vniknutí t_1	74,0	mm	
Navržený počet vrutů	4		z každé strany pozed. 2
Vruty 8 x 100, zápusťná hlava (příložka ke krokvi)			
Průměr vrutu	6,0	mm	
Modul průřezu vrutu W	21,2	mm ³	
Hloubka vniknutí t_1	50,0	mm	
Počet vrutů	8		
Příložka ke krokvi			
Šířka příložky b	100,0	mm	
výška příložky h	50,0	mm	
Materiálové charakteristiky			
Krokev, pozednice			
Měrná hmotnost dřeva	420,0	kg/m ³	[20]
Modifikační součinitel dřeva k_{mod}	0,9		[18]
Charakt. pevnost dřeva v tlaku f_{c0k}	21,0	MPa	
Charakt. pevnost dřeva v tlaku f_{c0k}	2,5	MPa	
Modul pružnosti E0,05	6700,0	MPa	
Dílčí souč. bezpečnosti γ_M dřeva	1,3		[18]
Vruty			
Char.mez pevnosti vrutu f_{uk}	400,0	MPa	
Pásovina			
Char. pevnost oceli v tahu $f_{y,k}$	235,0	MPa	
Součinitel spolehlivoststi $\gamma_{M,o}$ oceli	1,25		[21]

Charakteristiky pro statické posouzení spoje pozednice - krokev

Charakteristiky průřezu, materiálové charakteristiky a návrhové hodnoty zatížení jsou uvedeny v tabulce 9.18. Materiálové charakteristiky jsou převzaty z [19], průřezové charakteristiky jsou zřejmé z obrázku 9.21. Specifické zdroje jsou uvedeny ve sloupci *Poznámka* v tabulce 9.18. *Návrhové hodnoty zatížení* (tab. 9.19) jsou převzaty z program SCIA ENGINEER: Reakce podpor modelu pro MSÚ2 jsou vektorově rozloženy do svislého směru a do směru kolmého na krokev.

Tab. 9.19: Zatížení pro statické posouzení spoje pozednice - krokev

Zatížení	Hodnota	Jedn.	Poznámka
Návrhová hodnota zatížení $F_{v,Ed1}$ kolmo na krokev pro výpočet přípoje ke krokvi	22,5	KN	převzato ze SCIA Engineer, složka vodorovné reakce do směru kolmého ke krokvi
Návrhová hodnota zatížení $F_{v,Ed2}$ pro výpočet spoje krokev - příložka	17,7	KN	Normálová síla v krokvi
Návrhová hodnota zatížení $F_{v,Ed3}$ ve svislém směru (přípoj k pozednici)	18,2	KN	převzato ze SCIA Engineer (složka vodorovné reakce)

Tab. 9.20: Statické posouzení spoje pozednice - krokev

Parametr	Hodnota	Jednotka	Poznámka
Přípoj pásoviny ke krokvi			čl.8.2.2 [18]
Únosnost průřezu pásoviny $F_{R,d}$	60,2	KN	(9.15)
Posouzení únososti pásoviny:	60,2 > 22,5	KN	VYHOVUJE
Charakteristická hodnota plast.momentu (únosnost) $M_{y,Rk}$	26743,3	Nmm	(9.16)
Charakteristická hodnota pevnosti stěn otvorů ve dřevě $f_{h,0,k}$	30,2	MPa	(9.17)
Charakteristická hodnota pevnosti stěn otvorů ve dřevě $f_{h,\alpha,k}$	20,5	MPa	(9.18)
Charakteristická únosnost spoje $F_{v,Rk}$	9,6	KN	(9.19)
Návrhová únosnost spoje $F_{v,Rd}$	6,6	KN	(9.14)
Návrhové zatížení na 1 vrut $F_{v1,td}$	5,6	KN	(9.20)
Posouzení vrutu:	6,6 > 5,6	KN	VYHOVUJE
Odolnost proti štípání charakteristická hodnota $F_{90,R,k}$	13,0	KN	(9.21)
Odolnost proti štípání návrhová hodnota $F_{90,R,d}$	9,0	KN	(9.14)
Posouzení na štípání:	9,0 > 5,6	KN	VYHOVUJE

Pokračování tab. 9.20			
Parametr	Hodnota	Jednotka	Poznámka
Nejmenší vzdálenosti: mezi vruty	32,0	mm	(9.21)
od namáhaného okraje	24,0	mm	(9.21)
Přípoj pásoviny na pozednici (stejně jako přípoj ke krokvi)			VYHOVUJE
Příložka ke krokvi <i>jednostřížný spoj dřevo - dřevo</i>			čl.8.2.2 [18]
Char. hodnota plast.momentu $M_{y,Rk}$	12658,3	Nmm	(9.16)
Charakteristická únosnost spoje $F_{v,Rk}$	4,1	KN	(9.19)
Návrhová únosnost spoje $F_{v,Rd}$	2,8	KN	(9.14)
Návrhové zatížení na 1 vrut $F_{v1,td}$	2,2	KN	(9.20)
Posouzení spoje příložky	2,8 > 2,2	KN	VYHOVUJE
Posouzení příložky a plochy osedlání krokve na tlak			
Zatěžovaná plocha pozednice ve styku s osedláním krokve a příložkou	16000	mm ²	
Charakteristická pevnost dřeva v tlaku f_{c90k}	5,1	MPa	
Návrhová pevnost dřeva v tlaku f_{c90d}	3,5	MPa	(9.4)
Návrhová únosnost (příložka + osedlání) F_{Rd}	56	KN	
Návrhové zatížení $F_{c,d}$	36	KN	
Posouzení příložky a plochy osedlání krokve na tlak	56 > 36	KN	VYHOVUJE

Výsledné hodnoty statického posouzení spoje pozednice - krokev

Výsledné hodnoty statického posouzení spoje pozednice – krokev uvádí tabulka 9.19.

Navržené spojovací prvky vyhovují statickému posouzení. Z výsledků je patrné, že zatížení spoje je poměrně velké. Je to dáno zejména velkou horizontální reakcí, která je pro hambalkový krov typická. Tuto sílu musí spoj přenést. Z toho důvodu bude vyžadováno pečlivé řemeslné provedení. Krokve je pásovinou opásána, to může činit problémy při montáži kontralatí a pokládce pojistné hydroizolace. Jako alternativa pásoviny k ukotvení krokve je konstrukční vrut s dvojitým závitěm SFS WT- 8,2 x 275.

Závěr: navržený spoj (pásovina, příložka, spojovací prostředky) staticky vyhovuje.

