

Mendelova univerzita v Brně
Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav nauky o dřevě

**Numerická analýza teplotního pole v konstrukci obvodového pláště
dřevostavby rodinného domu s ohledem na možné způsoby osazování
otvorových výplní**

Diplomová práce

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Numerická analýza teplotního pole v konstrukci obvodového pláště dřevostavby rodinného domu s ohledem na možné způsoby osazování otvorových výplní vypracoval/a samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne

Podpis

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu diplomové práce Mgr. Ing. Miroslavu Trcalovi, Ph.D. za jeho odbornou pomoc, drahocenné rady, ochotu a v neposlední řadě trpělivost.

Abstrakt

Autor práce: Bc. Ondřej Kopal

Název práce: Numerická analýza teplotního pole v konstrukci obvodového pláště dřevostavby rodinného domu s ohledem na možné způsoby osazování otvorových výplní

Tato diplomová práce se zabývá popisem teplotního pole v obvodovém plášti dřevostavby s ohledem na možné způsoby osazování otvorových výplní. Dále v této práci nalezneme popis šíření tepla ve stavební konstrukci. Úkolem je vytvoření 2-D modelů vybraných konstrukčních řešení pro osazování otvorových výplní v obvodovém plášti dřevostavby. Numerická simulace je provedena ve výpočetním softwaru založeném na metodě konečných prvků za daných okrajových podmínek. Důraz je kladen na porovnání výsledků numerických simulací pro dvě konstrukční řešení osazování oken při použití stejné skladby dané konstrukce. V závěru práce jsou výsledky pro obě konstrukční řešení porovnány a vyhodnoceny.

Klíčová slova: dřevostavba, vedení tepla, Fourierův zákon, teplotní pole, numerická analýza.

Abstract

Author of thesis: Bc. Ondřej Kopal

The title of thesis: Numerical analysis of temperature field in the design envelope wooden buildings house with regard to possible ways of mounting hole fillings

This thesis describes the temperature field in the envelope wooden structures with regard to possible ways of mounting hole fillings. Furthermore, in this work we can find a description of the propagation of heat in the building structure. The challenge is to create a 2-D models of the selected design solutions for the mounting hole fillings in the envelope wooden buildings. Numerical simulation is performed in a computer software based on the finite element method under the given boundary conditions. The emphasis is on comparing the results of numerical simulations for two design solutions fitting windows using the same track of the structure. In conclusion, the results for both design solutions compared and evaluated.

Key words: wooden structure, heat conduction, Fourier's law, temperature field, numerical analysis.

Obsah

1.	Úvod.....	1
2.	Cíl práce	2
3.	Literární přehled.....	3
3.1.	Přenos tepla ve dřevě	3
3.1.1.	Vedení (kondukce) tepla	5
3.1.2.	Proudění (konvekce) tepla.....	6
3.2.	Teplotní pole	7
3.3.	Metoda konečných prvků.....	8
4.	Metodika	9
4.1.	Skladba obvodového pláště.....	9
4.2.	Vlastnosti použitých materiálů.....	11
4.3.	Numerická simulace.....	12
4.3.1.	Práce se softwarem.....	12
4.3.2.	Okrajové podmínky.....	13
4.3.3.	Řešené detaily	14
5.	Výsledky a diskuze	18
5.1.	Teplotní pole	18
5.2.	Tlak nasycených vodních par.....	40
5.3.	Parciální tlak vodní páry	58
5.4.	Relativní vlhkost	76
6.	Závěr	89
7.	Summary	90
8.	Seznam použité literatury.....	91
8.1.	Knižní zdroje.....	91
8.2.	Internetové zdroje.....	91
8.3.	Normy	92

1. Úvod

Dřevo jako stavební materiál je lidstvem využíváno od nepaměti. Se současnými vědomostmi a technologiemi je možné dosáhnout velmi dobrých vlastností staveb na bázi dřeva. Jednou z často diskutovaných vlastností dřevostaveb je jejich životnost.

Jelikož je dřevo hygroskopický materiál a tak je schopno v závislosti na okolních podmínkách vlhkost přijímat i vydávat, což zapříčiňuje změnu jeho vlastností a to nejen změnu rozměrů, je třeba už od prvotního návrhu konstrukce a konstrukčních detailů dbát na jeho konstrukční ochranu. Krizovým obdobím pro konstrukci dřevostavby jsou zimní měsíce, kdy je snaha udržet teplotu interiéru v mezích komfortu, naopak venkovní teplota klesá pod bod mrazu a vzniká tak nárůst teplotního spádu. Právě takové podmínky je třeba uvažovat při řešení teplotního a vlhkostního pole v konstrukci.

V současné době je kladen velký důraz na minimalizaci nákladů na vytápění budov. Z toho důvodu je snahou eliminovat místa, kde by ke zvýšeným tepelným ztrátám mohlo docházet a to jak při prvotním konstrukčním návrhu, tak i při realizaci stavby. Jedním z takových případů je i místo osazení okna do obvodového pláště dřevostavby.

Model teplotního pole v konstrukci dřevostavby je zásadní pro další posouzení konstrukce, respektive pro vytvoření modelu vlhkostního pole, který následně slouží k odhalení míst, kde by mohlo docházet ke kondenzaci vodní páry. Zkondenzovaná vodní pára je velkým nepřítelem konstrukce dřevostavby, protože může zapříčinit její nevratné poškození, které má přímý vliv na funkci a životnost stavby.

K ověření správnosti návrhů skladeb stěn a konstrukčních detailů se využívají numerické simulace, kdy jsme schopni na základě zadaných parametrů zjistit rozložení teplotního pole, tlaku nasycených vodních par, parciálního plaku vodní páry a následně i vlhkosti v konstrukci.

2. Cíl práce

Cílem této diplomové práce je pomocí softwaru, založeného na metodě konečných prvků, vytvořit simulaci teplotního pole v konstrukci, konkrétně v obvodové stěně dřevostavby v místě osazení okna. Dalším z cílů je provést teoretickou analýzu vedení tepla uvnitř obvodového pláště dřevostavby s využitím Fourierova zákona. Simulace bude probíhat za konkrétních ustálených podmínek, tedy jako stacionární. Součástí práce je vyobrazení simulací vytvořených v příslušném softwaru. Hlavním výstupem této práce je grafické znázornění rozložení teplotního pole a relativní vlhkosti v konstrukci a porovnání těchto výsledků pro dvě různá konstrukční řešení osazení okna u dvou různých konstrukcí obvodové stěny.

3. Literární přehled

Modelování teplotního pole v konstrukci je jedním z prvních kroků při navrhování skladeb konstrukcí a konstrukčních detailů. Je to způsob jak odhalit případné tepelné mosty a následně i místa, kde by mohlo dojít ke kondenzaci vodní páry. Konstrukční detaily jako jsou rohové spoje obvodových stěn, napojení vodorovných a svislých konstrukcí, ale také osazení otvorových výplní jsou místa, která si zaslouží velkou pozornost. Nesprávné konstrukční řešení těchto detailů může způsobit nejen nežádoucí ztráty tepla, ale také kondenzaci vodní páry. Zvýšená vlhkost pak způsobuje degradaci prvků konstrukce a výrazně se tak snižuje životnost stavby. Touto problematikou se ve své práci zabývá například Künzell (1995).

3.1. Přenos tepla ve dřevě

Znalost procesů spojených s přenosem (sdílením) tepla ve dřevě nám umožňuje předvídat rozložení teplot v tělese, rychlost ohřevu apod. Přenos tepla ve dřevě se může teoreticky uskutečňovat ve třech základních formách - vedením (kondukcí), prouděním (konvekcí) a sáláním (radiací). Analogicky k pohybu vody vázané ve dřevě je i tepelný tok možno popsat jako stacionární nebo nestacionární děj. Je-li po celou dobu vedení tepla v tělese konstantní teplotní spád, popisujeme přenos tepla stacionárním dějem, není-li teplotní spád konstantní, pak mluvíme o nestacionárním přenosu tepla. Poznání zákonitostí přenosu tepla se uplatňuje tam, kde potřebujeme znát časově-prostorové rozložení teploty ve dřevě (Horáček, 2008).

Měrné teplo

Dřevo, stejně jako každá jiná látka, je schopno teplo akumulovat. Veličinou této vlastnosti je měrné teplo c . Tato veličina udává množství tepla, které je nutné na ohřátí jednotkové hmotnosti dřeva o 1°K .

$$c = \frac{Q}{m \Delta T}$$

kde c je měrné teplo ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), Q množství tepla (J), m hmotnost tělesa (kg), ΔT rozdíl teplot (K)

Koeficient tepelné vodivosti

Koeficient tepelné vodivosti vyjadřuje množství tepla, které proteče jednotkovou plochou za jednotku času při jednotkovém gradientu teploty. Koeficient tepelné vodivosti tedy popisuje změnu teploty v prostoru a předpokládá konstantní průběh v čase, což odpovídá stacionárním podmínkám děje.

Tepelná vodivost dřeva závisí do značné míry na hustotě a vlhkosti dřeva. MacLean (1941) navrhl empirickou rovnici pro stanovení λ v příčném směru ve tvaru:

$$\lambda_{kolmo} = \rho_k (0,217 + aw) + 0,024 P_w$$

Kde ρ_k je konvenční hustota ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), w vlhkost dřeva (%), P_w pórovitost (%),
a koeficient ($a=0,0040$ pro $w < 40\%$ a $a=0,0055$ pro $w > 40\%$)

Tepelná vodivost ve směru vláken je podle téhož autora ve vztahu k λ_{kolmo} :

$$\lambda_{podel} = 2,5 \lambda_{kolmo}$$

Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla U ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$) vyjadřuje celkovou výměnu tepla v ustáleném stavu mezi dvěma prostředími vzájemně oddělenými stavební konstrukcí o tepelném odporu R s přilehlými mezními vzduchovými vrstvami.

$$U_T (U) = \frac{1}{R_T}$$

kde R_T je odpor konstrukce při prostupu tepla ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)

Součinitel prostupu tepla U a tepelný odpor konstrukce R se stanoví pro podmínky ustáleného šíření tepla při zimních návrhových okrajových podmínkách. Součinitel prostupu tepla U ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$) i odpor při prostupu tepla R ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) vyjadřují prostup tepla celou konstrukcí. Proto musíme zahrnout vliv všech tepelných mostů a jiných zdrojů navýšení tepelných toků obsažených v konstrukci.

3.1.1. Vedení (kondukce) tepla

Probíhá-li přenos tepla v hmotném prostředí, jehož objemové elementy zůstávají v klidu, je přenos tepla charakterizován vedením. Tepelný tok v látce je obecně popsán Fourierovým zákonem vedení tepla (Horáček, 2008):

$$\mathbf{q} = -\lambda \nabla T$$

kde \mathbf{q} je hustota tepelného toku (W m^{-2}), λ koeficient tepelné vodivosti ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$) a ∇T je teplotní gradient v tělese ($^{\circ}\text{K}$).

Fourierův zákon pro 1D vedení tepla má následující podobu:

$$\frac{Q}{St} = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

kde Q je množství tepla (J), S plocha tělesa (m^2), t čas (s), λ koeficient tepelné vodivosti ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), ΔT teplotní rozdíl na koncích tělesa (K), Δx vzdálenost rozdílných teplot (m).

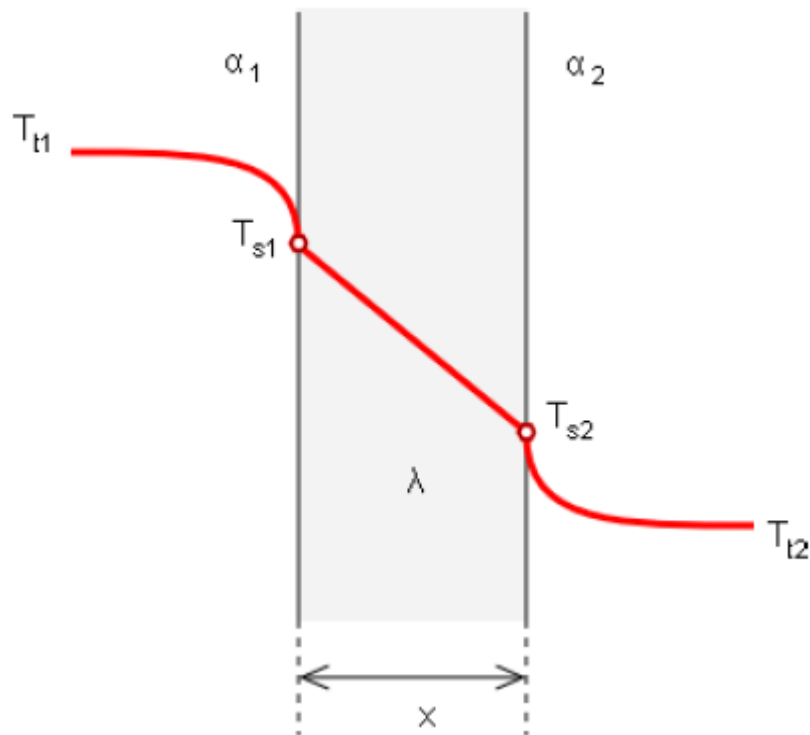
3.1.2. Proudění (konvekce) tepla

Proudění je přenos tepla hmotným prostředím, jehož objemové elementy vykonávají translační pohyb. Prouděním se tedy popisuje tepelný tok v tekutinách nebo na rozhraní tekutiny a pevné látky. Děj popisuje Newtonův zákon ochlazování (Horáček, 2008):

$$\mathbf{n} \cdot \mathbf{q} = \alpha (T_S - T_\infty)$$

kde $\mathbf{n} \cdot \mathbf{q}$ je tepelný tok (W), α koeficient přestupu tepla ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$), T_S teplota povrchu pevné látky (K), T_∞ je teplota kapaliny (K) a S je plocha kolmá k tepelnému toku (m^2).

Tepelný tok v konstrukci stěny



Obr. 1. Znárodnění prostupu tepla stěnou (Prostup tepla stěnou)

T_{S1} (K) představuje teplotu interiéru, T_{S2} (K) teplotu exteriéru v zimním období, α_1 a α_2 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$) jsou součinitele přestupu tepla z interiéru, respektive exteriéru, λ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) je součinitel tepelné vodivosti daného materiálu a x představuje tloušťku daného materiálu. Se snižující se hodnotou součinitele tepelné vodivosti λ a zvětšující se

tloušťkou materiálu x klesá množství tepla, které projde stěnou za ustáleného stavu. Pro výpočet uvažujeme pro daný případ s konstantními hodnotami α_1 a α_2 dle ČSN 73 054.

3.2. Teplotní pole

Teplotním polem se rozumí funkce, která každému bodu oblasti Ω přiřazuje jednoznačně termodynamickou teplotu. Vzniká tedy prostor, v jehož každém místě je zcela určitá termodynamická teplota. Za stacionárních podmínek je konstantní, za nestacionárních časově proměnná. Termodynamickou teplotou $T[\text{K}]$ se rozumí teplota určovaná podle zákonů termodynamiky a lze ji volit za míru kinetické energie pohybujících se molekul (Trcala 2007).

Stacionární difúze I. Fourierův zákon, lineární rozložení teploty, 1-D:

$$\frac{d}{dx} \left(\lambda \frac{dT}{dx} \right) = 0$$

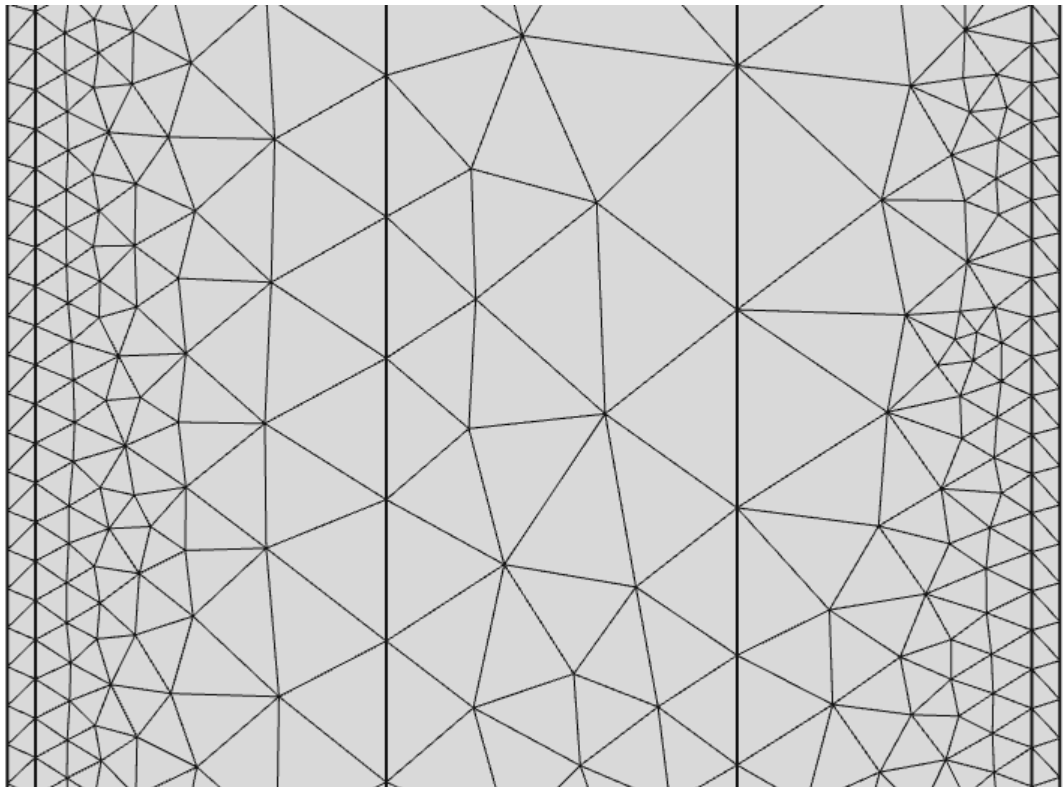
Parciální diferenciální rovnice nazýváme II. Fourierovým zákonem a jejich řešením dostáváme rozložení teploty v tělese v závislosti na poloze a času, tedy $T = f(x, t)$. Obecný tvar II. Fourierova zákona v kartézské souřadné soustavě má tvar:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = c\rho \frac{\partial T}{\partial t}$$

Při řešení uvedených rovnic je nutné znát okrajové podmínky pro vyrovnávání teploty na povrchu tělesa, rozložení teploty v počátečním okamžiku a hodnotu cílové teploty, na kterou se má těleso ohřát nebo ochladit. Okrajové podmínky jsou vedeny pouze na hranicích geometrického modelu s vnitřním a vnějším prostředím (vzduch). Nežadávají se na hranicích modelu a okolní konstrukce. Hranice je nazývána jako adiabatická hranice. V České republice jsou definovány vnitřní pokojové teploty normou ČSN 06 0210.

3.3. Metoda konečných prvků

Metoda konečných prvků je přibližná numerická metoda, která vychází z Ritz-Galerkinovy variační metody. Používá se pro řešení problémů popsaných diferenciálními rovnicemi. Často je také označována jako analýza konečných prvků. Tato metoda využívá rozdělení spojité oblasti na menší, jednodušší samostatné podoblasti, které nazýváme konečnými prvky.



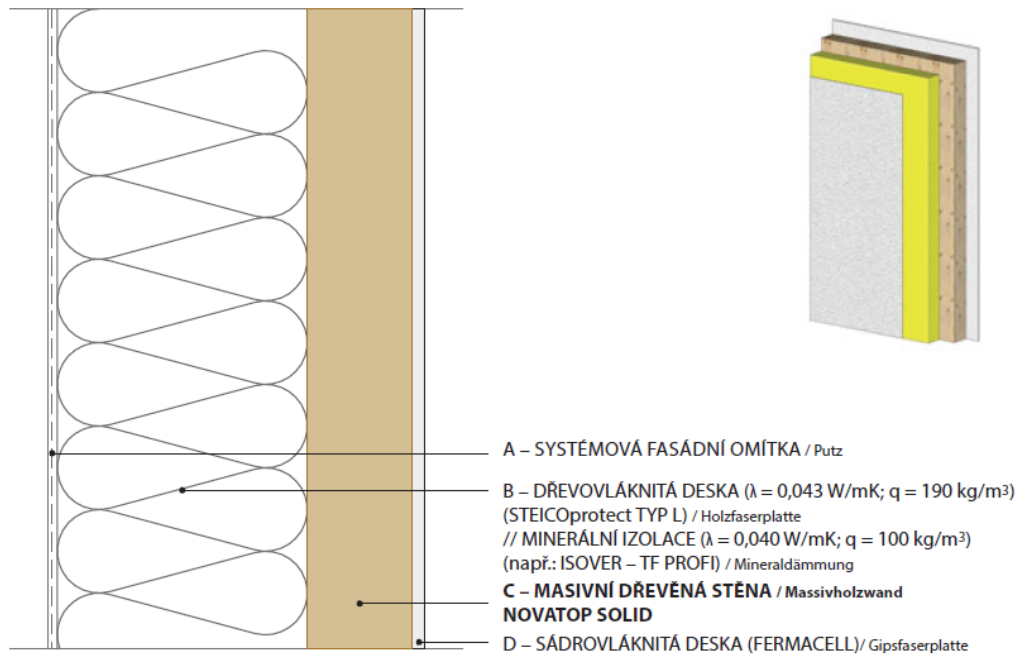
Obr. 2. Příklad vysíťování modelu, tedy jeho rozdělení na menší části

Použitý software zvládá řešit více geometrií zároveň a umožňuje tak zobrazovat výsledky více geometrií v jednom grafu. V této práci jsou definovány čtyři geometrie, přičemž výsledky pro dvě z nich jsou vždy porovnávány.

4. Metodika

4.1. Skladba obvodového pláště

Pro první dva modely byla vybrána difusně otevřená konstrukce obvodové stěny od firmy Novatop. Nosnou konstrukci tvoří masivní dřevěný panel Novatop Solid.



Obr. 3. Skladba obvodové stěny (Podklady pro projektování)

Tab. 1 Tabulka dodávaných rozměrů (Podklady pro projektování)

W 100	rozměry [mm] / Dimensionen					požární odolnost / Feuerwiderstand /stanoveno výpočtem/ /bestimmt durch Berechnung/	vzduchová neprůzvučnost / Luftschalldämmung /stanoveno výpočtem/ /bestimmt durch Berechnung/	součinitel prostupu tepla / Wärmedurchgangszahl /stanoveno výpočtem/ /bestimmt durch Berechnung/
	fasádní omítka / Putz	dřevovláknitá izolace / Holzfaserdämmung	NOVATOP Solid	sádrovláknitá deska / Gipsfaserplatte	celková tloušťka konstrukce / Gesamtstärke der Konstruktion			
č.	A	B	C	D	Σ	REI/EI [min]	Rw [dB]	U [W/m²K]
1	8	120	62	10	200	REI 30	47	0,29
2	8	200	62	10	280	REI 30	47	0,19
3	8	300	62	10	380	REI 30	48	0,13
4	8	120	84	10	222	REI 60	48	0,28
5	8	200	84	10	302	REI 60	49	0,18
6	8	300	84	10	402	REI 60	50	0,13
7	8	120	84		212	REI 45	48	0,28
8	8	200	84		292	REI 45	49	0,18
9	8	300	84		392	REI 45	50	0,13
10	8	200	124		332	REI 60	50	0,17
11	8	300	124		432	REI 60	51	0,12
12	8	200	124	10	342	REI 60	52	0,17

Pro řešený model byla zvolena varianta číslo 8, tedy skladba s celkovou tloušťkou 292 mm s masivním dřevěným panelem Novatop Solid o tloušťce 84 mm a 200 milimetry tepelné izolace.

Pro další dva modely byla zvolena skladba vlastního návrhu s celkovou tloušťkou 416 mm. Nosnou část tvoří smrkové hranoly 160 x 60 mm.

Fasádní omítka	8 mm
Dřevovláknitá izolace	160 mm
Dřevovláknitá deska Fermacell	15 mm
Nosný rám, dřevovláknitá izolace	160 mm
OSB Egger	18 mm
Instalační předstěna (smrk, dřevovláknitá izolace)	40 mm
Dřevovláknitá deska Fermacell	15 mm

4.2. Vlastnosti použitých materiálů

Tab. 2 Tabulka koeficientů tepelné vodivosti použitých materiálů

Materiál	λ (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)
Dřevovláknitá deska Fermacell	0,32
Dřevovláknitá deska Steico proteck typ L	0,043
OSB Egger OSB3 EO PD	0,13
Dřevěný hranol smrk kolmo k vláknům	0,18
Dřevěný hranol smrk podél vláken	0,45
Fasádní omítka	0,7
Masivní dřevěná stěna Novatop Solid	0,13

Tab. 3 Tabulka součinitelů difuzní propustnosti vodní páry použitých materiálů

Materiál	$\delta_n \cdot 10^9$ (s)
Dřevovláknitá deska Fermacell	0,014
Dřevovláknitá deska Steico proteck typ L	0,038
OSB Egger OSB3 EO PD	0,001
Dřevěný hranol smrk kolmo k vláknům	0,0012
Dřevěný hranol smrk podél vláken	0,042
Fasádní omítka	0,015
Masivní dřevěná stěna Novatop Solid	0,0012

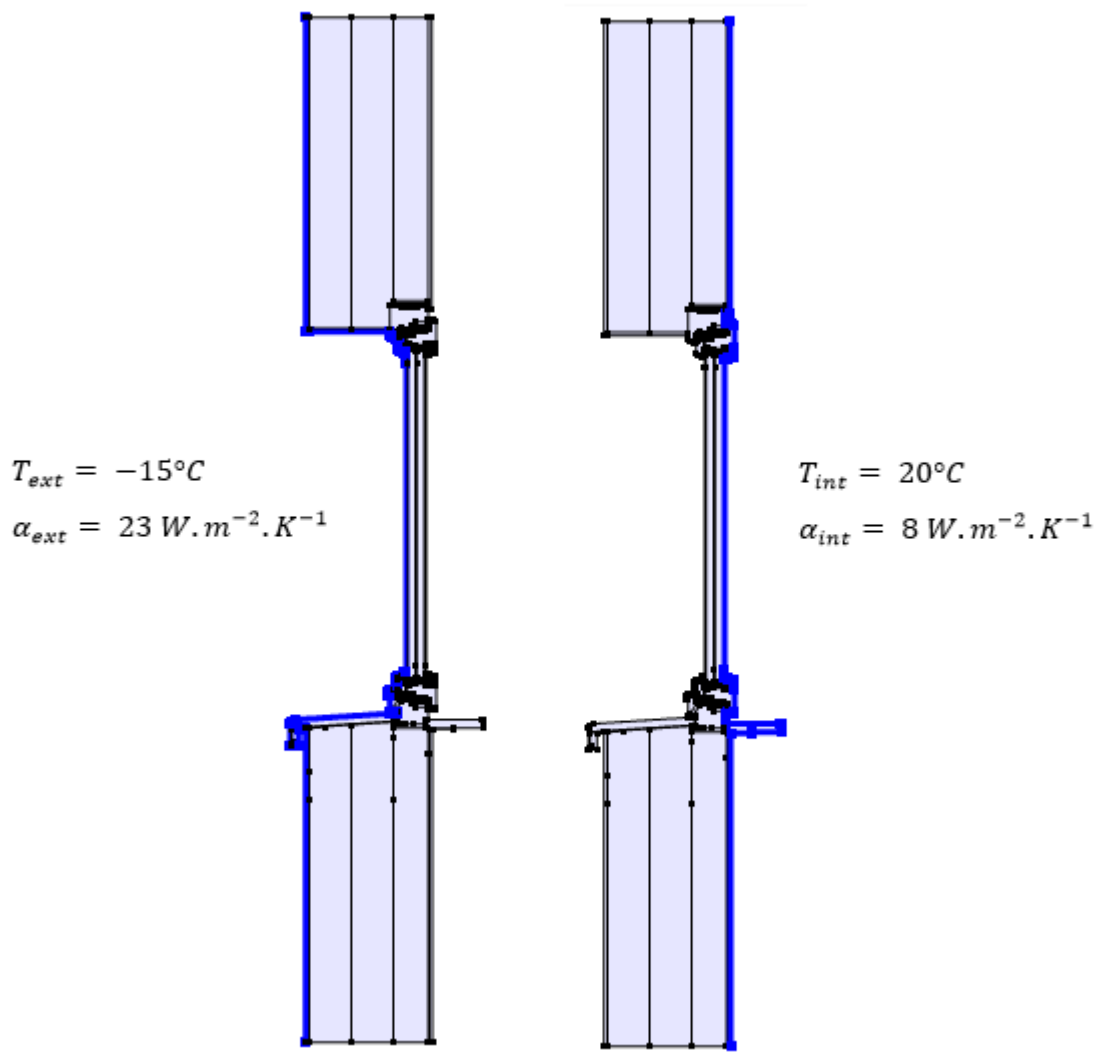
Vlastnosti použitých materiálů jsou převzaty z podkladů poskytovaných výrobcí.

4.3. Numerická simulace

4.3.1. Práce se softwarem

Definování numerického modelu řešených konstrukčních detailů bylo provedeno pomocí softwaru založeném na metodě konečných prvků. Prvním krokem bylo vytvoření 2D modelů geometrií jednotlivých konstrukčních detailů. Každé části modelu byly přiřazeny patřičné materiálové vlastnosti potřebné pro výpočet. Pro účely této práce, tedy výpočet teplotního pole a relativní vlhkosti se jednalo o součinitele tepelné vodivosti a součinitele difuzní propustnosti vodní páry. Okrajové podmínky pro výpočet teplotního pole byly zadány pomocí teploty interiéru a exteriéru a koeficientů přestupu tepla. Pro potřeby výpočtu relativní vlhkosti jsem přímo předepsal hodnoty parciálního tlaku vodních par na povrchu konstrukce, tedy na interiérové a exteriérové straně. Výpočet probíhal za ustálených podmínek, tedy jako stacionární (derivace podle času jsou rovny nule).

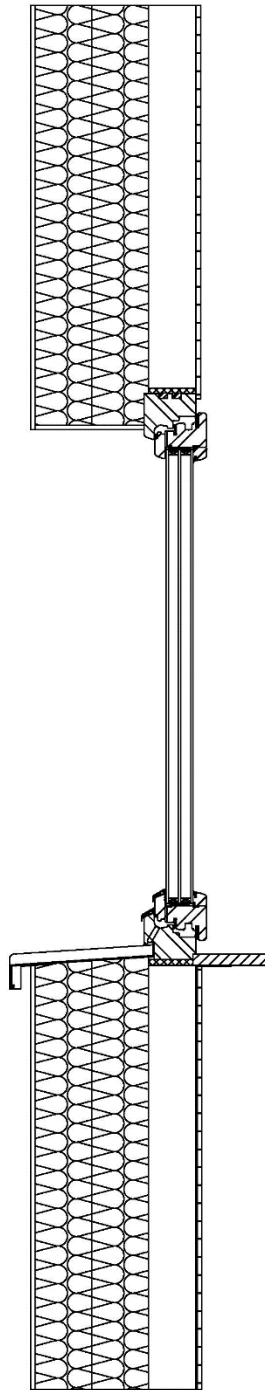
4.3.2. Okrajové podmínky



Obr. 4. Okrajové podmínky řešeného detailu

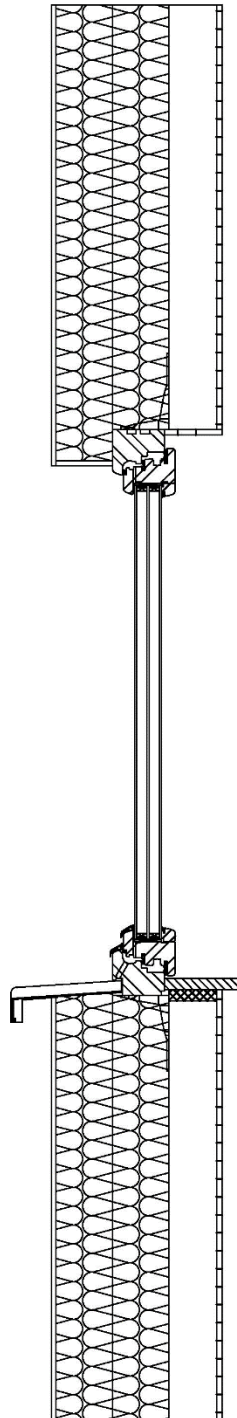
Okolní prostředí řešeného detailu je definováno teplotou vzduchu na interiérové a exteriérové straně. Tyto podmínky jsou stejné pro všechny řešené varianty. Pro potřeby výpočtu je nutné znát teplotní oblast. V tomto případě jsem uvažoval teplotní oblast 2 dle ČSN 73 0540-3. Uvažovaná teplota exteriéru je tedy $-15^{\circ}C$ a teplota interiéru $20^{\circ}C$. Hodnota součinitele přestupu tepla se uvažuje $23 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ pro exteriér a $8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ pro interiér.

4.3.3. Řešené detaily



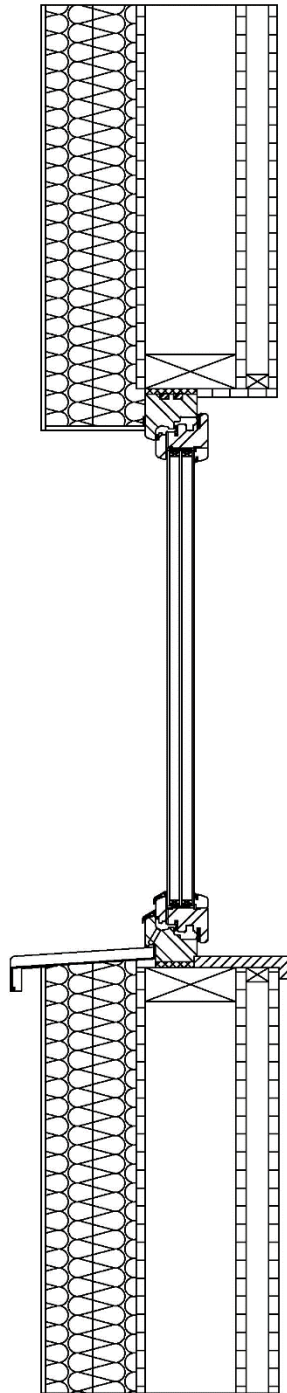
Obr. 5. Zobrazení osazení č. 1

Na obrázku číslo 5 je vyobrazeno osazení okna v konstrukci obvodového pláště. Zde je použit systém Novatop a okno je osazeno v úrovni nosné části, tedy panelu Novatop Solid.



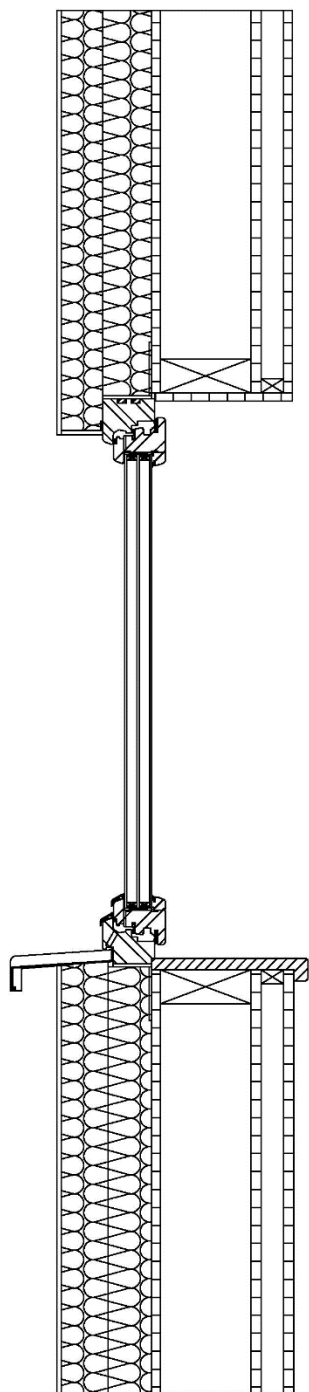
Obr. 6. Zobrazení osazení č. 2

Na obrázku číslo 6 je vyobrazeno osazení okna v konstrukci obvodového pláště. Zde je použit systém Novatop a okno je předsazeno do úrovně tepelné izolace. K nosné části konstrukce, tedy panelu Novatop Solid je připevněno pomocí úhelníků.



Obr. 7. Zobrazení osazení č. 3

Na obrázku číslo 7 je vyobrazeno osazení okna v konstrukci obvodového pláště. Zde je okno osazeno v úrovni nosné části.



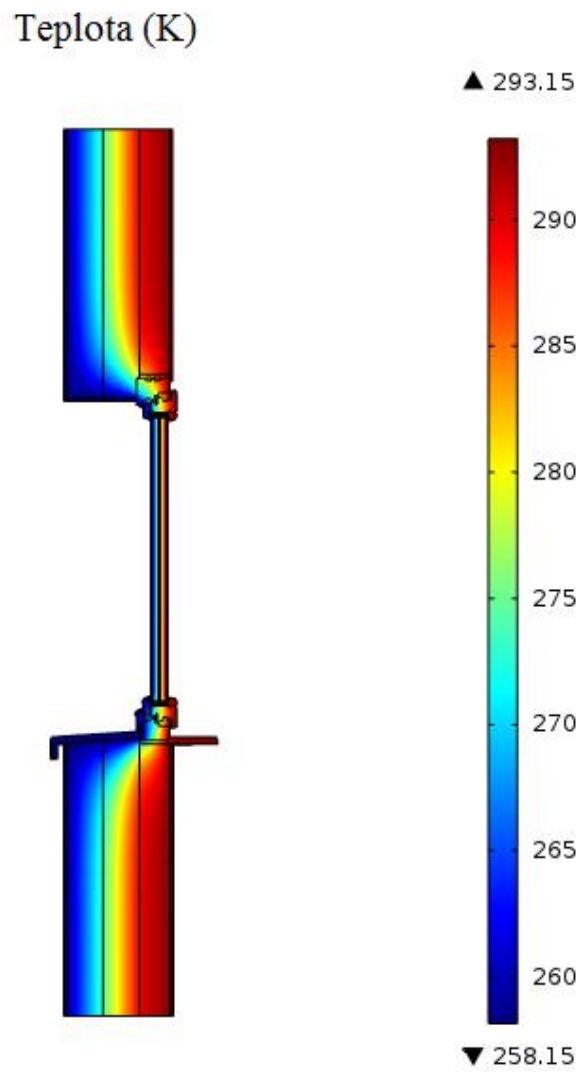
Obr. 8. Zobrazení osazení č. 4

Na obrázku číslo 8 je vyobrazeno osazení okna v konstrukci obvodového pláště. Zde je okno předsazeno do úrovně tepelné izolace. K nosné části konstrukce, tedy sloupkové konstrukci je připevněno pomocí úhelníků.