9.4.3 Statické posouzení spoje krokev – kleštiny

Spoj krokev – kleština je tvořen, 2 svorníky M16 x 280 a vložkou mezi kleštiny k zachycení tlakových sil. Délka vložky je 500 mm, tloušťka je dána šířkou krokev (100) a výška výškou kleštiny (200). Připevnění šesti hřebíky 6,3 x 160 ve dvou řadách z obou stran kleštin (tedy 2 jednostřížné spoje, počet střížných rovin = 2). Jelikož veškeré tlakové síly od kleštin do krokví bude přenášet vložka, není třeba statický výpočet svorníku. Svorníky M 16 x 280 jsou navrženy konstrukčně.

Použité vztahy

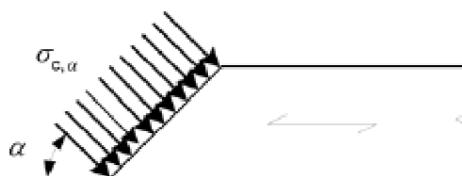
Posouzení vložky na tlak

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (9.24)$$

kde: $\sigma_{c,\alpha,d}$ – tlakové napětí pod úhlem α ke směru vláken

$k_{c,90}$ – součinitel zohledňující vliv napětí kolmých na vlákna

Úhel napětí k vláknům je patrný na obr. 9.22.



Obr. 9.22: Napětí pod úhlem α k vláknům

Charakteristiky pro statické posouzení spoje pozednice – krokev

Charakteristiky průřezu, materiálové charakteristiky a návrhové hodnoty zatížení jsou uvedeny v tabulce 9.21. Materiálové charakteristiky jsou převzaty z [19], specifické zdroje jsou uvedeny ve sloupci *Poznámka* v tabulce 9.20. Návrhové hodnoty zatížení jsou převzaty z program SCIA Engineer: Normálová síla v kleštině pro MSÚ2 je uvedena v tabulce 9.10 ve sloupci *Kleštiny*.

Výsledné hodnoty statického posouzení spoje krokev

Výsledné hodnoty statického posouzení kleštin podle mezního stavu únosnosti uvádí tabulka 9.22. Údaj ve sloupci *poznámka* uvádí výpočtový vztah.

Tab. 9.21: Charakteristiky pro statické posouzení spoje pozednice - krokev

Parametr	Hodnota	Jedn.	Poznámka
Průřezové charakteristiky			
Krokev			
Šířka krokve b	100	mm	
Výška krokve h	200	mm	
Kleština			
Šířka kleštiny - t_1	70	mm	
Výška kleštiny - h_1	200	mm	
Hřebíky 6,3 x 160			
Průměr hřebu	6,3	mm	
Průřez hřebu A	31,2	mm ³	
Počet hřebíků v 1 řadě	3		
Počet řad hřebíků	2		
Počet stříhových rovin	2		
Hloubka vniknutí do vložky t_2	80	mm	
Vložka mezi kleštiny			
Šířka vložky b	100	mm	
Délka vložky l	500	mm	
Výška vložky h	200	mm	
Materiálové charakteristiky			
Krokev, kleština			
Hměrná hmotnost dřeva	420	kg/m ³	[20]
Modifikační součinitel dřeva k_{mod}	0,9		
Charakteristická pevnost dřeva v tlaku f_{c0k}	24,0	MPa	
Charakteristická pevnost dřeva v tlaku f_{c90k}	5,1	MPa	
Dílčí souč. bezpečnosti γ_M dřeva	1,3		[18]
Hřebíky			
Charakteristická mez pevnosti hřebíku $f_{u,k}$	600	MPa	
Zatížení			
Návrhové zatížení ve spoji krokev - kleština $F_{v,eEd}$ (normálová síla v kleštině)	8,26	KN	
Úhel působení zatížení vzhledem k vláknům α	55°		

Tab. 9.22: Statické posouzení spoje pozednice - krokev

Parametr	Hodnota	Jedn.	Poznámka
Přípoj vložky mezi kleštiny (hřebíky)			
Char.hodnota pevnosti stěn otvorů ve dřevě $f_{h,1,k}$ $f_{h,2,k}$	30,8	MPa	(9.17)
Char. hodnota plast. momentu (únosnost) $M_{y,Rk}$	14,37	Nm	(9.16)
Charakteristická únosnost spoje $F_{v,Rk}$	6,47	KN	(9.23)
Návrhová únosnost $F_{v,Rd}$	3,48	KN	(9.14)
Zatížení jednoho hřebíku $F_{v,Ed}$	0,69	KN	(9.20)
Posouzení hřebíkového spoje	$0,69 < 3,48$	KN	VYHOVUJE
Odolnost proti štípání $F_{\alpha,R,k}$	Zatížení ve směru vláknem: nezohledňuje se		
Nejmenší vzdálenosti:	čl.8.5.1.1. tab. 8.2 v [18]		
mezi hřebíky v řadách rovnoběžných s vlákny a_1	31,5	mm	
mezi hřebíky v řadách kolmých s vlákny a_2	31,5	mm	
od namáhaného okraje $a_{3,t}$	63,0	mm	
Únosnost vložky na tlak			
Součinitel k_{c90}	1		[18]
Únosnost v tlaku pod úhlem $\alpha=55^\circ$ $\sigma_{c,\alpha,d}$	6,9	MPa	(9.24)
Návrhové napětí v tlaku	0,2	MPa	
Posouzení vložky na tlak	$0,2 < 6,9$	MPa	VYHOVUJE

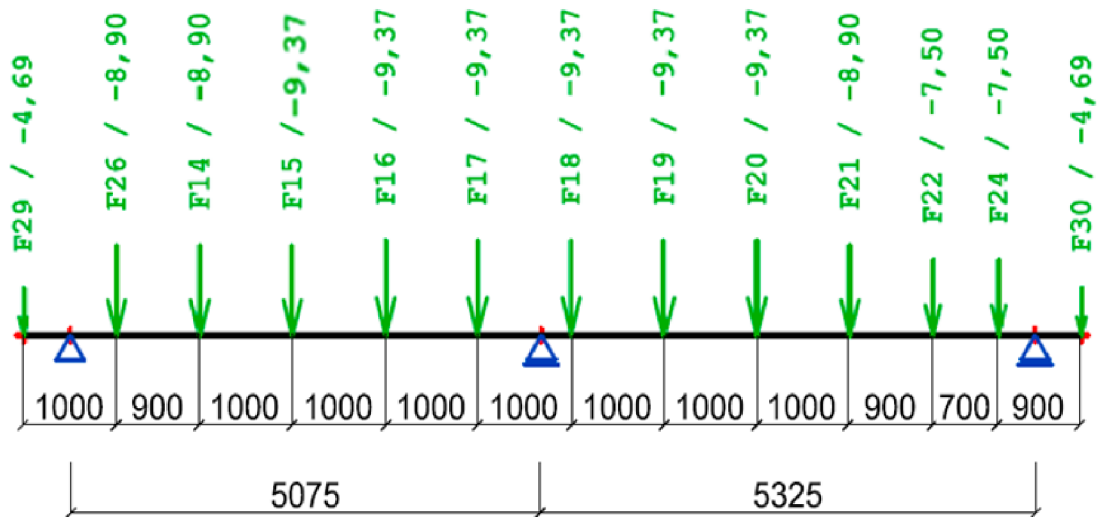
Závěr: navržený spoj (vložka a spojovací prostředky) staticky vyhovuje.