5. Výsledky a diskuze

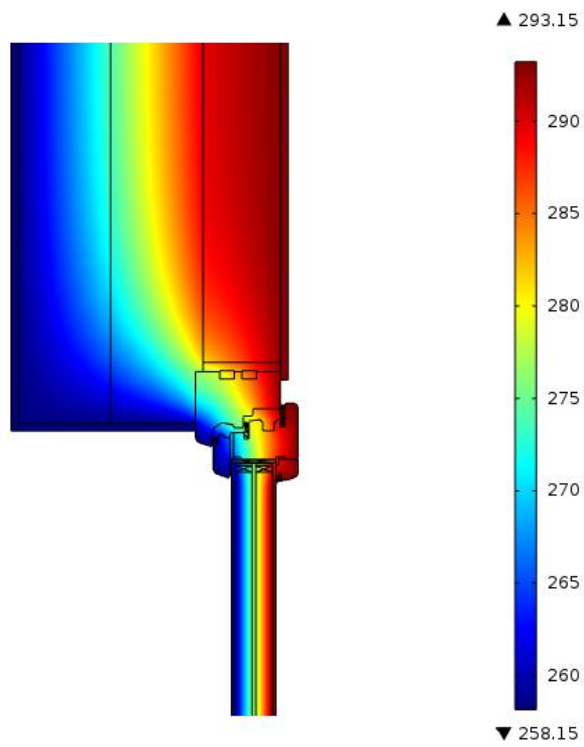
5.1. Teplotní pole

Model 1



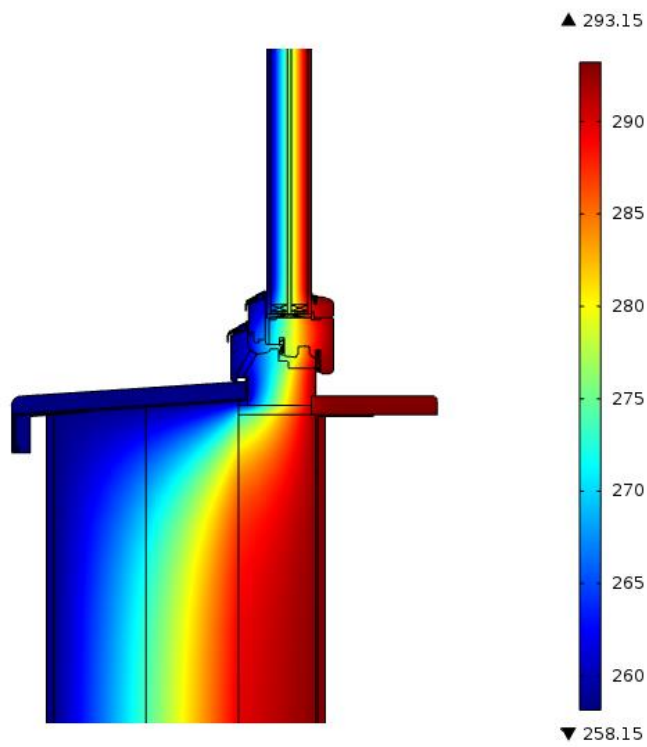
Obr. 9. Rozložení teploty

Teplota (K)



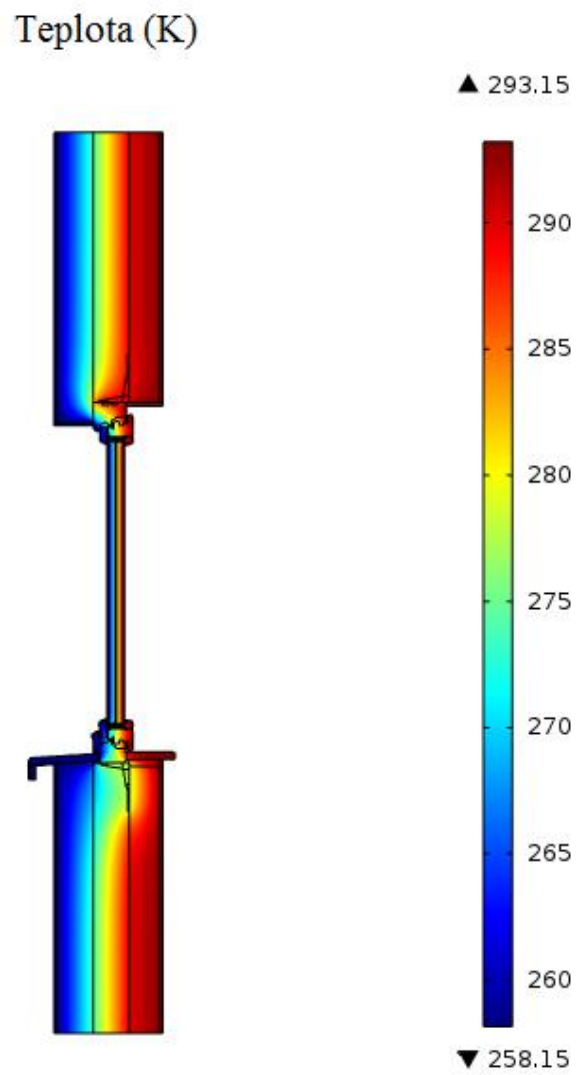
Obr. 10. Rozložení teploty

Teplota (K)



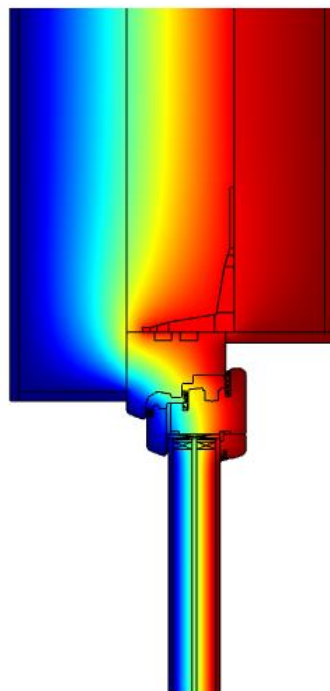
Obr. 11. Rozložení teploty

Model 2

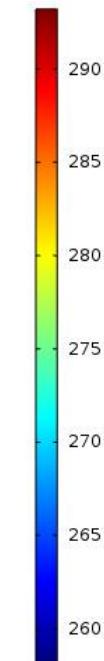


Obr. 12. Rozložení teploty

Teplota (K)



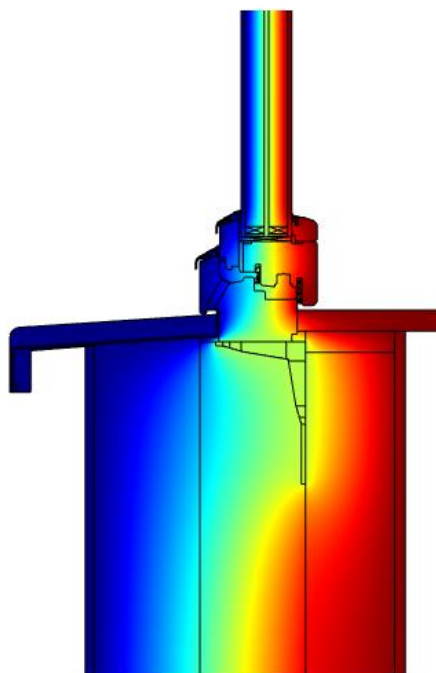
▲ 293.15



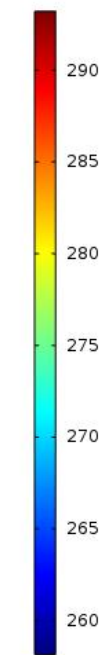
▼ 258.15

Obr. 13. Rozložení teploty

Teplota (K)

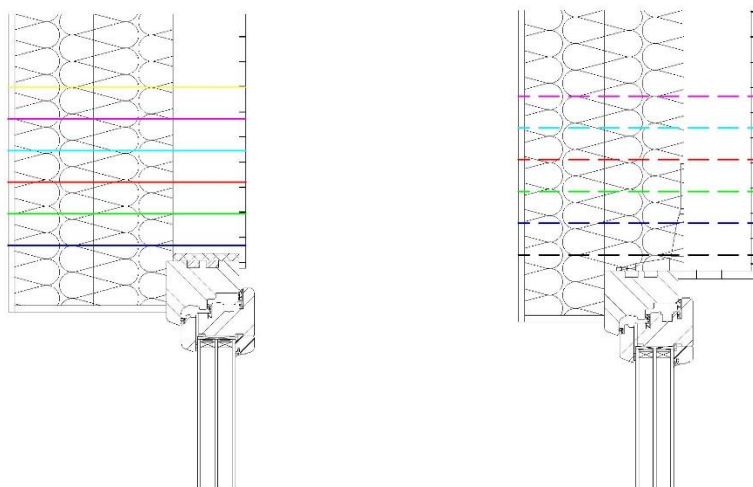


▲ 293.15



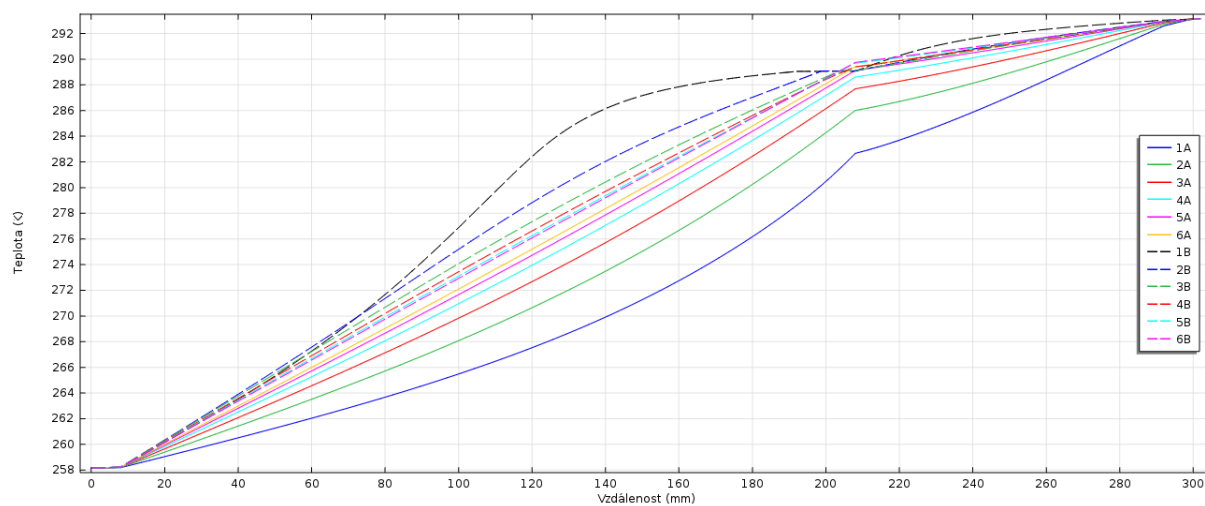
▼ 258.15

Obr. 14. Rozložení teploty



Obr. 15. Zobrazení sledovaných úsečků

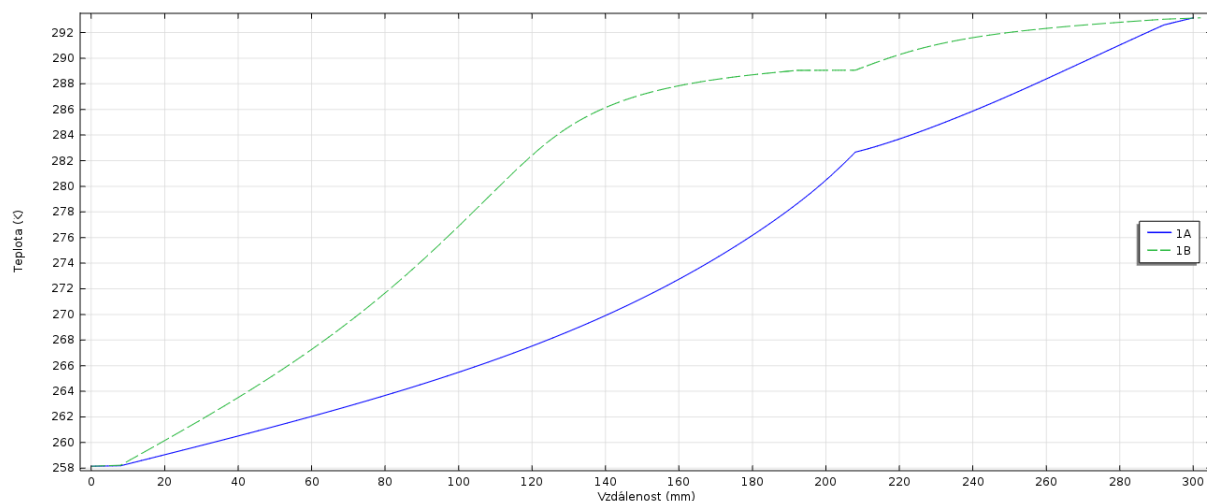
Na obrázku číslo 15 jsou vyobrazeny úsečky, na kterých je sledován průběh teploty.



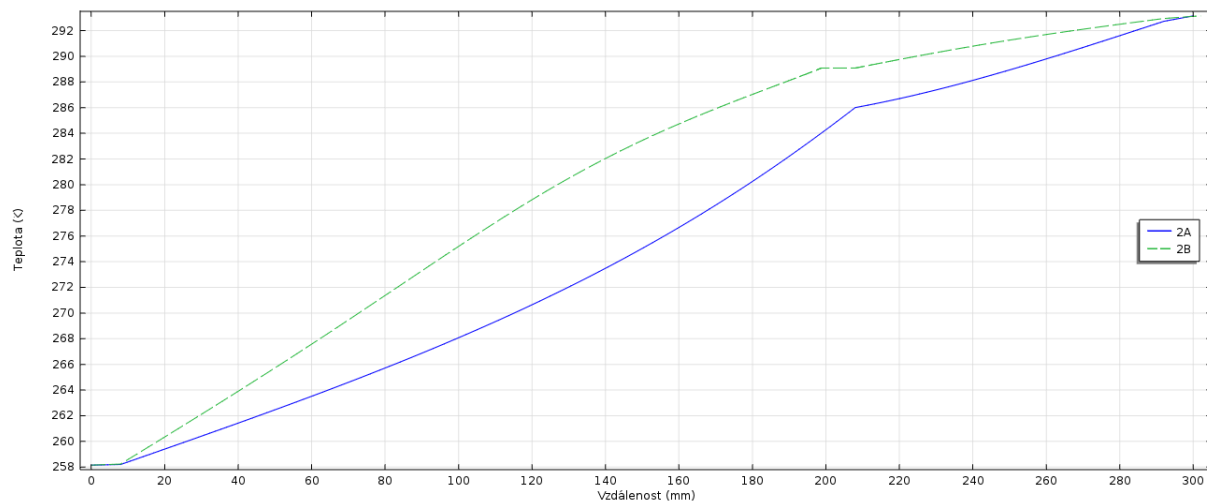
Obr. 16. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci

Na obrázku číslo 16 je znázorněn průběh teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci. Na ose x je vynesena vzdálenost od exteriérové strany konstrukce směrem k interiérové. Jednotlivé křivky znázorňují průběh v různých výškových úrovních. Křivka 1A a 1B znázorňuje průběh teploty ve výškové úrovni 20 mm nad vnější stranou rámu okna a další

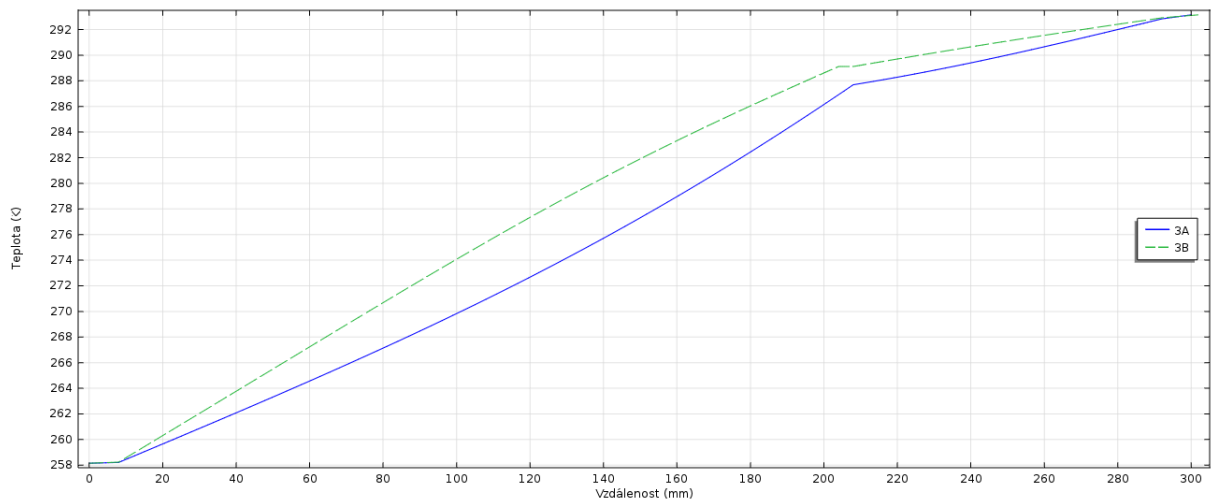
křivky znázorňují průběhy teplot po úsečkách vzdálených vždy 40 mm od sebe viz. obrázek číslo 15. Řada A znázorňuje průběhy teplot při osazení v úrovni nosné části. Řada B znázorňuje průběhy teplot při předsazení okna do úrovně tepelné izolace. Z grafu lze pozorovat značné rozdíly v teplotách pro jednotlivá osazení oken, což má vliv na tlak nasycených vodních par a tudíž i na výslednou relativní vlhkost ve stěně.



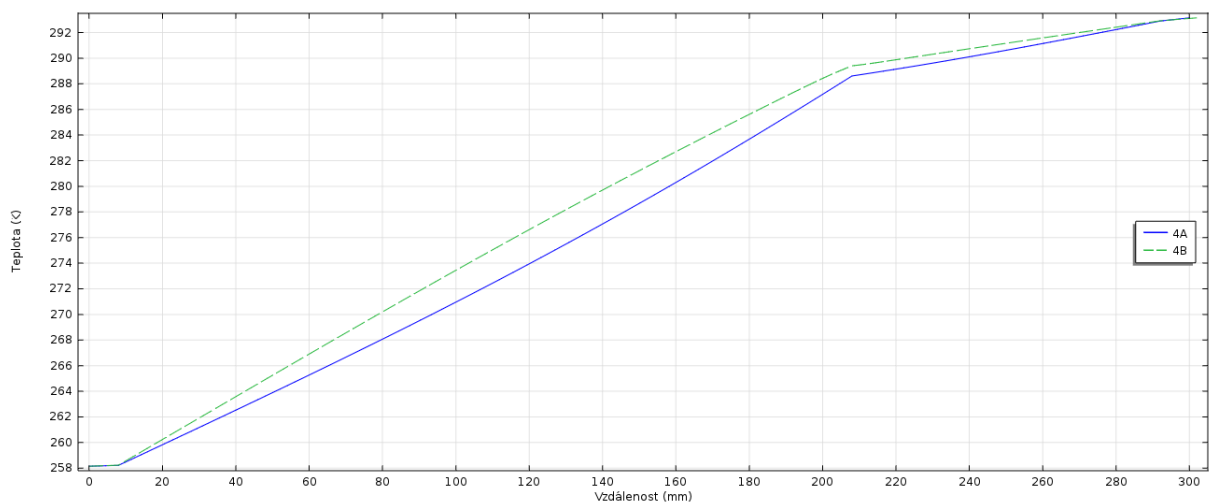
Obr. 17. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



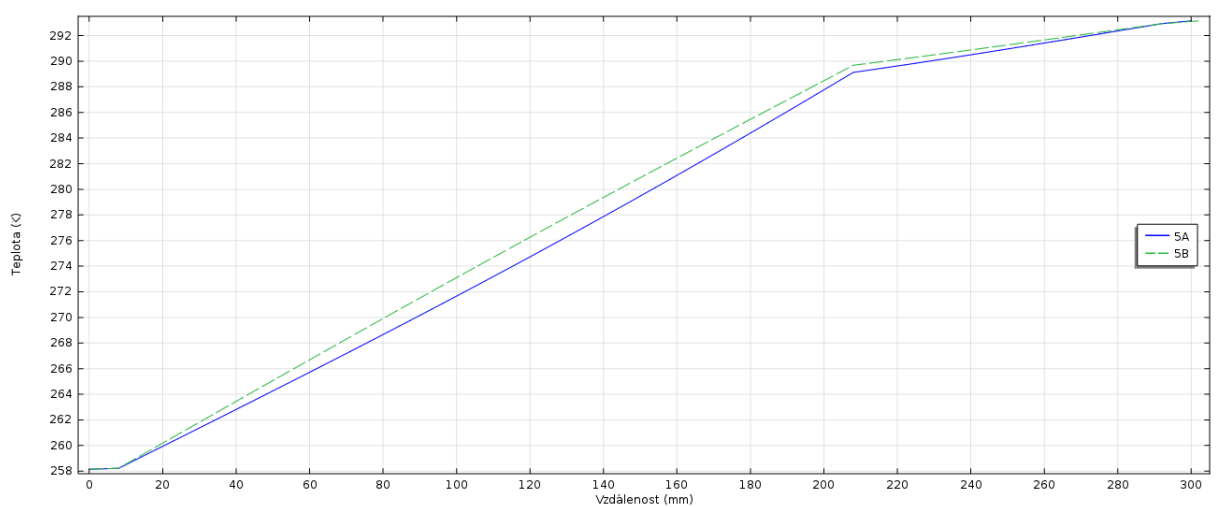
Obr. 18. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



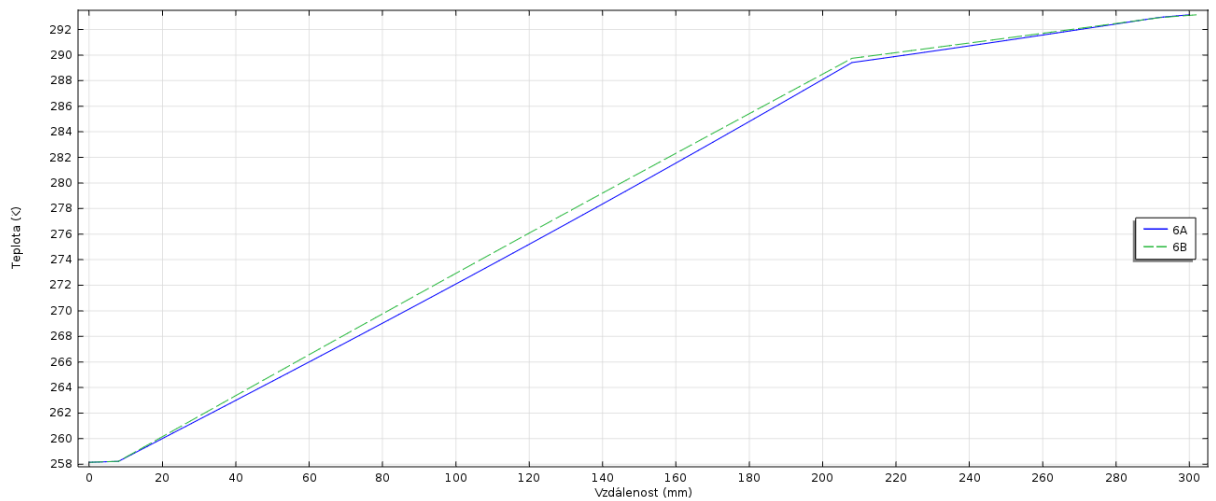
Obr. 19. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



Obr. 20. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci

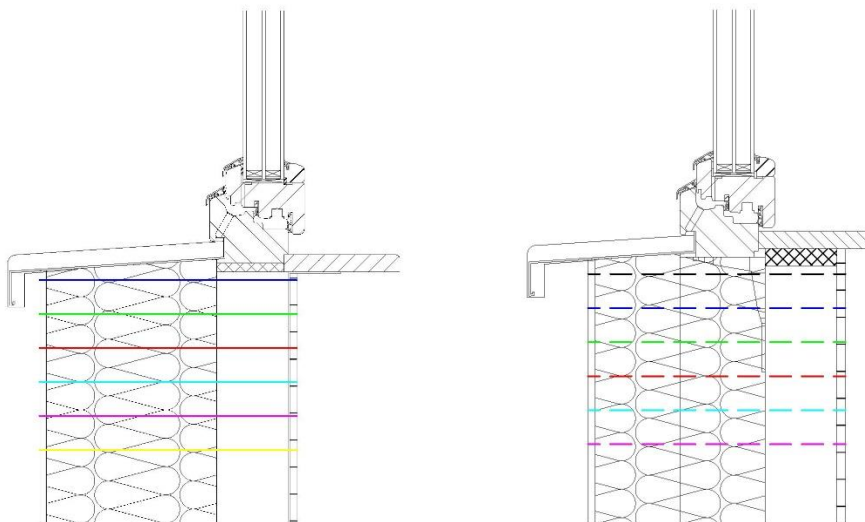


Obr. 21. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



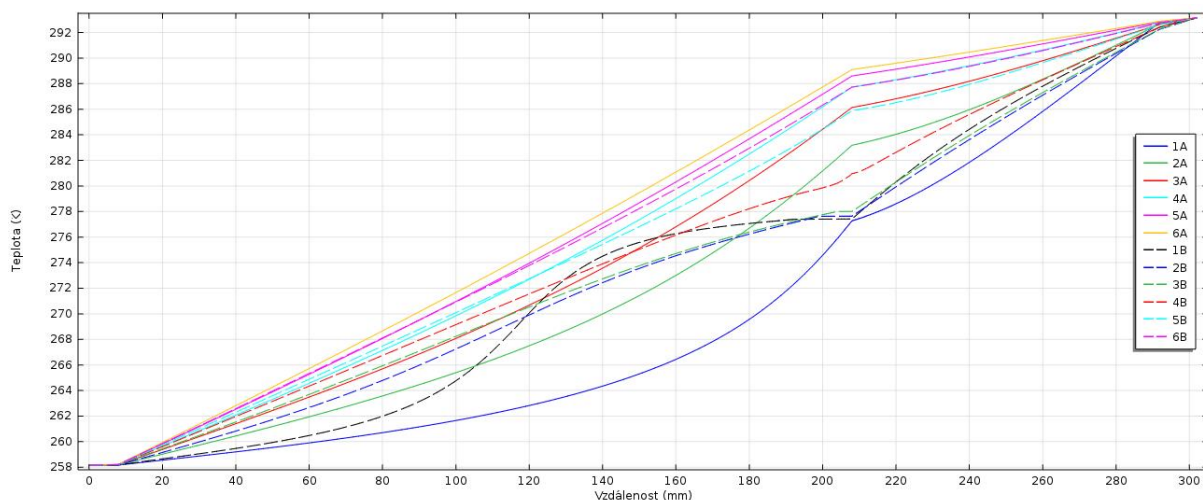
Obr. 22. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci.

Z obrázků 17 až 22 lze pozorovat, jak se vliv osazení okna na průběh teploty snižuje s rostoucí vzdáleností od vnější strany okna.



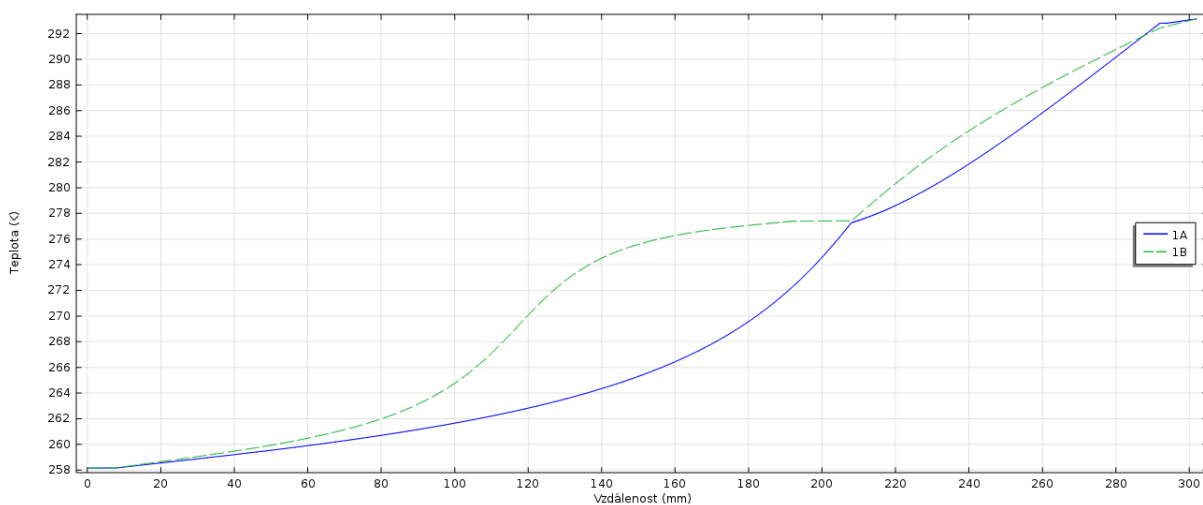
Obr. 23. Zobrazení sledovaných úseček

Na obrázku číslo 23 jsou vyobrazeny úsečky, na kterých je sledován průběh teploty.

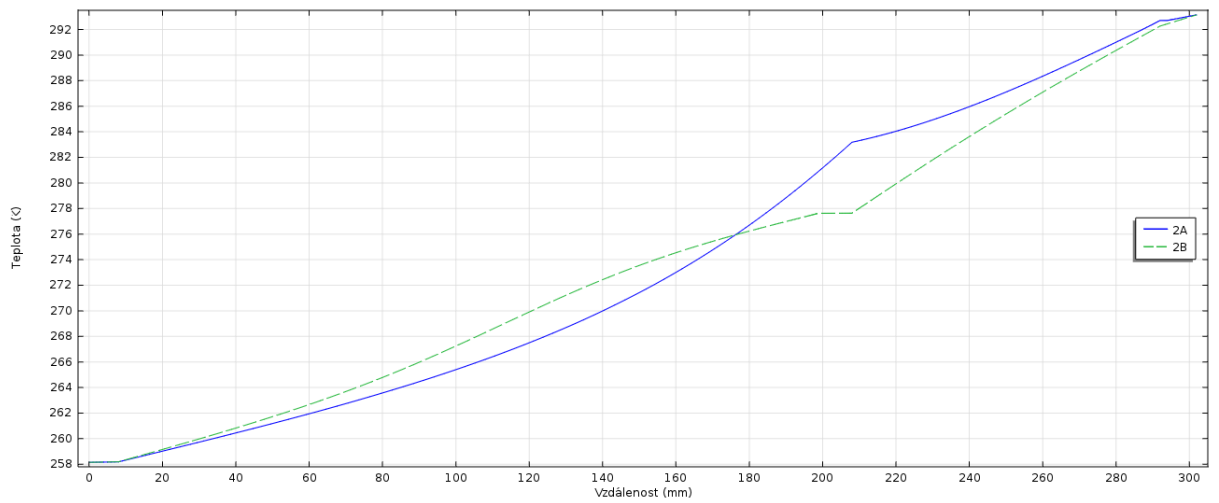


Obr. 24. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci

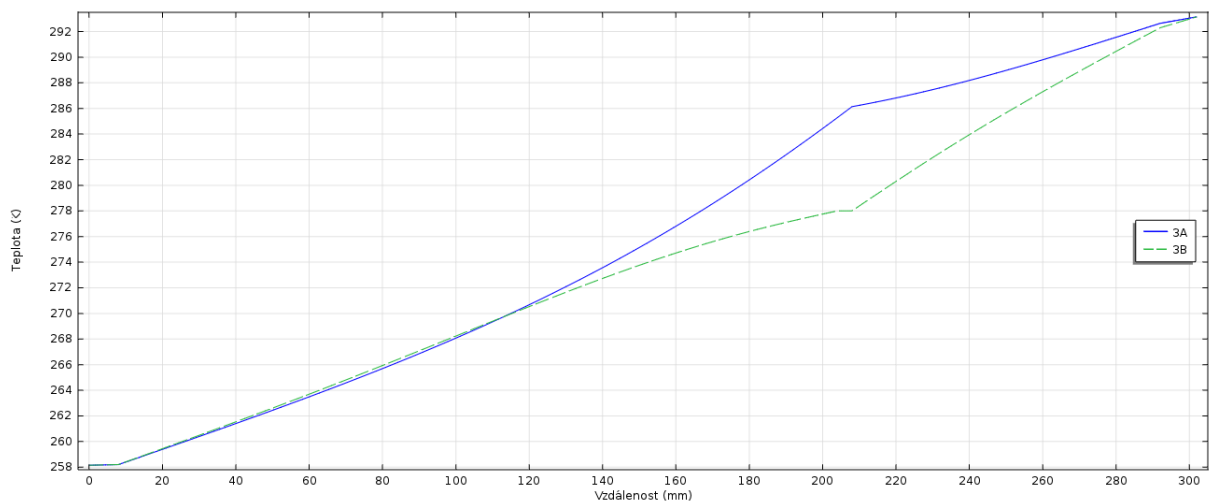
Na obrázku číslo 24 je znázorněn průběh teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci. Na ose x je vynesena vzdálenost od exteriérové strany konstrukce směrem k interiérové. Jednotlivé křivky znázorňují průběh v různých výškových úrovních. Křivka 1A a 1B znázorňuje průběh teploty ve výškové úrovni 20 mm pod vnější stranou rámu okna a další křivky znázorňují průběhy teplot po úsečkách vzdálených vždy 40 mm od sebe viz. obrázek číslo 23. Řada A znázorňuje průběhy teplot při osazení v úrovni nosné části. Řada B znázorňuje průběhy teplot při předsazení okna do úrovně tepelné izolace. Z grafu lze pozorovat značné rozdíly v teplotách pro jednotlivá osazení oken, což má vliv na tlak nasycených vodních par a tudíž i na výslednou relativní vlhkost ve stěně.



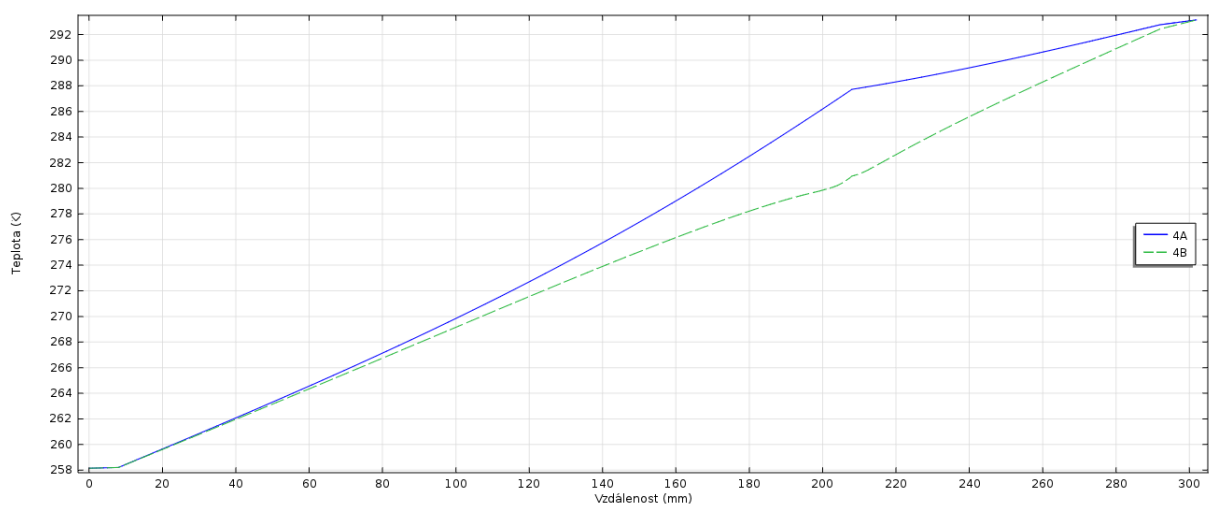
Obr. 25. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



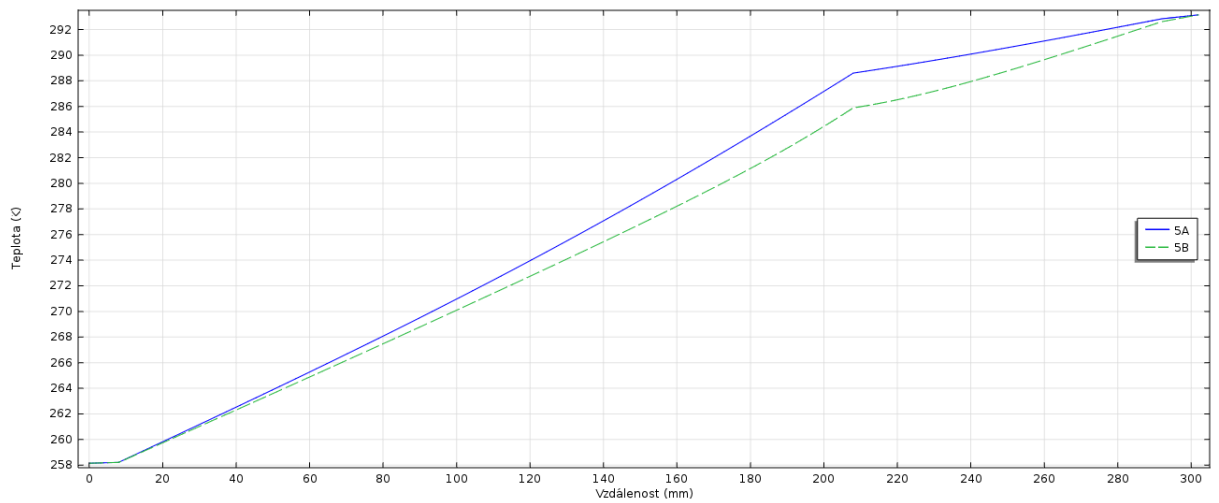
Obr. 26. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



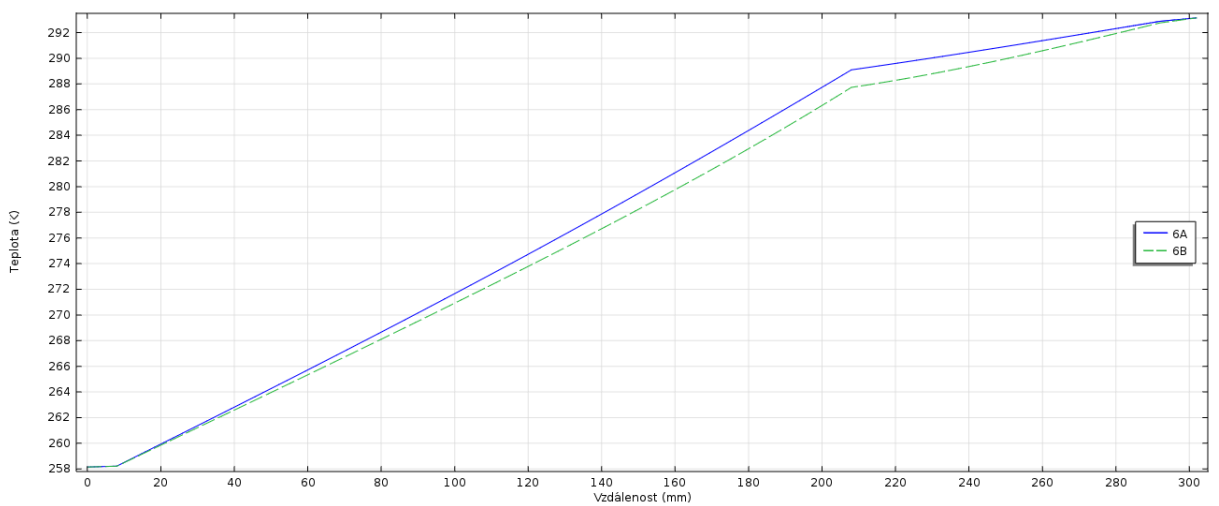
Obr. 27. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



Obr. 28. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



Obr. 29. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci

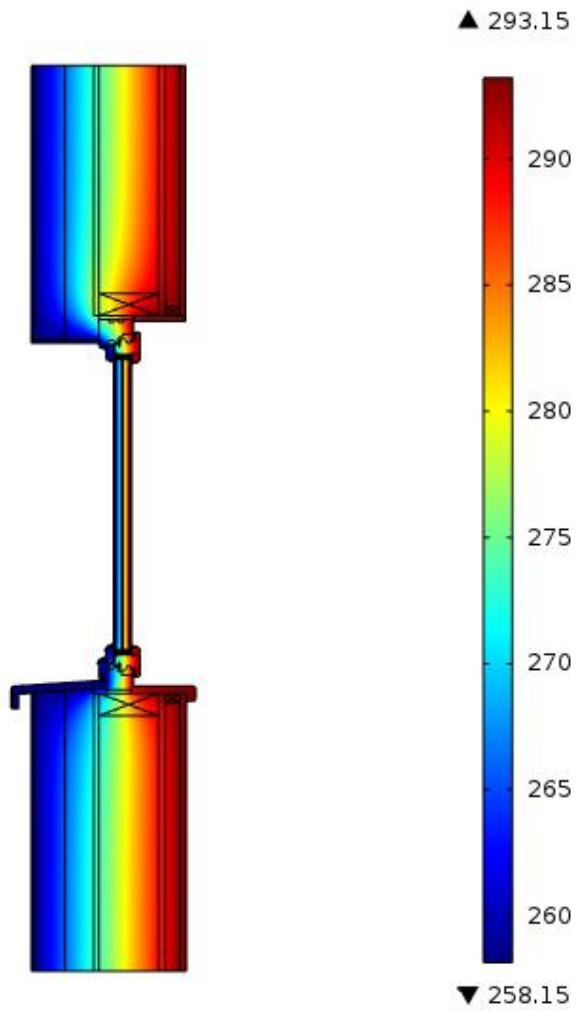


Obr. 30. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci

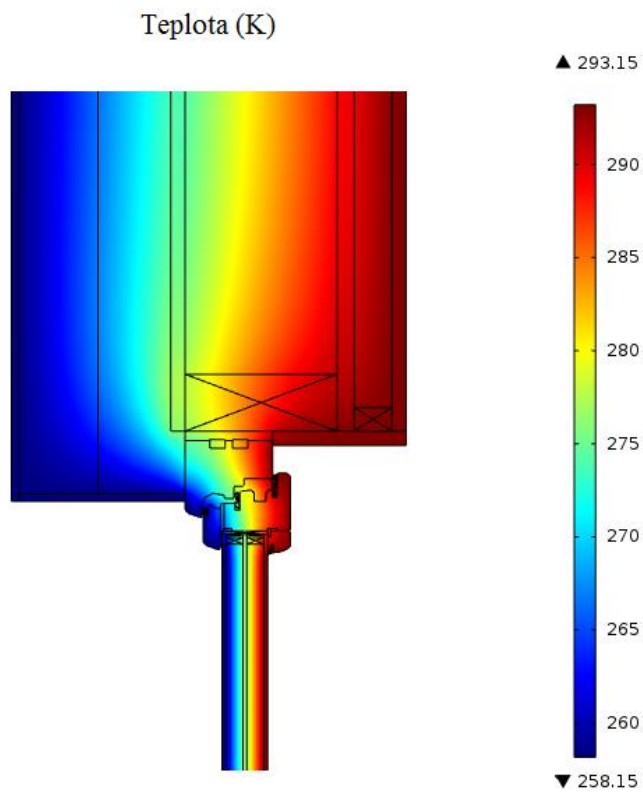
Z obrázků 25 až 30 lze pozorovat, jak se vliv osazení okna na průběh teploty snižuje s rostoucí vzdáleností od vnější strany okna.

Model 3

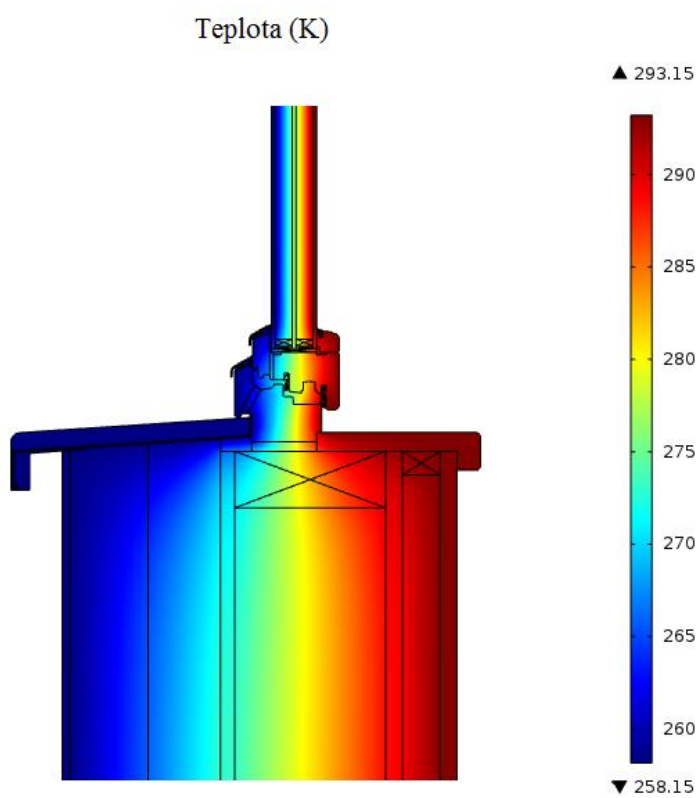
Teplota (K)



Obr. 31. Rozložení teploty



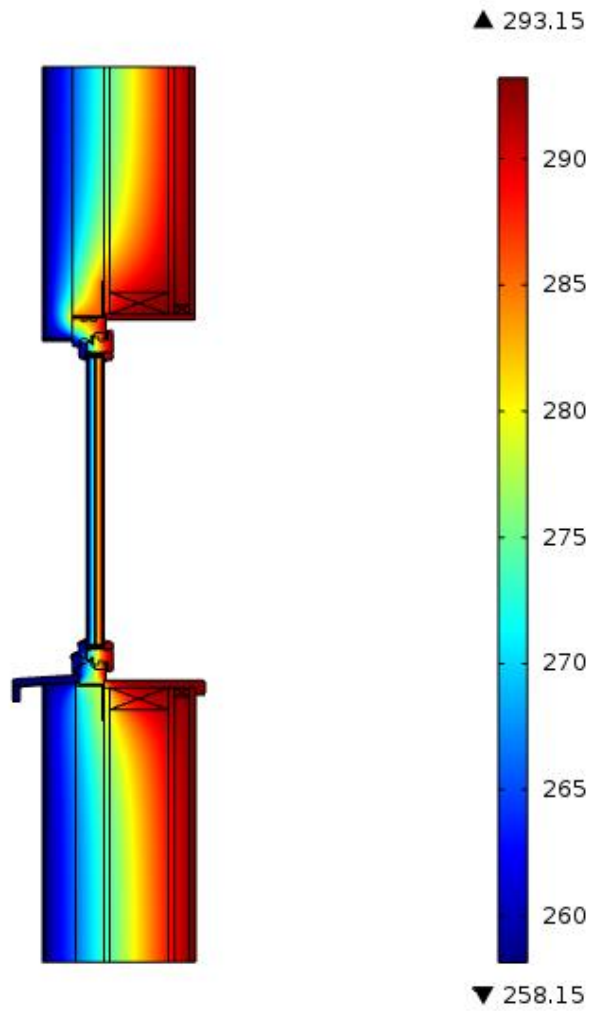
Obr. 32. Rozložení teploty



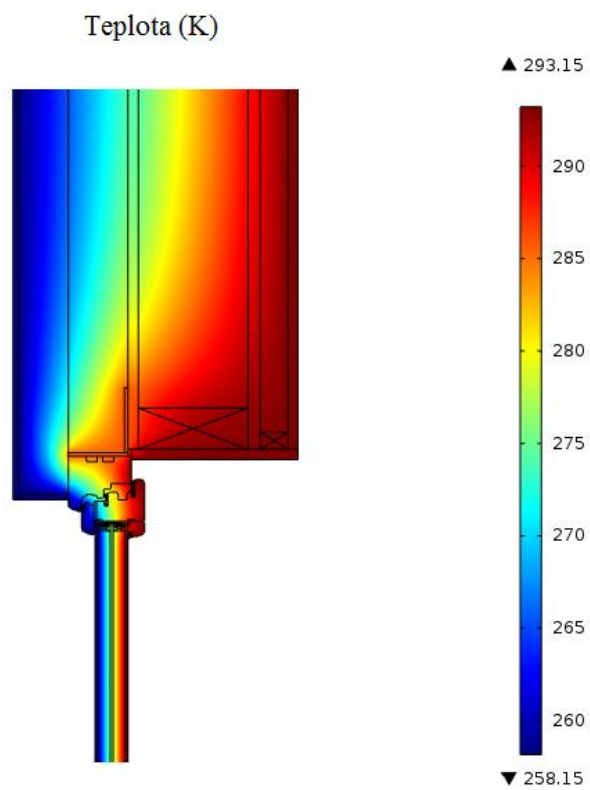
Obr. 33. Rozložení teploty

Model 4

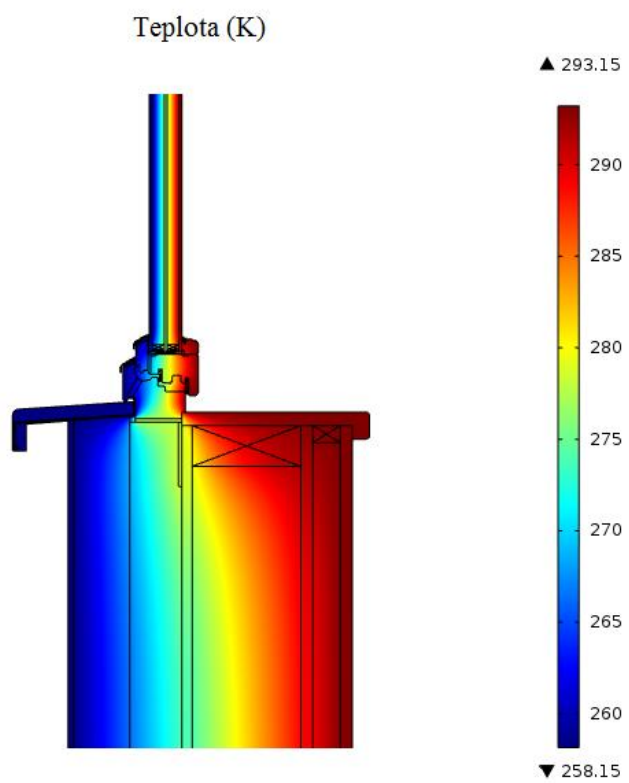
Teplota (K)



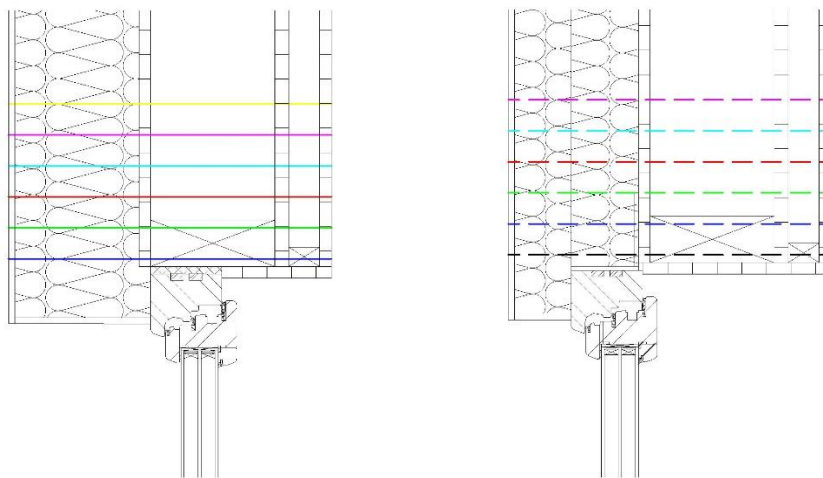
Obr. 34. Rozložení teploty



Obr. 35. Rozložení teploty

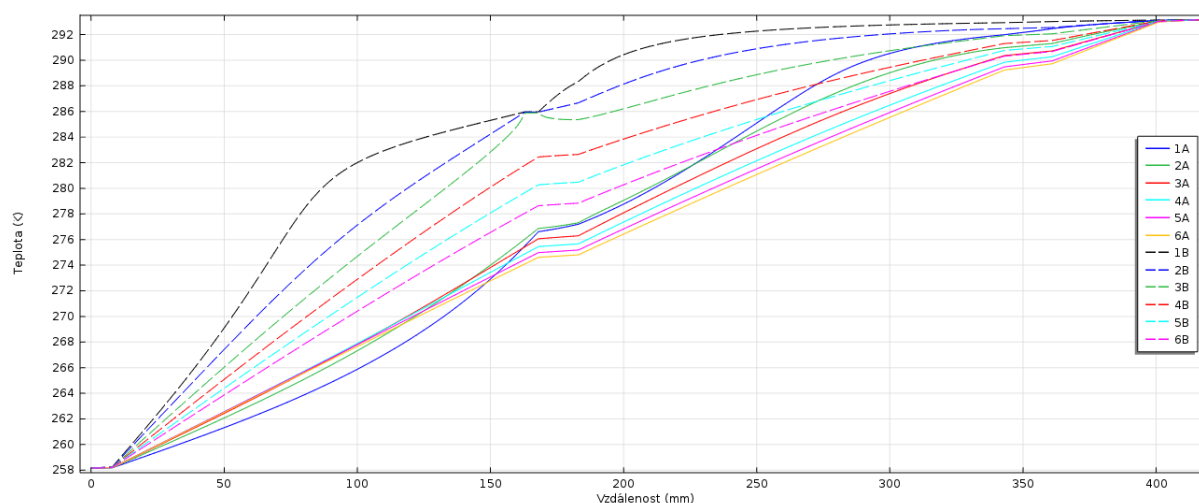


Obr. 36. Rozložení teploty



Obr. 37. Zobrazení sledovaných úseček

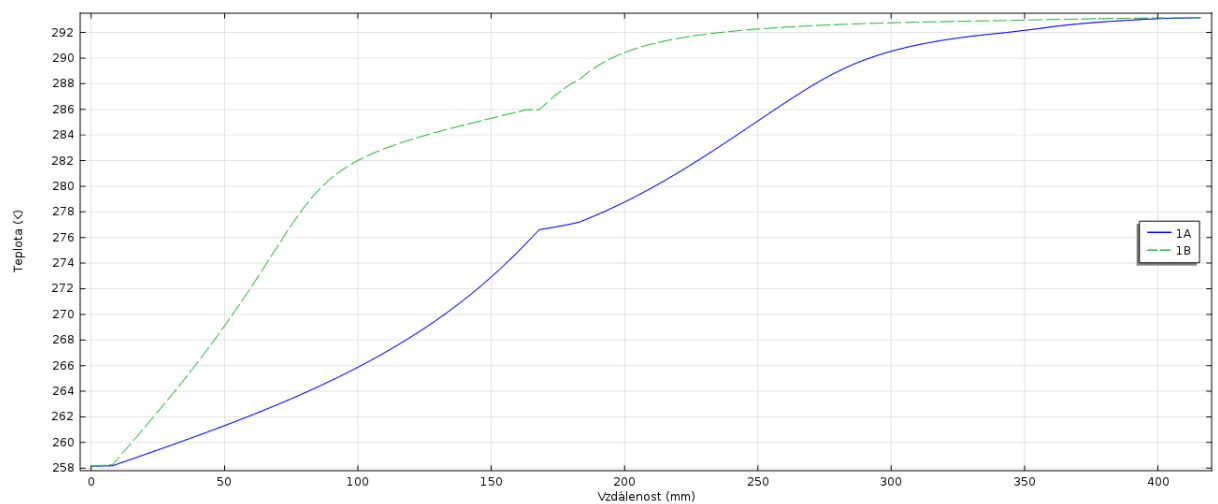
Na obrázku číslo 37 jsou vyobrazeny úsečky, na kterých je sledován průběh teploty.



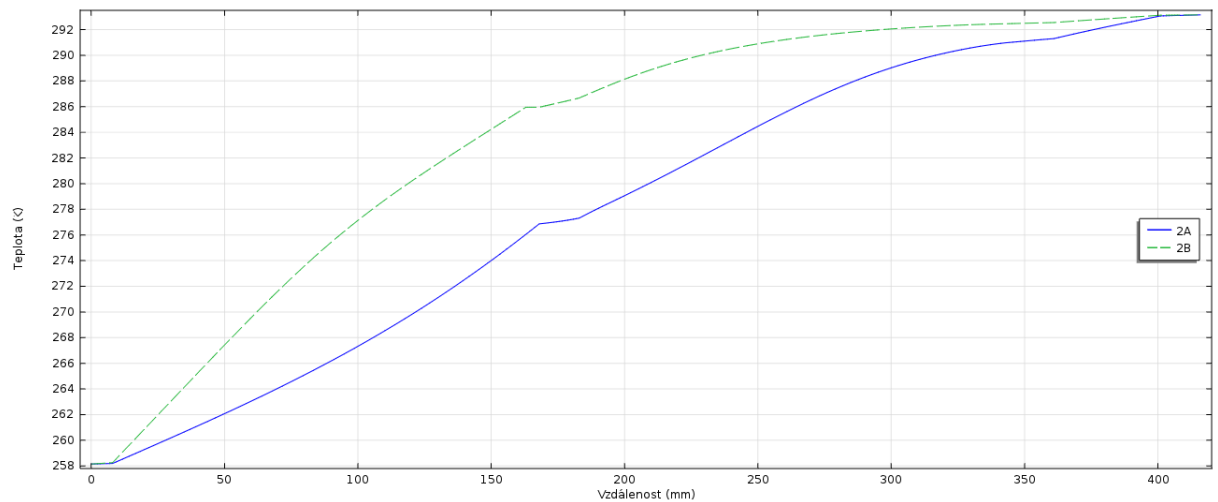
Obr. 38. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci

Na obrázku číslo 38 je znázorněn průběh teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci. Na ose x je vynesena vzdálenost od exteriérové strany konstrukce směrem k interiérové. Jednotlivé křivky znázorňují průběh v různých výškových úrovních. Křivka 1A a 1B znázorňuje průběh teploty ve výškové úrovni 20 mm nad vnější stranou rámu okna a další

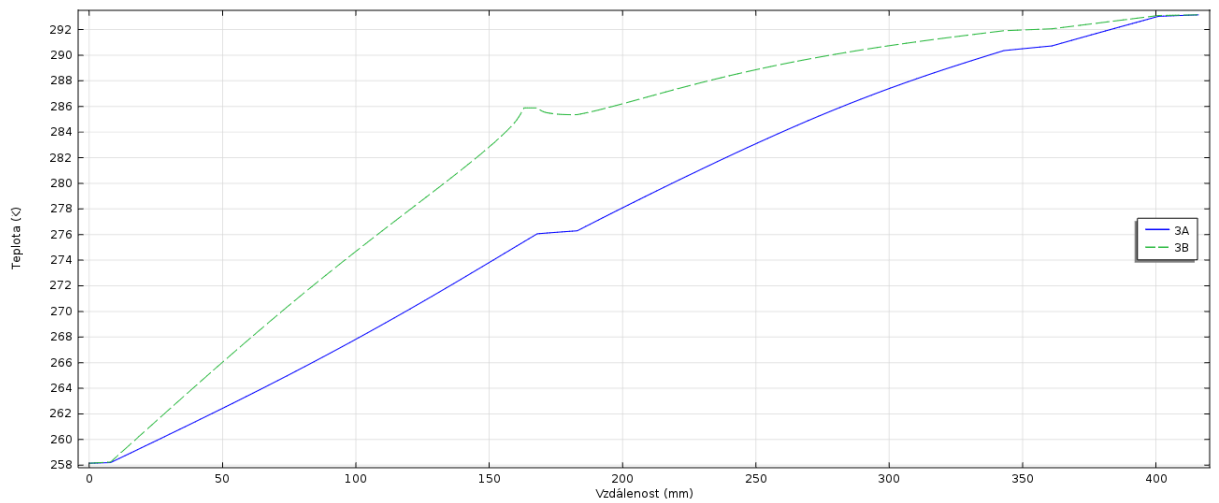
křivky znázorňují průběhy teplot po úsečkách vzdálených vždy 40 mm od sebe viz. obrázek číslo 37. Řada A znázorňuje průběhy teplot při osazení v úrovni nosné části. Řada B znázorňuje průběhy teplot při předsazení okna do úrovně tepelné izolace. Z grafu lze pozorovat značné rozdíly v teplotách pro jednotlivá osazení oken, což má vliv na tlak nasycených vodních par a tudíž i na výslednou relativní vlhkost ve stěně.



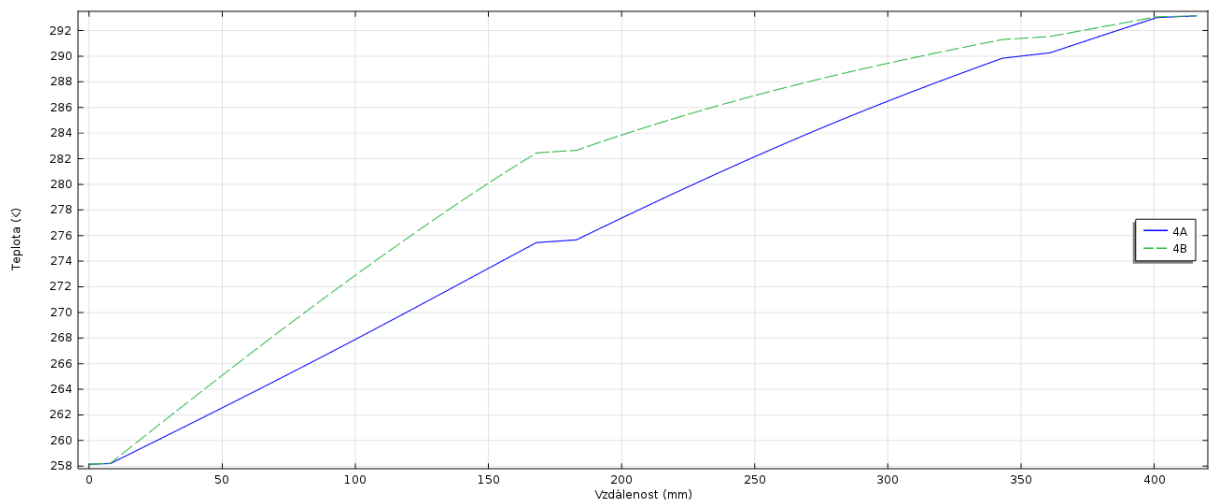
Obr. 39. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



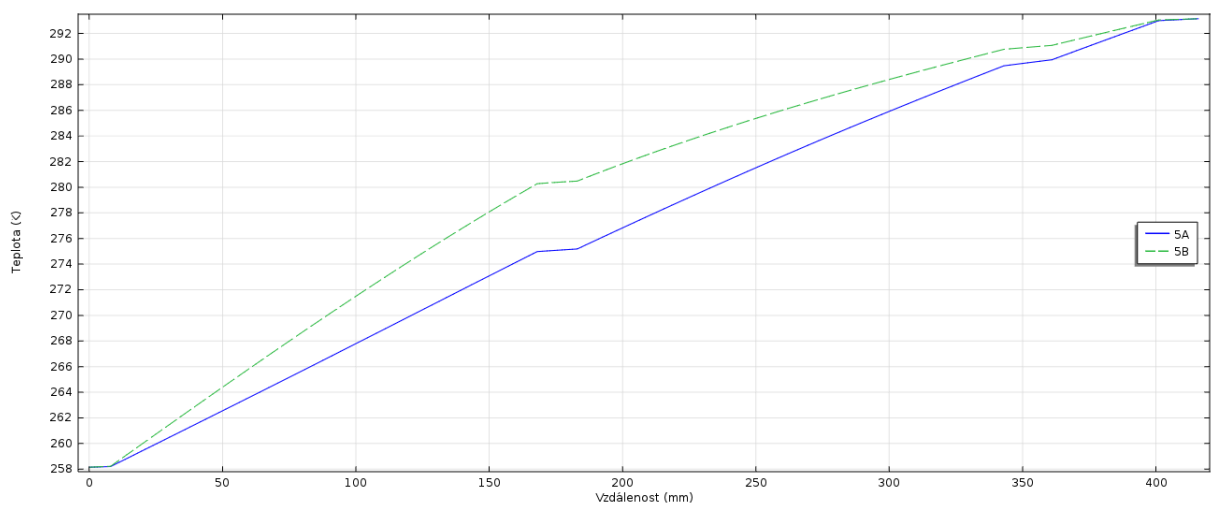
Obr. 40. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



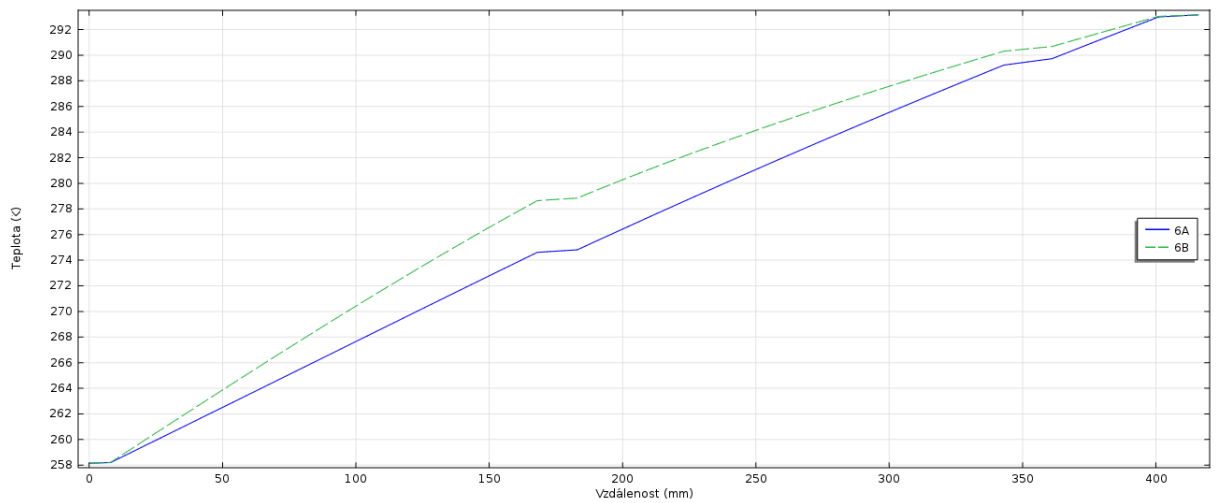
Obr. 41. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



Obr. 42. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci

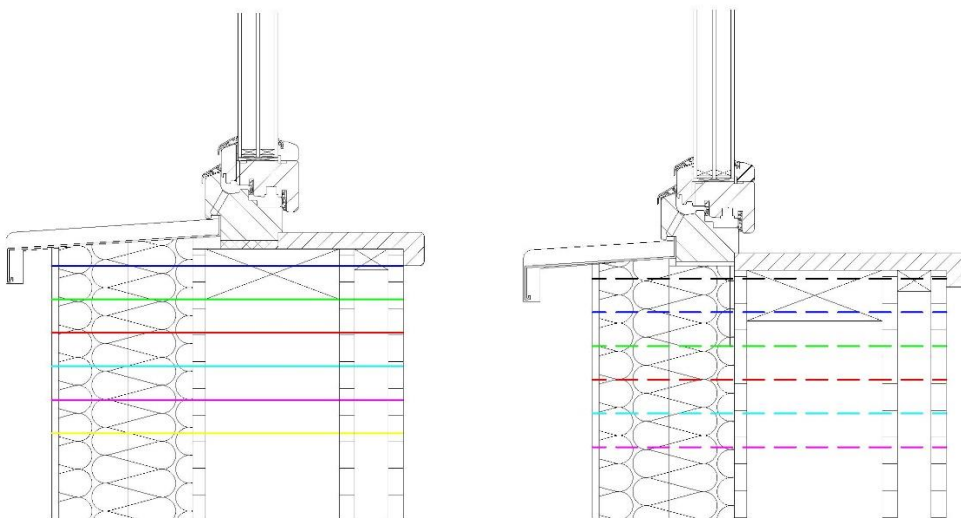


Obr. 43. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



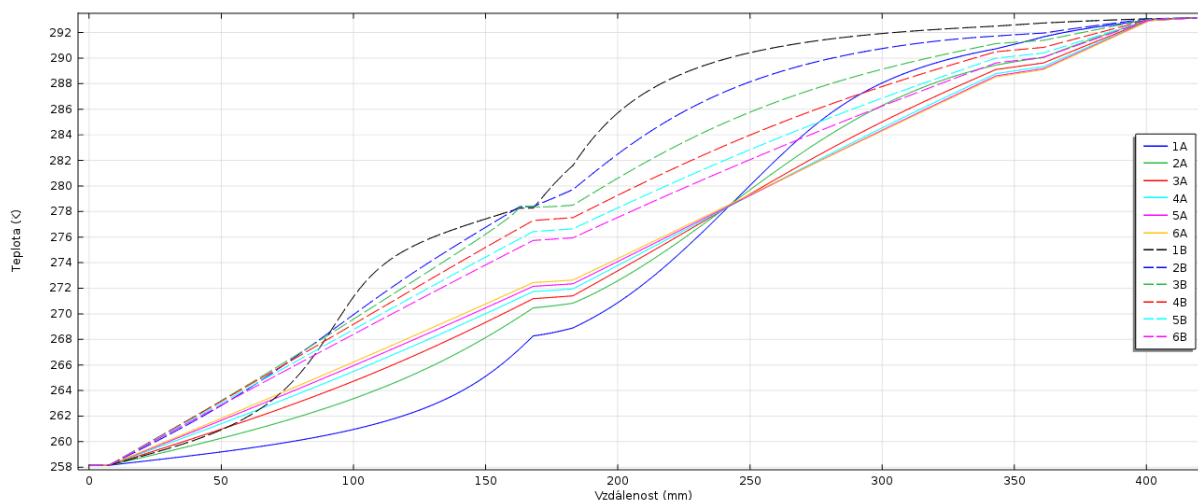
Obr. 44. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci

Z obrázků 39 až 44 lze pozorovat, jak se vliv osazení okna na průběh teploty snižuje s rostoucí vzdáleností od vnější strany okna.



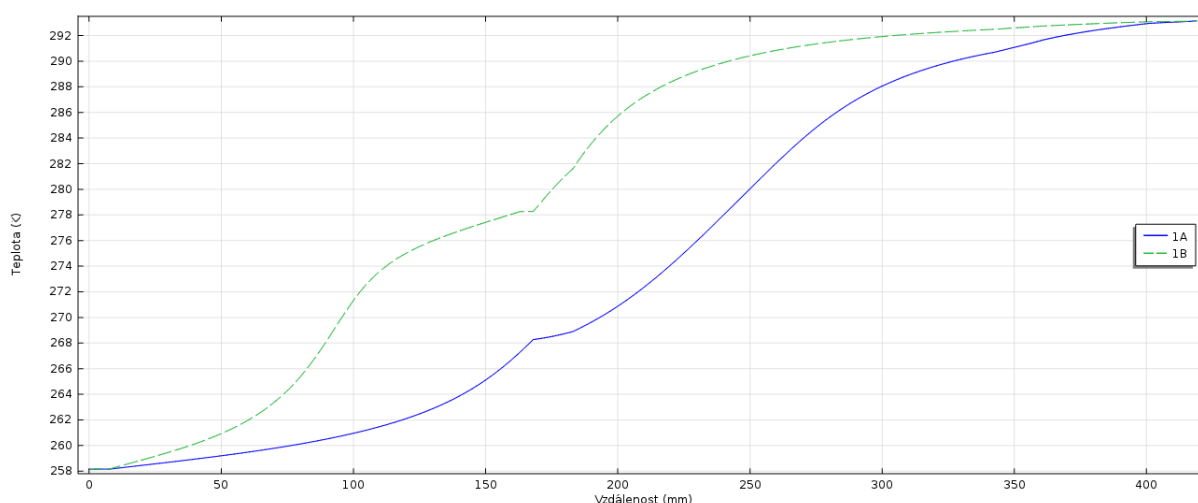
Obr. 45. Zobrazení sledovaných úsečků.

Na obrázku číslo 45 jsou vyobrazeny úsečky, na kterých je sledován průběh teploty.

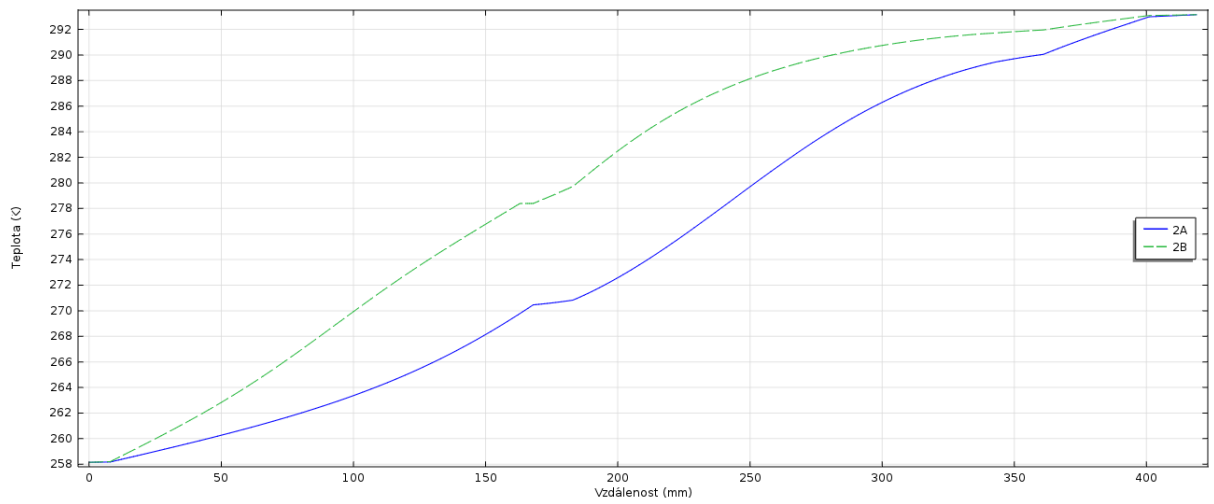


Obr. 46. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci.

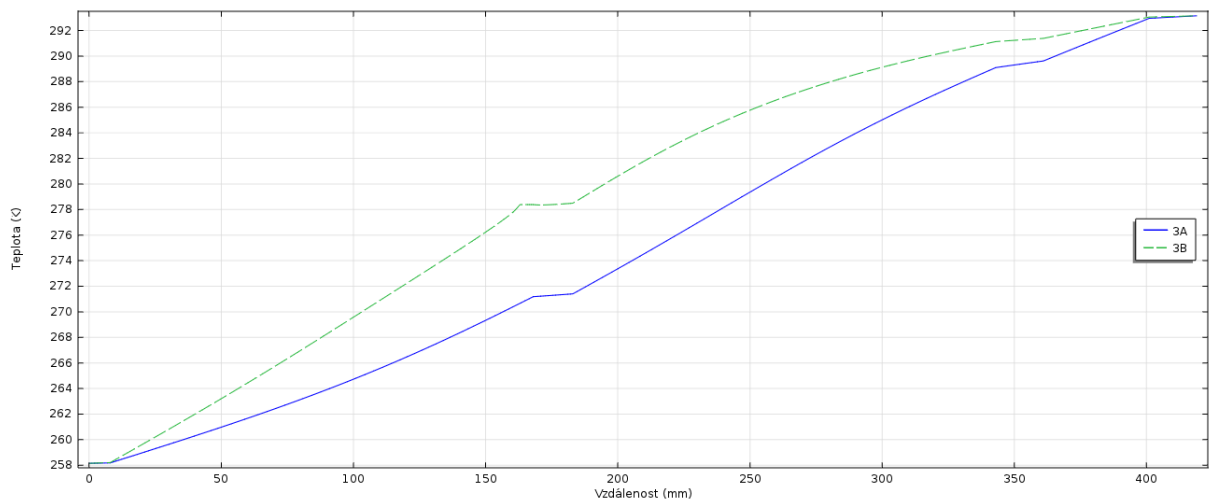
Na obrázku číslo 46 je znázorněn průběh teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci. Na ose x je vynesena vzdálenost od exteriérové strany konstrukce směrem k interiérové. Jednotlivé křivky znázorňují průběh v různých výškových úrovních. Křivka 1A a 1B znázorňuje průběh teploty ve výškové úrovni 20 mm pod vnější stranou rámu okna a další křivky znázorňují průběhy teplot po úsečkách vzdálených vždy 40 mm od sebe viz. obrázek číslo 45. Řada A znázorňuje průběhy teplot při osazení v úrovni nosné části. Řada B znázorňuje průběhy teplot při předsazení okna do úrovně tepelné izolace. Z grafu lze pozorovat značné rozdíly v teplotách pro jednotlivá osazení oken, což má vliv na tlak nasycených vodních par a tudíž i na výslednou relativní vlhkost ve stěně.