9.5 Statické posouzení vaznice

Vaznice krovu je zatížena akcemi krokví a vlastní tíhou. Na obrázku 9.23 je model vaznice v program SCIA ENGINEER s vyznačením akcí krokví a jejich osových vzdáleností.

9.5.1 Statické posouzení na mezní stav únosnosti

Na obrázku 9.23 jsou numerické hodnoty akcí krokví převzaté z MSÚ2 (tabulka 9.11, svíslá reakce pro levou krokev). K zatížení je připočítána vlastní tíha konstrukce (0,17 KN/m). Podle statického modelu krovu tvoří vaznici podpory volné v ose x. Je to model krovu, který předpokládá neukotvenou vaznici v ose x, např. tehdy, kdy je vaznice podepřena sloupky nebo volně položena na nosné zdi (osa x statického modelu krovu odpovídá ose y modelu vaznice). Výpočet šikmého ohybu bude tedy proveden pouze jako varianta.



Obr. 9.23: Model vaznice ve SCIA Engineer s vyznačením osových vzdáleností

Základní posouzení se děje podle výrazu:

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (9.25)$$

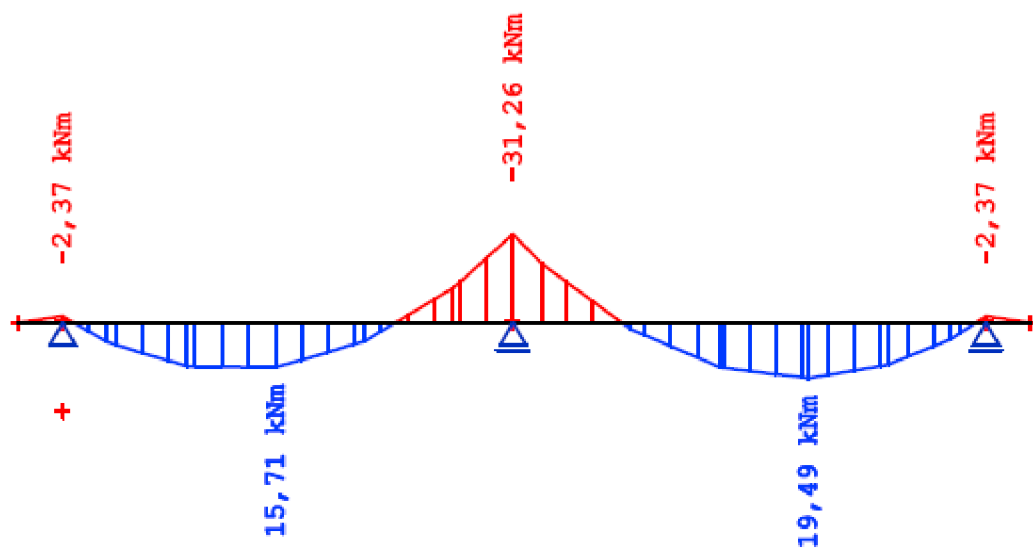
Vztah vyjadřuje šikmý ohyb, tedy ohyb v obou hlavních osách. Součinitel k_m se bere pro dřevěné prvky s pravouhlým průřezem hodnotou 0,7. V případě ohybu pouze k jedné ose, je levá část vzorce rovna nule.

Tabulka 9.2.3 uvádí základní charakteristiky pro výpočet a statický posudek pro základní model krovu, tedy **bez podepření vaznic v ose y**. Hodnota výsledného ohybového momentu je převzata z program SCIA ENGINEER. Ve sloupci poznámka jsou uvedeny zdroje a odkazy na výpočtové vztahy.

Z průběhů ohybového momentu na obr. 9.24 je zřejmé, že největší namáhání je nad středovou podporou. Ohybový moment cca 32KNm je poměrně velký vzhledem k velké osové vzdálenosti podpor (nad 5 m) a vaznice vychází velmi robustní.

Tab. 9.23: Charakteristiky a statické posouzení vaznice na MSÚ

Parametr	Hodnota	Jednotky	Poznámka
Výška vaznice b	200	mm	
Šířka vaznice h	260	mm	
Délka l	10400	mm	
Osová vzdálenost 1.pole	5325	mm	
Osová vzdálenost 2.pole	5075	mm	
f_{mk}	24	MPa	[19]
W_z	2253333	mm ³	
k_{mod}	0,9		[18]
Moment setrvačnosti I_z	173333333	mm ⁴	
Poloměr setrvačnosti i_z	57,7	mm	
Dílčí souč. bezpečnosti γ_M dřeva	1,3		[18]
Akce krokví max	9,37	KN	Obr. 9.21
Ohybový moment max	31,25	KNm	Scia Engineer
Napětí při ohybu $\sigma_{m,d}$	13,87	MPa	(9.5)
Návrhová únosnost v ohybu f_{md}	16,62	MPa	(9.2)
Posouzení na MSÚ:	0,83	<1	VYHOVUJE



Obr. 9.24: Vaznice - ohybové momenty

Pokud by bylo uvažováno s **podepřením vaznice i v ose y**, staticky by se vaznice posuzovala na šikmý ohyb, výsledky jsou v tab. 9.24 (součinitel k_m je použit u části výrazu vztahené k ose y, kde je výrazně menší namáhání a tedy celý výraz je větší než v opačné kombinaci).