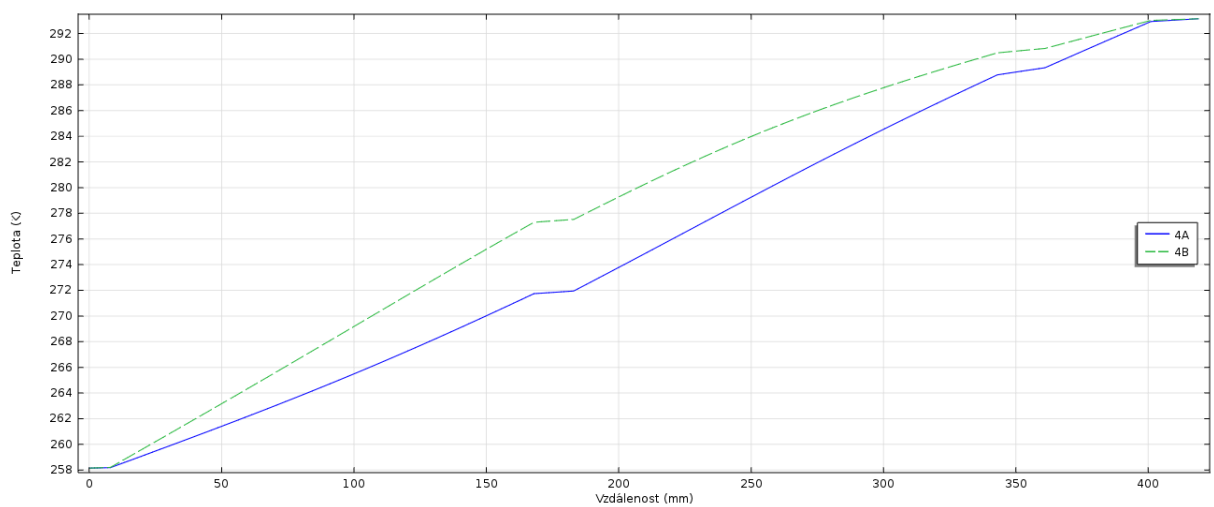
Obr. 47. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



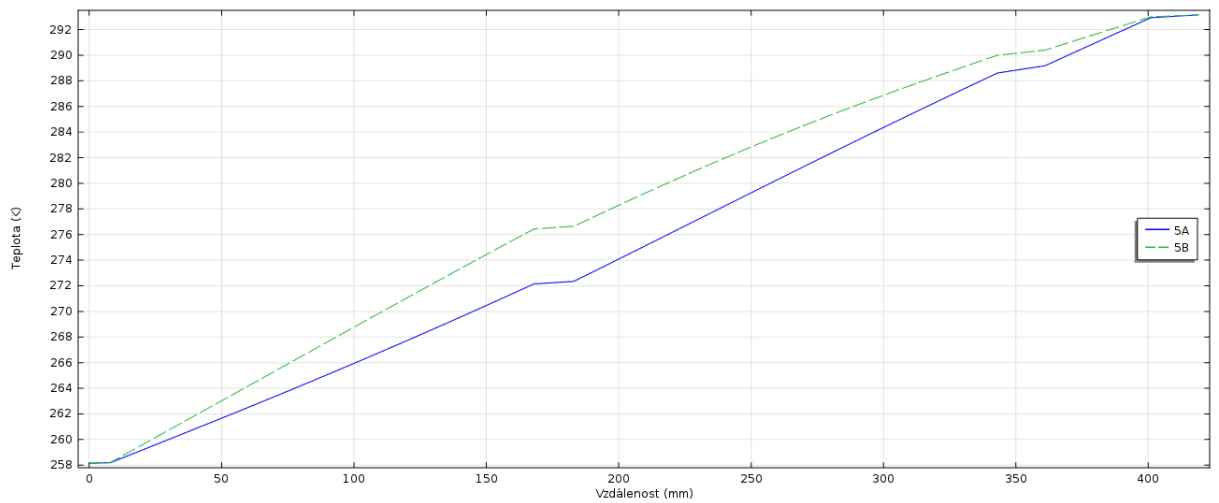
Obr. 48. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



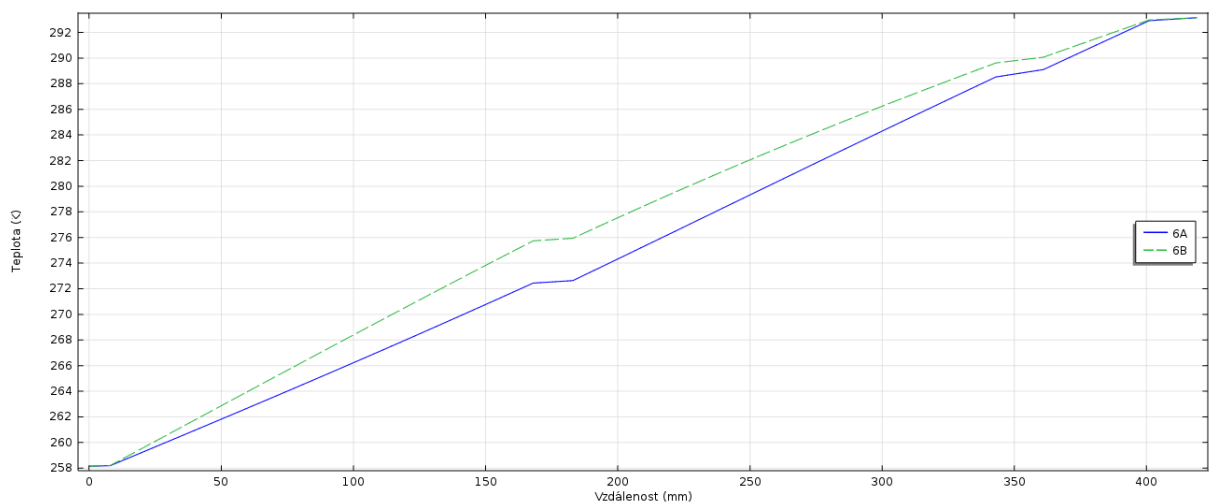
Obr. 49. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



Obr. 50. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



Obr. 51. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci

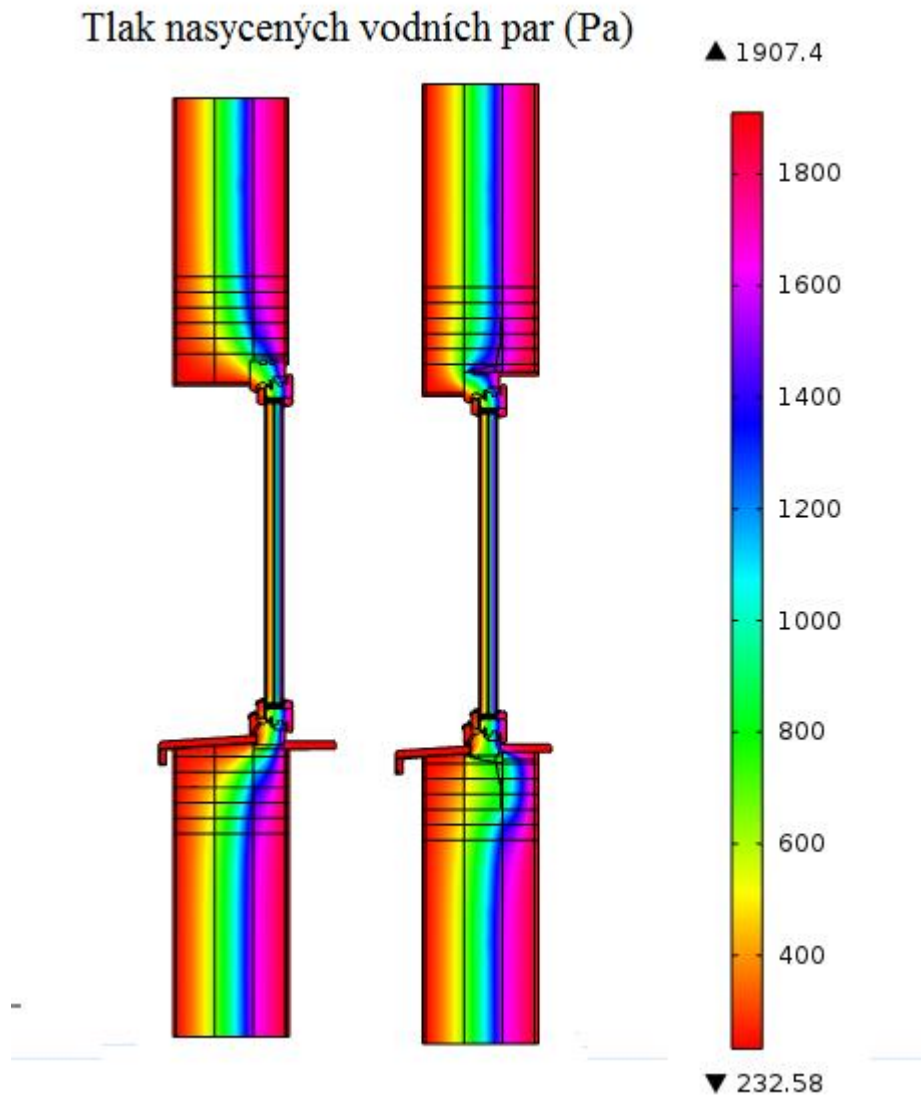


Obr. 52. Graf průběhu teploty v závislosti na vzdálenosti v konstrukci

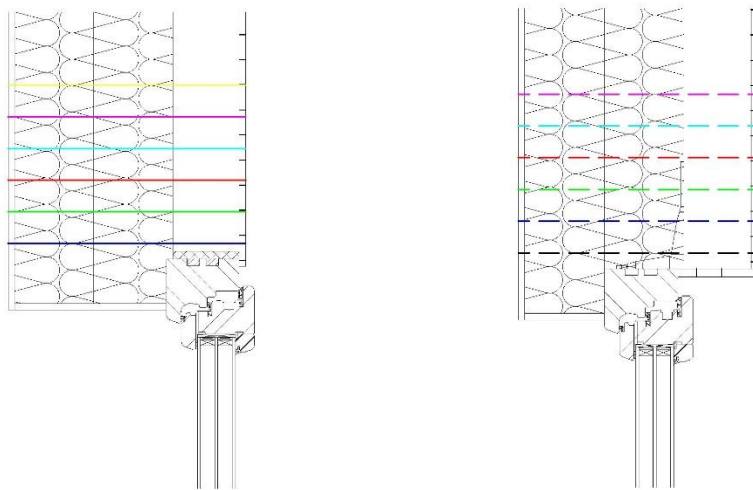
Z obrázků 47 až 52 lze pozorovat, jak se vliv osazení okna na průběh teploty snižuje s rostoucí vzdáleností od vnější strany okna.

5.2. Tlak nasycených vodních par

Modely 1 a 2

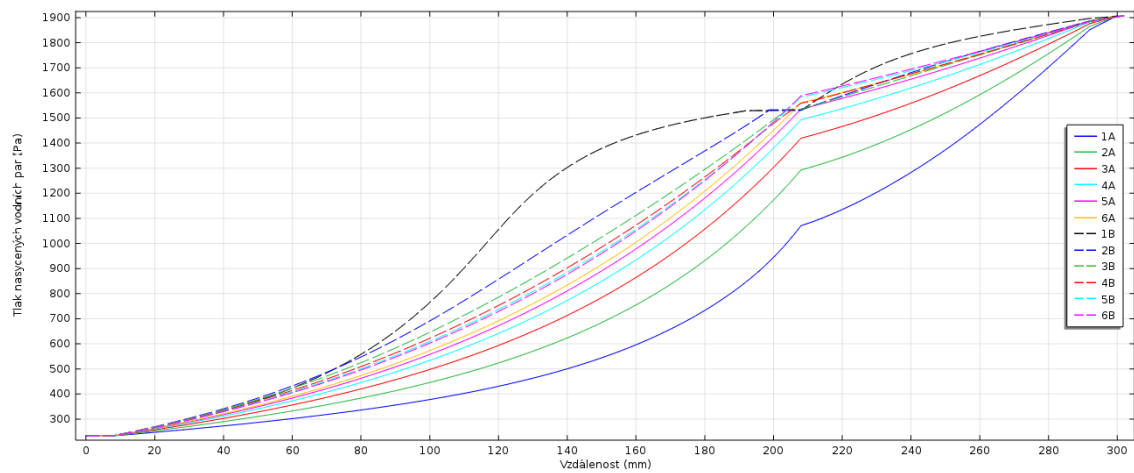


Obr. 53. Tlak nasycených vodních par v konstrukci

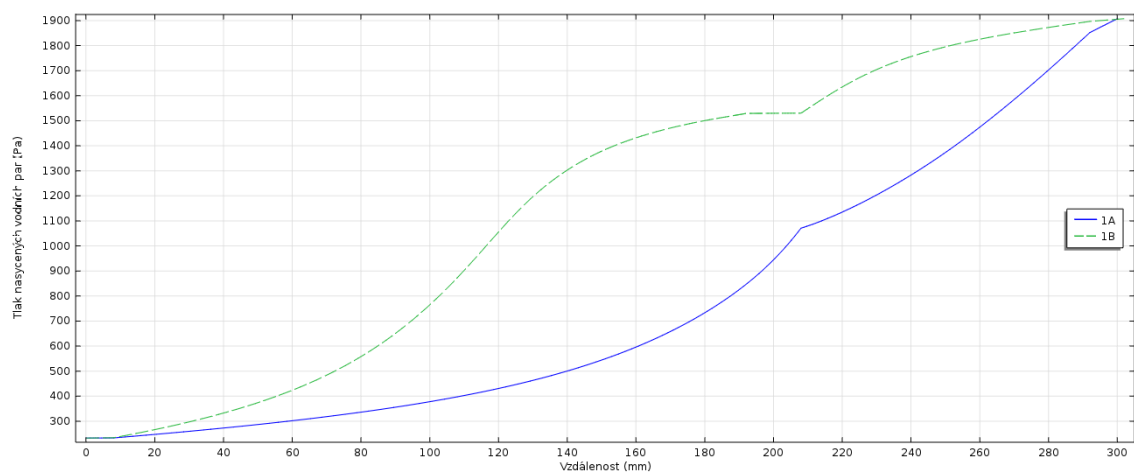


Obr. 54. Zobrazení sledovaných úseček

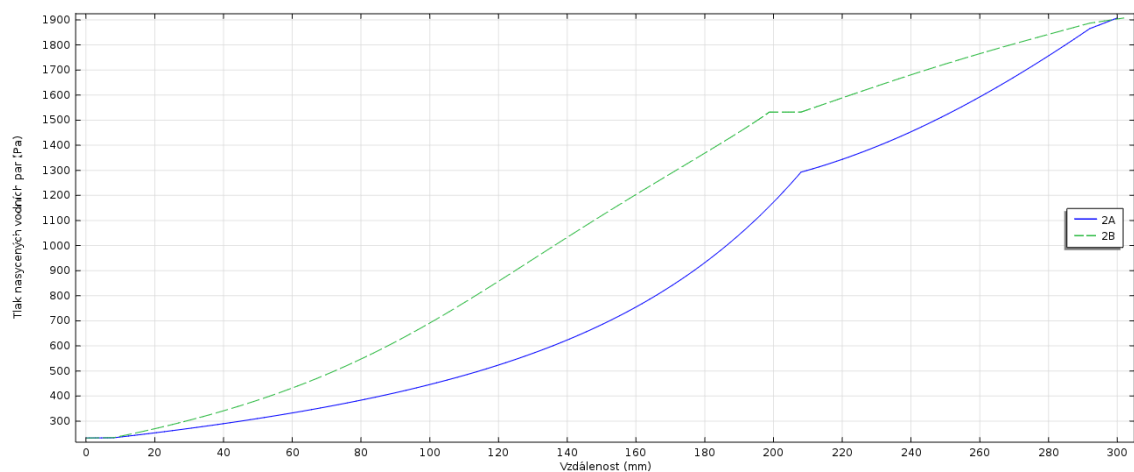
Na obrázku číslo 54 jsou vyobrazeny úsečky, na kterých je sledován tlak nasycených vodních par.



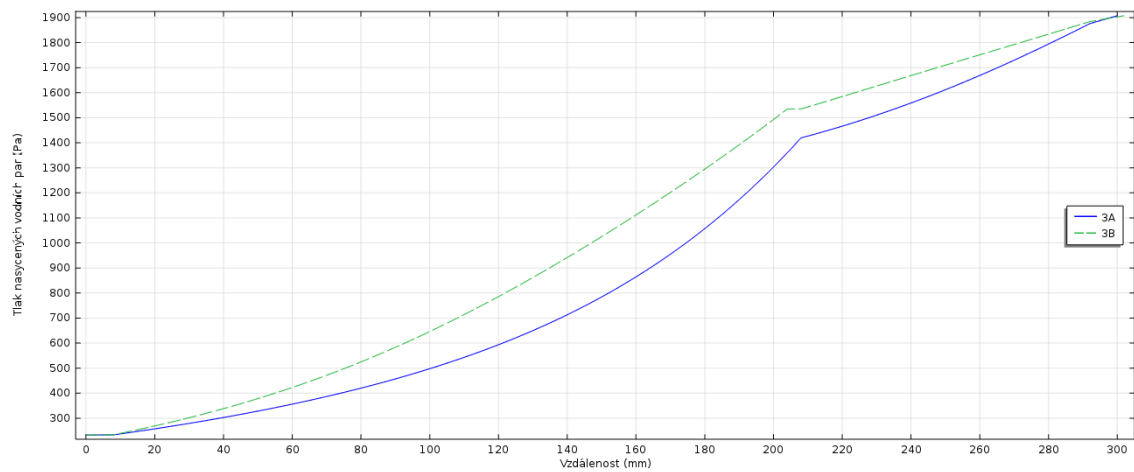
Obr. 55. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



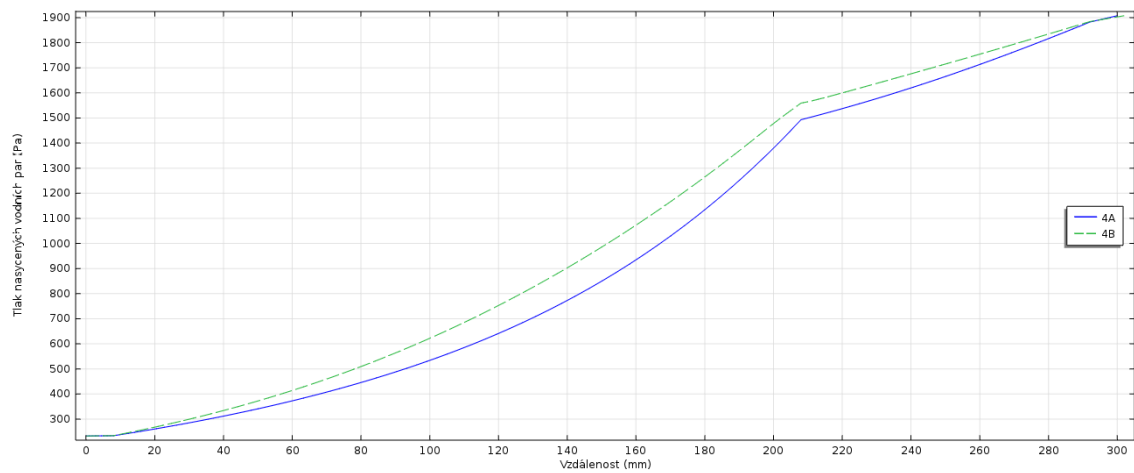
Obr. 56. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



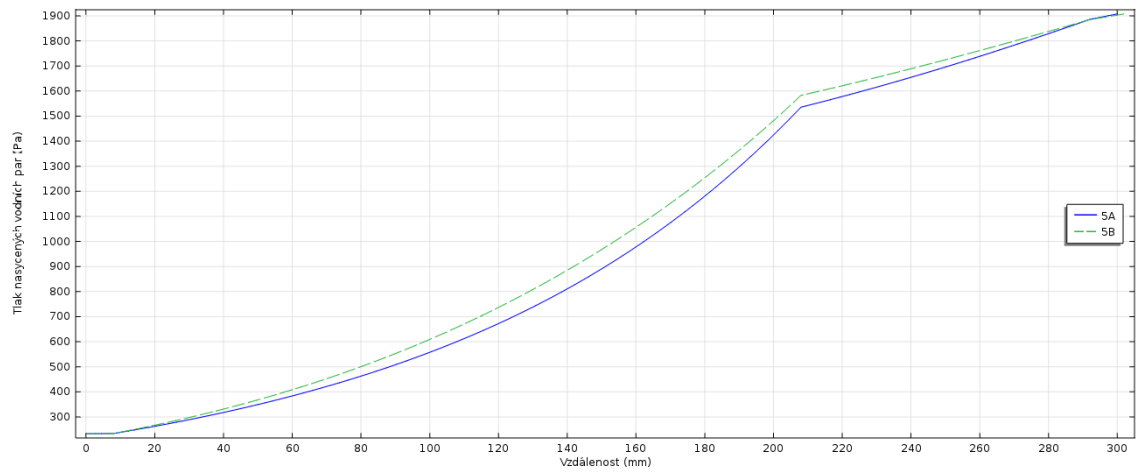
Obr. 57. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



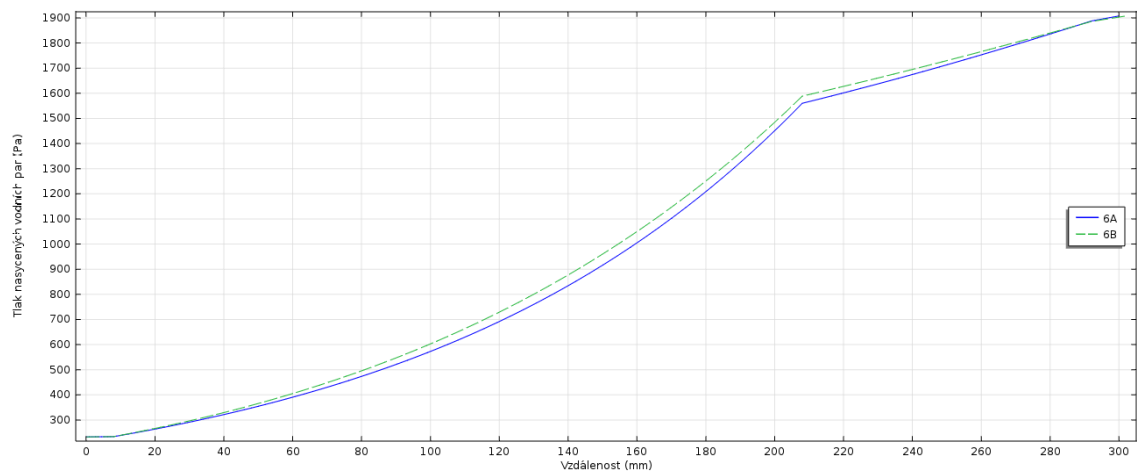
Obr. 58. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



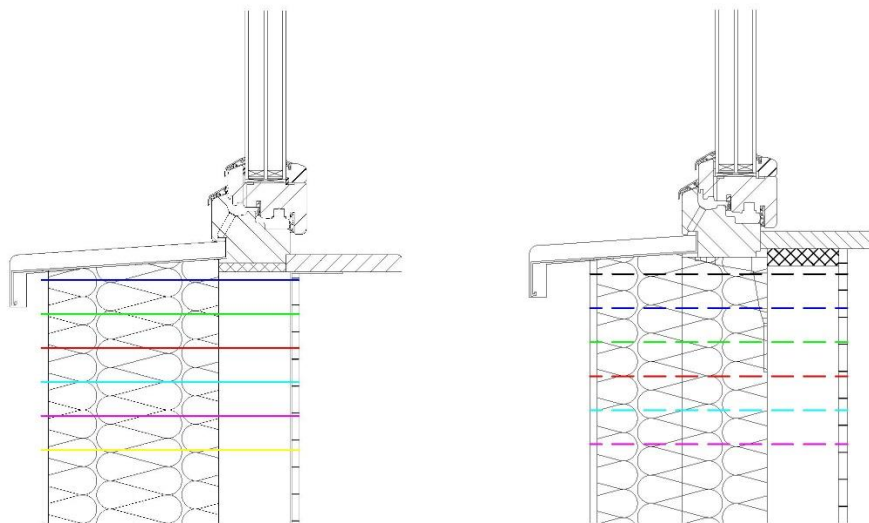
Obr. 59. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



Obr. 60. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci

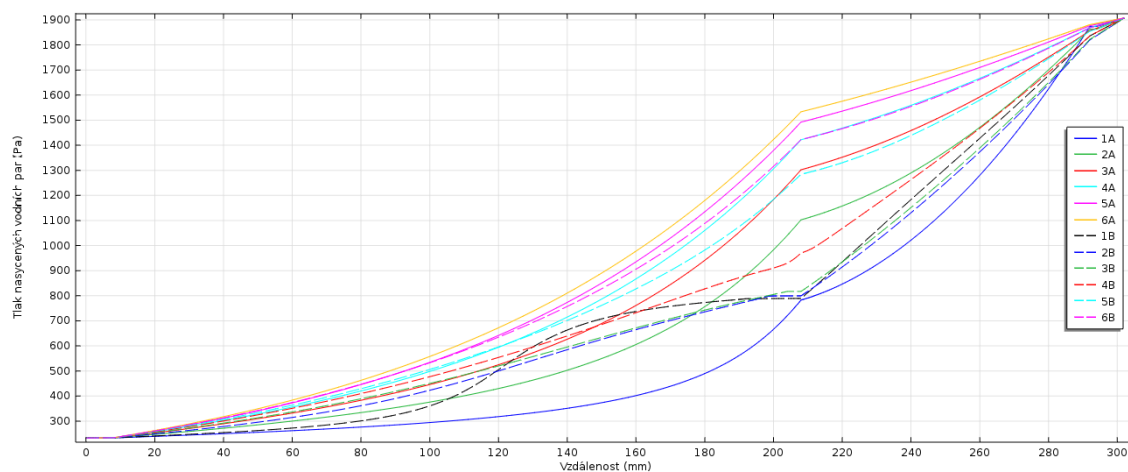


Obr. 61. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci

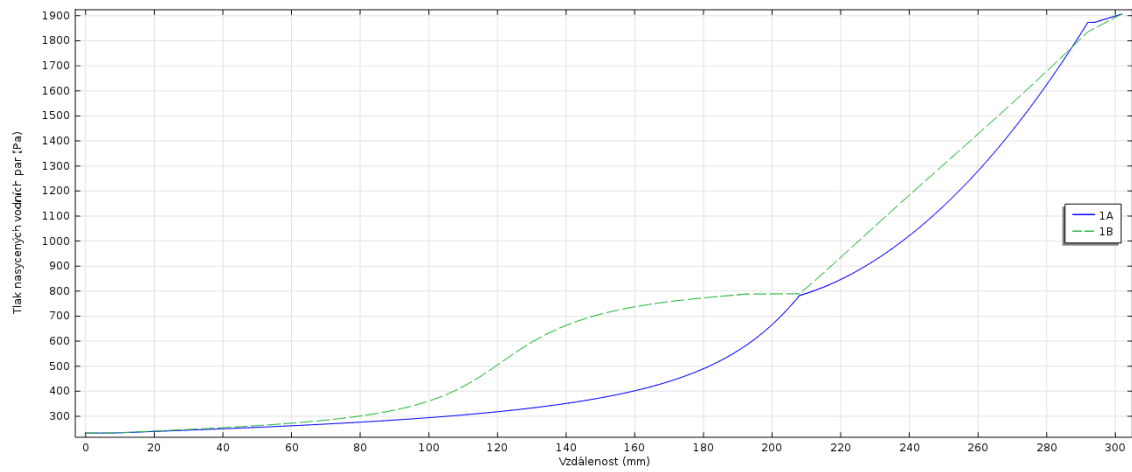


Obr. 62. Zobrazení sledovaných úsečků.

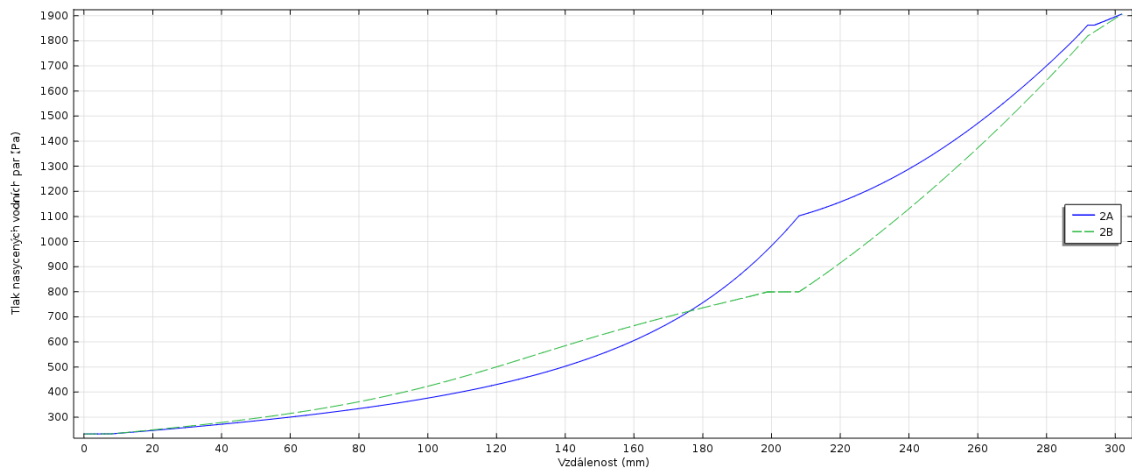
Na obrázku číslo 62 jsou vyobrazeny úsečky, na kterých je sledován tlak nasycených vodních par.



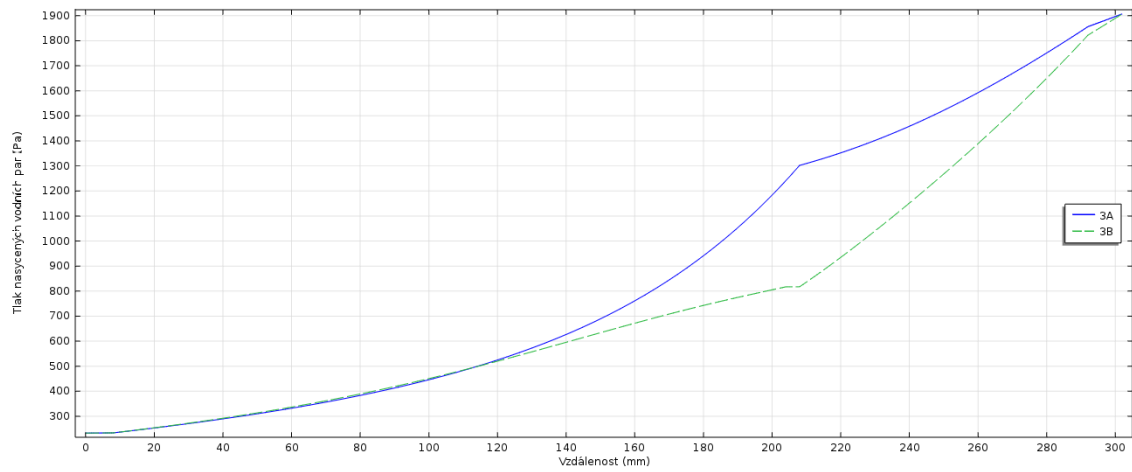
Obr. 63. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



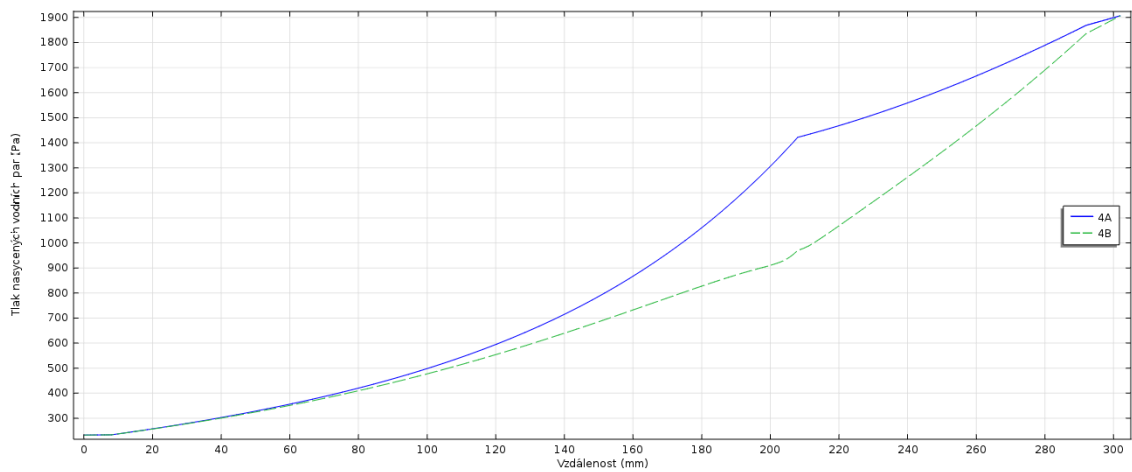
Obr. 64. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



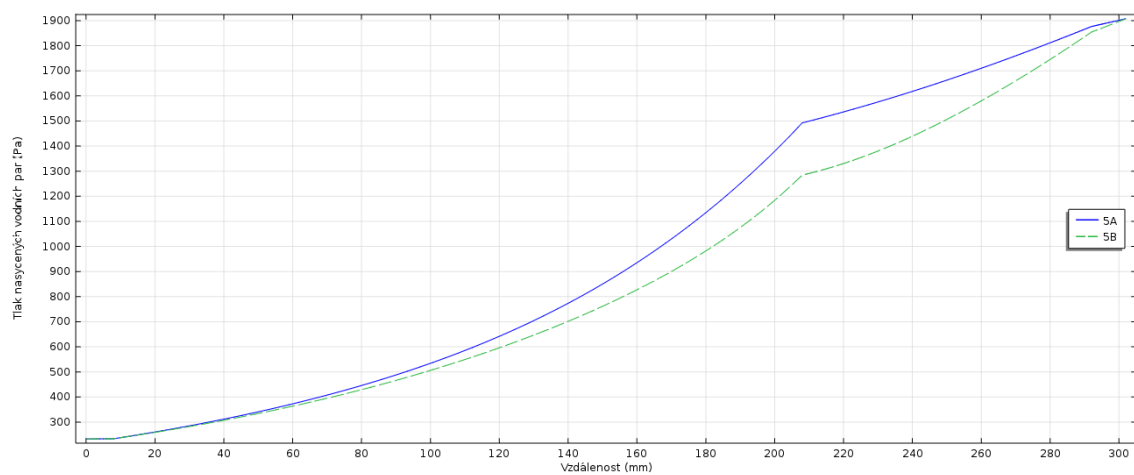
Obr. 65. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



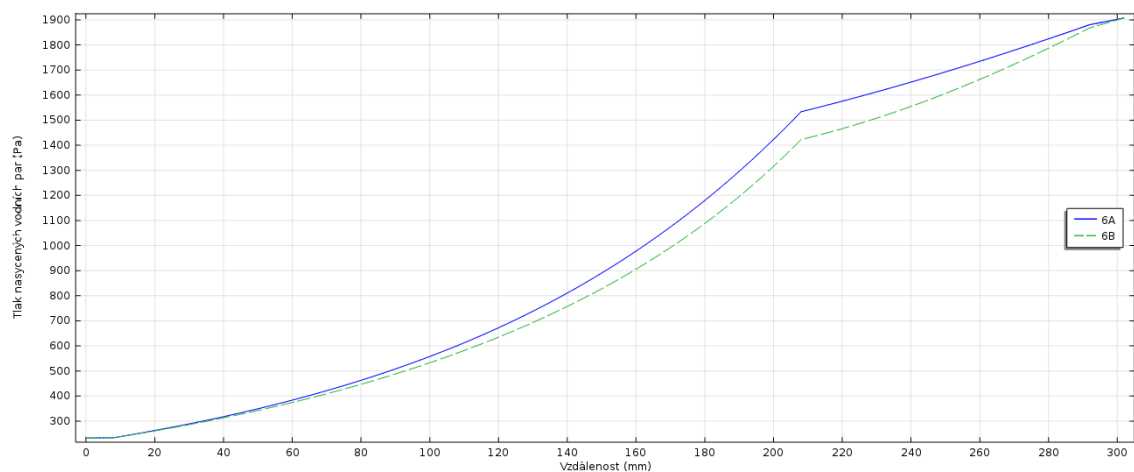
Obr. 66. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



Obr. 67. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



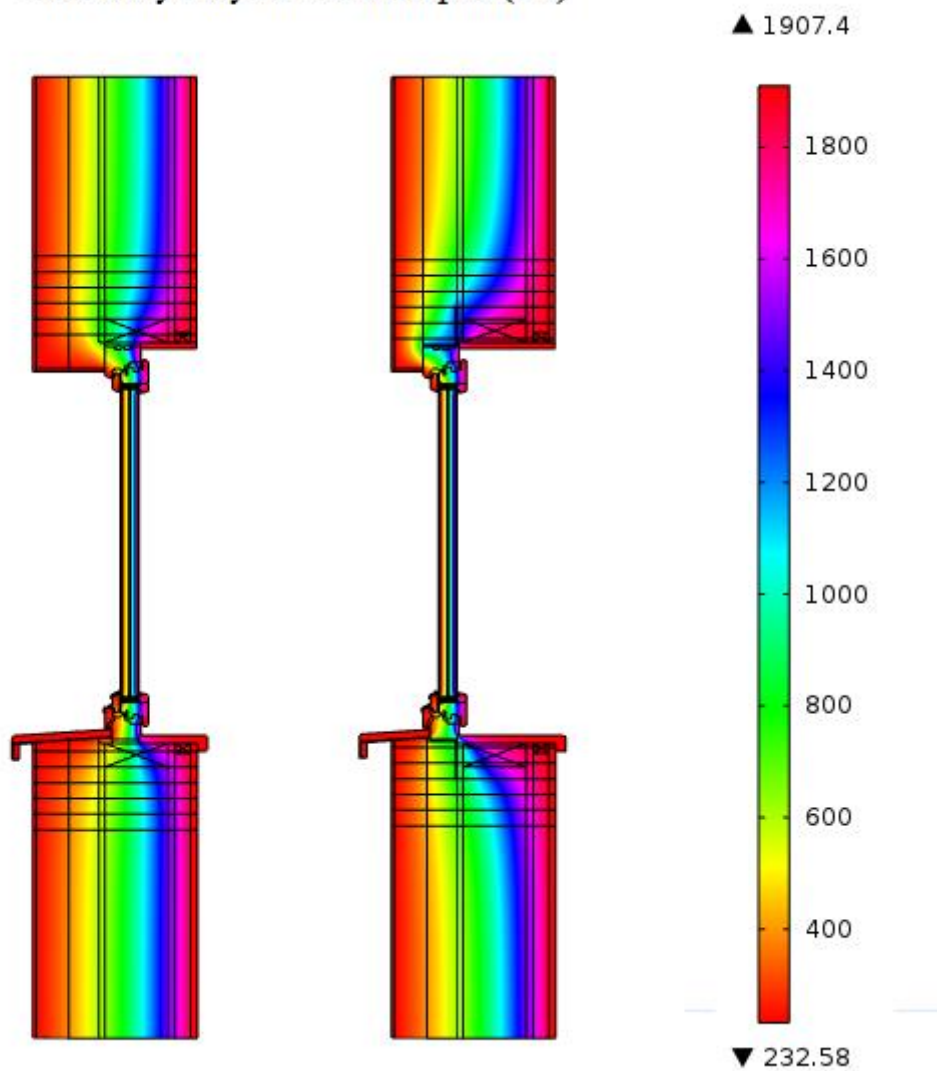
Obr. 68. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



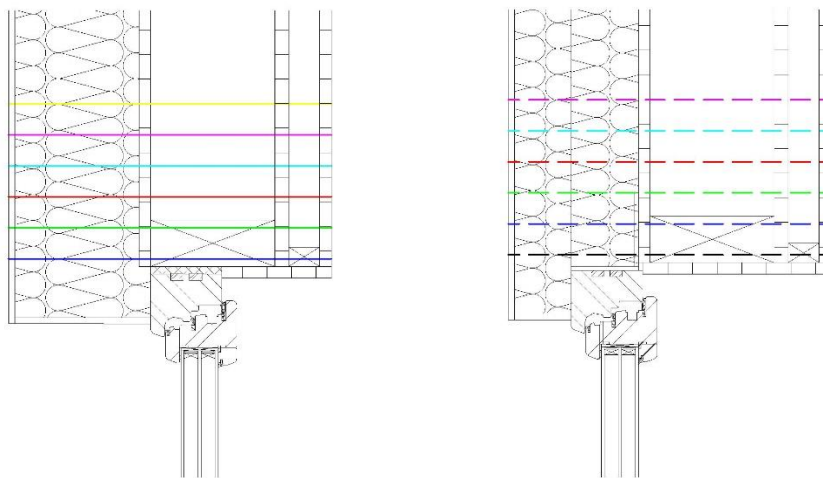
Obr. 69. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci

Modely 3 a 4

Tlak nasycených vodních par (Pa)

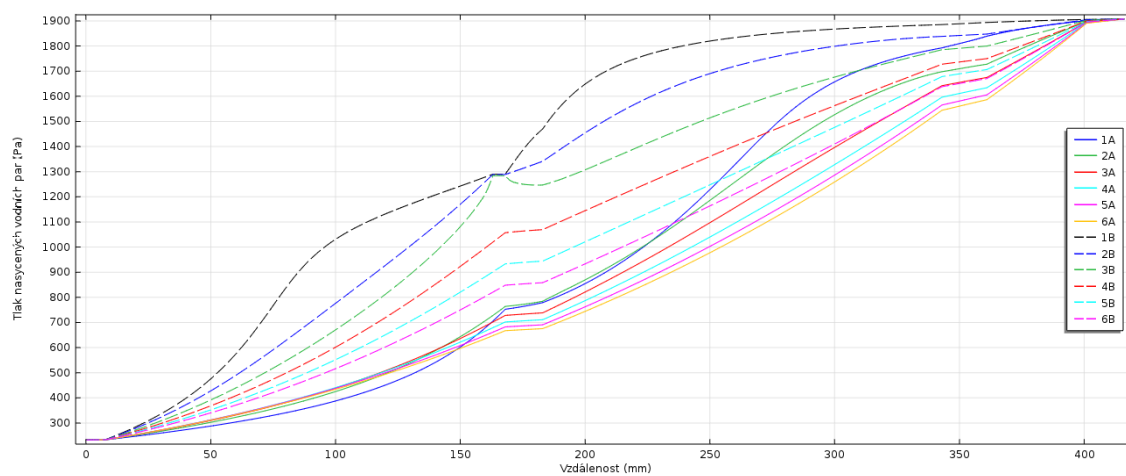


Obr. 70. Tlak nasycených vodních par v konstrukci

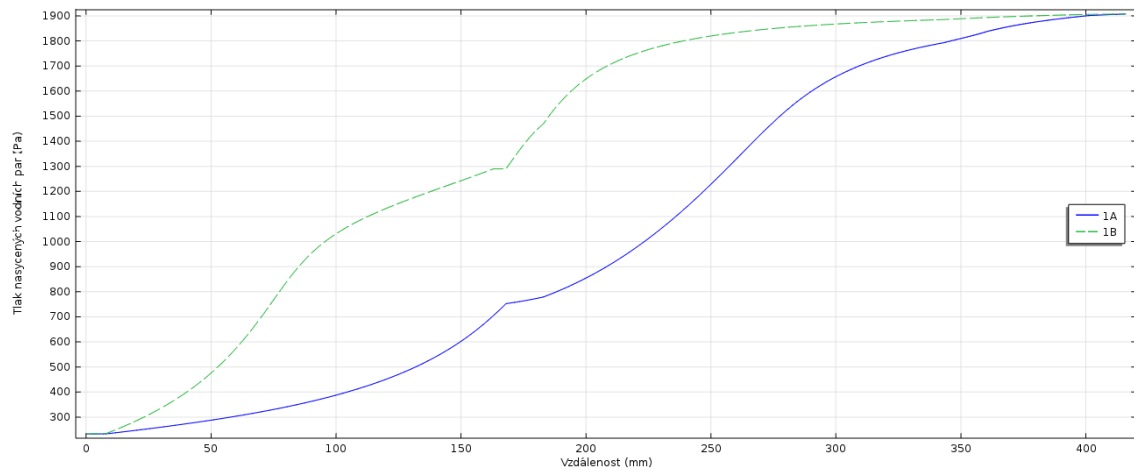


Obr. 71. Zobrazení sledovaných úsečků.

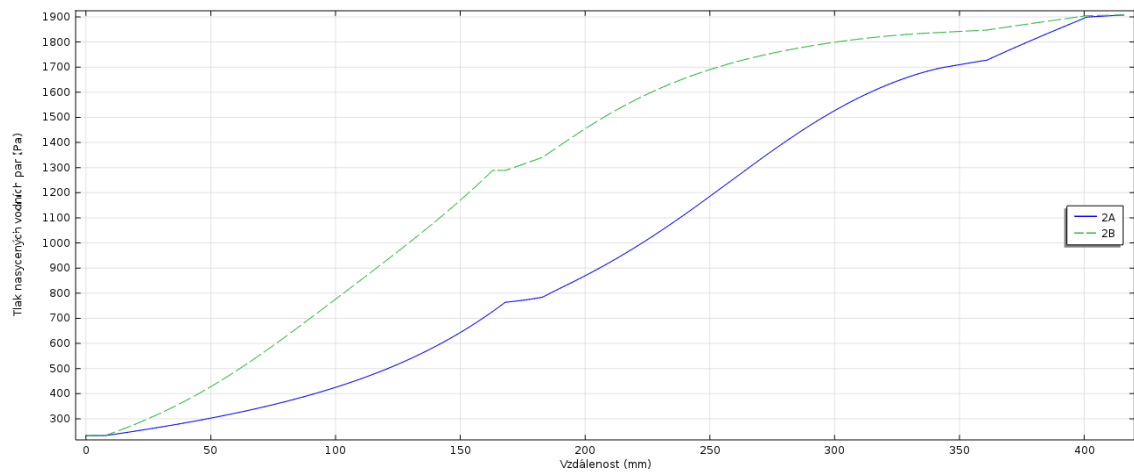
Na obrázku číslo 71 jsou vyobrazeny úsečky, na kterých je sledován tlak nasycených vodních par.



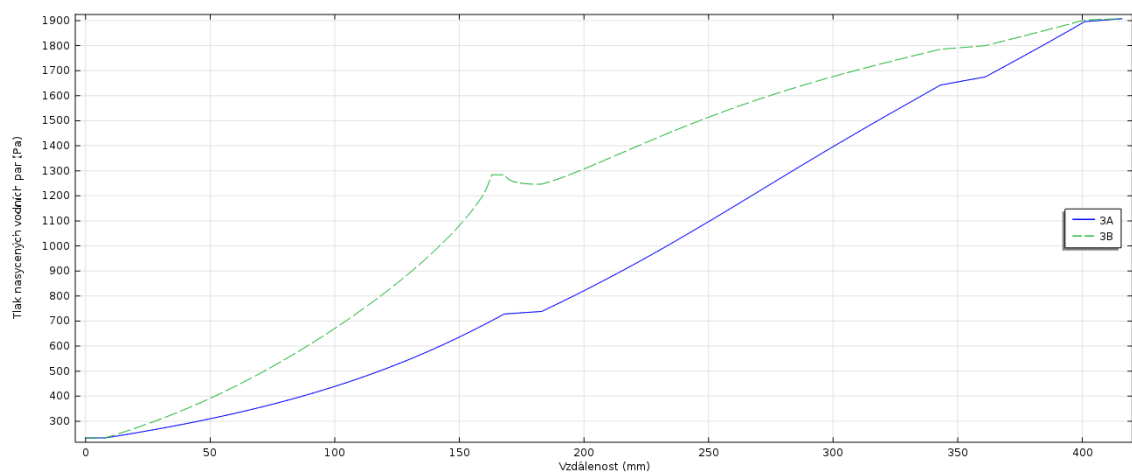
Obr. 72. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



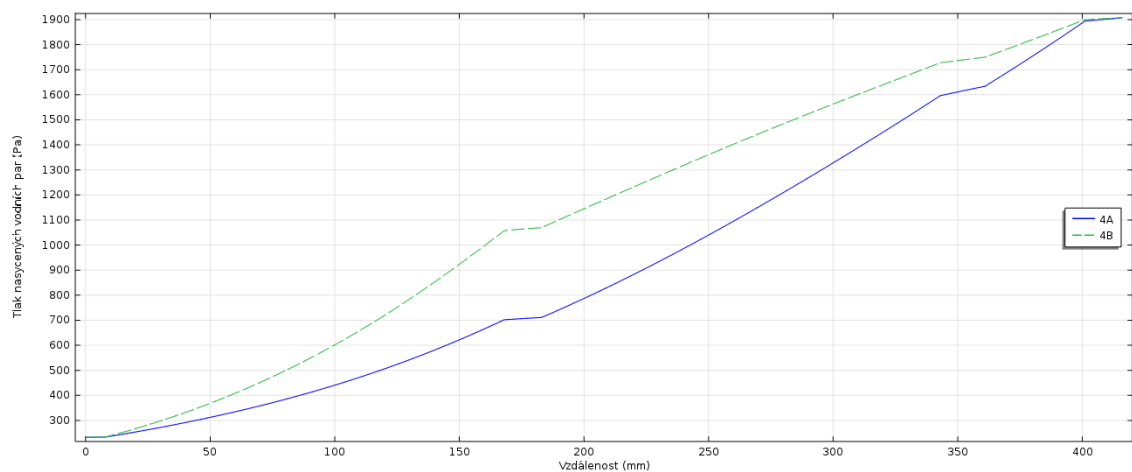
Obr. 73. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



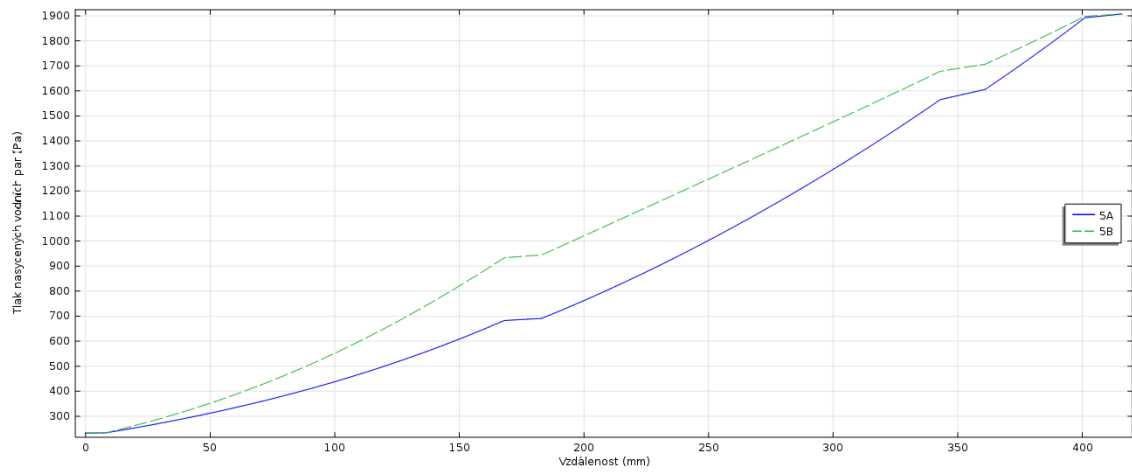
Obr. 74. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



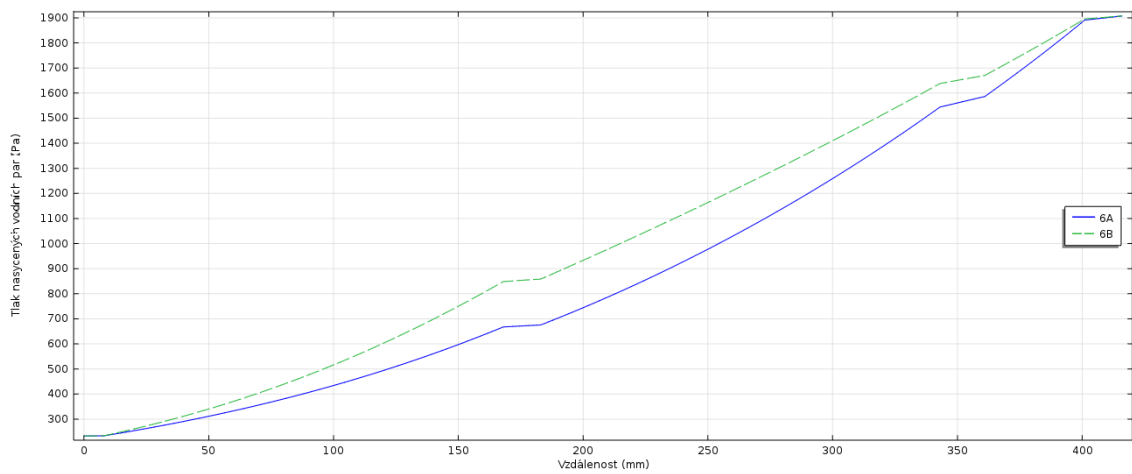
Obr. 75. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



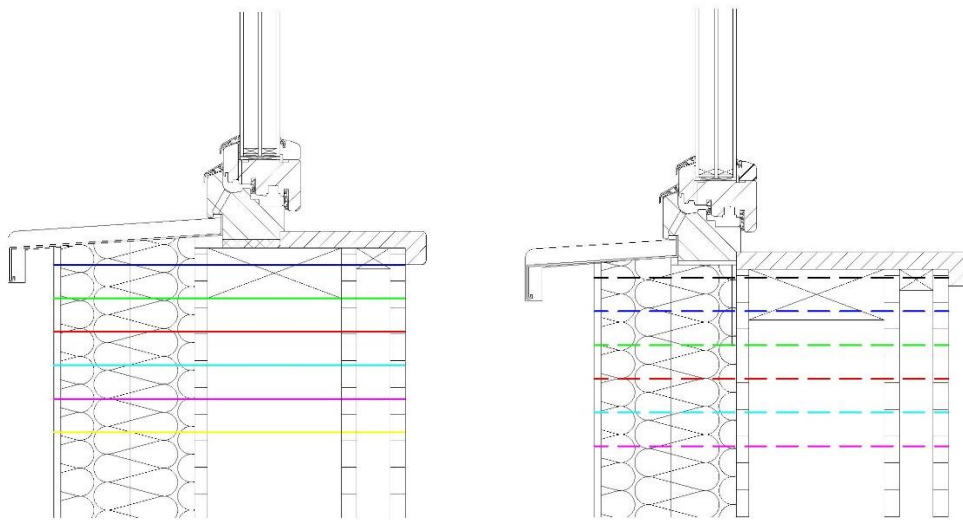
Obr. 76. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



Obr. 77. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci

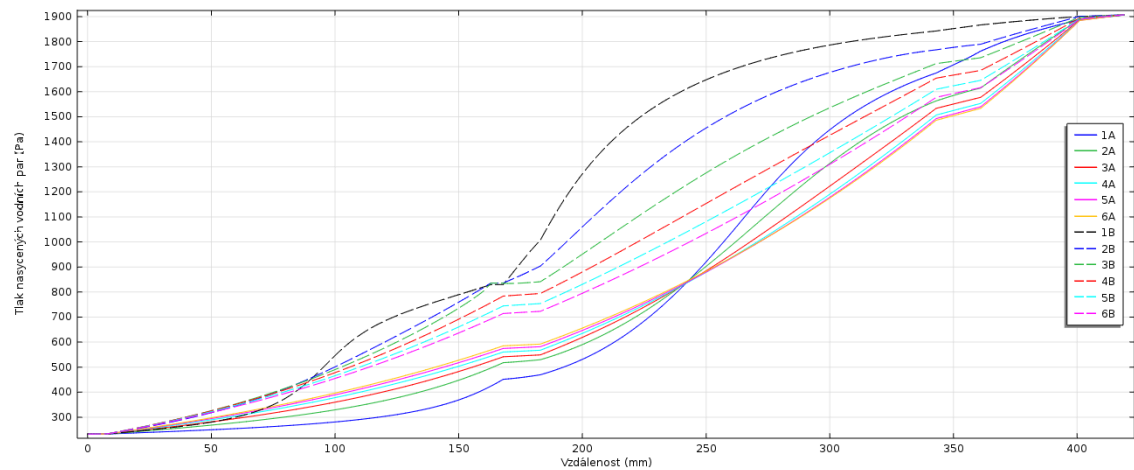


Obr. 78. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci

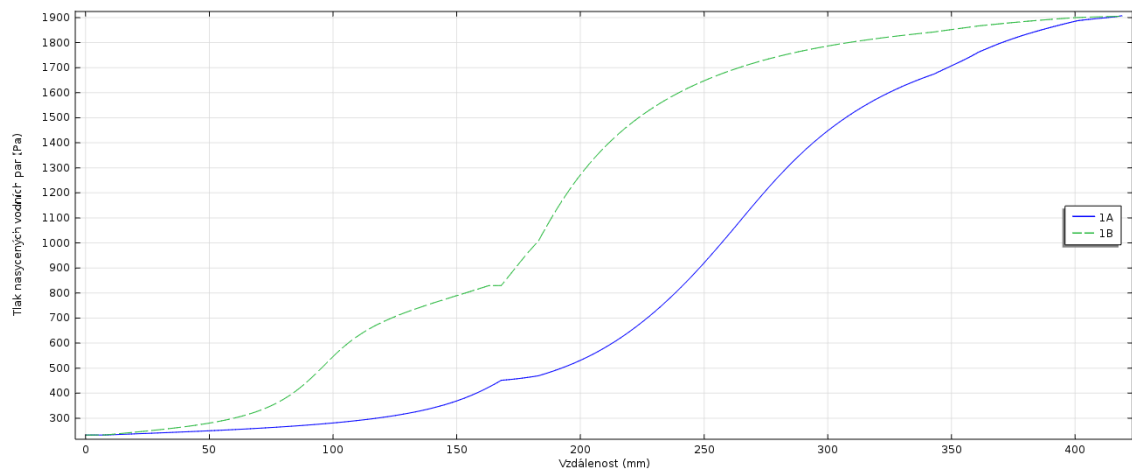


Obr. 79. Zobrazení sledovaných úsečků.

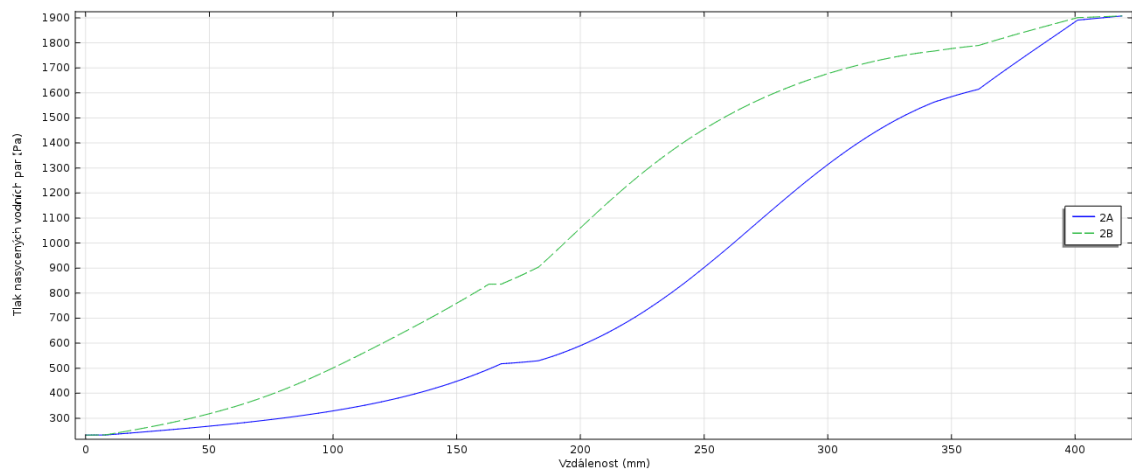
Na obrázku číslo 79 jsou vyobrazeny úsečky, na kterých je sledován tlak nasycených vodních par.



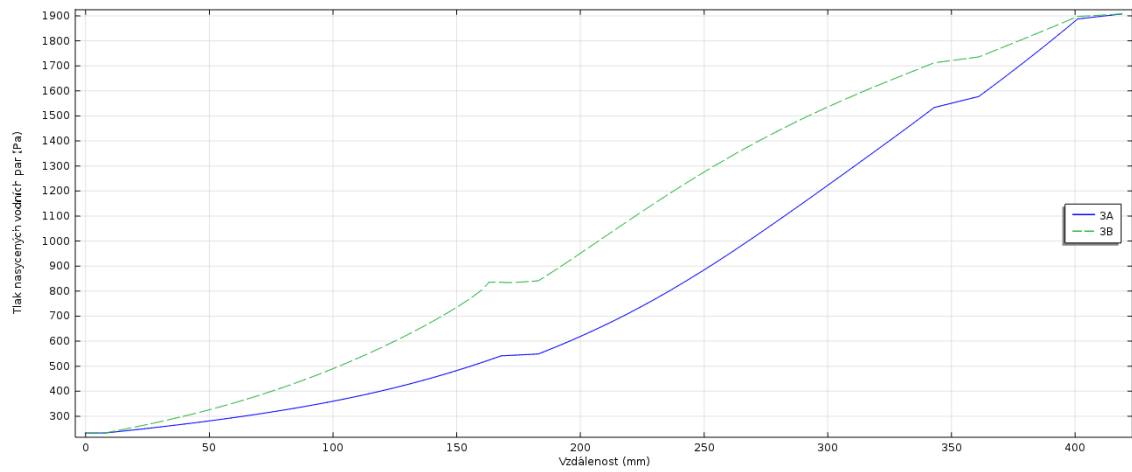
Obr. 80. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



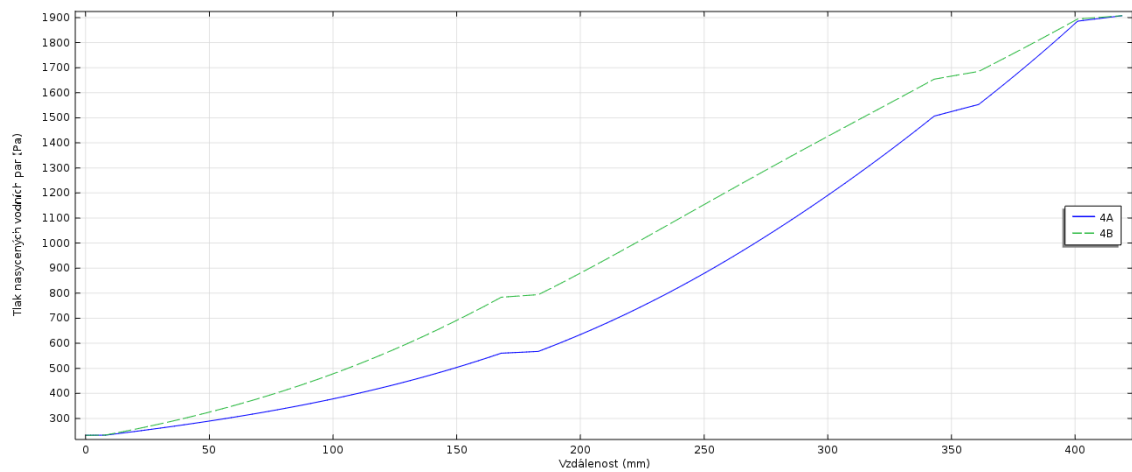
Obr. 81. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



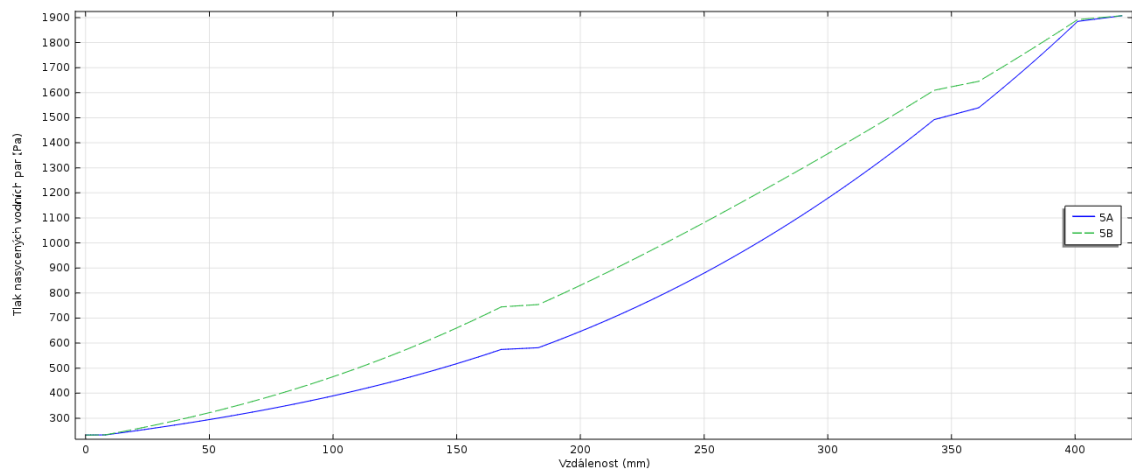
Obr. 82. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



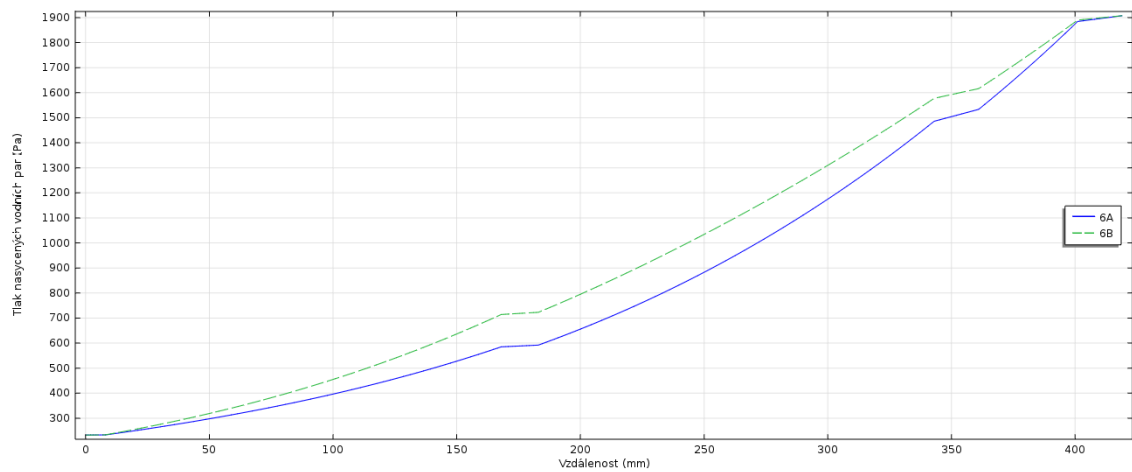
Obr. 83. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



Obr. 84. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



Obr. 85. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci

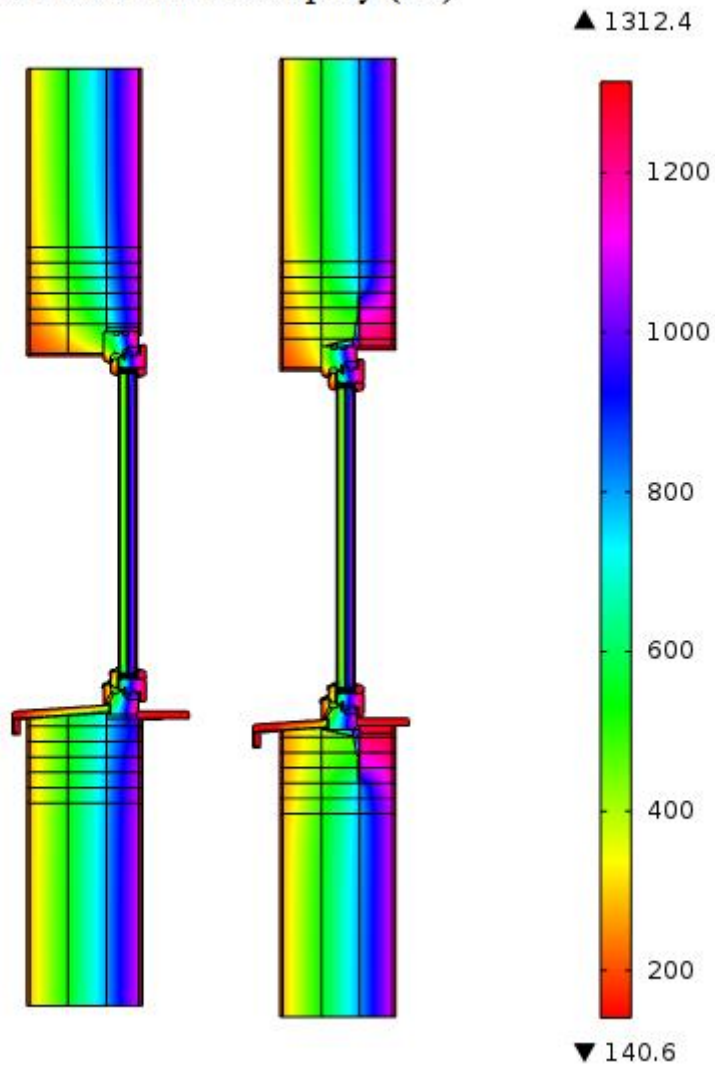


Obr. 86. Tlak nasycených vodních par na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci

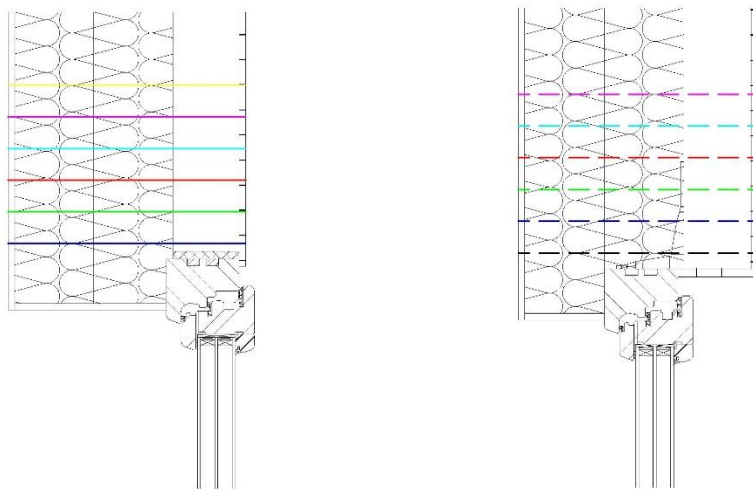
5.3. Parciální tlak vodní páry

Modely 1 a 2

Parciální tlak vodní páry (Pa)

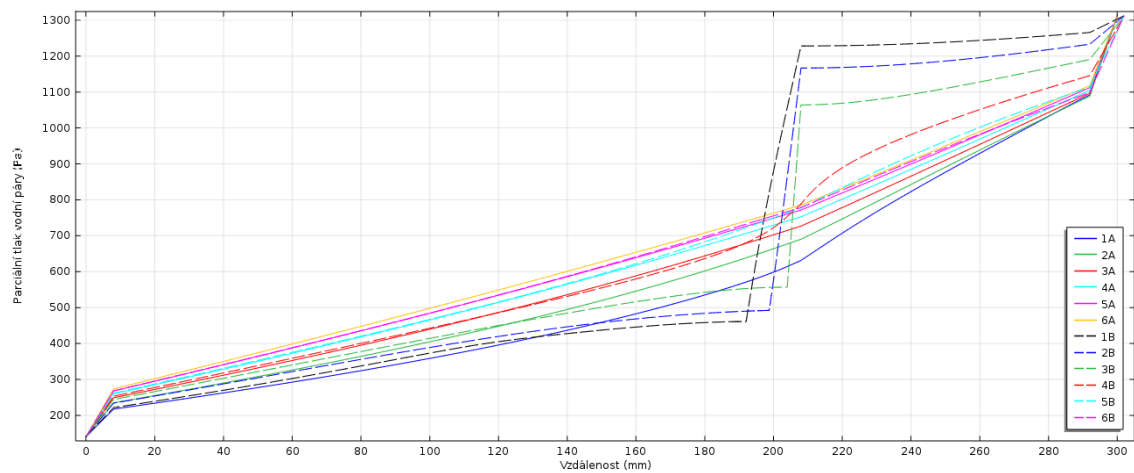


Obr. 87. Parciální tlak vodní páry v konstrukci

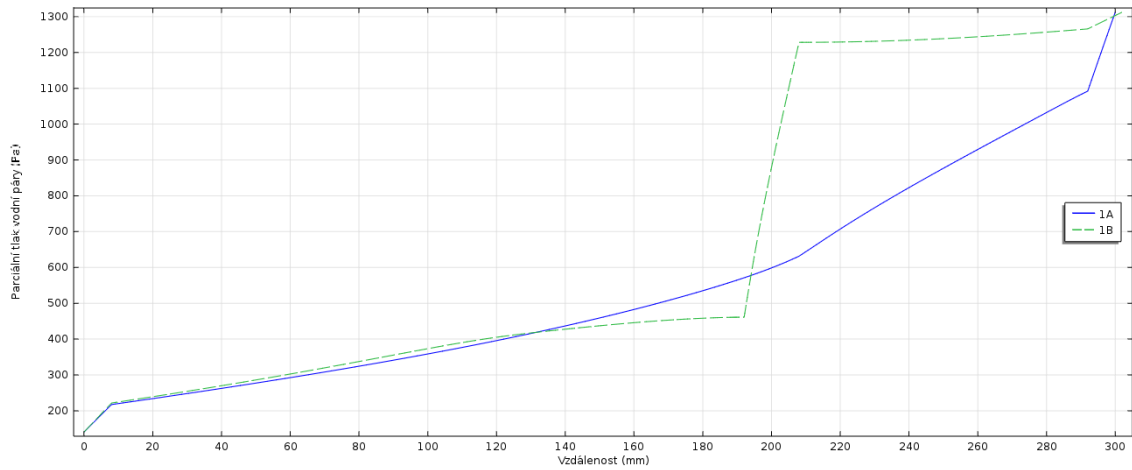


Obr. 88. Zobrazení sledovaných úsečků.