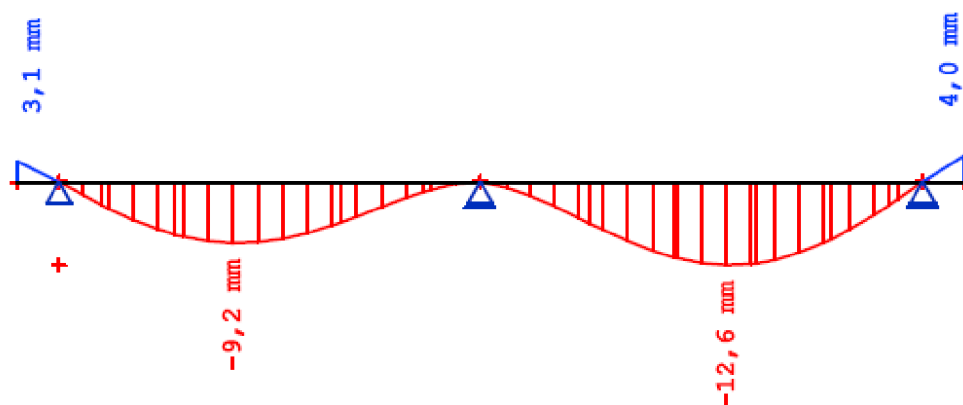
Tab. 9.24: Charakteristiky a statické posouzení vaznice šikmý ohyb (MSÚ)

Parametr	Hodnota	Jednotky	Poznámka
f_{mk}	24	MPa	
W_z	2253333	mm ³	
W_y	1733333	mm ³	
k_{mod}	0,9		
Dílčí souč. bezpečnosti γ_M dřeva	1,3		
Akce krokví	9,37 – osa z	KN	1,53 – osa y
Ohybový moment max - osa y	5,00	KNm	
Ohybový moment max - osa z	31,26	KNm	
napětí při ohybu $\sigma_{m,d,y}$	2,88		
napětí při ohybu $\sigma_{m,d,z}$	13,87	MPa	
návrhová únosnost v ohybu f_{md}	16,62	MPa	
Posouzení na MSÚ (jen osa z)	0,83	<1	VYHOVUJE
Posouzení na MSÚ (šikmý ohyb):	0,96	<1	VYHOVUJE

Je zřejmé, že i posouzení na šikmý ohyb vyhoví.

9.5.2 Statické posouzení na mezní stav použitelnosti

Pro posouzení na mezní stav použitelnosti jsou akce krokví (svislé reakce podpor) vypočteny podle MSP2.



Obr. 9.25 Okamžité průhyby vaznice

Okamžitý maximální průhyb vaznice je 12,6 mm, což je $L/422$. Pro celkové posouzení bude dopočítán průhyb s dotvarováním [36]. Bude použit následující vztah:

$$W_{fin} = W_{fin,G} + W_{fin,Q1} + W_{fin,Qj} \quad (9.26)$$

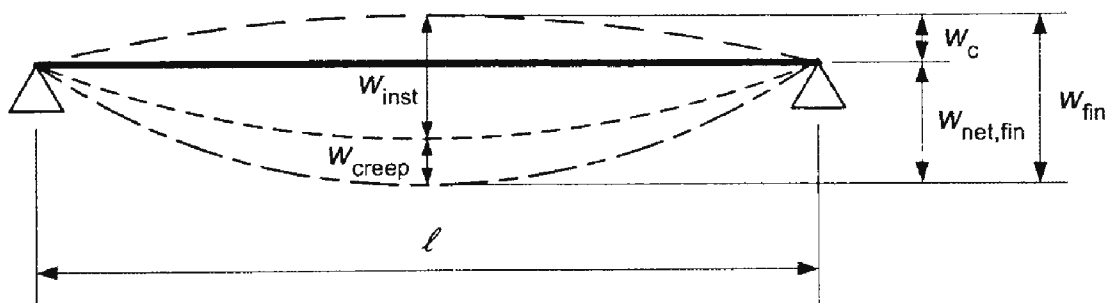
kde:

$$W_{fin,G} = W_{inst,G} (1 + k_{def}) \quad - \text{ pro stálé zatížení } G$$

$$W_{fin,Q,1} = W_{inst,Q,1} (1 + \psi_{2,1} k_{def}) \quad - \text{ pro hlavní proměnné zatížení } Q_1$$

- $W_{fin,Q} = W_{inst,Q,i} (\Psi_{0,i} + \Psi_{2,i} k_{def})$ – pro ostatní proměnná zatížení Q_i ($i > 1$)
 $W_{inst,G}, W_{inst,Q,1}, W_{inst,Q,i}$ – okamžité deformace pro zatížení G, Q_1, Q_i
 $\Psi_{2,1}, \Psi_{2,i}$ – součinitele pro kvazistálou hodnotu proměnných zatížení [20]
 $\Psi_{0,i}$ – součinitele pro kombinační hodnotu proměnných zatížení [20]
 k_{def} – součinitel dotvarování převzat z [18]

Jednotlivé složky průhybu jsou patrné z obr. 9.26.



Obr. 9.26: Složky průhybu [36]

- w_c – případné nadvýšení (v posuzovaném případě je hodnota 0)
 w_{creep} – průhyb od dotvarování
 $w_{net,fin}$ – čistý konečný průhyb
 $w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c = w_{fin} - w_c$

Výpočet průhybu s dotvarováním: Ve SCIA ENGINEER byly postupně zadávány jednotlivé zatěžovací stavy a vypočítávány průhyby (tabulka 5.25). Rozteče krokví jsou patrné z výkresu D.1.1.11.

Tab. 9.25: Výpočet průhybu s dotvarováním

Kombinace zatížení pro průhyb (mm):					
Akce krokve na vaznici	Stálé	Snih	Vitr	Užitné	Celkem
Krokve s roztečí 1 m	3,48	1,37	1,23	1,43	
Krokve s roztečí 0,9 m	3,132	1,233	1,107	1,287	
Krokve s roztečí 0,7 m	2,784	1,096	0,984	1,144	
Průhyb vaznice w_{inst} (Scia Engineer)	6,80	2,9	2,6	3	
k_{def}	0,80	0,8	0,8	0,8	
Ψ_2	0,8	0	0	0,3	
Ψ_0	1	1	0,6	0,7	
	$w_{fin,G}$	$w_{fin,Q1}$	$w_{fin,Q2}$	$w_{fin,Q3}$	w_{fin}
$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q1} + w_{fin,Qi}$	12,24	2,9	1,56	2,82	19,52

Průhyb s dotvarováním je 19,52 mm, což je $L/273 < L/250 \Rightarrow$ **VYHOVUJE**

Tabulka 9.26. Doporučené průhyby [36]

	W_{inst}	$W_{net,fin}$	W_{fin}
Prostý nosník	L/300 až L/500	L/250 až L/350	L/150 až L/300
Vykonzolované nosníky	L/150 až L/250	L/125 až L/175	L/75 až L/150

Ověření na stabilitu vaznice (klopení a vzpěr) nebude z důvodu rozsahu a zaměření diplomové práce provedeno. Lze však předpokládat, že při daných průřezových charakteristikách, zatížení a délce vaznice statickým požadavkům vyhoví.