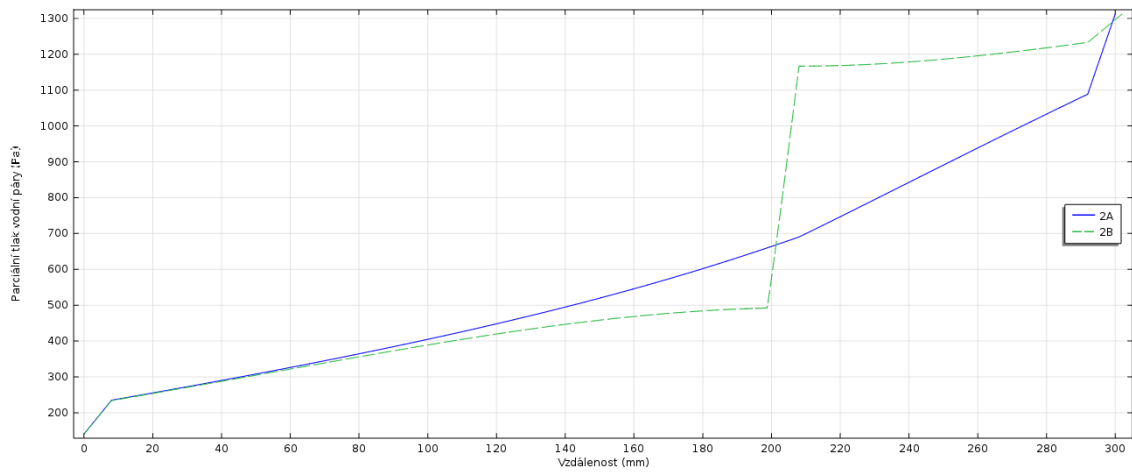
Na obrázku číslo 88 jsou vyobrazeny úsečky, na kterých je sledován parciální tlak vodní páry.



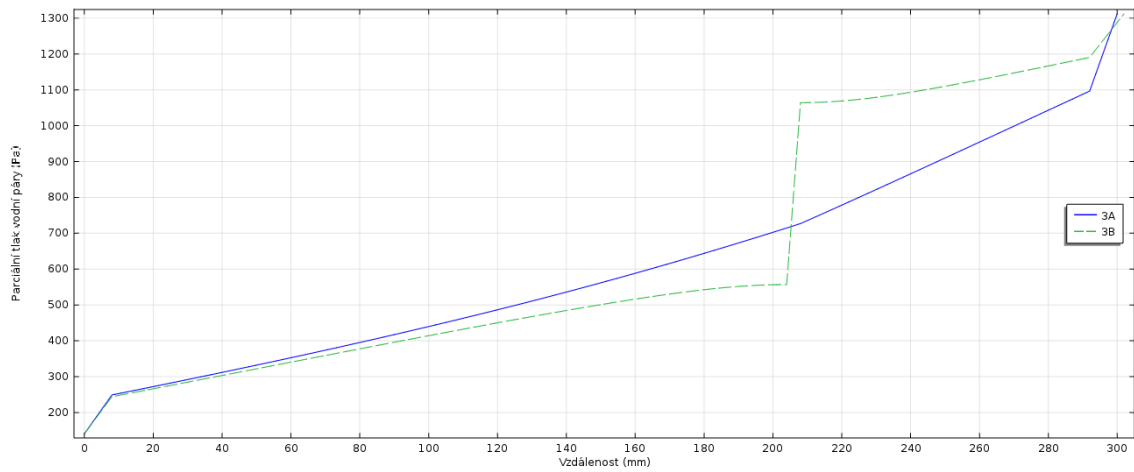
Obr. 89. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



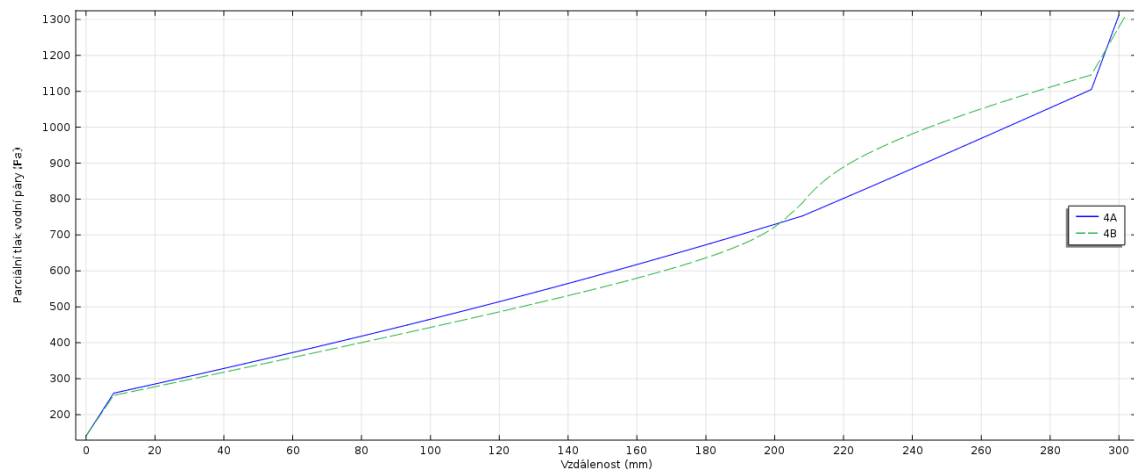
Obr. 90. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



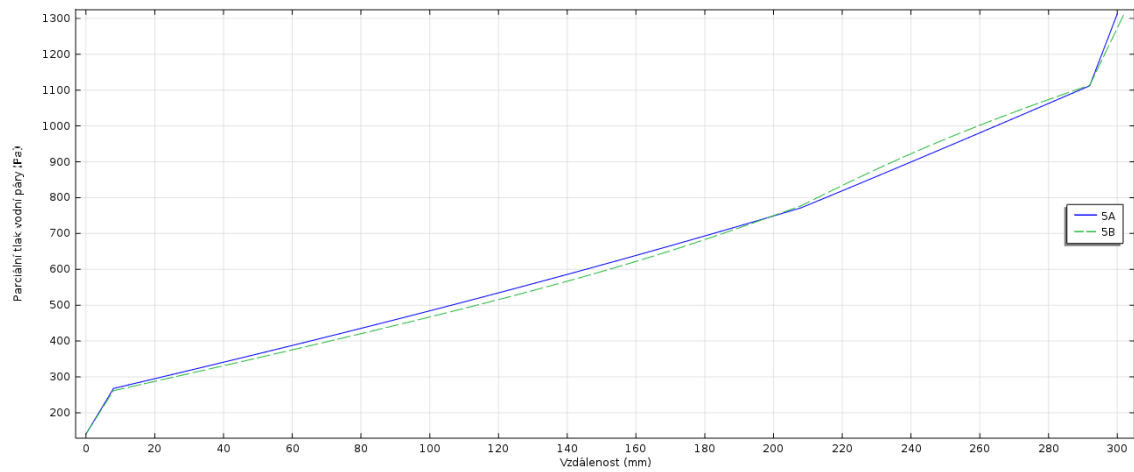
Obr. 91. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



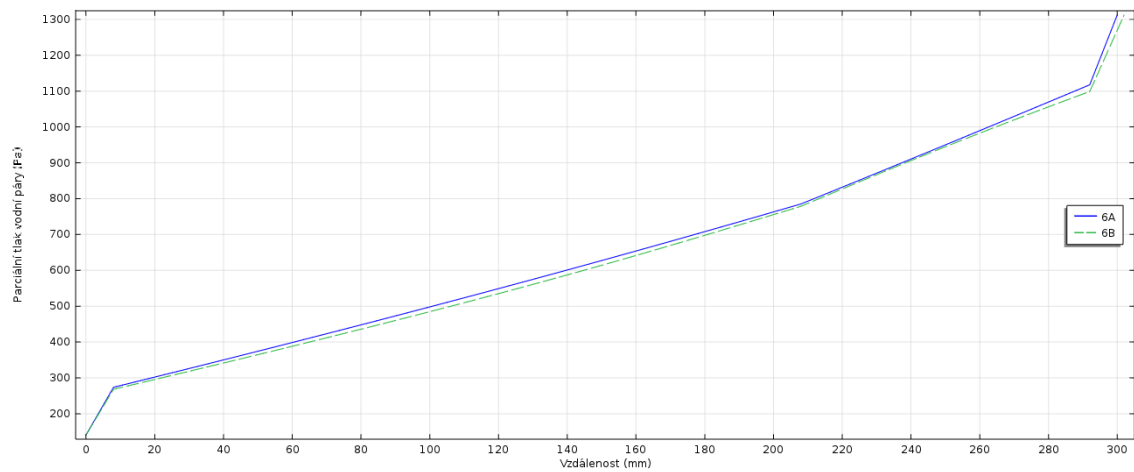
Obr. 92. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



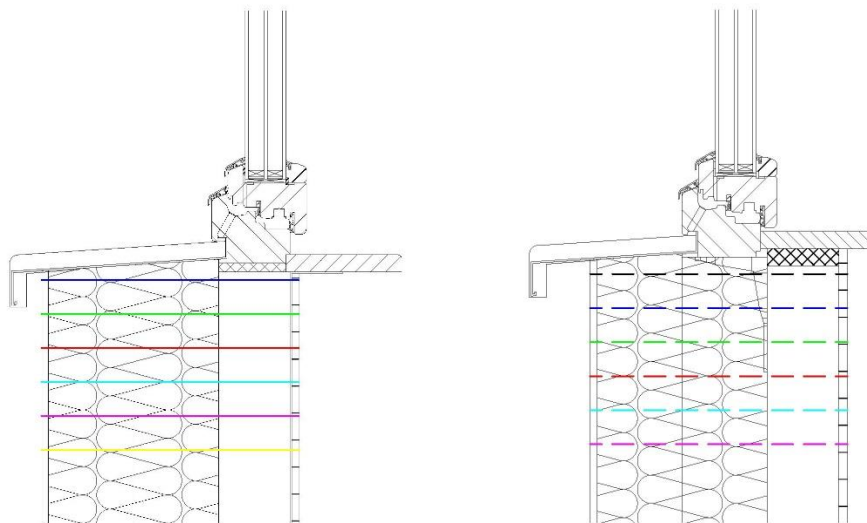
Obr. 93. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



Obr. 94. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci

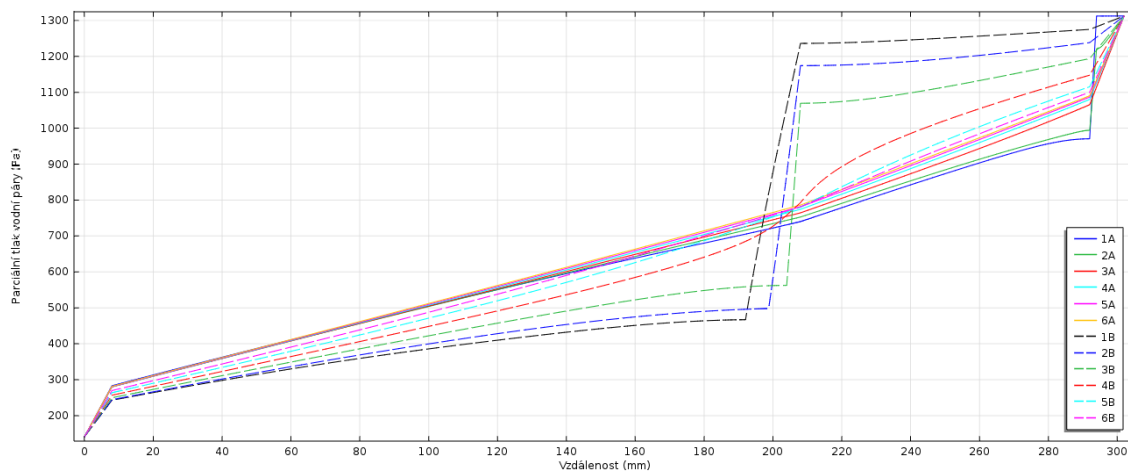


Obr. 95. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci

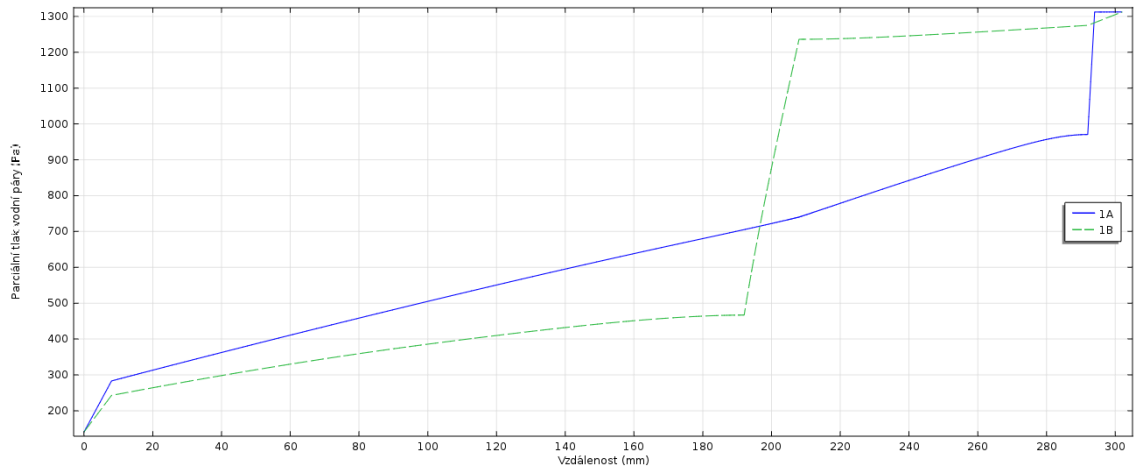


Obr. 96. Zobrazení sledovaných úsečků.

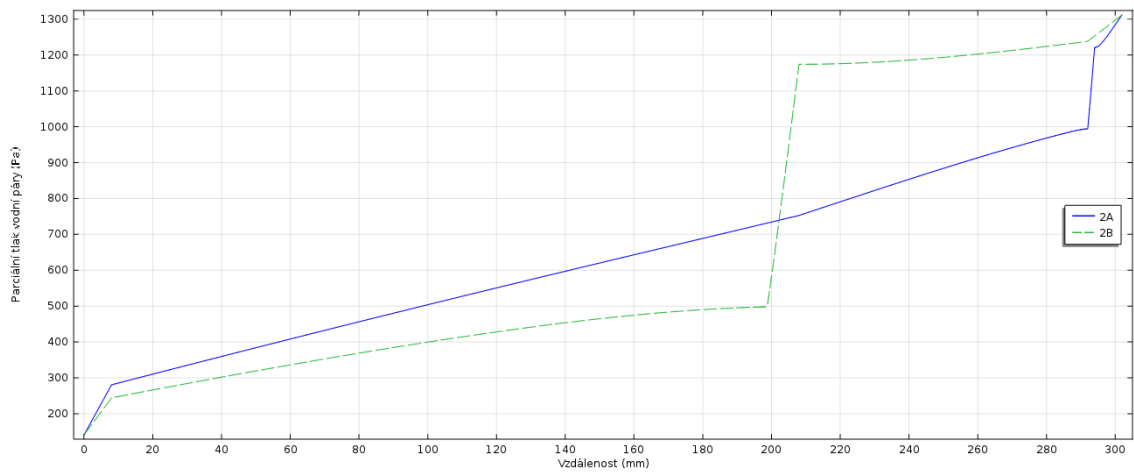
Na obrázku číslo 96 jsou vyobrazeny úsečky, na kterých je sledován parciální tlak vodní páry.



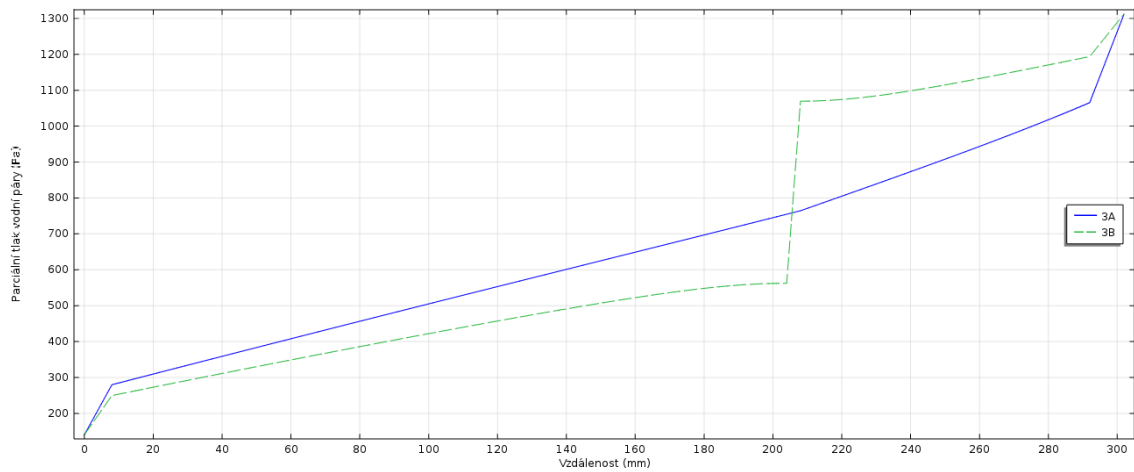
Obr. 97. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



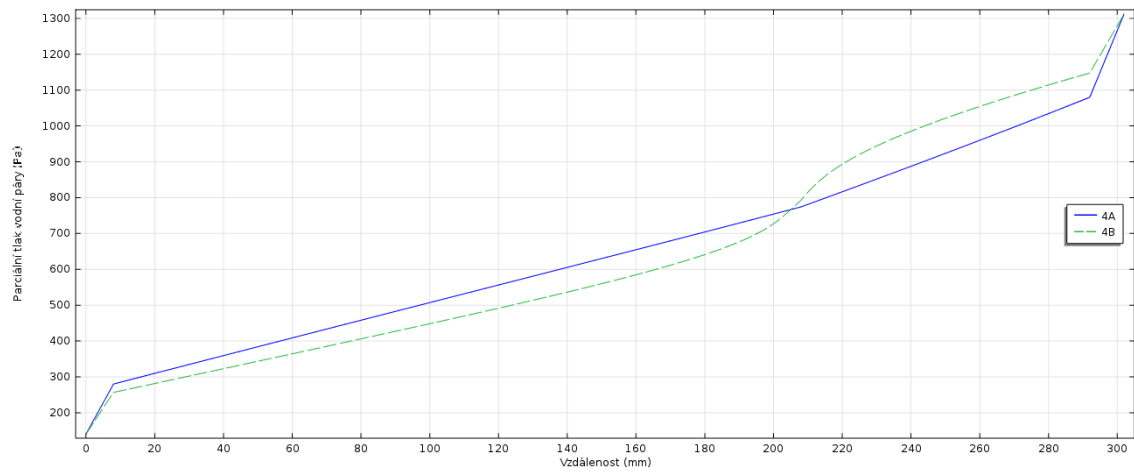
Obr. 98. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



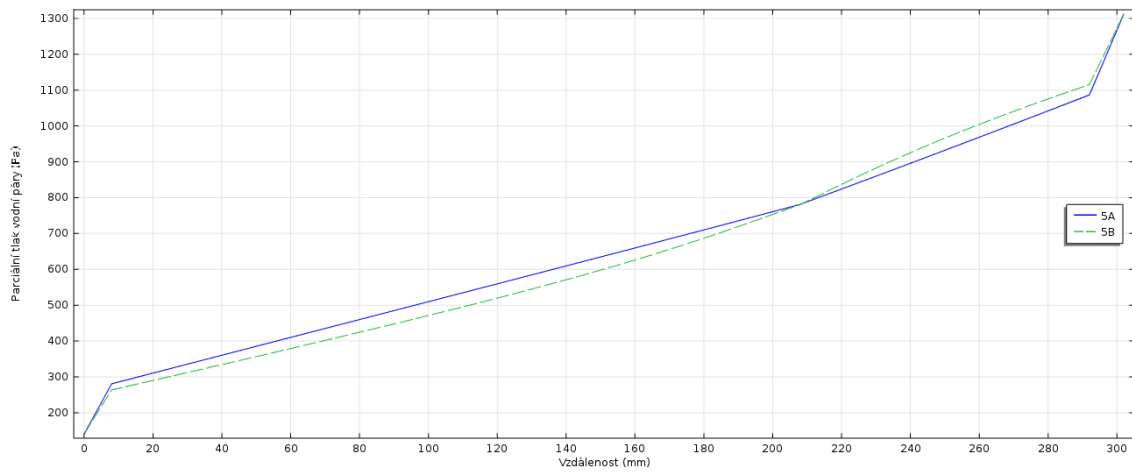
Obr. 99. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



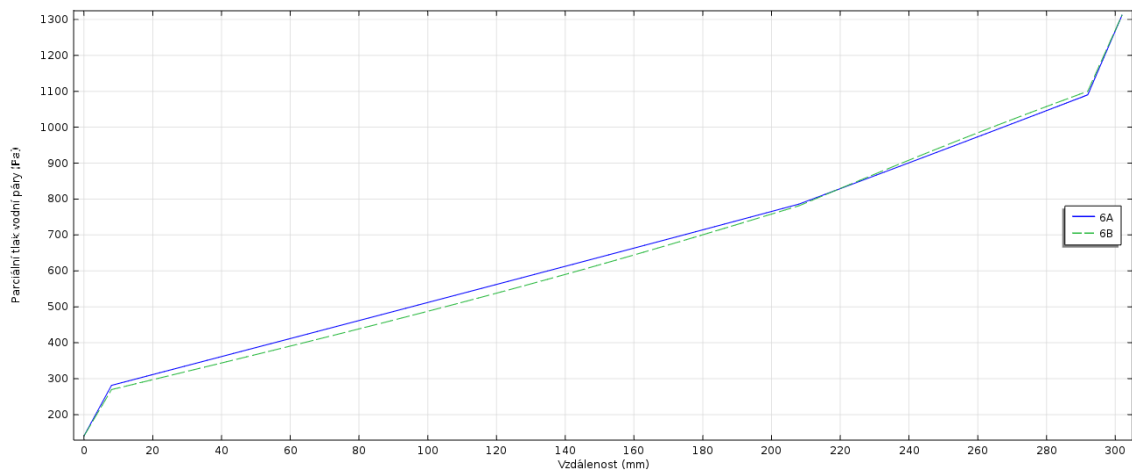
Obr. 100. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



Obr. 101. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



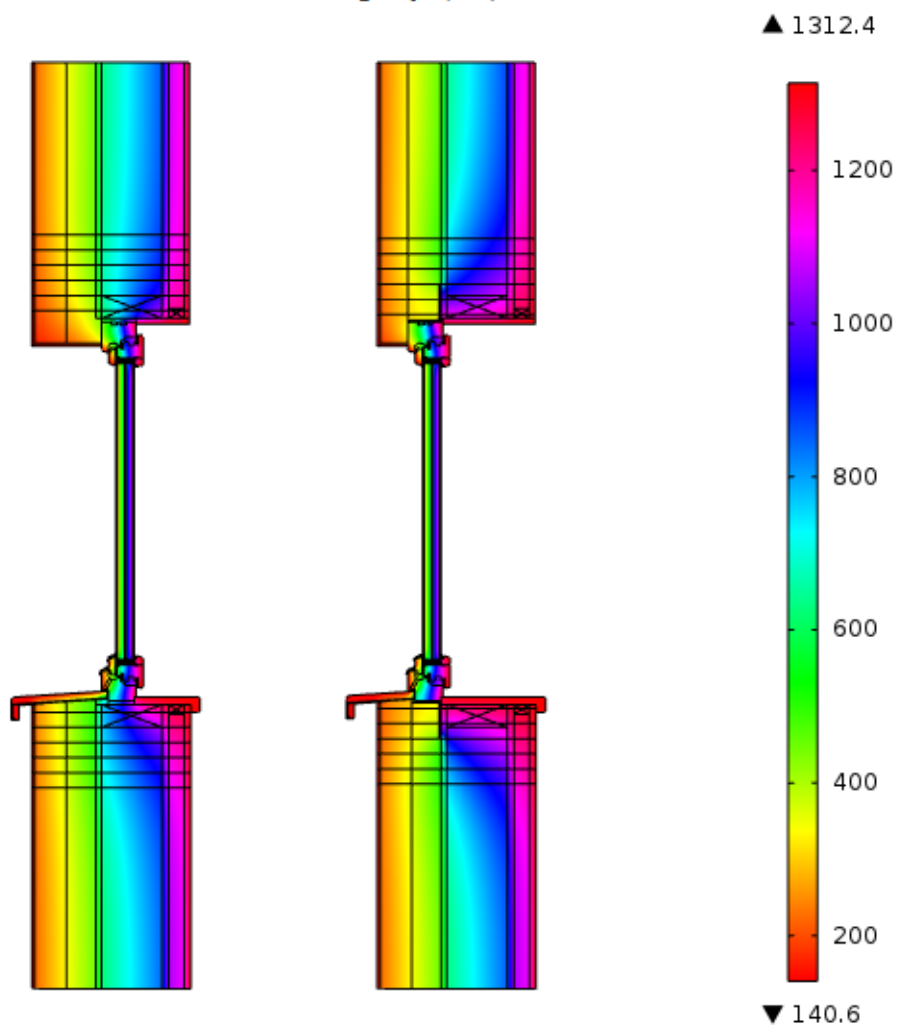
Obr. 102. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



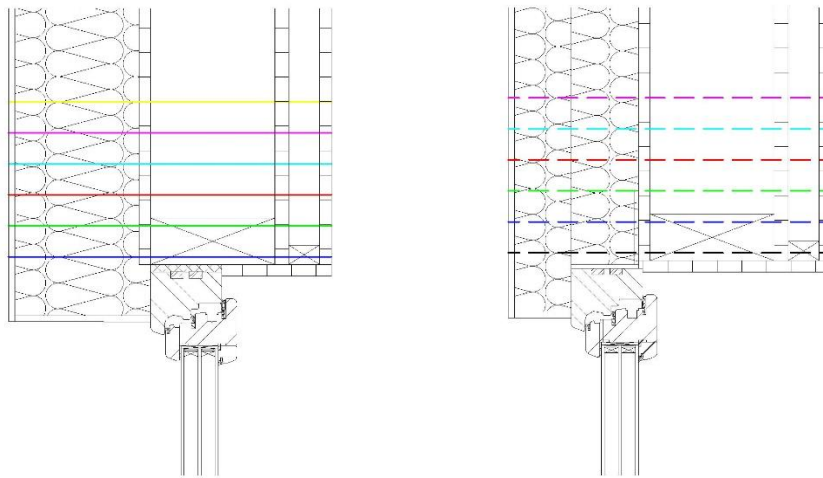
Obr. 103. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci

Modely 3 a 4

Parciální tlak vodní páry (Pa)

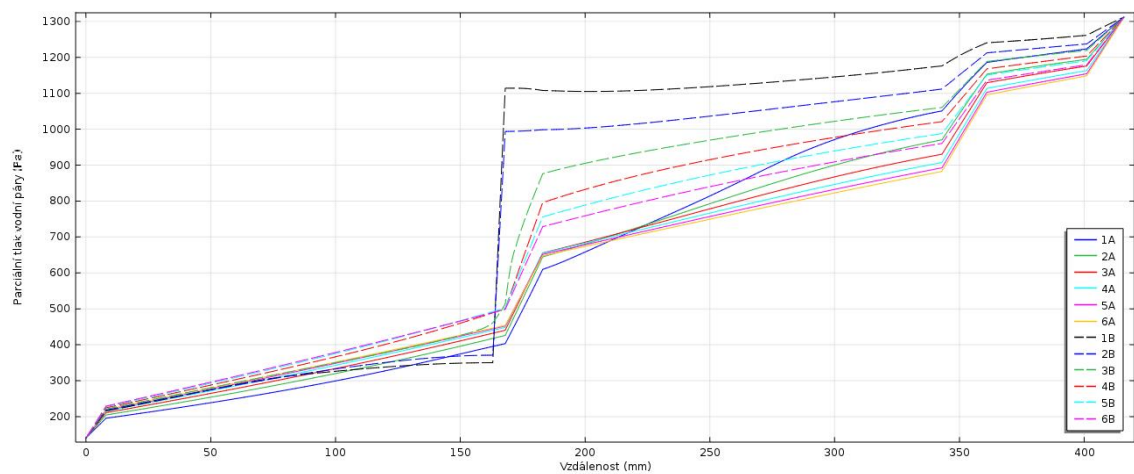


Obr. 104. Parciální tlak vodní páry v konstrukci

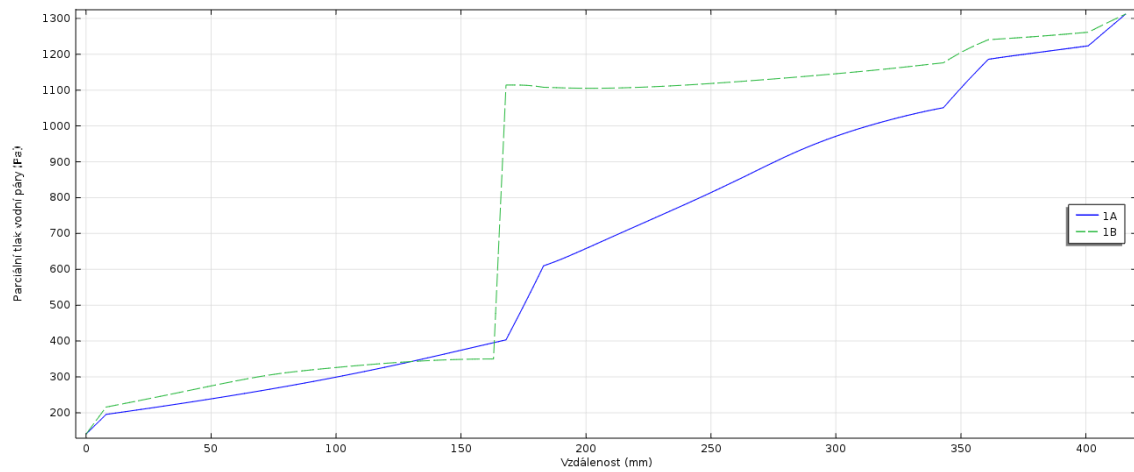


Obr. 105. Zobrazení sledovaných úseček

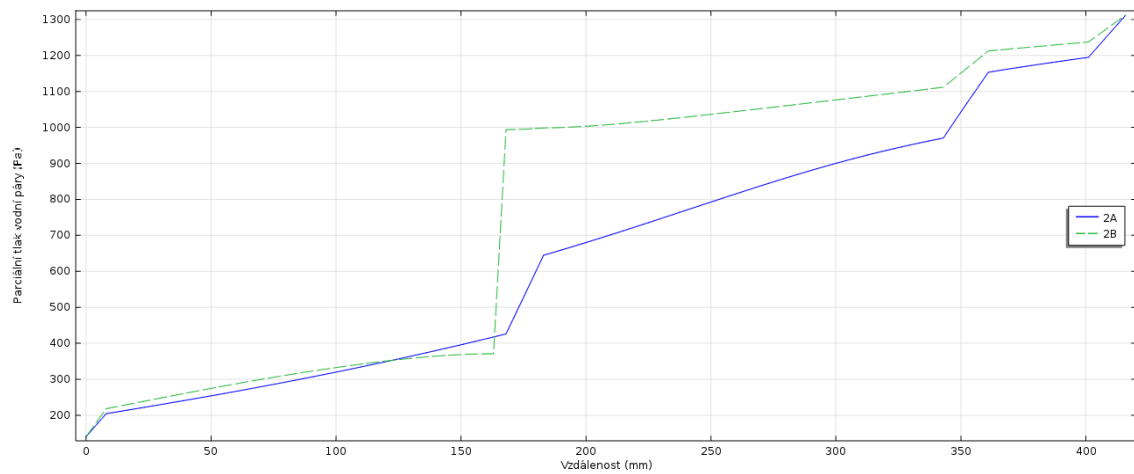
Na obrázku číslo 105 jsou vyobrazeny úsečky, na kterých je sledován parciální tlak vodní páry.



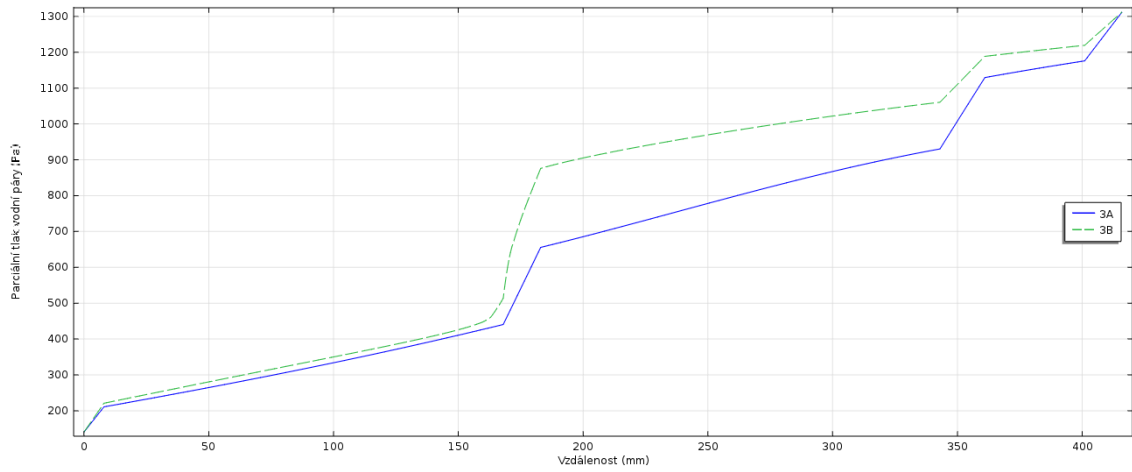
Obr. 106. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



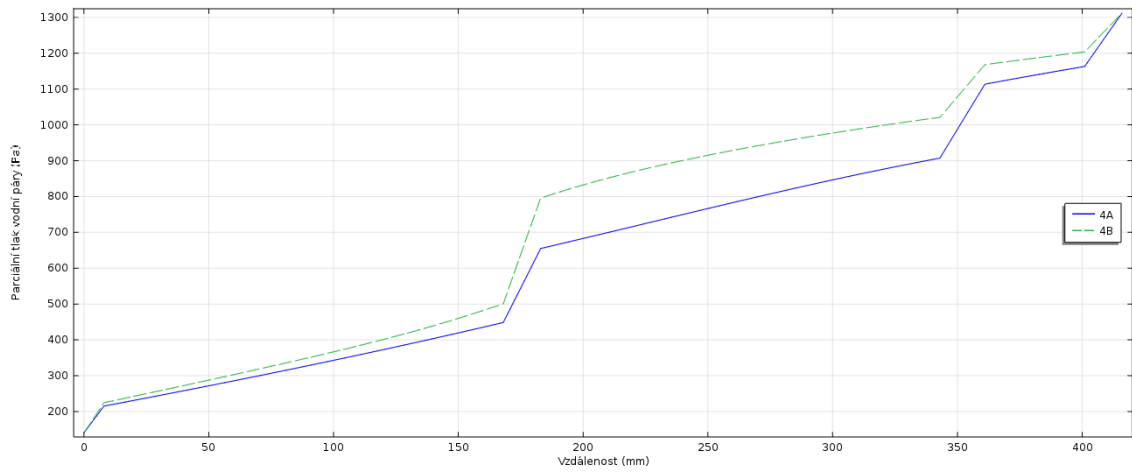
Obr. 107. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



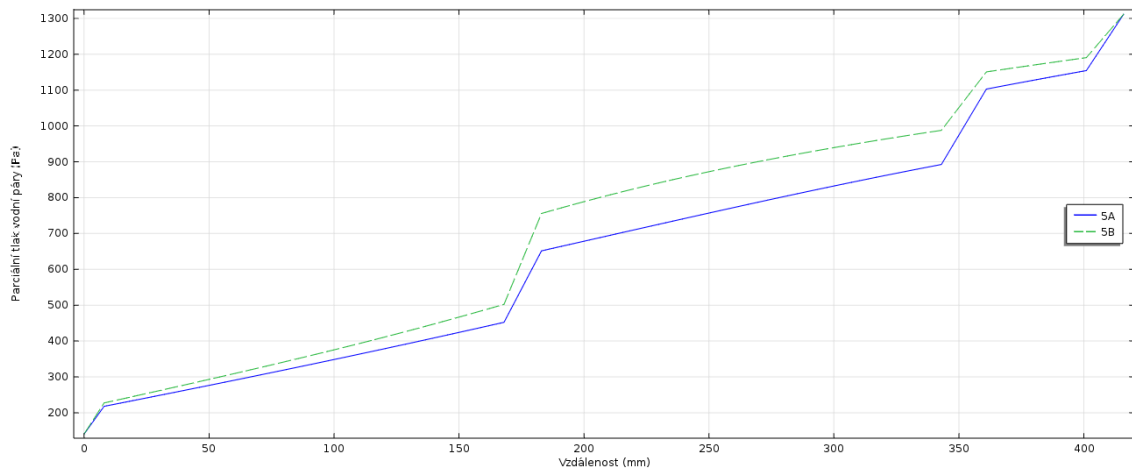
Obr. 108. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



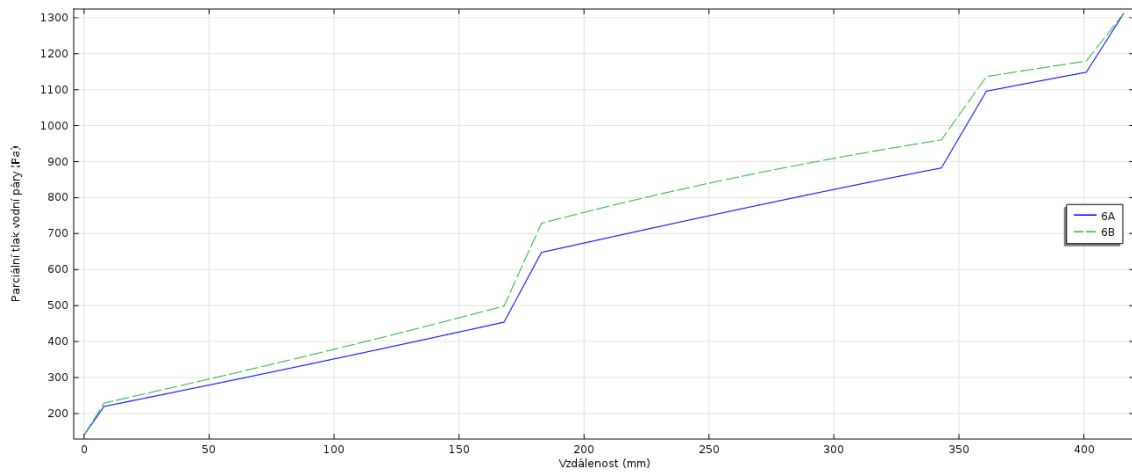
Obr. 109. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



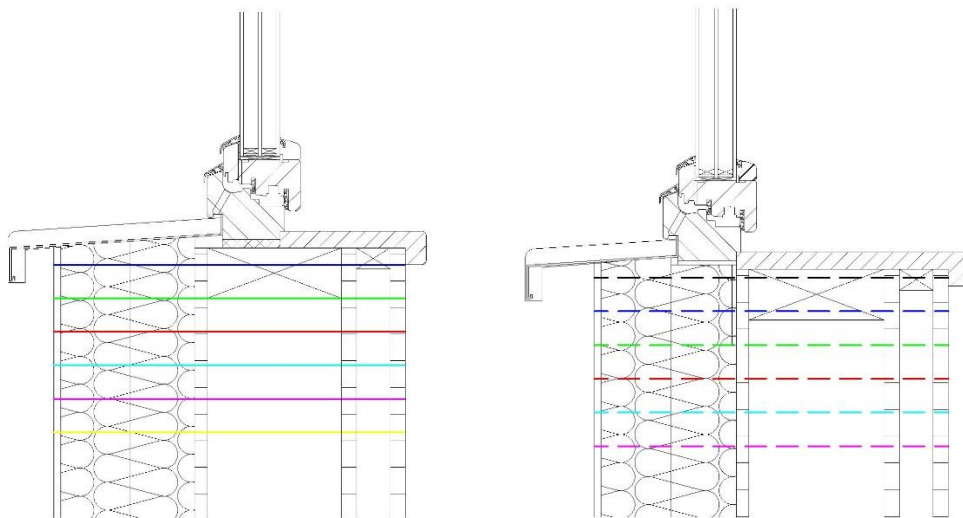
Obr. 110. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



Obr. 111. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci

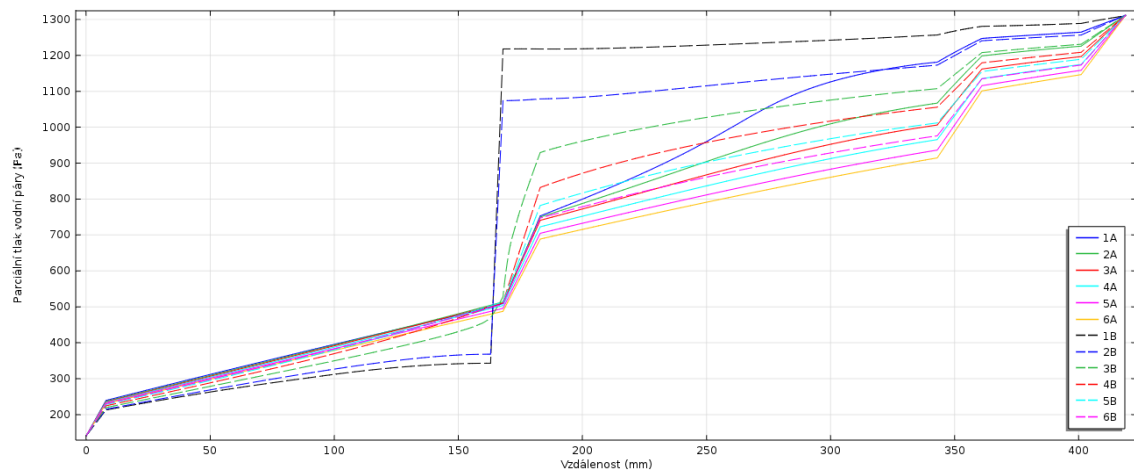


Obr. 112. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci

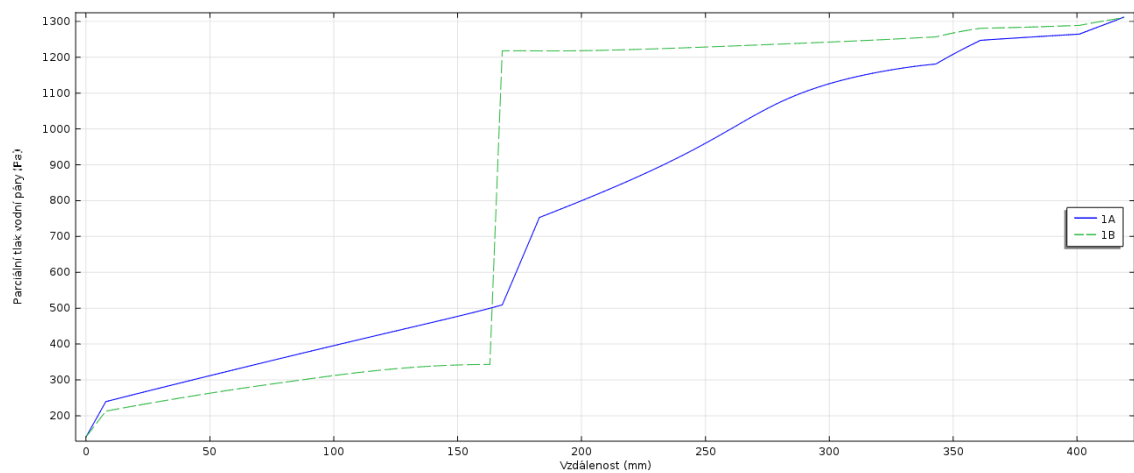


Obr. 113. Zobrazení sledovaných úsečků.

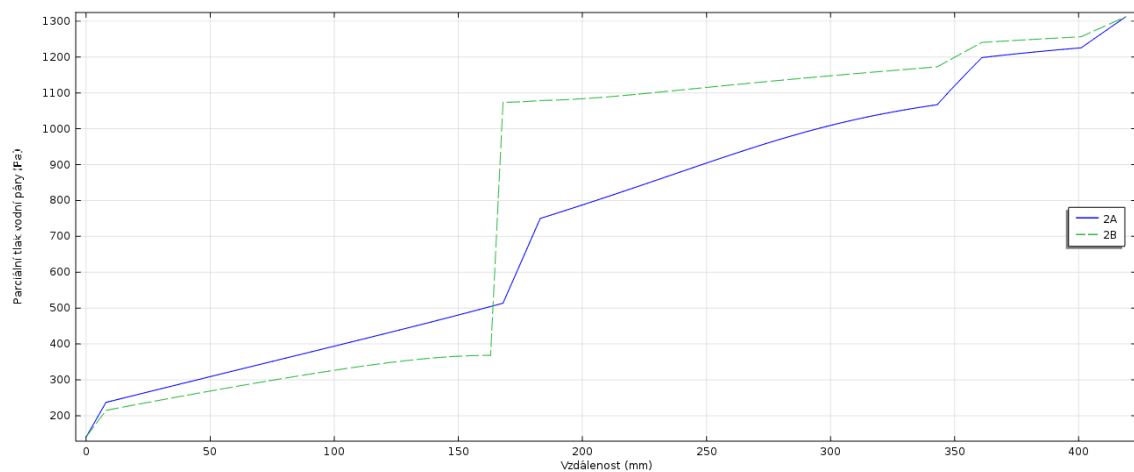
Na obrázku číslo 113 jsou vyobrazeny úsečky, na kterých je sledován parciální tlak vodní páry.



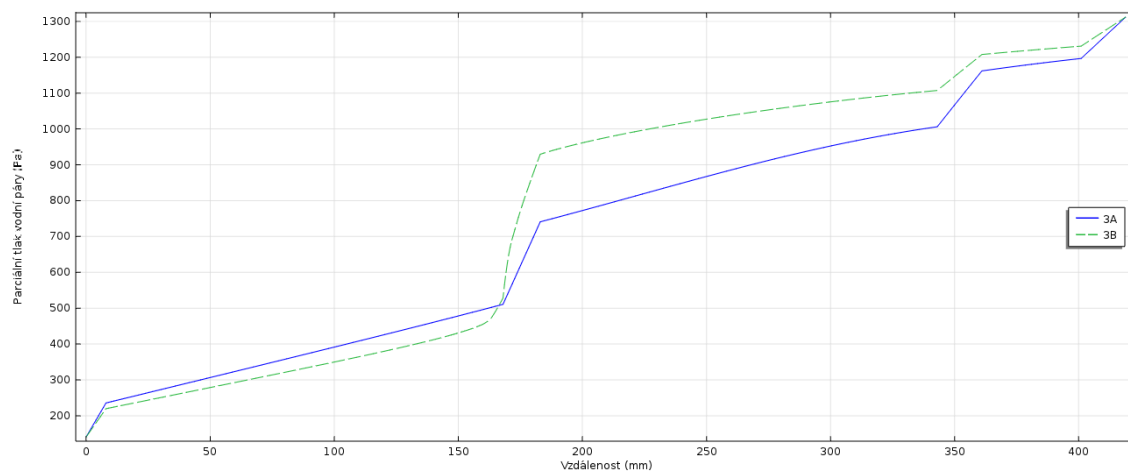
Obr. 114. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



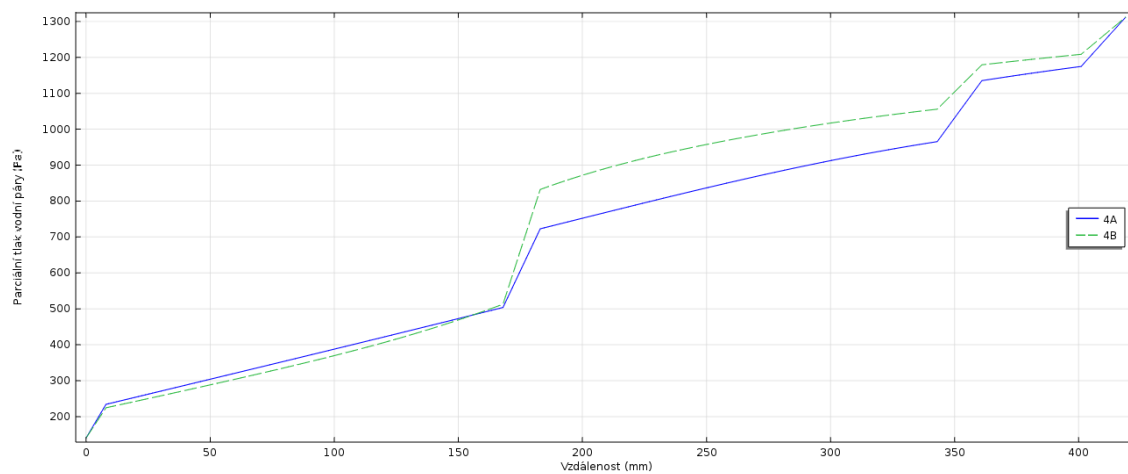
Obr. 115. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



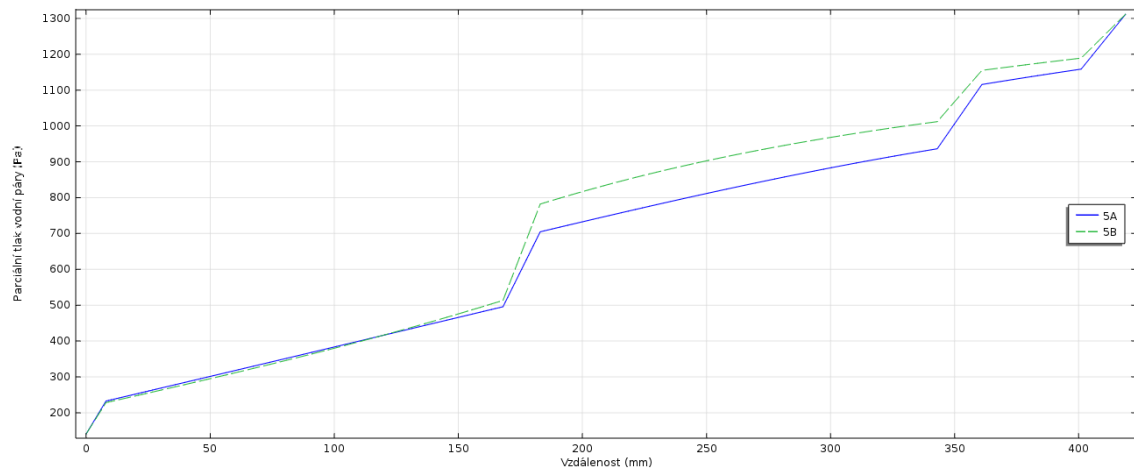
Obr. 116. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



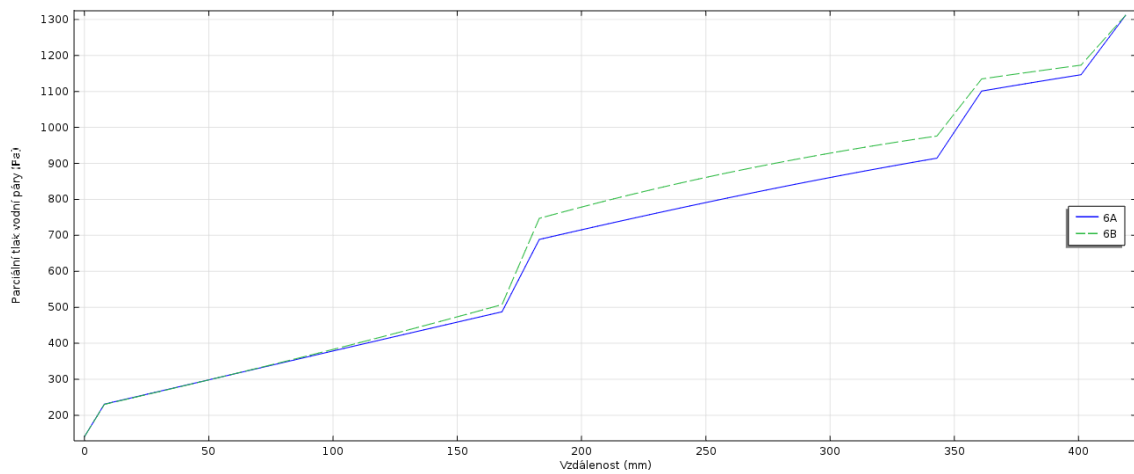
Obr. 117. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



Obr. 118. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



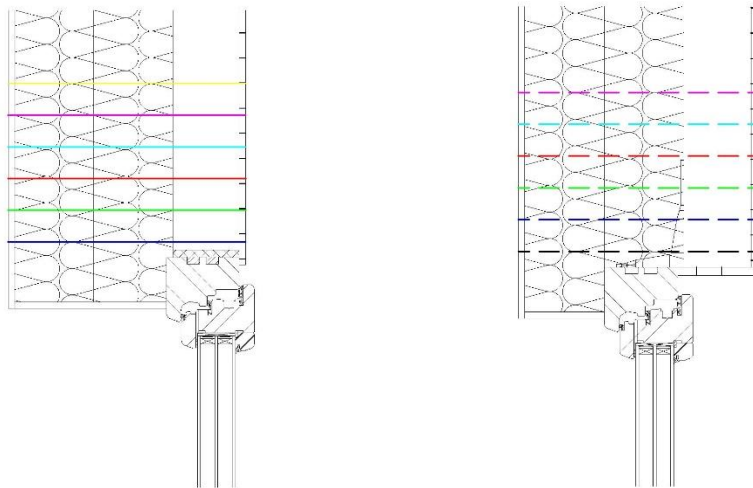
Obr. 119. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci



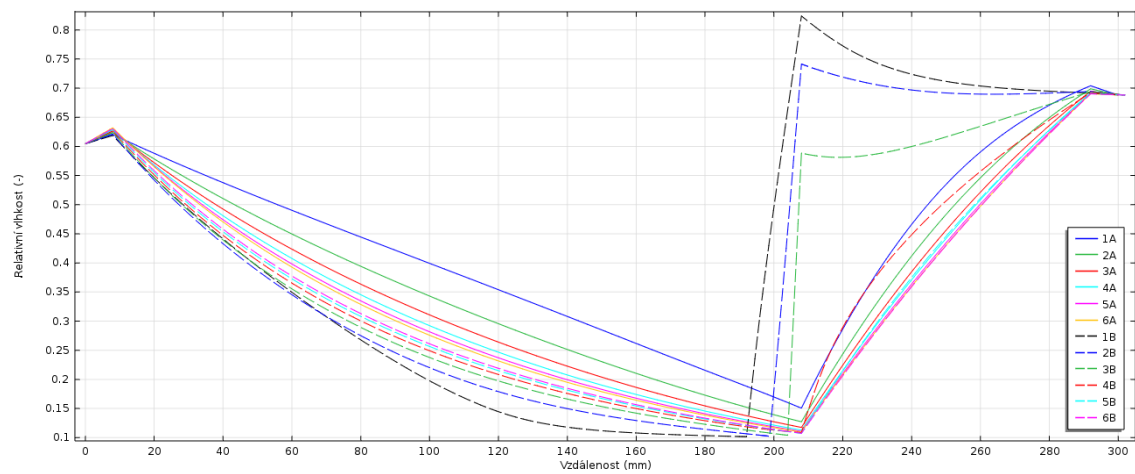
Obr. 120. Parciální tlak vodní páry na sledovaných úsečkách v závislosti na vzdálenosti v konstrukci

5.4. Relativní vlhkost

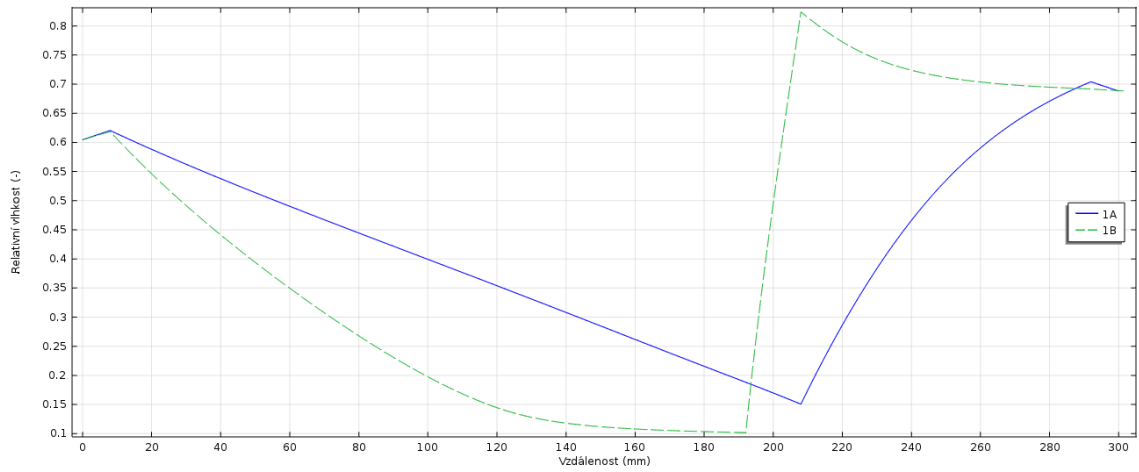
Modely 1 a 2



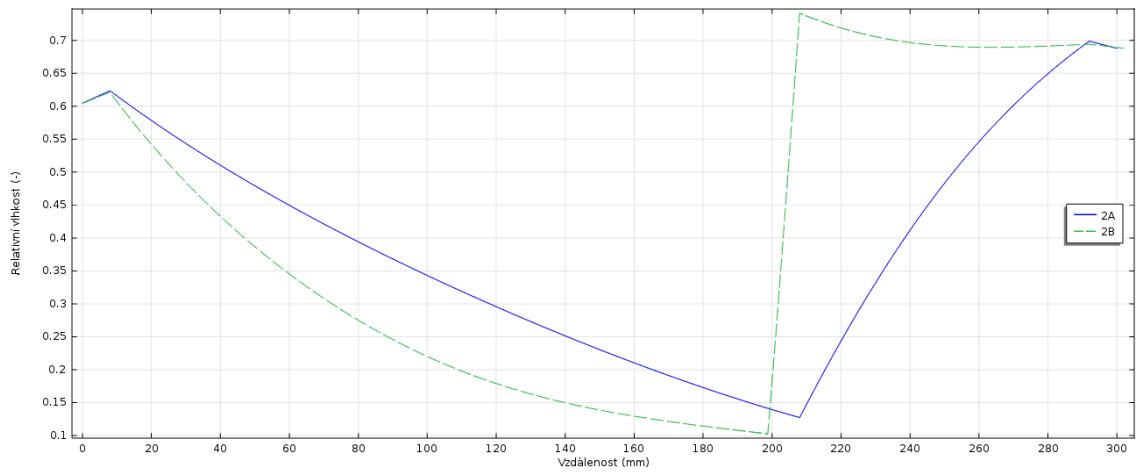
Obr. 121. Zobrazení sledovaných úsečků.



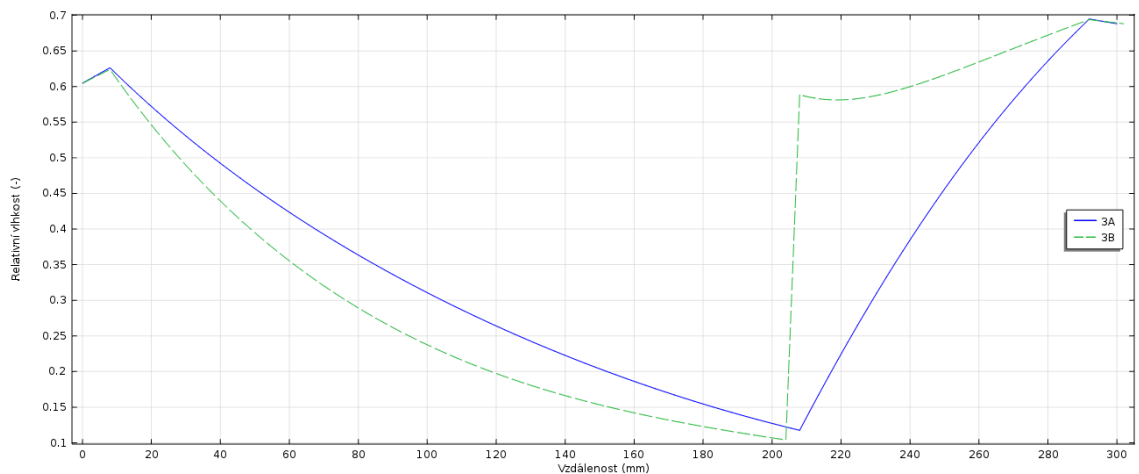
Obr. 122. Průběh relativní vlhkosti na sledovaných úsečkách



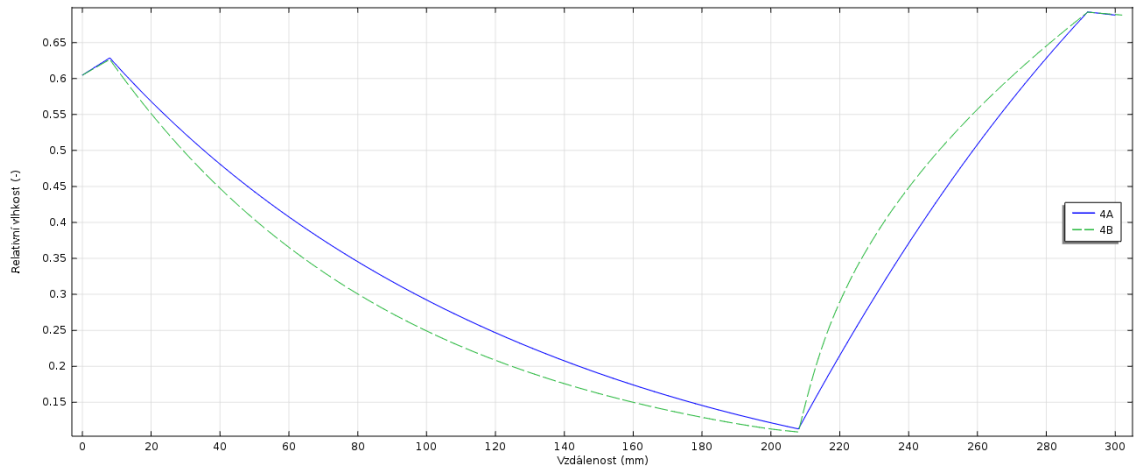
Obr. 123. Průběh relativní vlhkosti na sledovaných úsečkách



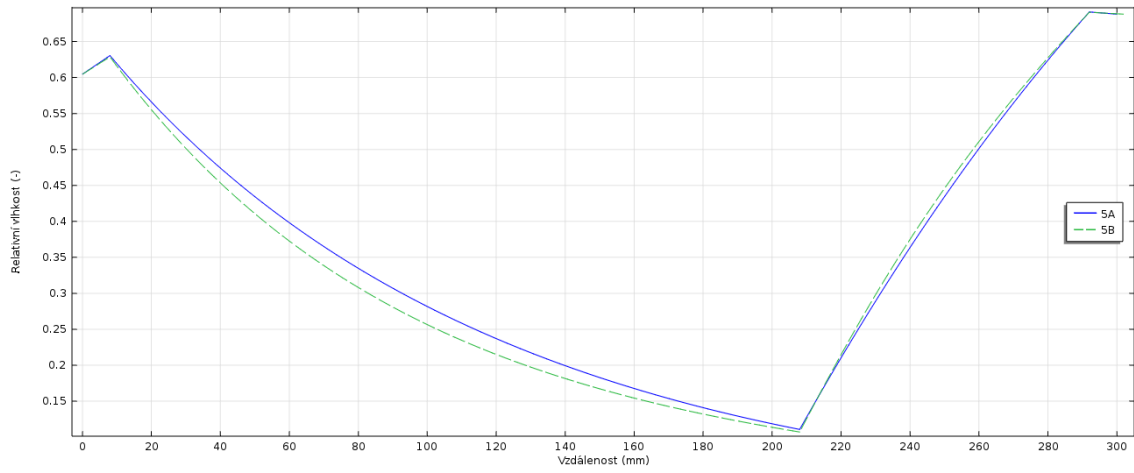
Obr. 124. Průběh relativní vlhkosti na sledovaných úsečkách



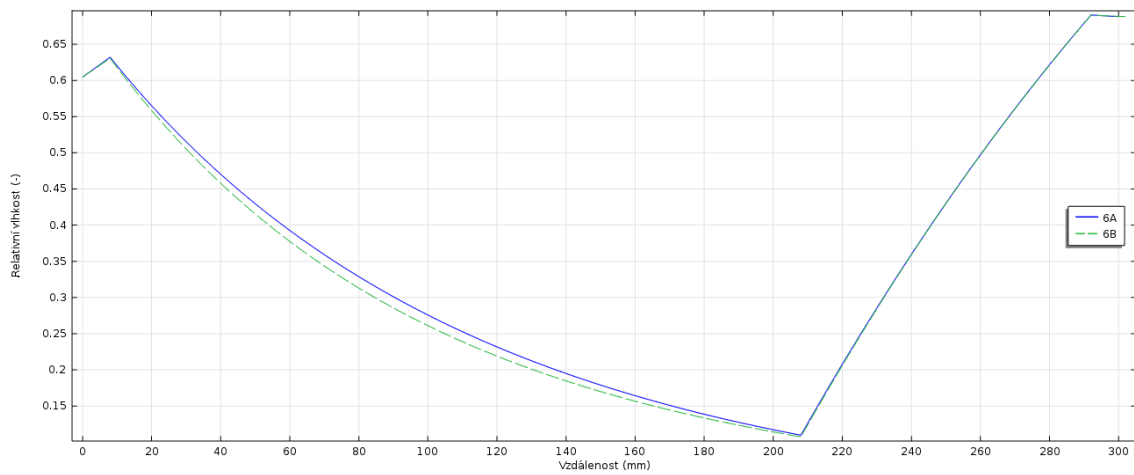
Obr. 125. Průběh relativní vlhkosti na sledovaných úsečkách



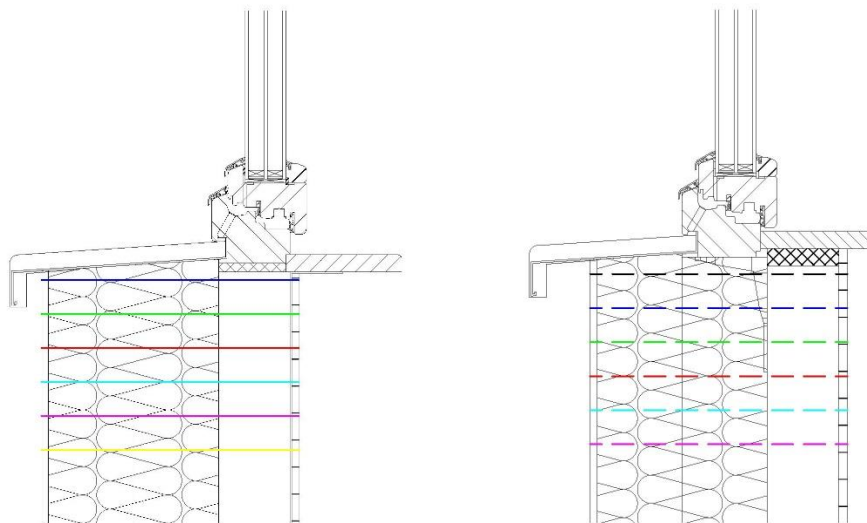
Obr. 126. Průběh relativní vlhkosti na sledovaných úsečkách



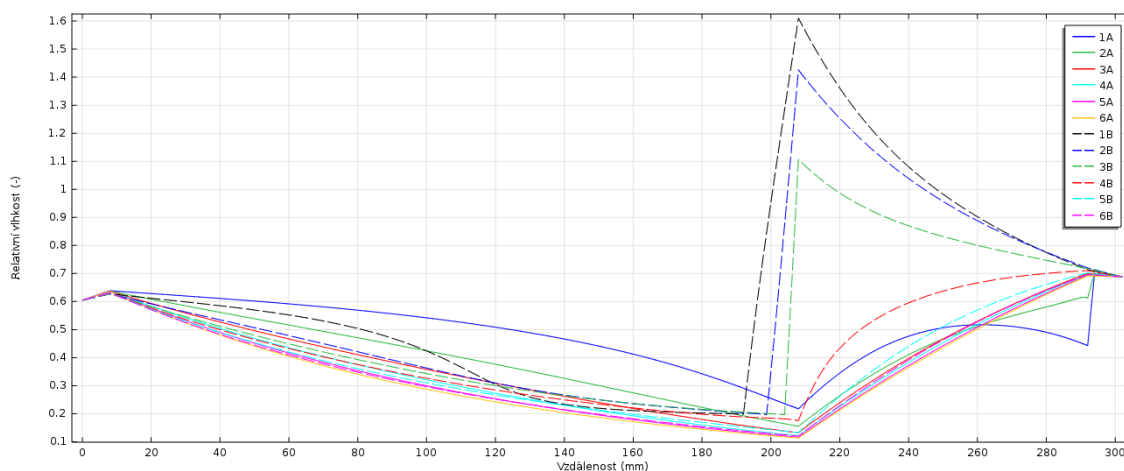
Obr. 127. Průběh relativní vlhkosti na sledovaných úsečkách



Obr. 128. Průběh relativní vlhkosti na sledovaných úsečkách



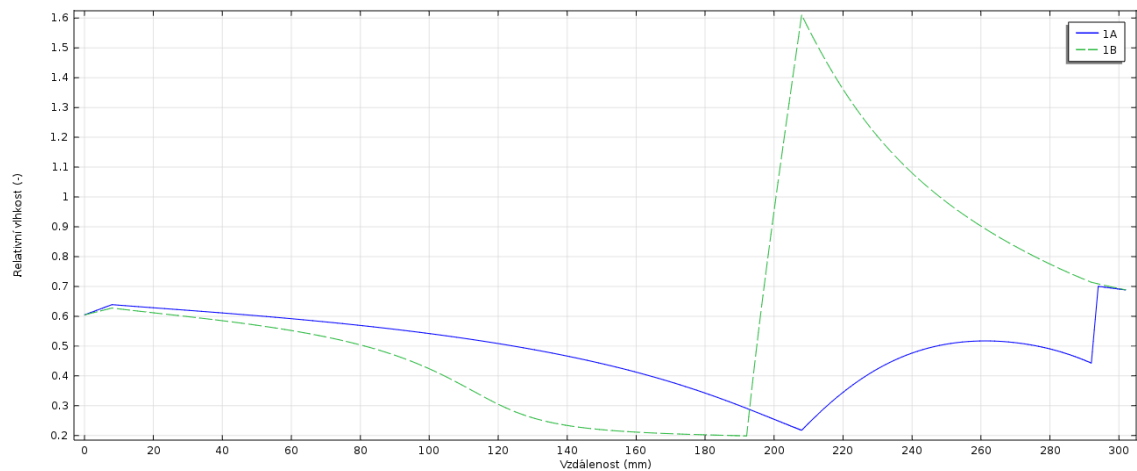
Obr. 129. Zobrazení sledovaných úsečků.



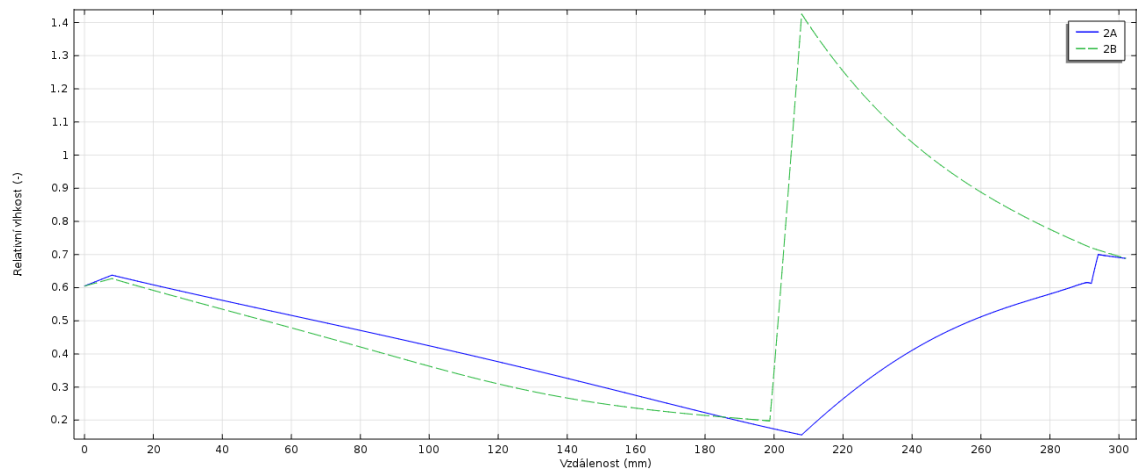
Obr. 130. Průběh relativní vlhkosti po sledovaných úsečkách

Z obrázku číslo 130 lze pozorovat, že relativní vlhkost u modelu číslo 2, tedy skladky Novatop, osazení do úrovně tepelné izolace v určitém místě vystoupá nad hodnotu 1, což znamená, že zde dochází ke kondenzaci vodní páry. Kondenzace vodní páry v konstrukci není žádoucí jev, obzvlášť pokud ke kondenzaci dochází v úrovni dřevěného prvku. V tomto případě se kritické místo nachází v oblasti, kde je kovový úhelník nesoucí okenní konstrukci připevněn k masivnímu dřevěnému panelu Novatop Solid. Výrazné zlomy na křivkách vyneseny v grafu představují hranice materiálů s výrazně jinými

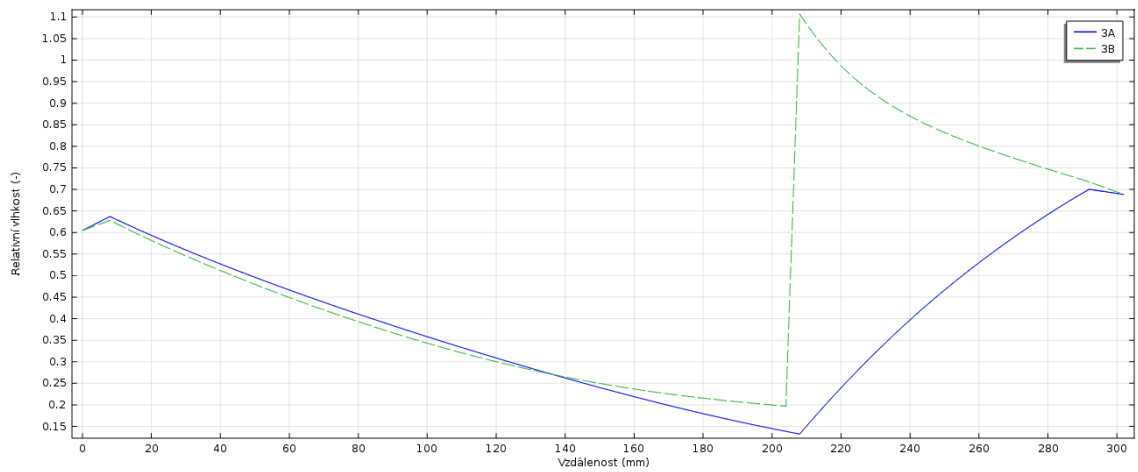
materiálovými vlastnostmi, jakým je například styk ocelového úhelníku a masivní dřevěné stěny. Tyto výsledky mohou být ovlivněny několika faktory. Prvním z nich je, že jsem ve výpočtu nezohlednil závislost součinitelů difuzní propustnosti na teplotě. Dále tím, že jsem ve výpočtu nepoužil koeficienty přestupu vlhkosti, ale přímo jsem definoval parciální tlaky vodních par na povrchu konstrukce.