Závěr: Vaznice vyhovuje jak z hlediska MSÚ tak i MSP.

9.6 Závěry ke statice krovu střešní konstrukce

V této kapitole byly dvourozměrně modelovány konstrukce vaznicové a hambálkové soustavy v programu SCIA Engineer, byl proveden návrh zatížení a podrobně byly staticky posouzeny prvky hambálkového krovu a vaznice vaznicového krovu. Lze učinit následující závěry:

- **Vodorovné reakce podpor a normálové síly** jsou u hambálkové soustavy extrémně velké. Posouvající síly a ohybové momenty jsou přibližně stejné jako u vaznicové soustavy. Svislé reakce jsou sice cca 2x větší než u vaznicové soustavy, ale to je dáno 2x větším počtem podpor a zároveň platí, že je poměrně snadné tyto reakce přenést.
- Výška průřezu **krokví** je dána především potřebou větší vrstvy tepelné izolace a jejich únosnost plně staticky vyhovuje. Namáhání na kombinaci vzpěru a ohybu s klopením krokví je pozitivně ovlivněno tuhou deskou v úrovni horních hran kleštín a krokve staticky vyhoví i na slabší osu a to i při výrazně větších normálových silách než u vaznicového krovu. Na dimenzování krokví tedy nemá volba soustavy podstatnější vliv.
- **Kleštiny** jsou namáhány především užitečným zatížením půdního prostoru. Ohybové momenty jsou stejné u obou soustav. Zásadní odlišností je *tlakové* namáhání u hambálkového krovu a *tahové* u vaznicového. Vliv tuhé desky však opět pozitivně ovlivňuje statické posouzení na kombinaci ohybu s klopením a vzpěru, takže i u hambálkové soustavy kleštiny daného průřezu a délky vyhoví statickým požadavkům na mezní stav únosnosti. Průhyb je u hambálkové soustavy nepatrně větší než u vaznicové, což je způsobeno velkými tlakovými normálovými silami. Velký ohybový moment a průhyb kleštín může být snížen táhlem od středu vaznic ke hřebeni střechy (u obou soustav).
- Velké vodorovné reakce a normálové síly u hambálkového krovu musí být přeneseny **spojemi jednotlivých prvků**. Statické posouzení krokve - pozednice a krokve - kleština bylo provedeno v kapitolách 9.4.2 a 9.4.3. Z posouzení je patrné, že detaily spojů jsou poměrně složité (oproti vaznicovému krovu) a budou vyžadovat kvalitní řemeslné provedení + řešení dalších detailů, což se projeví ve zvýšení celkových nákladů. Zároveň bude muset být na tyto síly dimenzován **pozední věnec**.

Volba krovové soustavy pro budovu s téměř nulovou spotřebou energie

- Jedním z významných faktorů ovlivňujícím pasivní popř. nulové domy je tvarový faktor, tedy tvar, co nejvíce se přibližující čtverci. Pro většinu dispozičních řešení tak bude vycházet velké rozpětí a s tím i velké vodorovné reakce při použití hambalkové soustavy. Tyto síly budou klást velké nároky na řešení konstrukčních detailů u spojů hambalkového krovu. Zároveň bude třeba dimenzovat pozední věnec.
- Ve spojích hambalkového krovu bude vznikat velká napjatost. Pakliže by došlo k poškození parotěsné folie a v okolí spojů by docházelo k degradaci dřeva, dojde i k omezení únosnosti těchto spojů.
- Hambalková soustava je navrhována s **neposuvným hambalkem**, kdy je v rovině horní hrany kleštin umístěna deska (vyztužení v podélném směru, pozitivní účinek při namáhání krokví a kleštin na vzpěr a klopení). K zajištění správné funkce je třeba, aby deska byla tuhá (např. OSB). Většina materiálů na tyto desky však vykazuje velký difuzní odpor a jsou tedy nevhodné na zaklopení tepelné izolace. Řešení existuje i v použití tzv. BOVA pásů, opět je ale nutné řešit spoje s jednotlivými prvky konstrukce k zajištění celkové tuhosti desky.
- Vaznicový krov umožní vnější přesah střechy nad štítovou stěnou a tím i úplné napojení tepelné izolace střechy a zateplení obvodových stěn v oblasti šikmin. Přesah střechy nad štítovou stěnou lze provést i u hambalkového krovu, ale je třeba vyřešit další detaily k zajištění krokví v podélném směru.
- Výhodou **hambalkového** krovu však zůstává možnost neomezeně využít prostor pod střešní konstrukcí, není třeba dimenzovat vaznice a zabývat se řešením detailů podpor vaznic.

Vzhledem k výše uvedenému volím v návrhu domu s téměř nulovou spotřebou energie vaznicovou soustavu.

10 Závěr

Výsledkem práce je návrh dvou variant budov s téměř nulovou spotřebou energie:

- Budova s půdní vestavbou
- Dvoupodlažní budova

Budovy jsou stejného půdorysu, stejného dispozičního řešení, stejné jsou systémy vytápění, větrání a ohřev TUV, stejná spodní stavba. Rozdíl je v použité střešní konstrukci. Hlavními výhodami **dvoupodlažní budovy** oproti **budově s půdní vestavbou** jsou větší solární zisky, lepší tepelná stabilita v letním období, menší rizika spojená s prováděním stavby (montáž parozábrany) a lepší kontrolovatelnost střešní konstrukce během života stavby. Zato však investor zaplatí vyšší cenou. Popis budov je zřejmý z příložené výkresové dokumentace.

V úvodu diplomové práce jsem uvedl přehled současné legislativy týkající se budov s téměř nulovou spotřebou energie, základní právní normy a normy technické. Výsledkem je souhrn požadavků, které musí budovy s téměř nulovou spotřebou energie splňovat a zároveň je zdůrazněno, které požadavky splněny být nemusí. Zde se mohou subjekty rozhodovat podle ekonomického vyhodnocení.

Dále byly uvedeny základní předpoklady pro správný návrh budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Mimo jiné byla porovnávána vhodnost využití alternativních zdrojů energie. Jako nejvhodnější se ukazuje využití fotovoltaických panelů. Základním argumentem pro tuto volbu je využitelnost energie. Alternativa – solární panely a tepelná čerpadla sice pracují s vyšší průměrnou účinností, nicméně jejich využitelnost je omezená *věcně* – nemohou dodávat elektrickou energii, *časově* – nízké využití v létě nebo např. při dlouhodobé nepřítomnosti uživatele domu a *požadovanou potřebou* – dům s téměř nulovou spotřebou energie má poměrně malé nároky na vytápění, převažuje ohřev TUV. V návrhu se předpokládá, že veškerá energie z fotovoltaických panelů bude dodána do veřejné rozvodné sítě, nicméně na základě poměru výkupních cen a nákladů, popř. podpory státu se může investor rozhodnout jinak.