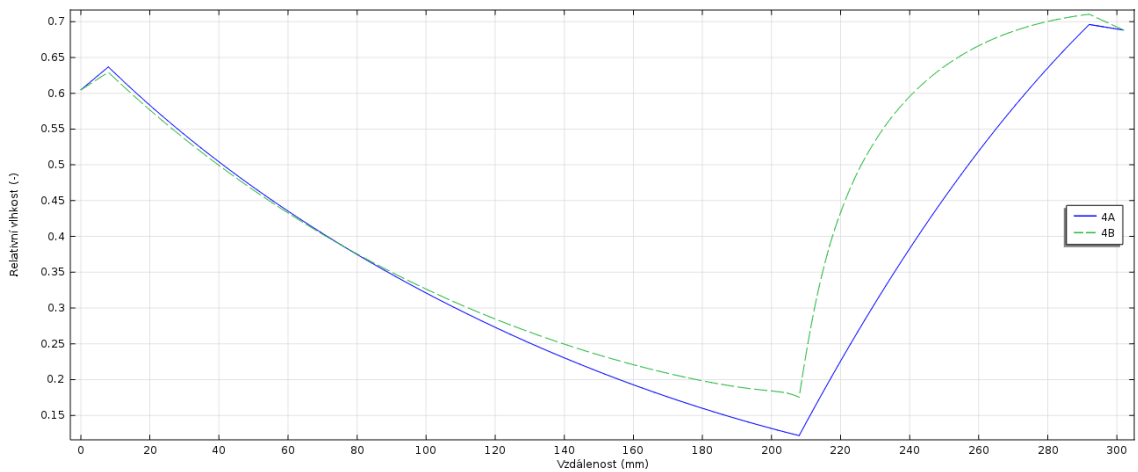
Obr. 131. Průběh relativní vlhkosti na sledovaných úsečkách



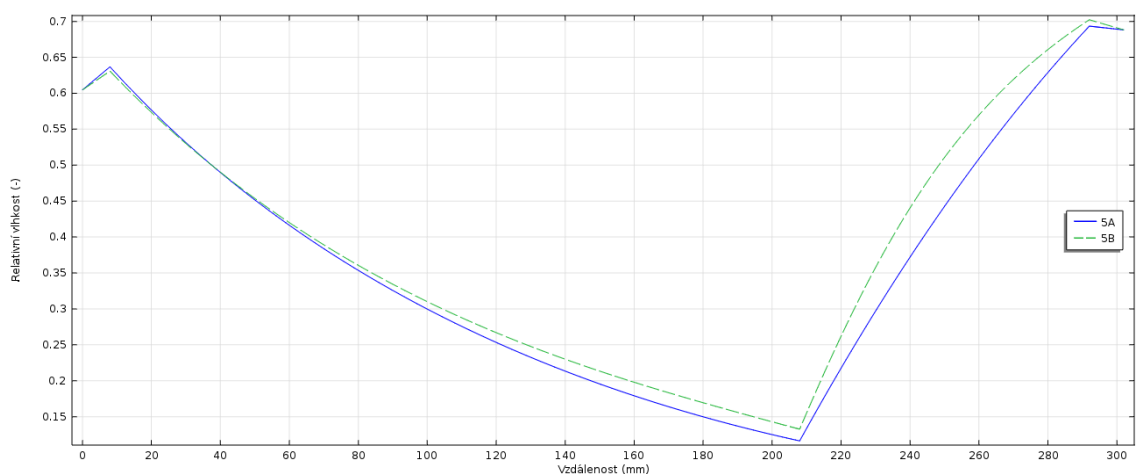
Obr. 132. Průběh relativní vlhkosti na sledovaných úsečkách



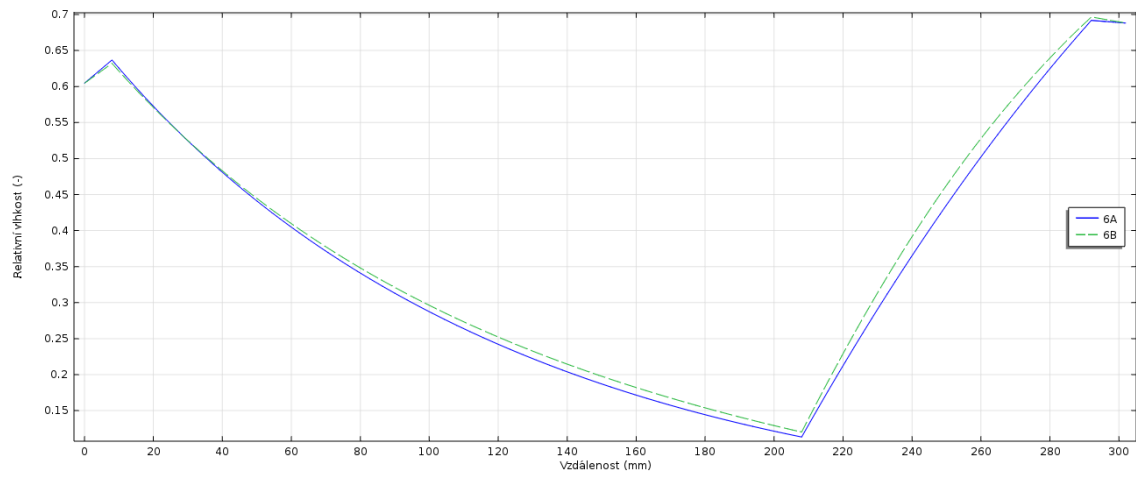
Obr. 133. Průběh relativní vlhkosti na sledovaných úsečkách



Obr. 134. Průběh relativní vlhkosti na sledovaných úsečkách

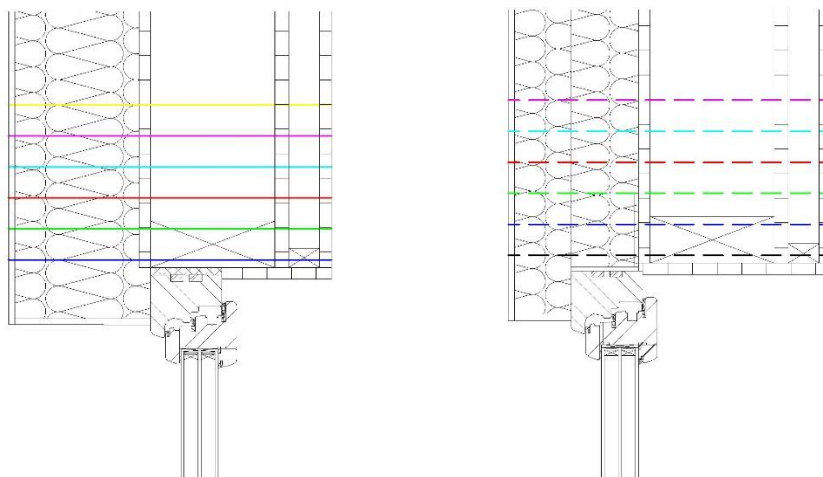


Obr. 135. Průběh relativní vlhkosti na sledovaných úsečkách

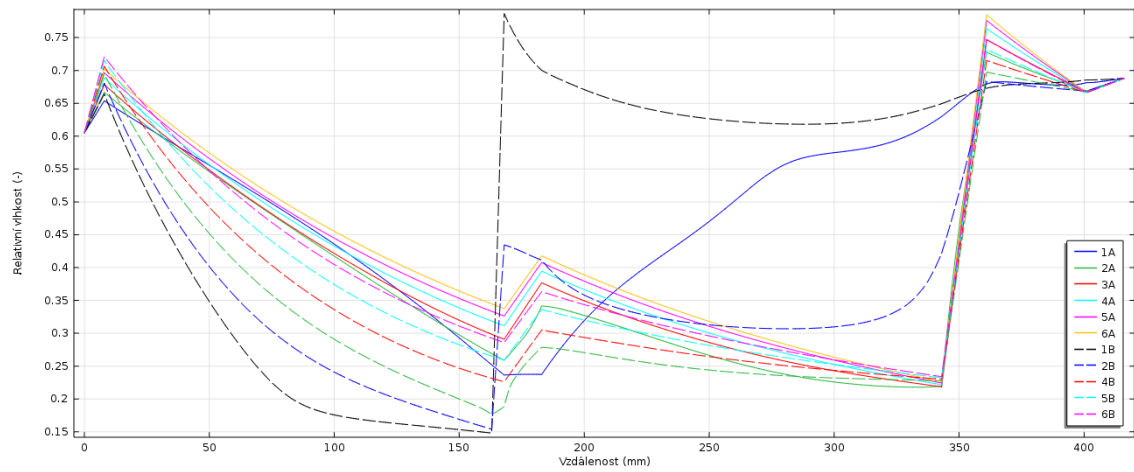


Obr. 136. Průběh relativní vlhkosti na sledovaných úsečkách

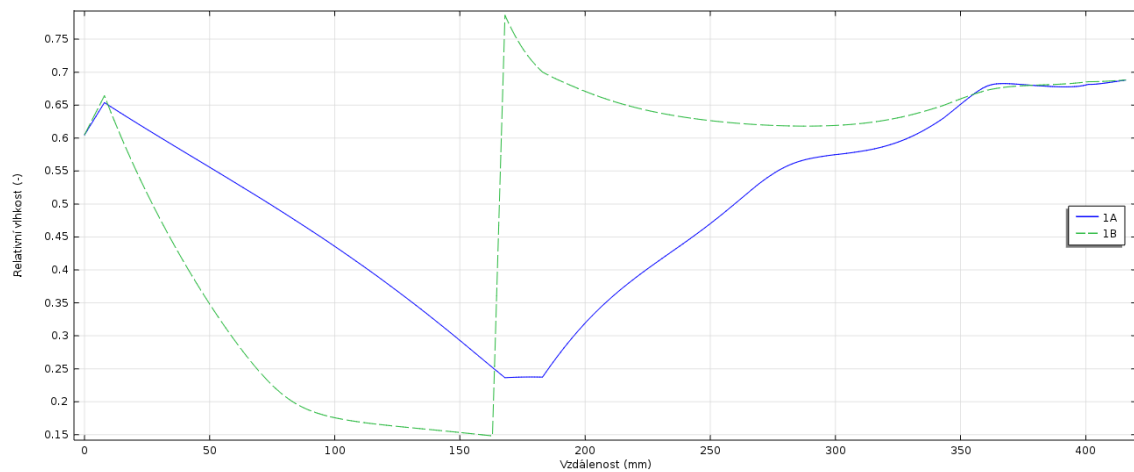
Modely 3 a 4



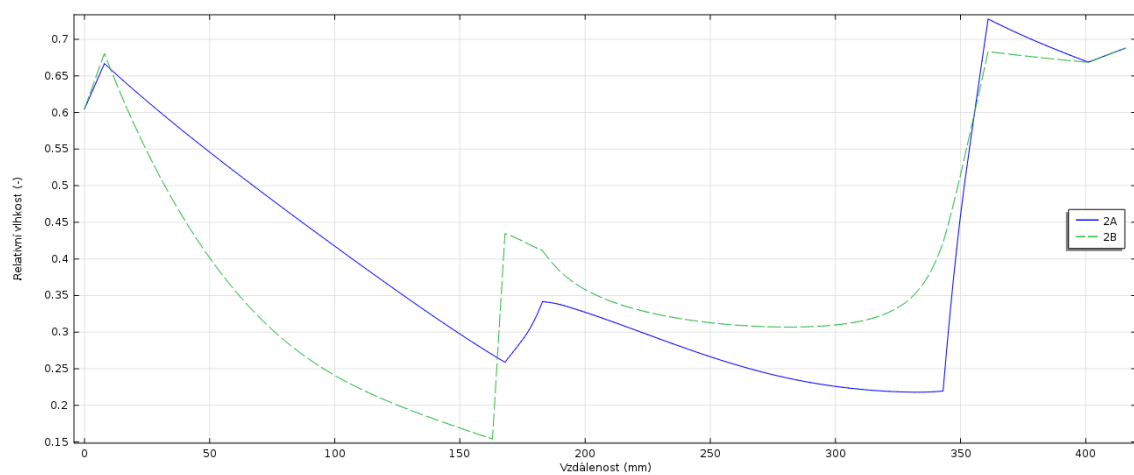
Obr. 125. Zobrazení sledovaných úseček.



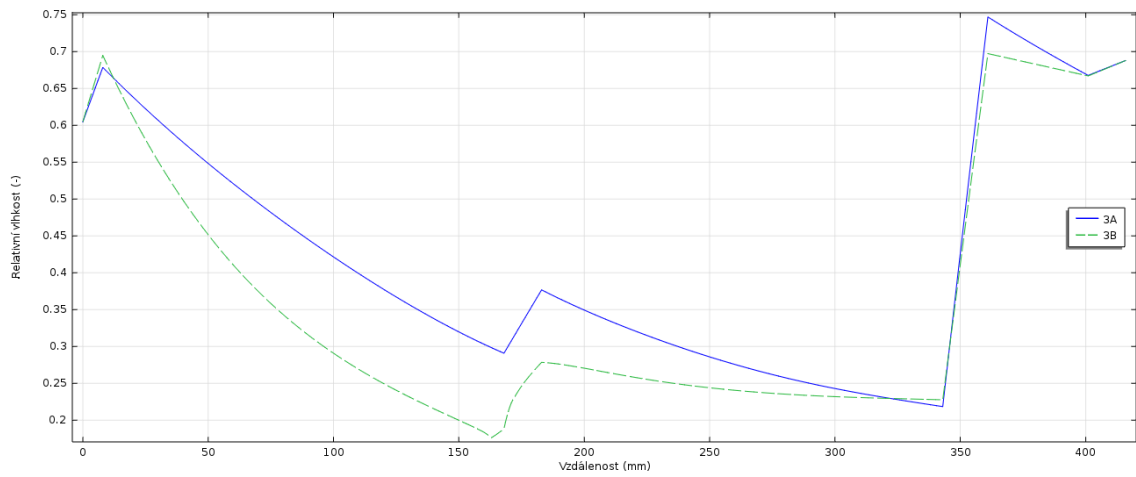
Obr. 137. Průběh relativní vlhkosti po sledovaných úsečkách



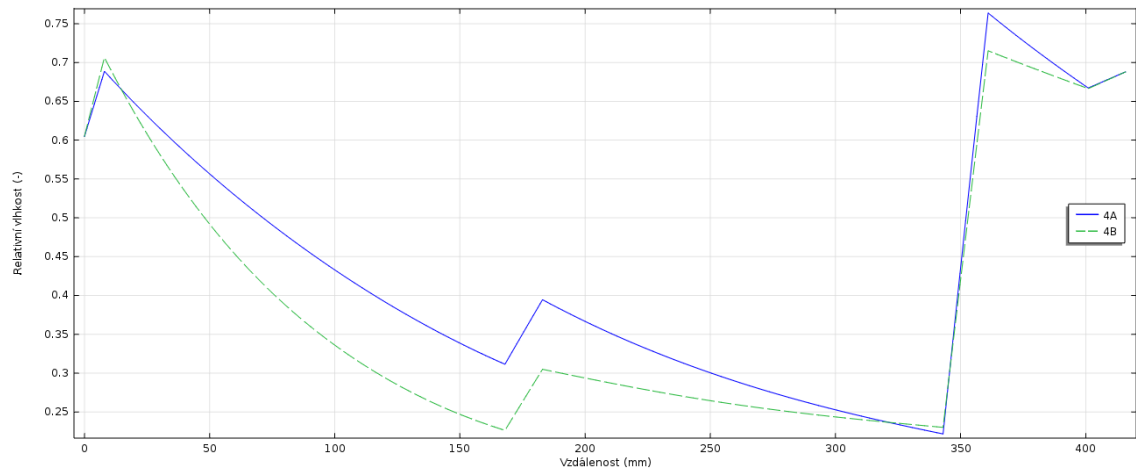
Obr. 138. Průběh relativní vlhkosti po sledovaných úsečkách



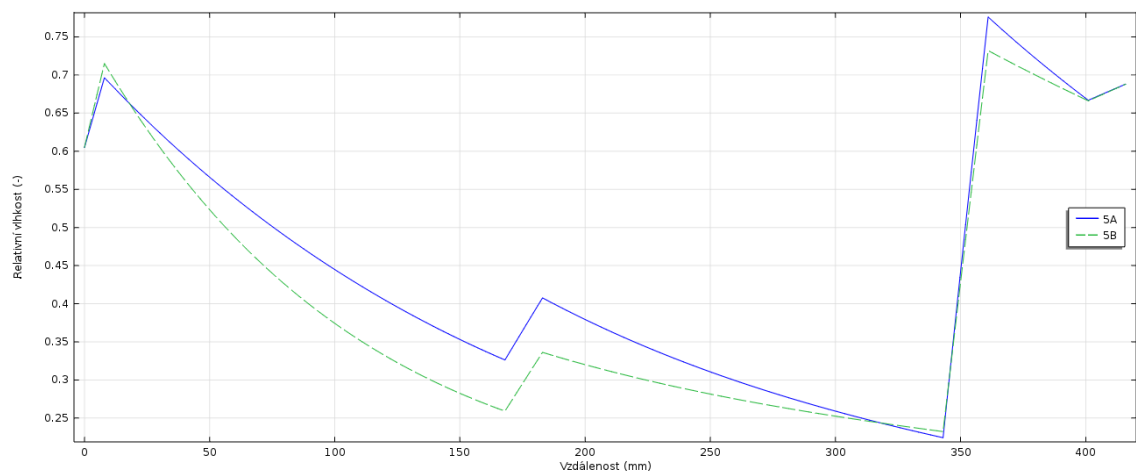
Obr. 139. Průběh relativní vlhkosti po sledovaných úsečkách



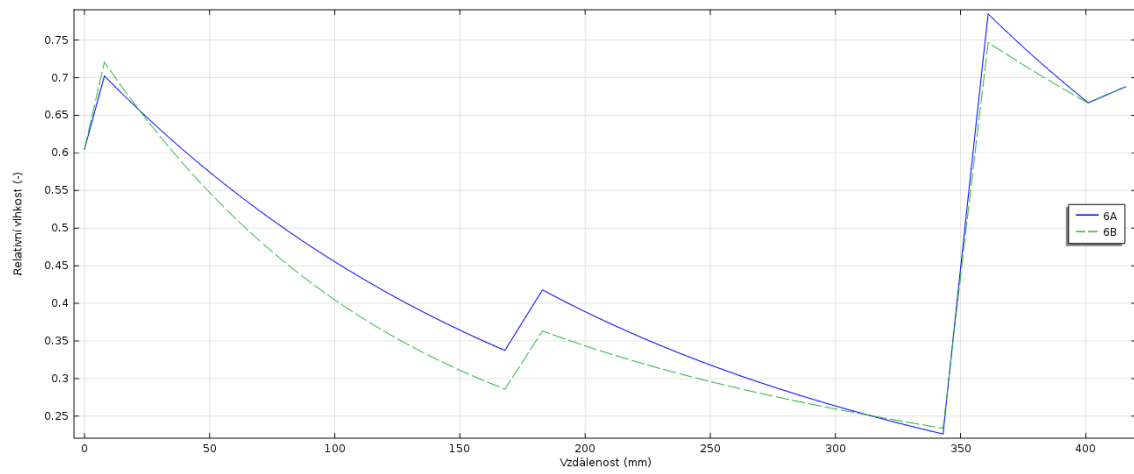
Obr. 140. Průběh relativní vlhkosti po sledovaných úsečkách



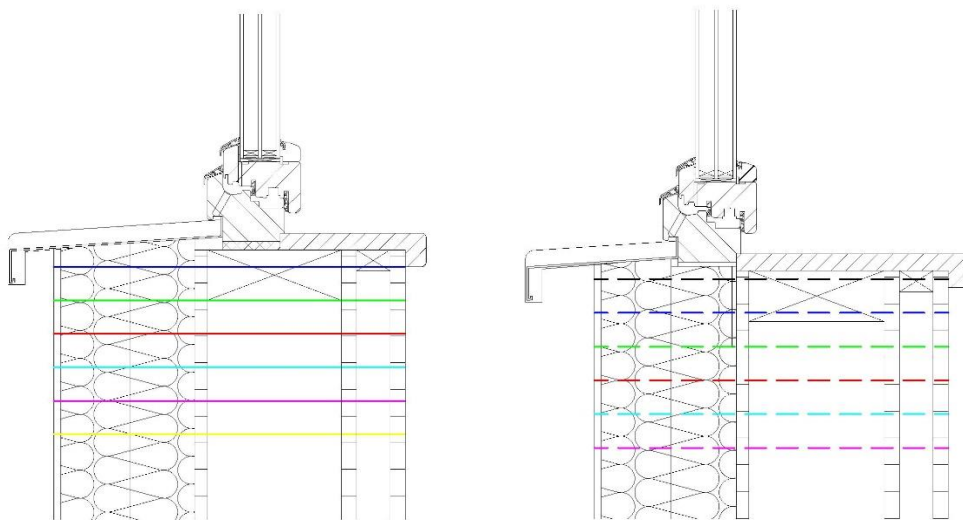
Obr. 141. Průběh relativní vlhkosti po sledovaných úsečkách



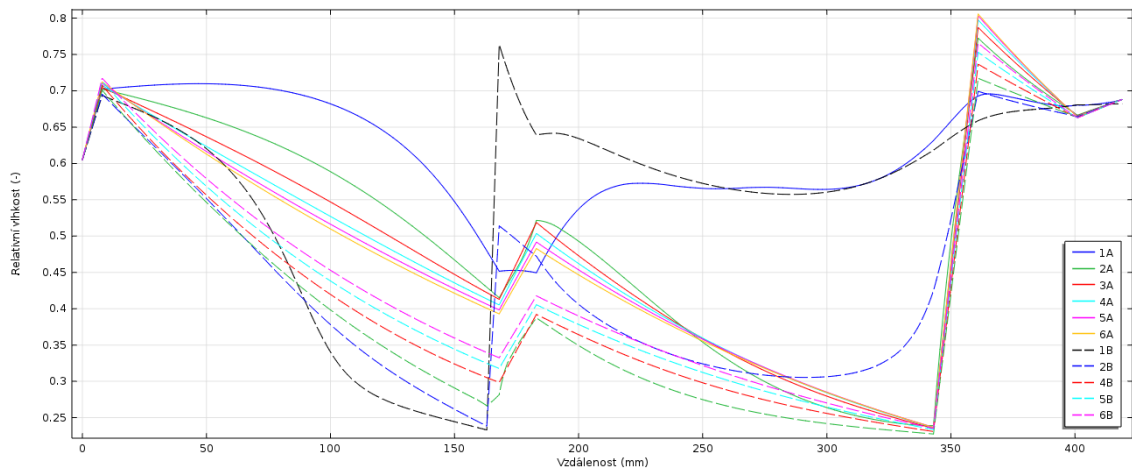
Obr. 142. Průběh relativní vlhkosti po sledovaných úsečkách



Obr. 143. Průběh relativní vlhkosti po sledovaných úsečkách

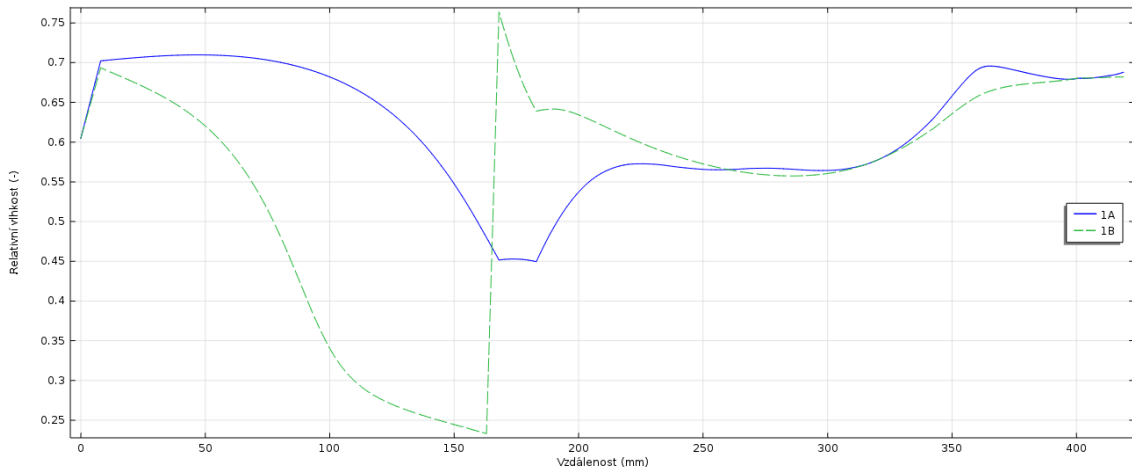


Obr. 144. Zobrazení sledovaných úseček.

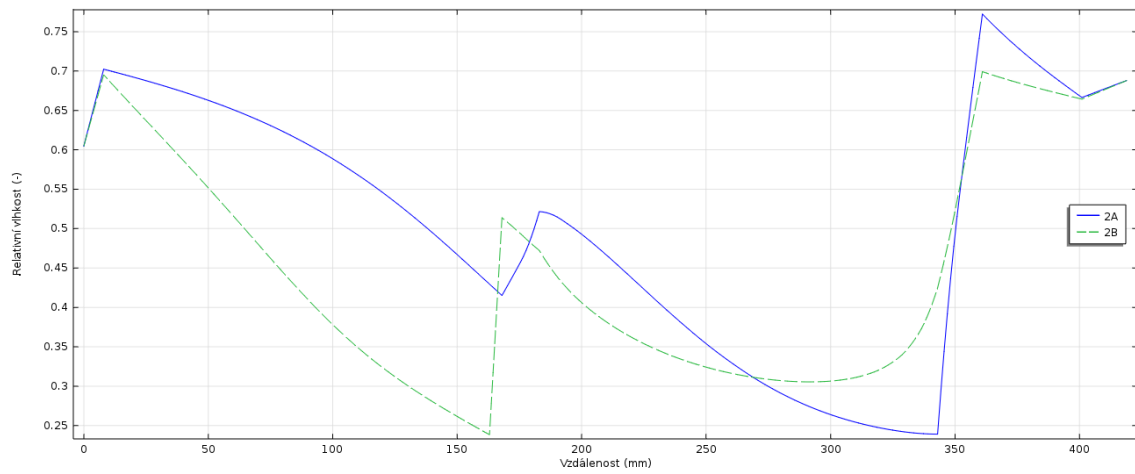


Obr. 145. Průběh relativní vlhkosti po sledovaných úsečkách

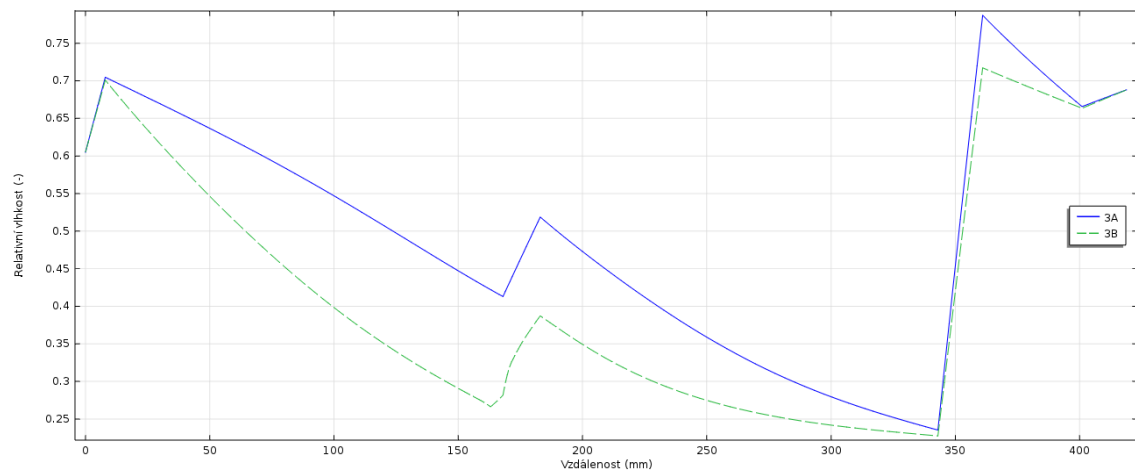
Na obrázcích 137 a 145 je znázorněno rozložení relativní vlhkosti u modelů 3 a 4. Z grafů lze pozorovat, že relativní vlhkost v žádném sledovaném místě konstrukce nenabývá hodnot vyšších než 1, což znamená, že zde nedochází ke kondenzaci vodní páry. Výrazné zlomy na křivkách vyneseny v grafu představují hranice materiálů s výrazně jinými materiálovými vlastnostmi, jakým je například styk OSB desky s tepelnou izolací.



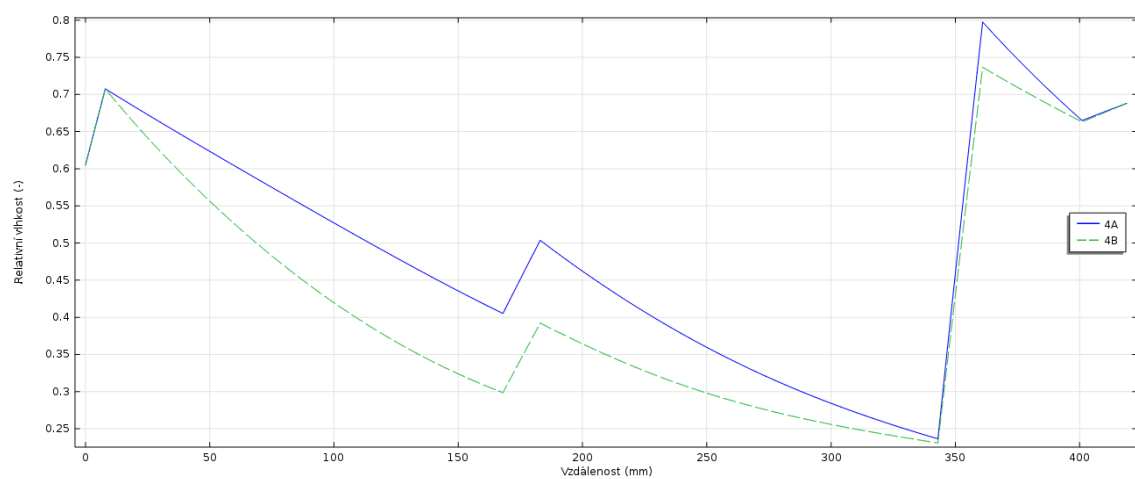
Obr. 146. Průběh relativní vlhkosti po sledovaných úsečkách



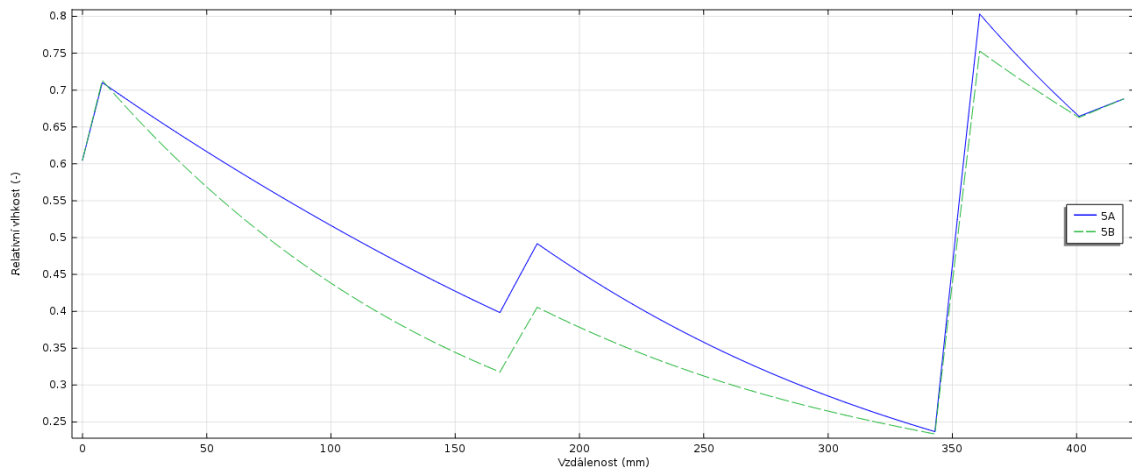
Obr. 147. Průběh relativní vlhkosti po sledovaných úsečkách



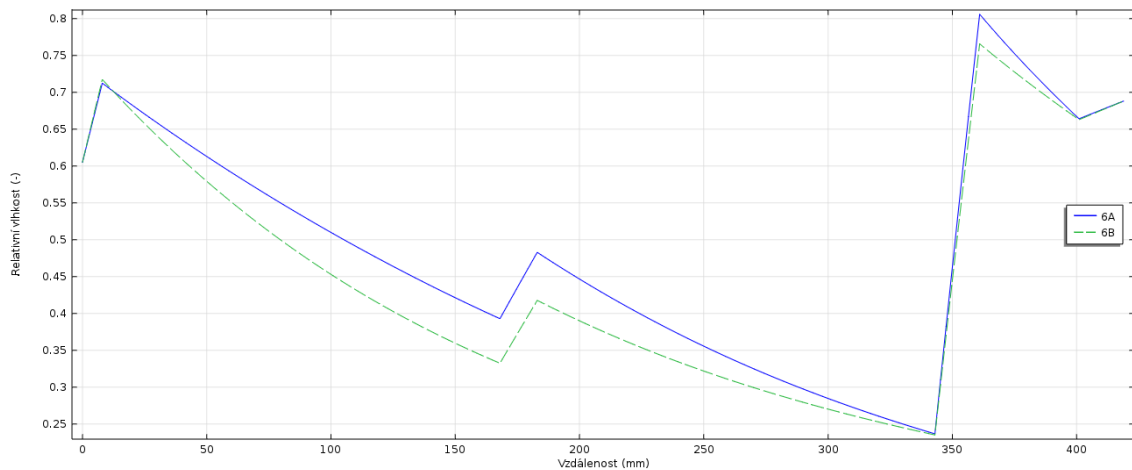
Obr. 148. Průběh relativní vlhkosti po sledovaných úsečkách



Obr. 149. Průběh relativní vlhkosti po sledovaných úsečkách



Obr. 150. Průběh relativní vlhkosti po sledovaných úsečkách



Obr. 151. Průběh relativní vlhkosti po sledovaných úsečkách

Z výše uvedených grafů je dobře patrné, jak velký vliv má konkrétní konstrukční řešení na rozložení relativní vlhkosti v konstrukci. Ukazuje se, že v případě předsazené montáže oken je třeba dbát na správný návrh detailu tak, aby nedocházelo k výrazným lokálním deformacím teplotního pole v konstrukci, což je případ modelu číslo 2, kdy jsou k osazení okna použity ocelové úhelníky, které vytváří tepelný most, což lze vidět na obrázku číslo 14 a v důsledku toho zde dochází ke kondenzaci vodní páry.

6. Závěr

V této diplomové práci jsem se zaměřil na vytvoření numerických simulací teplotního pole v konstrukci obvodové stěny dřevostavby v místě osazení okna.

Cílem bylo porovnat výsledky pro dva různé způsoby osazení u dvou různých skladeb obvodové stěny. Detail okenní konstrukce, stejně jako první použitá skladba stěny jsou převzaté z materiálů poskytovaných výrobcí, druhá skladba je dle vlastního návrhu. Vlastnosti použitých materiálů jsem taktéž převzal z materiálů poskytovaných výrobcí. Výstupem je grafické znázornění teplotního pole, tlaku nasycených vodních par, parciálního tlaku vodní páry a vynesení jejich hodnot na sledovaných úsečkách do grafů. Z výsledků je patrné, že vliv způsobu osazení okna na podobu teplotního pole a rozložení vlhkosti v konstrukci je poměrně značný. Podrobněji jsem v této práci sledoval okolí místa osazení, tedy oblast v blízkosti horní a spodní strany rámu okna, kde je vliv způsobu osazení nejvíce patrný. V práci nešlo o navržení vyhovující skladby konstrukce, nebo konstrukčního řešení osazení okna, ale o srovnání výsledků pro reálná konstrukční řešení. Možnost navázání na tuto práci vidím ve vytvoření modelu šíření tepla a vlhkosti v konstrukci, kde by byl zohledněn vliv teploty a vlhkosti na koeficient tepelné vodivosti. Tento přístup ve své práci řeší například Trcala (2009). Tepelná vodivost s rostoucí vlhkostí stoupá jak u dřeva (Sonderegger, 2011), tak u materiálů na bázi dřeva (Sonderegger, Niemz 2009). Další možností by bylo vytvoření 3D modelu dané konstrukce.

Jako přínos numerických simulací vidím možnost získání přesných a velice podrobných výsledků a možnost posouzení geometricky složitějších konstrukčních detailů.

7. Summary

In this thesis, I focused on creating a numerical simulation of the temperature field in the construction of the peripheral wall of wooden structure in the place of installation of the window.

The aim was to compare the results for two different ways of fitting of the window in two different tracks of peripheral wall. Detail of the window construction, as well as the first use of track walls are taken from materials provided by the manufacturer, the second track is my proposal. Material properties, I also took from materials provided by manufacturers. The output is a graphical representation of the temperature field, the pressure of saturated water vapor, water vapor partial pressure and plotting the values on the monitored line segments into graphs.

The results indicate that the influence of different way of installation of the window to shape of temperature field and moisture distribution in the structure is relatively large. In this work I closely watch on an area near the top and bottom sides of the window frame where the effect of different way of installation of the window is most noticeable. The work was not satisfactory track construction design, structural design or installation of the window, but a comparison of results for a realistic design solutions.

Opportunity to build on this work to see the develop of a model of heat and moisture diffusion in the structure, which would reflect the impact of temperature and humidity on the coefficient of thermal conductivity. This approach their work addresses, for example Trcala (2009). Thermal conductivity increases with increasing humidity both wood (Sonderegger, 2011) and for wood-based materials (Sonderegger, Niemz 2009). Another option would be to create a 3D model of the structure.

As the benefits of numerical simulations to see the possibility of obtaining accurate and very detailed assessment of results and the possibility of geometrically complex structural details.

8. Seznam použité literatury

8.1. Knižní zdroje

HORÁČEK P., Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I. 2. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. 124 s. ISBN 978-80-7375-169-2.

KÜNZEL, M. 1995. Heat and Moisture Transport in Building Components: One- and two- dimensional calculation using simple parameters. Stuttgart. ISBN 3-8167-4103-7.

MACLEAN J.D., 1941. Thermal conductivity of wood. Heating, piping and air conditioning (13): 380-391.

SONDERGGER, W. 2011. Experimental and Theoretical Investigations on The Heat and Water Transport in Wood and Wood-based Materials. Dizertační práce. Curych: ETH Zurich. 165 s.

SONDERGGER, W., NIEMZ, P. 2009. Thermal conductivity and water vapour transmission properties of wood-based materials. European Journal of Wood and Wood Products, 67(3), s. 313-321.

TRCALA M., 2007. Popis vlhkostního a teplotního toku u anizotropního tělesa. Brno. Bakalářská práce. Mendelova univerzita.

TRCALA, M. 2009. Model vázaného pohybu vlhkostního a teplotního pole ve dřevě během sušení. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. 84 s.

8.2. Internetové zdroje

Podklady pro projektování (online). (cit. 2017-02-19). Dostupné z: <http://www.novatop-system.cz/ke-stazeni/soubory-ke-stazeni/>

Prostup tepla stěnou (online). (cit. 2017-02-19). Dostupné z:
https://www.powerwiki.cz/wiki/OOEET_ResenePriklady

8.3. Normy

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