Záměrem 4. kapitoly bylo určit nejvhodnější střešní zateplovací systém. Porovnány byly nadkroevní systémy, zateplení pod a mezi krokvy, jejich kombinace a zateplený strop dvoupodlažní budovy. Kritériem byla odolnost proti kondenzaci uvnitř konstrukce, nároky na řemeslné provedení, náklady na pořízení (ceny stanoveny v programu RTS s cenovou úrovní roku 2014) a vzduchová neprůzvučnost. Důraz byl kladen na kritérium kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce. Byl vytvořen výpočtový model v MS Excel a jednotlivé konstrukce byly porovnávány bez parotěsné zábrany, čímž bylo simulováno protržení parotěsné folie. U nadkroevních systémů je výhodou kontrolovatelnost nosné konstrukce v průběhu životnosti konstrukce a daleko menší pravděpodobnost ztráty parotěsnosti konstrukce vedoucí k degradaci nosných prvků a snížení tepelné ochrany. Nevýhodami je omezená tloušťka izolace (případně nutnost statického ověření sekundárního nosného systému) a podstatně větší cena. Často zmiňovaná výhoda lepšího využití (zvětšení) podkrovního prostoru nemá u novostaveb opodstatnění, naopak u rekonstrukcí je velkou výhodou. Z tohoto důvodu doporučuji tento systém používat právě u rekonstrukcí. U podkroevních systémů je nutno zajistit správný návrh a montáž parotěsné zábrany. Pokud je tato podmínka splněna, jsou podkroevní systémy vhodnější konstrukcí pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Velmi kladně hodnotím zateplení nad stropem posledního podlaží dvoupodlažní budovy, kde platí stejné výhody jako u nadkroevních systémů, navíc zde v podstatě neplatí žádný limit pro tloušťku izolace. Nevýhodou zůstává vysoká cena.

Podstatou kapitoly 5 bylo modelovat detaily tepelných vazeb v programu AREA 2010, určit lineární činitele tepelné propustnosti a zhodnotit vliv těchto tepelných vazeb na celkovou potřebu tepla na vytápění a to včetně hodnotového vyjádření. Hodnocení ukázalo, že poměrně levnými opatřeními lze dosáhnout přijatelného řešení tepelných vazeb, jejichž celkový vliv na potřebu tepla na vytápění je malý a další investice nejsou smysluplné.

Dále byl posouzen zateplovací systém obvodových stěn. Byla analyzována možnost kondenzace v okolí lepící vrstvy. Při normových teplotách okolo $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ bude oblast kondenzace uvnitř zateplovací vrstvy, nicméně při teplotách pod $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ bude u klasického zateplovacího systému oblast kondenzace v okolí lepící vrstvy. Z tohoto důvodu doporučuji fasádní zateplovací desky vždy kotvit (někteří výrobci doporučují u novostaveb desky pouze lepit).

V kapitole 7 byla posouzena tepelná stabilita budovy s půdní vestavbou i dvoupodlažní budovy. Normovým hodnotám vyhověla dvoupodlažní budova, nikoliv budova s půdní vestavbou. Zjištěny byly následující faktory ovlivňující tepelnou stabilitu v hodnocených budovách – *vliv světové strany 50 %*, *vliv stínění 40 %*, *vliv materiálových vlastností (tepelná kapacita, tepelná propustnost) a objem místnosti 10 %*. Dále byl navržen vhodný přesah střechy a analyzován jeho vliv na solární zisky a zároveň tepelnou stabilitu. Kapitola ukázala, jak významnou roli hraje umístění budovy na pozemku. Jižní strana je velmi výhodná nejen kvůli solárním ziskům, ale i pro efektivní stínění a tedy i tepelnou stabilitu.

V 8. kapitole bylo provedeno energetické zhodnocení, soulad s požadavky vyhlášky č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov a zároveň zhodnocena dosažitelnost požadavků této normy. Dále byly stanoveny mezní tloušťky zateplení, po jejichž dosažení již není ekonomicky efektivní tloušťku izolace dále zvyšovat. Posouzení bylo provedeno v programu ENERGIE 2015.

Ve specializované části (kapitola 9) bylo provedeno porovnání hambalkové a vaznicové soustavy střešní konstrukce. Konstrukce byly modelovány v programu SCIA ENGINEER, byly staticky posouzeny prvky a spoje hambalkové soustavy a vaznice vaznicové soustavy. Jako vhodný konstrukční systém byla vybrána vaznicová soustava. U hambalkové soustavy vznikají velké vodorovné reakce podpor a velké normálové síly v krokách. To znamená statické požadavky na dimenzování pozedního věnce, spojovacích prvků a dalších detailů (neposuvný hambalek, přesah střechy nad štítovou stěnou) s tím související nároky na řemeslné provedení těchto prvků. Pakliže by došlo k poškození parotěsné folie a v okolí spojů by docházelo k degradaci dřeva, dojde i k omezení únosnosti těchto spojů, které jsou u hambalkové soustavy více namáhány.

Největší přínos spatřuji ve vyčíslení energetických ztrát jednotlivými konstrukčními detaily a jejich porovnání s náklady na případné řešení těchto detailů. Upozorňuji zde na smysluplnost některých opatření. Hranice smysluplného vydávání investic není nutně v bodě, kde je návratnost totožná s životností stavby, ale je třeba vždy zvážit, zda je možno tu samou investici použít jinde s větším efektem.

Celkově lze říci, že diplomová práce splnila daný záměr. Byla posouzena vhodnost některých stavebních konstrukcí a prvků pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie a byla navržena 2 vhodná řešení těchto budov. Dále práce upozornila i na další podstatné aspekty spojené s touto problematikou – legislativní požadavky a ekonomické vyhodnocení řešení některých detailů.

11 Seznam použité literatury

- [1] *Vliv sklonu a orientace* [online]. EKOWAT, 2008 [cit. 10. října 2015]. Dostupné z: <http://fotovoltaika.ekowatt.cz/vliv-sklonu-orientace.php>
- [2] BECHNÍK, Bronislav. *Příprava teplé vody – fotovoltaika nebo solární tepelné kolektory* [online]. TZBINFO, 2013 [cit. 10. října 2015]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/10453-priprava-teple-vody-fotovoltaika-nebo-solarni-tepelne-kolektory>
- [3] ČSN 730540-4. *Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody*. ÚNMZ, 2011
- [4] STANĚK, Kamil. *Podklady pro cvičení, Úloha 5 – Šíření vodní páry a kondenzace v konstrukci* [online]. Praha: ČVUT, 2012
- [5] ČSN 730540-2. *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. ÚNMZ, 2011
- [6] SLANINA, Petr. *Vlastnosti proděravěných parozábran*. In *Zborník zo sympozia Strechy 2007*, Bratislava: STU v Bratislavě, 2007, s. 141-145
- [7] SVOBODA, Zbyněk. *Tepelně technické vlastnosti stavebních materiálů* [online]. Praha: FSv ČVUT Praha, 2014 [cit. 10. října 2015]. Dostupné z: <http://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&part=people&id=52&sub=216>
- [8] FICKER, Tomáš. *Aplikovaná fyzika, modul 2, Kondenzace ve stavebních konstrukcích*. Brno: VUT Brno, 2008, 166 s.
- [9] SOLAŘ, Jaroslav. *Pozemní stavitelství IV, učební texty VŠB*. Ostrava: VŠB Ostrava, 2007, 309 s., ISBN 978-80-248-1475-9
- [10] ČSN 73 0532. *Akustika – ochrana proti hluku v budovách a související akustické vlastnosti stavebních výrobků : Požadavky*. ÚNMZ, 2010
- [11] *Technický list Unifit_032* [online]. KNAUINSULATION, 2015 [cit. 20. října 2015]. Dostupné z: http://www.knaufinsulation.cz/skelna-vata/unifit_032
- [12] KUTNAR, Zdeněk. *Šikmé střechy, skladby a detaily* [online]. DEKTRADE, 2012 [cit. 10. října 2015]. Dostupné z: https://www.dek.cz/docs/publikace/sikme_strechy-TOPDEK leden 2012.pdf
- [13] *Technická příručka pro projektanty* [online]. HELUZ, 2015 [cit. 10. října 2015]. Dostupné z: <http://www.heluz.cz/uploads/images/pdf/prirucka/prirucka15.pdf>
- [14] *Zateplení šikmé střechy – nadkrokevní* [online]. ROCKWOOL, 2015 [cit. 22. září 2015]. Dostupné z: <http://ke-stazeni.rockwool.cz/media/601459/rw-detaily-sikme-strechy.pdf>
- [15] *Šikmé střechy* [online]. KNAUINSULATION, 2015 [cit. 20. října 2015]. Dostupné z: <http://www.knaufinsulation.cz/cad-detaily/sikma-strecha>
- [16] SKŘIPSKÝ, Jiří. *Vzduchotěsnost dřevostaveb v souvislostech*. [online]. TZBINFO, 2010 [cit. 30. listopadu 2015]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/6758-vzduchotesnost-drevostaveb-v-souvislostech>
- [17] MUSÍLEK, Josef. *Výpočetní modely vaznicového krovu* [online]. TZBINFO, 2013 [cit. 22. října 2015]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/drevene-a-ocelove-konstrukce/9982-vypocetni-modely-vaznicoveho-krovu>
- [18] ČSN EN 1995-1-1. *Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. ÚNMZ, 2006

- [19] SÝKORA, K., STRAKA, B. *Dřevěné konstrukce, modul M01, Mechanické vlastnosti dřeva*, učební texty VUT Brno. VUT Brno 2005, 125 s
- [20] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. ČNI, 2004
- [21] ČSN EN 1991-1-4, Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*, ČNI, 2007
- [22] ČSN EN 1990, Eurokód: *Zásady navrhování konstrukcí*. ČNI, 2004
- [23] *Součinitel tepelné vodivosti λ (thermal conductivity coefficient)* [online]. TZBINFO, [cit. 22. října 2015]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/drevene-a-ocelove-konstrukce/9982-vypocetni-modely-vaznicoveho-krovu>
- [24] ŠUBRT Roman. *Tepelné mosty*. Praha: Grada Publishing 2011, 224 s, ISBN 978-80-247-4059-1
- [25] ČSN 72 7014. *Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu, Vyhodnocení zkoušek*. ČNI, 1994
- [26] KUBŮ, Marcela. *Stanovení návrhových hodnot součinitele tepelné vodivosti minerální izolace*. [online]. TZBINFO 2015, [cit. 22. října 2015]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/12240-stanoveni-navrhovych-hodnot-soucinitele-tepelne-vodivosti-mineralni-izolace>
- [27] TNI 73 0331. *Energetická náročnost budov - Typické hodnoty pro výpočet*. ÚNMZ, 2013
- [28] *Parametry dřevěných a dřevohliníkových oken* [online]. SLAVONA, 2015. Dostupné z: <http://www.slavona.cz/nova-zelena-usporam/>
- [29] SVOBODA, Zbyněk. *Lineární činitel prostupu tepla* [online]. Praha: FSv ČVUT Praha 2015, [cit. 10. října 2015]. Dostupné z: <http://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&part=people&id=52&sub=216>
- [30] ČSN EN ISO 13788. *Tepelně-vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků, vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce - výpočtové metody*. ÚNMZ, 2011
- [31] *Izolační blok z pěnového skla, FOAMGLAS® PERINSUL, ceník* [online]. 2015, [cit. 22. října 2015]. Dostupné z: cz.foamglas.com
- [32] *Solární zisky versus tepelný most*. Internetová poradna Slavona s.r.o [online], Slavonice, 2015. Dostupné z: <http://www.slavona.cz>
- [33] ČSN EN 13791. *Tepelné chování budov, Výpočet vnitřních teplot v místnosti v letním období bez strojního chlazení, základní kritéria a validační postupy*. ÚNMZ, 2012
- [34] SVOBODA, Zbyněk. *Výpočet energetické náročnosti budov* [online]. Praha: FSv ČVUT Praha, 2014 [cit. 10. října 2015]. Dostupné z: <http://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&part=people&id=52&sub=216>
- [35] Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov. In: č. 36/2013, s. 738
- [36] *Mezní stavy použitelnosti*. Ostrava, VŠB Ostrava 2015 [cit. 12. prosince 2015]. Dostupné z: <http://homel.vsb.cz/~ros11/Drevo/05%20Mezni%20stav%20pouzitelnosti.pdf>
- [37] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU, o energetické náročnosti budov. Evropský parlament a rada Evropské unie, 2010

- [38] Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií, In: č.115/2000, s.5314
- [39] Vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby. In: č. 81/2000, s.3702
- [40] Zákon č.183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). In: č.53/2006, s. 2226
- [41] Zákon č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů. In: č. 6/1997, s 0128
- [42] ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin.* ÚNMZ, 2005

12 Seznam použitých symbolů

f_{R_s}	teplotní faktor vnitřního povrchu[-]
$f_{R_{s,i,N}}$	teplotní faktor vnitřního povrchu, požadovaná hodnota[-]
t_{si}	vnitřní povrchová teplota [°C]
$t_{si,N}$	vnitřní povrchová teplota, požadovaná hodnota[°C]
U	součinitel prostupu tepla [W/m ² K]
U_N	požadovaný součinitel prostupu tepla[W/m ² K]
Ψ	lineární činitel prostupu tepla [W/mK]
Ψ_N	lineární činitel prostupu tepla [W/m K]
χ	bodový činitel prostupu tepla [W/K]
χ_N	požadovaná hodnota bodového činitele prostupu tepla [W/K]
M_c	roční množství zkondenzované vodní páry (kg/m ² a)
$M_{c,N}$	požadovaná hodnota ročního množství zkondenzované vodní páry (kg/m ² a)
$n_{50,N}$	doporučená hodnota celkové výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa [h ⁻¹]
n_N	požadovaná intenzita větrání v místnosti, stanovená z potřebných minimálních průtoků čerstvého vzduchu stanovených ve zvláštních předpisech [h ⁻¹]
$\Delta t_{v,N}$	požadovaná hodnota poklesu výsledné teploty v místnosti v zimním období [°C]
$p''(x)$	částečný tlak nasycené vodní páry v místě x [Pa]
$p(x)$	částečný tlak vodní páry v místě x [Pa]
$t(x)$	teplota v místě x [°C]
t_i	vnitřní teplota [°C]
t_e	venkovní teplota [°C]
$R_{s,i}$	odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [m ² .K/W]
$R_{s,e}$	odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [m ² .K/W]
$R(x)$	tepelný odpor v místě x [m ² .K/W]
R	tepelný odpor konstrukce [m ² .K/W]
λ	tepelná vodivost [W/m ² .K]
$p(x)$	parciální tlak vodní páry v místě x [Pa]
p_i	parciální tlak vodní páry ve vnitřním prostředí [Pa]
p_e	parciální tlak vodní páry ve venkovním prostředí [Pa]
$R_d(x)$	difuzní odpor konstrukce v místě x [m/s]
$R_d(\text{tot})$	celkový difuzní odpor konstrukce [m/s]
μ	činitel difuzního odporu [-]
δ_a	součinitel difúzní vodivosti vzduchu [s]
S_d	ekvivalentní difuzní tloušťka [m]
$\sigma_{m,d}$	návrhová hodnota napětí v ohybu [MPa]
$\sigma_{c,d}$	návrhová hodnota napětí v tlaku [MPa]
$f_{m,d}$	návrhová hodnota pevnosti v ohybu [MPa]
$f_{c,0,d}$	návrhová hodnota pevnosti v tlaku ve směru vláken [MPa]
k_{krit}	faktor zohledňující přídavné napětí způsobené postraním vybočením
$k_{c,zs}$	součinitel vzpěrnosti
M_d	návrhová hodnota ohybového momentu [kNm]
$N_{c,d}$	návrhová hodnota tlakové síly v [kN]
k_{mod}	modifikační faktor trvání zatížení a vlhkosti dřeva [-]
$f_{m,k}$	charakteristická hodnota pevnosti v ohybu [MPa]
$f_{c,0,k}$	charakteristická hodnota pevnosti v tlaku ve směru vláken [MPa]
γ_m	součinitel spolehlivosti

λ_z	štíhlost vzhledem k ose z
$f_{c,0,k}$	charakteristická hodnota pevnosti v tlaku ve směru vláken [MPa]
$E_{0,05}$	5%-ní kvantil modulu pružnosti ve směru vláken [MPa]
$i_{z,p}$	poloměr setrvačnosti [mm ²]
L_{cr}	kritická délka [mm]
$\sigma_{m,krit}$	kritické napětí [MPa]
$F_{vR,d}$	návrhová únosnost spoje [N]
F_d	návrhové zatížení spoje [N]
w_{fin}	deformace s dotvarováním [mm]
w_{inst}	okamžitá deformace od zatížení [mm]
A_g	plocha zasklení [m ²]
U_g	součinitel propustnosti tepla prosklené plochy [W/ K m ²]
U_f	součinitel propustnosti tepla rámu prosklené plochy [W/ K m ²]
l_g	obvod prosklení v místě distančního rámečku [m]
Ψ_g	lineární činitel prostupu tepla v místě distančního rámečku [W/K m]
Ψ_f	lineární činitel prostupu tepla rámu okna [W/ K m]
L	vypočtená tepelná propustnost hodnoceným detailem [W/m.K]

13 Přílohy

A) Zpráva požárně bezpečnostního řešení

B) Výkresová dokumentace

Situační výkresy:

- C.1 – SITUAČNÍ VÝKRES ŠIRŠÍCH VZTAHŮ, M1:500

Architektonicko stavební řešení:

- D.1.1.01 – PŮDORYS 1.NP BUDOVI S PŮDNÍ VESTAVBOU, M1:50
- D.1.1.02 – PŮDORYS 2.NP BUDOVI S PŮDNÍ VESTAVBOU, M1:50
- D.1.1.03 – PŘÍČNÝ ŘEZ BUDOVI S PŮDNÍ VESTAVBOU, M1:50
- D.1.1.04 – PŘÍČNÝ ŘEZ DVOUPODLAŽNÍ BUDOVI, M1:50
- D.1.1.05 – PŮDORYS 2.NP DVOUPODLAŽNÍ BUDOVI, M1:50
- D.1.1.06 – PŮDORYS 1.NP DVOUPODLAŽNÍ BUDOVI, M1:50
- D.1.1.07 – POHLED Z JIŽNÍ STRANY, BUDOVA S PŮDNÍ VESTAVBOU, M1:50
- D.1.1.08 – POHLED ZE ZÁPADNÍ STRANY, BUDOVA S PŮDNÍ VESTAVBOU, M1:50
- D.1.1.09 – POHLED Z JIŽNÍ STRANY - DVOUPODLAŽNÍ BUDOVA, M1:50
- D.1.1.10 – POHLED ZE ZÁPADNÍ STRANY - DVOUPODLAŽNÍ BUDOVA, M1:50
- D.1.1.11 – KROV BUDOVI S PŮDNÍ VESTAVBOU, M1:50

Stavebně konstrukční řešení:

- D.1.2.01 – SOKLOVÁ ČÁST, OBĚ BUDOVY, M1:10
- D.1.2.02 – PARAPET A NADPRAŽÍ OKNA, OBĚ BUDOVY, M1:10
- D.1.2.03 – DETAIL POZEDNICE, BUDOVA S PŮDNÍ VESTAVBOU, M1:10